

CUANTIFICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DEL ESCURRIMIENTO SUPERFICIAL EN LA CUENCA DEL RÍO CARCARAÑÁ

INFORME TÉCNICO FINAL - PRÁCTICA SUPERVISADA
Carrera de Ingeniería Civil

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CÓRDOBA
Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales

Autor: GUSTAVO MATÍAS BARCHIESI

Tutor: CARLOS MARCELO GARCÍA RODRÍGUEZ

**Supervisores Externos: EDGAR CASTELLÓ
JOSÉ MANUEL DÍAZ LOZADA**

Agradecimientos

A mi familia por su apoyo y confianza, por su amor, por el esfuerzo realizado durante todos estos años.

Al Dr. Ing. Carlos Marcelo García Rodríguez por el tiempo dedicado, ayuda y consejos, por la pasión y entusiasmo empleados en este trabajo, por el afecto brindado.

Al MSc. Ing. Horacio Herrero por la capacitación en el manejo del instrumental utilizado y ayuda en el procesamiento de información.

Al Ing. José Manuel Díaz Lozada por su paciencia, colaboración y contribución aportada a este trabajo.

Al Ing. Nicolás Federico Guillen por sus consejos y enseñanzas.

A Federico Caminal por su acompañamiento y charlas compartidas durante el desarrollo de este trabajo.

A los demás integrantes del Centro de Estudios y Tecnología del Agua (CETA) por las horas compartidas.

A la Dra. Ing. Margarita Portapila y al Dr. Ing. Martín Romagnoli por su compañía y ayuda en las mediciones realizadas en la provincia de Santa Fe.

A mis amigos y compañeros por los momentos vividos durante estos años, por las conversaciones, alegrías, días y noches de estudio.

A Luciano Gil por sus palabras y cariño brindados.

A Coperaña (Cooperativa de obras, servicios públicos asistenciales y vivienda de Carcaraña), a los bomberos voluntarios de la ciudad de Carcaraña y Monte Buey, a la Comuna de Pueblo Andino, a la Secretaría de Recursos Hídricos de la Provincia de Córdoba, al Departamento de Generación de la Empresa Provincial de Energía de la Provincia de Córdoba (EPEC) y a la Cooperativa de Trabajo Sudeste Limitada, en particular al Ing. Roberto Rodríguez, por la colaboración prestada durante las campañas de medición realizadas.

Título del Trabajo: "Cuantificación y Caracterización del Escurrimiento Superficial en la Cuenca del Río Carcarañá".

Nombre del Autor: Barchiesi, Gustavo Matías.

Matrícula: 36186637.

Carrera: Ingeniería Civil.

Plan: 2005.

Palabras Claves: ADCP, Cuantificación del recurso hídrico, Hidrodinámica, Río Carcarañá.

Resumen

El río Carcarañá nace en la provincia de Córdoba por la confluencia de los ríos Tercero o Ctlamochita y Saladillo (nombre del curso inferior del río Cuarto). Después de recibir los aportes del arroyo Tortugas, el río Carcarañá ingresa en la provincia de Santa Fe, a la cual cruza desembocando en cercanías de la localidad de Gaboto en el río Coronda, que a su vez lo hace en el río Paraná.

La subcuenca de uno de los tributarios, el río Tercero, es una de las principales de la provincia de Córdoba. Además de ser una importante fuente para el suministro de agua potable en la zona sur y este de la provincia, el río Tercero es utilizado como cuerpo receptor para disposición final de las aguas residuales industriales y de estaciones depuradoras de efluentes cloacales. Es por ello que es importante llevar a cabo un seguimiento integral del recurso en esa subcuenca para garantizar su disponibilidad y calidad.

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. En este trabajo se reportan los resultados obtenidos de mediciones realizadas durante diferentes campañas de monitoreo, que incluyen la determinación de caudales escurridos superficialmente y parámetros hidráulicos globales característicos del escurrimiento en distintas secciones (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. También se realizaron extracciones de muestras de material del cauce en secciones de los distintos tributarios para definir la distribución granulométrica de ese material.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CAPÍTULO 1 – MARCO REFERENCIAL	19
1.1. INTRODUCCIÓN	19
1.2. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL SISTEMA EN ESTUDIO	19
1.3. PROBLEMÁTICA PRESENTE	23
1.4. OBJETIVOS	24
1.4.1. Objetivos Generales	24
1.4.2. Objetivos Específicos	24
1.5. METODOLOGÍA DE TRABAJO EMPLEADA	25
CAPÍTULO 2 – TÉCNICAS EXPERIMENTALES UTILIZADAS	29
2.1 DESCRIPCIÓN DEL INSTRUMENTO	29
2.2 VENTAJAS DEL ADCP SOBRE OTRAS TÉCNICAS DE MEDICIÓN DE VELOCIDAD DE FLUJO Y CAUDALES	32
2.3 ARMADO DEL DISPOSITIVO MÓVIL	34
2.4 PROGRAMAS COMPUTACIONALES	35
2.4.1 RiverSurveyor Live	35
2.4.2 VMT: Programa para el post-procesamiento de datos	41
2.5 RECOMENDACIONES PARA LA MEDICIÓN	42
2.6 INSTRUMENTAL ADICIONAL: SONDA MULTIPARAMÉTRICA	43
CAPÍTULO 3 – MEDICIONES REALIZADAS	47
3.1. INTRODUCCIÓN	47
3.2. LOCALIZACIÓN DE LAS SECCIONES DE MEDICIÓN	49
3.3. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL	66
3.4. RESULTADOS DE MEDICIONES	67
3.4.1 Parámetros hidráulicos	67
3.4.2 Conductividad y Temperatura	83
CAPÍTULO 4 – ANÁLISIS DE RESULTADOS	87
4.1. CONTRIBUCIÓN DE LOS DISTINTOS TRIBUTARIOS	87
4.1.1 Campaña N°11 (30 de Septiembre y 1 de Octubre de 2013)	87
4.1.2 Campaña N°12 (19 y 20 de Noviembre de 2013)	88
4.2. CAMPOS MEDIOS DE FLUJO	89
4.2.1 Análisis espacial y temporal de los caudales escurridos	108

4.3 CONDUCTIVIDADES.....	110
4.4. DETERMINACIONES EXPERIMENTALES COMPLEMENTARIAS	112
4.4.1 Pendientes de la superficie libre.....	112
4.4.2 Coeficiente de rugosidad de Manning (n).....	116
4.4.3. Granulometría.....	117
CAPÍTULO 5 - CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	137
5.1. CONCLUSIONES.....	137
5.2. CONCLUSIONES DE LA PRÁCTICA SUPERVISADA	138
5.3. RECOMENDACIONES	139
5.4 DIFUSIÓN DE LOS RESULTADOS.....	139
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	145
ANEXO	147

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 - Cuenca del río Carcarañá.....	19
Figura 1.2 - Cuenca del Río Tercero (Lenarduzzi, 2013).....	20
Figura 1.3 - Sistema Río Tercero (Ctalamochita) ubicado en la Provincia de Córdoba.....	20
Figura 2.1 - Funcionamiento del ADCP (extraído del folleto RiverSurveyor - Sontek).....	30
Figura 2.2 - Descripción del instrumento utilizado (extraído del folleto RiverSurveyor - Sontek).....	30
Figura 2.3 - Elementos necesarios para el correcto funcionamiento del ADCP.....	31
Figura 2.4 - Módulo de energía y comunicación (extraído del folleto RiverSurveyor - Sontek).....	32
Figura 2.5 - Molinete de eje horizontal.....	33
Figura 2.6 - Barco de medición con todos los dispositivos instalados (YSI/Sontek).....	35
Figura 2.7 - Interfaz del programa RiverSurveyor.....	35
Figura 2.8 - Información general de la medición.....	36
Figura 2.9 - Ajustes del sistema.....	37
Figura 2.10 - Profundidad del transductor -P- y distancia de monitoreo -L-.....	37
Figura 2.11 - Ajustes sobre la medición.....	38
Figura 2.12 - Interfaz del programa RiverSurveyor Live.....	39
Figura 2.13 - Visualización de la pestaña "Muestras" en el programa.....	41
Figura 2.14 - Planilla de resumen de todas las transectas realizadas en una determinada sección.....	41
Figura 2.15 - Áreas medidas y áreas estimadas por el ADCP.....	43
Figura 2.16 - Sonda multiparamétrica Horiba U-10 (Horiba).....	44
Figura 3.1 - Secciones de aforo en la cuenca del río Carcarañá.....	47
Figura 3.2 - Medición de velocidades de flujo y caudales remolcando la embarcación desde las márgenes.....	48
Figura 3.3 - Medición de velocidades de flujo y caudales remolcando la embarcación desde un puente.....	48
Figura 3.4 - Utilización de una lancha para acceder a la margen opuesta.....	49
Figura 3.5 - Sección de aforo en el río Tercero ubicada en el balneario de la ciudad homónima.....	50
Figura 3.6 - Sección de aforo en el río Tercero ubicada en el balneario de la ciudad homónima.....	50
Figura 3.7 - Sección de aforo en el río Tercero ubicada en el cruce con ruta 158 (Villa María).....	51
Figura 3.8 - Sección de aforo en el río Tercero ubicada en el cruce con ruta 158 (Villa María).....	51
Figura 3.9 - Sección de aforo en el río Tercero ubicada en el puente Lavalle (Villa María).....	52
Figura 3.10 - Sección de aforo en el río Tercero ubicada en el puente Lavalle (Villa María).....	52
Figura 3.11 - Sección de aforo en el río Tercero ubicada en el azud Bell Ville.....	53
Figura 3.12 - Sección de aforo en el río Tercero ubicada en el azud Bell Ville.....	53
Figura 3.13 - Sección de aforo en el río Tercero ubicada en el azud San Marcos.....	54
Figura 3.14 - Sección de aforo en el río Tercero ubicada en el azud San Marcos.....	54
Figura 3.15 - Sección de aforo en el río Tercero ubicada en la confluencia con el río Saladillo.....	55
Figura 3.16 - Sección de aforo en el río Tercero ubicada en la confluencia con el río Saladillo.....	55
Figura 3.17 - Sección de aforo en el río Saladillo ubicada en el cruce con la ruta provincial 6.....	56
Figura 3.18 - Sección de aforo en el río Saladillo ubicada en el cruce con la ruta provincial 6.....	56
Figura 3.19 - Sección de aforo en el río Saladillo ubicada en la confluencia con el río Tercero.....	57
Figura 3.20 - Sección de aforo en el río Saladillo ubicada en la confluencia con el río Tercero.....	57
Figura 3.21 - Sección de aforo en el río Carcarañá ubicada en la confluencia entre los ríos Tercero y Saladillo.....	58
Figura 3.22 - Sección de aforo en el río Carcarañá ubicada en la confluencia entre los ríos Tercero y Saladillo.....	58
Figura 3.23 - Sección de aforo sobre el río Carcarañá ubicada a 11,5km aguas abajo de la confluencia en cercanías de la localidad de Inrville.....	59
Figura 3.24 - Sección de aforo sobre el río Carcarañá ubicada a 11,5km aguas abajo de la confluencia en cercanías de la localidad de Inrville.....	59

Figura 3.25 - Sección de aforo sobre el río Carcarañá ubicada en el cruce con ruta provincial 12 en cercanías de la localidad de Inrville.....	60
Figura 3.26 - Sección de aforo sobre el río Carcarañá ubicada en el cruce con ruta provincial 12 en cercanías de la localidad de Inrville.....	60
Figura 3.27 - Sección de aforo en el río Carcarañá ubicada en el cruce con la ruta provincial 15 (Santa Fe) en proximidades de la localidad de Cruz Alta.....	61
Figura 3.28 - Sección de aforo en el río Carcarañá ubicada en el cruce con la ruta provincial 15 (Santa Fe) en proximidades de la localidad de Cruz Alta.....	61
Figura 3.29 - Sección de aforo en el río Carcarañá ubicada en el Parque Sarmiento de la localidad de Carcarañá.	62
Figura 3.30 - Sección de aforo en el río Carcarañá ubicada en el Parque Sarmiento de la localidad de Carcarañá.	62
Figura 3.31 - Sección de aforo en el río Carcarañá ubicada en la ciudad de Pueblo Andino....	63
Figura 3.32 - Sección de aforo en el río Carcarañá ubicada en la ciudad de Pueblo Andino....	63
Figura 3.33 - Sección de aforo en el río Carcarañá ubicada en proximidades de la localidad de Gaboto.	64
Figura 3.34 - Sección de aforo en el río Carcarañá ubicada en proximidades de la localidad de Gaboto.	64
Figura 3.35 - Sección de aforo en el arroyo Tortugas ubicada en proximidades de la localidad homónima.	65
Figura 3.36 - Sección de aforo en el arroyo Tortugas ubicada en proximidades de la localidad homónima.	65
Figura 3.37 - Determinación de temperatura y conductividad utilizando una sonda multiparamétrica marca Horiba modelo U-10.....	66
Figura 3.38 - Imagen del recorrido del barco en método loop en el río Tercero (puente ruta 158, Villa María).	70
Figura 3.39 - Imagen del recorrido del barco en método loop en el río Tercero (puente Lavalle, Villa María).	76
Figura 3.40 - Nivel de agua sobre azud Bell Ville.....	80
Figura 3.41 - Distancia entre la trayectoria del ADCP y el azud.....	80
Figura 3.42 - Compuertas en azud Bell Ville.	81
Figura 3.43 - Nivel de agua sobre azud San Marcos.	82
Figura 3.44 - Distancia entre la trayectoria del ADCP y el azud.....	82
Figura 3.45 - Compuertas en azud San Marcos.....	82
Figura 4.1 - Caudales en diferentes tramos de los cursos de agua aforados durante los días 30 de septiembre y 1 de octubre de 2013.	88
Figura 4.2 - Caudales en diferentes tramos de los cursos de agua aforados durante los días 19 y 20 de noviembre de 2013.....	89
Figura 4.3 - Campo de velocidades promedio de la sección del río Tercero en balneario de la ciudad homónima (11/06/2012).....	91
Figura 4.4 - Campo de velocidades promedio de la sección del río Tercero en balneario de la ciudad homónima (10/09/2012).....	91
Figura 4.5 - Campo de velocidades promedio de la sección del río Tercero en balneario de la ciudad homónima (12/11/2012).....	92
Figura 4.6 - Campo de velocidades promedio de la sección del río Tercero en la confluencia con el río Saladillo (17/12/2012).....	92
Figura 4.7 - Campo de velocidades promedio de la sección del río Saladillo en la confluencia con el río Tercero (17/12/2012).....	93
Figura 4.8 - Campo de velocidades promedio de la sección del río Tercero en balneario de la ciudad homónima (04/03/2013).....	93
Figura 4.9 - Campo de velocidades promedio de la sección del río Tercero en la confluencia con el río Saladillo (14/05/2013).....	94
Figura 4.10 - Campo de velocidades promedio de la sección del río Saladillo en la confluencia con el río Tercero (14/05/2013).....	94
Figura 4.11 - Campo de velocidades promedio de la sección del río Tercero en balneario de la ciudad homónima (28/05/2013).....	95
Figura 4.12 - Campo de velocidades promedio de la sección del río Tercero en puente ruta 158 (Villa María) (11/06/2013).....	95

Figura 4.13 - Campo de velocidades promedio de la sección del río Saladillo en puente ruta 6 (Monte Buey) (11/06/2013).	96
Figura 4.14 - Campo de velocidades promedio de la sección del río Carcarañá en Inrville (11/06/2013).	96
Figura 4.15 - Campo de velocidades promedio de la sección del río Carcarañá en puente ruta 15 (Cruz Alta) (11/06/2013).	97
Figura 4.16 - Campo de velocidades promedio de la sección del río Tercero en la confluencia con el río Saladillo (13/08/2013).	97
Figura 4.17 - Campo de velocidades promedio de la sección del río Saladillo en la confluencia con el río Tercero (13/08/2013).	98
Figura 4.18 - Campo de velocidades promedio de la sección del río Carcarañá en la confluencia entre los ríos Tercero y Saladillo (13/08/2013).	98
Figura 4.19 - Campo de velocidades promedio de la sección del río Tercero en balneario de la ciudad homónima (09/09/2013).	99
Figura 4.20 - Campo de velocidades promedio de la sección del río Saladillo en puente ruta 6 (10/09/2013).	99
Figura 4.21 - Campo de velocidades promedio de la sección del río Carcarañá en Inrville (10/09/2013).	100
Figura 4.22 - Campo de velocidades promedio de la sección del río Saladillo en puente ruta 6 (Monte Buey) (30/09/2013).	100
Figura 4.23 - Campo de velocidades promedio de la sección del río Carcarañá en Inrville (30/09/2013).	101
Figura 4.24 - Campo de velocidades promedio de la sección del río Carcarañá en puente ruta 15 (Cruz Alta) (30/09/2013).	101
Figura 4.25 - Campo de velocidades promedio de la sección del río Carcarañá en Parque Sarmiento (Carcarañá) (30/09/2013).	102
Figura 4.26 - Campo de velocidades promedio de la sección del río Carcarañá en Pueblo Andino (01/10/2013).	102
Figura 4.27 - Campo de velocidades promedio de la sección del río Carcarañá en Gaboto (01/10/2013).	103
Figura 4.28 - Campo de velocidades promedio de la sección del río Tercero (Ctalamochita) en puente Lavalle (Villa María) (19/11/2013).	103
Figura 4.29 - Campo de velocidades promedio de la sección del río Saladillo en puente ruta 6 (Monte Buey) (19/11/2013).	104
Figura 4.30 - Campo de velocidades promedio de la sección del río Carcarañá en puente ruta 12 (Inrville) (19/11/2013).	104
Figura 4.31 - Campo de velocidades promedio de la sección del río Carcarañá en puente ruta 15 (Cruz Alta) (19/11/2013).	105
Figura 4.32 - Campo de velocidades promedio de la sección del río Carcarañá en Parque Sarmiento (Carcarañá) (19/11/2013).	105
Figura 4.33 - Campo de velocidades promedio de la sección del río Carcarañá en Pueblo Andino (20/11/2013).	106
Figura 4.34 - Campo de velocidades promedio de la sección del río Carcarañá en Gaboto (20/11/2013).	106
Figura 4.35 - Campo de velocidades promedio de la sección del arroyo Tortugas en la localidad homónima (20/11/2013).	107
Figura 4.36 - Campo de velocidades promedio de la sección azud Bell Ville (17/12/2013).	107
Figura 4.37 - Campo de velocidades promedio de la sección azud San Marcos (17/12/2013).	108
Figura 4.38 - Evolución del caudal del río Tercero en el balneario de la ciudad homónima.	108
Figura 4.39 - Contraste entre los caudales reportados en la Tabla 4.5 (erogados en la central hidroeléctrica) y los caudales medidos en la sección emplazada en el Balneario de la ciudad de Río Tercero.	109
Figura 4.40 - Evolución del caudal de los ríos Tercero y Saladillo en la confluencia.	110
Figura 4.41 - Evolución del caudal del río Carcarañá en diferentes secciones de aforo.	110
Figura 4.42 - Evolución de la conductividad en [mS/cm] para diferentes tramos de los ríos Tercero, Saladillo y Carcarañá durante los días 30 de septiembre y 01 de octubre de 2013.	111

Figura 4.43 - Evolución de la conductividad en [mS/cm] para diferentes tramos de los ríos Tercero, Saladillo, Carcarañá y Arroyo Tortugas durante los días 19 y 20 de noviembre de 2013.....	112
Figura 4.44 - Lecturas con nivel y mira telescópica, en río Carcarañá - sección Parque Sarmiento (Carcarañá).....	113
Figura 4.45 - Pendiente y ecuación de la recta del Río Tercero (Ctalamochita) – Sección puente Lavalle (Villa María).....	113
Figura 4.46 - Pendiente y ecuación de la recta del Río Saladillo – Sección puente ruta 6 (MB).	114
Figura 4.47 - Pendiente y ecuación de la recta del Río Carcarañá – Sección puente ruta 12 (Inrville).....	114
Figura 4.48 - Pendiente y ecuación de la recta del Río Carcarañá – Sección Parque Sarmiento.	115
Figura 4.49 - Pendiente y ecuación de la recta del Arroyo Tortugas – Sección Tortugas.....	115
Figura 4.50 - Serie de tamices.....	118
Figura 4.51 - Probeta con solución de suelo, agua y defloculante, y el hidrómetro en su interior.	119
Figura 4.52 - Curva granulométrica del Río Tercero (Ctalamochita) – Sección puente Lavalle (Villa María).....	121
Figura 4.53 - Muestra de suelo del Río Tercero (Ctalamochita) – Sección puente Lavalle (Villa María).....	121
Figura 4.54 - Curva granulométrica del Río Saladillo – Sección puente ruta 6 (Monte Buey)..	122
Figura 4.55 - Muestra de suelo del Río Saladillo – Sección puente ruta 6 (Monte Buey).....	123
Figura 4.56 - Curva granulométrica del Arroyo Tortugas – Sección Tortugas.....	124
Figura 4.57 - Muestra de suelo del Arroyo Tortugas – Sección Tortugas.....	124
Figura 4.58 - Curva granulométrica del Río Carcarañá – Sección puente ruta 12 (Inrville).....	126
Figura 4.59 - Muestra de suelo del Río Carcarañá – Sección puente ruta 12 (Inrville).....	126
Figura 4.60 - Curva granulométrica del Río Carcarañá – Sección puente ruta 15 (Cruz Alta).	127
Figura 4.61 - Muestra de suelo del Río Carcarañá – Sección puente ruta 15 (Cruz Alta).....	128
Figura 4.62 - Curva granulométrica del Río Carcarañá – Sección Parque Sarmiento (Carcarañá).....	129
Figura 4.63 - Muestra de suelo del Río Carcarañá – Sección Parque Sarmiento (Carcarañá).	129
Figura 4.64 - Curva granulométrica del Río Carcarañá – Sección Pueblo Andino.....	131
Figura 4.65 - Muestra de suelo del Río Carcarañá – Sección Pueblo Andino.....	131
Figura 4.66 - Curva granulométrica del Río Carcarañá – Sección Gaboto.....	132
Figura 4.67 - Muestra de suelo del Río Carcarañá – Sección Gaboto.....	133
Figura 4.68 - Comparación entre las curvas granulométricas de los ríos Carcarañá, Tercero y Saladillo y arroyo Tortugas.....	133
Figura 4.69 - Comparación entre las curvas granulométricas de las diferentes secciones de aforo a lo largo del río Carcarañá.....	134

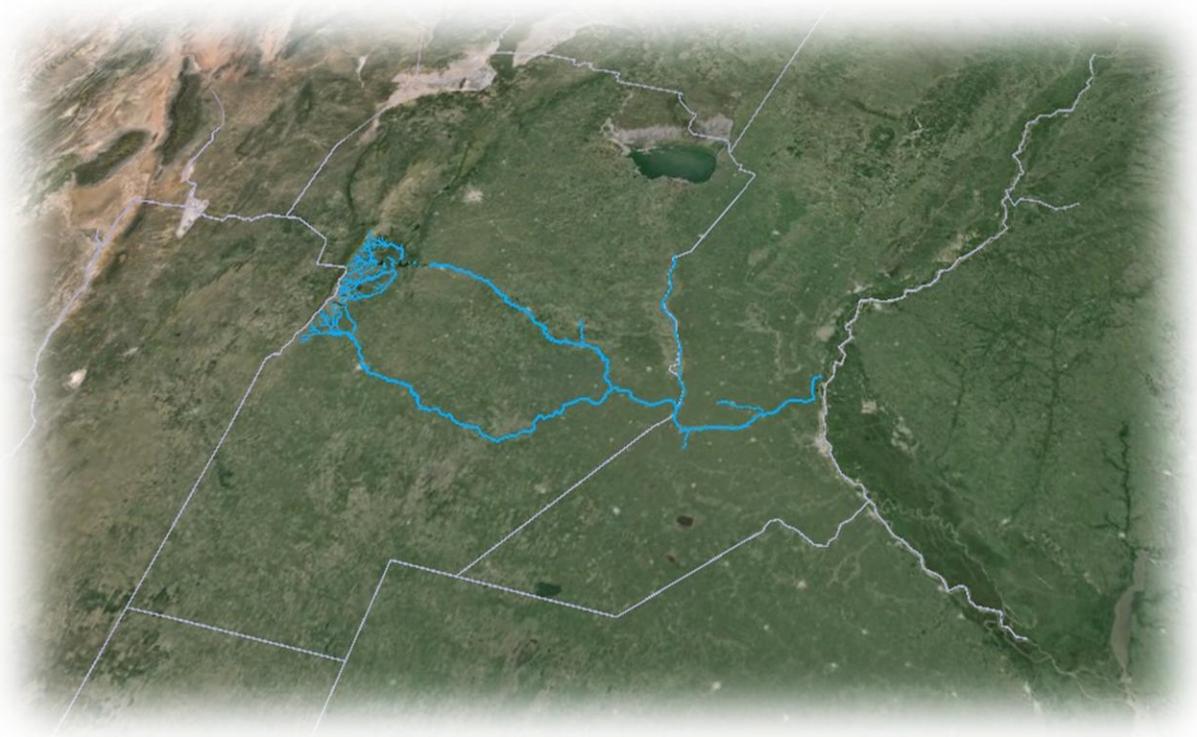
ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 - Características ADCP RiverSurveyor S5 utilizado en este trabajo (Manual Sontek 2010).....	32
Tabla 2.2 - Características técnicas de la sonda multiparamétrica Horiba U-10 (Horiba).	44
Tabla 3.1- Parámetros hidráulicos del río Tercero (Ctalamochita) - Sección balneario.....	67
Tabla 3.2- Parámetros hidráulicos del río Tercero (Ctalamochita) - Sección balneario.....	67
Tabla 3.3- Parámetros hidráulicos del río Tercero (Ctalamochita) - Sección balneario.....	68
Tabla 3.4- Parámetros hidráulicos del río Tercero (Ctalamochita) - Sección confluencia.	68
Tabla 3.5- Parámetros hidráulicos del río Saladillo - Sección confluencia.	68
Tabla 3.6- Parámetros hidráulicos del río Tercero (Ctalamochita) - Sección balneario.....	69
Tabla 3.7- Parámetros hidráulicos del río Tercero (Ctalamochita) - Sección confluencia.	69
Tabla 3.8- Parámetros hidráulicos del río Saladillo - Sección confluencia.	69
Tabla 3.9- Parámetros hidráulicos del río Tercero (Ctalamochita) - Sección balneario.....	70
Tabla 3.10- Parámetros hidráulicos del río Tercero (Ctalamochita) - Sección puente ruta 158 (Villa María).....	70
Tabla 3.11- Reporte del método loop para la sección del río Tercero en puente ruta 158 (Villa María).....	71
Tabla 3.12- Parámetros hidráulicos del río Saladillo - Sección puente ruta 6 (Monte Buey).	71
Tabla 3.13- Parámetros hidráulicos del río Carcarañá- Sección Inrville.	71
Tabla 3.14- Parámetros hidráulicos del río Carcarañá - Sección puente ruta 15 (Cruz Alta).	72
Tabla 3.15- Parámetros hidráulicos del río Tercero (Ctalamochita) - Sección confluencia.	72
Tabla 3.16- Parámetros hidráulicos del río Saladillo - Sección confluencia.	72
Tabla 3.17- Parámetros hidráulicos del río Carcarañá - Sección confluencia.	73
Tabla 3.18- Parámetros hidráulicos del río Tercero (Ctalamochita) - Sección balneario.....	73
Tabla 3.19- Parámetros hidráulicos del río Saladillo - Sección puente ruta 6 (Monte Buey).	73
Tabla 3.20- Parámetros hidráulicos del río Carcarañá - Sección Inrville.	74
Tabla 3.21- Parámetros hidráulicos del río Saladillo - Sección puente ruta 6 (Monte Buey).	74
Tabla 3.22- Parámetros hidráulicos del río Carcarañá - Sección Inrville.	74
Tabla 3.23- Parámetros hidráulicos del río Carcarañá - Sección puente ruta 15 (Cruz Alta).	75
Tabla 3.24- Parámetros hidráulicos del río Carcarañá - Sección Parque Sarmiento.	75
Tabla 3.25- Parámetros hidráulicos del río Carcarañá - Sección Pueblo Andino.	75
Tabla 3.26- Parámetros hidráulicos del río Carcarañá - Sección Gaboto.	76
Tabla 3.27- Parámetros hidráulicos del río Tercero (Ctalamochita) – Sección puente Lavelle (Villa María).....	76
Tabla 3.28- Reporte del método loop para la sección del río Tercero en puente Lavelle (Villa María).....	77
Tabla 3.29- Parámetros hidráulicos del río Saladillo – Sección puente ruta 6 (Monte Buey).	77
Tabla 3.30- Parámetros hidráulicos del río Carcarañá - Sección puente ruta 12 (Inrville).....	77
Tabla 3.31- Parámetros hidráulicos del río Carcarañá - Sección puente ruta 15 (Cruz Alta).	78
Tabla 3.32- Parámetros hidráulicos del río Carcarañá - Sección Parque Sarmiento (Carcarañá).	78
Tabla 3.33- Parámetros hidráulicos del río Carcarañá - Sección Pueblo Andino.	78
Tabla 3.34- Parámetros hidráulicos del río Carcarañá - Sección Gaboto.	79
Tabla 3.35- Parámetros hidráulicos del arroyo Tortugas - Sección Tortugas.....	79
Tabla 3.36- Parámetros hidráulicos del río Tercero (Ctalamochita) – Sección azud Bell Ville.	79
Tabla 3.37- Parámetros hidráulicos del río Tercero (Ctalamochita) – Sección azud San Marcos.	81
Tabla 3.38 - Conductividad y temperatura en diferentes secciones de aforo.	83
Tabla 4.1 - Caudales medidos en diferentes secciones de aforo durante la campaña N°11.....	87
Tabla 4.2 - 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%.	88
Tabla 4.3 - Caudales medidos en diferentes secciones de aforo durante la campaña N°12.....	88
Tabla 4.4 - Parámetros hidráulicos de las diferentes secciones de aforo.	90

Tabla 4.5 - 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.....	109
Tabla 4.6 - Pendientes en las diferentes secciones de aforo.....	115
Tabla 4.7 - Coeficiente de rugosidad de Manning del Río Tercero (Ctalamochita) – Sección puente Lavalle (Villa María).....	116
Tabla 4.8 - Coeficiente de rugosidad de Manning del Río Saladillo – Sección puente ruta 6 (MB).....	116
Tabla 4.9 - Coeficiente de rugosidad de Manning del Río Carcarañá – Sección puente ruta 12 (Inriville).....	117
Tabla 4.10 - Coeficiente de rugosidad de Manning del Río Carcarañá – Sección Parque Sarmiento (Carcarañá).....	117
Tabla 4.11 - Coeficiente de rugosidad de Manning del Arroyo Tortugas – Sección Tortugas..	117
Tabla 4.12 - Sistema de Clasificación de Suelos Unificado (USCS).....	120
Tabla 4.13 - Método de análisis mecánico mediante tamices aplicado al Río Tercero (Ctalamochita) – Sección puente Lavalle (Villa María).....	120
Tabla 4.14 - Método del hidrómetro aplicado al Río Saladillo – Sección puente ruta 6 (M.B.)	122
Tabla 4.15 - Método de análisis mecánico mediante tamices aplicado al Río Saladillo – Sección puente ruta 6 (Monte Buey).....	122
Tabla 4.16 - Método del hidrómetro aplicado al Arroyo Tortugas – Sección Tortugas.....	123
Tabla 4.17 - Método de análisis mecánico mediante tamices aplicado al Arroyo Tortugas – Sección Tortugas.....	124
Tabla 4.18 - Método del hidrómetro aplicado al Río Carcarañá – Sección puente ruta 12 (Inriville).....	125
Tabla 4.19 - Método de análisis mecánico mediante tamices aplicado al Río Carcarañá – Sección puente ruta 12 (Inriville).....	125
Tabla 4.20 - Método de análisis mecánico mediante tamices aplicado al Río Carcarañá – Sección puente ruta 15 (Cruz Alta).....	126
Tabla 4.21 - Método del hidrómetro aplicado al Río Carcarañá – Sección puente ruta 15 (Cruz Alta).....	127
Tabla 4.22 - Método del hidrómetro aplicado al Río Carcarañá – Sección Parque Sarmiento (Carcarañá).....	128
Tabla 4.23 - Método de análisis mecánico mediante tamices aplicado al Río Carcarañá – Sección Parque Sarmiento (Carcarañá).....	129
Tabla 4.24 - Método del hidrómetro aplicado al Río Carcarañá – Sección Pueblo Andino.....	130
Tabla 4.25 - Método de análisis mecánico mediante tamices aplicado al Río Carcarañá – Sección Pueblo Andino.....	130
Tabla 4.26 - Método de análisis mecánico mediante tamices aplicado al Río Carcarañá – Sección Gaboto.....	131
Tabla 4.27 - Método del hidrómetro aplicado al Río Carcarañá – Sección Gaboto.....	132

CAPÍTULO 1

Marco Referencial



CAPÍTULO 1 – MARCO REFERENCIAL

1.1. INTRODUCCIÓN

El Agua es un recurso natural imprescindible para el desarrollo de la vida y es el principal regulador de los ecosistemas naturales. Aunque no lo percibimos cotidianamente, este recurso es uno de los elementos centrales para la realización de la mayoría de las actividades que tienen que ver con nuestra vida como personas, como sociedades y como especie.

El Agua es un recurso frágil porque su uso inadecuado compromete su disponibilidad; es escaso porque solo el 1% del total del agua del planeta está disponible para uso humano; y no es renovable porque su degradación puede ser irreversible.

En la actualidad, tanto el agua superficial como la subterránea, es utilizada por el hombre no solo para consumo, sino también para el desarrollo de procesos productivos, en industrias, riego de campos, generación de energía eléctrica, como cuerpo receptor para disposición final de aguas residuales industriales y de estaciones depuradoras de efluentes cloacales, entre otros. Este proceso de intervención del hombre y uso indiscriminado del agua, genera impactos significativos alterando caudales, afectando la calidad del agua y las especies acuáticas, lo que produce efectos negativos en el ecosistema fluvial.

Debido a lo expresado anteriormente, resulta de gran importancia realizar un seguimiento del recurso hídrico con un enfoque integral y así poder elaborar un plan de acción a implementar en las diferentes cuencas.

1.2. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL SISTEMA EN ESTUDIO

El río Carcarañá nace en la provincia de Córdoba por la confluencia de los ríos Tercero o Ctlamochita (del cual es de directa continuación) y Saladillo (nombre del curso inferior del río Cuarto). Luego de recibir los aportes del arroyo Tortugas, ingresa en la provincia de Santa Fe, a la que cruza desembocando en cercanías de la localidad de Gaboto en el río Coronda, que a su vez lo hace en el río Paraná (Figura 1.1).

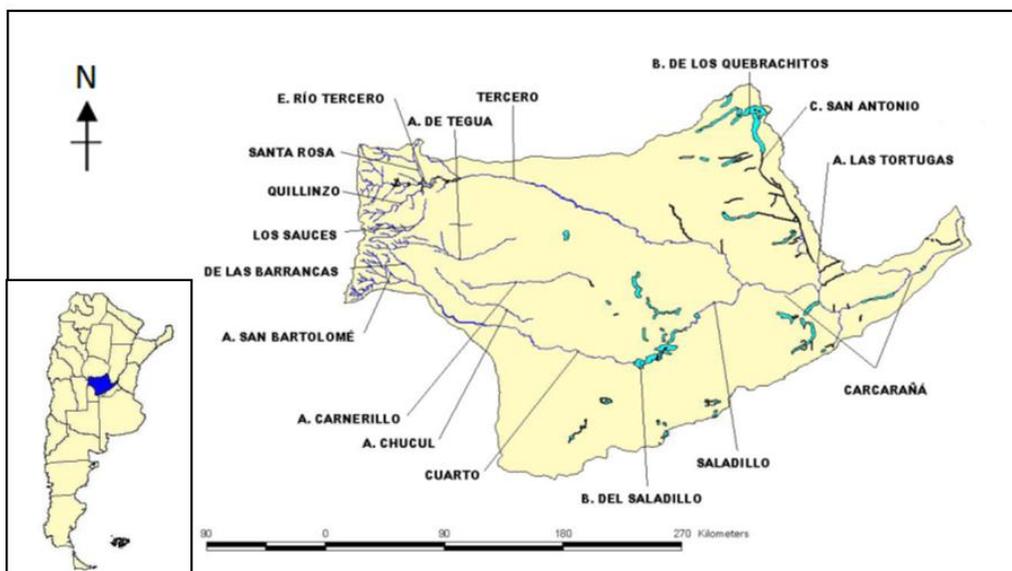


Figura 1.1 - Cuenca del río Carcarañá.

La subcuenca del río Tercero o Ctalamochita (Figura 1.2), uno de los principales tributarios del río Carcarañá, 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 1.1). 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 1.2 - Cuenca del Río Tercero (Lenarduzzi, 2013).

La cuenca alta del río Tercero es explotada hidroeléctricamente a través de dos sistemas (Figura 1.3). 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 Almafuerie (Córdoba), el río toma características de llanura hasta la confluencia con el río Saladillo.



Figura 1.3 - 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 en ese canal.

Saldaño (2010) presentó una contribución al desarrollo de un modelo de calidad de agua para el río Tercero (Ctalamochita). 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 esperado 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 micromolinetes 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), incluido en el 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), otro de los tributarios principales de la cuenca del Carcarañá, tiene como principales afluentes a los ríos de las Barrancas, San Bartolomé, de la Tapa y Piedra Blanca (Figura 1.1). 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 que permitió calibrar una curva Altura-Caudal en la sección del azud.

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 1.1) 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 en la actualidad 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 1.1).

Uno de los arroyos de mayor importancia en la cuenca baja del río Carcarañá es el Tortugas. Este arroyo fue canalizado para transportar el agua proveniente de desagües pluviales urbanos y del escurrimiento superficial en campos de la región centro-este de la provincia de Córdoba y del oeste de la provincia de Santa Fe (Figura 1.1).

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:

- a) Estación UME PAY (Lat.32° 13' 00,00"; Long.64° 43' 60,00"), ubicada sobre el río Grande (cuenca alta del río Tercero), aguas arriba de las explotaciones hidroeléctricas del complejo Río Grande. Debido a 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.
- b) Estación PUEBLO ANDINO (Lat.32° 40' 24,00"; Long.60° 51' 57,40"), que se encuentra sobre el río Carcarañá, cuenta con datos de Altura, Caudal Medio Diario, Caudal Medio Diario Máximo, Caudal Medio Diario Mínimo, Caudal Medio Mensual, Caudal Máximo Instantáneo y Caudal Mínimo Instantáneo para el periodo 1980 – 2013.

1.3. PROBLEMÁTICA PRESENTE

La cuenca del río Carcarañá ocupa un área aproximada de 48.000km² y se extiende sobre el centro-sudeste de la provincia de Córdoba y el sur de la provincia de Santa Fe. Debido al gran tamaño, los eventos hidrometeorológicos que ocurren en la región afectan de distinta forma a las diferentes zonas de la cuenca. Esto influye de manera notable en el caudal que aporta cada tributario y por ende en el comportamiento general del sistema. Debido a ello y a la escasez de información hidrológica disponible, es necesario realizar monitoreos para cuantificar y caracterizar el escurrimiento superficial de los cursos de agua, para conocer sus variaciones tanto espaciales como temporales.

Los tributarios del río Carcarañá tienen una gran relevancia en la región central de la República Argentina. Particularmente, el sistema fluvial del Río Tercero (Ctalamochita) es uno de los principales recursos de agua superficial de la Red Hidrográfica de la Provincia de Córdoba. Los asentamientos urbanos e industriales emplazados en sus márgenes hacen uso del agua del río tanto para consumo, procesos industriales, riego, pesca, o para verter distintas clases de desechos (Bedogni, 2011). A través de trece acueductos se provee agua para consumo humano a poblaciones del Noreste y Sur de la Provincia. Además el río Tercero recibe el vertido de diferentes tipos de industrias (diecisiete en total) y de efluentes cloacales provenientes de tres estaciones depuradoras. Por otra parte existe un Canal Desviador de líquidos pluviales localizado en la Ciudad de Bell Ville, que tiene su descarga en el río (Oviedo Zabala, 2009).

Al pasar el río Tercero (Ctalamochita) por la ciudad homónima tiene a sus márgenes el complejo de industrias químicas, donde la producción de las mismas abarca desde sustancias elementales como ácido nítrico y agua oxigenada, hasta herbicidas, pesticidas y compuestos petroquímicos. Luego pasa por el balneario de la ciudad y a continuación están ubicadas, una curtiembre, un matadero y en el límite urbano, la planta de tratamientos de líquidos cloacales. Los antecedentes de estudio de calidad de agua llevadas a cabo en el río Tercero (Ctalamochita), indican diferentes niveles de contaminación relacionados con los efluentes industriales y cloacales que se vierten. Se observa que cuando desciende el caudal de agua en el río, no se produce una adecuada dilución de los efluentes cloacales e industriales vertidos. La autodepuración se hace lenta y en tramos, el agua no es apta para la vida acuática, es impropia para uso recreativo y los procesos de potabilización se tornan costosos (Larrosa, 2008; Moreyra, 2008).

La importancia del río Carcarañá y en particular de sus tributarios principales como el río Tercero (Ctalamochita) como recurso regional, ambiental y económico justifica su estudio a los fines de poder plantear alternativas que garanticen un uso sustentable del mismo.

A continuación se incluye un reporte periodístico relacionado a la importancia de la cuenca del río Tercero para la provincia de Córdoba:

➤ *La Voz del Interior - Martes 28 de Enero de 2014: "¿Una reserva de agua para la ciudad de Córdoba?"*

El último de los seis diques que embalsa las aguas del río Ctalamochita parece ser visto, en medio de la escasez, como un reservorio clave para el futuro hídrico provincial.

Varios proyectos, tanto de técnicos afines al Gobierno provincial como de la oposición, lo citan como una fuente alternativa de provisión de agua potable para el Gran Córdoba. La idea es que un acueducto lo conecte al que ya lleva agua del dique Los Molinos a la Capital.

