



## **CASA DE PIEDRA: EFECTOS DE LAS AGUAS CLARAS EN LA HIDROGRAFÍA DEL RÍO COLORADO.**

*Hector Walter Cazenave*<sup>1</sup>

(Manuscrito recibido el 17 de junio de 2017, en versión final 10 de diciembre de 2017)

### **Para citar este documento**

Cazenave, H.W., (2017). Casa de Piedra: efectos de las aguas claras en la hidrografía del río Colorado. *Boletín geográfico*, 39, 109-125.

### **Resumen**

La construcción del dique de embalse Casa de Piedra en el tramo final del alto valle del río Colorado, modificó radicalmente las condiciones hidrológicas del curso aguas abajo de la represa. Esas modificaciones se advierten muy especialmente en el transporte de sedimento en suspensión, de los que el río Colorado es un agente sumamente activo y que ha generado su nombre. Con la construcción del dique, al perder las aguas capacidad de transporte al llegar al lago, precipitan hacia el fondo del mismo. Consecuentemente las aguas que eroga la represa, al carecer de carga sólida tienen una notable capacidad erosiva que acelera los procesos hidrográficos de aguas abajo incrementando la meandrosidad del curso y el proceso de formación de esas curvas; también cambia la salinidad del agua. Esos caudales son las llamadas “aguas claras” y su poder erosivo tiene a menudo efectos negativos en las áreas bajo riego.

A los efectos de cuantificar la citada aceleración en la formación de curvas se tomó un tramo con cartografía fiable que refleja un período de aproximadamente 25 años previos y posteriores a la construcción de la represa, comparándose en cada uno la aparición y desaparición de meandros. La variación fue significativa considerando los relativamente breves tiempos. Ello se vio refrendado con un nuevo vuelo aerofotográfico que demostró el incremento de la cantidad de meandros en el corto lapso sobre el tramo en consideración

**Palabras clave:** Río Colorado, Represa, Sedimentos, Erosión, Meandros

---

<sup>1</sup> Fundación Chadileuvú. Universidad Nacional de La Pampa (retirado). Santiago Marzo norte 271. Santa Rosa. La Pampa. Email:walcazen@cpenet.com.ar.

## **CASA DE PIEDRA DAM: EFFECTS OF CLEAR WATER ON THE RIVER COLORADO HYDROGRAPHY**

### **Abstract**

The construction of Casa de Piedra (Stone House) dam, in the final stretch of Colorado river high valley, radically modified down waters the hydrologic river course, especially regarding sediment transport, the majority of which settles in the lake. Consequently, waters the dam distributes, contain a remarkable erosive capacity, and accelerate down waters hydrographic processes, increasing river “meandering” and bringing about what is known as the “clear waters phenomenon” causing adverse effects on watering zones.

With the purpose of checking the fact in a quantitative way, cartographies from a certain stretch were taken, being this stretch considered a witness one in periods around 25 years, assessing meanders appearance and disappearance, and comparing these quantities with the variation -in the same sense-, that took place since Casa de Piedra dam start up. The quantities were significant considering the relatively short time gone by. The fact was checked in a new aero - photographic flight, according to which, in a shorter lapse, meanders number increased again in the witness stretch.

**Keywords:** Colorado river, Dam, Erosion, Meanders, Sediments

### **Introducción**

Dentro de un marco general de conocimiento de todo el río Colorado, la problemática a analizar es la del tramo correspondiente al curso del río a partir de la represa Casa de Piedra, y desde la puesta en función de la misma.

La hipótesis de trabajo postula que la nueva condición del agua erogada por el dique, casi desprovista del sólido que caracteriza al río y al que debe su nombre, aceleró en forma perceptible a escala temporal humana la erosión lateral, verificándose en el aumento de los meandros con relación a períodos de tiempo y actividad hidrológica similares; para demostrarla se plantean objetivos que apuntan a un mejor conocimiento físico en cuanto al funcionamiento de la hidrografía del río Colorado aguas abajo de la presa.

Si bien el interés por cuantificar y sistematizar la evolución de algunas geoformas fluviales se remonta a fines del siglo XIX, con los estudios de Fargue (1908) en Francia, es en la segunda mitad del siglo XX cuando esa idea cobra más fuerza, mayoritariamente en la escuela norteamericana. Los trabajos de Horton (1951), Leopold (1953), Derraux (1970), Schumm (1977); Strahler (1982), principalmente, sobre la cuantificación de redes y geoformas hidrográficas, dieron la pauta acerca de la posibilidad de dar un encuadre científico a lo que aparecía como una posibilidad. Las investigaciones de Brice (1975) aportaron una aproximación sobre la metodología a aplicar en el estudio de la evolución de las geoformas y es en los trabajos de Lagasse (2004) donde aparece una metodología evaluativa muy

similar a la que, sin conocerla anteriormente, se emplea en esta tesis. Igualmente la índole de la tarea obligó a una consulta cuidadosa, dentro de ciertos márgenes, de varios trabajos de ingeniería fluvial realizados dentro del país (Ramonel et al, 2003); (Menéndez, 2004); Weber et al (2005); Farías (2005).

Pareció de interés considerar otra circunstancia relacionadas con el dique y el nuevo tipo de agua erogada, como es la del fenómeno de las “aguas claras”, aparecido por primera vez en el valle del río Colorado con posterioridad a la construcción de la represa, y que ha tenido –y tiene todavía—consecuencias negativas en aspectos físicos y biológicos. Dado lo relativamente nuevo del fenómeno algunos datos se consiguieron por referencia directa in situ, en tanto que otros se derivaron de información tomada de otras regiones afectadas por el mismo problema.

