



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SUR

TESIS DE DOCTORADO EN GEOGRAFÍA

**EFFECTOS DE LA REPRESA CASA DE PIEDRA EN LA VARIACIÓN
TÉMPORO ESPACIAL DE LAS CARACTERÍSTICAS HIDROLÓGICAS
Y DEL DISEÑO DE DRENAJE DEL RÍO COLORADO**

Lic. HÉCTOR WALTER CAZENAVE

BAHÍA BLANCA

ARGENTINA

2011

|

II

Efectos de la represa Casa de Piedra en la variación...

PREFACIO

Esta Tesis se presenta como parte de los requisitos para optar al grado académico de Doctor en Geografía, de la Universidad Nacional del Sur y no ha sido presentada previamente para la obtención de otro título en esta Universidad u otra. La misma contiene los resultados obtenidos en investigaciones llevadas a cabo en el ámbito del Departamento de Geografía y Turismo durante el período comprendido entre el 9 de septiembre de 2008 y el 10 de septiembre de 2011, bajo la dirección de la Dra. Alicia María Campo, Profesora Asociada de la Cátedra de Geografía de los Sistemas Naturales I, del Departamento de Geografía y Turismo de la Universidad Nacional del Sur.

H. Walter Cazenave

20 de septiembre de 2011
Departamento de Geografía y Turismo
Universidad Nacional del Sur



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SUR

Secretaría General de Posgrado y Educación Continua

La presente tesis ha sido aprobada el / / , mereciendo la calificación de(.....)

|

IV

Efectos de la represa Casa de Piedra en la variación...

RESUMEN

El río Colorado se ubica en la parte Norte de la Patagonia argentina y atraviesa con dirección Oestenoeste - Sursureste un sector del país de condición árida y semiárida ubicado entre la Cordillera de los Andes y el océano Atlántico, con un recorrido cercano a los 1.000 km.

Esta tesis doctoral aborda el estudio de las características hidrológicas y el estudio específico de las variaciones en el diseño de drenaje de un tramo testigo ubicado en un área predeterminada por su cartografía secuencial y fiable en relación con las posibles variaciones hidrogeomorfológicas.

Dentro de la problemática general que presenta el río Colorado, se tuvo en cuenta la función del río Curacó, último tramo de la gran cuenca Desaguadero – Salado – Chadileuvú, a la que le da carácter de exorreica. Las periódicas activaciones del Curacó crean serios problemas de salinidad en las cuencas media y baja del Colorado, parcialmente mitigados en la actualidad por la represa Casa de Piedra.

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. Por acción de su gran embalse se produce la deposición del material transportado en suspensión, dándole una nueva condición física -y en parte también química- a las aguas emergentes del dique, que han dejado en el lago las arcillas y el limo que transportaban. Esos materiales, antes de existir el dique, se depositaban aguas abajo e impermeabilizaban naturalmente los canales en las áreas de regadío de los valles medio e inferior. El agua que vierte Casa de Piedra, casi carente de sedimento, tiene una capacidad erosiva mayor que la que fluye antes del embalse; esa condición permite reducir el tiempo de formación de meandros con respecto a sectores de aguas arriba de la presa. Esas condiciones han generado también el fenómeno conocido como “aguas claras”. El estudio ordena en el tiempo y el espacio las variaciones de curvas y meandros del tramo testigo, cuantificándolas.

Aunque también se han visto alteradas las curvas de caudal y salinidad es en el gasto sólido donde el dique Casa de Piedra ha provocado los cambios más visibles y fundamentales en el ser y quehacer del río. La curva resultante de los nuevos valores refleja la situación con respecto a la anterior y marca una fuerte disminución en el acarreo.

Esta tesis es además un aporte a posteriores investigaciones interdisciplinarias, especialmente en el campo de la hidráulica y la geomorfología fluvial, dos disciplinas bajo las cuales el río Colorado ofrece un amplio campo de estudios. El trabajo detecta, determina y cuantifica los cambios físicos y humanos generados por la presencia del dique, algunos ya evidentes y otros en trance de serlo.

ABSTRACT

The construction of Casa de Piedra dam, in the final stretch of Colorado river high valley, radically modified down waters the hydrologic river course, specially as regards 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 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.

|

DEDICATORIA

A Blanca, Florencia, Marién y Germán, por su paciencia y cariño.

A la memoria de mis padres.

**Agüita del Colorado
nunca te voy a olvidar;
vengo de las tieras altas,
allá donde el hombre se cansa de estar.**

*Juan Carlos Bustriazo Ortiz: **Los poemas puelches.***

**“... saber lo que es un río, todo un río,
su porfiada hermosura”**

*Edgar Morisoli: **Salmo bagual***

AGRADECIMIENTOS

El autor quiere dejar constancia de su agradecimiento al Departamento de Geografía y Turismo de la Universidad Nacional del Sur, tanto por su buena recepción a este proyecto como por el allanamiento de las dificultades que impone la distancia; a la Dra. Alicia María Campo, que aceptó la dirección de la tesis; con intercambio nutrido de opiniones y sugerencias. Al agrimensor Edgar Morisoli, por la sugerencia del tema de tesis y su constante consideración y aportes; al profesor Raúl Hernández Bocquet por la indicación de fuentes; al ingeniero Raúl Gatto Cáceres por el suministro de materiales estadísticos y opinión sobre interpretación de los mismos; a la doctora María Cristina Martín y licenciada Vanina Bolaño por la forma de utilización de esos materiales; al licenciado José Pascual, por su paciente asesoramiento en informática; a los ingenieros Mauro Evangelista, Julia Fernández y Jaime Sterin por el acceso a documentación; al licenciado Jorge Tullio, por sus aportes en materia geológica; a los doctores María Angélica Diez y Silvio Casadío por las sugerencias metodológicas; a la licenciada Mónica Castro por su asesoramiento en sensores remotos; al ingeniero Mariano González Roglich por su ayuda en cartografía; a la licenciada Andrea Silva por la realización y asesoramiento en gráficos; a la licenciada Elsa Braun y el contador Tomás Río, que ajustaron los aspectos computacionales; a los técnicos Juan Bautista Cardoso y Armando Cappello; a Susana Grassman, a Claudia Espinosa, al personal del Comité Interjurisdiccional del río Colorado (COIRCO) y, en general, a todos los organismos hídricos de La Pampa por permitir el acceso a sus materiales.

ÍNDICE GENERAL

Prefacio	III
Resumen	V
Abstract	VII
Dedicatoria	IX
Agradecimientos	XI
Índice General	XIII
Índice de Figuras	XVIII
Índice de Tablas	XXII
PARTE I	1
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN	3
1.1. Antecedentes del tema	3
1.2. Formulación del problema y área de estudio	5
1.3. Fundamentos para la elección del tema de tesis	7
1.4. Hipótesis de trabajo	8
1.5. Objetivos de la tesis	8
1.5.1. Objetivo general	8
1.5.2. Objetivos específicos	9
1.6. Materiales y métodos	9
1.6.1. Materiales	9
1.6.2. Métodos	12
CAPÍTULO 2. EL AMBIENTE HUMANO	19
2.1. Primitivos habitantes: de tehuelches a mapuches	19
2.2. Los viajeros desde Chile y el camino marginal	21
2.3. Historia del conocimiento geográfico del paraje Casa de Piedra	21
2.4. Las mensuras oficiales	23
2.5. Cipolletti: un precursor	25
2.6. El poblamiento moderno	28

2.7. Memoria de aguas terribles: la Crezca Grande	30
2.8. La persistencia: los asentamientos puesteros	33
2.9. El desarrollo moderno del valle del río Colorado	35
PARTE II	39
CAPÍTULO 3. EI RÍO COLORADO	41
3.1. El medio físico. La franja de transición pampeano – patagónica	41
3.1.1. Desde la Cordillera hasta el mar: límites	42
3.1.2. Diagonal árida entre dos anticiclones	45
3.1.3. En la cuenca superior: influencia transcordillerana	48
3.1.4. Entre la confluencia y el mar: clima en el valle fluvial	49
3.1.5. Con el desierto alrededor: suelos y vegetación	56
3.2. La red hidrográfica del río Colorado	58
3.2.1. El río Grande, principal aportante	58
3.2.2. El río Barrancas, generador de caudal sólido	61
3.3. Después de la confluencia: el río Colorado	63
3.3.1. El singular delta del río Colorado	68
3.3.2. Modificaciones en el trazado del cauce	70
3.3.2.1. Por causas naturales: el abanico de paleocauces	70
3.3.2.2. Modificaciones por causas antropogénicas	71
3.3.3. Lo que necesita la vida: caudal mínimo ambiental	73
3.3.4. La geología en el valle fluvial: provincias geológicas	76
3.3.4.1. Payunia	76
3.3.4.2. El Engolfamiento Neuquino	78
3.3.4.3. Bloque de las Mahuidas	78
3.3.4.4. La cuenca del río Colorado	79
CAPÍTULO 4. CARACTERÍSTICAS HIDROGRÁFICAS DEL RÍO COLORADO	81
4.1. Aguas turbias y variables	81
4.2. Estaciones de aforo sobre el río Colorado	82

4.2.1. Buta Ranquil	83
4.2.1.1. Hidrograma de año medio, máximo y mínimo	84
4.2.1.2. Duración de caudales	85
4.2.2. Pichi Mahuida	86
4.2.2.1. Hidrograma de año medio, máximo y mínimo	87
4.2.2.2. Duración de caudales	89
4.2.3. Paso Alsina	90
4.2.3.1. Hidrograma de año medio, máximo y mínimo	91
4.3. Análisis comparativo entre las estaciones de aforo	92
4.3.1. La pérdida Buta Ranquil-Pichi Mahuida	93
4.3.2. Las grandes avenidas y presencia de estiajes	94
4.3.3. Derrames por encima de la media	97
4.3.4. Las aguas poderosas. Crecientes	99
4.3.5. Estacionalidad y efectos	100
4.3.6. Derrames anuales de caudal. Buta Ranquil-Pichi Mahuida	101
4.3.7. Curva comparativa de duración de caudales	102
4.3.8. Desgaste continental y transporte: gasto sólido	103
4.3.9. Máximos y mínimos en gasto sólido	106
4.3.10. La relación entre caudal y gasto sólido	107
4.3.10.1. Comparación entre Buta Ranquil y Pichi Mahuida	111
4.3.10.2. Comparación entre Pichi Mahuida y Paso Alsina	113
4.4. La degradación específica de cuenca	114
4.5. Petrografía y granulometría	116
4.5.1. Características mineralógicas y granulométricas en Pichi Mahuida	116
CAPÍTULO 5. EL DIQUE CASA DE PIEDRA	121
5.1. La singularidad de un nombre	121
5.2. La preclara visión de Cipolletti	122
5.3. Presencia de un antiguo mar	124
5.4. Geomorfología zonal: las mudanzas del río	129
5.5. Una presa gigantesca	134

5.5.1. Propósitos múltiples	135
PARTE III	141
CAPÍTULO 6. LA CUENCA DESAGUADERO-SALADO-CHADILEUVÚ-CURACÓ	143
6.1. Singularidad y funcionamiento hidrológico e hidrográfico	143
6.1.1. Desfasajes temporales. Causa y efecto	148
6.1.2. El problema de la salinización	149
6.1.3. Posibles soluciones	152
6.2. El embalse de Casa de Piedra y los hidrocarburos	153
6.3. La supresión de sedimento en los canales	156
6.3.1. Consecuencias físicas	156
6.3.2. Consecuencias biológicas	159
CAPÍTULO 7. NUEVAS FORMAS HIDROLÓGICAS	161
7.1. Estudio y comparación de las series en Pichi Mahuida	162
7.1.1. Análisis de caudal, gasto sólido y salinidad	162
7.1.2. Análisis de las relaciones entre caudal, gasto sólido y salinidad	166
7.2. Estudio y comparación de las series en Paso Alsina	172
7.2.1. Análisis de caudal, gasto sólido y salinidad	172
7.2.2. Análisis de las relaciones entre caudal, gasto sólido y salinidad	177
7.3. Una llamativa anomalía	183
CAPÍTULO 8. NUEVAS FORMAS HIDROGRÁFICAS	187
8.1. Relevamientos actualizados a través de sensores remotos	188
8.2. Estudio de meandros y variaciones de la longitud del curso fluvial	189
8.2.1. Variación en la cantidad de meandros previos y posteriores al dique	192
8.2.2. El empleo de un segmento testigo	194
8.2.3. Modificaciones en la cantidad de meandros	197
8.2.4. Cambios al año 2005	202

CAPÍTULO 9. CONCLUSIONES	207
GLOSARIO	219
REFERENCIAS	221
Bibliografía citada	223
Cartografía	233
Bibliografía consultada	235

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPÍTULO 1

1.1. Estados provinciales directamente relacionados con el dique Casa de Piedra	6
---	---

CAPÍTULO 2

2.1. Ubicación catastral de Casa de Piedra	24
2.2. El sitio Casa de Piedra en su estado original	26
2.3. Ubicación de la laguna Carri Lauquén	31
2.4. Altura alcanzada por las aguas en Río Colorado	32

CAPÍTULO 3

3.1. Sistema del río Colorado y cuenca del río Desaguadero – Curacó	43
3.2. Isohietas en la cuenca del río Colorado	46
3.3. Isotermas en la cuenca del río Colorado	47
3.4. Variación anual de la evaporación en 25 de Mayo	53
3.5. Localización de las subregiones de las mesetas y depresiones	57
3.6. Imagen satelitaria de la cuenca de alimentación del río Colorado	59
3.7. Cuenca del río Grande	60
3.8. Cañón del río Grande en el paraje "La Pasarela"	61
3.9. El arroyo Chadileo, en la cuenca del río Barrancas	62
3.10. Cuenca del río Barrancas	63
3.11. Imagen satelitaria de la cuenca del río Colorado	64
3.12. Imagen satelitaria del alto valle del río Colorado	65
3.13. Imagen satelitaria del valle medio del río Colorado	66
3.14. Imagen satelitaria del valle inferior del río Colorado	67
3.15. Delta del río Colorado	69
3.16. El río Colorado visto desde aguas arriba de la barda pampeana	73
3.17. El río en creciente en Punto Unido	74
3.18. Provincias geológicas de la cuenca del río Colorado	76
3.19. Paisaje típico de la Payunia	77

CAPÍTULO 4

4.1. Estaciones de aforo sobre el río Colorado	82
4.2. Buta Ranquil. Caudales medios mensuales, 1930/2000	85
4.3. Buta Ranquil. Curva de duración de caudales aplicando porcentaje	86
4.4. Pichi Mahuida. Caudales medios mensuales, 1918/2000	88
4.5. Pichi Mahuida. Curva de duración de caudales aplicando porcentaje	90
4.6. Paso Alsina. Caudales medios mensuales, 1982/2000	92
4.7. Buta Ranquil y Pichi Mahuida. Derrames por encima de la media	98
4.8. Buta Ranquil y Pichi Mahuida. Curva comparativa de duración de caudales	103
4.9. Buta Ranquil. Curvas de gasto sólido año medio, máximo y mínimo	104
4.10. Pichi Mahuida. Curva de gasto sólido año medio, máximo y mínimo	104
4.11. Paso Alsina. Curvas de gasto sólido año medio, máximo y mínimo	106
4.12. Sólidos depositados por el río Colorado en Puente-Dique de 25 de Mayo	107
4.13. Degradación específica de cuenca. Buta Ranquil-Pichi Mahuida	115
4.14. Pichi Mahuida. Composición media mensual del sedimento	117
4.15. Pichi Mahuida. Granulometría media mensual	118
4.16. Pichi Mahuida. Porcentaje de componentes minerales	119

CAPÍTULO 5

5.1. Áreas bajo riego sujetas a la acción del dique Casa de Piedra	122
5.2. El lugar de Casa de Piedra visto desde la ribera pampeana, 1976	123
5.3. Sistema de fallas predominante en la provincia de La Pampa	124
5.4. Relevamiento geológico de la garganta de Casa de Piedra	126
5.5. Correlación de sondeos en el eje de la presa	128
5.6. Relevamiento topográfico zona de la garganta del río Colorado	130
5.7. Paleocauces del río Colorado	131
5.8. El sitio de Casa de Piedra en 1978	134
5.9. Dique Casa de Piedra en 1999	135
5.10. Dique Casa de Piedra, lago de embalse y área regable de Planicie Curacó	137

CAPÍTULO 6

6.1. Sistema del río Colorado y cuenca Desaguadero-Salado-Chadileuvú-Curacó	144
6.2. El río Salado-Chadileuvú en Santa Isabel, La Pampa	145
6.3. Nacimiento del río Curacó	146
6.4. Sistema de lagunas y bañados de Puelches	146
6.5. Niños de la localidad de Puelches contemplando escurrir el río Curacó	147
6.6. Caudal medio mensual de los ríos Colorado y Curacó. 1988	148
6.7. Confluencia del Curacó con el río Colorado	150
6.8. Predio de la colonia Juliá y Echarren (RN)	158
6.9. Una parcela bajo riego de Juliá y Echarren (RN)	159
6.10. Revestimiento de canales con lámina impermeable	160

CAPÍTULO 7

7.1. Pichi Mahuida. Curvas de caudales medios anteriores al cierre	162
7.2. Pichi Mahuida. Caudal medio anterior y posterior al cierre	163
7.3. Pichi Mahuida. Gasto sólido medio anterior al cierre	164
7.4. Pichi Mahuida. Gasto sólido medio anterior y posterior al cierre	165
7.5. Pichi Mahuida. Valores medios de salinidad anterior y posterior al cierre	166
7.6a. Pichi Mahuida. Caudal y gasto sólido antes del cierre	167
7.6b. Pichi Mahuida. Caudal y gasto sólido después del cierre	167
7.7a. Pichi Mahuida. Caudal y salinidad antes del cierre	168
7.7b. Pichi Mahuida. Caudal y salinidad después del cierre	168
7.8a. Pichi Mahuida. Salinidad y gasto sólido antes del cierre	169
7.8b. Pichi Mahuida. Salinidad y gasto sólido después del cierre	170
7.9. Pichi Mahuida. Caudal, gasto sólido y salinidad antes y después del cierre	171
7.10. Paso Alsina. Curvas de caudales medios anteriores al cierre	173
7.11. Paso Alsina. Caudal medio anterior y posterior al cierre	174
7.12. Paso Alsina. Gasto sólido anterior al cierre	175
7.13. Paso Alsina. Gasto sólido anterior y posterior al cierre	175
7.14. Paso Alsina. Sales. Valores medios anteriores y posteriores al cierre	176
7.15. Paso Alsina. Caudal y gasto sólido medio anterior al cierre	177

7.16. Paso Alsina. Caudal y gasto sólido medio posteriores al cierre	178
7.17. Paso Alsina. Salinidad y caudal medio anteriores al cierre	179
7.18. Paso Alsina. Salinidad y caudal medio posteriores al cierre	179
7.19. Paso Alsina. Salinidad y gasto sólido medio anteriores al cierre	180
7.20. Paso Alsina. Salinidad y gasto sólido posteriores al cierre	181
7.21. Paso Alsina. Salinidad, caudal y gasto sólido medio anterior y post al cierre	182

CAPÍTULO 8

8.1. Cobertura satelital del río Colorado	189
8.2. Ubicación de los campos de meandros en el valle del río Colorado	191
8.3. Pichi Mahuida. Tendencia hidrológica del río en el tramo testigo	196
8.4. Tendencia del caudal sólido en el tramo testigo	196
8.5. Formación y desaparición de meandros en el tramo testigo	200
8.6. Tramo testigo I. Vuelo año 2005	203
8.7. Tramo testigo II. Vuelo año 2005	204

INDICE DE TABLAS

CAPÍTULO 3

3.1. Precipitaciones anuales promedio en la cuenca del río Colorado	52
3.2. Variación anual de la evaporación en 25 de Mayo	54

CAPÍTULO 4

4.1. Estaciones de aforo sobre el río Colorado e inicio del registro	83
4.2. Estación de aforo Buta Ranquil. Datos de la serie (1939/2000)	84
4.3. Valores promedio en Buta Ranquil (1939/2000)	84
4.4. Pichi Mahuida. Datos de la serie 1918/2000	87
4.5. Pichi Mahuida. Valores promedio (1918/2000)	87
4.6. Datos estadísticos de Paso Alsina. 1982/1999	91
4.7. Estación de aforo de Paso Alsina. Valores promedio 1982/1999	91
4.8. Derrames máximos anuales en todas las estaciones en un mismo año	95
4.9. Derrames mínimos anuales en todas las estaciones en un mismo año	96
4.10. Derrame anual medio, máximo y mínimo en todas las estaciones	97
4.11. Cuadro comparativo de derrames anuales Buta Ranquil y Pichi Mahuida	102
4.12. Cuadro comparativo de derrames anuales de gasto sólido	105
4.13. Buta Ranquil. Relación de incidencia del derrame en el caudal sólido	108
4.14. Buta Ranquil. Cuadro comparativo de derrame anual de caudal y gasto sólido	109
4.15. Pichi Mahuida. Cuadro comparativo de derrame anual de caudal y gasto sólido	110
4.16. Pichi Mahuida. Relación entre los derrames anuales líquido y sólido. 1918/1999	111
4.17. Pichi Mahuida. Relación de incidencia del derrame en el gasto sólido	111
4.18. Gasto sólido en Buta Ranquil y Pichi Mahuida	112
4.19. Buta Ranquil y Pichi Mahuida. Cuadro comparativo de derrame anual de caudal y gasto sólido. 1939/2000	112
4.20. Buta Ranquil y Pichi Mahuida. Degradación específica de cuenca	114
4.21. Pichi Mahuida y Paso Alsina. Degradación específica de cuenca comparativa	116
4.22. Composición media mensual del sedimento	117

CAPÍTULO 6

6.1. Salinidades comparativas de los ríos Curacó y Colorado	150
---	-----

CAPÍTULO 7

7.1. Pichi Mahuida. Valores mensuales de salinidad, caudal y gasto sólido antes y después del cierre de Casa de Piedra	171
7.2. Paso Alsina. Valores mensuales de salinidad, caudal y gasto sólido antes y después del cierre de Casa de Piedra	182
7.3. Anomalías del registro de sólidos en Pichi Mahuida	183
7.4. Lluvias en el área de Pichi Mahuida	184
7.5. Pichi Mahuida. Variaciones del gasto sólido medio	184
7.6. Aforos en Paso Alsina en fechas de anomalías	185

CAPÍTULO 8

8.1. Longitud total del río entre el dique y la desembocadura antes y después del cierre	189
8.2. Cantidad de meandros entre Casa de Piedra y la desembocadura del río, antes y después del cierre	190
8.3. Relación cantidad de meandros-longitud del río	191
8.4. Ubicación y extensión de campos de meandros	192
8.5. Modificaciones de meandros en el curso del río Colorado	193
8.6. Coeficiente de variabilidad en los períodos considerados	195
8.7. Modificaciones de meandros en el curso del río Colorado	197
8.8. Cambios hidrográficos en la traza del tramo testigo Huelches	198
8.9. Variación porcentual de la cantidad de meandros	198
8.10. Pichi Mahuida. Derrame y variación porcentual de los derrames anuales medios	199
8.11. Aparición (a) y desaparición (b) de meandros en el tramo testigo	201
8.12. Modificaciones de meandros en el curso del río Colorado	205

PARTE I

La dinámica de los cursos fluviales, con creación y desaparición de meandros es tema de temprana preocupación por la ciencia y de relativamente reciente aplicación al río Colorado. Se considera el río en forma integral y el área de estudio en particular, se señalan objetivo general y objetivos particulares. Con la formulación del problema se determinan los fundamentos para la elección del tema de tesis, la hipótesis del trabajo y los materiales y métodos utilizados. Se expone un esbozo de la relación del río con el ambiente humano, desde la Prehistoria hasta nuestros días.

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

El surgimiento y la desaparición de meandros ha sido un rasgo de la geomorfología fluvial que interesó a la ciencia desde muy temprano, especialmente cuando se estableció que los diversos elementos de una corriente — caudal, ancho, profundidad, velocidad, carga... — estaban relacionados entre sí. Estudiando estas relaciones se trató de comprender y aún cuantificar, el cierto grado de libertad de las corrientes relativo a la planta sobre la que discurren “*y la búsqueda de un cierto equilibrio que siempre se concreta en una u otra sinuosidad*” (Menéndez *et al.*, 2005: 4).

1.1. Antecedentes del tema

La relación de las corrientes y el medio que atraviesan es muy fuerte, tanto en lo biológico como en lo físico y se acepta que hay en las aguas en estado natural un continuo reacomodamiento del cauce relacionado con su acreción por deposición de materiales transportados o erosión por acción de la energía del agua. La dinámica de los meandros ha sido un rasgo sobresaliente en los estudios de las escuela geomorfológicas norteamericana y francesa a partir de las décadas de 1950 y 1960, evidenciados en los clásicos trabajos de Horton (1945), Leopold (1963), Schumm (1977), Brice (1975) y Strahler (1982). Sin embargo, los estudios inherentes a la razón de origen, características y efectos de los bucles del agua en movimiento se remontan bastante más atrás en el tiempo, caso de los estudios estadísticos realizados a principios de siglo por Jefferson, Watendorff y Bates en Norteamérica en la década de 1930 y por Inglis en la India, hacia la misma época (Leopold, 1960).

También los geomorfólogos franceses como por ejemplo Tricart (1955) o Derruau (1970) se han ocupado del problema. Los franceses fueron los que realizaron los primeros estudios sobre estas geoformas fluviales con los estudios de Fargue, en los últimos años del siglo XIX y primeros del XX, realizados sobre el río Garona. Buena parte de la motivación sobre estos estudios se debe a la importancia que tienen en Europa en general y en Francia en particular, los canales artificiales interiores los que, junto con los ríos, son muy importantes en el transporte y circulación de cargas (Hager, 2003).

Algunos de esos estudiosos de la geomorfología e hidráulica fluvial introdujeron en sus trabajos el concepto de que un meandro implica la existencia de una cierta forma de energía positiva, contrariando la antigua idea de que esa geoforma fluvial se producía por las carencias energéticas de una corriente (Derruau, 1970). Como resultado del estudio sistemático de las corrientes fluviales a fines del siglo XIX y comienzos del XX surgieron tempranos intentos de establecer modelaciones, que eran de condición analógica, como los desarrollados por Fargue al establecer las primeras reglas de la ingeniería fluvial (Hager, 2003). La aparición y difusión de los computadores electrónicos en los últimos treinta años amplió enormemente la forma de modelización digital. El nivel más alto de desarrollo de este campo científico ha sido alcanzado en la última década, con la cada vez mayor aplicación de la computación al problema, creándose modelos de simulación numérica sobre la evolución morfológica de cauces fluviales (Heras, 1972; Menéndez *et al.*, 2005).

También en Argentina aparecieron distintos trabajos de geomorfología y acción fluvial en los últimos años como es el caso de los de Ramonell (2002, 2003) sobre la posible predicción de avulsión y rectificación de meandros. También se destacan las investigaciones de Brea (2005) relativo a la estabilización en lechos de ríos de gran carga sólida y Farías (2005) sobre geometría hidráulica de ríos de llanura. Mikkan (2007b) ha tratado específicamente las consecuencias de las aguas aluvionales en el piedemonte precordillerano.

Sobre integralidad de cuenca y comportamiento de ríos de llanura en la Argentina han realizado investigaciones Campo de Ferreras (1997; 1999; 2000); Casado *et al.* (2007); Gil *et al.* (2008) quienes también trabajaron sobre hidrogeomorfología de los cursos de agua de la provincia de Buenos Aires. Sobre el río Colorado no son muchos los trabajos integrales referidos al mismo que destaquen su importancia para el desarrollo de las actividades humanas. Esa ausencia de estudios se hizo manifiesta en otros cursos patagónicos, tan importantes como recurso en las mesetas y llanuras de la región. La situación ha comenzado a revertirse con el ordenamiento de algunas cuencas (COIRCO, 1976; AIC, 1985). En lo que hace específicamente al río Colorado se cuentan los trabajos de Cazenave (1987) y Perl y Andrés (1995) y, más recientemente, Weber *et al.* (2005) relativos a la influencia de la geometría hidráulica en la distribución de las velocidades.

En el campo de la ingeniería hidráulica en materia de modelos computacionales se observa que los últimos aportes en nuestro país se han hecho sobre el llamado Modelo Hidrodinámico Longitudinal, con trabajos realizados por parte de la Universidad de Buenos Aires, en su área de ingeniería. Este modelo, además de basarse en los supuestos de la hidrodinámica clásica, asume una decena de hipótesis más, simplificadoras de la forma y estado de la corriente considerada. La pretensión del modelo es obtener para cada posición e instante, la presión y la velocidad del agua, expresadas en una profundidad y a la que se supone constante, respectivamente. Los valores que se obtienen sirven como referencia para los límites establecidos en la erosión de distintos materiales y formas (Menéndez *et al.*, 2005).

1.2. Formulación del problema y área de estudio

Es sabido que, como su nombre lo sugiere, el río Colorado tiene una alta cifra de transporte de sólidos, tanto si se considera en valores de carga total al cabo de un año como en relación con el índice de degradación que sufre su cuenca en el mismo período. Los valores de sedimentos corresponden a los transportados en suspensión y disolución, ya que no existen hasta el momento mediciones de transporte de fondo. Avalan esta afirmación las 4.500.000 tn registradas como valor medio en la estación de Pichi Mahuida y el coeficiente de degradación de cuenca que asciende a $310 \text{ tn.km}^{-2}.\text{año}^{-1}$ lo que equivale a 911 gr.m^{-3} (Cazenave, 1984). Estos valores son superiores a los del río Neuquén, de cuenca y caudales notablemente mayores, con $287,27 \text{ tn.km}^{-2}.\text{año}^{-1}$ y 604 gr.m^{-3} respectivamente (Mármol, 1969).

De allí que la construcción de un gran dique de embalse en la parte media del curso sugiriera la aparición de significativas modificaciones en todo el comportamiento fluvial aguas abajo del mismo, pero muy especialmente en lo que hace al transporte de material sólido. Una gran masa de agua, como la que constituye el lago de Casa de Piedra, de más de 60 km de largo y casi 3.800 hm^3 de volumen es obstáculo suficientemente importante como para alterar radicalmente el comportamiento físico del escurrimiento. Consecuentemente, se produce la deposición del material transportado, disuelto o en suspensión, como ocurre mayoritariamente en este caso, dándole una nueva condición física - y en parte también química - a las aguas emergentes del dique.

El problema es significativo en sí mismo porque se entiende que las aguas que fluyen a partir del dique tienen, tras su proceso de estancamiento temporal, dos condiciones muy relevantes. Por un lado, han disminuido mucho las partículas pequeñas del tamaño correspondiente a las arcillas, limos y otras, que se trasportaban antes en suspensión y se depositaban al llegar al valle inferior que es zona de regadíos. Por otra parte, debido a lo ya señalado, esa agua emerge del dique clara y con mayor poder de disgregación e incorporación de carga sólida hasta cierto límite. Su capacidad erosiva en el tramo a recorrer hasta el nivel de base es, entonces, mayor que la que tenía el río en dicho tramo antes de construirse el dique.

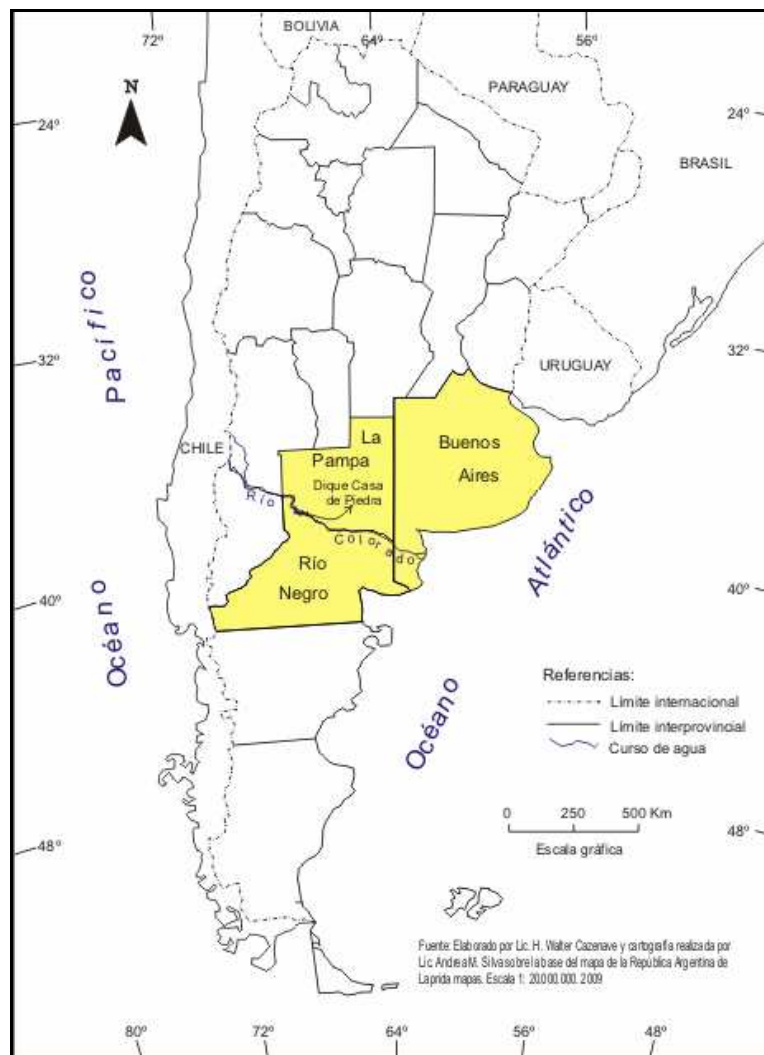


Figura 1.1. Estados provinciales directamente relacionados con el dique Casa de Piedra. La represa se ubica en la mitad del recorrido del río, entre las nacientes y el mar.

El estudio se centra en la nueva circunstancia hidrológica generada por la represa entre su emplazamiento y la desembocadura en el mar, considerada a través del surgimiento y desaparición de meandros aguas abajo de la presa (Fig.1.1). Como se trata de un tramo muy extenso que comprende parcialmente el alto valle y la totalidad de los valles medio e inferior, se buscó un segmento del río en la cuenca baja, breve, pero considerado representativo del comportamiento de todo el tramo fluvial. El estudio se ubica en dicha zona de la cuenca, focalizándose en un sector de meandros ubicado aguas abajo de la presa.

Después de efectuar una síntesis físico geográfica de toda la cuenca con acento en lo hidrográfico e hidrológico se consideró el sitio propiamente dicho de Casa de Piedra y los aspectos técnicos de la represa allí emplazada, tanto en sus características físicas como humanas. Ese conocimiento de la represa se realiza por ser el elemento determinante de los cambios en el río, cuya evidencia surgirá principalmente de la comparación de los registros de las estaciones de aforo ubicadas aguas abajo de la obra, antes y después de la construcción. La nueva circunstancia hidrológica generada por la represa afecta a las tres provincias ribereñas con territorios ubicados entre el dique y el mar: La Pampa, Río Negro y Buenos Aires.

Una vez expuestos los elementos capaces de permitir la concepción geográfica integral de la idea, se pasará a la determinación sistemática y cuantificada en los casos en que sea posible, de las anomalías en el funcionamiento del cauce fluvial y su área de influencia a partir de la construcción del dique y la formación del embalse consecuente, o sea en el territorio ubicado aguas abajo del mismo. La determinación de esas anomalías en el flujo fluvial - cambios hidrológicos - y en la morfología del cauce - cambios hidrogeomorfológicos - es el propósito de la presente tesis.

1.3. Fundamentos para la elección del tema de tesis

El valle inferior del río Colorado posee considerables superficies bajo riego. Hasta la puesta en funcionamiento de la represa Casa de Piedra el sistema de riego estaba adaptado en lo hidrológico, hidráulico, geomorfológico y agronómico al comportamiento

original del río. Como consecuencia de la alteración provocada por el dique y la variación de las condiciones fisicoquímicas del agua se han producido diferentes hechos que modificaron estas condiciones iniciales. Principalmente se puede advertir una gran disminución en la turbiedad del agua y, ante la pérdida de material en suspensión y disolución, aumento de la capacidad erosiva de la corriente, pérdida del sellado natural de la porosidad de los canales y mayor penetración de la luz, con el consiguiente desarrollo bioacuático.

En esta tesis se analizan las modificaciones y consecuencias de diversos eventos causados por la obra. La elección del tema se debe especialmente a la particularidad del enfoque geográfico que permite una consideración e interrelación tanto de los problemas de índole física como de los originados por la acción humana. Por otra parte, este estudio permite la posibilidad de suministrar una herramienta de diagnóstico y planificación para ser utilizados en futuros trabajos de aprovechamiento a realizarse sobre el valle.

1.4. Hipótesis de trabajo

La construcción del dique Casa de Piedra es una intervención antropogénica sobre el río Colorado que modifica las características hidrológicas del río y el diseño de drenaje en un sector del curso aguas abajo del emplazamiento de la presa. Las variaciones en el diseño de drenaje se advierten especialmente en la aceleración del proceso de construcción y destrucción de curvas con relación al comportamiento del río aguas arriba de la presa.

1.5. Objetivos de la tesis

1.5.1. Objetivo general

El objetivo general de la tesis es el estudio en tiempo y espacio de las características hidrológicas del río Colorado y la generación de formas fluviales y

variaciones del diseño de drenaje en un tramo del río Colorado, comprendido entre los meridianos 65° 45' y 66° 09' Oeste.

El agua emergente del dique Casa de Piedra, casi carente de sedimento, tiene una capacidad erosiva mayor que la que fluye antes del embalse. Esa condición permite reducir el tiempo de formación de un meandro en el área estudiada con respecto a sectores de aguas arriba de la presa.

1.5.2. Objetivos específicos

Los objetivos específicos son:

- Contribuir al conocimiento de la evolución histórica y geográfica de un sector del río Colorado.
- Establecer los efectos de la acción antropogénica sobre la naturaleza del río Colorado y de su aprovechamiento futuro.
- Detectar problemas ambientales de la cuenca.
- Estudiar la dinámica fluvial del río Colorado.
- Determinar las variables geográficas que permitan la identificación de la línea de ribera para el tramo testigo.
- Generar una herramienta teórica capaz de prever la evolución de las curvas del río en el tiempo con razonable seguridad.
- Generar información témporo – espacial aplicable a modelos de análisis con vistas a prever el desarrollo futuro en áreas similares.

1.6. Materiales y métodos

1.6.1. Materiales

Se consultó toda la documentación fehaciente sobre las características generales del río y su cuenca, a los efectos de unificar la información, recurriéndose a los siguientes repositorios:

Centro de Documentación de la Dirección de Aguas de La Pampa. La búsqueda de materiales se inició en este centro. El mismo consta de una nutrida biblioteca sobre temas hídricos, especialmente pampeanos, al tiempo que se constituye en receptor de todos los documentos técnicos que se elaboran en el ámbito provincial sobre hidrología e hidrografía de superficie, así como materias relacionadas, tales como climatología, aspectos legales, estadística, historia, etc.

El trabajo en dicho Centro conllevó al análisis primario de unos 400 títulos, de los que se seleccionaron aproximadamente 100 que suministraron información de base para esta tesis. Asimismo dicho repositorio cuenta con una mapoteca especializada; la misma contiene las cartas del Instituto Geográfico Militar (IGM; Instituto Geográfico Nacional (IGN) a partir de 2009) a diversas escalas que comprenden la zona considerada en esta tesis. Cuenta también con gran parte de los planos resultantes de los estudios iniciales respecto al aprovechamiento del río Colorado en general y de la margen pampeana en particular. Los planos, impresos y transparentes, se complementaron con imágenes satelitarias que permiten una visión actualizada del río, que puede transformarse en indicativa de su dinámica si, como se ha hecho en este trabajo, se las refiere a otras imágenes obtenidas un cuarto de siglo atrás.

Centro de Documentación del Comité Interprovincial del Río Colorado (COIRCO). El organismo documental del COIRCO mantiene una fluida relación con los delegados provinciales a dicho cuerpo. A través de ellos se pudo contar con el material actualizado en cuanto a los registros del río Colorado, según los iban recibiendo de la consultora Evaluación de Recursos Sociedad Anónima (EVARSA), encargada de los mismos tras la disolución de Agua y Energía (AyE).

Archivos de la ex Agua y Energía Eléctrica de la Nación. Se hicieron consultas a la consultora sucedánea del organismo, EVARSA.

Centro de Documentación del Ente Provincial del Río Colorado. La consulta a sus fuentes bibliográficas y cartográficas, que se remontan a casi medio siglo atrás, fue de importancia. Si bien sus intereses abarcan todo el río, el acento está puesto en la parte de ribera pampeana, muy especialmente la del área aledaña a 25 de Mayo. A partir de la creación de los organismos administrativos de Casa de Piedra disminuyó su aplicación en

esa parte del río. Se realizaron visitas al Centro el cual facilitó, cedió y envió material respecto de algunos detalles puntuales, especialmente en la parte histórica.

A los efectos de desarrollar la historia del conocimiento geográfico zonal se consultaron en forma directa las bibliotecas de la Universidad Nacional, Secretaría de Recursos Hídricos y Dirección de Catastro, todas de la provincia de La Pampa y a las bibliotecas Rivadavia y del Centro de Documentación Patagónica, ambas de Bahía Blanca. Indirectamente, a través de servicios de canje interbibliotecarios, se accedió a material de la Universidad Nacional de Buenos Aires. En Dirección de Catastro de La Pampa resultaron de particular interés los llamados “libros azules”, especie de libretas de campo correspondientes a las mensuras originales del territorio en la década 1880/1890, que dieron un panorama prístino del paisaje. También se consultaron piezas cartográficas históricas que obran en colecciones particulares, caso de los señores Ing. Ernesto Viglizzo, Dr. Juan José Pico y Agr. Edgar Morisoli.

La búsqueda de fuentes relativas al episodio de la “Crecza Grande” incluyó tanto relatos personales de pobladores como manifestaciones literarias, cuentos y poemas, basados en la realidad. En lo que hace a testimonios periodísticos se trabajó con la hemeroteca especializada de la Secretaría de Recursos Humanos de La Pampa y la colección del diario La Arena, de Santa Rosa, muy especialmente en lo que hace a las crecientes de los años ochenta en la cuenca Desaguadero – Salado – Chadileuvú – Curacó. Se realizaron consultas a los diarios La Nueva Provincia, de Bahía Blanca y Los Andes, de la ciudad de Mendoza.

Biblioteca de la Universidad Nacional del Sur. Se efectuó verificación de información en relación con la existencia de títulos, tesis o monografías, que pudieran ser de interés a este trabajo.

Internet. Los diversos sitios de Internet fueron consignados en la bibliografía. Esta posibilidad de consulta facilitó ampliamente el acceso a contribuciones, artículos, monografías, etc., de origen extranjero, particularmente útil para desarrollar el tema de estado actual del arte.

Al ordenar sistemáticamente la parte cartográfica se advirtió la insuficiencia parcial de la misma, a la que hubo que complementar en algunos casos con aportes históricos y la falta de coincidencia de algunos datos importantes (superficie de cuenca,

longitud del curso, etc.) de notable variación según la bibliografía consultada. Para los estudios morfométricos correspondientes se utilizó la siguiente cartografía de distintos orígenes y escalas, al igual que imágenes aerofotográficas y satelitarias:

Servicio de Hidrografía Naval: Relevamiento Aerofotográfico del río Colorado. 1:20.000, 1978; Comisión Nacional de Actividades Espaciales (CONAE): imágenes satelitarias multispectrales Landsat TM5 y ERST, años 1975, 2000 y 2001; Comité Interjurisdiccional del río Colorado (COIRCO): Relevamiento aerofotográfico del río Colorado, 2005, Escala 1:25.000; Comisión Técnica Interprovincial del río Colorado (COTIRC): Cartografía preliminar de la cuenca del río Colorado, 1961, escala 1:200.000; Dirección General de Tierras y Geodesia de la Nación. 1910, escala 1:100.000; Dirección General de Catastro y Geodesia de la provincia de La Pampa: Duplicados de mensuras, escala 1:200.000 y "Libros azules" de lotes, escala 1:120.000; Instituto Geográfico Militar (IGM), años 1969/1984, escalas 1:500.000; 1:250.000; 1:100.000 y 1:50.000; Secretaría de Recursos Hídricos de La Pampa: 1992, escala 1:500.000.

Los datos estadísticos consignados son de carácter oficial y corresponden a las diversas publicaciones que se referencian en este trabajo. La información fue suministrada por COIRCO; Secretaría de Recursos Hídricos de La Pampa, Ente Provincial del río Colorado, de La Pampa; dirección de Geodesia y Catastro de La Pampa y Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación. Para los tiempos modernos y en relación con el dique se consultó la bibliografía técnica original de la obra.

1.6.2. Métodos

Cada río tiene un comportamiento diferente dentro de las generalidades que les caben a todos y no existe un patrón temporal que permita predecir la variación de las formas hidrográficas que el propio río genera. En este trabajo se pretende desarrollar una metodología de análisis capaz de establecer la dinámica fluvial del Colorado en el tramo de estudio, con cierta seguridad en el lapso de los últimos cincuenta años y también a partir del cierre de la presa hasta hoy.

El método utilizado para esta investigación consiste en un análisis de las principales características físicas y humanas del río, complementado con varias visitas a los lugares más representativos. Para el primero se hizo hincapié en una referencia climática general de la cuenca, particularizando en la parte de suelos que es inherente a

la presa. Se utilizaron las cartas planialtimétricas y satelitarias IGM en escalas varias junto con imágenes Landsat y cartografía edafológica elaborada por organismos oficiales pampeanos (INTA *et al.*, 1980).

Tras la caracterización general del río Colorado se pasó a la consideración de los elementos que han provocado el cambio en los tiempos del diseño de drenaje en el lecho fluvial. Se destacaron también las profundas alteraciones que pueden causar en el río Colorado las periódicas reactivaciones de la gran cuenca Desaguadero – Salado – Chadileuvú – Curacó, de la que el río Colorado era originalmente su emisario, dándole condición de exorreica.

Las características generales que hacen a la cuenca y su hidrología resultaron de: a) una descripción general, con límites topográficos, caracterización climática e hidrografía de las subcuencas de los ríos Grande y Barrancas, que dan lugar a la formación del río Colorado; b) una caracterización hidrológica promedio del río Colorado en lo que hace a su comportamiento mensual y anual, tanto en caudal líquido como en gasto sólido, usando como referentes las estaciones de aforos de Buta Ranquil (ajena a los efectos del dique Casa de Piedra), Pichi Mahuida y Paso Alsina.

A posteriori de ese perfil físico del río se recopiló y analizó la información hidrológica, se consideró el régimen y sus variaciones y se realizó un análisis individual de las estaciones de aforo que interesan a este trabajo (Buta Ranqui, Pichi Mahuida y Paso Alsina) en sus datos de caudal, gasto sólido y salinidad. A esos efectos existe una ventaja, ya que el Colorado es uno de los ríos más antiguos del país en contar con un aforo sistemático y confiable, que se remonta a 1918, en Pichi Mahuida. Algunos de estos registros aparecen incompletos debido a su interrupción en forma oficial, caso del gasto sólido, tan característico e importante en el río Colorado, situación que se mantiene hasta la fecha. A partir de septiembre de 1981 Agua y Energía comenzó a suministrar a COIRCO, un parte mensual con los valores registrados en las dos estaciones de su dependencia ubicadas sobre el río: Buta Ranquil y Pichi Mahuida. Este organismo de cuenca lo deriva a las provincias condóminas del recurso.

En mayo de 1982 comenzó a realizarse un nuevo aforo del río, en su valle inferior, a cargo de la Corporación de Fomento del Valle Bonaerense del río Colorado (CORFO), organismo que atiende todo lo concerniente al manejo del curso en su tramo final. El aforo de CORFO, realizado en el lugar Paso Alsina, aunque con algunos problemas para

grandes caudales, es similar en sus contenidos y registros al de Agua y Energía en Pichi Mahuida, por lo que resulta útil para establecer comparaciones.

Las estadísticas de los años hidrológicos comprendidos entre 1982/83 y 1999/00, tanto en caudal como en gasto sólido, corresponden a promedios de entre 4 y 5 aforos mensuales, según las planillas de COIRCO. Los valores estadísticos anteriores se tomaron de los anuarios editados por Agua y Energía y por la sucedánea EVARSA en los que aparecen registradas las medias mensuales y las máximas y mínimas medias anuales. Agua y Energía editaba hasta el año 1990 en una separata los registros sedimentológicos de todos los ríos del país en que se hacía ese tipo de aforo.

A partir de agosto de 1993, EVARSA decidió suspender los aforos múltiples en Pichi Mahuida, reduciéndolos solamente a un registro mensual. Las causas de dicha reducción parecen estar fundamentadas en razones económicas y técnicas. En lo que hace a las segundas se infiere que para aquella fecha el vaso de Casa de Piedra, si bien no estaba lleno, tenía suficiente volumen de agua como para ejercer ya un principio de regulación de las amplias oscilaciones que suele tener el río Colorado.

El estudio y comparación en Pichi Mahuida y Paso Alsina se basa en los hidrogramas de las series. A efectos del análisis los hidrogramas de ambas estaciones se dividieron en:

- a) Anteriores a la construcción de la represa
- b) Posteriores a la construcción de la represa
- c) Conjuntos

En lo que hace específicamente a las características técnicas de la represa, especialmente las geológicas, topográficas y geomorfológicas fue utilizado el material de los estudios originales que elaboró el ente Casa de Piedra. En el mismo capítulo que las trata se agregó información relativa a la importancia sociológica y geopolítica del dique, en especial a su vinculación de la Región Pampeana con la cabecera Norte de la Patagonia.

Se realizó la reconstrucción de las trazas hidrográficas del curso a través del tiempo geológico e histórico para considerar las variaciones ocurridas y su incidencia en la conformación y funcionamiento de la cuenca. Asimismo se incluyó como información

de base el mapa de las provincias geológicas que atraviesa el río, desde la cordillera hasta el mar, con sus peculiaridades geomorfológicas.

El estudio de las consecuencias físicas y biológicas de Casa de Piedra aguas abajo de la obra se hizo sobre la base de relevamientos y consultas personales, con trabajos de campo en el Valle Medio y Valle Inferior del río. Por otra parte, se consideró en el desarrollo de la tesis la relación entre el embalse y los hidrocarburos, ya que el Colorado es el río que atraviesa una de las zonas petrolíferas más ricas del país.

Los gráficos realizados a partir de las estadísticas mencionadas en párrafos anteriores evidencian los notables cambios sufridos por el río Colorado en su parte hidrológica a partir del inicio del funcionamiento de la represa Casa de Piedra. El mayor de esos cambios, al margen del manejo de caudales, que es una causa de orden estrictamente antropógeno, radica en la variación de la cantidad de sólidos transportados por el río, cuyas aguas emergen del dique claras y transparentes. Desde un punto de vista estrictamente físico esas aguas salen con una capacidad de transporte muy grande por lo que su poder erosivo debe ser considerable. En estas condiciones es posible que el trabajo que realicen sobre las orillas y el lecho pueda verse reflejado en la traza misma del río, a la que irían cambiando en forma perceptible.

Para el desarrollo de esta tesis se consideró el hecho de que, en los años transcurridos, la masa de agua del embalse comenzó a funcionar como elemento capaz de alterar el escurrimiento y carga sedimentaria naturales. En esa tesitura se estima que el estudio de los meandros antes y después de Casa de Piedra (conteo, apariciones y desapariciones, velocidad de las mismas) es un elemento referencial válido. A los efectos de tener una idea del comportamiento fluvial general en lo que hace a caudal y gasto sólido se calcularon las tendencias hidrológicas del río en esos aspectos, durante períodos similares, previos y posteriores al levantamiento de la represa.

Al existir escasa bibliografía específica sobre el tema, se desarrolló una metodología capaz de conjugar los elementos que se disponían (Lagasse, 1996; 2004). La misma se basó en el análisis seriado de los trazados hidrográficos de un mismo sector del curso, ordenado en el tiempo y cuantificado en las formas, evaluando los cambios que en él se hayan registrado. A ello debe agregarse el empleo de algunos parámetros emanados de la geomorfología cuantitativa fluvial y de las necesidades del trabajo. En el desarrollo metodológico tuvieron importancia los relevamientos del curso fluvial

secuenciados a través de sensores remotos. La visión más actualizada de la traza completa del río Colorado se obtuvo de las imágenes satelitales. A los efectos se trabajó con imágenes provistas por el Landsat TM 5, en banda infrarroja todas ellas armónicas en cuanto al estado del río: aguas en creciente. Para establecer una comparación se necesitaron imágenes del río que dataran de antes de la fecha de influencia del embalse, por lo que se laboró sobre satelitarias ERST, todas del año 1975. Aunque fuera del segundo período de análisis, posterior al embalse, la realización de un vuelo por parte del COIRCO en 2005, en aguas plenas y a gran escala, sirvió como importante complemento de actualización.

También se usó una carta a escala 1:150.000 correspondiente al área de la represa de Huelches, levantado en 1948 por la dirección General de Industria y Minería, fiable en su calidad cartográfica. Este plano se constituyó en el documento base del análisis, ya que muestra un estado hidrográfico no perturbado, con más de medio siglo de antigüedad. Esta idea se resumió en la ubicación de un segmento que pudiera servir como testigo en los períodos considerados, fiando a los conteos sobre él en los distintos períodos, antes y después del dique como expresión del cambio de actividad del río.

Se puso el acento en una sistemática de la historia del conocimiento geográfico zonal con la intención de una mejor evaluación de los cambios que el dique aportó a la región. Se investigó sobre documentos de época, que dieron la pauta de una temprana presencia humana en el área y del tremendo impacto causado por la catástrofe conocida como "Crecza Grande".

Las tareas de campo consistieron en el recorrido de la cuenca en gran parte de su superficie. A los efectos de esta tesis se trabajó en la subcuenca del río Grande con llegada a su cuenca de alimentación y observaciones sobre algunos de sus afluentes más importantes. En la subcuenca del río Barrancas se realizaron observaciones geomorfológicas y mediciones hidrológicas relativas al gasto sólido de algunos de los afluentes de la parte media y alta de ese río. Al igual que en el río Grande las campañas se efectuaron en distintas épocas del año a los efectos de observar el comportamiento estacional.

El valle fluvial propiamente dicho, desde Buta Ranquil al mar, fue recorrido en distintos puntos en una quincena de campañas, la mayoría de ellas en el alto valle,

específicamente en las zonas de 25 de Mayo – Catriel y Casa de Piedra, esta última a lo largo del tiempo de construcción de la obra.

La zona específica del tramo testigo fue estudiada por tierra y se realizó además un sobrevuelo de control y reconocimiento. Los acercamientos terrestres fueron anteriores a la obtención de las últimas imágenes aerofotográficas de 2005 (1999; 2003) y permitieron un conocimiento *de visu* del lugar. Para las zonas de riego y deltaica, en el Valle Inferior, se realizaron trabajos de campo donde se observaron las defensas del área cultivada debidas a la condición sobreelevada del río y las condiciones de involución del cauce en sus tramos finales, que ha disminuido notablemente su sección por la carencia de llegada de crecidas de magnitud y el consecuente avance de la vegetación ribereña.

CAPÍTULO 2. EL AMBIENTE HUMANO

En trabajos de índole geográfica la cada vez mayor frecuencia de la expresión *ambiente humano* amerita clarificar la cierta equivalencia y ambigüedad que tienen los términos *medio* y *ambiente* considerados por separado, así como su importancia cuando se los emplea unidos. Aunque en esencia ambas palabras significan lo mismo, apuntando a aquello que envuelve o dentro de lo que vive una persona o un ente, el uso ha pasado a otorgarle a *medio* el alcance de elemento sustentador, en tanto que el *ambiente* haría a las circunstancias que rodean a las personas o cosas (Cozzani de Palmada, 1991).

Desde esta óptica se entendería por medio *“la parte de espacio que no registra acciones humanas. Es natural o físico, externo y virgen”*, en tanto que ambiente *“incluye la multiplicidad de elementos que imponen ciertas condiciones a la vida humana”*, junto con otras presencias biológicas y culturales, o sea la totalidad de elementos con que interacciona el ser humano al vivir en determinado tiempo y espacio (Cozzani de Palmada, 1991). Así puede aceptarse que el ambiente humano o medio ambiente humano considera un paisaje inicialmente virgen de humanidad que, poco a poco se va transformando por la presencia del hombre que interacciona sobre él, en un *espacio geográfico*, cuya culminación, en el tema de este trabajo, hasta el momento está constituida por la planificación del aprovechamiento del río Colorado y las obras que conlleva.

2.1. Primitivos habitantes: de tehuelches a mapuches

Los resultados de las investigaciones de Carlos Gradín obligaron a considerables cambios en el concepto del poblamiento de la llamada franja pampeano – patagónica. En efecto, los trabajos de ese arqueólogo llevaron al hallazgo de un enterratorio, precisamente en el sitio Casa de Piedra, cuyo origen se remonta a aproximadamente 8.500 años antes del presente, lo que lo convierte en el más antiguo de una vasta zona interprovincial. Aquellos primitivos pobladores pertenecían, desde el punto de vista de la antropología física, a la etnia pámpida –usando un orden que tiende a ser reemplazado en los últimos años– genéricamente conocida como tehuelche, cuya cultura pobló la prehistoria de buena parte de la Pampa y casi toda la Patagonia. Los tehuelches eran gentes nómades, de notable porte físico, que habían alcanzado el estadio de cazadores

Efectos de la represa Casa de Piedra en la variación...

mayores, viviendo de la aprehensión, principalmente, de guanacos y choiques. Grandes caminadores, se movían por vastas extensiones siguiendo líneas de aguadas, ya fuesen éstas ríos, manantiales o lagunas (Gradín, 1984; Casamiquela, 1986; Casamiquela, s/d; Bárcenas, 1992; Berón, 2004).

Pese a ser culturas ágrafas se sabe que poseían una intensa vida espiritual, que puede deducirse de los muchos aleros y cuevas pintadas y talladas que dejaron y de los ajuares funerarios de sus muertos, de los cuales el enterratorio de Casa de Piedra es un buen ejemplo (UBA, 1973; Gradín, 1984; Casamiquela, 1986). Organizadas en grupos tribales aquellas etnias se desarrollaron sobre la Pampa y la Patagonia a lo largo de varios milenios, transitando terrenos en desplazamientos acordes con las posibilidades de caza y recolección de las estaciones del año y, seguramente, viéndose favorecidos por el óptimo climático que ocurrió en la región unos 5.000 años atrás (Gradín, 1984).

Se estima por documentos y tradiciones que hacia comienzos del siglo XVIII y acaso algunas décadas antes, las tribus de etnia ándida, de tronco e idioma mapuche que vivían allende la cordillera de los Andes, comenzaron a desplazarse hacia la parte cisandina, ocupándola y expandiéndose rápidamente hacia las pampas. En los últimos años algunas investigaciones arqueológicas relativizan esa afirmación basándose en evidencias muy tempranas de elementos culturales chilenos de este lado de la cordillera (Berón, 1999).

De hecho, la primera mención documentada de una presencia mapuche en las pampas de Buenos Aires data de 1720. El fenómeno migratorio fue en realidad muy complejo, con intervención de factores económicos, étnicos y bélicos, principalmente, pero hizo que en poco más de un siglo desplazaran a los grupos pámpidos tehuelches a zonas marginales o se mezclaran racialmente con ellos. Curiosamente, aunque no en forma taxativa, al mismo tiempo que imponían su lengua y su cultura en las llanuras argentinas, junto con su superior organización social y mayor utillaje técnico y guerrero, sufrían una suerte de involución cultural ya que muchos de esos grupos trasplantados, ante la facilidad de la caza en las grandes manadas de equinos y vacunos que vagaban por las pampas, disminuían su condición de agricultores y artesanos (Casamiquela, s/d; Berón, 1999).

No hay constancias efectivas de poblamientos de tipo mapuche en el sitio Casa de Piedra propiamente dicho, aunque sí en cercanías y son cuantitativamente menores.

El lugar, si bien se encontraba bastante lejos de los troncales Caminos de Chilenos, que servían de ruta de tránsito desde y hacia la cordillera, debió ser conocido por los mapuches ya que una senda secundaria pasaba por la margen derecha del río, prácticamente a la vista de las barrancas y abrigos que caracterizan el lugar (Catastro, 1910).

2.2. Los viajeros desde Chile y el camino marginal

Durante el siglo XVI hubo comunicación entre las poblaciones cristianas del sur de Chile y Buenos Aires a través de caminos superpuestos a los primitivos senderos indígenas. No es probable que hayan transitado por Casa de Piedra dados los recorridos que han quedado en forma documentada y el emplazamiento marginal del sitio con respecto a ellos. De allí que el primer paso debidamente acreditado de un hombre blanco por el lugar sea el correspondiente al coronel Pedro Ramos, comandando una de las columnas de la división encabezada por Juan Manuel de Rosas, durante la Expedición al Desierto de 1833, que tenía su campamento principal asentado en inmediaciones de la boca del río Colorado. Es indudable que Ramos, en su recorrido costearo el río por la margen derecha, debió pasar junto al particular accidente que constituye Casa de Piedra (Martínez Sierra, 1975).

Cuarenta y seis años después, al producirse el avance de las tropas del general Julio Roca, una columna comandada por el coronel Conrado Villegas registra en su paso por la zona restos de poblaciones indias abandonadas precipitadamente. Por otra parte, en el mapa que acompaña al clásico trabajo de Olascoaga sobre el Estudio topográfico de La Pampa y Río Negro, la zona en cuestión aparece poblada con el símbolo de toldos indígenas (Olascoaga, 1974).

2.3. Historia del conocimiento geográfico del paraje Casa de Piedra

El conocimiento geográfico de Casa de Piedra y alrededores no se dio sino hasta muy avanzado el período histórico, hacia finales del siglo XIX. Al ser un sitio marginal, aunque aldeaño, a las rutas importantes no tuvo gran trascendencia para los viajeros indios ni cristianos, por lo que no ocurrió lo que con otros lugares –Choele Choel, Salinas Grandes, Carhué... – que pese a estar en poder de los indios eran conocidos y valorados por los hombres blancos desde mucho tiempo antes de la ocupación militar del Desierto (Zeballos, 1994).

Efectos de la represa Casa de Piedra en la variación...

Aunque el lugar debió haber sido visto de pasada por alguno de los anónimos viajeros cristianos (comerciantes, cautivos...) que transitaban la rastrillada junto al río Colorado, el primer conocimiento efectivo parece haber sido el realizado por la ya citada columna del coronel Ramos, durante la expedición al Desierto en 1833. Aquella columna recorrió la margen derecha del río hasta alcanzar un punto discutido por los historiadores, pero que estuvo sin dudas más allá del meridiano décimo del sistema de coordenadas con origen en Buenos Aires, actual límite occidental de las provincias de La Pampa y Río Negro; obligadamente, entonces, pasó por Casa de Piedra, aunque no hay en su diario mención específica alguna al sitio, ya sea por toponimia o descripción topográfica (Martínez Sierra, 1975). Cuarenta y seis años después la nueva y definitiva ocupación del llamado Desierto por parte de las tropas de general Julio Argentino Roca produce, aunque a grandes rasgos, un conocimiento definitivo y sistemático de la vastísima región conocida hasta entonces como “Tierra Adentro”.

En junio de 1880 la columna encabezada por el sargento mayor Diego Lucero recorrió el río Colorado, por ambas márgenes, unas 40 leguas hacia aguas arriba a partir de Choique Mahuida y luego otras cuarenta a cargo de una columna que se desprendió de la primera. Encontraron pequeños grupos de indios –que podían estar huyendo de la invasión cristiana– y *“sólo muchas tolderías abandonadas de mucho tiempo ya”* (Olascoaga, 1974: 252).