La ciudad de Córdoba, como las satélites a su alrededor que no dejan de crecer, necesitarán más fuentes de agua. La cuenca del río Primero (lago San Roque) está al límite y no resiste más extracciones. A la del Segundo (lago Los Molinos) no le sobra mucho ya. La del Tercero, en tanto, con un caudal promedio de 27 mil litros por segundo (contra casi 10 mil de las dos anteriores) parece tener aún algo para ofrecer.

Si esa posibilidad avanza, no será sin discusiones. Como cualquiera que Córdoba ensaye ahora para llevar agua de un sitio a otro que no la tenga.

Por el Piedras Moras, Almafuerte pedirá que no le achiquen sus sueños de explotación turística. Río abajo, hay sectores que advierten la necesidad de preservar el "caudal ecológico" (el mínimo que no afecte la sustentabilidad y biodiversidad del río) recordando que en bajantes pronunciadas la mortandad de peces se hizo visible. Además, un estudio reciente sobre la enorme reserva de agua subterránea de calidad existente entre Río Tercero y Villa María, concluyó que la recarga principal depende del río, a la altura de este lago. Y esas napas son claves para el agua potable de varias ciudades de la región, como para 40 más del sur y este cordobés a las que, desde Villa María, les llega por acueductos. Como se hace desde el mismo río, en Bell Ville, para satisfacer más de 30 localidades del sudeste cordobés. La cuenca del Ctalamocho ya abastece a gran parte de la provincia.

El agua del Piedras Moras, o la que deriva bajo tierra formando otro lago mayor y subterráneo, aparece como un resguardo a futuro para el sistema hídrico cordobés, aunque no todos los especialistas estén convencidos del caudal que se le podría retirar.

De todos modos, nadie debería imaginar planes urgentes, en una provincia que lleva décadas sin poder siquiera reparar el ya existente acueducto que une Los Molinos con la Capital para que, al menos, no pierda parte del agua que transporta. Mientras tanto, lo elemental será preservar este lago. Como recuperar los demás. Porque en recursos hídricos ya no nos sobra nada a los cordobeses.

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. Objetivos Generales

El objetivo principal de este trabajo es el diseño y ejecución de una primer etapa de un plan de monitoreo integral de las aguas superficiales escurridas en la cuenca del río Carcarañá con el fin de cuantificar y caracterizar el escurrimiento superficial en esa cuenca. Este trabajo se encuadra en un esfuerzo conjunto que llevan adelante tres instituciones de las Provincias de Córdoba y Santa Fe (CETA de la Universidad Nacional de Córdoba, CIFASIS CCT Rosario y la Secretaría de Recursos Hídricos del Gobierno de la Provincia de Córdoba)

1.4.2. Objetivos Específicos

- Avanzar en el conocimiento de los procesos hidrológicos, hidráulicos y fluviales que se producen en la cuenca del río Carcarañá;
- Selección de instrumentos y técnicas de medición óptimas, y correspondiente entrenamiento en su uso;
- Selección de secciones de medición óptimas en cada tributario o curso principal, lo cual incluye el análisis de:

- accesibilidad;
- características geomorfológicas;
- características del flujo;
- caudales relativos aportados por cada subcuenca.
- Desarrollo de las correspondientes mediciones;
- Análisis de caudales escurridos y características hidrodinámicas de las secciones analizadas que incluyen:
 - Campos instantáneos tridimensionales de velocidad del flujo,
 - Campos medios tridimensionales de velocidad del flujo,
 - Conductividad,
 - Pendiente,
 - Coeficiente de rugosidad de Manning,
 - Granulometría;
- Elaboración de recomendaciones futuras relacionadas a la incorporación de más sitios, técnicas y métodos de medición.

1.5. METODOLOGÍA DE TRABAJO EMPLEADA

Para cumplimentar los objetivos propuestos, las actividades que se desarrollaron fueron:

- Análisis de antecedentes y definición de la problemática existente;
- Recopilación de información del sistema;
- Entrenamiento en el uso de técnicas experimentales;
- Realización de campañas de medición en las diferentes secciones de estudio;
- Procesamiento y análisis de información;
- Elaboración de resultados y recomendaciones.

En adición, y como manera de difusión de los resultados obtenidos, se presenta al final de este informe el trabajo presentado en el Simposio Regional sobre Hidráulica de Ríos 2013, desarrollado en la ciudad de Santa Fe en noviembre de 2013.

CAPÍTULO 2

Técnicas Experimentales Utilizadas



CAPÍTULO 2 – TÉCNICAS EXPERIMENTALES UTILIZADAS

2.1 DESCRIPCIÓN DEL INSTRUMENTO

Para la obtención de los diferentes parámetros hidráulicos en distintas secciones del sistema fluvial analizado, se utilizó el Perfilador de Corriente Acústico Doppler (ADCP) "RiverSurveyor S5", fabricado por YSI/Sontek, el cual fue adquirido por el Laboratorio de Hidráulica de la Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Este aparato cuenta con la tecnología acústica Doppler más usada actualmente en todo el mundo a la hora de caracterizar flujos turbulentos en sistemas fluviales y canales artificiales de aguas poco profundas.

El ADCP provee información batimétrica (profundidades) de la sección y de las velocidades del flujo en tres direcciones ortogonales, lo que permite definir el caudal con un error general aproximado cercano al 2 o 3%.

Esta técnica de medición utiliza el efecto Doppler, transmitiendo pulsos de sonidos a una determinada frecuencia y escuchando los ecos reflejados por las partículas microscópicas o plancton presentes en el agua. De esta forma, registrando el movimiento de partículas en el agua y determinando sus posiciones sucesivas, es capaz de obtener los valores de las velocidades de esas partículas que bajo ciertas hipótesis puede ser asumida igual a la velocidad del flujo (baja inercia de las partículas).

El instrumento puede ser utilizado con una computadora personal o bien con un teléfono celular, ambos dispositivos capaces de registrar los datos medidos. Los resultados obtenidos utilizando el ADCP RiverSurveyor S5 se visualizan con el programa computacional RiverSurveyor Live.

El dispositivo no posee movilidad propia, motivo por el cual es necesario colocar el ADCP en una balsa o bote capaz de transportarlo a través de la sección sobre la que se realizará la medición. Esto puede apreciarse en la Figura 2.1.

El equipo RiverSurveyor S5 cuenta con una nueva incorporación tecnológica, el "SmartPulseHD", el cual es un micro controlador inteligente que en base a la profundidad, velocidad y niveles de turbulencia del flujo, ajusta de manera automática el esquema de pulso acústico con el fin de proveer la máxima resolución de datos. La cantidad de celdas determinan la mayor o menor definición de los resultados. De esta manera, en aquellas situaciones críticas con grandes variaciones de las variables medidas, pueden obtenerse celdas de hasta 2 cm; lo mismo sucede en zonas bajas, en donde el perfil es muy variable en su escasa profundidad, lo que requiere que la precisión de la medición aumente. Todos estos ajustes en el sistema se realizan automáticamente, sin necesidad de que el usuario realice cambios.

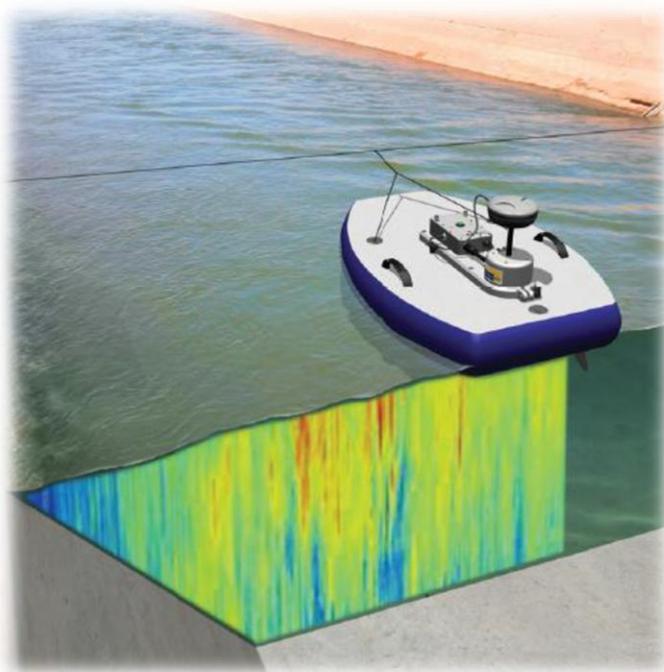


Figura 2.1 - Funcionamiento del ADCP (extraído del folleto RiverSurveyor - Sontek).

El ADCP RiverSurveyor S5 tiene un conjunto de cuatro micro controladores, que son cuatro haces de rayos acústicos que se encuentran inclinados 25° con respecto a la vertical. Gracias a estos micro controladores puede medirse la velocidad en tres direcciones (el sistema de cuatro rayos provee información redundante en una dirección generalmente la vertical). Trabajan con señales acústicas con una frecuencia de 3,0 MHz, enviando pulsos en todas direcciones.

Además, el ADCP posee un rayo acústico vertical que envía señales a una frecuencia mayor (1,0 MHz) lo que le permite tener un mayor alcance en profundidad. Su función es medir las profundidades y obtener la batimetría y topografía del fondo de la sección.

Ambos elementos se muestran en la Figura 2.2.

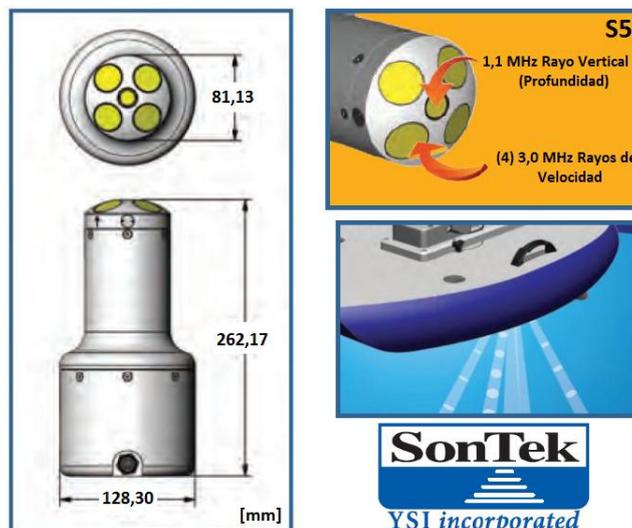


Figura 2.2 - Descripción del instrumento utilizado (extraído del folleto RiverSurveyor - Sontek).

Además del sistema de rayos acústicos, para el funcionamiento del equipo hacen falta otros elementos (Figura 2.3), a saber:

- Un módulo de energía y comunicación (Figura 2.4), o "PCM" por sus siglas en inglés (Power and Communications Module), el cual posee dos funciones básicas: proporcionar una alimentación de energía al ADCP mediante una batería recargable, y permitir comunicaciones remotas del equipo con una computadora o con un teléfono celular a través de un enlace con ondas de radio.
- Un dispositivo Bluetooth de tecnología avanzada y largo alcance, de tal forma de que se permita la comunicación remota con el equipo receptor de la señal (en el caso del instrumento disponible en el Laboratorio de Hidráulica - FCFyN, una computadora personal). Al operar con una computadora, puede lograrse un alcance de hasta 200 metros con la señal, mientras que con los teléfonos celulares regulares pueden lograrse alcances de hasta 60 metros aproximadamente.
- Un GPS, el cual se coloca en la misma balsa sobre la cual se encuentra el ADCP, de tal forma de poder comparar las señales de movimiento del equipo (obtenidas con este elemento) y las del ADCP, y para poder referenciar geográficamente la sección de las mediciones desde otros programas. El dispositivo GPS se conecta también al PCM.
- Una computadora portátil o dispositivo móvil capaz de soportar el programa computacional RiverSurveyor Live v.2.00 y el soporte RiverSurveyor v1.00 del instrumental, para ejecutar y correr el programa que recibe, ordena y muestra los datos registrados por el ADCP en tiempo real, permitiendo realizar un seguimiento de los resultados de manera simultánea con la medición misma.
- Fichas de adaptación, que permitan la conexión de todos los dispositivos anteriormente mencionados. Deben permitir conexiones estancas y seguras, ya que muchos de estos dispositivos se colocan en el agua.

Cada uno de los elementos nombrados debe verificarse de tal forma de que el conjunto trabaje de forma correcta, y que no haya interferencias entre las señales de los distintos dispositivos.



Figura 2.3 - Elementos necesarios para el correcto funcionamiento del ADCP.

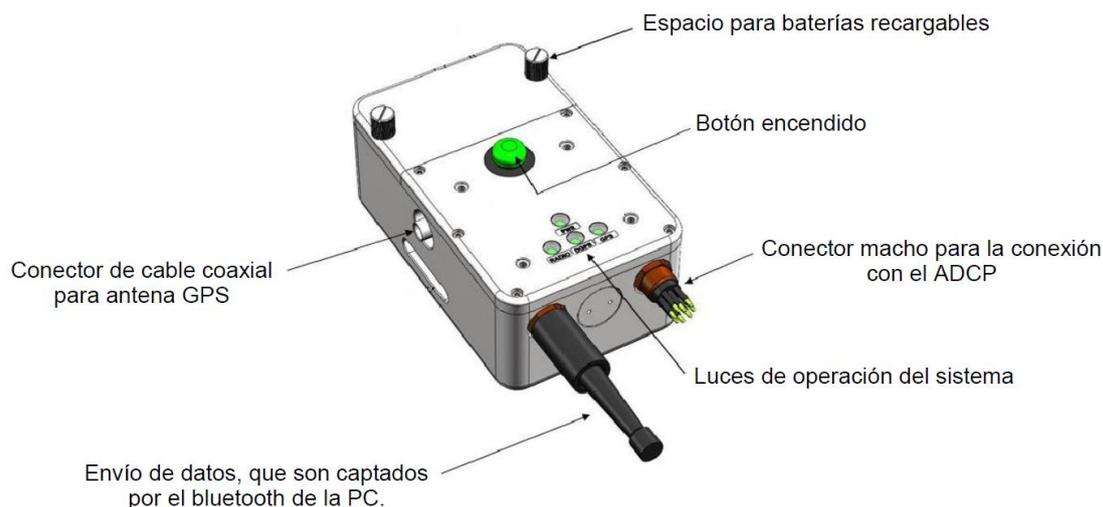


Figura 2.4 - Módulo de energía y comunicación (extraído del folleto RiverSurveyor - Sontek).

A continuación se adjuntan las especificaciones técnicas del ADCP disponible en el Laboratorio de Hidráulica - FCEFYN utilizado en este trabajo (Tabla 2.1).

Tabla 2.1 - Características ADCP RiverSurveyor S5 utilizado en este trabajo (Manual Sontek 2010).

ESPECIFICACIONES "S5"		
Medición de velocidad	Rango de mediciones	0,06 a 5m
	Velocidades	+/- 20m/s
	Precisión	Hasta +/- 0,25% de la velocidad media
	Resolución	0,001m/s
	Nº de celdas	Hasta 128
Configuración del transductor	Tamaño de celda	0,02 a 0,5m
	Cinco (5) transductores	4 rayos de 3,0MHz inclinados a 25º Rayo vertical de 1,0MHz
Profundidad	Rango de mediciones	0,20 a 15m
	Precisión	1%
	Resolución	0,001m
Medición de flujos	Rango con Bottom-track (seguimiento de fondo)	0,30 a 5m
	Rango con RTK GPS	0,30 a 15m
	Cálculos	Internos

2.2 VENTAJAS DEL ADCP SOBRE OTRAS TÉCNICAS DE MEDICIÓN DE VELOCIDAD DE FLUJO Y CAUDALES

Si bien la técnica ADCP es relativamente nueva en comparación con otras utilizadas universalmente, presenta ciertas ventajas que la colocan en una posición de privilegio a la hora de realizar mediciones.

Tradicionalmente se utilizaron para la cuantificación de la velocidad del flujo y a partir de ello la cuantificación del caudal, y aún hoy se utilizan, molinetes. Estos dispositivos (Figura 2.5) son fáciles de operar y las técnicas son bien conocidas en todo el mundo.



Figura 2.5 - Molinete de eje horizontal.

El ADCP es un instrumento que va registrando el perfil de velocidades en cada punto de la sección a medida que avanza sobre la misma y en las tres direcciones, mientras que el molinete registra velocidades en puntos aislados de la sección, y únicamente cuando el flujo pasa a través de la cabeza de la hélice en dirección paralela a su eje.

Los molinetes permiten determinar de forma mecánica la velocidad en cierta zona de la sección mediante la relación entre la velocidad angular de la hélice que poseen y la velocidad del agua en dicha región, relación calibrada para cada tipo de molinete. Básicamente, lo que se hace es obtener la cantidad de vueltas que da la hélice en cierto intervalo de tiempo, a través de un contador electrónico. El método consiste entonces en dividir la sección en fajas, de área conocida, y medir la velocidad característica de las mismas a cierta profundidad, y con dichos valores se obtiene el caudal. La técnica ADCP genera campos tridimensionales de velocidad del flujo en una amplia zona de la sección relevada.

El ADCP es capaz de medir profundidades, velocidades en corrientes de agua tridimensionales y definir el caudal total con un error de aproximadamente 2% o 3%. El molinete considera un flujo unidimensional solamente, y su precisión es bastante inferior. Según se presenta en diferentes estudios, la incertidumbre de los molinetes en la determinación del caudal es del orden del 10% (Hernández, J. et al., 2008).

Para el uso del ADCP se necesita, como se mencionó anteriormente, por lo menos de tres operarios, mientras que el molinete requiere solamente uno. Sin embargo el tiempo de medición de una sección con ADCP es inferior al tiempo requerido con molinetes.

A la hora de la puesta en marcha, el molinete requiere poco tiempo de armado, y generalmente vienen calibrados de fábrica; solamente requieren una verificación de funcionamiento de sus componentes mecánicos. En cambio, el ADCP requiere de un tiempo de calibración de los accesorios al sistema (brújula), la preparación del dispositivo inalámbrico y conexión al dispositivo receptor, como así también cruzar la soga de una orilla hacia la otra para poder guiar el instrumento. Además requiere de

una serie de accesorios que condicionan la posibilidad de su utilización, como es el caso de un bote o un puente para poder hacer pasar el ADCP a través del río.

El ADCP es capaz de medir varios parámetros con una precisión muy buena, tales como el área de la sección, mientras que en el caso del molinete, la misma se aproxima mediante fajas de ancho conocido y profundidad promedio entre dos puntos.

Si bien se comparó al ADCP con el molinete por ser el método más utilizado históricamente, cabe aclarar que no son las únicas técnicas de medición empleadas. De acuerdo a la precisión buscada, se utilizan métodos más simples o más complejos, que van desde la medición del tiempo que tarda un cuerpo en recorrer cierta distancia en un río tomando dicho parámetro como la velocidad promedio o una fracción de ella y multiplicando dicha velocidad por un área estimada o medida con métodos sencillos, hasta la instalación de vertederos con los cuales se puede conocer el caudal midiendo la altura de agua sobre la cresta y conociendo la curva de descarga. Todo depende de los fines para los cuales se necesita la información, y de la justificación económica a la hora de buscar una mayor o menor precisión en los resultados.

2.3 ARMADO DEL DISPOSITIVO MÓVIL

Para la puesta en marcha del equipo, deben realizarse una serie de tareas. Las mismas comprenden, en orden de ejecución:

- Todos los elementos deben ir desarmados para su transporte, por lo que se necesita acoplarlos. Se comienza por el barco, el cual consiste en una superficie flotante sintética que traslada el ADCP, GPS, y demás elementos. Lo primero que debe hacerse con el mismo es colocar las quillas plásticas en su cara inferior (sumergida) de tal forma de darle estabilidad.
- Se colocan y aseguran el ADCP y el PCM en los espacios asignados a tal fin, procurando evitar golpes, y considerando que es muy importante que el cabezal de medición del ADCP no sea golpeado en la operación.
- Se encastra y se asegura el GPS en el barco y se conectan posteriormente todos los dispositivos, verificando que enciendan.
- Conectar con Bluetooth el equipo y la computadora.
- En la proa del barco, se asegura un arnés de sujeción el cuál lo vinculará con la soga destinada para trasladar todo el conjunto. Sin embargo, no se amarra el barco a la soga hasta no terminar la calibración del programa. El equipo queda así completamente armado y puede procederse a su configuración.

En la Figura 2.6 se pueden apreciar las distintas partes que componen el equipo en su conjunto. Además de los elementos enunciados, puede apreciarse que el barco posee a sus costados dos amarres que son de utilidad en el traslado del equipo y a la hora de realizar la calibración.

Debido a su tamaño y su peso, no es fácil manipular el barco, y además debe tenerse sumo cuidado porque un golpe podría afectar seriamente a cualquiera de los

dispositivos, los cuales quedarán obsoletos para la realización de la medición, con las correspondientes pérdidas económicas y en tiempo que generan los equipos rotos y las campañas fallidas.



Figura 2.6 - Barco de medición con todos los dispositivos instalados (YSI/Sontek).

2.4 PROGRAMAS COMPUTACIONALES

2.4.1 RiverSurveyor Live

La configuración de registro del ADCP, y la recepción y visualización de los datos no puede ser realizada si no se cuenta con el programa computacional específico. Para el modelo de ADCP que se cuenta, el programa necesario es el RiverSurveyor Live (Figura 2.7). El mismo permite configurar el instrumento y registra toda la información enviada por el equipo y genera resultados en forma de tablas, gráficos e imágenes, permitiendo además exportar los resultados a otros programas para un análisis más detallado, tales como Microsoft Excel o Matlab.

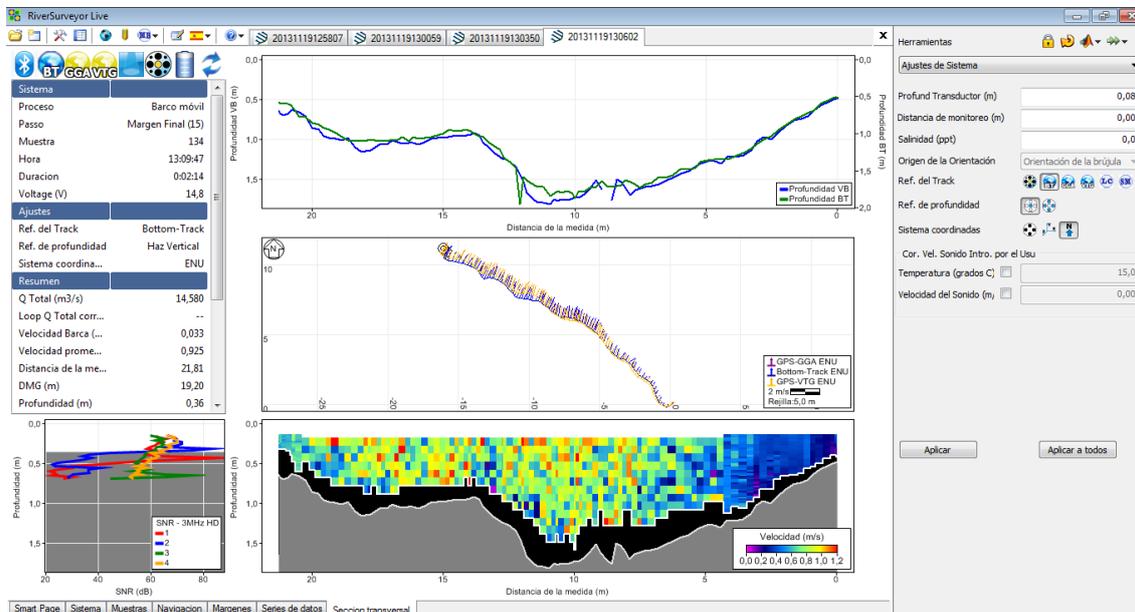


Figura 2.7 - Interfaz del programa RiverSurveyor.

La interfaz del programa es amigable, y el mismo no requiere gran poder de procesamiento, por lo que prácticamente cualquier dispositivo puede soportarlo.

Este programa es capaz de definir la configuración de registros y analizar los datos que el ADCP envía en tiempo real, permitiendo al usuario la lectura de resultados parciales mientras la medición se está llevando a cabo. Sin embargo, para poder analizar los datos de manera correcta, el programa necesita cierta información que debe ser proporcionada antes de realizar las mediciones. La puesta a punto del programa para su utilización será discutida en la Sección 2.4.1.1.

El programa viene incluido en la adquisición de los productos, y puede ser actualizado a través de la página de YSI/Sontek, desde donde también puede pedirse soporte técnico y repuestos, entre otras cosas.

2.4.1.1 Configuración de registro del ADCP

Para la definición de la configuración de registro se deben seguir los siguientes pasos:

- Se inicializa el programa River Surveyor Live y se abre la hoja de configuración del sistema. Allí debe introducirse toda la información referente al lugar, siendo conveniente no solamente completar los campos que el programa requiere, si no también escribir una descripción detallada sobre la medición, ya que esto muchas veces ayuda a posteriori para describir las tareas realizadas y para poder ordenar las diferentes campañas. Se ingresan entonces la fecha, características del lugar de la campaña, operarios de los equipos, etc., según se muestra en la Figura 2.8.

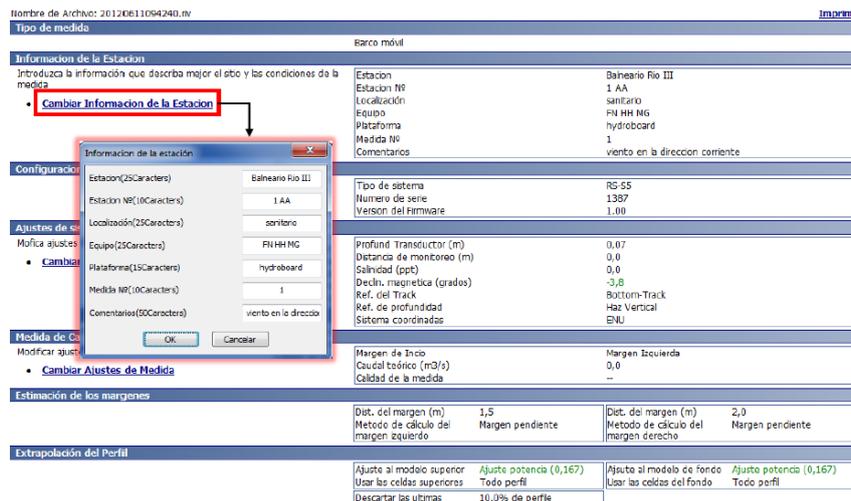


Figura 2.8 - Información general de la medición.

- Luego se introducen los ajustes del sistema (Figura 2.9), los cuales consisten en valores que, a diferencia de lo introducido anteriormente, sí van a afectar de forma directa los resultados de la medición. Los mismos son: **profundidad del transductor**, que se refiere a la distancia vertical que hay desde el pelo del agua hasta la base del rayo vertical, obteniéndose este valor en base a pruebas con cada tipo de bote (“P” en la Figura 2.10) para el equipo disponible en el Laboratorio de Hidráulica - FCEFYN esta profundidad en de 7,5cm; **distancia de monitoreo**, que es la distancia vertical entre la base del rayo vertical y la sección a partir de la cual se comienzan a registrar datos (“L” en la Figura 2.10); **salinidad**, la cual debe medirse con algún

elemento in situ; **declinación magnética**, referente a dicha magnitud en la zona de la sección a medir, la cual puede obtenerse de la siguiente página web: <http://www.ngdc.noaa.gov/geomagmodels/struts/calcDeclination>, introduciendo los valores de latitud, longitud y día de la medición; **referencia de fondo**, para el cálculo de las velocidades, en donde debemos elegir si el seguimiento de las coordenadas del instrumento se hace con respecto al fondo (Bottom Track) o utilizando GPS; **referencia de profundidad**, en donde debe seleccionarse si se utiliza el rayo vertical o el valor promedio de los cuatro rayos inclinados, de manera de obtener la batimetría; y **sistema de coordenadas**, de tal forma de poder referenciar los datos medidos, eligiendo entonces ENU (este-norte-vertical).

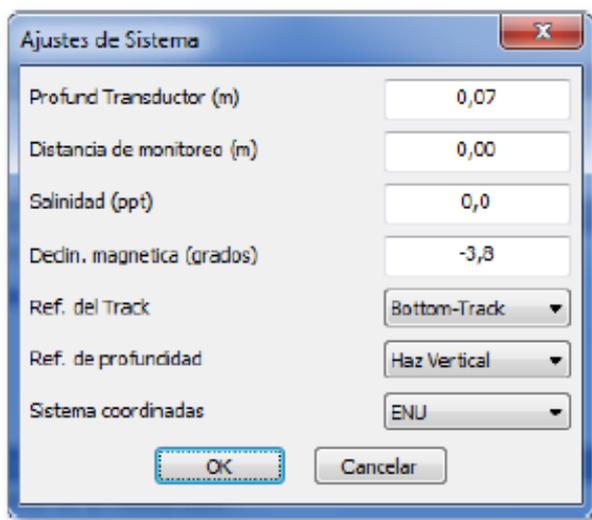


Figura 2.9 - Ajustes del sistema.



Figura 2.10 - Profundidad del transductor -P- y distancia de monitoreo -L-.

- Se define antes de monitorear cada transecta cuál es el margen desde el que se comenzará a medir. Además, en caso de tenerse una estimación de caudal por otro medio (por ejemplo, a partir de un nivel y una curva altura-caudal), puede colocarse el caudal esperado de tal forma de que exista un elemento de control (Figura 2.11). Es importante tener en cuenta que en caso de no introducir correctamente el sentido de medición (de margen derecha a margen izquierda, o al revés) los caudales resultarán negativos en aquellas mediciones en las que se haya introducido el origen erróneamente. Este error, sin embargo, puede ser subsanado corrigiendo luego en la hoja de información de cada transecta en particular el origen.

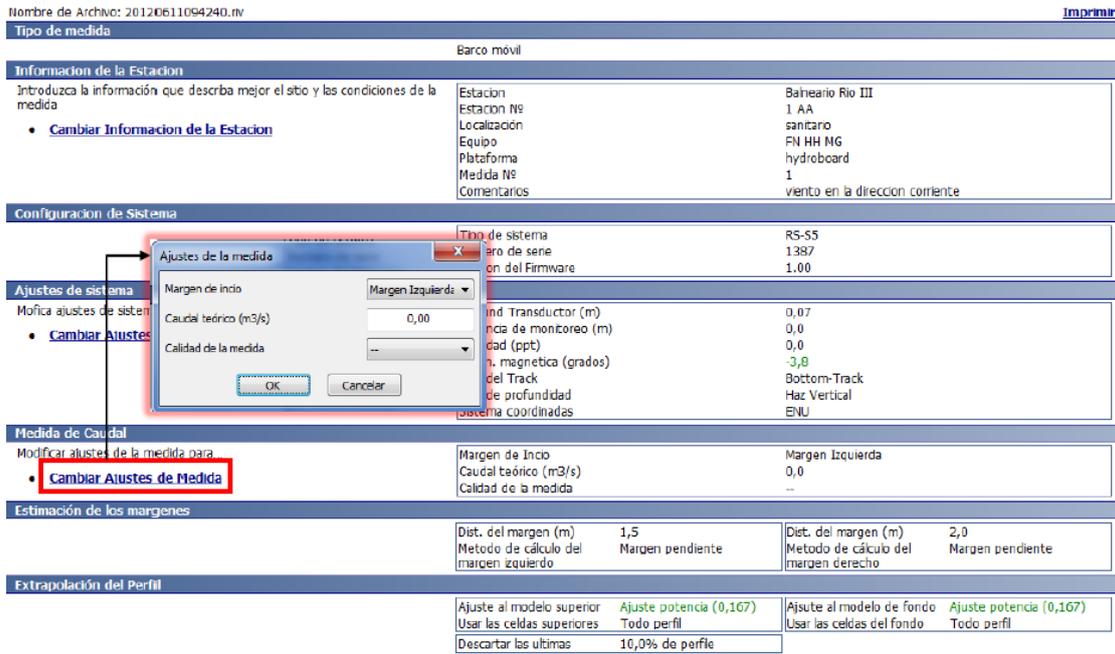


Figura 2.11 - Ajustes sobre la medición.

- Antes de colocar el equipo en el agua, debe realizarse la calibración de la brújula, girando el ADCP a través de dos círculos completos que deben ser realizados en un tiempo mayor a 60 segundos y menor a 120 segundos al variar cabeceo y balanceo, girando sobre un eje e inclinando la barca hacia los costados con ángulos menores a 15°, hacia atrás y hacia adelante, simulando el movimiento del agua. De esta manera se compensan los efectos de campos magnéticos para que no se produzcan variaciones, ya que el equipo utiliza el norte magnético para referenciarse espacialmente. Esta tarea debe verificarse simultáneamente con el programa correspondiente, el cual nos indicará al final de la calibración la calidad de la misma mediante dos valores, uno precedido de la letra M (que debe ser lo menor posible) y un valor precedido de la letra Q (que debe ser lo más cercano a diez posible). De esta forma el equipo está listo para comenzar las mediciones, por lo tanto se lo debe colocar en el agua y presionar el botón de inicio en el programa para que comience a registrar datos.

En caso de presentarse inconvenientes, los mismos podrán notarse en la interfaz del programa. Debe llevarse un registro escrito del nombre de los archivos, sobre todos de aquellos que no serán tomados en cuenta en el posterior análisis debido a distintas causas.

2.4.1.2 Visualización de resultados de las mediciones en el programa

El programa permite varias maneras de muestras de datos. Incluso permite que los resultados mostrados en el resumen de la medición sean calculados en base a distintos métodos. Es por esto que es importante conocer las opciones que el programa permite configurar y su incidencia sobre los resultados, así como saber ubicar las herramientas necesarias para poder ordenar rápidamente los archivos y obtener la información deseada sin pérdidas de tiempo.

Como se puede apreciar en la Figura 2.12, la interfaz del programa cuenta con distintas partes fácilmente diferenciables: en primer lugar, arriba a la izquierda puede verse la lista de los Comandos Básicos, en donde básicamente pueden ajustarse los parámetros descritos en la sección 2.4.1.1, de tal forma de establecer los criterios de procesamiento de los datos; desde allí también es posible la apertura de archivos y el cambio en la disposición de la información mostrada en la interfaz. Por otro lado, en la parte superior al centro y a la derecha pueden encontrarse los archivos que se encuentran abiertos, visualizados en orden de apertura (por defecto, el programa abre los archivos de una campaña en el orden que fueron obtenidos, pero esto puede modificarse). En la parte izquierda de la pantalla se encuentra un breve resumen de cada archivo, de tal forma de obtener los datos que uno seleccione junto con las imágenes de la sección. Además, en la parte inferior izquierda se encuentra una serie de pestañas que se corresponden con las Opciones de Visualización, desde las cuales puede elegirse qué ver en la pantalla. En la figura mostrada se eligió la opción "Sección Transversal", mostrándose así un corte de la sección con las velocidades en el fondo de la sección obtenido con el rayo acústico vertical y el promedio de los cuatro rayos inclinados, y el recorrido del barco utilizando GPS y el sistema de seguimiento de fondo. La opción mostrada en la figura 2.12 es la más útil visualmente, pero para el procesamiento de datos se eligen otras opciones que muestran la información en otro formato, como se la opción "Muestra", que da en pantalla una tabla con los datos de cada celda relevada.

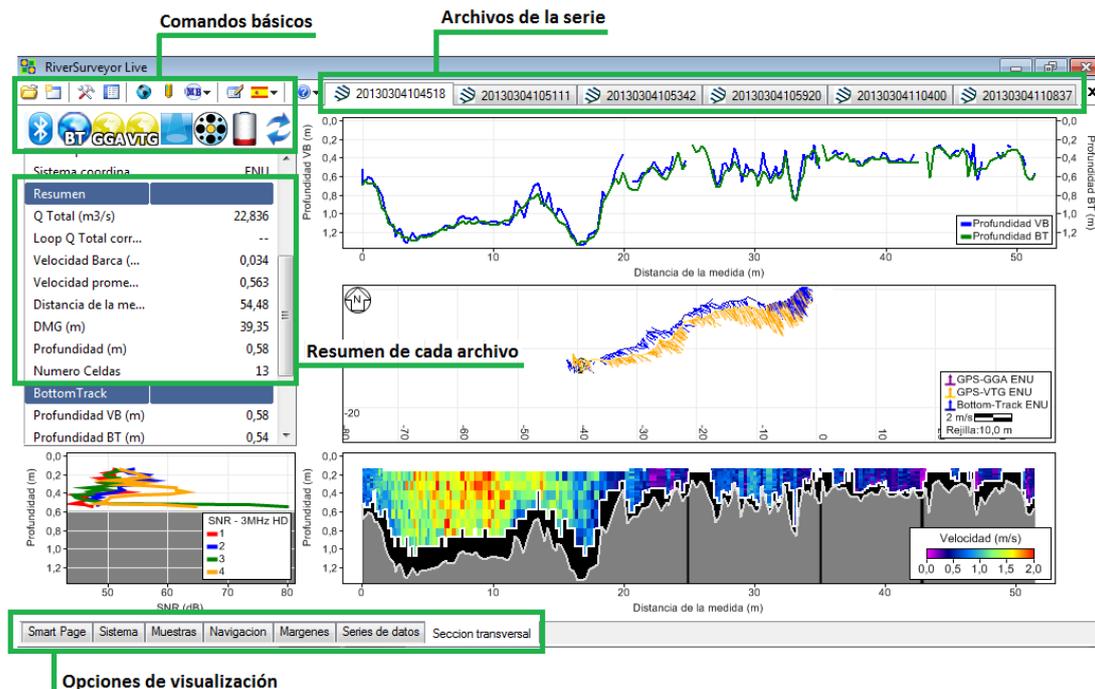


Figura 2.12 - Interfaz del programa RiverSurveyor Live.

Es la pestaña de Muestras la que más sirve en el análisis que se realizó en esta investigación, ya que desde allí se encuentran los datos de magnitud de velocidad de flujo promediados en la vertical. La información que se tiene es la siguiente:

- **Paso:** se refiere al lugar de la sección al cual corresponden los datos medidos (Margen Inicio, En sección transversal, Margen Final).
- **Muestra y Hora:** cantidad de datos medidos y la hora registrada por el instrumento. Como se explicó antes, la frecuencia de registro de datos del instrumento es 1 dato por segundo.
- **Distancia de la medida:** es la distancia que realmente recorre el equipo a lo largo de la sección, sea el recorrido curvo, recto, o en cualquier dirección, incluso bucles.
- **DMG (Distance Made Good):** es la distancia desde la posición inicial hasta la posición actual, es decir, la distancia en línea recta entre ambos puntos.
- **Profundidad:** es la distancia medida hasta el lecho del río.
- **Número de Celdas:** es lo que va a definir la mayor o menor resolución en los resultados, ya que el aparato va ajustando el número de celdas para la toma de datos en las distintas partes de la sección, tomando un gran número de celdas en los márgenes (bajas velocidades).
- **Satélites:** muestra la cantidad de satélites presentes durante la medición. A mayor cantidad de satélites, hay menor posibilidad de errores o interferencias.
- **Velocidad Promedio:** es la magnitud de velocidad media del flujo en la vertical.
- **Caudal Total:** va registrando el caudal acumulado hasta la medición actual, considerando las distintas áreas y velocidades medidas en cada parte de la sección.

La forma con la que se visualiza la pestaña Muestra es mostrada en la Figura 2.13.

Dentro de los Comandos Básicos, una opción permite visualizar (Figura 2.14) el resumen de todas las mediciones de la sección elegida, obteniéndose para cada transecta el tiempo empleado en completarla, el caudal obtenido, la velocidad promedio, el área de sección relevada, la longitud de la sección y la hora en que fue realizada, entre otras cosas, permitiendo así compararlas, de tal forma de identificar valores alejados de la media, y poder definir si la calidad de las mediciones es aceptable o si las mismas deben realizarse de nuevo. La planilla incluye las desviaciones en cada una de las variables tomadas en cuenta, y además permite incluir o no algunas transectas en el cálculo de los promedios, para realizar un análisis de sensibilidad con la inclusión o no de alguna de las series de datos medidas.

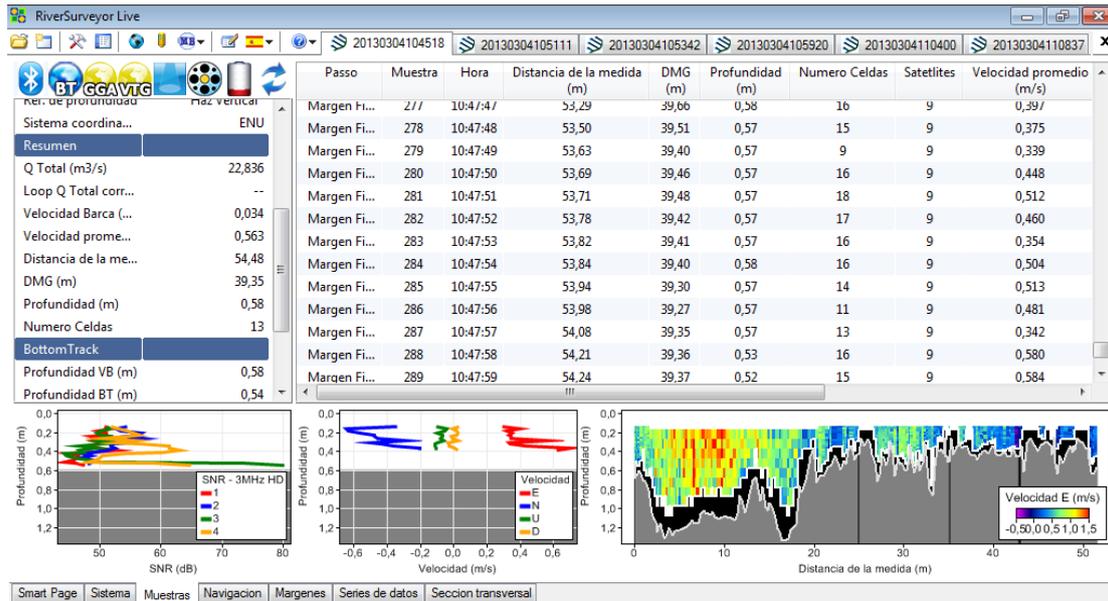


Figura 2.13 - Visualización de la pestaña "Muestras" en el programa.

