



UNIVERSIDAD DE BUENOS AIRES
Facultad de Ingeniería (FIUBA)

ESTUDIO INTEGRAL DE LA CUENCA DEL RÍO DESAGUADERO-SALADO-CHADILEUVÚ- CURACÓ

TOMO I

UNIVERSIDAD DE BUENOS AIRES

Facultad de Ingeniería



**En el marco del Convenio Específico de Asistencia Técnica con la
SUBSECRETARÍA DE RECURSOS HÍDRICOS DE LA NACIÓN**

Buenos Aires – Noviembre de 2009



Equipo de Trabajo

Dirección y coordinación de proyecto

Ing. Pablo J. BERECIARTUA

Equipo

Ing. Nora ANTUNEZ

Ing. Luciana MANZELLI

Ing. Pablo LÓPEZ

Ing. Ana Claudia CALLAU PODUJE

Cartografía y sistema de información geográfica

Lic. Sebastián LUDUEÑA

Sandra FLORES

Asesores Técnicos

Ing. J. Marcelo GAVIÑO NOVILLO

Ing. Armando SANCHEZ GUZMAN



CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN	- 9 -
1.1. Marco de elaboración del presente documento	- 9 -
1.2. Objetivos	- 9 -
1.2.1. Objetivo General.....	- 9 -
1.2.2. Objetivos específicos.....	- 9 -
1.3. Alcances	- 10 -
1.4. Contenido del informe	- 10 -
1.4.1. Contenido del Tomo I.....	- 11 -
1.4.2. Contenido del Tomo II	- 11 -
1.4.3. Contenido del Tomo III	- 12 -
CAPÍTULO 2: ÁMBITO GEOGRÁFICO	- 13 -
2.1. Ubicación y descripción general	- 13 -
2.2. Subcuenca del río Bermejo	- 15 -
2.3. Subcuenca del río Jáchal	- 16 -
2.4. Subcuenca del río San Juan	- 18 -
2.5. Subcuenca del río Mendoza	- 20 -
2.6. Subcuenca del río Tunuyán.....	- 22 -
2.7. Subcuenca del río Diamante.....	- 23 -
2.8. Subcuenca del río Atuel.....	- 25 -
2.9. Subcuenca de los ríos Salado y Chadileuvú.....	- 26 -
2.10. Subcuenca del río Curacó	- 27 -
2.11. Análisis conjunto de las subcuencas de los ríos Curacó y Chadileuvú.....	- 28 -
2.12. Cuenca del río Colorado	- 28 -
2.13. Zonas y nodos singulares de las cuencas.....	- 30 -
2.14. Departamentos que integran las diversas zonas de la cuenca.....	- 31 -
2.14.1. Subcuenca del río Bermejo.....	- 31 -
2.14.2. Subcuenca del río Jáchal.....	- 31 -
2.14.3. Subcuenca del río San Juan	- 31 -
2.14.4. Subcuenca del río Mendoza.....	- 31 -
2.14.5. Subcuenca del río Tunuyán	- 32 -
2.14.6. Subcuenca del río Diamante	- 32 -
2.14.7. Subcuenca del río Atuel.....	- 32 -
2.14.8. Subcuenca del río Desaguadero - Tramo I	- 33 -
2.14.9. Subcuenca del río Desaguadero - Tramo II	- 33 -
2.14.10. Subcuenca del río Desaguadero - Tramo III.....	- 33 -
2.14.11. Subcuenca del río Colorado – Tramo I.....	- 33 -
2.14.12. Subcuenca del río Colorado – Tramo II	- 33 -

2.15. Caracterización general hidrológica en base a caudales característicos.....	34 -
2.16. Índice climático de las sub-cuencas	34 -
CAPÍTULO 3: CARACTERIZACIÓN HIDROLÓGICA	40 -
3.1. Hidrograma medio anual	41 -
3.2. Caudal mínimo, módulo y máximo	43 -
3.3. Análisis de extremos	45 -
3.3.1 Modelo de Máximos anuales (AM).....	45 -
3.3.2 Funciones de densidad de probabilidad.....	45 -
3.3.3 Métodos de estimación de parámetros.....	46 -
3.4. Histograma de frecuencias y curvas de duración.....	49 -
3.4.1. Histograma de frecuencias.....	49 -
3.4.2. Curva de duración o permanencia	49 -
3.4.3. Resultados.....	50 -
3.5. Detección de tendencias	64 -
3.5.1. Prueba de Mann-Kendall	65 -
3.5.2. Gráfico de CUSUM	66 -
3.5.3 Prueba de Mann-Whitney	66 -
3.5.4. Resultados.....	67 -
3.5.5. Conclusiones del análisis de tendencia.....	78 -
3.6. Sistemas de regulación natural de la cuenca del Desaguadero-Salado-Chadileuvú- Curacó	87 -
3.6.1. Nodo 1R: Lagunas de Puelches	89 -
3.6.2. Nodo 2R: Bañados del Atuel	94 -
3.6.3. Nodo 3R: Bañados del Tunuyán.....	100 -
3.6.4. Nodo 4R: Lagunas del Guanacache.....	105 -
CAPITULO 4: LA SALINIDAD EN EL SISTEMA	114 -
4.1. Salinidad y cultivos	114 -
4.2. Valores de conductividad que caracterizan al sistema	120 -
4.3. Caracterización salina de los cursos de agua.....	122 -
4.4. Conductividad: Curvas de duración	127 -
4.4.1. Río Salado – Estación Paso del Loro.....	128 -
4.4.2. Río Atuel – Estación Jacinto Ugalde	128 -
4.4.3. Río Chadileuvu – Estación La Reforma	129 -
4.4.4. Río Curacó – Estación Pichi Mahuida II	129 -
4.4.5. Río Colorado – Estación Buta Ranquil.....	130 -
4.4.6. Río Colorado – Estación Casa de Piedra	130 -
4.4.7. Río Colorado – Estación Pichi Mahuida	131 -