## Metodología

La metodología de trabajo consistió en un análisis físico de las principales características del río. Para la verificación de los cambios hidrológicos se hizo una tarea de análisis estadístico y conversión a gráficos de las series de medias mensuales y anuales del río en caudal, gasto sólido y salinidad en las estaciones de aforo de Pichi Mahuida y Paso Alsina. El mismo está referido a los períodos anterior y posterior a la construcción del dique, a los efectos de comprobar cómo se manifestaba el río en su estado prístino y qué cambios hidrológicos generó la represa en los rubros mencionados.



**Figura 1.** Ubicación del lago de embalse Casa de Piedra(CdP) y de las estaciones de aforo de Pichi Mahuida y Paso Alsina.

En la parte hidrográfica se consideró un tramo comprendido entre los parajes Huelches y La Sirena, considerándolo como un adecuado testigo de los posibles cambios del río. Además fue elegido por contar con cartografía fiable y de una antigüedad acorde a las necesidades. Los documentos usados en este aspecto del trabajo (mapas, fotografías aéreas e imágenes satelitales) fueron unificados en una misma escala a los efectos de establecer comparaciones.

Sobre dicho tramo testigo se contabilizaron los meandros aparecidos y desaparecidos en dos períodos hidrológicos: 1948-1973 y 1974-2000, ambos de duración prácticamente igual y con similar coeficiente de variabilidad en los caudales, lo que lleva a suponer un comportamiento parecido en la acción de las aguas. La represa fue construida durante el segundo de esos períodos.

Sobre el tramo testigo se estableció la variación del índice de meandrosidad en ambos lapsos y se efectuó el conteo y comparación de los bucles y curvas. Los resultados evidenciaron un aumento en el número de esas geoformas.

#### *Herramientas de análisis*

Del segmento elegido existe cartografía a gran escala a partir de 1947, contándose posteriormente con imágenes satelitales (Landsat) y aerofotografías (IGM, 1973). A los efectos de comparación se construyeron imágenes a igual escala. Volcadas a mapas y formas aptas para computación se hicieron conteos de variación en la cantidad de las geoformas a ojo desnudo y verificaciones longitudinales del curso con Sistemas de Información Geográfica.

Para el análisis metodológico de la parte estadística y la realización de gráficos se usó planilla de cálculos y en el aspecto hidrográfico para la igualación de escalas entre imágenes y fotografías aéreas y mapas se utilizó un pantógrafo óptico digital Xerox.

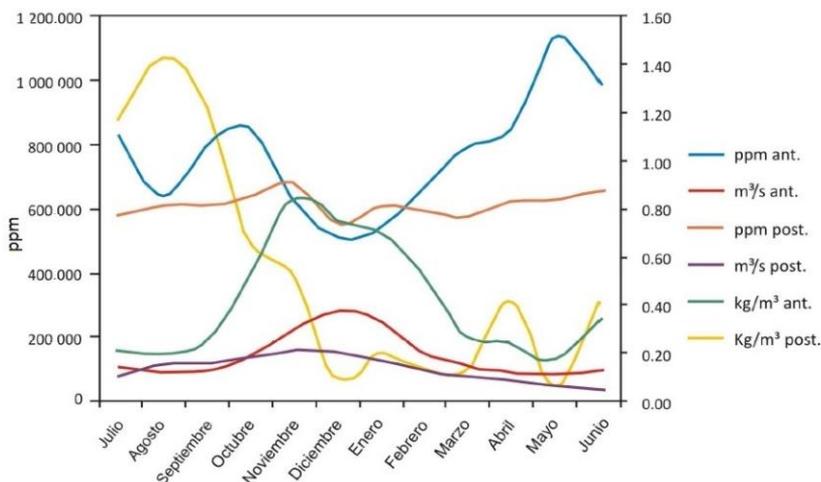
Las mediciones de longitudes se realizaron en forma expeditiva con un curvómetro y luego fueron mejoradas mediante el uso de un Sistema de Información Geográfica ArcGIS, Arcview, usando un módulo hidrográfico. El empleo de un segmento testigo

	<b>1981-82</b>	<b>1992-93</b>	<b><math>\Delta L</math> (km)</b>	<b><math>\Delta L</math> (%)</b>
<b>L (km)</b>	849,0	966,0	117,0	14,0

**Tabla 1.** Longitud total del río entre el dique y la desembocadura (L (km)), diferencia de longitud antes y después del cierre. ( $\Delta L$ , km) Fuente: elaboración propia.

Período	Meandros	Relación km/meandros
Según imágenes satelitales año 1973 (Anterior CDP)	181	4,69
Según imágenes satelitales años 1985/ 2000/2001 (posterior CDP)	188	5,14

**Tabla 2.** Cantidad de meandros entre Casa de Piedra y la desembocadura del río, antes y después del cierre (1973- 1985/2000/2001), relación km/ meandros. Fuente: elaboración propia.