Archivo	del mar (m)	del mar (m)	Fecha...	Hora...	Durac...	Distancia de la (m)	DMG (m)	Ancho (m)	Area (m2)	Velocidad promedio (m/s)	Velocidad B (m/s)	Izquierc (m3/s)	Derech (m3/s)	Q Total (m3/s)	Total cc (m3/s)	% Medid
20130...	1,00	2,00	04/03...	10:43:...	0:04:53	54,48	39,35	42,346	27,910	0,818	0,186	0,37	0,46	22,836	--	58,4
20130...	1,00	3,00	04/03...	10:49:...	0:02:01	47,76	35,71	39,711	28,459	0,809	0,395	0,40	0,27	23,028	--	60,7
20130...	1,00	3,00	04/03...	10:51:...	0:04:44	57,17	36,38	40,384	28,530	0,805	0,201	0,34	0,00	22,961	--	63,8
20130...	1,00	3,00	04/03...	10:57:...	0:04:10	59,00	36,27	40,265	27,009	0,871	0,236	0,36	0,15	23,524	--	63,1
20130...	1,00	3,00	04/03...	11:01:...	0:04:07	52,34	34,68	38,677	26,577	0,861	0,212	0,39	0,00	22,886	--	60,1
20130...	1,00	3,00	04/03...	11:06:...	0:02:48	54,74	35,93	39,931	27,593	0,864	0,326	0,41	0,17	23,853	--	61,0
Prom...					0:03:47	54,25	36,39	40,219	27,680	0,838	0,259	0,38	0,18	23,181	--	61,2
Devia...					0:01:02	3,59	1,44	1,101	0,714	0,028	0,076	0,02	0,16	0,376	--	1,8
COV					0,000	0,066	0,039	0,027	0,026	0,033	0,292	0,065	0,905	0,016	0,000	0,030

Figura 2.14 - Planilla de resumen de todas las transectas realizadas en una determinada sección.

De la información incluida en esta pestaña se utilizarán los caudales, velocidades, áreas y anchos promedio. Los perfiles transversales de velocidad y fondo se promediarán, por lo que no se verán de la forma en la que se visualizan en el programa.

2.4.2 VMT: Programa para el post-procesamiento de datos

Al realizar mediciones con el ADCP, tal cual se explicó, se efectúan varias transectas (en general más de cuatro) en cada sección elegida. Como se menciono anteriormente, el ADCP registra un perfil de las tres componentes del vector velocidad cada un segundo (frecuencia = 1 Hz). A medida que se desplaza en la sección transversal los perfiles transversales registrados presentan fluctuaciones debido a los patrones medios de flujo presentes, a los procesos turbulentos y al ruido Doppler. Para minimizar estas dos últimas contribuciones se recomienda promediar múltiples transectas en la misma sección.

Para calcular los perfiles medios de velocidad se procede al análisis de los mismos con VMT, según su nombre en inglés, Velocity Mapping Tool. VMT es un programa computacional desarrollado en Matlab para el procesamiento y visualización de los

datos recopilados a lo largo de múltiples transectas ADCP en ríos u otros cuerpos de agua. VMT permite un rápido procesamiento, visualización y análisis de una serie de conjuntos de datos medidos con ADCP, e incluye utilidades para exportar datos de ADCP a archivos compatibles con ArcGIS, Tecplot y Google Earth. El programa computacional puede ser utilizado para explorar patrones de movimiento del fluido tridimensional a través de varios métodos para el cálculo de los flujos secundarios. El programa computacional también incluye capacidades para el análisis de la retrodispersión acústica y los datos batimétricos del ADCP. Una interfaz gráfica de usuario (GUI) mejora la funcionalidad del programa y proporciona fácil acceso a los datos. Además, las funciones de graficado en tres dimensiones permiten una visualización rápida del campo de la velocidad del flujo, la retrodispersión, y los datos de batimetría. (<http://hydroacoustics.usgs.gov/movingboat/VMT/VMT.shtml>)

2.5 RECOMENDACIONES PARA LA MEDICIÓN

Si bien es cierto que el equipo realiza la mayor parte de las actividades durante la medición de forma automática, debe verificarse que se lleven a campaña todos los elementos necesarios para poder realizar las mediciones, así como verificar su correcto funcionamiento. Es por ello que se detallan a continuación algunas de las recomendaciones a considerar a la hora de realizar la medición:

- Selección del sitio de medición: Si bien el objetivo de una medición es obtener datos en una determinada sección, no es posible realizar mediciones en cualquier sección del río debido a impedimentos que el mismo terreno o el entorno plantean. Por ello, debe buscarse una sección del río que sea accesible desde ambos márgenes, o bien desde un puente, de tal forma que el recorrido del equipo pueda ser lo más uniforme posible, evitándose obstrucciones, obteniendo una medición más confiable y fácil de realizar. Además la sección en la que se mide debe presentar un flujo libre de turbulencias y otros efectos producidos por obstáculos naturales o antropogénicos.
- Calibración de la brújula: Se debe calibrar la brújula antes de realizar las mediciones. La calibración debe ser realizada en la zona donde se hará la medición. La presencia de estructuras de metal y líneas de alta tensión pueden afectar significativamente el resultado.
- Definir con precisión las zonas no medidas: Cabe aclarar que el ADCP no puede medir a lo largo de toda la sección, ya que necesita una profundidad mínima para poder registrar celdas. Es por ello que en los márgenes muchas veces debe frenarse el equipo a cierta distancia, la cual debe ser registrada para posteriormente realizar las interpolaciones necesarias (Figura 2.15). A estos fines, el equipo debe permanecer inmóvil durante unos instantes para que el error posterior en la interpolación sea mínimo, y pueda tomarse en cuenta la porción de la sección no medida con la mayor precisión posible. Además, otra región de la sección que el ADCP no puede considerar es la porción de agua que queda comprendida entre la base del rayo vertical y el pelo del agua, ya que dicho espacio no es alcanzado por los rayos; y tampoco puede medirse la porción cercana al fondo del río, ya que las ondas que

allí rebotan presentan mucho ruido. Sin embargo, el equipo es capaz de interpolar los parámetros de la sección para ambos casos (Figura 2.15).

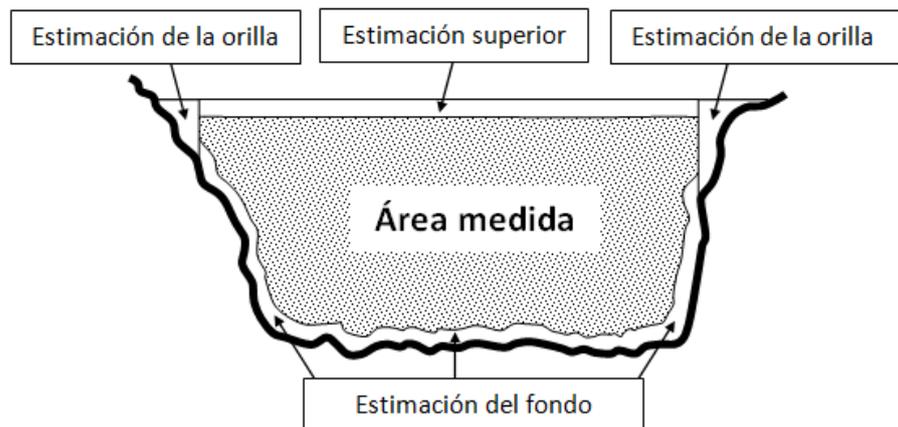


Figura 2.15 - Áreas medidas y áreas estimadas por el ADCP.

- Al realizar las transectas, debe mantenerse la velocidad de la embarcación constante a fines de que las mediciones no se vean afectadas. Es importante también lograr que la velocidad de avance la barca sea siempre menor a la velocidad del agua, de tal forma que el error relativo sea el mínimo posible.
- Actividades previas al trabajo de campo: Como recomendación, hacer una lista de chequeo que contemple revisar baterías (del ADCP y de los dispositivos móviles de recepción de datos), herramientas, barco y accesorios del mismo, soga o elemento de traslación del barco (en caso de que no sea autopropulsada), etc. La comisión precisa de al menos tres operarios, dos para mover el barco con el equipo de lado a lado, y uno que maneje el equipo de recepción (computadora portátil o teléfono celular).
- No siempre se puede acceder a ambas márgenes del río, o bien llegar por tierra a una de ellas no es viable por el tiempo que requiere. En dichos casos, es necesario contar con un bote o kayak capaz de transportar personas de lado a lado del río.

2.6 INSTRUMENTAL ADICIONAL: SONDA MULTIPARAMÉTRICA

Para la determinación de la temperatura y conductividad de la masa de agua in situ se utilizó una sonda multiparamétrica marca Horiba modelo U-10 (Figura 2.16) con 25 m de cable, perteneciente al Laboratorio de Hidráulica de la FCEFN de la UNC.

Dicha sonda presenta precisión de laboratorio (Tabla 2.2) y la facilidad de operación mediante un pulsador para medición de la calidad del agua en el campo. Seis parámetros se pueden medir: pH, temperatura, oxígeno disuelto, conductividad electrolítica, turbidez y salinidad. El sensor mide al ser sumergido directamente en el agua, eliminando la necesidad de recoger muestras.



Figura 2.16 - Sonda multiparamétrica Horiba U-10 (Horiba).

Tabla 2.2 - Características técnicas de la sonda multiparamétrica Horiba U-10 (Horiba).

ESPECIFICACIONES	
Parámetro	Rango de mediciones
pH	0 a 14
Conductividad	0 a 100 mS/cm
Turbidez	0 a 800 NTU
Oxígeno Disuelto	0 a 19.9 mg/l
Temperatura	0 a 50°C
Salinidad	0 a 4%

CAPÍTULO 3

Mediciones Realizadas



CAPÍTULO 3 – MEDICIONES REALIZADAS

3.1. INTRODUCCIÓN

Para realizar una correcta caracterización del sistema en estudio se seleccionaron diferentes secciones de medición a lo largo del río Carcarañá, al igual que en los principales tributarios como el río Tercero, río Saladillo y arroyo Tortugas.

Para la selección de las secciones de medición se buscaron lugares accesibles desde ambas márgenes, o bien desde un puente, de tal forma que el recorrido del equipo sea lo más uniforme posible, evitándose obstrucciones, obteniendo una medición más confiable y fácil de realizar. Otro aspecto a considerar fue que las secciones presenten un flujo libre de turbulencias y otros efectos producidos por obstáculos naturales o antropogénicos, midiéndose en tramos lo más rectos posibles, lejos de pilas de puentes, y otras interferencias que puedan afectar la medición.

En las campañas de aforo se cuantificaron experimentalmente caudales superficiales y se relevaron la temperatura del agua y conductividad de las masas de agua en 6 secciones transversales en el río Tercero (Ctalamochita), 2 secciones en el río Saladillo y 7 secciones en el río Carcarañá. Además en la última campaña de medición donde se presentaron características particulares se aforó el arroyo Tortugas en cercanías de la ciudad homónima (Figura 3.1).

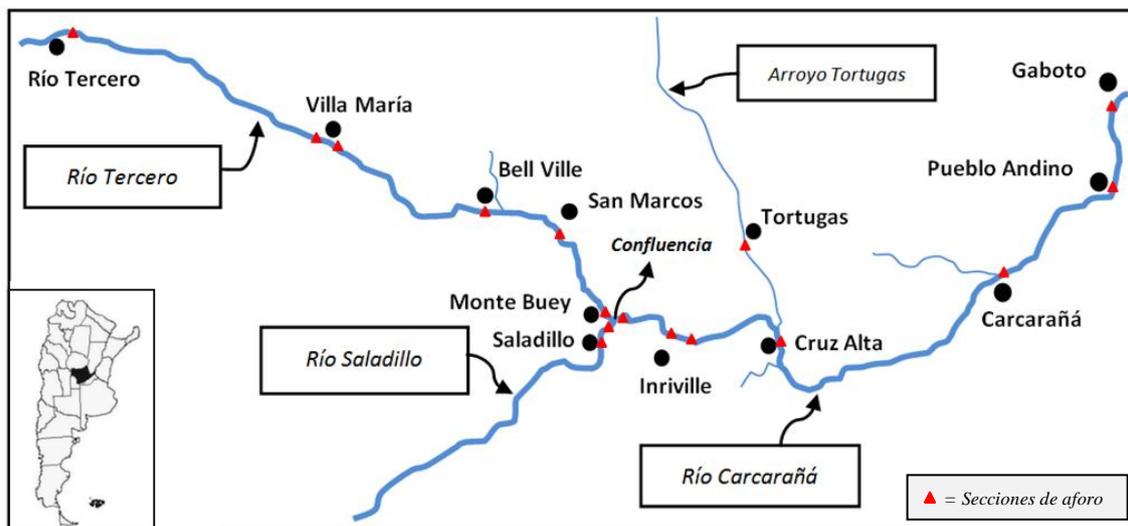


Figura 3.1 - Secciones de aforo en la cuenca del río Carcarañá.

En cada una de las secciones de aforo se realizaron al menos 4 cruces (transectas), las cuales fueron almacenadas por el programa RiverSurveyor Live con un nombre de archivo que consta de un número de varias cifras que indican año, mes, día, hora, minutos y segundos, en el orden mencionado, en el que se realizó cada medición. Por ejemplo, el archivo 20130304104518 indica que la medición fue iniciada en 2013, en el mes 03 (marzo), el día 04, a las 10 horas, 45 minutos y 18 segundos

En algunas de las secciones, las mediciones de velocidad y caudal con ADCP se realizaron remolcando la embarcación desde las márgenes, mientras que en otras la embarcación se operó desde los puentes, dejando que el instrumento se desplace lo más alejado de las pilas posible, debido a la imposibilidad de acceso desde una o ambas márgenes (Figura 3.2 y Figura 3.3).



Figura 3.2 - Medición de velocidades de flujo y caudales remolcando la embarcación desde las márgenes.



Figura 3.3 - Medición de velocidades de flujo y caudales remolcando la embarcación desde un puente.

En las secciones de aforo ubicadas en la confluencia entre los ríos Tercero y Saladillo, y en la ciudad de Carcarañá se utilizó una lancha para poder acceder a la margen opuesta debido a la imposibilidad de hacerlo de otra forma (Figura 3.4).



Figura 3.4 - Utilización de una lancha para acceder a la margen opuesta.

3.2. LOCALIZACIÓN DE LAS SECCIONES DE MEDICIÓN

A lo largo de los años 2012 y 2013 en un esfuerzo conjunto entre tres instituciones de las Provincias de Córdoba y Santa Fe (CETA de la Universidad Nacional de Córdoba, CIFASIS CCT Rosario y la Secretaría de Recursos Hídricos del Gobierno de la Provincia de Córdoba) se realizaron diferentes campañas de aforo para cuantificar experimentalmente caudales superficiales en distintas secciones transversales seleccionadas en los principales tributarios 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 3.1).

Sobre el río Tercero, los caudales erogados en la central hidroeléctrica emplazada en el embalse Piedras Moras proveen en cada campaña de medición 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 (Figuras 3.5 y 3.6). La siguiente sección aforada se encuentra ubicada en inmediaciones del puente sobre la ruta nacional 158 en proximidades de la ciudad de Villa María (Figuras 3.7 y 3.8), además en esta ciudad se realizaron mediciones en el puente Lavalle (Figuras 3.9 y 3.10) ya que el flujo en inmediaciones del puente sobre la ruta nacional 158 presenta características particulares que no son óptimas para el uso del ADCP. 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. Otras secciones de medición sobre el río Tercero se ubican en los azudes existentes en las localidades de Bell Ville (Figuras 3.11 y 3.12) y San Marcos Sud (Figuras 3.13 y 3.14), y también a pocos metros de la confluencia con el río Saladillo (Figuras 3.15 y 3.16).



Figura 3.5 - Sección de aforo en el río Tercero ubicada en el balneario de la ciudad homónima.



Figura 3.6 - Sección de aforo en el río Tercero ubicada en el balneario de la ciudad homónima.



Figura 3.7 - Sección de aforo en el río Tercero ubicada en el cruce con ruta 158 (Villa María).



Figura 3.8 - Sección de aforo en el río Tercero ubicada en el cruce con ruta 158 (Villa María).

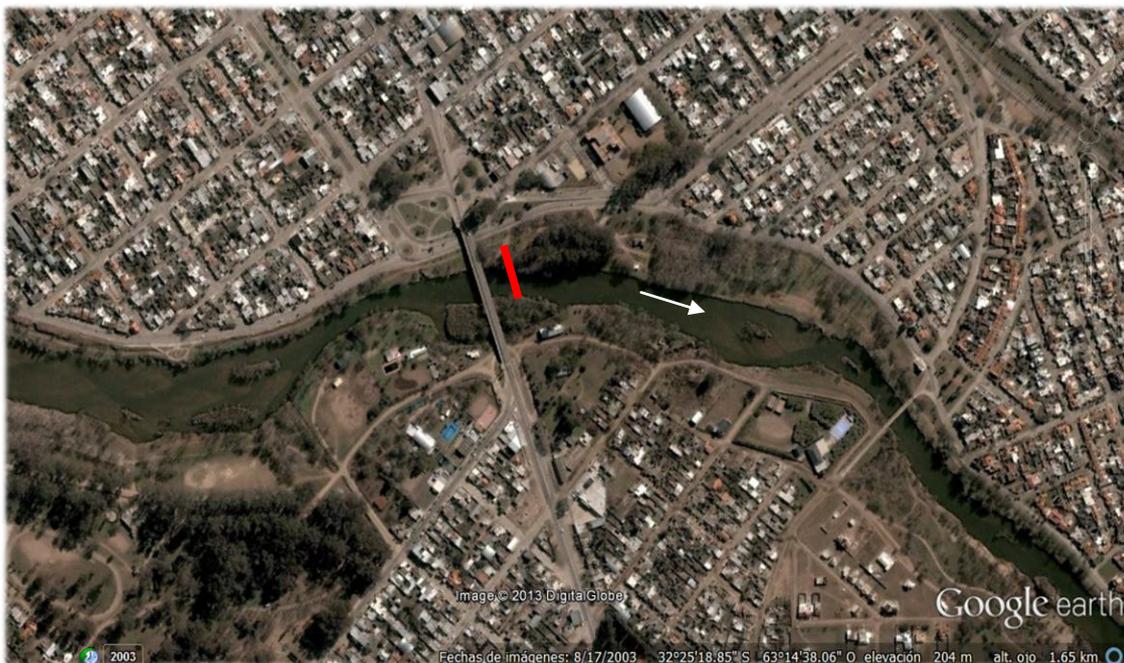


Figura 3.9 - Sección de aforo en el río Tercero ubicada en el puente Lavalle (Villa María).



Figura 3.10 - Sección de aforo en el río Tercero ubicada en el puente Lavalle (Villa María).

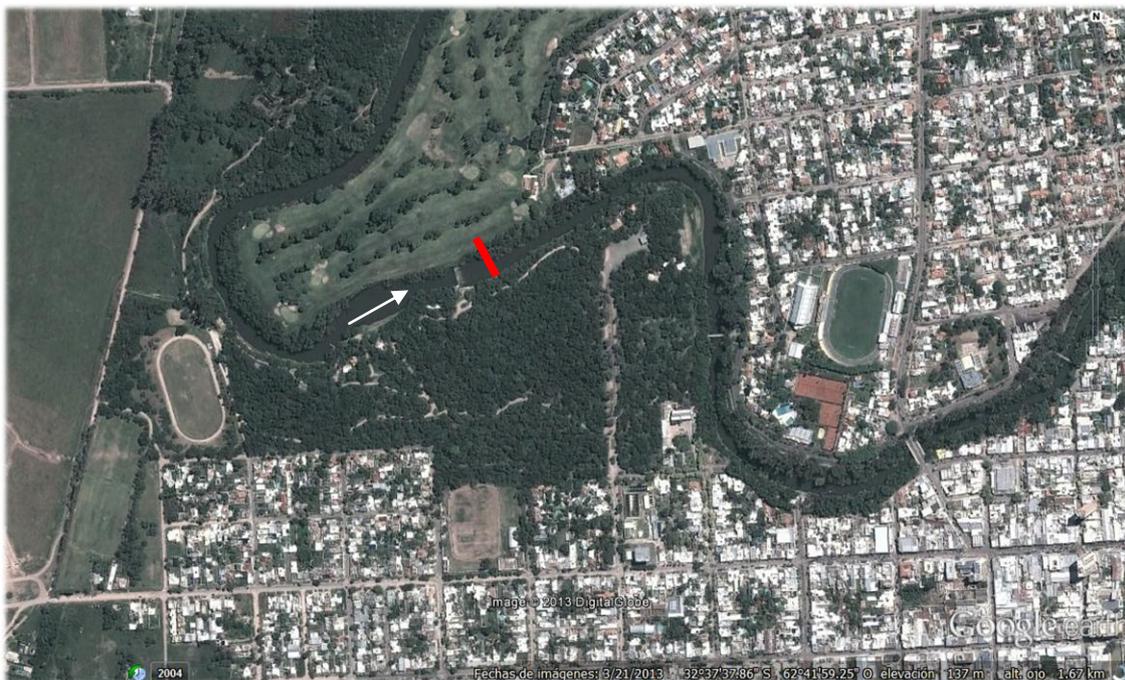


Figura 3.11 - Sección de aforo en el río Tercero ubicada en el azud Bell Ville.



Figura 3.12 - Sección de aforo en el río Tercero ubicada en el azud Bell Ville.



Figura 3.13 - Sección de aforo en el río Tercero ubicada en el azud San Marcos.



Figura 3.14 - Sección de aforo en el río Tercero ubicada en el azud San Marcos.



Figura 3.15 - Sección de aforo en el río Tercero ubicada en la confluencia con el río Saladillo.



Figura 3.16 - Sección de aforo en el río Tercero ubicada en la confluencia con el río Saladillo.

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) (Figuras 3.17 y 3.18). La segunda sección de aforo está ubicada a pocos metros de dicha confluencia (Figuras 3.19 y 3.20).



Figura 3.17 - Sección de aforo en el río Saladillo ubicada en el cruce con la ruta provincial 6.



Figura 3.18 - Sección de aforo en el río Saladillo ubicada en el cruce con la ruta provincial 6.



Figura 3.19 - Sección de aforo en el río Saladillo ubicada en la confluencia con el río Tercero.



Figura 3.20 - Sección de aforo en el río Saladillo ubicada en la confluencia con el río Tercero.

También se cuantificó el caudal en siete secciones sobre el río Carcarañá: a pocos metros de la confluencia entre los ríos Tercero y Saladillo (Figuras 3.21 y 3.22), 11,5km aguas abajo de dicha confluencia en Inrville (Córdoba) (Figuras 3.23 y 3.24), en el puente sobre ruta provincial 12 en cercanías de la ciudad nombrada anteriormente (Figuras 3.25 y 3.26), en Cruz Alta (Córdoba) sobre el puente de la ruta provincial 15 (Figuras 3.27 y 3.28), y en las localidades de Carcarañá (Figuras 3.29 y 3.30), Pueblo Andino (Figuras 3.31 y 3.32) y Gaboto (Figuras 3.33 y 3.34) en la provincia de Santa Fe.



Figura 3.21 - Sección de aforo en el río Carcarañá ubicada en la confluencia entre los ríos Tercero y Saladillo.



Figura 3.22 - Sección de aforo en el río Carcarañá ubicada en la confluencia entre los ríos Tercero y Saladillo.

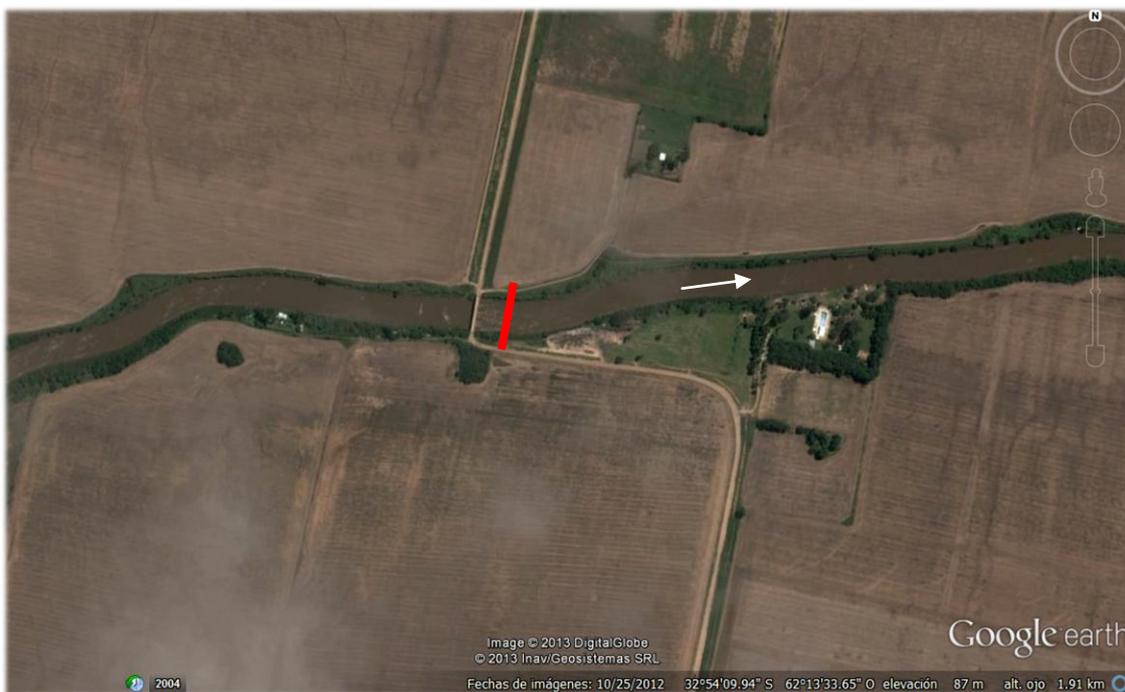


Figura 3.23 - Sección de aforo sobre el río Carcarañá ubicada a 11,5km aguas abajo de la confluencia en cercanías de la localidad de Inrville.



Figura 3.24 - Sección de aforo sobre el río Carcarañá ubicada a 11,5km aguas abajo de la confluencia en cercanías de la localidad de Inrville.

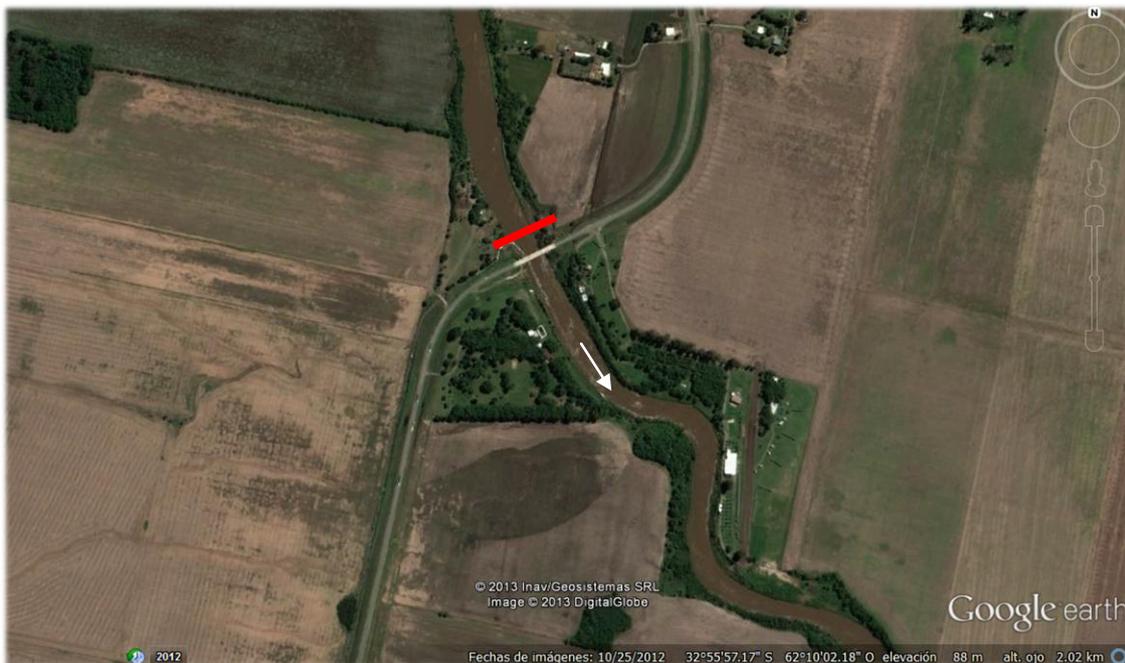


Figura 3.25 - Sección de aforo sobre el río Carcarañá ubicada en el cruce con ruta provincial 12 en cercanías de la localidad de Inrville.



Figura 3.26 - Sección de aforo sobre el río Carcarañá ubicada en el cruce con ruta provincial 12 en cercanías de la localidad de Inrville.

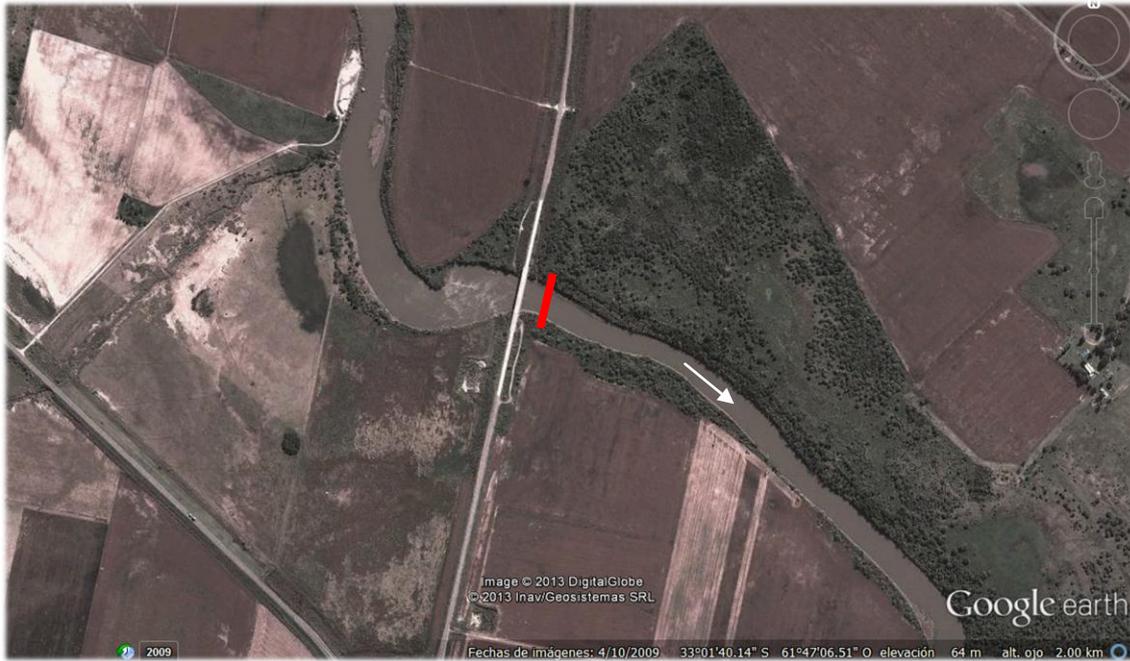


Figura 3.27 - Sección de aforo en el río Carcarañá ubicada en el cruce con la ruta provincial 15 (Santa Fe) en proximidades de la localidad de Cruz Alta.



Figura 3.28 - Sección de aforo en el río Carcarañá ubicada en el cruce con la ruta provincial 15 (Santa Fe) en proximidades de la localidad de Cruz Alta.

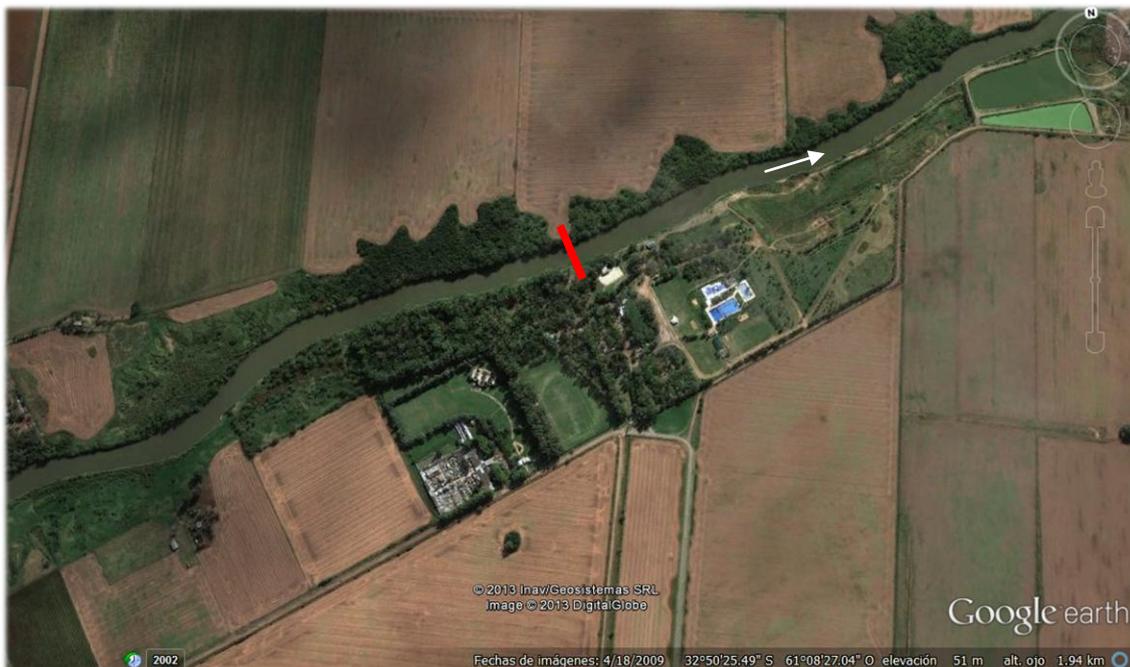


Figura 3.29 - Sección de aforo en el río Carcarañá ubicada en el Parque Sarmiento de la localidad de Carcarañá.



Figura 3.30 - Sección de aforo en el río Carcarañá ubicada en el Parque Sarmiento de la localidad de Carcarañá.



Figura 3.31 - Sección de aforo en el río Carcarañá ubicada en la ciudad de Pueblo Andino.



Figura 3.32 - Sección de aforo en el río Carcarañá ubicada en la ciudad de Pueblo Andino.

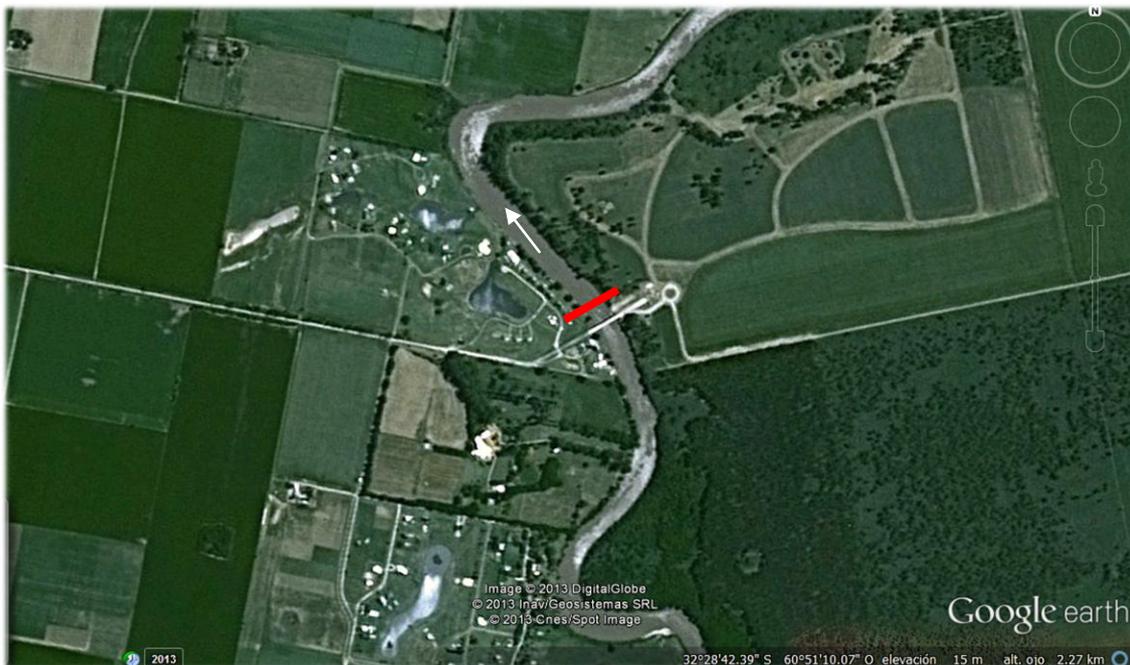


Figura 3.33 - Sección de aforo en el río Carcarañá ubicada en proximidades de la localidad de Gaboto.



Figura 3.34 - Sección de aforo en el río Carcarañá ubicada en proximidades de la localidad de Gaboto.

Además se aforó el arroyo Tortugas en inmediaciones de la ciudad homónima (Figuras 3.35 y 3.36).

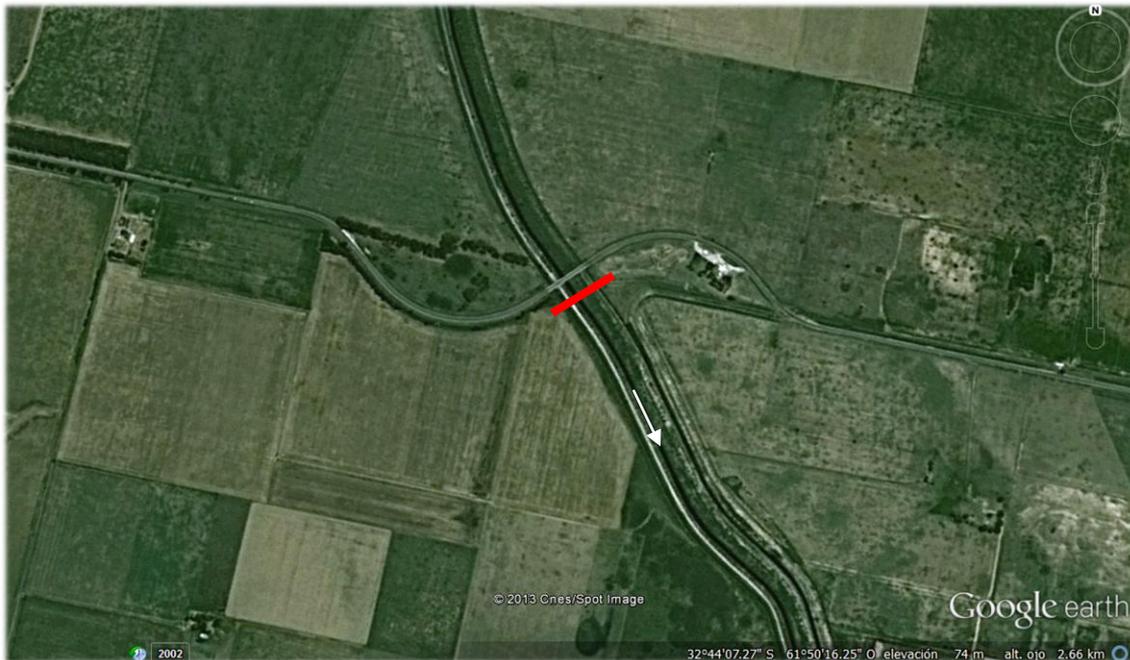


Figura 3.35 - Sección de aforo en el arroyo Tortugas ubicada en proximidades de la localidad homónima.



Figura 3.36 - Sección de aforo en el arroyo Tortugas ubicada en proximidades de la localidad homónima.

3.3. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

La metodología empleada para el uso del ADCP 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 utilizando el programa computacional específico 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 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.

Para la determinación de la temperatura y la conductividad sencillamente se colocó el sensor de la sonda multiparamétrica dentro del agua y se tomó lectura en el lector correspondiente. Estas mediciones se realizaron desde una de las márgenes de los cursos de agua (Figura 3.37).



Figura 3.37 - Determinación de temperatura y conductividad utilizando una sonda multiparamétrica marca Horiba modelo U-10.

3.4. RESULTADOS DE MEDICIONES

3.4.1 Parámetros hidráulicos

Se realizaron 13 campañas de aforo para cuantificar experimentalmente caudales superficiales y otros parámetros hidráulicos en diferentes secciones transversales seleccionadas en los principales tributarios (ríos Tercero y Saladillo, y arroyo Tortugas) y en el río Carcarañá.

A continuación se muestran los resultados obtenidos con el ADCP en cada una de ellas (Tablas 3.1 a 3.37).

➤ Campaña N°1 (11 de Junio de 2012):

- Río Tercero (Ctalamochita) - Sección balneario de la ciudad homónima.

Tabla 3.1- Parámetros hidráulicos del río Tercero (Ctalamochita) - Sección balneario.

Transecta	Margen de Inicio	Ancho [m]	Área [m ²]	Velocidad Media del flujo [m/s]	Velocidad Media del Bote [m/s]	Total Q [m ³ /s]
1	Izquierda	32,62	20,40	0,83	0,16	17,00
2	Derecha	34,23	21,10	0,81	0,15	17,09
3	Izquierda	33,75	20,60	0,86	0,17	17,66
4	Derecha	32,55	20,20	0,83	0,16	16,74
5	Izquierda	30,79	19,60	0,89	0,19	17,35
6	Izquierda	32,28	20,60	0,85	0,21	17,46
Promedio		32,70	20,40	0,84	0,17	17,22
Desvío		1,10	0,50	0,02	0,02	0,31
Desv/Prom		0,034	0,023	0,029	0,120	0,018

➤ Campaña N°2 (10 de Septiembre de 2012):

- Río Tercero (Ctalamochita) - Sección balneario de la ciudad homónima.