4.4.8. Río Colorado – Estación Paso Alsina.....	- 131 -
4.4.9. Resumen de valores característicos	- 132 -
4.5. El camino de la sal en el sistema	- 133 -
4.5.1. Nodo 1S: Confluencia del río Curacó y río Colorado	- 135 -
4.5.2. Nodo 2S: Bañados del Atuel (unión río Atuel y río Salado)	- 153 -
4.6. Orígenes de la salinidad en la cuenca alta y media	- 161 -
4.7. Consideraciones sobre el impacto económico-ambiental de la salinidad.....	- 163 -
CAPÍTULO 5: CONCLUSIONES	- 165 -
5.1. Procesos Hidrológicos.....	- 165 -
5.2. Procesos de Salinidad	- 166 -
5.3. Análisis de la relación cantidad-calidad del agua	- 169 -
BIBLIOGRAFÍA TOMO I.	- 172 -
ANEXO I: METODOLOGÍAS DE ANÁLISIS DE TENDENCIAS	- 174 -
ANEXO II: SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICO	- 177 -
ANEXO III: MAPAS DEL TOMO I.....	- 179 -

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de la cuenca del río Desaguadero-Salado-Chadileuvú-Curacó	- 14 -
Figura 2. Mapa de la subcuenca del río Bermejo.....	- 16 -
Figura 3. Mapa de la subcuenca del río Jáchal.....	- 17 -
Figura 4. Mapa de la subcuenca del río San Juan.	- 19 -
Figura 5. Mapa de la subcuenca del río Mendoza.....	- 20 -
Figura 6. Mapa de la subcuenca del río Tunuyán.	- 22 -
Figura 7. Mapa de la subcuenca del río Diamante.	- 23 -
Figura 8. Mapa de la subcuenca del río Atuel.....	- 25 -
Figura 9. Mapa del área de los ríos Salado y Chadileuvú.	- 27 -
Figura 10. Mapa de los ríos Curacó y Chadileuvú.....	- 28 -
Figura 11. Mapa de la subcuenca alta y media alta del río Colorado.	- 29 -
Figura 12. Mapa de la subcuenca media baja y baja del río Colorado.	- 29 -
Figura 13. Mapa de zonas áridas, semiáridas y subhúmedas. Zonificación conforme el régimen hídrico	- 36 -
Figura 14. Mapa de zonas áridas, semiáridas y subhúmedas. Área de estudio.....	- 37 -
Figura 15. Identificación de la ubicación en la cuenca de los principales nodos de regulación (NR).....	- 88 -
Figura 16. Modelo de análisis – Lagunas de Puelches	- 89 -
Figura 17. Modelo de análisis – Bañados del Atuel.....	- 95 -
Figura 18. Modelo de análisis – Bañados de Tunuyán.....	- 101 -
Figura 19. Modelo de análisis - Lagunas de Guanacache	- 107 -
Figura 20. Identificación de nodos de análisis de salinidad (NS)	- 134 -
Figura 21. Bañados del Atuel (unión río Atuel y río Salado)	- 153 -

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Determinación del régimen hídrico significativo de las sub-cuencas.	- 37 -
Gráfico 2. Hidrograma medio anual	- 42 -
Gráfico 3. Caudales mínimos, módulos y máximos mensuales.....	- 44 -
Gráfico 4. Caudales por río para diferentes periodos de retorno	- 48 -
Gráfico 5. Curva de duración – Estación km 47.3 - río San Juan	- 51 -
Gráfico 6. Histograma de frecuencias – Estación km 47.3 – río San Juan	- 52 -
Gráfico 7. Curva de duración – Estación Dique I. de la Roza - río San Juan.....	- 52 -
Gráfico 8. Histograma de frecuencias – Estación Dique I. de la Roza – río San Juan	- 53 -
Gráfico 9. Curva de duración – Estación Guido – río Mendoza	- 53 -
Gráfico 10. Histograma de frecuencias – Estación Guido – río Mendoza	- 54 -
Gráfico 11. Curva de duración – Estación Punta de Vacas – río Mendoza	- 55 -
Gráfico 12. Histograma de frecuencias – Estación Punta de Vacas – río Mendoza	- 55 -
Gráfico 13. Curva de duración – Estación Valle de Uco – río Tunuyán.....	- 56 -
Gráfico 14. Histograma de frecuencias – Estación Valle de Uco – río Tunuyán.....	- 56 -
Gráfico 15. Curva de duración – Estación Canalejas – río Salado.....	- 57 -
Gráfico 16. Histograma de frecuencias – Estación Canalejas – río Salado.....	- 57 -
Gráfico 17. Curva de duración – Estación Los Reyunos – río Diamante.....	- 58 -
Gráfico 18. Histograma de frecuencias – Estación Los Reyunos – río Diamante.....	- 58 -
Gráfico 19. Curva de duración – Estación La Jaula – río Diamante.....	- 59 -
Gráfico 20. Histograma de frecuencias – Estación La Jaula – río Diamante.....	- 59 -
Gráfico 21. Curva de duración – Estación La Angostura – río Atuel.....	- 60 -
Gráfico 22. Histograma de frecuencias – Estación La Angostura – río Atuel.....	- 60 -
Gráfico 23. Curva de duración – Estación Buta Ranquil – río Colorado	- 61 -
Gráfico 24. Histograma de frecuencias – Estación Buta Ranquil – río Colorado	- 61 -
Gráfico 25. Curva de duración – Estación Pichi Mahuida – río Colorado.....	- 62 -
Gráfico 26. Histograma de frecuencias – Estación Pichi Mahuida – río Colorado.....	- 62 -
Gráfico 27. Índices por estación.....	- 64 -
Gráfico 28. Caudales medios anuales en Estación Guido, río Mendoza.....	- 68 -
Gráfico 29. Caudales máximo anuales en estación Guido, río Mendoza.	- 72 -
Gráfico 30. Caudales mínimos anuales, río Colorado.....	- 75 -
Gráfico 31. Caudales medios diarios (promedios anuales), Estación Guido, río Mendoza.	- 79 -
Gráfico 32. Caudales medios diarios (máximos anuales), Estación Guido, río Mendoza.....	- 80 -
Gráfico 33. Caudales medios diarios (promedios anuales), Estación Valle de Uco.	- 81 -

