



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CÓRDOBA
FACULTAD DE CIENCIAS EXÁCTAS, FÍSICAS Y NATURALES
PRÁCTICA SUPERVISADA
Ingeniería Ambiental

**EVALUACIÓN TEMPORAL DEL
COMPORTAMIENTO HIDRODINÁMICO
DEL RÍO SANTA CRUZ Y LA LEONA.
PROVINCIA DE SANTA CRUZ.**

Autora: Patricia Gabriela Häberli

Tutora: Mgter. Ing. Ana Inés Heredia

Supervisor Externo: Dr. Ing. José Manuel Días Lozada

Año 2020

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, agradecer a mis padres, Claudine y Thomas, por criarme con tanto amor. Dos seres increíbles que me dieron los valores y las convicciones que me llevaron al lugar en el cual hoy me encuentro. A mi hermana Jessi, por estar siempre con una sonrisa y la palabra justa para acompañarme.

A mis amigos que conocí gracias a esta facultad, que hicieron que el recorrido de esta hermosa etapa, fuera mucho más llevadera y agradable, compartiendo infinitos y bellísimos momentos juntos. Especialmente a Ro, Lu, Vivi, Juan, y a todas las personas maravillosas que fui conociendo en esta carrera. También agradecer a mis amigas de toda la vida, Gaby, Anita y Viki, que tanto de cerca como a la distancia siempre me acompañaron y apoyaron con mucho cariño.

A la Universidad Nacional de Córdoba que me brindó la oportunidad de desarrollarme tanto académica como personalmente y sobre todo a la Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales y a los numerosos profesionales sumamente talentosos e inspiradores que conocí dentro de ella. También agradezco al Dr. Ing. Carlos Marcelo García que me otorgó la posibilidad de realizar esta Práctica Profesional Supervisada, brindando todo su apoyo. A mi tutora Ana Heredia que me acompañó en todo el proceso de la práctica, brindando su dedicación, tiempo, paciencia y conocimientos para guiarme en la obtención del mejor resultado posible con una gran calidad académica y humana.

Por último, agradecer a mi compañero de todos los días, Alejandro, que con mucho amor y respeto me apoyó muchísimo para seguir siempre adelante.

Infinitas gracias a todos los que formaron parte de ésta etapa.

Patricia Häberli.

ÍNDICE GENERAL

CAPÍTULO I – MARCO REFERENCIAL.....	11
1.1 Introducción	11
1.2 Descripción del Área de estudio: cuenca del Río Santa Cruz	11
1.2.1 Principales características de la cuenca	11
1.2.2 Descripción de los principales tributarios	12
1.2.3 Aprovechamientos hidroeléctricos sobre el río Santa Cruz	16
1.3 Problemática existente en el área de estudio.....	19
1.4 Objetivos	20
1.4.1 Objetivo general.	20
1.4.2 Objetivos específicos	20
1.5 Organización del Informe.....	20
CAPÍTULO II – METODOLOGÍA EXPERIMENTAL.....	22
2.1 Introducción	22
2.2 Localización de los sitios de medición.....	22
2.2.1 Río La Leona	22
2.2.2 Río Santa Cruz	25
2.3 Perfilador de Corriente Acústico Doppler (ADCP).....	28
2.3.1 Descripción del instrumental	29
2.3.2 Metodología de medición con ADCP desde plataformas móviles	32
2.3.3 Programas computacionales utilizados	34
RiverSurveyor Live	34
WinRiver II	36
Qrev	37
CAPÍTULO III – RESULTADOS DE LA CUANTIFICACION Y CARACTERIZACION DEL FLUJO	45
3.1 Introducción	45
3.2 Ubicación de las mediciones realizadas en cada sección.....	45
3.3 Resultados de caudales líquidos.	52
3.3.1 Resultados procesamientos de los informes	52
3.3.2. Resultados procesamiento posterior.	55
3.3.3 Diferencia entre caudales de los Informes y los procesados con QRev.	58

Evaluación temporal del comportamiento hidrodinámico del Rio Santa Cruz y Rio La Leona. Provincia de Santa Cruz

3.4 Resultados de principales parámetros hidráulicos	61
3.4.1 Curvas H-Q	61
3.4.3 Coeficiente de variación (COV) en función de caudales	71
CAPÍTULO VI – ANÁLISIS DE RESULTADOS	77
4.1 Introducción	77
4.2 Curvas de caudal acumulado en la sección	77
4.2.1 Sección Leona Sur	78
4.2.2 Sección Charles Fuhr	86
4.3 Análisis Experimental de la separación del flujo en La Leona Sur	93
4.4 Análisis de estudio de impacto ambiental	97
4.4.1 Características en la zona de influencia	97
4.4.2 Principales impactos de las presas y temas evaluados como clave para la toma de decisión.	98
CAPÍTULO V - CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	102
5.1 Introducción	102
5.2 Conclusiones	102
5.2.1 Respecto a la recopilación de antecedentes	102
5.2.2 Respecto a la metodología de medición	102
5.2.3 Respecto a curvas H-Q	103
5.2.4 Respecto al coeficiente de variación	104
5.2.5 Respecto a las curvas de caudal acumulado	104
5.2.6 Respecto al análisis experimental de la separación del flujo en La Leona Sur	104
5.3 Recomendaciones	104
5.4 Difusión de resultados	105
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	106
ANEXO	108

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.- Cuenca del río Santa Cruz. (Ebisa).....	12
Figura 2.- Modelo digital del terreno. (Instituto Geográfico Nacional).....	12
Figura 3.- Subcuenca del Lago Viedma.....	13
Figura 4.- Subcuenca del Lago Argentino.....	14
Figura 5.- Ubicación del río Santa Cruz y de sus principales tributarios. (Centro Patagónico Nacional).	16
Figura 6.- Comparativa de cotas entre el Pliego y el Proyecto Ejecutivo de la presa Cóndor Cliff (Ebisa, 2017)	17
Figura 7.- Área de influencia indirecta del medio natural.....	19
Figura 8.- Ubicación de los sitios de medición aforados	22
Figura 9.- Sección de medición La Leona Norte, aguas arriba. Vista en planta.	23
Figura 10.- Sección de medición La Leona Norte, aguas arriba. (a) Vista desde la margen izquierda, octubre 2018- Campaña 1. (b) Vista desde el puente hacia aguas abajo, diciembre 2018 - Campaña 3.....	23
Figura 11.- Sección de medición del río La Leona, aguas abajo en la desembocadura	24
Figura 12.- Sección de medición La Leona Sur. (a) Vista desde el puente hacia aguas abajo, octubre 2018- Campaña 1. (b) Vista desde margen derecha, febrero 2018 - Campaña 5.....	24
Figura 13.- Sección de medición del río Santa Cruz en Charles Fuhr, aguas abajo del puente de la Ruta Nacional N.º 40	25
Figura 14.- Sección de medición Charles Fuhr. (a) Vista desde el puente hacia aguas abajo, abril 2019- Campaña 7. (b) Vista desde margen derecha, febrero 2018 - Campaña 5	26
Figura 15.- Sección de medición del río Santa Cruz, aguas abajo de la presa Cóndor Cliff.....	27
Figura 16.- Sección de medición del río Santa Cruz, aguas abajo de la presa La Barrancosa	27
Figura 17.- Sección de medición del río Santa Cruz aguas arriba del Puente Viejo en Piedra Buena....	28
Figura 18.- Esquema de funcionamiento del ADCP.....	28
Figura 19.- Perfiladores de corriente acústico Doppler fabricados por las compañías a) SonTek/YSI (RiverSurveyor S5) y b) Teledyne RD (Workhorse Rio Grande).....	30
Figura 20.- Elementos necesarios para realizar mediciones con ADCP	31
Figura 21.- Módulo de energía y comunicación (extraído del folleto RiverSurveyor - Sontek).	32
Figura 22.- Plataforma Móvil con ADCP a) YSI/SonTek S5 y todos sus componentes, b) Teledyne RDI	32
Figura 23.- Perfilador de corriente Doppler acústico (ADCP) montado en bote.....	33
Figura 24.- Realización de aforo líquido desde puente utilizando el ADCP Teledyne RDI. Sección La Leona Norte.....	33
Figura 25.- Interfaz del programa RiverSurveyor Live.....	35
Figura 26.- Visualización de la pestaña "Muestras" en el programa.....	35
Figura 27.- Ítems WinRiver II	37
Figura 28.- Interfaz del programa WinRiver II	37
Figura 29.- Interpolación de los datos inválidos.....	38
Figura 30.- Interfaz del programa QRev	39

Evaluación temporal del comportamiento hidrodinámico del Río Santa Cruz y Río La Leona. Provincia de Santa Cruz

Figura 31.- Visualización del botón "BT Filters" en el programa.....	41
Figura 32.- Visualización del botón " GPS Filters" en el programa.....	42
Figura 33.- Detalles en "Extrapolation" (Díaz L.J.M. y García C.M).....	43
Figura 34.- Referencia de colores por campaña.....	45
Figura 35.- Recorrido del ADCP, sección Leona Norte. a) Vista alejada. b) Zoom de la sección.....	46
Figura 36.- Recorrido del ADCP, sección Leona Sur. a) Vista alejada. b) Zoom de la sección.....	47
Figura 37.- Recorrido del ADCP, sección Charles Fuhr. a) Vista alejada. b) Zoom de la sección.....	48
Figura 38.- Recorrido del ADCP, sección Cóndor Cliff. a) Vista alejada. b) Zoom de la sección.....	49
Figura 39.- Recorrido del ADCP, sección La Barrancosa. a) Vista alejada. b) Zoom de la sección.....	50
Figura 40.- Recorrido del ADCP, sección Puente Viejo. a) Vista alejada. b) Zoom de la sección.....	51
Figura 41.- Variación del caudal por campaña, sección Leona Norte.	56
Figura 42.- Variación del caudal por campaña, sección Leona Sur.	56
Figura 43.- Variación del caudal por campaña, sección Charles Fuhr.....	57
Figura 44.- Variación del caudal por campaña, sección Cóndor Cliff.	57
Figura 45.- Variación del caudal por campaña, sección La Barrancosa.....	57
Figura 46.- Variación del caudal por campaña, sección Puente Viejo.....	57
Figura 47.- Comparación de caudales líquidos medidos en todas las secciones.	58
Figura 48.- Comparación caudales informe y caudales reprocesados con QRev, sección Leona Sur....	59
Figura 49.- Comparación caudales informe y caudales reprocesados con QRev, sección Leona Norte	59
Figura 50.- Comparación caudales informe y caudales reprocesados con QRev, sección Charles Fuhr.	60
Figura 51.- Comparación caudales informe y caudales reprocesados con QRev, sección Cóndor Cliff.	60
Figura 52.- Comparación caudales informe y caudales reprocesados con QRev, sección La Barrancosa.....	60
Figura 53.- Comparación caudales informe y caudales reprocesados con QRev, sección Puente Viejo.	60
Figura 54.- Escalas de la Red Hidrometeorológica Nacional en La Leona Norte, campaña 2.	62
Figura 55.- Valores de alturas de superficie libre y caudales observados en el río La Leona y la relación H-Q propuesta.....	63
Figura 56.- Escalas de la Red Hidrometeorológica Nacional en el río Santa Cruz, sección Charles Fuhr, campaña 6.....	64
Figura 57.- Valores de alturas de superficie libre y caudales observados en el río Santa Cruz, sección Charles Fuhr y la relación H-Q propuesta.	64
Figura 58.- Escalas de obra en el río Santa Cruz, sección Cóndor Cliff.....	65
Figura 59.- Valores de alturas de superficie libre y caudales observados en el río Santa Cruz, sección Cóndor Cliff y la relación H-Q propuesta.	65
Figura 60.- Escalas de obra en el río Santa Cruz, sección La Barrancosa.	66
Figura 61.- Valores de alturas de superficie libre y caudales observados en el río Santa Cruz, sección La Barrancosa y la relación H-Q propuesta.	66
Figura 62.- Referencia de altura tomada en el río Santa Cruz, sección Puente Viejo.....	67

Evaluación temporal del comportamiento hidrodinámico del Río Santa Cruz y Río La Leona. Provincia de Santa Cruz

Figura 63.- Valores de alturas de superficie libre y caudales observados en el río Santa Cruz, sección Puente Viejo y la relación H-Q propuesta.....	67
Figura 64.- Matriz calidad de las mediciones, sección Leona Norte	68
Figura 65.- Matriz calidad de las mediciones, sección Leona Sur	69
Figura 66.- Matriz calidad de las mediciones, sección Charles Fuhr	69
Figura 67.- Matriz calidad de las mediciones, sección Cóndor Cliff	70
Figura 68.- Matriz calidad de las mediciones, sección La Barrancosa.....	70
Figura 69.- Matriz calidad de las mediciones, sección Puente Viejo.....	70
Figura 70.- Coeficiente de variación (Cov) en función del caudal, sección Leona Norte	72
Figura 71.- Coeficiente de variación (Cov) en función del caudal, sección Leona Sur.	73
Figura 72.- Coeficiente de variación (Cov) en función del caudal, sección Charles Fuhr.	73
Figura 73.- Coeficiente de variación (Cov) en función del caudal, sección Cóndor Cliff.	74
Figura 74.- Coeficiente de variación (Cov) en función del caudal, sección La Barrancosa.....	74
Figura 75.- Coeficiente de variación (Cov) en función del caudal, sección Puente Viejo.	75
Figura 76.- Características generales de la separación del flujo (Ardesch, 2014).....	77
Figura 77.- Curva distribución de caudal líquido, sección Leona Sur. Campaña 1 (C1).....	79
Figura 78.- Curva distribución de caudal líquido, sección Leona Sur. Campaña 2 (C2).....	79
Figura 79.- Curva distribución de caudal líquido, sección Leona Sur. Campaña 3 (C3)	80
Figura 80.- Curva distribución de caudal líquido, sección Leona Sur. Campaña 4 (C4)	80
Figura 81.- Curva distribución de caudal líquido, sección Leona Sur. Campaña 5 (C5)	81
Figura 82.- Curva distribución de caudal líquido, sección Leona Sur. Campaña 6 (C6)	81
Figura 83.- Curva distribución de caudal líquido, sección Leona Sur. Campaña 7 (C7)	82
Figura 84.- Curva distribución de caudal líquido, sección Leona Sur. Campaña 8 (C8)	82
Figura 85.- Curva distribución de caudal líquido, sección Leona Sur. Campaña 9 (C9)	83
Figura 86.- Curva distribución de caudal líquido, sección Leona Sur. Campaña 10 (C10)	83
Figura 87.- Curva distribución de caudal líquido, sección Leona Sur. Campaña 11 (C11)	84
Figura 88.- Curva distribución de caudal líquido, sección Leona Sur. Campaña 12 (C12)	84
Figura 89.- Curva distribución de caudal líquido, sección Leona Sur. Campaña 13 (C13)	85
Figura 90.- Curva distribución de caudal líquido, sección Leona Sur. Campaña 14 (C14)	85
Figura 91.- Curva distribución de caudal líquido, sección Charles Fuhr. Campaña 2 (C2)	86
Figura 92.- Curva distribución de caudal líquido, sección Charles Fuhr. Campaña 3 (C3)	87
Figura 93.- Curva distribución de caudal líquido, sección Charles Fuhr. Campaña 4 (C4)	87
Figura 94.- Curva distribución de caudal líquido, sección Charles Fuhr. Campaña 5 (C5)	88
Figura 95.- Curva distribución de caudal líquido, sección Charles Fuhr. Campaña 6 (C6)	88
Figura 96.- Curva distribución de caudal líquido, sección Charles Fuhr. Campaña 7 (C7)	89
Figura 97.- Curva distribución de caudal líquido, sección Charles Fuhr. Campaña 8 (C8)	89
Figura 98.- Curva distribución de caudal líquido, sección Charles Fuhr. Campaña 9 (C9)	90
Figura 99.- Curva distribución de caudal líquido, sección Charles Fuhr. Campaña 10 (C10)	90
Figura 100.- Curva distribución de caudal líquido, sección Charles Fuhr. Campaña 11 (C11)	91
Figura 101.- Curva distribución de caudal líquido, sección Charles Fuhr. Campaña 12 (C12)	91
Figura 102.- Curva distribución de caudal líquido, sección Charles Fuhr. Campaña 13 (C13)	92

Evaluación temporal del comportamiento hidrodinámico del Rio Santa Cruz y Rio La Leona. Provincia de Santa Cruz

Figura 103.- Curva distribución de caudal líquido, sección Charles Fuhr. Campaña 14 (C14)	92
Figura 104.- Curva en La Leona Sur. a) Febrero 2018. b) Octubre 2018	94
Figura 105.- Vertical 1. Profundidad Media: 1,7 m. Profundidad 1 (0,8 m).....	94
Figura 106.- Vertical 2. Profundidad Media 5,7 m.	95
Figura 107.- Vertical 3. Profundidad Media 7,9 m.	95
Figura 108.- Vertical 4 Profundidad Media 8,3 m.	96
Figura 109.- Vertical 5 Profundidad Media 3,2 m.	96
Figura 110.- Embalses vinculados con las presas Cóndor Cliff y La Barrancosa.....	98
Figura 111.- Macá Tobiano. Ave en peligro crítico de extinción	100

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.- Características técnicas de los perfiladores de corriente acústico Doppler empleados en esta práctica supervisada	30
Tabla 2.- Procesamiento de los informes, sección Leona Norte.	52
Tabla 3.- Procesamiento de los informes, sección Leona Sur.	52
Tabla 4.- Procesamiento de los informes, sección Charles Fuhr.	53
Tabla 5.- Procesamiento de los informes, sección Cóndor Cliff.	53
Tabla 6.- Procesamiento de los informes, sección La Barrancosa.	54
Tabla 7.- Procesamiento de los informes, sección Puente Viejo.	54
Tabla 8.- Procesamientos con QRev, sección Leona Norte.	55
Tabla 9.- Procesamientos con QRev, sección Leona Sur.	55
Tabla 10.- Procesamientos con QRev, sección Charles Fuhr.	55
Tabla 11.- Procesamientos con QRev, sección Cóndor Cliff.	55
Tabla 12.- Procesamientos con QRev, sección La Barrancosa.	56
Tabla 13.- Procesamientos con QRev, sección Puente Viejo.	56
Tabla 14.- Diferencia porcentual entre caudales de Informes y procesados con QRev.	59
Tabla 15.- Valores de COV de las campañas realizadas	72
Tabla 16.- Parámetros hidráulicos medidos en La Leona Sur, Campaña 9 (junio 2019)	93
Tabla 17.- Períodos de fluctuación de los picos de energía máximos dominantes.	97

CAPÍTULO I – MARCO REFERENCIAL



*Evaluación temporal del comportamiento
hidrodinámico del Rio Santa Cruz y Rio
La Leona. Provincia de Santa Cruz*

CAPÍTULO I – MARCO REFERENCIAL

1.1 Introducción

Debido a la importancia del agua, que es un recurso limitado y no renovable, ya que su degradación puede ser irreversible si este no es cuidado adecuadamente, y de las crecientes preocupaciones ambientales en las diversas actividades desarrolladas por el ser humano, se ha observado que en los últimos tiempos, la calidad y cantidad del agua se va deteriorando con el pasar del tiempo, generando impactos significativos tales como alteración de caudales, afectando la calidad del agua y las especies acuáticas, produciendo efectos negativos en el ecosistema fluvial. Esto nos lleva a un nuevo concepto integrado de planeamiento, gestión y uso de los recursos hídricos, según el cual, a través de un conjunto de medidas técnicas, administrativas y legales, se busca una respuesta eficaz a las necesidades humanas y a las exigencias sociales para mejorar la utilización del agua. Elaborar una adecuada planificación del recurso hídrico, para llevar un uso sustentable del mismo. Una adecuada planificación del uso y manejo del mismo requiere principalmente, la toma de conciencia de que el agua dulce es un recurso finito y vulnerable, esencial para sostener la vida, el desarrollo y el medio ambiente.

En razón a esto resulta de gran importancia realizar un seguimiento del recurso hídrico, para una gestión adecuada de los potenciales hidráulicos disponibles con un enfoque integral del mismo. Es fundamental conocer el comportamiento de los ríos, sus estacionalidades y caudales, considerando su distribución espacial y temporal, que exige un trabajo permanente de recolección e interpretación de datos, donde gracias a instrumentales con los que hoy en día contamos, podemos realizar mediciones tanto de caudales, secciones y velocidades de los cursos de agua, favoreciendo a una mejor caracterización de la dinámica fluvial y los procesos hidrodinámicos asociados, cuya confiabilidad se torna mayor a medida que sus series históricas se vuelven más extensas.

1.2 Descripción del Área de estudio: cuenca del Río Santa Cruz

1.2.1 Principales características de la cuenca

La cuenca del río Santa Cruz está ubicada en la provincia de Santa Cruz, en los departamentos de Lago Argentino y Corpen Aike. Como se puede observar en la Figura 1, atraviesa la provincia en sentido oeste-este hasta desembocar en el océano Atlántico y ocupa una superficie de 29.685,91 km². Hacia el oeste se ubica el límite internacional con Chile, conformado por el cerro Fitz Roy (3.375 m), el cordón Mariano Moreno, y los cerros Murallón (3.600 m), Bertrand (3.270 m), Bolados (2.800 m), Stokes (2.060 m) y Agudo (1.711 m). Hacia el norte la limitan la meseta del Quemado y los cerros de la Torre (1.760 m), Cangrejo (2.028 m) y Pana (1.990 m). Por último, hacia el sur su límite lo constituyen la sierra de los Baguales, los cerros Bote (1.780 m) y Mangrullo (1.805 m), la meseta de los Italianos, los cerros La Criolla (1.074 m), Grande (767 m), Pan de Azúcar (367 m) y del Puesto (367 m). (Vallares, Ministerio del interior, 2004). En la Figura 2 se pueden apreciar los desniveles en el modelo digital del terreno

Evaluación temporal del comportamiento hidrodinámico del Río Santa Cruz y Río La Leona. Provincia de Santa Cruz

La cuenca en estudio tiene sus nacientes en el escudo de hielo patagónico, desde donde descienden lenguas glaciarias y aguas de fusión que forman ríos y arroyos que aportan a los lagos Viedma y Argentino, constituyendo un sistema glaciolacustre-fluvial.



Figura 1.- Cuenca del río Santa Cruz. (Ebisa)

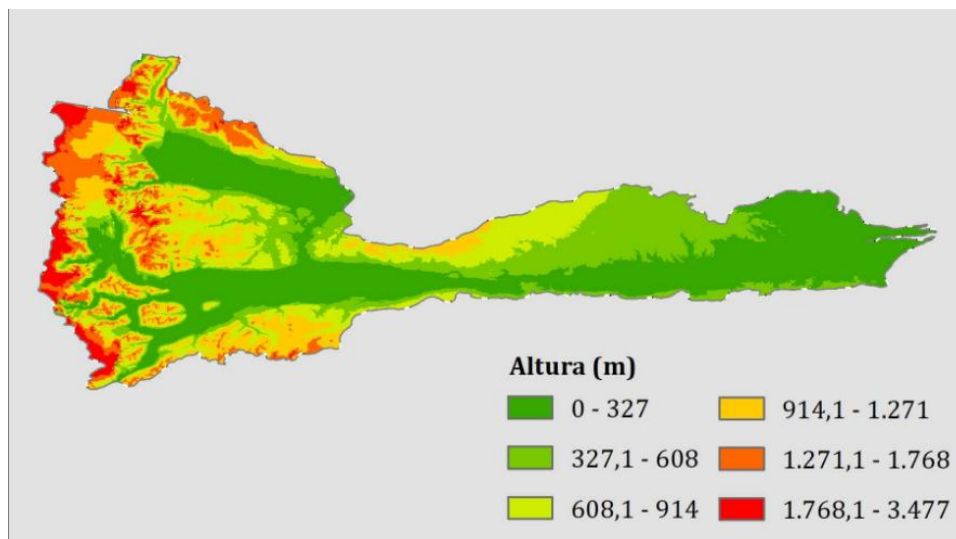


Figura 2.- Modelo digital del terreno. (Instituto Geográfico Nacional)

1.2.2 Descripción de los principales tributarios

Para describir la cuenca del río Santa Cruz, resulta conveniente subdividirla de la siguiente manera: subcuenca del lago Viedma, subcuenca del lago Argentino y subcuenca del río Santa Cruz, emisario final. A continuación se realiza una breve descripción de cada una.

Evaluación temporal del comportamiento hidrodinámico del Río Santa Cruz y Río La Leona. Provincia de Santa Cruz

Subcuenca del lago Viedma

El lago Viedma se ubica a una cota de 250 m y ocupa una superficie de 1.100 km². Como se puede observar en la Figura 3, recibe por su margen norte el aporte de los ríos Cangrejo, Blanco, Barrancas y de las Vueltas. Este último, nace en el lago del Desierto, emisario de la laguna Larga, y fluye alternativamente al sur y al sudeste, formando numerosos meandros. En su recorrido recibe el aporte de diversos cursos entre los que se destacan, por margen derecha, los ríos Eléctrico y Fitz Roy y, por margen izquierda, el río del Bosque (emisario del río de los Portones). Por la margen oeste del lago Viedma, descienden lenguas glaciarias y aguas de fusión que forman ríos como el Túnel, emisario del lago homónimo. El glaciar Viedma (575 km²) es el de mayor desarrollo entre los que aportan a este lago. Por la margen sur, vierten sus aguas los ríos Cóndor y Guanaco. En su extremo sudoriental nace su emisario, el río Leona. (Vallares, Ministerio del interior, 2004)



Figura 3.- Subcuenca del Lago Viedma.

Subcuenca del lago Argentino

El río La Leona nace en el Lago Viedma, tiene un recorrido aproximado de 50 km y corre hacia el sur desembocando en el Lago Argentino, salvando un desnivel de 50 m. Este curso es considerado geológicamente muy nuevo debido a que durante el Pleistoceno las aguas del lago Viedma se dirigían al Atlántico a través del río Shehuén o Chalia, de la cuenca del río Chico. El río La Leona recibe por margen derecha las aguas del río Matas Negras o Turbio y desagua en el extremo oriental del lago Argentino. El lago Argentino recibe las aguas del lago Viedma, el cual se encuentra ubicado a 55 km al norte del Lago Argentino, a través del río La Leona que hace su aporte unos 5 km al norte del nacimiento del río Santa Cruz. Tiene una longitud oeste-este de 65 km y un ancho de 25 km de norte a sur. Ocupa una superficie aproximada de 1.600 km² y su profundidad varía entre 35 m, en la margen sur, hasta más de 300 m, en la margen norte frente al cerro Avellaneda. El fondo del lago está constituido por arena y limo. El agua es límpida, fría y dulce. Su cuenca de aportes es sumamente articulada e irregular.

Evaluación temporal del comportamiento hidrodinámico del Río Santa Cruz y Río La Leona. Provincia de Santa Cruz

Al oeste, se extienden los glaciares que aportan sus aguas de fusión a través de los distintos brazos de este lago: el brazo norte recibe por su extremo nórdico al emisario de los lagos Pearson (emisario del arroyo Moyano y del río Norte) y Tannhäuser. Por su extremo occidental recibe los aportes del brazo Upsala, del lago Onelli y del canal Spegazzini, que llevan las aguas de los glaciares homónimos. El glaciar Upsala es el más extenso y abarca una superficie de 595 km². Hacia el este, el río La Olla vierte sus aguas en el canal homónimo.

En el brazo sur, hacen su aporte el lago Roca, los ríos Cachorro y Camiseta y el emisario del lago Frías, que recibe las aguas de fusión del glaciar homónimo. Aguas abajo, se encuentra el brazo Rico cuyos principales tributarios son el río Mitre, que drena las sierras Cattle y Buenos Aires, y el río Rico, cuyas nacientes se ubican en la sierra de los Baguales. Siguiendo el sentido del escurrimiento aparece el canal de los Témpanos, que recibe por su margen occidental las aguas del canal Mayo. Finalmente, las aguas fluyen por bahía Tranquila hasta alcanzar el lago Argentino. El glaciar Perito Moreno (250 km²) presenta una altura de 60 m sobre el nivel del lago y es famoso a nivel internacional por provocar el endicamiento de las aguas del brazo Rico. Por su margen norte, el lago Argentino recibe las aguas del arroyo Las Horquetas. Por el lado sur, hacen su aporte el río Centinela (emisario del río Cachorros y del arroyo de las Bandurrias), el arroyo Calafate (emisario del arroyo Moyano) y el arroyo de los Perros. (Vallares, Ministerio del interior, 2004). Podemos observar la ubicación de la subcuenca en la Figura 4.



Figura 4.- Subcuenca del Lago Argentino.

Subcuenca del río Santa Cruz

Como se puede observar en la Figura 5, el río Santa Cruz nace en la margen oriental del Lago Argentino y desemboca en el Océano Atlántico formando un estuario al que también confluye el Río Chico, recorriendo la provincia de Oeste a Este por 385 km con una pendiente media de 0,53 m/km. Siendo éste el tercer río con mayor caudal de la Argentina presentando caudales máximos al finalizar el período estival y mínimos en el mes de septiembre.

Evaluación temporal del comportamiento hidrodinámico del Río Santa Cruz y Río La Leona. Provincia de Santa Cruz

En el sector donde nace, el lecho del río tiene un ancho medio de 150 m y su valle, flaqueado por altas barrancas, alcanza los 3.000 m. Inmediatamente aguas abajo, se estrecha hasta alcanzar los 500 m. En su cuenca superior, el río Santa Cruz alterna sectores en que corre encajonado presentando algunos rápidos sobre lechos rocosos con otros en los que su valle se amplía y el curso aumenta su sinuosidad. En la cuenca inferior se torna muy meandroso, con escasos tramos rectos en su recorrido, pero sin bifurcaciones. Desemboca en la ría Gallegos (brazo sur), donde se ubican numerosas islas y bancos fijos. La influencia de la marea alcanza hasta 57 km aguas arriba de la desembocadura. (Vallares, Ministerio del interior, 2004)

A aproximadamente 26 km de su nacimiento, el Santa Cruz recibe por margen derecha al río Bote, cuyas cabeceras se hallan en el cerro Mangrullo (1.805 m). Este río colecta las aguas del valle del río Bote, y aquellas que descienden de las mesetas El Bote y del Italiano y de los cerros Negro (1.226 m) y Sombrero (1.284 m). Fluye hacia el noreste con meandros muy pronunciados y escasos rápidos hasta desaguar en el río Santa Cruz, aguas arriba de la curva conocida como la Vuelta del 2º Laberinto. Se trata de un importante meandro hacia el oeste que encierra varias islas entre las que se destaca por su tamaño la isla Silva. El extremo de esta vuelta se halla unido a la laguna Grande. El Santa Cruz continúa hacia el este por un curso meandriforme hasta alcanzar la Vuelta del 1º Laberinto, donde el río se traslada unos 4 km hacia el sur y presenta un ensanchamiento que le permite contener diversas islas.

Aguas abajo, el río Santa Cruz recibe por margen derecha pequeños cursos que descienden de las barrancas. Por margen izquierda, hacen su aporte los cañadones del Mosquito y de Vera (provenientes del cerro Fortaleza) y el arroyo El Lechuza (que drena el cerro Catedral, 863 m). Luego confluye por la misma margen el arroyo de las Cuevas, emisario del arroyo Cordero, y los cañadones el Yaten Guajen, el Kolian Kaike y Grande. Estos cañadones, al igual que las vaguadas que confluyen por margen derecha, hacen aportes únicamente en época de lluvias.

El río se torna cada vez más tortuoso hasta alcanzar el rápido de las Gaviotas provocado por el estrechamiento del cauce. Aproximadamente 20 km aguas abajo, se encuentra el Rincón Chico desde el cual el cauce comienza a ensancharse. Alrededor de 8 km después, se encuentra la isla Pavón y el cauce alcanza los 700 m. Este se torna cada vez más ancho hasta alcanzar los 4.500 m en Punta Beagle, donde confluye el río Chico por el brazo norte de la ría Santa Cruz. Aguas abajo, entre cañadón Quemado y punta Reparó, se ubica el puerto de Santa Cruz. (Vallares, Ministerio del interior, 2004)

Evaluación temporal del comportamiento hidrodinámico del Río Santa Cruz y Río La Leona. Provincia de Santa Cruz

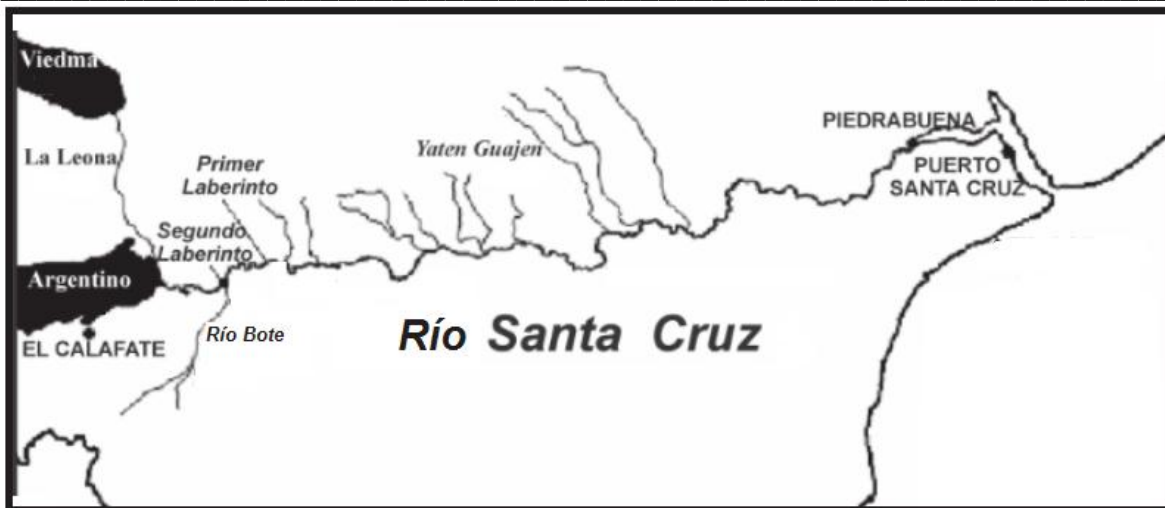


Figura 5.- Ubicación del río Santa Cruz y de sus principales tributarios. (Centro Patagónico Nacional).

Entre los principales centros urbanos al interior de la cuenca, se distingue la localidad turística de El Calafate a unos 80 km del glaciar Perito Moreno. Es la cabecera del departamento Lago Argentino, Cuenta con 16.655 habitantes (INDEC, 2010). Comandante Luis Piedrabuena de 6405 habitantes (INDEC, 2010), ubicado en el departamento Corpen Aike. La localidad se encuentra situada sobre el margen izquierdo del río Santa Cruz, en la ruta Nacional 3 y El Chaltén ubicado en el sur de la cordillera de los Andes, en el extremo sudoeste de la Patagonia argentina, al pie del cerro Fitz Roy - o Chaltén- y a orillas del Río de las Vueltas. Es una pequeña villa turística fundada en pleno Parque Nacional Los Glaciares. Cuenta con 1.627 habitantes (INDEC, 2010)

Las actividades económicas más importantes de la región son el turismo, la pesca deportiva de especies introducidas y la ganadería extensiva de ovinos.

1.2.3 Aprovechamientos hidroeléctricos sobre el río Santa Cruz

Sobre el río Santa Cruz se proyectó la construcción de dos represas y sendas centrales hidroeléctricas con la finalidad de generar energía renovable para todo el país. Está integrado por la presa Cóndor Cliff y La Barrancosa, ambas ubicadas sobre este importante curso de agua de alta potencialidad hidroenergética.

El proyecto de los aprovechamientos hidroeléctricos sobre el río Santa Cruz cuenta con una larga historia. Sus inicios se remontan a la década del 20, cuando Agua y Energía Eléctrica tenía a cargo el desarrollo del proyecto. Entre 1948 y 1980 se realizaron una serie de estudios preliminares y los primeros anteproyectos. El proyecto licitado presentaba varias cuestiones que no se encontraban adecuadamente resueltas y que debieron ser modificadas con posterioridad a la adjudicación e inicio de las obras. Estas modificaciones resultan de fundamental importancia para garantizar la sustentabilidad del proyecto. Entre las principales modificaciones hechas se destacan las siguientes:

- Disminución en los niveles del embalse de la presa Cóndor Cliff (Figura 6) a los efectos de la desvinculación hidráulica en la operación de los Aprovechamientos del Río Santa Cruz con los niveles del Lago Argentino.

Evaluación temporal del comportamiento hidrodinámico del Río Santa Cruz y Río La Leona. Provincia de Santa Cruz

- Redefinición de los criterios de cálculo de la altura de la ola de diseño en la presa Cóndor Cliff, disminuyendo en forma sensible la superficie a inundar por el embalse de esta presa.

-Modificación de la forma de operación de la presa La Barrancosa a un régimen de base, de forma tal que el caudal erogado sea el mismo que el medido en la naciente del río Santa Cruz, reduciendo significativamente la alteración del régimen del caudal aguas abajo de dicha presa, lo que se traduce en una disminución en la potencial afectación del estuario del río Santa Cruz. Debido a que esta área es de sumo interés para la conservación de especies faunísticas (como el Macá Tobiano) y de hábitats naturales ocupados por otras especies, su estudio se mantendrá durante las distintas etapas del proyecto para garantizar su sustentabilidad.

-Incremento de los caudales máximos que resulta posible evacuar a través de los descargadores de fondo, permitiendo mayor flexibilidad en el mantenimiento de los caudales aguas abajo de las presas durante el llenado de embalses, ante eventuales salidas de servicio de la central y en caso de ser requerido un vaciado parcial del embalse, como una herramienta de manejo del riesgo en la seguridad de las presas.

- Reducción del número de turbinas, pasando de 6 turbinas a 5 en la presa Cóndor Cliff, del mismo modo, en la presa La Barrancosa se redujo de 5 turbinas a 3 turbinas en el proyecto ejecutivo actual.

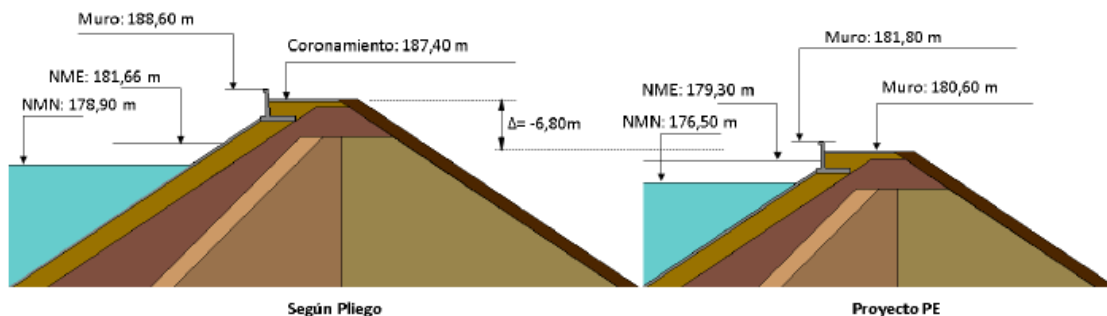


Figura 6.- Comparativa de cotas entre el Pliego y el Proyecto Ejecutivo de la presa Cóndor Cliff (Ebisa, 2017)

El proyecto ejecutivo actual ofrece desde la perspectiva técnica mejoras significativas adhiriendo a las mejores prácticas del diseño hidroeléctrico a nivel mundial y promoviendo tanto la mitigación de algunos de los impactos más significativos identificados en el EIA original, como eliminando totalmente otros.