Tabla 3.2- Parámetros hidráulicos del río Tercero (Ctalamochita) - Sección balneario.

Transecta	Margen de Inicio	Ancho [m]	Área [m ²]	Velocidad Media del flujo [m/s]	Velocidad Media del Bote [m/s]	Total Q [m ³ /s]
1	Derecha	33,97	19,10	0,77	0,13	14,80
2	Izquierda	32,95	18,60	0,80	0,17	14,85
3	Derecha	33,67	18,90	0,79	0,14	15,01
4	Izquierda	33,07	19,10	0,79	0,21	15,07
5	Derecha	30,97	17,50	0,81	0,14	14,13
6	Izquierda	32,18	18,20	0,82	0,20	14,88
Promedio		32,80	18,60	0,80	0,17	14,79
Desvío		0,99	0,60	0,01	0,03	0,31
Desv/Prom		0,030	0,030	0,016	0,177	0,021

➤ Campaña N°3 (12 de Noviembre de 2012):

- Río Tercero (Ctalamochita) - Sección balneario de la ciudad homónima.

Tabla 3.3- Parámetros hidráulicos del río Tercero (Ctalamochita) - Sección balneario.

Transecta	Margen de Inicio	Ancho [m]	Área [m ²]	Velocidad Media del flujo [m/s]	Velocidad Media del Bote [m/s]	Total Q [m ³ /s]
1	Derecha	34,49	21,50	0,91	0,16	19,51
2	Izquierda	34,82	21,10	0,86	0,17	18,06
3	Derecha	35,92	22,10	0,85	0,17	18,88
4	Izquierda	34,96	21,30	0,83	0,21	17,59
Promedio		35,05	21,50	0,86	0,18	18,51
Desvío		0,53	0,40	0,03	0,02	0,74
Desv/Prom		0,015	0,018	0,033	0,124	0,040

➤ Campaña N°4 (17 de Diciembre de 2012):

- Río Tercero (Ctalamochita) - Sección confluencia.

Tabla 3.4- Parámetros hidráulicos del río Tercero (Ctalamochita) - Sección confluencia.

Transecta	Margen de Inicio	Ancho [m]	Área [m ²]	Velocidad Media del flujo [m/s]	Velocidad Media del Bote [m/s]	Total Q [m ³ /s]
1	Derecha	45,12	92,30	0,48	0,28	44,61
2	Izquierda	44,07	89,70	0,49	0,29	43,61
3	Derecha	43,71	89,70	0,47	0,28	42,36
4	Izquierda	43,76	91,40	0,48	0,31	44,02
Promedio		44,16	90,80	0,48	0,29	43,65
Desvío		0,57	1,10	0,01	0,01	0,82
Desv/Prom		0,013	0,013	0,011	0,041	0,019

- Río Saladillo - Sección confluencia.

Tabla 3.5- Parámetros hidráulicos del río Saladillo - Sección confluencia.

Transecta	Margen de Inicio	Ancho [m]	Área [m ²]	Velocidad Media del flujo [m/s]	Velocidad Media del Bote [m/s]	Total Q [m ³ /s]
1	Derecha	35,52	91,10	1,02	0,25	92,93
2	Izquierda	33,81	88,10	1,01	0,43	89,02
3	Derecha	35,47	89,70	1,02	0,32	91,92
4	Izquierda	35,02	88,50	1,00	0,38	88,53
Promedio		34,95	89,40	1,01	0,35	90,60
Desvío		0,69	1,20	0,01	0,07	1,87
Desv/Prom		0,020	0,013	0,009	0,193	0,021

➤ Campaña N°5 (04 de Marzo de 2013):

- Río Tercero (Ctalamochita) - Sección balneario de la ciudad homónima.

Tabla 3.6- Parámetros hidráulicos del río Tercero (Ctalamochita) - Sección balneario.

Transecta	Margen de Inicio	Ancho [m]	Área [m ²]	Velocidad Media del flujo [m/s]	Velocidad Media del Bote [m/s]	Total Q [m ³ /s]
1	Izquierda	42,35	27,90	0,82	0,19	22,84
2	Derecha	39,71	28,50	0,81	0,39	23,03
3	Izquierda	40,38	28,50	0,80	0,20	22,96
4	Derecha	40,27	27,00	0,87	0,23	23,52
5	Izquierda	39,92	27,40	0,85	0,21	23,35
6	Izquierda	39,94	27,50	0,86	0,32	23,69
Promedio		40,43	27,80	0,84	0,26	23,38
Desvío		0,89	0,60	0,03	0,07	0,31
Desv/Prom		0,022	0,020	0,031	0,291	0,013

➤ Campaña N°6 (14 de Mayo de 2013):

- Río Tercero (Ctalamochita) - Sección confluencia.

Tabla 3.7- Parámetros hidráulicos del río Tercero (Ctalamochita) - Sección confluencia.

Transecta	Margen de Inicio	Ancho [m]	Área [m ²]	Velocidad Media del flujo [m/s]	Velocidad Media del Bote [m/s]	Total Q [m ³ /s]
1	Derecha	40,43	47,58	0,58	0,28	27,57
2	Izquierda	40,71	46,84	0,56	0,31	26,46
3	Derecha	39,52	47,18	0,55	0,33	26,02
4	Izquierda	41,25	48,37	0,57	0,32	27,70
Promedio		40,48	47,49	0,57	0,31	26,94
Desvío		0,63	0,57	0,01	0,02	0,71
Desv/Prom		0,015	0,012	0,018	0,067	0,027

- Río Saladillo - Sección confluencia.

Tabla 3.8- Parámetros hidráulicos del río Saladillo - Sección confluencia.

Transecta	Margen de Inicio	Ancho [m]	Área [m ²]	Velocidad Media del flujo [m/s]	Velocidad Media del Bote [m/s]	Total Q [m ³ /s]
1	Derecha	34,11	52,32	0,32	0,24	17,02
2	Izquierda	32,37	51,61	0,34	0,19	17,40
3	Derecha	33,16	52,06	0,35	0,19	18,19
4	Izquierda	34,43	52,24	0,34	0,21	18,05
Promedio		33,52	52,06	0,34	0,21	17,66
Desvío		0,81	0,27	0,01	0,02	0,48
Desv/Prom		0,024	0,005	0,027	0,094	0,027

➤ Campaña N°7 (28 de Mayo de 2013):

- Río Tercero (Ctalamochita) - Sección balneario de la ciudad homónima.

Tabla 3.9- Parámetros hidráulicos del río Tercero (Ctalamochita) - Sección balneario.

Transecta	Margen de Inicio	Ancho [m]	Área [m ²]	Velocidad Media del flujo [m/s]	Velocidad Media del Bote [m/s]	Total Q [m ³ /s]
1	Izquierda	41,47	29,33	0,62	0,28	18,22
2	Derecha	42,12	30,10	0,58	0,30	17,50
3	Izquierda	42,33	29,20	0,63	0,29	18,30
4	Derecha	42,18	-	-	0,29	17,48
Promedio		41,97	29,55	0,61	0,29	17,87
Desvío		0,33	0,48	0,02	0,01	0,39
Desv/Prom		0,008	0,016	0,041	0,025	0,022

➤ Campaña N°8 (11 de Junio de 2013):

- Río Tercero (Ctalamochita) - Sección puente ruta 158 (Villa María).

Tabla 3.10- Parámetros hidráulicos del río Tercero (Ctalamochita) - Sección puente ruta 158 (Villa María).

Transecta	Margen de Inicio	Ancho [m]	Área [m ²]	Velocidad Media del flujo [m/s]	Velocidad Media del Bote [m/s]	Total Q [m ³ /s]
1	Derecha	25,22	-	0,25	-	17,97
2	Izquierda	24,20	23,41	0,23	0,83	19,52
3	Derecha	23,59	22,58	0,28	0,83	18,81
4	Izquierda	25,02	22,85	0,28	0,80	18,34
Promedio		24,69	22,95	0,26	0,82	18,66
Desvío		0,64	0,42	0,02	0,02	0,58
Desv/Prom		0,026	0,018	0,084	0,022	0,031

Debido a la existencia de transporte de fondo, el valor del caudal aforado debe corregirse. En la figura 3.41 se muestra el recorrido realizado por la plataforma móvil, tomando como referencia el fondo del río (Bottom Track) y GPS.

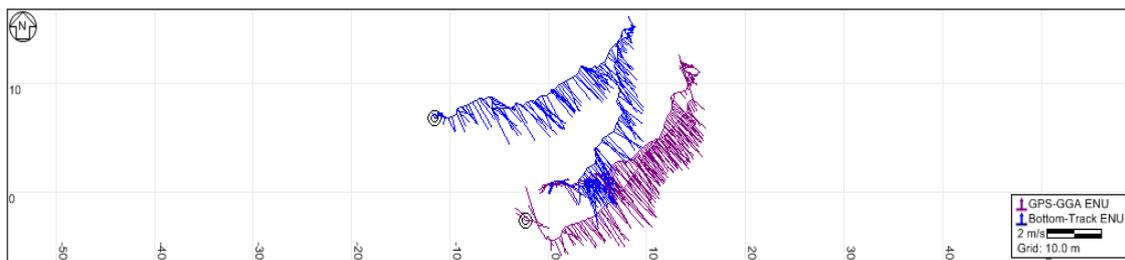


Figura 3.38 - Imagen del recorrido del barco en método loop en el río Tercero (puente ruta 158, Villa María).

Se observa que la posición de la plataforma móvil en el punto de partida no coincide con la posición a la llegada, por lo tanto hay transporte de sedimentos que sesga el caudal.

En la Tabla 3.11 se muestran los resultados del método loop reportados por el programa computacional utilizado para la sección.

Tabla 3.11- Reporte del método loop para la sección del río Tercero en puente ruta 158 (Villa María).

DMG [m]	Duración [seg]	Velocidad del fondo móvil [m/s]	Porcentaje de corrección estimado [%]
13,51	223	0,06	7,18

Aplicando esta corrección del 7,18%, el caudal resultante es de 20 m³/seg.

- Río Saladillo – Sección puente ruta 6 (Monte Buey).

Tabla 3.12- Parámetros hidráulicos del río Saladillo - Sección puente ruta 6 (Monte Buey).

Transecta	Margen de Inicio	Ancho [m]	Área [m²]	Velocidad Media del flujo [m/s]	Velocidad Media del Bote [m/s]	Total Q [m³/s]
1	Izquierda	22,56	22,46	0,15	0,64	14,34
2	Derecha	23,07	22,72	0,16	0,66	14,93
3	Izquierda	23,08	22,49	0,16	0,66	14,96
4	Derecha	23,34	22,78	0,18	0,66	14,99
Promedio		23,01	22,61	0,16	0,65	14,84
Desvío		0,28	0,14	0,01	0,01	0,27
Desv/Prom		0,012	0,006	0,085	0,015	0,018

- Río Carcarañá – Sección Inrville.

Tabla 3.13- Parámetros hidráulicos del río Carcarañá- Sección Inrville.

Transecta	Margen de Inicio	Ancho [m]	Área [m²]	Velocidad Media del flujo [m/s]	Velocidad Media del Bote [m/s]	Total Q [m³/s]
1	Izquierda	58,69	49,74	0,20	0,79	39,54
2	Derecha	59,32	50,90	0,27	0,76	38,68
3	Izquierda	56,77	48,43	0,26	0,80	38,88
4	Derecha	59,12	49,91	0,29	0,78	38,76
Promedio		57,98	49,75	0,25	0,78	38,97
Desvío		1,25	0,88	0,03	0,02	0,34
Desv/Prom		0,022	0,018	0,129	0,021	0,009

- Río Carcarañá – Sección puente ruta 15 (Cruz Alta).

Tabla 3.14- Parámetros hidráulicos del río Carcarañá - Sección puente ruta 15 (Cruz Alta).

Transecta	Margen de Inicio	Ancho [m]	Área [m ²]	Velocidad Media del flujo [m/s]	Velocidad Media del Bote [m/s]	Total Q [m ³ /s]
1	Derecha	57,31	77,69	0,23	0,67	51,93
2	Izquierda	55,77	74,95	0,24	0,63	47,61
3	Derecha	58,30	76,82	0,24	0,66	50,69
4	Izquierda	54,32	75,05	0,26	0,65	48,83
Promedio		56,42	76,13	0,25	0,65	49,77
Desvío		1,75	1,35	0,01	0,01	1,92
Desv/Prom		0,031	0,018	0,055	0,022	0,039

➤ Campaña N°9 (13 de Agosto de 2013):

- Río Tercero (Ctalamochita) - Sección confluencia.

Tabla 3.15- Parámetros hidráulicos del río Tercero (Ctalamochita) - Sección confluencia.

Transecta	Margen de Inicio	Ancho [m]	Área [m ²]	Velocidad Media del flujo [m/s]	Velocidad Media del Bote [m/s]	Total Q [m ³ /s]
1	Izquierda	37,35	36,63	0,53	0,33	19,68
2	Derecha	42,47	38,18	0,54	0,42	20,69
3	Izquierda	41,71	39,94	0,51	0,40	20,20
4	Derecha	42,77	39,61	0,50	0,43	19,74
5	Izquierda	42,15	37,50	0,51	0,45	19,26
Promedio		41,29	38,37	0,52	0,41	19,85
Desvío		2,00	1,25	0,02	0,04	0,53
Desv/Prom		0,048	0,033	0,030	0,105	0,027

- Río Saladillo - Sección confluencia.

Tabla 3.16- Parámetros hidráulicos del río Saladillo - Sección confluencia.

Transecta	Margen de Inicio	Ancho [m]	Área [m ²]	Velocidad Media del flujo [m/s]	Velocidad Media del Bote [m/s]	Total Q [m ³ /s]
1	Derecha	35,55	43,25	0,25	0,31	10,94
2	Izquierda	32,75	43,21	0,25	0,31	10,63
3	Derecha	33,12	43,45	0,24	0,36	10,33
4	Izquierda	31,10	41,68	0,24	0,31	10,11
Promedio		33,13	42,82	0,24	0,32	10,50
Desvío		1,59	0,66	0,01	0,02	0,31
Desv/Prom		0,048	0,015	0,021	0,065	0,030

- Río Carcarañá - Sección confluencia.

Tabla 3.17- Parámetros hidráulicos del río Carcarañá - Sección confluencia.

Transecta	Margen de Inicio	Ancho [m]	Área [m ²]	Velocidad Media del flujo [m/s]	Velocidad Media del Bote [m/s]	Total Q [m ³ /s]
1	Derecha	49,41	55,11	0,55	0,44	30,30
2	Izquierda	48,85	55,04	0,56	0,46	30,80
	Promedio	49,13	55,08	0,56	0,45	30,55
	Desvío	0,39	0,05	0,01	0,02	0,36
	Desv/Prom	0,008	0,001	0,013	0,044	0,012

- Campaña N°10 (9 y 10 de Septiembre de 2013):

- Río Tercero (Ctalamochita) - Sección balneario de la ciudad homónima.

Tabla 3.18- Parámetros hidráulicos del río Tercero (Ctalamochita) - Sección balneario.

Transecta	Margen de Inicio	Ancho [m]	Área [m ²]	Velocidad Media del flujo [m/s]	Velocidad Media del Bote [m/s]	Total Q [m ³ /s]
1	Izquierda	36,97	24,19	0,66	0,21	15,90
2	Derecha	35,53	24,09	0,69	0,22	16,57
3	Izquierda	38,05	24,90	0,68	0,24	17,01
4	Derecha	34,21	23,70	0,70	0,32	16,70
	Promedio	36,19	24,22	0,68	0,25	16,54
	Desvío	1,45	0,43	0,02	0,04	0,41
	Desv/Prom	0,040	0,018	0,025	0,182	0,025

- Río Saladillo – Sección puente ruta 6 (Monte Buey).

Tabla 3.19- Parámetros hidráulicos del río Saladillo - Sección puente ruta 6 (Monte Buey).

Transecta	Margen de Inicio	Ancho [m]	Área [m ²]	Velocidad Media del flujo [m/s]	Velocidad Media del Bote [m/s]	Total Q [m ³ /s]
1	Izquierda	21,90	19,35	0,47	0,11	9,01
2	Derecha	21,44	18,91	0,49	0,18	9,30
3	Izquierda	21,78	18,58	0,49	0,14	9,20
4	Derecha	21,73	18,65	0,50	0,16	9,34
	Promedio	21,71	18,87	0,49	0,15	9,21
	Desvío	0,17	0,30	0,01	0,03	0,13
	Desv/Prom	0,008	0,016	0,027	0,175	0,014

- Río Carcarañá – Sección Inrville.

Tabla 3.20- Parámetros hidráulicos del río Carcarañá - Sección Inrville.

Transecta	Margen de Inicio	Ancho [m]	Área [m ²]	Velocidad Media del flujo [m/s]	Velocidad Media del Bote [m/s]	Total Q [m ³ /s]
1	Izquierda	56,91	44,65	0,64	0,19	28,71
2	Derecha	58,61	44,70	0,61	0,31	27,40
3	Izquierda	58,53	46,58	0,62	0,23	28,67
4	Derecha	60,47	48,34	0,58	0,27	27,97
Promedio		58,63	46,07	0,61	0,25	28,19
Desvío		1,26	1,52	0,02	0,04	0,54
Desv/Prom		0,022	0,033	0,037	0,178	0,019

- Campaña N°11 (30 de Septiembre y 1 de Octubre de 2013):

- Río Saladillo – Sección puente ruta 6 (Monte Buey).

Tabla 3.21- Parámetros hidráulicos del río Saladillo - Sección puente ruta 6 (Monte Buey).

Transecta	Margen de Inicio	Ancho [m]	Área [m ²]	Velocidad Media del flujo [m/s]	Velocidad Media del Bote [m/s]	Total Q [m ³ /s]
1	Izquierda	22,68	21,53	0,63	0,19	13,66
2	Derecha	23,08	21,38	0,64	0,17	13,78
3	Izquierda	21,88	20,92	0,65	0,18	13,67
4	Derecha	23,17	21,37	0,65	0,15	13,90
Promedio		22,70	21,30	0,65	0,17	13,75
Desvío		0,51	0,23	0,01	0,01	0,10
Desv/Prom		0,022	0,011	0,011	0,079	0,007

- Río Carcarañá – Sección Inrville.

Tabla 3.22- Parámetros hidráulicos del río Carcarañá - Sección Inrville.

Transecta	Margen de Inicio	Ancho [m]	Área [m ²]	Velocidad Media del flujo [m/s]	Velocidad Media del Bote [m/s]	Total Q [m ³ /s]
1	Izquierda	59,05	47,91	0,60	0,26	28,95
2	Derecha	60,65	48,32	0,60	0,37	28,95
3	Izquierda	60,55	51,05	0,58	0,31	29,67
4	Derecha	60,71	49,57	0,60	0,38	29,69
Promedio		60,24	49,21	0,60	0,33	29,31
Desvío		0,69	1,22	0,01	0,05	0,36
Desv/Prom		0,011	0,025	0,015	0,151	0,012

- Río Carcarañá – Sección puente ruta 15 (Cruz Alta).

Tabla 3.23- Parámetros hidráulicos del río Carcarañá - Sección puente ruta 15 (Cruz Alta).

Transecta	Margen de Inicio	Ancho [m]	Área [m ²]	Velocidad Media del flujo [m/s]	Velocidad Media del Bote [m/s]	Total Q [m ³ /s]
1	Derecha	47,54	54,62	0,60	0,36	32,89
2	Izquierda	46,34	53,19	0,65	0,29	34,67
3	Derecha	48,30	53,41	0,63	0,36	33,59
4	Izquierda	46,96	50,32	0,65	0,26	32,95
Promedio		47,28	52,89	0,63	0,32	33,53
Desvío		0,72	1,58	0,02	0,04	0,71
Desv/Prom		0,015	0,030	0,033	0,136	0,021

- Río Carcarañá – Sección Parque Sarmiento (Carcarañá).

Tabla 3.24- Parámetros hidráulicos del río Carcarañá - Sección Parque Sarmiento.

Transecta	Margen de Inicio	Ancho [m]	Área [m ²]	Velocidad Media del flujo [m/s]	Velocidad Media del Bote [m/s]	Total Q [m ³ /s]
1	Derecha	43,41	63,78	0,51	0,22	32,58
2	Izquierda	43,13	62,83	0,52	0,29	32,96
3	Derecha	43,80	64,96	0,47	0,30	30,72
4	Izquierda	42,44	64,65	0,50	0,34	32,04
5	Derecha	41,79	65,29	0,52	0,28	33,74
6	Izquierda	41,95	63,49	0,50	0,33	31,89
Promedio		42,75	64,17	0,50	0,30	32,32
Desvío		0,75	0,87	0,02	0,04	0,94
Desv/Prom		0,017	0,014	0,033	0,133	0,029

- Río Carcarañá – Sección Pueblo Andino.

Tabla 3.25- Parámetros hidráulicos del río Carcarañá - Sección Pueblo Andino.

Transecta	Margen de Inicio	Ancho [m]	Área [m ²]	Velocidad Media del flujo [m/s]	Velocidad Media del Bote [m/s]	Total Q [m ³ /s]
1	Izquierda	44,64	77,00	0,40	0,24	30,80
2	Derecha	46,56	74,19	0,43	0,18	31,73
3	Izquierda	45,64	73,77	0,44	0,24	32,21
4	Derecha	46,38	72,89	0,46	0,25	33,57
5	Izquierda	45,13	74,59	0,41	0,22	30,34
6	Derecha	45,55	73,15	0,44	0,23	32,40
Promedio		45,65	74,26	0,43	0,23	31,84
Desvío		0,66	1,35	0,02	0,02	1,06
Desv/Prom		0,015	0,018	0,048	0,095	0,033

- Río Carcarañá – Sección Gaboto.

Tabla 3.26- Parámetros hidráulicos del río Carcarañá - Sección Gaboto.

Transecta	Margen de Inicio	Ancho [m]	Área [m ²]	Velocidad Media del flujo [m/s]	Velocidad Media del Bote [m/s]	Total Q [m ³ /s]
1	Derecha	57,41	111,73	0,30	0,23	33,09
2	Izquierda	56,07	108,99	0,31	0,27	34,21
3	Derecha	55,82	114,70	0,31	0,29	35,20
4	Izquierda	56,18	111,01	0,32	0,34	35,41
Promedio		56,37	111,61	0,31	0,28	34,48
Desvió		0,61	2,05	0,01	0,04	0,92
Desv/Prom		0,011	0,018	0,028	0,136	0,027

➤ Campaña N°12 (19 y 20 de Noviembre de 2013):

- Río Tercero (Ctalamochita) – Sección puente Lavalle (Villa María).

Tabla 3.27- Parámetros hidráulicos del río Tercero (Ctalamochita) – Sección puente Lavalle (Villa María).

Transecta	Margen de Inicio	Ancho [m]	Área [m ²]	Velocidad Media del flujo [m/s]	Velocidad del Bote [m/s]	Total Q [m ³ /s]
1	Izquierda	26,84	13,25	0,65	0,16	8,61
2	Derecha	27,19	14,07	0,65	0,19	9,22
3	Izquierda	25,29	12,74	0,66	0,17	8,39
4	Derecha	32,16	15,20	0,61	0,19	9,23
Promedio		27,87	13,81	0,64	0,18	8,86
Desvió		2,58	0,93	0,02	0,01	0,37
Desv/Prom		0,092	0,067	0,032	0,077	0,042

Debido a la existencia de transporte de fondo, el valor del caudal aforado debe corregirse. En la figura 3.39 se muestra el recorrido realizado por la plataforma móvil, tomando como referencia el fondo del río (Bottom Track) y GPS.

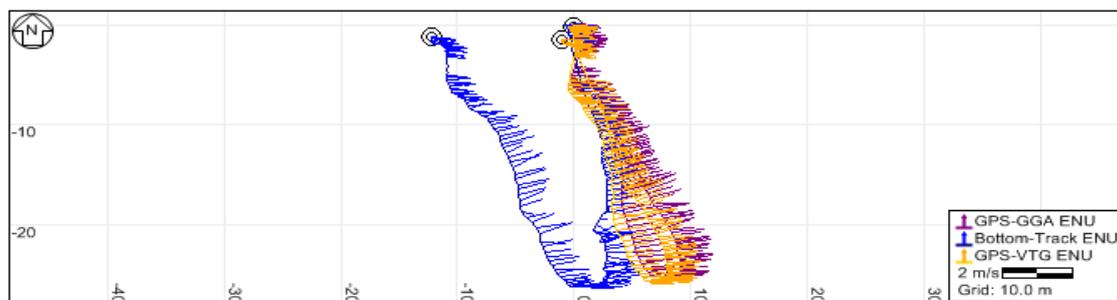


Figura 3.39 - Imagen del recorrido del barco en método loop en el río Tercero (puente Lavalle, Villa María).

Se observa que la posición de la plataforma móvil en el punto de partida no coincide con la posición a la llegada, por lo tanto hay transporte de sedimentos que sesga el caudal.

En la Tabla 3.28 se muestran los resultados del método loop reportados por el programa computacional utilizado para la sección.

Tabla 3.28- Reporte del método loop para la sección del río Tercero en puente Lavalle (Villa María).

DMG [m]	Duración [seg]	Velocidad del fondo móvil [m/s]	Porcentaje de corrección estimado [%]
12,29	214	0,06	8,20

Aplicando esta corrección del 8,20%, el caudal resultante es de 9,59 m³/seg.

- Río Saladillo – Sección puente ruta 6 (Monte Buey).

Tabla 3.29- Parámetros hidráulicos del río Saladillo – Sección puente ruta 6 (Monte Buey).

Transecta	Margen de Inicio	Ancho [m]	Área [m²]	Velocidad Media del flujo [m/s]	Velocidad Media del Bote [m/s]	Total Q [m³/s]
1	Izquierda	22,80	23,90	0,62	0,14	14,88
2	Derecha	22,54	24,31	0,61	0,15	14,83
3	Izquierda	23,04	23,38	0,63	0,19	14,73
4	Derecha	22,70	23,42	0,62	0,16	14,57
Promedio		22,77	23,76	0,62	0,16	14,75
Desvío		0,18	0,38	0,01	0,02	0,12
Desv/Prom		0,008	0,016	0,012	0,108	0,008

- Río Carcarañá – Sección puente ruta 12 (Inrville).

Tabla 3.30- Parámetros hidráulicos del río Carcarañá - Sección puente ruta 12 (Inrville).

Transecta	Margen de Inicio	Ancho [m]	Área [m²]	Velocidad Media del flujo [m/s]	Velocidad Media del Bote [m/s]	Total Q [m³/s]
1	Izquierda	36,51	33,35	0,85	0,28	28,34
2	Derecha	36,54	33,95	0,82	0,30	27,86
3	Izquierda	35,83	33,41	0,83	0,33	27,86
4	Derecha	36,82	35,03	0,80	0,34	28,01
Promedio		36,42	33,94	0,83	0,31	28,02
Desvío		0,36	0,67	0,02	0,02	0,19
Desv/Prom		0,010	0,020	0,022	0,075	0,007

- Río Carcarañá – Sección puente ruta 15 (Cruz Alta).

Tabla 3.31- Parámetros hidráulicos del río Carcarañá - Sección puente ruta 15 (Cruz Alta).

Transecta	Margen de Inicio	Ancho [m]	Área [m ²]	Velocidad Media del flujo [m/s]	Velocidad Media del Bote [m/s]	Total Q [m ³ /s]
1	Derecha	57,15	91,07	0,71	0,21	65,04
2	Izquierda	59,07	96,18	0,69	0,25	66,01
3	Derecha	58,39	93,65	0,70	0,27	65,42
4	Izquierda	58,92	93,11	0,68	0,30	63,46
Promedio		58,47	93,50	0,69	0,26	64,98
Desvío		0,75	1,82	0,01	0,03	0,94
Desv/Prom		0,013	0,019	0,018	0,118	0,015

- Río Carcarañá – Sección Parque Sarmiento (Carcarañá).

Tabla 3.32- Parámetros hidráulicos del río Carcarañá - Sección Parque Sarmiento (Carcarañá).

Transecta	Margen de Inicio	Ancho [m]	Área [m ²]	Velocidad Media del flujo [m/s]	Velocidad Media del Bote [m/s]	Total Q [m ³ /s]
1	Derecha	49,57	97,82	0,77	0,29	75,59
2	Izquierda	47,92	96,47	0,75	0,38	72,51
3	Derecha	49,25	98,88	0,74	0,28	72,98
4	Izquierda	48,53	96,52	0,73	0,37	70,81
Promedio		48,82	97,42	0,75	0,33	72,97
Desvío		0,74	1,15	0,02	0,05	1,98
Desv/Prom		0,015	0,012	0,024	0,163	0,027

- Río Carcarañá – Sección Pueblo Andino.

Tabla 3.33- Parámetros hidráulicos del río Carcarañá - Sección Pueblo Andino.

Transecta	Margen de Inicio	Ancho [m]	Área [m ²]	Velocidad Media del flujo [m/s]	Velocidad Media del Bote [m/s]	Total Q [m ³ /s]
1	Izquierda	48,73	118,29	0,61	0,22	72,59
2	Derecha	48,41	119,56	0,64	0,27	76,67
3	Izquierda	50,08	120,67	0,59	0,32	71,45
4	Derecha	49,37	119,58	0,63	0,31	74,99
Promedio		49,15	119,52	0,62	0,28	73,93
Desvío		0,64	0,84	0,02	0,04	2,04
Desv/Prom		0,013	0,007	0,029	0,137	0,028

Aforos realizados por la Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación, que se encuentran disponibles en su página web (www.hidricosargentina.gov.ar), en ese día indican un valor de caudal escurrido de 71,20m³/s. Este valor presenta una diferencia

menor al 3% comparado con el caudal aforado por el grupo de trabajo, el cual se expuso con anterioridad (73,93m³/s).

- Río Carcarañá – Sección Gaboto.

Tabla 3.34- Parámetros hidráulicos del río Carcarañá - Sección Gaboto.

Transecta	Margen de Inicio	Ancho [m]	Área [m ²]	Velocidad Media del flujo [m/s]	Velocidad Media del Bote [m/s]	Total Q [m ³ /s]
1	Derecha	58,11	175,85	0,44	0,30	78,24
2	Izquierda	59,02	179,86	0,43	0,33	77,18
3	Derecha	58,93	175,85	0,44	0,28	76,93
4	Izquierda	58,55	177,90	0,44	0,32	78,04
Promedio		58,75	177,37	0,44	0,31	77,60
Desvió		0,36	1,67	0,01	0,02	0,55
Desv/Prom		0,006	0,009	0,013	0,063	0,007

- Arroyo Tortugas – Sección Tortugas.

Tabla 3.35- Parámetros hidráulicos del arroyo Tortugas - Sección Tortugas.

Transecta	Margen de Inicio	Ancho [m]	Área [m ²]	Velocidad Media del flujo [m/s]	Velocidad Media del Bote [m/s]	Total Q [m ³ /s]
1	Derecha	17,23	35,65	0,71	0,11	25,28
2	Izquierda	16,23	33,96	0,70	0,11	23,74
3	Derecha	16,08	34,62	0,71	0,15	24,74
4	Izquierda	15,28	31,76	0,69	0,12	21,97
Promedio		16,21	34,00	0,70	0,12	23,93
Desvió		0,69	1,42	0,01	0,02	1,26
Desv/Prom		0,043	0,042	0,013	0,136	0,053

➤ Campaña N°13 (17 de Diciembre de 2013):

- Río Tercero (Ctalamochita) – Sección azud Bell Ville.

Tabla 3.36- Parámetros hidráulicos del río Tercero (Ctalamochita) – Sección azud Bell Ville.

Transecta	Margen de Inicio	Ancho [m]	Área [m ²]	Velocidad Media del flujo [m/s]	Velocidad Media del Bote [m/s]	Total Q [m ³ /s]
1	Derecha	29,58	30,14	0,33	0,18	9,89
2	Izquierda	28,84	29,17	0,35	0,16	10,30
3	Derecha	29,24	29,81	0,34	0,18	10,01
4	Izquierda	28,33	28,69	0,35	0,16	10,05
Promedio		28,99	29,59	0,34	0,17	10,06
Desvió		0,47	0,54	0,01	0,01	0,15
Desv/Prom		0,016	0,018	0,026	0,075	0,015

A través de una escala se aforo la altura del pelo de agua sobre el azud (Figura 3.40), dando una lectura de 0,49m. Las diferentes transectas se realizaron a una distancia de 14,00m desde la cresta del azud (Figura 3.41).

Es de importancia destacar que el valor de altura del pelo de agua (H) asociado al valor del caudal escurrido (Q) está afectado por el hecho de que no se pudo efectuar el cierre completo de las compuertas como consecuencia de troncos y ramas arrastrados por el río (Figura 3.42) aunque el caudal escurrido por las compuertas era muy pequeño.



Figura 3.40 - Nivel de agua sobre azud Bell Ville.



Figura 3.41 - Distancia entre la trayectoria del ADCP y el azud.



Figura 3.42 - Compuertas en azud Bell Ville.

- Río Tercero (Ctalamochita) – Sección azud San Marcos.

Tabla 3.37- Parámetros hidráulicos del río Tercero (Ctalamochita) – Sección azud San Marcos.

Transecta	Margen de Inicio	Ancho [m]	Área [m ²]	Velocidad Media del flujo [m/s]	Velocidad Media del Bote [m/s]	Total Q [m ³ /s]
1	Izquierda	25,72	47,74	0,28	0,14	13,17
2	Derecha	26,66	48,25	0,28	0,13	13,44
3	Izquierda	27,51	50,57	0,28	0,15	14,22
4	Derecha	27,36	49,34	0,27	0,13	13,40
Promedio		26,81	48,97	0,28	0,14	13,56
Desvío		0,71	1,09	0,01	0,01	0,40
Desv/Prom		0,026	0,022	0,013	0,076	0,029

A través de una escala se aforo la altura del pelo de agua sobre el azud (Figura 3.43), dando una lectura de 0,27m. Las diferentes transectas se realizaron a una distancia de 7,30m desde la cresta del azud (Figura 3.44).

Al igual que en el azud de Bell Ville, el valor de altura del pelo de agua (H) asociado al valor del caudal escurrido (Q) está afectado por el hecho de que no se pudo efectuar el cierre completo de las compuertas como consecuencia de troncos y ramas arrastrados por el río (Figura 3.45) aunque el caudal escurrido por las compuertas era muy pequeño.



Figura 3.43 - Nivel de agua sobre azud San Marcos.



Figura 3.44 - Distancia entre la trayectoria del ADCP y el azud.



Figura 3.45 - Compuertas en azud San Marcos.

3.4.2 Conductividad y Temperatura

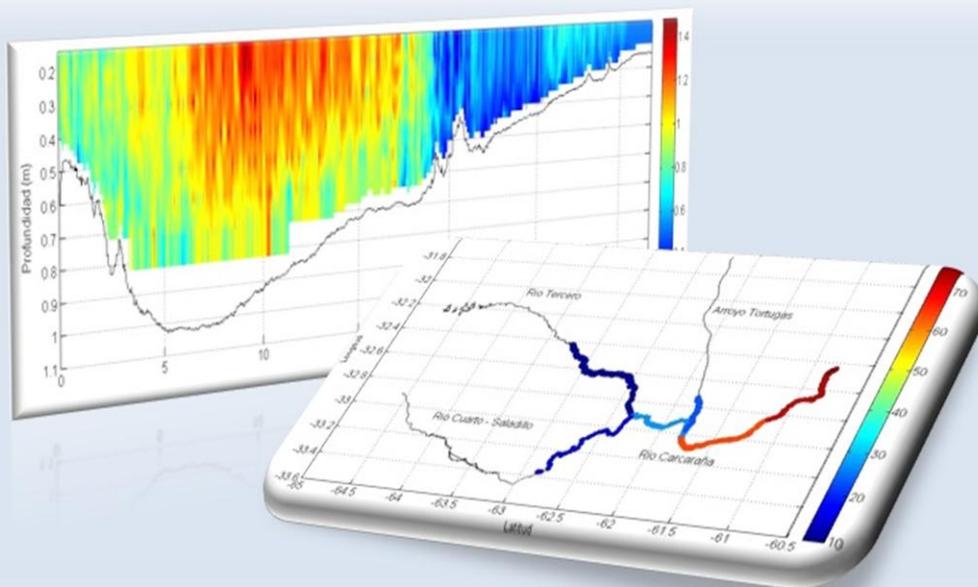
En forma complementaria, durante varios de los monitoreos se relevaron la temperatura y conductividad de las masas de agua (corregida por temperatura), para caracterizar físicamente las masas de agua en el sistema (Tabla 3.38). La conductividad es un parámetro que se encuentra relacionado con la presencia de sales en solución dentro de los fluidos.

Tabla 3.38 - Conductividad y temperatura en diferentes secciones de aforo.

Campaña	Sección de Aforo	Fecha	Conductividad (mS/cm)	Temperatura (°C)
6	Río Tercero, Confluencia	14/05/2013	1,61	17,6
	Río Saladillo, Confluencia	14/05/2013	6,31	17,2
8	Río Tercero, Puente Ruta 158 (V.M.)	11/06/2013	0,23	15,0
	Río Tercero, Confluencia	11/06/2013	1,95	15,6
	Río Saladillo, Puente Ruta 6 (M.B.)	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
9	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
10	Río Tercero, Puente Ruta 158 (V.M.)	09/09/2013	0,23	19,0
	Río Tercero, Confluencia	10/09/2013	2,20	22,0
	Río Saladillo, Puente Ruta 6 (M.B.)	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
11	Río Tercero, Confluencia	30/09/2013	2,46	14,9
	Río Saladillo, Puente ruta 6 (M.B.)	30/09/2013	5,90	13,1
	Río Saladillo, Confluencia	30/09/2013	5,99	13,0
	Río Carcarañá, Inrville	30/09/2013	4,67	14,0
	Río Carcarañá, Cruz Alta	30/09/2013	7,11	15,8
	Río Carcarañá, Parque Sarmiento	30/09/2013	6,95	16,1
	Río Carcarañá, Pueblo Andino	01/10/2013	6,71	15,5
	Río Carcarañá, Gaboto	01/10/2013	6,47	16,3
12	Río Tercero, Puente Lavalle (V.M.)	19/11/2013	0,32	22,3
	Río Tercero, Confluencia	19/11/2013	4,08	-
	Río Saladillo, Puente Ruta 6 (M.B.)	19/11/2013	7,97	24,8
	Río Saladillo, Confluencia	19/11/2013	8,09	-
	Río Carcarañá, Inrville	19/11/2013	6,17	26,8
	Río Carcarañá, Cruz Alta	19/11/2013	6,50	26,2
	Río Carcarañá, Parque Sarmiento	19/11/2013	5,98	25,4
	Río Carcarañá, Pueblo Andino	20/11/2013	6,02	24,2
	Río Carcarañá, Gaboto	20/11/2013	5,83	24,9
Arroyo Tortugas, Tortugas	20/11/2013	6,41	27,9	

CAPÍTULO 4

Análisis de Resultados



CAPÍTULO 4 – ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1. CONTRIBUCIÓN DE LOS DISTINTOS TRIBUTARIOS

En la campaña de aforo realizada los días 30 de Septiembre y 1 de Octubre de 2013, al igual que en aquella efectuada los días 19 y 20 de Noviembre del mismo año, se pudo medir la contribución de los diferentes tributarios al río Carcarañá. Además se determinó la variación del caudal escurrido por dicho río a lo largo de su recorrido desde la confluencia entre los ríos Tercero y Saladillo hasta su desembocadura en el río Coronda. A continuación se describen las evoluciones de los caudales en el sistema fluvial analizado para estas dos campañas de mediciones.

4.1.1 Campaña N°11 (30 de Septiembre y 1 de Octubre de 2013)

En la Tabla 4.1 se detallan los caudales de las diferentes secciones de aforo efectuadas durante la campaña.

Tabla 4.1 - Caudales medidos en diferentes secciones de aforo durante la campaña N°11.

Río	Sección de Aforo	Q (m ³ /s)
Tercero	Embalse Piedras Moras*	15,56
Saladillo	Puente ruta 6 (Saladillo)	13,75
Carcarañá	Inrville	29,31
Carcarañá	Puente ruta 15 (Cruz Alta)	33,53
Carcarañá	Parque Sarmiento (Carcarañá)	32,32
Carcarañá	Pueblo Andino	31,84
Carcarañá	Gaboto	34,48

* Valor estimado a partir de información de caudales erogados aportados por la Empresa Provincial de Energía de Córdoba (EPEC).

Por diferencia entre los caudales aforados en el río Carcarañá en la sección de Inrville y en el río Saladillo en la sección ubicada en cercanías de la ciudad homónima, podemos determinar que el caudal que aportaba el río Tercero en la confluencia era cercano a los 15m³/s. Valor semejante al erogado por el embalse Piedras Moras (dato aportado por la Empresa Provincial de Energía de Córdoba (EPEC). Debido a ello, podemos afirmar que en época de estiaje el río Tercero se comporta como un canal donde se realiza el tránsito de caudales, ya que no experimenta aportes o extracciones significativas durante todo su recorrido.

En el río Carcarañá ocurre lo mismo, lo cual se puede observar en las mediciones que se realizaron en las 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 4.2). 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.

Tabla 4.2 - 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)
Puente ruta 15 (Cruz Alta)	33,53	34,92	32,13
Parque Sarmiento (Carcarañá)	32,32	34,17	30,47
Pueblo Andino	31,84	33,93	29,76
Gaboto	34,48	36,28	32,68

En la Figura 4.1 se pueden observar los caudales aforados en las diferentes secciones durante la campaña.