Gráfico 34. Caudales medios diarios (promedios anuales), Estación La Angostura.....	- 82 -
Gráfico 35. Caudales medios diarios (máximos anuales), Estación La Angostura.....	- 83 -
Gráfico 36. Caudales medios diarios promedios anuales), Estación Buta Ranquil, río Colorado.....	- 84 -
Gráfico 37. Caudales medios mensuales río Salado-Chadileuvú.....	- 90 -
Gráfico 38. Caudales medios mensuales Salado-Chadileuvú-Curacó.....	- 91 -
Gráfico 39. Caudales medios mensuales río Curacó.....	- 92 -
Gráfico 40. Amortiguamiento de las Lagunas de Puelches.....	- 93 -
Gráfico 41. Caudales medios mensuales – Lagunas de Puelches.....	- 94 -
Gráfico 42. Caudales medios mensuales río Desaguadero.....	- 96 -
Gráfico 43. Caudales medios mensuales río Atuel.....	- 97 -
Gráfico 44. Caudales medios mensuales río Chadileuvú.....	- 98 -
Gráfico 45. Amortiguamiento Bañados del Atuel.....	- 99 -
Gráfico 46. Caudales medios mensuales – Bañados del Atuel.....	- 100 -
Gráfico 47. Caudales medios mensuales río Tunuyán.....	- 102 -
Gráfico 48. Caudales medios mensuales río Desaguadero.....	- 103 -
Gráfico 49. Amortiguamiento Bañados de Tunuyán.....	- 104 -
Gráfico 50. Caudales medios mensuales – Bañados de Tunuyán.....	- 105 -
Gráfico 51. Caudales medios mensuales río Jáchal.....	- 108 -
Gráfico 52. Caudales medios mensuales río San Juan.....	- 109 -
Gráfico 53. Caudales medios mensuales río Mendoza.....	- 110 -
Gráfico 54. Caudales medios mensuales río Desaguadero.....	- 111 -
Gráfico 55. Capacidad reguladora - Lagunas de Guanacache.....	- 112 -
Gráfico 56. Caudales medios mensuales – Lagunas de Guanacache.....	- 113 -
Gráfico 57. Valores de conductividad para diferentes ríos y lagunas de la cuenca media baja y baja.....	- 122 -
Gráfico 58. Concentración de iones.....	- 123 -
Gráfico 59. Concentración de Cl^-	- 124 -
Gráfico 60. Concentración de SO_4^{-2}	- 124 -
Gráfico 61. Concentración de Ca^{+2}	- 125 -
Gráfico 62. Concentración de Mg^{+2}	- 125 -
Gráfico 63. Concentración de F^-	- 126 -
Gráfico 64. Concentración de K^+	- 126 -
Gráfico 65. Curva de duración – Estación Paso del Loro – río Salado.....	- 128 -
Gráfico 66. Curva de duración – Estación Jacinto Ugalde – río Atuel.....	- 128 -
Gráfico 67. Curva de duración – Estación La Reforma – río Chadileuvú.....	- 129 -
Gráfico 68. Curva de duración – Estación Pichi Mahuida II – río Curacó.....	- 129 -
Gráfico 69. Curva de duración – Estación Buta Ranquil – río Colorado.....	- 130 -
Gráfico 70. Curva de duración – Estación Casa de Piedra – río Colorado.....	- 130 -
Gráfico 71. Curva de duración – Estación Pichi Mahuida – río Colorado.....	- 131 -
Gráfico 72. Curva de duración - Estación Paso Alsina – río Colorado.....	- 131 -
Gráfico 73. Conductividad – Valores característicos.....	- 132 -
Gráfico 74. Conductividad en función del caudal – Estación Buta Ranquil.....	- 135 -
Gráfico 75. Conductividad/Caudal – Estación Buta Ranquil.....	- 136 -
Gráfico 76. Conductividad en función del caudal – Estación Casa de Piedra.....	- 137 -
Gráfico 77. Conductividad/Caudal – Estación Casa de Piedra.....	- 138 -
Gráfico 78. Conductividad en función del caudal – Estación Pichi Mahuida.....	- 139 -
Gráfico 79. Conductividad/Caudal – Estación Pichi Mahuida.....	- 140 -
Gráfico 80. Variación de la conductividad – río Colorado.....	- 141 -
Gráfico 81. Conductividad en función del caudal – Estación Pichi Mahuida II.....	- 142 -
Gráfico 82. Conductividad en función de los meses del año.....	- 144 -
Gráfico 83. Caudal en función de los meses del año.....	- 145 -
Gráfico 84. Caudal en función del tiempo.....	- 148 -
Gráfico 85. Conductividad en función del tiempo.....	- 150 -
Gráfico 86. Relación de caudales y conductividad del río Colorado en función del tiempo.....	- 152 -
Gráfico 87. Conductividad en función del caudal – Estación Paso del Loro.....	- 154 -
Gráfico 88. Conductividad/Caudal – Estación Paso del Loro.....	- 155 -
Gráfico 89. Conductividad en función del caudal – Estación Puesto Jacinto Ugalde.....	- 156 -
Gráfico 90. Conductividad/Caudal – Estación Puesto Jacinto Ugalde.....	- 157 -
Gráfico 91. Conductividad en función del caudal – Estación La Reforma.....	- 158 -
Gráfico 92. Conductividad/Caudal – Estación La Reforma.....	- 159 -
Gráfico 93. Efecto amortiguador del río Atuel.....	- 161 -

Gráfico 94. Variación de la conductividad – Estación Paso del Loro – Estación La Reforma..... - 167 -