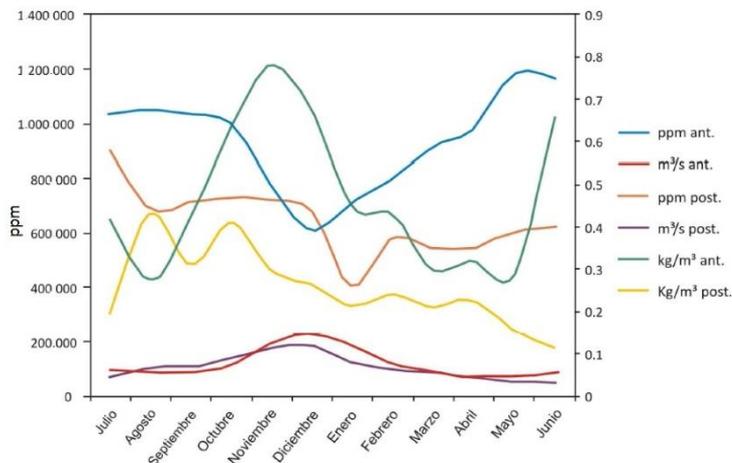


**Figura 2.** Estación de aforo Pichi Mahuida. Comparación de la distribución de caudal ( $m^3/s$ , línea roja), gasto sólido ( $kg/m^3$ , línea violeta) y salinidad (ppm, línea celeste) anterior (ant) y posterior (post) del cierre de Casa de Piedra. Período 1981/82 – 1992/93. Elaboración propia. Fuente: COIRCO 1999

La ya mencionada existencia de un relevamiento de detalle del tramo donde se pensaba originalmente levantar la presa de Huelches, que data del año 1948, permite dar un paso más en la búsqueda de la certeza sobre posibles modificaciones hidrográficas a causa de la presencia de Casa de Piedra. Se acepta que el plano citado es un relevamiento prolijo y de semidetalle por lo que resulta evidente que las curvas del río en el tramo considerado están bien trazadas. Al presente, ello daría la más antigua referencia cartográfica fidedigna del estado del curso en sus curvas y bucles en el área.

Con respecto al empleo de imágenes satelitales, se contó con las del mismo segmento referidas a los años 1973, ERST y 2001, Landsat. Por lo tanto se trabajó

para un intervalo de 25 años desde el primer documento fiable (el ya citado plano de 1948) hasta el primer registro satelital de 1973 y otro espacio temporal de 27 años entre aquella fecha y la tercera, correspondiente a Landsat 2001. En medio de las dos últimas se ubica la construcción del dique y posterior llenado del embalse.



**Figura 3.** Estación de aforo Paso Alsina. Valores medios de caudal ( $m^3/s$ , línea roja), gasto sólido ( $kg/m^3$ , línea violeta) y salinidad (ppm, línea celeste) anterior (ant) y posterior (post) del cierre de Casa de Piedra de salinidad, caudal y gasto sólido medio anterior y posterior al cierre. Período 1981/82 – 1992/93. Elaboración propia. Fuente: COIRCO 1999.

El contar con esa cartografía permitió considerar el tramo aludido como un segmento que oficia de testigo en cuanto al comportamiento de los meandros, tanto en lo que hace a su construcción como a su desaparición. Dicho segmento testigo se extiende sobre una longitud de 103 km siguiendo la vaguada del río. Está comprendido entre los  $65^\circ 45'$  oeste, sobre la longitud geográfica del establecimiento Las Retamas (RN), en proximidades de Paso Huelches y los  $66^\circ 09'$  oeste, a unos 5 km aguas abajo de la estancia La Sirena (LP), al este de la localidad de La Japonesa o Gobernador Duval.

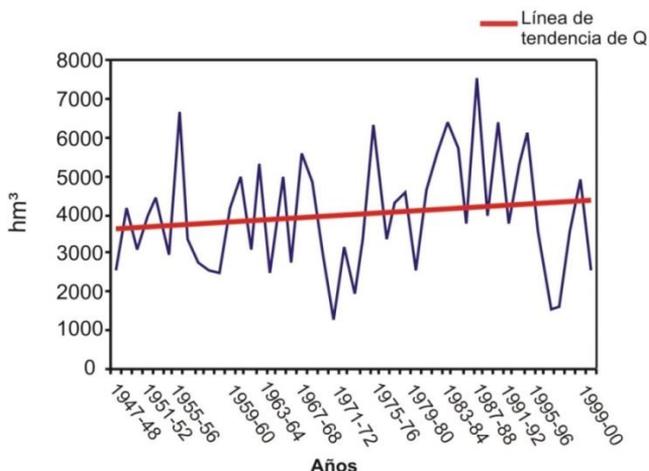
Parece lógico suponer que en lapsos tan similares, 25 y 27 años, si no tuvo grandes variaciones hidrológicas entre uno y otro, la acción natural del río debería haber tenido consecuencias semejantes. Para verificar esa similitud de períodos se calculó el Coeficiente de Variabilidad, herramienta estadística que resulta de asociar en un cociente la desviación estándar del promedio de las observaciones con la media de los mismos, expresándose el resultado en forma porcentual (Johnson, 1993). Se calculó el coeficiente en los períodos 1947/48 - 1972/73 y 1973/74 - /00 y los valores fueron de 36,42 y 35,81, respectivamente (Tabla 5).

