



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)

ESTIMACIÓN DE SOCAVACIÓN MÁXIMA SOBRE EL RÍO CHUBUT – PROV. DE CHUBUT

González Fernando, Gioria Roberto y Ruiz Alfredo

Evarsa

H. Yrigoyen 1180, Piso 8, (C1086AAT) CA de Buenos Aires; PH (54) (11) 4382-1256

E-mail: fgonzalez@evarsa.com.ar - Web: <http://www.evarsa.com.ar>

RESUMEN

El presente trabajo tiene como objetivos estimar la socavación máxima y determinar los niveles de pelo de agua en una sección del río Chubut en la cual se prevé la construcción de un nuevo puente, para caudales de 200 m³/s y 300 m³/s. Este trabajo se centra en el Curso Inferior del río Chubut, en un tramo comprendido entre el Dique Florentino Ameghino y una sección ubicada 50 km aguas abajo, centrandolo en una sección ubicada a unos 16 km aguas abajo del mencionado dique. Se utilizó como herramienta de cálculo de niveles y de socavación un modelo hidrodinámico, por lo tanto se implementó en el tramo en estudio el modelo HEC-RAS. De la explotación del modelo se obtuvieron los niveles de pelo de agua y las profundidades máximas de erosión en puente, pilas y estribos en la traza del futuro puente y como consecuencia del escurrimiento generado por un caudal constante.

ABSTRACT

This work involves the estimation of the maximum scour and water levels in a section of Chubut stream. In this section we will construct a new bridge, where the flow is 200 to 300 m³/s. The work area is the Lower Chubut River Course in a section between the Florentino Ameghino dam and a section located 50 km downstream; calculations concentrating 16 km downstream of the dam. As a tool for calculating for the scour and levels we used a hydrodynamic model, HEC-RAS. With this program were obtained water levels and maximum depth of erosion in the future bridge and runoff generated by a constant flow.

INTRODUCCIÓN

El río Chubut nace en la provincia de Río Negro, cerca del cerro de las Carreras, en las estribaciones orientales de la cordillera de los Andes, y luego de ingresar a la provincia de Chubut, cruza de oeste la misma, para desembocar en la bahía Engaño muy cerca de Rawson, la capital provincial. Su Cuenca de aportes presenta una superficie de 53.234,48 km² (SSRH, 2002).

El caudal del río Chubut depende de las precipitaciones que recibe en sus nacientes. Sus crecientes son torrenciales e irregulares y se presentan fundamentalmente en otoño e invierno. El estiaje corresponde al verano. El curso superior de este río abarca desde sus nacientes hasta su confluencia con el río Gualjaina, el curso medio está comprendido entre esta confluencia y la cola del embalse Florentino Ameghino y el curso inferior desde allí hasta su desembocadura en bahía Engaño.

Este trabajo se centra en el Curso Inferior del río Chubut, en un tramo comprendido entre el Dique Florentino Ameghino y una sección ubicada 50 km aguas abajo, centrando los cálculos en una sección ubicada a unos 16 km aguas abajo del Dique, donde se prevé la construcción de un nuevo puente, y cuyas coordenadas son: latitud: 43°37'23.25"S, longitud: 66°22'38.42"O.



Figura 1.- Ubicación Área de Estudio

MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizó un relevamiento de la información hidrométrica, topográfica y geotécnica disponible, además de los datos geométricos del puente. En este sentido se obtuvieron perfiles transversales del Río Chubut correspondientes a estudios anteriores, como así también un estudio de suelo del área el cual se utilizó para la estimación de la socavación

Además se llevaron a cabo tareas de campo con el fin de complementar la información disponible. En este sentido, se realizaron 3 perfiles topobatimétricos en la traza del puente, e

inmediatamente aguas arriba y abajo, y 4 perfiles topobatómicos de cauce y valle, 2 entre Dique Florentino Ameghino y la traza del puente y 2 aguas abajo del puente. En total se contó con 12 perfiles topobatómicos, 6 existentes en antecedentes y los otros relevados específicamente para este estudio. Los mismos se muestran en la siguiente Figura

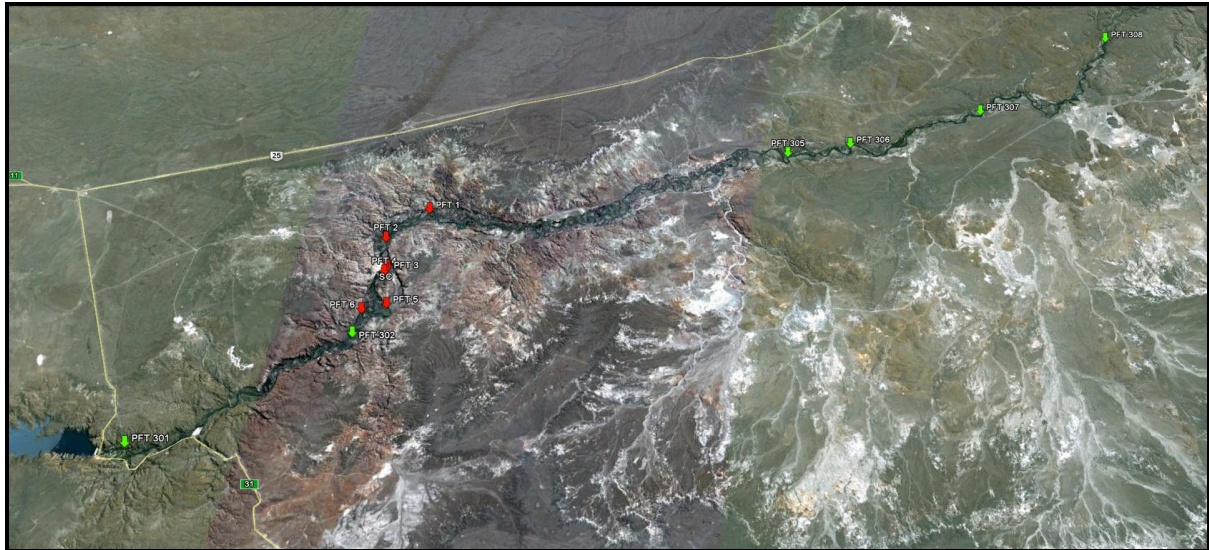


Figura 2.- Ubicación de perfiles transversales

Se utilizó como herramienta de cálculo de niveles y de socavación un modelo hidrodinámico, por lo tanto se implementó en el tramo en estudio el modelo HEC-RAS.