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Datos fisiográficos de la cuenca.....	- 15 -
Tabla 2. Caudales máximos.....	- 34 -
Tabla 3. Indicadores de aridez para diferentes tipos de zonas.....	- 35 -
Tabla 4. Clasificación de régimen hídrico en función del indicador de aridez.....	- 35 -
Tabla 5. Régimen hídrico significativo de las sub-cuencas.....	- 37 -
Tabla 6. Estaciones de registro seleccionadas para el estudio.....	- 39 -
Tabla 7. Hidrograma medio anual.....	- 41 -
Tabla 8. Caudales característicos por río.....	- 43 -
Tabla 9. Caudales por río para diferentes períodos de retorno.....	- 47 -
Tabla 10. Tabla Resumen Curvas de duración o permanencia.....	- 63 -
Tabla 11. Tabla Indicadores para distintas series de caudales diarios.....	- 63 -
Tabla 12. Prueba Mann-Kendall.....	- 65 -
Tabla 13. Prueba Mann-Whitney.....	- 67 -
Tabla 14. Estadísticos de las muestras de caudales medios analizadas.....	- 67 -
Tabla 15. Resultados de la prueba MK para las distintas series estudiadas.....	- 68 -
Tabla 16. Resultados de la prueba MW para las distintas series estudiadas.....	- 69 -
Tabla 17. Resultados de la prueba MK para las distintas sub-series.....	- 69 -
Tabla 18. Estadísticos de las muestras de caudales máximos analizadas.....	- 71 -
Tabla 19. Resultados de la prueba MK para las distintas series estudiadas.....	- 71 -
Tabla 20. Resultados de la prueba MW para las distintas series estudiadas.....	- 72 -
Tabla 21. Resultados de la prueba MK para las distintas sub-series.....	- 73 -
Tabla 22. Estadísticos de las muestras de caudales máximos analizadas.....	- 74 -
Tabla 23. Resultados de la prueba MK para las distintas series estudiadas.....	- 75 -
Tabla 24. Resultados de la prueba MW para las distintas series estudiadas.....	- 76 -
Tabla 25. Resultados de la prueba MK para las distintas sub-series.....	- 76 -
Tabla 26. Caudales Medios Diarios (promedio anual) para distintos Períodos de retorno, río Mendoza.....	- 85 -
Tabla 27. Caudales Medios Diarios (máximo anual) para distintos Períodos de retorno, río Mendoza.....	- 85 -
Tabla 28. Caudales Medios Diarios (promedio anual) para distintos Períodos de retorno, río Tunuyán.....	- 85 -
Tabla 29. Caudales Medios Diarios (promedio anual) para distintos Períodos de retorno, río Atuel.....	- 85 -
Tabla 30. Caudales Medios Diarios (máximo anual) para distintos Períodos de retorno, río Atuel.....	- 86 -
Tabla 31. Caudales Medios Diarios (promedio anual) para distintos Períodos de retorno, río Colorado.....	- 86 -
Tabla 32. Estaciones representativas – Lagunas de Puelches.....	- 89 -
Tabla 33. Tabla resumen – Capacidad reguladora de las Lagunas de Puelches.....	- 93 -
Tabla 34. Estaciones representativas – Bañados del Atuel.....	- 94 -
Tabla 35. Tabla resumen – Capacidad reguladora de los Bañados del Atuel.....	- 100 -
Tabla 36. Estaciones representativas – Bañados de Tunuyán.....	- 101 -
Tabla 37. Tabla resumen – Capacidad reguladora de los Bañados del Tunuyán.....	- 105 -
Tabla 38. Estaciones representativas. Lagunas de Guanacache.....	- 106 -
Tabla 39. Tabla resumen – Capacidad reguladora de las Lagunas del Guanacache.....	- 113 -
Tabla 40. Clasificación de las aguas según la salinidad del agua de riego.....	- 115 -
Tabla 41. Clasificación desarrollada por el Committee of Consultants de la Universidad de California.....	- 115 -
Tabla 42. Clasificaciones de aguas según las normas Riverside.....	- 117 -
Tabla 43. Calidad del agua de riego en relación con su contenido en boro.....	- 117 -
Tabla 44. Clasificación de los cultivos según la tolerancia al riego con aguas salinas.....	- 118 -
Tabla 45. Clasificación según el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA).....	- 118 -
Tabla 46. Reducción del rendimiento de producción de un cultivo.....	- 119 -
Tabla 47. Tabla resumen de valores de conductividad para diferentes ríos y lagunas.....	- 121 -
Tabla 48. Concentración de iones por estación.....	- 122 -
Tabla 49. Conductividad - Resumen de valores característicos.....	- 132 -
Tabla 50. Tabla resumen valores promedio mensuales. Estación Buta Ranquil.....	- 136 -
Tabla 51. Tabla resumen valores promedio mensuales – Estación Casa de Piedra.....	- 138 -
Tabla 52. Tabla resumen valores promedio mensuales – Estación Pichi Mahuida.....	- 140 -
Tabla 53. Tabla resumen valores promedio mensuales – Estación Paso del Loro.....	- 155 -
Tabla 54. Tabla resumen valores promedio mensuales – Estación Puesto Jacinto Ugalde.....	- 157 -
Tabla 55. Tabla resumen valores promedio mensuales – Estación La Reforma.....	- 159 -

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

1.1. Marco de elaboración del presente documento

La Universidad de Buenos Aires, por intermedio de la Facultad de Ingeniería, ha signado un Convenio Marco con la Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación con objeto de llevar actividades de asistencia y colaboración en materia de: a) gestión de los recursos hídricos; b) relevamiento y análisis de los recursos hídricos de la República Argentina; c) investigación aplicada en el campo de la gestión de los recursos hídricos. En este contexto, y de manera específica, se estableció de manera prioritaria llevar adelante tareas de asistencia técnica y profesional en el ámbito de la Cuenca del río Desaguadero-Salado-Chadileuvú-Curacó¹.

En este marco, el presente documento corresponde al **Informe Final** de los estudios llevados desde el ámbito de la Cátedra de Gestión Ambiental de los Recursos Hídricos, dependiente del Departamento de Hidráulica de la Facultad de Ingeniería, en respuesta a dicha solicitud, para lo cual se organizó un grupo interdisciplinario de trabajo compuesto por docentes, expertos, investigadores, estudiantes de grado avanzado y asesores técnicos. A lo largo del Informe se cubren los diversos temas que forman parte integrante del Plan de Trabajo del Convenio Específico, así como también, todos aquellos que surgieron durante las diversas instancias de ajuste con los representantes de las provincias bajo la forma de reuniones de discusión de avances y talleres.

Cabe destacar la colaboración que el equipo de trabajo ha recibido de un nutrido grupo de profesionales que desempeñan sus actividades en diversos organismos provinciales o interjurisdiccionales de la cuenca. Ello ha sido de mucha utilidad, pues además de haber hecho entrega de una buena cantidad de información documental, han aportado el conocimiento que surge de la experiencia en los diversos sectores de la cuenca, lo cual ha sido de indudable valor para la elaboración de este documento.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo General

El objetivo general de este estudio es la realización de un estudio integral de la Cuenca del río Desaguadero-Salado-Chadileuvú-Curacó, teniendo como meta principal la prevención y mitigación de daños causados por situaciones hídricas excepcionales en su cuenca, y por las descargas excedentes al río Colorado.