<i>Período</i>	<i>Coficiente de variabilidad</i>	<i>Diferencia porcentual</i>
1947-48/1972	36,42	
1973-74/1999	35,81	1,67

**Tabla 3.** Coeficiente de variabilidad en los períodos considerados. Fuente: elaboración propia.

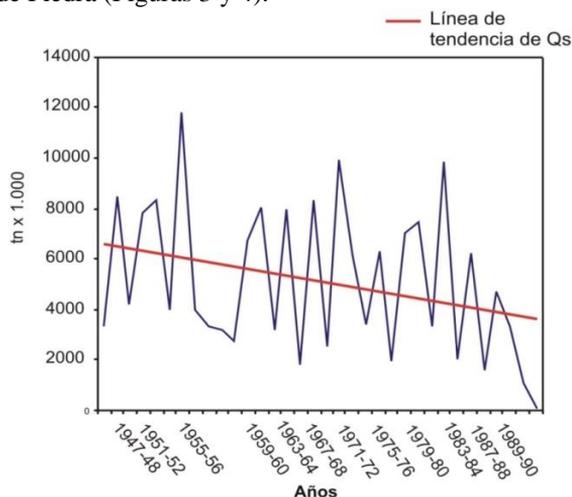
En el análisis de los valores correspondientes se advierte que hay una variación porcentual del derrame favorable al segundo de los períodos considerados del orden de 1,67 %, por lo que se podría considerar que los períodos son similares.

Dado que en las últimas décadas se han registrado variaciones climáticas significativas se analizó la tendencia hidrológica del río, tanto en lo que hace a caudal como a gasto sólido, a los efectos de comprobar cómo repercutían esos cambios a nivel estadístico. La tendencia del río para estos años, marca un ascenso constante en el derrame a partir de 1948 y hasta 1994 (Fig. 3.). Aproximadamente a partir de la década de 1960 la tendencia supera la media de derrame anual en Pichi Mahuida de 4200 hm<sup>3</sup>. Con el mismo año de inicio el aporte de sólidos se manifestó decreciente y hacia 1955 la línea de tendencia cruzó los 5.000.000 de tn/año que podían estimarse como media del aporte total entre 1938 y 1990, cuando cesan los registros.



**Figura 3.** Estación de aforo Pichi Mahuida. Tendencia hidrológica del río durante el período 1947 - 48/1991/92 en el tramo testigo. Fuente: elaboración propia y EVARSA 2000

Es llamativo que, con una tendencia de mayores caudales, que normalmente originan mayores trasportes, el sólido se muestre como decreciente a lo largo de tanto tiempo. La tendencia natural de esos años se ve complementada a partir del segundo semestre de 1989, con la presencia retentiva de sedimento por parte de Casa de Piedra (Figuras 3 y 4).



**Figura 4.** Tendencia del caudal sólido del río durante el período considerado en el tramo testigo 1947-48/1988 - 89. Fuente: elaboración propia y EVARSA 2000.

Con lo expuesto se puede inferir que una comparación de la traza hidrográfica entre 1948 - 1973 y 1973 - 2001 permitiría una estimación de la actividad erosiva en ambos períodos. Para conseguirla se trabajó con las distintas cartografías del tramo testigo obtenidas a partir de imágenes satelitales correspondientes a esos años que, como ya se mencionó, fueron llevadas a la misma escala.

#### *Modificaciones en la cantidad de meandros*

Se debe considerar que en el segundo período, aproximadamente desde 1993, comenzó a hacerse sentir con más intensidad el efecto del embalse. Las diferencias en lo que hace a la cantidad de meandros existentes en el tramo se evidencian al hacer la comparación cartográfica de ambos períodos. Los resultados se presentan en la Tabla 4.

<i>Período</i>	<i>meandros</i>	<i>Variación %</i>
1948/1973	3	
		166
1973/2000	8	

**Tabla 4.** Modificaciones de meandros en el curso del río Colorado, 1973 - 85/2001. Tramo testigo en Huelches. Fuente: elaboración propia

Se advierte que el lapso 1973 – 2000, pese a ser mayor en dos años más, casi triplica la cantidad de ocurrencias de modificaciones en la hidrografía del tramo en cuanto a meandros aparecidos. El suceso refuerza la presunción de la gran capacidad erosiva que poseen las aguas emergentes de Casa de Piedra, casi completamente desprovistas de sedimento y que esa condición debió manifestarse más en los últimos 8 años, cuando empezó a hacerse sentir el efecto del gran embalse.

Sin embargo, el análisis de las variaciones entre las imágenes satelitales de 1973 y 1985, todavía sin el efecto decantador del dique, señala ya la presencia de algunos bucles considerables. En el último período 1985 – 2000 se produce la aparición de una serie de curvas en el final del tramo, aunque no alcanzan todavía la condición de meandros.

En la Tabla 7. se advierte la variación absoluta que ha tenido el tramo testigo en lo que al número de meandros respecta en uno y otro de los períodos considerados. El índice de meandrosidad se calcula sobre la extensión del mismo en 1948 (103 km) advirtiéndose la creciente variación, muy acentuada entre 1973 y 2000.

<b>Año</b>	<b>meandros</b>	<b>meandros/Long</b>	
		<b>.tramo</b>	<b>Indice</b>
1948	35	35/103,95	0,337
1973	38	38/103,95	0,366
	44	44/103,95	0,423

**Tabla 5.** Cambios hidrográficos en la traza del tramo testigo Huelches. Cantidad total de meandros e índice de meandrosidad. Fuente: elaboración propia.

Por otra parte, en la Tabla 7 se muestra la variación porcentual de la cantidad de meandros para los períodos considerados. En el primer período, 25 años previos a la construcción del dique (situación a) se señala el crecimiento en la meandrosidad del tramo. En la situación (b) se indica el aumento porcentual de todo el período documentado. Se advierte que en los 27 años del período b), con la influencia de Casa de Piedra a partir de 1989, el porcentual de aparición de meandros prácticamente se ha duplicado con relación al primer período a) y triplicado si se lo compara con los valores iniciales.