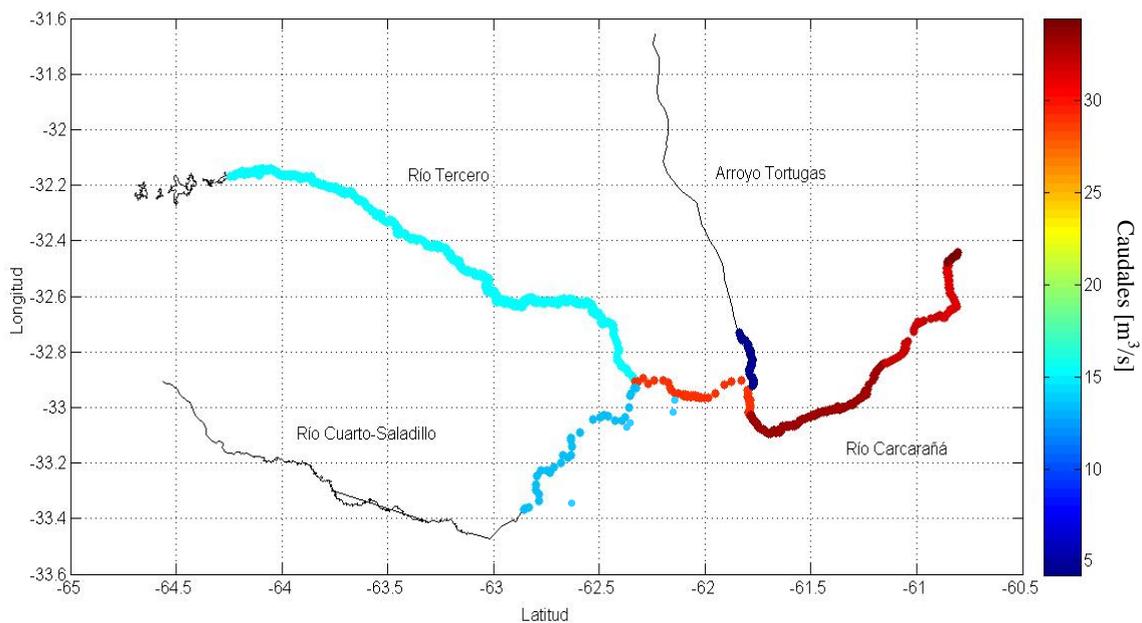


Figura 4.1 - Caudales en diferentes tramos de los cursos de agua aforados durante los días 30 de septiembre y 1 de octubre de 2013.

4.1.2 Campaña N°12 (19 y 20 de Noviembre de 2013)

En la Tabla 4.3 se detallan los caudales de las diferentes secciones de aforo efectuadas durante la campaña.

Tabla 4.3 - Caudales medidos en diferentes secciones de aforo durante la campaña N°12.

Río	Sección de Aforo	Q (m ³ /s)
Tercero	Puente Lavalle (Villa María)	9,64
Saladillo	Puente ruta 6 (Saladillo)	14,75
Carcarañá	Puente ruta 12 (Inrville)	28,02
Carcarañá	Puente ruta 15 (Cruz Alta)	64,98
Carcarañá	Parque Sarmiento (Carcarañá)	72,97
Carcarañá	Pueblo Andino	73,93
Carcarañá	Gaboto	77,60
Tortugas	Tortugas	23,93

Comparando los caudales aforados sobre el río Carcarañá en las secciones de Inrville y Cruz Alta, se observa una gran diferencia debido al gran aporte que recibe del arroyo Tortugas (Figura 4.2). Los días anteriores a la campaña descrita en este informe se registraron importantes lluvias en la zona central y norte de Córdoba, lo que justifica el considerable caudal que escurre por este arroyo.

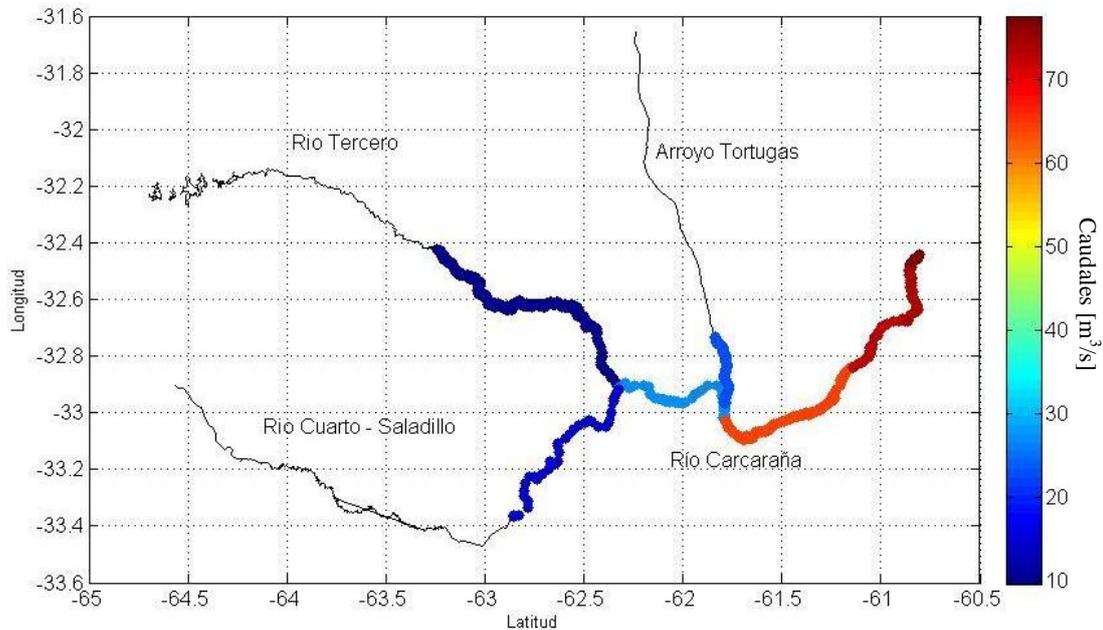


Figura 4.2 - Caudales en diferentes tramos de los cursos de agua aforados durante los días 19 y 20 de noviembre de 2013.

En las sucesivas secciones de aforo a lo largo del río Carcarañá se pueden observar pequeñas variaciones de caudal debido al aporte de desagües pluviales de la cuenca (Figura 4.2). Resulta de suma importancia contar con valores aforados por otros grupos de trabajo o instituciones para poder contrastar los datos medidos en las diferentes campañas. Como se dijo en el capítulo anterior, se pudo comparar el caudal escurrido aforado en la sección ubicada en la localidad de Gaboto con el caudal medido por la Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación, donde la diferencia entre ambos valores es de igual orden de magnitud que el error del instrumento de medición utilizado.

4.2. CAMPOS MEDIOS DE FLUJO

En la tabla 4.4 se exponen los parámetros hidráulicos relevados en las diferentes secciones durante las campañas de aforo y se grafican los pares coordenados de valores de profundidad media y caudal para cada sección de aforo. Luego se muestran la batimetría y el campo de velocidades promedio de las distintas secciones aforadas (Figuras 4.3 a 4.37). Dichos campos fueron obtenidos con el empleo del programa computacional VMT (Velocity Mapping Tool), tal como se describió en el Capítulo 2.

Tabla 4.4 - Parámetros hidráulicos de las diferentes secciones de aforo.

Campaña	Sección Aforo	Fecha	Ancho (m)	Profundidad Media (m)	Velocidad Media (m/s)	Caudal (m ³ /s)
1	Río Tercero, Balneario	11/06/2012	32,70	0,62	0,84	17,22
2	Río Tercero, Balneario	10/09/2012	32,80	0,57	0,80	14,79
3	Río Tercero, Balneario	12/11/2012	35,05	0,61	0,86	18,51
4	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
5	Río Tercero, Balneario	04/03/2013	40,43	0,69	0,84	23,38
6	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
7	Río Tercero, Balneario	28/05/2013	41,97	0,70	0,61	17,87
8	Río Tercero, Puente ruta 158 (Villa María)	11/06/2013	24,69	0,94	0,75	20,00
	Río Saladillo, Puente ruta 6 (Monte Buey)	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
9	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
10	Río Tercero, Balneario	09/09/2013	36,19	0,67	0,68	16,54
	Río Saladillo, Puente ruta 6 (Monte Buey)	10/09/2013	21,71	0,86	0,49	9,21
	Río Carcarañá, Inrville	10/09/2013	58,63	0,78	0,62	28,19
11	Río Saladillo, Puente ruta 6 (Monte Buey)	30/09/2013	22,70	0,94	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, Parque Sarmiento	30/09/2013	42,75	1,50	0,50	32,32
	Río Carcarañá, Pueblo 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
12	Río Tercero, Puente Lavalle (Villa María)	19/11/2013	27,87	0,51	0,69	9,59
	Río Saladillo, Puente ruta 6 (Monte Buey)	19/11/2013	22,77	1,06	0,62	14,75
	Río Carcarañá, Puente ruta 12 (Inrville)	19/11/2013	36,42	0,93	0,83	28,02
	Río Carcarañá, Cruz Alta	19/11/2013	58,47	1,60	0,69	64,98
	Río Carcarañá, Parque Sarmiento	19/11/2013	48,82	2,02	0,75	72,97
	Río Carcarañá, Pueblo Andino	20/11/2013	49,15	2,43	0,62	73,93
	Río Carcarañá, Gaboto	20/11/2013	58,75	3,01	0,44	77,60
	Arroyo Tortugas, Tortugas	20/11/2013	16,21	2,08	0,71	23,93
13	Río Tercero, azud Bell Ville	17/12/2013	28,99	1,02	0,34	10,06
	Río Tercero, azud San Marcos	17/12/2013	26,81	1,83	0,28	13,56

➤ Campaña N°1 (11 de Junio de 2012):

- Río Tercero (Ctalamochita) - Sección balneario de la ciudad homónima.

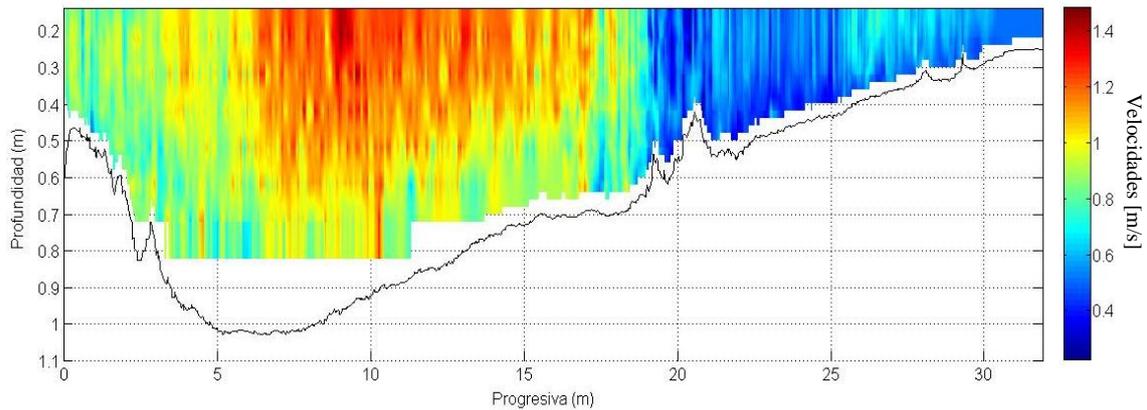


Figura 4.3 - Campo de velocidades promedio de la sección del río Tercero en balneario de la ciudad homónima (11/06/2012).

La velocidad media es de 0,84 m/s. Las mayores velocidades se registraron en el centro y margen izquierda, siendo el valor máximo 1,48 m/s. La profundidad media es de aproximadamente 0,62 m, y la máxima profundidad es de 1,03 m, cercana a la margen izquierda de la sección. La relación B/H es de 53.

➤ Campaña N°2 (10 de Septiembre de 2012):

- Río Tercero (Ctalamochita) - Sección balneario de la ciudad homónima.

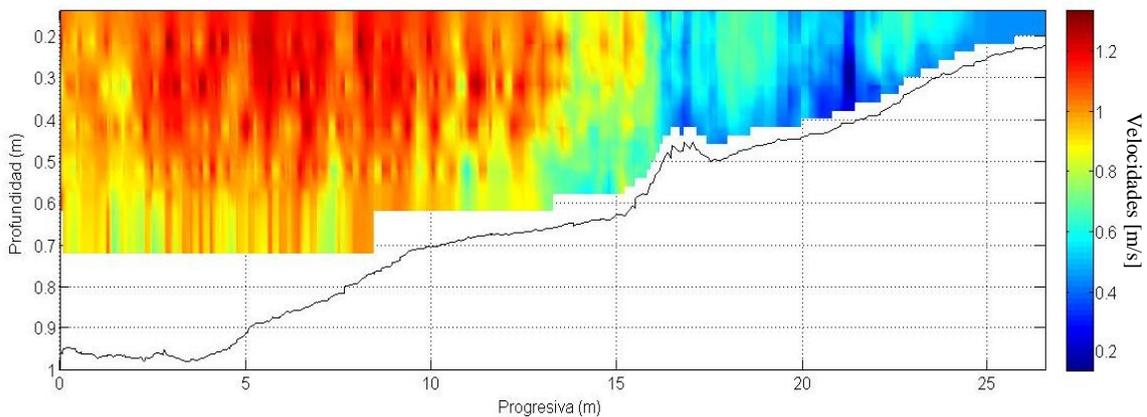


Figura 4.4 - Campo de velocidades promedio de la sección del río Tercero en balneario de la ciudad homónima (10/09/2012).

La velocidad media es de 0,80 m/s. Las mayores velocidades se registraron en el centro y margen izquierda de la sección, siendo el valor máximo 1,33 m/s. La profundidad media es de aproximadamente 0,57 m, y la máxima profundidad es de 0,98 m, cercana a la margen izquierda de la sección. La relación B/H es de 58.

➤ Campaña N°3 (12 de Noviembre de 2012):

- Río Tercero (Ctalamochita) - Sección balneario de la ciudad homónima.

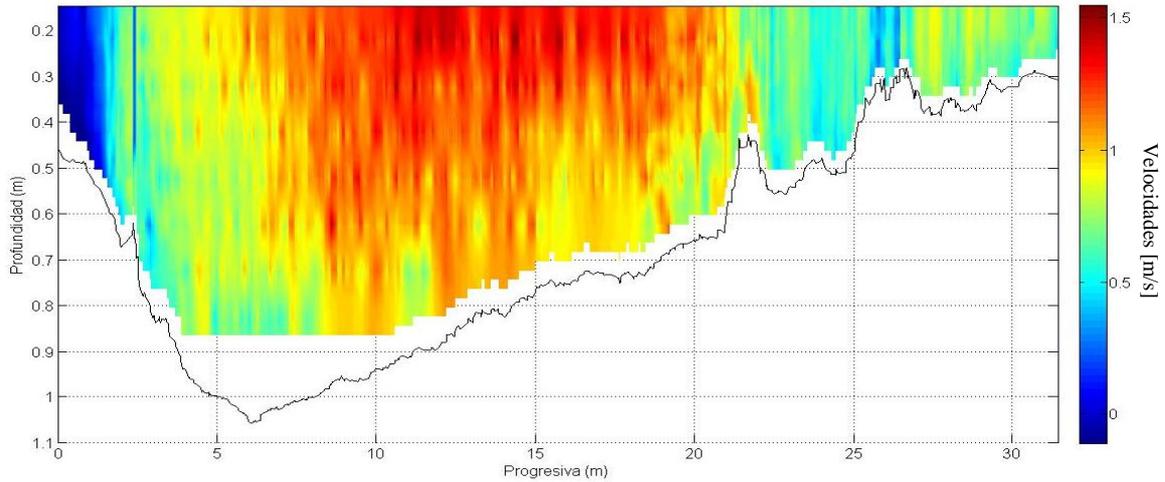


Figura 4.5 - Campo de velocidades promedio de la sección del río Tercero en balneario de la ciudad homónima (12/11/2012).

La velocidad media es de 0,86 m/s. Las mayores velocidades se registraron en el centro de la sección, siendo el valor máximo 1,54 m/s. La profundidad media es de aproximadamente 0,61 m, y la máxima profundidad es de 1,06 m, cercana a la margen izquierda de la sección. La relación B/H es de 57.

➤ Campaña N°4 (17 de Diciembre de 2012):

- Río Tercero (Ctalamochita) - Sección confluencia.

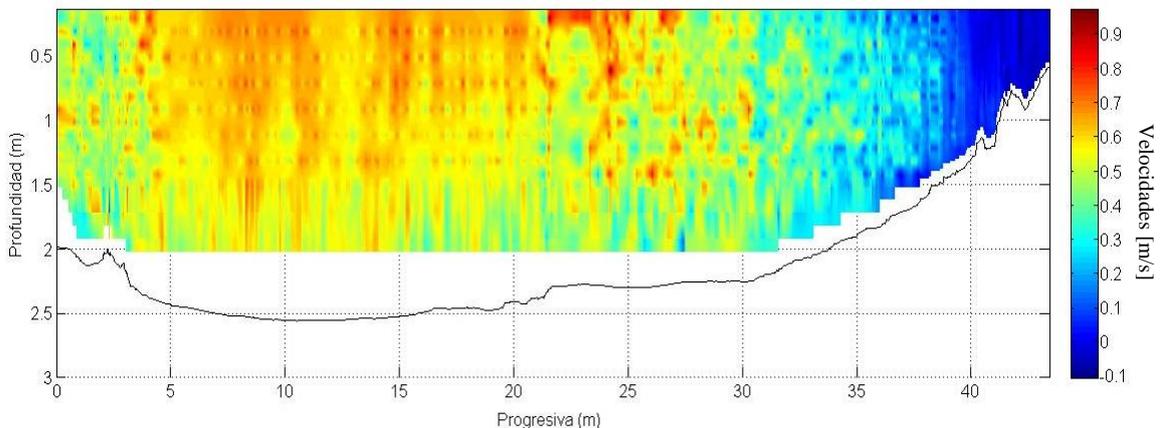


Figura 4.6 - Campo de velocidades promedio de la sección del río Tercero en la confluencia con el río Saladillo (17/12/2012).

La velocidad media es de 0,48 m/s. Las mayores velocidades se registraron en el centro y margen izquierda de la sección, siendo el valor máximo 0,97 m/s. La profundidad media es de aproximadamente 2,06 m, y la máxima profundidad es de 2,56 m, cercana a la margen izquierda de la sección. La relación B/H es de 21.

- Río Saladillo - Sección confluencia.

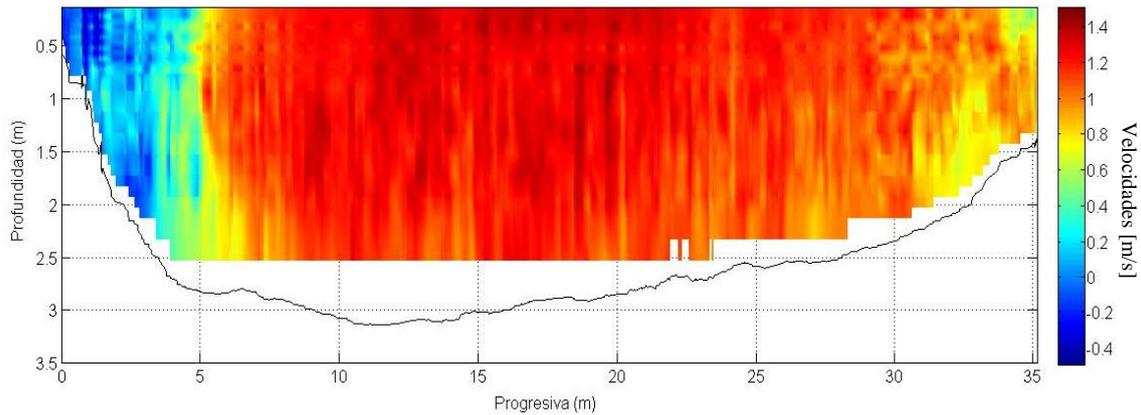


Figura 4.7 - Campo de velocidades promedio de la sección del río Saladillo en la confluencia con el río Tercero (17/12/2012).

La velocidad media es de 1,01 m/s. Las mayores velocidades se registraron en el centro de la sección, siendo el valor máximo 1,50 m/s. La profundidad media es de aproximadamente 2,56 m, y la máxima profundidad es de 3,14 m, cercana a la margen izquierda de la sección. La relación B/H es de 14.

- Campaña N°5 (04 de Marzo de 2013):

- Río Tercero (Ctalamochita) - Sección balneario de la ciudad homónima¹.

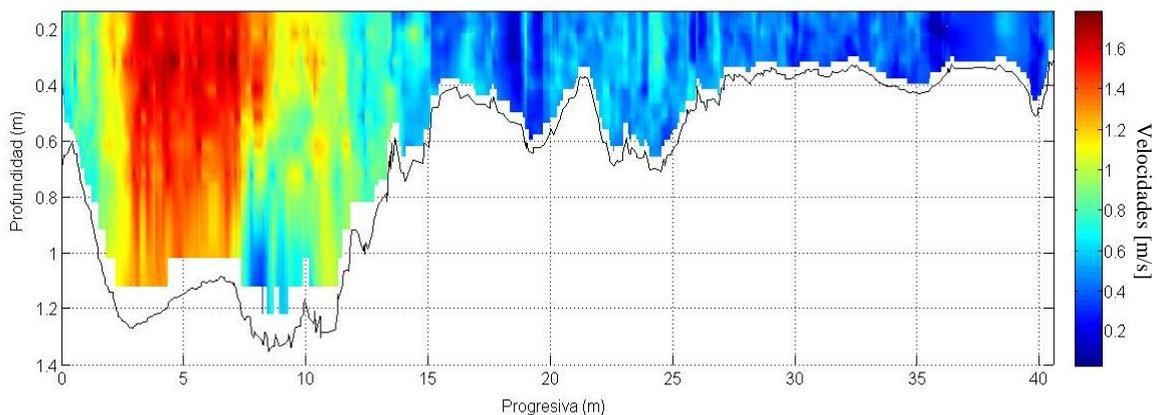


Figura 4.8 - Campo de velocidades promedio de la sección del río Tercero en balneario de la ciudad homónima (04/03/2013).

La velocidad media es de 0,84 m/s. Las mayores velocidades se registraron en el margen izquierdo de la sección, siendo el valor máximo 1,77 m/s. La profundidad media es de aproximadamente 0,69 m, y la máxima profundidad es de 1,35 m, cercana a la margen izquierda de la sección. La relación B/H es de 59.

¹ Esta sección no se encuentra ubicada en la misma posición que las anteriores secciones de aforo en el balneario de la ciudad de Río Tercero.

➤ Campaña N°6 (14 de Mayo de 2013):

- Río Tercero (Ctalamochita) - Sección confluencia.

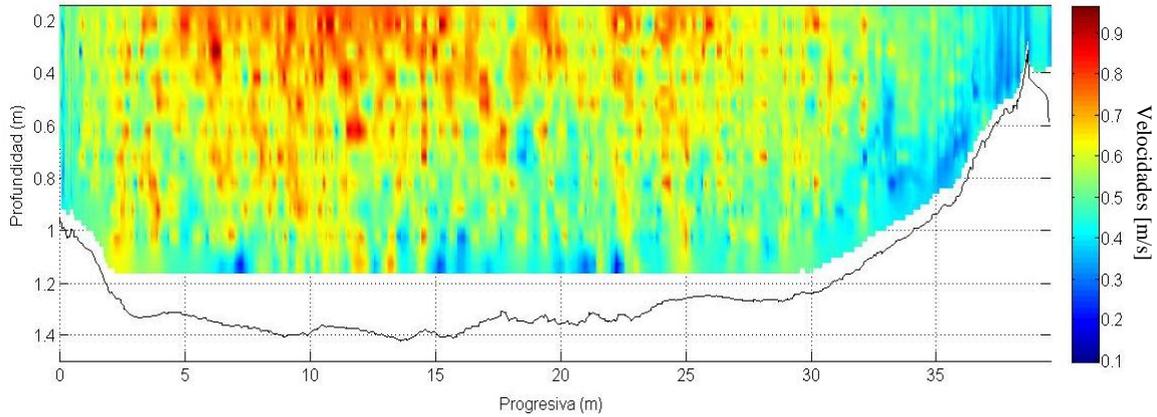


Figura 4.9 - Campo de velocidades promedio de la sección del río Tercero en la confluencia con el río Saladillo (14/05/2013).

La velocidad media es de 0,57 m/s. Las mayores velocidades se registraron en el centro y margen izquierda de la sección, siendo el valor máximo 0,96 m/s. La profundidad media es de aproximadamente 1,17 m, y la máxima profundidad es de 1,42 m, cercana al centro de la sección. La relación B/H es de 35.

- Río Saladillo - Sección confluencia.

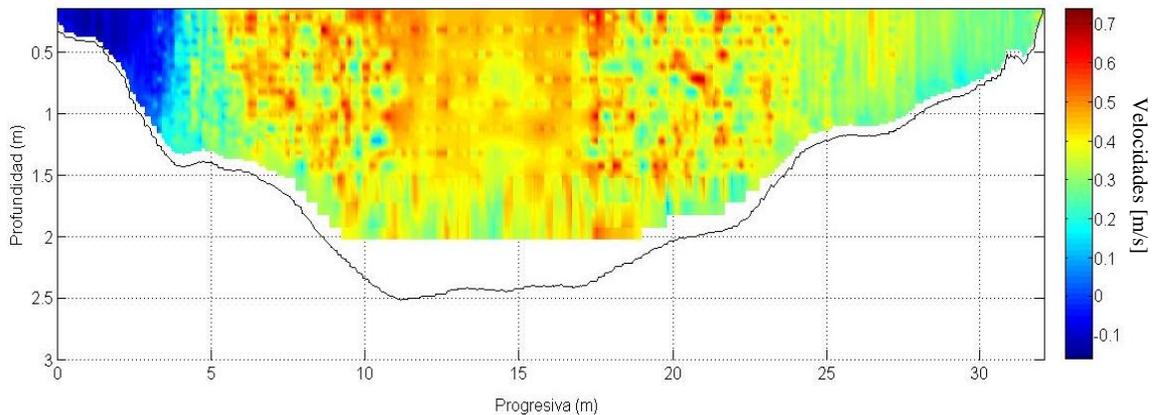


Figura 4.10 - Campo de velocidades promedio de la sección del río Saladillo en la confluencia con el río Tercero (14/05/2013).

La velocidad media es de 0,34 m/s. Las mayores velocidades se registraron en el centro de la sección, siendo el valor máximo 0,74 m/s. La profundidad media es de aproximadamente 1,55 m, y la máxima profundidad es de 2,51 m, cercana al centro de la sección. La relación B/H es de 22.

➤ Campaña N°7 (28 de Mayo de 2013):

- Río Tercero (Ctalamochita) - Sección balneario de la ciudad homónima².

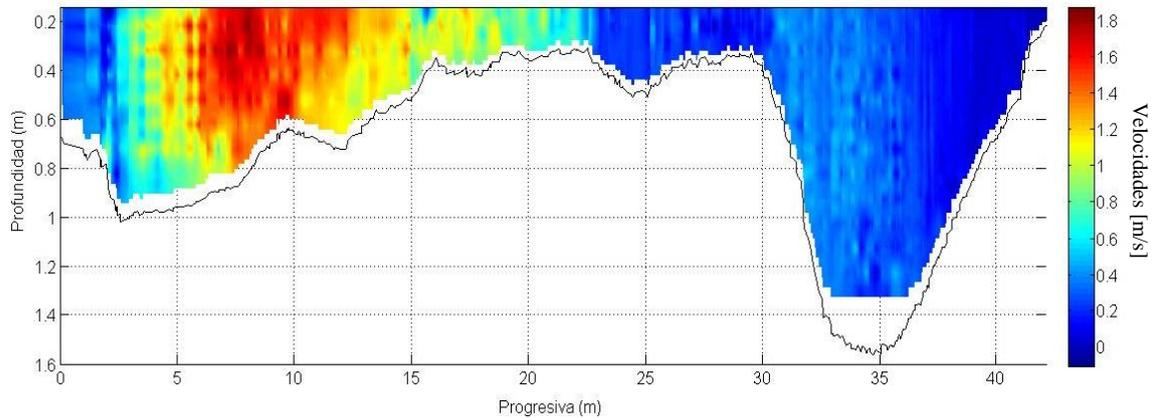


Figura 4.11 - Campo de velocidades promedio de la sección del río Tercero en balneario de la ciudad homónima (28/05/2013).

La velocidad media es de 0,61 m/s. Las mayores velocidades se registraron en el margen izquierdo de la sección, siendo el valor máximo 1,86 m/s. La profundidad media es de aproximadamente 0,70 m, y la máxima profundidad es de 1,56 m, cercana a la margen derecha de la sección. La relación B/H es de 60.

➤ Campaña N°8 (11 de Junio de 2013):

- Río Tercero (Ctalamochita) - Sección puente ruta 158 (Villa María).

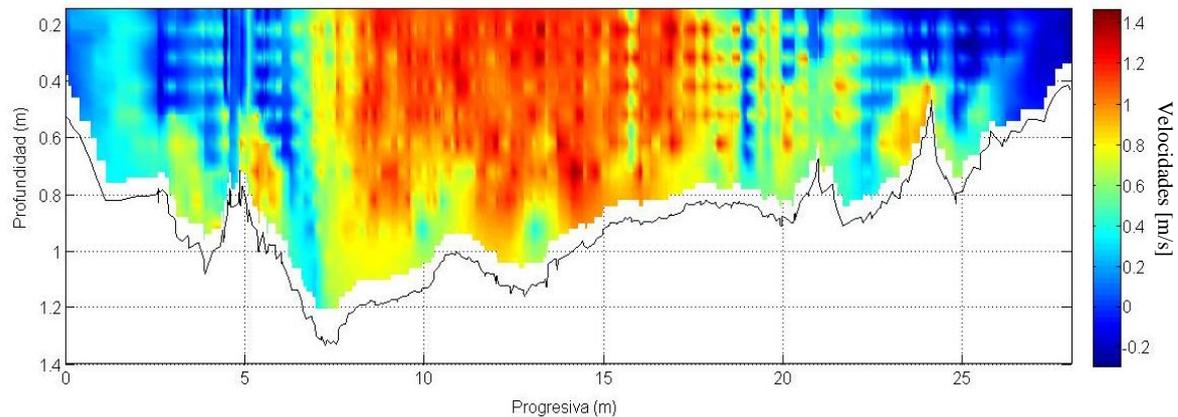


Figura 4.12 - Campo de velocidades promedio de la sección del río Tercero en puente ruta 158 (Villa María) (11/06/2013).

La velocidad media es de 0,75 m/s. Las mayores velocidades se registraron en el centro de la sección, siendo el valor máximo 1,46 m/s. La profundidad media es de aproximadamente 0,94 m, y la máxima profundidad es de 1,33 m, cercana a la margen izquierda de la sección. La relación B/H es de 25.

² Esta sección no se encuentra ubicada en la misma posición que las anteriores secciones de aforo en el balneario de la ciudad de Río Tercero.

- Río Saladillo – Sección puente ruta 6 (Monte Buey).

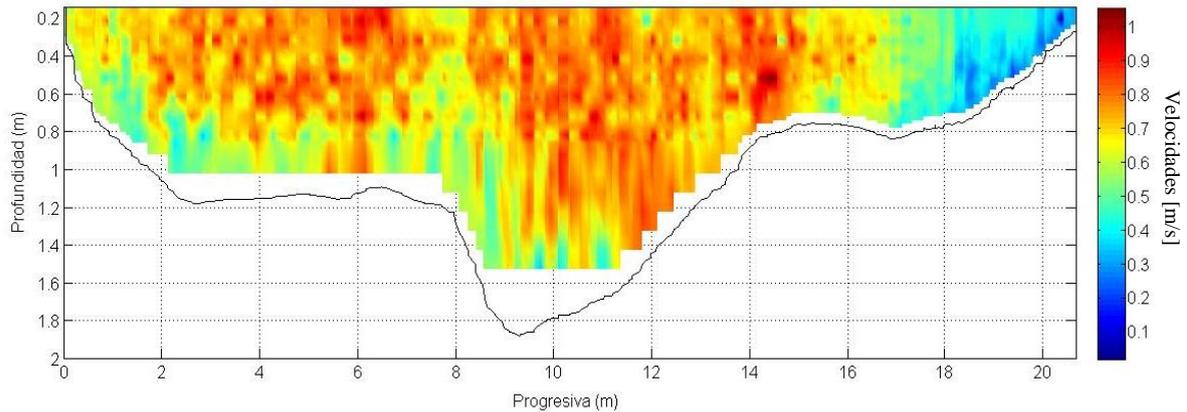


Figura 4.13 - Campo de velocidades promedio de la sección del río Saladillo en puente ruta 6 (Monte Buey) (11/06/2013).

La velocidad media es de 0,66 m/s. Las mayores velocidades se registraron en el centro y margen izquierda de la sección, siendo el valor máximo 1,05 m/s. La profundidad media es de aproximadamente 0,98 m, y la máxima profundidad es de 1,88 m, cercana al centro de la sección. La relación B/H es de 23.

- Río Carcarañá – Sección Inrville.

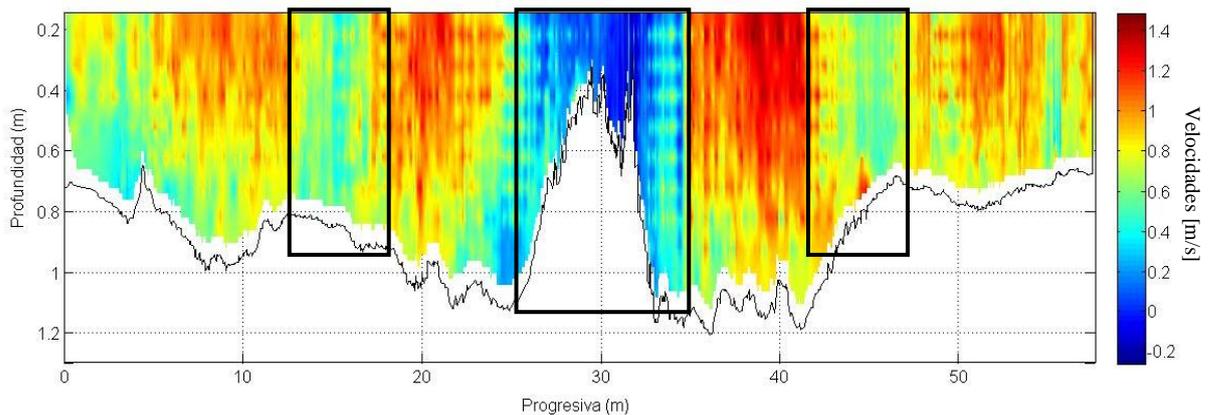


Figura 4.14 - Campo de velocidades promedio de la sección del río Carcarañá en Inrville (11/06/2013).

Se observa en la Figura 4.14 zonas de menor velocidad (zonas marcadas con recuadro negro), debido al efecto de las tres pilas del puente. La velocidad media es de 0,78 m/s. Exceptuando la parte central, se registraron grandes velocidades en toda la sección, siendo el valor máximo 1,48 m/s. La profundidad media es de aproximadamente 0,86 m, y la máxima profundidad es de 1,21 m, cercana al centro de la sección. La relación B/H es de 67.

- Río Carcarañá – Sección puente ruta 15 (Cruz Alta).

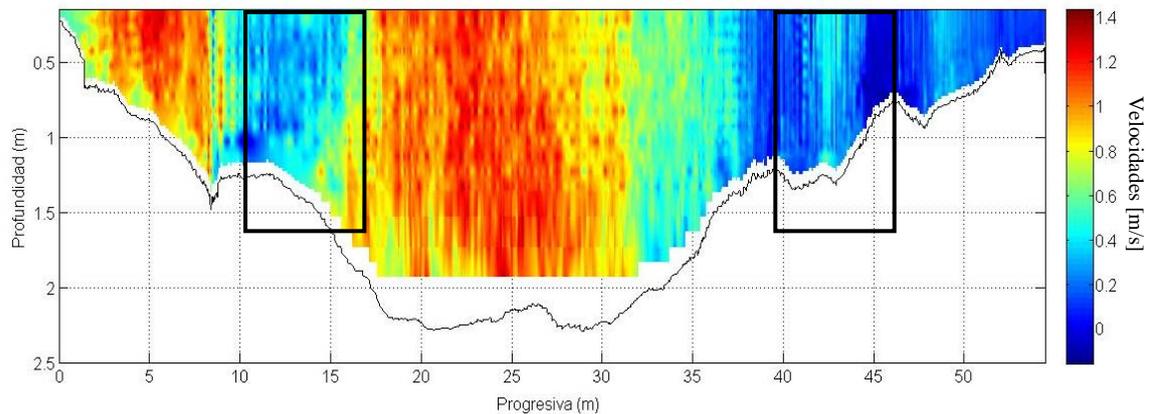


Figura 4.15 - Campo de velocidades promedio de la sección del río Carcarañá en puente ruta 15 (Cruz Alta) (11/06/2013).

Se observa en la Figura 4.15 zonas de menor velocidad (zonas marcadas con recuadro negro), debido al efecto de las dos pilas del puente. La velocidad media es de 0,65 m/s. Las mayores velocidades se registraron en el centro y margen izquierda de la sección, siendo el valor máximo 1,43 m/s. La profundidad media es de aproximadamente 1,35 m, y la máxima profundidad es de 2,29 m, cercana al centro de la sección. La relación B/H es de 42.

- Campaña N°9 (13 de Agosto de 2013):

- Río Tercero (Ctalamochita) - Sección confluencia.

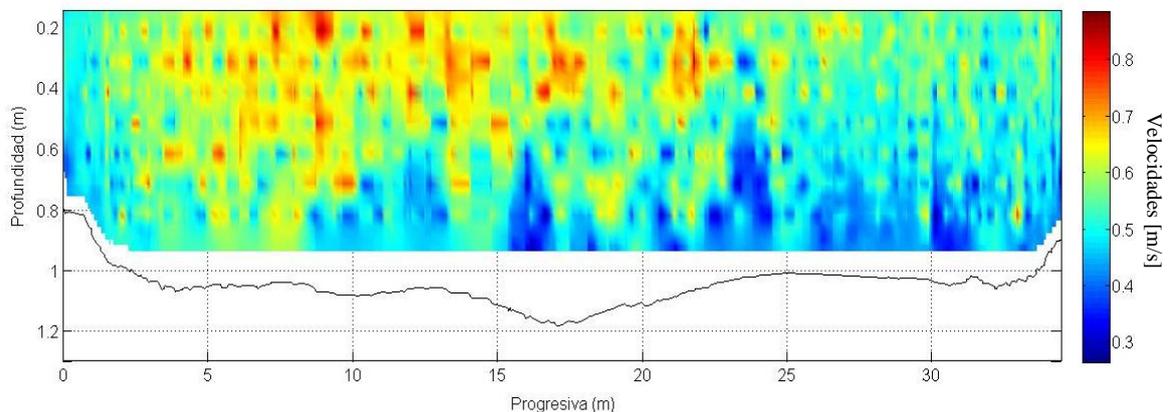


Figura 4.16 - Campo de velocidades promedio de la sección del río Tercero en la confluencia con el río Saladillo (13/08/2013).

La velocidad media es de 0,52 m/s. Las mayores velocidades se registraron en el centro y margen izquierda de la sección, siendo el valor máximo 0,88 m/s. La profundidad media es de aproximadamente 0,91 m, y la máxima profundidad es de 1,18 m, cercana al centro de la sección. La relación B/H es de 45.

- Río Saladillo - Sección confluencia.

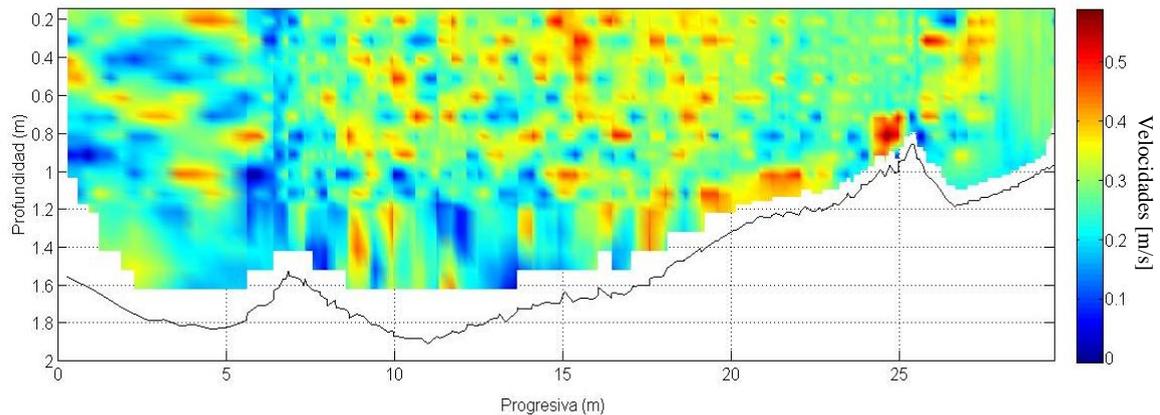


Figura 4.17 - Campo de velocidades promedio de la sección del río Saladillo en la confluencia con el río Tercero (13/08/2013).

La velocidad media es de 0,25 m/s. Las mayores velocidades se registraron en el centro de la sección, siendo el valor máximo 0,59 m/s. La profundidad media es de aproximadamente 1,29 m, y la máxima profundidad es de 1,91 m, cercana al centro de la sección. La relación B/H es de 26.

- Río Carcarañá - Sección confluencia.

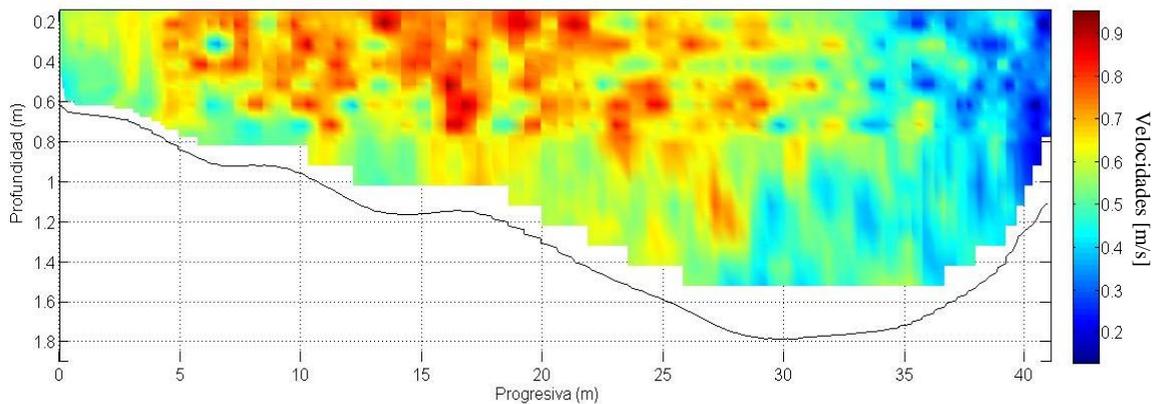


Figura 4.18 - Campo de velocidades promedio de la sección del río Carcarañá en la confluencia entre los ríos Tercero y Saladillo (13/08/2013).