1.2.2. Objetivos específicos

Los objetivos específicos del presente estudio son:

- ☐ Recopilar y sistematizar la información disponible,
- ☐ Integrar la información cartográfica disponible y generar cartografía temática actualizada,

¹ Nombre especificado en el Convenio Marco.



- ☐ Analizar el comportamiento de cada subcuenca y de la cuenca en forma integral,
- ☐ Identificar y caracterizar la dinámica hidrológica actual y tendencial (cantidad y calidad),
- ☐ Identificar el origen de la salinidad en la cuenca, los mecanismos de transporte y sus consecuencias.
- ☐ Elaborar un modelo unidireccional del sistema (referido a la salinidad y su transporte), estableciendo diferentes escenarios y conclusiones.
- ☐ Elaborar un diagnóstico del uso del agua en la cuenca en cada jurisdicción,
- ☐ Identificar proyectos y obras prioritarias,
- ☐ Identificar y proponer estrategias de gestión.

1.3. Alcances

Los presentes estudios fueron realizados en base a la información brindada por las provincias que integran la cuenca, a saber: La Rioja, San Juan, Mendoza, San Luis, La Pampa, Neuquén, Río Negro y Buenos Aires; así como por el Comité Interjurisdiccional del Río Colorado (COIRCO), la Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación (SSRH), la Corporación de Fomento del Río Colorado (CORFO) y el Consejo Federal de Inversiones (CFI). En consecuencia, el grado de avance logrado es una directa función de la calidad y cantidad de información que estuvo a disposición del equipo de trabajo, la cual ha permitido lograr con gran esfuerzo el cumplimiento de los objetivos. Sobre esta base se ha podido completar un análisis de naturaleza conceptual, motivo por el cual cabe definir los alcances de estos estudios como de carácter preliminar, quedando supeditado su perfeccionamiento a la obtención y análisis de una mayor cantidad de información.

1.4. Contenido del informe

El contenido de este Informe Final responde a los objetivos planteados, los cuales a su vez surgen en parte del Plan de Trabajo del Convenio Específico entre la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Buenos Aires y la Subsecretaría de Recursos Hídricos. El mismo ha sido organizado en tres tomos:

- ☐ **Tomo I:** contiene una descripción de la cuenca del Río Desaguadero-Salado-Chadileuvú-Curacó, y una caracterización de los recursos hídricos de la misma (calidad y cantidad).
- ☐ **Tomo II:** contiene el diagnóstico de la situación del uso de los recursos hídricos en cada jurisdicción;
- ☐ **Tomo III:** contiene un análisis institucional para la gestión del agua en cada jurisdicción, así como propuestas de estrategias para la gestión de la misma en tanto resultado de los presentes estudios.

En los Anexos de los tomos se presentan un grupo de mapas que han sido desarrollados como cartografía soporte para mostrar los resultados obtenidos. Por comodidad para la presentación de la información, se ha decidido presentarlos todos agrupados bajo la denominación Anexos.

1.4.1. Contenido del Tomo I

La primera parte de este Tomo I esta centrada en la descripción de la cuenca del río Desaguadero-Salado-Chadileuvú-Curacó (D.S.CH.C.)², y en la caracterización de cada una de las subcuencas de la misma (precipitaciones, clima, otros).

La segunda parte abarca el tratamiento de dos temas centrales: el primero de ellos está dedicado al análisis de las variables hidrológicas de los diferentes ríos, describiendo los caudales (mínimos, medios, máximos mensuales y caudales módulo), así como al análisis de frecuencia de las series de extremos para determinar los caudales asociados a diferentes períodos de retorno. Incluye el estudio de las tendencias de los valores característicos de los ríos en los últimos treinta años, lo cual es de utilidad en el estudio de la salinidad y el análisis de su origen. El segundo de ellos está dedicado al análisis de la capacidad de regulación natural del sistema en cuatro puntos singulares identificados en los siguientes sitios: Lagunas de Guanacache, Bañados de Tunuyán, Bañados del Atuel y Lagunas Puelches.

La tercera parte comprende el análisis del comportamiento de la cuenca en lo referente a la salinidad. Para lograr ello se realiza un análisis de la cuenca empleando cuatro nodos o puntos singulares de la misma. Estos nodos están compuestos por los tres puntos singulares identificados en el análisis de capacidad de regulación natural y la unión del río Curacó con el río Colorado, lugar crítico en lo que a la problemática de la salinidad se refiere. Se lleva a cabo una reseña en base a datos y recopilación de información realizada sobre los orígenes de la salinidad en las subcuencas alta y media alta, así como su transporte. También se efectúa una descripción de los impactos que están generando los elevados valores de salinidad.

La cuarta y última parte del **Tomo I** representa un complemento de la tercera, y está centrado en la elaboración de un modelo unidireccional del sistema hídrico con el objetivo de simular el transporte de sal. Es importante destacar nuevamente que el modelo fue realizado y calibrado en base a los datos con los que se dispone, y por lo tanto debe ser tomado como una versión preliminar, sujeta a nuevas calibraciones en la medida que se obtenga mayor cantidad de datos. Una vez calibrado el modelo, se analizarán diferentes escenarios y se esbozarán conclusiones parciales. Cabe destacar que al final del **Tomo I** se incluyen los mapas temáticos elaborados y sistematizados en el Banco de Datos Territorial del proyecto.

1.4.2. Contenido del Tomo II

El **Tomo II** corresponde al diagnóstico del uso del agua en la cuenca, mostrando de manera preliminar la distribución y variación del recurso hídrico y de las tasas de cambio de los usos en la cuenca, en tanto una manera de ordenar y presentar la información secundaria que fuera recopilada. Se adoptó una metodología desarrollada por UNESCO³ que consiste básicamente en el análisis de la evolución temporal de los recursos hídricos y de los usos vinculados con el agua

² Cuenca D.S.CH.C.. es la denominación que se le dará a la cuenca del río Desaguadero-Salado-Chadileuvú-Curacó en el resto del documento

³ Jean Burton, Integrated water resources management on a basin level, Editorial Muntimondes, UNESCO, 2003



en una cuenca en dos períodos diferentes, para luego determinar la tasa de cambio con relación a la situación de referencia. Se adoptaron el año 1960 y el presente.