El sistema unidimensional HEC-RAS contiene cuatro componentes de análisis: (1) Cálculo de la superficie de agua para flujo estacionario gradualmente variado, (2) Simulación de flujo no estacionario, (3) Transporte de sedimentos y (4) Análisis de calidad del agua. Los cuatro componentes utilizan los mismos datos geométricos y las mismas rutinas de cálculo geométrico e hidráulico. Además de estos componentes de análisis, el sistema contiene varias características de diseño hidráulico que se puede invocar una vez que los perfiles de la superficie del pelo de agua se calculan, entre los cuales se encuentra el módulo de Estimación de la Erosión en Puente. Este módulo se basa en los lineamientos establecidos en la circular HEC N°18 de la FHWA (Federal Highway Administration) que reglamenta las condiciones que se deben cumplir para el diseño de puentes. El procedimiento de cálculo permite obtener los valores de profundidad de erosión por contracción, erosión local en pilas, erosión local en estribos y estimar la erosión total.

Erosión por Contracción

El cálculo de la erosión por contracción posee diferentes características en función de la configuración de la misma. Tiene particular importancia establecer el grado de intrusión del terraplén del camino que accede al puente en el valle natural de escurrimiento.

Para la determinación de la profundidad de erosión se debe verificar si en la entrada de la contracción en la sección aguas arriba a la misma la corriente transporta o no material de lecho.

Dependiendo de esto la capacidad de erosión varía y se establecen condiciones de flujo con lecho vivo (en evolución) o agua clara (no hay transporte de material).

Bajo estas circunstancias, la profundidad de erosión se calcula en ambos casos con formas modificadas de la fórmula de Laursen.

Para Lecho Vivo

$$y_2 = y_1 \left(\frac{Q_2}{Q_1} \right)^{\frac{6}{7}} \left(\frac{W_1}{W_2} \right)^{K_1}$$

$$y_s = y_2 - y_0$$

Donde:

y_s : profundidad promedio de la contracción [m], y_2 : profundidad promedio de la erosión en la sección constreñida (tomada en el interior del puente en la sección aguas arriba [m], y_1 : profundidad promedio en el cauce principal o valle inundado en la sección de aproximación [m], y_0 : profundidad promedio de la contracción luego de la erosión [m], Q_1 : caudal que transporta sedimento en el cauce principal en la sección de aproximación [m³/s], Q_2 : caudal que transporta sedimento en el cauce principal en la sección constreñida [m³/s], W_1 : ancho de fondo del cauce o valle en la sección de aproximación. Es similar al ancho de boca en el área activa de flujo [m], W_2 : ancho de fondo del cauce o valle en la sección constreñida. Es similar al ancho de boca en el área activa de flujo [m], K_1 : exponente que tiene en cuenta el modo de transporte del material de lecho

Este último coeficiente depende de la velocidad de caída del material del lecho, de la velocidad de corte en la sección de aproximación, de la aceleración de la gravedad y la pendiente de energía en dicha sección.

Para Agua Clara

$$y_2 = y_1 \left(\frac{Q_2^2}{C D_m^{2/3} W_2} \right)^{\frac{3}{7}}$$

$$y_s = y_2 - y_0$$

Donde:

D_m : Diámetro de la menor partícula no transportada del material de lecho en la sección contraída

D_{50} : Diámetro medio del material de lecho

C : Coeficiente de unidades (40 para unidades métricas)

Erosión Local en Pilas

La Circular N°18 recomienda el uso de la ecuación de la Universidad del Estado de Colorado (CSU), desarrollada por Richardson en 1990, que se puede utilizar bajo ambas condiciones mencionadas en el punto anterior.

La ecuación de la CSU estima la erosión máxima en las dos condiciones descriptas anteriormente y es la siguiente:

$$y_s = 2.0 K_1 K_2 K_3 K_4 a^{0.65} y_1^{0.35} Fr_1^{0.43}$$

Donde:

y_s : profundidad de la erosión [m], K_1 : factor de corrección por forma de la nariz de la pila, K_2 : factor de corrección por ángulo de ataque del flujo, K_3 : factor de corrección por condiciones del lecho, K_4 : factor de corrección por acorazamiento del material del lecho, a : ancho de la pila [m], y_1 : profundidad del flujo aguas arriba de la pila en la sección inmediatamente aguas arriba del puente [m], Fr_1 : N° de Froude inmediatamente aguas arriba

de la pila

El factor K1 se encuentra tabulado según el tipo de pila (elíptica, circular, etc.), el K2 depende de la longitud de la pila en la dirección de la corriente, del ángulo de ataque y de su ancho. El K3 de si el lecho presenta dunas, antidunas y su tamaño.

Erosión Local en Estribos

La erosión en estribos se produce cuando el mismo obstruye el flujo. Dicha obstrucción forma un vórtice horizontal que comienza aguas arriba en el inicio del estribo y en su movimiento hacia aguas abajo produce un vórtice vertical adicional aguas abajo del estribo.

La circular HEC recomienda efectuar el cálculo con dos fórmulas, según la longitud del terraplén que se introduce en el valle de inundación con relación a la profundidad media: la de Richardson modificada (HIRE) y la de Froehlich (1989).

Fórmula de Richardson

Esta fórmula esta basada en los datos experimentales obtenidos en el río Mississippi (obtenida por el USACE). La ecuación es:

$$y_s = 4y_1 \left(\frac{K_1}{0.55} \right) K_2 Fr_1^{0.33}$$

Donde:

ys: profundidad de erosión [m], y1: profundidad del flujo al pie del estribo tomada en la sección aguas arriba del puente, K1: factor de corrección por forma del estribo, K2: factor de corrección por ángulo de ataque, Fr1: N° de Froude basado en la velocidad en las adyacencias aguas arriba del pie del estribo.