Lo notable del recorrido considerado radica en que la distancia existente entre Choique Mahuida y Casa de Piedra es, precisamente, muy cercana a las 40 leguas por lo que resulta evidente que esta columna debió pasar por el sitio. El parte de detalle, que avala la firma del coronel Conrado Villegas, señala que en la quinta jornada, cuando llevan transitada la mencionada distancia advierten las elevaciones o bardas (que los partes militares designan como “sierras”)

“... más luego aparecen tan próximas al río que en algunas puntas no distan las faldas de éstas tres varas de la costa, habiéndose visto en partes, obligados a subir a la cima de ellos para continuar la marcha” (Olascoaga, 1974: 183).

La estrechez del valle –una *garganta* en el sentido geomorfológico del término– es precisamente, la característica del sitio de Casa de Piedra y al lugar parece referirse la descripción. Sin embargo llama la atención que, aunque se hace mención de toldos

cercanos, en el sitio no hay referencia alguna respecto a los fósiles marinos que pueblan la barranca, un detalle muy llamativo (Olascoaga, 1974; Seara, s/d).

El testimonio transcrito, extraído del “*Diario de la partida corredora del campo de la margen sur (sic) del río Colorado desde Choique Mahuida hasta Auca Mahuida*”, refuerza la idea de la carencia de particularidad del sitio, pese a la singularidad geográfica, como para que sirviera de referencia u ostentara un topónimo trascendente a los intereses de los hombres blancos. Si nominativamente el lugar funcionaba como “*Ruca Curá*”, como sus similares patagónicos, o tenía otro nombre, es algo que el nivel documental analizado no permitió inferir.

2.4. Las mensuras oficiales

La primera referencia importante a la historia del conocimiento geográfico del lugar la constituyen los trabajos realizados por los agrimensores encargados de realizar la mensura de las tierras ganadas a los indios en la Pampa y la Patagonia. Esta tarea fue realizada entre los años 1880 y 1895.

Los agrimensores que realizaron la tarea avanzaban de Norte a Sur trazando cuadriláteros apoyados en los paralelos y meridianos y derivados de los mismos (Fig. 2.1). El relevamiento topográfico se vio condicionado por la forma en que realizaban la mensura; la misma consistía en recorrer y registrar en forma cualicuantitativa los lados de las menores unidades de división que eran los lotes, de 10.000 por 10.000 metros. Ese relevamiento lateral necesariamente prestaba menos atención a la parte interior del lote, salvo algún interés muy especial o referencia expresa de los baqueanos (Stieben, 1946). Por los motivos expuestos la referencia al lugar catastral donde se encuentra Casa de Piedra, Sección XXV, Fracción C, Lote 5, es escasa en alusiones al sitio propiamente dicho, ya que se ubica cerca del centro del lote. Los detalles más destacados por los agrimensores son:

- a) Condición *guadalosa* de buena parte de las líneas de recorrido.
- b) Existencia de “*montes de sauce colorado (Salix purpurea)*, *cortadera (Cortaderia selloana)* y *chilca (Baccharis salicifolia)*” en los terrenos cercanos al río.
- c) Existencia de “*montes de jarilla (Larrea nitida)*, *chañar (Geoffroea decorticans)*, *usillo (Aloysia gratissima)*” y “*ala de loro (Monttea aphylla)*” en las áreas exteriores al valle fluvial.

Efectos de la represa Casa de Piedra en la variación...

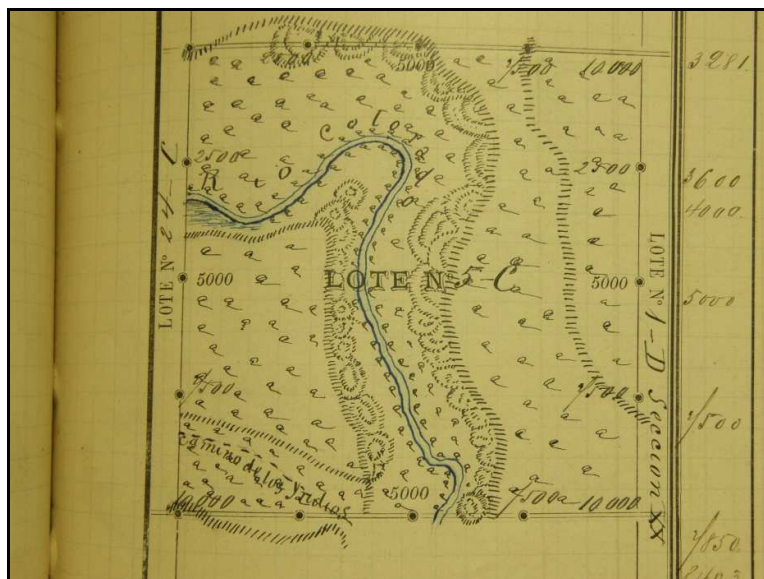
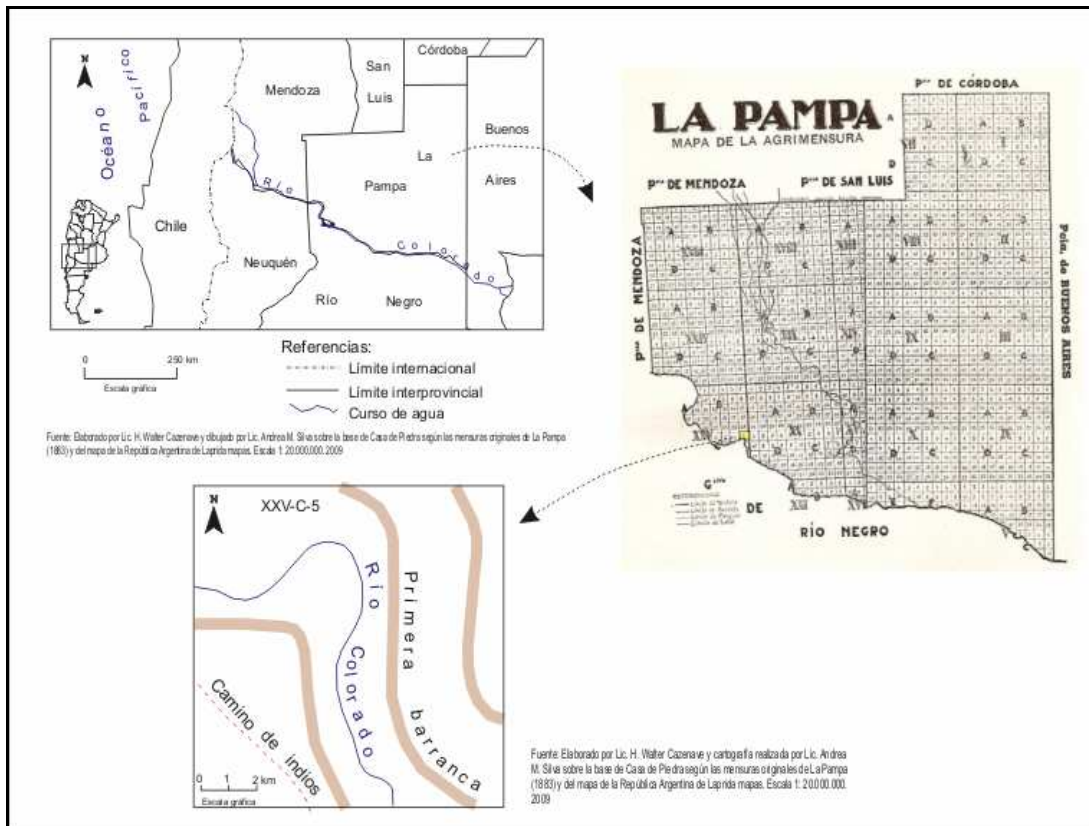


Figura 2.1. Ubicación catastral de Casa de Piedra. Mapa del lote catastral y reproducción facsimilar correspondiente al sitio Casa de Piedra, según las mensuras originales de los Territorios Nacionales (1883). Fuente: Dirección de Catastro, 1881-1910).

Efectos de la represa Casa de Piedra en la variación...

- d) Presencia de un “*camino de indios*” en la margen derecha, que obra como cuerda del arco que el río forma en el paraje.
- e) Señalamiento de una “*2ª Barranca del Río Colorado*”, en alusión a un escalón de terraza.
- f) Existencia de pastos duros en el área, a excepción de la costa del río, donde hay gramilla (*Cynodon dactylon*) y trébol (*Melilotus albus*).
- g) No mención del nombre actual.

Como se advierte el informe no da indicio alguno acerca de un paisaje tan anómalo en el entorno como lo es la notable estrechura que forma el río, con parte de sus barrancas cubiertas de insólitos fósiles, lo que se explica por lo señalado antes en cuanto al recorrido. En ninguna parte del informe se menciona todavía el topónimo Casa de Piedra, ni ningún otro, lo que refirma la presunción del afianzamiento tardío de ese nombre.

El levantamiento de ese sector, que fue efectuado por los agrimensores A. Carballo, J.M. Cagnoni y R. Otamendi, puede considerarse como el primer mapa hidrográfico a gran escala trazado sobre la zona. Se realizó entre los años 1882 – 1886 y fue aprobado en 1887 (Catastro, 1887).

2.5. Cipolletti: un precursor

A fines de 1898 el presidente de la república, Julio Argentino Roca, dictó el decreto por el cual se dispuso iniciar los estudios con vistas a un posible aprovechamiento para irrigación en los ríos patagónicos Limay, Neuquén, Negro y Colorado. Para la tarea se contrató a uno de los hidráulicos más prestigiosos del mundo en la época, el ingeniero italiano César Cipolletti, quien puso de inmediato manos a la obra, a tal punto que ya en febrero de 1899 se encontraba en campaña (Cipolletti, 1899).

Los relevamientos en el río Colorado fueron efectuados por dos colaboradores de Cipolletti, teniendo a Casa de Piedra como punto límite en sus respectivos trabajos. El ingeniero Leonardo Böhm relevó las cuencas de alimentación y superior, incluyendo a los ríos Grande y Barrancas, hasta Casa de Piedra, en tanto que el ingeniero Gunardo Lange lo hizo desde aquel punto hacia aguas abajo, participando en este tramo el propio Cipolletti (Morisoli, 1983).

Efectos de la represa Casa de Piedra en la variación...

El estudio fue, para el lugar, la época y los medios con que se realizó, de una integridad notable. En lo que respecta al valle del río Colorado hay primero una descripción general, para ocuparse luego con más detalle de los sectores pasibles de aprovechamiento agrícola. La forma de descripción se hace por analogía con el valle del río Negro, con el que Cipolletti admite una gran similitud aunque, destaca, existen “*diferencias sensibilísimas*” (Cipolletti, 1899: 131). Entre otras distinciones fundamentales y al margen del caudal, señala los distintos perfiles longitudinales; el del río Colorado se ve interrumpido por varios umbrales de roca dura que atraviesan el cauce y que, dice, marcan una diferencia geológica con el río Negro.

Un detalle singular y que ha condicionado en parte hasta la actualidad el aprovechamiento en la margen pampeana, es que en el río Colorado la divagación de la corriente sobre una y otra ladera, referida al primer nivel del valle, lo ha hecho en tiempos modernos preponderantemente sobre la del Norte. Destaca el mismo autor, que las aguas del río son notablemente más salobres y turbias que las del Negro, aunque la salinidad disminuye con las crecientes, que aumentan la turbiedad (Cipolletti, 1899).



Figura 2.2. El sitio de Casa de Piedra en su estado original. Vista de la margen izquierda hacia aguas abajo (1971). Fotografía Lic. H. Wálter Cazenave.

La descripción geomorfológica del valle es correcta, aunque expeditiva y siempre en comparación con el del río Negro. Precisamente al delimitar los tramos del valle

Efectos de la represa Casa de Piedra en la variación...

longitudinal – alto, medio y bajo en la concepción del trabajo del hidráulico italiano – es cuando, señalándolo como límite del valle superior, nombra por primera vez el paraje en estudio, aunque lo hace utilizando un plural: “*Casa de Piedras*” (Fig. 2.2). Dice al describir el sitio:

“Desde el codo, muy pronunciado, de la Casa de Piedras el valle se estrecha entre barrancas altas de tosca dura y paredes casi a pique, del alto de 15 m, arriba de las cuales se extiende, en territorio de la Pampa Central, un campo vasto y llano, de una á cuatro leguas de ancho, terminado en otra barranca de forma de falda suave, por la cual se sube a otra altiplanicie. Es este uno de los casos de desdoblamiento de la barranca alta en dos menores, de que ya se habló en el párrafo anterior.

Una legua y media aguas abajo de la Casa de Piedras un cordón de arenisca muy dura llega hasta el río, y podría eventualmente utilizarse para toma de un canal, destinado al riego de la pampa alta ya descripta.” (Cipolletti, 1899: 132 y ss.).

Más adelante y ya en lo relativo a la necesidad y tipo de obras, dice Cipolletti refiriéndose a las “*presas de agua*”:

“En cuanto al Colorado, es muy posible sea en ciertos casos conveniente construir diques trasversales, aprovechando aquellos puntos en que el cauce se halla encajonado en roca viva y que, en otros casos, resulte necesario hacerlo debido a la escasez de agua en el río.

(...)

Por lo que respecta al Colorado, es posible que, como queda indicado, convenga en ciertos puntos, aprovechar la existencia de trechos de cauce en roca viva, para construir en ellos diques económicos, que facilitarán notablemente la irrigación de las zonas inferiores, por la mayor altura que se obtendrá en el nivel de los canales derivados; ó que sea necesario construirlos en las zonas inferiores para derivar toda el agua que quede, a beneficio de los campos que se abren después de la Estación del Río Colorado.” (Cipolletti, 1899: 188 y ss.).

De aquellas expresiones se desprende una preclara recomendación del hidráulico italiano respecto a la posibilidad de levantar un azud en Casa de Piedra.

Efectos de la represa Casa de Piedra en la variación...

El extenso e interesantísimo trabajo de Cipolletti, anticipatorio en muchos aspectos, abunda también en datos respecto al estado de poblamiento y desarrollo del valle del río Colorado en la época del relevamiento, tales como la existencia de pequeñas chacras, algunos almacenes ribereños, la presencia de norias y molinos de viento y unos curiosos “almacenes flotantes” que bogaban portando mercancías. Sin embargo no se consignarán más detalles al respecto por estar referidos al inicio del valle superior y, preponderantemente, al valle inferior. En lo que hace al conocimiento de Casa de Piedra no aparecen más datos de interés.

Podría decirse que, con posterioridad a las exploraciones de Cipolletti, el conocimiento geográfico efectivo de Casa de Piedra no progresó demasiado, al menos en su faz sistemática y pública. El reconocimiento de la zona y su poblamiento fueron afianzándose a partir de la ocupación militar del desierto, pero la cartografía que debió reflejar esas circunstancias no fue acorde. Hasta 1989 – cuando se editó la hoja *Casa de Piedra* a escala 1:100.000 con apoyatura fotogramétrica– el sitio aparecía documentado en las cartas oficiales únicamente en la hoja planialtimétrica *Villa Regina*, 3966, 1:500.000, editada en 1972 y elaborada sobre mapas catastrales de La Pampa y Río Negro de las décadas del cincuenta y sesenta. Existía información a escala menor y aún aerofotografía a escala media pero estos logros se concretaron por iniciativa de las provincias condóminas del río Colorado en función del conocimiento técnico del fluvio, en una tarea iniciada a partir de mediados los años cincuenta y que incluyó información de base en geología y topografía. La tarea se vio incrementada y efectivamente sistematizada a partir de 1960, cuando el gobierno de la provincia de La Pampa creó una comisión especial encargada del estudio del río. Estos conocimientos no se vieron reflejados en la cartografía nacional hasta mucho más tarde. Recién en 1988 comenzaron a aparecer las hojas planialtimétricas 1:100.000 que cubren parte de las cuencas alta y media y aún así en forma parcial (COTIRC: 1961; IGM: 1:500.000 1965, 1969, 1972, 1974, 1978; 1:250.000 1987, 1990, 1994; 1:100.000 1971, 1983, 1984, 1989, 1993).

2.6. El poblamiento moderno

El fluido tránsito que existía entre ambas vertientes de la parte sur de la cordillera había permitido el temprano establecimiento de numerosas familias cristianas de origen trasandino que, paulatinamente y atraídas por las facilidades para el pastoreo, avanzaron en forma constante sobre el lado argentino. Esas gentes, pasada la conmoción de la ocupación por las tropas nacionales y ya solucionado en parte el problema limítrofe,

Efectos de la represa Casa de Piedra en la variación...

volvieron a ubicarse aquende los Andes, marchando hacia el Este siguiendo el camino de los valles fluviales; lo mismo, pero procedentes desde el Norte, hacían simultáneamente los argentinos pobres que buscaban tierras donde instalarse. Es así como se registran constancias de establecimiento en el Alto Valle del Colorado en fecha tan temprana como 1885, lo que hace como muy probable que haya habido algún poblamiento, no registrado, en Casa de Piedra y su zona (Morisoli, 1983).

En los años previos a 1910, en fecha no precisada, se registra la presencia del señor Saizar, un poblador de origen vasco español, que con gran esfuerzo abrió una aguada y levantó instalaciones en la zona, alambrando e introduciendo considerables cantidades de ganado. Aunque sucesivas adversidades lo obligaron finalmente a abandonar el campo, hay que hacer notar que Saizar, en su afán de progreso y necesidad de vinculación con los centros poblados, llegó a instalar una balsa en el lugar de Casa de Piedra (Morisoli, 1983).

Por entonces, ése parece ser el dato más concreto que existe al respecto sobre el sitio de Casa de Piedra. Hacia 1905 un trabajo tan exhaustivo –para la época– como lo fue la *Guía* de Miguel de Fougeres, no da referencia específica alguna. Sí señala para todo el departamento (equivalente entonces al tercio sur del actual departamento Puelén) la existencia de 908 habitantes rurales, 158 de los cuales eran extranjeros, lo que viene a corroborar lo expresado antes en cuanto al avance poblacional desde la cordillera. Las escasas referencias a sitios poblados permiten inferir que la mayoría se ubicaba sobre la zona de la meseta basáltica, favorecida por manantiales. Si bien hay datos de otras fuentes que documentan la existencia de un núcleo poblacional considerable en Colonia 25 de Mayo y su zona, siguen estando ausentes las referencias en cuanto a Casa de Piedra propiamente dicha, ubicada unos 80 km al oriente de aquel paraje (De Fougeres, 1906).

En 1909 la Nación aprueba la creación de la colonia “25 de Mayo”, sobre la margen pampeana del río Colorado. La mensura de la misma, que abarcaba hasta aldaños de Casa de Piedra, fue realizada por el agrimensor Enrique Manzanares al año siguiente de la creación y aprobada en 1913. En el mapa respectivo los lotes 4 y 5 de la fracción C, sección XXIV, correspondientes al sitio de Casa de Piedra no registran población ni dominio particular alguno, aunque esas condiciones sí se verifican 10 km más al Oeste, donde aparecen seis subdivisiones con propietarios. En el mapa tampoco figura el topónimo pero en la banda meridional del río, a unos 10 km al Suroeste del paraje y sobre

la huella, originalmente de indios, que se señalara antes aparecen indicados los restos de una toltería (Catastro, 1910).

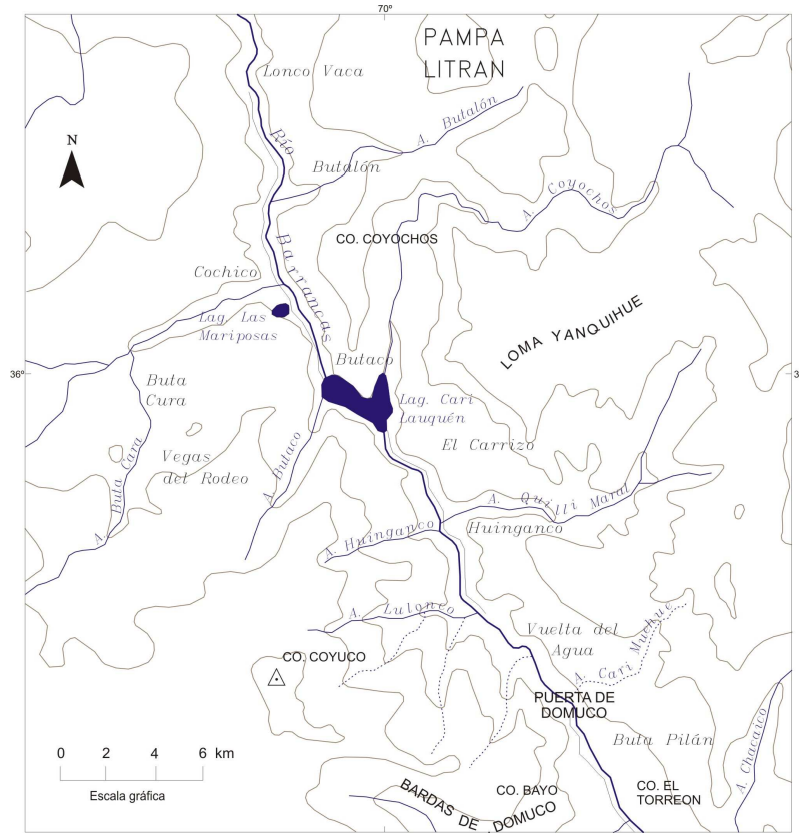
2.7. Memoria de aguas terribles: la Crezca Grande

La historia del poblamiento de la faja costera del río Colorado, a lo largo de todo su recorrido, se vio drásticamente alterada a partir del 29 de diciembre de 1914 y las dos semanas subsiguientes. En aquella fecha el por entonces lago Carri Lauquén, ubicado en la alta cordillera, sobre el río Barrancas, experimentó la rotura del dique natural que cerraba su parte frontal, vaciándose súbitamente las dos terceras partes de su volumen sobre el curso del río, cuya confluencia con el río Grande, a unos 55 km de distancia del lugar del suceso, da lugar a la formación del río Colorado. El desembalse y consiguiente pérdida de nivel fueron tan grandes que desde aquel año la cartografía consigna el accidente geográfico con la condición de "laguna" (Fig. 2.3).





Una idea cabal de la magnitud de la catástrofe la da el hecho de que los 21,5 km de largo que tenía el lago originalmente, después de la evacuación se redujeron a 5,6 km, en tanto que la superficie del cuerpo de agua descendió 95 metros. Una estimación prudente del geólogo Groeber, comisionado por el gobierno nacional para evaluar la catástrofe y averiguar las causas, de en alrededor de 2.000.000 ⁽¹⁾ de hm³ el volumen evacuado súbitamente (Groeber, 1916).

(1) La cantidad está tomada en forma textual del informe de Groeber pero su magnitud sugiere un error; deben ser 2.000 millones de m³ o, en su defecto, 2.000 hm³.

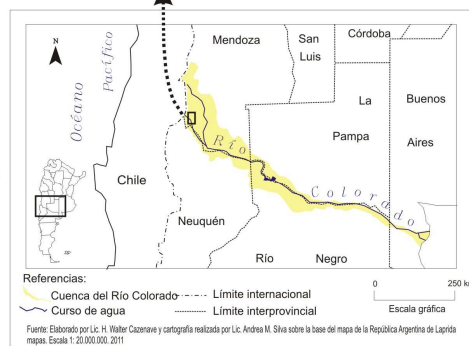
Efectos de la represa Casa de Piedra en la variación...



Referencias:

-  Corriente de agua perenne
-  Corriente de agua intermitente
-  Curvas de nivel
-  Laguna perenne

Fuente: Elaborado por Lic. H. Walter Cazenave y cartografía realizada por Lic. Andrea M. Silva sobre la base de la carta topográfica del Instituto Geográfico Militar, Hoja Barrancas, 3769-I (1990). Escala 1: 250.000. 2011



-  Cuenca del Rio Colorado
-  Curso de agua
-  Límite internacional
-  Límite interprovincial

Fuente: Elaborado por Lic. H. Walter Cazenave y cartografía realizada por Lic. Andrea M. Silva sobre la base del mapa de la República Argentina de Laprida mapas. Escala 1: 20.000.000. 2011

ERROR: ioerror
OFFENDING COMMAND: image

STACK:

PARTE II

En este apartado se considera la ubicación regional de la cuenca del río Colorado y sus principales rasgos físicos, así como la particularidad de los tramos del valle fluvial propiamente dicho. Se estudian las variaciones hidrográficas del río y se realiza la sistematización de la información a través de las principales herramientas de la estadística hidrológica. El dique Casa de Piedra: se describen sus características técnicas y se analizan las influencias de su emplazamiento sobre el río y la región.

CAPÍTULO 3. EI RÍO COLORADO

Una de las cuestiones a dilucidar definitivamente dentro de la geografía nacional y muy especialmente en ámbitos políticos es el límite norte de la región conocida como Patagonia. Han sido tantos los intereses en juego y los aportes efectuados al tema por opinantes no debidamente calificados que se ha generado al respecto una notable confusión, plagada de exageraciones que van desde un límite taxativamente absurdo, como lo es el río Colorado, hasta una extensión inadmisibile, como sería la franja oriental de la provincia de La Pampa (Daus, 1976; Roldán, 1989). Esa controversia de opiniones sobre el límite septentrional ha llegado a ignorar palabras tan autorizadas como las de Musters, Zeballos o los primeros misioneros salesianos quienes, ya sea por referencia, por comprobación *de visu* o por ambas circunstancias ubican ese comienzo de la región patagónica, al sur del río Negro (Musters, 1973; Zeballos, 1994; Massa, 1967).

3.1. El medio físico. La franja de transición pampeano – patagónica

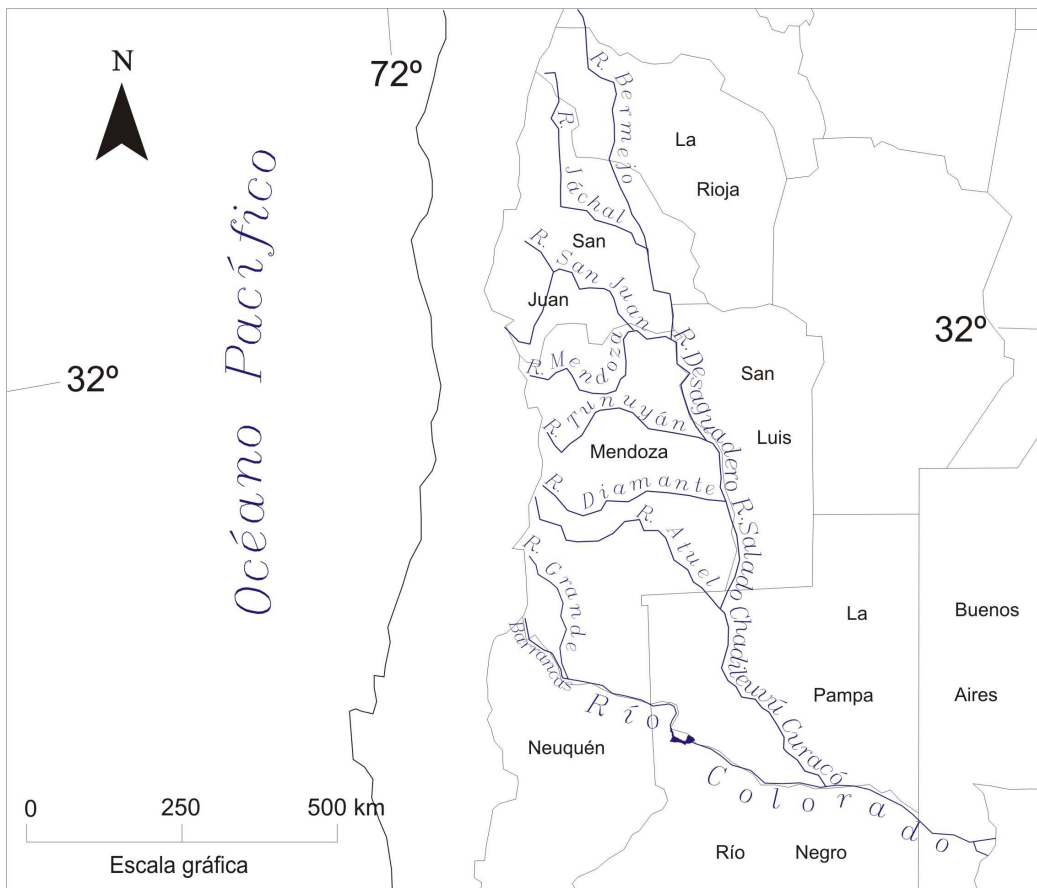
No caben dudas que al occidente de una línea tentativa como es la isohieta de 600 mm, que suele usarse como deslinde de la región pampeana semihúmeda, las características geográficas de la faja central y del territorio argentino comienzan a variar en sus rasgos físicos fundamentales a partir de los 36° Sur, evidenciando una cada vez mayor aridez. Aparece un paisaje con sierras de poca altura y se hacen manifiestas ondulaciones y depresiones del terreno, algunas muy marcadas, con rasgos que lo diferencian claramente de la planicie pampeana y de la región mediterránea de más al norte (Daus, 1976).

Al suroeste del curso de los ríos Atuel – Chadileuvú el ambiente presenta un ecotono de características marcadamente patagónicas; desde aquel límite hasta llegar al río Colorado ha transcurrido ya más de un centenar de kilómetros en los que el paisaje ostenta

una clara identificación con el que se extiende a partir de la ribera meridional. El paraje Casa de Piedra se ubica plenamente dentro del ámbito patagónico y los fines de la obra allí levantada son armónicos con las posibilidades y formas de desarrollo inherentes a la región.

3.1.1. Desde la Cordillera hasta el mar: límites

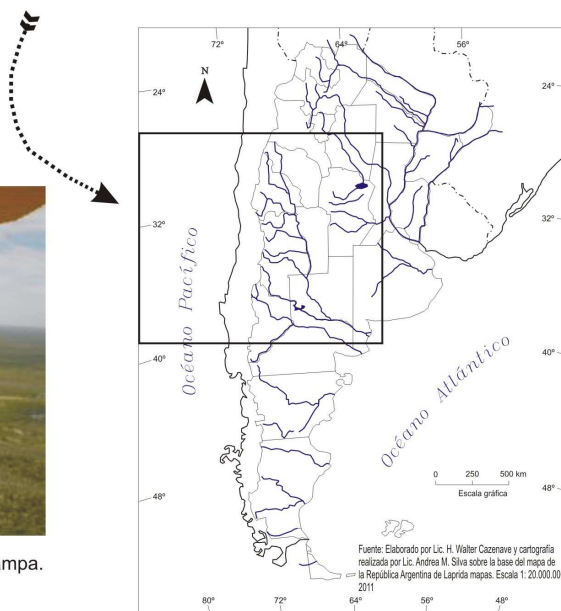
La condición del río Colorado puede prestarse a confusiones ya que, si bien aparece como una cuenca independiente, desde el punto de vista fisiográfico es el último eslabón de lo que se denomina Sistema del río Colorado. Este sistema está conformado por la mayor de las cuencas íntegramente desarrolladas en el país y se extiende desde los 27° 45' hasta los 38° 49' de latitud Sur, drenando el frente andino desde sus inicios hasta los 33° 12'. Comprende total o parcialmente las provincias de Catamarca, La Rioja, San Juan, Mendoza, San Luis y La Pampa, identificándose habitualmente como "cuenca del río Desaguadero – Salado – Chadileuvú – Curacó". Esta denominación se atiene a los distintos nombres que toma el colector según por los lugares que atraviesa antes de confluir con el río Colorado. Sin embargo, pese a la vigencia del sistema puesta de manifiesto en los años hídricamente ricos, suele considerársela como una cuenca independiente, ya que los aportes del río Curacó son muy esporádicos (Fig. 3.1). El presente trabajo está referido al área comprendida dentro de los límites de la cuenca del río Colorado (excluyendo el resto del sistema Desaguadero – Salado – Chadileuvú – Curacó), aunque considerando la influencia del río Curacó a través de sus conexiones periódicas (GÆA, 1975).



Fuente: Elaborado por Lic. H. Walter Cazenave y cartografía realizada por Lic. Andrea M. Silva sobre la base del mapa de la República Argentina de Laprida mapas. Escala 1: 20.000.000. 2011



Vista aérea del Río Salado - Chadileuvú en La Pampa.



Fuente: Elaborado por Lic. H. Walter Cazenave y cartografía realizada por Lic. Andrea M. Silva sobre la base del mapa de la República Argentina de Laprida mapas. Escala 1: 20.000.000. 2011

Figura 3.1. Sistema del río Colorado y cuenca del río Desaguadero – Salado – Chadileuvú – Curacó.

Las cuencas superior y de alimentación del río Colorado se desarrollan íntegramente sobre la porción de los Andes Áridos del sur de Mendoza y norte de Neuquén. La cuenca de alimentación se extiende entre los 34° 37' y los 36° 12' Sur y comprende los tributarios que van a formar los ríos Grande y Barrancas, cuya unión da lugar al Colorado. Por el Norte la delimita una línea que pasa por las más altas cumbres de los cerros Tinguiririca, Amarillo, Casa de Piedra y Paso de Risco Plateado. A partir de este último el límite Este está determinado por una traza que sigue el valle del río Grande por la divisoria de aguas que lo separa de la cuenca del Salado mendocino, tributario del Atuel, continuándose por los cerros Desagüe, Mora, Negro, Ventana, Tronquimalal, Mirano, Palauco, León, Fortunoso, Payún (o Payén), Bordo del Payún y Peinado. El límite sur lo marca una línea de altas cumbres que, partiendo del volcán Domuyo, sigue por los cerros La Cruzada, Palao, Chorrollal, del Baile, Tromen y margen derecha del arroyo Chacaicó. El cierre del perímetro de cuenca superior de alimentación se efectúa en las coordenadas geográficas de 37° 06' Norte y 69° 32' Oeste, unos pocos kilómetros aguas abajo de la localidad de Buta Ranquil; al Oeste el límite lo marca la divisoria de aguas con Chile (CFI, 1972).

La cuenca de alimentación del río Colorado cubre unos 15.300 km², de los que 10.872 km² corresponden al río Grande y 3.410 km² al río Barrancas; a los dos cursos principales se les debe sumar 1.018 km², correspondientes a los pequeños cursos que aportan directamente al Colorado, que son el Butacó, Chacaicó, Huantraicó y Pequencó. Estas superficies se corresponden con lo que podría considerarse la parte de la cuenca dentro de la cual se ubican los cursos de aporte permanente, además de innumerables cañadones o *ríos secos* que se activan únicamente en época de deshielos o lluvias (GÆA, 1975).

A partir del final de la cuenca de alimentación en inmediaciones de Buta Ranquil y con la entrada del río en sus valles alto, medio y bajo, la definición de los límites de cuenca se torna más dificultosa. Se considera que hasta la estación de aforos de Pichi Mahuida alcanza los 22.300 km², cifra que llega a los 34.040 km² si se estima hasta la desembocadura (GÆA, 1975). El COIRCO asigna a la superficie de cuenca unos 41.200 km² (COIRCO, 2006).

3.1.2. Diagonal árida entre dos anticiclones

El clima que rige a la cuenca del río Colorado puede dividirse netamente en dos partes: el correspondiente al área de montaña, coincidente con la cuenca de alimentación y el relativo al valle del río desde que abandona los grandes relieves hasta el mar. Ambos ambientes están influidos en forma respectiva por los sistemas climáticos de los océanos Pacífico – en menor medida – y Atlántico. Quedan insertos en una franja que de forma sesgada atraviesa el continente y que se reconoce como la diagonal árida argentina (Burgos, 1974; De Aparicio *et al.*, 1958; Daus, 1976; Bruniard, 1982).

Excluido el ámbito cordillerano, existe una serie de parámetros climáticos válidos para la parte septentrional de la región patagónica en una franja de latitudes variables a ambos lados del río Colorado. Dicha franja limitaría por el Sur con la parte media del interfluvio Colorado – Negro y por el Norte con una línea tentativa de unos 100 km, paralela al río. De Oeste a Este, abarca desde las primeras elevaciones de la Payunia hasta la costa atlántica; sus registros climáticos comienzan a atemperarse a medida que se avanza hacia el Norte y Este, integrándose en los de la región pampeana (Burgos 1974; Daus, 1976).

Dicha faja está comprendida en un ámbito de clima templado aunque de marcada continentalidad. Las precipitaciones se hallan sujetas casi completamente al anticiclón del Atlántico Sur, generador de vientos húmedos que se desplazan de Noreste a Suroeste, perdiendo humedad a medida que se adentran en el continente, por lo que a partir del meridiano de 66° Oeste son ínfimas (Cuello, 1969; Burgos, 1974). Los vientos del anticiclón del Pacífico Sur también son húmedos en su origen, pero al chocar con la falda occidental de la cordillera de los Andes descargan su humedad mayoritariamente en el lado chileno y pasan a la vertiente argentina secos y fríos, contribuyendo a la desaparición de la escasa humedad de la planicie patagónica y pampeana, que atraviesan luego con dirección Noreste. Esporádicamente, algunas grandes tormentas sobrepasan la cadena montañosa y entran por los valles intercordilleranos a territorio argentino, descargando su humedad en las laderas orientales y provocando así crecidas atípicas y excepcionales en los ríos norpatagónicos, generalmente en invierno (Burgos, 1974).

Las isohietas del sector considerado tienen un gradiente manifiesto de disminución de Este a Oeste que puede esbozarse, aproximadamente, como de un 1 mm cada km,

aunque sufren desplazamientos evidentes según los períodos, que las hacen retroceder o avanzar en las direcciones indicadas (Hernández Bocquet, 1992) (Fig. 3.2). La escasez de precipitaciones pluviales y su almacenamiento y circulación subterránea por estratos salinos, son la causa de la mala calidad y escasa cantidad de los acuíferos de la zona en cuestión, inexistentes o inprovechables en una extensión de muchos miles de kilómetros cuadrados, imposibilitando, en consecuencia, la presencia de actividad humana. Esta característica se hace más evidente en el sector del alto valle del río Colorado correspondiente a la ribera pampeana, entre 25 de Mayo y La Japonesa, en una extensión de aproximadamente 100 km hacia el Norte, área que desde siempre tuvo serias limitaciones que impiden la ocupación humana, incluso hasta nuestros días (Morisoli, 1983).

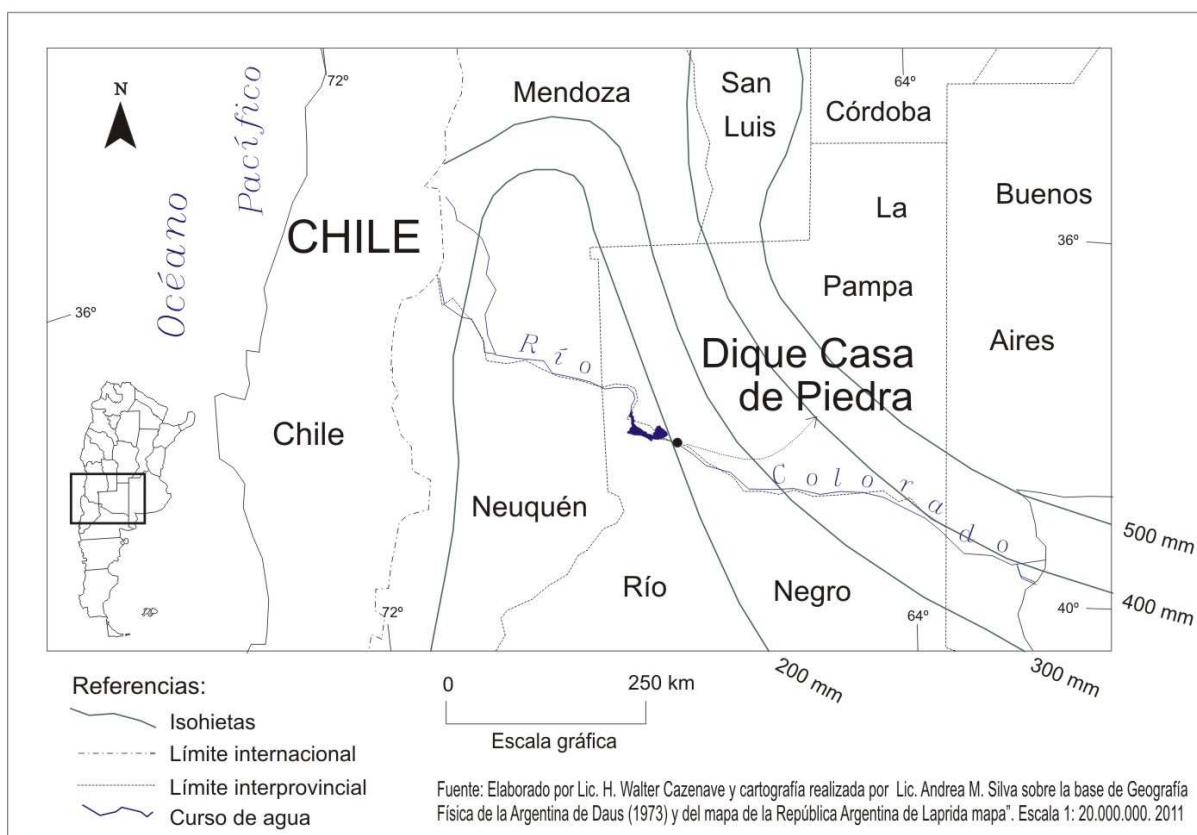


Figura 3.2. Isohietas en la cuenca del río Colorado. Modificado de Daus, 1973.

El viento constituye el elemento dominante del clima, tanto para determinar la condición árida de esta amplia franja que abarca el norte de Patagonia como para las

variaciones de temperatura. Los de dirección Noreste son cálidos y –relativamente– húmedos, generadores de las escasas tormentas zonales, en tanto que los del Suroeste son vientos fríos y muy a menudo violentos, anticipadores de fuertes heladas (Burgos, 1974).

La región considerada está comprendida entre las isotermas de 10 °C y 16 °C. En enero oscilan entre 16 °C y 24 °C, en tanto que en julio indican variaciones térmicas entre 2 °C y 10 °C (Burgos, 1974; GAEA, 1975). En la figura 3.3 se observa la traza regional de isotermas para los meses de enero y julio. El diseño de las isolíneas tiene una marcada traza latitudinal en el verano y manifiesta distribución longitudinal en invierno haciendo evidente la dominante influencia de los anticiclones del Atlántico y del Pacífico respectivamente.

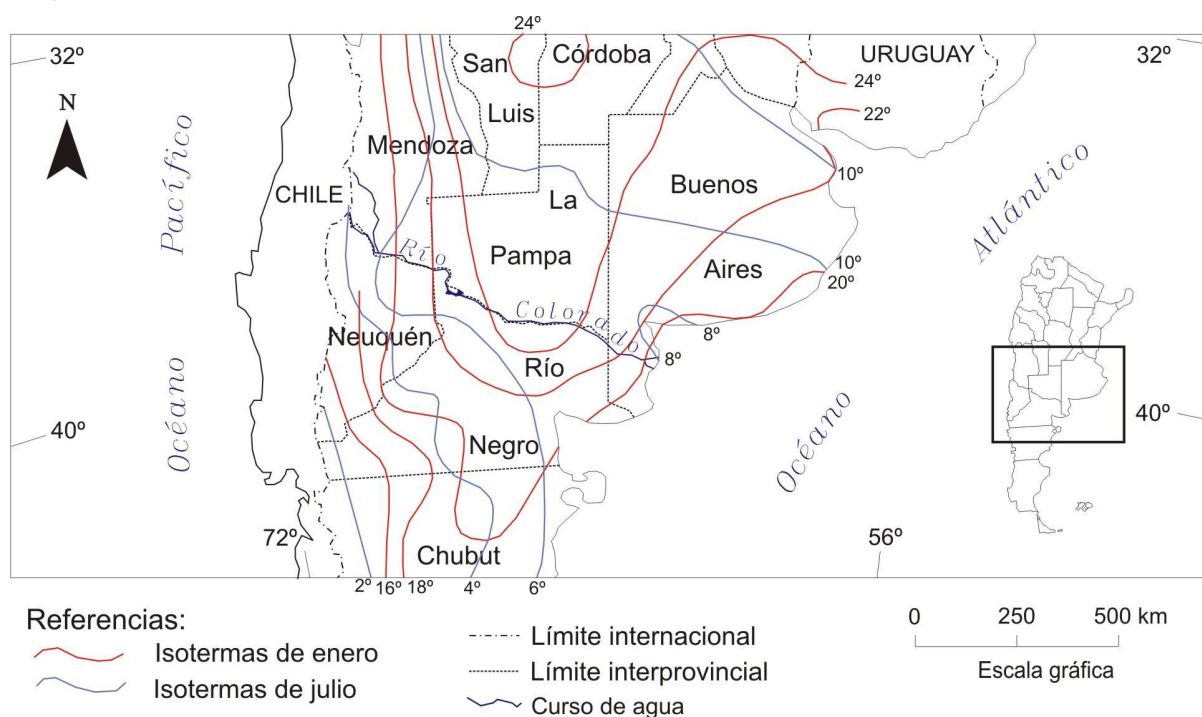


Figura 3.3. Isotermas de la cuenca del río Colorado. Modificado de Daus, 1973.

La marcada continentalidad hace que el clima de la franja donde se ubica el área en estudio sea riguroso en las estaciones extremas, no siendo extraños los registros veraniegos que sobrepasan los 40 °C o los invernales que descienden más allá de los -6 °C. Las amplitudes térmicas zonales son considerables y llegan a los 45 °C y 50 °C. El período

sin heladas no es menor que 120 días, según datos correspondientes a la localidad de Colonia 25 de Mayo (Burgos, 1974; Medús *et al.*, 1981).

3.1.3. En la cuenca superior: influencia transcordillerana

La zona correspondiente a la cuenca del río Grande tiene su referente más cercano en la estación meteorológica de Malargüe. Las temperaturas en esta estación ubicada al pie de la montaña arrojan una media anual de 11,4 °C, con máximas absolutas de 38 °C y mínimas absolutas de hasta -23,6 °C. Los mayores fríos se registran en junio, julio y agosto y los calores en diciembre, enero, febrero y marzo. Se ubica en un área de grandes amplitudes térmicas en virtud del relieve, la petrografía del suelo y la proximidad del macizo de Payunia, amplitudes que pueden alcanzar los 61 °C.

La presión atmosférica media anual es de 858 mb y se caracteriza por la escasa variación alrededor de ese valor. Los vientos son constantes del Noreste durante todo el año, menos en los meses invernales, cuando son preponderantes del Suroeste, a influencias del anticiclón del Pacífico Sur y pueden generar precipitaciones nivales y pluviales importantes, un rasgo coincidente con la Patagonia andina. Las máximas precipitaciones nivales se registran en junio, julio y agosto. La velocidad media anual del viento es de 6 km/h y las menores lluvias se registran en verano, en enero, con valores de hasta 20 mm. Los valores de temperatura y precipitación disminuyen y aumentan, respectivamente, a medida que se adentra en la cordillera en la que, para dar un ejemplo, los registros con helada son prácticamente diarios contra los más de cinco meses libres de congelamiento que se registran en el piedemonte (Marzo e Inchauspe, 1967).

En lo que hace a los aspectos climáticos de la cuenca del Barrancas cabe hacer una mención específica ya que, si bien puede considerárselos similares a los del río Grande, referidos como se ha dicho a la estación Malargüe, éstos representan una ventaja sobre la cuenca del Barrancas que carece de sitios permanentes de registros fijos, sistemáticos y prolongados. Recién en el año 2004 una estación de sensores remotos instalada en Laguna Fea ha comenzado a suministrar información (COIRCO, 1999). Se halla ubicada en el área transicional de regímenes nivales a pluvio – nivales, en forma muy incipiente, lo que se

expresaría en principio con las lluvias zonales, que se producen mayoritariamente entre mayo y septiembre, constituyendo el 68 % del total anual, que es del orden de los 300 mm. Esas precipitaciones caen, generalmente, en un lapso que va de dos a cinco días, lo que sugiere tormentas de notable intensidad y de índole, como mínimo, zonal. Asimismo los meses de temperaturas mínimas medias coinciden con los de mayores precipitaciones. Sin registros puntuales fiables solamente puede señalarse que en los meses de verano la isoterma de 18 °C abarca casi toda la cuenca del Barrancas en tanto que en invierno se ve comprendida por las de 5 °C y, en parte 4 °C (Universidad del Comahue, 1983).

La diferencia entre el comportamiento climático de ambas cuencas se aprecia al considerar los vientos, que en el área del Barrancas son predominantes del cuadrante Oeste a lo largo de todo el año, con una velocidad media en los meses de invierno de 13,4 km/h, que puede incrementarse notablemente en los restantes. La precipitación nival sobre el Barrancas, ante la ausencia de registros fiables y sistemáticos, permite aseverar únicamente que se produce en forma abundante por encima de los 3.000 m, siendo escasa en el resto, pese a tratarse de zonas muy frías (Cazenave, 1987).

3.1.4. Entre la confluencia y el mar: clima en el valle fluvial

La especial situación del curso fluvial dentro de un área eminentemente desértica y las secuelas de la catástrofe de 1914 hicieron que el marco de estudios sistemáticos del río Colorado fuera tardío, parcial y realizado, como ya se ha dicho, en el sentido desde la desembocadura hacia las nacientes. Esa circunstancia, unida a la gran distancia entre estaciones de registro, debida a la escasa población del área, hizo que las investigaciones meteorológicas y climáticas en particular sufrieran un considerable retraso, apelándose a generalidades o, eventualmente, comparaciones con valores del valle del río Negro, basadas en su cercanía geográfica.

Recién en 1974 y como resultado de varios años de observaciones y experimentaciones, Burgos concretó una obra de detalle y características científicas relativa al clima del valle del Colorado. Si bien el trabajo está orientado hacia la faz agroclimática la metodología aplicada y los resultados obtenidos permiten inferir algunas conclusiones muy interesantes, por considerarlo el primer trabajo de base al respecto. Ese seguimiento

expositivo se complementa, en algunos casos, con datos de fuentes más modernas. Las conclusiones de Burgos son el resultado de estudios de campo y gabinete sobre registros efectuados en Gobernador Ayala, 25 de Mayo, Peñas Blancas, Colonia Catriel, Estación Experimental Agrícola de 25 de Mayo, La Japonesa, Saltos Andersen, Río Colorado, Bajo de los Baguales, Hilario Ascasubi, Bella Vista, Fortín Mercedes y Villalonga. Esos registros están lejos de ser uniformes ni de igualarse en sus récords (Burgos, 1974).

El autor citado considera que

“El río Colorado se menciona con frecuencia como un accidente geográfico límite natural de importantes hechos climáticos y ecológicos, por lo que se requiere precisar sus características físicas de cuenca para determinar en cuánto participa de los hechos que contribuye a separar”.

A partir de esa afirmación decide estudiarlo en función de la circulación de la baja troposfera de la región y a las expresiones de precipitación, temperatura y vientos, anticipando que el valle todo conforma *“un ambiente singular”* (Burgos, 1974: 5).

La afirmación se ve refirmada al señalar que

“(...) el río Colorado se encuentra bajo la influencia de un tipo de aire más cálido y húmedo, determinado por los sistemas de presión del Atlántico Sur y de los que se establecen sobre el continente. En cambio, el alto valle del río Negro, a pesar de su proximidad, resulta más influido por masas de aire más frío y con menor contenido de vapor de agua que se traslada por el sistema de baja presión subpolar y por el flanco sur del anticiclón del Pacífico Sur.” (Burgos, 1974: 62).

La mencionada singularidad del valle se advierte en que el mismo está sujeto a la alternancia de masas de aire generadas por los dos grandes centros de acción: el anticiclón del Pacífico Sur, con aire frío y seco y el anticiclón del Atlántico Sur, con aire cálido y húmedo. Sin embargo la incidencia continental de ambos en sus condiciones originales no es trascendente como para variar el clima general del valle, que oscila entre árido en su porción occidental y semiárido en la parte oriental. Los vientos húmedos del Oeste suelen

superar esporádicamente en invierno la barrera andina al sur de los 40° de latitud y producir lluvias orográficas en la cuenca superior y parte inicial del valle superior del río Colorado. Si, por lo contrario, han dejado su humedad en la ladera occidental de los Andes, pasan la cordillera como secos y fríos y barren la planicie pampeano – patagónica bajo la forma localmente llamada “Pampero”, cruzando el valle del río en forma transversal. En la parte oriental, en cambio, hay una penetración del aire marítimo en sentido Este – Oeste durante un par de centenares de kilómetros, desviado hacia el Norte, pero que no aporta precipitaciones significativas en el valle.

En el enfoque global del estudio, aparecen incidiendo sobre el clima elementos que no siempre son tenidos en cuenta. Así se advierte la interacción y complementariedad entre suelo y clima al advertir el autor que

“La vegetación natural, compuesta por arbustos y hierbas que cubren aproximadamente sólo el 30 ó el 40 por ciento de la superficie del suelo, de muy lento crecimiento vegetativo y tejidos pobres en agua y colores claros, favorece la reflexión de la energía de onda corta y no pueden modificar la escasa capacidad calórica de la superficie” (...).

Esa circunstancia influye sobre el régimen térmico de la capa de aire adyacente al suelo y determina pronunciados extremos de temperatura en sus oscilaciones (Burgos, 1974: 10).

Los principales elementos determinantes en la diferenciación climática del río Colorado son: precipitaciones, evaporación, vientos y temperatura, los que, a su vez, se ven influidos por factores tales como latitud, altitud y distancia al mar.

Precipitaciones. En la cuenca del río Colorado pueden expresarse gráficamente como un arco cóncavo hacia el cielo, con el extremo más elevado correspondiente a la alta cuenca, donde se registran precipitaciones considerables, especialmente invernales. Las mismas están originadas en el extremo norte del frente frío y húmedo del Pacífico Sur, que ingresa al continente tras salvar la cordillera al sur de los 40° de latitud. Esas lluvias decrecen rápidamente después de tramontar las montañas, hasta ubicarse en valores correspondientes a climas desérticos: 200 mm y menos en el límite mendocino –

pampeano. A medida que se avanza hacia el Este hay un aumento gradual, en tanto que se hace sentir en forma más efectiva la acción del anticiclón del Atlántico Sur. Una línea imaginaria que uniera San Rafael, en Mendoza, con Maquinchao, en Río Negro, separaría las zonas con distinto grado de sequedad (Burgos, 1974).

Las consideraciones climáticas precedentes son armónicas en líneas generales con los tratadistas más conocidos: el sistema de Köppen señala un clima de estepa para todo el valle del río, mientras que el método de Thornthwaite permite dividir el valle en dos partes, coincidentes con la observación de Burgos: al este de 25 de Mayo, en la orilla pampeana, semiárido y al oeste de aquella localidad árido. La media de lluvias en 25 de Mayo entre los años 1921 y 1980 alcanzó a 218 mm. Sin embargo es de hacer notar que, al igual que en el resto de La Pampa, las precipitaciones parecen haberse incrementado en la década 1960 - 2000: el registro pampeano de la Dirección del Agua, Departamento Recursos Superficiales, consigna para 25 de Mayo, entre los años 1962 y 2000, una media de 251 mm anuales, con picos de 558 y mínimas de 58 (Dirección Provincial de Estadística, 1981; Dirección del Agua, 2000).

En la tabla 3.1 se observan los valores medios de precipitaciones anuales, máximos y mínimos para estaciones de la cuenca del río Colorado donde se aprecian los montos mayores para la estación Malargüe (Mendoza).

Precipitaciones anuales promedio en la cuenca del río Colorado (mm)				
	anual	máximos	mínimos	meses con más bajas precipitaciones
Cuenca activa (Est. Malargüe)	334	537,1	182,3	Abr – May
Cuenca superior (Est. Neuquén)	182,6	358	35,5	Jun – Jul
Cuenca media (Est. R. Colorado)	345	687,5	223,5	Nov – Dic – Ene – Feb
Cuenca inferior (Est. Ascasubi)	530,6	914	312	May – Jun – Jul – Ago

Tabla 3.1. Precipitaciones anuales en la cuenca del río Colorado.

Fuente: Atlas de la provincia del Neuquén

Evaporación. Aunque hay una cierta diversidad de valores debidos a métodos y formas de registro distintas existen datos fiables que permiten ubicar la evaporación en el alto valle del Colorado en el orden de los 1.200 mm a 1.400 mm anuales (Fig. 3.4)

(Cazenave, 1997). Burgos establece una relación que explica la escasa diferencia advertida en los valores de los valles superior e inferior, a pesar de los varios centenares de kilómetros existentes entre los puntos de registro.

“De los hechos comentados resulta que el mayor déficit de saturación y el balance de energía ligeramente superior en el alto valle del río Colorado, que implican una evaporación considerable se compensan con respecto a los valores del valle inferior por la elevada velocidad del viento que se registra en este último. Por esta razón los valores de evaporación en todo el valle del Colorado, observan muy poca diferencia, por lo cual este elemento no constituye una característica importante de diferenciación agroclimática” (Burgos, 1974: 135 – 138).

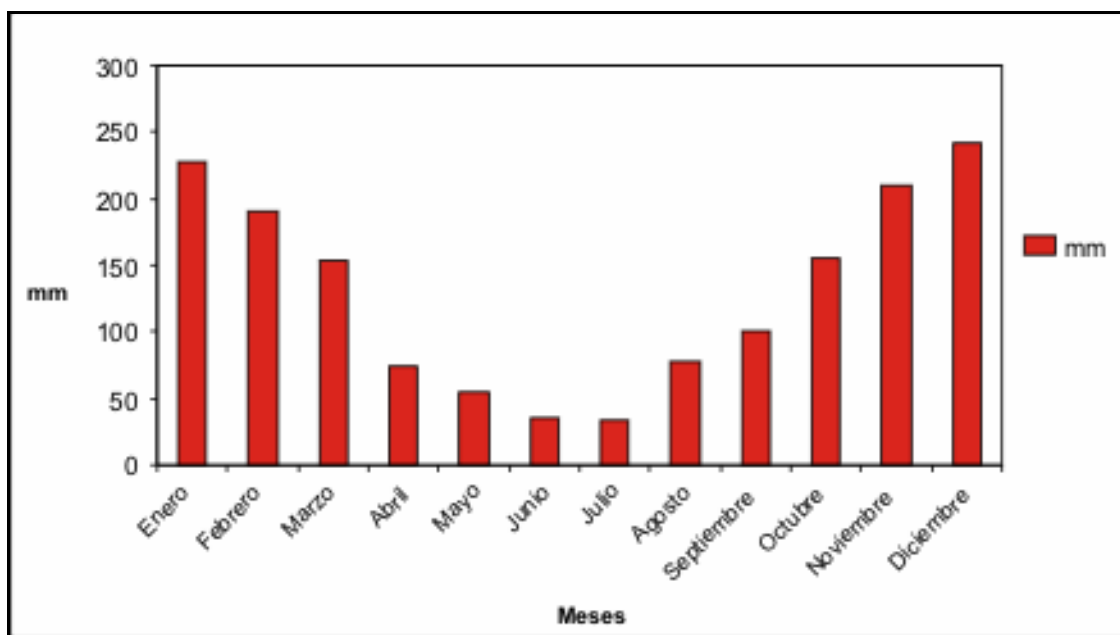


Figura 3.4. Variación anual de la evaporación en 25 de Mayo, Alto Valle del río Colorado. Obsérvese que los gradientes de descenso y ascenso son muy similares. Método de Penman-Mc Culloch. Fuente: Burgos, 1974

Los registros efectuados en 25 de Mayo con tanque tipo “A”, entre 1978 y 1994 arrojan una media de evaporación de 1.573 mm. En el cómputo se excluye, por incompleto, el año 1988, destacándose que las mínimas han sido siempre un poco inferiores a 1.400 mm y las máximas del orden de los 1.600, excepción hecha del año 1990, cuando se alcanzó a casi 2.100 mm (Tabla 3.2).

Efectos de la represa Casa de Piedra en la variación...

	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985
Enero	210.5	206.1	274.5	229.4	258.5	193.3	256.1	216.8
Febrero	135.2	172.5	179.8	214.5	194.8	201.6	230.8	161.9
Marzo	127.7	149.7	167.4	155.7	165.8	164	133.9	138.5
Abril	8601	90.3	57	51.5	81.4	82.4	78.7	102.4
Mayo	54.2	71.6	52.7	49.9	56.3	51	55.5	60.8
Junio	35.7	46.2	36	43.9	42.3	27	30	26.9
Julio	36.9	45.5	49.6	38.7	36.5	39.5	29.8	25.7
Agosto	32.5	97.6	77.5	71.3	103.5	86.9	61.5	57.0
Septiembre	105	147	123	127.9	86.1	114	78	105.8
Octubre	149.7	157.4	167.4	152.5	176.3	162.3	55.3	124.3
Noviembre	189	180	192	207.8	187.2	232.8	53.6	164.5
Diciembre	240.8	226.3	248	254.3	246.4	251.7	246.4	193.7
Total anual	1412.3	1593.1	1624.9	1597.4	1635.1	1460.4	1509.6	1378.6

	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994
Enero	200.3	228.4	248.2	245	337.8	261.8	264.5	250.7	225.4
Febrero	167.3	188	169.2	182.4	214.9	233.9	230.2	200.8	206.3
Marzo	142.6	117.3	134.8	139.4	170.5	Sd	187.1	183.3	180
Abril	64	89.9	83.5	80.2	123	118.7	121.2	107.3	101.6
Mayo	56.7	44.2	54.3	37.4	74.4	61.3	70.4	61.4	61.3
Junio	32	47.6	Sd	38.4	63	23.4	31.2	55.3	50
Julio	36.5	30.1	Sd	46.2	65.1	37	61	41.3	41.4
Agosto	52.3	50.4	67.2	63.8	108.5	84.8	91.3	96.6	46.6
Septiembre	94.7	82.7	102.2	91.4	117	140.5	130.2	115	68.3
Octubre	127.6	130.3	151.1	164.3	220.1	180.6	203.5	118.3	146.2
Noviembre	189.2	167.7	199.8	188.2	282	233.5	221.6	177.3	168.3
Diciembre	212.6	199.7	249.9	206.2	316.2	234.6	226.3	240.1	231.7
Total anual	1375.8	1376.4	1460.2	1483.5	2092.5	1619.9	1838.5	1647.4	1527.1

Tabla 3.2. Variación anual de la evaporación en 25 de Mayo, alto valle del río Colorado.
Fuente: Ente Provincial del río Colorado, 1999.

Vientos. Aunque ya se han consignado algunas consideraciones de Burgos sobre este aspecto cabe agregar que, dada la influencia decisiva que tiene este factor, el mismo

autor considera que toda la zona en estudio está bajo la influencia principal de los anticiclones del Pacífico y el Atlántico Sur notándose, a partir del valle medio, el aumento de frecuencia de los vientos del Norte y Este por la influencia del mar y especialmente en el mes de enero (Burgos, 1974).

Temperaturas. Los valles altos de los ríos Negro y Colorado se encuentran dentro de una zona comprendida por una amplitud anual superior a los 16 °C. En cambio la parte baja de los valles se ubica entre los 13 °C y 14 °C. La temperatura media del mes más frío es del orden de 6 a 7 °C y la del más cálido 23 a 24 °C. Las isotermas de toda esta amplia región se disponen aproximadamente de Noroeste a Sureste y en esa orientación *“se advierte la predominancia del efecto de relieve sobre el de latitud (...)”* (Burgos, 1974: 21 y 33).

Un índice notable, de condición agroclimática es el período libre de heladas. En la zona considerada y calculado por interpolación al momento del trabajo por carecerse de registros suficientes, arrojaba la cifra de 158 días, que está por debajo del límite que se considera compatible con la empresa agrícola. A ello se debe sumar el elevado índice de peligrosidad de heladas primaverales y otoñales, pudiendo ocurrir incluso heladas estivales en la región, aunque con baja probabilidad. Los fríos invernales pueden llegar a ser inferiores a -14 °C, con una recurrencia de 20 años (Burgos, 1974).