El diagnóstico se efectuó en dos etapas: en la primera se implementó la metodología de la UNESCO considerando que los usos se distribuyen en forma uniforme en el territorio de cada subcuenca, mientras que en la segunda etapa se consideró a los usos distribuidos en forma heterogénea en las diversas áreas de estudio. En la primera etapa se obtuvo una aproximación de las tasas de cambio de los usos, y en la segunda etapa se ajustaron los resultados de la primera de ellas. Para el análisis de los usos a nivel de los departamentos que integran las subcuencas se empleó la información sistematizada en el Banco de Datos Territorial del Proyecto.

1.4.3. Contenido del Tomo III

El **Tomo III** incluye una síntesis histórica de la gestión del agua en la cuenca, así como una descripción y análisis de las autoridades de agua, los instrumentos de creación, y las misiones y funciones actualizadas de cada jurisdicción y de las organizaciones interjurisdiccionales. Complementariamente se sintetizan los desafíos y los temas críticos para la gestión de la cuenca en base a informes diagnósticos previos para la gestión del agua en el país, y mas recientemente de las conclusiones de los talleres desarrollados en el ámbito de la cuenca por el Consejo Hídrico Federal (COHIFE) y la Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación (SSRH) para la elaboración del Plan Nacional Federal de Recursos Hídricos (PNFRH).

Complementariamente se identifican lineamientos para la acción basados en una serie de estrategias prioritarias para la gestión de la cuenca de acuerdo a los resultados de los presentes estudios (Tomos I y II), así como también de acciones, proyectos y obras prioritarias en cada jurisdicción. Finalmente se efectúan sugerencias para el mantenimiento de una comisión de seguimiento interjurisdiccional para los estudios en la cuenca.

CAPÍTULO 2: ÁMBITO GEOGRÁFICO

2.1. Ubicación y descripción general

La cuenca del río Desaguadero-Salado-Chadileuvú-Curacó constituye la cuenca de mayor superficie desarrollada íntegramente dentro del territorio de la República Argentina, la cual integra a las provincias de La Rioja, San Juan, Mendoza, San Luis, La Pampa, Neuquén, Río Negro y Buenos Aires (*Mapa 1*). La superficie total es de más de 360.000 km², comprendiendo a las subcuencas de los ríos Vinchina-Bermejo de La Rioja, Jáchal, San Juan, Mendoza, Tunuyán, Diamante, Atuel, Desaguadero (tramos I, II y III) y la cuenca del río Colorado (*Mapa 2*). Recorre de Norte a Sur una franja desértica de 1.000 Km. de longitud de un sistema hidrográfico poco conocido y de implicancias ciertamente complejas para las provincias que recorre (La Rioja, San Juan, Mendoza, San Luis, La Pampa). Algunos autores la denominan como Sistema Andino, mientras que en el Mapa de Cuencas y Regiones Hídricas de la República Argentina es denominado Sistema del río Colorado.

Los comentarios y observaciones de las provincias acerca de los límites de cuenca que han sido utilizados como fuente del presente estudio, a saber, el Atlas Digital de los Recursos Hídricos Superficiales de la República Argentina, escala 1/500.000, elaborado en forma conjunta por la SSRH y el INA, fueron recogidos y reflejados en un mapa denominado “Mapa de Discrepancias” (*Mapa I**) presentado en el Anexo I.

Nace en la ladera sur del cerro del Nacimiento del Bonete, esto es en el Noroeste de la provincia de La Rioja casi en el confín Catamarca, en las coordenadas 27° 47' 18" S y 68° 36' 17" O y a unos 5.500 m de altitud, en la Cordillera Frontal que antecede a los Andes. En La Rioja su sección inicial recibe consecutivamente los nombres de río de Oro, río Bonete y Jagüé aunque se le conoce principalmente con las designaciones río de Vinchina o Bermejo, siguiendo siempre una dirección Sursureste recorre el Este de la provincia de San Juan en donde recibe los aportes hídricos del río Jáchal y del río San Juan, al llegar a los actuales confines de las provincias de Mendoza, San Luis y San Juan ingresa en un área de hundimiento en donde sus aguas han formado el sistema de las Lagunas de Guanacache (sistema palustre prácticamente desecado desde fines de s XIX).

Tras superar estas lagunas, recibe el nombre Desaguadero por ser el curso de agua que desagua a las mismas. Forma entonces el límite entre las referidas provincias de Mendoza y San Luis hasta el paralelo 36° S, donde ingresa en la provincia de La Pampa. En ésta, y hacia los 36°16' S, recibe por la margen occidental las afluencias del río Atuel. Los desbordes del Salado y del Atuel forman el humedal llamado Bañados del Atuel. Al Sur de tales bañados y hasta las lagunas Urre Lauquen y La Amarga el río es llamado Chadileuvú o Chadileo o Chalileo, palabras del idioma Mapudungun que significan río Salado, nombre con el cual también se conoce a este río. Al superar la laguna Urre Lauquen recibe otro nombre: Curacó (agua de la piedra), confluyendo con el río Colorado hacia los 38° 50' 07" S; 64° 58' 47" O.