Variación	% a)	% b)
48-1973	8,6	
1973-2000		15,8
1948-2000		25,7

**Tabla 6.** Variación porcentual de la cantidad de meandros. 1948/1973, 1973/2000 y 1948/2000. Tramo testigo en Huelches. Fuente: elaboración propia.

En la tabla 7 se observa que, aunque en un período seis años menor, los derrames de 1974 – 75/94 fueron en promedio casi un 20 % mayores que los de 1947 – 48/73, confirmando la tendencia creciente ya mencionada. Pero aún con este dato, significativo en cuanto a una posible mayor acción erosiva en el segundo período por crecimiento del derrame es muy llamativo el incremento de curvas en el tramo testigo (Tabla 8.8) ya que, aunque hubiera mayores caudales, los mismos estuvieron siempre condicionados en su fuerza erosiva por la capacidad de transporte del abundante sedimento que arrastraba el curso.

En definitiva puede aceptarse que las trazas hidrográficas fiables obtenidas permiten considerar un período comprendido entre 1948 y 2001, con subperíodos 1948 - 1973 (con un lapso de 25 años); 1973 - 1985 (12 años intermedios) y 1985 - 2001 (16 años).

Período	D ( $10^6 \text{ m}^3$ )	$\Delta D$ (%)
1947-48/73 (26 años)	3673,8	19.8
1974-75/94 (20 años)	4404,6	

**Tabla 7:** Estación de aforo Pichi Mahuida. Derrame medio anual (D,  $10^6 \text{ m}^3$ ), y variación ( $\Delta D$ , %).

En el primero de esos períodos, usando como base la traza de 1948 (Figura 5) se detecta:

- 1.- Aparición de un rulo simétrico en U a comienzos del tramo, ubicado sobre la orilla norte.
- 2.- Aproximadamente a 28 km del anterior otro, simétrico, sobre la orilla sur.
- 3.- A 21 km del segundo, aparece un tercer meandro, también en la orilla norte, éste claramente inclinado en el sentido de la corriente.

Los meandros 1 y 3 ya se insinuaban apenas como curvas en 1948, por lo que se supone que han tardado un cuarto de siglo en alcanzar la condición plena de meandro, con el río en estado prístino con relación a aguas arriba.

En la Tabla 8 se presenta la información cuantificada en lo que hace a la cantidad de meandros aparecidos (a) y desaparecidos (b) por márgenes. Sobre un lapso de 53

años hubo períodos de notable acción erosiva que generaron un total de 9 nuevos meandros, en tanto que esa misma acción hizo que en igual tiempo desaparecieran 5. El índice tiempo – cantidad (t/c) se consigna en la última columna e indica la relación entre ambas variables en lo que a producción de curvas se refiere. Cuanto menor es el coeficiente mayor ha sido la acción erosiva del río.

(a)

Período	Lapso	Aparecidos	Margen N	Margen S	Índice t/c *
1948/73	25	3	2	1	8,33
1973/85	12	3	2	1	4
1985/01	16	3	0	3	5,33
Total	53	9	4	5	

(b)

Período	Lapso	Desaparecidos	Margen N	Margen S	Índice t/c **
1948/73	25	0	0	0	
1973/85	12	1	0	1	12
1985/01	16	4	2	2	4
Total	53	5	2	3	

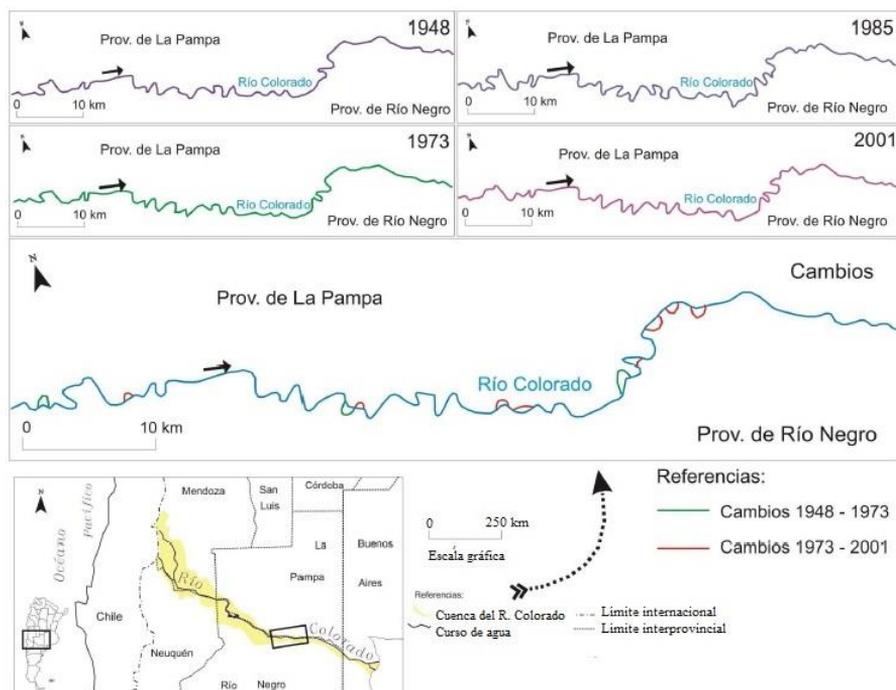
Referencias: t/c: tiempo/cantidad; \*Aparecidos solamente; \*\*Desaparecidos

**Tabla 8:** Aparición (a) y desaparición (b) de meandros en el tramo testigo en el período 1948-2001. Fuente: Elaboración propia.