La velocidad media es de 0,51 m/s. Las mayores velocidades se registraron en el centro y margen izquierda de la sección, siendo el valor máximo 0,95 m/s. La profundidad media es de aproximadamente 1,07 m, y la máxima profundidad es de 1,79 m, cercana a la margen derecha de la sección. La relación B/H es de 55.

➤ Campaña N°10 (9 y 10 de Septiembre de 2013):

- Río Tercero (Ctalamochita) - Sección balneario de la ciudad homónima³.

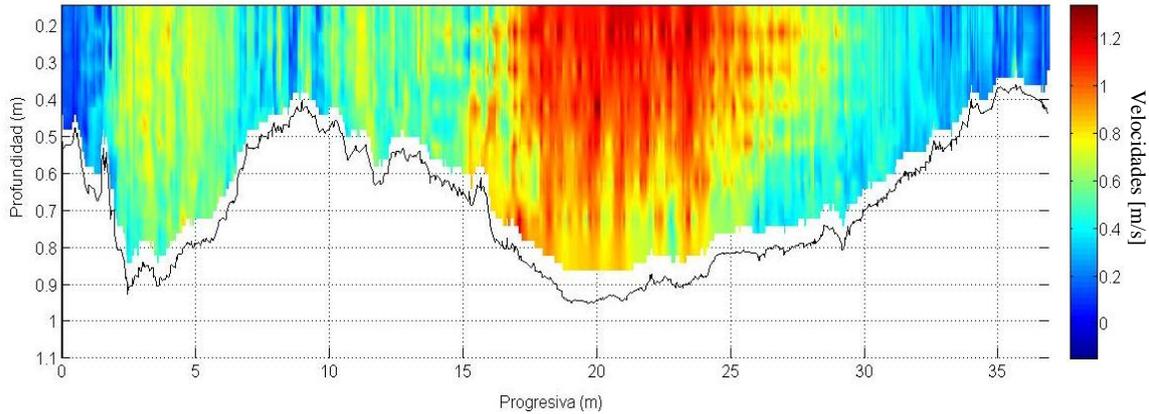


Figura 4.19 - Campo de velocidades promedio de la sección del río Tercero en balneario de la ciudad homónima (09/09/2013).

La velocidad media es de 0,68 m/s. Las mayores velocidades se registraron en el centro de la sección, siendo el valor máximo 1,33 m/s. La profundidad media es de aproximadamente 0,67 m, y la máxima profundidad es de 0,95 m, cercana al centro de la sección. La relación B/H es de 54.

- Río Saladillo – Sección puente ruta 6 (Monte Buey).

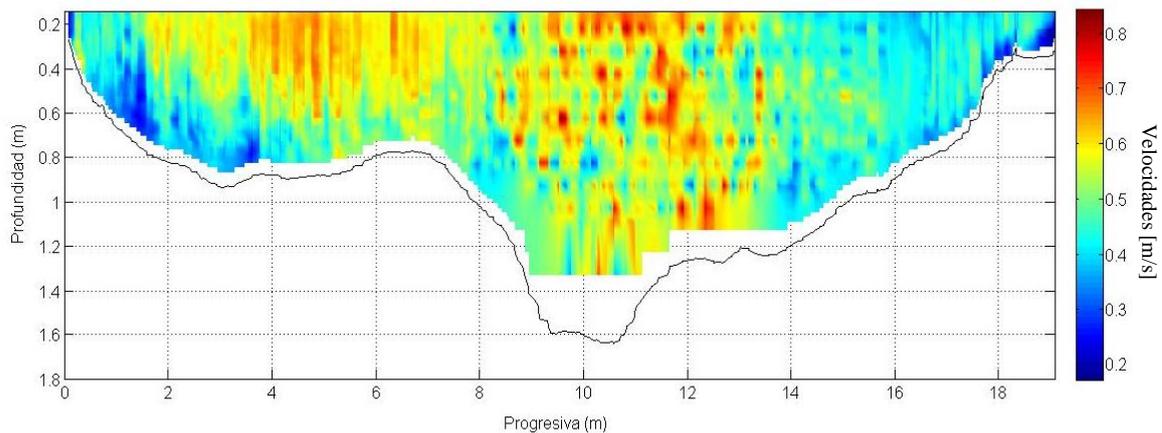


Figura 4.20 - Campo de velocidades promedio de la sección del río Saladillo en puente ruta 6 (10/09/2013).

La velocidad media es de 0,49 m/s. Las mayores velocidades se registraron en el centro y margen izquierda de la sección, siendo el valor máximo 0,84 m/s. La profundidad media es de aproximadamente 0,86 m, y la máxima profundidad es de 1,64 m, cercana al centro de la sección. La relación B/H es de 25.

³ Esta sección no se encuentra ubicada en la misma posición que las anteriores secciones de aforo en el balneario de la ciudad de Río Tercero.

- Río Carcarañá – Sección Inrville.

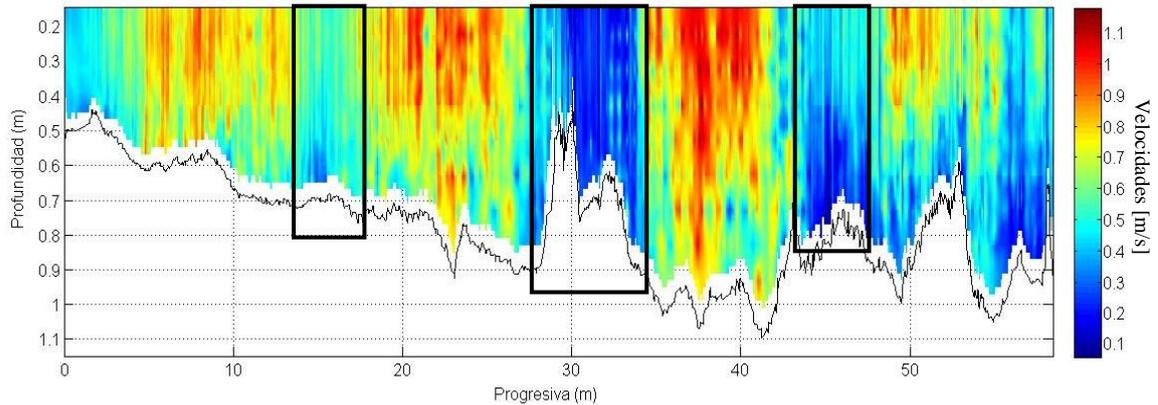


Figura 4.21 - Campo de velocidades promedio de la sección del río Carcarañá en Inrville (10/09/2013).

Se observa en la Figura 4.21 zonas de menor velocidad (zonas marcadas con recuadro negro), debido al efecto de las tres pilas del puente. La velocidad media es de 0,62 m/s. Exceptuando la parte central, se registraron grandes velocidades en toda la sección, siendo el valor máximo 1,18 m/s. La profundidad media es de aproximadamente 0,78 m, y la máxima profundidad es de 1,10 m, cercana a la margen derecha de la sección. La relación B/H es de 74.

➤ Campaña N°11 (30 de Septiembre y 1 de Octubre de 2013):

- Río Saladillo – Sección puente ruta 6 (Monte Buey).

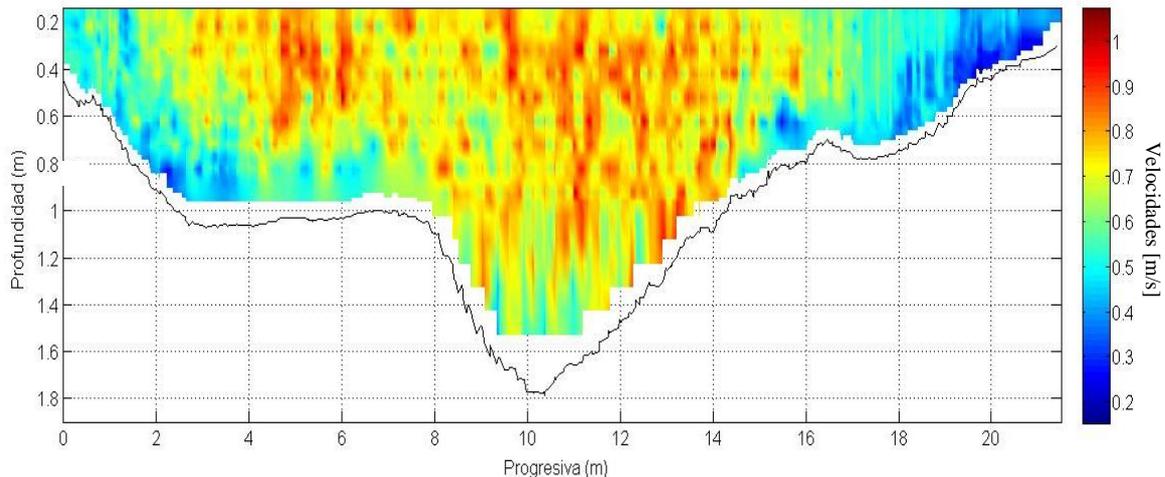


Figura 4.22 - Campo de velocidades promedio de la sección del río Saladillo en puente ruta 6 (Monte Buey) (30/09/2013).

La velocidad media es de 0,65 m/s. Las mayores velocidades se registraron en el centro y margen izquierda de la sección, siendo el valor máximo 1,07 m/s. La profundidad media es de aproximadamente 0,94 m, y la máxima profundidad es de 1,78 m, cercana al centro de la sección. La relación B/H es de 24.

- Río Carcarañá – Sección Inrville.

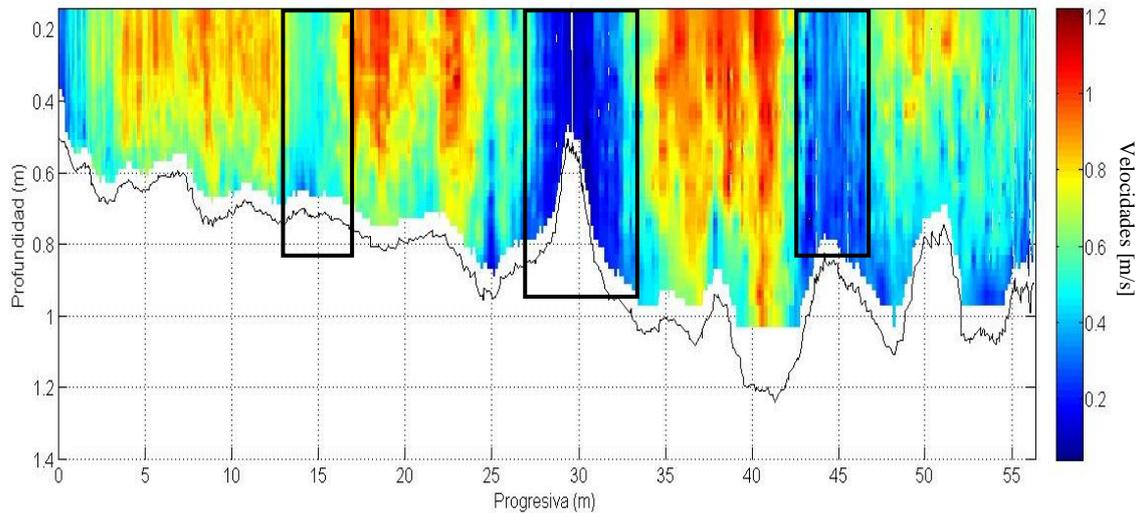


Figura 4.23 - Campo de velocidades promedio de la sección del río Carcarañá en Inrville (30/09/2013).

Se observa en la Figura 4.23 zonas de menor velocidad (zonas marcadas con recuadro negro), debido al efecto de las tres pilas del puente. La velocidad media es de 0,60 m/s. Exceptuando la parte central, se registraron grandes velocidades en toda la sección, siendo el valor máximo 1,22 m/s. La profundidad media es de aproximadamente 0,82 m, y la máxima profundidad es de 1,24 m. La relacion B/H es de 74.

- Río Carcarañá – Sección puente ruta 15 (Cruz Alta).

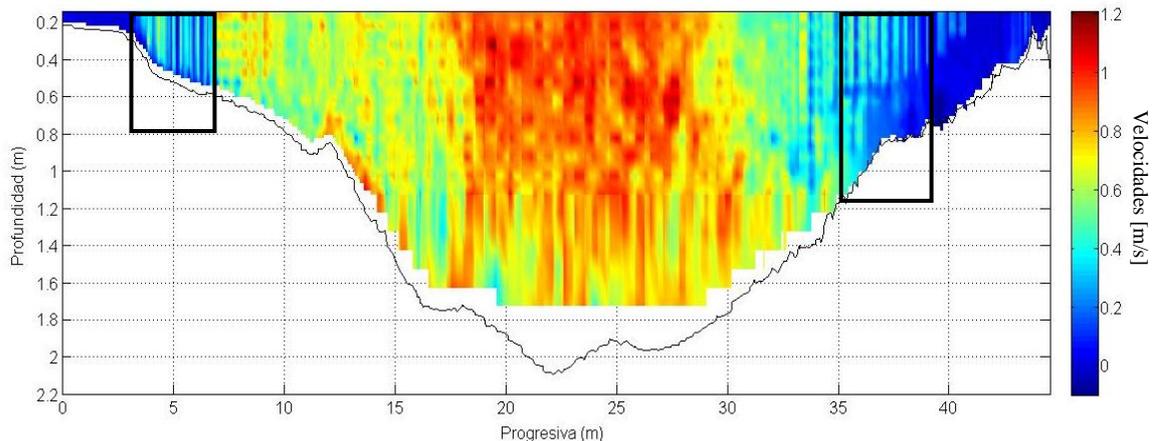


Figura 4.24 - Campo de velocidades promedio de la sección del río Carcarañá en puente ruta 15 (Cruz Alta) (30/09/2013).

Se observa en la Figura 4.24 zonas de menor velocidad (zonas marcadas con recuadro negro), debido al efecto de las dos pilas del puente. La velocidad media es de 0,63 m/s. Las mayores velocidades se registraron en el centro de la sección, siendo el valor máximo 1,20 m/s. La profundidad media es de aproximadamente 1,12 m, y la máxima profundidad es de 2,09 m, cercana al centro de la sección. La relacion B/H es de 42.

- Río Carcarañá – Sección Parque Sarmiento (Carcarañá).

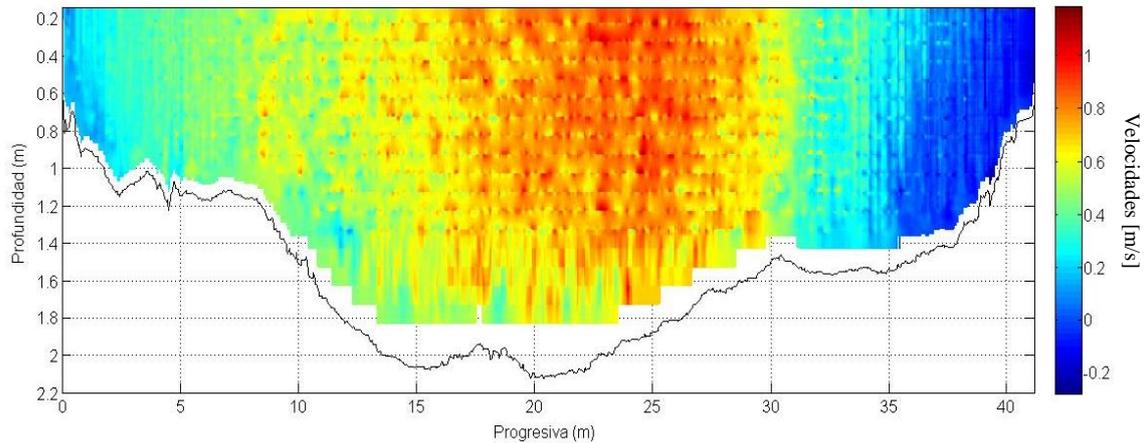


Figura 4.25 - Campo de velocidades promedio de la sección del río Carcarañá en Parque Sarmiento (Carcarañá) (30/09/2013).

La velocidad media es de 0,50 m/s. Las mayores velocidades se registraron en el centro de la sección, siendo el valor máximo 1,18 m/s. La profundidad media es de aproximadamente 1,50 m, y la máxima profundidad es de 2,12 m, cercana al centro de la sección. La relación B/H es de 28.

- Río Carcarañá – Sección Pueblo Andino.

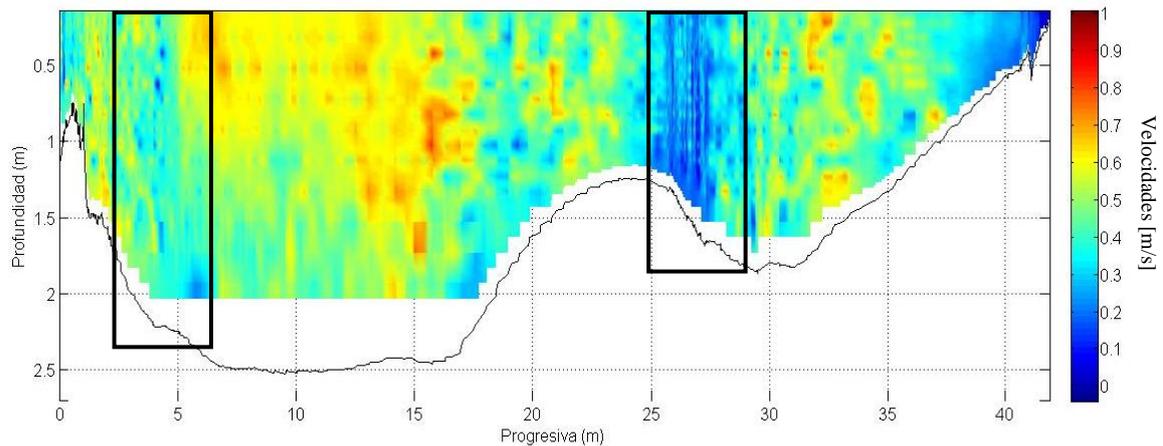


Figura 4.26 - Campo de velocidades promedio de la sección del río Carcarañá en Pueblo Andino (01/10/2013).

Se observa en la Figura 4.26 zonas de menor velocidad (zonas marcadas con recuadro negro), debido al efecto de las dos pilas del puente. La velocidad media es de 0,43 m/s. Las mayores velocidades se registraron en la margen izquierda de la sección, siendo el valor máximo 0,93 m/s. La profundidad media es de aproximadamente 1,63 m, y la máxima profundidad es de 2,55 m, cercana a la margen izquierda de la sección. La relación B/H es de 28.

- Río Carcarañá – Sección Gaboto.

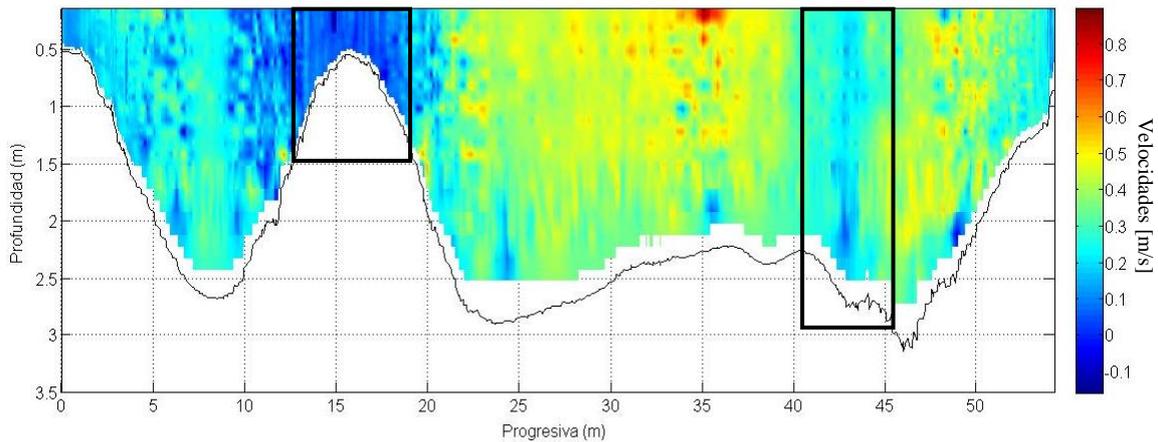


Figura 4.27 - Campo de velocidades promedio de la sección del río Carcarañá en Gaboto (01/10/2013).

Se observa en la Figura 4.27 zonas de menor velocidad (zonas marcadas con recuadro negro), debido al efecto de las dos pilas del puente. La velocidad media es de 0,31 m/s. Las mayores velocidades se registraron en el centro y margen derecha de la sección, siendo el valor máximo 0,90 m/s. La profundidad media es de aproximadamente 1,98 m, y la máxima profundidad es de 3,14 m, cercana a la margen derecha de la sección. La relación B/H es de 28.

➤ Campaña N°12 (19 y 20 de Noviembre de 2013):

- Río Tercero (Ctalamochita) – Sección puente Lavalle (Villa María).

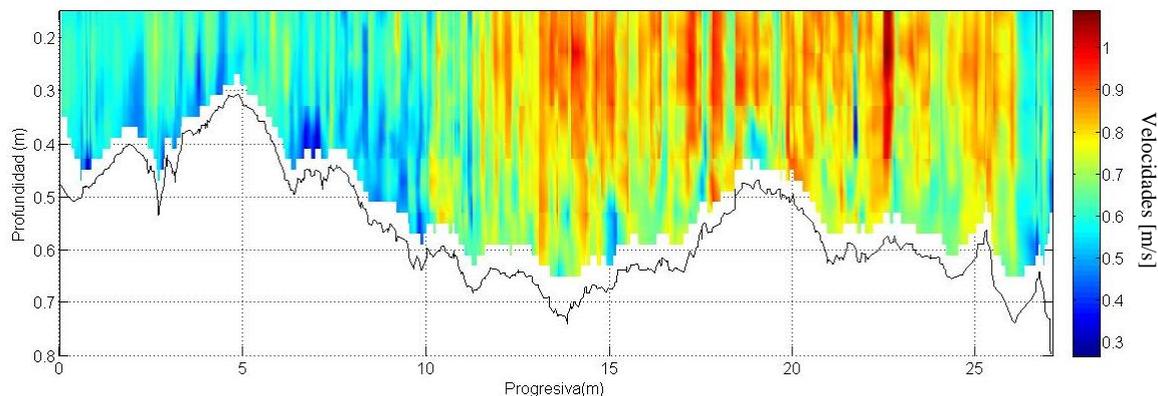


Figura 4.28 - Campo de velocidades promedio de la sección del río Tercero (Ctalamochita) en puente Lavalle (Villa María) (19/11/2013).

La velocidad media es de 0,69 m/s. Las mayores velocidades se registraron en el centro y margen derecha de la sección, siendo el valor máximo 1,09 m/s. La profundidad media es de aproximadamente 0,51 m, y la máxima profundidad es de 0,80 m, cercana a la margen derecha de la sección. La relación B/H es de 54.

- Río Saladillo – Sección puente ruta 6 (Monte Buey).

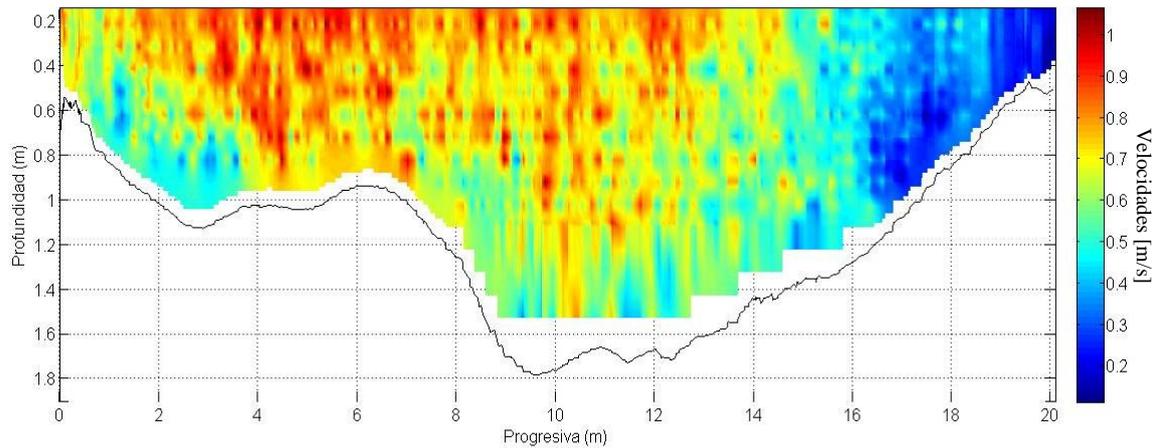


Figura 4.29 - Campo de velocidades promedio de la sección del río Saladillo en puente ruta 6 (Monte Buey) (19/11/2013).

La velocidad media es de 0,62 m/s. Las mayores velocidades se registraron en el centro y margen derecha de la sección, siendo el valor máximo 1,06 m/s. La profundidad media es de aproximadamente 1,06 m, y la máxima profundidad es de 1,78 m, cercana a la margen derecha de la sección. La relación B/H es de 21.

- Río Carcarañá – Sección puente ruta 12 (Inrville).

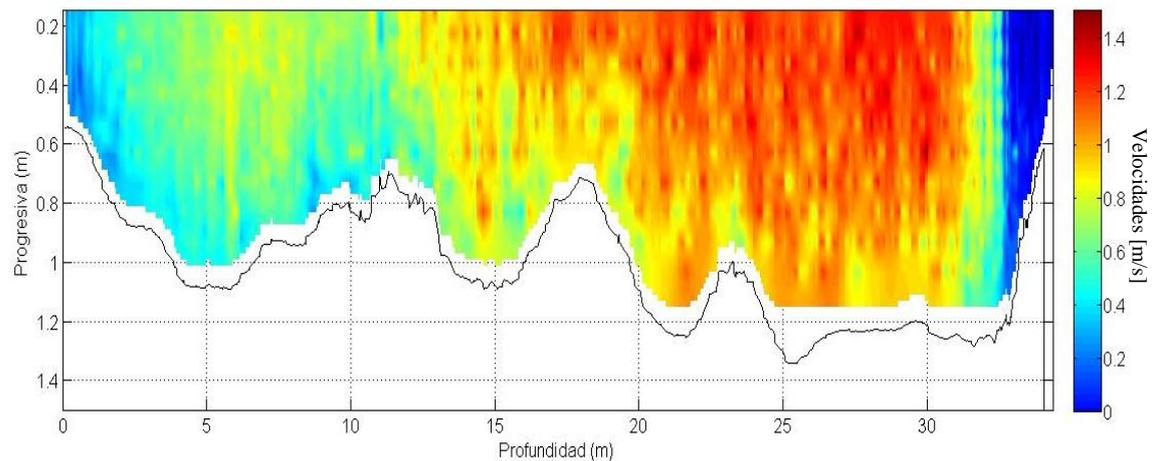


Figura 4.30 - Campo de velocidades promedio de la sección del río Carcarañá en puente ruta 12 (Inrville) (19/11/2013).

La velocidad media es de 0,83 m/s. Las mayores velocidades se registraron en el centro y margen derecha de la sección, siendo el valor máximo 1,52 m/s. La profundidad media es de aproximadamente 0,93 m, y la máxima profundidad es de 1,34 m, cercana a la margen derecha de la sección. La relación B/H es de 39.

- Río Carcarañá – Sección puente ruta 15 (Cruz Alta).

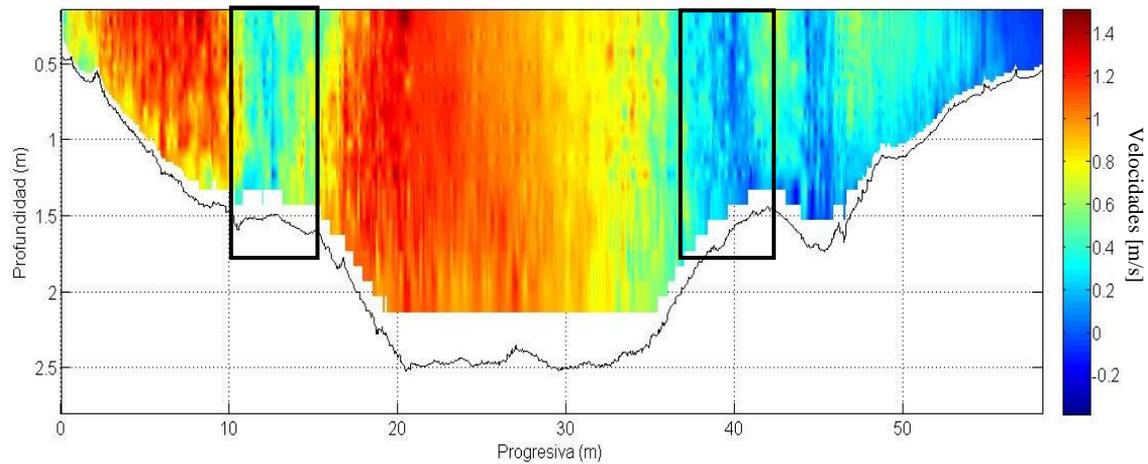


Figura 4.31 - Campo de velocidades promedio de la sección del río Carcarañá en puente ruta 15 (Cruz Alta) (19/11/2013).

Se observa en la Figura 4.31 zonas de menor velocidad (zonas marcadas con recuadro negro), debido al efecto de las dos pilas del puente. La velocidad media es de 0,69 m/s. Las mayores velocidades se registraron en el centro y margen derecha de la sección, siendo el valor máximo 1,50 m/s. La profundidad media es de aproximadamente 1,60 m, y la máxima profundidad es de 2,52 m, cercana al centro de la sección. La relación B/H es de 37.

- Río Carcarañá – Sección Parque Sarmiento (Carcarañá).

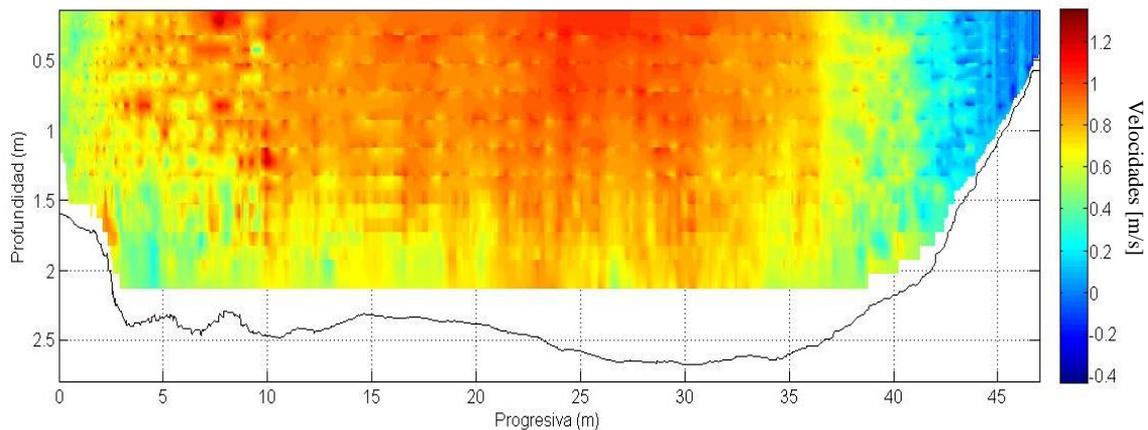


Figura 4.32 - Campo de velocidades promedio de la sección del río Carcarañá en Parque Sarmiento (Carcarañá) (19/11/2013).

La velocidad media es de 0,75 m/s. Las mayores velocidades se registraron en el centro y margen derecha de la sección, siendo el valor máximo 1,35 m/s. La profundidad media es de aproximadamente 2,02 m, y la máxima profundidad es de 2,68 m, cercana a la margen derecha de la sección. La relación B/H es de 24.

- Río Carcarañá – Sección Pueblo Andino.

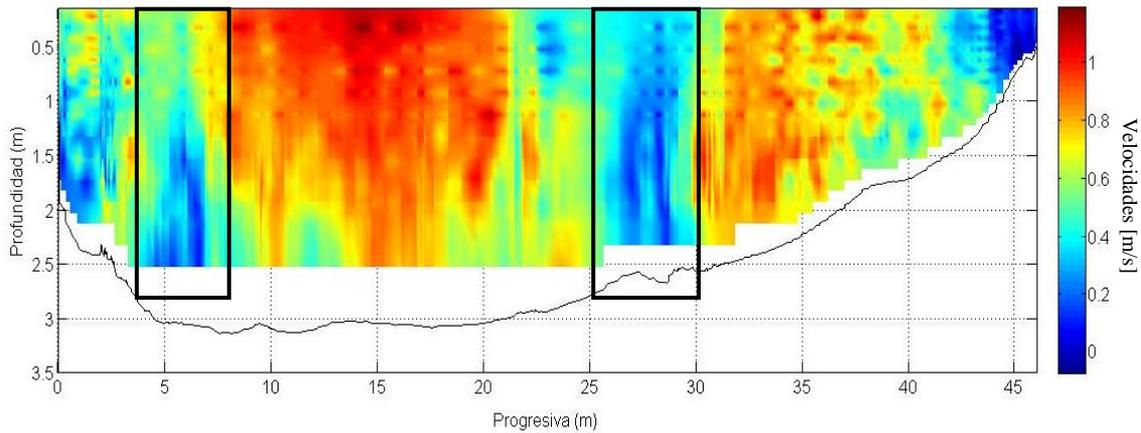


Figura 4.33 - Campo de velocidades promedio de la sección del río Carcarañá en Pueblo Andino (20/11/2013).

Se observa en la Figura 4.33 zonas de menor velocidad (zonas marcadas en negro), debido al efecto abajo de las pilas del puente. La velocidad media es de 0,62 m/s. Las mayores velocidades se registraron en el centro y margen derecha de la sección, siendo el valor máximo 1,18 m/s. La profundidad media es de aproximadamente 2,43 m, y la máxima profundidad es de 3,14 m, cercana a la margen derecha de la sección. La relación B/H es de 20.

- Río Carcarañá – Sección Gaboto.

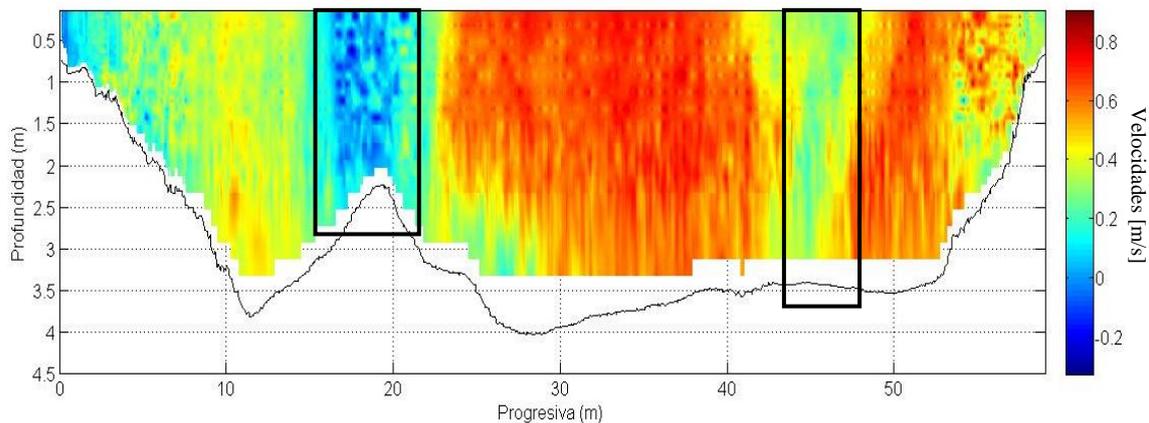


Figura 4.34 - Campo de velocidades promedio de la sección del río Carcarañá en Gaboto (20/11/2013).

Se observa en la Figura 4.34 zonas de menor velocidad (zonas marcadas con recuadro negro), debido al efecto abajo de las dos pilas del puente. La velocidad media es de 0,44 m/s. Las mayores velocidades se registraron en el centro y margen derecha de la sección, siendo el valor máximo 0,90 m/s. La profundidad media es de aproximadamente 3,01 m, y la máxima profundidad es de 4,03 m, cercana al centro de la sección. La relación B/H es de 20.

- Arroyo Tortugas – Sección Tortugas.

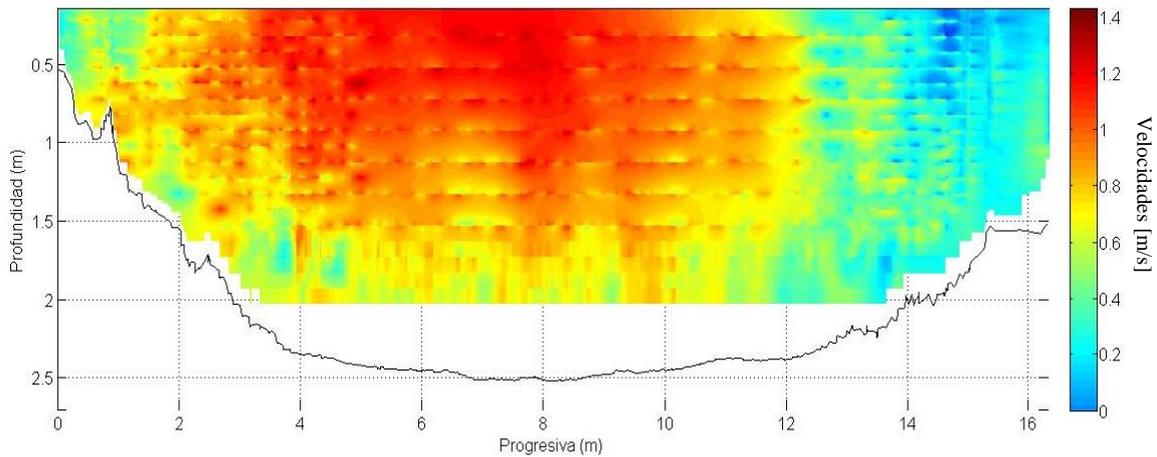


Figura 4.35 - Campo de velocidades promedio de la sección del arroyo Tortugas en la localidad homónima (20/11/2013).

La velocidad media es de 0,71 m/s. Las mayores velocidades se registraron en el centro y margen izquierda de la sección, siendo el valor máximo 1,43 m/s. La profundidad media es de aproximadamente 2,08 m, y la máxima profundidad es de 2,52 m, cercana a la margen derecha de la sección. La relación B/H es de 8.

- Campaña N°13 (17 de Diciembre de 2013):

- Río Tercero (Ctalamochita) – Sección azud Bell Ville.

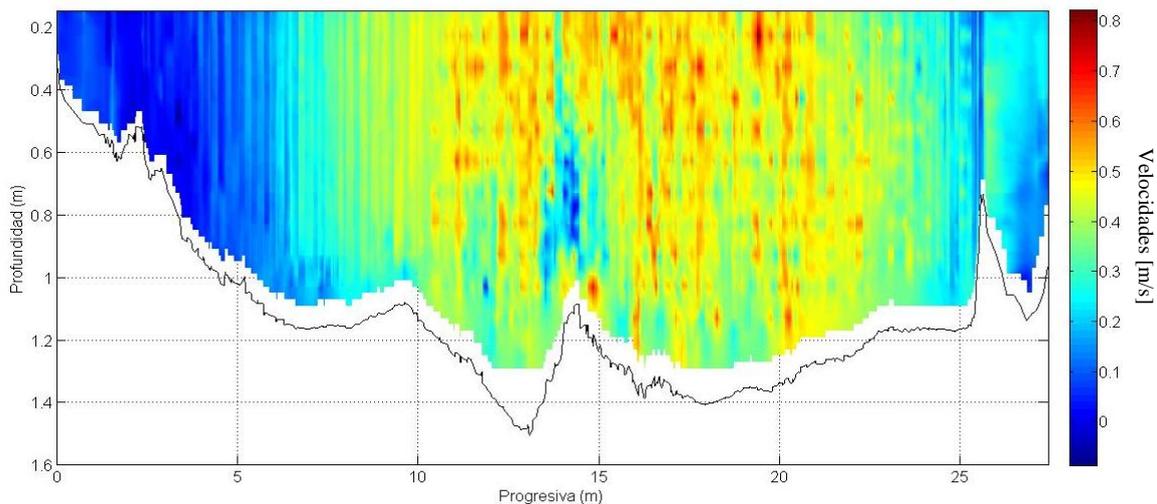


Figura 4.36 - Campo de velocidades promedio de la sección azud Bell Ville (17/12/2013).

La velocidad media es de 0,34 m/s. Las mayores velocidades se registraron en el centro y margen derecha de la sección, siendo el valor máximo 0,82 m/s. La profundidad media es de aproximadamente 1,02 m, y la máxima profundidad es de 1,50 m, cercana al centro de la sección. La relación B/H es de 28.

- Río Tercero (Ctalamochita) – Sección azud San Marcos.