Fórmula de Froehlich

Esta fórmula esta basada en una basta investigación de laboratorio habiéndose obtenida por un análisis de regresión.

$$y_s = 2.27K_1 K_2 (L')^{0.43} y_a^{0.57} Fr^{0.61} + y_a$$

Donde:

ys: profundidad de erosión [m], K1: factor de corrección por forma del estribo, K2: factor de corrección por ángulo de ataque del flujo sobre el estribo. (90° es cuando el estribo es perpendicular al flujo), L': longitud del estribo proyectado en la dirección normal al flujo, Ya: profundidad del flujo en el valle de inundación en la sección de aproximación, Fr: N° de Froude en el valle en la sección de aproximación

El valor de Erosión Total se obtiene sumando las erosiones parciales obtenidas de la manera indicada en los puntos anteriores.

IMPLEMENTACIÓN Y CALIBRACIÓN DEL MODELO HEC - RAS

Se implementó el modelo hidrodinámico a un tramo de 66.88 km del río Chubut, el que fue representado por 12 perfiles topobatimétricos, 6 existentes en antecedentes y los otros relevados específicamente para este estudio. Los mismos se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 1.- Perfiles Transversales

Perfil	Progresiva (m)	Observaciones
301	66880	Existente
302	55680	Existente
P6	53871	Relevado

P5	52060	Relevado
P4	49937	Relevado
SC	49787	Relevado
P3	49685	Relevado
P2	48098	Relevado
P1	45397	Relevado
305	20090	Existente
306	16680	Existente
307	9680	Existente
308	0	Existente

El borde de aguas arriba del modelo se ubicó en una sección transversal inmediatamente aguas abajo del Dique Florentino Ameghino (perfil 301) y el borde de aguas abajo, en una sección ubicada aproximadamente a 31 km aguas debajo de la traza del puente (perfil 308).

Se incluyó el puente proyectado en la topología del modelo, el que cuenta con las siguientes características:

Ubicación: Latitud: 43°37'23.25"S - Longitud: 66°22'38.42"O

Tabla 2.- Longitudes Puente Proyectado

Sección de Control	Puente Principal
Largo puente [m]	57.00
Cota del Tablero del Puente [mMOP]	71.01
Cantidad de pilares	4
Ancho Pilas N° 1 y N° 4	0.80
Ancho Pilas N° 2 y N° 3	0.40

La siguiente Figura muestra la geometría del Puente utilizada en la modelación y sus principales longitudes:

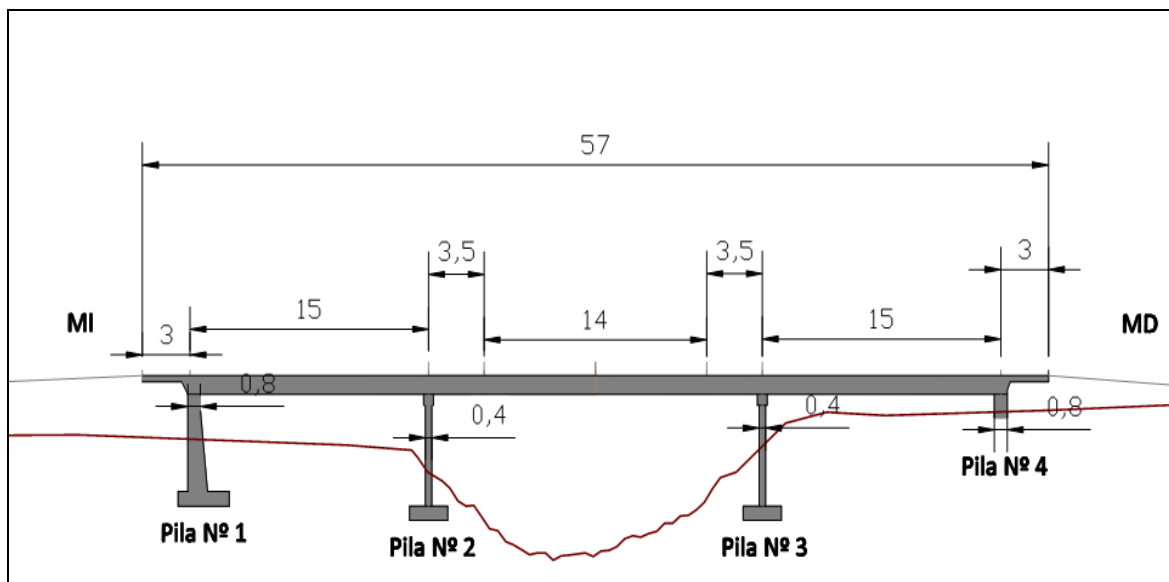


Figura 3.- Geometría Puente en Piedra Grande

Nota: Las medidas están en metros.

No se pudo realizar una calibración debido a la falta de datos, pero se adoptaron valores de “n” de Manning en correspondencia con los valores que dicta la bibliografía, los adoptados en estudios anteriores y la experiencia del modelador. Asimismo, se controlaron los niveles,

velocidades y pendientes longitudinales para distintos caudales.

RESULTADOS

De la explotación del modelo se obtuvieron los niveles en la sección de emplazamiento del puente para caudales de 200 m³/s (Escenario 1) y 300 m³/s (Escenario 2), en régimen permanente y se estimó la erosión máxima para los mismos escenarios.

Se realizó también un análisis de sensibilidad de los resultados, incrementando los caudales en un (+) 25%.

Se han utilizado estos caudales ya que han sido solicitados por el Comitente, al igual que el análisis de sensibilidad que implica aumentar estos caudales un 25%.

Cálculo de Niveles

En relación a los niveles alcanzados por el agua para los distintos escenarios analizados, la Tabla 3 muestra los resultados obtenidos.