Como colofón a estas consideraciones sobre clima es de interés subrayar una afirmación de Burgos que, pese a haber sido efectuada más de tres décadas atrás, sigue pareciendo de fundamental importancia:

“Si se tiene en cuenta que el mejoramiento hidrológico determinará una atenuación marcada en las temperaturas extremas, se puede deducir que después de este proceso, los mesoclimas resultantes, además de un período libre de heladas de suficiente duración, poseerán las mejores condiciones para una agricultura de clima continental que pueda ofrecer el país, el continente americano y aún el Hemisferio Sur” (Burgos, 1974: 27).

Del todo se desprende la posibilidad que los cultivos bajo riego modifiquen sustancialmente las características climáticas del valle en la parte laborada.

3.1.5. Con el desierto alrededor: suelos y vegetación

Los suelos regionales, excluyendo la faja aluvional que acompaña a los ríos Negro y Colorado, son poco desarrollados, clasificados como arenas del desierto, integrados a Litosoles. Un análisis de mayor detalle con respecto al área de interés de este trabajo, en la ribera pampeana, permite apreciar una serie de unidades menores ubicadas a su vez dentro de las cuatro principales regiones fisiográficas: Oriental, Central, Occidental y Meridional, interesando las dos últimas a los efectos de este estudio. La Occidental tiene, en líneas generales, suelos poco evolucionados, sin diferenciación de horizontes en tanto que los de la Meridional aparecen como una asociación de evolucionados con algo evolucionados Molisoles – Entisoles (INTA, 1987).

Dentro de la Región Fisiográfica Occidental y sobre la margen pampeana del río, extendiéndose hasta la ribera occidental del río Curacó, se ubica la llamada “Subregión de las terrazas y paleocauces con rodados de vulcanitas”. Desde el punto de vista de los suelos en la subregión se distinguen cinco unidades:

a) De las terrazas e interfluvios de antiguos cauces del río Colorado; b) De los antiguos cauces del río Colorado; c) De las calizas silicificadas; d) Areas fuertemente inclinadas y con alta pedregosidad; e) De los rodados de vulcanitas (Tehuelche) del río Colorado.

Dentro de la Región Fisiográfica Meridional hay dos subregiones cuyos suelos hacen al presente estudio. La primera es “De las planicies y lomas recubiertas con tosca y afectadas por un diseño de drenaje dendrítico”. Esta subregión reconoce, a su vez, tres unidades:

a) De las lomas con tosca y diseño dendrítico; b) De las vías de drenaje con tosca y c) De las mesetas con relictos. Su distribución queda fuera de los límites de este trabajo.

Finalmente, dentro de la región Meridional, la última de las subregiones a considerar es “De las mesetas y depresiones alargadas cubiertas con arenas y rodados de vulcanitas” (Fig. 3.5), que comprende a su vez tres unidades de suelos:

a) De las mesetas alargadas; b) Sector ondulado próximo a Anzoátegui y La Adela y c) Los bajos (INTA, 1980).

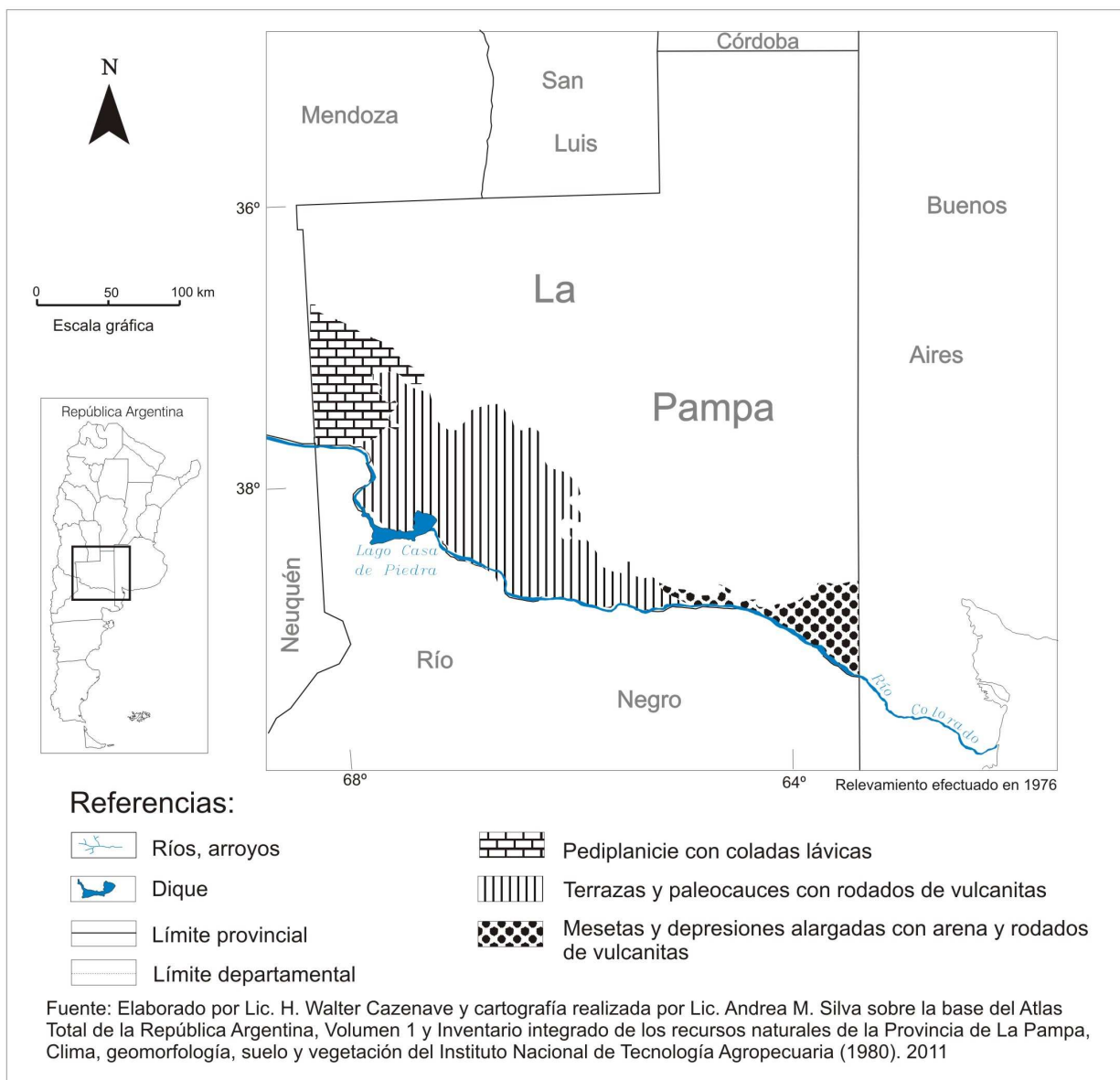


Figura 3.5. Localización de la subregión de las mesetas y depresiones alargadas cubiertas con arenas y rodados sobre la que se sitúa el tramo testigo de este estudio. Modificado de INTA, 1977.

La fitogeografía general de la cuenca se enmarca casi por completo en la Provincia Patagónica, que se prolonga en una cuña hacia el Norte y se distingue por una vegetación

CAPÍTULO 4. CARACTERÍSTICAS HIDROGRÁFICAS DEL RÍO COLORADO

4.1. Aguas turbias y variables

El régimen del río Colorado es casi exclusivamente nival, con máximos en verano y mínimos invernales. Prácticamente todo el derrame anual se debe al derretimiento de las nieves cordilleranas ubicadas entre los paralelos 34° 50 ' y 37° 30 ' Sur, este último punto ya sobre el comienzo del área de transición climática de los Andes áridos. Los nivómetros totalizadores que se ubican en la alta cuenca registran una precipitación promedio de alrededor de 700 mm anuales. Aguas abajo de la confluencia del río Grande y el río Barrancas, el río Colorado discurre en un ambiente francamente desértico, con lluvias que oscilan entre menos de 200 y 300 mm, cantidades que se incrementan hasta alrededor de los 400 mm en el sector del valle inferior, ya en proximidades del océano (Consejo Federal de Inversiones, 1962; GÆA, 1975).

Sin embargo, con cierta frecuencia se registran violentos máximos de crecida en los meses invernales, junio y julio especialmente, debidos a la trascendencia a este lado de los Andes de lluvias del régimen invernal trascordillerano. Aunque breves en el tiempo esas crecidas suelen ser muy considerables, creando picos de caudales líquidos y sólidos y generando fenómenos de remoción en masa en el área de la cuenca de alimentación (Arenas y Turazzini, 1990). Fuera del área cordillerana los volúmenes suelen verse incrementados esporádicamente por las precipitaciones de primavera y verano que genera el anticiclón del Atlántico Sur cuando sus vientos penetran en el continente y se desplazan hacia la parte meridional. Esas crecidas pueden alcanzar valores muy altos, pero deben considerarse como excepcionales, tanto por su escasa duración como por su imprevisibilidad y frecuencia (Burgos, 1974; Cazenave, 1996).

4.2. Estaciones de aforo sobre el río Colorado

El caudal del río Colorado es consecuencia directa de su régimen nival, con algunas significativas alteraciones por pluviosidades irregulares como las ya citadas. Cabe destacar que entre Buta Ranquil y Pichi Mahuida el río Colorado sufre una pérdida de caudal del orden de los $16 \text{ m}^3/\text{s}$, que se refleja en la media histórica de la segunda de esas estaciones; el fenómeno no ha sido debidamente explicado. A los efectos de esta tesis se consideran, además, los registros de Paso Alsina. Las tres estaciones responden a ubicaciones respectivas sobre las cuencas de alimentación, media e inferior, respectivamente, si bien Pichi Mahuida perdió importancia desde la habilitación de Casa de Piedra (Fig. 4.1; Tabla 4.1). En lo relativo a caudal sólido en Buta Ranquil y en Pichi Mahuida la medición ha tenido interrupciones. Después de 1997 se suspendió ese aforo en todas las estaciones.

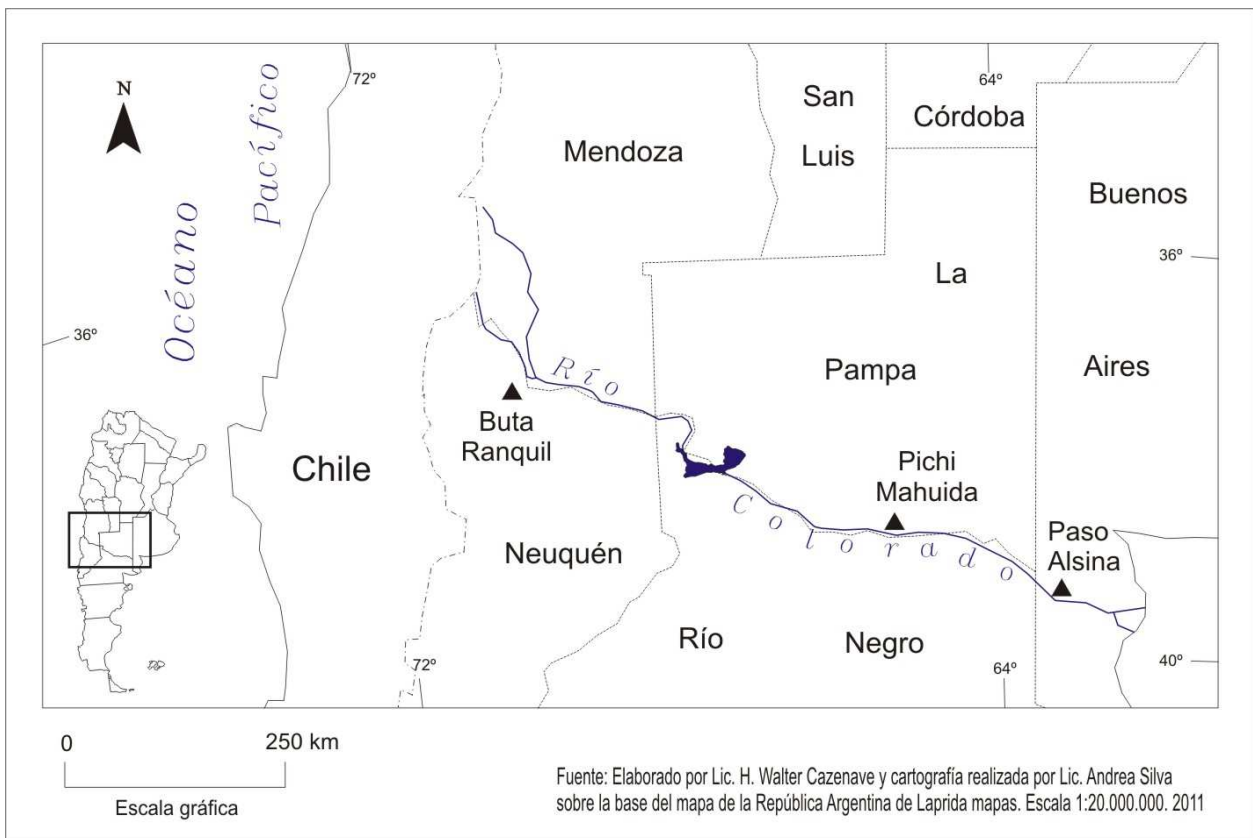


Figura 4.1. Estaciones de aforo sobre el río Colorado

<i>Estación</i>	<i>Latitud y longitud</i>	<i>Record desde</i>	<i>Rubro</i>
<i>Buta Ranquil</i>	<i>37°04' 34"/69°44' 48"</i>	<i>1939</i>	<i>Q y Qs</i>
<i>Pichi Mahuida</i>	<i>38°49' 18"/64°58' 53"</i>	<i>1918</i>	<i>Q y Qs</i>
<i>Paso Alsina</i>	<i>39°41' 66"/63°11' 56"</i>	<i>1982</i>	<i>Q y Qs</i>

Tabla 4.1. Estaciones de aforo sobre el río Colorado e inicio del registro.
Fuente: COIRCO, 1999.

Los hidrogramas que se consignan en los siguientes apartados corresponden a registros realizados en épocas en que el dique Casa de Piedra no tenía influencia alguna sobre ellas, por lo que se puede deducir un comportamiento inalterado en los escurrimientos. El desfasaje témporo – espacial del hidrograma que se advierte en Paso Alsina con respecto a las otras dos estaciones de la cuenca puede deberse por un lado, a la brevedad del registro, si se lo compara con los otros dos, por lo que el gráfico expresa la tendencia de los últimos años. Por otra parte debe recordarse que, como ya se señalara anteriormente, la sección de la estación de aforos no es absolutamente confiable y podría haber generado registros significativamente distintos. Los hidrogramas se presentan en forma conjunta – media y máxima y mínima medias – a los efectos de una mejor apreciación del comportamiento en las tres fases y su relación temporal.

4.2.1. Buta Ranquil

De las estaciones de aforos sobre el río Colorado, a contar desde aguas arriba, la primera es Buta Ranquil, ubicada a la salida de la cuenca de alimentación, aledaña a la localidad homónima en la provincia del Neuquén y ubicada sobre una sección rocosa de mucha fiabilidad. La estación se instaló en 1939 y ha tenido algunos años de ausencia de registro. Suministra los aportes de la parte montañosa del río, responsable de prácticamente todo el escurrimiento.

La superficie de la cuenca de alimentación hasta Buta Ranquil es de 15.300 km². Hay aportes permanentes exteriores a esa área pero son muy poco importantes. Las tablas 4.2 y 4.3 indican los datos de la serie en la estación y los valores promedio registrados en ella.

N° de datos	59
Media m³/s	145,6
Desvío	1615,02
Coefficiente de variación	35,15
Mínimo hm³	1658
Máximo hm³	9151
Rango	7493
Vol. Medio de escurrimiento hm³	4594
Caudal específico l/s/km²	9,51
Lámina de escurrimiento mm	300,3
Caudal relativo	0,99

Tabla 4.2. Estación de aforo Buta Ranquil. Datos de la serie (1939/2000)
Fuente: EVARSA, 2000

Derrame anual	Q específico	Ecurr. s/ la cuenca	Máximo medio diario	Mínimo medio diario	Medio anual
hm³	l/s/km²	mm	m³/s	m³/s	m³/s
Medio 4658	9,51	300,3	451	59,4	145,6
Máx. 9151 (1982/83)	19	598,1	1053	112	290
Mín. 1658 (1968/69)	3,44	108,3	96	30	52,6

Tabla 4.3. Valores promedio en Buta Ranquil (1939/2000).
(Fuente: Agua y Energía, 1994; EVARSA 2000)

4.2.1.1. Hidrograma de año medio, máximo y mínimo

Los caudales medios mensuales se presentan para la estación Buta Ranquil en la figura 4.2. En la estación, obviamente no afectada por el dique, se observa que las mínimas máximas se dan en el mes de noviembre y en diciembre, como ocurre con las máximas y medias. En estas dos últimas resulta notable el ascenso directo que presentan las máximas desde octubre hasta su pico, que es absoluto, en tanto que las medias tienen un quiebre amesetado en noviembre. Las mínimas en agosto son comunes para las máximas y las medias pero el *mínimo minimorum*, considerado a través del ciclo histórico, aparece en abril.

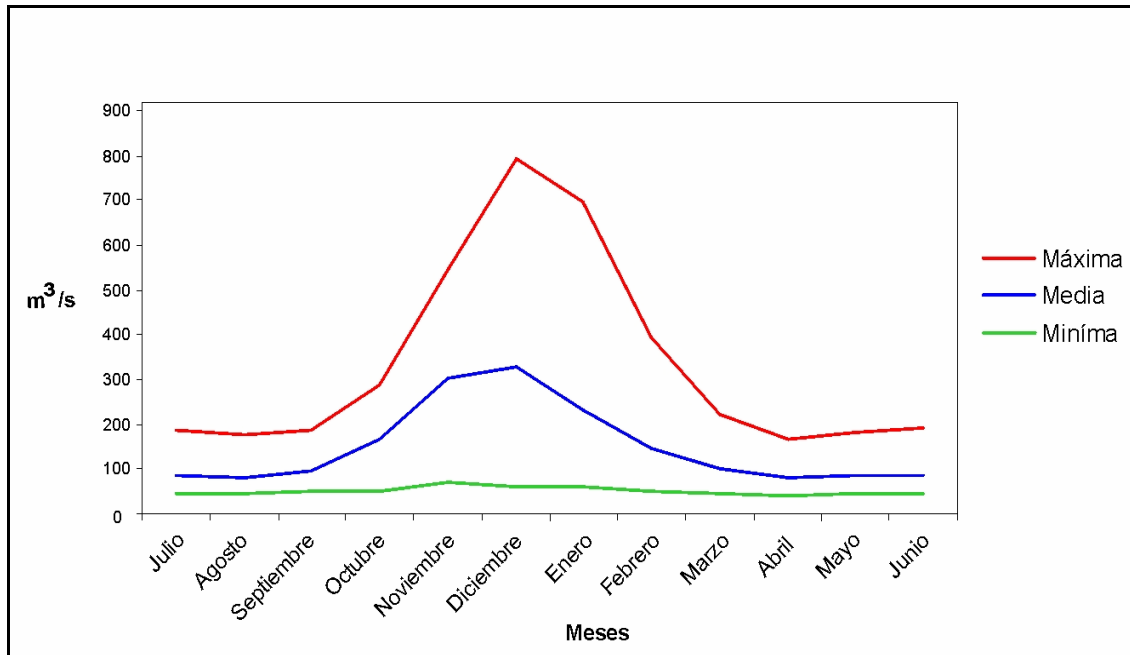


Figura 4.2. Buta Ranquil. Caudales medios mensuales, 1930/2000.
Fuente: EVARSA 2000

4.2.1.2. Duración de caudales

Los caudales medios mensuales pueden ser organizados como una distribución de frecuencias. Utilizando las frecuencias en forma acumulada se obtiene la curva de permanencia o duración de caudales, indicativa del porcentaje de tiempo que un determinado valor de caudal es superado durante el tiempo observado. El uso de la curva de permanencia de caudales permite definir los caudales característicos del río considerado y con relación a la cuenca aportante hasta la estación de aforos de referencia. Esa relación se expresa en los caudales característicos máximo, medio, o de seis meses; de uno, tres o nueve meses y característico de sequía (Vich, 1999).

Buta Ranquil tiene una abrupta curva de acumulación con caudales característicos máximos del orden de 388 m³/s, caudales medios característicos de 100,2 m³/s y caudales característicos de sequía de 39 m³/s; ellos se corresponden en 25,36; 6,55 y 2,55 l/s/km² de caudal específico, respectivamente. En lo que hace a la aplicación porcentual de la distribución de caudales se advierte que en aproximadamente el 50 % del año escurren los

caudales superiores a $100 \text{ m}^3/\text{s}$, en tanto que el resto del tiempo quedan por debajo de esa cantidad (Fig. 4.3).

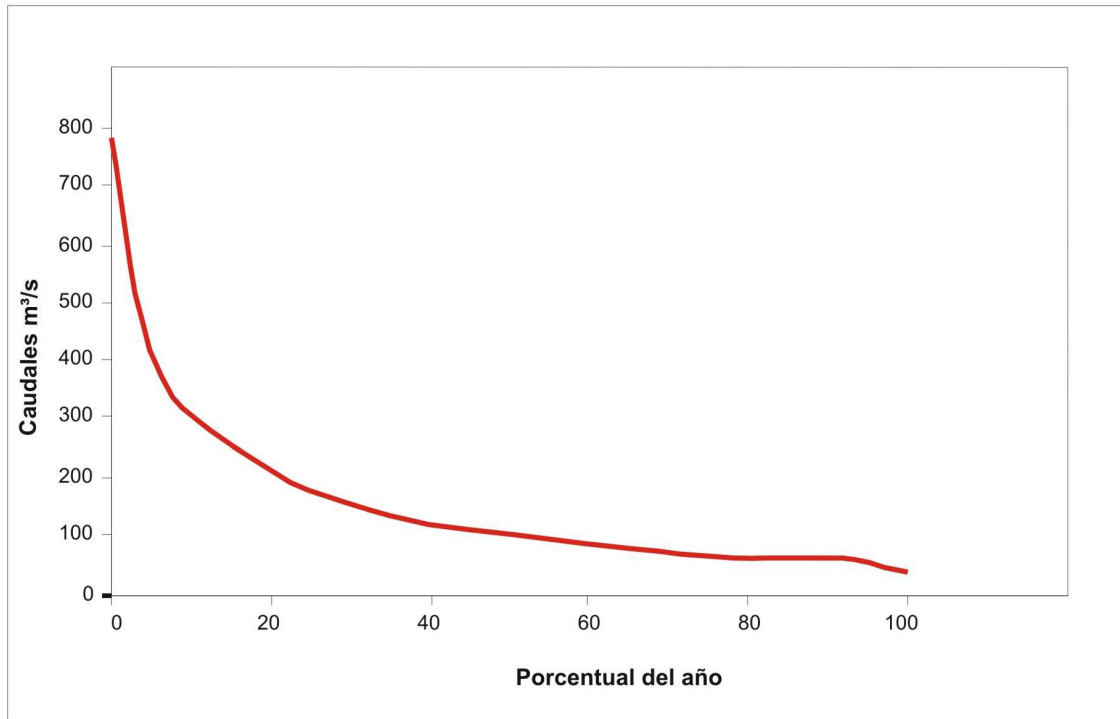


Figura 4.3. Buta Ranquil. Curva de duración de caudales aplicando porcentaje.
Fuente: elaboración propia sobre datos de EVARSA, 2000

4.2.2. Pichi Mahuida

La estación de aforo de Pichi Mahuida es una de las más antiguas del país en lo que hace a registros, ya que los inicia en 1918. Ella constituyó la primera referencia fidedigna respecto de un río del que, aguas arriba de su valle inferior, se sabía muy poco en aquella época. Pichi Mahuida se ubica hacia la mitad del valle medio del río y está emplazada sobre uno de los umbrales rocosos que atraviesa el Colorado, por lo que tiene una buena sección de aforos. Desde el funcionamiento pleno del dique Casa de Piedra, en 1994, perdió importancia por la regularidad y manejo de los caudales erogados por la presa, reduciendo la frecuencia de sus registros.

Efectos de la represa Casa de Piedra en la variación...

La lectura en la estación de Pichi Mahuida suministra una curva de características similares a la de Buta Ranquil, pero con valores sensiblemente más reducidos. Esto se debe al menor derrame anual registrado en la estación, por la pérdida de 16 m³/s en el trayecto desde Buta Ranquil. Se debe señalar la mayor superficie que tiene la cuenca en este lugar sin que se registren aportes permanentes y de significación. En Pichi Mahuida el área considerada es de 22.300 km². Las tablas 4.4 y 4.5 indican los datos de la estación y los valores promedio registrados en ella.

<i>N° de datos</i>	81
<i>Media m³/s</i>	130,1
<i>Desvío</i>	1478,9
<i>Coef. De variación</i>	36,02
<i>Mínimo hm³</i>	1259
<i>Máximo hm³</i>	7943
<i>Rango</i>	6684
<i>Vol. Medio de escurrimiento hm³</i>	4106
<i>Caudal específico l/s/km²</i>	5,83
<i>Lámina de escurrimiento mm</i>	184,1
<i>Caudal relativo</i>	1

Tabla 4.4. Pichi Mahuida. Datos de la serie 1918/2000.
Fuente: EVARSA, 2000

<i>Derrame anual</i>	<i>Q específico</i>	<i>Esc. s/ la cuenca</i>	<i>Máximo Medio diario</i>	<i>Mínimo Medio diario</i>	<i>Medio anual</i>
<i>hm³</i>	<i>l/s/km²</i>	<i>mm</i>	<i>m³/s</i>	<i>m³/s</i>	<i>m³/s</i>
	5,83	184,1	384	49,7	130,1
<i>Vol. medio 4106</i>	11,3	356,2	818	97	251,9
<i>Máx.7943 (1941/42)</i>	1,79	56,5	97	14,6	39,9

Tabla 4.5. Pichi Mahuida. Valores promedio (1918/2000).
Fuente: Agua y Energía, 1994; EVARSA 2000)

4.2.2.1. Hidrograma de año medio, máximo y mínimo

Al igual que en Buta Ranquil los datos se presentan en forma conjunta de media y máxima y mínima medias, a los efectos de una mejor apreciación del comportamiento en las tres fases y su relación temporal. En Pichi Mahuida se observa que, hasta el funcionamiento del dique, las mínimas máximas se dan en los meses de noviembre y en diciembre, pero las

máximas medias y la media máxima anual ocurren en el último de esos meses. En la media resulta notable el ascenso directo que presentan los caudales desde septiembre y un descenso casi absolutamente simétrico hasta abril. Las mínimas medias aparecen en julio.

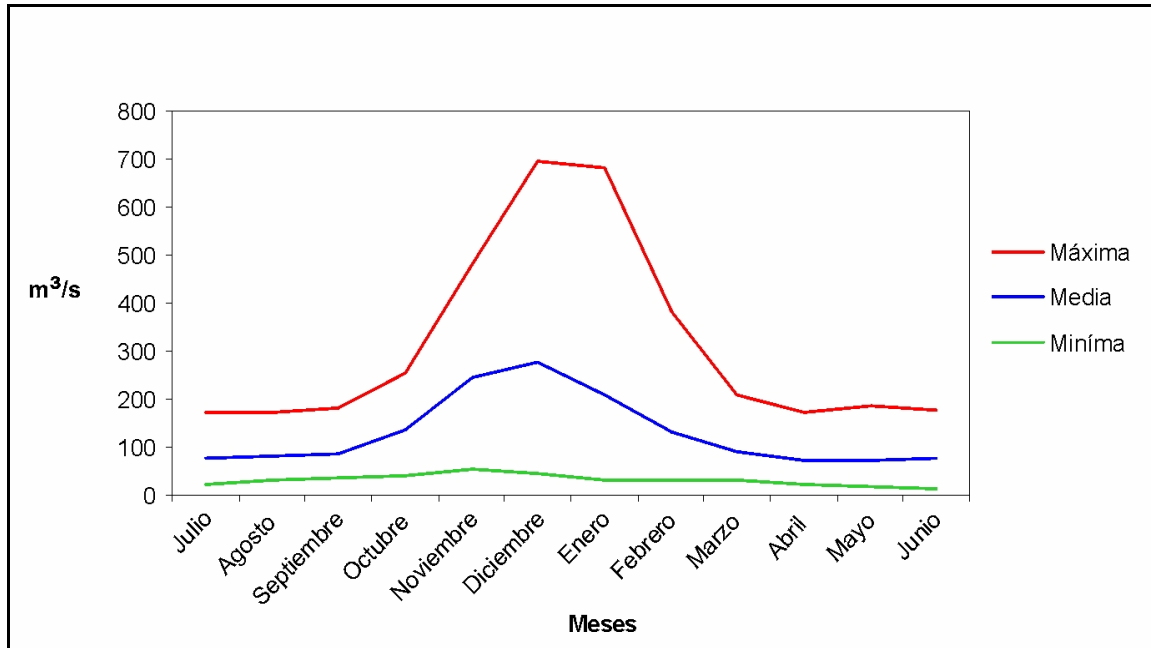


Figura 4.4. Pichi Mahuida. Caudales medios mensuales 1918/2000.
Fuente: EVARSA, 2000

En Pichi Mahuida hay también una coincidencia temporal de los mayores valores para las máximas y las medias en diciembre y las mínimas máximas en noviembre. Sin embargo en esta estación la curva de las máximas forma después del mayor valor una meseta que dura prácticamente un mes, circunstancia que no se da en las medias ni en las mínimas, que descienden rápidamente tras los correspondientes valores máximos. En el aspecto cuantitativo los tres estados son proporcionalmente menores a sus similares de Buta Ranquil, como consecuencia de la pérdida que se ha señalado anteriormente. La mínima de las medias y máximas se da en agosto y septiembre, respectivamente y la de las mínimas en junio (Fig. 4.4).

Cabe consignar aquí algunos rasgos significativos que se desprenden del análisis de los registros de Pichi Mahuida suministrados por Agua y Energía en el período 1918/1972/2000. En principio se advierte una notable amplitud temporal en cuanto a la época de registro de las mínimas absolutas anuales, tanto que las mismas se dieron durante

este período de años desde febrero hasta octubre, incluso con un excepcional registro de 32 m³/s el 3 y 6 de enero de 1925. La mínima absoluta del período, 24 m³/s se dio por triplicado durante el 27 de febrero y el 12 y 13 de abril de 1969.

Las mínimas máximas, en cambio, que se distribuyeron entre octubre, noviembre y enero, registran el mayor valor puntual el día 6 de julio de 1920, con 780 m³/s. Esta gran anomalía tiene que haberse debido probablemente a alguna excepcional tormenta del sistema del Pacífico que tramontó la cordillera en la alta cuenca del río Colorado (Agua y Energía, 1972). Con relación a los registros cabe señalar que a partir de 1972 se ha establecido fehacientemente que comienza a cambiar la cantidad anual de lluvia precipitada en la llanura pampeana y zonas aledañas, con un incremento de 240 mm en la media en los últimos treinta años, un ciclo rico en precipitaciones que se mantuvo hasta 2002 (Dirección de Aguas, 2000).

4.2.2.2. Duración de caudales

La curva de permanencia o duración de caudales, indicativa del porcentaje de tiempo que un determinado valor de caudal es superado durante el lapso observado, al igual que en Buta Ranquil se expresa aplicando porcentaje anual. La curva porcentual en Pichi Mahuida indica que los mayores caudales escurren en la cuarta parte del año, 25 por ciento, en tanto el resto del tiempo están por debajo. El trazo, al igual que en Buta Ranquil, tiene una curva de acumulación abrupta. Los caudales característicos máximos son del orden de 350,8 m³/s, caudales medios característicos de 93 m³/s y caudales característicos de sequía de 15 m³/s; ellos se corresponden en 15,73 l/s/km², 4,17 l/s/km² y 0,67 l/s/km² de caudal específico, respectivamente (Fig. 4.5).

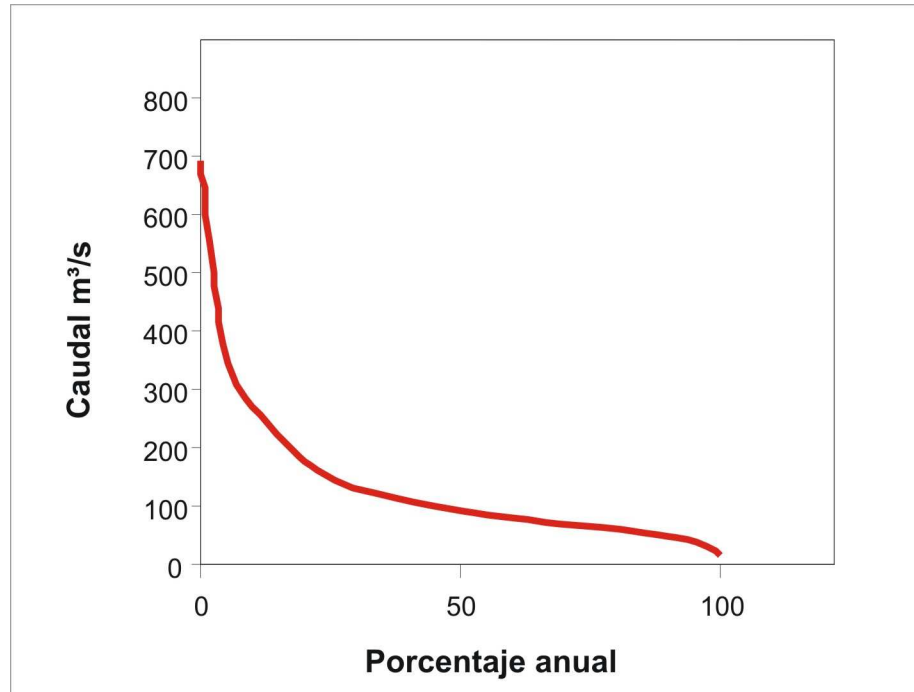


Figura 4.5. Pichi Mahuida. Curva de duración de caudales aplicando porcentaje.
Fuente: EVARSA, 2000

4.2.3. Paso Alsina

Paso Alsina es la estación más reciente de la cuenca y por lo tanto con la menor serie de registros. Fue instalada en 1982 por la corporación de regantes del valle inferior del río Colorado, en parte para verificar los volúmenes que les corresponden de acuerdo con el tratado de 1976 que regula la distribución de las aguas. Se encuentra ubicada a unos 20 km al Este del límite pampeano - bonaerense y sus registros son fehacientes hasta alrededor de los 600 m³/s; pasada esa cifra se desborda la sección.

Cabe hacer notar que ya en este tramo el río discurre sobreelevado con respecto al entorno, por lo que el cauce tiene defensas laterales que superan los 150 km de longitud. Las tablas 4.6 y 4.7 indican los datos de la estación y los valores promedio registrados en ella.

Número de datos	16
Media m³/s	125
Desvío	1559,55
Coefficiente de Variación	46,01
Mínimo hm³	1451
Máximo hm³	7323
Rango	5872
Volumen medio de escurrimiento hm³	3720
Caudal específico l/s/km²	(*) 4,31
Lámina de escurrimiento mm	(*) 128
Caudal relativo	1,06

(*) Valores tentativos p/falta de datos precisos sobre cuenca

Tabla 4.6. Datos estadísticos de Paso Alsina. 1982/1999.
Fuente: EVARSA, 2000

Derrame anual hm³	Caudal específico l/s/km²	Escurrecimiento sobre cuenca mm	Máximo Medio diario m³/s	Mínimo Medio diario m³/s	Media anual m³/s
Medio 3942	* 4,31	* 27,7	S/d	S/d	125
Máximo 6853**	S/d	S/d	S/d	S/d	S/d
Mínimo 1317***	S/d	S/d	S/d	S/d	S/d

* Valores tentativos por insuficiencia de datos sobre cuenca

** (1982/83)

*** (1990/91)

Tabla 4.7. Estación de aforo de Paso Alsina. Valores promedio 1982/1999.
Fuente: CORFO Río Colorado, 2001

4.2.3.1. Hidrograma de año medio, máximo y mínimo

El hidrograma de Paso Alsina se diferencia de sus similares de aguas arriba en la conjunción temporal de crestas y simas (Fig. 4.6). Es posible que ello se deba a los usos consuntivos que hay en el valle medio, aguas arriba de la estación, especialmente en la colonia Juliá y Echarren, más algunos pequeños aprovechamientos independientes. Las curvas de Paso Alsina tienen un achatamiento manifiesto, en el que las máximas no llegan a 300 m³/s. En la circunstancia influye el número de años de registro de la estación, breve si se lo compara con las otras de la cuenca.

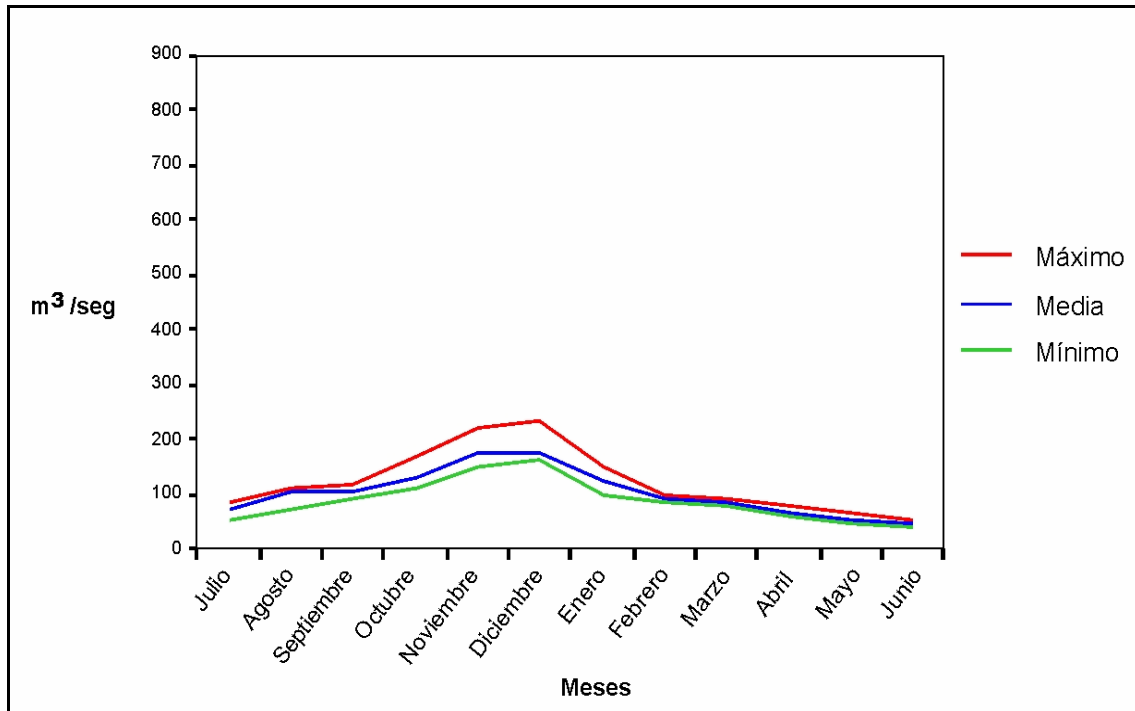


Figura 4.6. Paso Alsina. Caudales medios mensuales, 1982/2000.
Fuente: CORFO Río Colorado, 2001

Debido a la sección de afloros los registros, tanto de caudal como de gasto sólido, pueden tener alguna distorsión si se los refiere a Pichi Mahuida, condición por la que el registro de máxima es meramente referencial. A los efectos de este trabajo se estima que esos datos de Paso Alsina resultan interesantes en el aspecto comparativo del comportamiento fluvial en la cuenca inferior a partir del cierre del dique.

El hidrograma conjunto de Paso Alsina presenta la particularidad de una coincidencia temporal absoluta de los picos; en los tres estados de aguas se da en diciembre, en tanto que la mínima de las medias se da en junio, la de las máximas en mayo y la de las mínimas en junio.

4.3. Análisis comparativo entre las estaciones de aforo

Resulta evidente que, al considerar un curso fluvial de prácticamente 1.000 km de longitud, debe haber diferencias notorias entre las estaciones que registran su curso en la

parte alta, media y baja: Buta Ranquil, Pichi Mahuida y Paso Alsina, respectivamente. Las diferencias entre las dos primeras se hacen notorias por la pérdida de caudal que se constatan entre ambos lugares, así como por la periódica anomalía que constituyen los aportes del sistema Desaguadero – Salado – Chadileuvú – Curacó.

También se debe considerar que las marcadas diferencias de Buta Ranquil y Pichi Mahuida con Paso Alsina respecto a los caudales medios, significativamente reducidos en la última estación, pueden atribuirse principalmente a un registro considerablemente menor en años. En lo que hace a caudal sólido y duración de caudales, se advierten comportamientos similares, aunque no iguales en las tres estaciones.

4.3.1. La pérdida Buta Ranquil – Pichi Mahuida

La conclusión más significativa que surge de un primer análisis es que en los más de 400 km que separan Buta Ranquil de Pichi Mahuida debe producirse algún tipo de anomalía hidráulica/hidrológica/geológica de significación, que redundaría en una notable disminución de los caudales aguas abajo, fijado en alrededor de 16 m³/s. El valor de esta anomalía crece si se considera el máximo rango de registros hasta el año 2000, donde Buta Ranquil registra 148,3 m³/s contra 130,1 m³/s de Pichi Mahuida.

Esa considerable diferencia se hace todavía más evidente al comparar los derrames anuales. Expresada en forma porcentual, no es proporcional en los derrames anuales máximos. En el año hidrológico 82/83 alcanza al 18 %, lo que equivale a 52 m³/s, casi el 40 % del módulo en Pichi Mahuida y más de tres veces la diferencia media entre ambas estaciones. El módulo se entiende aquí como *“la media de los caudales medios en un cierto intervalo de tiempo y para un período dado”* (Paso Viola, 1986; Heras *et al.*, 1976). No hay hasta el momento una explicación acabada de la razón de estas diferencias tan notorias, aunque la pérdida por porosidad de los basaltos que atraviesa el río en parte de su alto valle resulta una hipótesis atendible.

El análisis de los registros permite advertir la notable correspondencia entre los derrames de una y otra estación, aunque siempre proporcionalmente menores en Pichi Mahuida. Si, a los efectos de manejar un valor indicativo, se establece un índice arbitrario

pero elocuente, en la razón Buta Ranquil / Pichi Mahuida, se verá que el mismo arroja en casi todos los casos registrados valores cercanos a una media de 1,14 con máxima de 1,34 y mínima de 0,93 y una desviación típica de 0,10. Estos valores corroboran la ya citada diferencia de $16 \text{ m}^3/\text{s}$ existente entre ambas estaciones de aforos, que puede verse alterada por alguna ocasional lluvia de gran intensidad en Pichi Mahuida o los esporádicos derrames de la cuenca Desaguadero – Salado – Chadileuvú a través del río Curacó, que confluye con el río Colorado unos centenares de metros antes de la estación de Pichi Mahuida.

4.3.2. Las grandes avenidas y presencia de estiajes

De acuerdo con los “máximos medios diarios” indicados en los anuarios hidrológicos Buta Ranquil registra un caudal máximo medio diario de $1.053 \text{ m}^3/\text{s}$ en el año hidrológico 1982/83 (Secretaría de Recursos Hídricos – EVARSA, 1994; 2000). Ese *máximo maximorum* es inferior en Pichi Mahuida, donde el registro similar alcanzó a $818 \text{ m}^3/\text{s}$ en 1953/54. En Paso Alsina esos valores carecen de validez por problemas en la sección de aforo, que hacen imposible medir los registros excepcionales por producirse desbordes en la misma por encima de los $600 \text{ m}^3/\text{s}$.

En la tabla 4.8 se establecen relaciones comparativas entre ambas estaciones de aforos y las diferencias porcentuales correspondientes. Se consignan dos años hidrológicos distintos de máxima por no haber coincidencia entre Buta Ranquil y Pichi Mahuida por las razones ya expuestas. Se advierte que en los años de derrame máximo de Buta Ranquil el porcentual de pérdida con la estación de aguas abajo antes señalado no ha sido constante, duplicándose prácticamente en 1982/83. Con las precauciones ya indicadas y a título comparativo, se consignan también los valores obtenidos para Paso Alsina, de creación más reciente. La última columna consigna un coeficiente que surge de relacionar los derrames Buta Ranquil / Pichi Mahuida.

Año hidrológico	Estación	Derrame hm³	hm³	Diferencia %	Equivalente m³/s	Coefficiente BR/PM
1941/42	Buta Ranquil	8775	832	9,5	26	
	Pichi Mahuida	*7943				1.10
	**					
1982/83	Buta Ranquil	*9151	1656	18	52	1,22
	Pichi Mahuida	7495				
	Paso Alsina	*6853				

* Derrames máximos ** Paso Alsina no aforaba en esa fecha

Tabla 4.8. Derrames máximos anuales en todas las estaciones en un mismo año.

Fuente: Agua y Energía, 1994; SSRRHH, 2004

De acuerdo con los valores promedios, no ocurre lo mismo cuando se analizan los derrames mínimos ya que ellos son coincidentes en el año y la diferencia que arrojan, reducida a m³/s, se aproxima bastante a la similar que hay entre los módulos de ambas estaciones a lo largo de toda la serie de registros.

Las “mínimas medias diarias” para Buta Ranquil han sido del orden de 30 m³/s durante el año hidrológico 1955/56, mientras que ese valor en Pichi Mahuida apenas si alcanzó a la mitad con 14,7 m³/s en 1989/90 (Secretaría de Recursos Hídricos – EVARSA, 1994; 2000). El río Colorado tiene diferencias del 500 % entre máxima y mínima en Buta Ranquil y del 550 % en Pichi Mahuida. Con respecto al módulo de ambas estaciones –148 y 132 m³/s– los extremos consignados –máximos y mínimos– significan más del 700 % y del 600 % de aumento en las máximas y disminuciones del orden del 80 % y 89 % en las mínimas, respectivamente.

Al considerar la media de las mínimas del derrame anual, las anomalías de los derrames máximos de tiempo y volumen se reducen. El año hidrológico de mínima de ambas estaciones es coincidente y la diferencia en los hm³ registrados expresada en m³/s equivale casi a la diferencia histórica entre los módulos de ambas estaciones.

La serie histórica hasta 2000 indica que, tanto en Buta Ranquil a la salida de la masa cordillerana, como en Pichi Mahuida sobre el valle medio del río, el mes de medias mínimas más frecuente no es julio, cuando estadísticamente se considera la cuenca como vacía, sino agosto, aunque las diferencias son escasas. A partir de esas fechas el caudal crece en forma suave durante septiembre para dar un salto evidente en octubre, repetirlo en noviembre y alcanzar el pico máximo en diciembre (Agua y Energía, 1990).

La imprevisibilidad de las crecidas excepcionales durante las aguas mínimas se ve reflejada en que, en 61 años de registros existentes en la estación de aforos de Buta Ranquil, desde su origen hasta 2000, en 27 oportunidades –el 44 % del total– los escurrimientos de julio, mes en que se estima a la cuenca en su mínimo estado de carga hídrica, resultaron superiores a los del mes anterior. Mucho mayor es la uniformidad en lo que hace a los picos de máxima ya que con excepción de los años hidrológicos 1941/42; 1954/55 y 1965/66, que los tuvieron en enero, los restantes siempre se registraron en diciembre. Esto equivale a un 5 % de desfasajes mensuales en el pico de crecida. En la estación Pichi Mahuida, en el tramo inferior del valle medio del río, las mínimas de julio superiores a junio son 43 sobre un total de 82 años, equivalente a un 52 %, algo mayor que el valor obtenido en Buta Ranquil para la misma consideración. Una comparación más afinada, sin embargo, indica la existencia de factores ajenos a la mera estacionalidad ya que, si se consideran los mismos años en ambas estaciones, solamente coincide aquel valor en nueve oportunidades. También debe tenerse en cuenta al considerar este último porcentaje que la condición de mayores caudales en julio en Pichi Mahuida se dio ininterrumpidamente a partir del año hidrológico 1989/90, cuando ya se sentía la influencia del embalse Casa de Piedra sobre el escurrimiento de aguas abajo.

En la tabla 4.9 se señala la diferencia entre los derrames mínimos de Buta Ranquil y Pichi Mahuida en años coincidentes, así como la diferencia neta y porcentual y el equivalente de la misma en m^3/s . El registro de Paso Alsina es independiente por su posterior creación. En la tabla 4.10 se da una visión conjunta de media, máxima y mínima en las tres estaciones de aforo sin considerar años coincidentes.

<i>Año hidrológico</i>	<i>Estación</i>	<i>Derrame hm^3</i>	<i>Diferencia</i>	<i>Diferencia %</i>	<i>Equivalente m^3/s</i>	<i>Coefic. BR/PM</i>
	<i>B. R.</i>	<i>*1658</i>				
<i>1968/69</i>			<i>399</i>	<i>24</i>	<i>12,6</i>	<i>1,32</i>
	<i>PM</i>	<i>*1259</i>				
<i>1990/91</i>	<i>PA</i>	<i>*1317</i>				

* *Derrames mínimos*

Tabla 4.9. Derrames mínimos anuales en todas las estaciones en un mismo año.
Fuente: Agua y Energía, 1994.

	<i>Media hm³</i>	<i>Máxima hm³</i>	<i>Mínima hm³</i>
<i>Buta Ranquil</i>	4658	9151	1658
<i>Pichi Mahuida</i>	4158	7943	1259
<i>Paso Alsina</i>	3720	6853	1317

Tabla 4.10. Derrame anual medio, máximo y mínimo en todas las estaciones.
Fuente: Elaboración propia sobre la base de COIRCO, 1999.

4.3.3. Derrames por encima de la media

En la figura 4.7 se evidencia que en todos los años de registro los derrames por encima de la media anual son mayores en Buta Ranquil aunque no siempre la diferencia entre ésta y Pichi Mahuida tiene la misma proporcionalidad. El elemento que suele alterar la serie está constituido por los aportes de la cuenca Desaguadero – Salado – Chadileuvú – Curacó los que, aunque muy esporádicos, tienen a veces volúmenes considerables que alteran el colector en múltiples aspectos, según se ve más adelante en este trabajo. En tal sentido es paradigmático el año 1984-85, cuando los grandes volúmenes aportados por aquella cuenca hicieron que, por esa única vez, fuera mayor el derrame anual de Pichi Mahuida.

El resultado de los máximos de crecida en diciembre y enero es distinto. En los 82 años de registro de Pichi Mahuida los valores medios mensuales de enero solamente superaron a los de diciembre en siete oportunidades y si se consideran únicamente los mismos años con Buta Ranquil, en tres, dos de las cuales son coincidentes. Esto representa un 6,5 % de variación teniendo en cuenta los 82 años de registro en Pichi Mahuida y 5,5 % comparando solamente con los 61 años de Buta Ranquil. Las coincidencias entre ambas estaciones de la anomalía mensual en el mismo lapso son de dos sobre cada tres veces, o sea el 66,7 % (Subsecretaría de RR.HH., 2001).

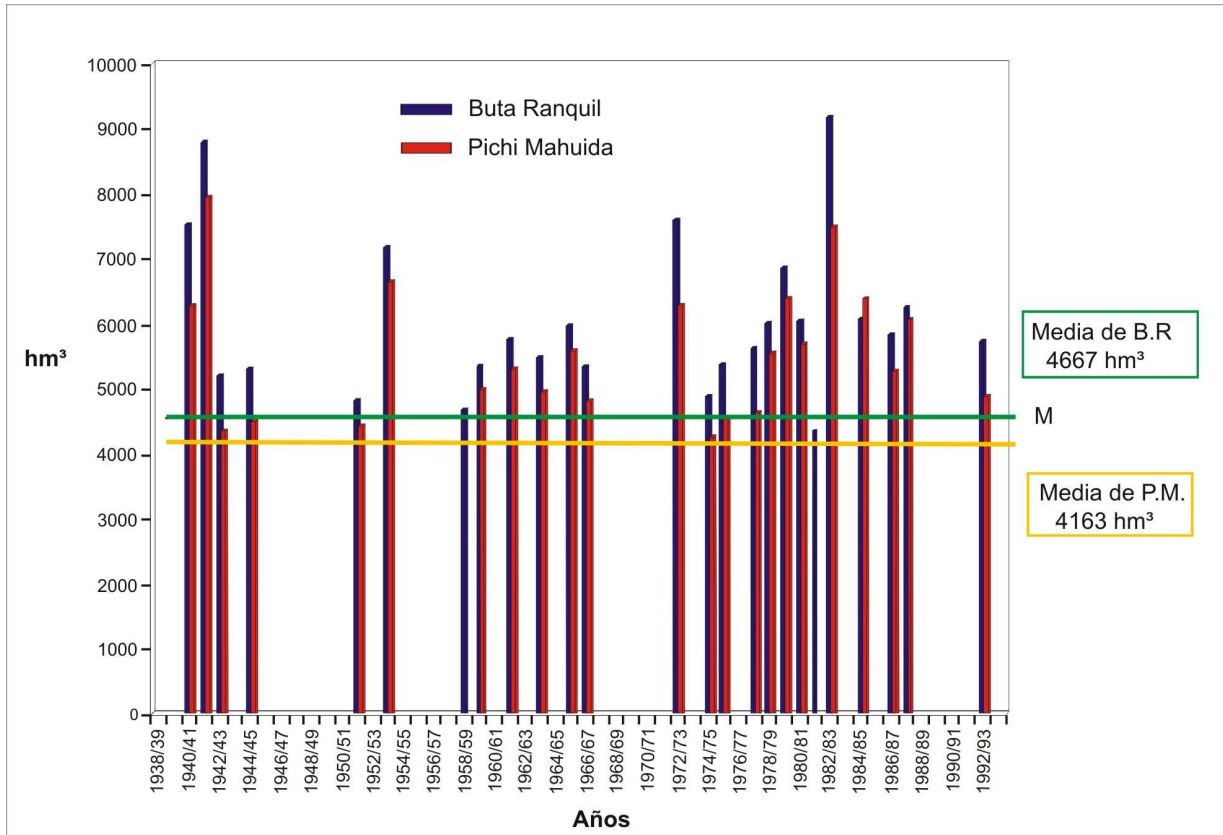


Figura 4.7. Buta Ranquil y Pichi Mahuida. Derrames por encima de la media 1939/2000.
Fuente: Elaboración propia sobre la base de EVARSA, 2000.

Cabe señalar que las grandes crecientes del río tienen una cierta regularidad, con períodos intermedios de aproximadamente once años, que sugieren una coincidencia en general con los ciclos de manchas solares. Estos picos, a su vez, parecen inscribirse en ciclos húmedos que los anteceden, ya que se advierte en los registros de Buta Ranquil que su aparición es súbita solamente una vez – 1973 – produciéndose el resto en medio de valores anuales en aumento y luego en decrecimiento, que parecen acompañar la crecida. Inversamente se estima que las magras se producen con períodos que oscilan en los 22 años (Provincia de La Pampa, 1998).

Hasta el momento en que Casa de Piedra comenzó a cumplir una función retentiva sobre las crecientes las mismas tenían efectos altamente negativos sobre los valles alto, medio y – muy especialmente – inferior, cuando se ubicaban muy por encima del promedio, debido a que las condiciones topográficas del cauce y del amplio valle son más factibles para

el desborde. Se trata de las zonas más importantes en la cuenca desde el punto de vista de la agricultura y el poblamiento. Asimismo la circunstancia de que todo el riego se efectuara a través de "tomas libres" hacía las obras mucho más vulnerables. De hecho, antes del levantamiento del dique, hubo crecientes que, como las de 1972/73 y 1982/83, causaron enormes daños a la actividad económica de la zona.

4.3.4. Las aguas poderosas. Crecientes

Al ser el Colorado un río de alimentación eminentemente nival sus crecientes se manifiestan a partir del mes de septiembre, tiempo en que comienza a hacerse sentir la mayor altura del sol en las latitudes de la cuenca. El ascenso es violento a partir de octubre para culminar en diciembre, aunque hay escasas excepciones en que se traslada a enero. A partir de ese mes la bajante es marcada hasta alcanzar las mínimas.

El río, tanto en sus grandes crecientes como en sus años de bajos caudales, carece de regulador natural alguno por lo que, hasta la construcción del dique Casa de Piedra, cualquiera de ambos estados originaba serios perjuicios a la actividad agrícola desarrollada en los sectores de los valles medio e inferior. Para comprender la magnitud del problema basta señalar que el río ha registrado en Pichi Mahuida, la estación más cercana a Casa de Piedra y la de mayor récord, años con derrames mínimos medios anuales del orden de los 1.259 hm³ y otros de máximos anuales de 7.943 hm³, esto con referencia a una media anual de 4.214 hm³ (Agua y Energía, 1991; EVARSA, 2000).

Estas grandes variaciones corroboran los picos cercanos a los 1.000 m³/s que registran algunos meses o las simas del orden de los 20 m³/s aforadas en otros. Ya fuera por inundación y arramblamiento, ya por imposibilidad de derivar agua a los canales de riego, los valores extremos en el caudal siempre fueron una amenaza latente sobre los sistemas productivos emplazados a orillas del río y, en ocasiones, les causaron graves daños, como es el caso de los años 1968/69 y 1989/90, de escasos escurrimientos, o el de 1941/42, con caudales extraordinarios.

Se estima que cuando los caudales sobrepasan los 275 m³/s se convierten en perjudiciales para el valle inferior, dadas sus características morfológicas. Si el registro es

mayor entra dentro de lo excepcional y cuando los valores alcanzan los 600 m³/s se los estima como catastróficos. A lo largo del registro de Pichi Mahuida se advierte que ha habido 57 crecidas extraordinarias, 25 excepcionales y 6 catastróficas (Provincia de La Pampa, 1998).

4.3.5. Estacionalidad y efectos

Las crecientes del río Colorado tienen regularidad estacional, que las lleva a concretarse en los meses de primavera-verano. Como se mencionó precedentemente cuando las grandes tormentas invernales generadas por el anticiclón del Pacífico Sur tramontan la cordillera suelen producirse lluvias en la falda oriental, a veces de notable duración e intensidad, las que generan, a su vez, breves pero importantes crecidas en pleno estiaje. El mecanismo de generación del gasto sólido, íntimamente ligado a los arrastres, ya sean éstos por lluvia o deshielo, hace que estas precipitaciones pluviales produzcan, a su vez, formidables y atípicos picos de caudal sólido. A menudo el máximo es tan súbito y breve que no se ve bien reflejado en la media mensual y para advertirlo hay que ir a los registros semanales.

En ocasiones esos picos suelen ser tan importantes que alejan significativamente los valores resultantes de las medias mensuales históricas; un buen ejemplo lo constituye el mes de junio del año hidrológico 1985/86. En la estación Buta Ranquil se registró una media mensual de 166 m³/s, contra una media mensual histórica de 86,16 m³/s.

En Pichi Mahuida la cifra fue de 153 m³/s contra una media histórica que no alcanza a los 80 m³/s; la media de mayo había sido de 83 y 74 m³/s, respectivamente. En igual sentido el año hidrológico 1981/82 en la misma estación es un ejemplo de reafirmación de lo dicho. Tuvo un derrame total de 3.775 hm³, inferior a la media de 4.125 hm³, pero la media de julio y agosto fue de 101 y 92 m³/s, bastante por encima de la media histórica de esos meses: 78,47 y 80,80 m³/s, respectivamente.

Ya se ha mencionado el hecho de que gran parte del recorrido del río Colorado se realiza sobre un amplio valle aluvial y que esa condición generó serios problemas de inundaciones en su tramo inferior mientras no existió el embalse de Casa de Piedra. Así

crecientes como las de 1930/31, 1972/73, 1979/80 y 1985/86 tuvieron efectos muy negativos sobre la agricultura de las cuencas media y baja; en esta última la particular disposición sobre-elevada de los brazos del delta provocó inundaciones y pérdidas muy considerables. Otra consecuencia sería la constituiría el enarenamiento de las tomas libres de la colonia Juliá y Echarren, aunque ese era un problema de larga data.

La situación inversa a la mencionada, grandes bajantes, también era muy perjudicial antes del dique porque, al descender el nivel del río, la derivación a las “tomas libres” se hacía cada vez más dificultosa y, a partir de ciertos caudales, la captación resultaba imposible. A este respecto fueron particularmente pobres los años 1924/25, 1946/47, 1968/69 y 1970/71. En 1989/90 y 1990/91 se dio el hecho (inédito en la historia hidrológica del río) de dos años seguidos muy pobres en derrame; la circunstancia demostró palpablemente la utilidad de Casa de Piedra ya que, si bien todavía no estaba completo el embalse, el volumen acumulado permitió un manejo que atenuó en mucho los daños de aguas abajo. Precisamente la función primordial del dique es la de regular el curso a fin de proteger más de un centenar de miles de hectáreas cultivadas en el valle inferior. Hasta la concreción de la obra esta zona bajo riego se hallaba sujeta tanto a los desbordes como a las bajantes, según los volúmenes del año hidrológico. Para una regulación anual completa y segura del derrame del río haría falta una segunda obra, a ubicarse en los comienzos del Alto Valle o en la cuenca de alimentación.

4.3.6. Derrames anuales de caudal. Buta Ranquil-Pichi Mahuida

En la tabla 4.11 se observa claramente que, a lo largo de la historia hidrológica moderna del río Colorado, los registros de derrame anual casi siempre fueron mayores en Buta Ranquil que en Pichi Mahuida. La circunstancia se origina, principalmente, en la inexplicable pérdida que sufre el río entre ambas estaciones.

Los años atípicos 1984/85, 1985/86 y 1988/89 dan un mayor derrame para Pichi Mahuida porque en ellos las particulares condiciones de la cuenca Desaguadero – Salado – Chadileuvú – Curacó, originariamente tributaria del río Colorado, hicieron que se conectara con su antigua efluente, con notables aportes. Por último cabe señalar que a partir de

1997/98 la falta de proporcionalidad entre ambas estaciones se debe a que ya había comenzado el llenado del embalse de Casa de Piedra.

Q (hm ³)			
Año	BR	PM	BR/PM
1938/39	s/d	s/d	
1939/40	s/d	s/d	
1940/41	7531	6279	1,2
1941/42	8775	7943	1,1
1942/43	5213	4355	1,2
1943/44	4137	3503	1,18
1944/45	5297	4496	1,18
1945/46	3809	3271	1,16
1946/47	2130	1990	1,07
1947/48	2845	2497	1,14
1948/49	4642	4116	1,13
1949/50	3523	3046	1,16
1950/51	4348	3962	1,1
1951/52	4804	4442	1,08
1952/53	3475	2896	1,2
1953/54	7164	6650	1,08
1954/55	3924	3357	1,17
1955/56	3020	2702	1,12
1956/57	2801	2535	1,1
1957/58	2776	2448	1,13
1958/59	4683	4157	1,13
1959/60	5344	4994	1,07
1960/61	3458	3063	1,13
1961/62	5771	5309	1,09
1962-63	2922	2472	1,18
1963-64	5481	4955	1,11
1964-65	3088	2702	1,14
1965-66	5985	5598	1,07
1966-67	5354	4826	1,11
1967-68	3169	2908	1,09
1968-69	1658	1259	1,32

Q (hm ³)			
Año	BR	PM	BR/PM
1969/70	3638	3124	1,16
1970/71	2603	1940	1,34
1971/72	4195	3362	1,25
1972/73	7597	6276	1,21
1973/74	4020	3363	1,2
1974/75	4878	4255	1,15
1975/76	5362	4556	1,18
1976/77	3244	2553	1,27
1977/78	5619	4651	1,21
1978/79	6004	5564	1,08
1979/80	6834	6382	1,07
1980/81	6040	5703	1,06
1981/82	4350	3775	1,15
1982/83	9151	7495	1,22
1983/84	4635	3998	1,16
1984/85	6086	6385	0,95
1985/86	3443	3701	0,93
1986/87	5837	5272	1,11
1987/88	6268	6063	1,03
1988/89	3441	3594	0,96
1989/90	3073	1545	1,99
1990/91	3111	1603	1,94
1991/92	4613	3557	1,3
1992/93	5710	4901	1,17
1993/94	4656	2540	1,83
1994/95	4956	4422	1,12
1995/96	4842	3886	1,25
1996/97	2255	2012	1,12
1997/98	6278	4501	1,39
1998/99	1999	2637	0,76
1999/00	3778	2926	1,29

Tabla 4.11. Cuadro comparativo de derrames anuales Buta Ranquil y Pichi Mahuida.
Fuente: EVARSA 2000.