La ubicación de los emplazamientos se fundamenta en criterios geotécnicos y topográficos, consolidados en la etapa de proyecto ejecutivo, con base en antecedentes de los anteproyectos encarados por Agua y Energía Eléctrica en el año 1978. Uno de los sitios elegidos es en la transición entre el valle medio y el superior, donde se ubica el cierre de la presa Cóndor Cliff a unos 250 km de la desembocadura del río y a 170 km de distancia de la localidad El Calafate, y el otro sitio en la porción del valle medio, donde se ubica el cierre de la presa La Barrancosa (km 185 del río y a 135 km de distancia de la localidad Comandante Luis Piedrabuena). (Ebisa. Aprovechamientos Hidroeléctricos del Río Santa Cruz, 2017)

Evaluación temporal del comportamiento hidrodinámico del Río Santa Cruz y Río La Leona. Provincia de Santa Cruz

La presa Cóndor Cliff, está proyectada de materiales sueltos con pantalla impermeable de hormigón o CFRD construida con materiales naturales procedentes de yacimientos cercanos al lugar, con una longitud de 1.613 m y una altura de 68 m. Cuenta con 5 turbinas del tipo Francis de 190 MW hora, lo que permite turbinar un caudal máximo de 1.750 m³/s resultando una generación media anual de 3.268 GWh, operando en régimen de punta o sea generando solo en las horas de mayor demanda energética del país. El Nivel Máximo Extraordinario para un caudal de recurrencia de 10.000 años es de 179,30 mSNM y el Nivel de Operación Normal estará a una cota 176.5 mSNM y ha sido fijado de forma tal que el embalse formado por la represa no afecte la variación natural del Lago Argentino, garantizando que el lago y el embalse estén desacoplados y en ninguna época del año el embalse influya en las actividades y niveles del lago Argentino, asegurando la no afectación de los glaciares existentes en el mismo. Cuenta con una superficie de inundación aproximada de 250 Km² y una capacidad de 5800 millones de m³.

La presa La Barrancosa está ubicada a 65 km aguas abajo del cierre anteriormente mencionado. Esta presa también es del tipo CFRD y se desarrolla en una longitud de 2.445 m alcanzando una altura de 41 m. Ésta cuenta 3 turbinas del tipo Kaplan de 120 MW cada una. Considerando que el caudal turbinable es de 1.260 m³/s, la generación anual estimada es de 1.903 GWh/año. El régimen de la central operará en base, es decir en forma continua con un caudal permanente igual al saliente del Lago Argentino para así reducir el impacto ambiental, preservando condiciones de hábitat equivalentes a la situación sin embalses, en el curso inferior y estuario del río Santa Cruz. El Nivel Máximo Extraordinario es de 115mSNM, y el Nivel de Operación Normal estará a una cota 114 mSNM con una superficie correspondiente de 200 km² y capacidad de 2970 millones de m³.

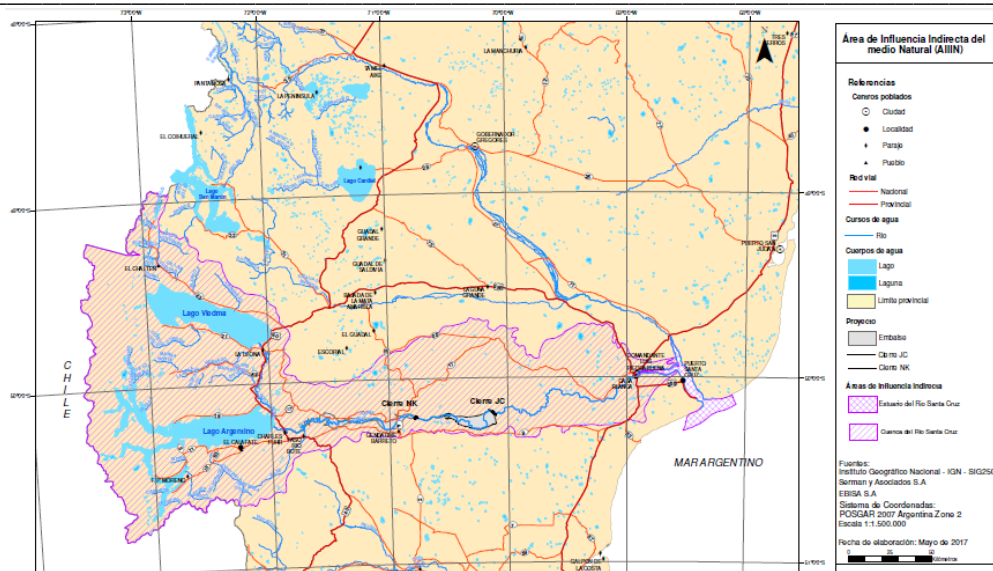
Área de influencia

Se pueden mencionar en relación a las áreas de influencia directa e indirecta. Dentro del área de influencia directa, se incluyen las áreas que serán inundadas por la formación del embalse y aquellas directamente impactadas por las obras que no estén ya incluidas en el Área de Obras: construcción de la presa, instalación de obradores, yacimientos y villas. Estas áreas serán afectadas (impactadas) directamente por el proceso de construcción y operación del proyecto, originando perturbaciones en diversos grados sobre el medio ambiente.

El Área de influencia indirecta natural (Figura 7) incluye el área de influencia directa natural y está definida como el espacio físico y ecosistémico que abarca los componentes y procesos naturales, donde se manifiestan los efectos producidos directa o indirectamente por el Proyecto.

Para el presente proyecto se utilizó una delimitación territorial de la Cuenca de río Santa Cruz y su Estuario, entendiendo a estos ámbitos como áreas donde interactúan los fenómenos naturales.

Evaluación temporal del comportamiento hidrodinámico del Río Santa Cruz y Río La Leona. Provincia de Santa Cruz



El Área de Influencia Directa del medio Social (AIDS) del proyecto conforma un área irregular que incluye fundamentalmente las unidades territoriales entre el Lago Argentino y el cierre de la presa La Barrancosa y las localidades y vías de comunicación circundantes.

Por lo tanto, el AIDS incluye: La totalidad de las unidades catastrales que se ubiquen sobre el Río Santa Cruz (al N y S del mismo) entre el Lago Argentino (a partir de la desembocadura del mismo en el Río Santa Cruz) y el cierre de la presa La Barrancosa;

- La localidad de El Calafate;
- La localidad de Comandante Luis Piedrabuena;
- La localidad de Puerto Santa Cruz;
- La Ruta Provincial Nº 11 entre El Calafate y la RN Nº 40;
- El tramo de Ruta Nacional Nº 40 entre la Estancia La Querencia al N y el límite SE de la Estancia La Porteña al S;
- La Ruta Provincial Nº 9 entre la RP Nº 11 y la RN Nº 3;
- La Ruta Provincial Nº 17 entre la RN Nº 40 y la RN Nº 3;
- El tramo de Ruta Nacional Nº 3 entre la localidad de Comandante Luis Piedrabuena y la RP Nº 9;
- El tramo de Ruta Nacional Nº 288 entre la RN Nº 3, la localidad de Puerto Santa Cruz y el Puerto Punta Quilla.

1.3 Problemática existente en el área de estudio

La cuenca del Río Santa Cruz es particularmente grande, llegando a casi 30.000 km². Siendo éste uno de los cursos hídricos más importantes de la Argentina. Actualmente sobre el Río Santa Cruz, se está llevando a cabo un proyecto de aprovechamientos hidroeléctricos, lo que modificará el curso de agua de forma permanente. Para realizar una adecuada planificación integral del recurso hídrico en esta cuenca, es importante realizar un monitoreo detallado de este recurso evaluado su variabilidad

Evaluación temporal del comportamiento hidrodinámico del Río Santa Cruz y Río La Leona. Provincia de Santa Cruz

espacial y temporal. La importancia del río Santa Cruz y también de su tributario principal, como el río La Leona como recurso regional, ambiental y económico justifica su estudio.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general.

El objetivo general de esta práctica supervisada es la evaluación temporal del comportamiento hidrodinámico del Río Santa Cruz y el Río La Leona, ubicados en la provincia de Santa Cruz

1.4.2 Objetivos específicos

- Capacitarse en el uso de ADCP para caracterizar el comportamiento hidrodinámico de un río;
- Capacitarse en la problemática existente en el sistema de estudio;
- Analizar los resultados de 14 campañas mensuales de medición hidrodinámica en el sistema anteriormente mencionado;
- Evaluar la evolución temporal de los principales parámetros que caracterizan la hidrodinámica en las secciones de estudio;

1.5 Organización del Informe

La presente Práctica Supervisada se organiza en 5 capítulos. A continuación, se hará una breve descripción de los temas tratados en cada uno de ellos. En el Capítulo I se presenta una introducción al tema de estudio, lo que ha permitido definir la problemática existente y los objetivos de este trabajo.

Seguidamente, en el Capítulo II se describe la metodología experimental utilizada, principalmente tecnología hidroacústica. Como así también se muestra la ubicación de las secciones en donde fueron realizadas las mediciones. Además, se describen los programas computacionales utilizados para el registro, la recepción y visualización de los datos de las mediciones. Y aquel programa utilizado para el posterior procesamiento.

En el capítulo III se exhibe el sitio de medición de cada sección, también se presentan los resultados obtenidos en el procesamiento y análisis de las mediciones realizadas. En el capítulo IV continuamos con resultados obtenidos del presente trabajo y el correspondiente análisis de los resultados. Finalmente, en el capítulo V se desarrollan las conclusiones a las que se llegó durante la realización de este trabajo, y las recomendaciones pertinentes.

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;
- Procesamiento y análisis de información de las campañas de medición en las diferentes secciones de estudio entre octubre de 2018 y noviembre 2019;
- Análisis de resultados y propuesta de recomendaciones.

CAPÍTULO II – METODOLOGÍA EXPERIMENTAL



*Evaluación temporal del comportamiento
hidrodinámico del Rio Santa Cruz y Rio
La Leona. Provincia de Santa Cruz*

CAPÍTULO II – METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

2.1 Introducción

En este capítulo se describe la metodología experimental utilizada, la cual puede cambiar según las características de la sección. Por esta razón se realiza una breve descripción de las secciones donde se realizan las mediciones de caudal líquido.

Para la obtención de los diferentes parámetros hidráulicos para las mediciones de velocidad del flujo y los caudales superficiales escurridos en las distintas secciones seleccionadas en el sistema fluvial analizado, se utilizan dos perfiladores de corriente acústico Doppler (ADCP), de diferente frecuencia acústica, pertenecientes uno al Laboratorio de Hidráulica de la Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de la Universidad Nacional de Córdoba y el otro a la Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas de la Universidad Nacional del Litoral, cuyo funcionamiento será explicado en el presente capítulo.

2.2 Localización de los sitios de medición

Para la cuantificación de caudales líquidos escurridos se realizaron y analizaron un total de catorce campañas de medición. El monitoreo se lleva a cabo en seis secciones ubicadas a lo largo de la cuenca de los ríos Santa Cruz y La Leona. Dos de ellas se encuentran sobre el río La Leona y las cuatro restantes a lo largo del río Santa Cruz (Figura 8). La primera campaña se realizó en octubre de 2018, en donde por problemas técnicos, solo se pudieron realizar las mediciones sobre el río La Leona. Desde la campaña dos en adelante se realizaron las mediciones de todas las secciones que se describen a continuación.

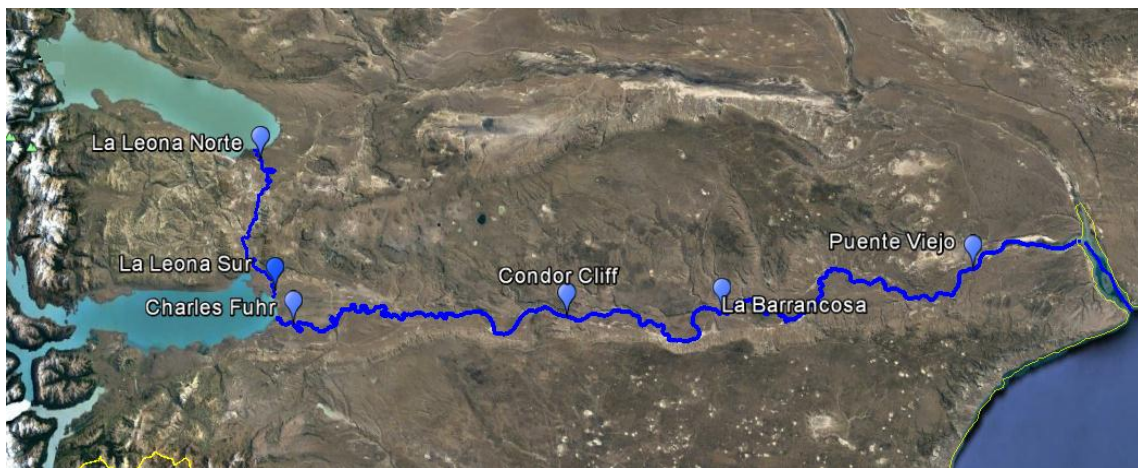


Figura 8.- Ubicación de los sitios de medición aforados

2.2.1 Río La Leona

Sobre el río La Leona encontramos dos secciones de medición de caudal líquido. La primera ubicada aguas arriba, denominada “La Leona Norte”, en el nacimiento del río. Se encuentra aguas abajo del Lago Viedma sobre la Ruta Nacional N° 40 (Figura 9). La segunda sección sobre este río se encuentra próxima a la desembocadura del río en el Lago Argentino, también sobre la ruta N°40 (Figura 11), denominada “Leona Sur”. Como se puede ver en la Figura 10 y Figura 12 en ambas secciones las mediciones se realizan desde un puente.

Evaluación temporal del comportamiento hidrodinámico del Rio Santa Cruz y Rio La Leona. Provincia de Santa Cruz



Figura 9.- Sección de medición La Leona Norte, aguas arriba. Vista en planta.



Figura 10.- Sección de medición La Leona Norte, aguas arriba. (a) Vista desde la margen izquierda, octubre 2018- Campaña 1. (b) Vista desde el puente hacia aguas abajo, diciembre 2018 - Campaña 3.

Evaluación temporal del comportamiento hidrodinámico del Río Santa Cruz y Río La Leona. Provincia de Santa Cruz



Figura 11.- Sección de medición del río La Leona, aguas abajo en la desembocadura



Figura 12.- Sección de medición La Leona Sur. (a) Vista desde el puente hacia aguas abajo, octubre 2018- Campaña 1. (b) Vista desde margen derecha, febrero 2018 - Campaña 5.

2.2.2 Río Santa Cruz

Sobre el río Santa Cruz hay cuatro secciones de medición de caudal líquido. La primera sección sobre este río llamada “Charles Fuhr” por su ubicación, encontrándose la misma aguas abajo del puente de la Ruta Nacional N° 40 (Figura 13 y Figura 14). La segunda y tercera se encuentran aguas abajo de la presa Cóndor Cliff y aguas abajo del eje de la presa La Barrancosa y respectivamente, (Figura 15 y Figura 16) denominándose a estas secciones con los respectivos nombres de las presas. La última sección correspondiente a este río se ubica en cercanías de la ciudad Piedra Buena, aguas arriba del Puente Viejo (Figura 17). Estas últimas tres secciones se miden desde embarcación, mientras que en Charles Fuhr se realiza desde puente.

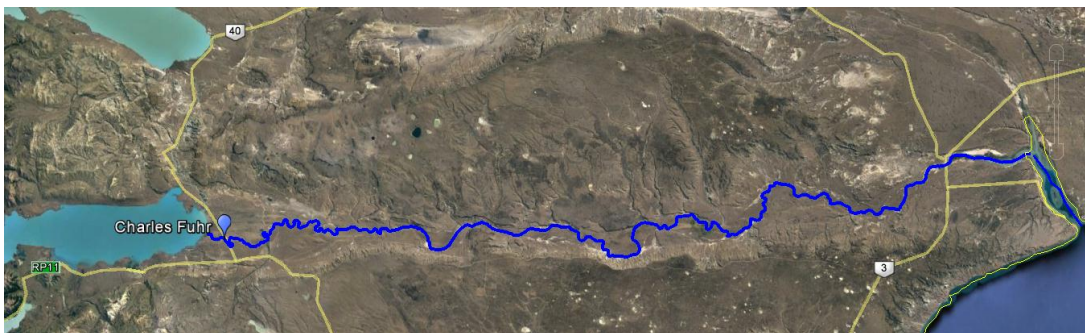


Figura 13.- Sección de medición del río Santa Cruz en Charles Fuhr, aguas abajo del puente de la Ruta Nacional N.º 40

Evaluación temporal del comportamiento hidrodinámico del Rio Santa Cruz y Rio La Leona. Provincia de Santa Cruz



Figura 14.- Sección de medición Charles Fuhr. (a) Vista desde el puente hacia aguas abajo, abril 2019- Campaña 7. (b) Vista desde margen derecha, febrero 2018 - Campaña 5

Evaluación temporal del comportamiento hidrodinámico del Rio Santa Cruz y Rio La Leona. Provincia de Santa Cruz

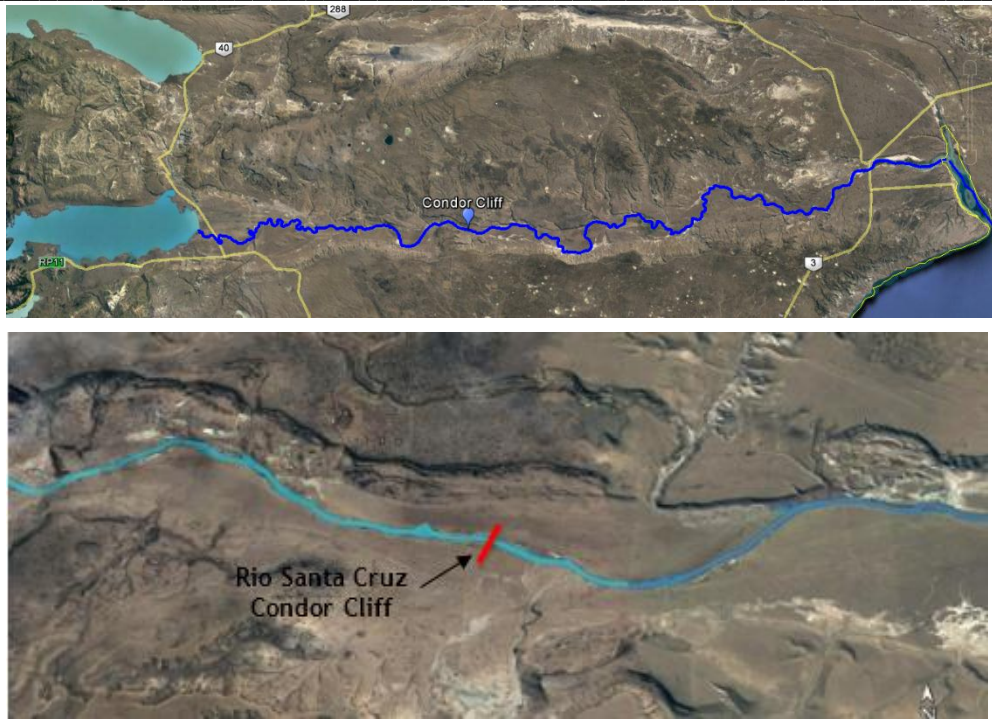


Figura 15.- Sección de medición del rio Santa Cruz, aguas abajo de la presa Cóndor Cliff



Figura 16.- Sección de medición del rio Santa Cruz, aguas abajo de la presa La Barrancosa



Figura 17.- Sección de medición del rio Santa Cruz aguas arriba del Puente Viejo en Piedra Buena

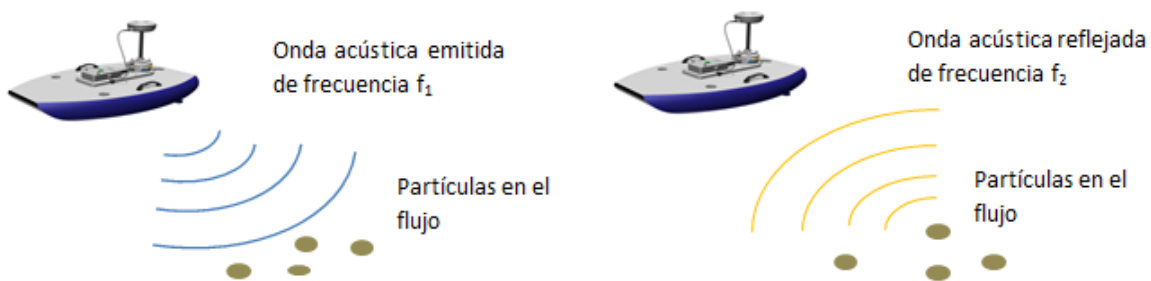
2.3 Perfilador de Corriente Acústico Doppler (ADCP)

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 errores menores al 5%.

Los ADCPs determinan la velocidad del flujo utilizando el principio Doppler. El instrumento emite una onda acústica a una determinada frecuencia (f_1), la cual es luego reflejada por partículas en suspensión en el flujo como sedimentos, burbujas o materia orgánica presentes naturalmente en el agua. La onda acústica reflejada es detectada por el instrumento y la misma posee una frecuencia (f_2) diferente con la que fue emitida (Díaz, 2014). 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. En la Figura 18 se muestra el esquema de funcionamiento del ADCP.

El instrumento puede ser utilizado con una computadora personal o bien con un teléfono celular, ambos dispositivos capaces de registrar los datos medidos.

Figura 18.- Esquema de funcionamiento del ADCP



2.3.1 Descripción del instrumental

El ADCP presenta entre 3 y 9 transductores acústicos montados en la cabeza del sistema, inclinados en un ángulo con respecto a la vertical entre 20° a 30° dependiendo del fabricante, responsables de la medición de la velocidad en las 3 direcciones y 1 haz vertical que mide las profundidades y realiza el perfil de la sección.

El ADCP “River Surveyour S5” fabricado por la compañía YSI/Sontek, trabaja 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 de 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.

El ADCP “Workhorse Río Grande” fabricado por la compañía Teledyne RD Instruments, presentan similares características físicas que el anterior, pero trabajan a diferentes frecuencias, (600 kHz y 1200 kHz), brindándoles diferentes capacidades y condiciones para aforar, caracterizar el flujo y el transporte de sedimentos. Puede ser empleado en un amplio rango de condiciones de ríos, desde cursos de agua someras de 0.5 m a ríos caudalosos y estuarios intermareales, cuenta con una capacidad de medición de corrientes débiles o bajo caudal con modos de alta precisión. La capacidad de perfilación en un rango amplio de profundidades permite que pueda ser empleada en el mismo lugar en diferentes estaciones del año desde aguas someras de bajo caudal, hasta gran profundidad con caudales altos y fuertes. Está diseñado para integrarse con sensores externos incluyendo GPS, ecosonda, y un compás externo a través del software WinRiver II basado en Windows. En la Tabla 1 se listan algunas características técnicas de estos instrumentos.

Evaluación temporal del comportamiento hidrodinámico del Río Santa Cruz y Río La Leona. Provincia de Santa Cruz

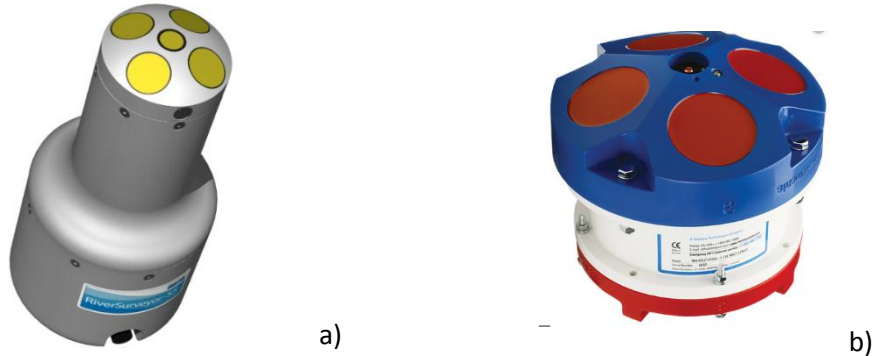


Figura 19.- Perfiladores de corriente acústico Doppler fabricados por las compañías a) SonTek/YSI (RiverSurveyor S5) y b) Teledyne RD (Workhorse Rio Grande)

Tabla 1.- Características técnicas de los perfiladores de corriente acústico Doppler empleados en esta práctica supervisada

		Río Grande	SonTek S5
Medición de velocidad	<i>Rango de perfilado</i>	0,3 m a 25 m	0,06 a 5 m
	<i>Velocidades</i>	+/- 20 m/s	+/- 20 m/s
	<i>Precisión</i>	Hasta +/- 0,25% de la velocidad medida	Hasta +/- 0,25% de la velocidad medida
	<i>Resolución</i>	0,001 m/s	0,001 m/s
	<i>N° de celdas</i>	Hasta 128	Hasta 128
	<i>Tamaño de celda</i>	0,05 a 2 m	0,02 a 0,5 m
Configuración del transductor	<i>Transductores</i>	4 rayos de 1200 KHz inclinados a 20°	4 rayos de 3,0 MHz inclinados a 25° y 1 rayo vertical de 1,0 MHz
Profundidad	<i>Rango de mediciones</i>	0,5 a 30 m	0,20 a 15 m
	<i>Precisión</i>	+/- 1% +/- 1% cm	1%
	<i>Resolución</i>	1 mm	1 mm
Medición de flujos	<i>Rango con Bottom-track (seguimiento de fondo)</i>	0,5 a 30 m	0,30 a 5 m
	<i>Rango con GPS</i>	-----	0,30 a 15 m

Además del ADCP propiamente dicho, se requieren de otros accesorios para llevar a cabo las mediciones. (Barchiesi, 2014)

- Módulo de energía y comunicación (Figura 21) 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.

Evaluación temporal del comportamiento hidrodinámico del Rio Santa Cruz y Rio La Leona. Provincia de Santa Cruz

- 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 - FCEFyN, una computadora portátil). Al operar con una computadora, puede lograrse un alcance de hasta 100 metros con la señal, mientras que con los teléfonos celulares regulares pueden lograrse alcances de hasta 60 metros aproximadamente.
- Geoposicionador Satelital Diferencial (DGPS), el cual se coloca en la misma plataforma móvil sobre la cual se encuentra el ADCP, y permite contar con un sistema alternativo de referenciación, el cual es muy útil cuando existe fondo móvil o cualquier otra característica (por ejemplo, efectos debido a la presencia de turbulencia e incorporación de aire) que no permita referenciar la medición con respecto al fondo (Bottom Track). El dispositivo DGPS se conecta también al PCM.
- Una computadora portátil o dispositivo móvil, capaz de soportar el programa computacional RiverSurveyor Live v.3.60 y el soporte RiverSurveyor v3.00 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.

En la Figura 20 se muestran los elementos mencionados necesarios para realizar mediciones con ADCP. Y en la Figura 22 se pueden apreciar las distintas partes que componen el equipo en su conjunto. Además de los elementos mencionados, puede apreciarse que el barco posee a sus costados dos amarres que son de utilidad en el traslado del equipo y realizar la calibración. Asimismo, cada uno de los elementos nombrados debe verificarse de tal forma que el conjunto trabaje de forma correcta, y que no haya interferencias entre las señales de los distintos dispositivos.



Figura 20.- Elementos necesarios para realizar mediciones con ADCP

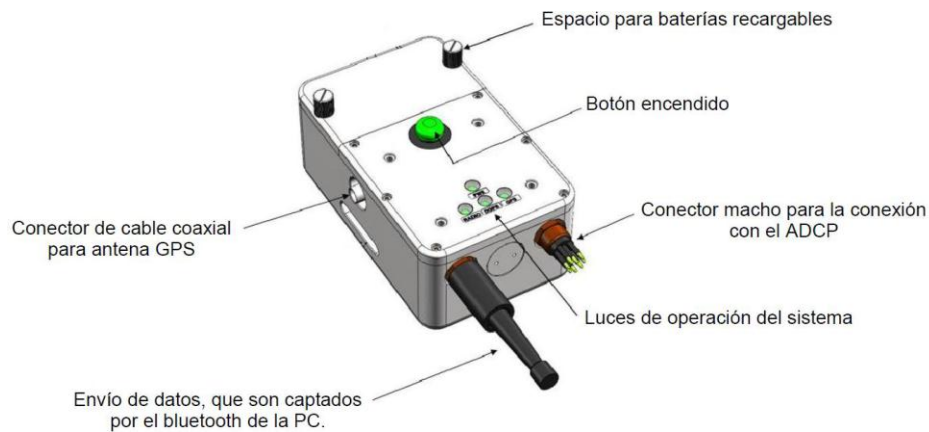


Figura 21.- Módulo de energía y comunicación (extraído del folleto RiverSurveyor - Sontek).



Figura 22.- Plataforma Móvil con ADCP a) Teledyne RDI, b) YSI/SonTek S5 y todos sus componentes

2.3.2 Metodología de medición con ADCP desde plataformas móviles.

Las mediciones con ADCP se realizan atravesando el río o canal en múltiples cruces o transectas. Como el dispositivo de medición no posee movilidad propia, es necesario colocar el ADCP en una plataforma móvil capaz de transportarlo a través de la sección sobre la que se realizará la medición. Por lo general estas plataformas móviles son embarcaciones comandadas por personal a bordo (Figura 23) o en caso de no ser posible, se utilizan plataformas comandadas por medio de un cable o una soga desde puentes (Figura 24) o desde las márgenes del curso de agua. A medida que la plataforma se mueve, el ADCP registra su posición, distancia recorrida y profundidad del agua en cada vertical y con ello realiza un perfil (tipo batimetría) de la sección que nos permite conocer su

Evaluación temporal del comportamiento hidrodinámico del Rio Santa Cruz y Rio La Leona. Provincia de Santa Cruz

forma. Además, el ADCP va registrando el perfil de velocidades en cada punto de la sección a medida que avanza sobre la misma y en las tres direcciones. Sin embargo, el ADCP no mide en la sección transversal completa debido a que hay ciertas zonas en las que no es posible medir por a diversos motivos: en las zonas cercanas a las márgenes o bordes, por lo general el ADCP no puede medir debido a que no hay una profundidad suficiente para que pueda acceder la embarcación o para que pueda sumergirse el instrumento; también hay una zona cerca al fondo donde el instrumento tampoco mide debido a la dispersión de los haces. El caudal que fluye por estas zonas se estima mediante diversas fórmulas de extrapolación.

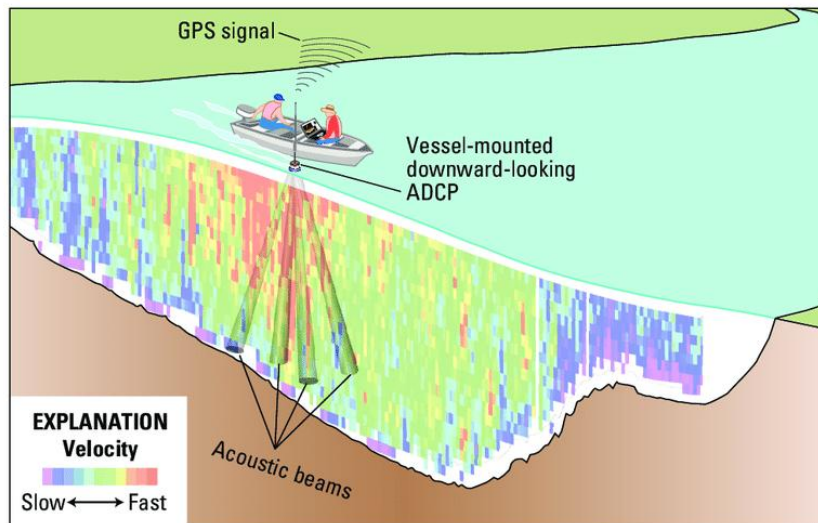


Figura 23.- Perfilador de corriente Doppler acústico (ADCP) montado en bote.



Figura 24.- Realización de aforo líquido desde puente utilizando el ADCP Teledyne RDI. Sección La Leona Norte.

2.3.3 Programas computacionales utilizados

El programa computacional utilizado dependía del ADCP utilizado. Por ejemplo, mediante el programa computacional RiverSurveyor Live, se realizó la configuración del registro, la recepción y visualización (en tiempo real y diferido) de los datos para el SonTek S5, mientras que para el Río Grande se utilizó el programa WinRiver II. Para el posterior procesamiento se utilizó el programa QRev, para poder procesar ambos datos, tanto SonTek como TRDI.

A continuación, se realiza una breve descripción de cada uno de ellos.

RiverSurveyor Live

Mediante el programa computacional RiverSurveyor Live, se realiza la configuración del registro, la recepción y visualización (en tiempo real y diferido) de los datos para el modelo de ADCP con que se cuenta en el Laboratorio de Hidráulica de la FCEfyN-UNC (YSI/SonTek S5) mediante una interfaz gráfica amigable y sencilla. A través de este programa, se pueden procesar y analizar los datos mediante las diferentes herramientas de análisis incluidas. Además, es posible visualizar los resultados obtenidos durante la medición en forma de tablas, gráficos e imágenes, facilitando el análisis de los mismos. Sin embargo, para poder analizar los datos de manera correcta, el programa necesita cierta información que debe ser proporcionada antes de realizar las mediciones. El programa, también cuenta con la posibilidad de exportar los datos a otros programas (por ej. Matlab o Excel) para un análisis más complejo y detallado.

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.

El programa tiene distintas partes fácilmente diferenciables como se aprecie en la Figura 25. Cuenta con una lista de comandos básicos, en donde básicamente pueden ajustarse los parámetros de forma tal 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 visualiza “Sección Transversal” siendo esta opción la más útil visualmente, mostrando 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. Para el procesamiento de datos se encuentran otras opciones que muestran

Evaluación temporal del comportamiento hidrodinámico del Rio Santa Cruz y Rio La Leona. Provincia de Santa Cruz

la información en otro formato, como la opción “Muestra”, que da en pantalla una tabla con los datos de cada celda relevada, como se puede observar en la Figura 26.

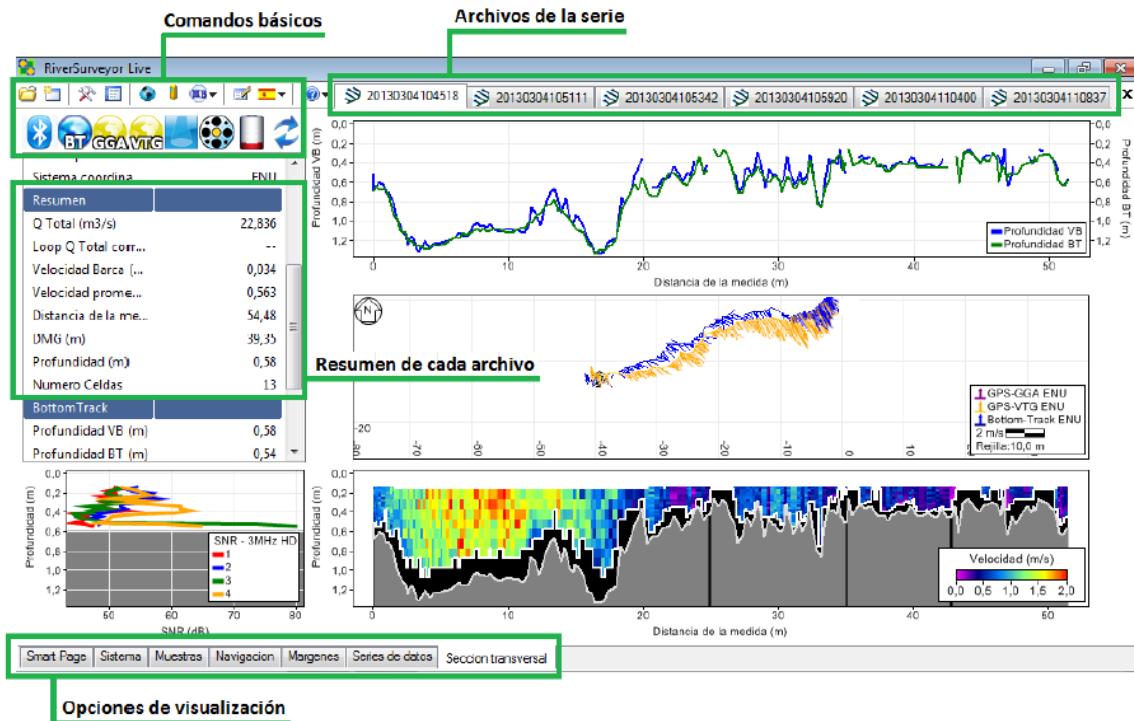


Figura 25.- Interfaz del programa RiverSurveyor Live.

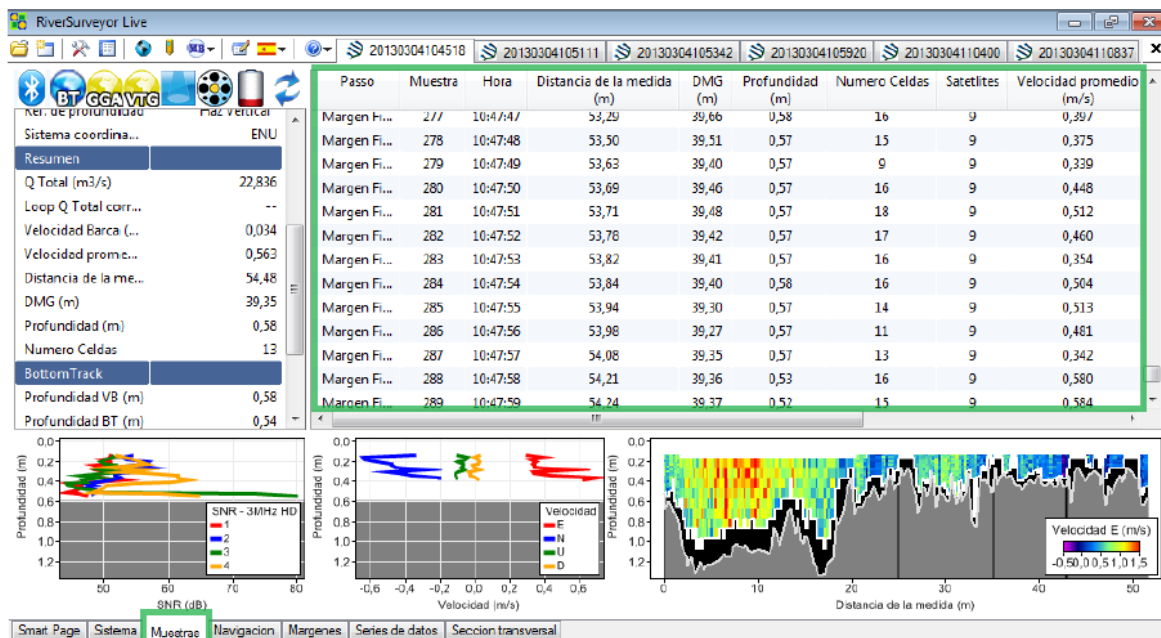


Figura 26.- Visualización de la pestaña "Muestras" en el programa.

Dentro de los Comandos Básicos, una opción permite visualizar el resumen de todas las mediciones de la sección elegida, obteniéndose para cada transecta el tiempo empleado en completarla, el

Evaluación temporal del comportamiento hidrodinámico del Rio Santa Cruz y Rio La Leona. Provincia de Santa Cruz

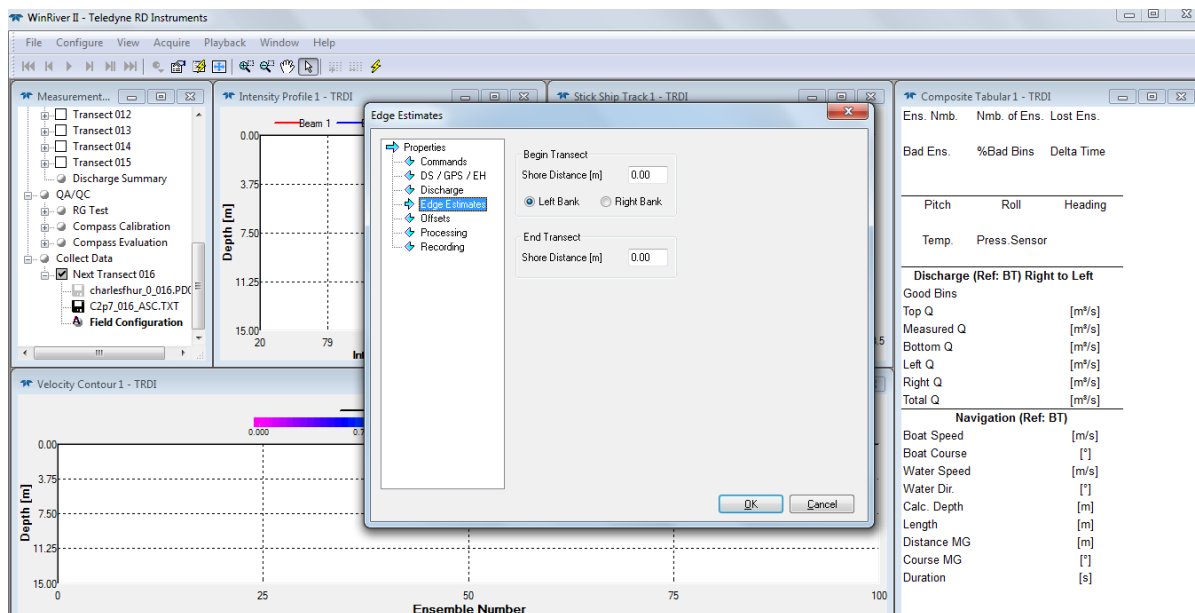
caudal obtenido, la velocidad promedio, el área de sección relevada, la longitud de la sección y la hora en que fue realizada, entre otras cosas, permitiendo así compararlas, de tal forma de identificar valores alejados de la media, y poder definir si la calidad de las mediciones es aceptable o si las 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. (Barchiesi. M., 2015)

WinRiver II

Software de recolección y post procesamiento de datos (Windows) para aplicaciones de descarga de datos para equipos Teledyne-RDI, incluidos los modelos Rio Grande, StreamPro, RiverRay y RiverPro. WinRiver II proporciona un diseño centrado en la medición, un asistente de configuración y capacidades para revisar datos. Permite guardar, reproducir y exportar los resultados de las mediciones para su análisis.