Tabla3.- Cota Pelo de Agua para distintos escenarios

	ESCENARIO 1		ESCENARIO 2	
	Q 200 m ³ /s	Q 250 m ³ /s	Q 300 m ³ /s	Q 375 m ³ /s
Cota pelo de agua (mMOP)	68.41	68.74	69.02	69.41

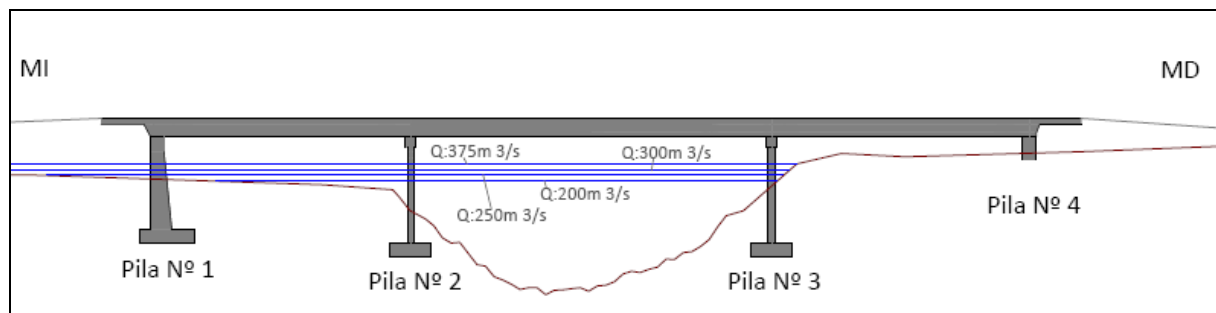


Figura 4.- Cota de Pelo de Agua para diferentes escenarios

Estimación de la erosión

Para la estimación de la erosión se utilizó el modelo HEC – RAS y se calculó la erosión en puente, pilas y estribos en la traza del futuro puente y como consecuencia del escurrimiento generado por un caudal constante.

A continuación se muestra los resultados obtenidos para los escenarios planteados, teniendo en cuenta una variación del tamaño medio del grano (d₅₀).

1. Escenario 1 (Q:200 m³/s)

Erosión por Contracción.

Para el cálculo de la erosión por contracción se utilizaron las ecuaciones para lecho vivo, ya que se considera que existe transporte de material en el tramo. Los valores de d₅₀ se variaron entre 0.2mm y 1mm, obteniéndose los siguientes resultados.

Tabla4.- Erosión por Contracción – Escenario 1

	ESCENARIO 1: Q = 200 m ³ /s		
	d50:0,20mm	d50:0,50mm	d50:1,00mm
Cota de fondo sin erosión (mMOP)	61,80		
Cota de fondo erosionada (mMOP)	59,23	59,30	59,30
Profundidad de erosión máx. (m)	2,57	2,50	2,50

De la Tabla 4 es posible observar que la profundidad de erosión por contracción presenta muy poca variación ante cambios en el tamaño medio del grano.

Erosión en Pilas.

Para el cálculo de la erosión en pilas se utilizó la ecuación de la Universidad del Estado de Colorado (CSU) obteniéndose los siguientes resultados.

Tabla5.- Erosión en pilas – Escenario 1

	ESCENARIO 1: Q = 200 m ³ /s			
	Pila 1 (a: 0,80m)	Pila 2 (a: 0,40m)	Pila 3 (a: 0,40m)	Pila 4 (a: 0,80m)
Cota de fondo sin erosión (mMOP)	68,65	66,70	68,15	70,04
Cota de fondo erosionada (mMOP)	60,35	61,41	62,23	60,76
Profundidad de erosión máx. (m)	8,30	5,29	5,92	9,28

a: Ancho de pila

Erosión en Estribos.

Para el cálculo de la erosión en estribos se utilizó la ecuación de Froehlich, obteniéndose para este caso los siguientes resultados.

Tabla6.- Erosión en estribos – Escenario 1

	ESCENARIO 1: Q = 200 m ³ /s	
	Margen Izquierda	Margen Derecha
Profundidad de erosión máx. (m)	6,13	1,56

Erosión Total.

El valor de Erosión Total se obtuvo sumando las erosiones parciales obtenidas en los puntos anteriores. Teniendo en cuenta la suma de la erosión por contracción y la que se registra en cada una de las pilas, se obtienen los resultados que se muestran en la Tabla 7

Tabla7.- Erosión Total – Escenario 1

	ESCENARIO 1: Q = 200 m ³ /s											
	Pila 1 (a: 0,80 m)			Pila 2 (a: 0,40 m)			Pila 3 (a: 0,40 m)			Pila 4 (a: 0,80 m)		
	0,20mm	0,50mm	1,00mm	0,20mm	0,50mm	1,00mm	0,20mm	0,50mm	1,00mm	0,20mm	0,50mm	1,00mm
Cota de fondo sin erosión (mMOP)	68,65			66,70			68,15			70,04		
Cota de fondo erosionada (mMOP)	60,35	60,35	60,35	58,84	58,92	58,92	59,66	59,74	59,74	60,76	60,76	60,76
Profundidad de erosión máx. (m)	8,30	8,30	8,30	7,86	7,78	7,78	8,49	8,41	8,41	9,28	9,28	9,28

Nota: los valores de 0,2, 0,5 y 1,00 mm hacen referencia a la variación del tamaño medio del grano (d50).
Las siguientes figuras ilustran los resultados obtenidos.

