



HIDRÁULICA FLUVIAL: PROCESOS DE EROSIÓN Y SEDIMENTACIÓN, OBRAS DE CONTROL Y GESTIÓN DE RÍOS  
Hector Daniel Farias, José Daniel Brea, Carlos Marcelo García (Editores)

Memorias del *Quinto Simposio Regional sobre HIDRÁULICA DE RÍOS*  
Santiago del Estero, Argentina. 2-4 Noviembre de 2011  
ISBN 978-987-1780-05-1 (Libro + CD-ROM)

## **DISEÑO DE PROTECCIÓN EN UN MEANDRO DEL RÍO COLASTINÉ. ESTUDIOS BÁSICOS Y SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS.**

**María Daniela Montagnini y Mario Luis Amsler**

Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas, Universidad Nacional del Litoral (UNL)  
Ruta Nacional 168 - Km 472,4 - C.C. 217 - Santa Fe. Tel. (54) (342) 4575234/39 - Int. 152  
E-mail: [danielamontagnini@yahoo.com.ar](mailto:danielamontagnini@yahoo.com.ar), [mamsler2003@yahoo.com.ar](mailto:mamsler2003@yahoo.com.ar)

### **RESUMEN**

En el presente trabajo se describen los estudios básicos desarrollados para el análisis de una situación de erosiones marginales en una curva pronunciada del río Colastiné, curso secundario orden del Paraná Medio, de patrón meandriforme. Se destaca el análisis morfológico desarrollado a partir de imágenes satelitales, fotografías aéreas y planos batimétricos distribuido a lo largo de un período de varias décadas. A partir de las distribuciones de caudales y erosiones calculadas para la condición de diseño, se plantean dos alternativas para protección de la margen cóncava. Se desarrolla en detalle la aplicación de teoría del régimen para la verificación de un curso impermanente en planicie de inundación que cumpla con la condición de estabilidad dinámica.

### **ABSTRACT**

In this paper basic studies are developed in order to the analysis of marginal scour processes in a close bend in the meandering Colastiné River, secondary arm of the Middle Paraná River. It is made special emphasis in the morphologic treatment over satellite images, photograph and bathimetric planes, along several decades. From the discharge distribution curves and scours estimated in the design condition, two alternatives are proposed to provide protection to the concave margin. It is developed a regimen theory application for a temporary channel in floodplain, and the subsequent verification of dynamic stability condition.

## INTRODUCCIÓN

El río Colastiné es un curso secundario del sistema fluvial del tramo medio del río Paraná. Presenta la morfología típica de un curso meandriforme en toda su longitud, con anchos próximos a los 300 m y caudales para la condición hidráulica de desborde del orden de los 2200 m<sup>3</sup>/s (Ramonell, C. y otros, 2000). Su embocadura se encuentra sobre la margen derecha del curso principal del Paraná, al sur del eje imaginario que une la traza del Arroyo Leyes -en el lado santafesino- con Cerrito -en la ribera entrerriana-, en el km 635 de la ruta de navegación Hidrovía Paraguay - Paraná – Plata; su desembocadura se localiza a la entrada del Canal de Acceso al Puerto de Santa Fe (Figura 1).

Junto con el San Javier y el Coronda, el Colastiné se define como cauce de segundo orden en el tramo medio del Paraná, dadas sus morfologías e hidráulica fluvial con capacidad de generación de planicies de inundación diferenciadas de la del Paraná, dentro de la cual se inscriben sus trayectorias. En la dirección del escurrimiento, la planicie de inundación del Paraná registra pendientes del orden de  $10^{-5}$  a  $10^{-4}$ , pero se destaca un quiebre en el eje transversal materializado en el Arroyo Leyes, al sur del cual la planicie modelada por el Colastiné está 1 m (o más) por encima de los terrenos ubicados al norte del Arroyo Leyes.

La principal fuente de provisión de agua proyectada para la ciudad de Santa Fe está ubicada sobre este río. Parámetros de diseño del acueducto indican para el año 2022: abastecer a 523280 habitantes, dotación de 350 l/hab.día, y caudal de diseño de 210254 m<sup>3</sup>/día. La calidad del recurso es marcadamente superior a la de la toma sobre laguna Setúbal.



**Figura 1.-** Ubicación general y toponimia de la zona. Se destacan embocadura y desembocadura del Río Colastiné (círculos azules), del Arroyo Ubajay (cuadros amarillos), y zona de proyecto (óvalo rojo).

Fuente: <http://www.flashearth.com/?lat=-30.792595&lon=-64.341359&z=8.8&r=0&src=nasa>

En la década del '90, se construyeron el actual acueducto Colastiné–Santa Fe (destruido por la gran crecida de 1982-'83) y terraplenes de defensa de los poblados de la zona (que registran sostenido proceso de incremento poblacional) para impedir el ingreso de las aguas en épocas de crecida del propio Colastiné y de la laguna Setúbal (FICH, 1998). En el sector, el terraplén denominado Garelo presenta su traza muy próxima a la margen cóncava del meandro del río Colastiné (Figura 1), donde se registran las máximas profundidades.

Su cota de coronamiento (17,50 m IGM en sector Garelo) es suficiente para soportar niveles de crecidas con recurrencia similar a la de 1982-'83 (nivel de agua máximo registrado de 16,58 m IGM) combinada con vientos de intensidad y duración con recurrencia de 5 años, que generan oleaje con altura de ola de aproximadamente 0,80 m, más 0,20 m de trepada.

La recopilación y análisis de antecedentes, que incluyen siete relevamientos batimétricos de inspección del estado de taludes y las erosiones en la margen cóncava del Colastiné (DPOH, 2002), en conjunto con las observaciones efectuadas en la campaña de mediciones en 2007,

permitieron comprobar que los procesos erosivos de la margen derecha se encuentran activos y alcanzan magnitudes superiores a las deseables. Dado el alto valor de las obras de toma del acueducto y terraplén de defensa y su importancia estratégica para el desarrollo de la región, se planteó la necesidad de evaluar el daño eventual que provocaría su colapso para la población y estructuras asentadas en las áreas protegidas por el anillo de defensas y abastecidas por el acueducto.



**Figura 2.-** Situación de la margen derecha, aguas arriba de la toma del Acueducto. Fotografía tomada en julio de 2007.

## **OBJETIVOS**

En este trabajo se describen el análisis morfológico de evolución del meandro donde se sitúan estas obras, los estudios básicos necesarios para la cuantificación de los procesos, y se plantean dos alternativas de solución técnica para garantizar la vida útil de las obras, en las condiciones para las que fueron diseñadas.

Se efectúa la actualización de la descripción del estado del sistema, la evaluación de la geomorfología y dinámica del tramo, y a partir de las erosiones calculadas para la condición de diseño, se presentan dos alternativas. Ellas son:

- A. Protección de la margen cóncava de la curva con capa de filtro y coraza; tecnología propuesta: bloques de hormigón vinculados a manta flexible.
- B. Derivación parcial de caudales del Colastiné mediante reactivación de alguno de los cauces menores sobre su margen izquierda.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

La metodología de trabajo desarrollada contempló las siguientes acciones:

- ◆ Reconocimiento del lugar, entrevista a vecinos con viviendas en el área de interés. Relevamiento fotográfico.
- ◆ Recopilación de antecedentes y bibliografía específica.

- ◆ Entrevistas con personal de reparticiones públicas y empresas privadas vinculadas con la zona del proyecto
- ◆ A partir del análisis de relevamientos batimétricos antecedentes, cartografía, fotografías aéreas e imágenes satelitales del sector, estudio de la tendencia de evolución morfológica del tramo, cuantificando los corrimientos del thalweg, identificando en planta zonas de erosión de márgenes o depositación de sedimentos, y evolución (jerarquización o cegamiento) de cursos secundarios en el área del meandro en estudio y planicie aluvial adyacente en margen izquierda. Se procuró identificar singularidades morfológicas con susceptibilidad diferencial a la erosión, que pudieran ser relevantes en el comportamiento futuro del sector.
- ◆ Expresión de la totalidad de imágenes y cartografía, originariamente en diferentes sistemas de coordenadas, en sistema Gauss-Krüger WGS 84, para la referenciación.

Se utilizaron alineaciones y puntos de control, de coordenadas conocidas, materializados en el terreno e inamovibles con el tiempo (estructuras de puentes, cruces de calles, etc.) entre las distintas imágenes. Dado que la mayor parte de esos puntos se localizan en la alineación NE-SO, sobre la mitad superior de las imágenes, se complementaron con puntos asociados a morfologías naturales de planicie de inundación, cuya estabilidad morfológica en planta pudo certificarse en el proceso comparativo de imágenes (vértices en márgenes de lagunas de tipo espira de meandro, líneas de márgenes de cursos secundarios inactivos en planicie de inundación, margen del curso Tiradero Viejo).

Mediante el proceso comparativo de los puntos de control se logró determinar un error máximo de 19 m (sobre el borde de las imágenes, lejano a la zona de proyecto) y prácticamente de 0 m en las márgenes curvas de cursos secundarios y cuerpos lagunares, en el centro de las imágenes. Es decir: como habitualmente ocurre, los errores en los bordes son atribuibles a deformaciones de las fotografías aéreas, a la diferencia de resolución de las imágenes tratadas, a diferentes procesos de tratamiento de las imágenes de satélite, y no al proceso de referenciación y homologación del sistema de coordenadas descripto.

Respecto a la determinación de corrimientos de líneas de márgenes, debe destacarse que su ubicación en planta estará condicionada por la magnitud de los desniveles topográficos en las riberas y el estado hidrométrico del sistema durante el relevamiento de campo o captura de imagen (situación que fue tenida en cuenta al seleccionar imágenes correspondientes a condición previa al desborde del Colastiné). La existencia de albardones o desarrollo de vegetación arbórea materializarán una margen fácilmente identificable, en tanto que ambientes bajos y anegadizos, o presencia de vegetación flotante o gramínea dificultarán la visualización de la línea de margen.

Los mapas batimétricos no suelen considerarse para tratamiento de líneas de margen por desconocerse las distancias a las márgenes desde los puntos más cercanos a ellas medidos desde embarcación. Esta situación sólo se resuelve en caso de contar con una vinculación del mapa batimétrico a un relevamiento topográfico de márgenes.

- ◆ Se efectuó un relevamiento batimétrico, sedimentológico y aforo líquido del tramo, para caracterizar la condición actual del sistema.
- ◆ Se analizó el comportamiento hidrológico del sistema a partir de antecedentes disponibles, para definir las condiciones de diseño con las solicitaciones máximas y mínimas a que estaría sometida la obra a proyectar.