Este software es intuitivo y en las etapas iniciales de configuración está insertado el Configuration Wizard en el cual deben ser ingresados los datos de relevancia de la estación, el cual brindará una serie de comandos estandarizados, que deben ser verificados por el usuario e incluso ingresados otros o cambiados, si se presenta tal necesidad. También están insertadas configuraciones de comunicación del ADCP, además de equipos accesorios como GPS y ecobatímetro. Además, son emitidas alertas, cuando falta la inclusión de algún dato básico como profundidad de inmersión del equipo. Como así también, están insertados los aplicativos para calibración de la brújula y tests de fondo móvil (estacionario y de lazo). En el apartado siguiente, se detallan comparaciones de filtros utilizados en este programa.

La función F3 (Figura 27) abre los ítems con que fue configurado el Software. Posee 7 “solapas”, cada una con sus ítems y comandos.



Evaluación temporal del comportamiento hidrodinámico del Rio Santa Cruz y Rio La Leona. Provincia de Santa Cruz

Algunas de las ventanas de WinRiver son importantes herramientas para control de la marcha de la medición. Las ventanas que se visualizan por defecto permite hacer comparaciones, como la velocidad de la embarcación y la del agua, muestran lo que está pasando en los cuatro haces posibilitando un análisis de la medición.

Como se puede observar en la Figura 28 las ventanas que se visualizan en conjunto son las siguientes, (teniendo la opción de visualizar más ventanas en la solapa "view"):

- *Velocity Magnitude Contour*: Muestra las velocidades en magnitud a lo largo de la sección. Muestra también los celdas erróneas (bad bins), muestras perdidas (lost ensembles) y muestras erróneas (bad ensembles).
- *Ship Track*: Muestra el desplazamiento de la embarcación y las direcciones medias de la corriente, pudiendo asimismo mostrar estas direcciones por profundidad de célula, usando la tecla flecha hacia abajo.
- *Intensity Profile*: Muestra cómo está la señal. A través de ella se pueden verificar los problemas que están desarrollándose durante la travesía.

Figura 27.- Ítems WinRiver II

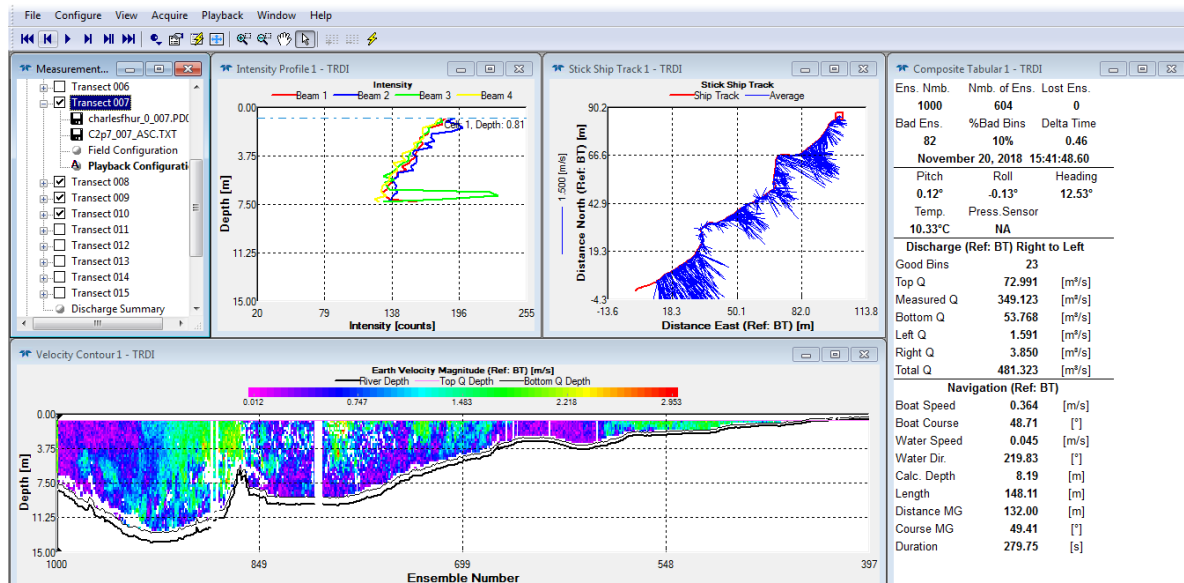


Figura 28.- Interfaz del programa WinRiver II

Qrev

QRev es un programa de Matlab de procesamiento de datos medidos con ADCP de embarcación móvil, que utiliza datos recopilados de los instrumentos Teledyne RDI) o SonTek, desarrollado por el USGS (Servicio Geológico de los Estados Unidos).

Evaluación temporal del comportamiento hidrodinámico del Río Santa Cruz y Río La Leona. Provincia de Santa Cruz

Los objetivos principales del programa son: usar la mayor cantidad de datos disponibles, mejorar la interpolación de los datos inválidos, uniformizar la forma de procesamiento, mejorar la detección de errores y la evaluación de incertidumbres.

El diseño general del programa QRev se guio para poder procesar datos SonTek y TRDI, usando algoritmos consistentes y los mejores datos disponibles (interpolando solo lo que faltan o no sean válidos). También busca proporcionar un flujo de trabajo lógico, automatizar la evaluación y la retroalimentación de la calidad de los datos, suministrando anulación manual para todos los filtros automatizados. Este programa utiliza ventanas de diálogo con pantallas y resultados diseñados para evaluar problemas específicos y aportar información de incertidumbre al usuario.

Cuando hay muestras (ensambles) inválidas, los programas de procesamiento RiverSurveyor Live y WinRiver II eliminan la muestra completa y la reemplazan con la muestra válida posterior o anterior según el fabricante. A diferencia de los programas anteriores, QRev utiliza los mejores datos disponibles e interpola linealmente los datos inválidos en la muestra (Figura 29).

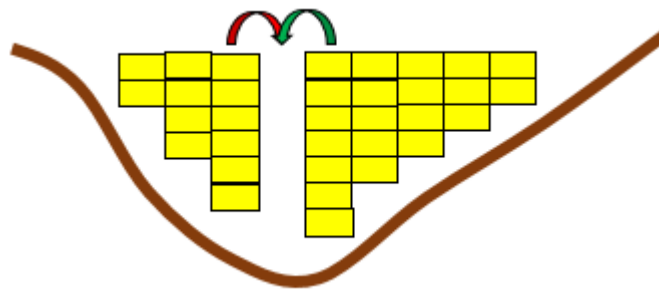


Figura 29.- Interpolación de los datos inválidos

Metodología de medición recomendada:

1. Se realiza la medición con ADCP utilizando el programa provisto por el fabricante, como ser RiverSurveyor Live para ADCPs YSI/SonTek y WinRiver II para ADCPs RDI. Se deben tener en cuenta todos los procedimientos detallados por el USGS para realizar mediciones desde plataformas móviles.
2. Se debe efectuar el postprocesamiento en el campo con QRev.
3. En caso de no haber errores severos, se guarda la medición y se realiza el procesamiento en detalle en gabinete.

La forma en la que se visualiza el programa es mostrada en la Figura 30. Los procedimientos, descritos por botones, siguen un flujo de trabajo lógico de arriba a abajo.

Evaluación temporal del comportamiento hidrodinámico del Rio Santa Cruz y Rio La Leona. Provincia de Santa Cruz

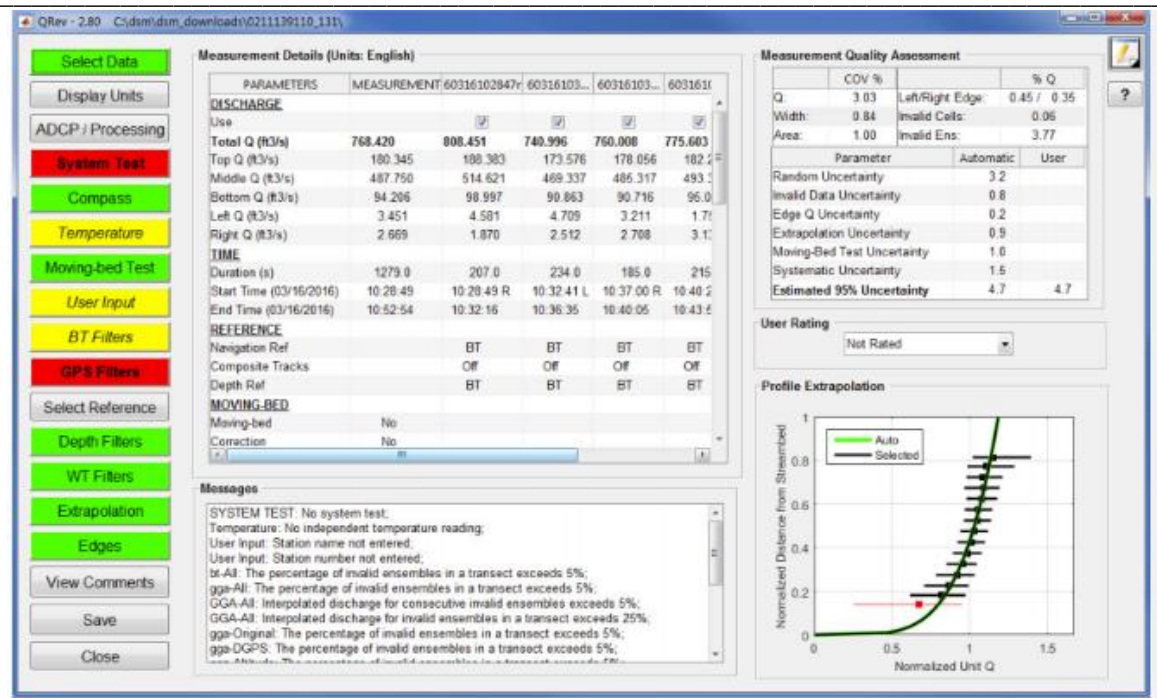


Figura 30.- Interfaz del programa QRev

Los botones ubicados a la izquierda de la ventana se volverán verdes, amarillos o rojos según la calidad automatizada y los criterios de evaluación. Si un botón está amarillo o rojo, aparecerá un mensaje asociado en el cuadro de mensaje en la parte inferior de la ventana principal con la descripción de la advertencia o el error.

En caso de que el color del botón sea rojo, indica que los controles de calidad de los datos identificaron un problema que podría tener un impacto significativo en la medición o viola las normativas de USGS. Si aparece de color amarillo, los controles de calidad de los datos han identificado problemas potenciales, pero probablemente no críticos. El color verde demuestra que los datos medidos pasaron todos los controles de calidad. De no aparecer ningún color en algún botón, significa que no se realizan controles de calidad asociados con dicho botón o bien, la medición cargada no tiene datos asociados con ese botón.

A su vez cada botón abre una ventana que proporciona tablas, texto, opciones y gráficos necesarios para evaluar y procesar ese aspecto particular de los datos. A continuación, se darán detalles de cada uno de los botones mencionados.

En el primer botón **“Select Data”** (seleccionar datos) es allí donde se cargarán los archivos, que pueden ser recopilados de los instrumentos SonTek o TRDI. O también se podrán cargar archivos de formato Qrev.

El siguiente, **“Display Units”** (unidades) indica en las unidades que se procesa. Las unidades configuradas por defecto es el sistema ingles. La opción seleccionada se mantendrá grabada cuando QRev se inicie nuevamente. El proceso interno que realiza el código es en unidades del sistema internacional (SI).

Evaluación temporal del comportamiento hidrodinámico del Rio Santa Cruz y Rio La Leona. Provincia de Santa Cruz

“ADCP Processing” (procesamiento) brinda Información del ADCP utilizado durante la medición, que por defecto procesa como Qrev y con los filtros por defecto. Pudiendo seleccionar procesar como SonTek o como RDI.

“System Test” (prueba de sistema) permite detectar fallas en las conexiones realizadas en el equipo.

“Compass” (calibración de la brújula) hace referencia a la brújula. La mayoría de los ADCP contienen una brújula interna y procedimientos para calibrar la brújula. Además, algunos ADCP tienen procedimientos para evaluar la brújula después de una calibración inicial. Se requiere la calibración de la brújula si se utiliza una prueba de lecho móvil en bucle o si la velocidad del barco es referenciada por GGA o VTG.

“Temperature” (temperatura) La precisión de las mediciones de descarga realizadas con un ADCP depende de la velocidad precisa del sonido, que a su vez depende de una temperatura precisa del agua. La política de USGS es tomar una temperatura de agua independiente y comparar con la temperatura del agua informada por el ADCP para cada medición. QRev compara estas temperaturas y si la diferencia de temperatura excede los 2°C se emite una advertencia. QRev también evalúa el cambio en la temperatura del agua medida por ADCP durante la medición. En algunos sitios, la temperatura del agua puede cambiar en este transcurso o espacialmente en la sección transversal. Un error de medición de temperatura de 4°C o una salinidad de 12 ppt resultará en aproximadamente un error de velocidad del 1%.

“Moving Bed Test” (prueba de fondo móvil) La política del USGS requiere que se complete una prueba de fondo móvil para cada medición de caudal realizada desde la embarcación móvil de ADCP. La evaluación de calidad estas pruebas se realiza en los siguientes tres pasos: evaluación detallada de cada prueba de fondo móvil, selección de las pruebas de fondo móvil para ser utilizado, y evaluación general de calidad utilizando la/s prueba/s seleccionada/s. La evaluación detallada evalúa la prueba de lecho móvil real en función de criterios específicos para pruebas de lazo (“Loop Method”) o método estacionario. En función de los resultados de esa evaluación detallada, QRev selecciona las pruebas de fondo móvil usadas y determina si existe un fondo móvil aplicando las correcciones necesarias. El paso de evaluación se completa con los resultados obtenidos por la prueba y proporciona el color y comentarios textuales para el usuario en la ventana principal de QRev.

Una prueba de fondo móvil por método de lazo (“Loop Method”) es considerado invalido cuando la velocidad del flujo es menor a 0,25 m/s, cuando el % BT Invalido es mayor a 20%, o la cantidad de muestras invalidas de BT seguidas sea mayor a 10. La duración de este tipo de medición debe ser mayor a 3 minutos. Una prueba de fondo móvil por método estacionario (“Stationary”) es invalido cuando, la duración de la medición puntual es menor a 300 segundos o cuando el % BT invalido es mayor a 50%.

“User Input” La entrada del usuario para el borrador ADCP y la variación magnética se evalúa para determinar si es razonable y consistente. Además, QRev verifica que el nombre y el número de la estación hayan sido ingresados. Si el nombre y el número de la estación se ingresan en WinRiver II, QRev leerá y usará esos valores. La salida de Matlab de SonTek no proporciona un nombre y número de estación, por lo tanto, para los ADCP de SonTek, el usuario debe ingresar el nombre y el número de la estación manualmente en QRev.

Evaluación temporal del comportamiento hidrodinámico del Rio Santa Cruz y Rio La Leona. Provincia de Santa Cruz

“**BT Filters**” (filtros de seguimiento de fondo) QRev incluye los mismos filtros utilizados por WinRiver II: soluciones de tres haces, error de velocidad, y velocidad vertical. QRev determina automáticamente los umbrales apropiados y aplica los filtros a los datos recopilados ya sea por TRDI o SonTek ADCP. Además, implementa un método de detección de valores atípicos. Será de color rojo este botón, si más del 25% del caudal escurre en muestras con BT invalido o si más del 5% del caudal escurre en muestras interpoladas consecutivamente.

En BT Filters se encuentran los filtros ubicados a la derecha de la pantalla (Figura 31) detallados a continuación.

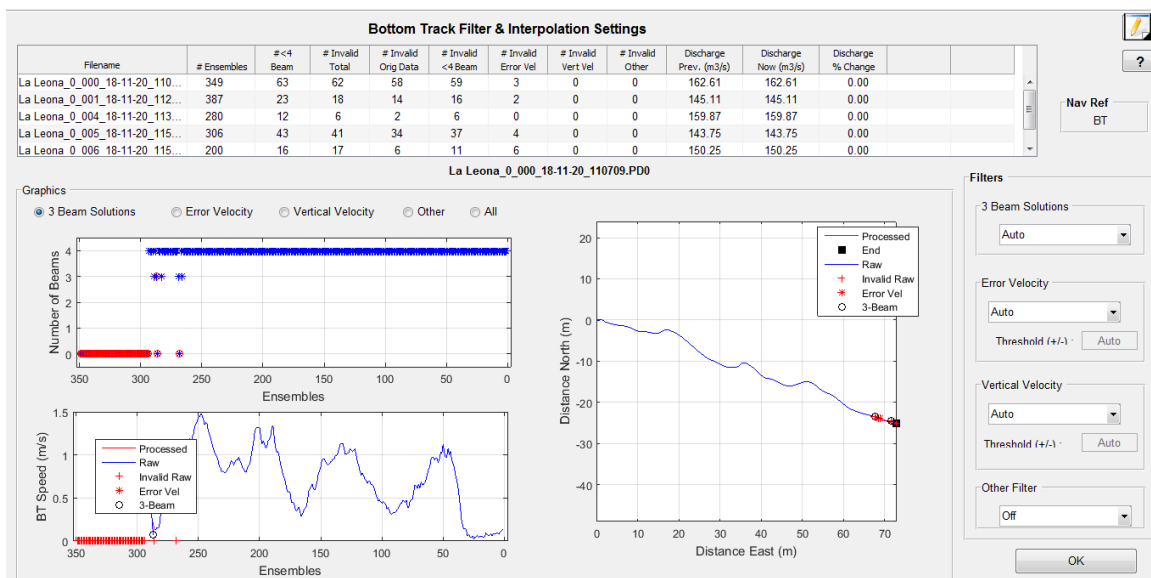


Figura 31.- Visualización del botón "BT Filters" en el programa

- “**GPS Filters**” (filtros GPS) El uso de una posición diferenciada requiere soluciones de posición precisas. Las precisiones de los datos de posición se ven afectados por la corrección diferencial aplicada a los datos, la configuración del satélite y la ruta de la señal del satélite a la antena GPS (multitrayectoria). Este botón, al igual que el anterior, será de color rojo si más del 25% del caudal escurre en muestras con GPS inválidos o si más del 5% del caudal escurre en muestras interpoladas consecutivamente. En la Figura 32 se muestra como se visualiza este botón en detalle teniendo los siguientes filtros:

- Calidad mínima de datos GPS GGA requerida
- Filtro de altitud
- HDOP
- Other filters

Evaluación temporal del comportamiento hidrodinámico del Rio Santa Cruz y Rio La Leona. Provincia de Santa Cruz

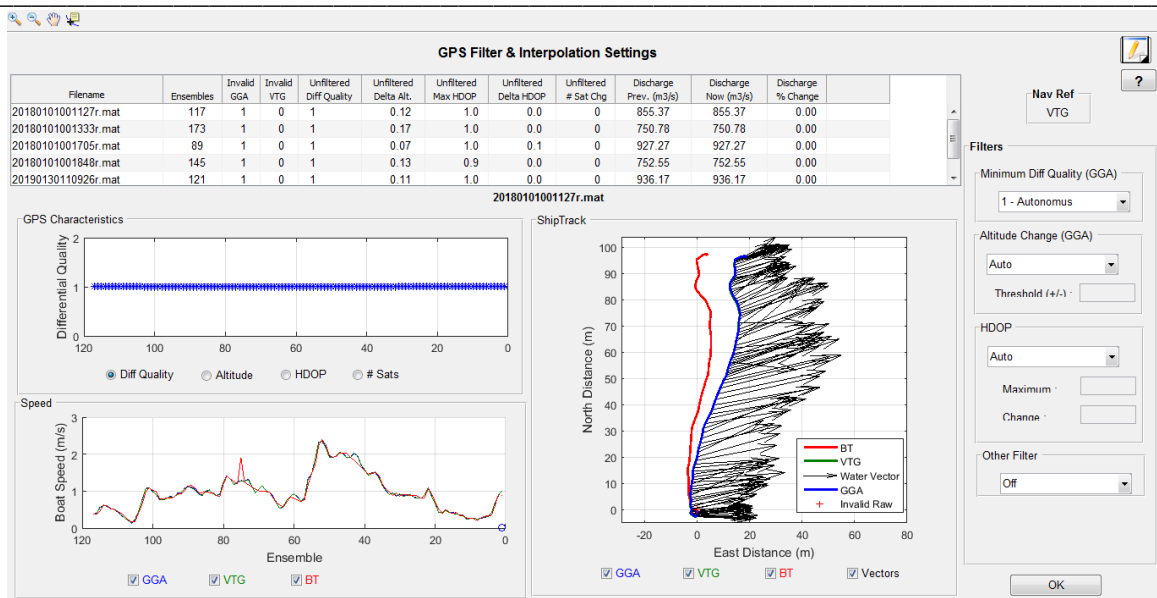


Figura 32.- Visualización del botón " GPS Filters" en el programa

El botón **"Select Reference"** (selección de referencia) indica la selección de referencia según corresponda, BT, GPS o VTG.

"Depth filters" (filtros de profundidad) Este método está diseñado para filtrar profundidades que son demasiado profundas, debido a que el ADCP digitaliza la segunda reflexión en lugar de la primera reflexión. Si se usa indiscriminadamente, este filtro tenderá a sesgar la profundidad a las profundidades menos profundas. Este botón tiene las siguientes opciones.

- Depth Reference:
 - Comp 4-Beam Preferred: Usa el promedio de los 4 sensores, en caso de no estar disponible, utiliza otro sistema para determinar la profundidad.
 - 4-Beam Avg: solo usa el promedio de los 4 sensores, si no está disponible interpola el dato faltante.
 - Vertical: utiliza solo el ecosonda, interpola el dato faltante en el caso de no estar disponible.
 - Comp Vertical Preferred: Utiliza el ecosonda, si no está disponible utiliza otro sistema para determinar la profundidad.
- Filter:
 - Smooth: Utiliza un filtro paso bajo para filtrar picos. Esta opción puede tener problemas con grandes espacios vacíos.
 - TRDI: Filtra cualquier muestra en donde la profundidad de un sensor sea mayor a 1,75 veces la profundidad de los otros sensores.

"WT Filter" (filtros de velocidad del agua) QRev incluye los mismos filtros de Water Track utilizados por WinRiver II: soluciones de tres haces, error de velocidad y velocidad vertical y, además, un filtro de relación señal/ruido (SNR). Las soluciones de tres haces, error de velocidad y los filtros de velocidad vertical se aplican a la velocidad del agua en celdas de profundidad individuales. La explicación es análoga a la expresada en "BT Filters". El filtro SNR solo se aplica a los datos de

Evaluación temporal del comportamiento hidrodinámico del Rio Santa Cruz y Rio La Leona. Provincia de Santa Cruz

SonTek. Si hay más de 12 decibeles entre el máximo y mínimo SNR medio de cada sensor, se considera ingreso de aire y se filtra el dato y se aplica a la muestra.

“Extrapolation” (extrapolación) La herramienta de extrapolación incorporada en QRev proporciona al usuario un método correcto y eficiente para determinar visualmente el mejor método de extrapolación que se utiliza para calcular el caudal en las partes de los sectores superior e inferior no medidos. En la Figura 33, se muestran los detalles de este botón.

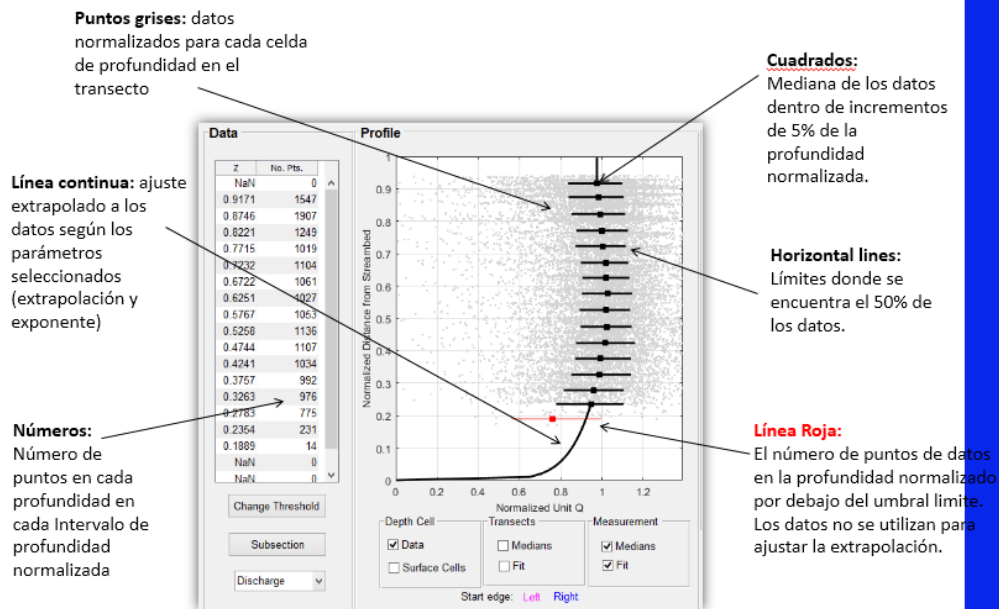


Figura 33.- Detalles en “Extrapolation” (Díaz L.J.M. y García C.M)

“Edge” (márgenes) La descarga no medida en los bordes de la corriente se estima utilizando una relación método de interpolación documentado por Fulford y Sauer (1986), que puede usarse para estimar una velocidad en una ubicación no medida entre la orilla del río y la primera o la última velocidad medida en una sección transversal. El signo del caudal en la margen debe ser consistente. Se debe registrar adecuadamente el tipo de margen (pendiente o rectangular) y este debe ser consistente. El caudal en la margen debe ser menor al 5% y mayor a cero.

CAPÍTULO III – RESULTADOS DE LA CUANTIFICACION Y CARACTERIZACION DEL FLUJO



*Evaluación temporal del comportamiento
hidrodinámico del Rio Santa Cruz y Rio
La Leona. Provincia de Santa Cruz*

CAPÍTULO III – RESULTADOS DE LA CUANTIFICACION Y CARACTERIZACION DEL FLUJO

3.1 Introducción

En este capítulo, se presentan los resultados de todas las campañas de medición de caudal líquido, de las seis secciones, exponiendo aquellos resultados de los informes correspondientes a cada campaña, y aquellos procesados por el programa computacional QRev. Se muestran los recorridos del ADCP realizados en cada campaña en los ríos estudiados. Además, se presenta la variación del caudal en función de cada campaña, como también un análisis del COV en función del caudal.

3.2 Ubicación de las mediciones realizadas en cada sección.

Como se mencionó en el capítulo anterior, se estudiaron catorce campañas de medición de caudal líquido (de un total de diecisiete hasta marzo 2020) realizadas en seis secciones diferentes sobre los ríos La Leona y Santa Cruz. Gracias a un geoposicionador satelital (GPS) se logró obtener el recorrido del ADCP sobre la plataforma móvil que lo transporta a través de la sección sobre la que se realizó la medición, el cual se encuentra instalado en dicha plataforma, obteniendo su posición durante la medición con una precisión muy aceptable.

En las tres primeras secciones “Leona Norte”, “Leona Sur” y “Charles Fuhr” se utilizaron plataformas comandadas por medio de un cable o una soga desde puentes. Las tres secciones siguientes, sobre el río Santa Cruz, “Cóndor Cliff”, “La Barrancosa” y “Puente Viejo” fueron realizadas desde embarcaciones en movimiento comandadas por personal a bordo.

En la Figura 34, se muestran los colores utilizados para señalar el recorrido de cada campaña. En las Figura 35, Figura 36, Figura 37, Figura 38, Figura 39 y Figura 40 se pueden apreciar los recorridos de aquellas campañas en las que se utilizó GPS. Esta información fue procesada con el programa “Global Mapper” para luego poder visualizar los recorridos en “Google Earth”.

- Campaña 1 - Octubre 2018
- Campaña 2 - Noviembre 2018
- Campaña 3 - Diciembre 2018
- Campaña 4 - Enero 2019
- Campaña 5 - Febrero 2019
- Campaña 6 - Marzo 2019
- Campaña 7 - Abril 2019
- Campaña 8 - Mayo 2019
- Campaña 9 - Junio 2019
- Campaña 10 - Julio 2019
- Campaña 11 - Agosto 2019

Figura 34.- Referencia de colores por campaña.

Evaluación temporal del comportamiento hidrodinámico del Rio Santa Cruz y Rio La Leona. Provincia de Santa Cruz



Figura 35.- Recorrido del ADCP, sección Leona Norte. a) Vista alejada. b) Zoom de la sección

En la Leona Norte las mediciones se realizaron desde el puente de la Ruta Nacional N°40. Como puede observarse en la Figura 35 para caudales bajos (entre julio y febrero) las transectas se realizaron próximas al puente. En cambio, para caudales altos, entre marzo y mayo las transectas se realizaron aproximadamente 40 metros aguas abajo del puente.

Evaluación temporal del comportamiento hidrodinámico del Río Santa Cruz y Río La Leona. Provincia de Santa Cruz



Figura 36.- Recorrido del ADCP, sección Leona Sur. a) Vista alejada. b) Zoom de la sección

En La Leona Sur por las condiciones de profundidad y por seguridad en la mayoría de las campañas se utilizó el ADCP Río Grande sin GPS, por lo que en la Figura 36 sólo se ven las transectas realizadas con el SonTek S5, próximas al puente de la Ruta Nacional N°40. Se puede apreciar en la figura a) que la sección de medición es aguas abajo de una curva pronunciada, de aproximadamente 90°.

Evaluación temporal del comportamiento hidrodinámico del Río Santa Cruz y Río La Leona. Provincia de Santa Cruz



Figura 37.- Recorrido del ADCP, sección Charles Fuhr. a) Vista alejada. b) Zoom de la sección

En Charles Fuhr, como en La Leona Sur, se utilizó la mayoría de las veces el ADCP Río Grande, ya que las profundidades aún en condiciones bajas eran mayores a 5 metros. En la Figura 37 a) se puede ver que la sección de medición se encuentra aguas arriba de una curva pronunciada, de casi 270°.

Evaluación temporal del comportamiento hidrodinámico del Río Santa Cruz y Río La Leona. Provincia de Santa Cruz

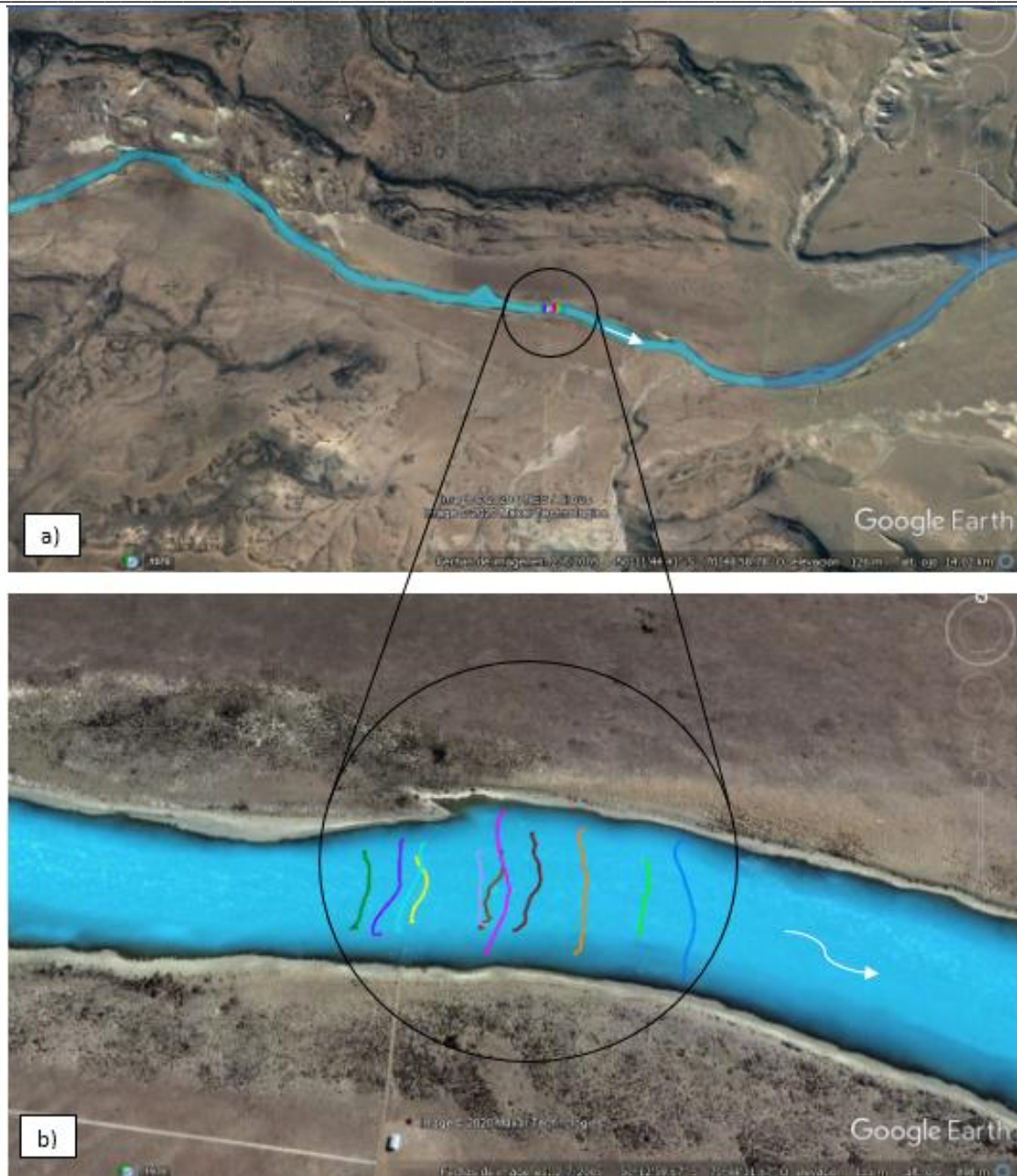


Figura 38.- Recorrido del ADCP, sección Cóndor Cliff. a) Vista alejada. b) Zoom de la sección

En Cóndor Cliff como las mediciones de caudal líquido se realizaron desde una embarcación resultó difícil realizar las transectas exactamente en la misma ubicación a lo largo de las distintas campañas. Por esta razón, se puede ver en la Figura 38 que las secciones de medición están a lo largo de 300 metros de este tramo del río.

Evaluación temporal del comportamiento hidrodinámico del Rio Santa Cruz y Rio La Leona. Provincia de Santa Cruz



Figura 39.- Recorrido del ADCP, sección La Barrancosa. a) Vista alejada. b) Zoom de la sección

En La Barrancosa también se realizaron las mediciones desde una embarcación, pero se logró medir en la misma zona. En la campaña 3 (diciembre 2018) se decidió medir aguas abajo para evitar la influencia de la construcción de un puente cerca de la sección relevada normalmente.

Evaluación temporal del comportamiento hidrodinámico del Rio Santa Cruz y Rio La Leona. Provincia de Santa Cruz

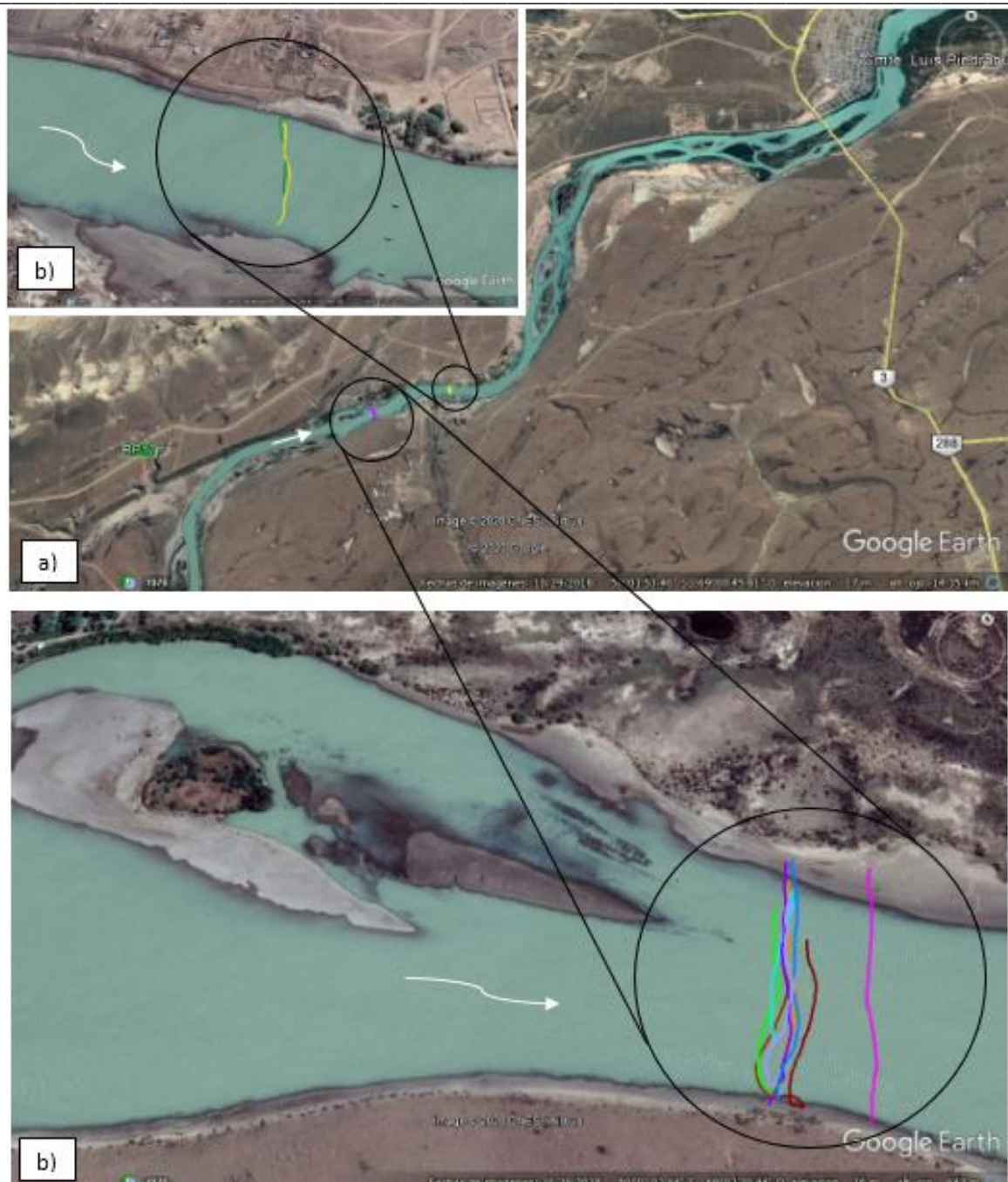


Figura 40.- Recorrido del ADCP, sección Puente Viejo. a) Vista alejada. b) Zoom de la sección

En la sección Puente Viejo las mediciones se realizaron en general 1,4 Km aguas arriba de las pilas del viejo puente, excepto en las campañas 2 y 3 (noviembre y diciembre 2018) que por razones de seguridad se realizaron próximas a la zona de desembarco.