4.3.7. Curva comparativa de duración de caudales

El comportamiento comparado de las curvas de permanencia de ambas estaciones, expresadas en porcentuales, es prácticamente sobrepuesto, con una leve diferencia en Buta Ranquil en lo que hace a caudales mínimos, que posiblemente se deba a la antes citada pérdida de caudal entre ambas estaciones (Fig. 4.8).

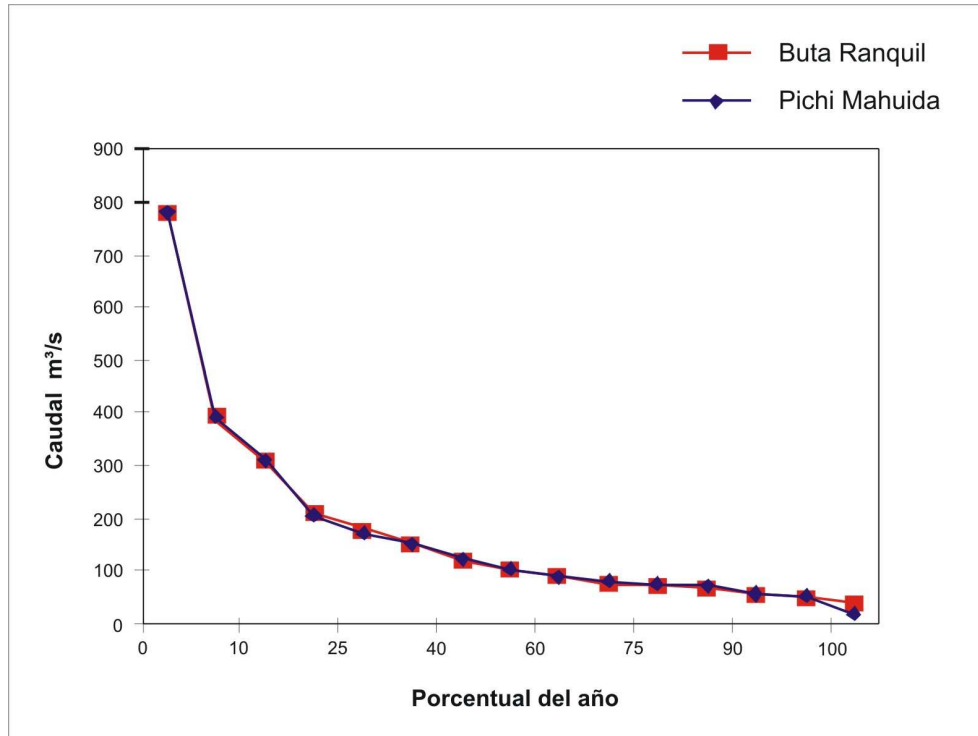


Figura 4.8. Buta Ranquil y Pichi Mahuida. Curva comparativa de duración de caudales aplicando porcentaje. Fuente: elaboración propia sobre datos de EVARSA.

4.3.8. Desgaste continental y transporte: gasto sólido

Una de las claves en la comprensión del comportamiento hidrológico del río Colorado la constituye el mecanismo de funcionamiento del gasto sólido que lo caracteriza y la vinculación que el mismo tiene con el caudal líquido. Con vista a las relaciones entre estos elementos se ha confeccionado un cuadro general con los valores anuales de caudal y gasto sólido en Buta Ranquil y Pichi Mahuida, como estaciones referentes de los valles alto y medio del río. Como el registro de Pichi Mahuida es muy anterior, a los efectos de la comparación se ha considerado esa estación a partir del año 1939, cuando se inaugura Buta Ranquil. Algo similar se ha hecho en lo que concierne a gasto sólido al considerar los años en que hay registro en ambas estaciones (Figs. 4.9 y 4.10).

A partir de esa primera agrupación de valores se los ha discriminado y graficado después en comparaciones relativas al caudal y al gasto sólido que comprenden consideraciones y relaciones entre los dos sitios de aforos. En la tabla 4.12 se consignan los valores correspondientes a las dos estaciones a partir de la instalación de Buta Ranquil. Los

Efectos de la represa Casa de Piedra en la variación...

años señalados con cero a partir de 1961/62 corresponden a interrupciones en el registro y la columna BR/PM es un coeficiente indicativo de la relación entre los valores de ambas.

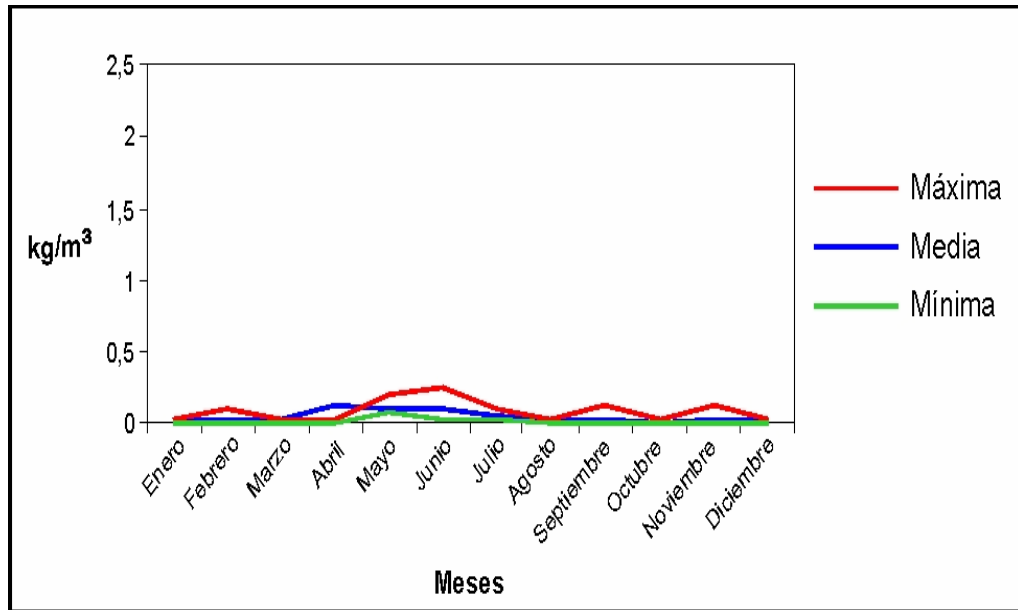


Figura 4.9. Buta Ranquil. Curvas de gasto sólido, año medio, máximo y mínimo.
Fuente: Agua y Energía, 1991

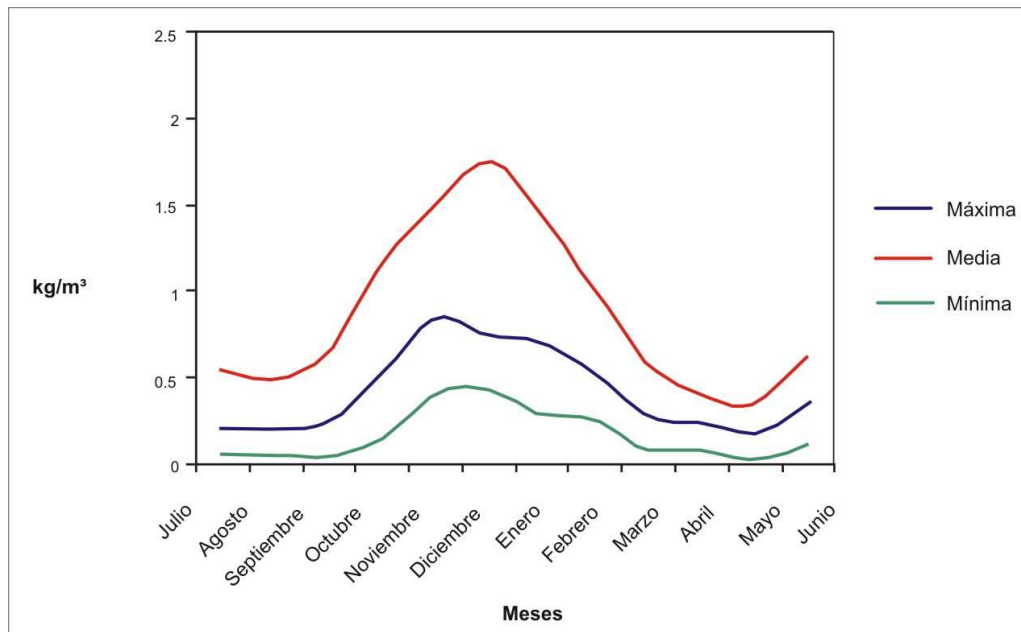


Figura 4.10. Pichi Mahuida. Curva de gasto sólido, año medio, máximo y mínimo.
Fuente: Agua y Energía, 1991.

		Tn por 1000					Tn por 1000				
Año	BR	PM	BR/PM	Año	BR	PM	BR/PM	Año	BR	PM	BR/PM
1938/39	0	5082,6	0	1965-66	5004,2	9908	0,51	1966/67	0	6174,7	0
1939/40	0	8104,4	0	1967/68	991,8	0	0	1968/69	1585,9	0	0
1940/41	0	16356,4	0	1969/70	4902,3	0	0	1970/71	1268	0	0
1941/42	0	17243,8	0	1971/72	4685,8	3393,2	0	1972/73	10914,5	0	0
1942/43	0	9088,7	0	1973/74	2617,4	0	0	1974/75	3159,9	0	0
1943/44	0	7483,1	0	1975/76	3780,9	6310,8	0,6	1976/77	1001,2	1968,2	0,51
1944/45	0	11395,7	0	1977/78	3913,6	7029,8	0,56	1978/79	3363	7438,5	0,45
1945/46	0	6086,1	0	1979/80	4368,3	0	0	1980/81	2223,7	0	0
1946/47	0	1360,4	0	1981/82	2148,1	3361,6	0,64	1982/83	10586,5	9838,5	1,08
1947/48	0	3362,5	0	1983/84	1676,5	2044,8	0,82	1984/85	1781,9	6219,1	0,29
1948/49	0	8458,5	0	1985/86	1482,3	1582,8	0,94	1986/87	2398,3	4716	0,51
1949/50	0	4219,5	0	1987/88	3087,9	3347,1	0,92	1988/89	867	1071,4	0,81
1950/51	0	7823,2	0	1989/90	0	133,1	0	Total	16387	182164,6	
1951/52	0	8377,8	0	x	3452,01	5969,82					
1952/53	0	3988	0								
1953/54	0	11819,7	0								
1954/55	0	3960	0								
1955/56	0	3311,6	0								
1956/57	0	3228,4	0								
1957/58	0	2768,4	0								
1958/59	0	6754,3	0								
1959/60	0	8040,5	0								
1960/61	0	3204,8	0								
1961/62	7563,5	7972,2	0,95								
1962/63	1968,5	1785,8	1,1								

Tabla 4.12. Cuadro comparativo de derrames anuales de gasto sólido. Buta Ranquil y Pichi Mahuida. Fuente: EVARSA 2000.

En las figuras 4.9, 4.10 y 4.11 se advierte la gran diferencia de registro de gasto sólido a la misma escala en las tres estaciones de aforo consideradas. El crecimiento entre Buta Ranquil y Pichi Mahuida se debe, principalmente, al tipo de terrenos arcilloarenosos que atraviesa el tramo, muy sensibles a los arrastres de las lluvias de primavera y verano. El desplazamiento de los picos en la estación Paso Alsina, se origina en la progresiva influencia de Casa de Piedra.

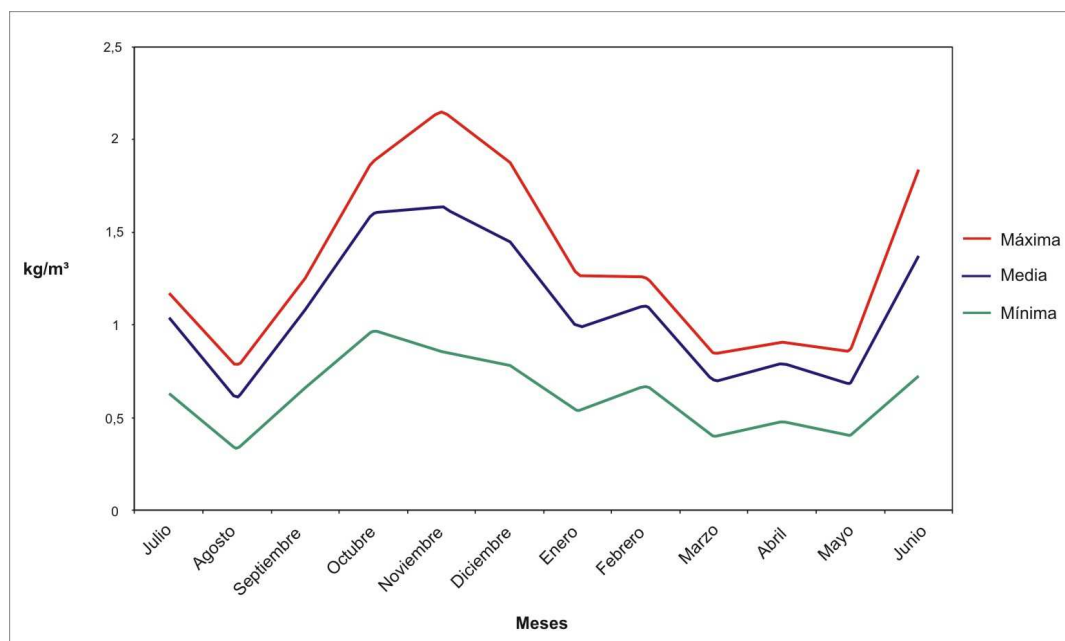


Figura 4.11. Paso Alsina. Curvas de gasto sólido año medio, máximo y mínimo
Fuente: COIRCO, 2000

4.3.9. Máximos y mínimos en gasto sólido

El río Colorado posee una elevada capacidad de transporte de sedimentos, registrándose los mayores valores en la cuenca media e inferior, tal cual lo postulan algunas teorías hidrográficas (Derruau, 1970). Sin embargo y contrariamente a lo que puede pensarse a partir de esa idea, si bien hay una relación directa entre la magnitud de los derrames y el sólido transportado, la causa principal de éste radica en las precipitaciones que se registran y, secundariamente, en la forma en que tienen lugar los deshielos anuales, fenómenos ambos que inciden en el arrastre del material de las vertientes.

El año de mayor registro de sólidos en Pichi Mahuida lamentablemente no tiene registro correspondiente en Buta Ranquil y viceversa, pero las tablas 4.13; 4.14; 4.15 y 4.16 analizadas en el siguiente apartado consignan valores ilustrativos respecto a la afirmación *ut supra*.

4.3.10. La relación entre caudal y gasto sólido

Existe una relación directa entre las oscilaciones de los sólidos y líquidos que transporta el río Colorado. Esta relación se ha considerado mediante el análisis comparativo de las series de Q y Qs en las estaciones de Buta Ranquil, Pichi Mahuida y Paso Alsina y su expresión gráfica (Cazenave, 1987). Dicho de otro modo: a mayor caudal, el curso transporta más cantidad de sólidos y viceversa. Esta circunstancia se debe a que la enorme mayoría de los sólidos que lleva el río se originan en el arrastre a que es sometido el material en la alta cuenca en ocasión de los deshielos y, muy especialmente, de las ocasionales grandes lluvias (Fig. 4.12) (Arenas *et al.*, 1988; Cazenave, 1987).



Figura 4.12. Sólidos depositados por el río Colorado en Puente-Dique de 25 de Mayo tras una creciente por lluvia, en 1998. Fotografía Lic. H. Wálter Cazenave.

La afirmación del párrafo anterior contradice parte de la bibliografía clásica en donde se consigna que la alta proporción de sólidos que caracterizan al curso y que en definitiva ha originado su nombre, “*no es provocado por las precipitaciones, sino por el escurrimiento*”, no existiendo datos sobre arrastres de fondo (CFI, 1962: 352). Por otra parte esta aseveración queda refrendada por un simple análisis de algunos de los años de escasez hídrica debidos a la poca cantidad de nieve caída en la alta cuenca del río Colorado, como 1989/90, por

ejemplo, en que se observan valores de sólido anormalmente bajos, aun en plena época de deshielos (COIRCO, 1999).

La interposición al cauce del río de una gran masa de agua embalsada, significativa en extensión y profundidad, constituirá un área de atenuación de energía de la corriente fluvial y, por lo tanto, de deposición de las partículas en movimiento. Esta condición se comprobó tempranamente en forma empírica ya que, a poco de iniciarse la formación del lago, las aguas emergentes del dique comenzaban a disminuir en su característico color pardo-rojizo para, a partir de fines de 1993, adquirir una inusitada claridad.

Buta Ranquil: Se advierte en la tabla 4.13 que en 1988/89 con un derrame 8 % mayor que 1967/68 hubo un acarreo menor, que resulta ser el *minimo minimorum* de la estación.

Año	Q hm³	Qs x 1000 tn	Q/Qs
1967/68	3159	991,8	3,19
1968/69	1658	1585	1,05
1988/89	3441	867	3,97

Tabla 4.13. Buta Ranquil. Relación de incidencia del derrame en el caudal sólido. Años de media, máxima y mínima. Fuente: EVARSA, 2000.

La tabla 4.14 indica los derrames anuales de líquido y sólido en Buta Ranquil y la relación que se desprende del coeficiente entre esos componentes.

Año	Q hm ³	tn por 1000	hm ³ / Tn x 1000
1938/39	s/d	s/d	
1939/40	s/d	s/d	
1940/41	7531	s/d	
1941/42	8775	s/d	
1942/43	5213	s/d	
1943/44	4137	s/d	
1944/45	5297	s/d	
1945/46	3809	s/d	
1946/47	2130	s/d	
1947/48	2845	s/d	
1948/49	4642	s/d	
1949/50	3523	s/d	
1950/51	4348	s/d	
1951/52	4804	s/d	
1952/53	3475	s/d	
1953/54	7164	s/d	
1954/55	3924	s/d	
1955/56	3020	s/d	
1956/57	2801	s/d	
1957/58	2776	s/d	
1958/59	4683	s/d	
1959/60	5344	s/d	
1960/61	3458	s/d	
1961/62	5771	7563,5	0,76
1962/63	2922	1968,5	1,48
1963/64	5481	5574,3	0,98
1964/65	3088	1280,7	2,41
1965/66	5985	5004,2	1,2
1966/67	5354	s/d	
1967/68	3169	991.8	3.19

Año	Q hm ³	Tn por 1000	hm ³ / Tn x 1000
1969/70	3638	4902,3	0,74
1970/71	2603	1268	2,05
1971/72	4195	4685,8	0,9
1972/73	7597	10914,5	0,7
1973/74	4020	2617,4	1,54
1974/75	4878	3159,9	1,54
1975/76	5362	3780,9	1,42
1976/77	3244	1001,2	3,24
1977/78	5619	3913,6	1,44
1978/79	6004	3363	1,79
1979/80	6834	4368,3	1,56
1980/81	6040	2223,7	2,72
1981/82	4350	2148,1	2,03
1982/83	9151	10586,5	0,86
1983/84	4635	1676,5	2,76
1984/85	6086	1781,9	3,42
1985/86	3443	1482,3	2,32
1986/87	5837	2398,3	2,43
1987/88	6268	3087,9	2,03
1988/89	3441	867	3,97
1989/90	3073	s/d	
1990/91	3111	s/d	
1991/92	4613	s/d	
1992/93	5710	s/d	
1993/94	4656	s/d	
1994/95	4956	s/d	
1995/96	4842	s/d	
1996/97	2255	s/d	
1997/98	6278	s/d	
1998/99	1999	s/d	
1999/00	3778	s/d	

Tabla 4.14. Buta Ranquil. Cuadro comparativo de derrames anuales de caudal y gasto sólido.
Fuente: EVARSA, 2000.

Pichi Mahuida: En las tablas 4.15, 4.16 y 4.17 se presenta la estrecha vinculación que hay en el río Colorado entre el gasto sólido y los caudales medida sobre la estación Pichi Mahuida, la de registro más antiguo y la variabilidad de esos valores. A partir de 1991 dejan de cuantificarse los sólidos en la cuenca, al tiempo que el llenado del vaso de Casa de Piedra les quita importancia en los aforos de la estación.

Efectos de la represa Casa de Piedra en la variación...

Año	Q hm ³	tn por 1000	Año	Q hm ³	tn por 1000
1938/39	0	5082,6	1970/71	1940	0
1939/40	0	8104,4	1971/72	3362	3393,2
1940/41	6279	16356,4	1972/73	6276	0
1941/42	7943	17243,8	1973/74	3363	0
1942/43	4355	9088,7	1974/75	4255	0
1943/44	3503	7483,1	1975/76	4556	6310,8
1944/45	4496	11395,7	1976/77	2553	1968,2
1945/46	3271	6086,1	1977/78	4651	7029,8
1946/47	1990	1360,4	1978/79	5564	7438,5
1947/48	2497	3362,5	1979/80	6382	0
1948/49	4116	8458,5	1980/81	5703	0
1949/50	3046	4219,5	1981/82	3775	3361,6
1950/51	3962	7823,2	1982/83	7495	9838,5
1951/52	4442	8377,8	1983/84	3998	2044,8
1952/53	2896	3988	1984/85	6385	6219,1
1953/54	6650	11819,7	1985/86	3701	1582,8
1954/55	3357	3960	1986/87	5272	4716
1955/56	2702	3311,6	1987/88	6063	3347,1
1956/57	2535	3228,4	1988/89	3594	1071,4
1957/58	2448	2768,4	1989/90	1545	133,1 *
1958/59	4157	6754,3	1990/91	1603	0
1959/60	4994	8040,5	1991/92	3557	0
1960/61	3063	3204,8	1992/93	4901	0
1961/62	5309	7972,2	1993/94	2540	0 **
1962/63	2472	1785,8	1994/95	4422	
1963/64	4955	8344	1995/96	3886	
1964/65	2702	2544,2	1996/97	2012	
1965/66	5598	9908	1997/98	4501	
1966/67	4826	6174,7	1998/99	2637	
1967/68	2908	0	1999/00	2926	
1968/69	1259	0			
1969/70	3124	0			
			Total	115855	198247,3
			X	3987,9	5969,8

* En julio de 1989 comienza el llenado de Casa de Piedra **En febrero de 1994 alcanza cota 279,89. Hasta entonces la media era de 4053,5 tn x 1000

Tabla 4.15. Pichi Mahuida. Cuadro comparativo de derrames anuales de caudal y gasto sólido. Fuente: EVARSA, 2000; Agua y Energía, 1991.

Condición	Derrame anual hm^3	Sólidos (tn x 1000)
<i>Máximo</i>	7943	17.243,80
<i>Mínimo</i>	1259	Sin registro
<i>Mínimo comparativo</i>	1545	133,1
<i>Media</i>	4158	5968,8

Tabla 4.16. Pichi Mahuida. Relación entre los derrames anuales líquido y sólido. 1918/1999
Fuente: EVARSA 2000.

Año	Q hm^3	Qs x 1000 tn	Q/Qs
1946/47	1990	1360.4	1,46
1962/63	2472	1785.8	1,38
1989/90	1545	133	11,62

Tabla 4.17. Pichi Mahuida. Relación de incidencia del derrame en el gasto sólido. Años de media, máxima y mínima. Fuente: Agua y Energía, 1991. EVARSA 2000.

Según la tabla precedente el derrame de 1989/90 es un 22 % menor que el de 1946/47; sin embargo el sólido se redujo 10 veces, más del 1.000 %. Si se considera el coeficiente de relación Q/Qs se observa que el rango entre máximas y mínimas se dispara a valores que llegan a 11,62. Al analizar la tabla 4.15 se advierte que se trata de una anomalía debida al efecto cada vez mayor de Casa de Piedra, que regulaba y reducía los escurrimientos registrados en Pichi Mahuida. Excluidos los valores correspondientes a los años de influencia del dique en adelante, 1988/89 y 1989/90, apenas si llega a 1,96 valor mucho más acorde con el resto de los coeficientes resultantes de la serie.

4.3.10.1. Comparación entre Buta Ranquil y Pichi Mahuida

El registro de gasto sólido es inverso al de caudales en lo que a las estaciones respecta. Pichi Mahuida supera a Buta Ranquil casi siempre en tonelaje; la excepción la marcan los períodos 1963/64; 1972/73 y 1983/84. El análisis de los valores mensuales de esos años hidrológicos, indica que hubo fuertes crecidas en los meses invernales, seguramente debidas a las tormentas del sistema del océano Pacífico, que pasan la cordillera y precipitan grandes volúmenes sobre la cuenca, provocando crecidas súbitas y bruscos aumentos del gasto sólido. La cifras de las tablas 4.18 y 4.19 corroborarían la teoría geomorfológica que señala que los derrames de sólido en la cuenca media son superiores a los de la alta (Derruau, 1970).

Efectos de la represa Casa de Piedra en la variación...

Valores	Buta Ranquil	Pichi Mahuida
Qs total de la serie tnx1000	93204,2	256702,2
Qs medio anual tnx1000	3452,01	5969,82
Qs específico tnx1000/km ²	0,23	0,27

Tabla 4.18. Gasto sólido en Buta Ranquil y Pichi Mahuida. Totales de la serie, medias y gasto sólido específico. Fuente: EVARSA 2000.

	Q hm ³		Qs tn por 1000	
Año	BR	PM	BR	PM
1938/39	s/d	s/d	s/d	5082,6
1939/40	s/d	s/d	s/d	8104,4
1940/41	7531	6279	s/d	16356,4
1941/42	8775	7943	s/d	17243,8
1942/43	5213	4355	s/d	9088,7
1943/44	4137	3503	s/d	7483,1
1944/45	5297	4496	s/d	11395,7
1945/46	3809	3271	s/d	6086,1
1946/47	2130	1990	s/d	1360,4
1947/48	2845	2497	s/d	3362,5
1948/49	4642	4116	s/d	8458,5
1949/50	3523	3046	s/d	4219,5
1950/51	4348	3962	s/d	7823,2
1951/52	4804	4442	s/d	8377,8
1952/53	3475	2896	s/d	3988
1953/54	7164	6650	s/d	11819,7
1954/55	3924	3357	s/d	3960
1955/56	3020	2702	s/d	3311,6
1956/57	2801	2535	s/d	3228,4
1957/58	2776	2448	s/d	2768,4
1958/59	4683	4157	s/d	6754,3
1959/60	5344	4994	s/d	8040,5
1960/61	3458	3063	s/d	3204,8
1961/62	5771	5309	7563,5	7972,2
1962/63	2922	2472	1968,5	1785,8
1963/64	5481	4955	5574,3	8344
1964/65	3088	2702	1280,7	2544,2
1965/66	5985	5598	5004,2	9908
1966/67	5354	4826	s/d	6174,7
1967/68	3169	2908	991,8	s/d
1968/69	1658	1259	1585,9	s/d

	Q hm ³		Qs tn por 1000	
Año	BR	PM	BR	PM
1970/71	2603	1940	1268	s/d
1971/72	4195	3362	4685,8	3393,2
1972/73	7597	6276	10914,5	0
1973/74	4020	3363	2617,4	0
1974/75	4878	4255	3159,9	0
1975/76	5362	4556	3780,9	6310,8
1976/77	3244	2553	1001,2	1968,2
1977/78	5619	4651	3913,6	7029,8
1978/79	6004	5564	3363	7438,5
1979/80	6834	6382	4368,3	s/d
1980/81	6040	5703	2223,7	s/d
1981/82	4350	3775	2148,1	3361,6
1982/83	9151	7495	10586,5	9838,5
1983/84	4635	3998	1676,5	2044,8
1984/85	6086	6385	1781,9	6219,1
1985/86	3443	3701	1482,3	1582,8
1986/87	5837	5272	2398,3	4716
1987/88	6268	6063	3087,9	3347,1
1988/89	3441	3594	867	1071,4
1989/90	3073	1545		133,1
1990/91	3111	1603		s/d
1991/92	4613	3557		s/d
1992/93	5710	4901		s/d
1993/94	4656	2540		s/d
1994/95		4422		
1995/96		3886		
1996/97		2012		
1997/98		4501		
1998/99		2637		
1999/00		2926		

Tabla 4.19. Buta Ranquil y Pichi Mahuida. Cuadro comparativo de derrames anuales de caudal y gasto sólido. 1939/2000. Fuente: EVARSA 2000: Agua y Energía, 1991.

A los efectos de este trabajo cabe señalar que, a partir de mediada la década de 1990, la fuerte acción antropogénica sobre la margen derecha del río Colorado, llevada a cabo entre Peñas Blancas y Rincón de los Sauces, ha generado un fenómeno inédito y todavía no bien estudiado ni evaluado. Al parecer la rotura de la protección vegetal del suelo, debida preponderantemente a la acción de las compañías petroleras en su acción de desmonte para caminos y perforaciones, ha generado nuevas fuentes de arrastre de sólido durante las lluvias. La anomalía se evidencia en el área de 25 de Mayo, donde han comenzado a producirse embancamientos de arena, un material de escasa incidencia hasta entonces, en las tomas y canales de riego (Presidencia del Ente Provincial del Río Colorado, comunicación personal, 2003).

4.3.10.2. Comparación entre Pichi Mahuida y Paso Alsina

Los años de registros coincidentes entre las estaciones Pichi Mahuida y Paso Alsina, son siete. En 1990/91 se interrumpieron las mediciones en Pichi Mahuida. Pese a lo reducido de la serie se puede advertir que la degradación específica de cuenca siempre fue mayor en Pichi Mahuida, pero que en los últimos tres años coincidentes esa tendencia se invirtió, con registros más altos en Paso Alsina.

A fin de establecer las comparaciones demostrativas de esta tesis se han tomado las series mensuales de caudal y gasto sólido correspondientes a Pichi Mahuida y Paso Alsina, estaciones ubicadas aguas abajo de Casa de Piedra. En los registros, suministrados por el COIRCO, se advierten, sin embargo, diferencias entre ambas, a saber:

- a) Si bien Pichi Mahuida tiene un registro mucho más amplio, a los efectos de este punto se lo considera a partir de septiembre de 1981, que es la fecha en que COIRCO comenzó a recibir y remitir a las provincias de la cuenca, copia de las planillas de aforos realizados por la ex Agua y Energía Eléctrica de la Nación. La fecha es coincidente con el inicio de registros en Paso Alsina.
- b) En lo que hace a los registros de gasto sólido los mismos llegan hasta agosto de 1993, fecha en que EVARSA, empresa particular sucesánea de Agua y Energía en estas tareas, redujo los aforos de esta condición en Pichi Mahuida de cuatro/cinco a uno mensual, para luego dejar de editar los anuarios de gasto sólido.

4.4. La degradación específica de cuenca

Buta Ranquil y Pichi Mahuida: La estadística correspondiente a la degradación específica de cuenca indica que son 16 los años de registro de gasto sólido coincidentes entre Buta Ranquil y Pichi Mahuida. En la tabla 4.20 se observa que, en ese período, la relación tn/km^2 fue diez veces mayor en Pichi Mahuida, lo que representaría un 62,5 % sobre ese registro simultáneo. Por otra parte en la misma tabla se indica que sobre 16 registros coincidentes los valores fueron 10 veces superiores en Pichi Mahuida.

Los grandes aportes de caudal sólido que suelen registrarse en Pichi Mahuida no se originan necesariamente en la cuenca de alimentación. Existe un extenso tramo entre Buta Ranquil y 25 de Mayo de suelos arcilloarenosos en el cual el aporte lateral, favorecido por las pendientes, se vuelve muy importante con cualquier lluvia (Arenas *et al.*, 1990).

<i>Año hidrológico</i>	<i>Buta Ranquil</i> <i>tn/km²</i>	<i>Pichi Mahuida</i> <i>tn/km²</i>
1962/63	0,129	0,080
1963/64	0,364	0,374
1964/65	0,084	0,114
1965/66	0,327	0,444
1971/72	0,306	0,152
1975/76	0,247	0,283
1976/77	0,065	0,088
1977/78	0,256	0,315
1978/79	0,220	0,334
1981/82	0,140	0,151
1982/83	0,692	0,441
1983/84	0,110	0,092
1884/85	0,116	0,279
1985/85	0,097	0,071
1986/87	0,157	0,211
1987/88	0,202	0,150

 Sobre 16 veces coincidentes 10 fue mayor en Pichi Mahuida: 62,5 %

Tabla 4.20. Buta Ranquil y Pichi Mahuida. Degradación específica de cuenca.
Fuente: EVARSA 2000: Agua y Energía, 1991

En la figura 4.13 se evidencia que, de todo el período en que el río contó con aforos de gasto sólido, solamente en los años hidrológicos 1962/63, 1971/72, 1982/83, 1983/84, 1985/86 y 1987/88 Buta Ranquil superó cuantitativamente a Pichi Mahuida. Esa cantidad, seis sobre un total de 17 registros es del orden del 35 %.

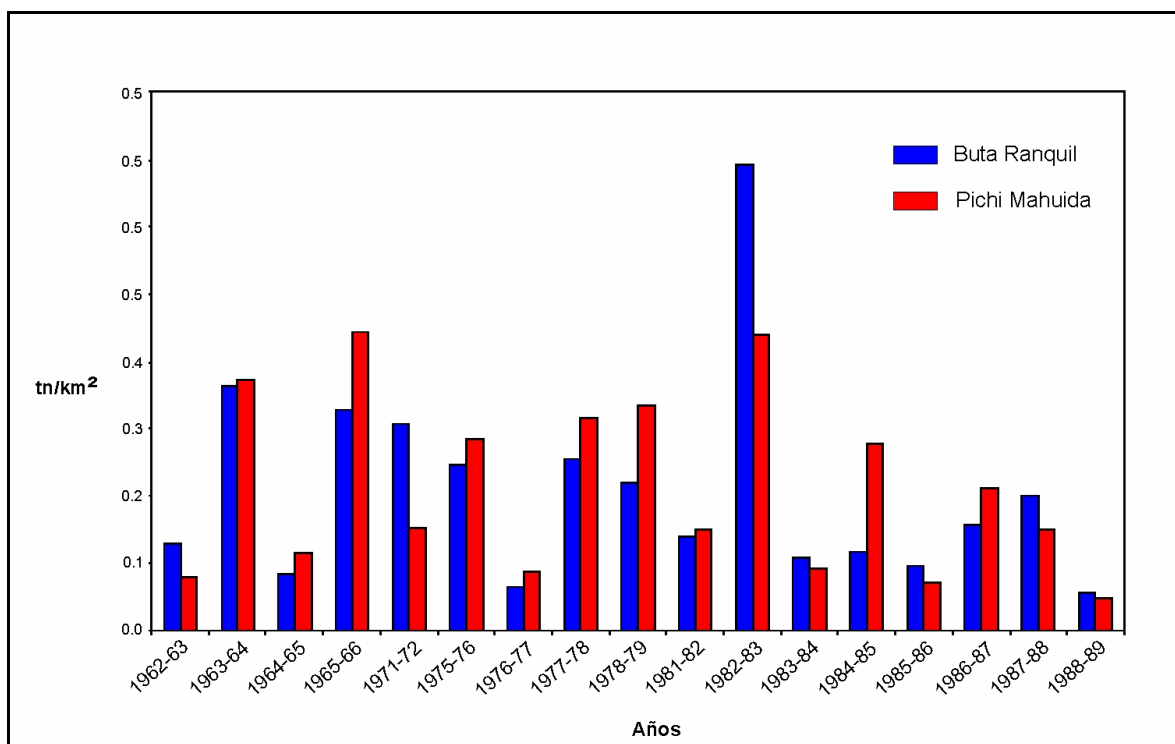


Figura 4.13. Degradación específica de cuenca. Buta Ranquil – Pichi Mahuida. Años de registro coincidente. Fuente: Agua y Energía, 1991; EVARSA 2000.

Pichi Mahuida y Paso Alsina: Lo relativamente reciente de la instalación de aforos de Paso Alsina relativiza cualquier comparación, pero igualmente se advierte que la degradación específica, sobre 7 registros coincidentes, 5 veces es mayor en Pichi Mahuida en un 71 %. La superficie de la cuenca en Pichi Mahuida es de 22.300 km² y en Paso Alsina de 31.000 km² (Tabla 4.21).

	<i>Pichi Mahuida</i>	<i>Paso Alsina</i>
	<i>Degradación Específica</i>	<i>Degradación específica</i>
<i>Año</i>	<i>tn/km²</i>	<i>tn/km²</i>
1983/84	0,092	0,048
1984/85	0,279	0,069
1985/86	0,071	0,018
1986/87	0,211	0,144
1987/88	0,15	0,205
1988/89	0,048	0,071
1989/90	0,006	0,003

Tabla 4.21. Pichi Mahuida y Paso Alsina. Degradación específica de cuenca comparativa.
Fuente: Agua y Energía, 1991; EVARSA 2000

4.5. Petrografía y granulometría

El material existente sobre petrografía de los sólidos que arrastra el río Colorado es escaso y casi todo está sin editar. Al margen del ya clásico estudio de Scartascini, también inédito, el material accesible se orienta más bien al comportamiento sedimentológico del río, sin entrar en detalles sobre su composición. La mayoría de los estudios, por pragmatismo o por interés científico, están orientados al comportamiento del material sólido y las consecuencias de su deposición.

4.5.1. Características mineralógicas y granulométricas en Pichi Mahuida

Los gráficos resultantes de los registros del trabajo de Scartascini (1964) en Pichi Mahuida están considerados sobre el año calendario y no sobre el año hidrológico y así se consignan en este trabajo. Al analizar la tabla 4.22 y la figura 4.14 se pueden obtener algunas conclusiones interesantes.

Se observa que el material piroclástico oscila entre el 55 % y el 65 % con aumentos en marzo, picos en agosto, volviéndose estable la línea a partir de noviembre. El cuarzo en cambio manifiesta una distribución inversa al material piroclástico y sus alternativas acompañan en general a las curvas de medias anuales de caudal, con picos en diciembre-enero y mínimas en mayo - junio, oscilando las diferencias entre el 20 % y el 27 %. Los valores del feldespato son casi constantes, con la particularidad de que se mantienen

alrededor del 12 % y 13 % desde enero a mediados de noviembre, para caer luego bruscamente al 3,5 % durante ese mes. La curva de las arcillas es similar a la del cuarzo, pero con valores cuyo rango oscila entre 0 % y 2 %. Finalmente los minerales de elevado peso específico (PE) se mantienen parejos a lo largo de todo el año, con porcentuales de entre 2,5 % y 3 % (Scartascini, 1964).

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Material piroclástico	55,6	55,4	55,3	57,3	59,5	63	64,2	65,4	62,3	57,1	55,8	55,1
Cuarzo	26,6	26,7	26,9	25,2	24	21	20	19,8	22,5	25,7	26,3	26,9
Feldespato	13,3	13,4	13,3	12,9	12,8	12,1	11,9	11,9	12,4	13,5	13,3	3,5
Arcilla	2	2	2	2	1	1	1	0	0	1	2	2
Minerales de elevado PE	2,5	2,5	2,5	2,6	2,7	2,9	2,9	2,9	2,8	2,7	2,6	2,5

Tabla 4.22. Composición media mensual del sedimento (en %). Fuente Scartascini, 1964.

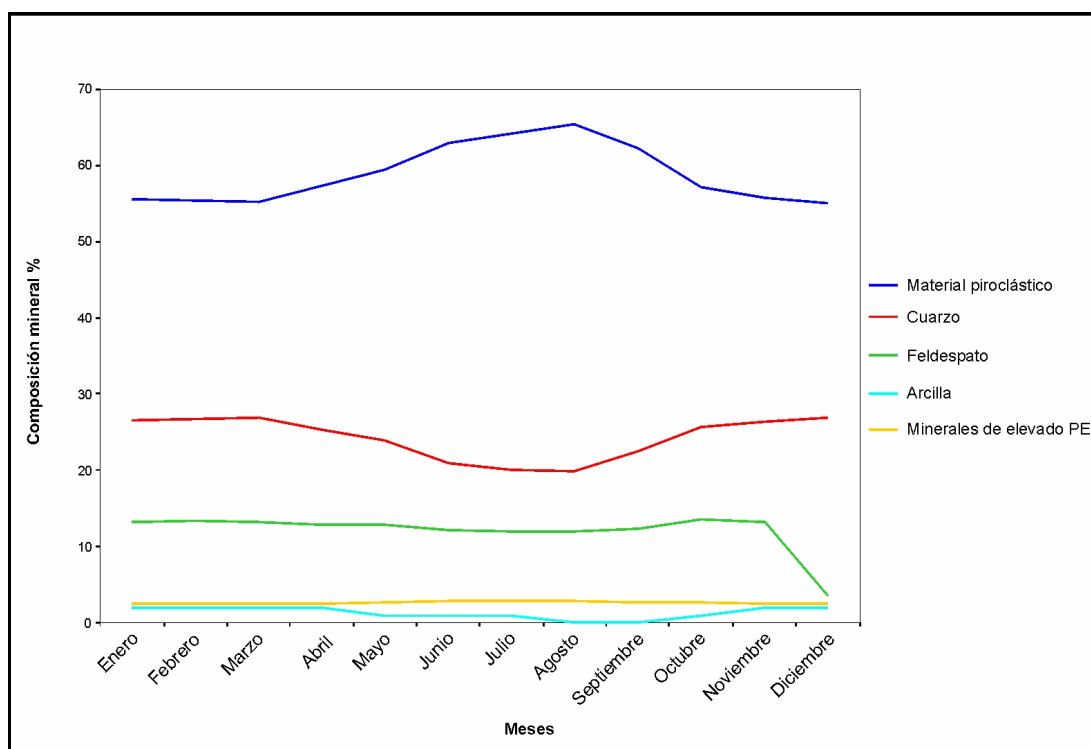


Figura 4.14. Pichi Mahuida. Composición media mensual del sedimento. Fuente Scartascini, 1964.

En lo que hace a la granulometría media mensual, como se observa en la figura 4.15, las fracciones de la categoría hasta 3 μm se mantienen a lo largo del año con porcentuales

constantes, entre 2 μm y 0 μm , mínima que se da en agosto y septiembre. Entre 3 μm y 62 μm se registran picos desde enero a marzo, cuando se alcanza aproximadamente un 54 %, para descender violentamente y alcanzar una sima en agosto con 13 %.

El comportamiento de la curva de entre 62 μm y 250 μm semeja una inversa de la anterior ya que las mínimas se ubican hacia marzo, con un 34 % y los picos en agosto, con un descenso brusco a partir de ese mes. A partir de los 250 μm la línea se presenta estable entre enero y marzo, con un ascenso suave que culmina en agosto, con un pico del 23 % y una caída brusca, con mínima en diciembre, del 9 % (Scartascini, 1964)

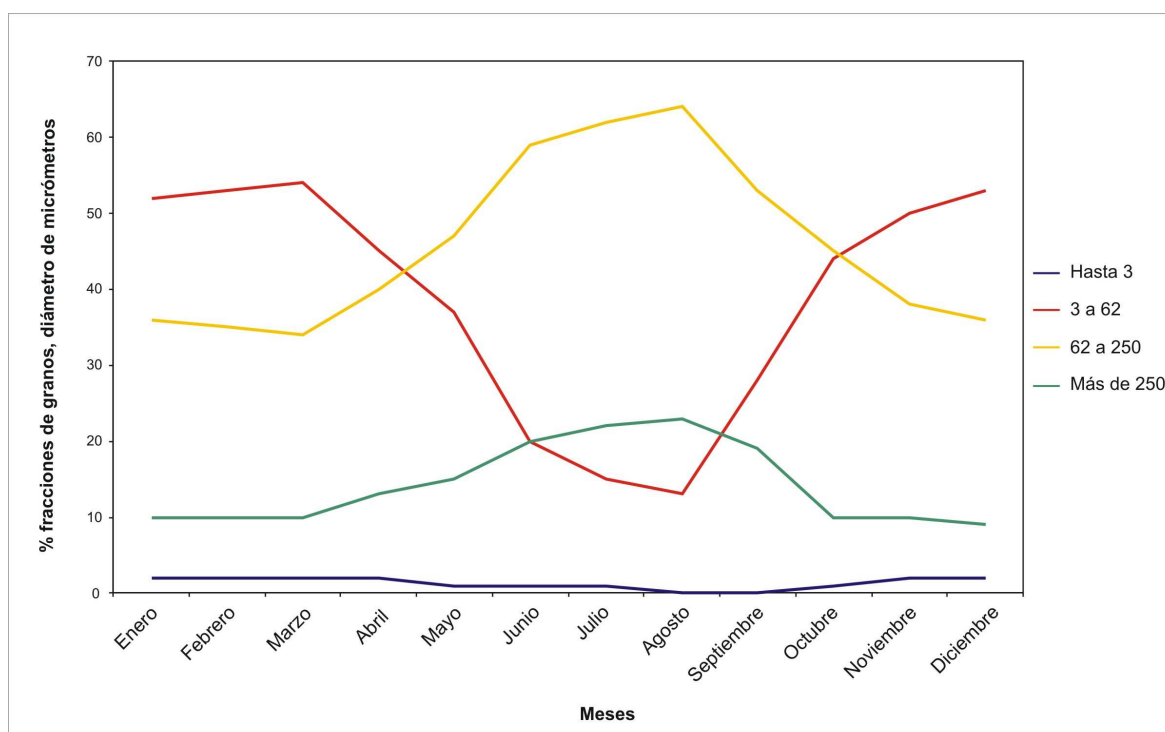


Figura 4.15. Pichi Mahuida. Granulometría media mensual. Fuente: Scartascini, 1964.

La figura 4.16 muestra que en lo que hace al tamaño inferior a 3 μm el total de lo transportado son arcillas, mientras que en la siguiente categoría, 3 μm a 62 μm , casi la mitad de la muestra, 48 % corresponde a material piroclástico, con un alto componente de cuarzo, 35 % y 15 % de feldespatos. Los minerales de elevado peso específico representan el 2 %.

De 62 a 250 μm el material piroclástico crece al 60 % pero disminuye el cuarzo al 21 %, en tanto que los feldespatos se mantienen constantes en 15 % y los minerales de elevado

peso específico ascienden a un 4 %. En relación a la muestra anterior los materiales con más de 250 μm , excepto el cuarzo que se incrementó en un 109 %, todos los componentes disminuyen su presencia significativamente. El material piroclástico descendió un 23 %; los feldespatos disminuyeron un 40 % y el descenso más importante se produjo en los minerales de elevado peso específico que fue del 75 % (Scartascini, 1964).

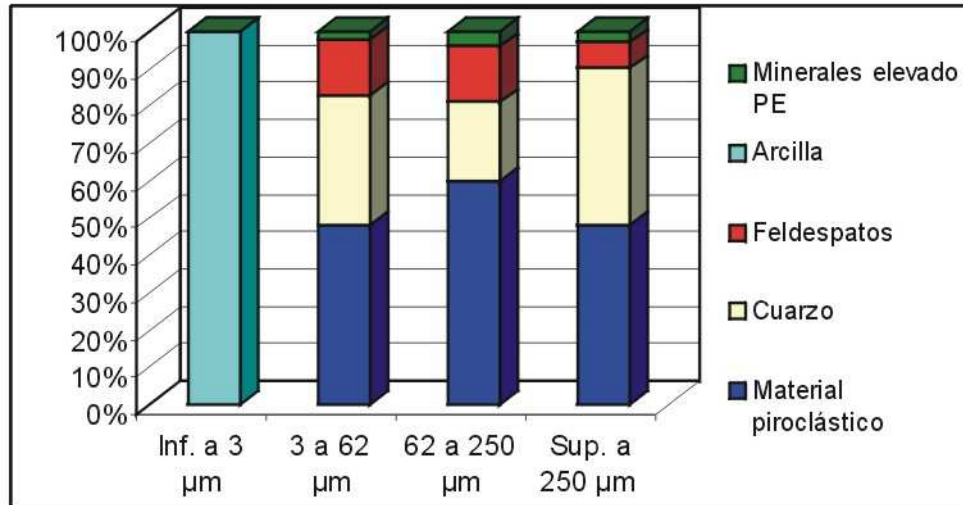


Figura 4.16. Pichi Mahuida. Porcentaje de componentes minerales. Fracciones de granos. Elaboración propia modificado sobre la base de Scartascini, 1964.

Bajo este análisis parece desprenderse una cierta asociación entre las crecientes y el tamaño de las partículas. Las más pequeñas aparecen como constantes a lo largo de casi todo el año, en tanto que las que le siguen en tamaño, 3 μ a 62 μ , tienen oscilaciones coincidentes, en líneas generales con los picos y bajantes de caudal. En las dos categorías restantes, de tamaño mayor, se observa una relación inversa y los picos y simas son prácticamente opuestos a sus similares en caudal.

Los valores sugieren un óptimo de transporte según los tamaños, condiciones y estado del río. Mientras que las arcillas y cuarzos parecen acompañar a la curva de caudales, el material piroclástico se comporta inversamente y los feldespatos tienden a valores similares a lo largo del año, con disminución brusca en diciembre.

Coincidiendo con Scartascini (1964: 3) se destaca que el material trasportado en suspensión *“presenta en su composición una serie de minerales que si por caudal de riego llegan a suelos de cultivo, lo beneficiarían”* y que *“por la dureza este sedimento puede resultar un activo agente de erosión en centrales eléctricas”*.

CAPITULO 5. EL DIQUE CASA DE PIEDRA

Casa de Piedra o Curá Rucá, su equivalente en idioma mapuche es un topónimo relativamente frecuente en Patagonia. Con esa denominación se designan algunas de las cuevas o cavernas naturales habidas en el territorio, aludiéndose tanto a la utilidad como a la condición física de lo que se nombra (Cipolletti, 1899; Casamiquela, 1998).

5.1. La singularidad de un nombre

El concepto puede hacerse extensivo incluso a los aleros rocosos los que, a pesar de ser abiertos, constituyen un refugio evidente y más debieron serlo para los primitivos habitantes, generadores del topónimo. Precisamente el lugar presenta numerosas formaciones de este tipo que se han producido en el estrato geológico superior de la garganta, constituido por calizas arcillosas y calizas silicificadas yesíferas, algunas fosilíferas, friables y sensibles a la erosión, expuestas por el trabajo del río. Hay testimonios fotográficos de décadas atrás que muestran algunos de estos aleros hoy inexistentes, por lo que se puede pensar la posibilidad de que en tiempos pasados los hubiera de mayor entidad que justificaran todavía más el topónimo.

Menos creíble, aunque no del todo desechable es la versión relativa a la existencia en las inmediaciones de donde hoy se levanta el dique, de una casa cuyas paredes estaban constituidas por bloques de piedra. En principio, la versión nunca ha tenido un asidero concreto ni se ha indicado el sitio de la presunta vivienda. Además ese tipo de arquitectura no es propio de la zona, al menos en pobladores criollos venidos del Norte y del Este.

El dique Casa de Piedra se ubica en la parte final del Alto Valle del río Colorado, entre las provincias de La Pampa y Río Negro (Fig. 5.1). Su embalse constituye un reaseguro de las zonas de cultivos ubicadas en la provincia de Río Negro, al final del Valle Medio y en el Valle Inferior, Buenos Aires, estas últimas las más extensas de la cuenca.

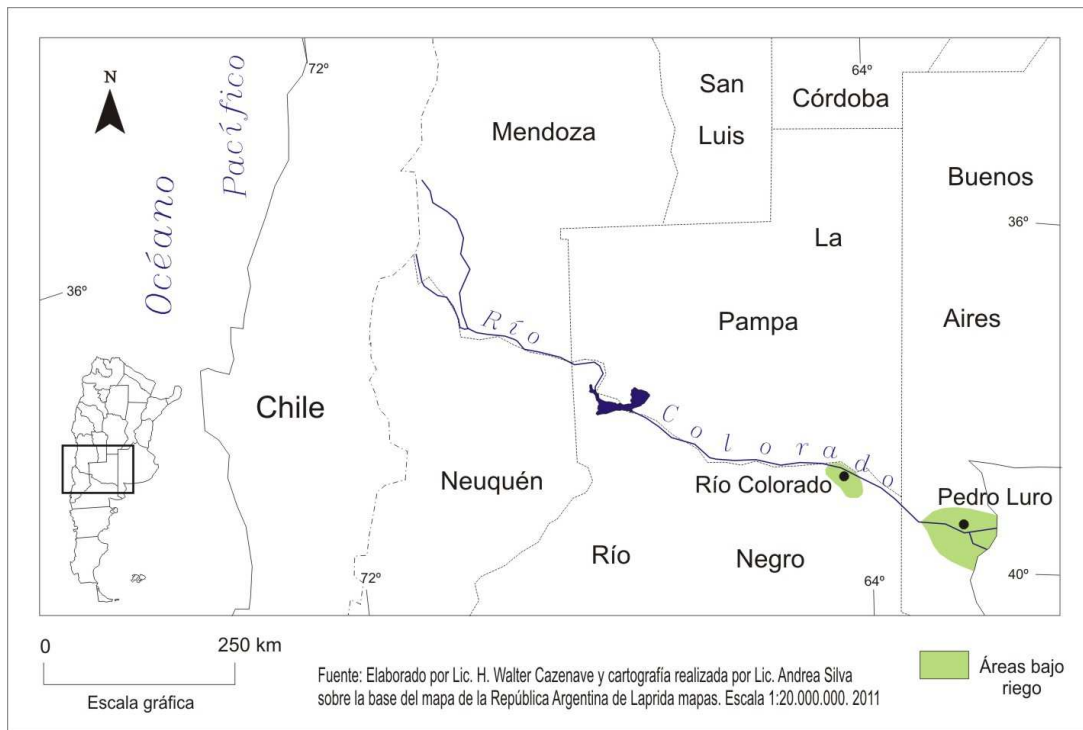


Figura 5.1. Areas bajo riego sujetas a la acción del dique Casa de Piedra

5.2. La preclara visión de Cipolletti

La primera mención relativa a la posibilidad en el sitio de un dique propiamente dicho se encuentra en la memoria elevada al gobierno nacional por el ingeniero César Cipolletti en 1899. Allí alude a la presencia de *un cordón de arenisca muy dura* que podría utilizarse como eventual toma de un canal destinado al riego de la “pampa alta”, es decir: la planicie por encima de la barda. Se deduce que un canal que cumpliera esa función precisaría la complementariedad de un azud para elevar el pelo de agua de la corriente a la altura necesaria para que derivara (Cipolletti, 1899).

Más allá de esta preclara visión del hidrólogo italiano hay que esperar más de medio siglo para que vuelva a hablarse de la posibilidad de un dique en el sitio de Casa de Piedra. Esa circunstancia tuvo varios motivos, entre los que pueden considerarse la condición territorial de La Pampa y Río Negro, que se mantuvo hasta la década de 1950; las nefastas consecuencias de la Crezca Grande, que desalentaron proyectos en el valle del Colorado por muchos años y el desinterés de varios gobiernos federales por un

Efectos de la represa Casa de Piedra en la variación...

desarrollo armónico del país, junto con la falta de una concepción global del mismo.

La necesidad de un embalse regulador había sido establecida desde mucho tiempo atrás, aunque por las particulares condiciones de conocimiento del río que ya se han señalado, desde la desembocadura hacia aguas arriba, se pensó primero en otras alternativas. La que tuvo más posibilidades fue la de su construcción en el paraje Huelches, en cercanías de la estación Fortín Uno, del antiguo Ferrocarril General Roca, en la provincia de Río Negro, donde llegaron a hacerse los estudios geológicos y adjudicarse la licitación, que no prosperó, hacia finales de la década del cuarenta. Sin embargo, estudios de detalle, impusieron el sitio de Casa de Piedra por sus mayores ventajas, especialmente en lo que hace a la capacidad del embalse (Fig. 5.2).



Figura 5.2. El lugar de Casa de Piedra visto desde la ribera pampeana hacia aguas arriba, en el otoño de 1976. Fotografía Lic. H. Wálter Cazenave.

El conocimiento moderno, sistemático y ordenado del río comenzó en los años cincuenta y se vio políticamente iniciado con la Primera Conferencia de Gobernadores ribereños (1956), que promovió las posibilidades de aprovechamiento armónico del río Colorado. De esa reunión surgió la determinación de crear un organismo técnico que entendiera en los respectivos problemas del río; apareció así la Comisión Técnica Interprovincial del Río Colorado (COTIRC), que fue el organismo que sentó las bases del conocimiento moderno del curso en todo su recorrido, concretándose en los hechos en marzo de 1960 (Gobierno de la Provincia de La Pampa, 1956).

5.3. Presencia de un antiguo mar

El sitio de Casa de Piedra se caracteriza dentro de la hidrografía del río Colorado por el brusco cambio de dirección hacia el Sur que describe la traza, en un ángulo agudo cercano a los 90 grados. Estos cambios de rumbo del río son una singularidad repetida a lo largo del curso del Colorado y se atribuyen a la presencia de fallas profundas y al control que ejercen algunas formaciones sobre el cauce. Dichas fallas parecen encajar en cuanto a rumbos –Sureste y Noreste– con el sistema imperante en esa parte de la provincia de La Pampa (Fig. 5.3). Sin embargo pese a que esos súbitos cambios de rumbo sugieren un control estructural, los diferentes estratos no muestran dislocamientos que lo evidencien, al menos en la parte superior, lo que llevaría a considerar las afirmaciones precedentes como presunciones (Memoria del Proyecto, 1977).

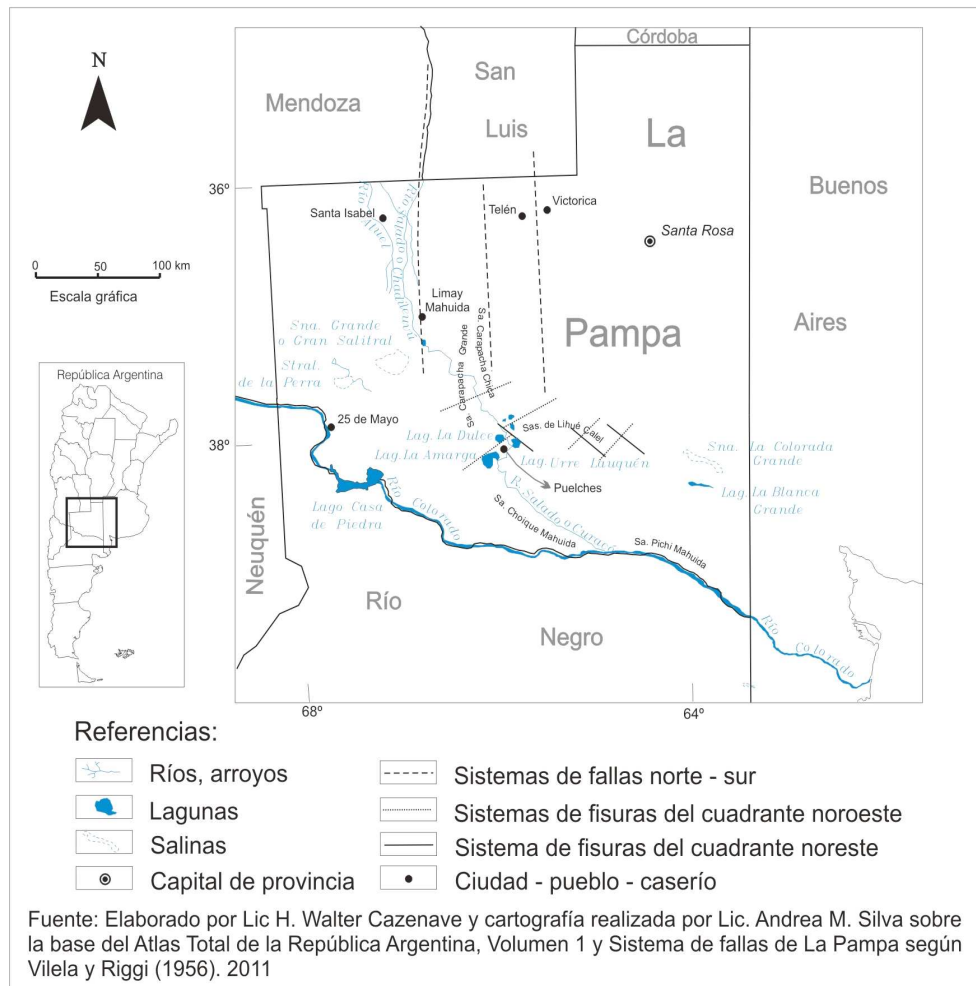


Figura 5.3. El sistema de fallas predominante en la provincia de La Pampa.

Las condiciones geológicas del área ocupada por el conjunto dique-embalse y

Efectos de la represa Casa de Piedra en la variación...

aledaños, pueden referenciarse según los criterios de los geólogos que la estudiaron en detalle. Sobral (1942), Llambías (1975) y Uliana (1974; 1979) las refieren a la Formación Roca o Rocanense, resultante de una ingesión marina en el Cretácico superior Daniano y comienzos del Terciario –Paleoceno–, ocurrida hace aproximadamente unos 70 millones de años; tiene una difusión menor en superficie dentro del área aunque resulta comparativamente muy importante porque ocupa la zona de asentamiento de la presa.

La entrada del mar al continente se produjo por una antigua zona de sutura entre los zócalos cristalinos. La formación fue descrita por primera vez en aldeaños de la ciudad rionegrina de General Roca (de allí su nombre) y se ubica en una faja de límites no bien determinados, que se desarrolló a lo largo de gran parte de los valles actuales de los ríos Negro y Colorado y cuyo extremo occidental se prolonga hasta alcanzar las estribaciones de la cordillera de los Andes. La entrada marina fue tan profunda como para encontrarse en la actualidad restos en las sierras de Chachahuén, en el Sur de Mendoza y Auca Mahuida, norte del Neuquén y el pie mismo de la cordillera de los Andes en la zona de Malargüe (Uliana, 1979).

La formación está constituida principalmente por una sucesión de margas y calizas de origen marino, a las que se agregan mantos fosilíferos muy densos (Seara, s/d; Uliana, 1979). Desde la perspectiva geológica ésta es una formación efímera, ya que su existencia no superó los ocho millones de años, de condición epicontinental y conformada en capas sedimentarias que no sobrepasan los 200 m de potencia.

Como se mencionó precedentemente el ingreso del océano se produjo siguiendo una zona de debilidad de la corteza terrestre, en parte coincidente en forma aproximada con el actual valle del río Colorado, asentado sobre la unión de las masas continentales de Brasilia y Patagonia, inestable y sujeta a fenómenos tectónicos durante un tiempo prolongado (Seara, s/d). Esas ingresiones no fueron privativas de la parte septentrional de la Patagonia actual sino que por el Sur alcanzaron las latitudes del golfo de San Jorge, en el Chubut y del río Turbio en Santa Cruz.

En la zona de Casa de Piedra el Rocanense aflora en *“margas principalmente, de color verde amarillento o verdoso oscuro, con elevado contenido de fósiles bien conservados que contienen delgados bancos calcáreos de 0,10 y 0,50 m y de areniscas finas poco consistentes de coloración grisácea, intercalados”* (Ente Casa de Piedra: Memoria, 1977: 111). Las margas y arcillas aparecen en espesores de 20 a 25 metros y

Efectos de la represa Casa de Piedra en la variación...

en ellas se manifiesta yeso cristalizado en pequeñas capas que no superan los 2 cm de espesor. El panorama de los principales componentes de la Formación Roca en el sector de la garganta de Casa de Piedra se completa con arcillas compactadas, con fósiles y una capa de areniscas con rodados. Las arcillas están muy extendidas en tanto que la capa de rodados, aunque potente en algunos sectores, está cubierta y aparece poco en la superficie del terreno.