En el segundo de los períodos considerados, 1973 - 1985 (Figura 5) se observa la aparición de otros tres meandros:

#### *Cambios al año 2005*

En diciembre de 2005 COIRCO realizó un vuelo aerofotográfico de todo el valle del río Colorado, el cual fue consultado a los efectos de contar con un nuevo elemento de diagnóstico. La realización del mismo radicó en la oportunidad de contar con una herramienta evaluativa en aguas máximas, ya que el derrame de ese año se encuadró en los correspondientes a períodos muy húmedos, constituyéndose en el tercero en magnitud de los registrados en el récord del río. A los efectos de esta tesis ese vuelo, no fotogramétrico y a escala aproximada 1:25.000, brindó la oportunidad de corroborar el supuesto inicial, el cual fue que las aguas desprovistas de sedimento que eroga el dique Casa de Piedra tienen una fuerte capacidad erosiva, perceptible en tiempo de escala humana.



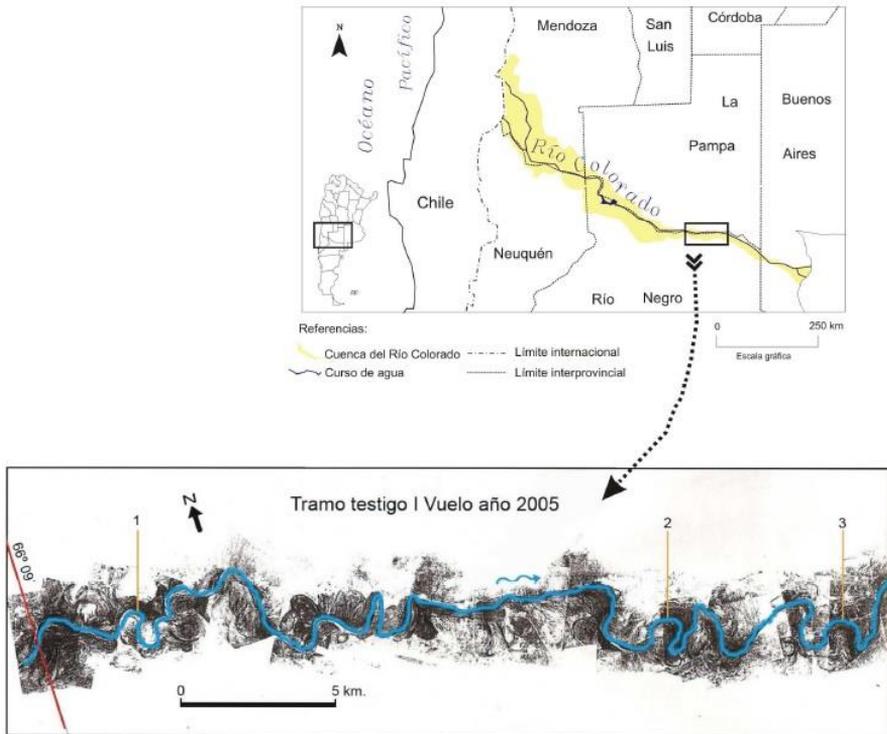
**Figura 5.** Formación y desaparición de meandros. Río Colorado en el tramo testigo Huelches. Período 1948 – 2001. Fuente: elaboración propia y Cartografía realizada por Andrea M. Silva (2011).

Con las fotografías del vuelo se armó un mosaico que comprende el tramo testigo. A los efectos de la interpretación del mismo se señala que, al decir que un meandro “se recuesta” sobre una orilla se pretende expresar que sobre la misma se encuentra la parte cóncava de la curva, en tanto que en la orilla opuesta se ubica la cuerda del arco del bucle. El mosaico, al ser comparado con la versión similar del año 2001, arrojó para el año 2005 las variaciones indicadas en las (Figs. 6 y 7.

- 1.- Desde aguas arriba hacia aguas abajo aparición de un meandro recostado en la margen izquierda, orilla norte y, a continuación del contrameandro, parece estar creciendo un nuevo bucle, más pequeño, sobre la orilla sur.
- 2.- Aparición de un nuevo y definido meandro donde existía un tramo recto, recostado sobre la orilla norte.
- 3.- Modificación de un meandro caracterizado por rematar en una curva de ángulo agudo, transformándose en redondeado, recostado también sobre la orilla norte.
- 4.- Desaparición de un bucle en la orilla norte por estrangulamiento, transformándose en otro recostado sobre la orilla sur.