Evaluación temporal del comportamiento hidrodinámico del Rio Santa Cruz y Rio La Leona. Provincia de Santa Cruz

3.3 Resultados de caudales líquidos.

A continuación, se exponen los resultados obtenidos de las catorce campañas para las seis secciones de medición correspondiente a lo reportado en los informes y a aquellos procesados nuevamente con el programa computacional QRev.

Con los resultados obtenidos, luego de reprocesar los datos de las mediciones con el programa QRev, más los datos proporcionados por los respectivos informes, se realizaron gráficos comparativos de caudales y gráficos del cambio del COV en función del caudal líquido.

3.3.1 Resultados procesamientos de los informes.

Se muestra en la Tabla 2, Tabla 3, Tabla 4, Tabla 5, Tabla 6 y Tabla 7 los caudales, el desvío, el instrumento de medición utilizada y la referencia del movimiento correspondiente cada campaña, reportado en los informes, para cada estación de medición.

Tabla 2.- Procesamiento de los informes, sección Leona Norte.

Campaña	Instrumento	Referencia	Q Informe [m ³ /s]	Desvío [m ³ /s]
01	Rio Grande	BOTTOM TRACK	116,09	6,30
02	SonTek	BOTTOM TRACK	147,03	1,20
03	Rio Grande	BOTTOM TRACK	256,40	12,90
04	SonTek	GPS VTG	407,60	4,60
05	SonTek	GPS VTG	553,25	2,19
06	Rio Grande	BOTTOM TRACK	523,42	15,10
07	SonTek	GPS VTG	527,77	15,70
08	SonTek	GPS VTG	388,20	15,80
09	SonTek	GPS VTG	254,70	10,49
10	SonTek	BOTTOM TRACK	163,84	3,70
11	SonTek	BOTTOM TRACK	138,85	2,30
12	SonTek	BOTTOM TRACK	99,75	4,70
13	SonTek	GPS VTG	110,77	3,09
14	SonTek	GPS VTG	158,32	7,70

Tabla 3.- Procesamiento de los informes, sección Leona Sur.

Campaña	Instrumento	Referencia	Q Informe [m ³ /s]	Desvío [m ³ /s]
01	Rio Grande	BOTTOM TRACK	134,90	13,20
02	Rio Grande	BOTTOM TRACK	155,30	10,50
03	Rio Grande	BOTTOM TRACK	232,60	19,10
04	Rio Grande	BOTTOM TRACK	437,10	29,30
05	Río Grande	BOTTOM TRACK	577,63	39,33
06	Río Grande	BOTTOM TRACK	473,22	40,27
07	SonTek	GPS VTG	459,92	27,40
08	Río Grande	BOTTOM TRACK	328,40	34,40

Evaluación temporal del comportamiento hidrodinámico del Río Santa Cruz y Río La Leona. Provincia de Santa Cruz

09	Río Grande	BOTTOM TRACK	226,30	39,60
10	Río Grande	BOTTOM TRACK	159,92	19,20
11	SonTek	GPS VTG	102,26	14,93
12	SonTek	GPS VTG	94,76	5,80
13	Río Grande	BOTTOM TRACK	113,74	4,49
14	Río Grande	BOTTOM TRACK	152,08	8,39

Tabla 4.- Procesamiento de los informes, sección Charles Fuhr.

Campaña	Instrumento	Referencia	Q Informe [m ³ /s]	Desvío [m ³ /s]
01	.			
02	Río Grande	BOTTOM TRACK	465,60	27,00
03	Río Grande	BOTTOM TRACK	628,50	54,70
04	Río Grande	BOTTOM TRACK	834,68	3,90
05	Río Grande	BOTTOM TRACK	1125,92	53,71
06	Río Grande	BOTTOM TRACK	1174,54	57,40
07	SonTek	GPS VTG	1228,17	112,87
08	Río Grande	BOTTOM TRACK	1046,90	67,40
09	Río Grande	BOTTOM TRACK	807,10	48,43
10	Río Grande	BOTTOM TRACK	622,32	105,98
11	SonTek	GPS VTG	397,68	28,20
12	SonTek	GPS VTG	332,52	53,30
13	Río Grande	BOTTOM TRACK	282,90	48,00
14	Río Grande	BOTTOM TRACK	457,83	78,20

Tabla 5.- Procesamiento de los informes, sección Cóndor Cliff.

Campaña	Instrumento	Referencia	Q Informe [m ³ /s]	Desvío [m ³ /s]
01	.			
02	SonTek	BOTTOM TRACK	495,10	15,80
03	SonTek	BOTTOM TRACK	675,10	36,30
04	SonTek	GPS VTG	826,66	110,30
05	SonTek	GPS VTG	1156,71	102,83
06	Río Grande	BOTTOM TRACK	1239,60	17,97
07	Río Grande	BOTTOM TRACK	1374,24	34,50
08	SonTek	GPS VTG	970,40	26,21
09	SonTek	GPS VTG	723,20	28,20
10	SonTek	BOTTOM TRACK	516,89	25,43
11	SonTek	BOTTOM TRACK	392,10	25,43

Evaluación temporal del comportamiento hidrodinámico del Rio Santa Cruz y Rio La Leona. Provincia de Santa Cruz

12	SonTek	BOTTOM TRACK	281,26	6,90
13	SonTek	BOTTOM TRACK	316,47	22,50
14	SonTek	BOTTOM TRACK	469,80	6,39

Tabla 6.- Procesamiento de los informes, sección La Barrancosa.

Campaña	Instrumento	Referencia	Q Informe [m ³ /s]	Desvío [m ³ /s]
01				
02	SonTek	BOTTOM TRACK	469,90	8,70
03	SonTek	BOTTOM TRACK	662,00	12,20
04	SonTek	GPS VTG	881,35	30,10
05	SonTek	GPS VTG	1085,01	54,14
06	SonTek	GPS VTG	1086,61	41,20
07	SonTek	GPS VTG	1156,18	77,90
08	SonTek	GPS VTG	983,20	43,10
09	SonTek	GPS VTG	730,00	30,66
10	SonTek	BOTTOM TRACK	511,52	7,11
11	SonTek	BOTTOM TRACK	393,59	4,50
12	SonTek	BOTTOM TRACK	318,98	5,90
13	SonTek	BOTTOM TRACK	316,12	11,50
14	SonTek	BOTTOM TRACK	443,25	4,06

Tabla 7.- Procesamiento de los informes, sección Puente Viejo.

Campaña	Instrumento	Referencia	Q Informe [m ³ /s]	Desvío [m ³ /s]
01				
02	SonTek	GPS VTG	459,90	8,20
03	SonTek	GPS VTG	700,60	16,00
04	SonTek	GPS VTG	930,52	153,30
05	Rio Grande	BOTTOM TRACK	1296,03	10,89
06	Rio Grande	BOTTOM TRACK	1234,78	7,24
07	Rio Grande	BOTTOM TRACK	1338,07	17,10
08	Rio Grande	BOTTOM TRACK	1059,80	12,50
09	SonTek	GPS VTG	675,00	13,50
10	SonTek	BOTTOM TRACK	512,61	14,61
11	SonTek	BOTTOM TRACK	392,65	11,46
12	SonTek	BOTTOM TRACK	316,98	11,30
13	SonTek	BOTTOM TRACK	323,89	2,91
14	SonTek	BOTTOM TRACK	446,47	15,12

Evaluación temporal del comportamiento hidrodinámico del Rio Santa Cruz y Rio La Leona. Provincia de Santa Cruz

3.3.2. Resultados procesamiento posterior.

Luna vez recopilados los datos de los informes se reprocesaron las mediciones realizadas de las 14 campañas mediante el programa QRev, obteniendo los resultados de caudal líquido y coeficiente de variación (Cov) que se muestran en las siguientes tablas (Tabla 8, Tabla 9, Tabla 10, Tabla 11, Tabla 12y Tabla 13).

Tabla 8.- Procesamientos con QRev, sección Leona Norte.

Campaña	Q [m ³ /s]	Cov %
01	116	5,38
02	145	0,93
03	256	5,02
04	405	0,95
05	569	2,16
06	523	2,88
07	527	2,98
08	392	4,63
09	252	3,84
10	162	4,87
11	138	1,68
12	98	4,9
13	112	2,54
14	158	4,87

Tabla 9.- Procesamientos con QRev, sección Leona Sur.

Campaña	Q [m ³ /s]	Cov %
01	135	8,83
02	155	6,36
03	233	8,2
04	437	6,71
05	578	6,81
06	473	8,51
07	461	7,45
08	328	10,46
09	226	17,54
10	160	12
11	99	16,02
12	94	5,82
13	114	3,95
14	152	5,52

Campaña	Q [m ³ /s]	Cov %
01		
02	466	5,8
03	629	8,7
04	835	0,47
05	1.124	4,44
06	1.175	4,89
07	1.228	9,18
08	1.053	10,17
09	807	6,04
10	622	17,03
11	416	4,15
12	333	16,04
13	283	16,95
14	459	17,08

Tabla 10.- Procesamientos con QRev, sección Charles Fuhr.

Campaña	Q [m ³ /s]	Cov %
01		
02	495	3,12
03		
04	816	13,01
05	1.158	8,48
06	1.240	1,45
07	1.374	2,51
08	963	2,37
09	722	4,23
10	517	4,92
11	392	0,82
12	281	2,45
13	316,47	0,71
14	470	1,36

Tabla 11.- Procesamientos con QRev, sección Cóndor Cliff.

Evaluación temporal del comportamiento hidrodinámico del Río Santa Cruz y Río La Leona. Provincia de Santa Cruz

Tabla 12.- Procesamientos con QRev, sección La Barrancosa.

Campaña	Q [m ³ /s]	Cov %
01		
02	470	1,68
03	662	1,84
04	881	3,42
05	1.085	5,24
06	1.087	3,79
07	1.171	3,44
08	998	4,34
09	742	4,25
10	512	1,39
11	400	1,2
12	319	1,86
13	320	3,69
14	443	0,92

Tabla 13.- Procesamientos con QRev, sección Puente Viejo.

Campaña	Q [m ³ /s]	Cov %
01		
02	460	1,79
03	701	2,28
04	931	16,47
05	1.296	0,84
06	1.235	0,59
07	1.337	1,32
08	1.060	1,18
09	675	2,02
10	513	2,85
11	392	3,19
12	317	3,57
13	325	1,04
14	446	3,39

Podemos percibir en los siguientes gráficos (Figura 41, Figura 42, Figura 43, Figura 44, Figura 45 y Figura 46) la variación del caudal en relación con las campañas realizadas para cada estación de medición.

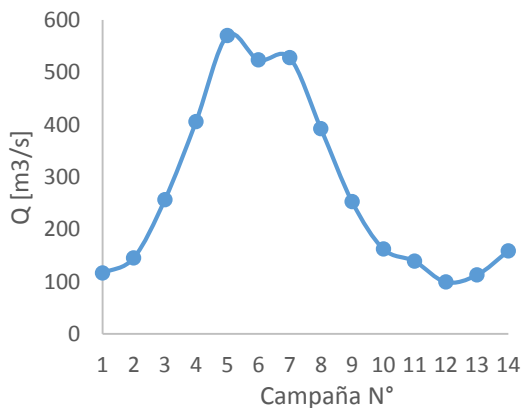


Figura 41.- Variación del caudal por campaña, sección Leona Norte.

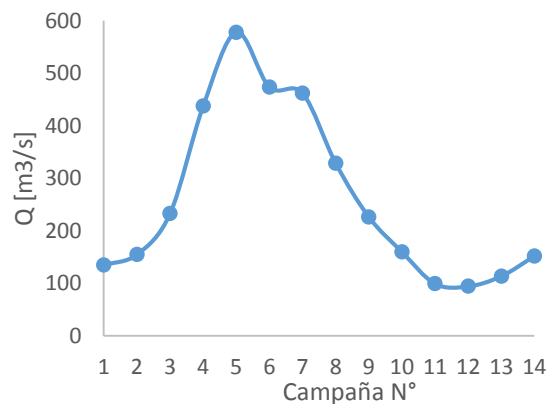


Figura 42.- Variación del caudal por campaña, sección Leona Sur.

Evaluación temporal del comportamiento hidrodinámico del Rio Santa Cruz y Rio La Leona. Provincia de Santa Cruz

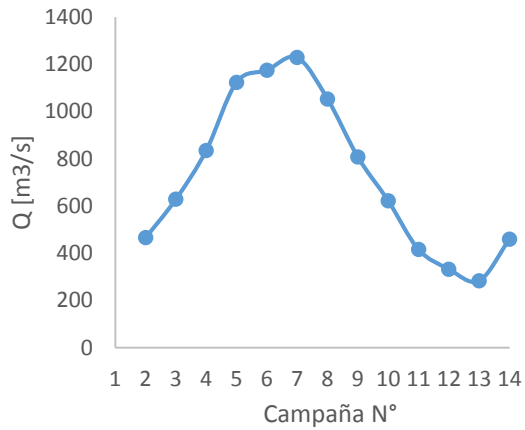


Figura 43.- Variación del caudal por campaña, sección Charles Fuhr.

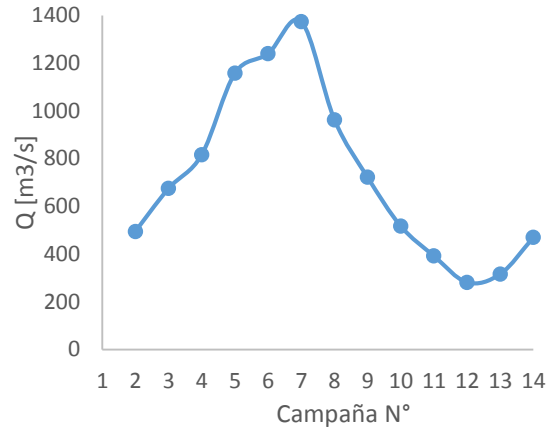


Figura 44.- Variación del caudal por campaña, sección Cónдор Cliff.

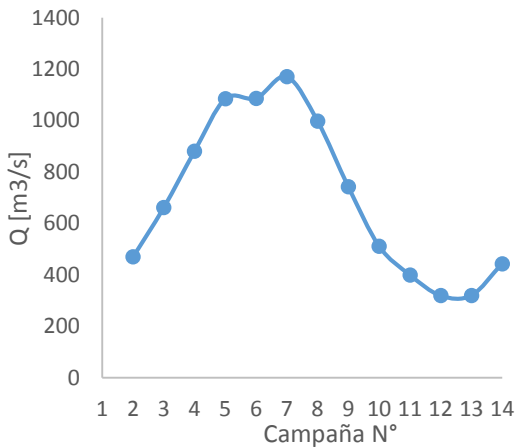


Figura 45.- Variación del caudal por campaña, sección La Barrancosa.

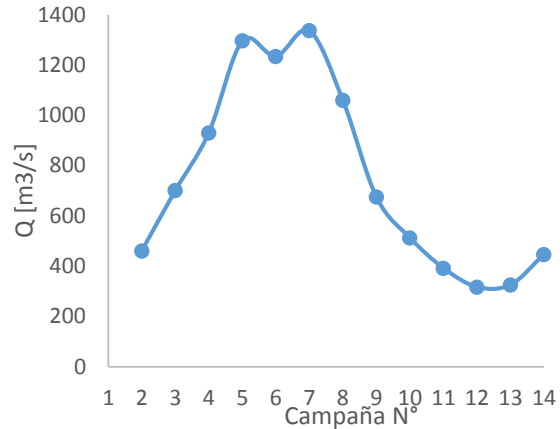


Figura 46.- Variación del caudal por campaña, sección Puente Viejo.

Como se mencionó en el capítulo precedente, la primera campaña corresponde al mes de octubre 2018. Se realizaron aforos mensuales hasta la campaña 14 la que se llevó a cabo en el mes de noviembre de 2019. A continuación se muestra en la Figura 47, los caudales líquidos medidos en las 14 campañas mencionadas, en un mismo gráfico.

Evaluación temporal del comportamiento hidrodinámico del Río Santa Cruz y Río La Leona. Provincia de Santa Cruz

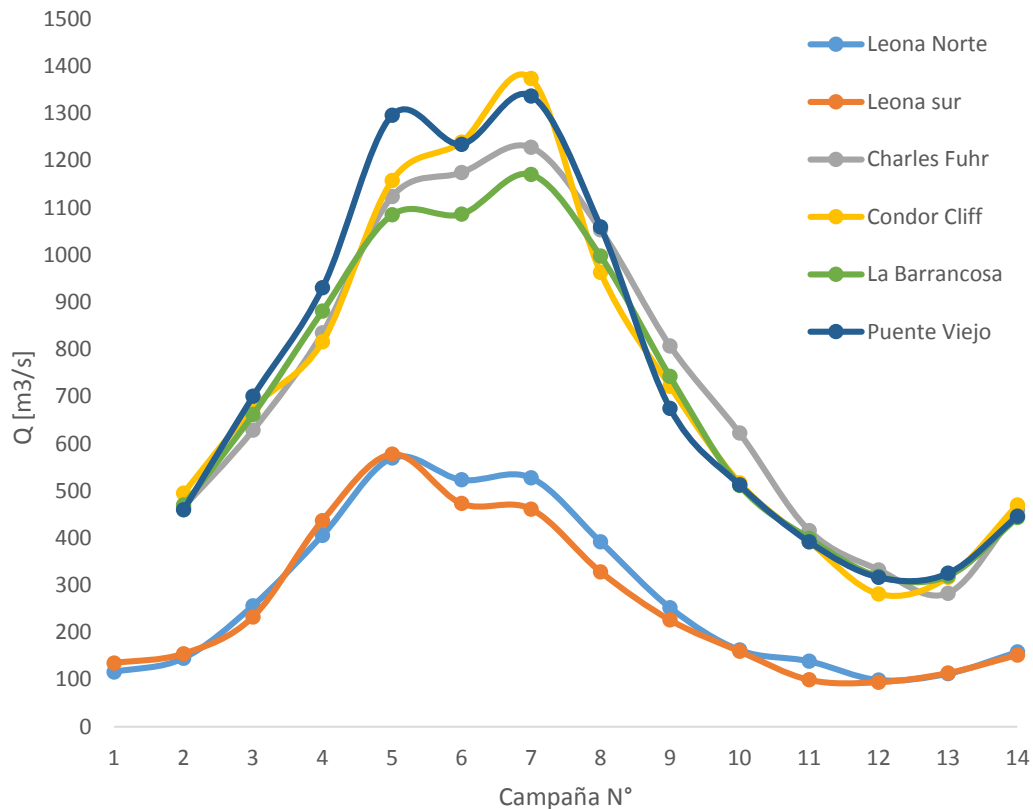


Figura 47.- Comparación de caudales líquidos medidos en todas las secciones.

En la Figura 47 se observa que las campañas con menores caudales corresponden a la 12 y la 13, cuyos meses de medición fueron en septiembre y octubre respectivamente. Durante el verano el caudal asciende por el deshielo del glaciar, alcanzando sus valores máximos entre las campañas 5 a 7 correspondiente a los meses febrero a abril.

En términos generales el río Santa Cruz tiene tres veces más caudal que el Río La Leona. El río La Leona tiene un caudal medio de $268 \text{ m}^3/\text{seg}$, con máximos $578 \text{ m}^3/\text{seg}$ alcanzando hasta $800/900 \text{ m}^3/\text{seg}$ según datos históricos y mínimos durante el invierno con hasta menos de $100 \text{ m}^3/\text{seg}$. El río Santa Cruz tiene un caudal medio de 700 a $800 \text{ m}^3/\text{seg}$ con un máximo de $1375 \text{ m}^3/\text{seg}$ alcanzando hasta algo más de $2000 \text{ m}^3/\text{seg}$ según datos históricos. El mínimo se obtuvo en invierno con un caudal entre $200\text{-}300 \text{ m}^3/\text{seg}$.

3.3.3 Diferencia entre caudales de los Informes y los procesados con QRev.

En primer lugar, se muestra en la la diferencia entre los caudales reportados en los informes con los caudales reprocesados con el programa QRev. El objetivo del nuevo procesamiento fue que lo realizara una misma persona a todas las campañas, de manera que se con un criterio uniforme. En el caso de los informes el procesamiento fue realizado por diferentes personas con sus correspondientes criterios. Luego se comparó mediante gráficos dichos caudales para obtener una mejor visualización.

Evaluación temporal del comportamiento hidrodinámico del Rio Santa Cruz y Rio La Leona. Provincia de Santa Cruz

En la Tabla 14, se muestra la diferencia porcentual entre el caudal reportado en los informes y el reprocesado, para las seis secciones de estudio. En las Figura 49, Figura 48, Figura 50, Figura 51, Figura 52 y Figura 53, se puede ver gráficamente esta comparación.

Tabla 14.- Diferencia porcentual entre caudales de Informes y procesados con QRev.

Campaña	Leona Norte	Leona Sur	Charles Fuhr	Cóndor Cliff	La Barrancosa	Puente Viejo
01	0,0%	0,1%				
02	-1,3%	-0,3%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
03	0,0%	0,0%	0,0%		0,0%	0,0%
04	-0,5%	0,0%	0,0%	-1,3%	0,0%	0,0%
05	2,9%	0,8%	-0,2%	0,1%	0,0%	0,0%
06	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
07	0,0%	0,3%	0,0%	0,0%	1,2%	-0,1%
08	1,0%	0,0%	0,0%	-0,7%	1,4%	0,0%
09	-0,9%	0,0%	0,0%	-0,2%	1,7%	0,0%
10	-0,9%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
11	0,0%	-2,9%	4,4%	0,0%	1,5%	-0,1%
12	-0,8%	-0,4%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
13	1,5%	0,0%	0,0%	0,0%	1,1%	0,5%
14	0,0%	0,0%	0,2%	0,0%	0,0%	0,0%

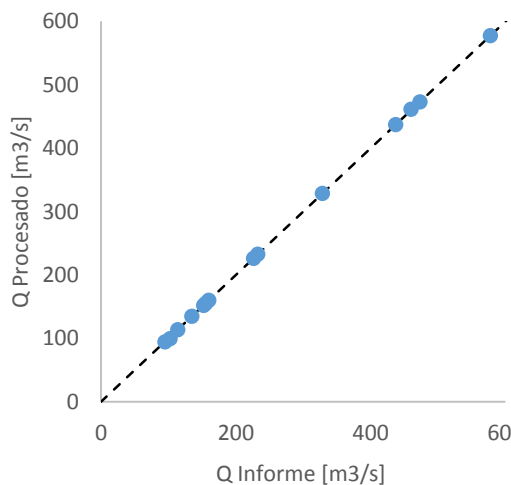


Figura 48.- Comparación caudales informe y caudales reprocesados con QRev, sección Leona Sur

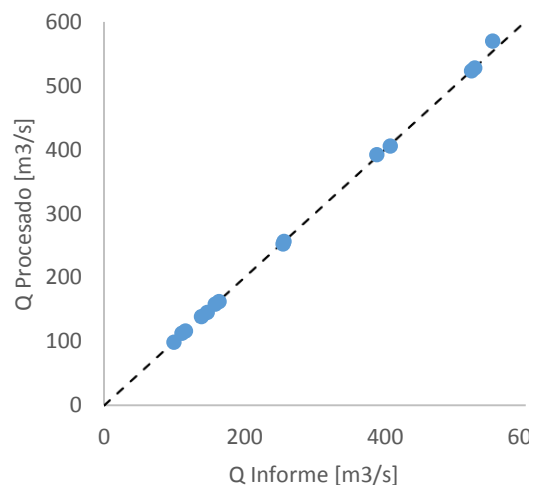


Figura 49.- Comparación caudales informe y caudales reprocesados con QRev, sección Leona Norte

Evaluación temporal del comportamiento hidrodinámico del Río Santa Cruz y Río La Leona. Provincia de Santa Cruz

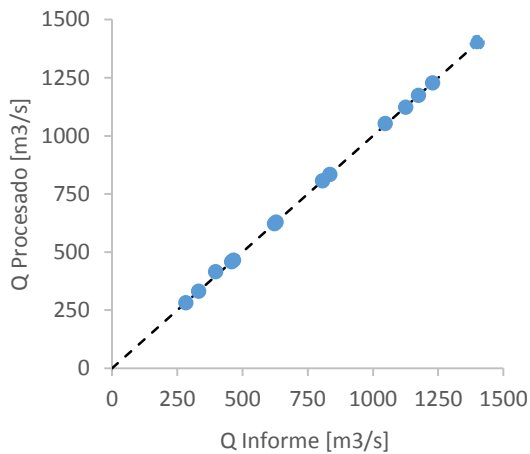


Figura 50.- Comparación caudales informe y caudales reprocesados con QRev, sección Charles Fuhr.

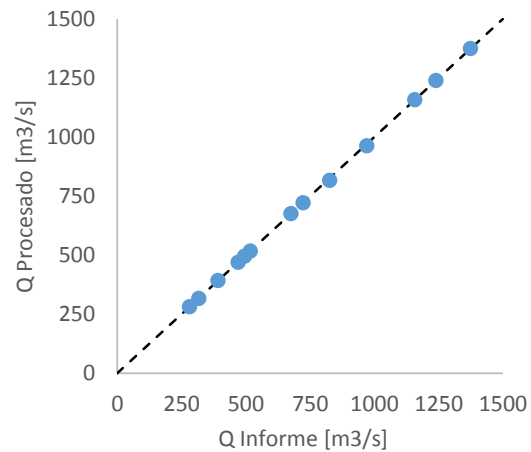


Figura 51.- Comparación caudales informe y caudales reprocesados con QRev, sección Cándor Cliff.

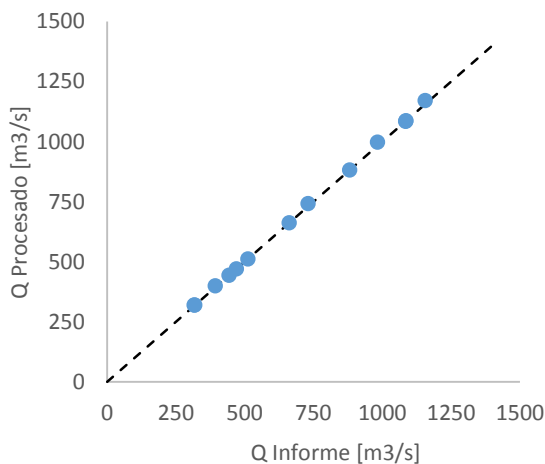


Figura 52.- Comparación caudales informe y caudales reprocesados con QRev, sección La Barrancosa.

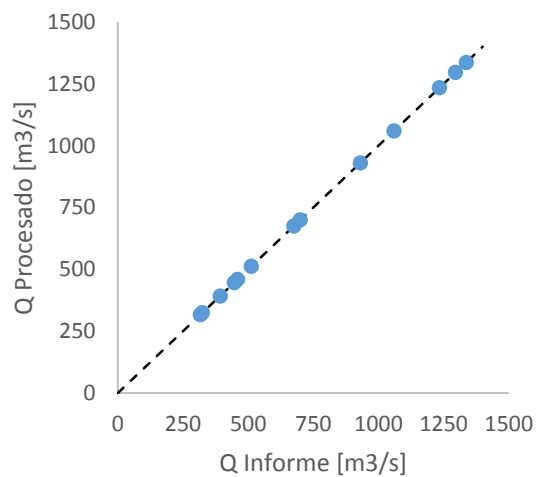


Figura 53.- Comparación caudales informe y caudales reprocesados con QRev, sección Puente Viejo.

Lo que se puede observar es, que los caudales que se obtuvieron mediante QRev, en todas las estaciones, se aproximan considerablemente a aquellos caudales brindados por los informes. Ya que todos los puntos se encuentran muy próximos a la línea de 45°.

Las mayores diferencias que se notaron fueron en la campaña 11 con un 2,9% y un 4,4% de diferencia en las estaciones “Leona Sur” y “Charles Fuhr” respectivamente y en la campaña 5 en la estación “Leona Norte” con una diferencia de 2,9%. En los tres casos se utilizó el ADCP YSI/SonTek

Evaluación temporal del comportamiento hidrodinámico del Río Santa Cruz y Río La Leona. Provincia de Santa Cruz

S5 con referencia del movimiento del instrumento al sistema GPS-VTG. Luego, se aprecian diferencias que son menores al 2% para todas las estaciones medidas, entre las más relevantes encontramos cinco campañas (C7, C8, C9, C11 y C13) de la estación “La Barrancosa” con diferencias entre 1,1% y 1,7%, donde se utilizó en todos los casos, el ADCP YSI/SonTek S5, tres de ellos (C7, C8 y C9) con referencia del movimiento del instrumento al sistema GPS-VTG y dos (C11 y C13), con referencia del movimiento del instrumento al sistema Bottom Track. En la estación “Leona Norte” encontramos las campañas C2 y C13 con diferencias de 1,3% y 1,5% respectivamente y en la estación “Cóndor Cliff” la campaña C4 con una diferencia de 1,3%. se utilizó el ADCP YSI/SonTek S5 en todas las mediciones mencionadas.

Las diferencias percibidas en las demás estaciones son despreciables, siendo todas menores al 1%, dando resultados muy satisfactorios.

3.4 Resultados de principales parámetros hidráulicos

3.4.1 Curvas H-Q

Para la construcción de las curvas H-Q se utilizaron los aforos de caudal líquido realizados en las 14 campañas. Se realizaron ajustes estadísticos de esos valores del siguiente tipo:

$$Q = \alpha(H - H_{Q0})^\beta$$

Donde α es una constante de calibración, H es el nivel o altura de la superficie libre respecto a un nivel de referencia y H_{Q0} es un parámetro que se obtiene del ajuste y representa el comportamiento hidráulico. El parámetro H_{Q0} es hipotético y no puede ser medido in situ en cursos fluviales (donde la batimetría del lecho es irregular) (Díaz Lozada, 2014), pero si puede ser relevado en estructuras de control como vertederos. El parámetro β se obtiene por calibración.

También se puede observar en la curva H-Q, un rango dentro del cual se espera encontrar el valor de la medición con rango de certeza del 90% con respecto a la curva H-Q. Y, por otro lado se muestra un intervalo de confianza de cada medición que nos permiten aproximar, entre qué rango de valores se encuentra el valor real de la medición con un nivel de confianza del 95%.

En el caso de La Leona Norte y Charles Fuhr se verificaron las curvas H-Q realizadas en el trabajo de Ferreira (2019) con los nuevos aforos.

- Río La Leona

En este río se toma la lectura en la escala de la Red Hidrometeorológica Nacional de la Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación (Figura 54). Se encuentra próxima a la sección de medición en La Leona Norte y sus coordenadas son Lat. 49°47'49.90"S y Long. 72°03'50.50"O.



Figura 54.- Escalas de la Red Hidrometeorológica Nacional en La Leona Norte, campaña 2.

La curva H-Q para el río La Leona es:

$$Q = 91,62 (H + 0,37)^{1,71}$$

La misma fue validada con las primeras cinco campañas. En este trabajo se verificó con las restantes campañas, resultando la Figura 55, donde se puede ver que todos los valores medidos con ADCP ajustan a la curva propuesta.

Evaluación temporal del comportamiento hidrodinámico del Río Santa Cruz y Río La Leona. Provincia de Santa Cruz

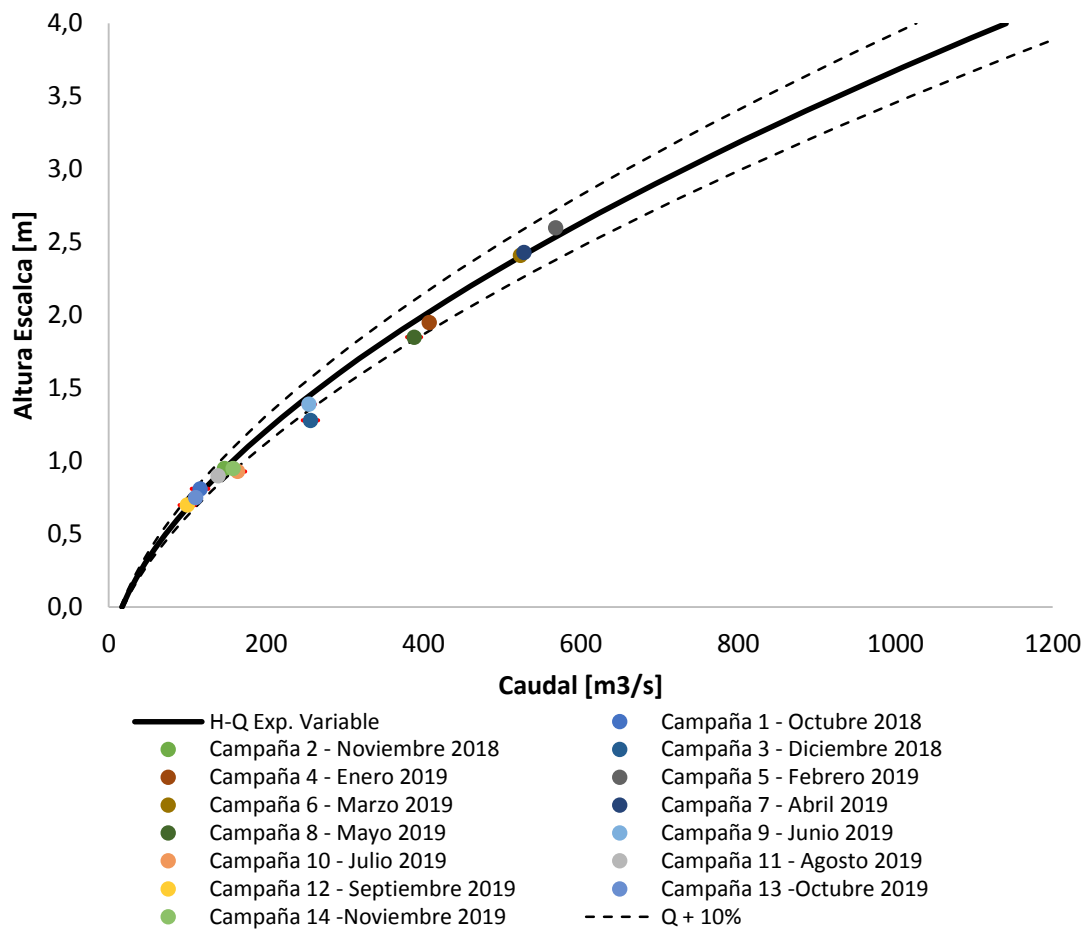


Figura 55.- Valores de alturas de superficie libre y caudales observados en el río La Leona y la relación H-Q propuesta.

- Río Santa Cruz

En la sección Charles Fuhr se toma la lectura en la escala de la Red Hidrometeorológica Nacional de la Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación (Figura 56), ubicada en Lat. 50°15'07.60"S y Long. 71°54'28.10"O.

La curva H-Q para el río La Leona es:

$$Q = 7,48 (H + 3,23)^{2,6}$$

La misma fue validada con las primeras cinco campañas. En este trabajo se verificó con las restantes campañas, resultando la Figura 57, donde se puede ver que todos los valores medidos con ADCP ajustan a la curva propuesta.

Evaluación temporal del comportamiento hidrodinámico del Río Santa Cruz y Río La Leona. Provincia de Santa Cruz



Figura 56.- Escalas de la Red Hidrometeorológica Nacional en el río Santa Cruz, sección Charles Fuhr, campaña 6.

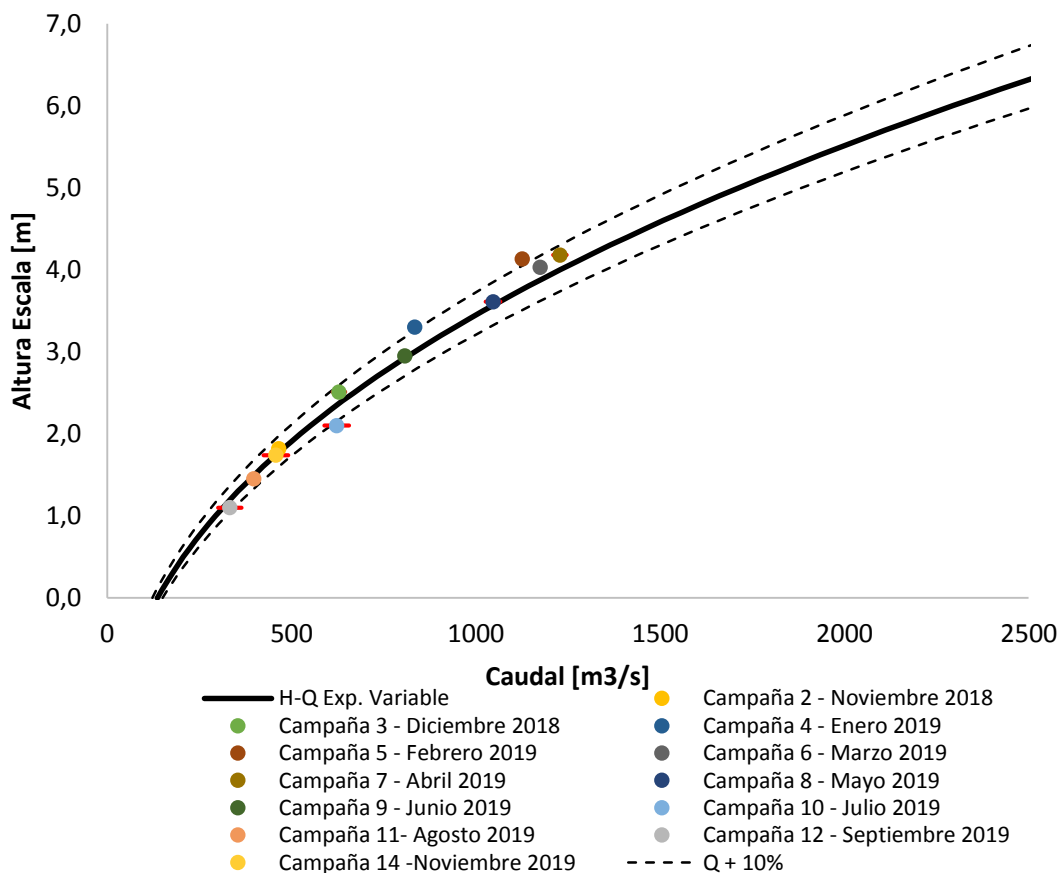


Figura 57.- Valores de alturas de superficie libre y caudales observados en el río Santa Cruz, sección Charles Fuhr y la relación H-Q propuesta.

Evaluación temporal del comportamiento hidrodinámico del Río Santa Cruz y Río La Leona. Provincia de Santa Cruz

En la sección Cónдор Cliff se tomó lectura en la escala de obra ubicada en Lat. 50°13'2.70"S y Long. 70°44'36.98"O (Figura 58). En las campañas faltantes se tomó lectura en una escala diferente.

La curva H-Q, que se muestra en la Figura 59, para el río Santa Cruz en esta sección es:

$$Q = 6,03 (H + 3,5)^{2,9}$$



Figura 58.- Escalas de obra en el río Santa Cruz, sección Cónдор Cliff.