- ◆ Con la descripción del funcionamiento fluvial, considerando geotecnia, hidrología, hidráulica y evolución en planta del tramo, se analizaron las dos alternativas mencionadas. Utilizando las herramientas de diseño conocidas se analizó la factibilidad técnica de cada alternativa (método de Pilarczyk para cálculo de diámetro nominal de la protección, criterios de permeabilidad y retención para selección de prefiltro, en el caso de protección de margen; identificación y diseño hidráulico preliminar de la capacidad de conducción de posibles vías secundarias de derivación de caudales, análisis cualitativo de su comportamiento futuro en relación con el cauce principal, dragados de adecuación del canal, en el caso de derivación de caudales).
- ◆ Se analizó la incidencia sobre aspectos socio-ambientales de las alternativas evaluadas, mediante aplicación de evaluación multicriterio, combinando las dimensiones técnica, económica y socio-ambiental.

## **ESTUDIOS BÁSICOS REALIZADOS**

### **Relevamiento hidráulico y sedimentológico.**

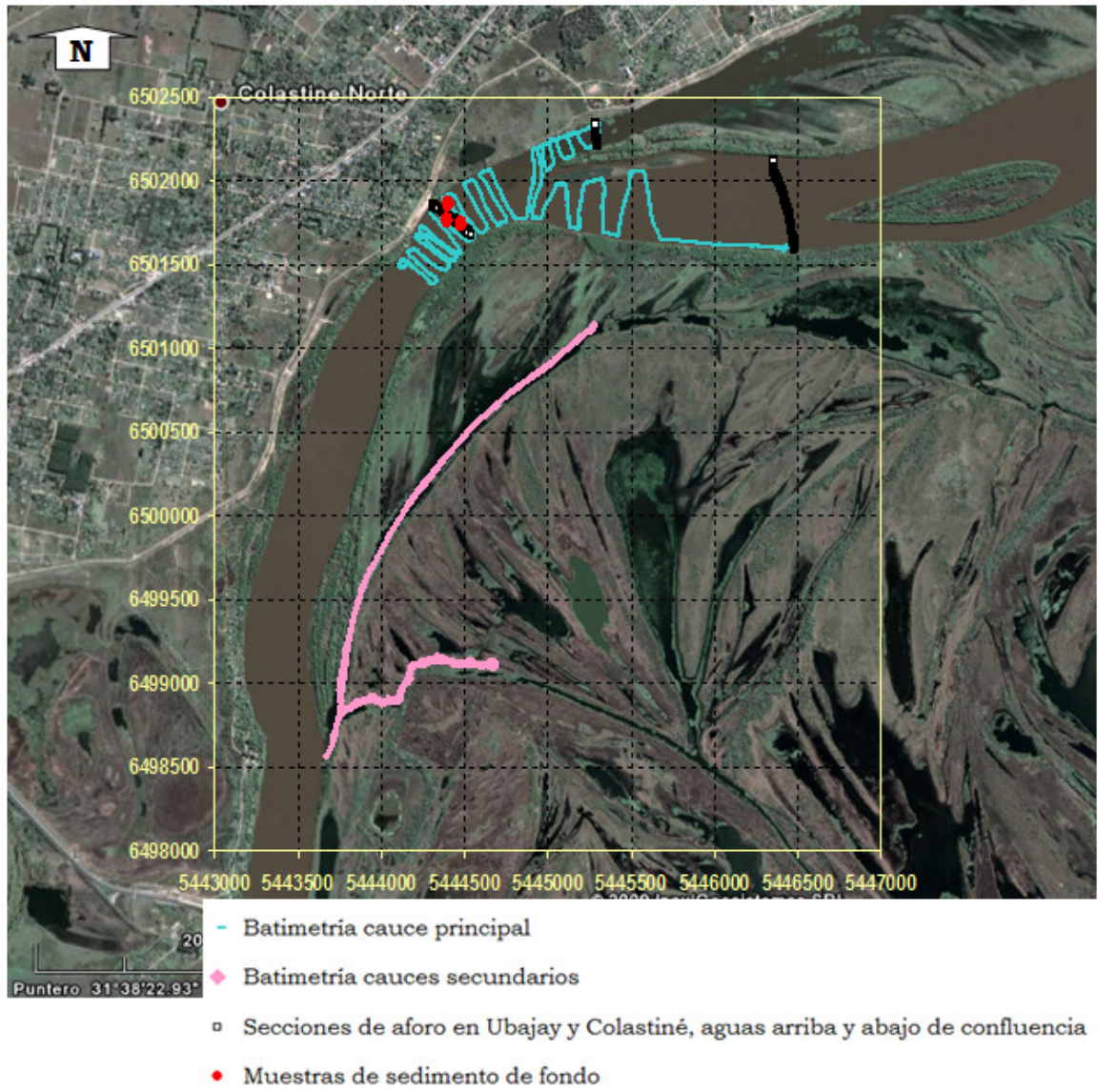


Figura 3.- Ubicación planimétrica de la información básica. Sistema de coordenadas Gauss-Krüger.

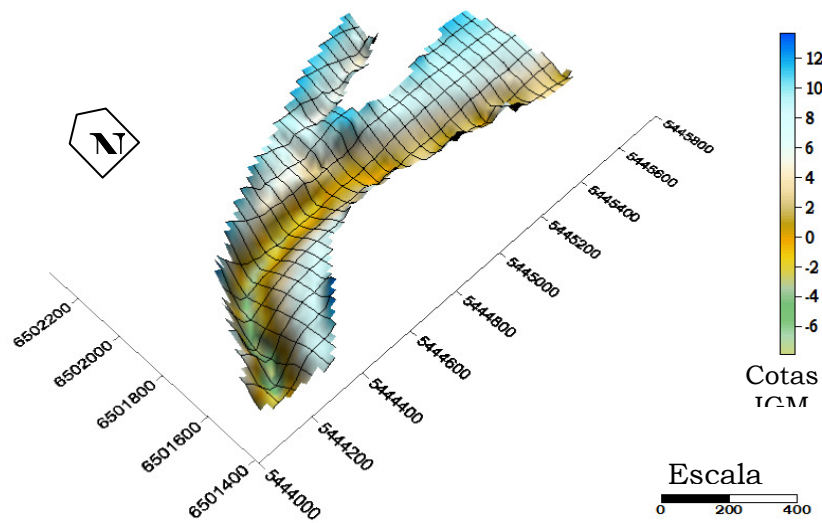


Figura 4.- Croquis de batimetría del sector en estudio.

Fecha 14 de mayo de 2007.

Lectura hidrométrica: 4,17 m (SNRH, 2007).

Cota de la superficie del agua: 13 m I.G.M. en escala hidrométrica.

Se consideró efecto de pendiente de la superficie libre del agua para trasladar esa cota hasta la zona de proyecto. Para la condición hidrométrica de ese momento, se aplicó una pendiente media de  $3,25 \cdot 10^{-5}$  (3,25 cm/km) (SERNAH-INCYTH, 1974), dando para el inicio de la zona de proyecto cota de superficie de agua de 13,14 m I.G.M.

En la sección de aforo (Figura 5) se observa la concentración de las mayores velocidades (1,5 m/s) en el centro de la sección, con tirantes que no superan los 12 m; no se producen sobre el lado externo de la curva como podría esperarse (con las máximas profundidades de 18 m y velocidades sólo de 0,50 m/s a 0,70 m/s). Es decir: máximas velocidades no se asocian necesariamente a máximas profundidades (thalweg). La condición de aguas medias y en bajante en la que se efectuó la medición, en conjunto con un eventual efecto de los caudales provenientes del Ubajay, serían los factores que explican esta situación.

**Tabla 1.-** Verificación de continuidad de caudales medidos en el tramo de proyecto.

Arroyo Ubajay		Río Colastiné		Combinaciones posibles	
Transecta	$Q_{Ub}$ (m <sup>3</sup> /s)	Transecta	$Q_{Col}$ (m <sup>3</sup> /s)	$Q_{Ub} + Q_{Col}$ (m <sup>3</sup> /s)	Error respecto de $Q_{promedio} = 2300 \text{ m}^3/\text{s}$ (%)
1	174,46	1	2055,55	2230,01	-3,0
				2262,85	-1,6
2	207,30	2	2131,47	<b>2305,93</b>	<b>0,3</b>
				2338,77	1,7