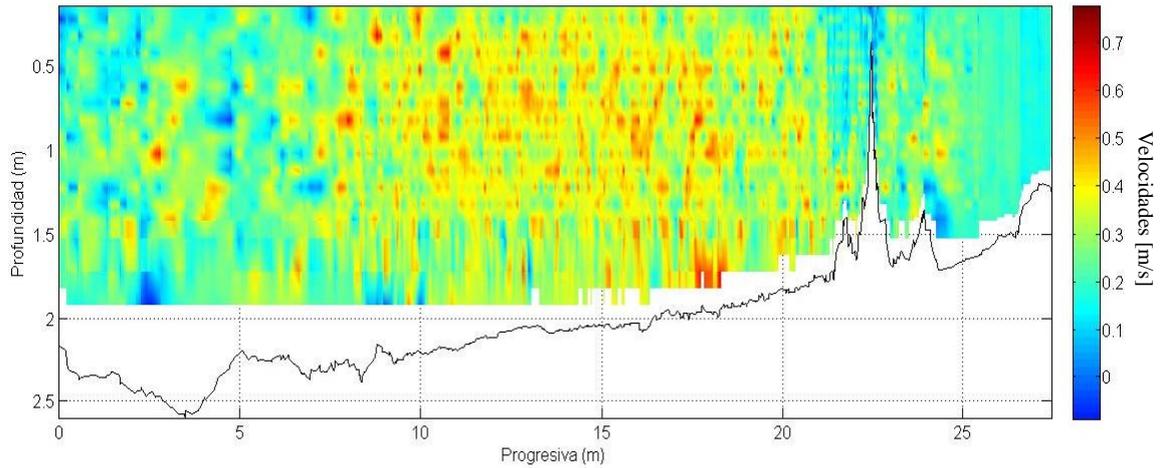


Figura 4.37 - Campo de velocidades promedio de la sección azud San Marcos (17/12/2013).

La velocidad media es de 0,28 m/s. Las mayores velocidades se registraron en el centro y margen derecha de la sección, siendo el valor máximo 0,78 m/s. La profundidad media es de aproximadamente 1,83 m, y la máxima profundidad es de 2,60 m, cercana a la margen izquierda de la sección. La relación B/H es de 15.

4.2.1 Análisis espacial y temporal de los caudales escurridos

Debido a que el caudal escurrido por el río Tercero en el balneario de la ciudad homónima se encuentra fuertemente regulado por el funcionamiento del embalse Piedras Moras, su variación a lo largo del tiempo no sufre grandes alteraciones (Figura 4.38).

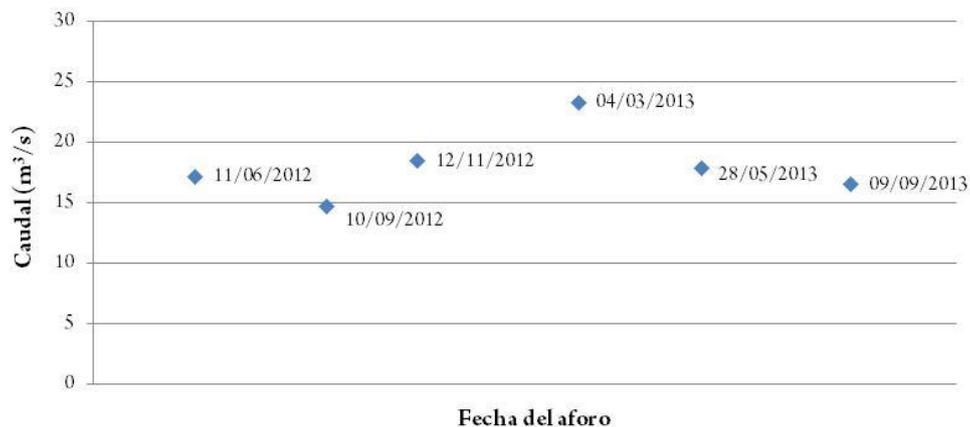


Figura 4.38 - Evolución del caudal del río Tercero en el balneario de la ciudad homónima.

La Tabla 4.5 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. Además, la Figura 4.39 contrasta los caudales reportados en la Tabla 4.5 (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 de erogación de la central son buenos estimadores del caudal escurrido en esa sección.

Tabla 4.5 - 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.

Fecha	Caudal (m ³ /s)
11/06/2012	17,47
10/09/2012	15,74
12/11/2012	18,38
04/03/2013	23,75
28/05/2013	17,80
09/09/2013	15,78

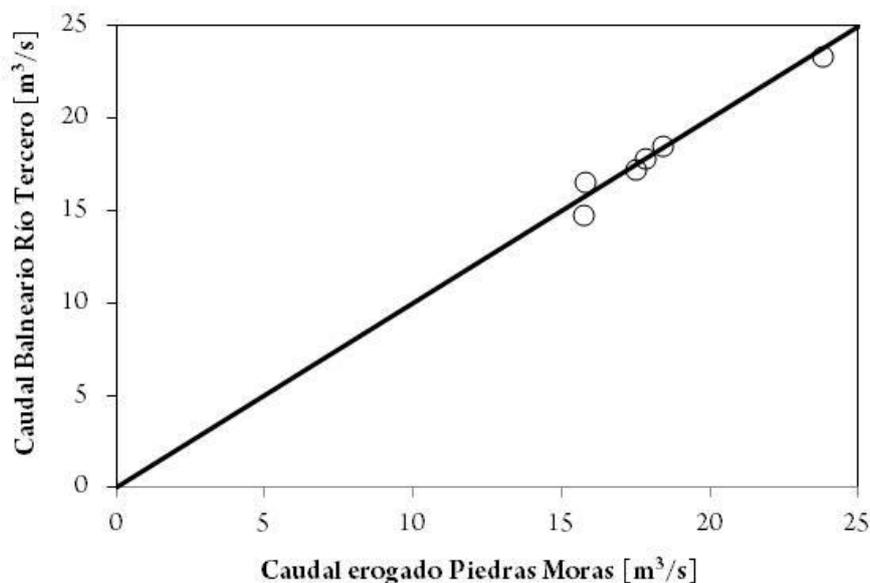


Figura 4.39 - Contraste entre los caudales reportados en la Tabla 4.5 (erogados en la central hidroeléctrica) y los caudales medidos en la sección emplazada en el Balneario de la ciudad de Río Tercero.

A medida que el río Tercero continua su recorrido, la influencia de los eventos hidrometeorológicos es cada vez más importante, mostrando mayor variabilidad en su comportamiento. Esto puede observarse en los valores de caudal aforados en la confluencia, donde las intensas lluvias producidas en la cuenca produjeron un crecimiento notable del volumen de agua escurrido (Figura 4.40). Lo mismo sucede con el caudal del río Saladillo, el cual tiene una variación estacional importante, debido a que no está regulado y además esta canalizado. El valor de caudal aforado en diciembre del año 2012 fue mayor al observado en el río Tercero, lo cual no es habitual en el resto del año (Figura 4.40).



Figura 4.40 - Evolución del caudal de los ríos Tercero y Saladillo en la confluencia.

Haciendo referencia a la campaña N°8 realizada en junio del año 2013, en el tramo del río Tercero comprendido entre el puente de la ruta 158 (Villa María) y la confluencia con el río Saladillo hubo, un aporte global de 4,13 m³/seg debido a pequeños cursos provenientes de campos aledaños. 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 hubo un aporte global de cursos intermedios de 10,8 m³/seg.

Los períodos lluviosos también presentan una influencia importante en el caudal escurrido por el arroyo Tortugas. Este curso de agua puede aportar, al río Carcarañá, caudales de igual magnitud que sus otros principales tributarios (ríos Tercero y Saladillo). En la campaña efectuada en noviembre de 2013 se puede observar la gran variación que presenta el caudal del río Carcarañá entre las secciones de Inrville y Cruz Alta, debido al aporte de este arroyo (Figura 4.41).

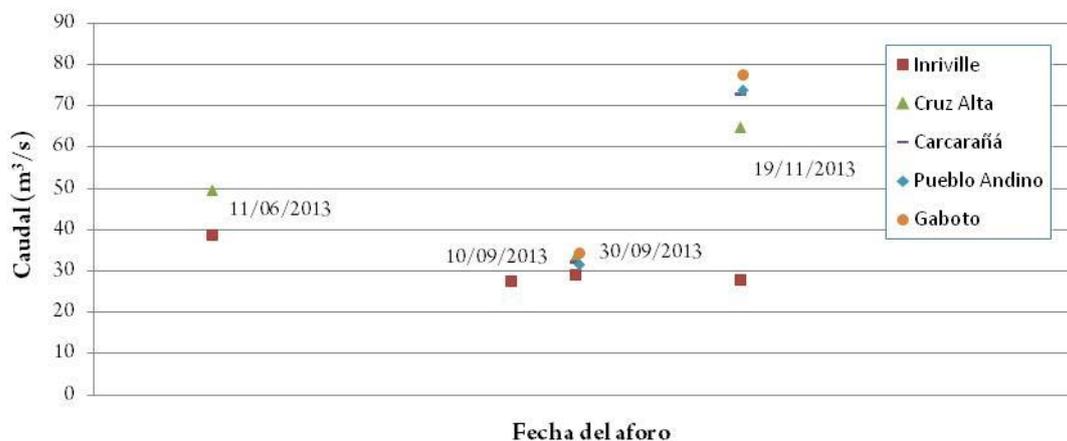


Figura 4.41 - Evolución del caudal del río Carcarañá en diferentes secciones de aforo.

4.3 CONDUCTIVIDADES

Los datos reportados durante las campañas 6, 8, 9 y 10 fueron registrados en periodos de aguas bajas (mayo a septiembre de 2013).

En la campaña realizada en junio de 2013 se pudo determinar que el río Tercero experimenta un aumento de salinidad desde Villa María (conductividad de 0,23mS/cm) hasta la confluencia (conductividad de 1,95mS/cm). Las dos masas de agua (ríos 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 y es uniforme en dirección transversal. Además la conductividad en el río Carcarañá crece en dirección aguas abajo, desde 4,24 a 6,79 mS/cm, debido a los aportes recibidos.

En agosto de 2013 Herrero et al. (2013) pudieron 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 (0,23mS/cm) hasta la confluencia (2,20mS/cm) debido a las descargas existentes. Además, al igual que lo sucedido en la campaña de junio, los dos cursos (ríos Tercero y Saladillo) se encontraban completamente mezclados 11,5km aguas abajo de la confluencia.

Debido a las lluvias producidas en la subcuenca del río Saladillo en días anteriores a realizar la campaña N°11, efectuada los días 30 de septiembre y 1 de octubre del año 2013, la conductividad de dicho curso disminuyó en comparación con valores aforados en campañas anteriores. Esto se debe a la disolución de las sales con el aporte pluvial.

Además a través del valor de conductividad del río Carcarañá en la sección ubicada en Inriville, se verifica 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 (Figura 4.42).

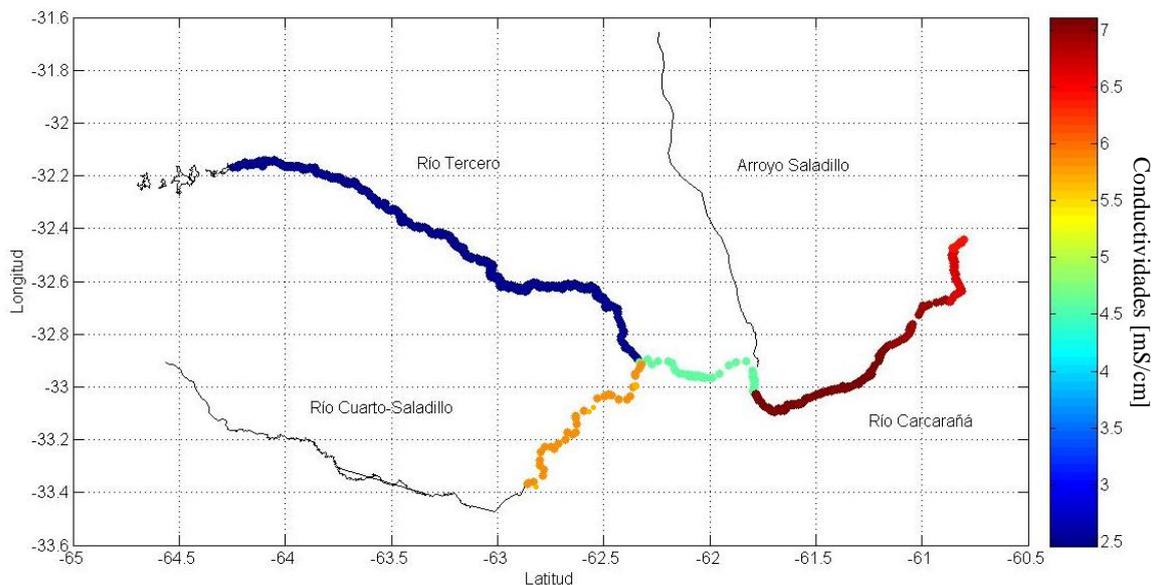


Figura 4.42 - Evolución de la conductividad en [mS/cm] para diferentes tramos de los ríos Tercero, Saladillo y Carcarañá durante los días 30 de septiembre y 01 de octubre de 2013 .

En la Figura 4.43 se observa la evolución de la conductividad de los ríos Tercero, Saladillo, Carcarañá y Arroyo Tortugas durante la campaña N°12 realizada en noviembre del año 2013.

Se puede apreciar que en la confluencia entre los ríos Tercero y Saladillo, este último duplica el valor de conductividad que presenta el primero y es el más alto de todo el sistema fluvial. Esta diferencia se debe a las sales disueltas que acarrea el Río Saladillo.

En su nacimiento, el río Carcarañá presenta una conductividad superior a 6mS/cm. Este valor sufre un pequeño incremento al recibir el aporte de sales provenientes del Arroyo Tortugas. A partir de este punto y hasta su desembocadura, la conductividad no varía en forma significativa.

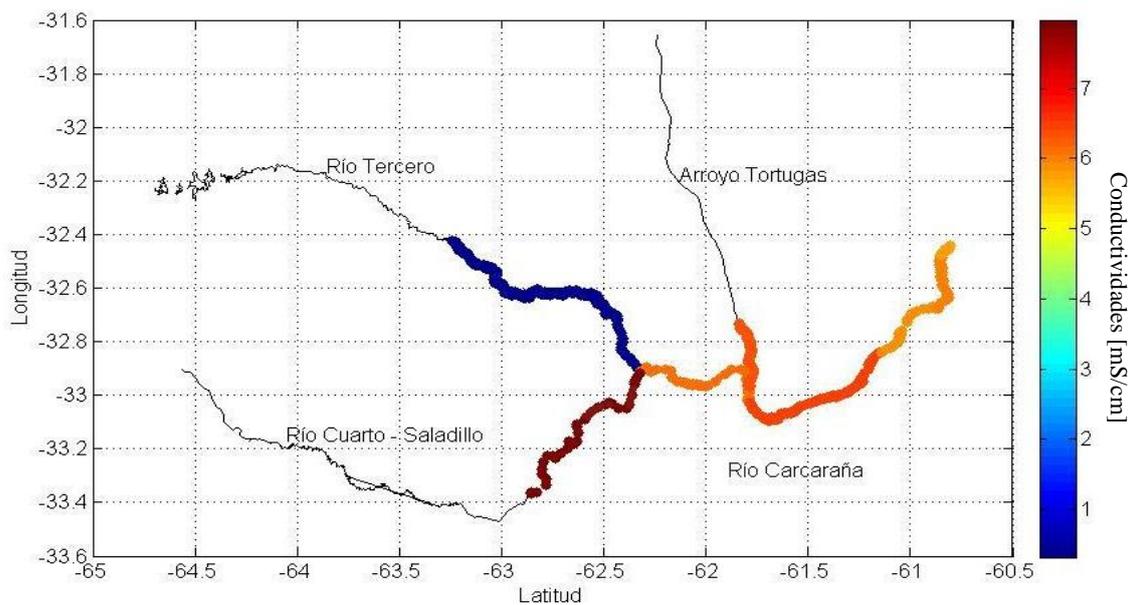


Figura 4.43 - Evolución de la conductividad en [mS/cm] para diferentes tramos de los ríos Tercero, Saladillo, Carcarañá y Arroyo Tortugas durante los días 19 y 20 de noviembre de 2013.

4.4. DETERMINACIONES EXPERIMENTALES COMPLEMENTARIAS

4.4.1 Pendientes de la superficie libre

Para obtener la pendiente en las diferentes secciones en estudio durante la campaña N°12, se registraron lecturas con un nivel y mira telescópica de la superficie libre en diferentes puntos siguiendo la trayectoria del río o arroyo (Figura 4.44).

Luego se graficaron esos datos para poder obtener la ecuación que representa la recta, y con ello se obtuvo la pendiente.



Figura 4.44 - Lecturas con nivel y mira telescópica, en río Carcarañá - sección Parque Sarmiento (Carcarañá).

4.4.1.1 Pendiente del Río Tercero (Ctalamochita) – Sección Balneario.

Lenarduzzi (2013), utilizando la misma metodología, determino la pendiente de este tramo del río, arribando a un valor de 0,001125 o 1,125%.

4.4.1.2 Pendiente del Río Tercero (Ctalamochita) – Sección puente Lavalle (Villa María).

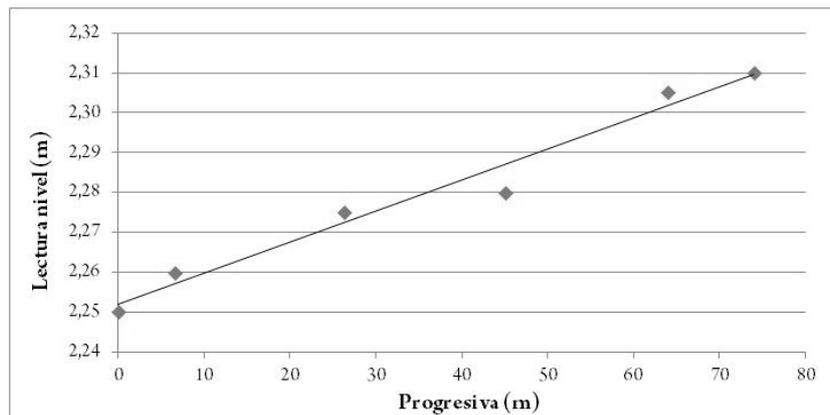


Figura 4.45 - Pendiente y ecuación de la recta del Río Tercero (Ctalamochita) – Sección puente Lavalle (Villa María).

La pendiente del tramo fue de 0,00077904 o 0,779%.

4.4.1.3 Pendiente de los Ríos Tercero (Ctalamochita) y Carcarañá – Sección confluencia.

Herrero et al (2013) determino la pendiente del último tramo del río Tercero antes de la confluencia con el río Saladillo y en un tramo aguas abajo de la confluencia (río Carcarañá).

Se realizaron perfiles longitudinales en la línea central de los cursos de agua con una embarcación en la cual se encontró instalado un sistema de posicionamiento global en forma diferencial (DGPS), el cual se referenció a una estación base (sistema RTK) ubicada en la costa.

Se arribo a un valor de pendiente del río Tercero de 0,0001829 o 0,183‰, el cual se mantiene constante aguas abajo de la confluencia.

4.4.1.4 Pendiente del Río Saladillo – Sección puente ruta 6 (Monte Buey).

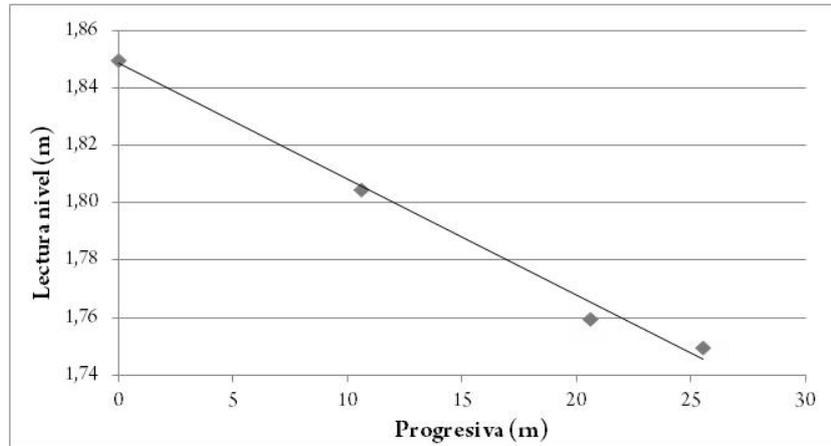


Figura 4.46 - Pendiente y ecuación de la recta del Río Saladillo – Sección puente ruta 6 (MB).

La pendiente del tramo fue de 0,004044 o 4,044‰.

4.4.1.5 Pendiente del Río Carcarañá – Sección puente ruta 12 (Inrville).

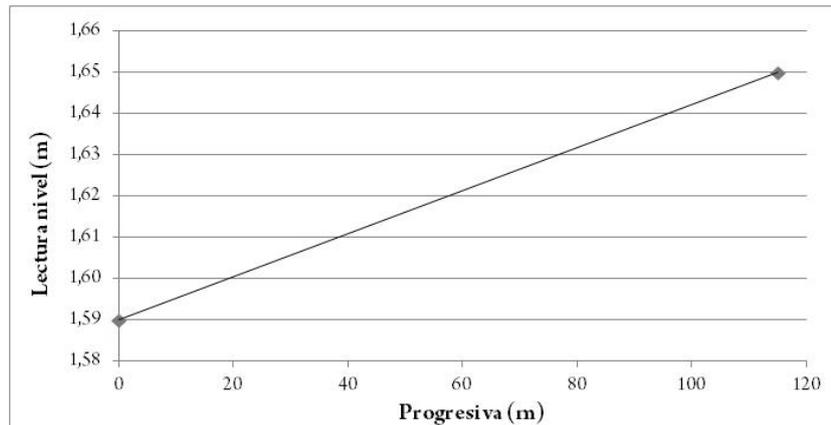


Figura 4.47 - Pendiente y ecuación de la recta del Río Carcarañá – Sección puente ruta 12 (Inrville).

La pendiente del tramo fue de 0,0005217 o 0,522‰.

4.4.1.6 Pendiente del Río Carcarañá – Sección Parque Sarmiento (Carcarañá).

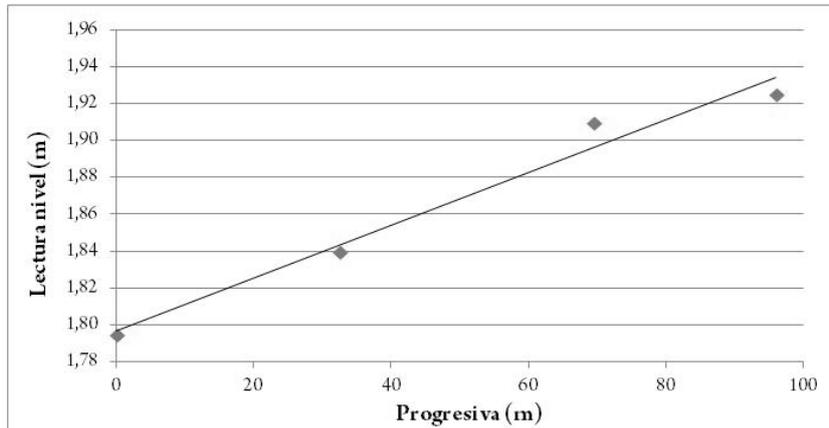


Figura 4.48 - Pendiente y ecuación de la recta del Río Carcarañá – Sección Parque Sarmiento. La pendiente del tramo fue de 0,0014298 o 1,423%.

4.4.1.7 Pendiente del Arroyo Tortugas – Sección Tortugas.

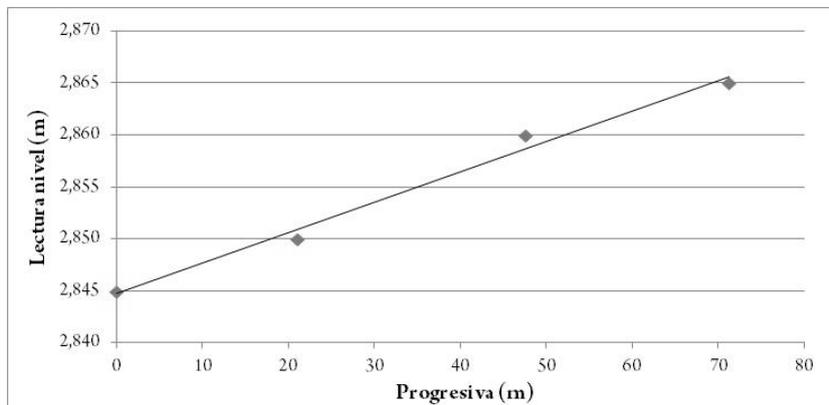


Figura 4.49 - Pendiente y ecuación de la recta del Arroyo Tortugas – Sección Tortugas. La pendiente del tramo fue de 0,00029217 o 0,292%.

4.4.1.8 Resumen

Tabla 4.6 - Pendientes en las diferentes secciones de aforo.

Sección Aforo	Pendiente [‰]
Río Tercero, Balneario	1,125
Río Tercero, puente Lavalle (Villa María)	0,779
Ríos Tercero y Carcarañá, confluencia	0,183
Río Saladillo, puente ruta 6 (Monte Buey)	4,044
Río Carcarañá, puente ruta 12 (Inrville)	0,522
Río Carcarañá, Parque Sarmiento (Carcarañá)	1,423
Arroyo Tortugas, Tortugas	0,292

4.4.2 Coeficiente de rugosidad de Manning (n)

A partir de la pendiente obtenida (S), el radio hidráulico (R) y la velocidad media de la sección transversal (V), se estimó el coeficiente de rugosidad de Manning “n” para las secciones aforadas durante la campaña N°12 que no presentaban la influencia de pilas de puentes.

La ecuación de Manning toma la siguiente forma,

$$V = \frac{1}{n} R^{2/3} S^{1/2} \quad [m/s] \quad (1)$$

el radio hidráulico es la relación entre el área hidráulica (A) y el perímetro mojado (P).

De la ecuación (1), se despeja “n” para su cálculo, lo que resulta

$$n = \frac{R^{2/3} S^{1/2}}{V} \quad (2)$$

4.4.2.1 Coeficiente de rugosidad de Manning del Río Tercero (Ctalamochita) – Sección Balneario.

Lenarduzzi (2013) determinó el coeficiente de rugosidad de Manning de este tramo del río, llegando a un valor de 0,026.

4.4.2.2 Coeficiente de rugosidad de Manning del Río Tercero (Ctalamochita) – Sección puente Lavalle (Villa María).

Tabla 4.7 - Coeficiente de rugosidad de Manning del Río Tercero (Ctalamochita) – Sección puente Lavalle (Villa María).

Parámetro	Valor	Unidad
Velocidad media (V)	0,69	m/s
Área (A)	13,98	m ²
Perímetro Mojado (P)	27,57	m
Radio Hidráulico (R)	0,51	m
Pendiente (S)	0,779	‰
Coef. de rugosidad de Manning (n)	0,0257	

4.4.2.3 Coeficiente de rugosidad de Manning del Río Saladillo – Sección puente ruta 6 (Monte Buey).

Tabla 4.8 - Coeficiente de rugosidad de Manning del Río Saladillo – Sección puente ruta 6 (MB).

Parámetro	Valor	Unidad
Velocidad media (V)	0,62	m/s
Área (A)	23,75	m ²
Perímetro Mojado (P)	22,40	m
Radio Hidráulico (R)	1,06	m
Pendiente (S)	4,044	‰
Coef. de rugosidad de Manning (n)	0,1063	

4.4.2.4 Coeficiente de rugosidad de Manning del Río Carcarañá – Sección puente ruta 12 (Inriville).

Tabla 4.9 - Coeficiente de rugosidad de Manning del Río Carcarañá – Sección puente ruta 12 (Inriville).

Parámetro	Valor	Unidad
Velocidad media (V)	0,83	m/s
Área (A)	33,94	m ²
Perímetro Mojado (P)	36,42	m
Radio Hidráulico (R)	0,93	m
Pendiente (S)	0,522	‰
Coef. de rugosidad de Manning (n)	0,02638	

4.4.2.5 Coeficiente de rugosidad de Manning del Río Carcarañá – Sección Parque Sarmiento (Carcarañá).

Tabla 4.10 - Coeficiente de rugosidad de Manning del Río Carcarañá – Sección Parque Sarmiento (Carcarañá).

Parámetro	Valor	Unidad
Velocidad media (V)	0,75	m/s
Área (A)	97,66	m ²
Perímetro Mojado (P)	48,39	m
Radio Hidráulico (R)	2,02	m
Pendiente (S)	1,429	‰
Coef. de rugosidad de Manning (n)	0,0805	

4.4.2.7 Coeficiente de rugosidad de Manning del Arroyo Tortugas – Sección Tortugas.

Tabla 4.11 - Coeficiente de rugosidad de Manning del Arroyo Tortugas – Sección Tortugas.

Parámetro	Valor	Unidad
Velocidad media (V)	0,70	m/s
Área (A)	34,40	m ²
Perímetro Mojado (P)	16,43	m
Radio Hidráulico (R)	2,09	m
Pendiente (S)	0,292	‰
Coef. de rugosidad de Manning (n)	0,0397	

4.4.3. Granulometría

En la campaña N°12 se extrajeron muestras de suelos en las diferentes secciones de afloros, para luego efectuar ensayos de laboratorio para determinar su granulometría.

El análisis granulométrico tiene por objeto la determinación cuantitativa de la distribución de tamaños de partículas de suelo. Para suelos con tamaño de partículas mayor a 0,075mm (75 micrones) se utilizó el método de análisis mecánico mediante

tamices. Para suelos de tamaño inferior, se utilizó el método del hidrómetro, basado en la ley de Stokes.

A continuación se realiza una breve descripción de los métodos nombrados con anterioridad.

➤ Método de análisis mecánico mediante tamices:

El ensayo por tamizado, como su nombre lo indica, consiste en hacer pasar una muestra de suelo seco por una serie de tamices organizados de mayor a menor tamaño de abertura (Figura 4.50). De esta forma van quedando retenidos, en cada uno de ellos, las partículas con un diámetro menor a la abertura del tamiz anterior y mayor al del tamiz en el que están retenidas. Conociendo el peso total de la muestra y los pesos retenidos en cada tamiz, se puede determinar el porcentaje pasante en cada uno de ellos.

Se utiliza la expresión siguiente para el cálculo del porcentaje pasante por cada tamiz o %P,

$$\%P = (P_T - P_{RT}) / P_T \cdot 100 \quad (4)$$

Donde P_T es el peso total de la muestra seca y P_{PT} es el peso retenido en cada tamiz.



Figura 4.50 - Serie de tamices.

➤ Método del hidrómetro:

Es el método más usado para hacer la determinación indirecta de porcentajes de partículas que pasan el tamiz N°200 (0,075mm) hasta 0,001mm y está basado en la sedimentación de un material en suspensión en un líquido.

El hidrómetro sirve para la determinación de la variación de la densidad de la suspensión con el transcurso del tiempo y medir la altura de caída del gramo de tamaño más grande correspondiente a la densidad media (Figura 4.51).

El procedimiento consiste en mezclar una cantidad de suelo (50g) con agua destilada, más 125ml de un agente dispersante (defloculante) el que neutraliza las cargas eléctricas sobre las partículas más pequeñas del suelo que a menudo tienen carga negativa y se atraen entre sí con fuerzas suficiente para permanecer unidas, creando así unidades mayores que funcionan como partículas. Así se obtiene una solución de 1000cc.

El hidrómetro determina la gravedad específica de la suspensión agua-suelo en el centro del bulbo. Todas las partículas de mayor tamaño que aquellas que se encuentran aun en suspensión en la zona denominada "L" (distancia entre el centro del bulbo y la superficie del agua), abran caído por debajo de la profundidad del centro de volumen, y esto hace decrecer permanentemente la gravedad específica de la suspensión en el centro del volumen del hidrómetro. Además es obvio que como el hidrómetro tiene un peso constante a medida que disminuye la gravedad específica de la suspensión aumenta la distancia L. Es preciso recordar también, que la gravedad específica del agua varía con la temperatura, esto ocasiona un hundimiento mayor del hidrómetro dentro de la suspensión.

El análisis del hidrómetro utiliza la relación entre la velocidad de caída de esferas en un fluido, el diámetro de las esferas, el peso específico tanto de la esfera como del fluido, y la viscosidad del fluido lo cual es conocido como la ley de Stokes.



Figura 4.51 - Probeta con solución de suelo, agua y defloculante, y el hidrómetro en su interior.

Una vez aplicados ambos métodos a las muestras de suelo, se pudo graficar la curva granulométrica, donde la ordenada es el porcentaje que pasa cada tamiz (o porcentaje más fino) en escala natural y la abscisa el tamaño (diámetro equivalente) de las partículas en escala logarítmica. Después se determino a qué tipo de suelo correspondía cada muestra utilizando el Sistema de Clasificación de Suelos Unificado o USCS, por sus siglas en idioma inglés (Tabla 4.12).

Tabla 4.12 - Sistema de Clasificación de Suelos Unificado (USCS).

Mayores divisiones		Símbolos	Nombre típico
Suelos de grano grueso (más del 50% retenido en el tamiz N°200)	Gravas (más de la mitad de la fracción gruesa retenida en el tamiz N°4)	Gravas limpias con menos del 5% de finos	GW Grava o grava-arena bien graduada con poco o nada de finos
			GP Grava o grava-arena pobremente graduada con poco o nada de finos
		Gravas con más del 15% de finos	GM Grava limosa
			GC Grava arcillosa
	Arenas (más de la mitad de la fracción gruesa pasante por el tamiz N°4)	Arenas limpias con menos del 5% de finos	SW Arena o arena-grava bien graduada con poco o nada de finos
			SP Arena o arena-grava pobremente graduada con poco o nada de finos
		Arenas con más del 15% de finos	SM Arena limosa
			SC Arena arcillosa
Suelos de grano fino (más del 50% pasante por el tamiz N°200)	Limos y arcillas	ML Limo inorgánico y arenas muy finas con baja plasticidad	
		CL Arcilla inorgánica con baja o media plasticidad	
	Límite líquido 50% o inferior	OL Limo orgánico y arcilla limosa orgánica con baja plasticidad	
	Limos y arcillas	MH Limo inorgánico con media o alta plasticidad	
		CH Arcilla inorgánica con alta plasticidad	
	Límite líquido superior a 50%	OH Arcilla orgánica o arcilla limosa orgánica con media o alta plasticidad	
Suelos altamente orgánicos		PT Turba y otros suelos muy orgánicos	

Las cuatro divisiones mayores del USCS son grano grueso, grano fino, suelo altamente orgánico y turba. Dentro de los suelos de grano grueso se encuentran las gravas y arenas, que presentan 50% o más de material retenido en el tamiz N°200. Mientras que los limos y arcillas, con menos del 50% del material retenido en el tamiz N°200, corresponden a los suelos de grano fino. La turba y los suelos orgánicos generalmente se identifican visualmente.

4.4.3.1 Granulometría del Río Tercero (Ctalamochita) – Sección puente Lavalle (Villa María).

➤ Método de análisis mecánico mediante tamices:

El peso total de la muestra fue de 132 g. Luego de efectuar el tamizado se pudo completar la Tabla 4.13. Con los valores de dicha tabla se pudo determinar la curva granulométrica mostrada en la Figura 4.52.

Tabla 4.13 - Método de análisis mecánico mediante tamices aplicado al Río Tercero (Ctalamochita) – Sección puente Lavalle (Villa María).

Tamiz (N°)	Abertura (mm)	P _{RT} (g)	% Pasante
4	4,750	0,0	100%
10	2,000	30,7	77%
16	1,180	10,9	68%
30	0,600	18,8	54%
40	0,425	22,9	37%
100	0,150	45,1	3%
200	0,075	1,2	2%

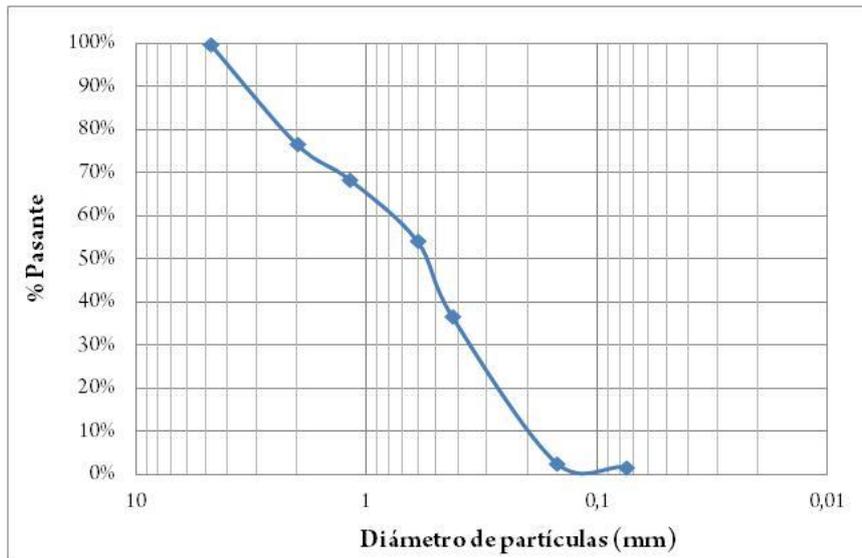


Figura 4.52 - Curva granulométrica del Río Tercero (Ctalamochita) – Sección puente Lavalle (Villa María).

Dentro del USCS, la muestra de suelo corresponde al tipo SP, es decir, arena pobremente graduada con poco o nada de finos (Figura 4.53).



Figura 4.53 - Muestra de suelo del Río Tercero (Ctalamochita) – Sección puente Lavalle (Villa María).

4.4.3.2 Granulometría del Río Saladillo – Sección puente ruta 6 (Monte Buey).

➤ Método del hidrómetro:

El peso total de la muestra fue de 50 g. Luego de realizar el método del hidrómetro se pudo completar la Tabla 4.14.

Tabla 4.14 - Método del hidrómetro aplicado al Río Saladillo – Sección puente ruta 6 (M.B.).

Diámetro (mm)	% Pasante
0,0475	14%
0,0338	12%
0,0241	9%
0,0170	9%
0,0121	9%
0,0089	8%
0,0063	7%
0,0039	7%
0,0025	5%
0,0013	4%
0,0012	3%
0,0010	2%

➤ Método de análisis mecánico mediante tamices:
Luego de efectuar el tamizado se pudo completar la Tabla 4.15.

Tabla 4.15 - Método de análisis mecánico mediante tamices aplicado al Río Saladillo – Sección puente ruta 6 (Monte Buey).

Tamiz (Nº)	Abertura (mm)	P _{RT} (g)	% Pasante
4	4,750	0	100%
10	2,000	0,4	99%
16	1,180	0,5	98%
30	0,600	0,9	96%
40	0,425	0,4	96%
100	0,150	11,8	72%
200	0,075	22,9	26%

Con los valores de las Tablas 4.14 y 4.15 se pudo determinar la curva granulométrica mostrada en la Figura 4.54.

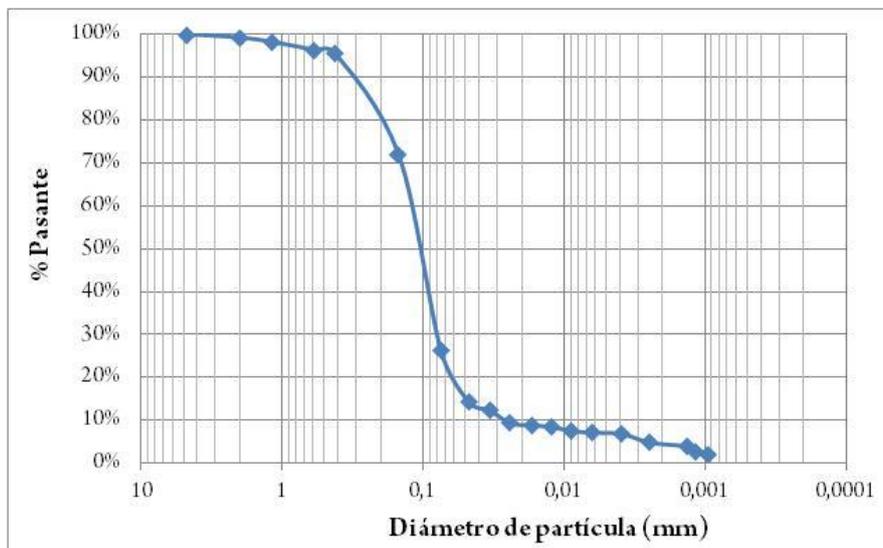


Figura 4.54 - Curva granulométrica del Río Saladillo – Sección puente ruta 6 (Monte Buey).

Dentro del USCS, la muestra de suelo corresponde al tipo SM, es decir, arena limosa (Figura 4.55).

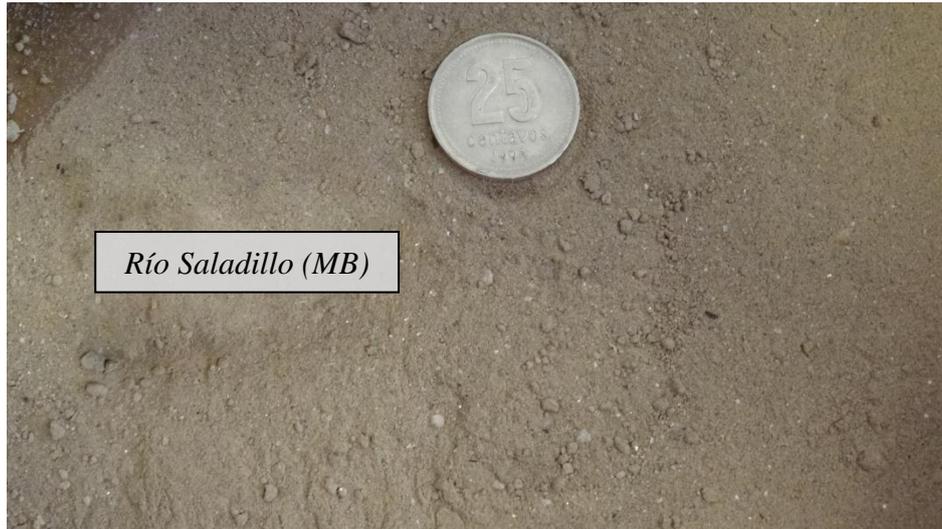


Figura 4.55 - Muestra de suelo del Río Saladillo – Sección puente ruta 6 (Monte Buey).

4.4.3.3 Granulometría del Arroyo Tortugas – Sección Tortugas.

➤ Método del hidrómetro:

El peso total de la muestra fue de 50 g. Luego de realizar el método del hidrómetro se pudo completar la Tabla 4.16.

Tabla 4.16 - Método del hidrómetro aplicado al Arroyo Tortugas – Sección Tortugas.