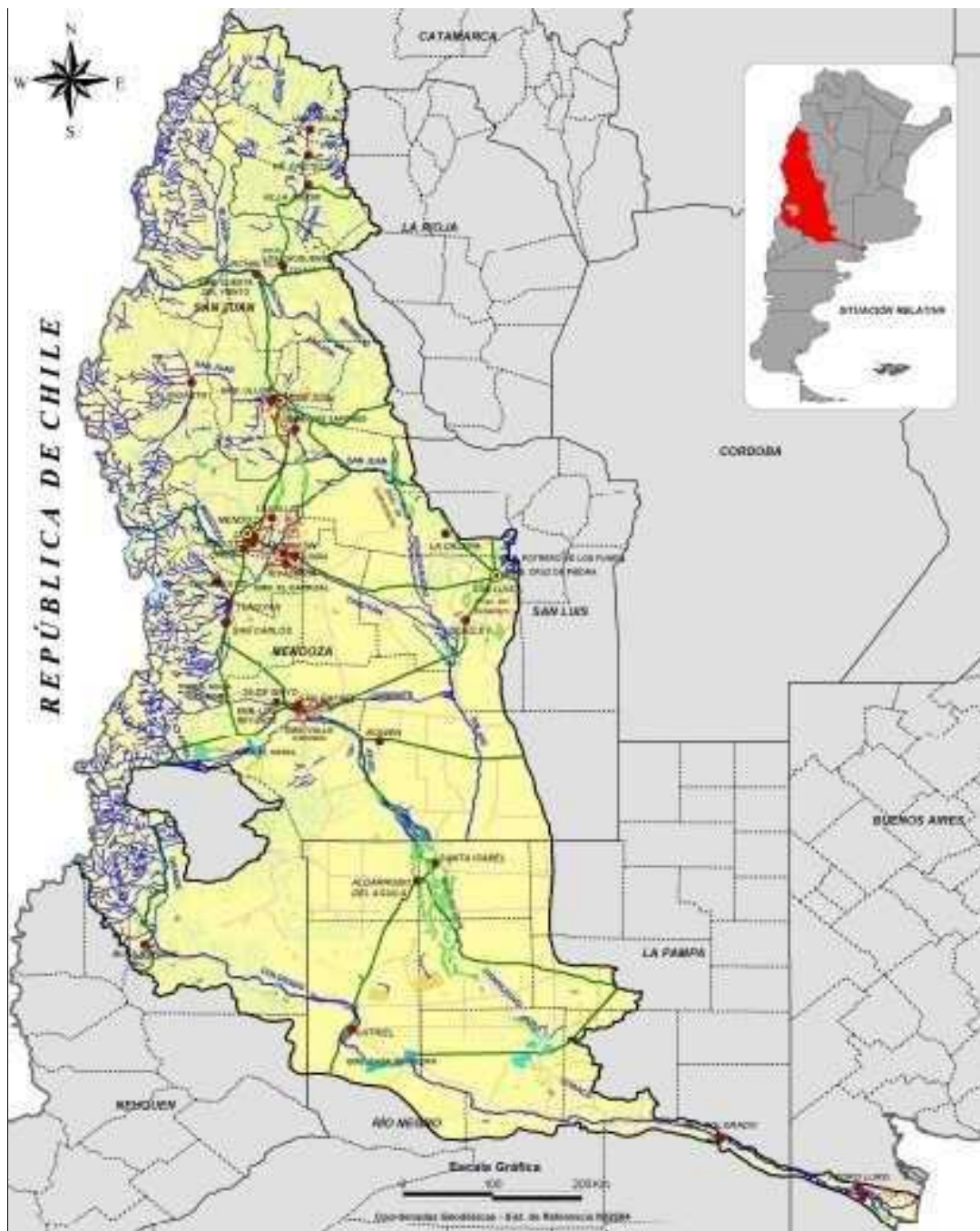


Figura 1. Mapa de la cuenca del río Desaguadero-Salado-Chadileuvú-Curacó

El río Desaguadero recibe sus principales afluentes a lo largo de su margen derecha desde el Norte hacia el Sur en el siguiente orden: Guandacol, Jáchal, San Juan, Mendoza (a través del citado río San Juan), río Tunuyán, río Diamante, y río Atuel. Todos estos ríos se originan en los deshielos de la cordillera de los Andes. Por este motivo y por las escasas precipitaciones que ocurren en el extenso territorio que recorre, sus máximos caudales se dan a fines de primavera e inicios de verano.

El cauce del río Desaguadero en el tramo que delimita a Mendoza de San Luis se encuentra encajonado por barrancas de 6 a 8 m. de altura, y cuenta con un cauce de 50 m. a 60 m., pero desde fines del siglo XIX los caudales que transporta son exigüos, lo cual se debe en parte a la

sequedad de la región. Pero el origen de esta merma se debe también al aprovechamiento de las aguas de sus afluentes para el riego en los "oasis" periféricos de las ciudades de Mendoza, San Juan y San Rafael. Es así que, siendo naturalmente la cuenca del Desaguadero una cuenca exorreica que aporta sus aguas al Océano Atlántico mediante el río Colorado, podemos expresar no obstante que, en gran parte del siglo XX, salvo el período a partir de 1980, ha resultado una cuenca transitoriamente endorreica por la actividad antrópica, ya que el tramo llamado Curacó se ha encontrado habitualmente seco, salvo en el período indicado. Las veces que las aguas del Curacó han llegado al Colorado, y debido a su salinidad, se producen severos impactos ambientales, pudiendo llegar en determinadas circunstancias a provocar la interrupción de los servicios de agua potable y riego abastecidos desde el río Colorado.

Las principales ciudades y localidades por las cuales pasa este río son de Norte a Sur:

- En La Rioja: Villa San José de Vinchina, Villa Castelli y Villa Unión.
- En San Juan: Bermejo.
- En Mendoza: Desaguadero y Canalejas.
- En San Luis: Mosmota y Navia.
- En La Pampa: Santa Isabel (en rigor ésta ciudad se ubica en el área de los Bañados del Atuel), Limay Mahuida, La Reforma y Puelches.

Los datos fisiográficos de la cuenca se resumen en la siguiente *Tabla 1*.

Denominación	Área [Km ²]	Pend Media [%]	Pend Max [%]	Pend Min [%]	ΣL [Km]	Densidad Drenaje [Km/ Km ²]
SUBCUENCA DEL RÍO JÁCHAL	34661,1	13,0	83,8	0,0	3421,6	0,099
SUBCUENCA DEL RÍO VINCHINA - BERMEJO	35490,3	9,8	79,0	0,0	1367,0	0,039
SUBCUENCA DEL RÍO SAN JUAN	38462,0	16,7	106,4	0,0	2891,1	0,075
SUBCUENCA DEL RÍO MENDOZA	17802,4	16,1	124,2	0,0	1238,6	0,070
SUBCUENCA DEL RÍO DESAGUADERO SALADO - CURACÓ	118870,6	0,8	56,6	0,0	1210,8	0,010
SUBCUENCA DEL RÍO TUNUYÁN	21121,9	9,0	108,4	0,0	1990,5	0,094
SUBCUENCA DEL RÍO DIAMANTE	8563,6	10,0	77,5	0,0	920,7	0,108
SUBCUENCA DEL RÍO ATUEL	39404,0	3,6	95,9	0,0	1594,8	0,041
SUBCUENCA DEL RÍO COLORADO	47458,9	9,4	78,5	0,0	4671,1	0,099
TOTAL SUPERFICIE DE LA CUENCA	361835,0 km²					

Tabla 1. Datos fisiográficos de la cuenca.