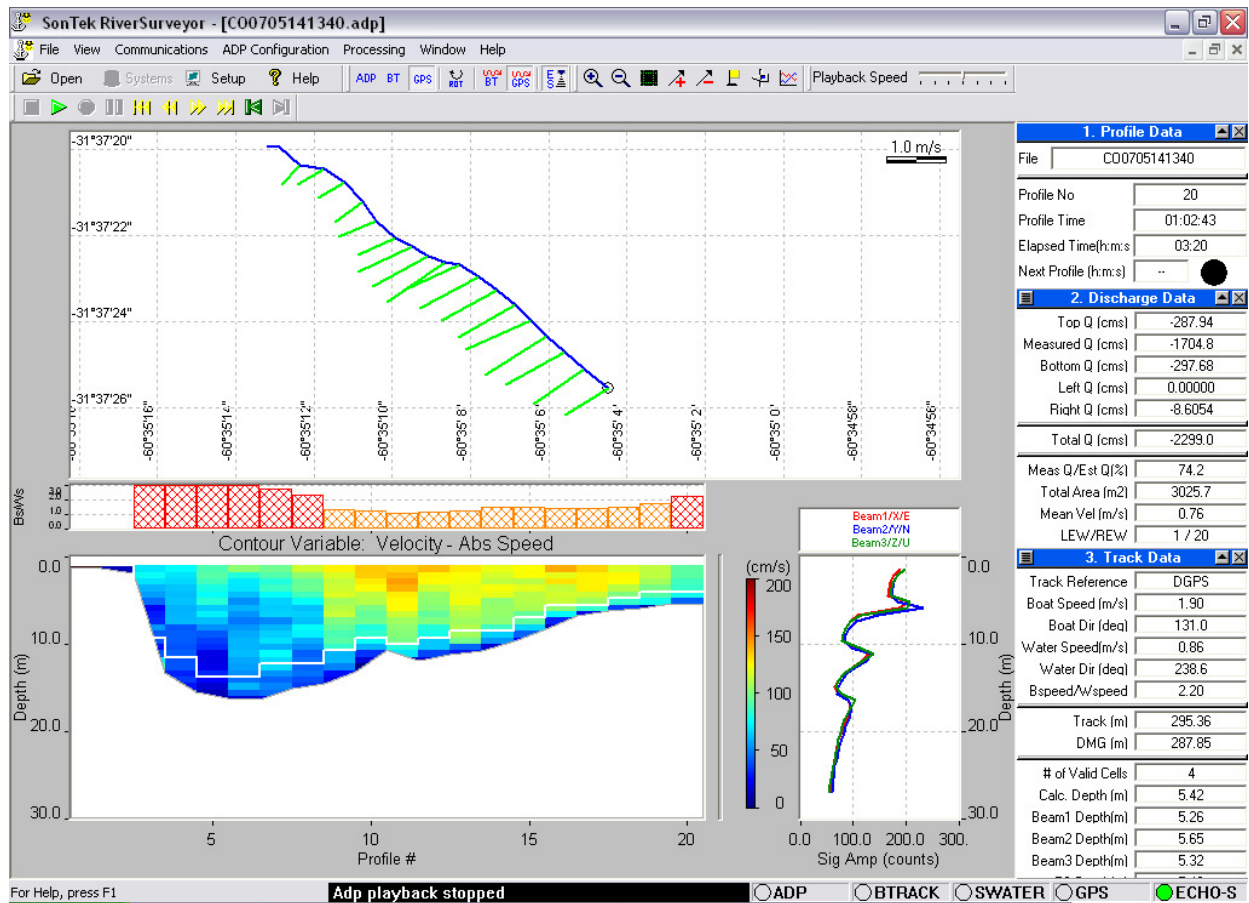


Figura 5.- Sección transversal 5. Sentido de navegación: margen derecha a margen izquierda.  $Q_{total} = 2299,1 \text{ m}^3/\text{s}$   
 Captura de pantalla de software para medición de caudales “River Surveyor Sontek”

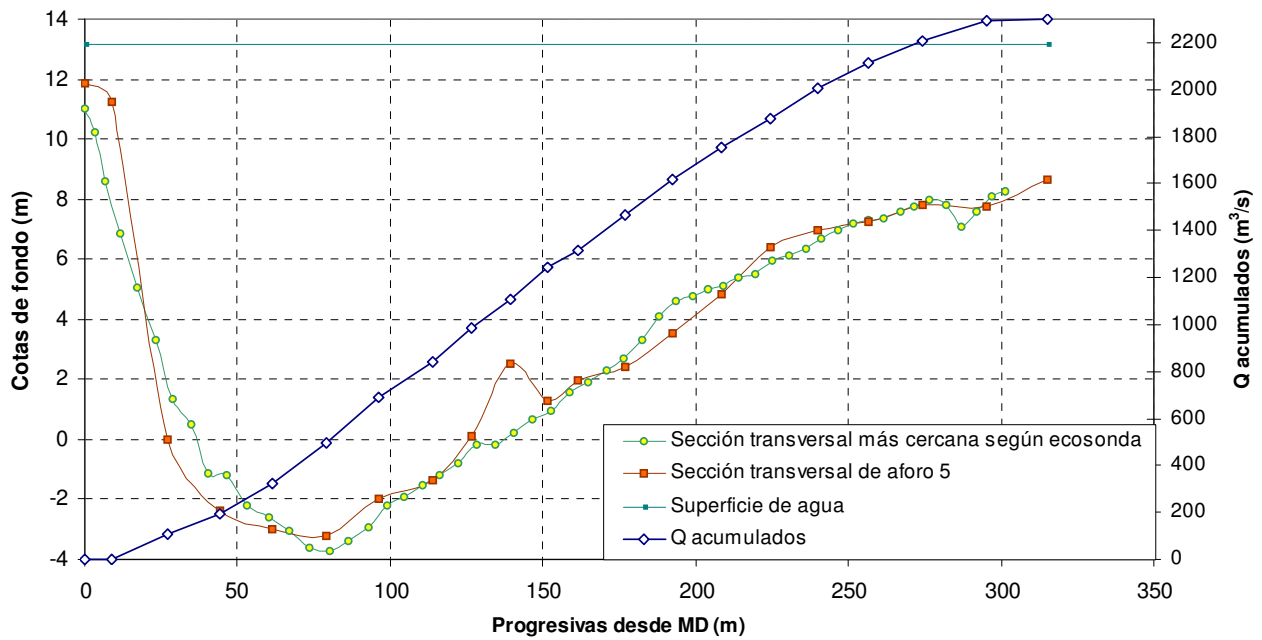


Figura 6.- Distribución transversal de caudales en río Colastiné, aguas abajo de la confluencia con el arroyo Ubajay. Sección transversal de aforo 5 (Figura 3).

**Tabla 2.** - Caracterización de muestras de sedimentos del fondo.  
Fecha: 14-05-2007. Lugar: sección de aforo en río Colastiné.

Muestra	Localización	$d_{16}$ (mm)	$d_{50}$ (mm)	$d_{84}$ (mm)	$\bar{d}$ (mm)	$\sigma_g$
1	cercana a MI	0,56	0,35	0,205	0,34	1,65
2	centro	0,50	0,34	0,25	0,35	1,41
3	cercana a MD	0,41	0,30	0,18	0,27	1,51

$d_{84}$  Diámetro (expresado en mm) respecto del cual el 84% en peso de muestra presenta diámetros mayores.

$\bar{d}$  Diámetro medio de la distribución granulométrica obtenido con la expresión de Inman.

$\sigma_g$  Desviación estándar de la distribución, obtenida con la expresión de Inman.

### **Análisis de aspectos morfológicos.**

Mediante el tratamiento de cartografía antecedente y actualizada de propia producción, fotografías aéreas e imágenes satelitales para el periodo 1942-2009, se estudió la evolución morfológica del tramo (en la zona de confluencia del río Colastiné y el arroyo Ubajay), a partir de las posiciones relativas de líneas de márgenes e isóbatas de 0 m, 5 m, y 10 m (referidos al cero del hidrómetro local), para condiciones hidrológicas equivalentes; como resultado se determinaron valores netos de recrecimiento o degradación.

Se describió cualitativamente la dinámica hídrica del sector.

La relación R/B (R: radios de curvatura, B: anchos de cauce) ha adoptado valores decrecientes hasta el actual, menor que 3 (Montagnini y Amsler, 2007), con lo que se define el meandro como de curvatura pronunciada.

Las imágenes se seleccionaron por su buena definición, para alturas hidrométricas similares, separadas en un período de tiempo que comprende las tres crecidas más importantes de las últimas décadas en el sistema Paraná Medio, que habrían influido en los cambios morfológicos en el sector: 1982-'83, 1992 y 1998. Las imágenes se referenciaron en coordenadas Gauss Krüger, sistema de referencia WGS 84, proyección UTM. Permiten apreciar detalles necesarios para cuantificar corrimientos de márgenes del orden de metros. El resultado de este procesamiento se presenta en Figura 7.

**Tabla 3.-** Imágenes seleccionadas para análisis morfológico.

Fecha	Escala o resolución	Tipo de imagen	Tramo	$H_{Col}$ (m) ( <sup>1</sup> )	Soporte	Estado hidrométrico	Sistema coord./ Sistema de referencia
07-Nov-1974	Esc. 1:20 000	Fotografía aérea restituida	de interés	2,03	Digital	Aguas bajas	Gauss– Krüger/ Campo Inchauspe
Dic-1993 a Ene-1994	Res. 10m x 10m	Imagen SPOT pancromática	de interés	3,39 ( <sup>2</sup> )	Digital	Aguas medias, previo a desborde	Gauss–Krüger / WGS 84
10-May-2009	Resolución aprox 5mx5m	Imagen satelital Digital Globe 2009	de interés	1,75	Digital	Aguas medias, previo a desborde	Geográficas / WGS 84

(<sup>1</sup>)  $H_{Col}$  es la lectura en el hidrómetro local, en puente de RN 168 sobre el río Colastiné, aproximadamente 4400 m aguas abajo de la zona de proyecto.

(<sup>2</sup>) valor medio del mes.

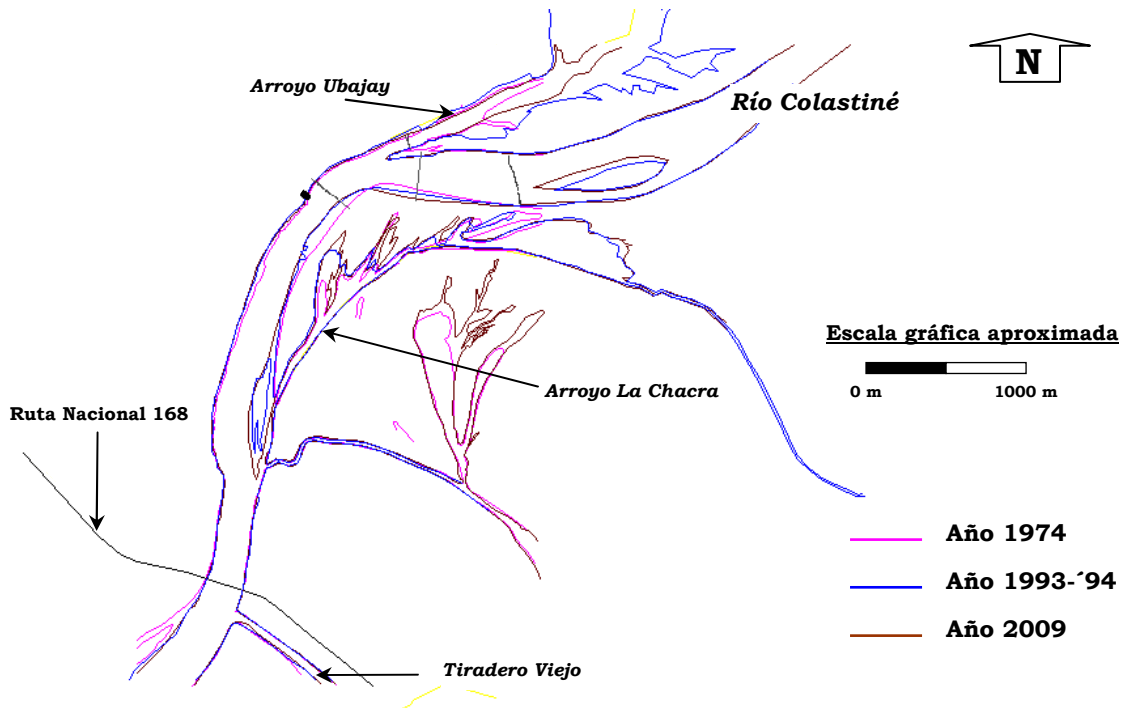
**Tabla 4.**– Mapas batimétricos disponibles y analizados en el área de proyecto.