Diámetro (mm)	% Pasante
0,04600	30%
0,03300	28%
0,02700	26%
0,02400	24%
0,01700	22%
0,01200	21%
0,00900	18%
0,00600	16%
0,00472	14%
0,00320	10%
0,00258	9%
0,00140	6%
0,00130	5%
0,00067	4%

➤ Método de análisis mecánico mediante tamices:

Luego de efectuar el tamizado se pudo completar la Tabla 4.17.

Tabla 4.17 - Método de análisis mecánico mediante tamices aplicado al Arroyo Tortugas – Sección Tortugas.

Tamiz (Nº)	Abertura (mm)	P _{RT} (g)	% Pasante
4	4,750	0,0	100%
10	2,000	0,0	100%
16	1,180	0,1	100%
30	0,600	0,2	99%
40	0,425	0,4	99%
100	0,150	16,2	66%
200	0,075	13,6	39%

Con los valores de las Tablas 4.16 y 4.17 se pudo determinar la curva granulométrica mostrada en la Figura 4.56.

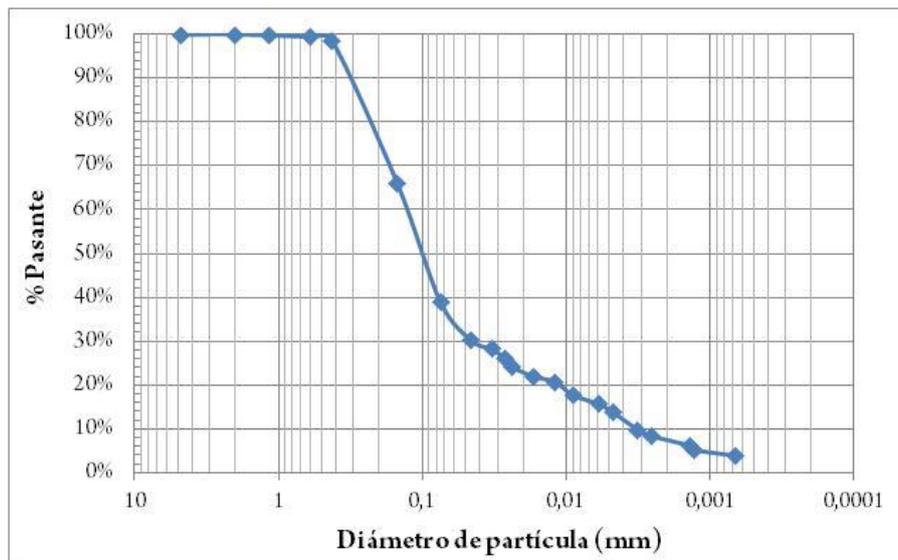


Figura 4.56 - Curva granulométrica del Arroyo Tortugas – Sección Tortugas.

Dentro del USCS, la muestra de suelo corresponde al tipo SM, es decir, arena limosa (Figura 4.57).



Figura 4.57 - Muestra de suelo del Arroyo Tortugas – Sección Tortugas.

4.4.3.4 Granulometría del Río Carcarañá – Sección puente ruta 12 (Inrville).

➤ Método del hidrómetro:

El peso total de la muestra fue de 50 g. Luego de realizar el método del hidrómetro se pudo completar la Tabla 4.18.

Tabla 4.18 - Método del hidrómetro aplicado al Río Carcarañá – Sección puente ruta 12 (Inrville).

Diámetro (mm)	% Pasante
0,04677	23%
0,03342	19%
0,02748	17%
0,02396	15%
0,01700	13%
0,01206	12%
0,00884	11%
0,00634	8%
0,00459	8%
0,00326	6%
0,00079	4%

➤ Método de análisis mecánico mediante tamices:

Luego de efectuar el tamizado se pudo completar la Tabla 4.19.

Tabla 4.19 - Método de análisis mecánico mediante tamices aplicado al Río Carcarañá – Sección puente ruta 12 (Inrville).

Tamiz (Nº)	Abertura (mm)	P _{RT} (g)	% Pasante
4	4,750	0,0	100%
10	2,000	0,0	100%
16	1,180	0,2	100%
30	0,600	0,6	98%
40	0,425	0,6	97%
100	0,150	22,0	53%
200	0,075	8,0	37%

Con los valores de las Tablas 4.18 y 4.19 se pudo determinar la curva granulométrica mostrada en la Figura 4.58.

Dentro del USCS, la muestra de suelo corresponde al tipo SM, es decir, arena limosa (Figura 4.59).

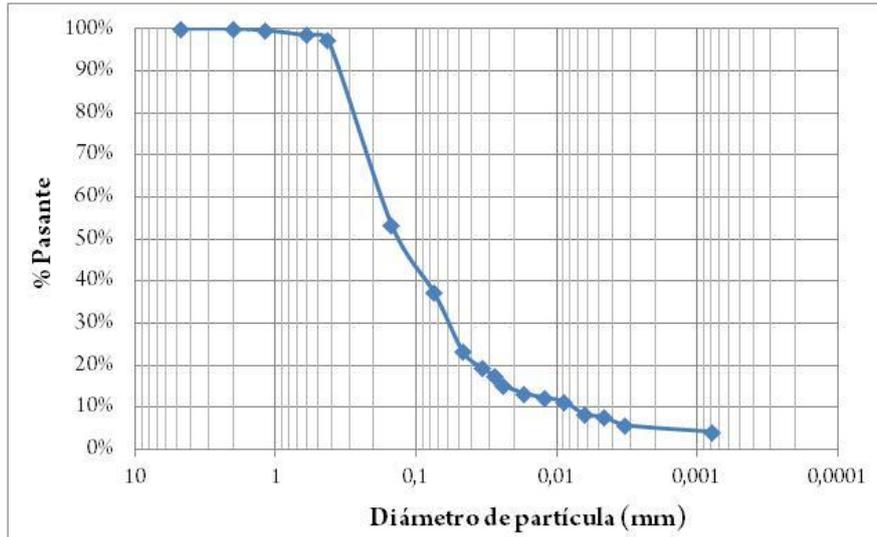


Figura 4.58 - Curva granulométrica del Río Carcarañá – Sección puente ruta 12 (Inrville).



Figura 4.59 - Muestra de suelo del Río Carcarañá – Sección puente ruta 12 (Inrville).

4.4.3.5 Granulometría del Río Carcarañá – Sección puente ruta 15 (Cruz Alta).

➤ Método de análisis mecánico mediante tamices:
Luego de efectuar el tamizado se pudo completar la Tabla 4.20.

Tabla 4.20 - Método de análisis mecánico mediante tamices aplicado al Río Carcarañá – Sección puente ruta 15 (Cruz Alta).

Tamiz (Nº)	Abertura (mm)	P _{RT} (g)	% Pasante
4	4,750	0,0	100%
10	2,000	0,0	100%
16	1,180	0,1	100%
30	0,600	2,3	95%
40	0,425	1,0	93%
100	0,150	7,7	78%
200	0,075	19,5	39%

➤ Método del hidrómetro:

El peso total de la muestra fue de 50 g. Luego de realizar el método del hidrómetro se pudo completar la Tabla 4.21.

Tabla 4.21 - Método del hidrómetro aplicado al Río Carcarañá – Sección puente ruta 15 (Cruz Alta).

Diámetro (mm)	% Pasante
0,04629	29%
0,03290	27%
0,02719	23%
0,02360	22%
0,01680	19%
0,01210	14%
0,00893	13%
0,00637	11%
0,00459	9%
0,00221	7%
0,00140	6%
0,00133	6%
0,00066	6%
0,00065	5%

Con los valores de las Tablas 4.20 y 4.21 se pudo determinar la curva granulométrica mostrada en la Figura 4.60.

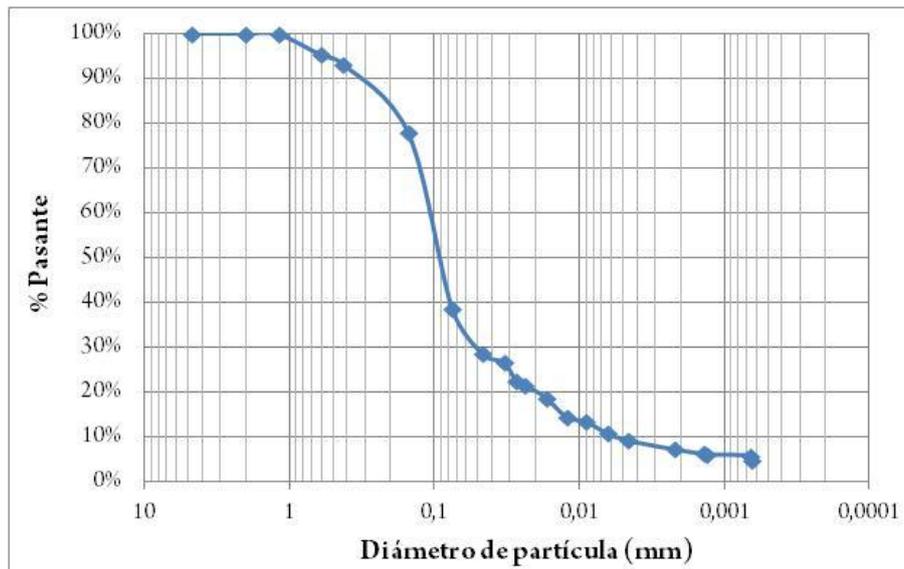


Figura 4.60 - Curva granulométrica del Río Carcarañá – Sección puente ruta 15 (Cruz Alta).

Dentro del USCS, la muestra de suelo corresponde al tipo SM, es decir, arena limosa (Figura 4.61).



Figura 4.61 - Muestra de suelo del Río Carcarañá – Sección puente ruta 15 (Cruz Alta).

4.4.3.6 Granulometría del Río Carcarañá – Sección Parque Sarmiento (Carcarañá).

➤ Método del hidrómetro:

El peso total de la muestra fue de 50 g. Luego de realizar el método del hidrómetro se pudo completar la Tabla 4.22.

Tabla 4.22 - Método del hidrómetro aplicado al Río Carcarañá – Sección Parque Sarmiento (Carcarañá).

Diámetro (mm)	% Pasante
0,04890	19%
0,03460	19%
0,02820	17%
0,02460	16%
0,01740	15%
0,01240	13%
0,00900	11%
0,00650	9%
0,00450	9%
0,00290	7%
0,00140	7%
0,00130	6%
0,00128	5%
0,00082	5%

➤ Método de análisis mecánico mediante tamices:

Luego de efectuar el tamizado se pudo completar la Tabla 4.23.

Tabla 4.23 - Método de análisis mecánico mediante tamices aplicado al Río Carcarañá – Sección Parque Sarmiento (Carcarañá).

Tamiz (Nº)	Abertura (mm)	P _{RT} (g)	% Pasante
4	4,750	0	100%
10	2,000	0	100%
16	1,180	0,6	99%
30	0,600	0,9	97%
40	0,425	0,5	96%
100	0,150	13	70%
200	0,075	17,7	35%

Con los valores de las Tablas 4.22 y 4.23 se pudo determinar la curva granulométrica mostrada en la Figura 4.62.

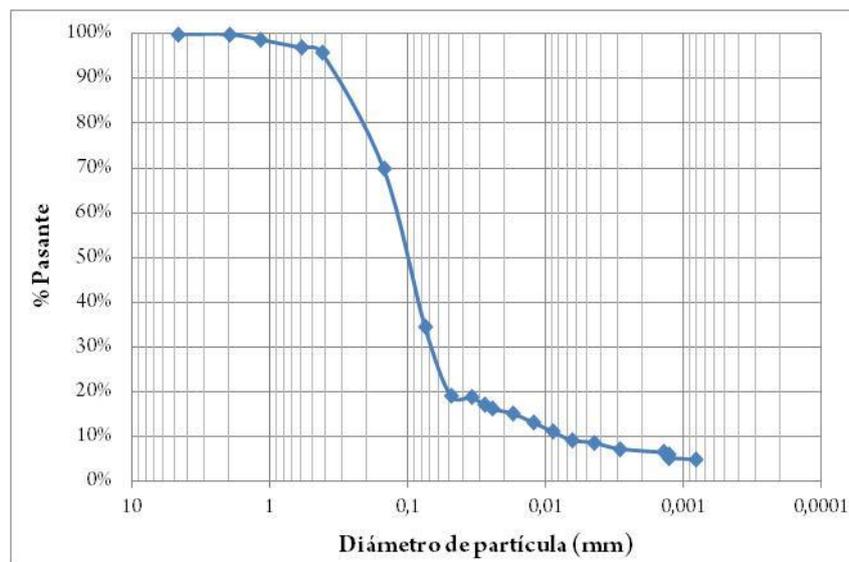


Figura 4.62 - Curva granulométrica del Río Carcarañá – Sección Parque Sarmiento (Carcarañá).

Dentro del USCS, la muestra de suelo corresponde al tipo SM, es decir, arena limosa (Figura 4.63).



Figura 4.63 - Muestra de suelo del Río Carcarañá – Sección Parque Sarmiento (Carcarañá).

4.4.3.7 Granulometría del Río Carcarañá – Sección Pueblo Andino.

➤ Método del hidrómetro:

El peso total de la muestra fue de 50 g. Luego de realizar el método del hidrómetro se pudo completar la Tabla 4.24.

Tabla 4.24 - Método del hidrómetro aplicado al Río Carcarañá – Sección Pueblo Andino.

Diámetro (mm)	% Pasante
0,04689	20%
0,03362	16%
0,02754	14%
0,02401	12%
0,01704	11%
0,01209	10%
0,00884	8%
0,00630	9%
0,00453	7%
0,00323	6%
0,00271	5%
0,00138	4%
0,00121	4%

➤ Método de análisis mecánico mediante tamices:

Luego de efectuar el tamizado se pudo completar la Tabla 4.25.

Tabla 4.25 - Método de análisis mecánico mediante tamices aplicado al Río Carcarañá – Sección Pueblo Andino.

Tamiz (Nº)	Abertura (mm)	P _{RT} (g)	% Pasante
4	4,750	0	100%
10	2,000	0	100%
16	1,180	0,1	100%
30	0,600	0,8	98%
40	0,425	0,8	97%
100	0,150	13	71%
200	0,075	18,9	33%

Con los valores de las Tablas 4.24 y 4.25 se pudo determinar la curva granulométrica mostrada en la Figura 4.64.

Dentro del USCS, la muestra de suelo corresponde al tipo SM, es decir, arena limosa (Figura 4.65).

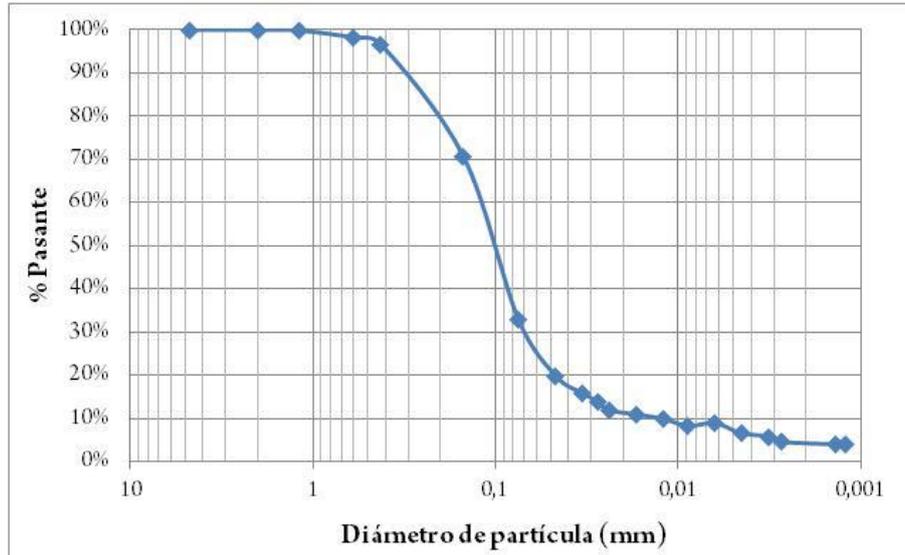


Figura 4.64 - Curva granulométrica del Río Carcarañá – Sección Pueblo Andino.



Figura 4.65 - Muestra de suelo del Río Carcarañá – Sección Pueblo Andino.

4.4.3.8 Granulometría del Río Carcarañá – Sección Gaboto.

➤ Método de análisis mecánico mediante tamices:
Luego de efectuar el tamizado se pudo completar la Tabla 4.26.

Tabla 4.26 - Método de análisis mecánico mediante tamices aplicado al Río Carcarañá – Sección Gaboto.

Tamiz (Nº)	Abertura (mm)	P _{RT} (g)	% Pasante
4	4,750	0,0	100%
10	2,000	0,4	99%
16	1,180	1,2	97%
30	0,600	2,2	92%
40	0,425	1,2	90%
100	0,150	14,6	61%
200	0,075	11,6	38%

➤ Método del hidrómetro:

El peso total de la muestra fue de 50 g. Luego de realizar el método del hidrómetro se pudo completar la Tabla 4.27.

Tabla 4.27 - Método del hidrómetro aplicado al Río Carcarañá – Sección Gaboto.

Diámetro (mm)	% Pasante
0,04660	28%
0,03330	24%
0,02740	22%
0,02390	20%
0,01690	18%
0,01000	16%
0,00900	14%
0,00700	13%
0,00452	12%
0,00323	10%
0,00142	7%
0,00132	5%

Con los valores de las Tablas 4.26 y 4.27 se pudo determinar la curva granulométrica mostrada en la Figura 4.66.

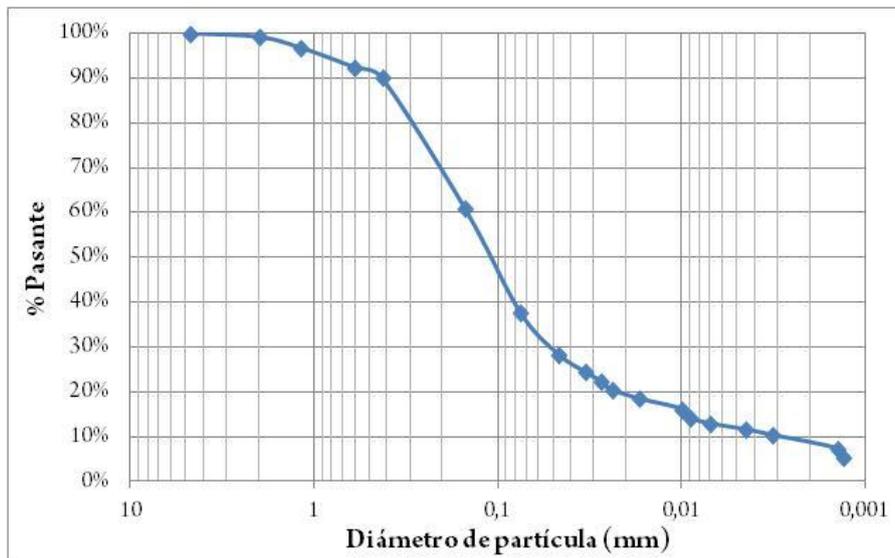


Figura 4.66 - Curva granulométrica del Río Carcarañá – Sección Gaboto.

Dentro del USCS, la muestra de suelo corresponde al tipo SM, es decir, arena limosa (Figura 4.67).



Figura 4.67 - Muestra de suelo del Río Carcarañá – Sección Gaboto.

4.4.3.9 Comparación entre curvas granulométricas.

En la Figura 4.68 se comparan las curvas granulométricas de los ríos Carcarañá (en la sección ubicada en Inrville), Tercero y Saladillo y arroyo Tortugas. La curva del río Tercero nos indica que presenta mayor cantidad de partículas gruesas que los demás cursos de agua. Las restantes curvas presentan gran similitud en la fracción gruesa (diámetro de partícula > 0,075mm), mientras que existen pequeñas diferencias en la fracción fina (diámetro de partícula < 0,075mm), siendo el arroyo Tortugas el que presenta mayor porcentaje de limos y arcillas.

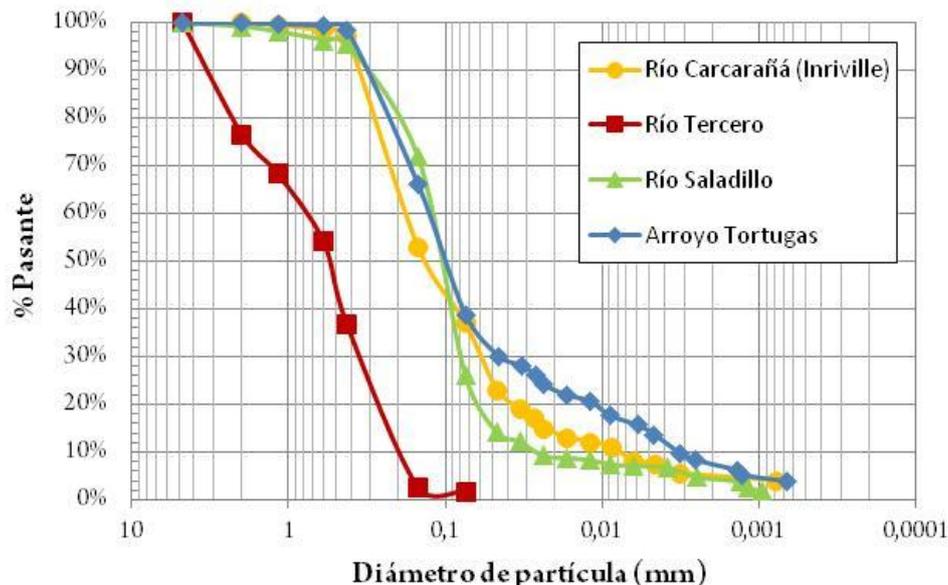


Figura 4.68 - Comparación entre las curvas granulométricas de los ríos Carcarañá, Tercero y Saladillo y arroyo Tortugas.

En la Figura 4.69 se comparan las curvas granulométricas de las diferentes secciones de aforo a lo largo del río Carcarañá. Puede observarse una importante similitud entre las diferentes curvas, especialmente en la fracción fina.

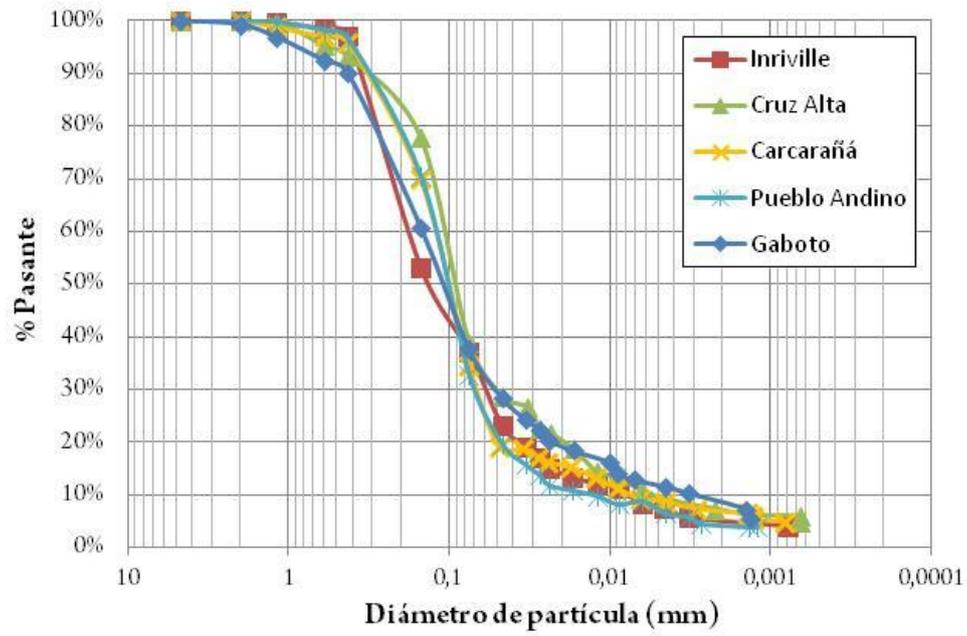


Figura 4.69 - Comparación entre las curvas granulométricas de las diferentes secciones de aforo a lo largo del río Carcarañá.

CAPÍTULO 5

Conclusiones y Recomendaciones



CAPÍTULO 5 - CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

Luego de analizar la información disponible y los resultados obtenidos en las diferentes campañas de mediciones realizadas, se obtienen las siguientes conclusiones:

- Debido a la particularidad de los ríos analizados (velocidades elevadas y cauces poco profundos), las mediciones de velocidad del flujo, batimetría y caudal son complicadas de realizar, por lo cual se deben usar equipamientos con altas resoluciones espaciales. Debido a ello se utilizó un Perfilador de Corriente Acústico Doppler (ADCP) "RiverSurveyor S5" que se desempeñó de forma satisfactoria.
- Si bien los molinetes son instrumentos empleados desde hace años para la medición de caudales y velocidades en ríos, el ADCP es un instrumento de última tecnología que proporciona una mayor cantidad de información durante la medición como: mayor porcentaje de área medida, registro de velocidades en cada punto de la sección a medida que avanza sobre la misma y en las tres direcciones, medición de caudales con un error de hasta el 3%.
- Del análisis de los caudales medidos se pudieron conocer las variaciones que presenta el sistema fluvial analizado, tanto espacialmente (debido a aportes recibidos en su recorrido y a descargas industriales y de líquidos cloacales tratados) como así también temporalmente (relacionadas con sus evoluciones hidrometeorológicas e hidrológicas y sus características de regulación).
- Los ríos que conforman la cuenca del río Carcarañá presentan características de ríos de baja profundidad (la profundidad media rara vez supera los 3 metros) con un ancho significativamente mayor que su profundidad media.
- La máxima velocidad media observada en una sección fue de aproximadamente 1m/s. Mientras que la máxima velocidad local aforada en una sección fue de 1,86m/s.
- Se observa un buen acuerdo entre los caudales erogados por la central hidroeléctrica Piedras Moras y aquellos monitoreados durante las campañas realizadas en el balneario de la ciudad de Río Tercero, lo que implica que, en casos donde no se disponga de aforos en la sección en el balneario y que no esté en funcionamiento el vertedero del embalse Piedras Moras, los valores reportados por la central pueden ser usados como buenos estimadores del caudal escurrido en esa sección.
- El río Saladillo, presenta una variación estacional importante debido a que no está regulado y además está canalizado (reduciendo el efecto regulador de los bañados). Debido a ello, los valores de caudal aforados en épocas de aguas

altas son mayores a los observados en el río Tercero, lo cual no es habitual en otros momentos del año.

- En época de lluvias el aporte del arroyo Tortugas al río Carcarañá presenta similar magnitud, y en algunos casos mayor valor, que las contribuciones que realizan los otros tributarios (ríos Tercero y Saladillo). Esto se debe a la importante cuenca de aporte de ese arroyo.
- 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 (su conductividad es entre 3 y 4 veces mayor que la correspondiente a la del río Tercero). 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 tributarios se había realizado en forma completa tanto en la dirección transversal como en la dirección vertical.
- El valor ancho/profundidad media mínimo observado fue de 8 en la sección del arroyo Tortugas relevada en cercanías de la ciudad homónima el día 20 de noviembre de 2013, mientras que el valor máximo fue de 74 para la sección del río Carcarañá, ubicada en la localidad de Inrville, observado el día 10 de septiembre de 2013.
- Se pudo contrastar el caudal escurrido aforado en la sección ubicada en la localidad de Gaboto ($73,93\text{m}^3/\text{s}$) contra el caudal medido por la Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación ($71,20\text{m}^3/\text{s}$). De esta forma se obtuvo una diferencia menor al 3%, valor de igual orden de magnitud que el error del instrumento de medición utilizado (ADCP).

5.2. CONCLUSIONES DE LA PRÁCTICA SUPERVISADA

Luego del desarrollo de la Práctica Supervisada en el grupo de trabajo, se obtienen las siguientes conclusiones:

- Obtención de experiencia práctica complementaria, aplicando y profundizando los conceptos adquiridos durante los años de estudio de la carrera.
- Incorporación de nuevos conocimientos relacionados con el uso de programas computacionales de aplicación e instrumentos de medición de última generación para medición de los parámetros hidráulicos.
- Desarrollo de habilidades para un mejor desenvolvimiento en el ámbito laboral profesional y de trabajo multidisciplinario.
- Elaboración de un informe de utilidad para estudios posteriores y/o análisis relacionados con la temática expuesta.

5.3. RECOMENDACIONES

En virtud de las conclusiones a las que se arribó, se recomienda:

- Recomendar el uso y difusión del ADCP como instrumento de medición en ríos, generando de esta forma mayor experiencia en el manejo del mismo. Además se disminuirán errores por parte de operarios, calibración del aparato, mala operación, etc.
- Es necesario continuar con las mediciones en distintas secciones de los ríos Tercero (Ctalamochita), Saladillo y Carcarañá, y del arroyo Tortugas, como así también en los demás cursos de agua de la provincia, con el objetivo de ampliar la base de datos de los parámetros hidráulicos y permitir un monitoreo más intenso de la calidad ambiental de ellos.
- Es muy importante la calibración de las curvas H - Q (profundidad - caudal) en los azudes existentes en los ríos.
- Dentro de lo posible, se deben realizar mediciones en la mismas secciones durante todas las campañas de aforo, para luego poder comparar los resultados obtenidos.
- Implementar un sistema de monitoreo automático y remoto, y relevamiento de datos en los puntos de interés de la cuenca de tal forma de contar con un registro continuo que permita conocer cómo varían los principales parámetros de los ríos con el tiempo. Tener un enfoque integral de la cuenca permite conocer y considerar ciertos fenómenos que pueden intervenir en el sistema.

5.4 DIFUSIÓN DE LOS RESULTADOS

Como manera de difundir los resultados a los que se llegaron en esta práctica, se presentó un artículo técnico en el Sexto Simposio Regional sobre Hidráulica de Ríos, en la Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas de la Universidad Nacional del Litoral, Santa Fe, en noviembre de 2013.

El trabajo presentado puede encontrarse en el Anexo, al final de este informe. El mismo fue realizado en base a los análisis efectuados sobre el río Tercero, aunque posteriormente el análisis se extendió a toda la cuenca del río Carcarañá, tal como se mencionó en el Capítulo 1.

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.
- Fischer, H. B., List, E. J., Koh, R. C. Y., Imberger, J., Brooks, N. H. (1979).** "Mixing in inland and coastal waters". Academic, New York.
- Hernandez, J.; Szupiany, R.; Ashworth, P. y Amsler, M. (2008).** "Uso de la tecnología acústica Doppler para la caracterización del flujo y distribución de sedimento suspendido en grandes corrientes fluviales". *Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas - Universidad Nacional del Litoral.*
- 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.
- Holtz, R. D., Kovacs, W. D. (1981).** "An Introduction to Geotechnical Engineering", Prentice-Hall.
- Larrosa, N. et al. (2008).** "Estudio de Contaminación del Río Tercero (Ctalamochita) y control de vertidos". *UNC. Facultad de Ciencias Exactas Físicas y Naturales, Departamento de Hidráulica.* Córdoba. 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.
- Oviedo Zabala, S. et al. (2009).** "Impacto de vertidos industriales y cloacales en el Río Tercero (Ctalamochita)". *Congreso Nacional del Agua CONAGUA 2009 Trelew – Chubut – Argentina.*

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

SonTek/YSI (2010). "Folleto de especificaciones RiverSurveyor S5/M9". Sontek.

SonTek/YSI (2010). "Guía de Inicio Rápido RiverSurveyor". Sontek.

SonTek/YSI (2010). "Manual del Sistema RiverSurveyor S5/M9". Sontek.

USGS Hydroacoustics (2013). hydroacoustics.usgs.gov/movingboat.

ANEXO



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, S2000EZP, 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 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.

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 water surface 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 Ctlamochita (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).

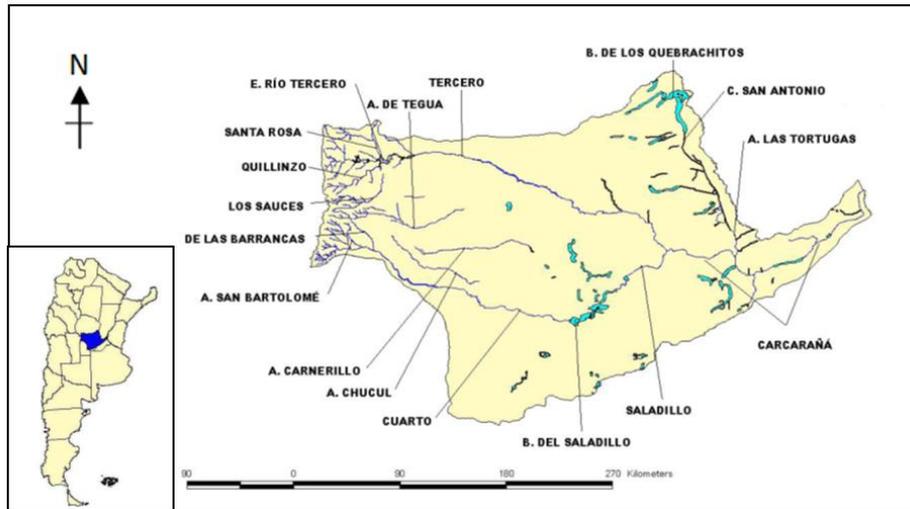


Figura 1.- Cuenca del río Carcarañá

La subcuenca del río Tercero o Ctlamochita (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.

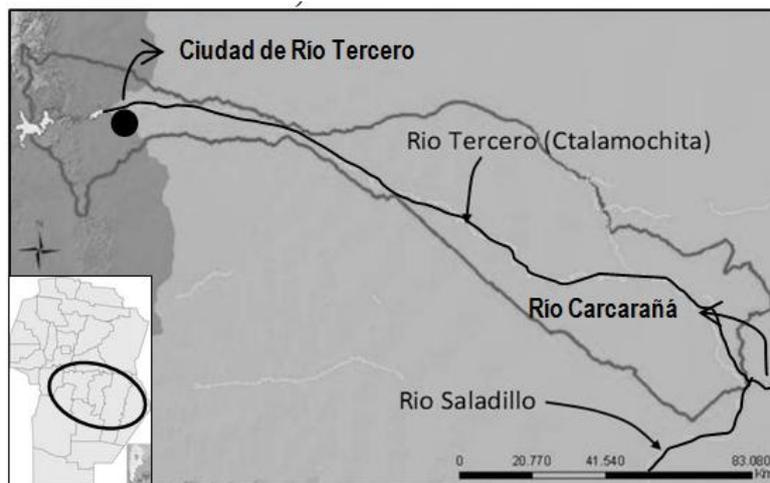


Figura 2.- Cuenca del Río Tercero.

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

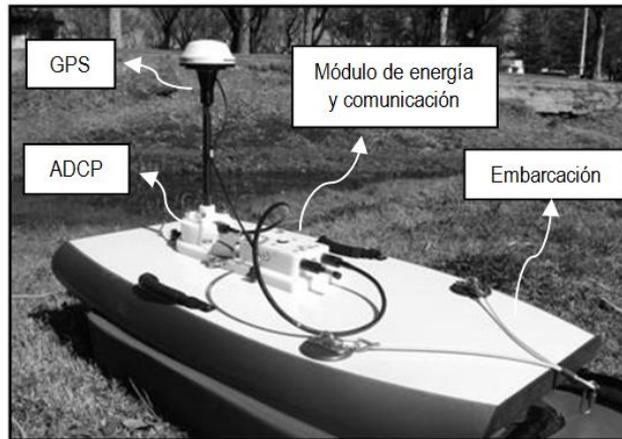


Figura 4.- Perfilador de Corriente Acústico Doppler (ADCP) RiverSurveyour S5 YSI/Sontek utilizado en este trabajo.

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 los 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.

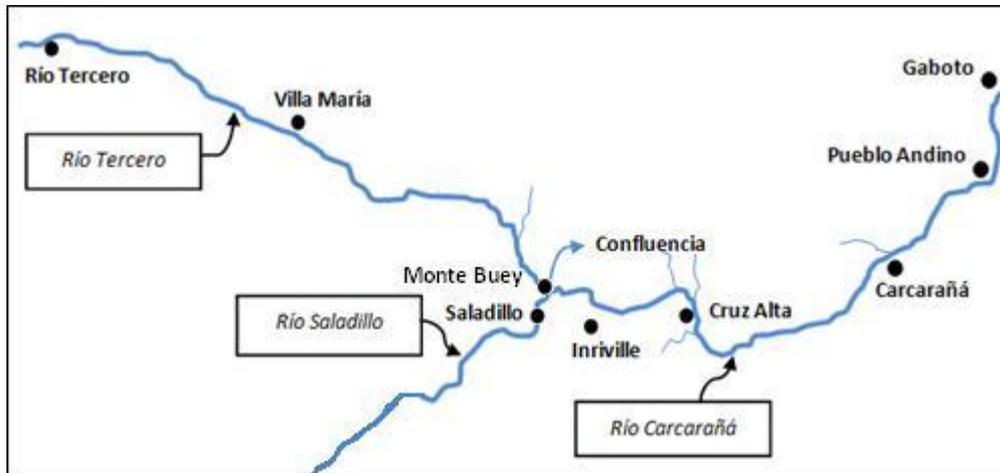


Figura 6.-Secciones aforadas en la cuenca alta del río Carcarañá.

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 esta 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

finés 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 Ruta 6	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 Ruta 6	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 [m3/s]	Q superior [m3/s]	Q inferior [m3/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

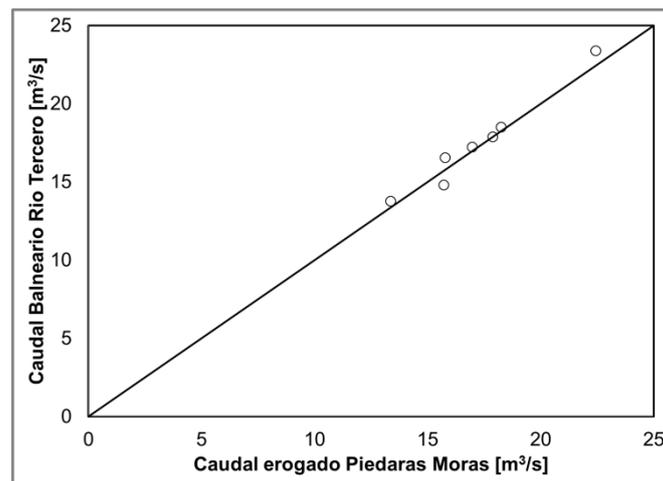


Figura 7.- Contraste entre los caudales reportados en la Tabla 3 (erogados en la central hidroeléctrica) y los caudales medidos en la sección emplazada en el Balneario de la ciudad de Río Tercero.

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 9.21m³/s.

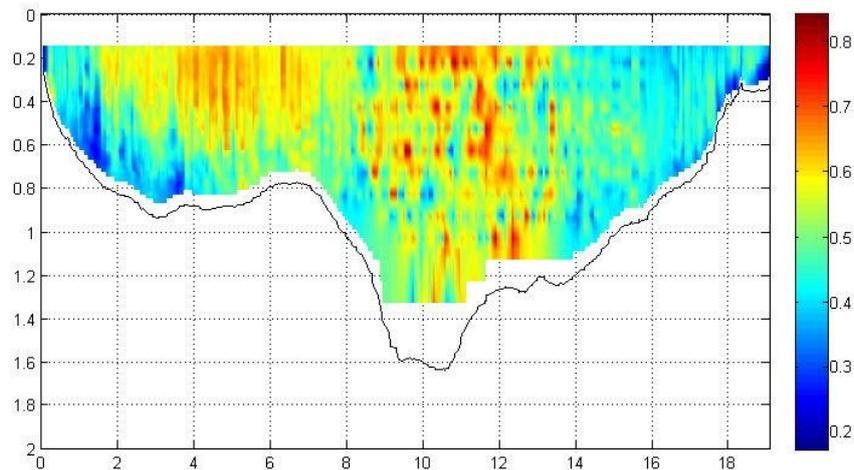


Figura 8.-Campo medio de velocidades longitudinales [m/s] en el río Saladillo en inmediaciones del puente sobre ruta provincial 6 el día 10/09/13. Las profundidades y las progresivas transversales se indican en [m].

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 0.23mS/cm) hasta la confluencia (conductividad de 1.95mS/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 mS/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 (0.23mS/cm) hasta la confluencia (2.20mS/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 [$\mu\text{S}/\text{cm}$]	Temperatura [$^{\circ}\text{C}$]
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.

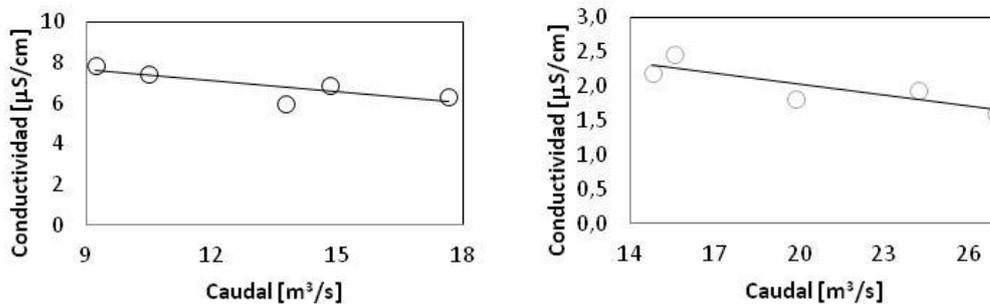


Figura 9.- Correlación entre los valores de conductividad de las masas de agua (corregidas por temperatura) y caudales para los ríos Saladillo (izquierda) y Tercero (derecha) pocos metros aguas arriba de la confluencia de ambos ríos.

Los valores experimentales relevados en el río Saladillo durante la campaña realizada el 30 de septiembre de 2013 (caudal = $13.75\text{m}^3/\text{s}$ y conductividad de $5.99\text{ mS}/\text{cm}$) 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, CIFASIS CCT 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, a la Secretaría de Recursos Hídricos de la Provincia de Córdoba y al Departamento de Generación de la Empresa Provincial de Energía de la Provincia de Córdoba (EPEC) por la colaboración prestada durante las campañas de medición realizadas

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Baldissoni, 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.