La garganta que caracteriza el paso del río en Casa de Piedra ha sido labrada sobre estratos del Rocanense, que tienen una clara correspondencia en ambas márgenes. La presa, cuyo eje está trazado en la parte más estrecha y abrupta, se encuentra fundada en este lugar en unas calizas fosilíferas muy duras y de escasa permeabilidad vertical (Fig. 5.4).

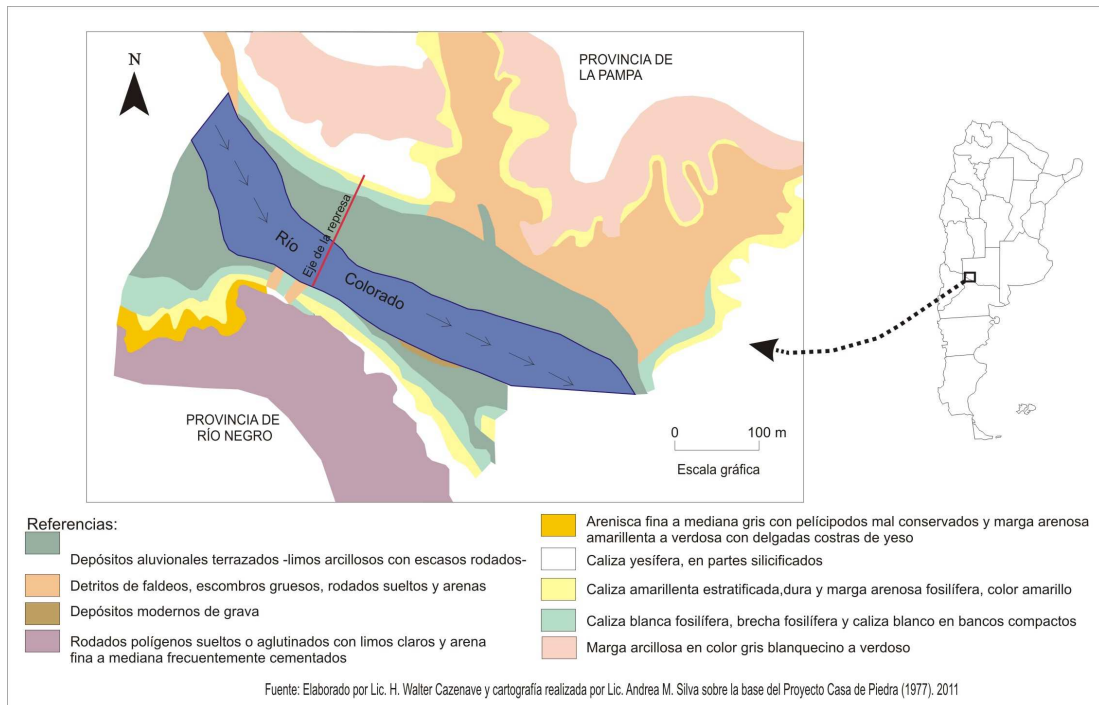


Figura 5.4. Relevamiento geológico de la garganta de Casa de Piedra

Sin embargo, el terreno en contacto con las fundaciones no es homogéneo en cuanto a la roca y esa circunstancia se hace más notoria a medida que el cuerpo de la presa se aleja de la parte central, especialmente en la margen derecha donde, en tramos cortos, las formaciones que actuarán como soportes pasan de conglomerados a areniscas y de éstas a arcillas. En la margen izquierda las rocas de fundación son, principalmente, el manto de rodados tehuelches y las margas rojizas. Esa cierta falta de

Efectos de la represa Casa de Piedra en la variación...

homogeneidad en el terreno fundacional quedó evidenciada durante los trabajos de base al encontrar un sector kárstico, correspondiente a un paleocauce, cuya excavación y salvado complicó y demoró mucho los trabajos en relación con el cronograma original (Ente Casa de Piedra: Memoria, 1977).

En lo que hace al fondo del vaso que forma el embalse de la presa, está constituido principalmente por sedimentos coetáneos o posteriores a la ingresión marina, llamados genéricamente Posrocanenses, cuya presencia se acrecienta a medida que se asciende las laderas del valle fluvial, con terrenos más modernos a mayor altura. En general se trata de sedimentos arcillosos, limo arenosos y arenosos, a menudo fosilíferos, con bancos calcáreos delgados y un elevado contenido de yeso cristalizado. Estos estratos yacen en discordancia erosiva con el Rocanense propiamente dicho.

El dique y embalse de Casa de Piedra están en un área geológica muy particular, ya que toda la región de la que forman parte está constituida por una antigua depresión rellenada con sedimentitas a través de la acción de ingresiones marinas ocurridas hacia finales del Mesozoico y comienzos del Cenozoico temprano. Esas presencias marinas son anteriores a la existencia del río Colorado, que se formó en el Terciario superior como consecuencia del levantamiento de la cordillera de los Andes y se vio obligado a labrar parte de su cauce en los sedimentos de aquellas formaciones (Uliana, 1979).

Una comparación de sondeos efectuados a lo largo del eje de la presa evidencia una marcada correlación estratigráfica de ambas márgenes en algunos aspectos, aunque con ciertas disidencias. Debe entenderse que las referencias entre una y otra orilla están condicionadas por la hendidura de la garganta por donde corre el río, de unos 35 m de profundidad, en relación con las terrazas superiores.

Si se considera la cota 276,39 como máxima del embalse se advierte un estrato de limos y arenas aterrazadas de unos 6 m de espesor, ubicado sobre la margen derecha y que no tiene continuidad en la izquierda. La siguiente capa, formada por rodados tehuelches de unos 8 m de potencia, se corresponde en ambas orillas. Sigue a continuación un potente estrato de marga rojiza yesífera, de unos 12 m, que aproximadamente a 400 m de la garganta entra en discordancia con unas calizas fosilíferas (coquina) de unos 7 m de potencia, que cierran su paso y se continúan en la otra margen. Por debajo también están en discordancia unas calizas silicificadas yesíferas, de parecido espesor, que también se continúan en la orilla derecha, donde

Efectos de la represa Casa de Piedra en la variación...

entran en discordancia con areniscas grises finas a pocos centenares de metros de la garganta. La formación limita de ese lado, también en discordancia, con un potente estrato de arcilitas grises, verdosas y amarillas interrumpidas con algunos lentes de areniscas grises finas.

A continuación hay una capa de calizas arenosas estratificadas y margas amarillas, de unos 10 m de espesor, continuadas en la margen derecha sin interrupción, seguidas de un claro estrato de coquina, también continuado, de unos 7 m, que en la margen derecha entra en discordancia con las arcilitas grises, verdosas y amarillas. El nivel superior de este último estrato está acotado a 249,21 y su piso a 242,72, o sea con un espesor de 6,49 m (Ente Casa de Piedra, 1977). A partir de ese piso comienza el primer estrato de margas gris oscuras, conteniendo a veces nódulos calcáreos, prolongado hacia abajo unos 20 m y continuados en ambas márgenes, lo mismo que una nueva capa de coquina, de unos 5 m de espesor, que se apoya nuevamente en una capa de margas gris oscuras, lo suficientemente potente como para que los sondeos de fundación se apoyen en ella (Fig. 5.5).

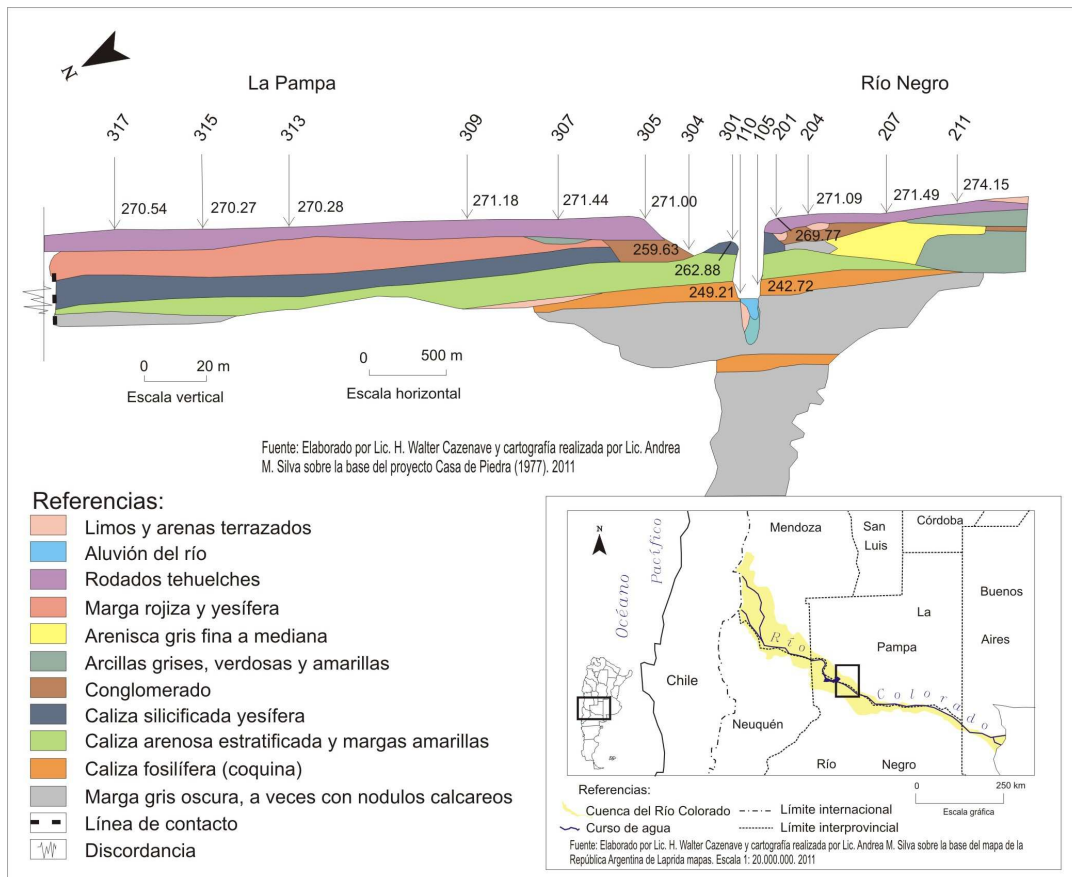


Figura 5.5. Correlación de sondeos en el eje de la presa

Esta sucesión de estratos manifiesta algunas discordancias en las inmediaciones del valle actual pero, contando unos 30 m a partir de la cota superior, no existen las mismas, destacándose la alternancia de la coquina con las margas y la potencia de estas últimas (Ente Casa de Piedra: Memoria, 1977. Planos de información; Nros. 50.007; 50.008 y 50.011).

5.4. Geomorfología zonal: las mudanzas del río

En el área de Casa de Piedra, observada bajo una concepción geomorfológica regional, los elementos más sobresalientes son una serie de surcos subparalelos, de ancho variable y varios centenares de kilómetros de longitud, que se extienden al norte del paraje (Fig. 5.7). Estos surcos, localmente conocidos como “*bajos*”, han sido materia de discusión para los estudiosos. Llambías (1977), en principio, no vacila en adjudicarles la condición de paleocauces del río Colorado, los que habrían migrado hacia el Sur respondiendo a sucesivas elevaciones de la región. Bancho (1977: 108), inicialmente, compartió ese criterio para variar después hacia la idea de “*depresiones de origen erosivo que nacen a distintas longitudes que algunas veces se interfieren y se resuelven en depresiones más o menos amplias*”. Esa conclusión, refirmada por Bancho tras un vuelo de la zona, subraya la ausencia de formaciones aterrazadas, características de la evolución del río y arriesga que podría tratarse de una morfología de fenómenos de erosión eólica que responden a una estructura tectónica del subsuelo. Conviene hacer notar a este respecto que la dirección general de los surcos es aproximadamente la misma que la de uno de los vientos dominantes en la zona: Suroeste – Noreste (Llambías, en Inventario integrado (...), 1980); Bancho, en Memoria del proyecto, 1977: 108).

Bancho (1977) asocia también las formaciones con el sistema de fallas imperante sobre el territorio de la provincia de La Pampa, a las que atribuye el control del curso del río Colorado en algunos lugares y sindicada también como posibles responsables de los bruscos cambios de dirección del fluvio. En investigaciones posteriores Cazenave (1990; 2000), coincidiendo con Llambías, sugiere que se trata de Paleocauces. Para ello se apoya en algunos estudios realizados al respecto de los que cabe subrayar, dada la índole de este trabajo, solamente los aspectos más salientes.

Efectos de la represa Casa de Piedra en la variación...

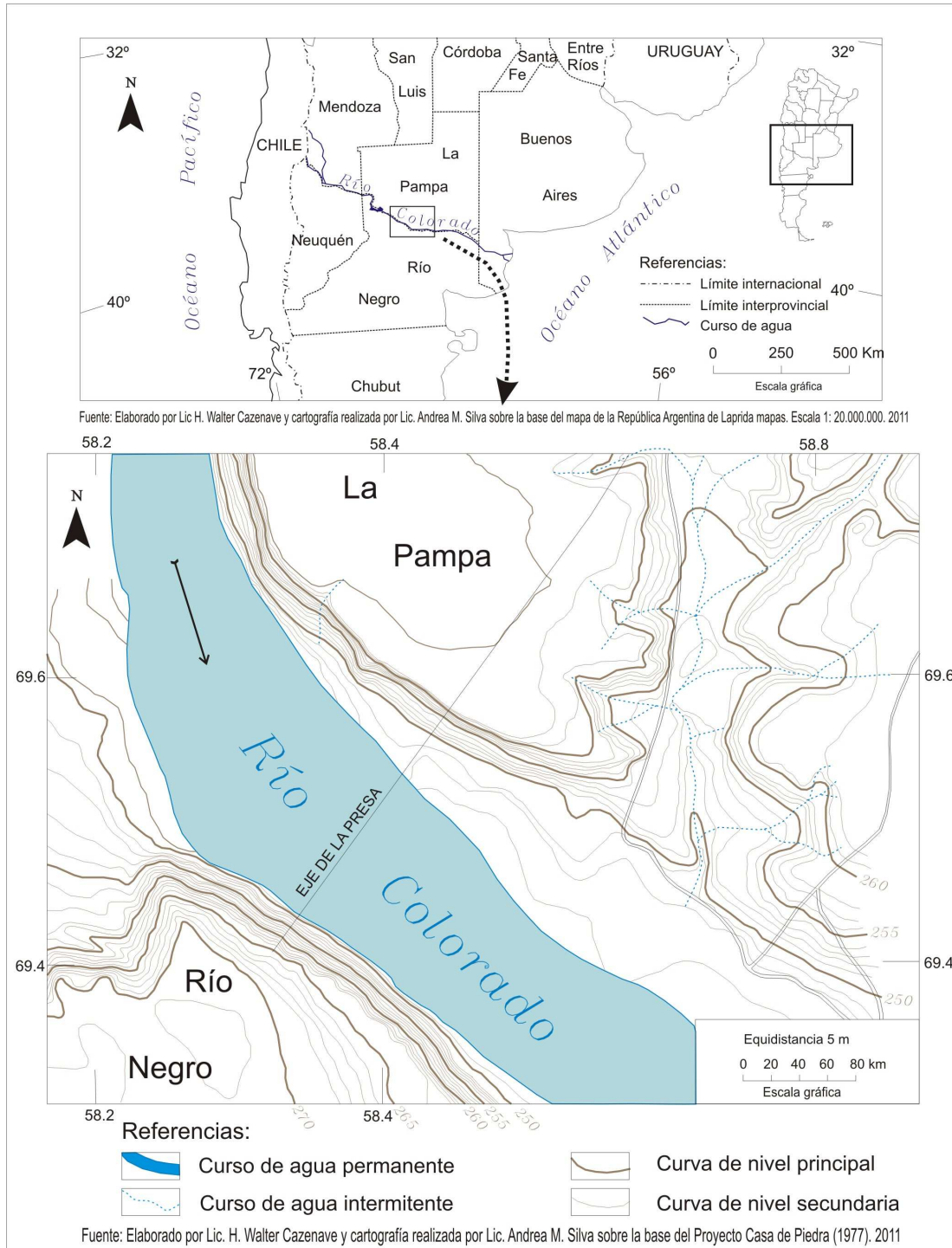


Figura 5.6. Relevamiento topográfico zona de la garganta del río Colorado

Estos cañones no tienen origen “a distintas longitudes” (Banchero, 1977: 108) sino que, haciendo un cuidadoso seguimiento de las trazas, se advierte un origen común unos 20 km al oeste – noroeste de la localidad de 25 de Mayo, en aledaños del paraje

Efectos de la represa Casa de Piedra en la variación...

Gobernador Ayala, en un punto de disfluencia o que al menos así lo parece por tener un inmediato enmascaramiento de las coladas basálticas más orientales de la Payunia (Fig. 5.7). En las inmediaciones de dicha disfluencia existe un patrón hidrográfico de anastomosis muy evidente y anómalo con respecto al entorno, además de similar a otros en formaciones del mismo tipo. Las formaciones aterrazadas se advierten en varias de las trazas, en distintos tramos, algunas con evidencia y otras enmascaradas o degradadas por el tiempo.

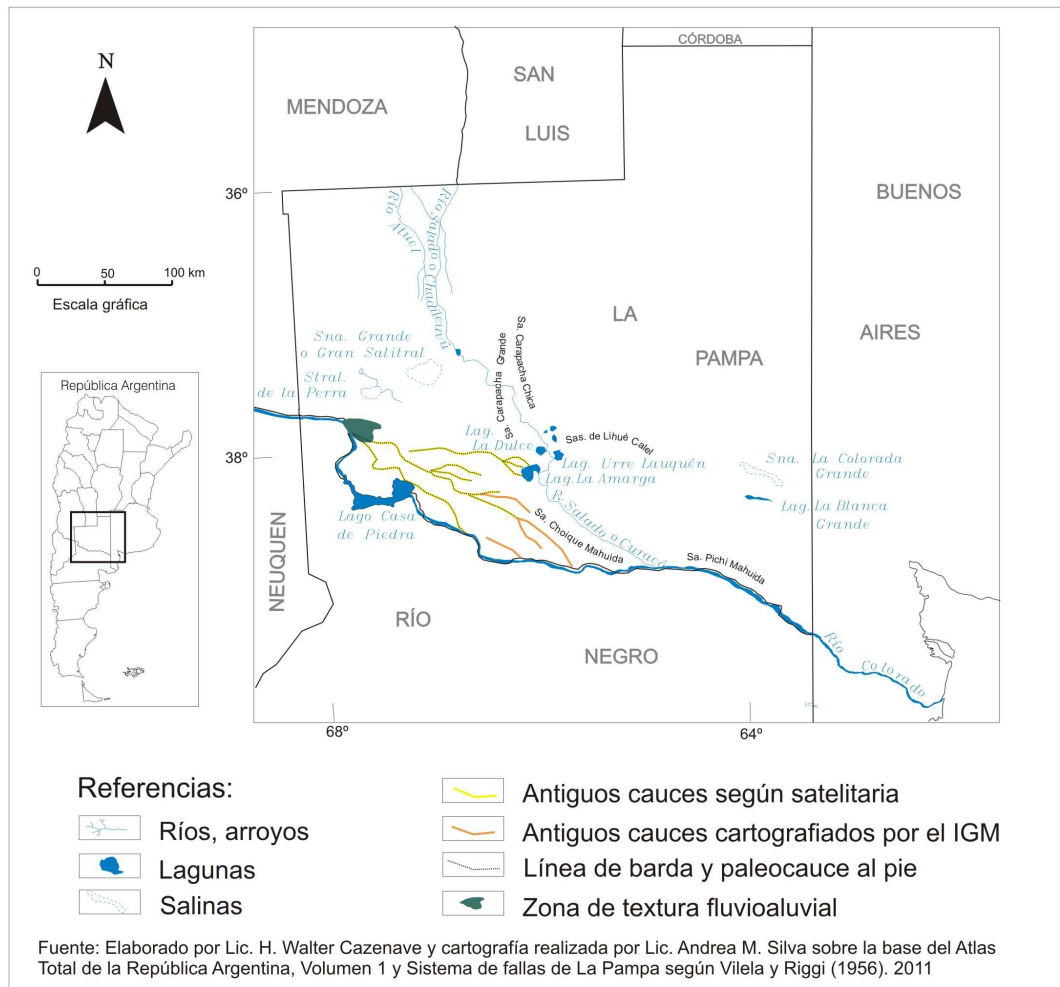


Figura 5.7. Paleocauces del río Colorado

El final de los cañadones, al menos de la mitad de ellos, se articula en sistemas hidrográficos más modernos, según se esbozó en el Capítulo 3. Así ocurre con los más septentrionales, que se conectan con el sistema fluvioalustre del río Salado – Chadileuvú – Curacó, en las inmediaciones de la gran laguna La Amarga. Los de más al

Efectos de la represa Casa de Piedra en la variación...

Sur, en cambio, parecen confluir a un sector del cauce del río Curacó donde, si bien las imágenes de sensores remotos no son muy claras, la textura de las fotografías aéreas es elocuente al respecto (Calmels 1999; Cazenave, 2000).

El amplio valle asimétrico del río Colorado después de Colonia Chica se caracteriza por una barranca empinada en la margen norte que, tras sucesivos escalones, remata en una amplia meseta. La ribera sur, en cambio, asciende suavemente hacia los altos que limitan el valle por ese rumbo. El accidente geográfico en la zona de Casa de Piedra se caracteriza por el estrechamiento del valle y la verticalización de las barrancas, característica que comienza unos 7 km antes del sitio del dique sobre la ribera pampeana y alrededor de 3,2 km en la margen rionegrina.

A partir de una angostura, ubicada unos 2 km antes del brusco cambio de dirección del río hacia el Sur, el cauce va quedando cada vez más confinado entre barrancas, hasta llegar a la garganta; se utiliza esta expresión en sentido geográfico estricto. Tiene unos 800 m de extensión, está encabalgada sobre la curva citada y con el cauce recostado sobre la margen norte, con un ancho medio de alrededor de 100 m. Fuera de la estrechura propiamente dicha el lecho de inundación nunca es menor a 1 km de ancho.

Las características mencionadas en el párrafo anterior cambian pocos kilómetros antes del paraje Casa de Piedra propiamente dicho, donde el valle se vuelve simétrico y estrecho y el río talla una garganta de unos 150 m de ancho, con taludes abruptos, que se elevan más de 20 m sobre el nivel del agua en su parte más alta. Esta formación se prolonga por unos 7.000 m en la ribera pampeana y 3.000 m en la rionegrina (Memoria del proyecto, 1977). Este sitio es singularmente pintoresco para el monótono paisaje estepario norpatagónico. En este lugar la acción erosiva del río ha dejado al descubierto los estratos del Rocanense, algunos de los cuales, por su proyección lajosa, conforman los aleros que acaso sugieren el nombre del paraje, tal como se ha señalado en otro apartado. Es de hacer notar que del estrato de calizas yesíferas y por erosión basal, suelen desprenderse grandes bloques que, en función de la pendiente del talud, se depositan sobre las partes menos empinadas o, cuando aquel es muy abrupto, llegan hasta el agua. De hecho, se advierten bloques sueltos ubicados cerca de la orilla, la que han alcanzado en alguno de estos desprendimientos.

Las terrazas que caracterizan el alto valle del río Colorado en un extenso sector

Efectos de la represa Casa de Piedra en la variación...

de su traza en las provincias de La Pampa y Río Negro y que comprenden a Casa de Piedra, se han conformado por la acción erosiva del río y se distribuyen en tres escalones sucesivos a partir del lecho hasta llegar a la llamada "planicie". Sin embargo, aunque no hay estudios detallados, puede decirse que al menos en el área del dique el río tiene la condición de epigénico, por lo que ha labrado al menos una de ellas en sus propios sedimentos que rellenaron el valle como consecuencia de algún movimiento eustático o isostático. Esta particularidad se advertía a simple vista durante las excavaciones profundas efectuadas en las fundaciones del dique, ya que al menos en una quincena de metros hacia abajo, a partir del lecho del río desviado en ese momento, aparecían claramente diferenciados por color y potencia los estratos fluviales correspondientes a esa serie, que no se correlacionó con la actualidad.

Originalmente todo el tramo de la garganta ubicado aguas arriba del dique, hoy cubierto por las aguas a partir de la puesta en funcionamiento de la presa, contaba con una ribera aluvional, estrecha, desarrollada entre el final del talud de la barranca y la orilla del río propiamente dicha. Se entiende que en un sitio tan reducido el lecho aparente y el de inundación tenían escasas diferencias antes de la construcción de la presa.

Es pertinente destacar que, contando como primera a esta terraza geológicamente moderna, fue en el siguiente nivel, ubicado alrededor de una decena de metros por sobre el lecho del río, donde las excavaciones arqueológicas han localizado los poblamientos humanos (Capítulo 2) más antiguos de toda la provincia de La Pampa y una amplia zona de la Norpatagonia (Gradín, 1984).

En la figura 5.8 se observa la garganta de Casa de Piedra antes de la presa, vista hacia aguas arriba. En primer plano el puente de servicio, primera obra que se construyó para erigir el dique. El eje del muro se ubica en la angostura que se divisa detrás. La terraza de la derecha es el lugar donde Carlos Gradín encontró el más antiguo poblamiento pampeano.

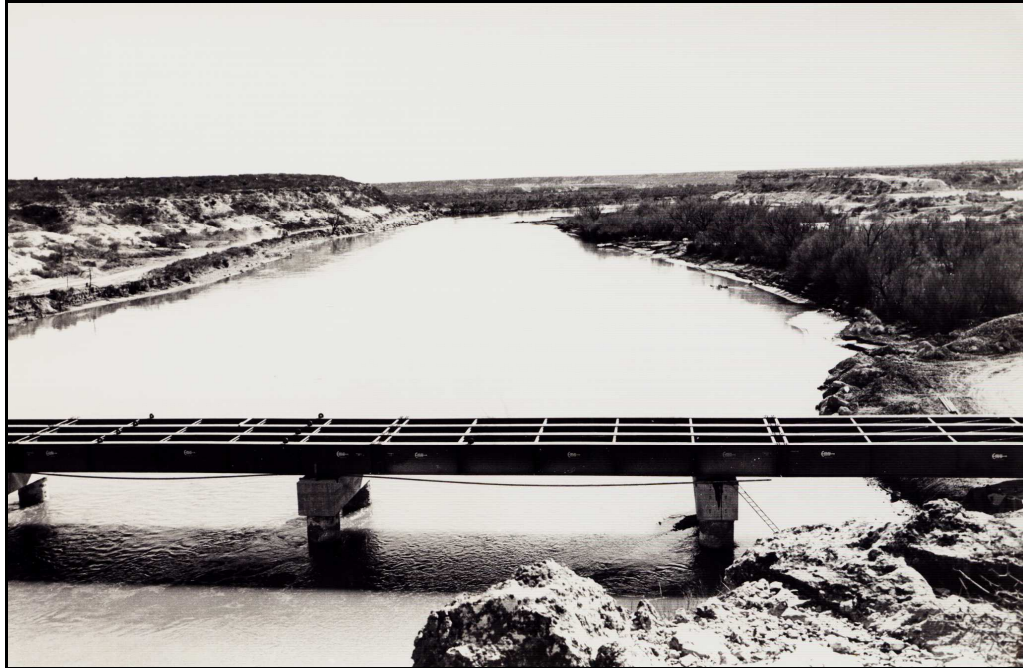


Figura 5.8. El sitio de Casa de Piedra en 1978, visto hacia aguas arriba desde el sector del futuro emplazamiento de la presa. Fotografía Lic. H. Wálter Cazenave

5.5. Una presa gigantesca

El cierre del embalse de la garganta de Casa de Piedra está constituido por un dique de tierra, con núcleo de materiales impermeables a lo largo de toda su extensión, que alcanza a 11 km de longitud. En la parte correspondiente al cauce del río se construyeron las obras de toma, compuertas y aliviadero en hormigón armado (Fig. 5.9). Pertenece a la clase de diques llamados “de materiales sueltos”, caracterizados porque se mantienen en sus emplazamientos debido al enorme peso de los materiales acumulados.

El núcleo de arcilla llega hasta el fondo del lecho aluvional del río, en cota 243, en tanto que el coronamiento de la presa se encuentra en los 287,20 msnm. Toda la sección de aguas arriba del dique está protegida por una capa de rocas seleccionadas por tamaño –rip rap– para atemperar la fuerza del oleaje, abierto a los fuertes vientos del Suroeste; la capa cubre el talud del dique hasta cota 260, un metro por debajo del nivel mínimo del lago. La cota máxima normal de embalse llega a los 283 msnm, admitiéndose una cota máxima extraordinaria de 285,50 msnm. La obra adopta la sección de un trapecio con la base menor hacia arriba. En el coronamiento alcanza a los 10 m y la base

mayor, en la fundación de la obra, supera los 140 m, ambos valores referidos al ancho.



Figura 5.9. Dique Casa de Piedra en 1999. Sobre el paredón, en el círculo, se aprecian la Casa de Máquinas y el sitio donde se ubican las válvulas para riego.

Fotografía Ente Casa de Piedra, 1999.

El dique tiene una traza recta y perpendicular a la garganta a partir de su emplazamiento en la margen izquierda, pero en los últimos 2.900 m la pared gira hacia el Oeste tomando la forma de un arco de circunferencia con radio de 3.600 m.

5.5.1. Propósitos múltiples

Casa de Piedra ha sido concebida como una obra de propósitos múltiples, capaz de aportar beneficios de diversa índole a las tres provincias condóminas, Buenos Aires, La Pampa y Río Negro, en forma individual y a la región norpatagónica en particular.

Regulación. La principal función de la presa es la de regulación de caudales a través de su gran lago de embalse, previniendo de este modo las periódicas e irregulares grandes avenidas u obrando como reservorio en las épocas de magra del río Colorado. En este sentido Casa de Piedra es un reaseguro para el más de un centenar de miles de hectáreas bajo riego existentes en los valles medio e inferior, sobre las provincias de Río

Negro y Buenos Aires.

El vaso de Casa de Piedra tiene una capacidad de 3.660 hm³, cantidad cercana al derrame medio anual del río Colorado, que alcanza a 4.214 hm³ en Pichi Mahuida, volumen que excede la capacidad del vaso en aproximadamente un 14 %. Si bien esa capacidad no resguarda en forma absoluta los sistemas de riego de crecidas extraordinarias permite que, con un adecuado manejo del embalse, disminuyan en mucho los daños potenciales de una crecida excepcional. El lago generado por la represa tiene una extensión de más de 60 km, por un ancho variable, con un máximo de 15 km.

El riesgo desaparecerá completamente cuando se implementen las proyectadas obras de embalse en el alto valle del río, caso de Las Torrecillas y Agua del Piche, o Huelches, sobre la parte final del valle medio. Sobre su principal afluente, el río Grande, tienen prioridad los aprovechamiento hidroeléctricos de Portezuelo del Viento –cuyos estudios han comenzado en 2006– La Estrechura y El Seguro.

Riego. Simultáneamente a su función reguladora el dique ha sido diseñado y construido con una válvula de salida para riego, que lo habilitará en la margen izquierda. En la figura 5.10 se aprecia el área de futuros cultivos, ubicada sobre la llamada Planicie de Curacó, con la posibilidad de regar unas 12.000 ha de acuerdo con el Tratado Interprovincial que rige los aprovechamientos. El riego de la margen rionegrina está condicionado a la futura construcción del dique compensador de Casa de Piedra, en el paraje La Correntada, que permitirá dominar una superficie de alrededor de 30.000 ha. La extensión de esas superficies no ha sido todavía bien determinada por razones edafológicas (Alvarellos *et al.*, 1982). La puesta en marcha de estos cultivos conllevará otro propósito generado indirectamente por la obra, ya que implican el poblamiento y puesta en producción de vastos sectores que hasta hoy permanecen absolutamente estériles y deshabitados, quebrando así la cabecera Norte del desierto que separa en dos partes al país.

Efectos de la represa Casa de Piedra en la variación...

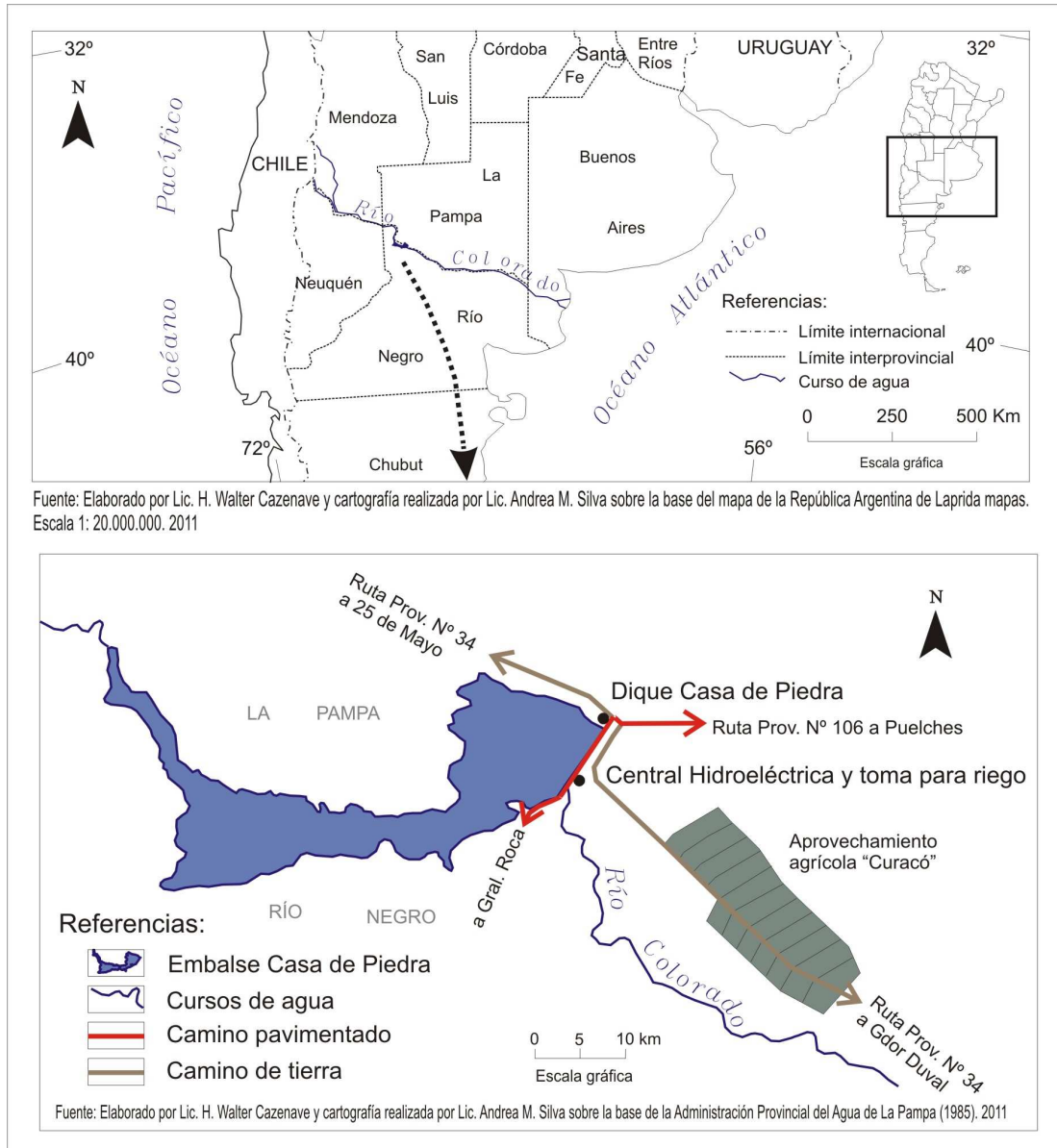


Figura 5.10. Dique Casa de Piedra, lago de embalse y área regable de Planicie Curacó, ubicada sobre la margen pampeana.

Generación hidroeléctrica. Aprovechando la posibilidad del salto existente entre los niveles del embalse y la cota de restitución al río, la central de Casa de Piedra, ubicada a pie de presa, genera unos 260 GWh/año, producidos por dos turbinas de 30 MW cada una; ambas trabajan con un rango de salto de 20 a 38 metros (Alvarellos *et al.*, 1982; Memoria del Proyecto, 1977). Las erogaciones a través de las turbinas, de acuerdo con los registros del COIRCO, se iniciaron en octubre de 2001 y son del orden de los 170/180 m³/s entre agosto y marzo, descendiendo a valores aproximados de entre 80 y

Efectos de la represa Casa de Piedra en la variación...

150 m³/s en los meses restantes. Si bien por el momento la producción de la central se integra a la red eléctrica nacional, está previsto que su generación sirva principalmente al desarrollo regional, a medida que éste avance. Durante las crecidas extraordinarias el excedente que no es turbinado se evacúa a través del vertedero, por donde han llegado a pasar en los meses de verano hasta 342 m³/s, un volumen que entra dentro de lo excepcional (COIRCO, 2002).

Integración regional. Otro propósito de la obra es que su coronamiento actúe como elemento vinculador entre ambas riberas, agregando un paso más por sobre la barrera natural que constituye el río Colorado. A tales efectos ya se encuentra terminada la carretera asfaltada que, a través de Casa de Piedra, vincula el alto valle del río Negro con la zona centro-Sur de La Pampa, ambas regiones de producción dinámica y complementaria, además de obrar como pasaje hacia los centros turísticos y los de alto consumo.

El tránsito a través de Casa de Piedra llena una necesidad de comunicación por sobre el río Colorado en la zona del Alto Valle ya que, hasta el momento de construirse la presa, de los cinco pasos existentes sobre el río –Pedro Luro, La Adela, Pichi Mahuida, La Japonesa y 25 de Mayo– cuatro de ellos servían al sector de los valles medio e inferior en tanto que sólo el puente-dique de 25 de Mayo atendía a la zona más occidental. Agréguese a esto que algunas de estas estructuras, caso de Pichi Mahuida, datan de la época del tendido ferroviario a comienzos de siglo y no responden a las necesidades del tránsito moderno. En los últimos años y debido a la actividad petrolera, el alto valle del río Colorado ha pasado a tener al menos tres puentes más en los parajes de La Pasarela (cercano a 25 de Mayo), La Pasarela II (Desfiladero Bayo, peatonal) y Pata Mora. Al presente está en vías de concreción un puente más en Paso de las Bardas.

Si se considera el tema en una perspectiva general y ajustada se comprenderá que Casa de Piedra tiene, al igual que el resto de las obras a ejecutarse sobre el río Colorado, una importancia que trasciende la condición caminera. Al estudiarse en este trabajo la parte física regional ya se ha visto que la mesopotamia existente entre el Negro y el Colorado, árida y deshabitada, constituye un obstáculo a la integración de la Patagonia septentrional con el resto del país, especialmente la región nuclear de la Pampa Húmeda. La posibilidad de un oasis de regadío encabalgado sobre ambas márgenes del río romperá esa zona desértica en su parte central, atrayendo población

Efectos de la represa Casa de Piedra en la variación...

por la índole misma de los cultivos bajo riego y reducirá el tramo árido y despoblado al norte del interfluvio en esa zona a unos 100 km de extensión. La idea se ha visto corroborada en los últimos tiempos por poblamientos espontáneos en el área y por la decisión oficial pampeana, que creó un asentamiento poblacional en el lugar.

Es evidente que cualquier desarrollo agrícola en la zona del dique traerá aparejada, inevitablemente, la aparición de uno o más centros urbanos que proveerán servicios, como ya ha ocurrido en otras zonas desarrolladas. De la misma manera, favorecerá un incremento tanto de la población como de las actividades consecuentes.

Recreación. Finalmente es de señalar la importancia que están cobrando el embalse y sus alrededores desde el punto de vista recreativo, en el que se pueden destacar, principalmente, dos aspectos. En principio los medios de movilidad modernos dan a los habitantes de los centros poblados rionegrinos y pampeanos la posibilidad de acceder a un lugar de características recreativas múltiples (paisaje, navegación, pesca...) en lapsos que oscilan entre las dos y cuatro horas, respectivamente.

Más allá de ello y como ha ocurrido en todos los lagos artificiales del país, es de esperar la creación de una paulatina infraestructura de aprovechamiento –plantaciones, servicios, habilitación de pesca, balnearios, casas de fin de semana, etc.– que lleven a un poblamiento estable, en parte sustentado por el cada vez más intenso tránsito interprovincial sobre la ruta que corona el dique. Al respecto el ente ejecutivo que maneja la presa ha realizado siembras controladas de peces, a los efectos de conseguir una población ictícola capaz de dar sustento a una actividad de tipo recreacional.

PARTE III

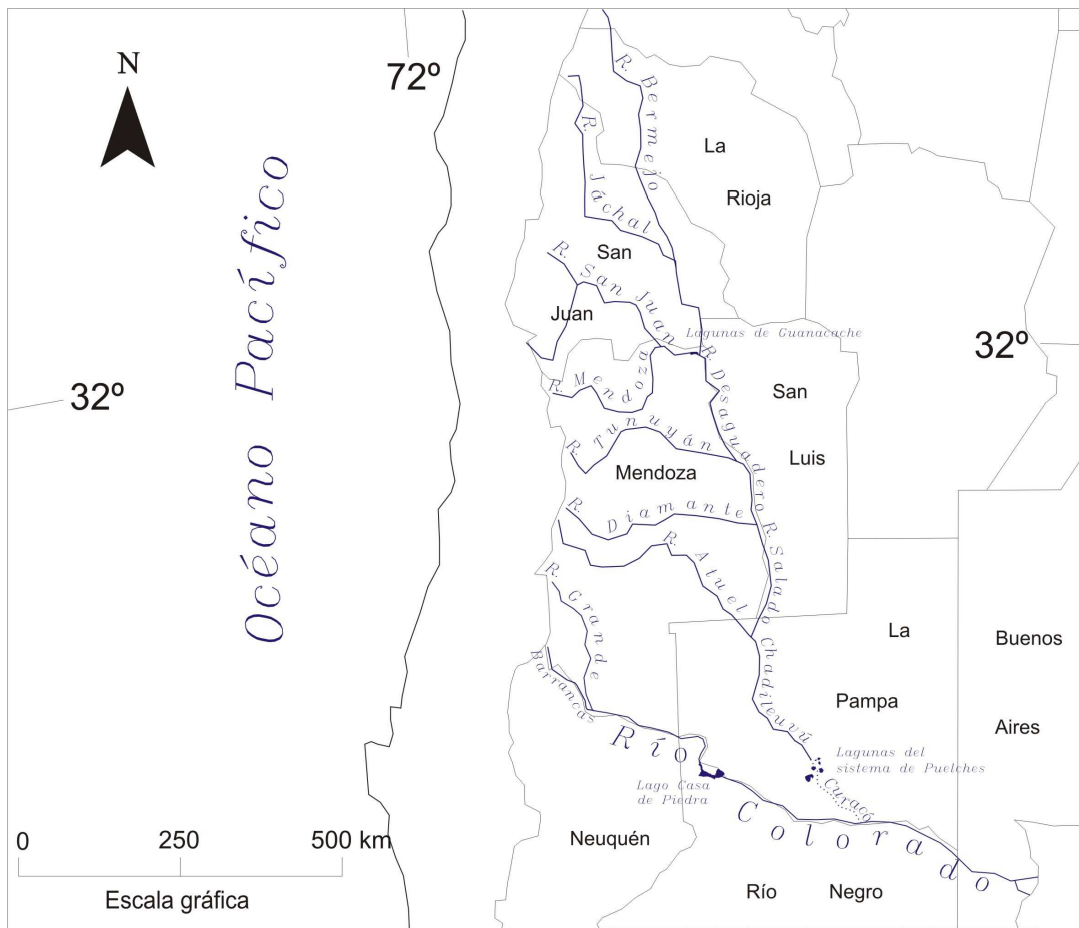
En esta sección se analiza al río Colorado como efluente del sistema Desaguadero – Salado - Chadileuvú – Curacó, sus desfasajes y problemas de conexión. Se estudia el rol del embalse ante la amenaza de salinización y contaminación petrolera en la cuenca inferior y las consecuencias físicas y biológicas de las “aguas claras”. Se estudian los nuevos aspectos hidrológicos del río a través del análisis de los hidrogramas anteriores y posteriores a la construcción de la represa y las nuevas formas hidrográficas del curso, su cuantificación y variación temporal según la cartografía.

CAPÍTULO 6. LA CUENCA DESAGUADERO – SALADO – CHADILEUVÚ – CURACÓ

Si bien la acción antropogénica ha hecho que sus conexiones sean esporádicas, se consideró que la incidencia de la gran cuenca Desaguadero – Salado – Chadileuvú – Curacó, afluente del río Colorado, resulta lo suficientemente importante como para hacer un esbozo de esta singularidad geográfica y su relación con la represa. Como se mencionó precedentemente, la cuenca Desaguadero – Salado – Chadileuvú – Curacó es la mayor de las desarrolladas íntegramente dentro de los límites nacionales –248.000 km²– y comprende total o parcialmente seis provincias argentinas: Catamarca; La Rioja; San Juan; Mendoza; San Luis y La Pampa (Fig. 6.1). Se extiende por aproximadamente 1.000 km de largo, de Norte a Sur y obtiene la mayor parte de sus caudales, muy disminuidos en la actualidad por la merma para riego de sus afluentes, de los ríos que drenan la ladera oriental de los Andes entre los 27° 37 ' y los 34° 30 ' Sur, extendiéndose la cuenca hasta los 38° 50 ' Sur. Originalmente estaba conectada con el río Colorado, del que era afluente y aún en la actualidad los organismos pertinentes la siguen considerando vinculada a ese curso, al punto de figurar en los anuarios hidrológicos dentro del “Sistema del Colorado”, reafirmación de que la conexión existe y que el flujo, aunque en ocasiones excepcionales, aparece (Agua y Energía, 1991; EVARSA 2001).

6.1. Singularidad y funcionamiento hidrológico e hidrográfico

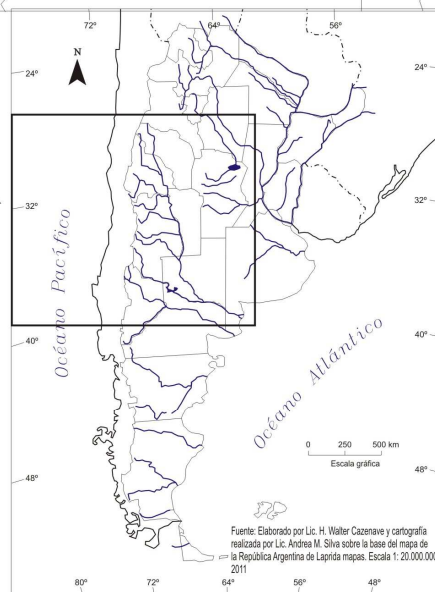
En su tramo inferior, desarrollado íntegramente en la provincia de La Pampa, la cuenca tiene una serie de características que la convierten en una singularidad geográfica, la que puede apreciarse cuando se produce alguno de los periódicos grandes escurrimientos que suelen afectarla, de frecuencia aproximadamente decádica o undecenal (Fig. 6.2). A partir del paralelo 36° Sur el colector comienza a sentir las formas de aporte de su último afluente, el río Atuel, que llega a él por múltiples confluencias, alguna de ellas de tipo “yazoo” que lo acompaña por casi 200 km antes de reunirsele (Difrieri, 1980).



Fuente: Elaborado por Lic. H. Walter Cazenave y cartografía realizada por Lic. Andrea M. Silva sobre la base del mapa de la República Argentina de Laprida mapas. Escala 1: 20.000.000. 2011



Cauce del río Curacó, último tramo del gran sistema del río Colorado.



Fuente: Elaborado por Lic. H. Walter Cazenave y cartografía realizada por Lic. Andrea M. Silva sobre la base del mapa de la República Argentina de Laprida mapas. Escala 1: 20.000.000. 2011

Figura 6.1. El sistema del río Colorado y cuenca del río Desaguadero – Salado – Chadileuvú – Curacó



Figura 6.2. El río Salado-Chadileuvú durante una de sus periódicas crecidas, en proximidades de Santa Isabel, La Pampa. Fotografía Lic. H. Wálter Cazenave, 1973.

Desde aquella latitud el curso está constituido por una serie alternada de sectores encauzados y grandes enlagnamientos y bañados, salitrosos en su mayoría, que alcanzan su mayor expresión en el sistema fluvioalustre de Puelches, donde el conjunto lagunar cubre unos 850 km² y constituye un nivel de base intermedio. A partir de esa depresión y en ocasiones de superar un determinado umbral (Figs. 6.3 y 6.4) las aguas toman su cauce final, de poco más de 120 km de largo, estrecho, labrado en rocas duras y de fuerte pendiente. Localmente se llama Curacó y se une al río Colorado en cercanías de la población de Pichi Mahuida, en una confluencia que, por lo poco significativa pareciera atípica si se piensa que es la expresión física final de una cuenca de un cuarto de millón de kilómetros cuadrados (Difrieri, 1980; Cazenave 1997).



Figura 6.3. Nacimiento del río Curacó, como rebase de la laguna Urre Lauquén (último plano). En primer plano el caserío de Puelches. Fotografía Lic. H. Wálter Cazenave, 1985.

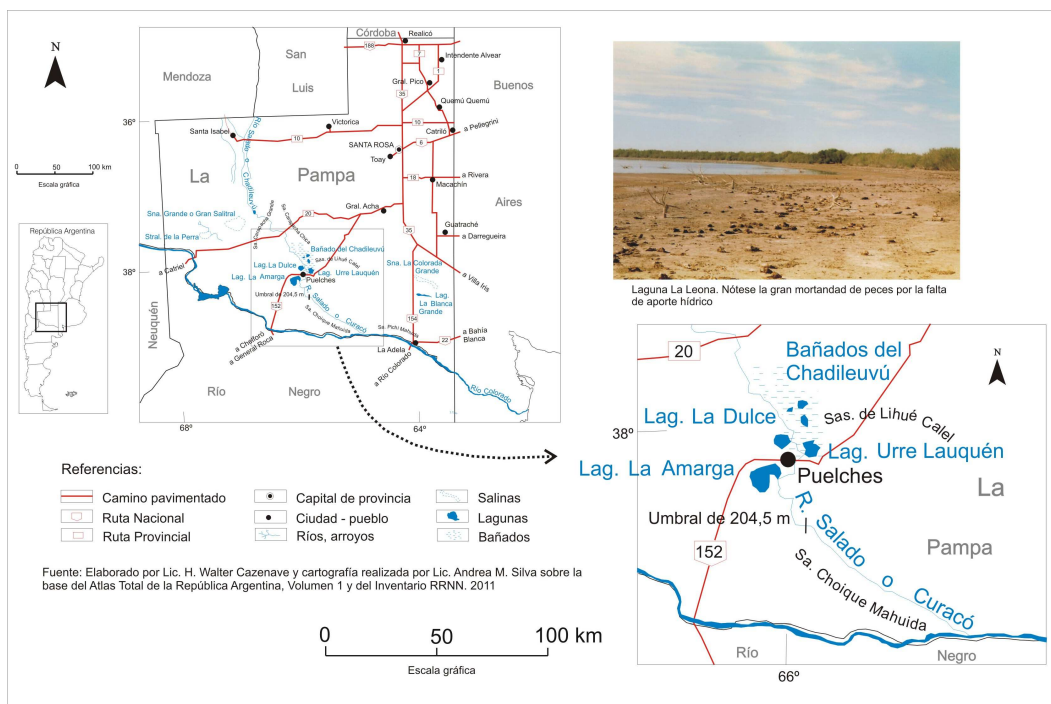


Figura 6.4. Sistema de lagunas y bañados de Puelches y conexión con el río Colorado a través del río Curacó

El conjunto de lagunas y bañados ubicados dentro de la provincia de La Pampa, a lo largo de casi 500 km, se encuentra habitualmente seco. Cuando se producen las crecidas en el curso alto y medio del Desaguadero – Salado las aguas tardan varios meses en llenar esos cuencos, especialmente cuando se trata de los cuerpos lagunares salinos de la depresión de Puelches. Las crecientes de magnitud generalmente ocurren en primavera y verano. Si los volúmenes escurridos son suficientes las aguas colman el sistema de Puelches (Fig. 6.5) y, tras funcionar en la forma antes esbozada, alcanzan un umbral de 204,5 msnm y se encauzan en el río Curacó para llegar al río Colorado.



Figura 6.5. Niños de la localidad de Puelches contemplando escurrir el río Curacó, tras casi treinta años sin agua. Fotografía Lic. H. Wálter Cazenave, 1973.

No hay una frecuencia definida para este suceso pero cabe hacer notar que en el último medio siglo, después de más de 30 años sin que ocurriera, se produjo al menos cuatro veces en una década. Los registros debidamente comprobados en los últimos cincuenta años corresponden a los años 1944; 1973; 1983; 1984; 1985; 1986 y 1987, con la posibilidad de alguna llegada en la década del cincuenta. La falta de datos absolutamente fiables se debe principalmente a la condición territorialiana de La Pampa hasta 1952, con la consiguiente falta de estructuras técnicas y administrativas en el tema hidrografía en general y ríos en particular (Cazenave, 1997; Dirección de Recursos Superficiales, 2000).

6.1.1. Desfasajes temporales. Causa y efecto

El proceso sintéticamente expuesto aquí, constituye un complejo sistema de rebases y conexiones, de cuencos y cauces, cuya culminación –si ocurre– son los escurrimientos por el Curacó y llegada al Colorado y no se completa casi nunca antes de fines del mes de febrero. Es obvio que, salvo caudales excepcionalísimos (como lo fueron los de 1985, que superaron los 100 m³/s) las aguas llegan al río Colorado con un alto tenor salino, producto del lavado de las lagunas y salitrales secos que han debido llenar en su recorrido. Ese caudal fuertemente salinizado altera al Colorado en forma muy significativa, máxime que hacia esa época del año los niveles del colector han tenido una pronunciada bajante, tal cual se puede apreciar en el hidrograma correspondiente (Fig. 6.6) (Agua y Energía, 1991; Cazenave, 1997).

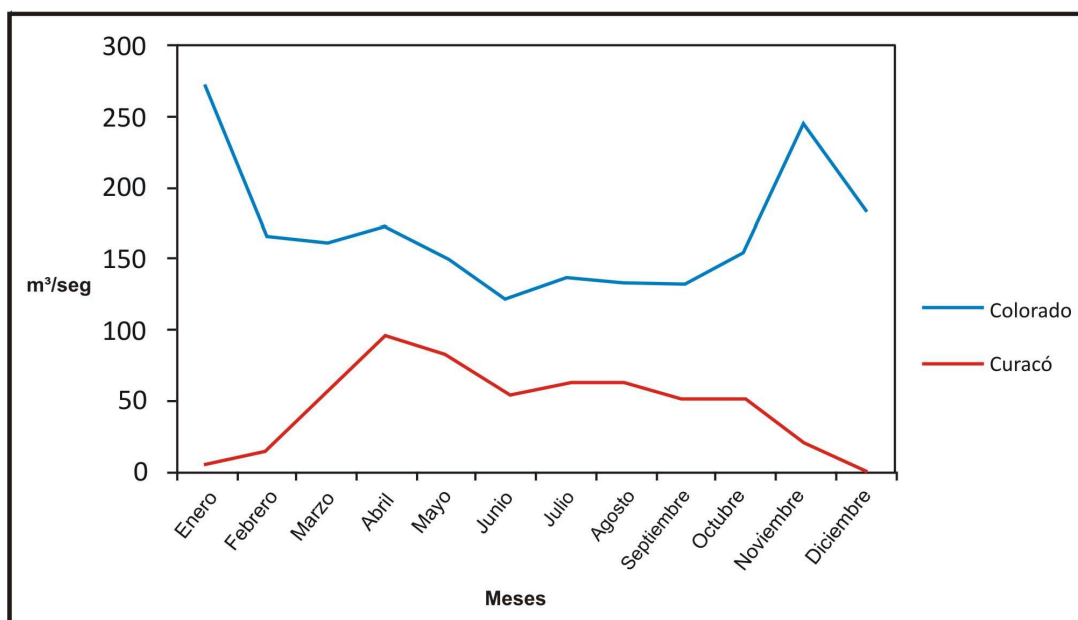


Figura 6.6. Caudal medio mensual de los ríos Colorado y Curacó, 1988.
Fuente: Elaboración propia. Administración Provincial del Agua

Aunque ocurre esporádicamente, los escurrimientos del Desaguadero – Salado – Chadileuvú suelen producirse por dos años consecutivos. En tal caso resultan suficientes para superar el sistema de lagunas y bañados y hacer que las aguas salinizadas aporten al colector mientras éste está en constante disminución estacional, prácticamente desde febrero hasta agosto. La conexión se reitera cuando los volúmenes de agua acumulados en los reservorios naturales del Sistema de Puelches por aportes del río y/o lluvias,

contribuyen ante una nueva crecida estacional para renovar escurrimientos hasta el Colorado (Secretaría de Energía -EVARSA, 1994).

6.1.2. El problema de la salinización

La alteración que causa el ingreso del Curacó en el Colorado es perceptible incluso a simple vista, una circunstancia que se ha acentuado en los últimos años, cuando las aguas del colector han ganado en transparencia por la acción del embalse de Casa de Piedra. Esa percepción se cualifica y cuantifica al analizar los volúmenes hídricos y el tenor salino. Sin embargo las componentes del fenómeno –iniciación, duración, volúmenes de uno y otro curso...– son tan aleatorias que cualquier ingreso de aguas de la gran cuenca del Desaguadero resulta problemática a los efectos económicos y sociales de los ribereños del Colorado aguas abajo del punto de confluencia (Alba y Bianco, s/d).

Si esa carga salina llega diluida en caudales considerables, por encima de los 40 m³/s, aunque tiene incidencia no resulta tan grave. Pero si el tenor aumenta con la disminución de caudales o se mantiene constante durante un tiempo que coincida con la época de riegos, se producen serios problemas de salinización en el colector que impiden su utilización para usos consuntivos.

Los caudales del río Curacó en el otoño-invierno de 1984 llegaron a superar los 70 m³/s, aporte que se vio atemperado porque el Colorado tuvo un estiaje excepcional en el que no bajó de los 100 m³/s. El año siguiente, en la misma época, los caudales tuvieron picos diarios superiores a 60 m³/s pero con el colector llevando aproximadamente la mitad del agua que en el año anterior y por lo tanto, mayor densidad de sales.

En los tratados que regulan el aprovechamiento del río Colorado se fijó un tenor salino de 1,8 microSiemens como máximo en el agua utilizada para riego. En abril de 1985 los caudales del sistema Desaguadero – Salado – Chadileuvú registraban a la entrada de la laguna La Amarga 7,05 mS, valor que se elevaba a 21,03 mS en las aguas de la propia laguna y descendía a 17,6 mS a la salida de la misma para embocar el río Curacó. Cuando las aguas llegaban al Colorado lo hacían con 8,4 mS sobre un volumen de 50 m³/s, que diluían sus sales en el colector, por entonces con unos 130 m³/s, en

franca tendencia decreciente.

La pauta definitiva de la influencia hidroquímica del Curacó en el Colorado podría ser ejemplificada con los aforos efectuados el 15 de mayo de 1985, durante la creciente de aquel año, que vinculó ambas cuencas con grandes caudales (Tabla 6.1). Antes de la confluencia con el Curacó el río Colorado tenía valores salinos del orden de 1,2 mS; después de recibirlo subía a 2,3 mS, circunstancia comprensible si se tiene en cuenta que el propio Curacó estaba por entonces en valores del orden de 4,5 mS, menores con relación a los mencionados más arriba por el lavado de cauces durante el tiempo transcurrido (Administración Provincial del Agua, 1985). Desde el aire era perceptible la condición diferenciada de ambos cursos que, después de la confluencia, mantenían una distinta coloración por más de 2 km (Fig. 6.7).

Río	Fecha	mS
Curacó	15.05.85.	4,5
Colorado (antes de Pichi Mahuida)	15.05.85	1,2
Colorado (después de Pichi Mahuida)	15.05.85.	2,3

Tabla 6.1. Salinidades comparativas de los ríos Curacó y Colorado
Fuente: Administración Provincial del Agua de La Pampa



Figura 6.7. Confluencia del Curacó con el río Colorado, creciente de 1985.
En los distintos tonos se advierte la condición del afluente. Fotografía
Lic. H. Wálter Cazenave,

El fenómeno generó una alarma de orden regional y nacional por las posibles repercusiones socioeconómicas y durante un tiempo inhibió los riegos de la cuenca baja, habitualmente iniciados en septiembre. El consejo consultivo de CORFO señaló que si el agua del Colorado llegaba a exceder, como efectivamente sucedió en algún momento, los 1,8 mS las consecuencias podían ser muy graves, con pérdidas del orden de los 6 millones de dólares e inutilización de campos por salinización. El valle inferior del río Colorado debió interrumpir el riego tardío, ya en el mes de abril, ante la amenaza de daño permanente en sus plantaciones (Nota administrativa de CORFO, 1985; La Nueva Provincia, 11.04.85).

La temporada de riego en los valles medio e inferior del Colorado comienza al menos un mes antes de que los efectos del deshielo cordillerano en la alta cuenca del río se hagan sentir en el aumento del caudal del Colorado, única forma de atemperar por dilución la salinidad de las aguas hasta la habilitación del dique Casa de Piedra. En condiciones semejantes también se vería afectada el agua potable para consumo humano, ya que directa o indirectamente se abastecen del río en esa zona las localidades de Río Colorado, Hilario Ascasubi, Pedro Luro, Juan Pradere y Villalonga.

La circunstancia mencionada potenció la necesidad de la finalización de Casa de Piedra, por entonces en construcción y con algunos altibajos en su desarrollo por problemas políticos y económicos. La obra constituía la solución definitiva al grave problema planteado, ya que en apenas un par de años más estaría en condiciones de regular el curso casi por completo (La Nueva Provincia, 21/04/85; La Nación, 24/04/85).

En 1988 el río Curacó batió todos los registros históricos al aforarse, desde abril hasta septiembre incluido, caudales que alcanzaban a la mitad de lo que en ese momento llevaba el colector en la cercana estación de Pichi Mahuida. Se registraron picos de más de 100 m³/s y un derrame anual de 1.464 hm³, equivalente a más de un tercio de la descarga anual media del Colorado. La excepcionalidad de los caudales registrados en 1988 se comprende mejor si se considera que a partir de 1985 no se producen en régimen natural sino que son producto del manejo en obras de control realizadas sobre la laguna La Amarga y los bañados del Curacó. Dicho manejo es parcialmente efectivo ya que, una vez alcanzado cierto nivel, resulta imposible derivarle nuevos volúmenes a los cuencos por su particular hidrografía (Secretaría de Energía, 1994; Dirección de Aguas de La Pampa, 2000).

La situación motivó un emprendimiento conjunto de La Pampa, Río Negro y Buenos Aires que se concretó en obras hidráulicas de derivación sobre la laguna La Amarga. Hasta una capacidad limitada, aproximadamente 850 hm³ estando vacío el cuenco, estas obras previenen el problema pero que de ninguna manera lo eliminan, especialmente cuando un ciclo climático rico en nieves satura toda la cuenca Desaguadero – Salado – Chadileuvú en época de deshielo.