Fecha	Escala	Tipo de documento	Tramo	Fuente	Sistema de coordenadas
1970	1:10 000	Plano batimétrico de detalle	Confluencia Colastiné-Ubajay a aguas abajo puente RN 168	DNCPyVN, 1970	MOP
1972	1:2 000	Plano batimétrico	Aguas arriba de confluencia entre Colastiné y Ubajay	DNCPyVN, 1972	MOP
1973	1:2 000	Plano batimétrico	Aguas arriba de confluencia Colastiné-Ubajay hasta tramo en estudio	DNCPyVN, 1973	MOP
1993	1:5 000	Plano batimétrico	Sector de proyecto	CRL-INCyTH, FICH-UNL, 1993	MOP
1993	1:5 000	Planos comparativos de isóbatas de 0 m, 5 m y 10 m respecto del hidrómetro en puente de RN 168. Incluye cartografía de 1942	Tramo confluencia Colastiné-Ubajay a puente RN 168	CRL-INCyTH, FICH-UNL, 1993	MOP
2007	1:5 000	Plano batimétrico (su ejecución se describió en Capítulo 3)	Relevamiento del sector de proyecto y curso secundario sobre margen izquierda	Producido para este proyecto	Gauss-Krüger / WGS 84

### **Análisis morfológico de evolución de líneas de márgenes.**

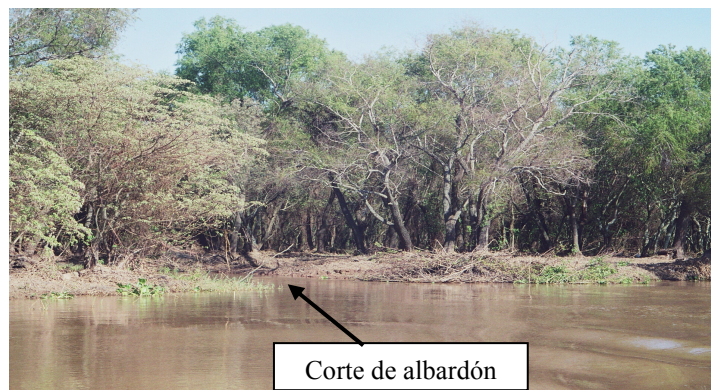
En Figura 7 se presenta la evolución de líneas de márgenes de curso principal, islas y cursos secundarios en base a los tres años analizados. Se identifican:

- a) el recrecimiento hacia aguas abajo de la isla formada entre el Ubajay y el Colastiné, el con adosamiento de banco lateral hacia el centro del Colastiné (indicio de la posición sobre margen izquierda del thalweg aguas arriba de la confluencia con el Ubajay, Figura 4).
- b) El incremento de superficie del islote próximo a margen izquierda del Colastiné, aguas arriba de su confluencia con el Ubajay, hacia aguas abajo y hacia el centro del curso. No se observa tendencia a potencial adosamiento a la margen izquierda por cegamiento del brazo menor, ya que los anchos de éste han permanecido inalterados; la estabilidad de este brazo menor podría atribuirse al tramo recto de 3000 m de longitud aguas arriba del islote, situado en la margen cóncava de una curva muy suave. En la cartografía de 1970 ya se observaba el thalweg en este brazo de menor ancho entre el islote y la margen izquierda. El crecimiento del islote hacia aguas abajo ha sido de 221 m en el período 1993-2009, a una tasa de 13,8 m/año, mayor que la de la isla del Rincón (item a)) para el mismo período (1,9 m/año), sumada a la disposición de los depósitos de sedimentos, ratifican la ubicación del thalweg en el brazo sobre margen izquierda, y el rol del Ubajay en el control de la evolución de la confluencia.
- c) En asociación con lo expresado en b), la degradación de margen izquierda del Colastiné en un tramo de 1600 m de longitud aguas arriba del ápice de la curva, por aproximación del thalweg, del orden de 110 m para todo el período, con valores del orden de 50 a 60 m para el período 1974-1993, y tasas de erosión medias de 3,5 m/año. La regularidad del proceso indicaría su independencia respecto de la gran crecida de 1982-'83, pudiendo atribuirse sólo a la evolución del meandro.



**Figura 7.-** Comparativo de márgenes años 1974, 1993-'94 y 2009. Condición de aguas medias, previa al desborde.

Este proceso erosivo de la margen izquierda contribuiría a facilitar el trasvase a cursos secundarios de parte del caudal (Figura 8), que no presentan flujo para condiciones hidrométricas inferiores a la de desborde, pero se constituyen en vías secundarias de escurrimiento una vez superado ese nivel. El albardón, si bien se observa consolidado por vegetación arbórea (incipiente en 1974, plenamente desarrollada en 2009), tiene sectores deprimidos aprovechados por los lugareños para mantener el acceso a las lagunas en la planicie de inundación aledaña.



**Figura 8.-** Rebaje de albardón en margen izquierda del Colastiné, conexión con cursos menores en planicie de inundación.

- d) Recrecimiento de margen izquierda del Colastiné aguas abajo del ápice de la curva, margen convexa, por adosamiento de banco y colonización con vegetación arbustiva, ganando un ancho emergido que crece gradualmente en la dirección del flujo, llegando a un máximo de 140 m sobre el cauce principal; tiene 1400 m de longitus, y se desarrolló en el período 1974-1993 (depósitos de arenas, atribuibles a la crecida 1982-'83).

- e) Como resultado de los procesos descritos en c) y d), el ápice de la margen convexa de la curva se ha desplazado 230 m en la dirección de la corriente.
- f) Retroceso de la margen derecha del Ubajay y Colastiné, limitado por estructuras como el terraplén, viviendas o la antigua toma. Se presentan dos sectores diferenciados por la existencia de una saliente pronunciada en la ribera (FICH, 1995), 85 m aguas abajo del actual muelle de toma: el retroceso se ha mantenido restringido para el sector estudiado, siendo mucho más pronunciado aguas abajo de la saliente. Se observa en Figura 7 que la geometría en planta de la margen no ha cambiado apreciablemente en el sector de la toma para el período 1974-2009.

En promedio el corrimiento de la margen cóncava es del orden de 15 a 20 m aguas arriba de la saliente; de 33 m, 400 m aguas abajo de esa saliente, llegando a 80 m, 800 m aguas abajo, ya fuera de la zona de proyecto (valores totales para el período 1974-2009).

- g) Formación de un depósito de sedimentos en la desembocadura del curso sobre planicie de inundación Arroyo La Chacra (cuya embocadura en el Colastiné aguas abajo del islote descrito en b) también se encuentra parcialmente obstruida); este depósito de sedimentos provocado por el Colastiné desarrolló durante la crecida de 1982-'83 un banco de 1000 m de largo y 150 m de ancho máximo, cegando el brazo menor del Colastiné. Este banco continuó incrementando la superficie emergida después de aquella crecida, adosándose a margen izquierda en los primeros 500 m entre 1994 y 2009 (hasta la desembocadura de 1974 del arroyo La Chacra), y creciendo hacia el sur a una tasa de 17 m/año para este período (la mayor tasa de sedimentación del sector). Este proceso prolongó la longitud del arroyo 840 m, desplazando hacia el sur su desembocadura, y llevó el ancho del Colastiné de 622 m a 382 m para una misma sección transversal, entre 1974 y 2009.
- h) En la margen derecha del Colastiné, en la longitud de desarrollo del banco analizado en g), se produjeron retrocesos de 20 m, asociados con la reducción de anchos del sector. Tal proceso erosivo se produjo entre 1974 y 1993, siendo prácticamente nulo desde entonces al presente. El retroceso de la margen, en suave curva, termina en una saliente ubicada frente a la actual desembocadura tapada del arroyo La Chacra, que estaría controlando el comportamiento del thalweg aguas abajo (cruza de margen derecha a izquierda pudiendo limitar el desarrollo hacia el sur del banco descrito).
- i) Estabilidad en planta de los cauces secundarios en la planicie de inundación, propios de un paisaje antiguo cuya génesis es atribuible a la dinámica del mismo río. Se activan durante las crecidas; el resto del tiempo permanecen estables, con agua permanente que facilita el desarrollo de vegetación flotante, insuficiente para lograr su cegamiento; se desprende durante las crecidas, cuando se registrarían velocidades de escurrimiento suficientes para derivar una fracción (a establecer) de caudal del curso principal.
- j) Las lagunas también mantienen su geometría en planta, sufriendo idéntico proceso de colonización con vegetación flotante.

En términos generales, entre la primera y la segunda imagen (de 1974 y 1993-'94) puede identificarse el corrimiento de márgenes atribuible a la crecida extraordinaria 1982-'83, cuya duración fue suficientemente larga para producir cambios en el ancho de los cursos activos,

incluso la incipiente jerarquización del Ubajay. Mientras que entre la segunda y la tercera imagen analizadas (1993-'94 y 2009), se visualiza un corrimiento de márgenes de menor magnitud; en este período se destacan dos crecidas de consideración por el valor de su caudal pico (1992 y 1998), pero no con la duración de la de 1982-'83, y por lo tanto con efectos morfológicos no tan pronunciados como los de aquella.

Los cambios morfológicos en planta observados se han explicado fundamentalmente por la acción de las grandes crecientes del Paraná en las décadas de 1980 y 1990, en especial la de 1982-'83. Si bien esa crecida, por su larga duración, ha producido efectos morfológicos en el sistema que han perdurado en el tiempo en los cauces de mayor jerarquía, empezando por el propio Paraná, las variaciones de su forma en planta (y también su profundidad) están estrechamente asociadas al “caudal efectivo” (Amsler y otros, 2005). Aunque la determinación de este caudal incluye a las crecientes, su magnitud es notoriamente menor y su frecuencia mucho mayor (Biedenharn, D.S. y otros, 1999). Antes y luego de las crecientes, el caudal efectivo habría modelado las características salientes del cauce descriptas.

### Análisis morfológico de evolución de isóbatas de 0, 5 y 10 m.

El mismo análisis y criterios descriptos para evolución de líneas de márgenes se aplicó a los mapas batimétricos de 1942, 1970, 1985 (DNCPyVN), 1993 (todos ellos tomados de CRL-INCyTH, FICH-UNL, 1993) y 2007, con el objeto de identificar corrimientos de las isóbatas de 0, 5 y 10 m de profundidad.