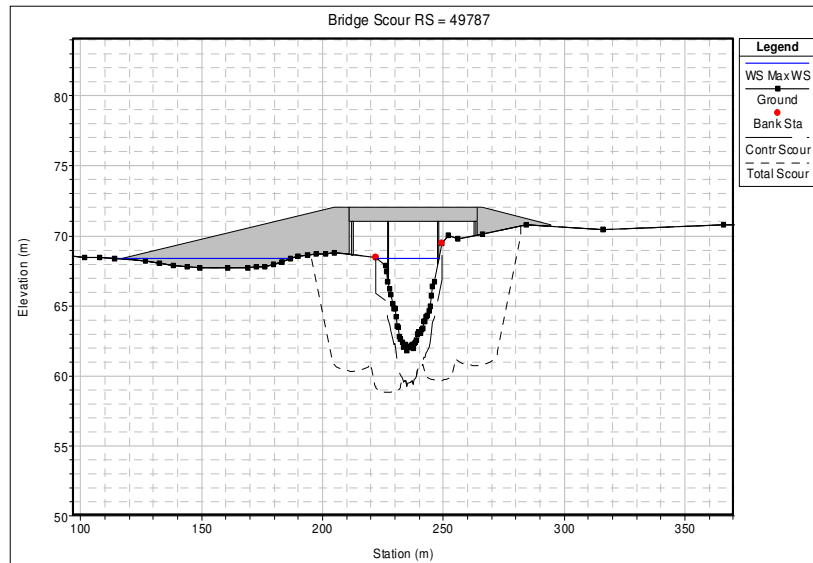


Figura 4.- Puente en Piedra Grande - Perfil Transversal erosionado – d50: 0.20mm

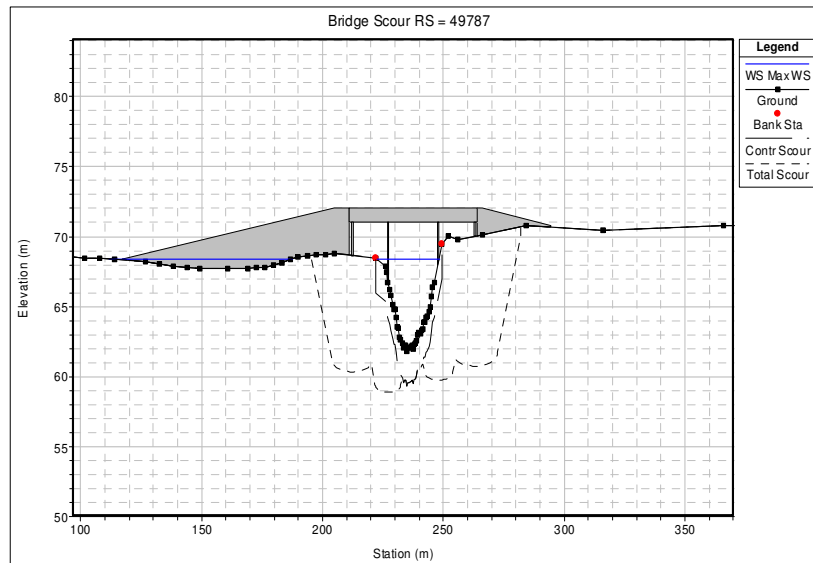


Figura 5.- Puente en Piedra Grande - Perfil Transversal erosionado – d50: 0.50mm

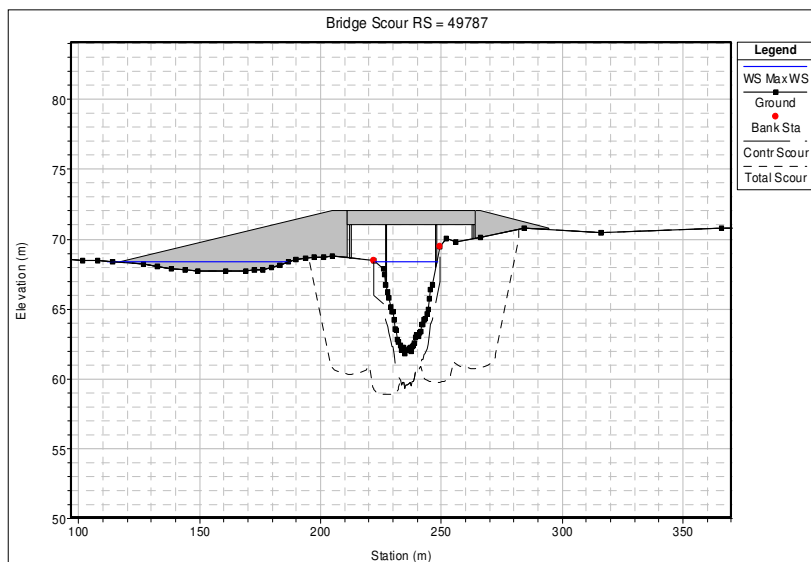


Figura 6.- Puente en Piedra Grande - Perfil Transversal erosionado – d50: 1.00mm

Nota: En todas las figuras, la línea punteada indica la erosión total y la línea a trazos, la erosión por contracción

2. Escenario 2 (Q:300 m³/s)

Erosión por Contracción.

Se tienen en cuenta las mismas consideraciones que para el Escenario 1. Se obtuvieron los siguientes resultados.

Tabla 8.- Erosión por Contracción – Escenario 2

	ESCENARIO 2: Q = 300 m ³ /s		
	d50:0,20mm	d50:0,50mm	d50:1,00mm
Cota de fondo sin erosión (mMOP)	61,80		
Cota de fondo erosionada (mMOP)	58,43	58,50	58,50
Profundidad de erosión máx. (m)	3,37	3,30	3,30

Al igual que el Escenario 1, es posible observar que la profundidad de erosión por contracción presenta muy poca variación ante cambios en el tamaño medio del grano.

Erosión en Pilas.

Para el cálculo de la erosión en pilas se utilizó la ecuación de la Universidad del Estado de Colorado (CSU) obteniéndose los siguientes resultados.

Tabla 9.- Erosión en Pilas – Escenario 2

	ESCENARIO 2: Q = 300 m ³ /s			
	Pila 1 (a: 0,80m)	Pila 2 (a: 0,40m)	Pila 3 (a: 0,40m)	Pila 4 (a: 0,80m)
Cota de fondo sin erosión (mMOP)	68,65	66,70	68,15	70,04
Cota de fondo erosionada (mMOP)	59,92	61,14	61,93	60,27
Profundidad de erosión máx. (m)	8,73	5,56	6,22	9,77

a: Ancho de pila

Erosión en Estribos.

Para el cálculo de la erosión en estribos se utilizó la ecuación de Froehlich, obteniéndose para este caso los siguientes resultados.

Tabla 10.- Erosión en estribos – Escenario 2

	ESCENARIO 2: Q = 300 m ³ /s	
	Margen Izquierda	Margen Derecha
Profundidad de erosión máx. (m)	8,12	2,16

Erosión Total.