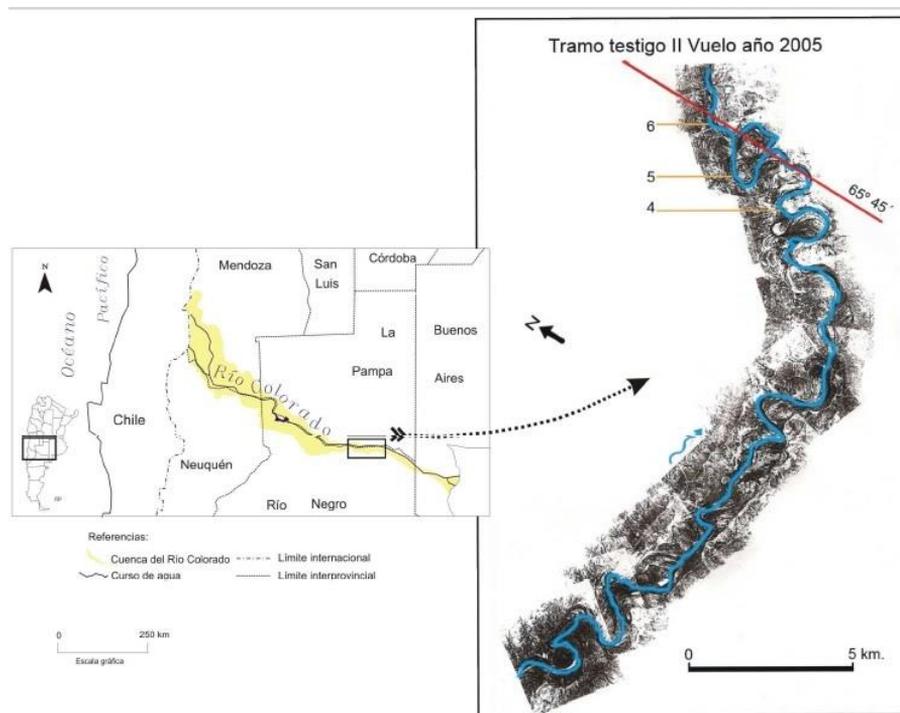
5.- En el comienzo del lóbulo de la última formación del tramo testigo se abrió un nuevo brazo del río que obra como cuerda del arco del meandro ya existente y va tomando, a su vez, características de bucle.

6.- Las dos curvas ubicadas en esa parte final, sobre la orilla norte y que en 2001 parecían evolucionar hacia meandros han perdido entidad como tales y casi desaparecido.



**Figura 6.** Tramo testigo I. Vuelo año 2005. Fuente: COIRCO; Fuente: elaboración propia y Cartografía realizada por Andrea M. Silva (2011).

Lo observado refuerza la idea central de la tesis expuesta en los mapas y cuadros anteriores. Adviértase que las variaciones de la traza hidrográfica 1973 – 2001 indican la aparición o modificación de ocho curvas en ese período (dentro del cual Casa de Piedra empezó a funcionar plenamente en 1994) en tanto la comparación con la traza del vuelo de 2005 indica seis modificaciones (ocho si se consideran los más pequeños mencionados en 1 y 6) pero en un período de cuatro años.



**Figura 7.** Tramo testigo II. Vuelo año 2005. Fuente: COIRCO; Elaboración: elaboración propia y Cartografía realizada por Andrea M. Silva (2011).

En la tabla 12 se presenta una síntesis de las modificaciones de meandros en el tramo testigo del río Colorado para los períodos analizados, con el aditamento de un relevamiento de detalle más cercano efectuado por el COIRCO en época reciente. Se observa que resulta elocuente la relación entre la cantidad de meandros aparecidos en un período y la duración del mismo. Las modificaciones en el tramo testigo han cuadruplicado las del período anterior en un lapso cinco veces menor.

La disponibilidad de imágenes correspondientes a 2011, permitió una verificación actualizada sobre curvas y longitudes en el río Colorado, empleando un ArcGIS 9. Las mismas, aunque fuera del contexto temporal de este trabajo, permiten aportar datos actualizados en la materia (Servicio Minero Geológico de los EE.UU., 2011). Los nuevos valores indican 719 km desde el dique hasta el mar, con 156 bucles en el tramo, lo que arroja una relación entre longitud y cantidad de meandros de 4,61. Ese coeficiente es muy similar al registrado originalmente, sin el embalse construido, que alcanzaba a 4,69 (ver Tabla 2)

<b>Período</b>	<b>meandros</b>	<b>Relación meandros/t</b>
1948/1973 (25 años)	3	0,12
1973/1985/2000 (27 años)	8	0,3
2000/2005 (5 años)	6	1,2

**Tabla 8.** Modificaciones de meandros en el curso del río Colorado relación meandros / tiempo (t). Tramo testigo en Huelches. Períodos 1948/1973; 1973/1985/2000; /2001/2005. Fuente: elaboración propia

En la misma tesitura la longitud total del río Colorado, desde su nacimiento en la confluencia de los ríos Grande y Barrancas hasta el mar, indicó 1.154 km, una cifra sorprendente ya que ningún trabajo anterior, le adjudicaba más de un millar de km.

## **Conclusiones**

La relación entre las corrientes fluviales y los medios físico y biológico que atraviesan ha sido preocupación del ser humano desde tiempos lejanos. Los enfoques científicos respecto a la singularidad e importancia que tienen las curvas que naturalmente se producen en los cursos de agua se dan a partir de fines del siglo XIX y comienzos del XX, especialmente por acción de las escuelas geomorfológicas francesa y norteamericana. En lo que hace al río Colorado esos estudios son relativamente recientes, en parte dirigidos a determinar origen y funcionamiento de la gran cantidad de caudal sólido que transporta.