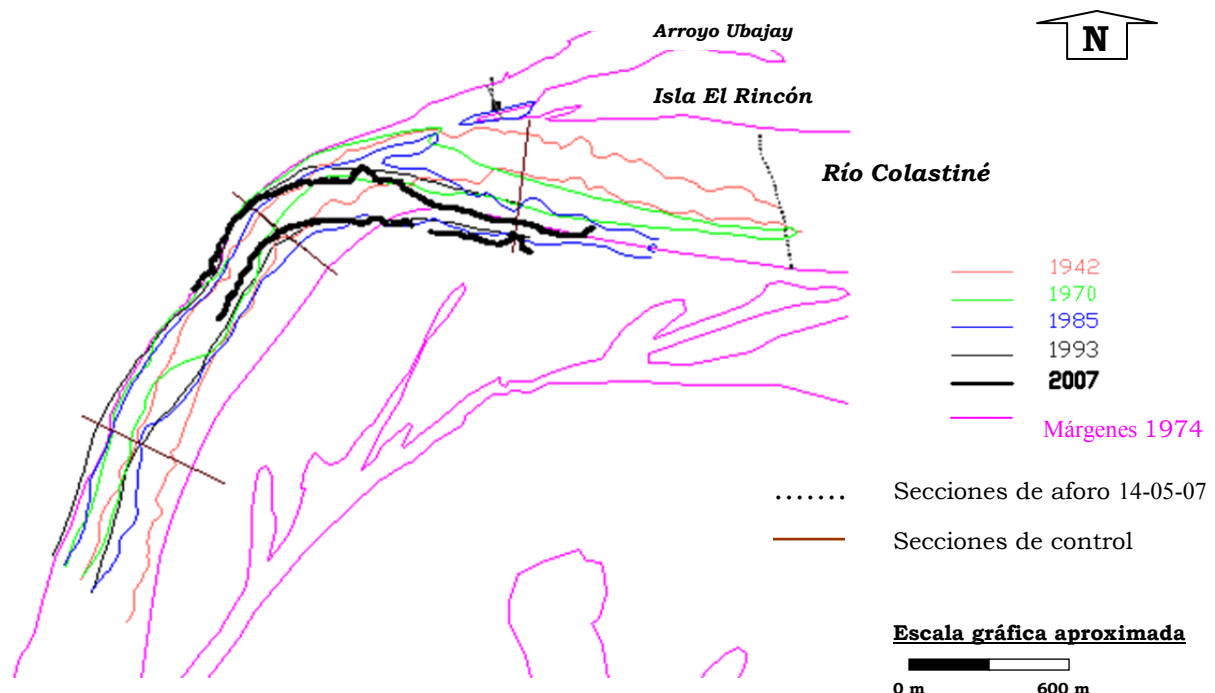


Figura 9.- Evolución de isóbata de 5 m respecto a “0” de hidrómetro en puente RN 168.

El comportamiento de la isóbata de 0 m se puede asimilar al de las líneas de márgenes. La isóbata de 10 m para cursos de agua de este sistema es indicadora del comportamiento de la zona del thalweg. Se identificaron sectores de poca extensión con profundidades superiores a

15 m al “0”, producto de procesos de erosión local asociados a las pilas del muelle de toma y a la saliente de la margen derecha aguas abajo.

A modo de ejemplo de los resultados obtenidos se presenta la imagen con la evolución de isóbata de 5 m y corrimientos netos observados.

**Tabla 5.**– Evolución de anchos y radios de curvatura para secciones de interés en el tramo en estudio, a partir del análisis de isóbata de 5 m.

Año	Colastiné						R <sub>5</sub> [m]	Ubajay B <sub>5</sub> [m]
	Sección aguas arriba de confluencia (*)		Sección de aforo de 2007 (*)		Sección aguas abajo de la curva (*)			
	B <sub>5</sub> [m]	ΔB <sub>5</sub> [m]	B <sub>5</sub> [m]	ΔB <sub>5</sub> [m]	B <sub>5</sub> [m]	ΔB <sub>5</sub> [m]		
1942	158		146		163		1153	--
1970	106	+174	142 hacia MD respecto de 1942	-72	79 hacia MD respecto de 1942	-103	570	--
1985	101	+131	219 centrada respecto de 1942	+49	125	-2	619	40 curva cerrada de 300 m de longitud
1993	123	-26	203 equivalente a 1985 pero contra MD, como 1970	-34	188 hacia MD respecto de 1985 y 1972	-60	641	--
2007	51	+70	165	0	--		515	20

Desplazamiento efectivo para el período 1942-2007

**+348**

**-57**

**-165**

(\*) Estas secciones se representan como “secciones de control” en Figura 9.

B<sub>5</sub> Ancho entre isóbatas de 5 m, en (m).

ΔB<sub>5</sub> Desplazamiento entre isóbatas de 5 m próximas a margen cóncava de la curva, por comparación con el registro inmediato anterior disponible, tomando como condición inicial la isóbata de 5 m de 1942. Con signo positivo (+) se indica deposición, con signo negativo (-) erosión.

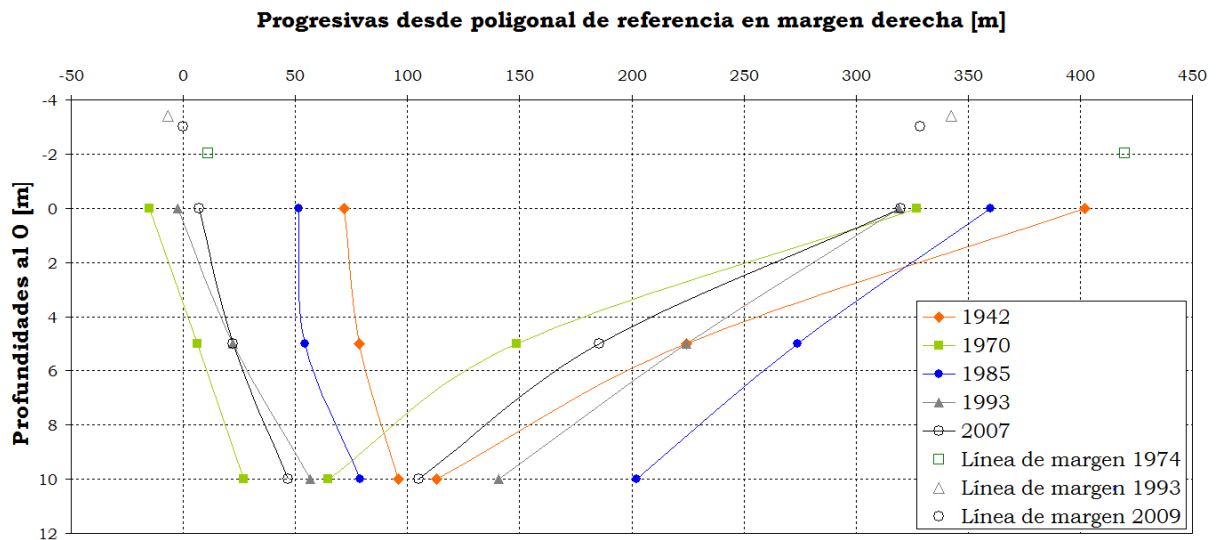
R<sub>5</sub> Radio de curvatura al eje de simetría entre isóbatas de 5 m en río Colastiné en la curva, en (m).

- Sobre el final del tramo recto del Colastiné a la entrada de la curva, el punto medio entre isóbatas se ha corrido 300 m entre 1942 y 2007, hacia la margen izquierda, al tiempo que se redujo el ancho entre isóbatas a un tercio del inicial para ese período. Esto consolida la existencia del brazo menor del Colastiné en el sector en el que se localiza el thalweg (entre el islote y la margen izquierda). El comportamiento del río durante las dos últimas décadas del S XX sólo ha contribuido a estabilizar la posición del thalweg en esta zona de transición entre el meandro de aguas arriba y el meandro en estudio.
- El comportamiento de la isóbata de 5 m determina la disminución de los radios de curvatura de la línea media entre isóbatas. El proceso de corrimiento de la isóbata sobre margen izquierda en la entrada a la curva habría sido gradual desde 1942, hasta la crecida de 1982-‘83.

- c) Los radios de curvatura se han reducido a menos del 50% para todo el período considerado, como resultado de los corrimientos descritos entre isóbatas de 5 m.
- d) La zona comprendida entre isóbatas tendió a “centrarse” en las secciones transversales como respuesta a los procesos mencionados, posteriormente a la crecida de 1982-'83, en la primera mitad del meandro. Mientras que para los años 1970, 1993, 2007, las isóbatas se recostaron sobre la margen cóncava, registrando anchos  $B_5$  menores en el sector de curvatura más pronunciada, desplazando el ápice de la curva hacia aguas abajo, con la consecuente reducción de radios. Las crecidas de 1992 y 1998 no tuvieron duración suficiente para cambiar la configuración del lecho en la curva, siendo los efectos centrífugos los dominantes en la evolución del sector aguas abajo del meandro.
- e) Aguas abajo de la curva, las isóbatas se desplazaron hacia margen derecha en períodos sin crecidas de duración extraordinaria: 105 m entre 1942 y 1970, sin desplazamiento entre 1970 y 1985, y 60 m entre 1985 y 2007. Para la crecida de 1982-'83, nuevamente se verificaría el efecto de “centrado” del escurrimiento en las secciones transversales, con un consecuente incremento de pendiente hidráulica en el sector.

### Análisis evolutivo de secciones transversales.

Se aprecia el incremento del ancho de la zona de máximas profundidades en 1985 (luego de la crecida de 1982-'83). La máxima profundidad se habría mantenido en los 10–11 m al “0” en todo el período analizado.



**Figura 11.-** Evolución temporal de isóbatas de 0, 5 y 10 m. Sección de aforo de 2007, aguas abajo de confluencia Colastiné-Ubajay.

### Dinámica hídrica

Para el sector en estudio, los cambios producidos durante el período de 1970 al presente, son los que resultan en la actual configuración del Colastiné.



En la Figura 12 se presentan dos de las imágenes analizadas para determinar la dinámica hídrica bajo distintas condiciones de este período, previas y posteriores a la ocurrencia del desborde. De su observación se deduce, por la presencia en el primer caso y ausencia en el segundo de manchas de coloración más clara (indicadoras de flujo con transporte de carga de lavado), que entre las alturas hidrométricas de 5,12 y 4,14 m se produce el desborde del Colastiné.



Fotografía aérea  
Fecha: 08-01-1993  
Altura en hidrómetro local: 5,12 m

Las flechas rojas indican transfluencia de caudales del Colastiné al Ubajay.