6.1.3. Posibles soluciones

Aunque el problema descrito en los apartados anteriores es esporádico y depende de varios factores, su misma aleatoriedad y la importancia socioeconómica del área afectada por el fenómeno hicieron que se esbozara la posibilidad de soluciones integrales, ya que las mencionadas obras hidráulicas sobre La Amarga tienen validez mientras no se colme la capacidad del cuenco. El problema tiene una mayor gravedad en función de la condición climática que rige a la extensa cuenca y a su capacidad de embalse artificial y natural, muy considerable esta última dada la profusión de lagunas y bañados. Sin embargo, no se puede ignorar que se han dado ciclos durante los cuales los aportes hídricos superaron todos los cálculos, con el previsible final de la salinización del colector durante el tiempo que duró la conexión y consecuentes aportes de la cuenca Desaguadero – Salado – Chadileuvú – Curacó.

Otra posibilidad de solución está dada por el paralelismo y cercanías en que se desarrollan los ríos Colorado y Negro, lo que hace que formen una mesopotamia, con una meseta entre ambos. Desde hace mucho tiempo se ha planteado la interesante posibilidad de considerar a ambos cursos como elementos complementarios. En tal sentido las soluciones apuntaron a integrarse a un antiguo proyecto: el trasvasamiento de caudales del río Negro al Colorado, acción que permitiría la ampliación en mucho de las superficies a regar en el segundo de ellos y disminuiría cualquier aumento de sales. El río Negro lleva una media de agua aproximadamente ocho veces superior a la del Colorado y, según fuera la traza de la obra, contemplaría también otro tipo de aprovechamientos, hidroeléctricos y de regadío, por ejemplo.

Sin embargo esta posibilidad, que tiene distintas alternativas geográficas de concreción, nunca se consideró seriamente por las dificultades técnicas, políticas y económicas que ofrece. Su valor para atenuación de sales transportadas por el Curacó

perdió asidero con la construcción y puesta en marcha de Casa de Piedra. Con los programas de desembalse y pronósticos de escurrimiento debidamente aplicados, el embalse permite erogar caudales suficientes como para reducir la salinidad del Colorado alterada por los aportes de la cuenca del Desaguadero. Sin embargo el trasvasamiento de caudales del río Grande a la cuenca del Atuel, previsto en el acuerdo interprovincial, reactualiza aquella posibilidad, contemplada en dicho tratado (COIRCO: Bases para el acuerdo interprovincial (...),1983).

6.2. El embalse de Casa de Piedra y los hidrocarburos

En los últimos dieciocho años la actividad petrolera de la región norpatagónica se volcó fuertemente sobre las cuencas superiores y de alimentación del río Colorado como consecuencia de la disminución y agotamiento de otros yacimientos situados en la parte inferior de la cuenca alta. Esta actividad, llevada a cabo en zonas montañosas y de fuertes pendientes, produjo numerosos episodios de contaminación del río por petróleo, ya fueran debidos a negligencia, accidentes o por la acción climática, especialmente crecidas súbitas por lluvias intensas. En estos casos, la causa resultaba ser frecuentemente la ruptura de oleoductos, al ser descalzados por los torrentes o el desborde de piletas de desechos petrolíferos, los que eran arrastrados al río.

También hubo problemas ocasionales de contaminación por descarga directa en el cauce o deficiencias en el proceso de separación del crudo de las aguas de purga. En el lapso que va desde 1983, cuando se registró el primer evento, a 1992 ocurrieron 30 episodios. Estos tuvieron un promedio de duración para cada uno de 4 días, si bien en enero de 1992 hubo uno que se prologó por 14 días. El año más castigado fue 1988, cuando hubo 9 accidentes (Fernández de Rubinich, 1993).

A lo dicho habría que agregarle que, si bien estos episodios fueron manifestaciones eventuales, de carácter accidental, inicialmente, las compañías petroleras actuaron sin mayores cuidados para con el equilibrio fluvioecológico, llegando a volcar los desechos en él en forma totalmente desaprensiva.

El ejemplo más elocuente de lo señalado fue el caso de los yacimientos de Puesto Hernández, desde donde por largo tiempo se vertió una media de 600 tn diarias de aguas de purga utilizadas en la recuperación secundaria del petróleo durante el

período 1989-92, en etapa de llenado del embalse de Casa de Piedra. Por esta última circunstancia, sumada a la condición mensual de las mediciones de sales, es posible que el hecho no se detectara en los registros consultados. Durante el mismo período el aporte total fue del orden de las 880.000 tn (Fernández de Rubinich, 1993). Semejantes condiciones llevaron a que la Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación calificara al Colorado como “el río más contaminado del país” (La Arena, 22/10/1998).

La contaminación por petróleo resulta desastrosa para cualquier curso de agua ya que no sólo afecta la potabilidad del mismo, tanto para personas como para animales y vegetales cercanos a la orilla. También perjudica la actividad industrial y comercial por el descrédito que se genera, ante la sospecha de estar contaminados los productos de la región. Asimismo altera la producción hidroeléctrica por las interrupciones al flujo y los ecosistemas fluvial y terrestre, incluyendo la contaminación de capas freáticas. En el caso de extenderse a las tierras agrícolas las convierte prácticamente en irrecuperables.

El petróleo afecta gravemente a cualquier manifestación de vida, ya sea a través de la alteración física de los sistemas tegumentarios o químicas, en formas directas e inmediatas o posteriores, como es el caso de los cánceres. Es particularmente riesgoso en el caso de los plaguicidas ya que una mancha de petróleo los concentra en altas proporciones (Behnke, 1979).

Los derrames de hidrocarburos no permanecen por tiempo indefinido en el río, ya que son arrastrados y, en parte depositados en las costas; si el petróleo se introduce en los canales de riego se corre un altísimo riesgo de arruinar definitivamente las plantaciones. En caso de alcanzar aguas tranquilas, como es el caso de un lago, las fracciones más livianas del hidrocarburo no solamente flotan sino que pueden ser arrastradas por el viento y ser extendidas en películas finísimas sobre las orillas, afectando directamente la vegetación. Los componentes más volátiles desaparecen en poco tiempo pero el resto de la materia flocula y acaba por hundirse.

La presencia de petróleo en el agua afecta también a las algas fijadas, comunes en el río Colorado y a los microorganismos del agua. Los animales mayores, especialmente las aves acuáticas, se ven afectados por la infiltración o adherencia del hidrocarburo en sus plumas y piel, con múltiples consecuencias, casi todas conducentes a la muerte directa o indirectamente. Las más reducidas cantidades de petróleo pueden significar un riesgo de muerte para muchas formas de vida acuática, riesgo que se ve aumentado por

las dificultades de limpieza, que prolonga el tiempo de permanencia en los distintos medios (Balech, 1978; Behnke, 1979).

Para considerar en su real magnitud los episodios de contaminación por hidrocarburos debe tenerse en cuenta que el Programa Unico de Aprovechamiento Interprovincial. Este programa rige el manejo hidroquímico de las aguas del Colorado y establece como único aporte salino al caudal del río el correspondiente a las aguas de retorno de riegos. De este modo, las aguas de purga volcadas durante largo tiempo resultaban totalmente inadmisibles. Acuerdos posteriores entre el organismo interprovincial –COIRCO– y las empresas extractoras mejoraron las condiciones de seguridad ante posibles derrames, reduciéndose notablemente la frecuencia antes señalada, aunque sin desaparecer del todo los accidentes (La Arena, 28/02/02).

La construcción y cierre del dique de Casa de Piedra significó un elemento nuevo y positivo para los aprovechamientos de aguas abajo en referencia al problema de los derrames de hidrocarburos. Esto es debido a que los mismos, una vez que alcanzan el embalse se frenan y diluyen en él, aunque siguen generando riesgo.

Ante la gravedad de los episodios ya señalados y en virtud de los acuerdos alcanzados entre las compañías, COIRCO y la Nación se efectúa desde 1988 un programa de relevamiento y monitoreo de contaminación en el embalse. En 1999 el informe oficial consignaba que en la entrada del lago se había detectado la presencia de hidrocarburos aromáticos polinucleares en sedimentos de fondo. La forma registrada fue *acenafteno*, que apareció en concentraciones de 0,0183; 0,0146 y 0,0104 para los perfiles superior, medio e inferior de las muestras, respectivamente. El valor guía para la protección de la vida acuática para dicho compuesto es de 0,00671, expresado en $\mu\text{g/g}^{-1}$.

Hasta 2009, últimos datos suministrados por el COIRCO a través de las campañas de secuencia anual, los registros en HAPs estaban en los valores guía establecidos o por debajo de ellos, manteniéndose el embalse en condiciones adecuadas para todo uso y para la vida acuática. Se hace evidente que los valores mejoran y consolidan esa condición a partir del año 2002, cuando empieza a dar resultados efectivos el acuerdo entre las empresas petroleras y la entidad de cuenca interprovincial (COIRCO, 2001; 2002; 2003; 2004/2005 (a); 2004/2005 (b); 2006; 2006/2007; 2008; 2009).

6.3. La supresión de sedimento en los canales

La disminución del caudal sólido transportado por el río Colorado ha tenido algunas consecuencias notables en la actividad antropogénica en los valles medio e inferior, según se indica a continuación, mereciendo considerable atención y estudios de las instituciones especializadas del área.

6.3.1. Consecuencias físicas

El sedimento en suspensión que llevó en sus aguas el río Colorado hasta la construcción de Casa de Piedra, al margen de los problemas de acumulación que generaba, cumplía una notable función de impermeabilización en los canales de riego. Durante los primeros años de la colonización, tanto en la zona de Colonia Juliá y Echarren como en Pedro Luro, al cesar los sucesivos riegos en los canales de tierra, quedaba adherida al fondo y a las paredes una capa de sedimento fino que, valga la expresión, “sellaba” la microporosidad del área mojada del canal, disminuyendo en mucho las pérdidas por infiltración mientras esa capa se mantuviera húmeda. Esa cubierta se veía reforzada anualmente, si bien la disminuían las mondas imprescindibles al funcionamiento del canal.

La circunstancia está claramente expresada por Magnani cuando dice:

“Y ese estado de equilibrio se pierde a partir de la habilitación de las grandes obras hidroenergéticas que retienen en sus vasos los sedimentos trasportados por los ríos, transformando las “aguas turbias” en “aguas claras”, sin material en suspensión. En el proceso remoción-reposición mencionado sólo resta el de remoción, tarea que los regantes no pueden dejar de realizar pues, aunque la sedimentación no exista, sí perdura el desarrollo de la vegetación en desmedro de la capacidad de conducción. En consecuencia, las pérdidas por filtración en los canales se han incrementado enormemente y, al percolar en profundidad, han engrosado los volúmenes de agua subterránea almacenados, elevando sus niveles freáticos (...)” (Magnani et al., 1995: 52).

En los últimos diez años, al habilitarse nuevas áreas bajo riego, coincidentes con la acción de la presa en la disminución del sólido, se pudo comprobar que la eficiencia de riego en las mismas era muy baja, no sólo en los primeros riegos sino ya en los años subsiguientes. La causa evidente era la ausencia de sedimento depositado, que dejaba

abierta la porosidad natural de los canales. La circunstancia, paralelamente, generó otro serio problema ya que la consecuente infiltración provocó de inmediato el ascenso de las capas freáticas, con el consiguiente riesgo de salinización.

El problema no es nuevo en el país, ni tampoco en el mundo. Podría decirse que todas las áreas que han procurado el desarrollo a través de la construcción de grandes presas de embalse lo han sufrido de uno u otro modo. Quizás el caso más notable es el del proyecto de Central Valley, en California, Estados Unidos de Norteamérica, donde se perdieron 8.500 ha por este efecto, nominado como de las “aguas claras”, entre otros casos similares que llevaron a que en ese país el revestimiento de canales sea un punto muy importante en cualquier emprendimiento de tierras bajo riego.

En Argentina el fenómeno se dio tempranamente en la provincia de Mendoza, con los embalses construidos sobre los ríos Atuel (El Nihuil y Valle Grande) y Diamante (Agua del Toro y Los Reyunos) que ampliaron el riego en la zona sur de la provincia, sin prepararla para el problema de la infiltración. Así podría estimarse que los perjuicios generados se remontan a 1948, con la construcción de El Nihuil (Magnani *et al.*, 1995).

El fenómeno, que se ha dado en circunstancias similares en otros lugares del país (Alto Valle del río Negro, por ejemplo) ha obligado a la asunción de *“una visión integral, sistémica y multidimensional” de los aprovechamientos fluviales, haciendo que el estudio ambiental desempeñe un papel muy importante y superando la visión simplista del recurso agua-suelo. Bajo este análisis los grandes emprendimientos para aprovechar los recursos hídricos, han pasado a ser considerados como motores de grandes transformaciones en los ecosistemas con los que se hallan vinculados. Resulta notable constatar que esas transformaciones tienen variación temporoespacial, ya que pueden manifestarse en tanto en el corto como en el mediano y largo plazo y registrarse a grandes distancias de las obras que las generan.*

“La globalidad, complejidad y dinamismo de las cuestiones ambientales imponen el agotamiento del modelo recursista, a la vez que los efectos de la degradación y deterioro ambiental (suelos, agua, etc) se hacen cada vez más evidentes y deterioran la calidad de vida a la que aspira la población” (Landriscini *et al.*, 2005: 3). Lo anteriormente expuesto ha llevado, también, a un replanteo conceptual y metodológico, donde cuentan en forma importante la identificación de los ambientes naturales y sociales, la identificación de las áreas críticas y los efectos interactuantes y la percepción del fenómeno por parte de sus destinatarios últimos: regantes, ribereños, operarios, etc.

En la cuenca media del río Colorado los efectos de las “aguas claras” generadas por el embalse Casa de Piedra se han manifestado agudamente en el primero de los emprendimientos agrícolas de consideración la Colonia Juliá y Echarren, que ocupa unas 12.000 ha en la margen rionegrina (Figs. 6.8 y 6.9). Hacia finales del año 2004 se estimaba en más de 400 ha la superficie con serios perjuicios, tanto por haber sufrido salinización como por disminución en la rentabilidad de los cultivos, que en la mayoría de los casos debían ser erradicados por especies de mayor adaptación y menor rendimiento. En los aprovechamientos más reducidos diseminados a lo largo del tramo fluvial en cuestión, ninguno mayor de 300 ha, no hubo manifestaciones al respecto (Comunicación personal de pobladores, 2004).



Figura 6.8. Predio de la colonia Juliá y Echarren (RN), despojado de cultivos por el ascenso de las capas freáticas. Fotografía Lic. H. Wálter Cazenave, 2004.

El perjuicio de las “aguas claras” puede sintetizarse en tres formas principales:

- a) Pérdida de nutrientes orgánicos e inorgánicos aportados por el sedimento.
- b) Pérdida de la capacidad de sellado de los canales por disminución o ausencia de limos y arcillas y aumento de la infiltración.
- c) Consecuente elevación de la capa freática y perjuicio en los cultivos.



Figura 6.9. Una parcela bajo riego de Juliá y Echarren (RN) disminuida en su valor productivo por desecación de frutales e implantación de cultivos menos rentables.

Fotografía Lic. H. Wálter Cazenave, 2004.

Lo relativamente nuevo del fenómeno explica la ausencia de estudios en el área, que se hacen necesarios sobre todo ante el funcionamiento de una red de riego compuesta primordialmente de canales de tierra.

6.3.2. Consecuencias biológicas

La transparencia de las “aguas claras” trajo aparejado un singular fenómeno de índole biológica como lo fue la proliferación de algas, nutridas de la mayor cantidad de luz que pasaba y podía penetrar a más profundidad. Su crecimiento y el de plantas vasculares como la *Potamogeton sp.* se hizo tan rápido que la densidad comenzó a crear problemas en los canales, especialmente por la reducción de su capacidad de conducción. La proliferación y crecimiento de estas plantas –vulgarmente conocidas como “lama”– se produce durante los meses de mayor calor, por lo que ese fenómeno es coincidente con la época en que se requiere más agua para los cultivos. Ello obliga a una tarea adicional por parte de los encargados de riego al tener que desmalezar, previendo obturaciones, roturas y desbordes en los canales de tierra. Las estimaciones de un fenómeno similar en el Alto Valle del río Negro señalan que obliga a la disposición de un 20 % más de personal, con los costos consiguientes (Landriscini, 2005).

En el valle inferior del río Colorado se estudiaron diversas posibilidades de reducir la vegetación acuática, probándose en algún momento con un “método biológico”, como lo fue la introducción de la *carpa del Amur*. Este pez devorador de algas inicialmente pareció ser una solución aunque después se vio que, con el crecimiento, limitaba su utilidad. La efectividad de la carpa era mucho mayor al cerrarse los canales de drenaje por los extremos, ya que quedaba confinada a ese ámbito, pero disminuía notablemente si se la ubicaba en aguas libres, ya fuera de canales de riego o en el álveo del río.



Figura 6.10. Revestimiento de canales con lámina impermeable. Una solución transitoria al problema de las aguas claras en el valle medio del río Colorado.

Fotografía Lic. H. Wálter Cazenave, 2004.

Los últimos ensayos en agosto de 2005, con vistas a una atemperación del problema en la zona de Juliá y Echarren consistieron en el revestimiento de los canales principales con lámina de membrana de aluminio. Sin embargo, esta solución además de onerosa, motivó problemas de vandalismo bastante frecuentes (Fig. 6.10).

CAPÍTULO 7. NUEVAS FORMAS HIDROLÓGICAS

En el presente capítulo se expone en forma cuantitativa cómo la presencia del dique de Casa de Piedra influyó radicalmente en el comportamiento hidrológico e hidroquímico del río Colorado a partir de la construcción del embalse. En los registros originales de las estaciones Pichi Mahuida y Paso Alsina suministrados por COIRCO a las provincias condóminas del río, constan los cuatro aforos mensuales (excepcionalmente cinco) que se realizaban en cada una de las estaciones. A esos registros se les calculó media, máxima y mínima y a partir de esos valores originales, se calcularon las similares medias anuales. Para el trabajo se buscó un paralelismo temporal entre ambas estaciones, por lo que las series “anteriores” (se refiere a las previas a Casa de Piedra) comienzan en 1983, año en que comienzan los registros de Paso Alsina, si bien Pichi Mahuida empieza mucho antes. El límite inferior de los registros considerados “posteriores” es junio de 1993, ya que a esa fecha los volúmenes ingresados al vaso eran ya muy considerables, alcanzándose la cota de máxima de 283 msnm poco más de un año después. El llenado del vaso había comenzado en julio de 1989.

Se graficaron los valores señalados y se los relacionó en tres formas que sugiere la lógica de análisis, a saber: **a)** antes de la presencia y funcionamiento del dique: **b)** después de la misma y **c)** en forma conjunta, antes y después del emplazamiento de Casa de Piedra. Esto se realizó a los efectos de resaltar y analizar las diferencias. En forma complementaria se optó por comparar y entrecruzar los distintos aspectos hidrológicos registrados a los efectos de comprobar la relación existente, o no, entre los mismos. Por ello se compararon entre sí, por pares y en forma conjunta, los parámetros de caudal, gasto sólido y salinidad, todos en las instancias temporales señaladas anteriormente.

Como resultado de las citadas comparaciones se desprende una serie de gráficos para cada una de las estaciones en los que se evidencian los cambios operados. Cada uno de ellos está acompañado por un epígrafe que destaca los aspectos más salientes.

7.1. Estudio y comparación de las series en Pichi Mahuida

El hidrograma de la serie completa indica una marcada forma gaussiana a lo largo de todos los años en que no existió ni tuvo influencia el dique de Casa de Piedra (Fig. 4.4). Pero apenas el embalse se hizo sentir, la tendencia de la curva de caudales sufrió cambios notables.

En las alternativas “anterior y posterior al cierre” en algunas figuras se ha introducido un segundo eje de ordenadas. Este tratamiento se realizó a los efectos de conseguir la figuración gráfica de algunas magnitudes muy reducidas por la acción de la represa.

7.1.1. Análisis de caudal, gasto sólido y salinidad

Con las particularidades señaladas anteriormente, todas las curvas de distribución anual de caudal se enmarcan en la misma tendencia, con picos absolutos en diciembre y mínimas en mayo. Las pendientes de ascenso son levemente más bruscas que las opuestas.

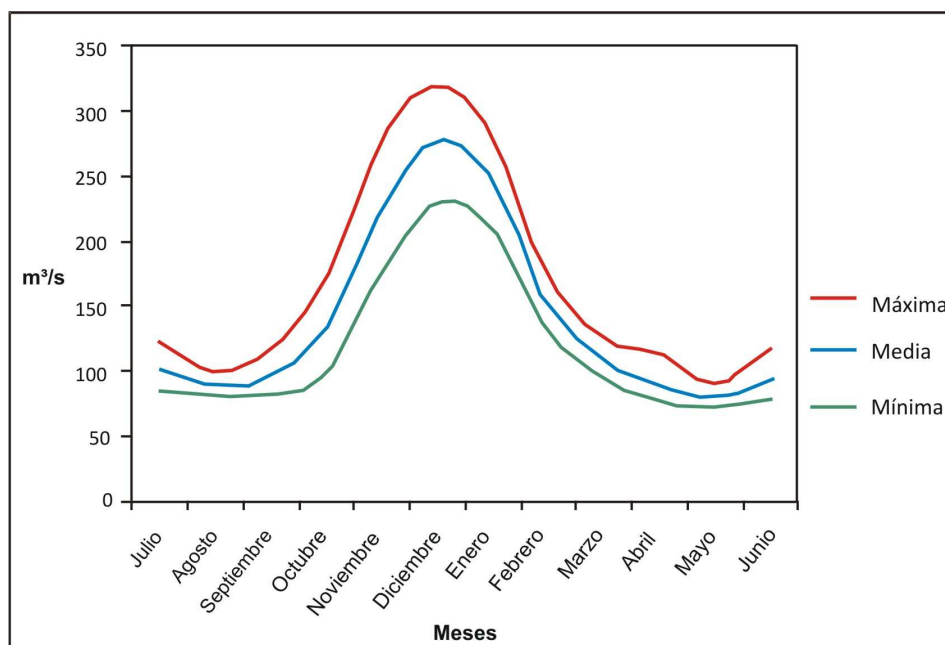


Figura 7.1. Pichi Mahuida. Caudal medio, máximo medio y mínimo medio anteriores al cierre. Período 1981/82 – 1992/93. Elaboración propia. Fuente: COIRCO 1999

Las diferencias, señaladas en detalle en la consideración individual, son manifiestas en la sobreposición temporal; impresionan principalmente el cambio de la curva y la disminución de los picos. Se advierte que la curva posterior al cierre se ha hecho mucho más suave, desplazándose el pico de máxima desde diciembre a noviembre, con sesgo a la izquierda. La oscilación entre picos y simas se redujo en más de $60 \text{ m}^3/\text{s}$ reflejando las erogaciones reguladas (Fig. 7.2). Se advierte que la pendiente de descenso en caudal se ha hecho más uniforme. La comparación de las curvas hace más evidente el cambio que, en lo cuantitativo y lo temporal, han sufrido los caudales a partir del cierre de Casa de Piedra.

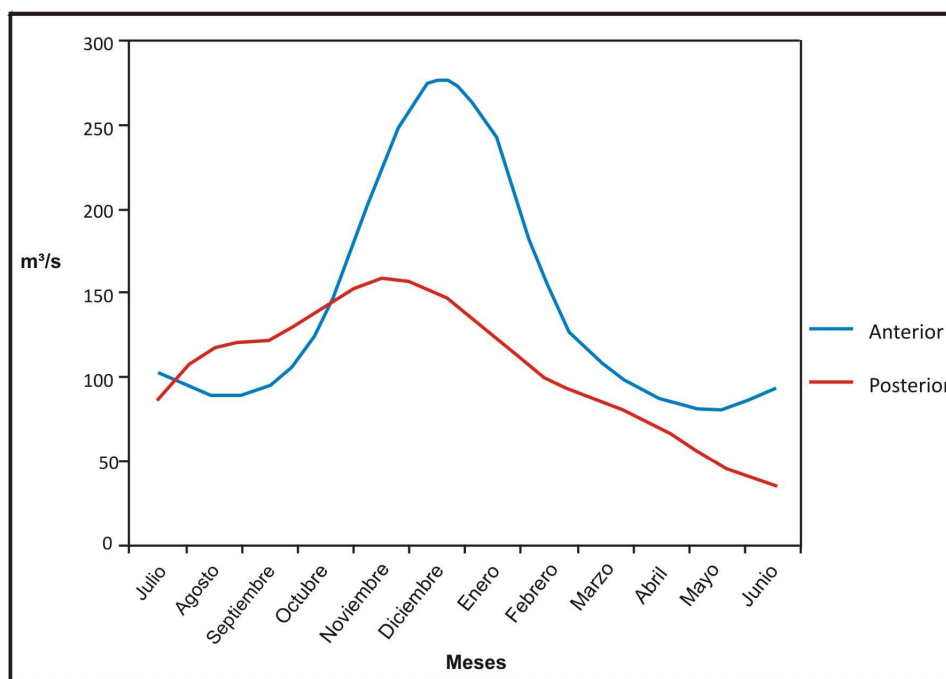


Figura 7.2. Pichi Mahuida. Caudal medio anterior y posterior al cierre. Período 1981/82 – 1992/93. Elaboración propia. Fuente: COIRCO 1999

Antes del cierre de Casa de Piedra las curvas de gasto sólido presentan como rasgo destacado la diferencia temporal de los picos de los valores medios anuales con los valores de máximos medios, en noviembre y en diciembre respectivamente. Hay una tendencia amesetada en la curva de valores medios anuales y otra en sentido inverso en la de valores mínimos medios anuales. Los valores mínimos en las tres curvas son coincidentes en el mes de mayo (Fig. 7.3).

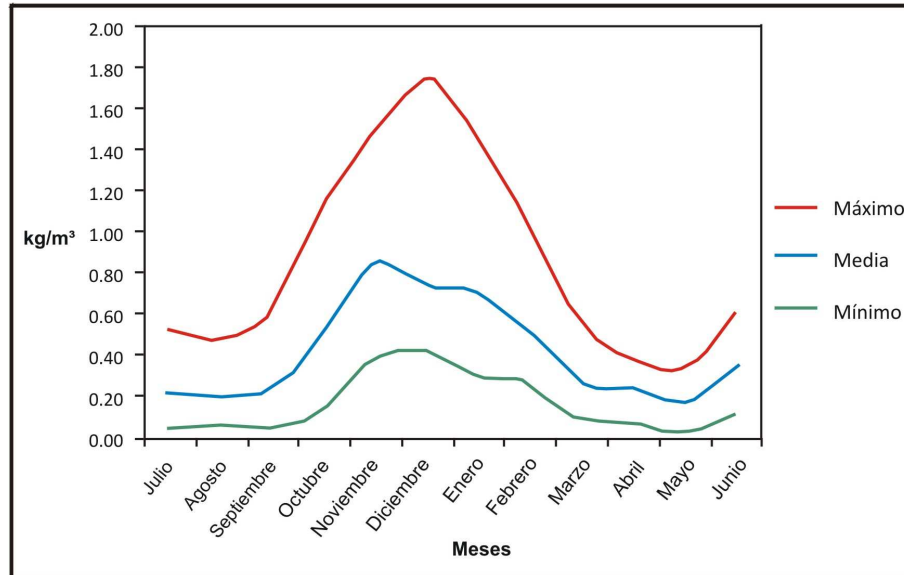


Figura 7.3. Pichi Mahuida. Gasto sólido medio, máximo medio y mínimo medio anteriores al cierre. Período 1981/82 – 1992/93. Elaboración propia. Fuente: COIRCO 1999

En la figura 7.4 se graficaron las curvas de gasto sólido medio anterior y posterior al cierre del dique. Estas curvas son una de las muestras más evidentes de la acción de la obra. La gran masa de agua embalsada ha provocado la deposición de la mayoría del sólido arrastrado por el río, notándose que el pico después del cierre se ubica en el mes de agosto, en tanto que la mínima, paradójicamente, se produce en diciembre, antaño mes de los mayores registros. Hay un pico significativo en abril que puede deberse a las lluvias transcordilleranas de otoño - Invierno. Después del pico inicial posterior al cierre parece estabilizarse una tendencia de valores de caudal sólido significativamente menores y con una distribución temporal desvinculada de las variaciones de caudal.

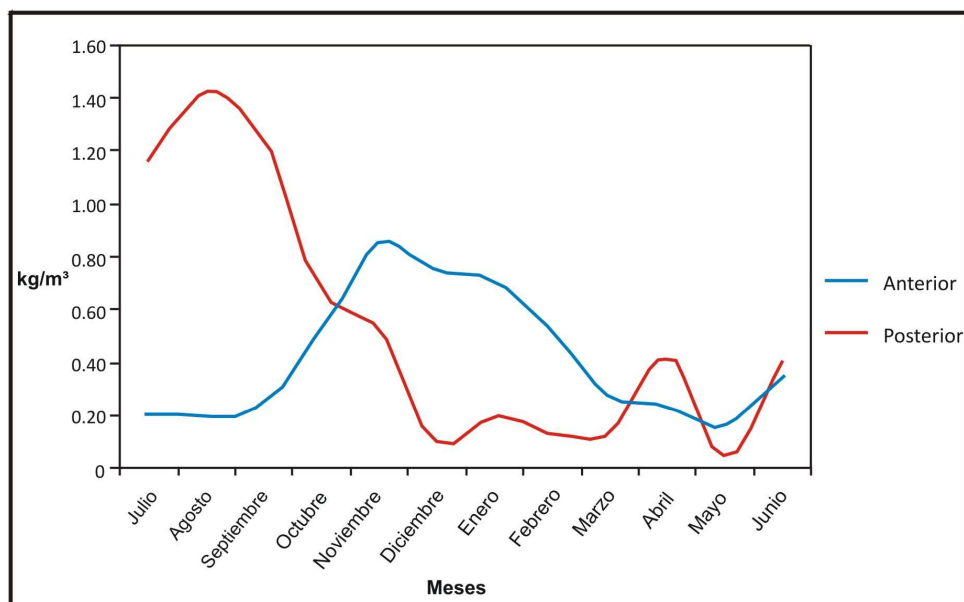


Figura 7.4. Pichi Mahuida. Gasto sólido medio anterior y posterior al cierre. Período 1983/84 - 1999. Elaboración propia. Fuente: COIRCO 1999.

Los valores medios mensuales de salinidad para Pichi Mahuida se observan en la figura 7.5. Antes del cierre la distribución muestra un importante pico para el mes de mayo y uno secundario para octubre. Después del cierre aunque la tendencia estacional se mantiene, la curva se ha aplanado llamativamente, al punto de oscilar sobre las 600 ppm, contrariamente al trazo anterior al cierre, que oscilaba entre las 500 y 1100 ppm. La referencia a la salinidad utilizando como unidades las partes por millón (ppm) se debe a que así la expresan los partes del COIRCO utilizados.

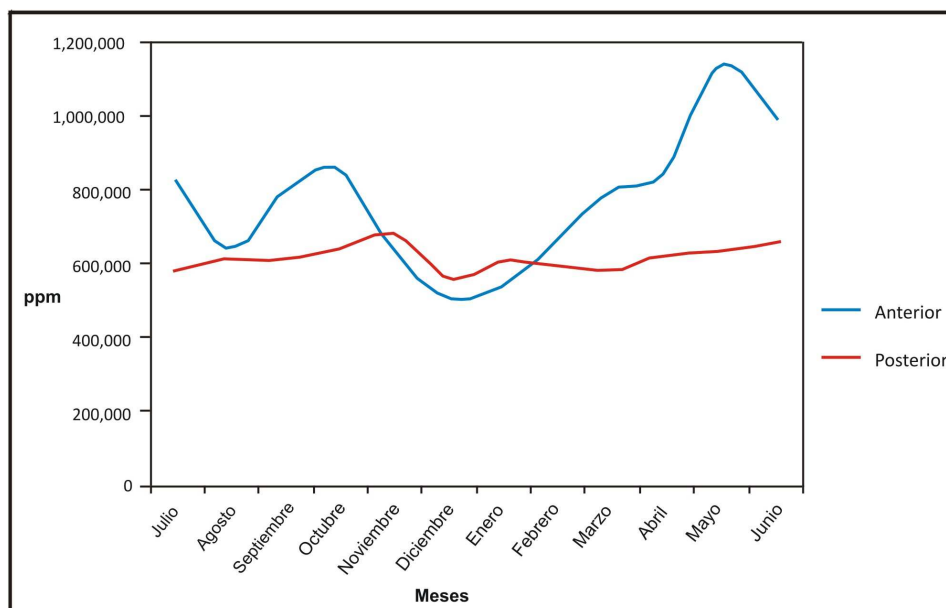


Figura 7.5. Pichi Mahuida. Valores medios de salinidad anterior y posterior al cierre. Período 1981/82 – 1992/93. Elaboración propia. Fuente: COIRCO 1999

7.1.2. Análisis de las relaciones entre caudal, gasto sólido y salinidad

En este ítem se estudian las relaciones que existen entre las variables analizadas en el apartado anterior. Con respecto a las relaciones entre el caudal y el gasto sólido medio se toma en cuenta la información correspondiente a caudal medio con anterioridad y posterioridad al cierre (Fig. 7.2) y el gasto sólido antes y luego del cierre (Fig. 7.4). Antes del cierre se advierte una tendencia similar en la forma que toman de las curvas, con la particularidad de que el crecimiento del gasto sólido y el caudal están desfasados en un mes. Los picos se registran en noviembre-diciembre, respectivamente y parece ser más regular la curva de caudales líquidos (Fig. 7.6a). Por otra parte, en las curvas para la situación posterior al cierre, aunque de traza similar (Fig. 7.6b) resulta notable el desplazamiento temporal entre los picos de caudal y gasto sólido, lo mismo que la no correspondencia de los picos menores de gasto sólido con el caudal, que permanece inalterado. El gasto sólido ha variado su pico principal de los meses de verano a los de invierno, con algunos repuntes que acaso se deban a las lluvias otoñales.

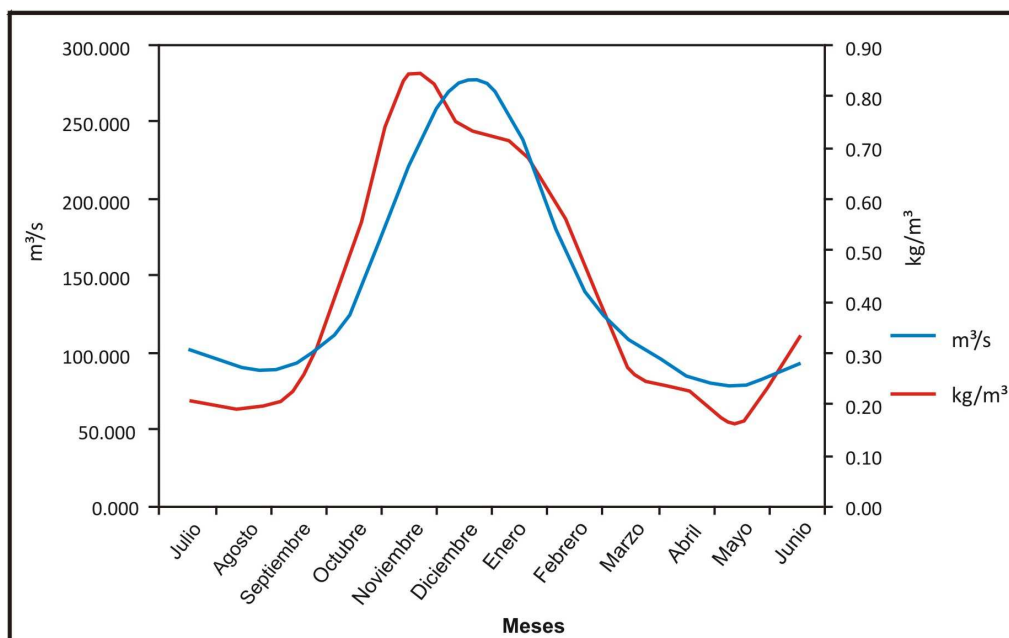


Figura 7.6a. Pichi Mahuida. Comparación de la distribución de caudal y gasto sólido antes del cierre de Casa de Piedra. Período 1981/82 – 1992/93. Elaboración propia. Fuente: COIRCO 1999.

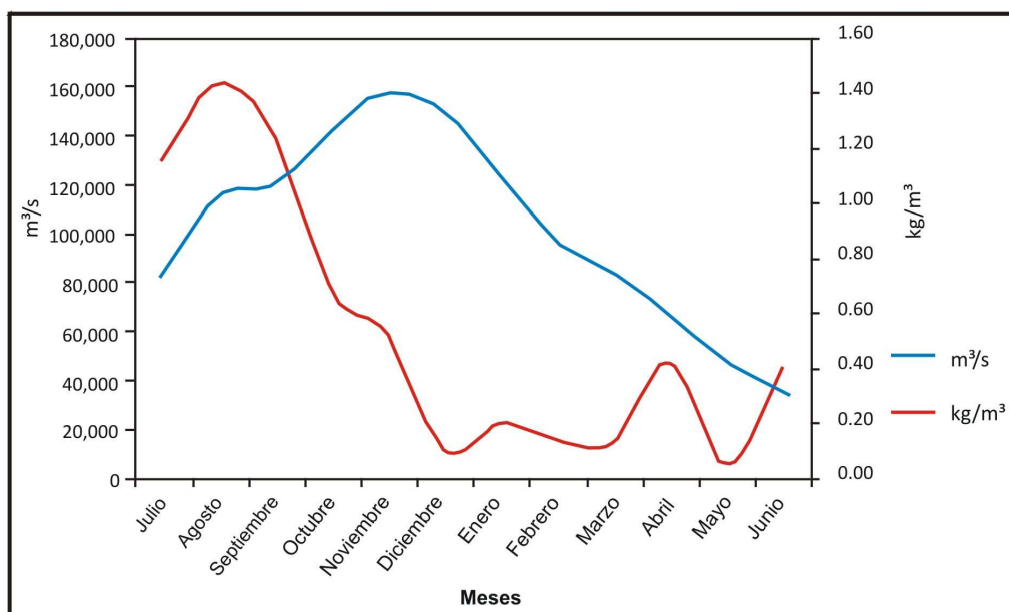


Figura 7.6b. Pichi Mahuida. Comparación de la distribución de caudal y gasto sólido después del cierre de Casa de Piedra. Período 1981/82 – 1992/93. Elaboración propia. Fuente: COIRCO 1999

Se presenta en la figura 7.7a y 7.7b la relación entre salinidad y caudal antes y después del cierre de la presa. En la situación 7.7a la correspondencia inversa entre las dos curvas es perfecta en los meses de deshielo. Esta relación no se mantiene en la

curva de caudales con las demás irregularidades que presenta la curva de salinidad, salvo en la tendencia general inversa de crecimiento en el estiaje.

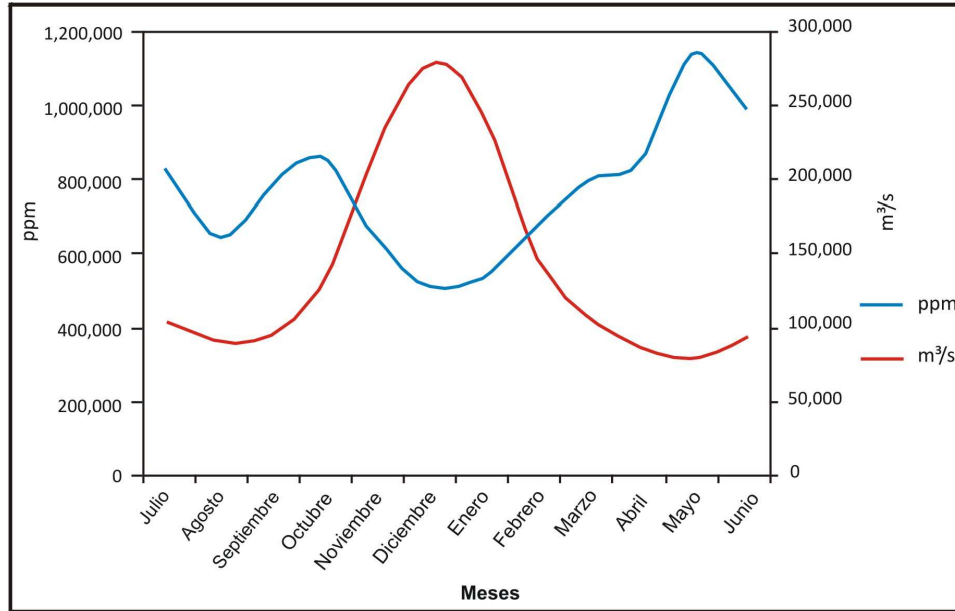


Figura 7.7a. Pichi Mahuida. Comparación de la distribución de salinidad y caudal antes del cierre de Casa de Piedra. Elaboración propia. Período 1981/82 – 1992/93. Fuente: COIRCO 1999

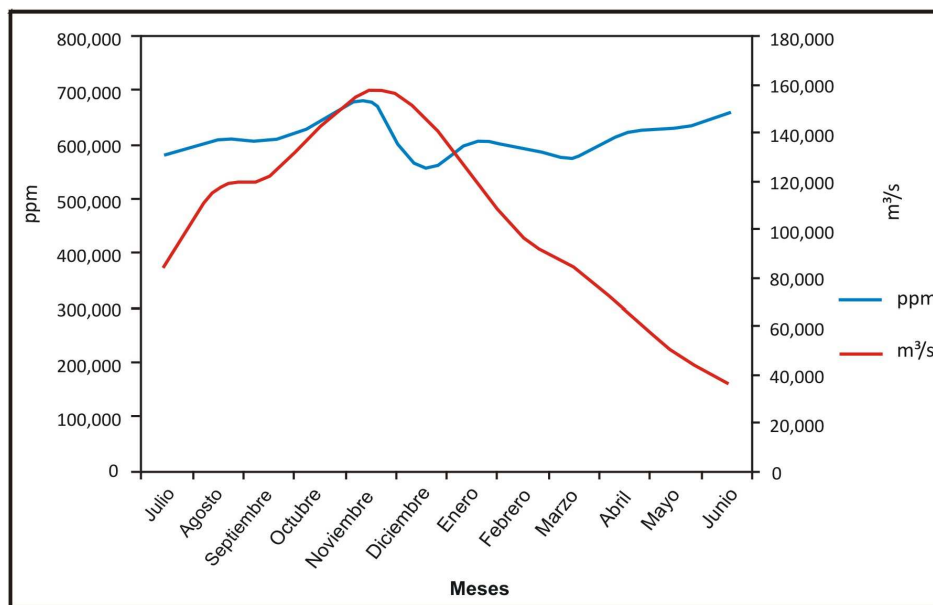


Figura 7.7b. Pichi Mahuida. Comparación de la distribución de salinidad y caudal después del cierre de Casa de Piedra. Período 1981/82 – 1992/93. Elaboración propia. Fuente: COIRCO 1999

En la situación después del cierre (Fig. 7.7b) si bien la escala que debió utilizarse para poder realizar la graficación, muestra una curva de caudales significativamente achatada, resulta notable señalar que inicialmente hay una coincidencia de los picos de ambas magnitudes, para luego volver a la tendencia histórica y lógica de relación inversa.

Se analiza la relación entre salinidad y gasto sólido donde se advierte que antes del cierre (Fig. 7.8a) hay una tendencia general inversa entre ambas variables. Hay una concordancia inicial de salinidad y gasto sólido al iniciarse el deshielo pero luego la salinidad decrece mientras sube el gasto sólido. El pico de gasto sólido se produce en noviembre en tanto que la salinidad alcanza su sima un mes después, para alcanzar su máximo en mayo. La circunstancia estaría indicando que el aumento y la disminución de sales están indirectamente relacionados con el gasto sólido y que el vínculo entre ambos es el caudal.

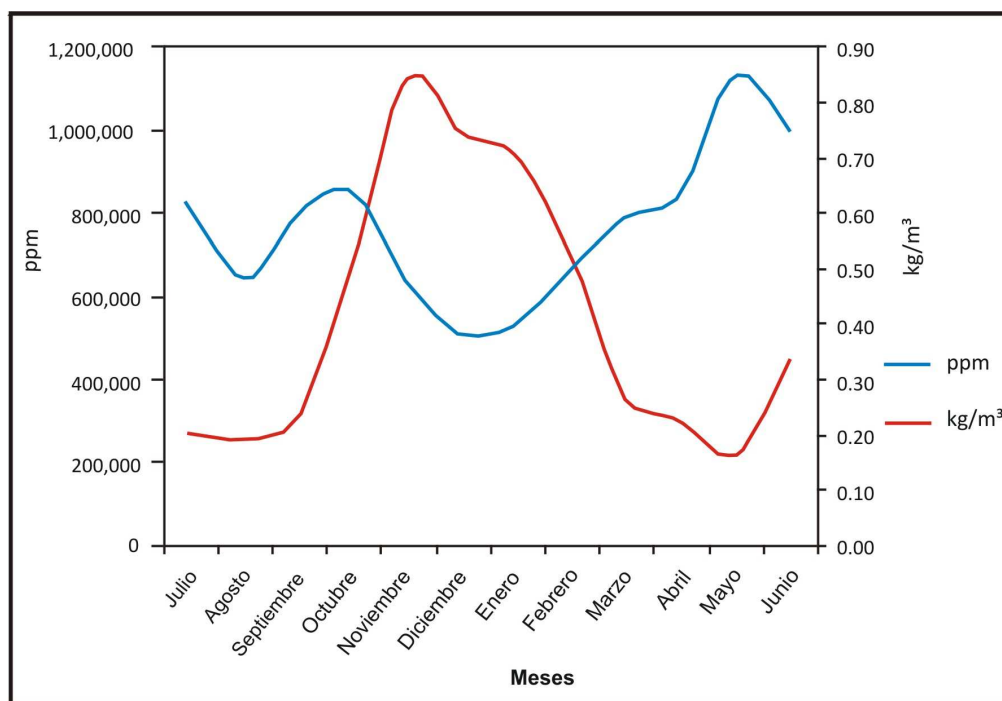


Figura 7.8a. Pichi Mahuida. Comparación de la distribución de salinidad y gasto sólido antes del cierre de Casa de Piedra. 1981/82 – 1992/93. Elaboración propia. Fuente: COIRCO 1999

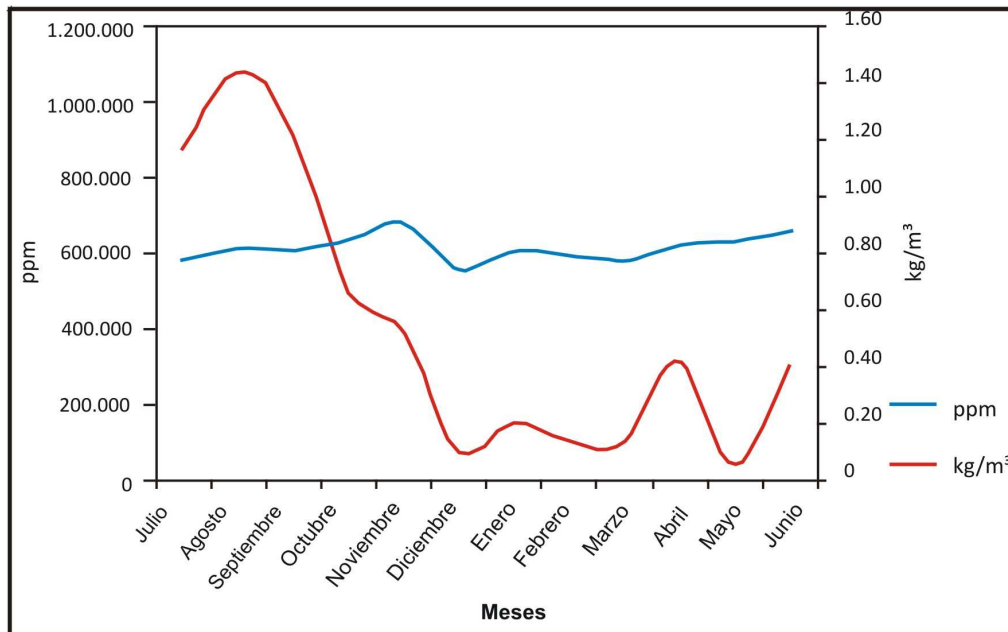


Figura 7.8b. Pichi Mahuida. Comparación de la distribución de salinidad y gasto sólido después del cierre de Casa de Piedra. Período 1981/82 – 1992/93. Elaboración propia. Fuente: COIRCO 1999

Posterior al cierre (Fig. 7.8b) se comprueba el divorcio entre salinidad y gasto sólido aunque hay una coincidencia de mínimas en el mes de diciembre. Este hecho vendría a evidenciar la pérdida de relación caudal/gasto sólido y el mantenimiento de la inversa de salinidad/caudal.

Se han representado las relaciones de salinidad, caudal y gasto sólido antes y después del cierre en la figura 7.9. Por la disparidad de valores surge alguna dificultad de visualización de los registros por lo cual, en este caso, se ha anexado al gráfico la tabla de los valores mensuales (Tabla 7.1).

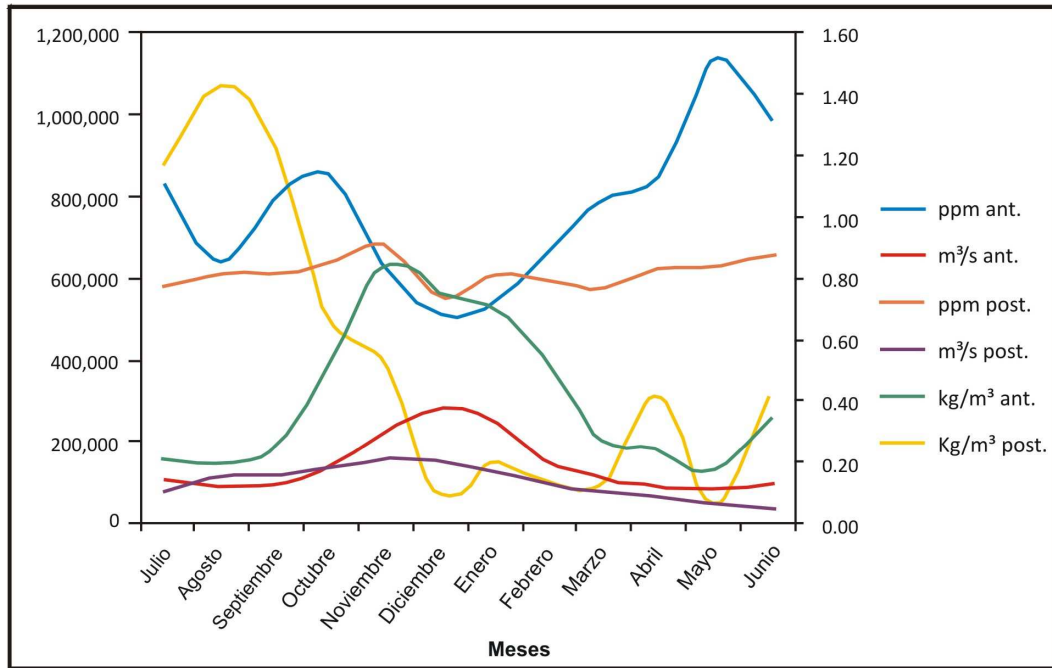


Figura 7.9. Pichi Mahuida. Comparación de la distribución de caudal (m^3/s), gasto sólido (kg/m^3) y salinidad (ppm) antes y después del cierre de Casa de Piedra. Período 1981/82 – 1992/93. Elaboración propia. Fuente: COIRCO 1999

	<i>salinidad ant. ppm</i>	<i>caudal ant. m^3/s</i>	<i>gasto sólido ant. kg/m^3</i>	<i>salinidad post. ppm</i>	<i>caudal post. m^3/s</i>	<i>gasto sólido post. kg/m^3</i>
Julio	814,350	101,195	0,205	581,000	85,465	1,166
Agosto	637,620	89,084	0,193	607,667	116,058	1,432
Septiembr	791,525	94,629	0,237	607,000	120,786	1,227
Octubre	850,650	131,454	0,512	635,667	142,118	0,673
Noviembre	630,580	222,474	0,840	681,333	157,137	0,518
Diciembre	506,700	276,521	0,741	557,333	148,636	0,099
Enero	533,537	244,662	0,696	603,333	122,609	0,194
Febrero	659,900	149,517	0,516	593,000	96,587	0,134
Marzo	790,400	106,535	0,268	579,500	83,764	0,129
Abril	846,050	86,163	0,225	616,333	66,677	0,414
Mayo	1133,060	79,343	0,166	630,750	47,856	0,050
Junio	1002,125	91,492	0,330	653,000	35,843	0,388

Tabla 7.1. Pichi Mahuida. Valores mensuales de salinidad, caudal y gasto sólido antes y después del cierre de Casa de Piedra. Fuente: COIRCO 1999

Los valores de salinidad, caudal y gasto sólido medio anteriores al cierre muestran que en mayo se produce el máximo de salinidad, en oposición a la mínima de caudal en

tanto que existe otro pico de salinidad en octubre. En este mes se acentúa el deshielo pero también comienzan las lluvias en las cuencas media y baja produciendo un efecto de lavado del terreno.

En la situación posterior al cierre la anomalía es casi total ya que la traza de la curva de gasto sólido como se mencionó, es divergente de la de caudal y levemente similar a la de salinidad especialmente en el comienzo del año hidrológico y en las mínimas. Los valores de gasto sólido evidencian la enorme influencia de la obra en las variaciones hidrológicas del río.

7.2. Estudio y comparación de las series en Paso Alsina

Las series de registro en Paso Alsina son considerablemente menores que las de Pichi Mahuida, ya que se inician en 1982. Poseen la ventaja de dar un diagnóstico hidrológico final del río y toda su cuenca, ya que la estación se encuentra relativamente cercana a la desembocadura en el mar y permite una adecuada comparación con los valores de la cuenca media que se registran en Pichi Mahuida. Esta circunstancia se ve atenuada por la ya señalada condición de la sección de aforos, que no responde plenamente a las necesidades técnicas, deformando un tanto (no calculado) a los valores que allí se obtienen, especialmente en grandes crecientes. Con todo, en los registros normales, constituye un indicador digno de considerar a los efectos de este trabajo.

7.2.1. Análisis de caudal, gasto sólido y salinidad

Al igual que en los registros de Pichi Mahuida, todas las curvas de distribución anual de caudal se enmarcan en la misma tendencia, con picos absolutos en diciembre y mínimas en mayo. Las pendientes de ascenso también son levemente más bruscas que las opuestas (Fig. 7.10). En la simultaneidad temporal se destaca la simetría de las medias y una muy leve tendencia de un sesgo a la derecha.

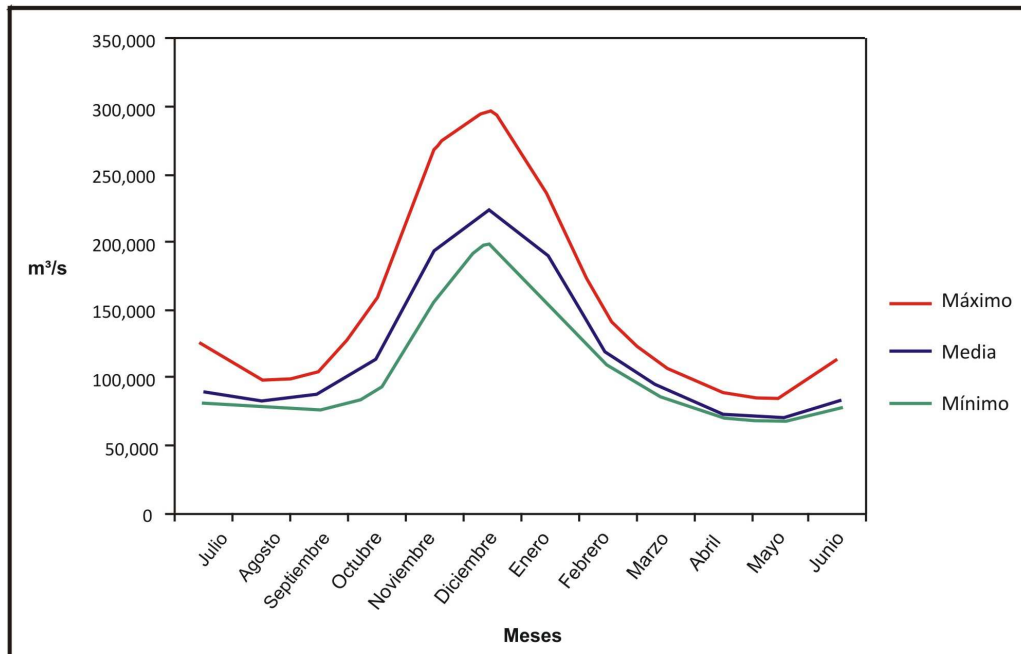


Figura 7.10. Paso Alsina. Caudales medio, máximo y mínimo medio anteriores al cierre. Período 1981/82 – 1992/93. Elaboración propia. Fuente: COIRCO 1999.

Las diferencias son manifiestas en la sobreposición temporal; impresionan principalmente el cambio de la curva y la disminución de los picos. Se advierte que la traza posterior al cierre se ha hecho menos abrupta y el pico de máxima se ha desdoblado en dos partes, tendiendo a amesetarse entre noviembre y diciembre. La oscilación entre picos y simas se redujo en más de 50 m³/s reflejando las erogaciones reguladas. La pendiente de descenso en caudal se ha hecho más suave y reitera el cambio que ocurrido a partir del cierre de Casa de Piedra. Se advierte una disminución entre los extremos de máxima y mínima pero la proporción y correspondencia entre ambos no ha tenido demasiada variación (Fig. 7.11).

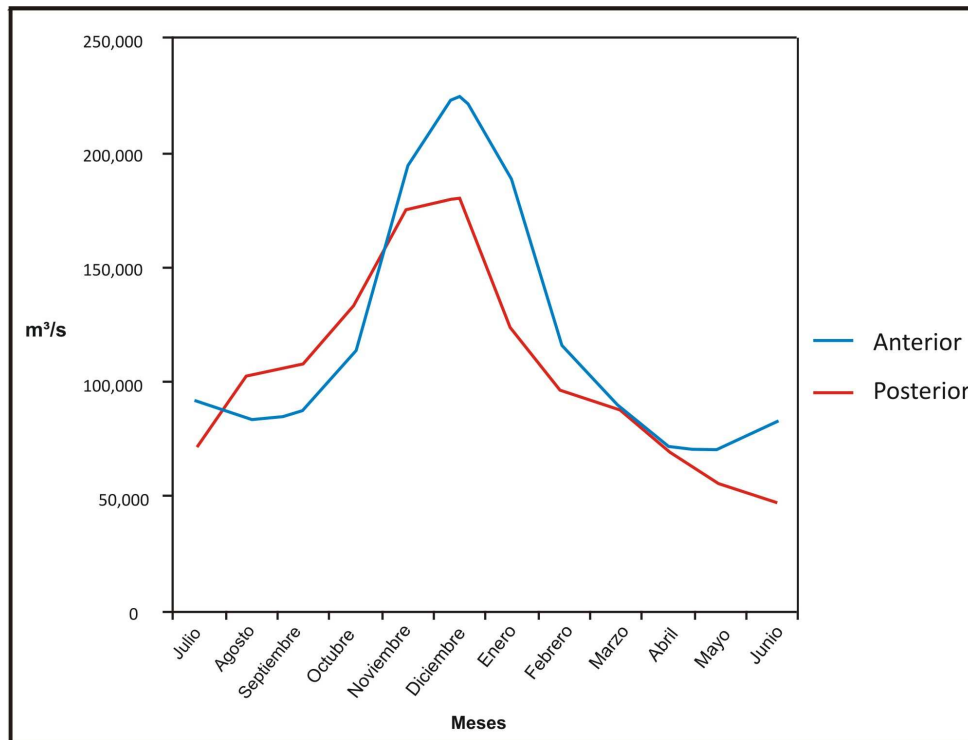


Figura 7.11. Paso Alsina. Caudal medio anterior y posterior al cierre. Período 1981/82 – 1992/93. Elaboración propia. Fuente: COIRCO 1999

En la figura 7.12 se graficó las curvas de gasto sólido medio y máximo y mínimo medio anterior al cierre. La visión de conjunto subraya la tendencia general de comportamiento del sólido en el río en sus distintos estados. Las curvas de gasto sólido medio anterior y posterior al cierre del dique (Fig. 7.13) al igual que en Pichi Mahuida, son la muestra más evidente de la acción de la obra. Con la sedimentación de la mayoría del sólido arrastrado por el río en el embalse, se nota la diferencia al producirse el pico en el mes de agosto, con otro en octubre; la mínima se produce en junio, después de una bajante uniforme y a partir de la cual vuelve a elevarse. Es muy evidente la influencia del dique ya que, a igual ubicación en el gráfico, hay diferencias dos veces menores en las mínimas y tres veces en las máximas, circunstancia que viene a corroborar la existencia de “un nuevo río” en este aspecto. Además se advierten comportamientos temporales distintos, con aparición más temprana de los picos de máxima.