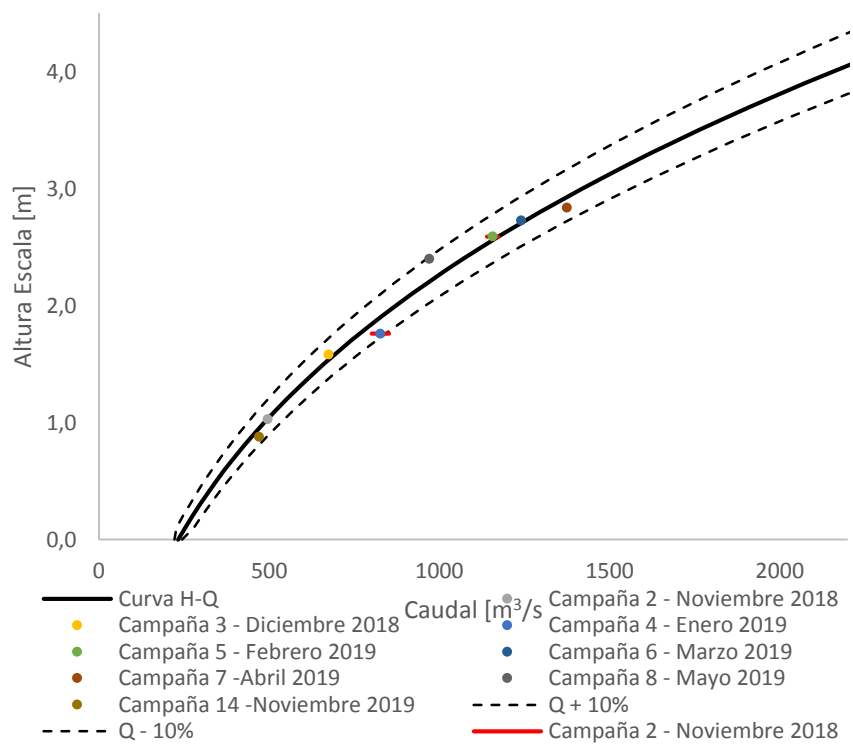


Figura 59.- Valores de alturas de superficie libre y caudales observados en el río Santa Cruz, sección Cónдор Cliff y la relación H-Q propuesta.

Evaluación temporal del comportamiento hidrodinámico del Río Santa Cruz y Río La Leona. Provincia de Santa Cruz

En la sección La Barrancosa se tomó lectura en la escala de obra ubicada en Lat. 50°11'48.52"S y Long. 70°07'04.76"O (Figura 61). En las campañas faltantes se tomó lectura en una escala diferente ubicada sobre la margen izquierda, de la cual no se tienen suficientes datos.

La curva H-Q para el río Santa Cruz en esta sección, que se muestra en la Figura 61, es:

$$Q = 319,52 (H + 0,49)^{1,35}$$



Figura 60.- Escalas de obra en el río Santa Cruz, sección La Barrancosa.

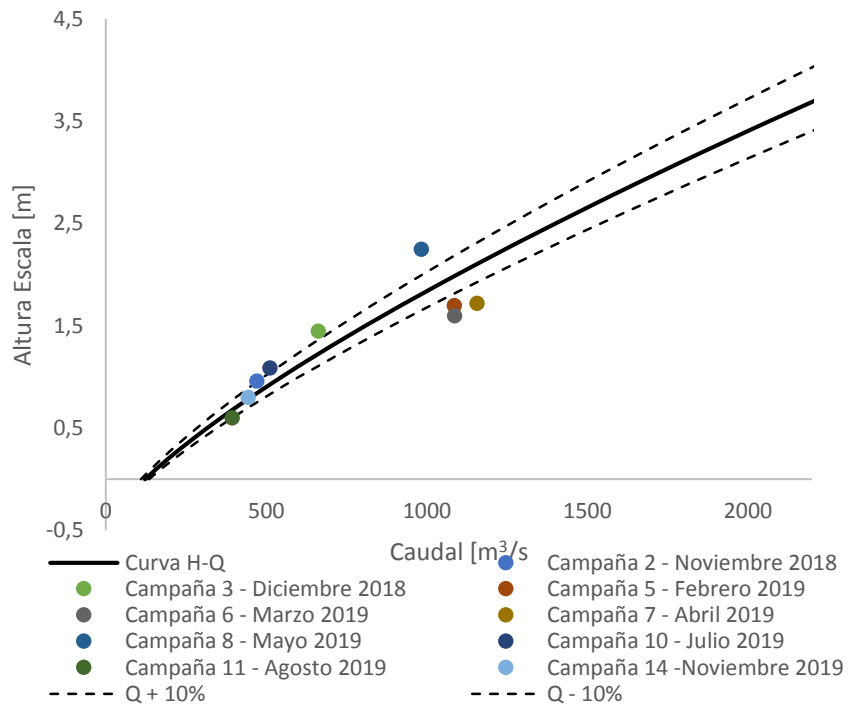


Figura 61.- Valores de alturas de superficie libre y caudales observados en el río Santa Cruz, sección La Barrancosa y la relación H-Q propuesta.

Evaluación temporal del comportamiento hidrodinámico del Río Santa Cruz y Río La Leona. Provincia de Santa Cruz

En la sección Puente Viejo se tomó la altura del pelo libre respecto a la cota superior del estribo del puente viejo ubicado sobre margen izquierda, Lat. 50°02'46.46"S y Long. 69°01'29.16"O (Figura 62). La curva H-Q para el río Santa Cruz en esta sección, que se muestra en Figura 63 es:

$$Q = 25,71 (H + 5,58)^{2,77}$$



Figura 62.- Referencia de altura tomada en el río Santa Cruz, sección Puente Viejo.

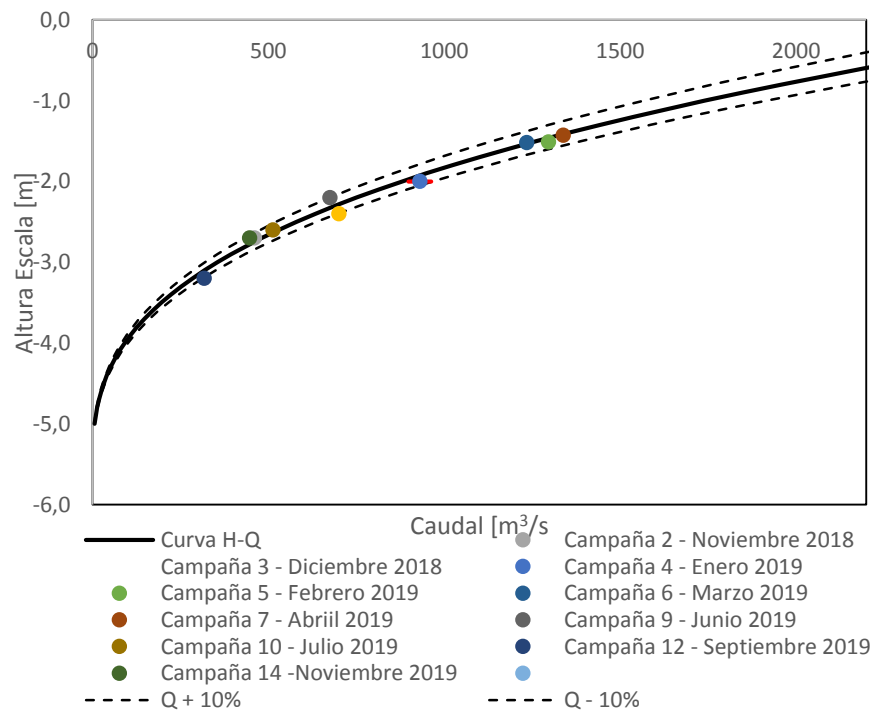


Figura 63.- Valores de alturas de superficie libre y caudales observados en el río Santa Cruz, sección Puente Viejo y la relación H-Q propuesta.

Evaluación temporal del comportamiento hidrodinámico del Río Santa Cruz y Río La Leona. Provincia de Santa Cruz

3.4.2 Matriz resumen de las mediciones

A partir del análisis realizado con QRev se construyeron matrices de calidad de las mediciones. Para ello se listaron las mediciones de las catorce campañas según la sección y cada ítem se pintó del color proporcionado por el programa, según la calidad automatizada y los criterios de evaluación. Se obtuvo una herramienta sencilla que permite analizar rápidamente la calidad de la medición, a través de una mejor visualización.

Se obtuvieron los resultados mostrados en las siguientes figuras (Figura 64, Figura 65, Figura 66, Figura 67, Figura 68, Figura 69). Indicando que cuando el color está en rojo, los controles de calidad de los datos identificaron un problema que podría tener un impacto significativo en la medición o viola las normativas de USGS. Amarillo, los controles de calidad de los datos han identificado problemas potenciales, pero probablemente no críticos. Y, el color verde demuestra que los datos medidos pasaron todos los controles de calidad. Aquellos casilleros demarcados en gris, es porque no se tienen datos en dicha variable o no se realizó la medición. También se indica con (*) las campañas realizadas con el instrumento Son Tek S5 y con (**) aquellas realizadas con Teledyne RD Río Grande.

Campaña	Fecha	Datos	Temp.	Seguim. Fondo	GPS	Prof.	Veloc. Agua	Extrap.	Márgenes
01 (**)	Oct 2018	Yellow	Yellow	Red	Red	Green	Green	Green	Yellow
02 (*)	Nov 2018	Green	Yellow	Red	Grey	Green	Green	Green	Green
03 (**)	Dic 2018	Green	Yellow	Green	Grey	Green	Green	Green	Yellow
04 (*)	Ene 2019	Green	Yellow	Red	Green	Green	Green	Green	Yellow
05 (*)	Feb 2019	Red	Green	Red	Green	Yellow	Red	Green	Yellow
06 (**)	Mar 2019	Yellow	Yellow	Yellow	Grey	Green	Green	Green	Yellow
07 (*)	Abr 2019	Green	Yellow	Red	Green	Green	Green	Green	Red
08 (*)	May 2019	Green	Yellow	Yellow	Green	Green	Green	Green	Red
09 (*)	Jun 2019	Green	Yellow	Yellow	Green	Green	Green	Yellow	Green
10 (*)	Jul 2019	Green	Yellow	Green	Green	Green	Green	Green	Yellow
11 (*)	Ago 2019	Green	Yellow	Yellow	Green	Green	Green	Green	Yellow
12 (*)	Sep 2019	Green	Yellow	Yellow	Green	Green	Green	Green	Yellow
13 (*)	Oct 2019	Green	Yellow	Red	Yellow	Green	Green	Green	Yellow
14 (*)	Nov 2019	Green	Red	Red	Yellow	Green	Green	Green	Red

Figura 64.- Matriz calidad de las mediciones, sección Leona Norte

Campaña	Fecha	Datos	Temp.	Seguim. Fondo	GPS	Prof.	Veloc. Agua	Extrap.	Márgenes
01 (**)	Oct 2018	Yellow	Yellow	Green	Red	Green	Green	Green	Yellow
02 (**)	Nov 2018	Green	Yellow	Red	Grey	Green	Green	Green	Red
03 (**)	Dic 2018	Green	Yellow	Green	Grey	Green	Green	Green	Red
04 (**)	Ene 2019	Green	Yellow	Red	Green	Green	Green	Green	Yellow
05 (**)	Feb 2019	Yellow	Green	Yellow	Green	Green	Green	Green	Yellow
06 (**)	Mar 2019	Yellow	Yellow	Green	Green	Green	Green	Green	Yellow

Evaluación temporal del comportamiento hidrodinámico del Rio Santa Cruz y Rio La Leona. Provincia de Santa Cruz

07 (*)	Abr 2019								
08 (**)	May 2019								
09 (**)	Jun 2019								
10 (**)	Jul 2019								
11 (*)	Ago 2019								
12 (*)	Sep 2019								
13 (**)	Oct 2019								
14 (**)	Nov 2019								

Figura 65.- Matriz calidad de las mediciones, sección Leona Sur

Campaña	Fecha	Datos	Temp.	Seguim. Fondo	GPS	Prof.	Veloc. Agua	Extrap.	Márgenes
01									
02 (**)	Nov 2018								
03 (**)	Dic 2018								
04 (**)	Ene 2019								
05 (**)	Feb 2019								
06 (**)	Mar 2019								
07 (*)	Abr 2019								
08 (**)	May 2019								
09 (**)	Jun 2019								
10 (**)	Jul 2019								
11 (*)	Ago 2019								
12 (*)	Sep 2019								
13 (**)	Oct 2019								
14 (**)	Nov 2019								

Figura 66.- Matriz calidad de las mediciones , sección Charles Fuhr

Campaña	Fecha	Datos	Temp.	Seguim. Fondo	GPS	Prof.	Veloc. Agua	Extrap.	Márgenes
01									
02 (*)	Nov 2018								
03 (*)	Dic 2018								
04 (*)	Ene 2019								
05 (*)	Feb 2019								
06 (**)	Mar 2019								
07 (**)	Abr 2019								
08 (*)	May 2019								
09 (*)	Jun 2019								
10 (*)	Jul 2019								
11 (*)	Ago 2019								
12 (*)	Sep 2019								
13 (*)	Oct 2019								
14 (*)	Nov 2019								

Evaluación temporal del comportamiento hidrodinámico del Río Santa Cruz y Río La Leona. Provincia de Santa Cruz

Figura 67.- Matriz calidad de las mediciones, sección Cóndor Cliff

Campaña	Fecha	Datos	Temp.	Seguim. Fondo	GPS	Prof.	Veloc. Agua	Extrap.	Márgenes
01									
02 (*)	Nov 2018	Verde	Amarillo	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Amarillo
03 (*)	Dic 2018	Verde	Rojo	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde
04 (*)	Ene 2019	Verde	Amarillo	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Amarillo
05 (*)	Feb 2019	Verde	Amarillo	Rojo	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde
06 (*)	Mar 2019	Verde	Amarillo	Rojo	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde
07 (*)	Abr 2019	Amarillo	Amarillo	Rojo	Verde	Amarillo	Verde	Verde	Verde
08 (*)	May 2019	Amarillo	Amarillo	Amarillo	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde
09 (*)	Jun 2019	Verde	Amarillo	Rojo	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde
10 (*)	Jul 2019	Verde	Amarillo	Verde	Rojo	Verde	Verde	Verde	Amarillo
11 (*)	Ago 2019	Verde	Rojo	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Amarillo
12 (*)	Sep 2019	Verde	Amarillo	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde
13 (*)	Oct 2019	Verde	Rojo	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde
14 (*)	Nov 2019	Amarillo	Amarillo	Rojo	Verde	Verde	Verde	Verde	Amarillo

Figura 68.- Matriz calidad de las mediciones, sección La Barrancosa

Campaña	Fecha	Datos	Temp.	Seguim. Fondo	GPS	Prof.	Veloc. Agua	Extrap.	Márgenes
01									
02 (*)	Nov 2018	Verde	Amarillo	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Amarillo
03 (*)	Dic 2018	Verde	Rojo	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde
04 (*)	Ene 2019	Verde	Amarillo	Rojo	Verde	Verde	Verde	Verde	Amarillo
05 (**)	Feb 2019	Verde	Amarillo	Verde	Rojo	Verde	Verde	Verde	Verde
06 (**)	Mar 2019	Verde	Amarillo	Verde	Rojo	Verde	Verde	Verde	Verde
07 (**)	Abr 2019	Verde	Amarillo	Verde	Rojo	Verde	Verde	Verde	Amarillo
08 (**)	May 2019	Amarillo	Amarillo	Verde	Rojo	Verde	Verde	Verde	Amarillo
09 (*)	Jun 2019	Verde	Amarillo	Rojo	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde
10 (*)	Jul 2019	Verde	Rojo	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Amarillo
11 (*)	Ago 2019	Amarillo	Rojo	Verde	Verde	Verde	Verde	Amarillo	Amarillo
12 (*)	Sep 2019	Verde	Amarillo	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde
13 (*)	Oct 2019	Verde	Rojo	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Amarillo
14 (*)	Nov 2019	Verde	Amarillo	Verde	Verde	Rojo	Verde	Verde	Amarillo

Figura 69.- Matriz calidad de las mediciones, sección Puente Viejo

Lo que podemos observar gráficamente es que los ítems Datos, GPS, Profundidad, Velocidad del agua, y Extrapolación son en general de color verde. En cambio, Temperatura, Seguimiento de Fondo (Bottom Track) y Márgenes presentan numerosos casilleros en color amarillo o rojo.

Evaluación temporal del comportamiento hidrodinámico del Río Santa Cruz y Río La Leona. Provincia de Santa Cruz

Analizando según la sección de medición las que presentan mayor cantidad de casilleros en color rojo son La Leona Norte, La Leona Sur y Charles Fuhr.

Analizando la variable “Temperatura” se puede ver que presenta advertencias en la mayoría de las mediciones siendo esto, porque excede los 2 grados de diferencia entre el inicio y el fin de la medición o no hay una lectura independiente de la misma.

La variable “Márgenes”, también muestra advertencias, en color amarillo y rojo, en la mayoría de las mediciones, esto puede deberse a movimientos excesivos del instrumento en alguna de las márgenes o que los signos de caudal no sean consistentes en dicho lugar.

Por otro lado, en la variable “BT Filters” también se pueden apreciar varios casilleros en rojo, presentando inconvenientes. Esto puede deberse a que más del 25% del caudal escurre en muestras con BT invalido o más del 5% del caudal escurre en muestras interpoladas consecutivamente. Que el seguimiento de fondo sea inválido no sería un problema cuando se tiene GPS.

Si analizamos según la campaña, se puede apreciar que la más crítica es la 11 de “Leona Sur” (agosto 2019), coincidiendo que es una de las que mayores diferencias tuvo en la comparación de los caudales, como así también, presenta un porcentaje de COV alto, analizado en el siguiente apartado. Se puede observar también que, en la Estación “Leona Sur” es la que más inconveniente tuvo en las márgenes respecto a las demás estaciones indicando cinco campañas en rojo.

La estación “Charles Fuhr”, es aquella que se muestra más crítica en Profundidad (Depth Filters). Lo que se puede apreciar es que tan solo dos mediciones en dicha estación se realizaron con en ADCP SonTek S5 y con referencia del sistema GPS-VTG, coincidiendo que dos de las tres que obtuvieron problemas, fueron justamente estas mediciones. Esto se debe a la profundidad en la sección (del orden de 10 metros) excedía el límite de aplicación de dicho instrumento (mide hasta 5 metros velocidad, el resto lo extrapola). Esta misma estación es la que muestra mayores inconvenientes en extrapolación esto se debe a que la incertidumbre en la extrapolación es mayor del 2 por ciento.

3.4.3 Coeficiente de variación (COV) en función de caudales

El coeficiente de variación (COV) expresa la desviación estándar como porcentaje de la media aritmética, mostrando una interpretación relativa del grado de variabilidad. A mayor valor del coeficiente de variación mayor heterogeneidad de los valores de la variable y a menor COV, mayor homogeneidad en los valores de la variable.

En este apartado, se muestra los valores de COV [%] obtenidos en el procesamiento de las mediciones (Tabla 15). Seguidamente se analiza este COV [%] en función del caudal [m³/s] para cada una de las secciones de monitoreo, como se puede ver en las siguientes figuras: Figura 70, Figura 71, Figura 72, Figura 73, Figura 74 y Figura 75.

Evaluación temporal del comportamiento hidrodinámico del Rio Santa Cruz y Rio La Leona. Provincia de Santa Cruz

Tabla 15.- Valores de COV de las campañas realizadas

Campaña	Leona Norte	Leona Sur	Cherles Fuhr	Condor Cliff	La Barrancosa	Puente Viejo
01	5,38	8,83				
02	0,93	6,36	5,8	3,12	1,68	1,79
03	5,02	8,2	8,7		1,84	2,28
04	0,95	6,71	0,47	13,01	3,42	16,47
05	2,16	5,38	4,44	8,48	5,24	0,84
06	2,88	8,51	4,89	1,45	3,79	0,59
07	2,98	7,45	9,18	2,51	3,44	1,32
08	4,63	10,46	10,17	2,37	4,34	1,18
09	3,84	17,54	6,04	4,23	4,25	2,02
10	4,87	12	17,03	4,92	1,39	2,85
11	1,68	16,02	4,15	0,82	1,2	3,19
12	4,9	5,82	16,04	2,45	1,86	3,57
13	2,54	3,95	16,95	0,71	3,69	1,04
14	4,87	5,52	17,08	1,36	0,92	3,39

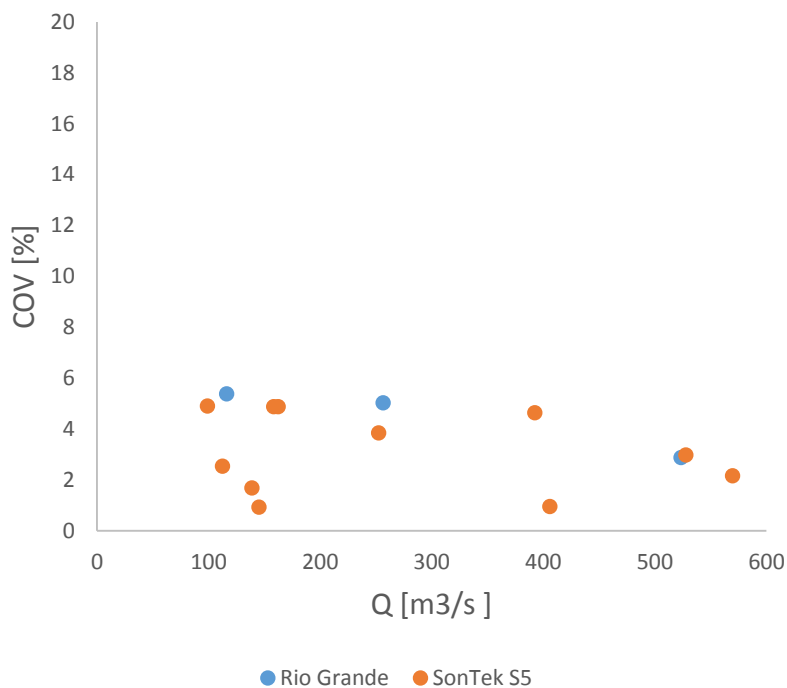


Figura 70.- Coeficiente de variación (Cov) en función del caudal, sección Leona Norte

Evaluación temporal del comportamiento hidrodinámico del Río Santa Cruz y Río La Leona. Provincia de Santa Cruz

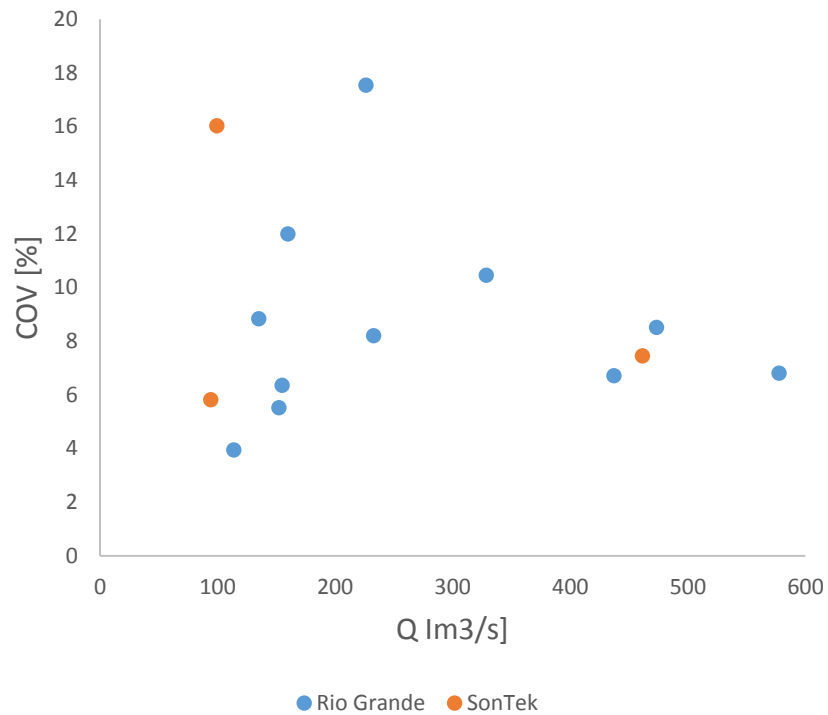


Figura 71.- Coeficiente de variación (Cov) en función del caudal, sección Leona Sur.

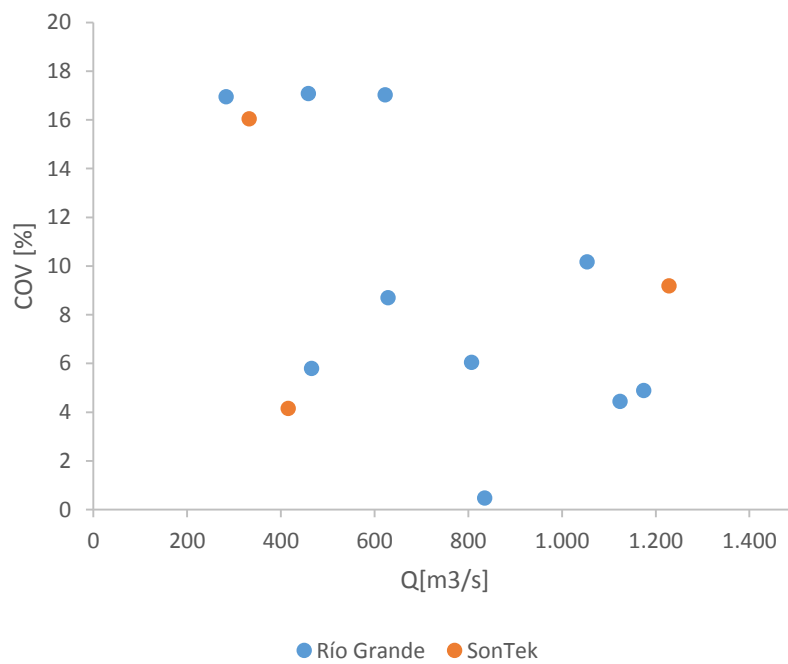


Figura 72.- Coeficiente de variación (Cov) en función del caudal, sección Charles Fuhr.

Evaluación temporal del comportamiento hidrodinámico del Río Santa Cruz y Río La Leona. Provincia de Santa Cruz

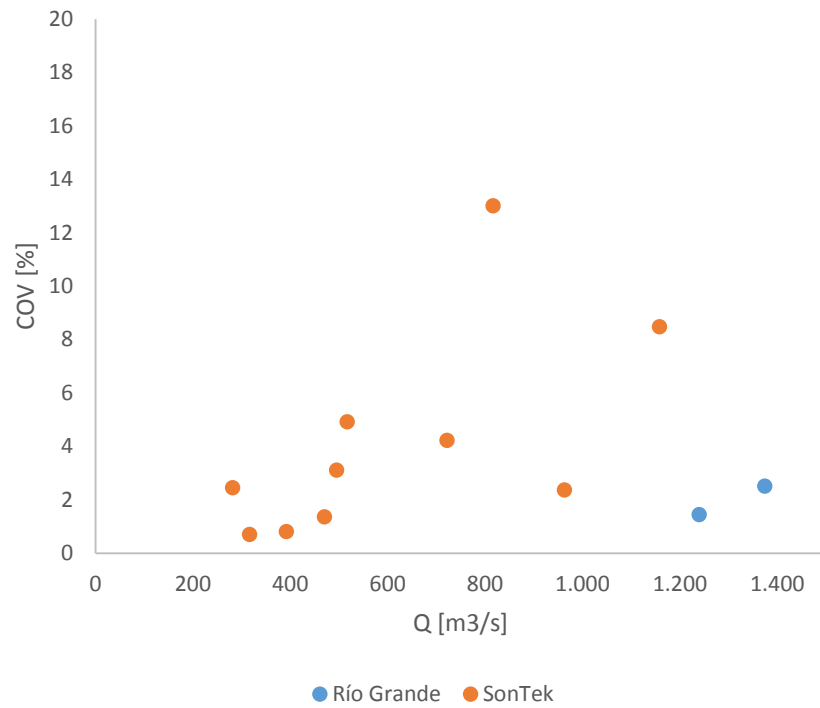


Figura 73.- Coeficiente de variación (Cov) en función del caudal, sección Cónдор Cliff.

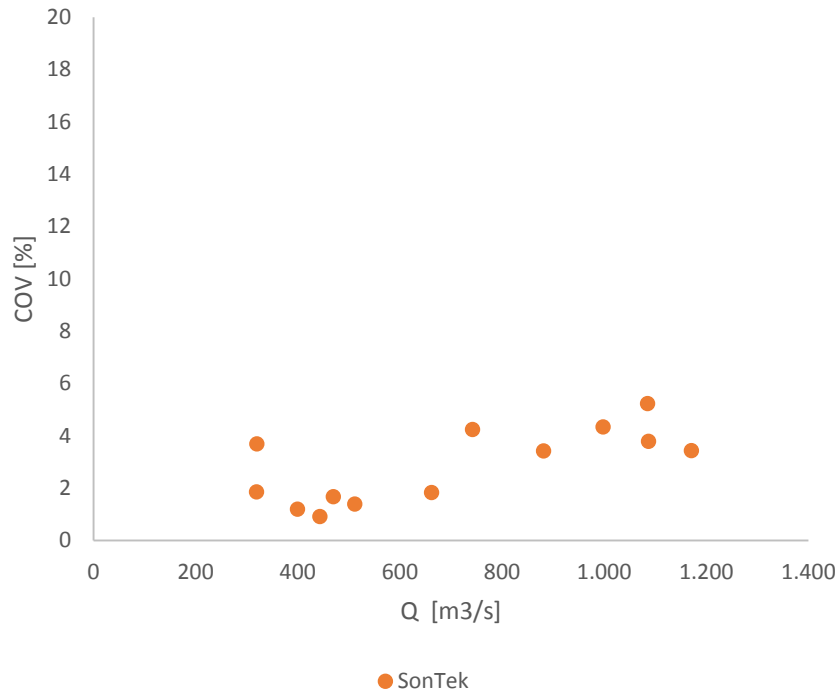


Figura 74.- Coeficiente de variación (Cov) en función del caudal, sección La Barrancosa.

Evaluación temporal del comportamiento hidrodinámico del Rio Santa Cruz y Rio La Leona. Provincia de Santa Cruz

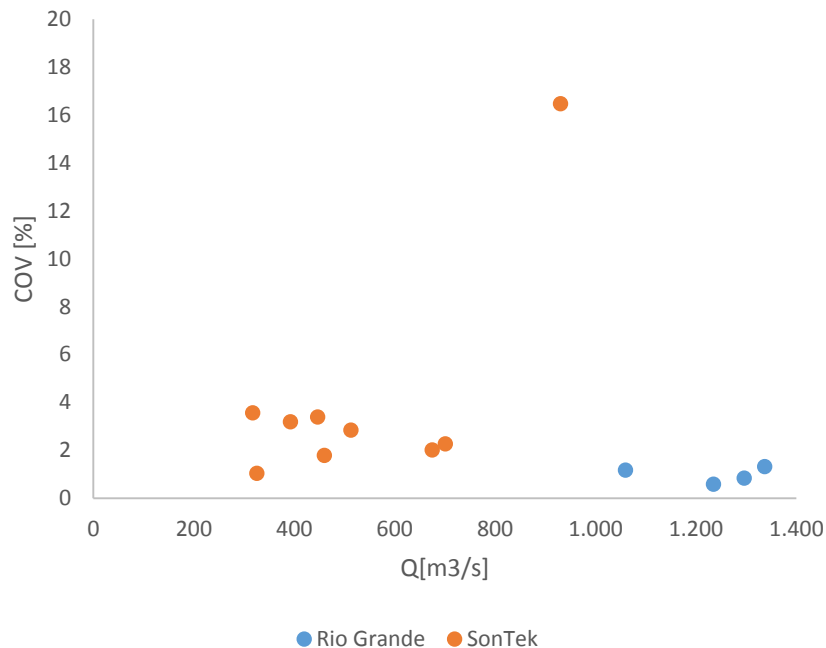


Figura 75.- Coeficiente de variación (Cov) en función del caudal, sección Puente Viejo.

En los gráficos precedentes podemos ver que aquellas estaciones que presentan mayor porcentaje de COV son “Leona Sur” y “Charles Fuhr” con valores cercanos a 20%. Esto puede deberse a la geometría curva característica de dichas secciones: en La Leona Sur la sección de medición es aguas abajo de una curva, mientras que en Charles Fuhr aguas arriba. Esto puede estar generando oscilaciones en la sección, que afectan de manera considerable la incertidumbre en la medición de caudales, ya que los caudales medidos en una transecta son diferentes a los medidos en las otras. En ambas estaciones los porcentajes más altos de COV se presentan en aquellas campañas donde los caudales son más bajos. En “La Leona Sur” para caudales menores a 400 m³/s, y en “Charles Fuhr” para caudales menores a 650 m³/s. Aun así para caudales superiores a los indicados el COV sigue siendo alto, del orden del 10%.

En las estaciones “Leona Norte” y “La Barrancosa” para todos los caudales el COV es menor al 5,5% y no se aprecia relación significativa del COV respecto a los caudales. En las restantes estaciones, “Cóndor Cliff” y “Puente Viejo” ocurre algo similar obteniendo valores del COV bajos, menores al 5,5% para la mayoría de los caudales, con excepción a la campaña 4 (enero 2019) donde se obtuvieron valores superiores de 13% en ambas estaciones y en la campaña 5 (febrero 2019) en “Cóndor Cliff” supera el valor de 8%, no percibiendo alguna relación con respecto al caudal para ninguna de las mediciones. Esto puede deberse a algunas condiciones ambientales o físicas del instrumento en el momento de la medición, tales como jornadas ventosas, ruido del instrumento, ruido ambiental, turbulencias en el flujo que contribuyen a la incertidumbre en las mediciones y la operación de la embarcación.

CAPÍTULO VI – ANÁLISIS DE RESULTADOS



*Evaluación temporal del comportamiento
hidrodinámico del Rio Santa Cruz y Rio
La Leona. Provincia de Santa Cruz*

CAPÍTULO VI – ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1 Introducción

En este capítulo se analiza con mayor detalle, las estaciones Leona Sur y Charles Fuhr, las cuales presentan mayores inconvenientes analizados en el capítulo precedente, lo que puede llevar a mayores incertidumbres en la medición de caudales.

Indagando la acumulación del caudal de todas y cada una de las transectas, campaña por campaña de las estaciones nombradas.

También se realizaron mediciones estacionarias de velocidad en la sección Leona Sur y se exhiben los espectros de energía calculados a partir de la señal de la magnitud de la velocidad medida con ADCP para una de las campañas de dicha sección.

4.2 Curvas de caudal acumulado en la sección

La morfología de los cauces fluviales (particularmente en el caso de curvas y confluencias) sumada a las características hidrodinámicas de los flujos, dan origen a procesos físicos que se manifiestan por la presencia de estructuras coherentes en las zonas de recirculación y separación.

Una de las fluctuaciones de flujo que pueden estar presentes durante las mediciones de caudal en cauces pueden deberse a fluctuaciones generadas por efectos de la geometría en planta (por ejemplo, separación de flujo en curvas, confluencias, divergencias, espigones, etc.) que producen un corte transversal resultando en una separación del flujo.

La separación consiste en que el flujo principal se aparta de los bordes causando la divergencia de las líneas de corriente, ocurre porque este se vuelve inestable, y al hacerlo se genera un espacio de recirculación del flujo.

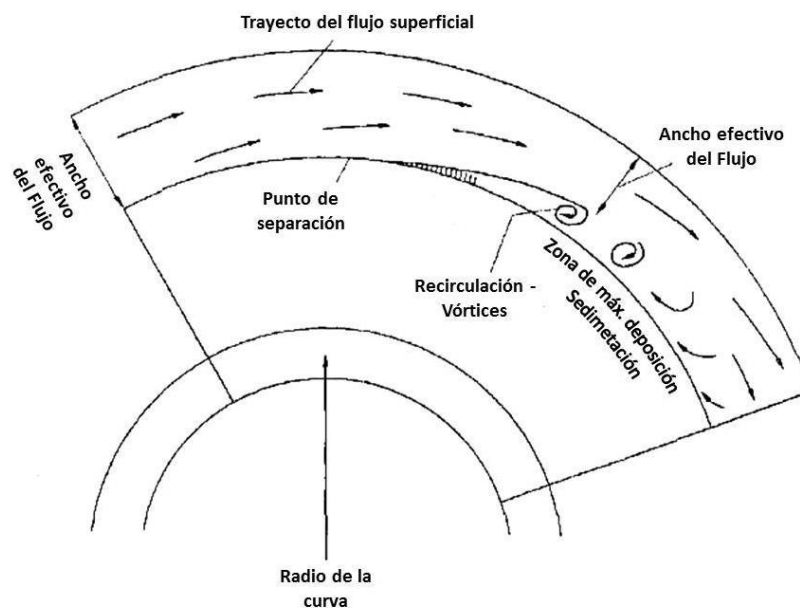


Figura 76.- Características generales de la separación del flujo (Ardesch, 2014)

Evaluación temporal del comportamiento hidrodinámico del Rio Santa Cruz y Rio La Leona. Provincia de Santa Cruz

En un canal curvo, se pueden distinguir dos zonas en donde puede ocurrir la separación del flujo y estas se encuentran relacionadas con la distribución de la superficie libre. Una de estas zonas se ubica sobre la margen externa, en la entrada de la curva en coincidencia con el incremento de la profundidad debido a la sobreelevación. La otra zona está ubicada a la salida de la curva sobre la margen interna cuando el flujo recupera la profundidad (Ippen y Drinker, 1962).

Como se pudo ver en el capítulo anterior, aquellas estaciones que presentan mayores valores de COV, cercanos a 20%, son “La Leona Sur” y “Charles Fuhr”. Estas secciones son las que presentan en general mayores incertidumbres en la medición de caudales. Esto puede deberse a la geometría curva característica de dichas secciones de medición, lo que genera oscilaciones.

Para analizar la presencia de fluctuaciones de baja frecuencia, se realizaron las curvas de distribución del caudal total a lo largo de la sección para las estaciones nombradas (“La Leona Sur” y “Charles Fuhr”). En los gráficos se muestra la distancia desde la margen izquierda y el caudal acumulado escurrido correspondiente a dichas secciones de todas las campañas de medición, para poder observar las variaciones en el caudal medido en cada transecta. Para su análisis, se utilizó el programa computacional “WinRiver II” para aquellas campañas en donde se manejó el instrumento “Río Grande” y el programa “RiverSurveyor Live” para las campañas donde se manejó el instrumento “SonTek”.

En cada campaña encontramos un gran número de transectas, estas están demarcadas cada una con un color diferente. El aumento del número de transectas se realiza para reducir la incertidumbre en la medición, y acercarse lo más próximo a valores reales.

A continuación, se muestran los resultados obtenidos.

4.2.1 Sección Leona Sur

En la Figura 77, Figura 78, Figura 79, Figura 80, Figura 81, Figura 82, Figura 83, Figura 84, Figura 85, Figura 86, Figura 87, Figura 88, Figura 89 y Figura 90 se pueden observar las curvas de caudal acumulado de cada transecta y de todas las campañas para la sección “La Leona Sur”.