Fotografía aérea  
Fecha: 24-02-1994  
Altura en hidrómetro local: 4,37 m

**Figura 12.-** Dinámica hídrica sobre planicie de inundación en margen izquierda del Colastiné en la zona de proyecto.

**Tabla 6.-** Relaciones de caudales entre Ubajay y Colastiné.

	Condición de diseño (T =100 años)		Condición de aguas medias (Aforo 14-05-2007)	
	Q (m <sup>3</sup> /s)	Q Ubajay / Q Colastiné (%)	Q (m <sup>3</sup> /s)	Q Ubajay / Q Colastiné (%)
Q Colastiné aguas arriba de la confluencia (1)	7571	12,7	2126	8,2
Q Ubajay (2)	960		174	
Q Colastiné aguas abajo de la confluencia (1) + (2)	8531	11,3	2300	7,6

Esta transferencia de caudales para condición de desborde explica el incremento de la relación  $Q_{\text{Ubajay}} / Q_{\text{Colastiné}}$  en crecida respecto de la que se produce para aguas medias, en el orden del 4,5% (Tabla 6). Ese incremento de caudales del Ubajay en su último tramo respecto de los caudales del Colastiné -si bien en poca magnitud-, disminuiría los efectos erosivos sobre margen derecha por la presencia de la curva, al incrementar el flujo paralelo a la costa, que estaría “desplazando” las máximas velocidades del escurrimiento hacia el centro de las secciones aguas.

### **Creciente de diseño.**

La condición de diseño está dada por una creciente en el río Paraná comparable a la ocurrida en 1982-’83 maximizada, aplicada para el proyecto de todas las obras de defensa construidas en la zona durante las últimas tres décadas. Ello implica para el sector un caudal total (en cauce más planicie aluvial en el Colastiné) de  $8531 \text{ m}^3/\text{s}$ .

La distribución temporal que se le asigna es la de la creciente mencionada. Ese caudal se determinó mediante la aplicación del modelo hidrodinámico KANALI (Ceirano y otros, 1982), que permitió establecer una cota de superficie de agua en el lugar de 17,20 m IGM. El caudal encauzado fue de  $6335 \text{ m}^3/\text{s}$ . Se realizó también el cálculo de la pendiente hidráulica en cauce por subtramos (Montagnini y Amsler, 2007).

### **Erosiones a considerar en el diseño.**

Se utilizó para el cálculo de erosión general la fórmula de Lischvan-Lebediev con distribución de caudales obtenida según Odgaard, que predijo una más eficiente distribución de caudales a lo ancho de la sección, compatible con los valores observados (Montagnini y Amsler, 2007).

### **Evolución de perfiles transversales. Sección transversal de diseño.**

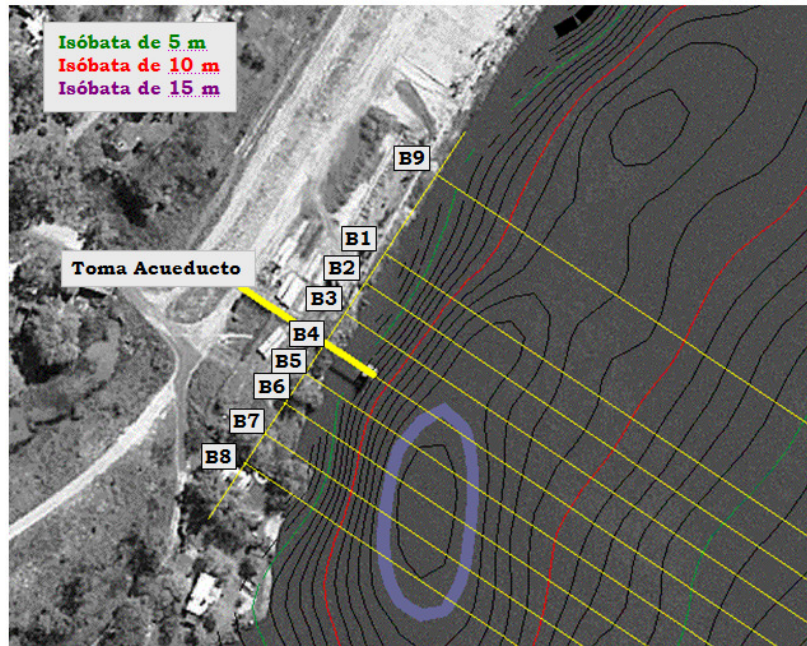
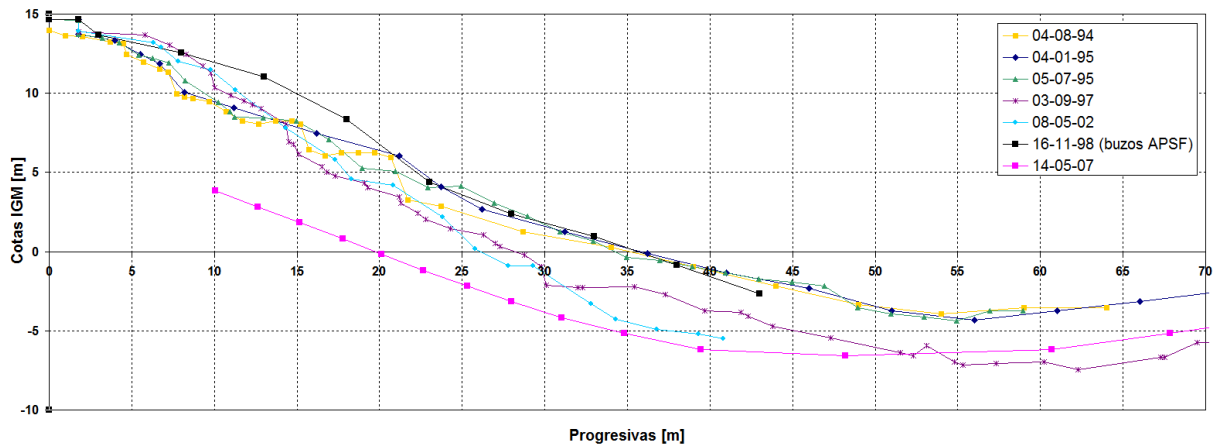
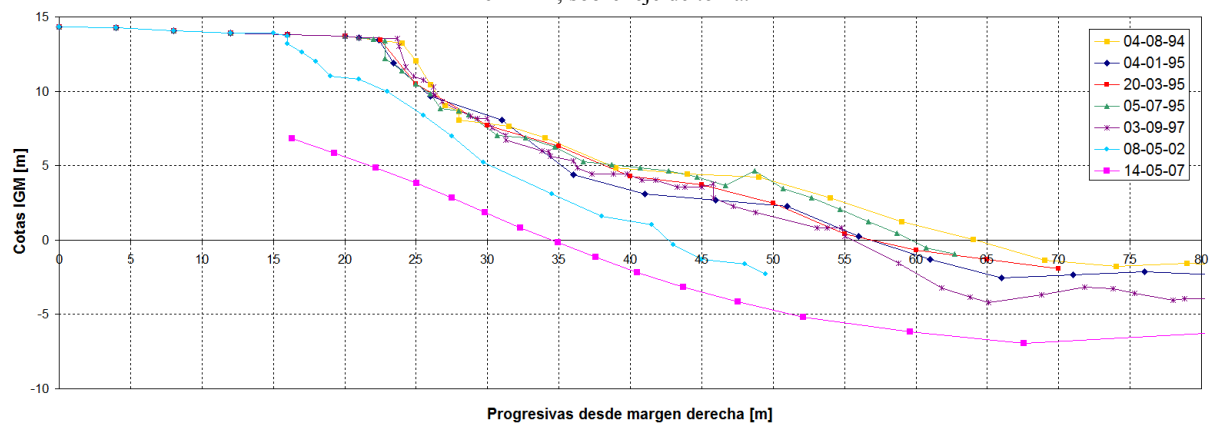


Figura 13.- Perfiles transversales, sobre detalle de imagen de satélite de 2009. Isóbatas relevamiento 14 de mayo de 2007.



Perfil B4, sobre eje de toma.



Perfil B8, 50 m aguas abajo del eje de toma.

Figura 14.- Perfiles característicos sin distorsión de escalas horizontal y vertical.

A partir del análisis de la evolución de perfiles transversales al escurrimiento, que indican corrimientos regulares de entre 10 y 15 m para todo el sector en el período 1995 – 2007 y de la evolución de la isóbata de 10 m (se asocia al thalweg, cota -1,17 m I.G.M), se definen los

perfiles críticos para el diseño de protección. En Figura 14 se presenta la evolución temporal de los taludes para los perfiles B4 (eje del muelle de toma) y B8 (seleccionado para diseño, en la salida de la curva) sin distorsión de escalas vertical y horizontal. A partir de ellos se calculan las pendientes de talud por tramos para el último relevamiento (14-5-2007), con valores máximos 1:2,6 para el perfil B4 y de 1:1,2 para el B8.

El conocimiento resultante del análisis de la evolución morfológica del sector, permitió desarrollar las dos alternativas mencionadas:

**Alternativa A.** Se definieron las solicitaciones a las que estará sometida la protección de margen mediante el método de Pilarczyk (ataque de la corriente, ataque de ondas de oleaje por viento, requerimientos debidos a efectos inducidos por el pasaje de embarcaciones). Dimensiones. Altura nominal de la protección. Criterios de permeabilidad y retención de la manta de filtro.

**Tabla 7.-** Resumen de resultados. Comparación de espesores nominales de la protección obtenidos según los criterios analizados. Perfil B8 - Alternativa A - Protección con bloques de hormigón vinculados a manta flexible

<b>Criterios considerados</b>	<b>Dn (m)</b>
Espesor nominal según ataque de la corriente	0,073
Espesor nominal contra el ataque de ondas de oleaje por viento	0,048
Espesor nominal - ataque ondas secundarias y picos de interferencia	0,142
Espesor nominal contra el efecto de hélice	0,002
Espesor nominal adoptado parte superior	0,142
Espesor nominal adoptado parte inferior	0,073
<b>Altura de bloque adoptada</b>	<b>D<sub>n</sub> = 0,15 m</b>
<b>Abertura 90% geotextil (mm)</b>	<b>0,200</b>
<b>Permeabilidad geotextil (m/s)</b>	<b>0,005</b>

**Alternativa B.** Se verificó la condición de estabilidad dinámica del arroyo La Chacra (Figura 1) mediante el método de Simons y Albertson (1963) (Bogardi, J., 1978) para la crecida de diseño. Diseño de la protección de la embocadura y cálculo de volúmenes de dragado para regularizar las secciones de escurrimiento.