El levantamiento del dique Casa de Piedra, sobre la parte final del alto valle, alteró drásticamente el comportamiento del río en cuanto al arrastre de sólidos. El gran lago de embalse formado produce la deposición del material transportado en suspensión, dándole a las aguas emergentes, que han dejado en el lago las arcillas y el limo que transportaban, una nueva condición física y en parte también química. Este hecho ha generado el fenómeno conocido como “aguas claras”. Esos materiales, antes de existir el dique, se depositaban aguas abajo sobrelevando el lecho e impermeabilizando naturalmente los canales en las áreas de regadío de los valles medio e inferior.

A fin de determinar y cuantificar los efectos témporo – espaciales en el diseño del drenaje por aceleración en la evolución de las curvas del río, se trabajó sobre un segmento ubicado aguas abajo de la presa. El mismo está en condiciones de obrar como “testigo” de esos cambios al contarse con registros cartográficos y de sensores remotos, anteriores y secuenciales.

El análisis cuantitativo de los registros correspondientes a las dos estaciones de aforo ubicadas aguas abajo del dique –Pichi Mahuida y Paso Alsina– demuestra que ha habido transformaciones de fondo en la condición hidrológica del río Colorado en

las series temporales considerados, especialmente en lo que hace a la cantidad y distribución estacional de los caudales y la disminución del sólido transportado en el tramo entre el dique y la desembocadura, con el consecuente aumento de la capacidad erosiva del agua. También en sales totales es manifiesta la influencia del embalse ya que todos los registros han disminuido porcentualmente.

Estos cambios han tenido como consecuencia modificaciones en la traza hidrográfica, produciendo aparición y desaparición de meandros en plazos comparativamente breves respecto a secuencias anteriores, lo que indica una relación temporal del agua desprovista o escasa de carga sedimentaria.

En los aspectos hidrográficos, se han expuesto las razones cuali cuantitativas que permiten afirmar que se han producido aguas abajo del mismo cambios significativos de la traza del río en tiempo y forma. Los mismos consisten en una aceleración del proceso erosivo sobre las márgenes en los valles medio e inferior con relación al que manifestaba el río en su estado prístino, debido a las mayores capacidades de carga y erosión de las aguas, que emergen del embalse prácticamente sin sedimentos.

En el segmento fluvial utilizado como muestra se evidencia que el río tuvo en ocho años una acción semejante o superior a la que normalmente le llevaba dos décadas para resultados similares. Para períodos casi similares –25 y 27 años– los aumentos porcentuales fueron del 8,6 % y 15,6 %, de lo que se deduce que la causa principal del incremento debió ser el agua con mayor capacidad de transporte.

Sin embargo las “aguas claras” también han tenido un aspecto positivo, sí que menor, como es el que su mismo nombre indica, motivando un mayor aprovechamiento turístico y facilitando el uso para consumo humano de las poblaciones ribereñas, y aun de aquellas de fuera de la cuenca.

### **Bibliografía**

- Brice, J.C., 1975: *Earth Surface. Processes and Landform. Fluvial Geomorphology* Final Report to the US Army Research Office.
- Cazenave H.W., 2011: *Efectos de la represa Casa de Piedra en la variación témporo especial de las características hidrológicas y del diseño de drenaje del río Colorado*. Tesis de doctorado. Universidad Nacional del Sur. Bahía Blanca.
- COIRCO (1992): *Sedimentación en el embalse “Casa de Piedra”*. Viedma: COIRCO.
- Derruau, M., (1970): *Geomorfología*. Barcelona: Ariel.
- Fargue L., (1908): *Hidraulique fluviale: la form du lit des rivières a fond mobile* ((1995, documento electrónico: reproducción de la edición de 1908)
- Farías, H. D., (2005): *Forma en planta de ríos de llanura. Conciliación de criterios empíricos y analíticos para la identificación de umbrales morfológicos*. En Principios y aplicaciones en hidráulica de ríos. Segundo Simposio Regional sobre Hidráulica de Ríos, AIC-INA Neuquén.
- Horton, R. (1945). Erosional development of streams and their drainage basins; hydrophysical approach to quantitative. morphology. *Geological Society Of America Bulletin*, 56(3), 27.5 .

[http://dx.doi.org/10.1130/0016-7606\(1945\)56\[275:edosat\]2.0.co;2](http://dx.doi.org/10.1130/0016-7606(1945)56[275:edosat]2.0.co;2)

- Johnson, R. (1993). *Estadística elemental*. México, México.: Iberoamericana.
- Lagasse, P.: (2005). *A matter of course. Prediction River Change 1975-2004*. New NCHRP Report. US Army Research Office.
- Leopold, L. B., (1953): River meanders and vorticity theorem. *Transactions American Geophysical Union*. (34) 6, 955-959.
- Schumm, S.A., 1977: *The fluvial system*. J. Wiley & Sons. N.Y. USA.
- Menéndez, A. N., 2005: *Estado del arte en la simulación numérica de la evolución morfológica de cauces fluviales con erosión de márgenes*. Facultad de Ingeniería. Universidad de Buenos Aires.
- Strahler, A. (1982). *Geografía física*. Barcelona: Omega.
- Ramonell, C. G. & Amsler, M.I., (2003): *Avulsión y rectificación de meandros: consideraciones para su predicción*. En Primer Simposio Regional sobre Hidráulica de Ríos, Buenos Aires.
- Weber, J. F., Tarrab, L.; Rojas, J.; Liendo L.; Paoli H., (2005): *Influencia de la geometría en la predicción de la distribución de velocidades en cauces naturales*. En: Principios y aplicaciones en hidráulica de ríos. Segundo Simposio Regional sobre Hidráulica de Ríos, AIC-INA Neuquén