Evaluación temporal del comportamiento hidrodinámico del Río Santa Cruz y Río La Leona. Provincia de Santa Cruz

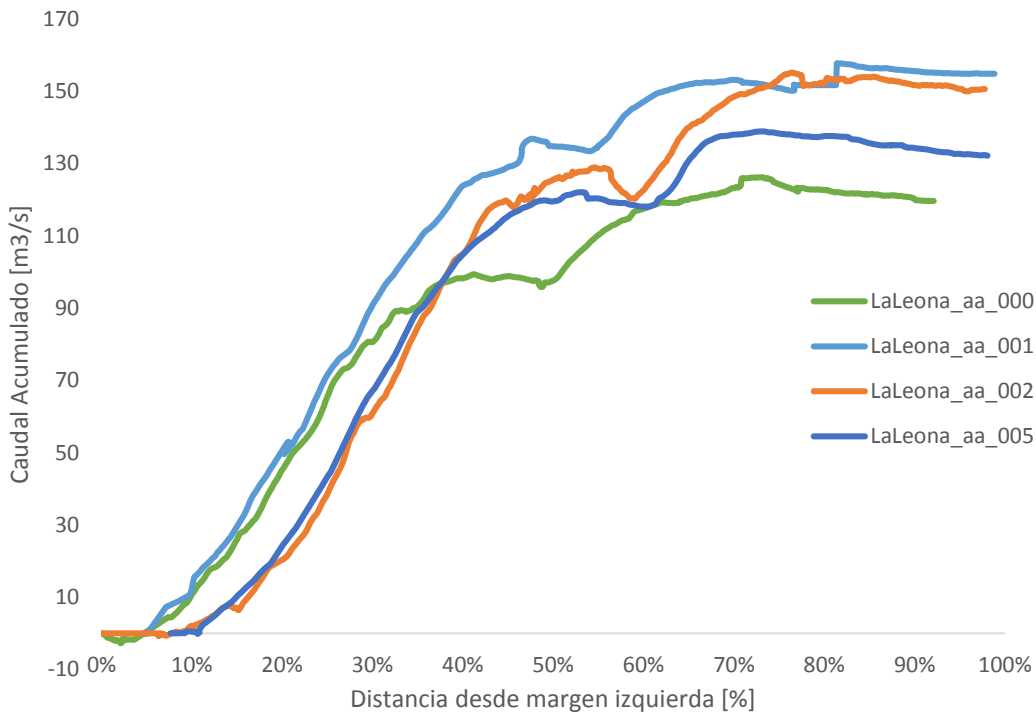


Figura 77.- Curva distribución de caudal líquido, sección Leona Sur. Campaña 1 (C1)

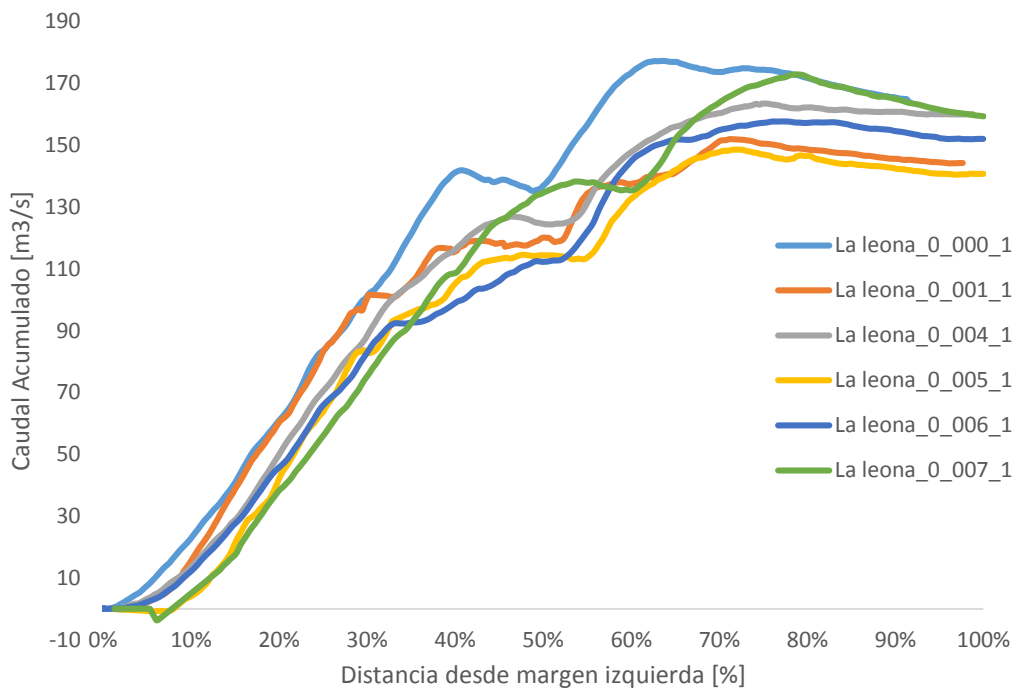


Figura 78.- Curva distribución de caudal líquido, sección Leona Sur. Campaña 2 (C2)

Evaluación temporal del comportamiento hidrodinámico del Río Santa Cruz y Río La Leona. Provincia de Santa Cruz

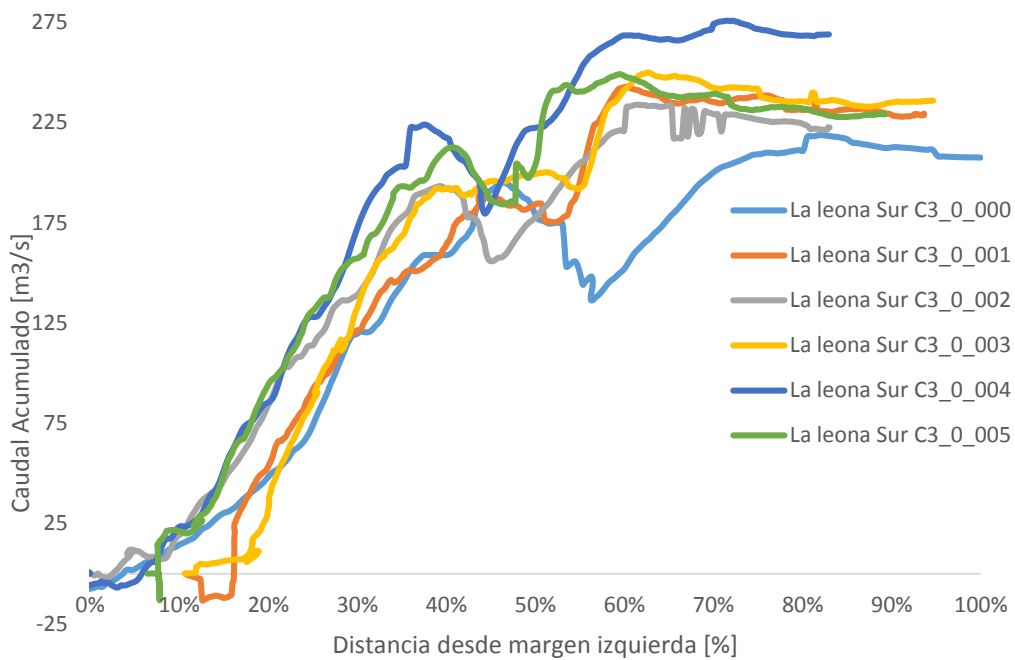


Figura 79.- Curva distribución de caudal líquido, sección Leona Sur. Campaña 3 (C3)

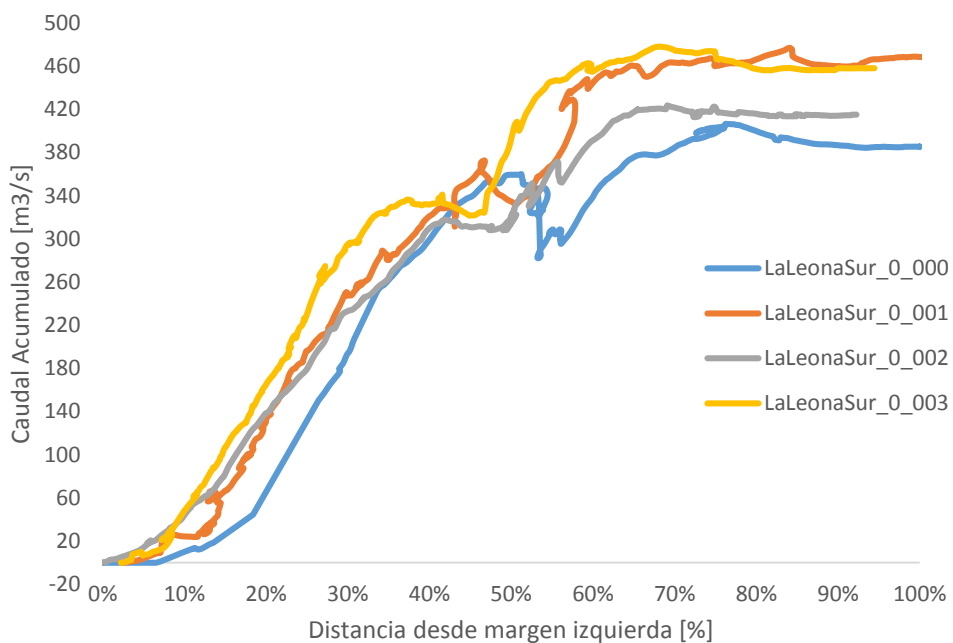


Figura 80.- Curva distribución de caudal líquido, sección Leona Sur. Campaña 4 (C4)

Evaluación temporal del comportamiento hidrodinámico del Río Santa Cruz y Río La Leona. Provincia de Santa Cruz

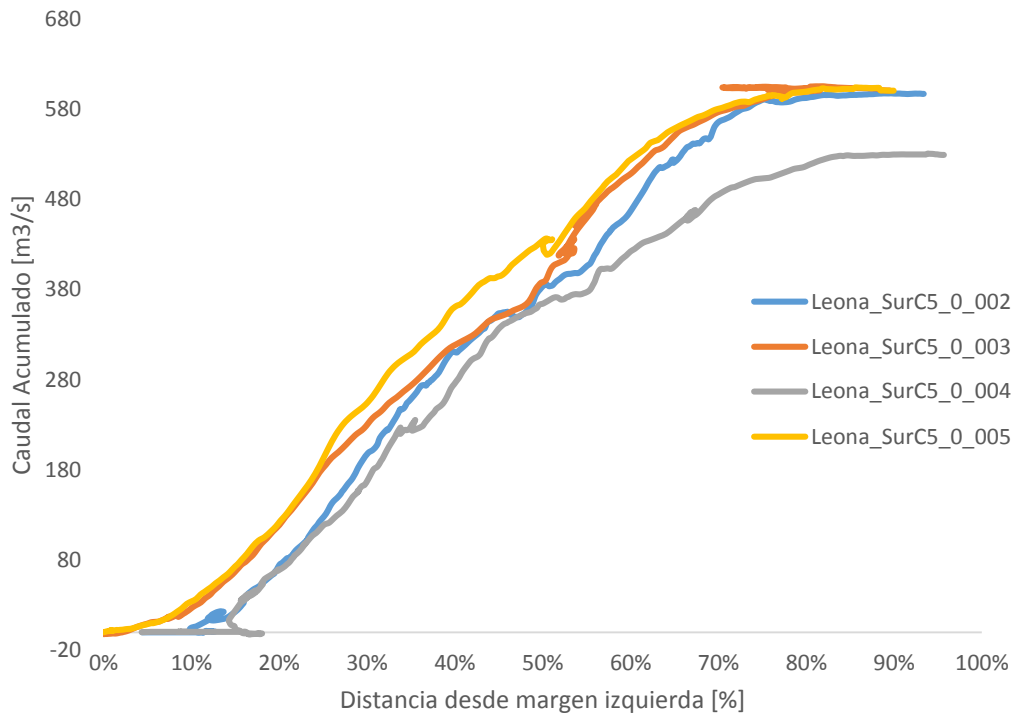


Figura 81.- Curva distribución de caudal líquido, sección Leona Sur. Campaña 5 (C5)

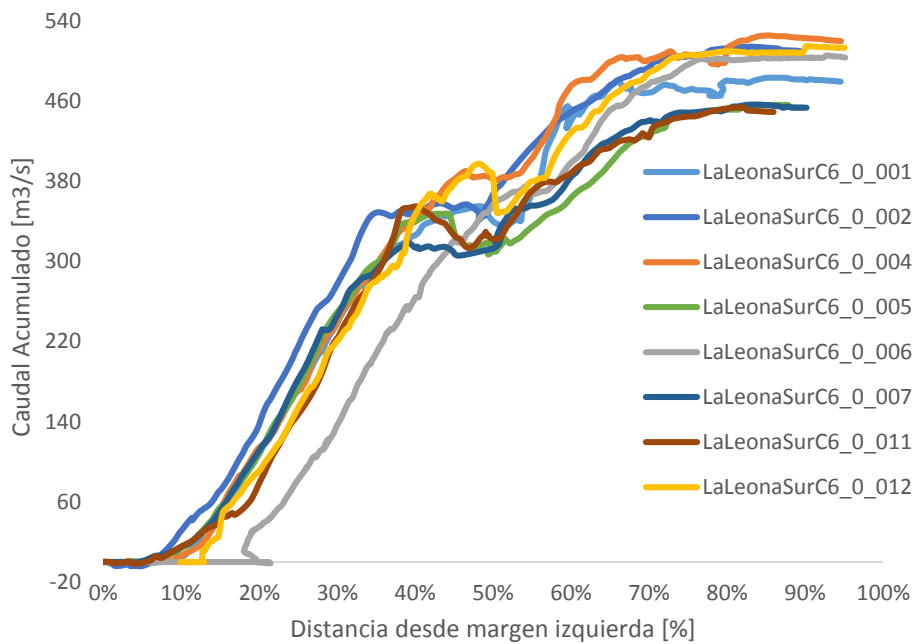
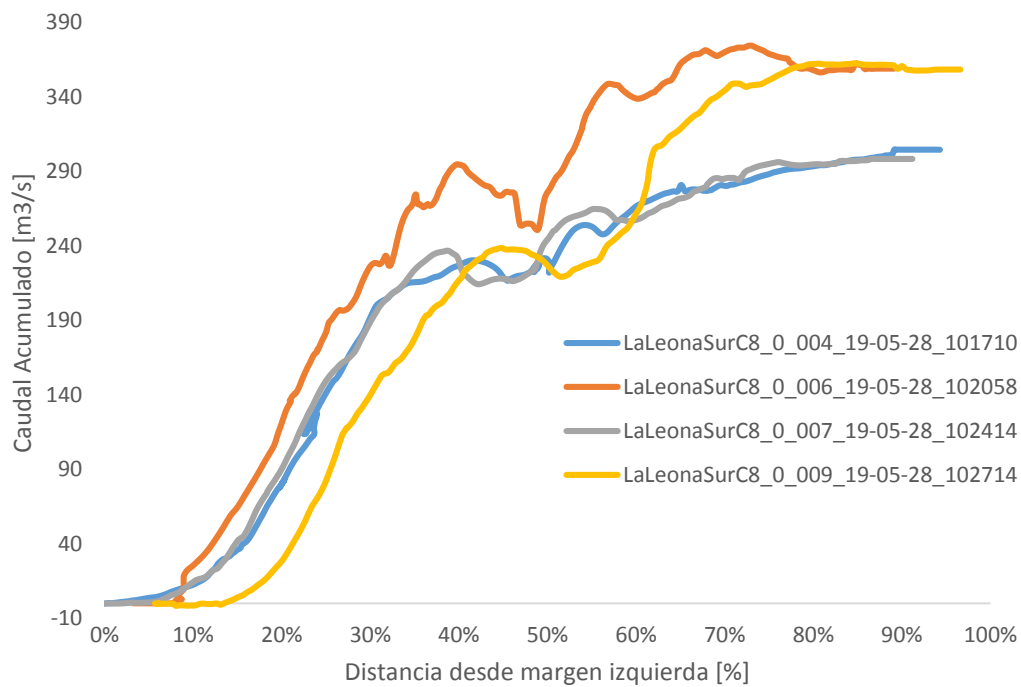
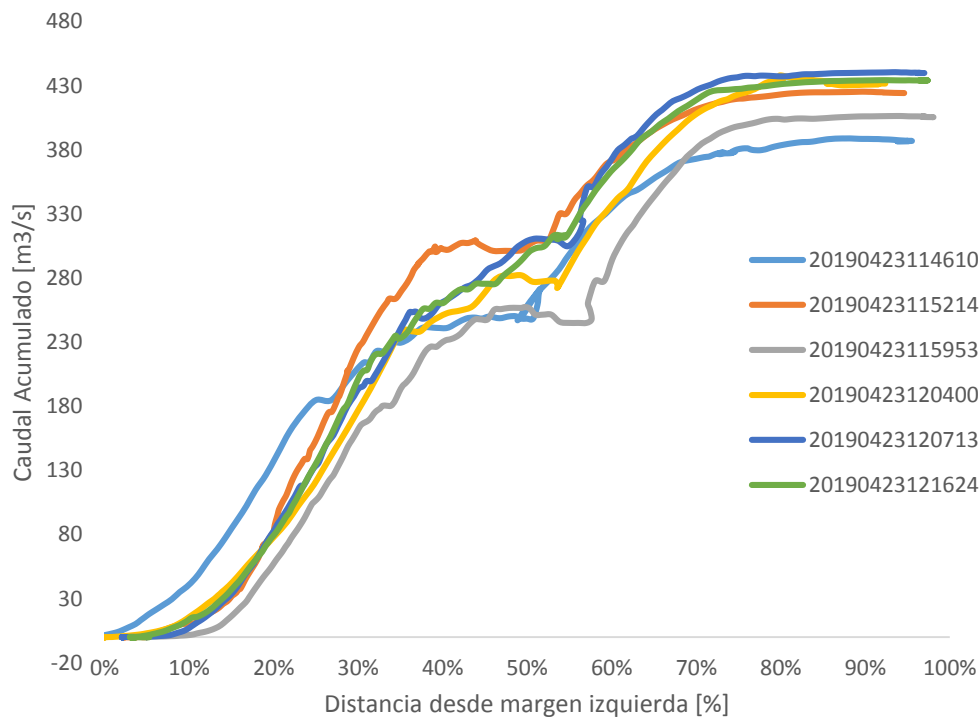


Figura 82.- Curva distribución de caudal líquido, sección Leona Sur. Campaña 6 (C6)

Evaluación temporal del comportamiento hidrodinámico del Río Santa Cruz y Río La Leona. Provincia de Santa Cruz



Evaluación temporal del comportamiento hidrodinámico del Rio Santa Cruz y Rio La Leona. Provincia de Santa Cruz

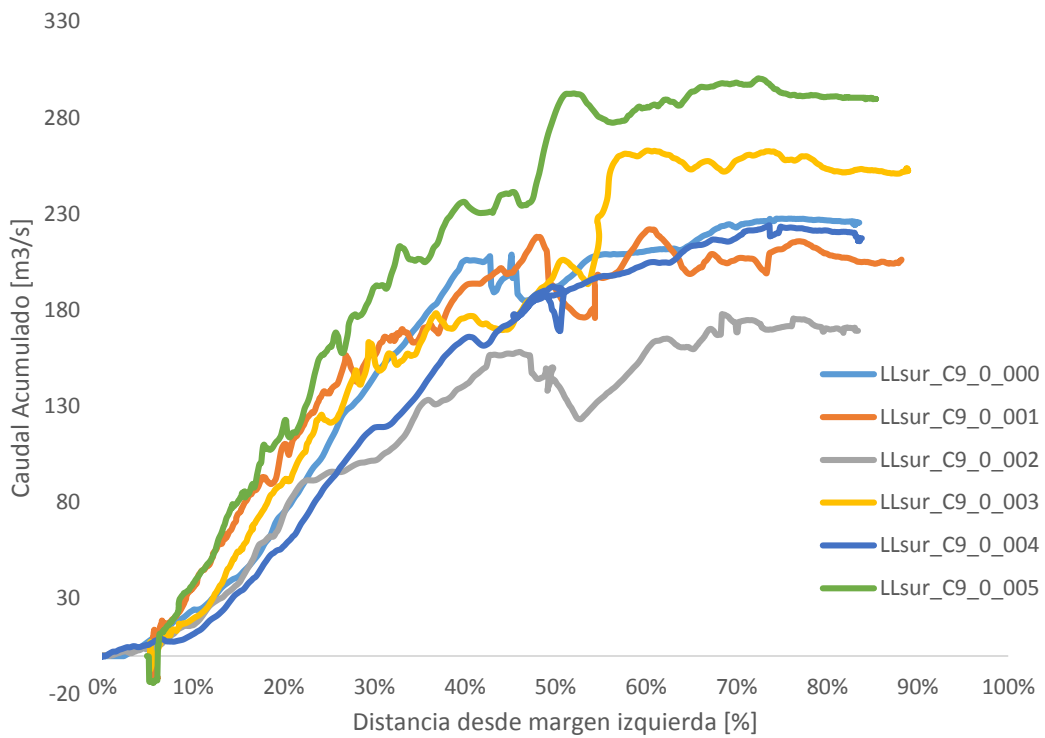


Figura 85.- Curva distribución de caudal líquido, sección Leona Sur. Campaña 9 (C9)

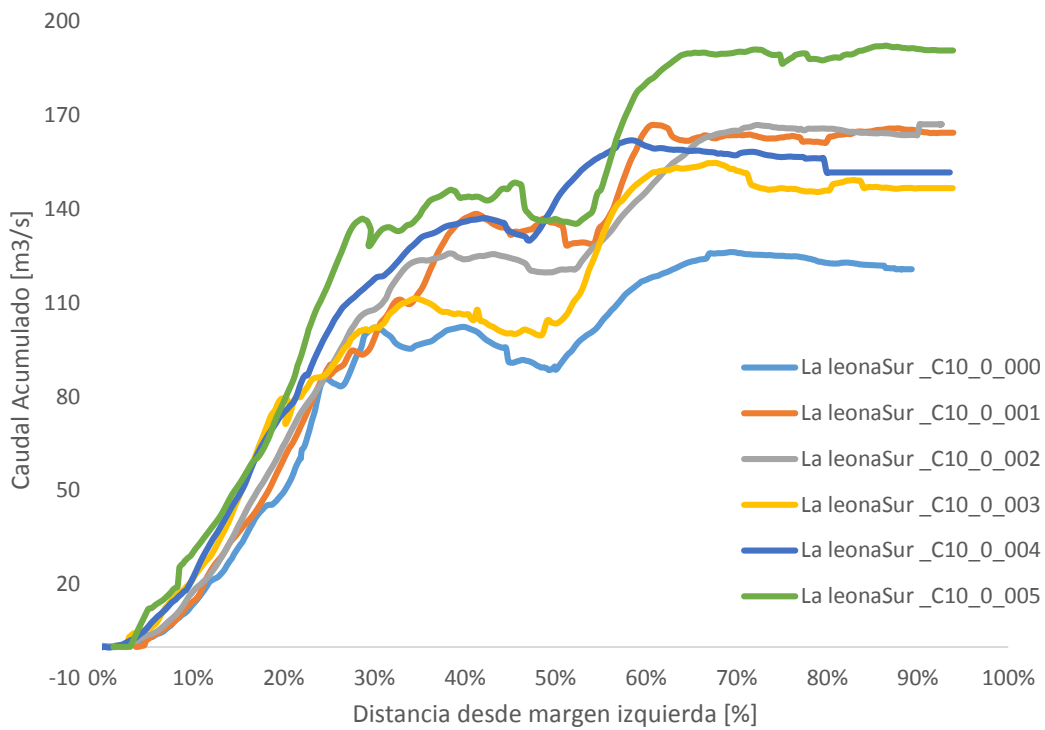


Figura 86.- Curva distribución de caudal líquido, sección Leona Sur. Campaña 10 (C10)

Evaluación temporal del comportamiento hidrodinámico del Río Santa Cruz y Río La Leona. Provincia de Santa Cruz

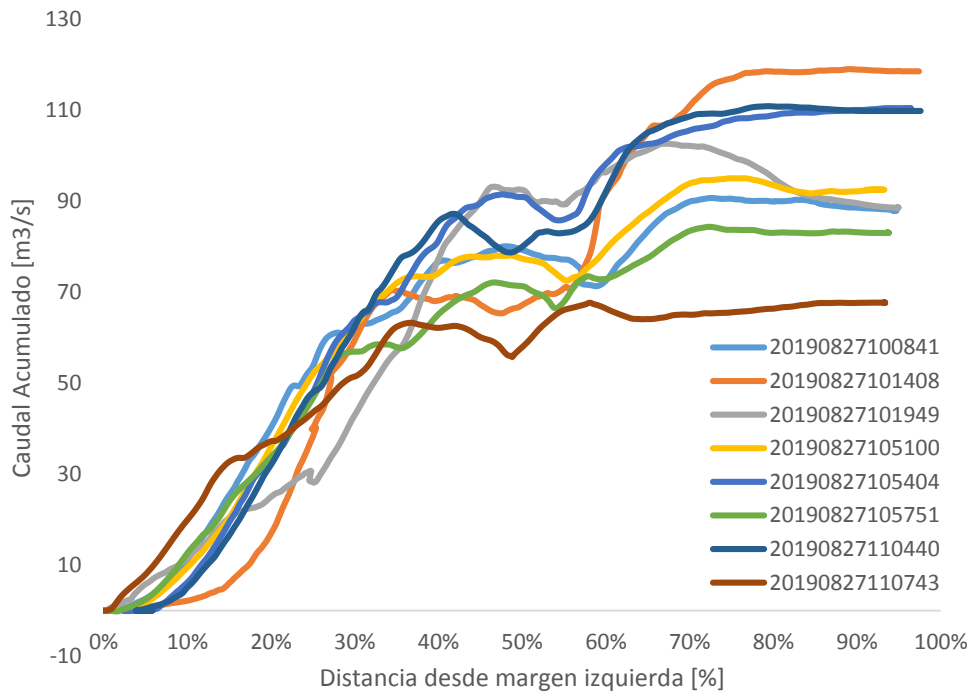


Figura 87.- Curva distribución de caudal líquido, sección Leona Sur. Campaña 11 (C11)

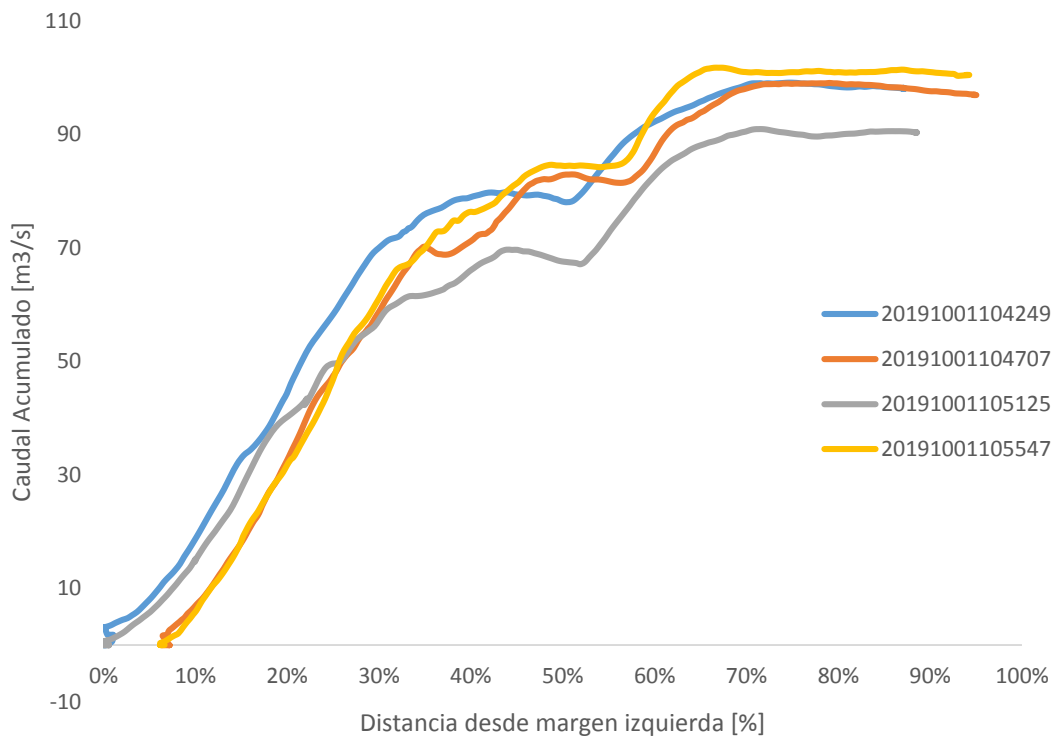


Figura 88.- Curva distribución de caudal líquido, sección Leona Sur. Campaña 12 (C12)

Evaluación temporal del comportamiento hidrodinámico del Rio Santa Cruz y Rio La Leona. Provincia de Santa Cruz

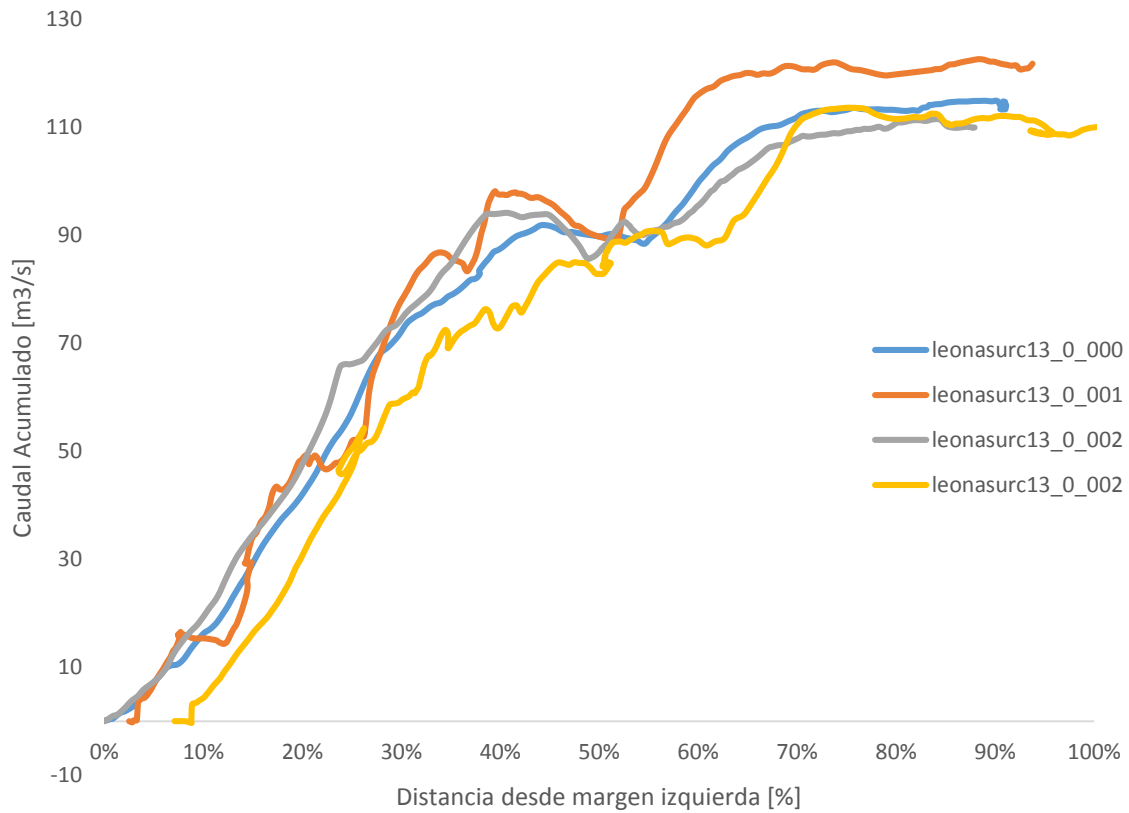


Figura 89.- Curva distribución de caudal líquido, sección Leona Sur. Campaña 13 (C13)

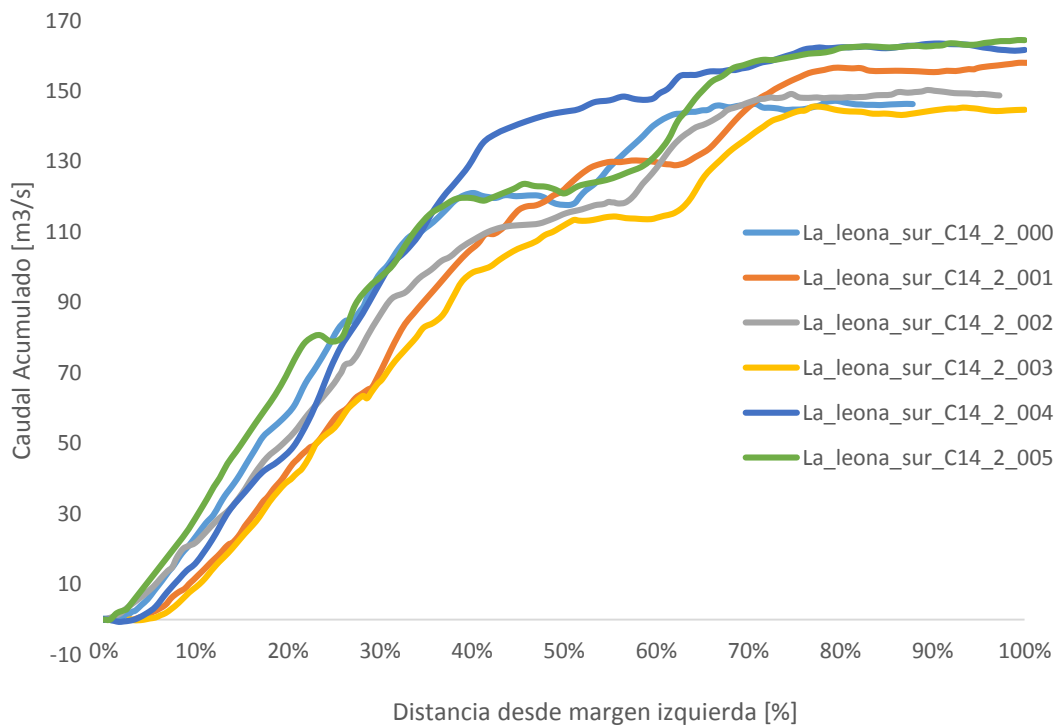


Figura 90.- Curva distribución de caudal líquido, sección Leona Sur. Campaña 14 (C14)

Evaluación temporal del comportamiento hidrodinámico del Rio Santa Cruz y Rio La Leona. Provincia de Santa Cruz

En Figura 77, correspondiente a la primera campaña (C1), podemos observar un total de cuatro transectas. Se puede observar la variación en el caudal total medido entre una y otra transecta, alcanzando diferencias entre el 2 y el 13% respecto al promedio. También se puede observar que en tres transectas se midió aproximadamente el 80% del caudal líquido a una distancia del 40 % del ancho total, mientras que en otra se midió a una distancia del 60 %.

Para la campaña C2 Figura 78, encontramos seis transectas válidas. Aquí también podemos observar la variación del caudal total medido de cada transecta, alcanzando diferencias entre el 2% y 10% respecto al caudal promedio. Se puede notar que algunas transectas se midió el total del caudal líquido a una distancia del 70%, manteniéndose constante hasta finalizar el cruce. Y en otras transectas llega hasta un 85% del total del caudal líquido a una distancia entre 40% y 50% de la margen.

En las sucesivas figuras, correspondientes a la campaña C3 hasta C14 el análisis es análogo, donde cada transecta muestra un comportamiento de tendencia similar. Donde una de las campañas que presenta mayor variación entre el caudal medido, es la campaña 11 (C11), ésta cuenta con un total de siete transectas, y alcanza diferencias entre el 2 y el 45% respecto al promedio, coincide que dicha campaña, muestra uno de los mayores porcentajes de COV de la sección.

Se puede concluir que, ésta sección, presenta aparentemente una zona de separación del flujo, que genera una recirculación del mismo a una distancia de entre 40% y 60% desde la margen izquierda.

4.2.2 Sección Charles Fuhr

En la Figura 91, Figura 92, Figura 93, Figura 94, Figura 95, Figura 96, Figura 97, Figura 98, Figura 99, Figura 100, Figura 101, Figura 102 y Figura 103) se pueden observar las curvas de caudal acumulado de cada transecta y de todas las campañas para la sección de Charles Fuhr.