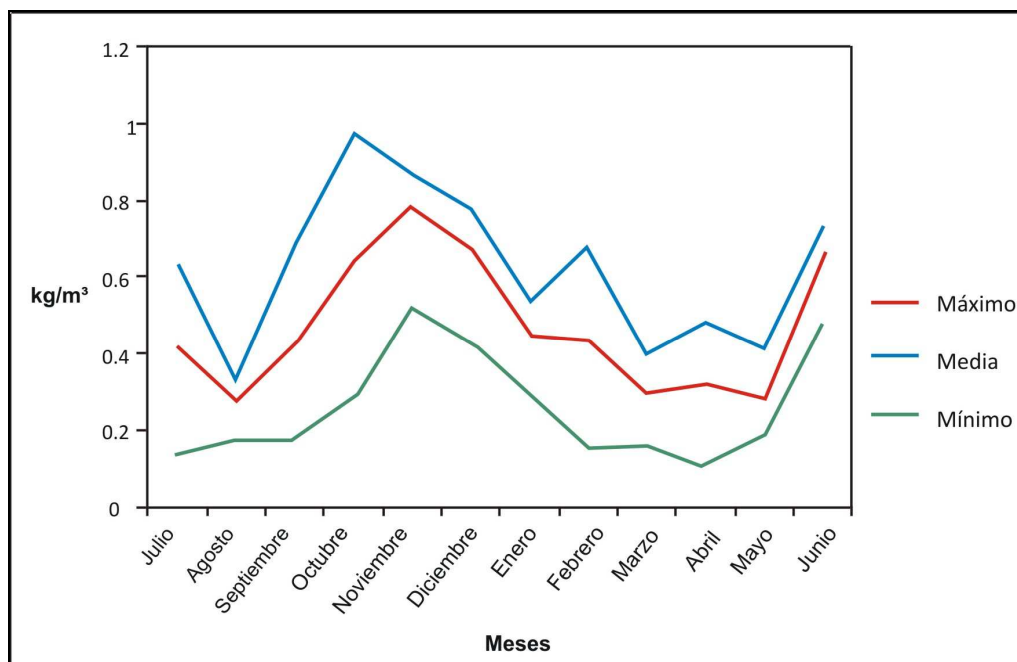


Figura 7.12. Paso Alsina. Gasto sólido medio y máximo y mínimo medio anterior al cierre. Período 1981/82 – 1992/93. Elaboración propia. Fuente: COIRCO 1999

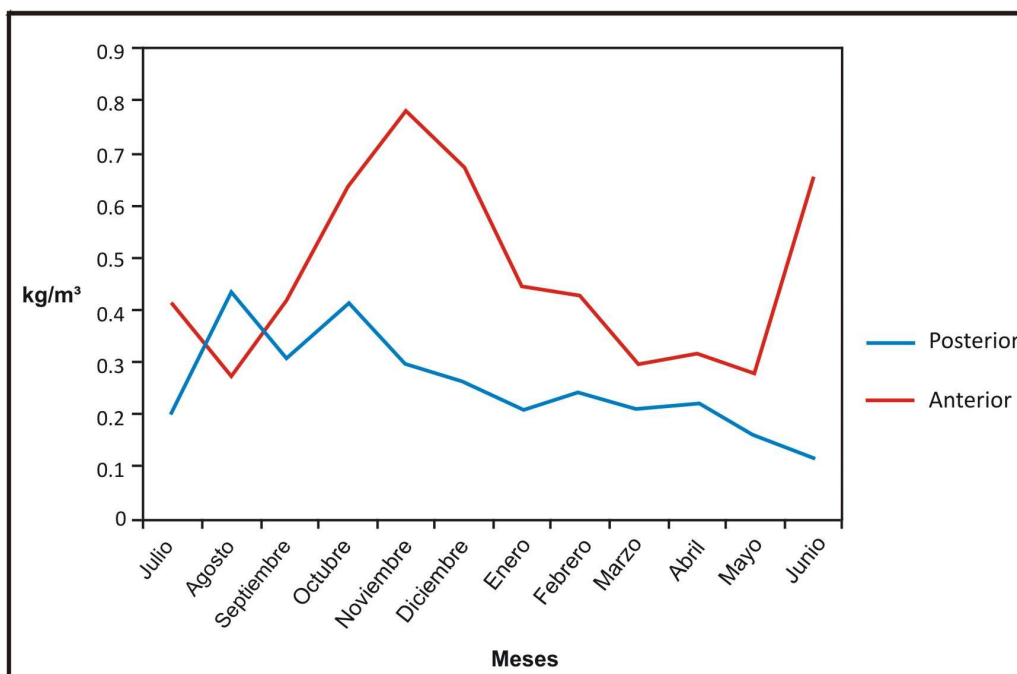


Figura 7.13. Paso Alsina. Gasto sólido medio anterior y posterior al cierre. Período 1981/82 – 1992/93. Elaboración propia. Fuente: COIRCO 1999

Con respecto a salinidad, después del cierre aunque la tendencia estacional se

mantiene (Fig. 7.14) la curva se ha desplazado y disminuido en sus valores. El rango entre máximas y mínimas se ha reducido desde aproximadamente 580 a 500 ppm, lo que sugeriría que no ha habido un gran cambio en la dilución. Resulta notable el desplazamiento de las cimas, de diciembre a enero y de las máximas, desde mayo a julio. La reducción, tanto en una como en la otra, es considerable, pasando de 1.200 a 900 ppm y de poco más de 600 a 400 ppm. La referencia a la salinidad utilizando como unidades las partes por millón (ppm) se debe a que así la expresan los partes del COIRCO utilizados,

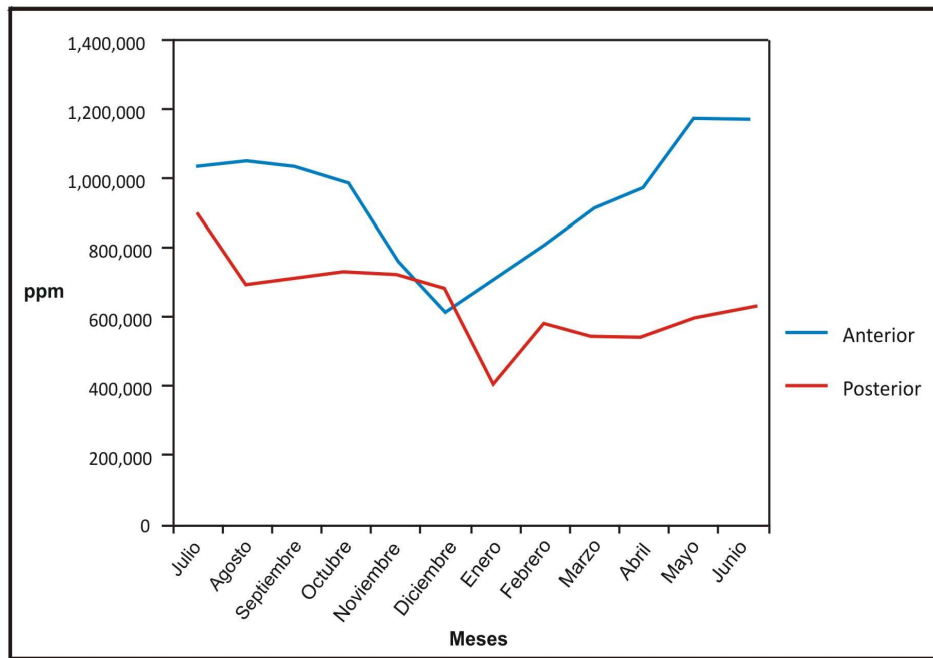


Figura 7.14. Paso Alsina. Sales. Valores medios anteriores y posteriores al cierre. Período 1981/82 – 1992/93. Elaboración propia. Fuente: COIRCO 1999

7.2.2. Análisis de las relaciones entre caudal, gasto sólido y salinidad

Las relaciones entre caudal y gasto sólido se presentan en la figura 7.15. La comparación, con el agregado de un tercer eje, permite advertir la similitud de las curvas, aunque con un desfase temporal entre las máximas del gasto sólido y de caudal líquido, que se dan en noviembre y diciembre, respectivamente. Las mínimas de ambas magnitudes son coincidentes en el tiempo, pero a partir de allí hay una brusca subida del Qs, probable consecuencia de las lluvias de otoño-invierno.

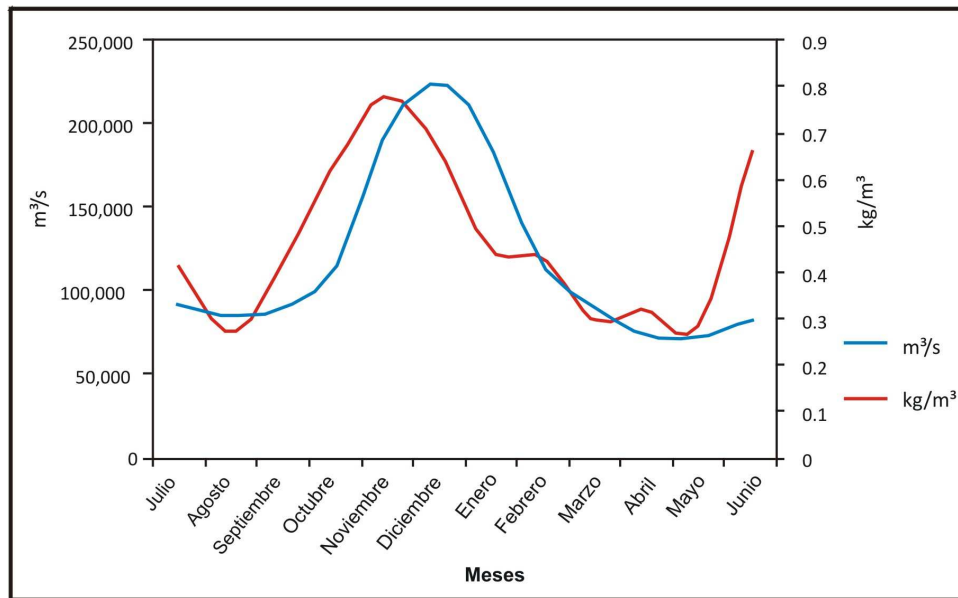


Figura 7.15. Paso Alsina. Caudal y gasto sólido medios anterior al cierre. Período 1981/82 – 1992/93. Elaboración propia. Fuente: COIRCO 1999

En las curvas correspondientes a la situación posterior al cierre (Fig. 7.16) resulta notable el desplazamiento temporal entre los picos de gasto sólido, divididos en dos manifestaciones y desplazados a agosto y octubre, desde donde decrecen. No hay correspondencia temporal con el pico de caudal y aparecen pequeños picos de sólidos que acaso se deban a las lluvias otoñales.

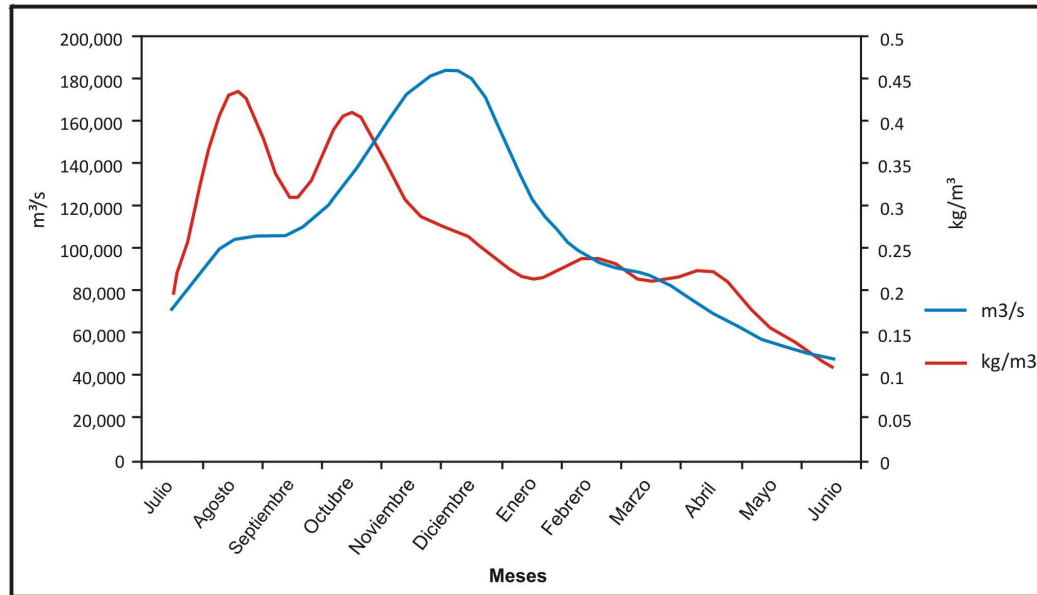


Figura 7.16. Paso Alsina. Caudal y gasto sólido medio posteriores al cierre. Período 1981/82 – 1992/93. Elaboración propia. Fuente: COIRCO 1999

La relación entre salinidad y caudal anteriores y posteriores al cierre muestra la distribución de salinidad antes comentada y un comportamiento de caudal, que es regular y lógico, coincidiendo su pico con la mínima de sales, en diciembre, y sus mínimas con las máximas de mayo, confirmándose la relación de dependencia inversa (Figs. 7.17 y 7.18). Luego del cierre se observa que se ha producido un desfase temporal notable con respecto al comportamiento de los registros anteriores al dique. El pico de caudal, en diciembre, no coincide con el seno de salinidad, en enero, rompiendo la correspondencia anteriormente señalada. Tampoco la hay en forma muy marcada entre el descenso de caudal y el ascenso de salinidad.

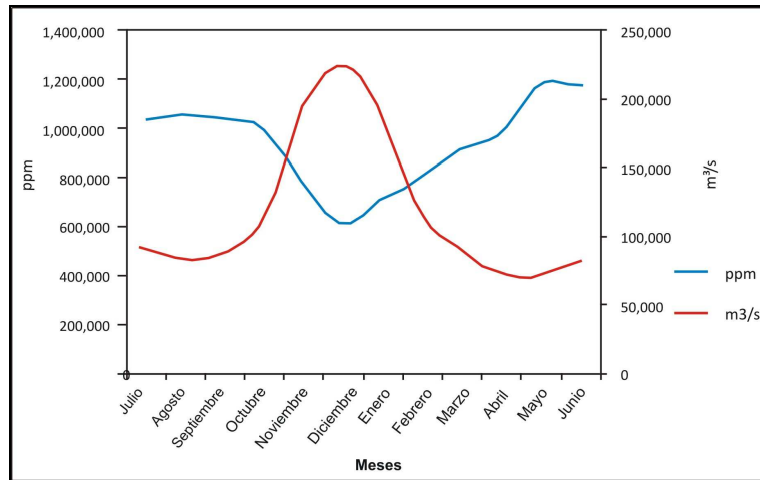


Figura 7.17. Paso Alsina. Valores medios de salinidad y caudal medio anteriores al cierre. Período 1981/82 – 1992/93. Elaboración propia. Fuente: COIRCO 1999

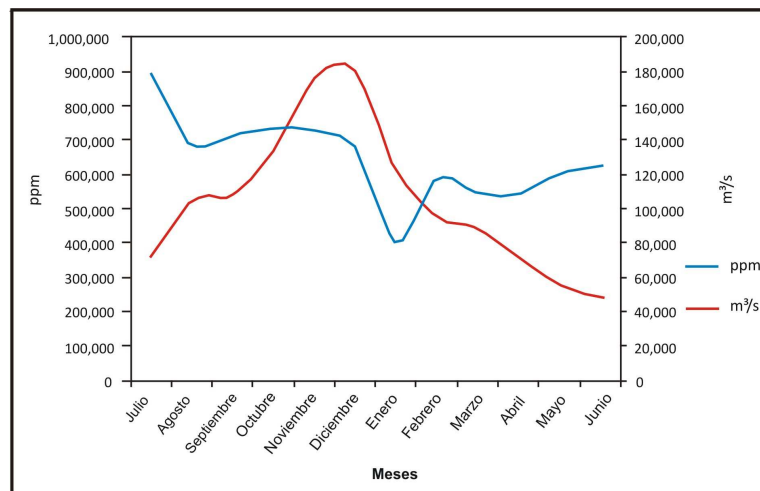


Figura 7.18. Paso Alsina. Valores medios de salinidad y caudal medio posteriores al cierre. Período 1981/82 – 1992/93. Elaboración propia. Fuente: COIRCO 1999

En síntesis se destaca que en la situación anterior al cierre la curva de caudales guarda una correspondencia inversa perfecta con la de salinidad. Pero al observar la comparación posterior al cierre del dique se advierte que, aunque los menores valores siguen manteniendo la tendencia estacional, se han desplazado de diciembre a enero, disminuyendo de más de 1.000 a 900 ppm. La curva de caudales ha perdido su simetría y se ha hecho más suave después del pico absoluto, que sigue manteniéndose en diciembre.

Con respecto a la relación entre salinidad y gasto sólido en la situación anterior al cierre del dique la salinidad (Fig. 7.19) tiene una correlación inversa con el gasto sólido estacional, aunque a partir de su mínimo asciende acompañando al gasto sólido. Se advierte que la mínima de salinidad coincide con el decrecimiento del pico de sólidos, lo que indicaría que la relación de salinidad con gasto sólido es inexistente o menor que con caudal.

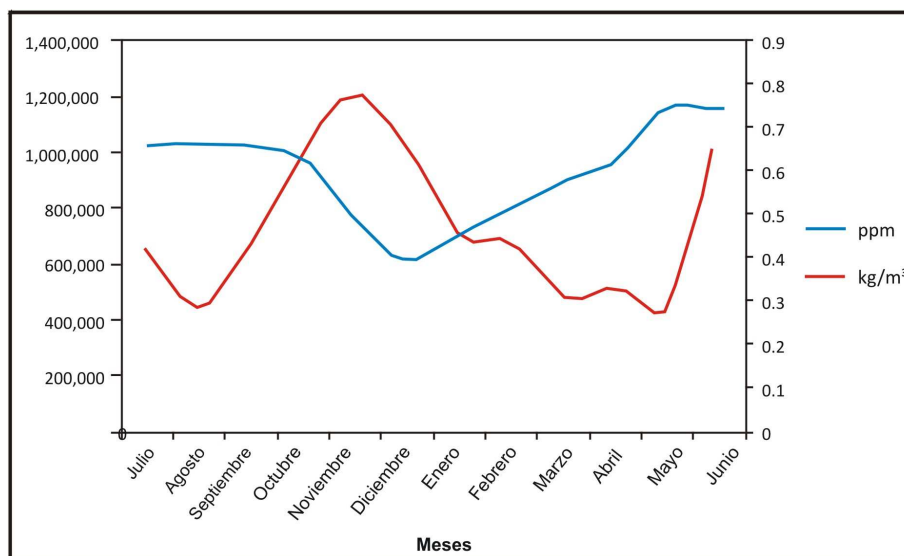


Figura 7.19. Paso Alsina. Valores medios de salinidad y gasto sólido medio anterior al cierre. Período 1981/82 – 1992/93. Elaboración propia. Fuente: COIRCO 1999

En los registros posteriores al cierre (Fig. 7.20) si bien la salinidad mantiene su estacionalidad y disminuye sus registros, el sólido difiere totalmente de ella, con picos atípicos y bajantes inversas. No hay mayores correspondencias. El agregado de un segundo eje Y de distinta escala permite advertir un pico de gasto sólido intermedio al año hidrológico que coincide con el seno de salinidad habitual para esa época.

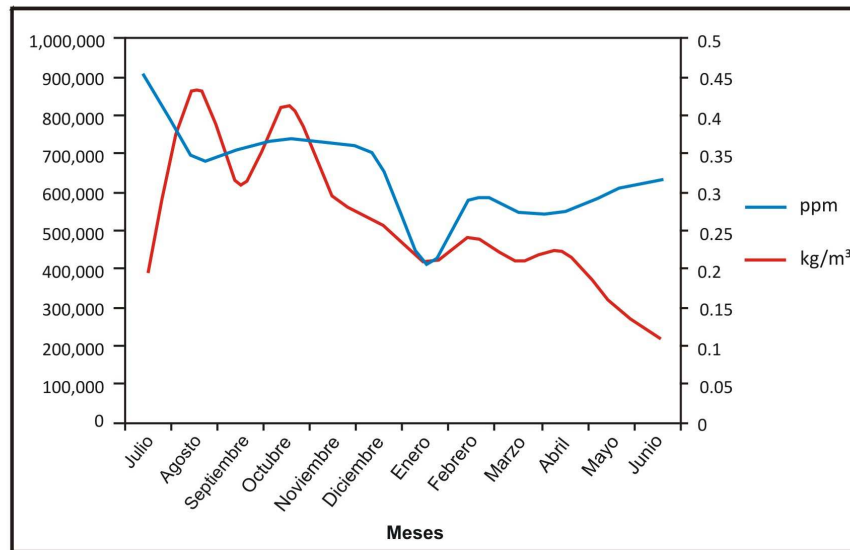


Figura 7.20. Paso Alsina. Valores medios de salinidad y gasto sólido medio posteriores al cierre. Período 1981/82 – 1992/93. Elaboración propia. Fuente: COIRCO 1999

Se han graficado las curvas de los valores medios anteriores y posteriores al cierre de salinidad, caudal y gasto sólido y se analizaron las relaciones entre las mismas (Fig. 7.21). El gráfico permite apreciar el comportamiento de conjunto, ya visto en forma individual y a través de pares de valores. Junto con la disminución del tenor salino y sus desplazamientos temporales de picos y simas, resalta la similitud de caudal y la ausencia de valores de gasto sólido por insuficiencia de la escala. Por las comparaciones individuales anteriores se demostró que el gasto sólido está marcadamente disminuido.

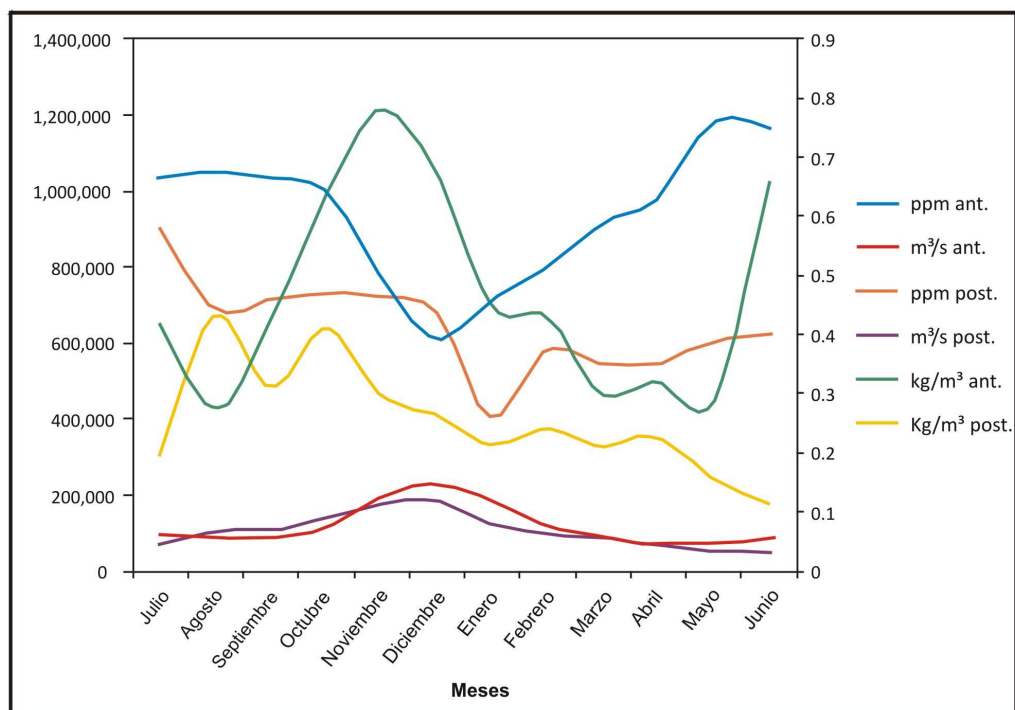


Figura 7.21. Paso Alsina. Valores medios de salinidad, caudal y gasto sólido medio anterior y posterior al cierre. Período 1981/82 – 1992/93. Elaboración propia. Fuente: COIRCO 1999

Como en el caso de Pichi Mahuida, la disparidad de valores dificulta la visualización de los registros por lo cual, se ha anexado al gráfico la tabla de los valores mensuales (Tabla 7.2).

	ppm ant.	m ³ /s ant.	kg/m ³ ant.	ppm post.	m ³ /s post	kg/m ³ post.
Julio	1.032,389	80,945	0,133	893,500	56,613	0,090
Agosto	1.047,933	79,500	0,176	690,000	70,250	0,224
Septiembre	1.034,450	77,443	0,171	711,500	92,462	0,171
Octubre	991,975	89,220	0,280	733,200	113,569	0,170
Noviembre	770,450	155,692	0,521	723,600	150,587	0,182
Diciembre	609,342	199,060	0,429	677,600	161,908	0,169
Enero	705,058	154,470	0,283	404,333	100,380	0,130
Febrero	799,525	110,301	0,156	580,250	87,806	0,145
Marzo	908,300	84,538	0,152	546,500	81,642	0,142
Abril	978,533	70,032	0,110	542,750	62,261	0,113
Mayo	1.175,275	68,968	0,177	597,250	49,139	0,074
Junio	1.174,000	76,284	0,466	623,750	41,870	0,079

Tabla 7.2. Paso Alsina. Valores de caudal, gasto sólido y salinidad antes y después del dique. Período 1981/82 – 1992/93. Fuente: COIRCO 1999

El análisis de los registros hidrológicos de Pichi Mahuida y Paso Alsina dejan de manifiesto las modificaciones y nuevas formas hidrológicas. Su manifestación material se comprueba en los nuevos trazados hidrográficos que se consignan en el Capítulo 8.

7.3. Una llamativa anomalía

Resulta notable la influencia de los altos valores de máximas posterior al cierre, que hace que la media sea positiva en lugar de negativa, como la lógica y la tendencia parecen indicarlo. Esta singular variación se origina en los meses de julio, agosto y septiembre de 1996, cuando los registros de Pichi Mahuida, súbitamente, pasan de valores por debajo de la unidad a otros que superan los 3 kg/m³ en los dos primeros meses y 1,8 kg/m³ en el restante. Lo singular de esta anomalía es que los valores de caudal no parecen tener relación con los de gasto sólido, por más que haya habido erogaciones mayores desde el dique (Tablas 7.3 y 7.4).

<i>Fecha</i>	<i>Caudal m³/s</i>	<i>Gasto sólido kg /m³</i>
19.04.96	82,56	0,09
16.05.96	66,995	0,176
06.06.96.	38,167	0,252
11.07.96	37,894	3,185
21.08.96	74,973	3,297
25.09.96	77,028	1,859
12.10.96.	86,49	0,52
27.11.96.	78,047	0,033
12.12.96.	74,024	0,059

Tabla 7.3. Anomalías del registro de sólidos en Pichi Mahuida
En negrita. Fuente: EVARSA Y COIRCO, 2001

La anomalía, resaltada en negrita, se destaca más al advertirse que, incluso con mayores caudales (como los de 19.04.96) los valores de sólido se manifiestan notablemente bajos, en armonía con la tendencia generada por el cierre del dique y formación del embalse. Además, el primero de los picos ocurre con caudales similares a los anteriores, produciéndose una duplicación recién en el segundo pico. Para mayor anomalía en el tercer pico, con caudales prácticamente del mismo orden que en el

anterior, el sólido desciende a casi la mitad.

El fenómeno, si es que se trata de tal, solamente podría atribuirse a lluvias de gran intensidad que hayan lavado el terreno y producido arrastres de magnitud en las inmediaciones de la estación de aforos, lo que aparece como dudoso, en primer lugar por la época, ya que julio, agosto y septiembre son en la región meses de escasas lluvias y, si las hay, no se caracterizan por su violencia, como ocurre con las de primavera-verano. Una consulta a la estadística respectiva señaló en los dos lugares que podrían resultar indicativos e influyentes, cercanos a Pichi Mahuida, uno de ellos ubicados aguas abajo de la estación, valores ínfimos para esos meses y posibles días, según se advierte en la tabla 7.4.

	Julio	Agosto	Septiembre
Gobernador Duval	Día 8: 2 mm	--	--
La Adela	Día 8: 3 mm Día 9: 12 mm	Día 5: 5 mm Día 6: 5 mm	--

Tabla 7.4. Lluvias en el área de Pichi Mahuida.
Fuente: Departamento Recursos Superficiales, 2000

Por otra parte esos valores de sólidos no se reflejan en Paso Alsina, estación de aforos ubicada a poco más de un centenar de kilómetros de distancia y en la cual cualquier circunstancia natural de cierta magnitud ocurrida en Pichi Mahuida debe hacerse manifiesta (Tabla 7.5).

kg/m³	Anterior	Posterior	Variación %
Máxima	0,840 (NOV)	1,432 (AGO)	41,34
Mínima	0,166 (MAY)	0,050 (MAY)	-70
Media	0,411	0,535	23,2

Tabla 7.5. Pichi Mahuida. Variaciones del gasto sólido medio en los estados del río posteriores al cierre del dique. Fuente: Agua y Energía, 1991

Como se observa a lo largo de los tres meses y de los 14 aforos realizados en ningún caso el sólido alcanzó la unidad por metro cúbico (Tabla 7.6). Una posibilidad no desdeñable de explicación de esta anomalía que contraría la lógica y que no supera la contraprueba de la siguiente estación, podría estar dada por el hecho de que, a partir del año 1993, la estación Pichi Mahuida no estuvo ya a cargo de Agua y Energía, tarea que

realizó y realiza la firma EVARSA.

Fecha	Caudal m³/s	Gasto sólido kg /m³
01-Jul	37,463	0,8
09-Jul	38,485	0,05
15-Jul	39,814	0,07
23-Jul	41,482	0,25
31-Jul	66,711	0,45
07-Ago	79,012	0,28
13-Ago	79,596	0,33
21-Ago	75,929	0,56
28-Ago	71,605	0,21
04-Sep	74,71	0,13
10-Sep	66,105	0,17
16-Sep	63,984	0,12
23-Sep	72,147	0,15
30-Sep	78,88	0

Tabla 7.6. Aforos en Paso Alsina correspondientes a las fechas de anomalías en Pichi Mahuida. Fuente: COIRCO 2001.

Con el cambio de operador y posiblemente también por la regularidad que otorgaba la presencia de Casa de Piedra se pasó de cuatro aforos mensuales a solamente uno, que es el que corresponde a cada uno de los meses anómalos en sólido. Ante esta circunstancia y con una muy baja probabilidad de que, aún en la causal de un fenómeno climático, éste se repitiera las tres veces en circunstancias del aforo, queda el error de registro como única explicación para los picos de sólido en las fechas dadas.

CAPÍTULO 8. NUEVAS FORMAS HIDROGRÁFICAS

Las consideraciones en los capítulos precedentes evidenciaron los notables cambios sufridos por el río Colorado en su parte hidrológica a partir del inicio del funcionamiento de la represa Casa de Piedra. El mayor de esos cambios, al margen del manejo de caudales, que es una causa de orden estrictamente antropogénico, radica en la variación de la cantidad de sólidos transportados por el río cuyas aguas, después del proceso de sedimentación que sufren en el embalse emergen del dique claras y transparentes.

Desde un punto de vista estrictamente físico esas aguas salen con una capacidad de transporte grande por lo que su capacidad erosiva debe ser muy considerable. En estas condiciones se entiende que es posible que el trabajo que realicen sobre las orillas y el lecho pueda verse reflejado en la traza misma del río, a la que irían cambiando en forma perceptible.

La traza del río Colorado anterior a Casa de Piedra en el sector que va desde el dique hasta la desembocadura en el mar, no aparece como demasiado variable a escala temporal humana. Los cambios no son demasiado rápidos con relación a la vida del ser humano y no pueden medirse fácilmente en años u otra escala cronológica afín.

Paralelamente, no se ha detectado erosión significativa en las estructuras ubicadas aguas abajo de Casa de Piedra. Alguna de ellas –caso del puente de Pichi Mahuida– está fundada en afloramientos duros, en tanto que otros similares del valle inferior como La Japonesa, La Adela y Pedro Luro se ubican sobre estructuras sedimentarias de mayor potencia.

Cada río tiene un comportamiento diferente dentro de las generalidades que les caben a todos y no existe un patrón temporal que permita predecir la variación de las formas hidrográficas que el propio río genera. Sin embargo, se puede intentar el desarrollo de una metodología de análisis capaz de establecer la dinámica fluvial del río Colorado en el tramo testigo comprendido entre los meridianos 65° 45' y 66° 09' Oeste, con cierta seguridad en el lapso de los últimos cincuenta años y también a partir del cierre de la presa hasta hoy. En el primero de esos casos sería con el río funcionando en su forma

original en cuanto a caudal y gasto sólido, en tanto que en el segundo lo sería analizando el resultado de los años de caudales regulados por la presa hasta la fecha de realizado este trabajo, con erogación de agua con escasa o nula carga sedimentaria. Se considera que en los años transcurridos a partir del cierre la masa de agua del embalse comenzó a funcionar como elemento capaz de alterar el escurrimiento y carga sedimentaria habituales del río. Este pudo haber sido capaz de realizar cambios perceptibles en su cauce y riberas a un punto tal que los mismos puedan ser razonablemente atribuidos a la nueva condición de las aguas.

Al existir escasa bibliografía específica sobre el tema, se desarrolló una metodología capaz de conjugar los elementos con que se disponía (Lagasse, 1996; 2004). Dicha metodología se basa en el análisis seriado, ordenado en el tiempo y cuantificado en las formas, de los trazados hidrográficos de un mismo sector del curso, evaluando los cambios que en él se hayan registrado. A ello debe agregarse el empleo de algunos parámetros emanados de la geomorfología cuantitativa fluvial y de las necesidades del trabajo.

8.1. Relevamientos actualizados a través de sensores remotos

La visión más actualizada de la traza del río Colorado se obtiene a través del empleo de imágenes satelitales MSS. A los efectos de este estudio se trabajó con imágenes provistas por CONAE. Las mismas corresponden al Landsat TM 5 Path 227 Row 087, Path 228 Row 087; Path 229 Row 087 y Path 230 Row 087, de fechas 31 de diciembre de 2000 y 02 y 04 de febrero de 2001. La elección se realizó considerando en todas ellas el estado del río: aguas en creciente.

Para establecer una comparación se analizaron las imágenes del río que datan de antes de la fecha de influencia del embalse, por lo que se trabajó sobre las satelitarias ERST Path 117 Row 118, del 19 de julio; Path 042 Row 043, del 2 de abril; Path 099 Row 100, del 3 de abril y Path 184 Row 185, de 24 de noviembre, todas del año 1975 (Fig. 8.1). También se usó un plano a escala 1:150.000 correspondiente al área de la represa de Huelches, levantado en 1948 por la dirección General de Industria y Minería, fiable en su calidad cartográfica y adecuado en su escala. Este plano se constituyó en el documento base del análisis, ya que muestra un estado hidrográfico no perturbado, con

medio siglo de antigüedad.

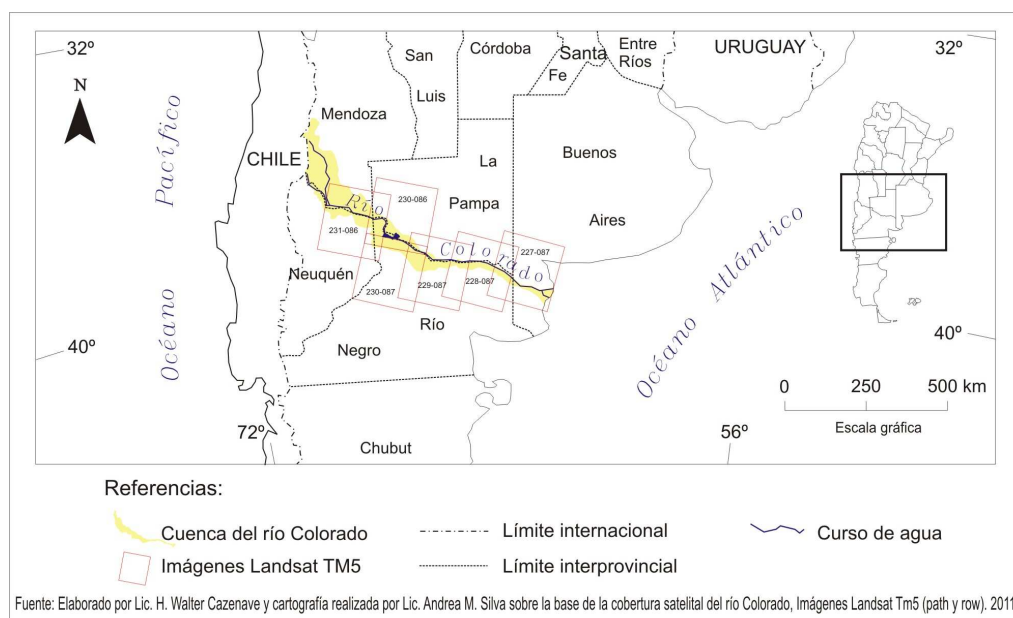


Figura 8.1. Cobertura satelital del río Colorado utilizada en este trabajo.

8.2. Estudio de meandros y variaciones de la longitud del curso fluvial

Se midió la longitud del curso del río Colorado entre el dique y la desembocadura utilizando SIG ArcGIS 9.1 para los años 1973 y para 1985 – 2001 a los efectos de verificar las variaciones de esta magnitud como consecuencia del emplazamiento Casa de Piedra. En la tabla 8.1 se presentan las longitudes obtenidas en las fechas mencionadas, que arrojaron un crecimiento en la longitud del cauce del 14 %, similar al que se obtiene posteriormente al analizar los meandros del tramo testigo, a mayor escala (Tabla 8.1).

	<i>Antes</i>	<i>Después</i>	<i>Diferencia en km</i>	<i>Diferencia %</i>
<i>Longitud en km</i>	849	966	117	14

Tabla 8.1. Longitud total del río entre el dique y la desembocadura, antes y después del cierre. Fuente: elaboración propia.

Los meandros son elementos dinámicos dentro del comportamiento de los ríos; a la luz de la hipótesis sustentada sobre la nueva condición hidrológica del Colorado, con

aguas de mayor poder erosivo, cabe esperar que haya habido en el cauce algunas alteraciones. A tales efectos se trabajó cuantitativamente y, en menor grado, cualitativamente, haciendo conteos de detalle sobre los bucles en el tramo Casa de Piedra – Océano Atlántico. Se consideraron meandros aquellas curvas bruscas, con gran radio de curvatura, cuyo encuadre matemático hace que la longitud del rulo sea mayor que la del resultado de la fórmula

$$L > \pi \cdot d/2$$

donde L es la longitud del rulo; y d es el diámetro del círculo donde se inscribe respecto a los parámetros aplicados a las medidas de la onda (Heras *et al.*, 1973). En algunos pocos casos se pudo adjudicar esa condición a ondulaciones menores, que por consiguiente entraron en el conteo. Esas ondulaciones se consideran como curvas propias de la condición del agua en movimiento, suponiendo que, con el tiempo, evolucionarán hacia la condición plena de meandros (Derraux, 1970).

Un conteo detallado de la cantidad de meandros existentes, desde Casa de Piedra hasta la desembocadura en el mar, se indica en la tabla 8.2 donde se observa para el último período un incremento de 7 meandros.

<i>Según imágenes satelitarias de 1973</i>	181
<i>Según imágenes satelitarias de 1985/ 2000/2001</i>	188

Tabla 8.2. Cantidad de meandros entre Casa de Piedra y la desembocadura del río, antes y después del cierre. Fuente: elaboración propia

Puede aceptarse que la diferencia no es significativa, especialmente porque la condición estricta de meandro no es absolutamente evidente en algunas curvas. Ambas cifras indicarían un cierto equilibrio numérico en el río en el tramo considerado. Estableciendo una relación entre la cantidad de meandros y la longitud del río que también ha variado en el tramo en cuestión se tendría un coeficiente en parte indicativo de la actividad erosiva respecto a la meandrosidad (Heras *et al.*, 1973) que para el período anterior a Casa de Piedra es de 4,69 y posterior a Casa de Piedra es 5,14 (Tabla 8.3).

Período	km	meandros	Relación km/meandros
a) Anterior a Casa de Piedra	849	181	4,69
b) Posterior a Casa de Piedra	966	188	5,14

Tabla 8.3. Relación cantidad de meandros - longitud del río. Fuente: elaboración propia.

El análisis de las imágenes satelitarias permite señalar que los meandros aparecen bajo dos formas: aislados y en conjuntos. Los aislados son hidroformas solitarias que se dan junto a tramos que tienen curvas pero que no alcanzan la categoría de meandros. Están dispersos desde el alto valle hasta inmediaciones de la desembocadura y algunas son de extensión considerable. Los meandros que aparecen en conjuntos tienen la particularidad de presentarse en cuatro manifestaciones, a las que se referencia desde Casa de Piedra hacia aguas abajo y en sus límites de longitud geográfica indicadas en la figura 8.2 bajo los números romanos de I a IV. El ancho de los campos está medido en una recta entre su comienzo y su finalización.

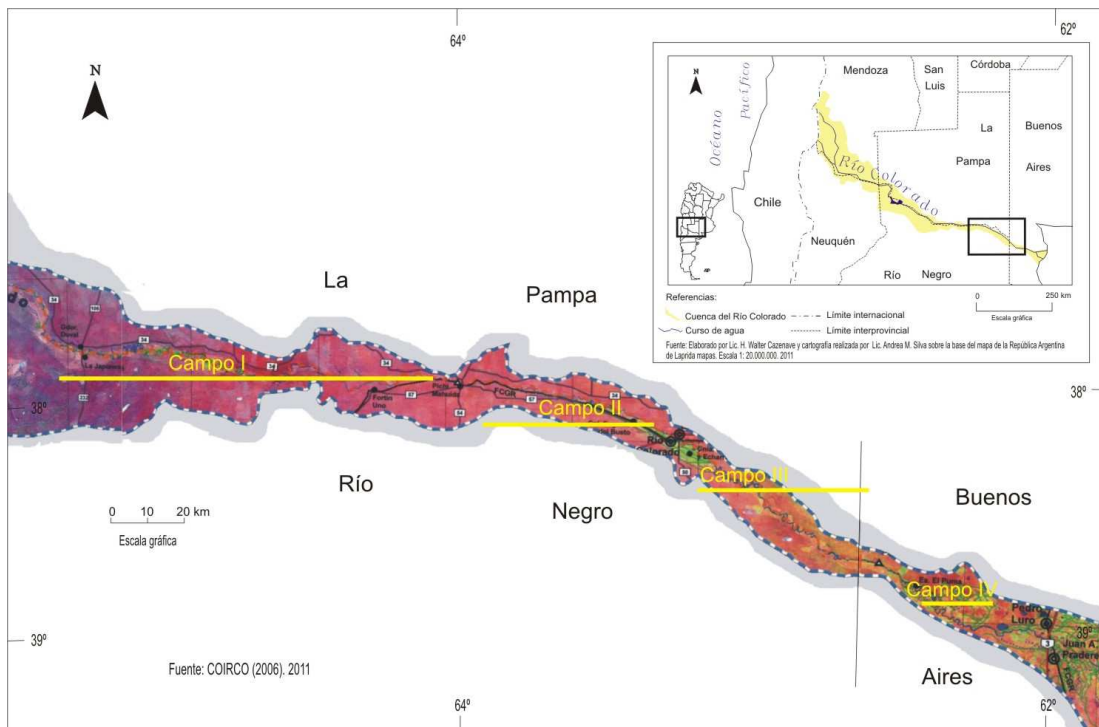


Figura 8.2. Ubicación de los campos de meandros en los valles medio e inferior del río Colorado. Fuente: elaboración propia

No es perceptible en los documentos analizados una migración evidente hacia aguas abajo de los campos de meandros, como afirma la teoría geomorfológica, aunque

cabe destacar que la desaparición de algunos bucles se advierte, justamente, en el comienzo del campo respectivo. La considerable separación entre los grupos I y II puede atribuirse a que en ese tramo se manifiestan las serranías de Pichi Mahuida y Choique Mahuida, con el consiguiente incremento en la pendiente del río. La separación entre los demás campos es muy pequeña, pero claramente manifiesta. En los primeros tres la actividad erosiva en las curvas es marcada, ya que se aprecian numerosos meandros abandonados, circunstancia que no se advierte en el último conjunto. En la tabla 8.4 se presenta la longitud medida para cada campo de meandros y los meridianos correspondientes a su localización.

Campo	Entre meridianos	Extensión en km
I	66°30' y 65°40'	120
II	64°40' y 64°10'	52
III	64°05' y 63°20'	52
IV	63°05' y 62°55'	22

Tabla 8.4. Ubicación y extensión de campos de meandros. Fuente: elaboración propia.

8.2.1. Variación en la cantidad de meandros previos y posteriores al dique

Más allá del conteo general y la identificación de los campos se estimó esencial a la intención del trabajo una consideración de detalle de la hidrografía del río en los dos estados que se indican: anterior y posterior a la construcción del dique. Mediante el uso de un pantógrafo óptico digital las imágenes ERST de 1973, en papel, fueron llevadas a la misma escala que las Landsat de 2001, sobre las que se había efectuado un calco del recorrido fluvial en el tramo de interés. Superponiendo éste a la traza antigua hubo coincidencia de las formas hidrográficas, aunque se detectaron algunas anomalías – variaciones en los meandros– que son significativas, según se indican en la tabla 8.5.

Anomalia	Aparecido	Desaparecido	Modificado	Tipo	Medidas (l x a) m	Margen	Ubicación
1		1 (estrang.)		Collar de buey	1500 x 3000	S	Alto Valle
2			1	Campana	2000 x 1600	N	Alto Valle
3	1			Alargado	2000 x 300	N	Alto Valle
4	1			Base ancha	1000 x 1200	N	Alto Valle
5		1 (estrang.)		Collar de buey	1200 x 300	S	Valle Medio
6		1 (estrang.)		Collar de buey	1000 x 250	S	Valle Medio
7			1	Alargado	600 x 600	N	Valle Medio
8			1	Triangular	150 x 150	S	Valle Medio
9	1			En escalera	1500 x 1000	N	Valle Inferior
Totales	3	3	3			5 N - 4 S	A 4; M 4; I 1

Referencias: l x a= largo por ancho, en metros; N = Norte; S = Sur; A M I = Valles alto, medio e inferior
 Tabla 8.5. Modificaciones de meandros en el curso del río Colorado, 1973/85 – 2001.
 Tramo Casa de Piedra – Océano Atlántico. Fuente: elaboración propia.

Se advierte entonces que entre 1973 y 1985 – 2001, sobre 9 ocurrencias registradas 4 tuvieron lugar en el alto valle, 4 en el valle medio y 1 en el valle inferior. También que 3 concretaron desapariciones de meandros por estrangulamiento, 3 apariciones de nuevos bucles y otras 3 de lo que se considera modificaciones, con vistas a una creación o desaparición, imposible de discernir al momento del estudio.

Las tres apariciones generaron bucles sobre la margen norte del río en tanto que las desapariciones –estrangulamientos– ocurrieron sobre la ribera sur. Las modificaciones se registraron 2 sobre la orilla norte y una de la sur. En total, de los 9 sucesos, 5 afectaron a la ribera septentrional y 4 a la meridional en tanto que, a partir del dique, 4 ocurrieron en el alto valle, 4 en el valle medio y sólo uno en el valle inferior.

Una primera lectura de la tabla podría hacer pensar que existe un cierto equilibrio entre la creación y destrucción de meandros en el trayecto, aunque estadísticamente consideradas son pocas las ocurrencias como para establecer una afirmación definitiva. Resulta evidente que algunas de las curvas del río demoran muchos años –medio siglo y más– en modificarse y esto sin considerar a los de tipo abastonado, cuyos movimientos son difíciles de registrar, ya que se desplazan paralelos a sí mismos, sin estrangularse (Derruau, 1970; Cazenave, 1984). Lo expuesto en el lapso considerado, 1973 – 2001, sugiere:

a) Un marcado equilibrio en la construcción y destrucción de los meandros en ambas márgenes (3 y 3).

b) Una etapa de mayor acción erosiva sobre las curvas ya constituidas en la ribera sur, donde aparecen estrangulados 3 meandros.

c) Una posible tendencia al revertimiento de b) dado que, excluyendo los desaparecidos, 4 de las 6 anomalías restantes se sitúan en la ribera Norte.

La serie de cambios hidrográficos expuesta se dio aguas abajo del dique y a partir del funcionamiento del mismo. En el siguiente apartado se particulariza la acción sobre un tramo más acotado y documentado.

8.2.2. El empleo de un segmento testigo

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 satelitarias, 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 satelitario 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.

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° 45' Oeste, sobre la longitud geográfica del establecimiento Las Retamas (RN), en proximidades de Paso Huelches y los 66° 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 8.6).

<i>Período</i>	<i>Coeficiente de variabilidad</i>	<i>Diferencia porcentual</i>
1947-48/1972-73	36,42	
1973-74/1999-00	35,81	1,67

Tabla 8.6. 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. 8.3). Aproximadamente a partir de la década de 1960 la tendencia supera la media de derrame anual en Pichi Mahuida de 4.200 hm³. 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 (Fig. 8.4).

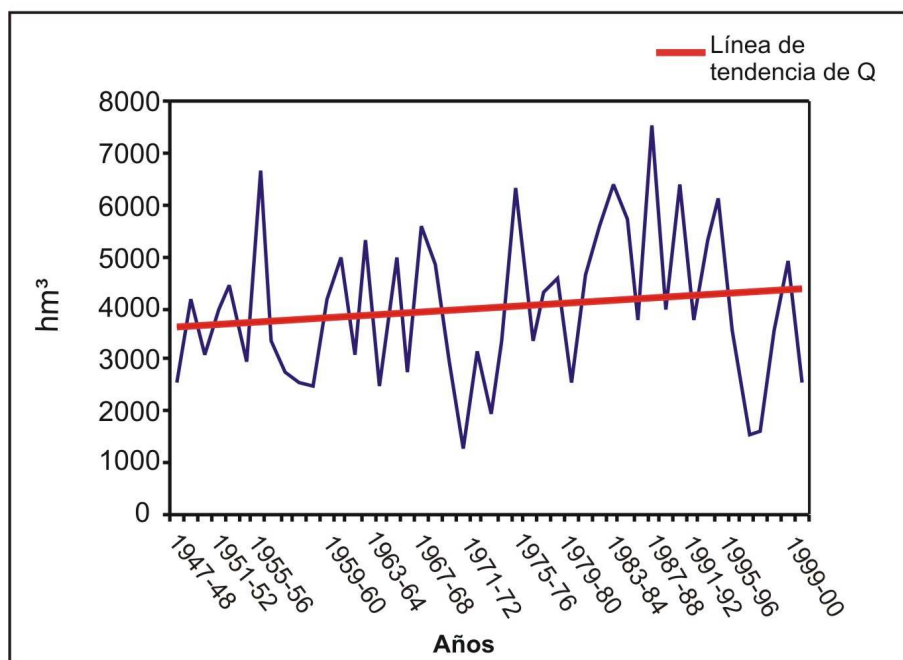


Figura 8.3. Pichi Mahuida. Tendencia hidrológica del río durante el período 1947 - 48/1991/92 en el tramo testigo. Fuente: elaboración propia y EVARSA 2000

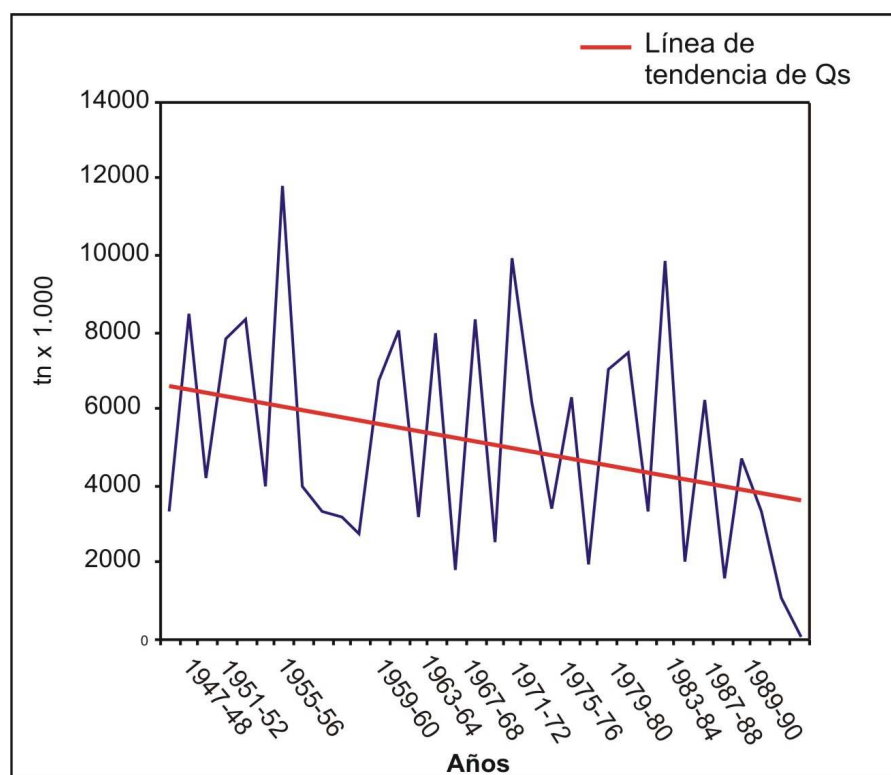


Figura 8.4. Tendencia del caudal sólido del río durante el período considerado en el tramo testigo 1947-48/1988 - 89. Fuente: elaboración propia y EVARSA 2000.

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 (Fig. 8.4).

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 satelitarias correspondientes a esos años que, como ya se mencionó, fueron llevadas a la misma escala.

8.2.3. 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 8.7.

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

Tabla 8.7. 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 satelitarias 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 8.8 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.

Año	Cantidad de meandros	Cantidad/Long. tramo	Índice
1948	35	35/103,95	0,337
1973	38	38/103,95	0,366
2000	44	44/103,95	0,423

Tabla 8.8. 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 8.9 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)
1948/1973	8,6	
1973/2000		15,8
1948/2000		25,7

Tabla 8.9. Variación porcentual de la cantidad de meandros. 1948/1973, 1973/2000 y 1948/2000. Tramo testigo en Huelches. Fuente: elaboración propia

En la tabla 8.10 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 8.9) 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.

Período	N° de años	hm³	% variación
1947-48/73	26	3676,77	
			19,8
1974-75/94	20	4404,6	

Tabla 8.10. Pichi Mahuida. Derrame y variación porcentual de los derrames anuales medios en los períodos 1947 - 48/73 y 1974 - 75/94. Fuente: elaboración propia

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).

En el primero de esos períodos, usando como base la traza de 1948 (Fig. 8.5) 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 8.11 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.

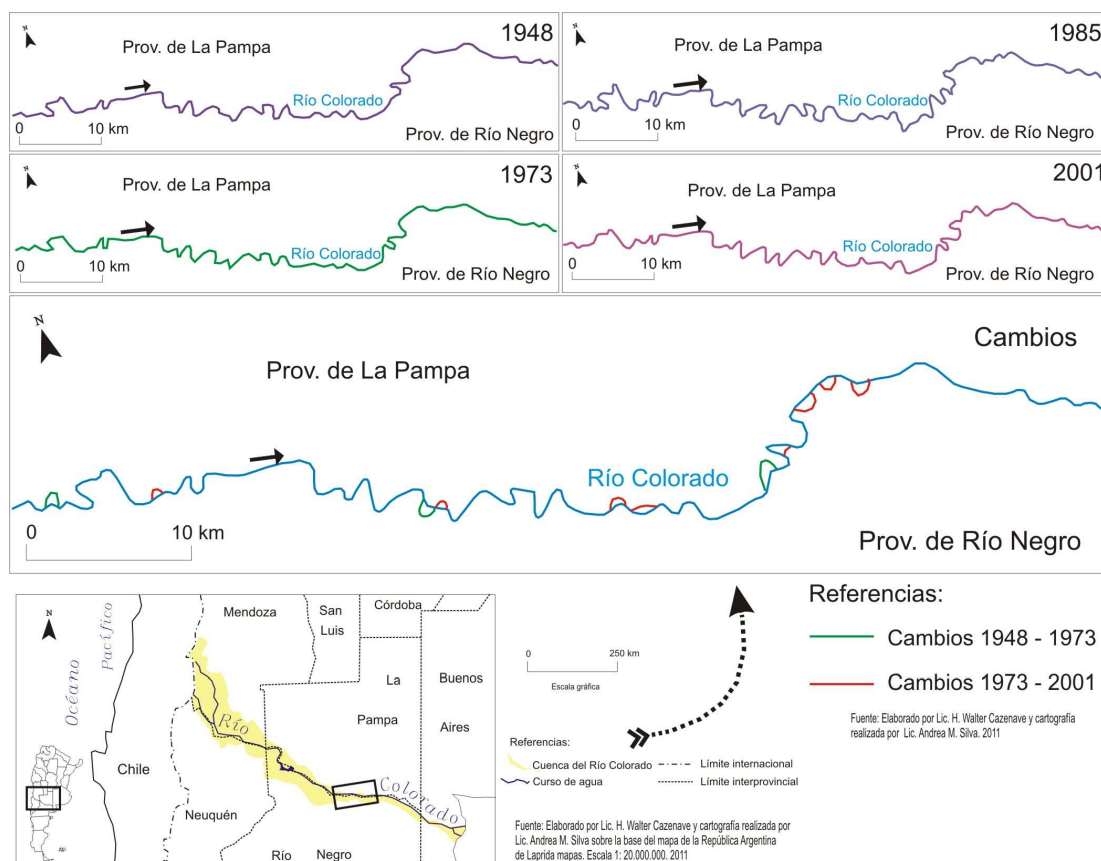


Figura 8.5. Formación y desaparición de meandros. Río Colorado en el tramo testigo Huelches. Período 1948 – 2001. Fuente: elaboración propia

En el segundo de los períodos considerados, 1973 - 1985 (Fig. 8.5) se observa la aparición de otros tres meandros:

1.- El primero ha surgido en la orilla norte, sobre lo que era un tramo recto del río y con una clara definición en U.

2.- A 15,5 km del anterior aparece, donde había un sector recto, una nueva curva en la orilla norte, a punto de ser técnicamente un meandro.

3.- A 10,5 km de 2) se advierte el surgimiento de un nuevo y claro meandro en la orilla norte, inclinado en el sentido de contracorriente. Simultáneamente se nota la rectificación de una curva anterior.

Estas hidroformas son sugestivas por dos razones. Primero, si bien al igual que en el período anterior son tres, han surgido en apenas 12 años, contra 25 años del

anterior; segundo, todas las modificaciones han tenido lugar en la orilla norte.

(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 ^{oo}
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 8.11. Aparición (a) y desaparición (b) de meandros en el tramo testigo. Período 1948 – 2001. Fuente: elaboración propia.

El último de los períodos constatados, 1985 – 2001, registra la aparición de tres bucles en U ubicados a unos 15 km del comienzo del tramo, simétricos y equidistantes unos 0,7 km uno del otro. Todos están ubicados en la margen sur.

La particularidad de este registro es que en él está comprendido el cierre de Casa de Piedra y comienzo de llenado del vaso (julio de 1989) hecho a partir del cual se podría pensar en una mayor acción erosiva del agua del río Colorado por perder el sedimento en el embalse y emerger el agua limpia y con gran capacidad de carga. Los tres bucles en U tienen la singularidad de ser simétricos, similares, equidistantes y ubicarse sobre la misma orilla. Los tres se formaron sobre la cabeza recta de lo que parece ser un gran meandro abastonado o, si se prefiere, simplemente en un tramo recto del río.

8.2.4. 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.

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 las siguientes variaciones (FigS. 8.6 y 8.7) para el año 2005:

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, trasformándose en redondeado, recostado también sobre la orilla norte.

4.- Desaparición de un bucle en la orilla norte por estrangulamiento, trasformándose 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.

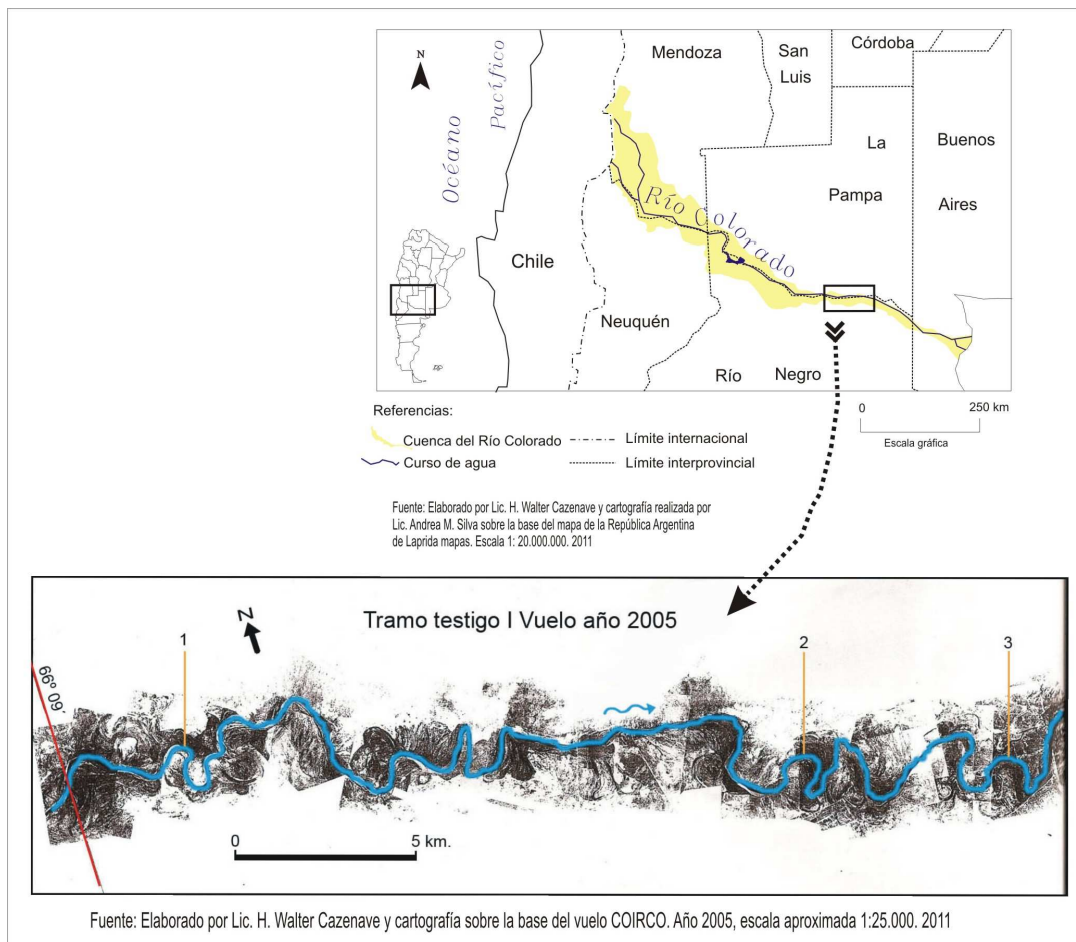


Figura 8.6. Tramo testigo I. Vuelo año 2005. Fuente: COIRCO;
Elaboración: Lic. H. Walter Cazenave.

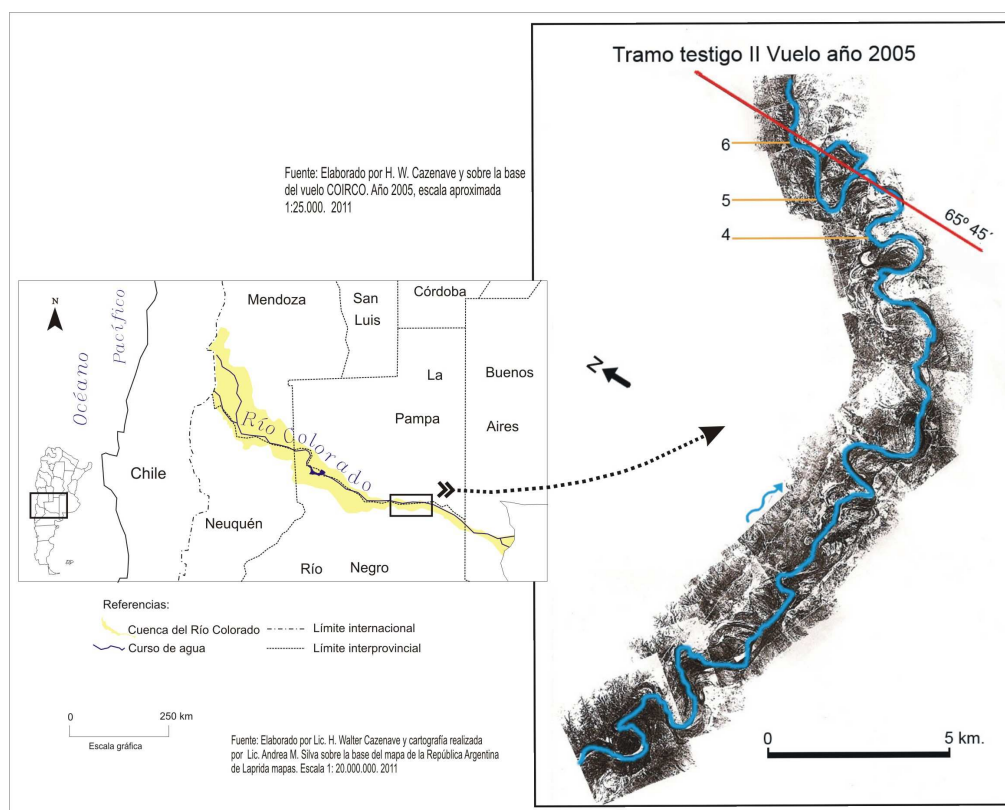


Figura 8.7. Tramo testigo II. Vuelo año 2005. Fuente: COIRCO; Elaboración: Lic. H. Walter Cazenave

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 (ocho si se consideran los más pequeños mencionados en 1 y 6) modificaciones pero en un período de cuatro años.

En la tabla 8.12 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.

Período	Número de meandros	Relación cant/tiempo
<i>1948/1973 (25 años)</i>	3	0,12
<i>1973/1985/2000 (27 años)</i>	8	0,3
<i>2000/2005 (5 años)</i>	6	1,2

Tabla 8.12. Modificaciones de meandros en el curso del río Colorado. Tramo testigo en Huelches. Períodos 1948/1973; 1973/1985/2000; /2001/2005. Fuente: elaboración propia

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.