El valor de Erosión Total se obtuvo sumando las erosiones parciales obtenidas en los puntos anteriores. Teniendo en cuenta la suma de la erosión por contracción y la que se registra en cada una de las pilas, se obtienen los resultados que se muestran en la Tabla 11

Tabla 11.- Erosión Total – Escenario 2

	ESCENARIO 2: Q = 300 m ³ /s											
	Pila 1 (a: 0,80 m)			Pila 2 (a: 0,40 m)			Pila 3 (a: 0,40 m)			Pila 4 (a: 0,80 m)		
	0,20mm	0,50mm	1,00mm	0,20mm	0,50mm	1,00mm	0,20mm	0,50mm	1,00mm	0,20mm	0,50mm	1,00mm
Cota de fondo sin erosión (mMOP)	68,65			66,70			68,15			70,04		
Cota de fondo erosionada (mMOP)	59,90	59,90	59,90	57,76	57,86	57,86	58,55	58,62	58,62	60,27	60,27	60,27
Profundidad de erosión máx. (m)	8,75	8,75	8,75	8,94	8,87	8,87	9,60	9,53	9,53	9,77	9,77	9,77

Nota: los valores de 0,2, 0,5 y 1,00 mm hacen referencia a la variación del tamaño medio del grano (d50).

Las siguientes figuras ilustran los resultados obtenidos.

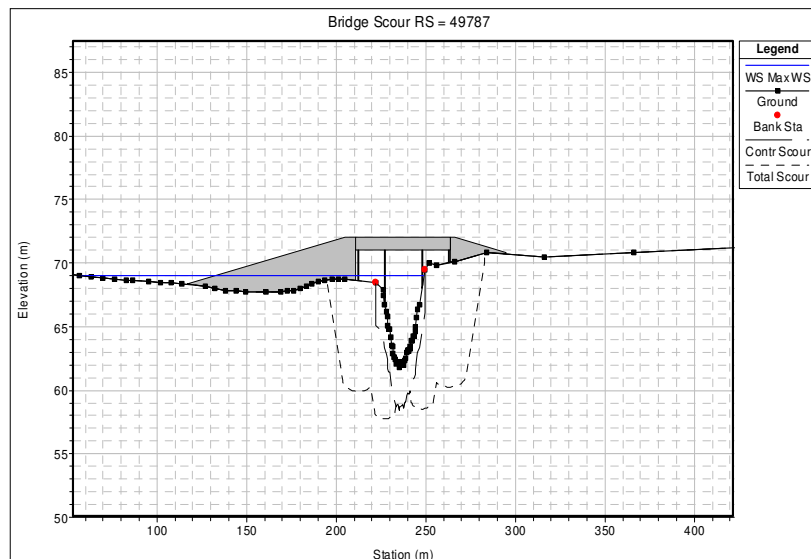


Figura 7. - Puente en Piedra Grande - Perfil Transversal erosionado – d50: 0.20mm

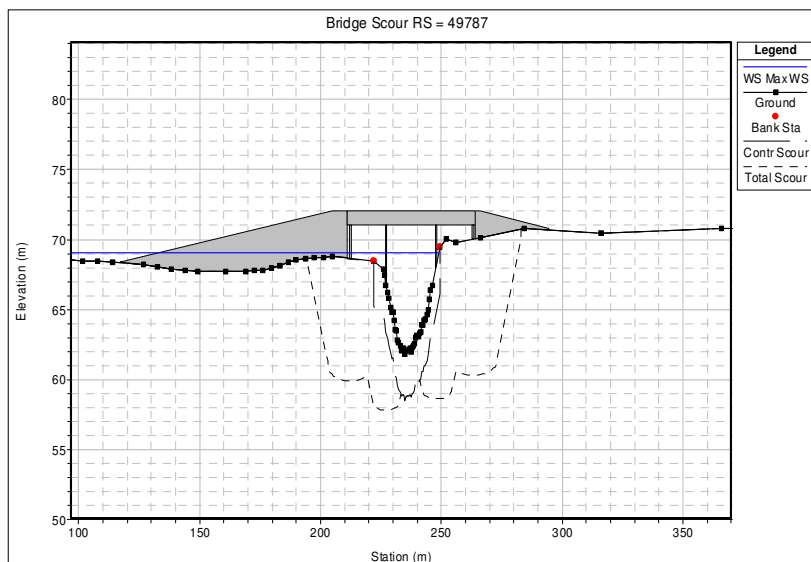


Figura 8. - Puente en Piedra Grande - Perfil Transversal erosionado – d50: 0.50mm

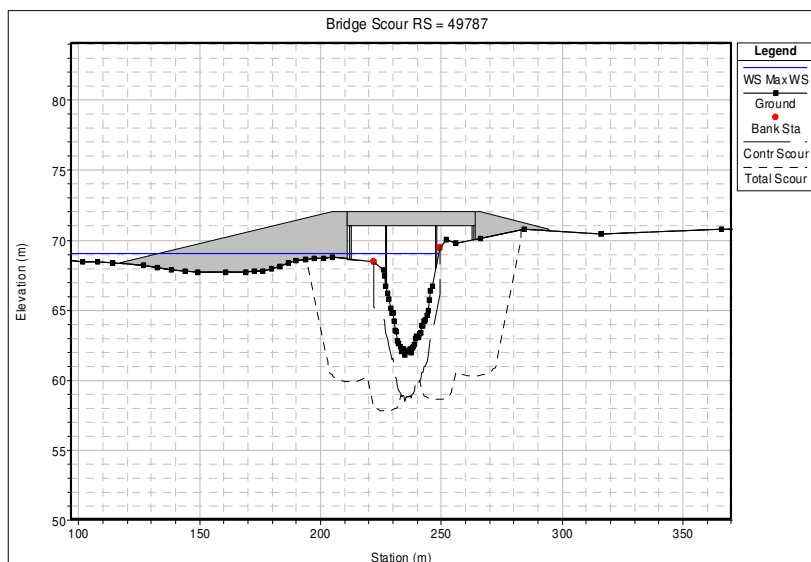


Figura 9. - Puente en Piedra Grande - Perfil Transversal erosionado – d50: 1.00mm

3. Análisis de Sensibilidad (Q:375 m3/s)

Erosión por Contracción.