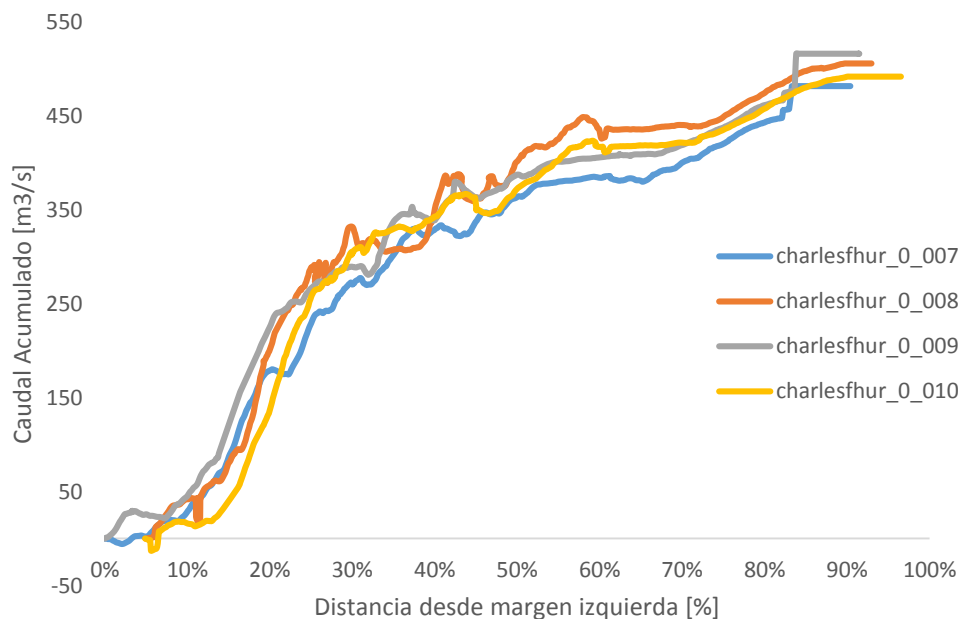


Figura 91.- Curva distribución de caudal líquido, sección Charles Fuhr. Campaña 2 (C2)

Evaluación temporal del comportamiento hidrodinámico del Río Santa Cruz y Río La Leona. Provincia de Santa Cruz

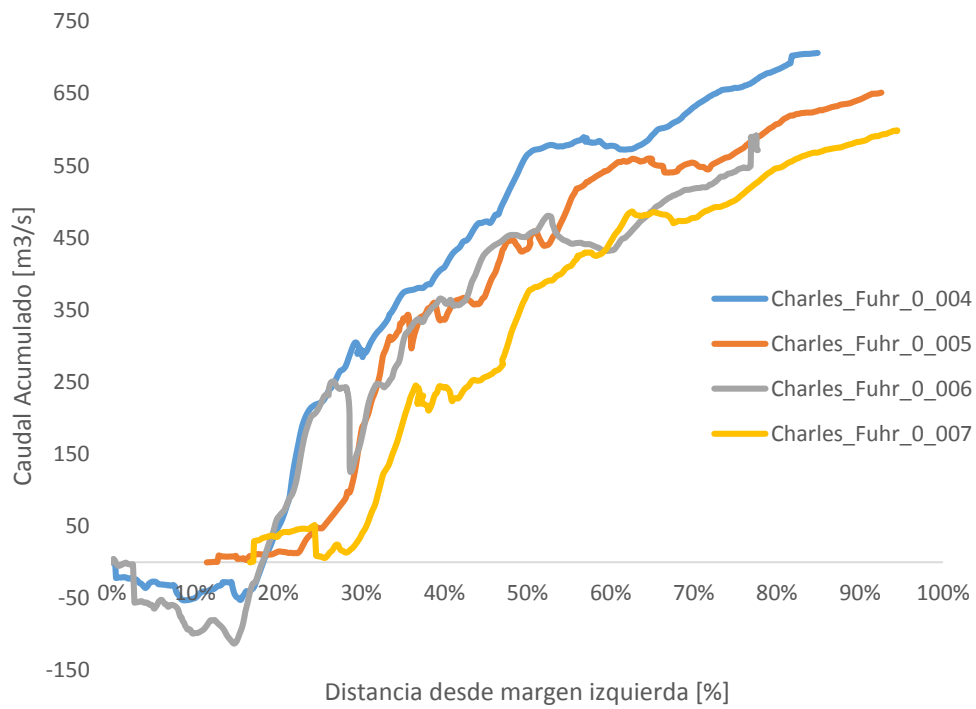


Figura 92.- Curva distribución de caudal líquido, sección Charles Fuhr. Campaña 3 (C3)

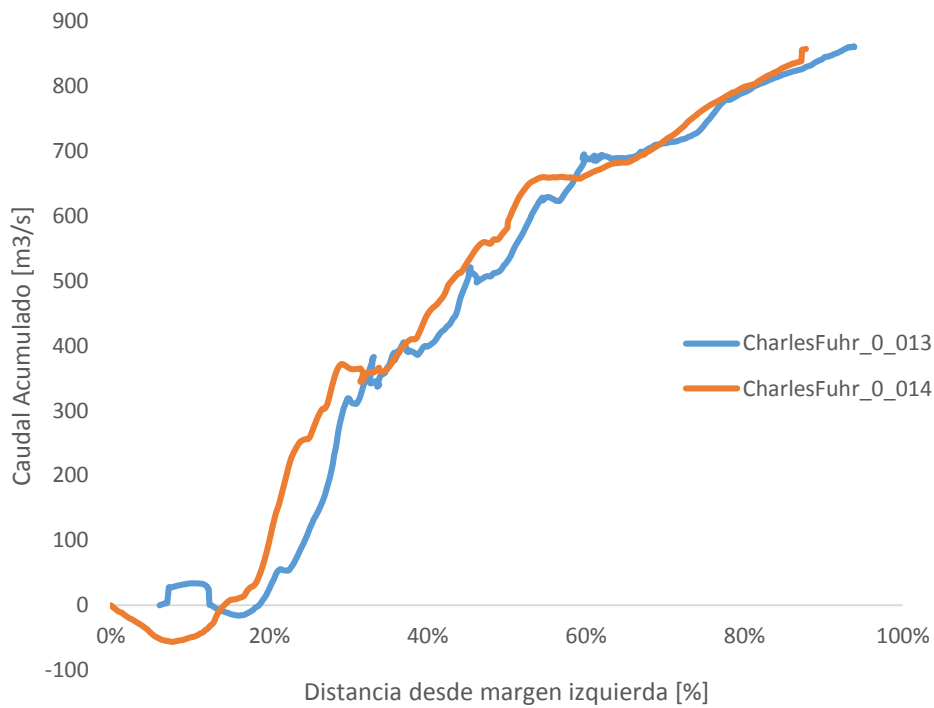


Figura 93.- Curva distribución de caudal líquido, sección Charles Fuhr. Campaña 4 (C4)

Evaluación temporal del comportamiento hidrodinámico del Río Santa Cruz y Río La Leona. Provincia de Santa Cruz

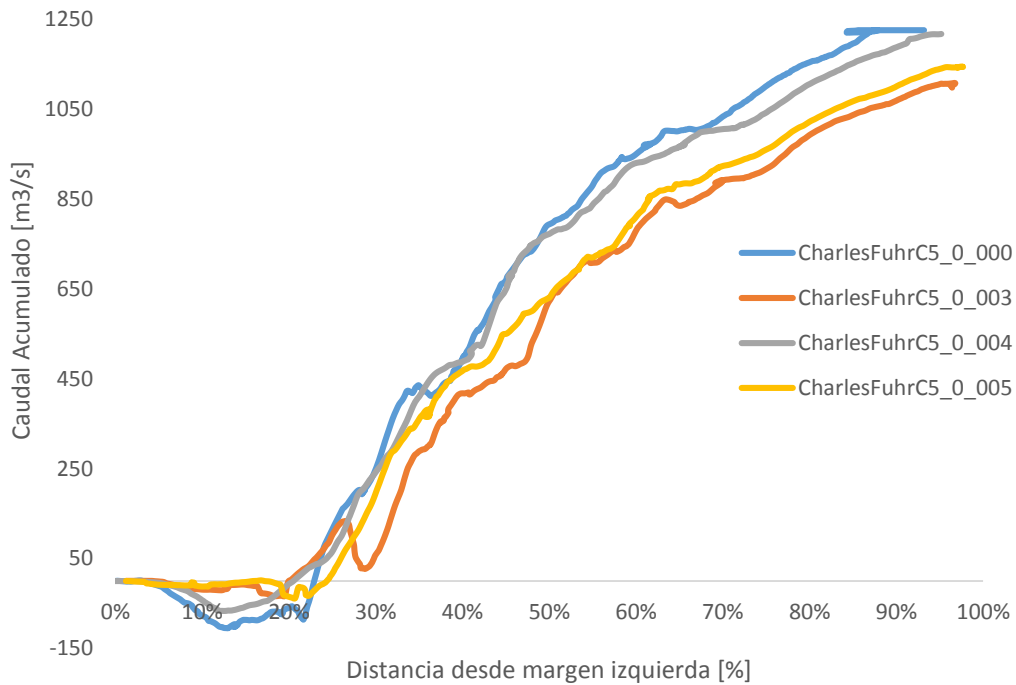


Figura 94.- Curva distribución de caudal líquido, sección Charles Fuhr. Campaña 5 (C5)

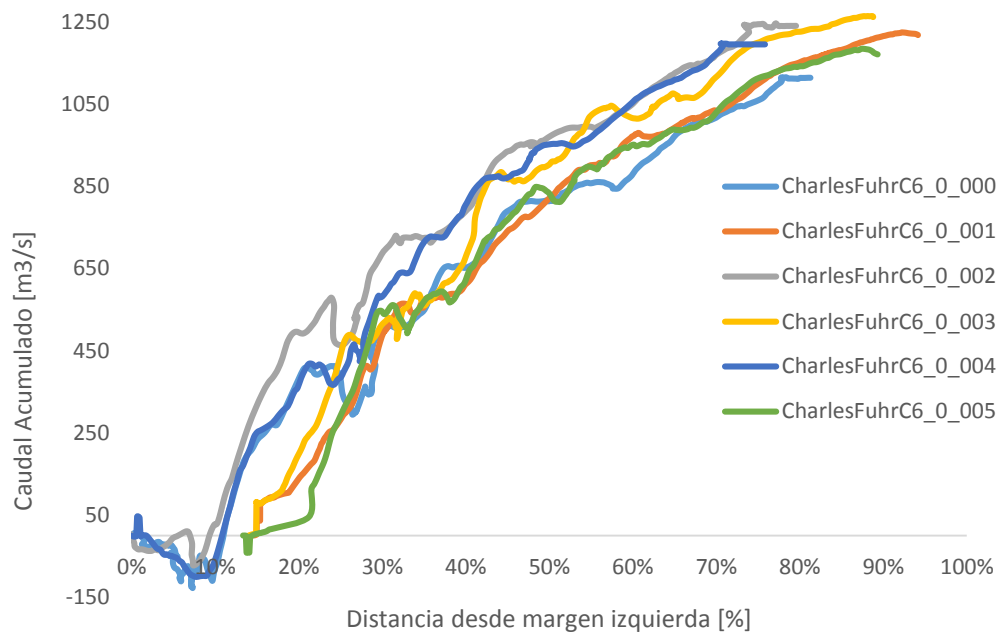


Figura 95.- Curva distribución de caudal líquido, sección Charles Fuhr. Campaña 6 (C6)

Evaluación temporal del comportamiento hidrodinámico del Río Santa Cruz y Río La Leona. Provincia de Santa Cruz

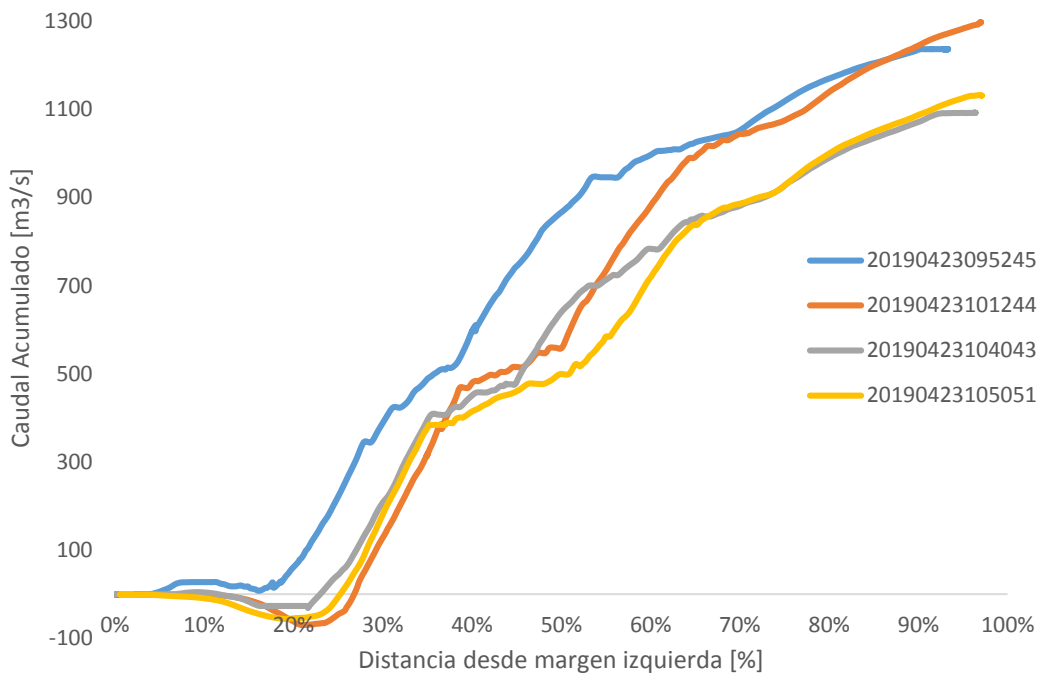


Figura 96.- Curva distribución de caudal líquido, sección Charles Fuhr. Campaña 7 (C7)

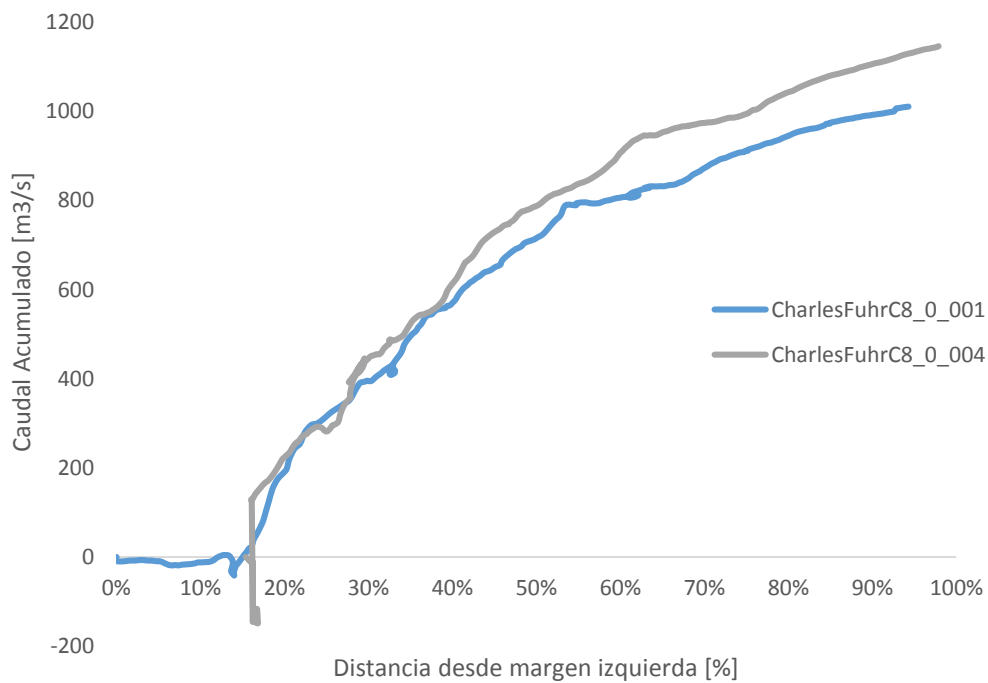


Figura 97.- Curva distribución de caudal líquido, sección Charles Fuhr. Campaña 8 (C8)

Evaluación temporal del comportamiento hidrodinámico del Río Santa Cruz y Río La Leona. Provincia de Santa Cruz

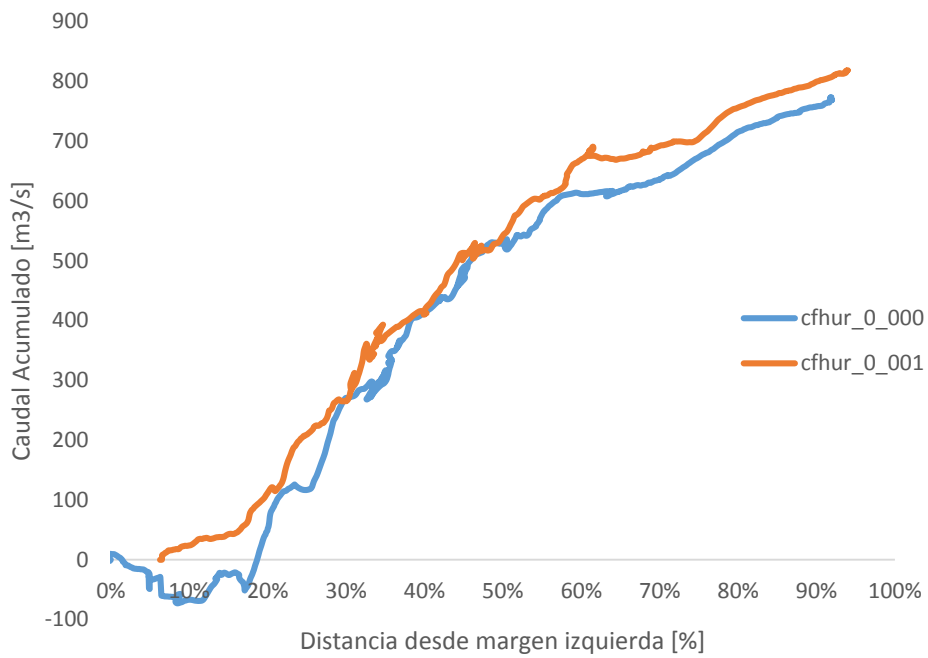


Figura 98.- Curva distribución de caudal líquido, sección Charles Fuhr. Campaña 9 (C9)

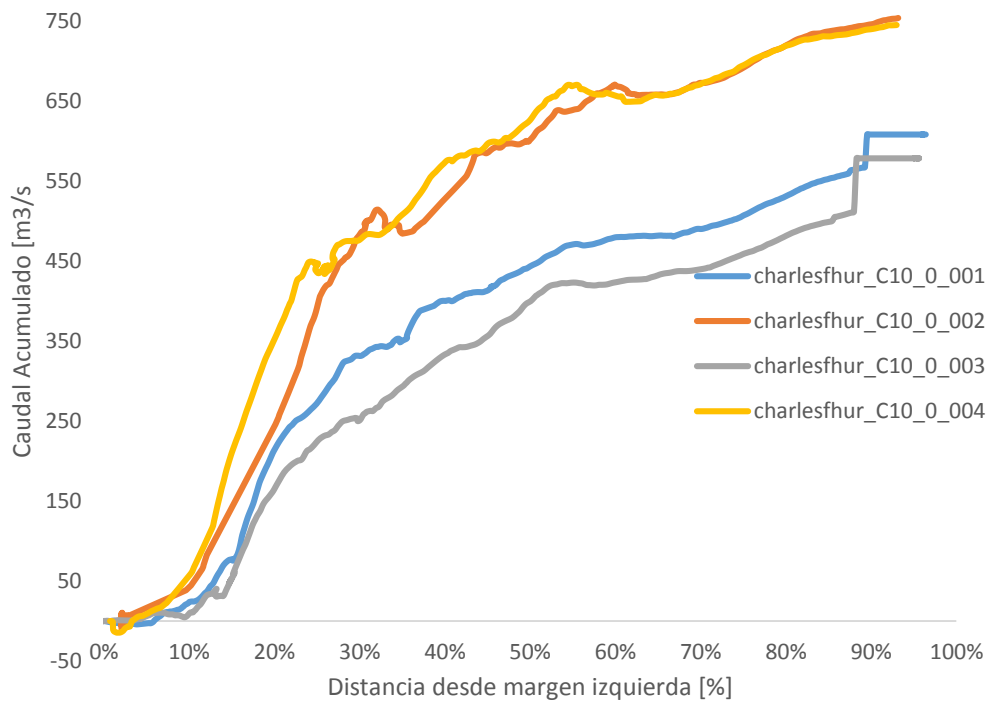
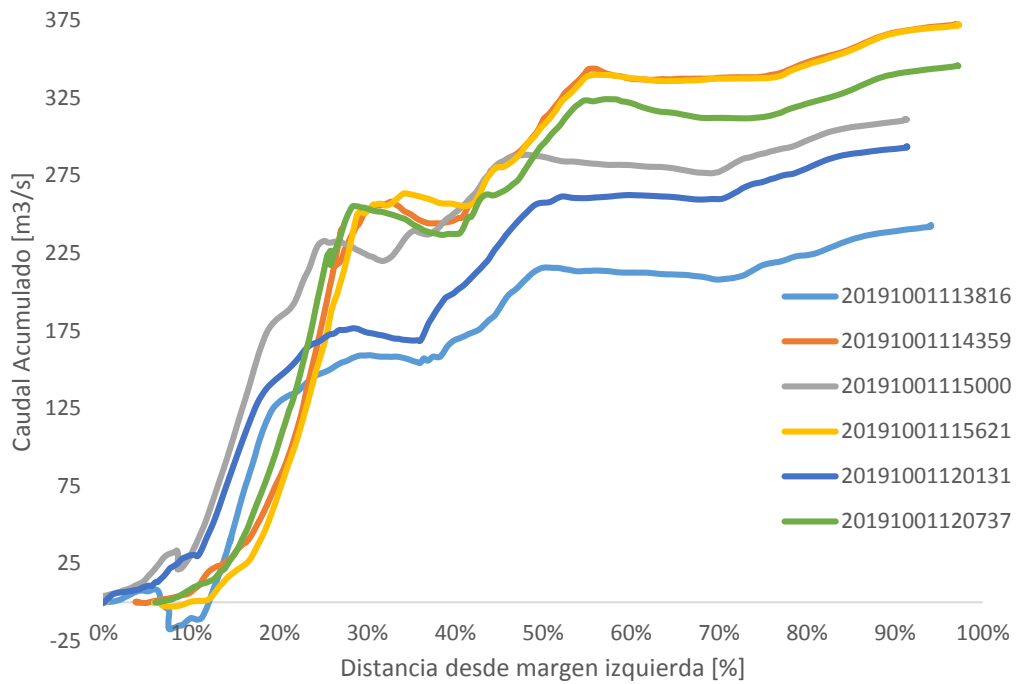
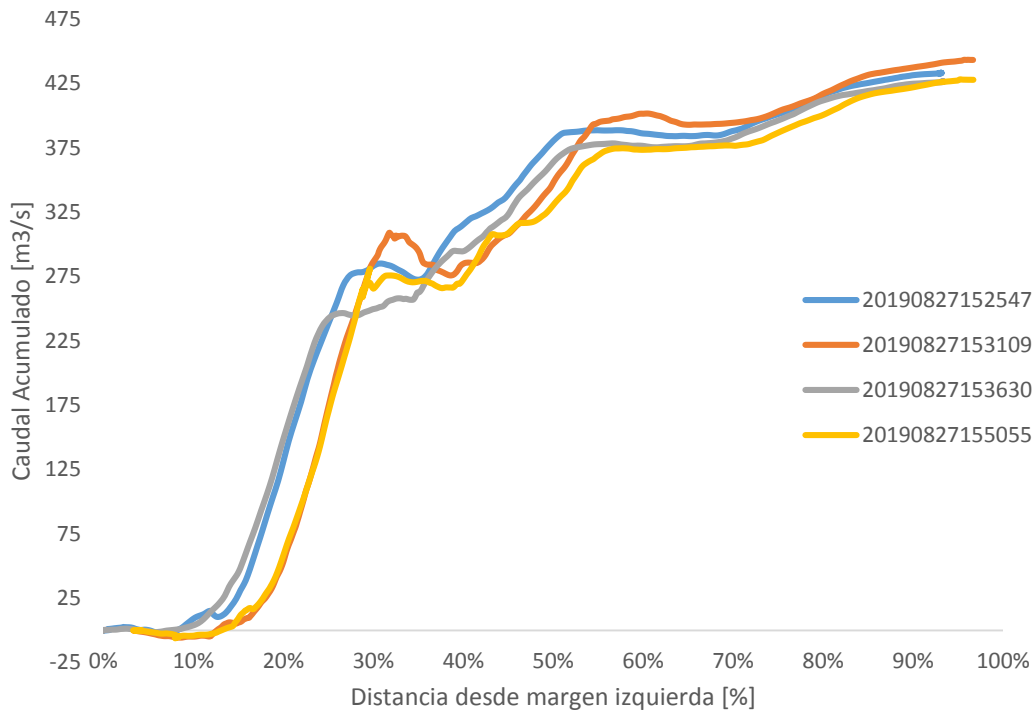
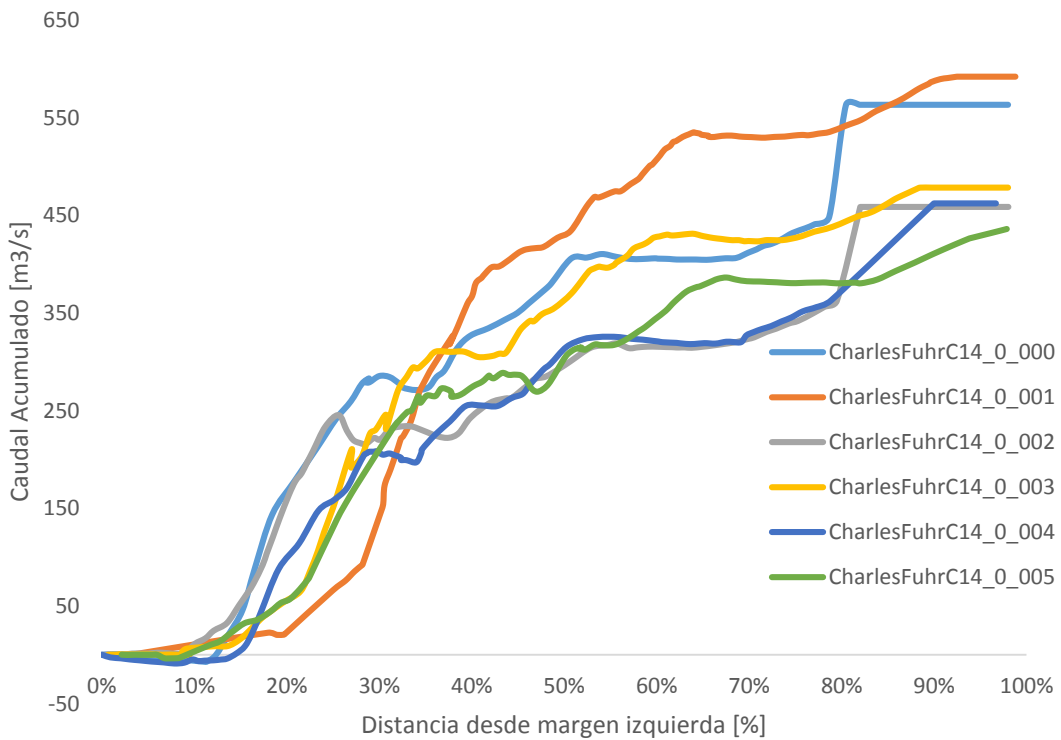
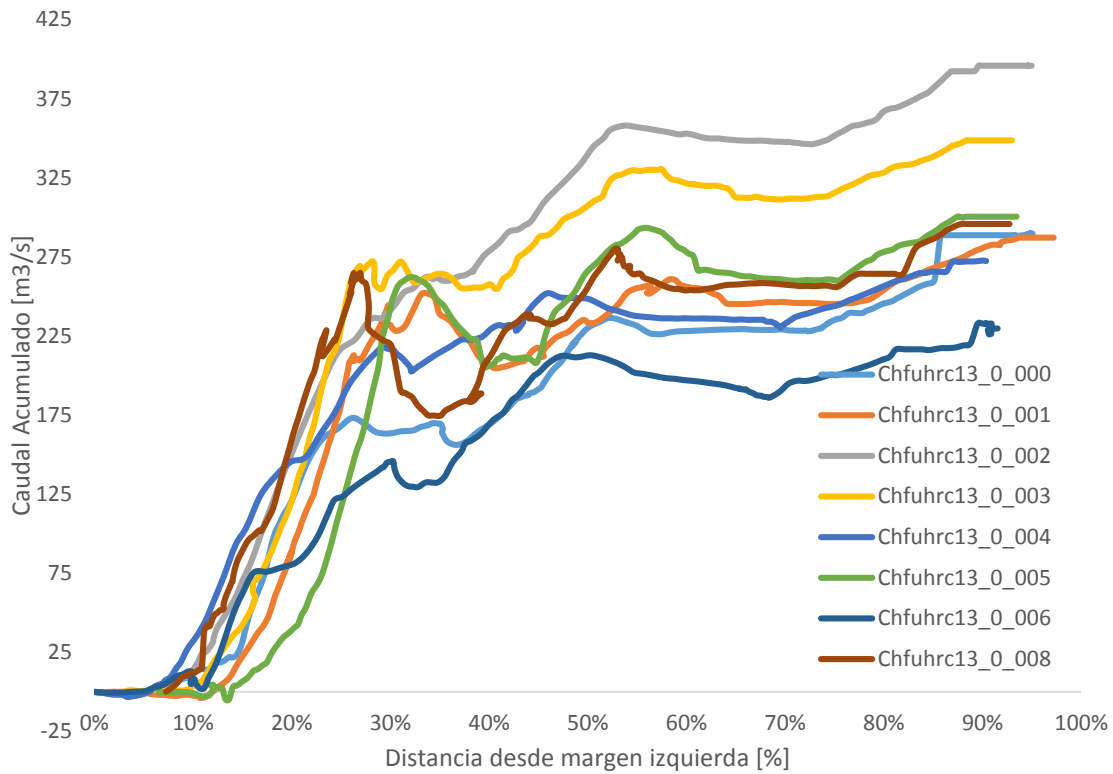


Figura 99.- Curva distribución de caudal líquido, sección Charles Fuhr. Campaña 10 (C10)

Evaluación temporal del comportamiento hidrodinámico del Río Santa Cruz y Río La Leona. Provincia de Santa Cruz



Evaluación temporal del comportamiento hidrodinámico del Río Santa Cruz y Río La Leona. Provincia de Santa Cruz



Evaluación temporal del comportamiento hidrodinámico del Río Santa Cruz y Río La Leona. Provincia de Santa Cruz

Como podemos ver en los gráficos, en esta sección, a diferencia de Leona Sur, muestra una zona de recirculación próxima a la margen izquierda. En todas las campañas se puede observar que el caudal es constante y casi nulo al inicio de la dicha margen.

Por otro lado, podemos notar que en las campañas C2, C12, C13 y C14 a una distancia aproximadamente de 60% desde la margen izquierda, el caudal permanece constante por una distancia de 10% al 20%, lo que puede deberse a otra recirculación en dicha sección. Estas campañas son coincidentes con los períodos de menor caudal en el río, lo que debe inferir con dicho comportamiento y del mismo modo, dichas campañas presentan entre los mayores porcentajes de COV de la sección.

4.3 Análisis Experimental de la separación del flujo en La Leona Sur

La presencia de una zona de separación del flujo se combina con un vórtice de recirculación capaz de disminuir el ancho efectivo del canal, y por lo tanto reducir la capacidad de escurrimiento del canal además de alterar los patrones de erosión de las márgenes y, produciendo en algunos casos erosiones localizadas. La extensión de la zona de recirculación del flujo depende directamente de la relación B/R (ancho/radio de curvatura) y del número de Froude, aumentando al incrementarse la curvatura y disminuyendo a menores números de Froude (Leeder y Bridges, 1975).

Las oscilaciones del flujo en los sistemas fluviales afectan de manera considerable la incertidumbre en la medición de caudales y de los patrones del flujo medio in situ con instrumentos (perfiladores de corriente acústicos Doppler) instalados en plataformas móviles y no son factibles de aplicar las estrategias de muestreo utilizadas en la actualidad (García et al., 2013).

En este apartado se analizan las fluctuaciones de baja frecuencia de una de las campañas realizadas en La Leona Sur. A partir del análisis espectral de señales temporales de velocidad de flujo en tres puntos de la vertical (cerca de la superficie, en el medio y próximo al fondo) se determinaron las frecuencias características de los procesos de flujo.

El tramo curvo en estudio presenta un radio R de curvatura de 230 m aproximadamente en la zona central de la curva (Figura 104). En la Tabla 16 se indican los parámetros hidráulicos que caracterizan el flujo en dicha condición, que corresponde a la campaña 9 (junio 2019).

Tabla 16.- Parámetros hidráulicos medidos en La Leona Sur, Campaña 9 (junio 2019)

Transecta	Duración [seg]	Ancho [m]	Área [m ²]	Prof. Media [m]	Vel. Media [m/s]	Q Líquido [m ³ /s]	Número de Froude
000	223	91,0	496,3	5,45	0,45	223,0	0,06
001	209	92,5	492,1	5,32	0,42	208,5	0,06
002	173	96,5	527,4	5,47	0,33	172,9	0,05
003	251	97,4	487,4	5,00	0,52	251,5	0,07
004	213	99,0	535,9	5,41	0,40	213,2	0,06
005	289	102,3	373,9	3,65	0,76	288,7	0,13
Promedio		96,5	486,4	5,04	0,47	226,3	0,07

Evaluación temporal del comportamiento hidrodinámico del Río Santa Cruz y Río La Leona. Provincia de Santa Cruz

En dicha campaña se realizaron mediciones estacionarias de velocidad con el ADCP Río Grande en cinco verticales a lo ancho de la sección de medición, de aproximadamente 300 segundos de duración. También se realizaron 6 transectas a fines de determinar la incertidumbre de medición de caudal líquido con ADCP.

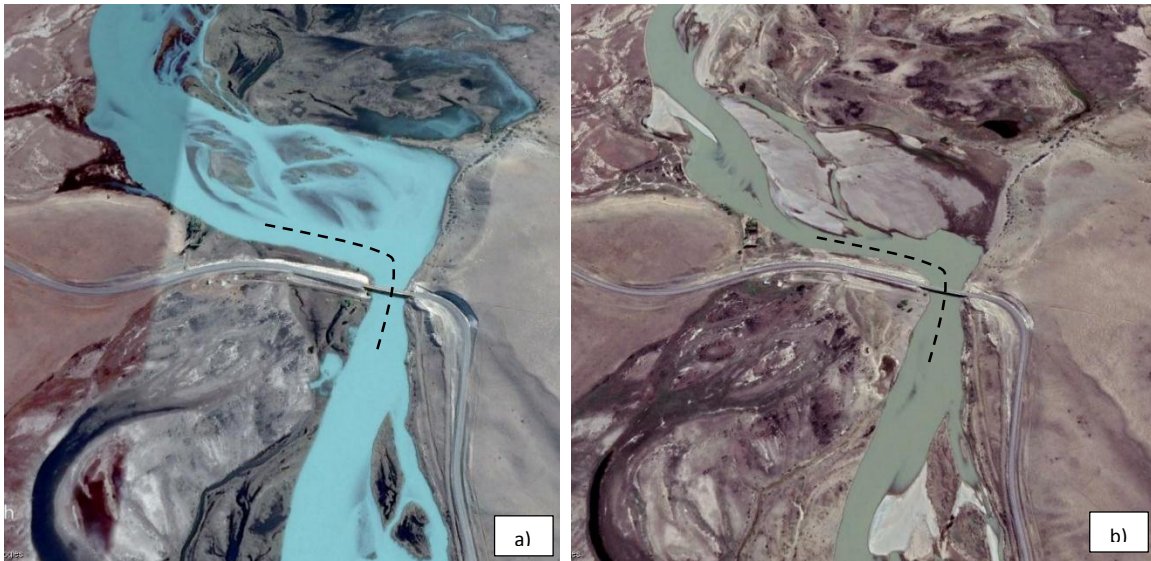


Figura 104.- Curva en La Leona Sur. a) Febrero 2018. b) Octubre 2018

En la Figura 105, Figura 106, Figura 107.- Vertical 3. Profundidad Media 7,9 m. Figura 107, Figura 108 y Figura 109 se muestran los espectros de energía calculados a partir de la señal de la magnitud de la velocidad medida con ADCP en cinco verticales durante la campaña 9, siendo la primera próxima al margen derecha y la última próxima a la margen izquierda.

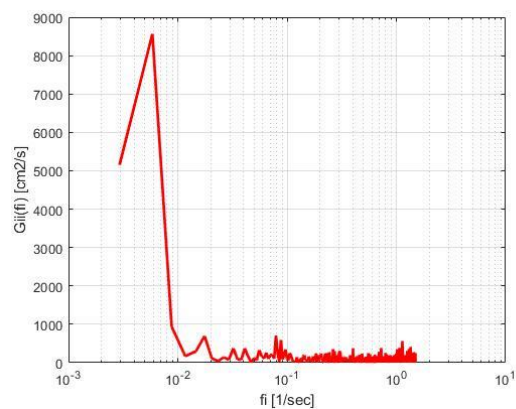


Figura 105.- Vertical 1. Profundidad Media: 1,7 m.
Profundidad 1 (0,8 m).

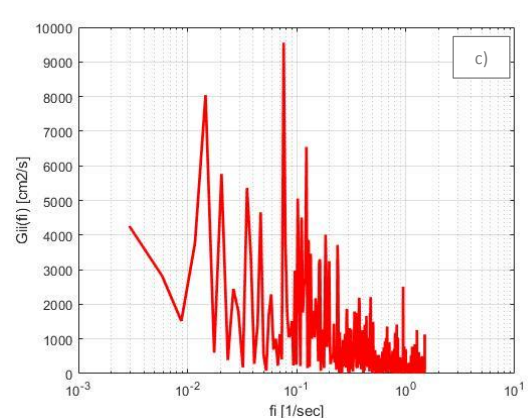
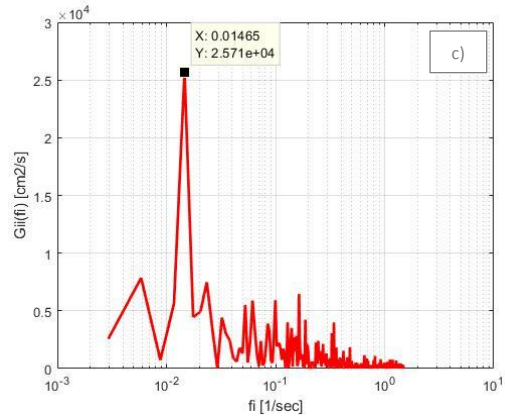
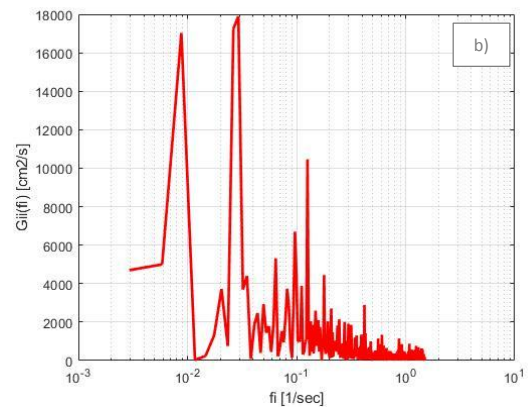
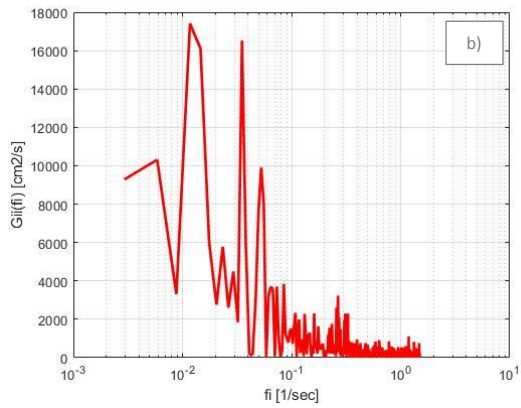
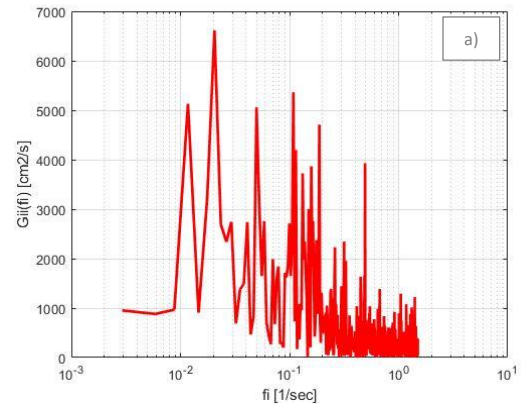
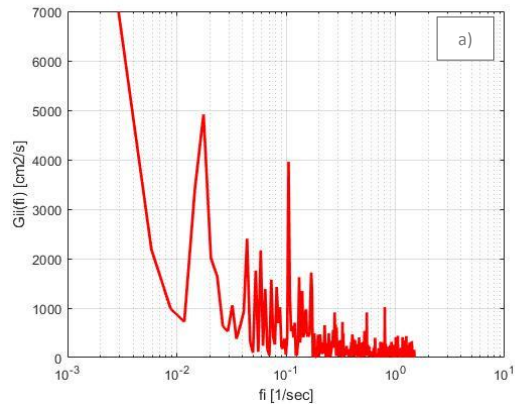


Figura 106.- Vertical 2. Profundidad Media 5,7 m.
 a) Profundidad 1: 1,3 m.
 b) Profundidad 2: 3,3 m.
 c) Profundidad 3: 4,3 m.

Figura 107.- Vertical 3. Profundidad Media 7,9 m.
 a) Profundidad 1: 1,6 m.
 b) Profundidad 2: 4,3 m.
 c) Profundidad 3: 6,1 m.

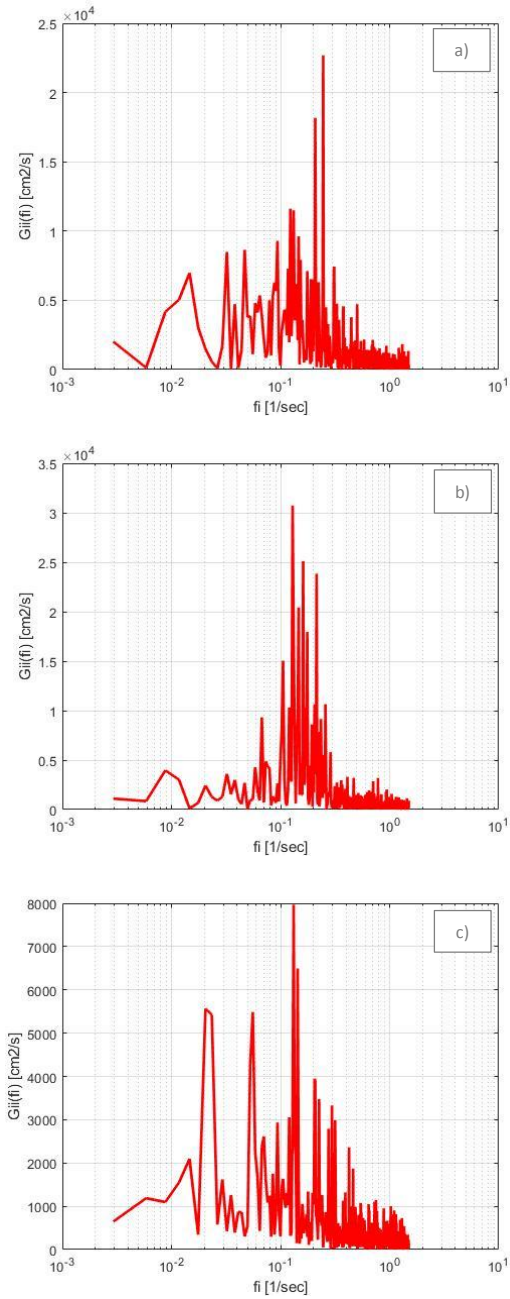


Figura 108.- Vertical 4 Profundidad Media 8,3 m.
 a) Profundidad 1: 1,6 m.
 b) Profundidad 2: 4,8.
 c) Profundidad 3: 6,6 m.

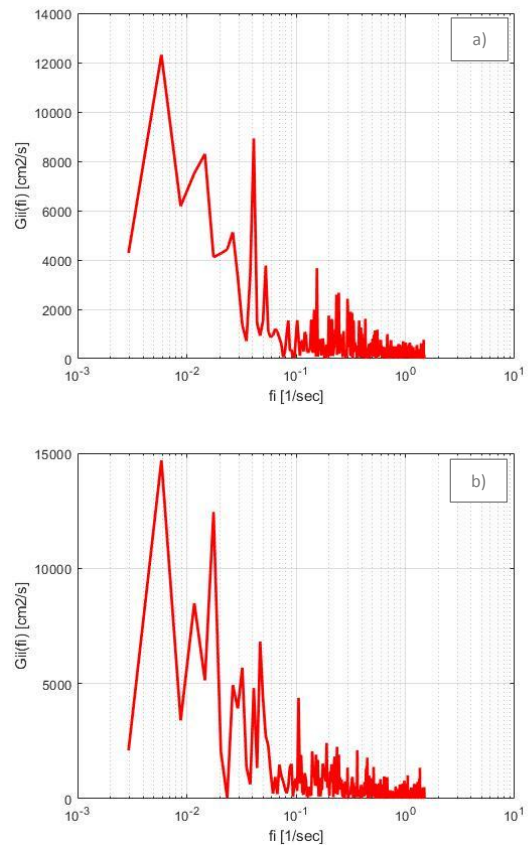


Figura 109.- Vertical 5 Profundidad Media 3,2 m.
 a) Profundidad 1: 1,1 m.
 b) Profundidad 2: 1,6.