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, según se indica en el Capítulo 3 de este trabajo, le adjudicaba más de un millar de km.

CAPÍTULO 9. CONCLUSIONES

La relación entre las corrientes fluviales y los medios físico y biológico que atraviesan ha sido preocupación del ser humano desde tiempos remotos. Dentro de esa relación siempre ha tenido un interés particular el estudio de los meandros por la singularidad e importancia que tienen esas curvas, tanto en lo específicamente fluvial como en lo referido a los asentamientos poblacionales de sus orillas. Aunque los estudios sistemáticos pueden remontarse al Renacimiento italiano, el afianzamiento de ese interés y los enfoques científicos se dan con intensidad a partir de fines del siglo XIX y comienzos del XX, especialmente por acción de las escuelas geomorfológicas francesa y norteamericana.

En la Argentina durante las últimas tres décadas, ese interés también se ha hecho manifiesto a través de diversos aportes sobre la posible predicción de avulsión y rectificación de meandros y sobre geometría hidráulica de ríos de llanura y consecuencias de las aguas aluvionales en el piedemonte precordillerano. En lo que hace al río Colorado los estudios son relativamente recientes en parte dirigidos a determinar origen y funcionamiento de la gran cantidad de caudal sólido que lleva.

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. Por acción de su gran embalse se produce la deposición del material transportado en suspensión, dándole una nueva condición física -y en parte también química- a las aguas emergentes del dique, que han dejado en el lago las arcillas y el limo que transportaban. Esos materiales, antes de existir el dique, se depositaban aguas abajo e impermeabilizaban naturalmente los canales en las áreas de regadío de los valles medio e inferior. El agua emergente del dique Casa de Piedra, casi carente de sedimento, tiene una capacidad erosiva mayor que la que fluye antes del embalse; esa condición permite reducir el tiempo de formación de un meandro en el área estudiada con respecto a sectores de aguas arriba de la presa. Estas circunstancias han generado también el fenómeno conocido como "aguas claras".

Para tener una idea global del río se consideraron los elementos témporo – espaciales básicos del área en cuestión. Se pasó después a la determinación sistemática

y cuantificada de las posibles anomalías en el funcionamiento del cauce fluvial y su área de influencia a partir de la construcción del dique y la formación del embalse, en el tramo ubicado aguas abajo de la obra. La determinación de esos cambios en el flujo fluvial - cambios hidrológicos- y en la morfología del cauce -cambios hidrogeomorfológicos- fue el propósito de la presente tesis.

La elección del tema se debió especialmente a la particularidad del enfoque geográfico, que permite una consideración e interrelación tanto de los problemas de índole física como de los originados por la acción humana. Por otra parte, este estudio permite la posibilidad de suministrar una herramienta de diagnóstico y planificación para ser utilizados en futuros trabajos de aprovechamiento a realizarse sobre el valle.

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 optó por trabajar 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 secuenciales y fiables del mismo. El tramo del río Colorado está comprendido entre los meridianos 65° 45' y 66° 09' Oeste.

Los materiales utilizados para el desarrollo del trabajo en lo que hace al estudio del tramo testigo comprenden desde la más antigua cartografía fiable que pudo encontrarse hasta imágenes satelitarias y fotografías aéreas recientes. Por la escasa bibliografía específica sobre el tema se desarrolló una metodología capaz de conjugar los elementos que se disponían. La misma se basó en el análisis seriado de los trazados hidrográficos de un mismo sector del curso, ordenado en el tiempo y cuantificado en las formas, evaluando los cambios que en él se hayan registrado. A ello debe agregarse el empleo de algunos parámetros emanados de geomorfología cuantitativa fluvial y de las necesidades del trabajo.

El enfoque geográfico obligó a una revisión del ambiente fluvial en sus aspectos humanos. A través de ella se comprobó que el río Colorado fue un curso no bien conocido hasta ya entrado el siglo XX, debido principalmente a que el estudio de su aprovechamiento comenzó desde aguas abajo. Esa circunstancia hizo que Casa de Piedra surgiera tardíamente como alternativa en la posibilidad de semiregular el derrame del río.

La historia del conocimiento geográfico del lugar muestra que, pese a haber sido transitado tempranamente en la Prehistoria, al estar al margen de las grandes vías de circulación entre ambos océanos, no tuvo demasiada importancia poblacional. Hay testimonios, sin embargo, que a fines del siglo XIX contaba con asentamientos indígenas de tronco mapuche, lo que permite sospechar que estos fueran más antiguos y aún remitidos a la etnia tehuelche.

El primero en determinar la importancia del lugar para la construcción de un dique que permitiera regar la planicie aledaña fue el ingeniero italiano César Cipolletti, quien con un equipo de colaboradores relevó el río a fines del siglo XIX. En sus estudios señalaron la conveniencia de erigir un azud a los efectos de levantar el agua y permitir el riego de la planicie aledaña. Sin embargo la idea tardó en concretarse por lo irregular del relevamiento fluvial, haciéndose efectiva en la década de 1980 y en virtud del Programa de Aprovechamiento Único al que arribaron las provincias condóminas del río Colorado.

La catástrofe que causó la llamada Crezca Grande, ocurrida a comienzos de 1915, más las circunstancias internacionales coetáneas impuestas por la guerra en Europa, sumadas a lo inhóspito del lugar, aventaron aquellas posibilidades de aprovechamiento, limitando la población a “puesteros” de condición muy pobre que vivieron de una elemental ganadería extensiva hasta el comienzo de los trabajos de levantamiento del dique. La construcción contempló un nuevo emplazamiento y casas adecuadas para aquellos que vivían en el área a ocupar por el embalse. Asimismo, en una tendencia que hasta entonces no era frecuente, previa la obra se realizó una prospección arqueológica, que llevó a descubrir el más antiguo poblamiento del norte patagónico, datado en alrededor de 8.300 años antes del presente.

El río Colorado se ubica en la cabecera norte de Patagonia, sin que esto signifique, como suele señalarse erróneamente, que es un límite taxatativo de esa región. Es un curso de régimen predominantemente nival que corre desde la cordillera de los Andes en la zona transicional sur de los Andes Aridos, hasta el océano Atlántico, a lo largo de poco más de 1.000 kilómetros. Su cuenca de alimentación drena un frente andino de unos 200 km de longitud y 15.300 km² de superficie, donde nacen los afluentes que forman los ríos Grande -que aporta aproximadamente el 70 por ciento del escurrimiento- y Barrancas, de cuya unión nace el Colorado propiamente dicho. La

superficie total de la cuenca varía según las fuentes: 34.040 km² para GÆA y 41.200 km² para el COIRCO. El caudal líquido se debe al derretimiento veraniego de la precipitación nival y, esporádicamente, las lluvias invernales. El caudal sólido que caracteriza al curso se origina mayormente en el arrastre por tormentas en la cuenca de alimentación y en la parte superior del alto valle. El río desemboca en el mar a través de un sistema deltaico, con cauces sobreelevados por su propio aporte. La traza del valle del río Colorado se desarrolla, de Oeste a Este, a través de las provincias geológicas de Payunia, Engolfamiento Neuquino, Bloque de las Mahuidas y Río Colorado.

El río atraviesa transversalmente la diagonal árida de la Argentina y sobre él pueden distinguirse claramente dos climas: el de montaña, que corresponde a la cuenca de alimentación y el inherente al valle fluvial, ya fuera de la masa montañosa. Toda la cuenca está sometida a la influencia de las masas de aire provenientes de los anticiclones del Atlántico, cálidas y húmedas, y del Pacífico, secas y frías al pasar la Cordillera. Sin embargo, en invierno las tormentas del lado occidental de la cordillera suelen tramontarla y descargan lluvias en la alta cuenca que pueden provocar crecidas considerables.

Los suelos de la cuenca son de tipo desértico, a excepción de los del valle fluvial que son aluvionales. Consecuentemente dan lugar a formaciones vegetales que originan estepas arbustivas, gramíneas y de vegas, según el área a considerar.

El río Colorado es el emisario final de la mayor de las cuencas desarrolladas íntegramente en el país, la llamada Desaguadero – Salado – Chadileuvú – Curacó, aunque se conecta con ella muy esporádicamente por la merma debida a los aprovechamientos que la cuenca tiene en sus afluentes, con la consecuente pérdida de caudales. El valle fluvial ha sufrido modificaciones en el tiempo geológico, desplazándose hacia el Sur al menos en tres oportunidades, siempre a partir de la misma zona de origen. En los últimos cincuenta años la presencia humana sobre el curso se ha hecho sentir a través de desvíos, cegamiento de brazos, tendido de ductos y obras de aprovechamiento.

Aunque la acción antropogénica ha hecho que las conexiones sean esporádicas, técnicamente se sigue considerando al río Colorado como la última expresión del sistema compuesto por la cuenca Desaguadero – Salado – Chadileuvú – Curacó, a la que se suele considerar endorreica pero que ocasionalmente transgrede esa condición. Ello

ocurre cuando en las crecidas excepcionales los volúmenes escurridos exceden la capacidad de almacenamiento y alcanzan el sistema de lagunas de Puelches a partir del cual, si llenan los cuencos restantes y superan la cota de 204,5 msnm embocan el río Curacó y llegan al Colorado.

Esa llegada de caudales de alto tenor salino se ha producido alrededor de una decena de veces durante el siglo pasado y cuando ocurre tiene consecuencias muy negativas para el valle inferior del río Colorado, donde se localiza la mayor área de cultivos bajo riego. Aunque a través de Casa de Piedra existe la posibilidad de erogar caudales que disminuyan esa salinidad, el Programa de Aprovechamiento Único del río Colorado contempla un trasvase desde el río Negro que aventaría cualquier peligro en ese sentido.

El estudio del comportamiento hidrológico del río Colorado se basó fundamentalmente en los registros de tres estaciones de aforos: Buta Ranquil, ubicada a la salida del sector montañoso y cuenca de alimentación; Pichi Mahuida, hacia la mitad del valle medio y Paso Alsina, en los comienzos del valle inferior. Pichi Mahuida, que tenía el más antiguo registro del país, quedó prácticamente inactivada a partir de la habilitación de Casa de Piedra, desde donde se manejan los caudales. En el año 1991 se dejó de aforar el sólido en las estaciones de Buta Ranquil y Pichi Mahuida.

En lo que hace a caudales en Buta Ranquil se registraban hasta el año 2000 145,6 m³/s y 4.596 hm³, ambos de media anual, en tanto que en Pichi Mahuida esas cantidades disminuían a 130,1 m³/s y 4.106 hm³, respectivamente. La pérdida entre ambas estaciones, del orden de los 16 m³/s, no ha sido bien determinada en sus causas, aunque se supone que está relacionada con la infiltración al atravesar mantos de basalto ubicados en el alto valle del río.

En la estación de Paso Alsina esos valores de escurrimiento y derrame anual alcanzan a 125 m³/s y 3.720 hm³. Los derrames anuales siempre han sido mayoritarios en Buta Ranquil, excepción hecha de los años en que el río Colorado recuperó su condición de emisario de la gran cuenca Desaguadero – Salado – Chadileuvú – Curacó.

Los hidrogramas de las estaciones son coincidentes en mostrar picos de caudal en los meses de verano y mínimas en los de invierno, si bien en Buta Ranquil suelen

verse alterados por algunas de las grandes tormentas que pasan desde la vertiente pacífica. La salinidad se presenta con valores inversos al caudal, en tanto que los sólidos se corresponden con los deshielos y con las citadas tormentas de invierno. Los hidrogramas de Pichi Mahuida y Paso Alsina se han visto alterados en sus valores y distribución temporal a partir de la puesta en funcionamiento de la represa de Casa de Piedra.

El paraje Casa de Piedra, en cuya angostura se levanta el dique, posiblemente debe su nombre a los aleros de calizas que caracterizan el lugar. Una singularidad del sitio es la aparición en la garganta excavada por el río, de los estratos del Rocanense, con abundantes mantos fosilíferos. El área se caracteriza por el brusco giro en ángulo recto que realiza el río y por la existencia en su parte norte de sucesivos y extensos surcos semiparalelos al curso actual con un doble origen posible: eólico o fluvial, debido a antiguos paleocauces.

Pocos kilómetros antes del paraje Casa de Piedra propiamente dicho, el valle se vuelve simétrico y estrecho y el río talla una garganta de unos 150 m de ancho, con taludes abruptos, que se elevan más de 20 m sobre el nivel del agua en su parte más alta. Allí fue construido el dique, una pared de materiales sueltos con núcleo impermeable de arcilla, que tiene casi 11 km de longitud y forma un embalse de unas 35.000 ha de superficie y 3.700 hm³ de volumen a cota máxima media de 283,50 msnm. La represa ha sido construida con vistas a usos múltiples ya que sirve para abastecimiento de agua potable, riego, regulación del río, generación hidroeléctrica, integración regional y recreación.

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 los años considerados en las series, 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.

Estos últimos cambios han tenido como consecuencia modificaciones en la traza hidrográfica, produciendo aparición y desaparición de meandros en plazos

comparativamente breves, lo que sugiere una relación temporal del agua desprovista o escasa de carga sedimentaria y sus efectos sobre las riberas en los valles medio e inferior del río Colorado. También por acción de la represa ha habido efectos singulares en aspectos estrictamente humanos, tales como la redistribución poblacional, la construcción de nuevos accesos viales, la mayor facilidad de aprovechamiento de las aguas desprovistas de sedimento, especialmente para consumo de agua potable y el fenómeno llamado "de aguas claras", de fuerte incidencia negativa en la agricultura de regadío.

Los aspectos hidrológicos de los cambios ocurridos se referencian en las estaciones ubicadas aguas abajo de Casa de Piedra: Pichi Mahuida y Paso Alsina. A través del análisis de los registros del río Colorado hasta 1993-1994, fecha en que se estima comenzó a ser muy marcada la influencia del embalse, se hacen evidentes los cambios hidrológicos.

En lo que hace al caudal medio en Pichi Mahuida se observa un suavizamiento de la curva del hidrograma correspondiente, que pierde el pico abrupto que culminaba en diciembre y lo reemplaza por otro de menor gradiente desplazado a noviembre. De allí en más hay una pendiente de descenso suave hasta alcanzar las mínimas, que se dan en junio y antes en mayo. Se supone en función de la ley estadística "De los grandes números" que, a medida que aumenten los años de registro, la curva se irá haciendo más suave. Se advierte claramente la disminución del caudal medio en todos los estados del río y su porcentual respecto a la situación anterior.

El aspecto del gasto sólido es donde el dique Casa de Piedra ha provocado los cambios más visibles y aún fundamentales en el ser y quehacer del río, ya que al obrar el lago como decantador, la corriente que emerge del dique ha disminuido drásticamente el transporte de sedimentos del curso hacia aguas abajo. La curva resultante refleja los inicios de la nueva situación con respecto a la anterior y marca una fuerte disminución en los valores de acarreo.

En la curva del hidrograma correspondiente a las variaciones del gasto sólido medio posteriores al cierre del dique en Pichi Mahuida, aparece un inusual pico de sólidos en agosto, posiblemente debido a las sueltas iniciales del dique, pero de allí en más hay un violento descenso que, aun en diciembre, paradójicamente, porque éste solía ser el mes de las máximas, está por debajo de las mínimas de la etapa anterior al cierre

del dique. Se continúa con pequeñas irregularidades hasta que en abril aparece un elevamiento súbito que es inferior, de todas maneras, a los picos anteriores y posiblemente producto de algunas lluvias zonales, para alcanzar la mínima absoluta en el mes de mayo, coincidiendo en esto con la antigua curva. Esta anomalía se trató por separado, no descartándose que obedeciera a un error de registro.

La curva correspondiente a sales totales posteriores al cierre del dique es la más anómala de las que se dan en Pichi Mahuida. Los máximos se han desplazado de mayo a noviembre y los mínimos, aunque se mantienen en diciembre como en la curva anterior, son el único rubro que, comparativamente, no da valores negativos. La curva se ha vuelto muy suave, a punto tal que el rango que contiene a los tres estados de caudal consignados pasó de 700 a 200 ppm.

Las medias de caudal, gasto sólido y sales en sus expresiones medias anteriores al cierre del dique relacionadas con las similares posteriores mostró que esos coeficientes expresados en forma porcentual son negativos, lo que corroboró el hecho de la disminución de todas las expresiones cuantitativas del río después del cierre del dique.

Aun con las limitaciones impuestas por la calidad de la sección, que la inhiben cuando se trata de caudales muy grandes, Paso Alsina se constituye en un significativo control y corroboración de Pichi Mahuida. Sus registros refrendan la evidencia de los cambios hidrológicos experimentados por el río a partir del cierre de Casa de Piedra.

La curva de caudales medios posteriores al cierre se ha suavizado, trasformando el abrupto pico de máxima anterior en una suave meseta, sesgada hacia el mes de noviembre. Contrariamente a Pichi Mahuida los meses de máxima y mínima siguen siendo los mismos que en la curva previa –diciembre y junio– aunque se registra el mismo escalón en agosto que en la estación anterior.

La nueva curva de caudales máximos medios tiene las mismas características que la de caudales medios, pero con la diferencia de que las mínimas se han desplazado desde mayo a junio. La curva de caudales mínimos medios, con iguales características, es la que más ha suavizado su perfil.

Tal como se señalara en la referencia a Pichi Mahuida es en el aspecto del gasto

sólido donde se advierte más la influencia del dique. Las disminuciones del trasporte son muy grandes y evidencian la acción de un agua clara y con gran capacidad erosiva.

La curva original, simétrica y con un máximo amesetado en noviembre-diciembre, distribución característica en todos los estados previos al cierre del dique, ha sido reemplazada por otra que, al igual que en Pichi Mahuida, registra sus máximos valores en agosto para, luego de una sima en septiembre, volver a elevarse en octubre y desde allí descender paulatinamente hasta alcanzar una mínima en mayo trastrocándose los valores estacionales originarios.

La curva de los máximos medios de gasto sólido sigue la misma tendencia, aunque registra un sólo pico en octubre y el mínimo sigue estando en junio. La curva de mínimos medios sigue la misma tendencia con iguales fechas de máximas y mínimas, pero su perfil es el más suave de las tres correspondientes a gasto sólido.

También en lo que hace a sales totales es manifiesta la influencia del embalse ya que todos los registros han disminuido porcentualmente. La curva posterior al dique es notoriamente más suave, si bien mantiene la tendencia previa de máximos en invierno y mínimos en verano. Hay dos particularidades notorias: los máximos se han desplazado de mayo a julio, en tanto que los mínimos lo han hecho desde diciembre a enero.

Comparada la curva y los valores de sales con los de caudal y gasto sólido se evidencia que la mayor asociación es con el caudal, ya que las disminuciones porcentuales son del mismo orden. Las comparaciones de las curvas anteriores y posteriores de las máximas medias y mínimas medias sugieren lo mismo.

En lo que hace a caudal, gasto sólido y sales en forma conjunta se advierte que, al igual que en los de Pichi Mahuida, los coeficientes surgidos del promedio de máxima, mínima y media de los tres rubros en su versión anterior al cierre del dique, son inferiores comparados con los posteriores al cierre, aunque no guardan ninguna similitud con aquellos.

En los aspectos hidrográficos, se han expuesto las razones cualicuantitativas que permiten afirmar que, tras erigirse el dique Casa de Piedra y formarse el lago de embalse, 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 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 actividad semejante o superior a la que normalmente le llevaba dos décadas para resultados similares. La traza hidrográfica se ha visto significativamente alterada por la rápida y frecuente aparición de nuevos bucles. El índice de meandrosidad en el tramo tomado como testigo pasó de 0,337 en 1948 a 0,366, en 1973 y de este último a 0,423 en 2000, lo que corrobora la idea de una mayor acción erosiva. 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. Tomando los períodos ya citados, 1948 – 1973 y 1973 – 2001, se advierte que la cantidad de curvas que alcanzaron la condición de meandros se duplicó en el segundo de ellos.

La conclusión más evidente en lo que hace al río en su nuevo estado con relación a la actividad antropógena es la aparición del fenómeno llamado de “aguas claras”. El mismo ha tenido una vertiente negativa y del análisis realizado se evidenciaron los serios problemas que trajo a las nuevas áreas de cultivos el agua desprovista casi completamente de sedimento. Sin embargo las “aguas claras” también han tenido un aspecto positivo, sí que menor, como es el que su mismo nombre indica, motivando a un mayor aprovechamiento turístico y facilitando el uso para consumo humano de las poblaciones ribereñas y aun de aquellas de fuera de la cuenca.

Con respecto al riego de nuevas tierras habilitadas al cultivo, su mayor capacidad de infiltración, debida a la carencia del sedimento impermeabilizante que se depositaba anualmente y la presencia de algas en cantidades inusuales motivada por mayor transparencia del agua, generaron en su momento un problema considerable. Ambas circunstancias motivaron significativos esfuerzos técnicos y económicos para ser contrarrestadas, que todavía hoy no han tenido solución completa.

Una segunda consecuencia positiva de los cambios ocasionados por la construcción del dique ha sido la creación de una nueva vía de circulación que une la

cabecera norte de la Patagonia con la región pampeana. El diseño del coronamiento de la obra como vía de paso de una a otra orilla justificó la pavimentación de una conexión con la localidad de Puelches, sobre la ruta nacional 152, por el Norte y con General Roca, sobre la ruta nacional 22 por el Sur, dando un acceso más fácil y rápido al alto valle del río Negro, al tiempo que permite una inédita posibilidad de comunicación en los desolados campos que atraviesa la ruta en territorio pampeano y rionegrino a lo largo de dos centenares de kilómetros.

El dique generó otras consecuencias de carácter antropógeno que merecen ser consignadas, aunque no estén basadas directamente en cambios hidrológicos y/o hidrográficos. Ellas fueron la masiva irrupción humana en un paisaje caracterizado hasta el momento inicial de la construcción –1981– por su extrema condición desértica, generando durante varios años infrecuentes fuentes de trabajo para buena parte de la población masculina de la zona y, en alguna medida, también para la femenina. Es cierto que la circunstancia fue temporalmente limitada a cinco años aproximadamente, pero resulta innegable que abrió nuevas posibilidades culturales a mucha gente, como así también de crear obligadas relaciones sociales, por múltiples motivos, para con esos pobladores sumidos en el aislamiento.

Por la misma causa es necesario mencionar dos aspectos más que hacen a la integralidad en la concepción de Casa de Piedra. Por una parte la redistribución habitacional de los puesteros cuyas casas se vieron afectadas por las aguas del embalse. La misma se consideró desde el principio mismo de la obra y se realizó atendiendo a los reclamos de las gentes, dotándolas de viviendas cómodas y dignas, lo más cercanas posible a su antiguo arraigo.

Complementariamente y como ha ocurrido en pocas grandes obras en la Argentina, el proyecto contempló una prospección arqueológica de las áreas a inundarse, a fin de rescatar en lo posible el rico material prehistórico que se sabía existente. Una consecuencia destacable de esa actitud fue el descubrimiento de la más antigua presencia humana comprobada en la provincia de La Pampa.

GLOSARIO

Alero: en Pampa y Patagonia saliente rocosa que obra como techo, generando nichos que sirven de abrigo. Frecuentemente fueron usados como sitios receptores de pinturas rupestres. En idioma mapuche suele denominárselos “**curá ruca**”. Cfr. Infra.

Bajo: en Pampa y Patagonia cualquier desnivel negativo del terreno. La denominación va ganando en entidad a medida que, desde la línea hidrográfica Atuel-Chadileuvú, se avanza hacia el Sur.

Barda: parte de las faldas o laderas montañosas, acantiladas o barrancosas, cuyo origen se debe a diferentes agentes de erosión.

Camino de los Chilenos: nombre genérico que se daba a las grandes rastrilladas troncales que comunicaban las Pampas con la Araucanía. Estaban trazadas sobre veredas prehistóricas peatonales, ampliadas después por el ganado y el tránsito a caballo. Solía aplicarse ese nombre por antonomasia al camino que, naciendo en Luján, atravesaba diagonalmente las Pampas siguiendo el hoy llamado Valle Argentino para cruzar el río Colorado a la longitud geográfica de Choele Choel, siguiendo luego la margen norte del río Negro hasta los pasos bajos de la cordillera.

Crezca: localismo por creciente, crecida.

Curá rucá: literalmente “casa de piedra” en idioma mapuche.

Garganta: estrechura o angostura de un accidente orográfico o hidrográfico. Angosto paraje de paredes abruptas labradas por la erosión fluvial en una quebrada o un valle.

Guadaloso: dicese de sectores del terreno muy pulverulentos, de materiales más finos que la arena, que dificultan el tránsito y sumen parcialmente a la persona o animal que pasa por ellos.

Legua: unidad antigua de longitud aplicada a las medidas itinerarias, de valores dispares. En América se generalizó la equivalente a 5.196 m y tiene vigencia hasta nuestros días.

Monte: localismo en la provincia de La Pampa y alrededores por bosque, fundamentalmente el referido a la franja del caldén.

Poblaciones cristianas: se entendían por tales las que se hallaban del lado no indígena de la frontera durante la lucha con el indio en los siglos XVI, XVII, XVIII y XIX.

Puesto: sitio rural donde está radicada una vivienda de pastores. Casi siempre se encuentran en lugares apartados de la zona desértica pampeano-patagónica y su entidad difiere de la del homónimo de la llanura húmeda, que se refiere a la dependencia de una estancia.

Rastrilladas: caminos que comunicaban las poblaciones indias y sitios estratégicos en las rutas prehistóricas, marcados por el tránsito peatonal primero y de arcos y jinetes después. Existe una tradición respecto a que ese nombre les venía del rastro que dejaba el tránsito ecuestre indígena llevando a la rastra su lanza.

Ríos secos: cauces esporádicos que suelen llevar agua –a veces en grandes cantidades y con mucha potencia– durante precipitaciones anómalas o de gran intensidad. Huayco puede aceptarse como equivalente.

Tierra Adentro: nombre que se le dio a los sectores desconocidos de las Pampas y parte de Patagonia hasta finales del siglo XIX.

REFERENCIAS

Bibliografía citada

Administración Provincial del Agua de La Pampa, 1985: *Salinidad de los ríos Atuel, Salado, Curacó y Colorado*. En diario La Arena, Santa Rosa, 21 de junio.

Agua y Energía Eléctrica. Sociedad del Estado. Dirección General de Irrigación del Ministerio de Obras Públicas: *Planillas anuales de registros de caudales en la estación de aforos Pichi Mahuida, 1918-1972*. Fotocopias inéditas obrantes en el Centro de Documentación de la Dirección de Aguas de La Pampa. S/d

Agua y Energía Eléctrica-COIRCO, (Comité Interjurisdiccional del Río Colorado).1983: *Estudio del río Barrancas a nivel de inventario*. Edición interna.

Agua y Energía Eléctrica. Sociedad del Estado, 1991: *Estadística hidrológica hasta 1990. Sedimentología. Nivología. Tomo II*. Gerencia de Ingeniería.

Agua y Energía Eléctrica. Sociedad del Estado. Dirección General de Irrigación del Ministerio de Obras Públicas: *Planillas anuales de registros de caudales en la estación de aforos Pichi Mahuida, 1918-1972*. Fotocopias inéditas obrantes en el Centro de Documentación de la Dirección de Aguas de La Pampa. S/d

Agua y Energía Eléctrica. Sociedad del Estado, 1992: Departamento recursos Hídricos: *Estudio sedimentológico en inmediaciones de las obras de toma de agua para riego de C.O.R.F.O. en el valle inferior del río Colorado*. 39 Pgs. Con fotografías y mapas, inédito. Santa Fe.

Alba A; Bianco H.: *El río Colorado y su hidroquímica*. Agua y Energía Eléctrica S.E. Inédito. S/d

Alvarrellos de Lell E.; Hernández Bocquet R. O, 1982: *Recursos hídricos pampeanos*. Subsecretaría de Información Pública. Biblioteca Pampeana, serie Folletos Nro. 29. Santa Rosa.

Arenas B.; Turazzini G., 1990: *Origen del gasto sólido en la cuenca del río Colorado. Tramo Bardas Blancas-Colonia 25 de Mayo*. Convenio A y E-COIRCO. Inédito.

Arenas B.; Turazzini G., 1992: *Origen del gasto sólido en la cuenca del río Colorado. Tramo 25 de Mayo-Casa de Piedra*. Convenio A y E-COIRCO. Inédito.

Balech Enrique, 1978: *Geocidio. La destrucción del planeta*. De la Flor. Buenos Aires.

Banchero, J.C., 1977: en Ente Casa de Piedra, *Memoria del proyecto*. Imprenta JMA. Buenos Aires

Bárceñas, J. R. (editor), 1992: *Culturas indígenas de la Patagonia*. Turner, s/d Madrid.

Behnke, F. I., 1979: *Manifiesto ecologista. Un desafío a la destrucción progresiva*

de la vida. Editorial Bruguera. Madrid, España.

Berón, M. A., 1999: *Contacto, intercambio, relaciones interétnicas e implicancias arqueológicas*. En actas de las Terceras Jornadas de Arqueología de la Patagonia.

Blench, T., 1966: *Mobile-bed fluviology. A regime theory treatments of rivers*. University of Alberta. Edmonton, Canadá.

Brice, J.C., 1975: *Earth Surface. Processes and Landform. Fluvial Geomorphology Appendix*. US Army research Office.

Bruniard, E. 1982: *La diagonal árida argentina: un límite climático real*. Revista Geográfica 95. Enero/junio 82. Instituto Panamericano de Geografía e Historia. México.

Bruniard, E., 1992a: *Climatología. Procesos y tipos climáticos*. Editorial CEYNE s.r.l. San Isidro. Argentina.

Bruniard, E., 1992b: *Hidrografía. Procesos y tipos de escurrimiento superficial*. Editorial CEYNE s.r.l. San Isidro. Argentina.

Burgos, J.J., 1974: *Mesoclimas del valle del río Colorado y su potencial agropecuario*. Revista EcoSur. Vol I, Nro. 1-2. Buenos Aires.

Calmels, A. P. y Carballo O. C., 1999: *Geomorfología de las regiones secas*. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, UNLPam. Santa Rosa.

Campo de Ferreras, A. y Diez, P. 2000. *Heterogeneidad hidrográfica en la cuenca occidental del río Quequén Grande, Argentina*. Sociedad Chilena de Ciencias Geográficas, Chile, 3 - 10.

Campo de Ferreras, A., Piccolo, M. C. 1997. *La cuenca hidrográfica del río Quequén Grande, Argentina*. Revista Geofísica. N°45, 57 - 72.

Campo de Ferreras, A., Piccolo, M.C. 1999. *Hidrogeomorfología de la cuenca del río Quequén Grande, Argentina*. Papeles de Geografía. N° 29, Universidad de Murcia, España, 35 - 46.

Capitanelli, R.G. 1992. *Procesos y formas de modelado de los terrenos*. Colección Geográfica. Editorial Cayre. San Isidro. Argentina

Casamiquela, R. M.: *Historia de Río Negro*. Editorial diario Río Negro. General Roca, s/d.

Casamiquela, R. M., 1986: *Bosquejo de una etnología de la provincia de Río Negro*. Ministerio de Educación y Cultura de la provincia de Río Negro. Viedma.

Casamiquela, R. M., 1998: *Estudio de la toponimia de la provincia de Río Negro*. Fundación Ameghino. Trelew, Chubut.

Cazenave, H. W., 1984: *Caracterización de sectores del río Colorado según la geomorfología fluvial*. Administración Provincial del Agua de La Pampa. Inédito. Santa Rosa.

Cazenave, H.W., 1987: *Sobre el origen del caudal sólido en el río Colorado*. Administración Provincial del Agua. Santa Rosa, L.P. Inédito

Cazenave, H.W., 1990: *Paleohidrográficas en el Sur de La Pampa*. Secretaría de Recursos Hídricos. Santa Rosa, L.P. Inédito.

Cazenave, H.W., 1996: *Geomorfología cuantitativa de la cuenca del arroyo Chadileo*. Dirección de Aguas de La Pampa - Universidad Nacional de La Pampa. Santa Rosa, L.P. Inédito.

Cazenave, H.W., 1997: *El sistema fluvioestalustre del río Salado-Chadileuvú en el tramo comprendido entre los bañados de "Euzkadi" y laguna "La Amarga"*. Tesis de licenciatura. Universidad Nacional de La Pampa. Santa Rosa. Inédito.

Cazenave, H.W., 2000: *Los paleocauces del río Colorado*. Inédito. Sec. RR.HH.

Centro de Investigaciones Geográficas (CIG), 1983: *El río Colorado y la franja desértica pampeano-patagónica. Contribución al estudio de la integración territorial*. Ministerio de Obras Públicas. Santa Rosa, La Pampa.

Centro de Investigaciones Geográficas (CIG), 1983: *Estudio integral de la cuenca del Desaguadero*. Edición oficial. Santa Rosa, La Pampa.

Cipolletti C., 1899: *Ríos Negro y Colorado: Estudios de irrigación. Informe del Ingeniero César Cipolletti*. Ministerio de Obras Públicas. Buenos Aires.

Comisión Interprovincial Río Negro-La Pampa. Panel de especialistas, 1987: *Estudio caudal mínimo*. Ente Provincial del Río Colorado. 25 de Mayo, La Pampa, 94 pgs. Inédito.

Comité Interjurisdiccional del Río Colorado (COIRCO), 1983: *Bases para el acuerdo interprovincial*. Bahía Blanca.

Comité Interjurisdiccional del Río Colorado (COIRCO), 1999: *Registros hidrológicos de las estaciones de aforos de Barrancas, Buta Ranquil, Casa de Piedra, Pichi Mahuida y Paso Alsina, desde sus inicios hasta 1999 inclusive*. Bahía Blanca. Inédito

Comité Interjurisdiccional del Río Colorado (COIRCO), 1983: *Bases para el acuerdo interprovincial*. Bahía Blanca.

Comité Interjurisdiccional del Río Colorado (COIRCO), 1999: *Río Colorado. Calidad del agua y sus usos*. Bahía Blanca.

Comité Interjurisdiccional del Río Colorado (COIRCO); Secretaría de Energía de la Nación; Grupo Interempresario, 1999: *Programa de relevamiento y monitoreo de calidad de aguas del Sistema río Colorado, embalse Casa de Piedra*. S/d.

Comité Interjurisdiccional del Río Colorado (COIRCO)-Secretaría de Energía de la Nación- Grupo Interempresario, 2002: *Calidad del medio acuático 2001*. Trascender impresiones. Bahía Blanca.

Comité Interjurisdiccional del Río Colorado (COIRCO), 2003: *Niveles y erogaciones en el dique Casa de Piedra*. Sitio Internet del COIRCO.

Comité Director del Proyecto Casa de Piedra, 1977: *Memoria del proyecto*. Buenos Aires.

Consejo Federal de Inversiones (CFI), 1962: *Evaluación de los recursos naturales de la Argentina. Recursos Hidráulicos Superficiales. Tomo IV, Volumen 1*. Guillermo Kraft Ltda. Buenos Aires.

Comisión Técnica Interprovincial del Río Colorado (COTIRC), 1960: *Informes varios sobre antecedentes y defensas en el río Colorado*. Inédito.

Cozzani de Palmada, M.R., 1991: *El concepto de medio ambiente humano en Geografía*. Revista de Geografía Norte Grande, 18. Chile

Cuello, P., 1969: *Las lluvias en La Pampa. Breve análisis sobre la distribución de las lluvias en el territorio pampeano*. Biblioteca Pampeana. Serie Folletos, Nro.8. Edición oficial. Santa Rosa.

Daus, F. A., 1973: *Geografía de la República Argentina. I Parte física*. Angel Estrada y Cía. Buenos Aires.

Daus, F. A., 1976: *Fisonomía regional de la República Argentina*. Editorial Nova. Buenos Aires,

De Aparicio, F., y Difrieri, H.A., 1958: *La Argentina, suma de Geografía*. Dirección: Ediciones Peuser. Buenos Aires.

De Fougeres, M., 1906: *La Pampa. Guía Descriptiva, Demostrativa y Administrativa del Territorio Pampa Central*. Primer año. Imp. Cúneo. Buenos Aires

Derruau, M., 1970: *Geomorfología*. Editorial Ariel. Barcelona, España.

Difrieri, H., 1980: *El río Curacó*. Imprenta del CFI. Buenos Aires.

Dirección de Aguas de La Pampa, 2000. Departamento Recursos Superficiales: *Anuario hidrológico. Río Curacó*. Inédito. Santa Rosa.

Dirección de Aguas de La Pampa. Departamento recursos superficiales, 2000: *Estadística de lluvias*. Inédito. Santa Rosa.

Diario *La Arena*, Santa Rosa, La Pampa, colecciones años 1983, 1984, 1985, 1988.

Diario *La Nueva Provincia*, Bahía Blanca, Buenos Aires, colección año 1985.

Dirección de Aguas de La Pampa, 2000. Departamento Recursos Superficiales: *Anuario hidrológico. Río Curacó*. Inédito. Santa Rosa.

Dirección General de Catastro de la provincia de La Pampa, 1881-1910: *Libretas de campo correspondientes a las mensuras originales de La Pampa (Libros azules)*.

Inéditos. Santa Rosa.

Dirección General de Catastro de la Provincia de La Pampa, 1910: *Duplicado de mensura 1099*. Inédito. Santa Rosa.

Dirección Provincial de Estadística de la provincia de La Pampa, 1981: *Las lluvias en La Pampa*. Edición oficial. Santa Rosa.

Ente Casa de Piedra, 1977: *Memoria del proyecto*. Tomos I a XXV. Imprenta JMA. Buenos Aires.

Ente Provincial del Río Colorado, 1974: *El río Colorado. Síntesis histórica, geográfica y técnica*. Edición oficial. Santa Rosa.

Ente Provincial del Río Colorado, 1999: *Población, economía y recursos naturales en la ribera pampeana del río Colorado*. Edición oficial. Santa Rosa.

Escuela de Hidrología, 1972: *Manual de Hidrología*. Editor principal Rafael Heras. Dirección General de Obras Hidráulicas. Madrid, España.

Farías, H. D. (b), 2005: *Geometría hidráulica de ríos de llanura. Enfoques analíticos considerando la influencia de las márgenes*. En "Principios y aplicaciones en hidráulica de ríos". Segundo Simposio Regional sobre Hidráulica de Ríos, Neuquén.

Fernández de Rubinich J. M., 1993.: *Río Colorado: contaminación por petróleo. Causas y consecuencias*. Ente Provincial del río Colorado. 25 de Mayo, La Pampa. Inédito.

GAEA, Sociedad Argentina de Estudios Geográficos, 1975: *Geografía de la Argentina. Recursos Hídricos. Tomo VII*. Buenos Aires.

Gobierno de la provincia de La Pampa: *Bases para la distribución de caudales del río Colorado. Antecedentes*. Edición oficial. Santa Rosa. S/d.

Gobierno de la provincia de La Pampa, 1956: *Conferencia Río Colorado. Anales de la reunión celebrada en Santa Rosa el 29 y 30 de agosto de 1956*. Talleres gráficos de la Dirección de Imprenta y Boletín Oficial de la Provincia de La Pampa.

Gradín, C., 1984: *Investigaciones arqueológicas en Casa de Piedra*. Ente Ejecutivo Casa de Piedra-Ministerio de Educación y Cultura. Provincia de La Pampa. Santa Rosa.

Groeber, 1916: *Informe sobre las causas que han producido las crecientes del Río Colorado (Territorios de Neuquén y La Pampa) en 1914*. Talleres gráficos del Ministerio de Agricultura de la Nación. Buenos Aires.

Hager, W. H., 2003: *Fargue, founder of experimental river engineering*. Journal of Hydraulic Research. Vol 41, N° 3. International Association of Hydraulic Research.

Heras, R., 1972: *Manual de Hidrología*. Escuela de Hidrología. Ministerio de Obras Públicas. Madrid.

Heras, R., 1976: *Hidrología y recursos hidráulicos*. Centro de Estudios Hidrográficos. Ministerio de Obras Públicas. Madrid.

Hernández Bocquet, R.O.; Laussirica, C. L., 1992: *Lluvias en la provincia de La Pampa. Análisis preliminar del período 1921-1980*. V Jornadas de Investigación, facultad de Ciencias Humanas de la UNLPam. Santa Rosa.

Hernández Bocquet, R.O., 1994: *La gran inundación del río Colorado*. En "Caldenia", suplemento cultural del diario La Arena, diciembre 27. Santa Rosa, L.P.

Horton, R.E., 1945: *Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology*. Bulletin of the Geological Society of America.

Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA)-Provincia de La Pampa-Universidad Nacional de La Pampa, 1980: *Inventario integrado de los recursos naturales de la provincia de La Pampa*. Instituto Salesiano de Artes Gráficas. Buenos Aires.

Johnson, R., 1993: *Estadística elemental*. Grupo Editorial Iberoamérica. México DF.

Lagasse, P., 1975-2004: *A matter of course. Prediction River Change*. New NCHRP Report. US Army Research Office.

Lagasse P.; Spitz William; Zeverbergen Lyle, 1996 : *A Methodology and View Tools for Predicting Channel Migration*. National Research Council. USA.

Landriscini, G.; Fernández, N.; Larreguy, A., y Baylac, M., 2005: *Efecto de las aguas claras en el sistema de riego del Alto Valle del río Negro*. Departamento Provincial de aguas de la Provincia de Río Negro. Inédito.

Legislatura de Río Negro, 1990. Comisión de aprovechamiento integral de los recursos hídricos: *Reducción de caudales en el Río Colorado. Tramo Punto Unido-Embalse Casa de Piedra. Estudios preliminares*. Edición oficial. Viedma.

Leopold, L. B., 1953: *River meanders and vortice theorem*. American Geophysical Union. Volume 34, number 6, December. Washington.

Leopold, L.B. and Wolman, G.M., 1960: *River meanders*. Geological Society of America Bulletin; v. 71; no. 6; p. 769-793. June. Washington.

Leopold, L.B.; Wolman, M.G., and Miller, J.P., 1963: *Fluvial Processes in Geomorphology*. W.H. Freeman and Company. San Francisco, EE.UU.

Llambías, E. 1975; *Geología de la Provincia de La Pampa*. (Inédito)

Magnani, C. R.; Hernández, J. I.; Saa, J. C., 1995: *Fenómeno aguas claras. Su impacto ambiental y socioeconómico en San Rafael. Mendoza*. San Rafael, Mendoza. Inédito.

Malagnino, E., 1987: *Geomorfología de los cursos medio y superior del río Colorado y regiones adyacentes*, En: "Estudio del aprovechamiento hidráulico del río

Colorado. Dique Casa de Piedra". Ente Casa de Piedra.

Mármol, L., 1969: *Cuencas hidrográficas del Neuquén lindantes con el alto Barrancas*. CFI. Inédito.

Martínez Sierra, R., 1975: *El mapa de las Pampas*. Ministerio del Interior. Buenos Aires.

Marzo, M., e Inchauspe, O., 1967: *Geografía de Mendoza*. Editorial Spadoni S.A. Mendoza.

Massa, L. 1957: *Misiones salesianas en La Pampa*. Editorial Don Bosco. Buenos Aires.

Medús, N. B.; Cazenave, H. W., y Hernández, R. O., 1981: *Geografía de La Pampa*. Editorial Extra. Santa Rosa.

Medús, N. B., Tourn, Gladys M., 1984: *Presa embalse Casa de Piedra. Pautas para la reubicación de población*. Inédito. Santa Rosa, L.P.

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.

Mikkan, R.A., 2000: *Geomorfología del área protegida "Payunia". Malargüe. Mendoza. Argentina*. Ceider, Centro Interdisciplinario de Estudios Regionales. Facultad de filosofía y Letras. Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza.

Mikkan, R.A., 2007: *Geomorfología volcánica de la Reserva La Payunia. Malargüe, Mendoza, Argentina*. Editorial de la Facultad de Filosofía y Letras. Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza.

Ministerio de Economía, Obras y Servicios Públicos. Secretaría de Energía-EVARSA: *Estadística hidrológica 1994*. S.d.

Morisoli, E., 1983: *Apuntes sobre el proceso de poblamiento de la cuenca media del río Colorado*. Administración Provincial del Agua, provincia de La Pampa. Santa Rosa.

Munguía, S., y Campo de Ferreras, A., 2003: *Características hidrogeomorfológicas de la cuenca del arroyo Pescado Castigado, Buenos Aires, Argentina*. Murcia. España. ISSN: 0213 -1781. Papeles de Geografía, 38; 137 - 150.

Musters, G.Ch., 1976: *Vida entre los patagones*. Hachette, Buenos Aires.

Olascoaga, M. J., 1974: *Estudio Topográfico de La Pampa y Río Negro*. Eudeba. Buenos Aires.

Otero, J. A., 1982: *Gentes del Colorado. Los Burnichón y su tiempo*. Imprenta Martínez y Rodríguez SRL. Bahía Blanca.

Paesa, P. R., 1971: *El cauce del río Colorado: un hito de su cultura*. Buenos Aires. S/d. 384 pgs.

Palacios Hardy, G., 1942: *Navegación del río Colorado*. Anónimo. Inédito. S/d. 30 pgs.

Paso Viola, L. F., 1986: *Diccionario de Geografía*. Karten Editora. Buenos Aires.

Perl J.; A. F. (1995): *El tratado del río Colorado*. Conferencia en la Universidad Nacional de La Pampa. Santa Rosa. Inédito.

Provincia de La Pampa. Ministerio de Hacienda, Obras y Servicios Públicos. Comisión Técnica Acueducto río Colorado, 1998: *Estudio de impacto ambiental del acueducto río Colorado*. Santa Rosa.

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.

Rice, R.J., 1983: *Fundamentos de Geomorfología*. Paraninfo. Madrid, España.

Roldán, L. E., 1989: *La Pampatagonia*. Edición oficial, Honorable Cámara de Diputados de La Pampa. Santa Rosa.

Romero Díaz, M.A., y López Bermúdez F. 1987: *Morfometría de redes fluviales: revisión crítica de los parámetros más utilizados y aplicación al alto Guadalquivir*. Papeles de Geografía (Física). N° 12- Universidad de Málaga.

Rosell, R. A.; Luque, J. A.; Carlson R. M., 1964: *Informe sobre el valle inferior del río Colorado*. Instituto de Edafología e Hidrología. N° 15. Universidad Nacional del Sur. Bahía Blanca.

Scartascini G., 1964: *Sedimento en suspensión transportado por el río Colorado en Pichi Mahuida. Su composición mineralógica en relación a su granulometría*. Agua y Energía Eléctrica. Inédito.

Schumm, S.A., 1977: *The fluvial system*. J. Wiley & Sons. N.Y. USA.

Seara, C. A.: *El mar Rocanense y sus fósiles en La Pampa*. Biblioteca Pampeana, Serie Folletos. Nro. 12. Santa Rosa. S/d.

Secretaría de Energía, Ministerio de Economía y Obras y Servicios Públicos: *Estadística hidrológica 1994*. EVARSA. Buenos Aires, s/d.

Sobral, J. M., 1942: *Geología de la comarca de La Pampa al occidente del Chadi-leuvú*. Boletín de Informaciones Petroleras XIX Nro. 212 33-79. Buenos Aires.

Stieben, E., 1946: *La Pampa: su historia, su geografía, su realidad y porvenir*. Peuser. Buenos Aires.

Strahler, A., 1982: *Geografía Física*. Omega. Barcelona, España.

Subsecretaría de Minería de la Nación. Servicio Geológico Minero Argentino. Instituto de Geología y Recursos Minerales, 1999: *Geología argentina*. Anales N° 29.

Buenos Aires.

Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación, 1971: *Recursos hídricos, Vol. I, Nro. 2/ El río Colorado*. Buenos Aires.

Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación, 2001: *Estadística hidrológica del siglo XX. República Argentina*. Confeccionada por Evaluación de Recursos S.A. (EVARSA). Secretaría de Obras Públicas. Buenos Aires.

Uliana, M. A., 1979: *Geología de la región comprendida entre los ríos Colorado y Negro, provincias de Neuquén y Río Negro*. Tesis doctoral. Facultad de Ciencias Naturales y Museo, Universidad Nacional de La Plata.

Universidad Nacional de Buenos Aires, 1973: *12.000 años de Patagonia*. UBA. Buenos Aires.

Universidad Nacional del Comahue, Departamento de Geografía, 1983: *Atlas de la provincia del Neuquén*. General Roca, R.N.

Vich, A. I. J., 1996: *Aguas continentales. Formas y procesos*. Talleres gráficos del Centro de Economía, Legislación y Administración del Agua y el Ambiente. Mendoza.

Vilela, C.R. y J.C. Riggi, 1956. *Rasgos geológicos y petrográficos de la sierra de Lihué-Calel y área circundante, provincia de La Pampa*. Revista Asociación Geológica Argentina, Tomo XI, N° 4. Bs. As.

Weber, J. F., 2005; 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", Neuquén.

Zeballos, E. S., 1994: *Viaje al país de los araucanos*. Solar. Buenos Aires.

CARTOGRAFÍA

ARMADA ARGENTINA

Servicio de Hidrografía Naval. Relevamiento aerofotográfico río Colorado.
1:20.000. 1978.

COMISIÓN NACIONAL DE ACTIVIDADES ESPACIALES (CONAE)

Imágenes satelitarias multiespectrales Landsat TM5:

227-087 del 04.02.01.

228-087 del 03.02.01.

229-087 del 02.02.01.

230-086 del 31.12.00

Imagen satelitaria ERST

184-185 24.11.75.

COMISION TECNICA INTERPROVINCIAL DEL RIO COLORADO (COTIRC).

1961

Cartografía preliminar de la cuenca del río Colorado. Hojas 1 a 18.

Escala 1:200.000

COMITÉ INTERJURISDICCIONAL DEL RIO COLORADO (COIRCO):

Relevamiento aerofotográfico del río Colorado, 2005, Escala 1:25.000;

Mapa de la cuenca del río Colorado, 2006. Escala 1:750.000-

DIRECCIÓN GENERAL DE CATASTRO Y GEODESIA DE LA PROVINCIA DE LA PAMPA.

Plano de mensura de la colonia "25 de mayo"

Escala 1:100.000

Dirección general de Tierras y Geodesia de la Nación. 1910.

Mensuras originales del territorio de la pampa.

Duplicados de mensuras. Escala 1: 200.000

"Libros azules" de lotes. Escala 1:120.000

INSTITUTO GEOGRAFICO MILITAR

Escala 1:500.000

Hoja Planialtimétrica Neuquén _ 3969.- 1969.

Hoja Planialtimétrica Villa Regina_3966.- 1972.

Hoja Planialtimétrica Bahía Blanca_ 3963.- 1965.

Hoja Planialtimétrica Chos Malal _3769.- 1974/78

Escala 1:250.000

Hoja Planialtimétrica Barrancas_ 3769-I.-1990

Hoja Planialtimétrica Chos Malal_ 3769-III-1990.-

Hoja Planialtimétrica Las Ovejas_ 3772-II.-1990

Hoja Planialtimétrica Catriel_ 3769-IV.-1990

Hoja Planialtimétrica Neuquén_ 3969-II.-1994

Hoja Planialtimétrica Puelches_ 3966-II.-1987

Escala 1:100.000

Hoja Planialtimétrica Bajada La Escondida_ 3969-6 1989

Hoja Planialtimétrica Casa de Piedra- 3966-1.-1989

Hoja Planialtimétrica Paraje Rolán_3966-7.-1989

Hoja Planialtimétrica Estancia La Silvina_ 3966-14.-1989

Hoja Planialtimétrica Gobernador Duval_ 3966-15.-1989

Hoja Planialtimétrica Estancia Santa Nicolasa_ 3966-16.-1983

Hoja Planialtimétrica Estación Fortín Uno_ 3966-17-1983

Hoja Planialtimétrica Pichi Mahuida_ 3966-18.-1983

Hoja Planialtimétrica Río Colorado_ 3963-13.-1983

Hoja Planialtimétrica Salinas Grandes_ 3963-20.-1971

Idem en Carta de imagen satelital de la República Argentina.- 12/1993

Hoja Planialtimétrica Colonia Juliá y Echarren_ 3963-19.-1984

SECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS DE LA PAMPA: Cuenca imbrífera del río Colorado. 1:500.000. Dibujada por Armando Cappello. Santa Rosa. 1992.

SERVICIO MINERO GEOLÓGICO DE LOS ESTADOS UNIDOS: Imágenes Landsat 2011, 227-087; 228-087; 229-087; 230-086; 230-087; 231-086; 232-085.

Bibliografía consultada

Abu-Zeid M.; Saad M.B.A., 1993: La gran presa de Asuán, 25 años después. Correo de la UNESCO. París.

Agua y Energía Eléctrica. Sociedad del Estado, 1991: *Estadística hidrológica hasta 1990. Sedimentología. Nivología. Tomo II*. Gerencia de Ingeniería.

Alvarez, G., 1983: *Neuquén*. Tomo III. Gobierno de la provincia del Neuquén. Buenos Aires.

Alvarrellos de Lell, E.; Hernández Bocquet, R.O, 1982: *Recursos hídricos pampeanos*. Subsecretaría de Información Pública. Biblioteca Pampeana, serie Folletos Nro. 29. Santa Rosa.

Avery, T. E., 1977: *Interpretation of Aerial Photographs*. Burgess Publishing Company. Minneapolis, USA.

Benítez, J. C., 1993: *Cuenca neuquina-Sur mendocina*. En "Geología y recursos naturales de Mendoza". Víctor A. Ramos, editor. Buenos Aires.

Bethemot, J., 1980: *Geografía de la utilización de las aguas continentales*. Oikos-Tau. Barcelona. España.

Bibliográfica Omeba, 1966: *Gran Omeba. Diccionario Enciclopédico Ilustrado*. Buenos Aires.

Bloom, A. I., s/d : *La superficie de la Tierra*. Ediciones Omega. Barcelona, España.

Bunge, M., 1995: *La ciencia, su método y su filosofía*. Editorial Sudamericana. Buenos Aires.

Calmels A. P., y Carballo O.C., 1991: *Vocabulario de Geomorfología*. UNLPam., Facultad de Ciencias Naturales. Santa Rosa.

Calmels, A. P., 2000: *Manual de relevamiento geomorfológico de escalas grandes*. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, UNLPam. Santa Rosa.

Casado, A., Gil, V. y Campo, A., 2007. *Consecuencias de la variación de la disponibilidad hídrica en la cuenca del arroyo El Belisario, Buenos Aires, Argentina*. Revista Huellas, ISSN 0329 – 0573, N° 11, 9 – 26.

Chorley, R. J., 1969: *Introduction to fluvial processes*. Methuen and Co. Ltd. The Chaucer Press. Suffolk, Inglaterra.

Comité Interjurisdiccional del Río Colorado (COIRCO-Agua y Energía Eléctrica S.E. Gerencia de Ingeniería, 1992: *Sedimentación en el embalse "Casa de Piedra"*. 29 Pgs. Con gráfico y mapas. S/d.

Comité Interjurisdiccional del Río Colorado (COIRCO), 2001: *Subprograma evaluación del estado trófico del embalse Casa de Piedra*. Año 2000. Bahía Blanca.

Comité Interjurisdiccional del Río Colorado (COIRCO)-Secretaría de Energía de la Nación- Grupo Interempresario, 2002: *Calidad del medio acuático 2001*. Trascender impresiones. Bahía Blanca.

Congreso Geológico Argentino, XII, 1993: *Geología y recursos naturales de Mendoza*. Víctor A. Ramos, editor. Buenos Aires.-

Consejo Federal de Inversiones (CFI), 1961: *Evaluación de los recursos naturales de la Argentina. Recursos hidráulicos superficiales. T IV, Vol. I*. Buenos Aires.

Christofolletti, A., 1981: *Geomorfología fluvial. Volume I. O canal fluvial*. Editora Edgar Blucher Ltda. San Pablo, Brasil.

DATASA (Desarrollo y Asistencia Técnica Argentina Sociedad Anónima), 1965: *Proyecto de desarrollo agrícola en Colonia 25 de Mayo. Sector Clima*. Ente Provincial del Río Colorado, Provincia de La Pampa.

Daus, F. A., 1973: *Geografía de la República Argentina. Parte física*. Angel Estrada y Cía. Buenos Aires.

Davis, K. S., 1985; Day J. A.: *Agua: espejo de la ciencia*. EUDEBA. Buenos Aires.

De Angelis, P., 1969: Colección de Obras y documentos, Tomo II. Editorial Plus Ultra, Buenos Aires.

Difrieri, H., 1976: *Normas para la presentación de trabajos geográficos*. Imprenta de la Facultad de Filosofía y Letras. Buenos Aires.

Difrieri, H., 1983: *Historia del conocimiento geográfico e hidrología de los ríos de la cuenca Desaguadero-Salado-Chadileuvú-Curacó*. Ministerio de Obras Públicas de La Pampa. Santa Rosa.

Durán Artigas, N.N.: *Desertización del Oeste Pampeano*. Ministerio de Economía y Asuntos agrarios s/d. Inédito. 66 pgs. S/d

Ediciones Larousse, 1992: *Pequeño Larousse Ilustrado*. Buenos Aires.

Editorial Kapelusz S.A., 1980: *Diccionario de la lengua española*. Madrid.

Ente Casa de Piedra, 1977: *Memoria del proyecto*. Tomos I a XXV. Imprenta JMA. Buenos Aires.

Ente Provincial del Río Colorado, 1979: *Programa Provincial de Aprovechamiento del Colorado. Información general*. Edición oficial. Santa Rosa.

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación), 1967: *La erosión del suelo por el agua*. FAO, Roma, Italia.

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, Neuquén.

Ferrari, J., 1997: *Introducción a la formulación de proyectos*. Lucas Morea. México.s/d.

Ferrer-Vélez, E.: *Cuencas. Aproximación al análisis de los sistemas hidrográficos*. Fondo Editorial Ecosmos. Mérida, Venezuela. S/d

Fuentes A. J. y Velo R. A., 1993: *Aprovechamientos hidráulicos*. En "Geología y recursos naturales de Mendoza". Víctor A. Ramos, editor. Buenos Aires.

Giai, S., 1986: *Reconocimiento de las lagunas Negra y Fea. Cuenca del río Barrancas*. Administración Provincial del Agua. Santa Rosa. Inédito.

Gil, V., y Campo, A. M., 2008. *Carta geomorfológica de la cuenca arroyo del Oro, Buenos Aires, Argentina*. Sociedad Chilena de Ciencias Geográficas, ISSN 0717 – 3946. Chile. 46 – 51.

Gobierno de la provincia de La Pampa, 1979: *Río Colorado. Reseña geográfica, actualidad y futuro*. Biblioteca Pampeana. Serie Folletos N°27. Santa Rosa.

Gregory K.J. / Walling D.E., 1979: *Man and Environmental Processes. A Physical Geography Perspective*. Dawson. Westview Press. Kent England.

Groeber P., 1980: *Observaciones geológicas a lo largo del meridiano 70*. Asociación Geológica Argentina. Buenos Aires.

Instituto Danés de Hidráulica, 1999: *Diagnóstico de la inundación en la región NorEste de la provincia de La Pampa, Argentina*. Gobierno de la provincia de La Pampa. Santa Rosa. Inédito.

King Cuchlaine, A. M., 1983: *Geografía física*. Oikos-Tau. Barcelona, España.

Lambert, L.R., 1948: *Informe geológico sobre el proyecto de embalse del río Colorado en Paso Huelches (Territorios de La Pampa y Río Negro)*. Secretaría de Industria y Comercio de la Nación. Dirección General de Industria Minera. Buenos Aires.

Lateinamerika-studien:/content/natur/naturesp/nature. 2005

Lopez Bermúdez, F.; Rubio Recio, J.M., y Cuadrat J.M., 1992: *Geografía física*. Ediciones Cátedra. Madrid, España.

Ivovich M., 1975: *El agua en el mundo: presente y futuro*. Editorial Cartago. Buenos Aires.

Magnani, C. R.; Hernández, J. I.; Saa, J. C., 1995: *Fenómeno aguas claras. Su impacto ambiental y socioeconómico en San Rafael. Mendoza*. San Rafael, Mendoza. Inédito.

Mikkan, R. A., 2007: *Aguas salvajes. El problema aluvional de la Ciudad de Mendoza. Argentina*. Colección Jarilla. Editorial de la Facultad de Filosofía y Letras de la Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza.

Miliarium, portal, 2008: www.miliarium.com/Monografias/TresGargantas. Internet.

Ministerio de la Producción, 1985: *REPAGRO (Registro Provincial de Producción Agropecuaria)*. Edición oficial. La Pampa.

Morisoli, E., y Rodríguez Diez, O., 1960: *Informe sobre posibilidades de aprovechamiento del río Colorado entre el Meridiano X y La Japonesa*. Inédito. COTIRC. S/d. Inédito

Morisoli, E. *et al.*, 1975: *Los valles templados de los ríos Colorado y Negro. Su unidad regional*. Instituto de Estudios Regionales. Universidad Nacional de La Pampa.

Monkhouse, F.J., 1978: *Diccionario de términos geográficos*. Oikos-Tau. Barcelona, España.

Otero, J.A., 1969: *Los caudales del río Colorado*. Editorial Mangrullo. Bahía Blanca.

Ortega Valcarcel, J., 2000: *Los horizontes de la geografía*. Editorial Ariel. Barcelona. España.

Pfister H.; Savenije H.G.; Fenicia F., 2009: *Leonardo Da Vinci' s Water Theory. On the origin and fate of water*. IAHS Press. Eynsham, England.

Redondo Fernández, F., 2004: *El difícil equilibrio entre la defensa contra las inundaciones y la protección del entorno fluvial*. Confederación Hidrográfica del Norte, España, S/d.

Rice, E.: *Cartografía general*. Ediciones Omega. Barcelona, España. S/d.

Ritcher, A. H., 1999: *Actualización. Estudio de salinidad de las aguas del río Colorado. "Informe resumido de sus características salinas"*. Puente dique Punto Unido. Ente Provincial del río Colorado. 25 de Mayo.

Ryding, S., y Rast W. *El control de la eutrofización en lagos y pantanos*. UNESCO. S/d.

Scartascini, G., 1970: *Sedimento transportado en suspensión por el río Colorado*. Agua y Energía Eléctrica E.N. Inédito, s/d.

Senciales, J., 1999: *Redes fluviales. Metodología de análisis*. Universidad de Málaga. Málaga.

Pampeana, Serie Folletos. Nro. 12. Santa Rosa. S/d.

Strandberg, C., 1975: *Interpretación de fotografías aéreas*. Omega. Barcelona, España.

Uliana, M.A., y Camacho, H.H., 1974: *Estratigrafía y paleontología de la Formación Vaca Mahuida* (Provincia de Río Negro). Primer Congreso Argentino de Paleontología. Buenos Aires.

UNESCO: *Las cuencas representativas y experimentales*. Publicado bajo la dirección de C. Toebes y V. Ouryvaev. Escuela de Hidrología. Madrid, España. S/d.

UNESCO, 1982: *Sedimentation problems in river basins*. París.

Vich, A.I.J., *Guía de trabajos prácticos para los alumnos de la cátedra de Hidrología*. Carrera de Geografía, Facultad de Filosofía y Letras. Universidad Nacional de Cuyo. S/d.

Vich, A., 1999: en *Proyecto aprovechamiento integral del río Grande al Atuel. Estudio de base cero*. Gobierno de la provincia de Mendoza; Ministerio de Obras Públicas y Ambiente; Centro Regional de Investigaciones Científicas y Tecnológicas (CRICYT). Mendoza, 2 T.

Vitali, G., 1940: *Hidrología mendocina*. Edición del autor. Imprenta D'Accurzio. Mendoza.

Vuletin, A., 1961: *Geomorfonimia argentina*. Separata del Boletín de Informaciones Petroleras. Buenos Aires.

Webcuenca, 2006: *Los ríos. Particularidades y biológicas. Hidrología y limnología*. www.webcuenca.com.