Se tienen en cuenta las mismas consideraciones que para los Escenarios anteriores. Se obtuvieron los siguientes resultados.

Tabla 12.- Erosión por Contracción – Análisis de Sensibilidad

	ESCENARIO 2: Q = 375 m3/s		
	d50:0,20mm	d50:0,50mm	d50:1,00mm
Cota de fondo sin erosión (mMOP)	61,80		
Cota de fondo erosionada (mMOP)	58,32	58,32	58,39
Profundidad de erosión máx. (m)	3,48	3,48	3,41

Al igual que los casos anteriores, es posible observar que la profundidad de erosión por contracción presenta muy poca variación ante cambios en el tamaño medio del grano.

Erosión en Pilas.

Para el cálculo de la erosión en pilas se utilizó la ecuación de la Universidad del Estado de Colorado (CSU) obteniéndose los siguientes resultados.

Tabla 13.- Erosión en Pilas – Análisis de Sensibilidad

	ESCENARIO 2.1: Q = 375 m ³ /s			
	Pila 1 (a: 0,80m)	Pila 2 (a: 0,40m)	Pila 3 (a: 0,40m)	Pila 4 (a: 0,80m)
Cota de fondo sin erosión (mMOP)	68,65	66,70	68,15	70,04
Cota de fondo erosionada (mMOP)	59,78	61,04	61,82	60,11
Profundidad de erosión máx. (m)	8,87	5,66	6,33	9,93

a: Ancho de pila

Erosión en Estribos.

Para el cálculo de la erosión en estribos se utilizó la ecuación de Froehlich, obteniéndose para este caso los siguientes resultados.

Tabla 14.- Erosión en Estribos – Análisis de Sensibilidad

	ESCENARIO 2.1: Q = 375 m ³ /s	
	Margen Izquierda	Margen Derecha
Profundidad de erosión máx. (m)	9.23	2.50

Erosión Total.

El valor de Erosión Total se obtuvo sumando las erosiones parciales obtenidas en los puntos anteriores. Teniendo en cuenta la suma de la erosión por contracción y la que se registra en cada una de las pilas, se obtienen los resultados que se muestran en la Tabla 15.

Tabla 15.- Erosión Total – Análisis de Sensibilidad.

	ESCENARIO 2.1: Q = 375 m ³ /s											
	Pila 1 (a: 0,80 m)			Pila 2 (a: 0,40 m)			Pila 3 (a: 0,40 m)			Pila 4 (a: 0,80 m)		
	0,20mm	0,50mm	1,00mm	0,20mm	0,50mm	1,00mm	0,20mm	0,50mm	1,00mm	0,20mm	0,50mm	1,00mm
Cota de fondo sin erosión (mMOP)	68,65			66,70			68,15			70,04		
Cota de fondo erosionada (mMOP)	59,59	59,59	59,59	57,56	57,63	57,63	58,34	58,41	58,41	58,41	60,11	60,11
Profundidad de erosión máx. (m)	9,06	9,06	9,06	9,14	9,07	9,07	9,81	9,74	9,74	9,93	9,93	9,93

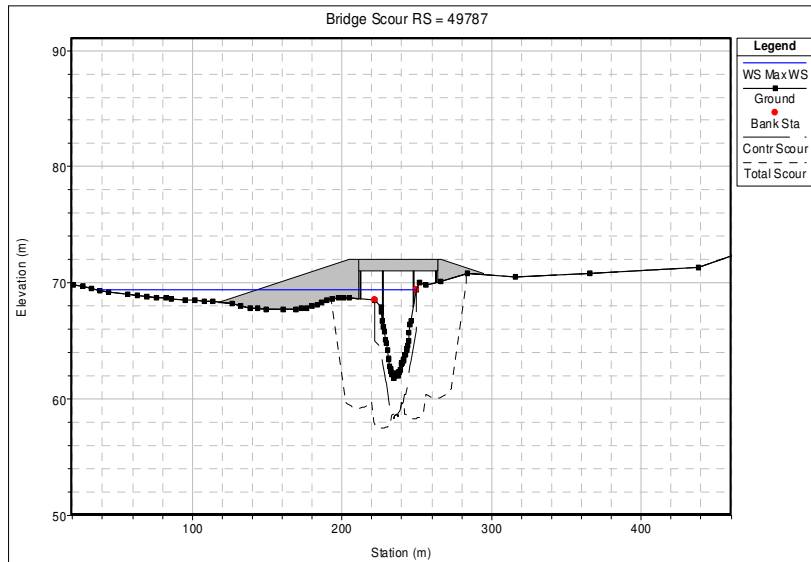


Figura 10. - Puente en Piedra Grande - Perfil Transversal erosionado – d50: 0.20mm

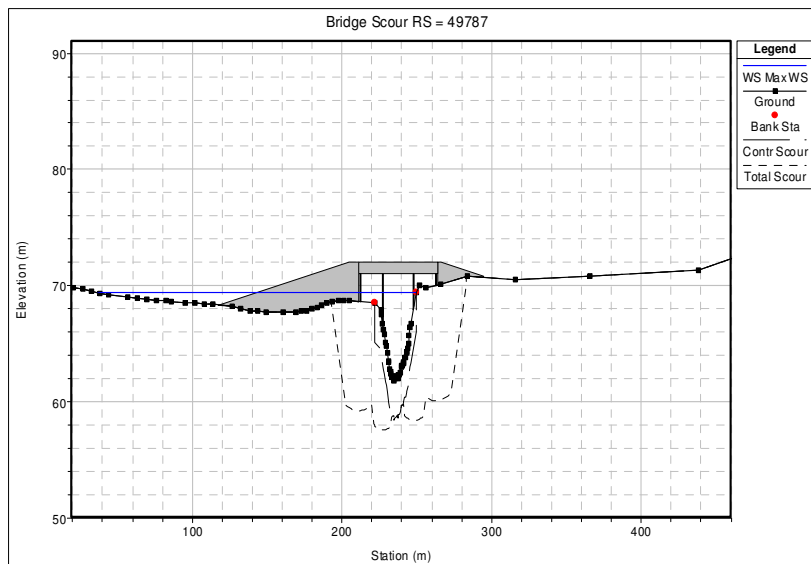


Figura 11. - Puente en Piedra Grande - Perfil Transversal erosionado – d50: 0.50mm