### **Análisis de estabilidad dinámica del Arroyo La Chacra.**

A partir de la descripción de dinámica hídrica, evolución morfológica temporal y espacial y de la observación de imágenes del año 2009 (Figuras 15 y 16), se planteó la regularización del Arroyo La Chacra como canal para la derivación parcial de caudales.

A partir de la posición del thalweg del Colastiné aguas arriba de confluencia con el Ubajay y los rasgos geomorfológicos de detalle (líneas de árboles desarrollados en las zonas de

desbordes en canales menores en planicie, bajíos de traza alargada con agua permanente) se ratifica que el Colastiné, en condición de crecida, fluye sobre su planicie de inundación en margen izquierda, y reactiva estos cursos de geometría bien definida en planta. Se analizó la posibilidad de fijar la embocadura de uno de estos cursos, mediante el recubrimiento con protección flexible de bloques de hormigón adheridos a manta, y dragar el fondo en un volumen suficiente para garantizar el escurrimiento de una fracción del Colastiné de magnitud tal que controle las erosiones en margen derecha, en la zona de la toma (Perfiles B4 y B8).

Se verificaron las condiciones de estabilidad del arroyo La Chacra, mediante los principios de la teoría de régimen para la situación de diseño ( $T = 100$  años) (Lindley, 1919 en Bogardi, J., 1978). Para condiciones hidrométricas previas al desborde del Colastiné, este arroyo permanece inactivo, aunque con agua, como se pudo verificar en tareas de campo y en todas las imágenes históricas disponibles para este trabajo.



**Figura 15.-** Planicie de inundación del Colastiné sobre margen izquierda. Embocadura Ao. La Chacra, desde aguas abajo.



**Figura 16.-** Confluencia Colastiné – Ubajay y vista parcial de planicie de inundación.

Las metodologías aplicadas al cálculo fueron las de Lacey (1958), Blench (1941) y Simons y Albertson (1963) (tomadas de Bogardi, J., 1978), siendo esta última la que arrojó resultados más próximos a los observados.

Se utilizaron niveles y pendientes de superficie de agua para la condición de diseño, y longitudes y dimensiones de cauces para la condición relevada en 2007 (batimetría de perfil

longitudinal) y en imágenes satelitales de 2009 y los dos perfiles longitudinales obtenidos con la batimetría de 1997 (Figura 17).

Los estudios geotécnicos disponibles de la planicie de inundación, revelan en tres perforaciones la presencia de un estrato de arcilla entre cotas 6,5 y 11 m I.G.M., en el cual se localiza el lecho del canal.

Se aplicó el procedimiento para cálculo de erosiones en la faja de thalweg (distribución de caudales mediante expresión de Odgaard, y tirante de equilibrio para un caudal dado a partir de expresión de Lischvan Lebediev) para valores crecientes de caudales derivados por Arroyo la Chacra. A partir de los caudales remanentes en el Colastiné se obtuvieron tirantes de equilibrio en la vertical del flujo ubicada en el thalweg, con caudal de diseño. El proceso se detuvo cuando la profundidad alcanzada fue menor que la observada para condición de aguas medias en 14 de mayo de 2007 (Tabla 8). Con el caudal a derivar por arroyo La Chacra, se calcularon las condiciones de canal estable (Simons y Albertson).

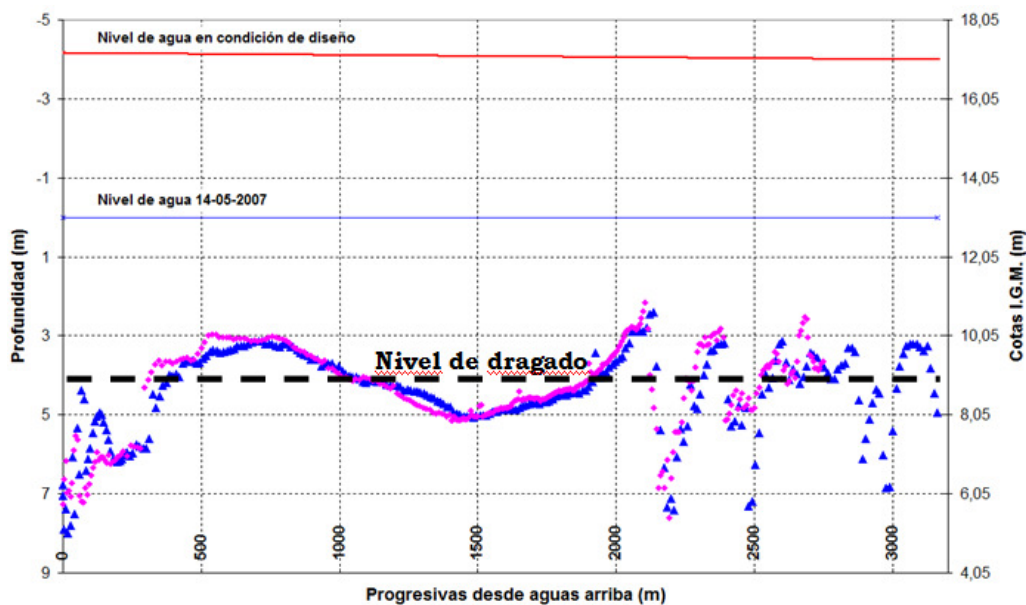


Figura 17.- Perfiles longitudinales relevados en Arroyo La Chacra.

Tabla 8.- Cálculo de caudal a derivar.  $Q_{\text{Colastiné}} = 6335 \text{ m}^3/\text{s}$

Q Colastiné a derivar por Arroyo La Chacra (%)	Q desviado ( $\text{m}^3/\text{s}$ )	Q residual ( $\text{m}^3/\text{s}$ )	Thalweg				Prof. de diseño con cota de fondo medida en 2007 (m)	Diferencia en cota de fondo (m)	Q a derivar por Arroyo La Chacra ( $\text{m}^3/\text{s}$ )	I Arroyo La Chacra (m/m)
			%Q	Ancho (m)	q ( $\text{m}^2/\text{s}$ )	hs (m)				
10	634	5702	9	10,7	47,9	25,6	25,3	0,28		
11	697	5638	9	10,7	47,3	25,4	25,3	0,08		
<b>12</b>	<b>760</b>	<b>5575</b>	<b>9</b>	<b>10,7</b>	<b>46,8</b>	<b>25,2</b>	<b>25,3</b>	<b>-0,12</b>	<b>760,2</b>	<b>4,76 E-5</b>
13	792	5543	9	10,7	46,5	25,1	25,3	-0,22		
15	950	5385	9	10,7	45,2	24,6	25,3	-0,74		
20	1267	5068	9	10,7	42,5	23,5	25,3	-1,77		

25	1584	4751	9	10,7	39,9	22,5	25,3	-2,82		
30	1901	4435	9	10,7	37,2	21,4	25,3	-3,90		

La condición de diseño quedó definida por los siguientes valores:

Recurrencia:	T = 100 años
Sección transversal:	perfil B8
Caudal en cauce principal:	6335 m <sup>3</sup> /s
Pendientes de superficie de agua:	3,46 E-05
Nivel de agua en la sección:	17,17 (m I.G.M.)
Cota de thalweg en la sección:	- 9,2 (m I.G.M.)
Profundidad:	26 m
Ancho de la faja de thalweg:	10 m
Porcentaje de caudal en faja de thalweg:	9%
Fracción de caudal en faja de thalweg:	570,2 m <sup>3</sup> /s
Caudal específico en thalweg:	57 m <sup>2</sup> /s
Velocidad media en la faja de thalweg:	2,2 m/s

Condiciones de diseño impuestas:

B <sub>m</sub>	= 75 m (los valores medidos varían entre 60 y 100 m)
I	= 4,8.10 <sup>-5</sup>
Q	= 760 m <sup>3</sup> /s
Material de contorno:	cohesivo no compactado

Desarrollo (método de Simons y Albertson):

R	=	K <sub>2</sub> . Q <sup>0,361</sup>	= 6,13 m
h	=	0,61 + 0,93 R	= 6,3 m
A	=	K <sub>1</sub> . K <sub>2</sub> . Q <sup>0,873</sup>	= 726 m <sup>2</sup>
B <sub>m</sub>	=	0,9 . K <sub>1</sub> . Q <sup>0,512</sup>	= 106 m
V	=	Q / A	= 1,05 m/s

$$\frac{V h}{\nu} \approx 0,7 \cdot 10^7 < 2 \cdot 10^7$$

$$I = \left( \frac{V}{K_3} \right)^{1/m} \frac{1}{R^2} = 2,5 \cdot 10^{-5}$$

Los tirantes calculados por el método de Simons y Albertson (6,3 m) son menores que los resultantes de la condición de diseño (entre 7 y 8 m, perfil longitudinal en 2007). El ancho medio de la sección calculado es mayor que los anchos observados para la mayor parte del canal (que crecen en dirección del flujo, siendo los menores los próximos a la embocadura). La pendiente calculada es del mismo orden que la observada, aunque menor que aquella.

Esto indica que para permitir la conducción del caudal de desvío, deberán incrementarse las secciones transversales al flujo. Se propone realizar dragado de la zona tras albardón, que

abra la embocadura del canal (obstruida con sedimentos Figuras 15 y 16), respetando un ancho de las secciones del orden de los que ha mantenido el Ao. La Chacra en su condición actual (80 m promedio) y un destape de 4 m, para extender hacia aguas arriba las condiciones del canal en su estado actual (Figura 17, línea de trazos). Para el tramo del cual se dispone perfil longitudinal se prevé un dragado de seguridad, para garantizar tirantes de 8 m en las secciones para el caudal de desvío en la condición de diseño.

Las profundidades a dragar en ningún caso dejarán al descubierto el sustrato de arena con finos, que se localiza entre cotas IGM de 0 y 6,5 m. El destape del lecho del canal que se realice removerá materiales arcillosos del paquete de sedimentos localizado entre cotas 6,5 y 11,5 m IGM.

Con estas dimensiones propuestas, se aplicó nuevamente el método de Simons y Albertson, obteniendo un valor de pendiente de  $4 \cdot 10^{-5}$ , para la condición de diseño.

La sección de ingreso al canal no se rebajará para mantener las condiciones naturales de flujo en crecida, permitiendo transfluencia de caudales sólo para niveles en el Colastiné superiores al de desborde.