Evaluación temporal del comportamiento hidrodinámico del Rio Santa Cruz y Rio La Leona. Provincia de Santa Cruz

En el caso de la vertical 1 debido a la baja profundidad sólo se analizó en una de ellas, resultando en un único pico de energía para 171 segundos, igual que en la vertical 5. Ambas verticales están próximas a las márgenes (derecha e izquierda respectivamente), por lo que este período puede ser característico de fluctuaciones que ocurren debido a la presencia de bancos de sedimentos en la zona de las márgenes. Para la vertical 2 se analizaron tres profundidades, y en todas ellas se ve un pico de energía dominante prácticamente coincidentes, cercano a los 70 segundos. En la vertical 3 también se analizaron tres profundidades, y el pico de mayor energía se da para los 114 segundos. En la vertical 4 los picos se dan entre los 4 y 8 segundos, siendo el de 8 segundos el de mayor energía de todos los espectros (del orden de 30000 cm²/s). Por esta razón, y considerando que la vertical 4 es la que se encuentra más cercana a la capa de corte se toman los 8 segundos como el período característico de la fluctuación en este río. En la Tabla 17 se listan los picos de energía máximos dominantes, con sus correspondientes períodos de fluctuación y energía asociada.

Tabla 17.- Períodos de fluctuación de los picos de energía máximos dominantes.

	Vertical 1		Vertical 2		Vertical 3		Vertical 4		Vertical 5	
V [m/2]	0,14		0,30		0,34		0,98		0,70	
H [m]	1,7		5,7		7,9		8,3		3,2	
Duración [seg]	304		309		320		303		302	
	<i>t</i>	<i>G</i>	<i>t</i>	<i>G</i>	<i>t</i>	<i>G</i>	<i>t</i>	<i>G</i>	<i>t</i>	<i>G</i>
	[seg]	[cm ² /s]	[seg]	[cm ² /s]	[seg]	[cm ² /s]	[seg]	[cm ² /s]	[seg]	[cm ² /s]
h1			335	6994	49	6615	4	22689	171	14690
h2	171	8566	85	17410	114	17030	8	30730	171	12320
h3			68	25710	68	8043	8	7975		
<i>t</i> Máxima Energía	171		68		114		8		171	

4.4 Análisis de estudio de impacto ambiental

4.4.1 Características en la zona de influencia.

Las características topográficas del área de estudio que comprende a los aprovechamientos Cóndor Cliff y La Barrancosa presenta un relieve escalonado desde la cordillera hacia el mar. Tiene grandes superficies amesetadas, pequeños cerros y depresiones, pudiendo alcanzar alturas en la cordillera de aproximadamente los 1.000 m y llegando hasta los 350 y 100 m en la desembocadura del río Santa Cruz.

Morfometría y dinámica del río Santa Cruz: La generación de los dos lagos artificiales (Figura 110) involucra la desaparición total de la morfometría fluvial y la dinámica actual del río Santa Cruz en las secciones que serán inundadas, de tal forma que de los 380 km de longitud que presenta su cauce, aproximadamente 192 km (50% de su recorrido total) se transformará en un cuerpo lacustre. Esta situación significa para estas secciones la anulación de los procesos de erosión, transporte y acumulación fluviales preexistentes. Para las secciones que no serán alcanzadas por la inundación,

Evaluación temporal del comportamiento hidrodinámico del Río Santa Cruz y Río La Leona. Provincia de Santa Cruz

también se esperan cambios en las tasas de erosión y acumulación actuales. Se prevé que el vaso correspondiente a la presa La Barrancosa llegue al pie de la presa Cóndor Cliff, por lo tanto, no quedará entre ambos emprendimientos sección fluvial alguna. Bajo este escenario se considera que desde el cierre de la presa La Barrancosa hasta la cola de la presa Cóndor Cliff, el valle fluvial quedará totalmente inundado a lo largo de 192 kilómetros. Por otra parte, se considera que quedarán dos secciones fluviales sin inundar, la primera de ellas de aproximadamente 9 km de longitud estará situada entre la cola del embalse Cóndor Cliff y la embocadura del río Santa Cruz en el lago Argentino, y otra, más extensa y de aproximadamente 183 km, se localizará entre la presa La Barrancosa y la desembocadura del río en el Océano Atlántico. (Goyenechea, C.).

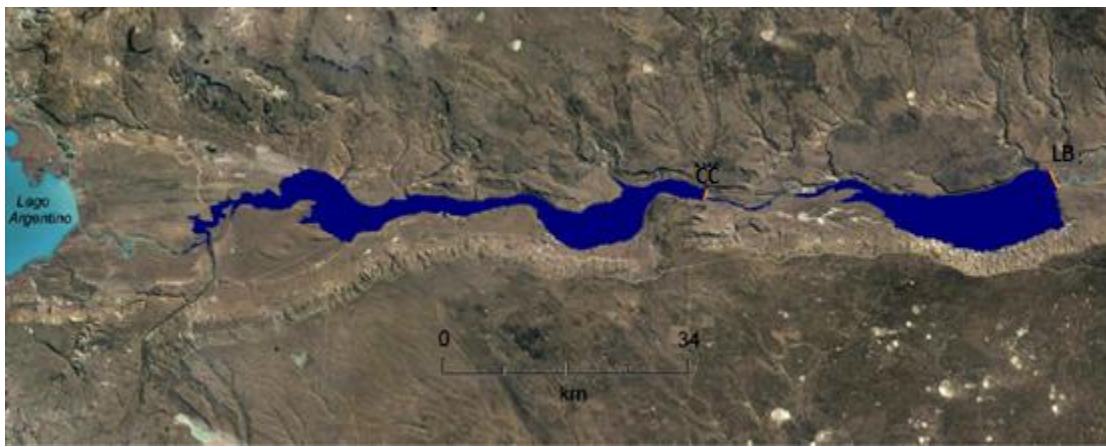


Figura 110.- Embalses vinculados con las presas Cóndor Cliff y La Barrancosa

4.4.2 Principales impactos de las presas y temas evaluados como clave para la toma de decisión.

Llenado del Embalse y Operación: El llenado implicará la pérdida de superficies importantes de unidades del suelo por inundación. Este impacto será de carácter permanente debido a que una vez ocurrida la inundación, el efecto será irreversible. Por lo cual dicho impacto deberá ser compensado. Este impacto acarreará una pérdida de hábitat permanente para la avifauna en las zonas a inundar. Ocurrirá un cambio en la composición de la vegetación circundante, lo cual podría provocar cambios permanentes en la diversidad de mamíferos, favoreciendo la instalación de especies exóticas y provocando cambios en la distribución de la mastofauna nativa.

Durante la etapa de llenado de embalse, que se realizará exclusivamente en los meses de aguas altas en el río (diciembre a abril) los caudales fluviales aguas abajo se modificarán y los valores correspondientes adoptados para el llenado serán aquellos que minimicen o erradiquen los impactos en el estuario.

La profundización e integración del Modelo Hidrodinámico y Sedimentológico del río Santa Cruz junto con otras modelaciones específicas como las del estuario y de las obras de manejo de agua, permitirán conocer con mayor precisión las dinámicas naturales del agua en los más variados escenarios posibles y asegurar su adecuado manejo en las etapas críticas de desvío del río y llenado de los embalses, para asegurar la minimización del impacto sobre sus distintos hábitats y especies.

Evaluación temporal del comportamiento hidrodinámico del Río Santa Cruz y Río La Leona. Provincia de Santa Cruz

El aspecto más crítico vinculado a la ictiofauna, está relacionado con la posible afectación del proceso de migración de peces tanto durante la etapa de desvío como las etapas de llenado y de operación de los embalses. Este impacto se mitigará con el diseño de estructuras (escalas, by pass, canales de derivación y corredores entre embalses). Estas estructuras serán diseñadas de acuerdo con los requerimientos de las especies que resultan de interés especial de conservación, como la lamprea por ser nativa y, la trucha Steelhead, de importancia como recurso pesquero local.

Durante el evento crítico de llenado de los embalses, dicha gestión refinada del agua deberá asegurar tanto una duración como una distribución temporal de los caudales efluentes hacia la cuenca baja y el estuario, que no comprometan las condiciones hidrosedimentológicas, de balance de nutrientes y de intrusión salina, de manera de poder conservar dicho estuario como hábitat preferente de alimentación de especies emblemáticas o en peligro (como el Macá Tobiano, el Cauquén Colorado y la Gallineta Chica).

Afectación de aves con interés en conservación: Existe para la cuenca del río Santa Cruz información sobre aves actualmente en riesgo, sobre las que podría ocurrir un impacto a partir de la instalación de las obras. Esto requiere de la aplicación de medidas de mitigación y compensación adecuadas durante todas las etapas del proyecto. Entre estas medidas se contempla el estudio a largo plazo de estas especies y la creación de áreas de compensación para garantizar su salvaguarda. Estudios especiales relacionados con el Macá Tobiano (Figura 111), hábitos alimenticios, dinámica poblacional, migración, sitios de nidificación, entre otros aspectos. El macá tobiano es una especie de alta fragilidad y es motivo de preocupación por parte del mundo del ambientalismo. Según los investigadores de Aves Argentinas, quedan menos de 800 individuos de esta especie catalogada en peligro crítico de extinción. Esto permitirá definir acciones para garantizar su conservación. Cabe destacar que el contexto de este proyecto representa una oportunidad para ampliar información de la cuenca y de las especies que la habitan, antes no abordada.

Patrimonio natural (paleontológico y geológico) y cultural (arqueológico): La afectación del patrimonio cultural y natural fue identificada como uno de los impactos potenciales de mayor importancia relacionados con la construcción de las obras. Su pérdida puede resultar irreparable de no tomarse las medidas necesarias para su salvaguarda. Estas medidas han sido identificadas a tiempo y se encuentran en ejecución por parte de profesionales en la materia. Adicionalmente a las medidas ya aplicadas o en aplicación (rescate e inventario de los materiales arqueológicos recuperados, protección de sitios identificados como de interés, tareas de capacitación del personal de obra, entre otras)

Principales impactos positivos: la dinamización de la economía local y regional; en particular, en el período de construcción, en materia de generación de empleo y actividades comerciales por la provisión de insumos, áridos, alquileres y servicios para la obra. Por su parte, durante la etapa de operación, la provincia percibirá un ingreso por regalías producto de la venta de la energía generada. Sin duda, la existencia de estos aprovechamientos con fuente renovable, significará un aporte energético de gran importancia para la matriz energética nacional

Definición del caudal ecológico: Existe el compromiso de alcanzar la determinación del régimen de caudales que permita la sustentabilidad de especies críticas, particularmente durante las etapas de desvío del río y llenado de los embalses, previo al inicio de cualquier intervención sobre el río.

Evaluación temporal del comportamiento hidrodinámico del Río Santa Cruz y Río La Leona. Provincia de Santa Cruz

Garantizar el hidrograma de caudales requerido (caudales de sostenibilidad) para cumplir con el requerimiento de disponer del caudal ecológico en estos términos, se adopta como una premisa para todas las etapas del Proyecto.

Desde el punto de vista de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), los resultados obtenidos en uno de los estudios realizados, muestran que la generación de energía eléctrica de ambas centrales, tendrían asociada una emisión específica de 41,88 gCO₂eq/kWh. Si se compara este valor con el factor de emisiones de la red argentina, se puede concluir que la reducción de emisiones que resultará de la construcción y operación de estas centrales será del orden del 91,4% de las emisiones de base.

Otro aporte positivo derivado de la concreción de los aprovechamientos es que su instalación y operación permitirá el desarrollo de una mayor capacidad de generación de energía eólica en la Patagonia.

Finalmente, la continuidad de los monitoreos necesarios y la implementación de medidas compensatorias durante las distintas etapas del proyecto implicarán una considerable ampliación del conocimiento científico de los procesos y ecosistemas de la cuenca del río Santa Cruz, significando un compromiso importante del Estado Nacional para el desarrollo de estas actividades.



Figura 111.- Macá Tobiano. Ave en peligro crítico de extinción

CAPÍTULO V – CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES



***Evaluación temporal del comportamiento
hidrodinámico del Rio Santa Cruz y Rio
La Leona. Provincia de Santa Cruz***

CAPÍTULO V - CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Introducción

En esta práctica supervisada se realizó la evaluación temporal del comportamiento hidrodinámico del río Santa Cruz y La Leona, a través del estudio de la variación estacional de caudal líquido, la construcción de curvas altura de superficie libre–caudal líquido, el análisis del coeficiente de variación de las mediciones, y del análisis experimental de la separación del flujo en una de las secciones de medición. En el presente capítulo se darán las conclusiones obtenidas del trabajo respecto a cada uno de estos enunciados, como así también las recomendaciones pertinentes.

5.2 Conclusiones

Se analizaron en el sistema fluvial un total de 14 campañas de aforo de caudal líquido con instrumental acústico en el periodo comprendido entre octubre 2018 y noviembre 2019, con 2 secciones de estudio sobre el Río La Leona: la naciente aguas abajo del Lago Viedma y su desembocadura en el Lago Argentino y 4 secciones a lo largo del Río Santa Cruz, desde su naciente en el Lago Argentino hasta casi su desembocadura en el océano Atlántico. Luego de analizar la información disponible y los resultados reportados en las diferentes campañas de aforos realizadas, se arribó a las conclusiones mencionadas a continuación.

5.2.1 Respecto a la recopilación de antecedentes

Se pudo recopilar mucha información de uno de los cursos hídricos más importantes de la Argentina, tanto por su caudal como por su potencial hidroeléctrico. Actualmente las obras proyectadas “Cóndor Cliff” y “La Barrancosa” están en etapa de ejecución. En Cóndor Cliff se está terminando el terraplén de cierre, mientras que, en La Barrancosa, más avanzado, el terraplén está prácticamente a cota de coronamiento y se está trabajando en la construcción de la central hidroeléctrica.

5.2.2 Respecto a la metodología de medición

Debido a la particularidad de los ríos analizados, para las mediciones de velocidad del flujo, batimetría y caudal líquido se utilizaron equipamientos con altas resoluciones espaciales como son los Perfiladores de Corriente Acústico Doppler (ADCP). RiverSurveyour S5” para aguas poco profundas, y “Workhorse Río Grande” para aguas con mayor profundidad, que se desempeñaron de forma satisfactoria.

A partir del reprocesamiento de las mediciones de caudal líquido con QRev se determinó que no hubo una diferencia significativa entre los valores reportados en los informes y los reprocesados, siendo la diferencia máxima del orden del 5%. Utilizando este programa se construyeron las matrices de calidad de la medición, las cuales resultaron una forma rápida y sencilla de analizar la medición a través de una clara visualización, reconociendo con claridad cuando los controles de calidad de los datos identificaron un problema que podría tener un impacto significativo en la medición, para reconocer cuáles son los aspectos sensibles en cada sección o condición, con el

Evaluación temporal del comportamiento hidrodinámico del Río Santa Cruz y Río La Leona. Provincia de Santa Cruz

objetivo de mejorar en las campañas siguientes. Por ejemplo, se determinó que la medición de la temperatura del agua con un instrumento independiente es un aspecto a mejorar, así como también esperar el tiempo suficiente para que los sensores estabilicen su temperatura, de manera que no haya una diferencia mayor de 2°C entre el inicio y el fin de la medición. Respecto a la referencia de fondo resultó un aspecto importante para seleccionar el tipo de instrumento: para profundidades mayores a 5 m se debería utilizar el Río Grande, mientras que para profundidades menores se recomienda el SonTek S5. Sin embargo, algunas situaciones particulares hicieron que se use el SonTek S5 para profundidades mayores a las recomendadas, lo que se observó claramente en la matriz de calidad ya que el seguimiento de fondo era de color rojo. Según la sección de medición, las que presentan mayores inconvenientes en las sucesivas campañas fueron La Leona Norte, La Leona Sur y Charles Fuhr.

Del análisis de los caudales medidos se pudieron conocer las variaciones que presenta el sistema fluvial, tanto espacialmente, como así también temporalmente: los máximos caudales coinciden con la temporada de derretimiento de los glaciares (ubicados en la cuenca alta). Para el río La Leona el máximo caudal es de 580 m³/s y corresponde al mes de febrero (campaña 5) y se observó que no hay aportes significantes entre el nacimiento y la desembocadura. En el río Santa Cruz el máximo caudal fue de aproximadamente 1400 m³/s y se midió en abril. Esto refleja el régimen glacial de ambos ríos. En términos generales el río Santa Cruz tiene tres veces más caudal que el Río La Leona. A partir de esto podemos inferir que el promedio de precipitaciones anuales en la zona del cauce del río es muy bajo, minimizando los aportes de agua de lluvia que pueden recibir a lo largo de todo su trayecto.

5.2.3 Respecto a curvas H-Q

Mediante un conocimiento detallado del sistema y a través de la información de campo, se determinaron las curvas de altura de superficie libre-caudal escurrido en diferentes secciones de la cuenca, las cuales permiten obtener valores de caudales escurridos de forma rápida y sencilla en cada una de las secciones a partir de la lectura de la escala. En La Leona Norte y Charles Fuhr las escalas están en secciones estables, son fijas, de datos confiables y hay muchos años de información. En otras secciones, como Cóndor Cliff y La Barrancosa, donde las escalas son de obra, hubo inconvenientes en la lectura por su mantenimiento, algunos tramos se caían, o no eran visibles, y la selección del lugar no fue estudiado para asegurar su permanencia en el tiempo. Por ejemplo, en La Barrancosa la escala se ubica a la salida del canal desviador (en un futuro canal de descarga de los descargadores de fondo y el vertedero), de manera que una vez finalizada la obra la curva H-Q quizás no será representativa.

Las mediciones se ajustan, en la mayoría de los casos, satisfactoriamente dentro del rango +- 10% de la curva H-Q. La Barrancosa es la estación donde mayor se aleja de la curva. Del análisis del nivel de confianza, todas las mediciones realizadas con sus respectivas incertidumbres, se encuentran dentro del intervalo de confianza de 10%.

5.2.4 Respecto al coeficiente de variación

Se realizó el análisis del cambio en los coeficientes de variación de las mediciones (COV) que permitió reconocer posibles fuentes de incertidumbre. Resultó que, aquellas estaciones que presentan mayor porcentaje de COV (mayor heterogeneidad de los valores de la variable) son Leona Sur y Charles Fuhr con valores cercanos a 20% (considerando aceptables mediciones con COV del orden del 5%). Esto puede deberse a la geometría curva característica de dichas secciones. Por esta razón se analizó la presencia de fluctuaciones de baja frecuencia en estas estaciones.

5.2.5 Respecto a las curvas de caudal acumulado

Debido a los altos valores de COV y la geometría en curva se realizaron las curvas de distribución del caudal acumulado de las secciones Leona Sur y Charles Fuhr. En la sección La Leona Sur se encontró una zona de separación del flujo, que genera una recirculación del mismo a una distancia de entre 40% y 60% desde la margen izquierda. En algunas transectas se midió aproximadamente el 80% del caudal líquido en una distancia del 40 % del ancho total, mientras que en otras entre el 60 y 80%. Además, los caudales entre una y otra transecta tenían diferencias del orden del 10% o más. En la sección Charles Fuhr, para todas las campañas el caudal líquido medido es constante y casi nulo al inicio de la margen izquierda. Presentando una zona de recirculación próxima a esta margen.

5.2.6 Respecto al análisis experimental de la separación del flujo en La Leona Sur

Por último, se analizaron los espectros de energía de una de las campañas realizadas en La Leona Sur. Se calculó el período de fluctuación promedio, donde se pudieron analizar 5 verticales, cuando en general en los trabajos de campo se usa solo una, y a su vez en 3 profundidades, pudiendo ver claramente la zona de mayor velocidad e identificar la ubicación de la capa de corte a través de las mediciones. Estando ésta, cercana a la vertical 4 donde se registra el mayor espectro de energía, resultado un período característico de fluctuación en este río de 8 segundos.

5.3 Recomendaciones

Como medidas de recomendación, es importante, dentro de lo posible, continuar con los aforos en las distintas secciones de los ríos La Leona y Santa Cruz en el tiempo, con el objetivo de ampliar la base de datos de los parámetros hidráulicos y permitir un monitoreo más intenso de la calidad ambiental.

Por motivo de que, en los cursos de agua analizados, presentan temperaturas muy bajas, para una mejor precisión en las mediciones de caudal líquido, a la hora de realizar el monitoreo propiamente dicho, lo que se podría hacer es computar la temperatura independientemente o bien, corregir la misma., ya que un error de medición de temperatura resultará un error en la velocidad. En el momento que se introduce el instrumento al agua puede resultar un error por la notoria diferencia entre la temperatura del ambiente con la del agua. Lo que se recomienda es dejar el instrumento en el agua hasta que se estabilice la temperatura del sensor, o en caso de no poderse extrapolar las primeras mediciones de temperatura con la temperatura medida momentos posteriores o bien descartar esas primeras mediciones en las que se observa grandes diferencias.

Evaluación temporal del comportamiento hidrodinámico del Rio Santa Cruz y Rio La Leona. Provincia de Santa Cruz

En algunas estaciones se puede mejorar la calidad medición utilizando el instrumento adecuado para dichas condiciones y sección. Sin embargo, cuando no se dispone del instrumento conveniente, es mejor contar con mediciones que tengan mayor grado de incertidumbre antes que el no dato. En este caso se deben controlar si los perfiles de velocidad del agua extrapolados en la zona no medida es la adecuada, y comparar el orden de magnitud con el caudal calculado con la curva H-Q, o con otras mediciones realizadas en similares condiciones.

Por último, se recomienda que en el caso de flujo en curvas en los que haya presentes fluctuaciones de baja frecuencia, aumentar el número de transectas, para disminuir las incertidumbres y, asimismo realizar un análisis análogo de las demás campañas para así poder ver si se mantiene un pico característico de fluctuación a los 8 segundos o si hay alguna relación con el caudal líquido que escurre por la sección.

5.4 Difusión de resultados

Como manera de difundir los resultados a los que se llegaron en esta práctica, se presentará un artículo técnico en el *IX Simposio Regional sobre Hidráulica de Ríos*, a cargo del Instituto de Recursos Hídricos de la Facultad de Ciencias Exactas y Tecnologías de la Universidad Nacional de Santiago del Estero (FCEyT-UNSE), el Ministerio del Agua y Medio Ambiente de la Provincia de Santiago del Estero y la Secretaría de Desarrollo, Ciencia, Tecnología y Gestión Pública de la Provincia de Santiago del Estero. En el Anexo se pueden encontrar el resumen corto y el resumen extendido presentados para esta convocatoria.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agencia nacional de aguas.** (2014) “Medición de caudal mediante método acústico doppler (ADCP) – Básico”.
- Ardesch, R.** (2014). “Flow Separation in Sharp-Bend-Flow”. M.Sc. thesis. Universiteit Utrecht. Utrecht. Netherlands.
- Barchiesi, G.M.** (2014): “Cuantificación y Caracterización del Escurrimiento Superficial en la Cuenca del Río Carcarañá”. *Trabajo final de la carrera Ingeniería Civil de la FCEfYN, UNC.* Córdoba, Argentina.
- Díaz, Lozada. J.M.** (2014) “Cuantificación y Caracterización del Escurrimiento Superficial en el sistema fluvial del río carcarañá”. *Trabajo final de la carrera Ingeniería Civil de la FCEfYN, UNC.* Córdoba, Argentina.
- Díaz, Lozada. J.M., García C.M.** “Procedimiento de mediciones con ADCP utilizando QRev” Presentación VI simposio. Métodos experimentales de Hidráulica.
- Ebisa.** (2017) Aprovechamientos Hidroeléctricos del Río Santa Cruz. *Estudio de Impacto Ambiental.*
- Ferreira D.** (2019). “Avances en la determinación de las curvas altura de superficie libre – caudal líquido escurrido en los ríos la leona y santa cruz, provincia de Santa Cruz, Argentina”. VI Simposio de Métodos Experimentales en Hidráulica, Paysandú, República Oriental del Uruguay.
- García, C.M., Tarrab, L., Herrero, H., Szupiany, R., Ragessi, I.M, Oberg, K.** (2013). “Incertidumbres en la medición de caudal con ADCP desde plataformas móviles debido a fluctuaciones periódicas de baja frecuencia del flujo” *III Simposio de Métodos Experimentales en Hidráulica, Santa Fe, Argentina.*
- Goyenechea, C.** (2017) EIA Aprovechamientos Hidroeléctricos del Río Santa Cruz (Presidente Dr. Néstor C. Kirchner y Gobernador Jorge Cepernic), Provincia de Santa Cruz.
- Ippen, A. T, Drinker, P. A.** (1962). “Boundary shear stresses in curved trapezoidal channels”. *Journal of the Hydraulics Division*
- Leeder, M.R., Bridges, P.H.** (1975). “Flow separation in meander bends”. *Nature*, Vol. 253
- Mueller, D. S.** (2016) “QRev—Software for Computation and Quality Assurance of Acoustic Doppler Current Profiler Moving-Boat Streamflow Measurements—Technical” Manual.
- Sistema Nacional de información Hídrica** (2018): https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/70_cuenca_rio_santa_cruz_web-min.jpg.

Evaluación temporal del comportamiento hidrodinámico del Rio Santa Cruz y Rio La Leona. Provincia de Santa Cruz

Tarrab, L. (2013): “Incertidumbres en Mediciones de Caudal con Perfiladores de Corriente Acústicos Doppler desde Plataformas Móviles”. *Tesis de Doctorado de la Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de la Universidad Nacional de Córdoba.*

Tarrab, L. Ferrer, Y. Díaz Lozada, J. M. Herrero, H. Olmos, L. Patalano, A. García, C. Rodriguez, A. (2017) “Análisis Experimental de Fluctuaciones del Flujo de Baja Frecuencia en una Curva del Río Suquía” VIII Simposio Regional sobre Hidráulica de Ríos.

Valladares, A. (2004). Ministerio del Interior. Subsecretaría de Recursos Hídricos. <http://www.mininterior.gov.ar/obras-publicas/pdf/70.pdf>

ANEXO

EVALUACIÓN TEMPORAL DEL COMPORTAMIENTO HIDRODINÁMICO DEL RÍO SANTA CRUZ Y RÍO LA LEONA, PROVINCIA DE SANTA CRUZ.

Patricia Häberli¹, Ana I. Heredia Ligorria^{1,2,3}, C. Marcelo García^{1,2}, Ricardo Szupiany⁴, José Manuel Díaz Lozada^{1,2}, Gerardo Hillman¹

¹ FCEfYN, Av. Vélez Sarsfield 1611, Ciudad Universitaria, Córdoba, Argentina.

² Instituto de Estudios Avanzados en Ingeniería y Tecnología (IDIT CONICET/UNC). FCEfYN, Av. Vélez Sarsfield 1611, Ciudad Universitaria, Córdoba, Argentina.

³ Instituto Nacional del Agua, Centro de la Región Semárida (INA-CIRSA), Av. Ambrosio Olmos 1142.

⁴ Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas, Universidad Nacional del Litoral. Ruta Nacional 168 - Km 472.4, Santa Fe, Argentina;
patriciahaberli@gmail.com

RESUMEN

La cuenca del río Santa Cruz es una de las principales cuencas superficiales del sur del país, ubicada en el territorio de la provincia de Santa Cruz. Este sistema fluvial representa, evaluando sus efectos positivos, una potencial fuente de agua para consumo humano, riego y producción hidroeléctrica en la región. Para realizar una adecuada planificación integral del recurso hídrico en esa cuenca es importante realizar un monitoreo detallado de este recurso evaluado su variabilidad espacial y temporal lo que exige un trabajo exhaustivo y permanente de recolección e interpretación de datos.

En este trabajo se presenta la evaluación temporal del comportamiento hidrodinámico en distintas secciones del Río Santa Cruz y uno de sus principales tributarios (Río La Leona), en la provincia de Santa Cruz, para distintos estados hidrométricos. Para ello se realizaron 16 campañas mensuales de monitoreo en el período 2018 – 2020. En estas campañas se utilizó instrumental hidroacústico de precisión, que permite caracterizar los campos tridimensionales de velocidades de flujo y batimetría. En particular se utilizaron dos Perfiladores de Corriente Acústico Doppler (ADCP) con características complementarias: el “RiverSurveyor S5” para aguas poco profundas, de 3000 kHz fabricado por la compañía YSI/Sontek® y el “Workhorse Rio Grande” de 1200 kHz de frecuencia acústica fabricado por Teledyne RDI® que muestra mejor rendimiento en aguas con mayor profundidad. Ambos instrumentos utilizan el efecto Doppler para determinar las velocidades relativas entre partículas en suspensión en el flujo y el instrumento.

Entre los principales resultados reportados en este trabajo se destacan las curvas que relacionan los niveles de superficie libre del escurrimiento (H) y el caudal escurrido (Q) y la evolución temporal de los distintos parámetros hidrodinámicos (velocidades y profundidades medias de flujo, etc.) en las distintas localizaciones de monitoreo. Finalmente se realizan recomendaciones en cuanto al instrumental y las configuraciones de registros óptimas en cada sección de medición para los distintos estados hidrométricos.

Palabras Clave: ADCP, hidrodinámica, Santa Cruz, La Leona

EVALUACIÓN TEMPORAL DEL COMPORTAMIENTO HIDRODINÁMICO DEL RÍO SANTA CRUZ Y RÍO LA LEONA, PROVINCIA DE SANTA CRUZ

Patricia Häberli¹, Ana I. Heredia Ligorria^{1,2,3}, C. Marcelo García^{1,2}, Ricardo Szupiany⁴, José Manuel Díaz Lozada^{1,2}, Gerardo Hillman¹

¹ FCEPyN, Av. Vélez Sarsfield 1611, Ciudad Universitaria, Córdoba, Argentina

² Instituto de Estudios Avanzados en Ingeniería y Tecnología (IDIT CONICET/UNC). FCEPyN, Av. Vélez Sarsfield 1611, Ciudad Universitaria, Córdoba, Argentina

³ Instituto Nacional del Agua, Centro de la Región Semárida (INA-CIRSA), Av. Ambrosio Oñes 1142.

⁴ Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas, Universidad Nacional del Litoral. Ruta Nacional 168 - Km 472.4, Santa Fe, Argentina; patriciohaberli@gmail.com

Introducción

La cuenca del río Santa Cruz es una de las principales cuencas superficiales del sur del país, ubicada en el territorio de la provincia de Santa Cruz. Este sistema fluvial representa, evaluando sus efectos positivos, una potencial fuente de agua para consumo humano, riego y producción hidroeléctrica en la región.

Para realizar una adecuada planificación integral del recurso hídrico en esta cuenca es importante realizar un monitoreo detallado de este recurso evaluado su variabilidad espacial y temporal lo que exige un trabajo exhaustivo y permanente de recolección e interpretación de datos. Es así que en este trabajo se presenta la evaluación temporal del comportamiento hidrodinámico en distintas secciones del Río Santa Cruz y uno de sus principales tributarios (Río La Leona), en la provincia de Santa Cruz, para distintos estados hidrométricos. Para ello se realizaron 14 campañas mensuales de monitoreo en el periodo comprendido entre el 2018 y 2019.

Sitios de Medición

Las secciones donde se realizan las mediciones de caudal líquido son: La Leona Norte (río La Leona) en la desembocadura del Lago Viedma (Lat. 49.807 S y Long. 72.053 O), La Leona Sur (río La Leona) aguas abajo del Lago Viedma sobre la Ruta Nacional N.º 40 (Lat. 50.162 S y Long. 71.986 O), Charles Fuhr (río Santa Cruz) en la desembocadura del Lago Argentino ((Lat. 50.252 S y Long. 71.907 O), Presa Condor Cliff, río Santa Cruz (Lat. 50.217 S y Long. 70.743 O), Presa La Barrancosa, río Santa Cruz (Lat. 50.197 y Long. 70.091 O) y Puente Viejo, río Santa Cruz (Lat. 50.047 y Long. 69.024 O). Ver Figura 1.



Figura 1.- Ubicación de las secciones de medición.

Materiales y Métodos

En estas campañas se utilizó instrumental hidroacústico de precisión, que permite caracterizar los campos tridimensionales de velocidades de flujo y batimetría. En particular se utilizaron dos Perfiladores de Corriente Acústico Doppler (ADCP) con características complementarias: el "RiverSurveyor S5" para aguas poco profundas, de 3000 kHz fabricado por la compañía YSI/Sontek® y el "Workhorse Río Grande" de 1200 kHz de frecuencia acústica fabricado por Teledyne RDI® que muestra mejor rendimiento en aguas con mayor profundidad. Mediante el programa computacional *RiverSurveyor Live*,

se realizó la configuración del registro, la recepción y visualización (en tiempo real y diferido) de los datos para el SonTek S5, mientras que para el Río Grande se utilizó el programa *WinRiver II*. Para el posterior procesamiento se utilizó el programa *QRev*, para poder procesar ambos datos SonTek y TRDI usando algoritmos consistentes y priorizando el uso de los mejores datos disponibles. Con los resultados obtenidos, se analizó la variación del coeficiente de variación (COV) en las diferentes campañas. Luego, para aquellas secciones donde el COV alcanza valores mayores al 10% se realizó un análisis de la distribución del caudal respecto al ancho de la sección.

Resultados

Mediciones de caudal líquido

En la Figura 3 se presentan los caudales líquidos medidos entre octubre de 2018 (campaña 1) y noviembre 2019 (campaña 14). Para el río La Leona el máximo caudal medido es de 580 m³/s y corresponde al mes de febrero (campaña 5). En el río Santa Cruz el máximo caudal fue de aproximadamente 1400 m³/s y se midió en abril. Esto refleja el régimen glacial de ambos ríos, cuyos máximos caudales coinciden con la temporada de derretimiento de los glaciares (ubicados en la cuenca alta). En la Figura 3 y Figura 4 se muestran las curvas H-Q estimadas para el río La Leona y el río Santa Cruz.

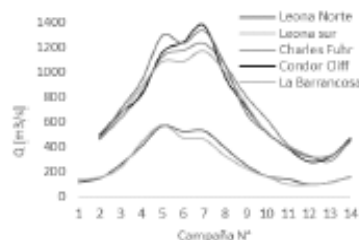


Figura 2.- Caudales medidos en las diferentes campañas

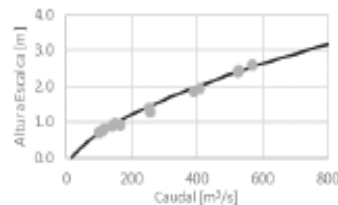


Figura 3.- Curva H-Q estimada para el río La Leona. $Q=91,62 (H+0,37)^{1,71}$. H valor de la escala en La Leona Norte

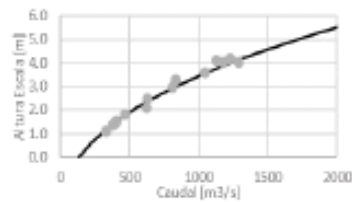


Figura 4.- Curva H-Q estimada para el río Santa Cruz. $Q=14,30 (H+2,60)^{2,36}$ H valor de la escala en Charles Fuhr

Se puede observar en la figura 2 la diferencia entre los caudales medidos en cada campaña. Por ejemplo, para el río Santa Cruz, en la campaña 7 el caudal entre Charles Fuhr y Condor Cliff difiere en 150 m³/s, siendo que se trata del mismo río y sin aportes significativos en el tramo comprendido entre esas secciones.

Para evaluar estas diferencias, que en algunos casos depende del instrumento utilizado (SonTek o Río Grande) y en otros de condiciones locales se analizó el cambio del COV según los caudales medidos. Se muestran a continuación (Figura 5 y Figura 6) aquellas secciones que presentaron mayores diferencias. Para La Leona Norte COV=8% en todas las campañas, igual que para La Barrancosa.

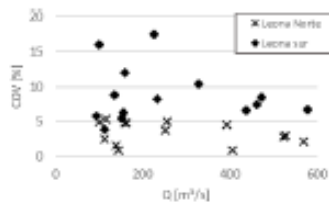


Figura 5.- COV para diferentes caudales, sección Leona Sur y sección La Leona Norte.

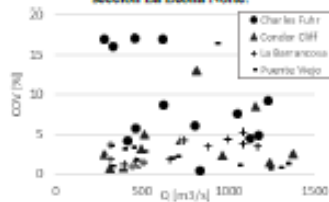


Figura 6.- COV para diferentes caudales. Circulo: Charles Fuhr.

Como se puede observar en las figuras anteriores, aquellas estaciones que presentan mayores valores de COV son "Leona Sur" y "Charles Fuhr" con valores cercanos a 20%. Esto puede deberse a la geometría curva característica de dichas secciones de medición, que, al generar oscilaciones, afectan de manera considerable la incertidumbre en la medición de caudales. Se puede apreciar que en "Leona Sur" para caudales mayores de 400 m³/s, el COV se reduce a menos de 10%, mientras que para "Charles Fuhr", esto se da para caudales mayores de 650 m³/s.

Curvas de distribución del caudal líquido

Para analizar la presencia de fluctuaciones de baja frecuencia, que pueden generar mayor incertidumbre en la medición de caudal (Tarrab, 2013) se realizaron las curvas de distribución del caudal total a lo largo de la sección. En la Figura 7 y Figura 8 se muestran como ejemplo las curvas de caudal distribuido de dos de las campañas de

mayor COV de las secciones Leona Sur (campaña 11) y Charles Fuhr (Campaña 7). Este análisis fue realizado para las 14 campañas.

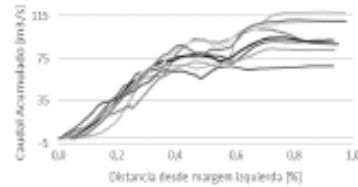


Figura 7.- Curva distribución de caudal líquido de La Leona Sur. Campaña 11, COV=16%.

En la Figura 7 de la campaña 11 (donde se realizaron 8 transectas), se puede ver la gran variación en el caudal total medido entre una y otra transecta, que alcanza diferencias entre el 2 y el 40% respecto al promedio. También se puede observar que en algunas transectas se midió aproximadamente el 80% del caudal líquido en una distancia del 40 % del ancho total, mientras que en otras entre el 60 y 80%.

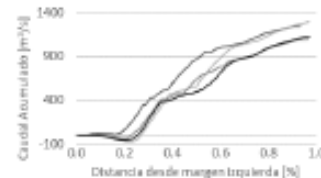


Figura 8.- Curva distribución de caudal líquido de Charles Fuhr. Campaña 7, COV=10%.

En la Figura 8 se puede ver que en el caso de Charles Fuhr (para la campaña 7) el punto donde el caudal es mayor que cero varía hasta 25 % del ancho de la sección entre las transectas, lo que indica la presencia de una fluctuación de la capa de corte entre el flujo efectivo y una zona de recirculación. De manera similar que en el caso de La Leona Sur, el caudal total medido varía entre 1 y 11%. Del caudal líquido promedio.

Conclusiones

Entre los principales resultados reportados en este trabajo se destacan las curvas que relacionan los niveles de superficie libre del escurrimiento (H) y el caudal escurrido (Q) y la evolución temporal de los caudales en las distintas localizaciones de monitoreo.

Se realizó el análisis del cambio en los coeficientes de variación de las mediciones (COV) que permitieron reconocer posibles fuentes de incertidumbre, como por ejemplo, en el caso de la Leona y Charles Fuhr donde la geometría en curva genera fluctuaciones que hacen que los valores de caudal entre una y otra transecta difieran notablemente, lo que implica la necesidad de realizar mayor cantidad de cruces.

Referencias Bibliográficas

Tarrab, L. (2013): "Incertidumbres en Mediciones de Caudal con Perfiladores de Corriente Acústicos Doppler desde Plataformas Móviles". Tesis de Doctorado de la Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de la Universidad Nacional de Córdoba.