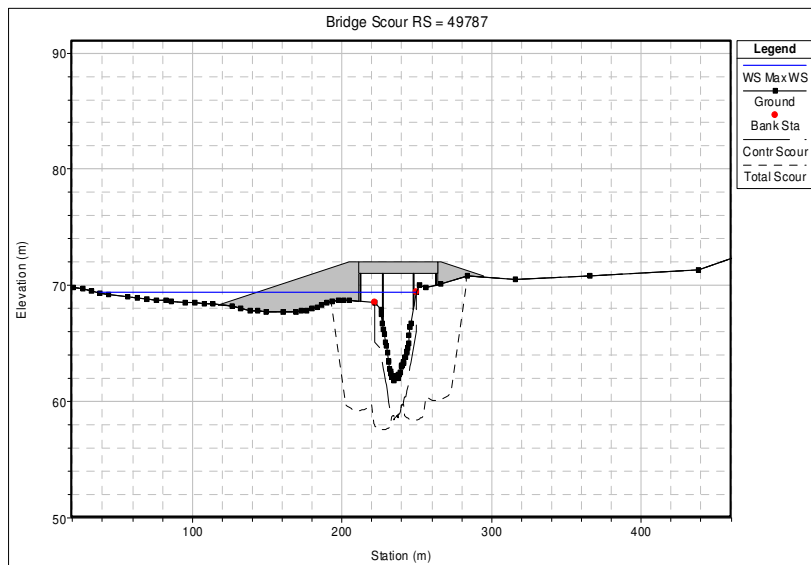


Figura 12. - Puente en Piedra Grande - Perfil Transversal erosionado – d50: 1.00mm

CONCLUSIONES

Teniendo en cuenta las conclusiones fueron elaboradas teniendo en cuenta que el tamaño medio del grano (d_{50}) adoptado es 0,50mm. Este valor se obtuvo de un estudio de suelo realizado en el área de estudio.

Las conclusiones obtenidas se enuncian a continuación.

- Para los escenarios 1 y 2 ($Q=200$ m³/s y $Q=300$ m³/s respectivamente) los niveles alcanzados por el agua en la sección de emplazamiento del puente, no alcanzan la cota del tablero del puente que a sido propuesta.
- Al aumentar el caudal utilizado en el escenario 2 un 25% ($Q=375$ m³/s) la cota del pelo de agua tampoco alcanza la cota del tablero propuesta. Sin embargo, para caudales mayores a 200 m³/s se generan desbordes sobre margen izquierda (Ver Figura 4)
- Para el Escenario 1 ($Q=200$ m³/s) la máxima profundidad de erosión por contracción es de 2,50m.
- Para el Escenario 2 ($Q=300$ m³/s) la máxima profundidad de erosión por contracción es de 3,30 m.
- Al aumentar el caudal del Escenario 2 un 25%, la máxima profundidad de erosión por contracción es de 3,48 m. por lo tanto un aumento de caudal del 25% genera un aumento en la profundidad de erosión por contracción del 5.45%.
- En relación a la erosión en pilas, las pilas N° 1 y N°4 del puente proyectado (Ver Figura 3), son las que sufren mayores erosiones, siendo la profundidad máxima de erosión de 8,30m (Pila N°1) y 9,28m (Pila N°4) para el Escenario 1. Para el Escenario 2, la profundidad máxima de erosión es de 8,73m (Pila N°1) y 9,74m (Pila N°4). Al aumentar el caudal del Escenario 2 un 25%, la profundidad de erosión aumenta solamente 14 cm en la Pila N°1 y 16cm en la Pila N° 4
- En cuanto a la erosión por estribos, en la margen izquierda se producen mayores erosiones, siendo la profundidad de erosión máxima de 6,13m para el Escenario 1 y de 8,12 m para el Escenario 2. Para un caudal de 375 m³/s, la profundidad de erosión en la margen izquierda es de 9,23m, por lo tanto un aumento del 25% de caudal utilizado en el Escenario 2 genera un aumento del 13,67 % en la profundidad de erosión.
- La erosión total se obtuvo como suma de las erosiones parciales, resultando que las máximas profundidades de erosión se dan en correspondencia con la pila N° 2 del puente proyectado (Ver Figura 3), referenciada desde Margen Izquierda. En estas condiciones, las profundidades de erosión totales resultantes generan un perfil erosionado que en esta zona (la más afectada) presenta una cota de fondo de 58,89mMOP para el escenario 1 y de 57,81 mMOP para el Escenario 2. Utilizando un caudal de 375 m³/s la cota de fondo del perfil erosionado es de 57,61mMOP.

NOTA: En función de información obtenida de perforaciones realizadas en el área de estudio (hasta 5 m de profundidad), no se evidencia la presencia de un estrato rocoso en las mismas. Los cálculos fueron realizados tomando en cuenta estos datos, sin embargo, si de determinara que la cota del techo rocoso es mayor a las cotas de erosión calculadas, se debe adoptar como máxima erosión hídrica la cota del techo rocoso.

Agradecimiento: Se agradece al Dr. Claudio Iglesias, Gerente de Yacimientos de Piedra Grande S.A, por la autorización a utilizar datos correspondientes al Proyecto “Río Chubut – Puente en Piedra Grande. Cálculo de Niveles de Pelo de Agua y Estimación de la Socavación Máxima”, para la realización del presente trabajo.



Instituto de Recursos Hídricos



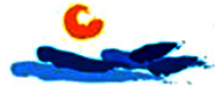
Facultad de Ciencias Exactas y Tecnologías



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



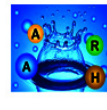
Secretaría del Agua



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 HIDRÁULICA