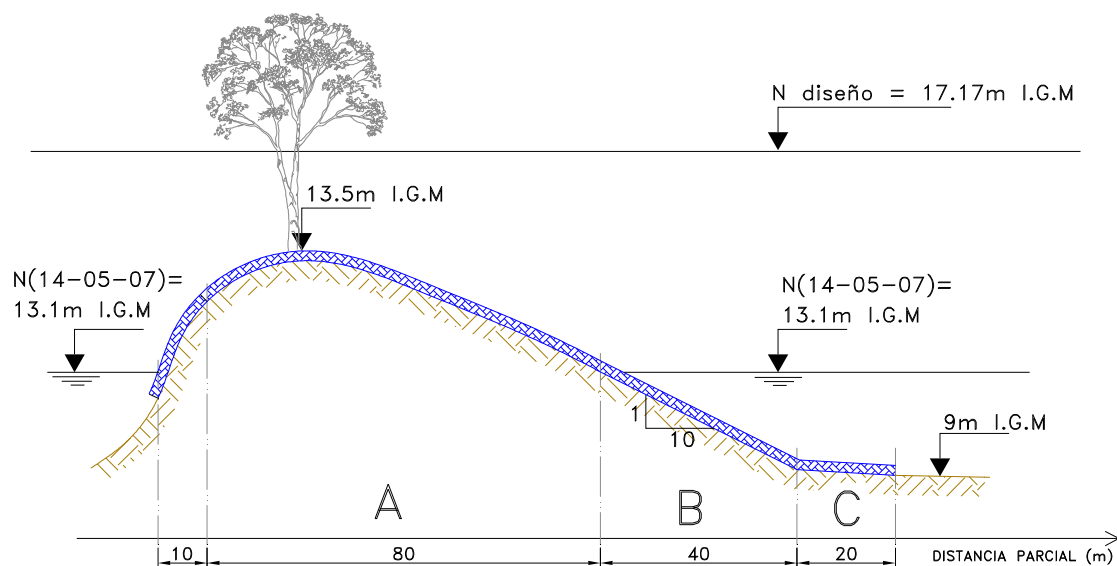


Figura 18.- Protección de embocadura de Arroyo La Chacra.

Se realizó la verificación de velocidades sobre el albardón para la condición de diseño (nivel de agua en cota IGM 17,17 m y nivel de desborde a partir de cota del albardón, 13,5 m IGM) que da tirante de 3,72 m, para el caudal desviado de  $760 \text{ m}^3/\text{s}$ , ancho de 70 m, y velocidad media de 3 m/s. Por este motivo, la zona de embocadura al arroyo La Chacra sobre el albardón, de ancho propuesto de 80 m, se protegerá con manta flexible con bloques de hormigón, para evitar procesos erosivos en las condiciones de flujo inmediatas al desborde. Dicha manta se extenderá una longitud de 150 m (en dirección del flujo dentro del canal) para garantizar la estabilidad de las secciones de entrada, contemplando:

- recubrimiento de margen del Colastiné (10 m de longitud de protección, en dirección transversal al flujo),





Es posible aplicar la teoría del régimen para diseño de un canal dinámicamente estable en la medida que se disponga de información fidedigna de las condiciones hidráulicas, sedimentológicas, topográficas y geotécnicas de la zona, y para la verificación de la condición de funcionamiento de un curso preexistente, sin escurrimiento en aguas medias por su desconexión del curso principal.

A pesar de la factibilidad técnica positiva de las dos alternativas planteadas, se seleccionó la protección de margen en una longitud que garantice la estabilidad del meandro, a partir de evaluación multicriterio. Este resultado se deduce de la incertidumbre que reviste la derivación de caudales por un cauce menor en planicie de inundación; dicha solución tendría alta efectividad durante la ocurrencia de crecidas, pero prácticamente efecto nulo en condición de caudal encauzado en el Colastiné, durante la cual los procesos erosivos en la margen continúan degradándola.

La dinámica del tramo estaría fuertemente asociada al caudal formativo, y no sólo a los caudales extremos en crecientes. El análisis de las distribuciones transversales de velocidades y caudales, medidas y calculadas para condiciones próximas a la del caudal de desborde, ratifica la posibilidad de ese comportamiento.

*Agradecimiento.* A todas las personas e instituciones que generosamente compartieron información sin la que hubiera sido imposible realizar este trabajo.

## LISTA DE SÍMBOLOS

A	sección transversal
B <sub>5</sub>	Ancho entre isóbatas de 5 m, en (m).
B <sub>m</sub>	ancho medio de la sección
d <sub>84</sub>	Diámetro (expresado en mm) respecto del cual el 84% en peso de muestra presenta diámetros mayores.
h	tirante medio
I	pendiente hidráulica del canal
K1, K2, K3, K4	coeficientes función de los materiales del fondo y márgenes
Q	caudal impuesto al canal cuya estabilidad se pretende verificar
R	radio hidráulico
R <sub>5</sub>	Radio de curvatura al eje de simetría entre isóbatas de 5 m en río Colastiné en la curva, en (m).
V	velocidad media en la sección
$\bar{d}$	Diámetro medio de la distribución granulométrica obtenido con la expresión de Inman.
$\nu$	viscosidad cinemática del agua ( $1.10^{-6}$ m <sup>2</sup> /s)
$\Delta B_5$	Desplazamiento entre isóbatas de 5 m próximas a margen cóncava de la curva, por comparación con el registro inmediato anterior disponible, tomando como condición inicial la isóbata de 5 m de 1942. Con signo positivo (+) se indica deposición, con signo negativo (-) erosión.
$\sigma_g$	Desviación estándar de la distribución, obtenida con la expresión de Inman.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

**Amsler, M.L.; Ramonell, C.G. y Toniolo, H.A. (2005).** “Morphologic Changes in the Paraná River Channel (Argentina) in the Light of the Climate Variability during the 20<sup>th</sup> Century”. *Geomorphology* 70 (pp. 257-278). Elsevier.

**Biedenharn, D.S.; Thorne, C.R.; Soar, P.J.; Hey, R.D.; Watson, Ch.C. (1999).** “*A Practical Guide to Effective Discharge Calculation (Appendix A)*”. En: Watson, Ch.C., Biedenharn, D.S., Thorne, C.R. (eds.), *Demonstration Erosion Control - Design Manual*. U.S. Army Corps of Engineering, Vicksburg, Mississippi, USA.

**Bogardi, J. (1978).** *Sediment Transport in Alluvial Streams*. Akadémiai Kiadó. Budapest.

**Ceirano, E.; Gioria, R. y Ércole, C. (1982).** “The Paraná Medio Hydrodynamic Model and its Calibration”. *Water International*. Vol. 7, pp. 82.

**CRL-INCyTH, FICH-UNL (1993).** “Proyecto reconstrucción Acueducto Colastiné – Santa Fe. Informe de alternativas en anteproyecto”. Convenio: CRL, INCyTH - FICH, UNL, con Dirección Provincial de Obras Sanitarias de la Provincia de Santa Fe.

**DNCPyVN (1970).** “Plano Nro. 12886. Río Colastiné. Levantamiento general Km 585-601”. Dirección Nacional de Construcciones Portuarias y Vías Navegables. Departamento Distrito Paraná Medio. Ministerio de Obras y Servicios Públicos. Poder Ejecutivo Nacional.

**DNCPyVN (1972).** “Plano Nro. 13349. Lámina 9. Río Colastiné. Km 598-637. Levantamiento general transversal”.

**DNCPyVN (1973).** “Plano Nro. 13349. Lámina 9 (bis). Río Colastiné. Lámina de enlace”.

**DPOH (2002).** “Toma de agua cruda sobre el río Colastiné. Relevamiento topobatimétrico estado actual”. Dirección Provincial de Obras Hidráulicas (DPOH), Ministerio de Obras, Servicios Públicos y Vivienda del Gobierno de la Provincia de Santa Fe.

**FICH (1995).** “Materiales constitutivos de la barranca en proximidades de la toma de agua del acueducto Colastiné – Santa Fe (Anexo)”. En: Análisis de estabilidad de la costa en torno a la toma del Acueducto Colastiné – Santa Fe entre agosto de 1994 y julio de 1995. Convenio: DiPOS Santa Fe – UNL.

**FICH (1998).** “Auscultación de terraplenes de defensa. Sector Toma de Agua Colastiné (terraplén Garelo)”. FICH, UNL - DPOH, Minist. Obras, Servicios Públicos y Vivienda, Gob. de la Pcia. de Santa Fe.

**Montagnini, M.D. y Amsler, M.L. (2007).** “Erosiones en una curva de meandro en el río Colastiné, Provincia de Santa Fe”. Tercer Simposio Regional sobre Hidráulica de Ríos. Córdoba, Argentina. En CD.

**Przedwojski, B.; Blazejewski, R. and Pilarczyk, K.W. (1995).** “*River Training Techniques. Fundamentals, Design and Applications*”. Ed. Balkema. Rotterdam.

**Ramonell, C.; Amsler, M. y Toniolo, H. (2000).** “Geomorfología del cauce principal”. En: *El río Paraná en su tramo medio. Contribuciones al conocimiento y prácticas ingenieriles en un gran río de llanura* (Cap. 4, T. 1, pp. 173-232). Centro de Publicaciones de la Universidad Nacional del Litoral. Argentina.

**SERNAH-INCYTH (1974).** “*Estudio del sistema fluvial Paraná- Santa Fe. Trabajos de campaña y análisis preliminar de datos*”. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo SF/ARG/66/521. Subsecretaría de Recursos Hídricos – INCyTH, Laboratorio de Hidráulica.

**SNRH (Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación) (2007).** "Sistema Nacional de Información Hídrica". En: <http://www.hidricosargentina.gov.ar/InformacionHidrica.html>



Instituto de Recursos Hídricos



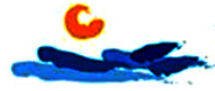
Facultad de Ciencias Exactas y Tecnológicas



Universidad Nacional de Santiago del Estero



Instituto Nacional del Agua



Subsecretaría de Recursos Hídricos



Agencia Nacional de Promoción Cient. y Tec.



Gobierno Prov. de Santiago del Estero



Ministerio de la Producción



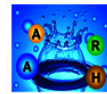
Secretaría del Agua



Secretaría de Desarrollo, Ciencia y Tecnología



Consejo Prof. de la Ingeniería y Arq.



Asociación Argentina de Recursos Hídricos



Asoc. Internacional de Invest. Hidroamb.



Comisión Regional del Río Bermejo



CORPORACION ARGENTINA TECNOLÓGICA s.a. INGENIERIA CIVIL E HIDRAULICA