2.2. Subcuenca del río Bermejo

Es la subcuenca más septentrional, casi en su totalidad desarrollada en la Provincia de La Rioja, con una superficie de 35.490,3 km². La mayor parte de los cursos de agua que la integran son temporarios. Sus nacientes se encuentran en la zona de nevados de gran altura, siendo el agua de deshielo de los cerros Bonete, Pissis, Azufre, etc., el principal aporte al caudal. En su tramo superior el río Bermejo se denomina Jagué o Vinchina, y cuenta con una serie de afluentes: los ríos del Peñon, Bonete y Potrero Grande. Una vez superado el valle delimitado por las Sierras de Umago y Villa Unión al Oeste y el sistema de Famatina al Este, adopta el nombre de Bermejo.

Los recursos hídricos están alimentados por aportes de nieve y lluvias (ambos escasos). Este aspecto, sumado a las elevadas temperaturas y a las derivaciones que efectúa la sociedad para sustentar aprovechamientos productivos, hace que prácticamente nunca lleguen aportes de esta sub-cuenca al cauce principal. Se estima un rango de caudales en crecidas de 500 a 1.000 m³/s. recordando que durante la crecienta extraordinaria del 27 de noviembre de 1927 el agua alcanzó a 1.680 m³/s.



Figura 2. Mapa de la subcuenca del río Bermejo

2.3. Subcuenca del río Jáchal

El río Jáchal es un curso de agua permanente con un caudal medio anual de 10 m³/seg y derrame del orden de los 315 hm³ anuales (período 1936-1969), aunque en la época de gran sequía de año 1970-1971 se registraron 3,7 m³/seg. Su alimentación es de carácter nival, o sea, que sus derrames provienen en su mayor parte de la fusión de la nieve. Está formado por la confluencia de los ríos de la Palca o del Cura y el río Blanco, ambos en las nacientes de la divisoria de aguas de la cordillera en el lugar denominado Junta de la Palca.

Desde allí corre unos 75 km. en dirección Sur, por la depresión Barreal-Rodeo, hasta ingresar en una estrecha quebrada en la precordillera, en el lugar denominado Cuesta del Viento. Allí recibe el caudal del arroyo Iglesia o Tocota. Luego gira hacia el este hasta la ciudad de Jáchal, recorriendo unos 40 kilómetros por una abrupta quebrada.



Figura 3. Mapa de la subcuenca del río Jáchal.

En Jáchal, el río vuelve a girar hacia el sur, recorriendo unos 40 kilómetros hasta las cercanías de la Estación Tucunuco, donde por último, con un rumbo noroeste-sudeste atraviesa el poblado de Mogna tomando el nombre del río Zanjón, donde recibe la afluencia del río Bermejo.

En el tramo Cuesta del Viento el río Jáchal no recibe afluentes de importancia. La subcuenca presenta zonas abruptas y pequeños valles en los que se practica el riego. Prácticamente no hay vegetación en toda la subcuenca, excepto en las adyacencias del fluvio.

El río Jáchal configura el recurso más importante destinado a satisfacer las necesidades poblacionales, agrícolas e industriales del departamento del mismo nombre. Se riega con agua del río Jáchal en las localidades de Malimán, La Chigua, Los Quillay, Buena Esperanza y Totoralito.

La calidad de sus aguas no es muy aceptable en condiciones hidrológicas normales, lo que ha constituido una permanente preocupación de investigadores, pobladores y Organismos de Gobierno.

2.3.1. Clima y precipitaciones

El clima de la región es de tipo semiárido. Los diferentes elementos que definen las características climáticas así lo manifiestan. La temperatura anual es de 16,7°C y los valores máximos y mínimos observados son de 41,5°C y -8,8°C respectivamente.

La extensa subcuenca del río Jáchal presenta dos regímenes de precipitación, uno de origen Atlántico y otro del Pacífico. En el primero los aportes se verifican entre los meses de octubre a marzo. Se trata de lluvias cortas, torrenciales y esporádicas, y son responsables de las crecientes extraordinarias en la zona.

En el caso de las masas de aire que provienen e ingresan desde el Pacífico, ocasionan importantes aportes en la alta cordillera entre los meses de abril a septiembre. Al enfrentar esta barrera orográfica los remanentes de humedad de la masa de aire que atraviesa el país, producen precipitaciones que, debido a la naturaleza de los terrenos y a la pendiente pronunciada, escurren rápidamente hacia el colector y salen de la zona. Este fenómeno se reitera en el extremo sur de la subcuenca, lugar donde se verifican precipitaciones de cierta importancia pero que, análogamente a lo apuntado precedentemente, escurren de la zona en forma de avenidas torrenciales.

En la mayoría de los casos debido a las especiales condiciones climáticas y topográficas del área las precipitaciones se producen en estado sólido (nieve, nevisca) constituyendo entonces, los aportes principales que modifican la red de drenaje permanente del río Jáchal.

Resulta fácil imaginar que en el estado actual de regulación y conocimiento de la subcuenca del río Jáchal estos aportes, aún no cuantificados, no producen beneficio alguno. Al contrario, por las características de torrencialidad de los derrames, causan enormes perjuicios en la infraestructura vial e hidráulica.

La precipitación media anual es inferior a los 100 mm, la cual se produce principalmente en verano en forma de tormentas no frontales. El volumen producido por las precipitaciones es insignificante para ser tenido en cuenta como fuente de provisión de agua para la agricultura, dado que el 90% es evapotranspirado por la vegetación natural y evaporado directamente, sin recargar la cuenca de agua subterránea.

2.4. Subcuenca del río San Juan

El río San Juan es el más importante de la provincia homónima. Nace cerca de la localidad de Calingasta, al sudoeste de la provincia, en la confluencia de tres ríos: Calingasta, Castaño Viejo, y el río de los Patos. Estos ríos nacen a una altitud de alrededor de 4.000 msnm en el oeste y el sudoeste de la provincia (en contraste, el río Jáchal recibe sus tributarios andinos en el norte de la provincia).

De Calingasta, el río va al este alimentando el Embalse Quebrada de Ullum cerca de la ciudad capital provincial de San Juan, continuando al sudeste recibiendo más tributarios, incluyendo al río Mendoza, para desembocar luego en la laguna de Guanacache cerca de la Salina Pampa de las Latas (o Salina Bermejo), en el límite de las provincias de San Juan, Mendoza y de San Luis.

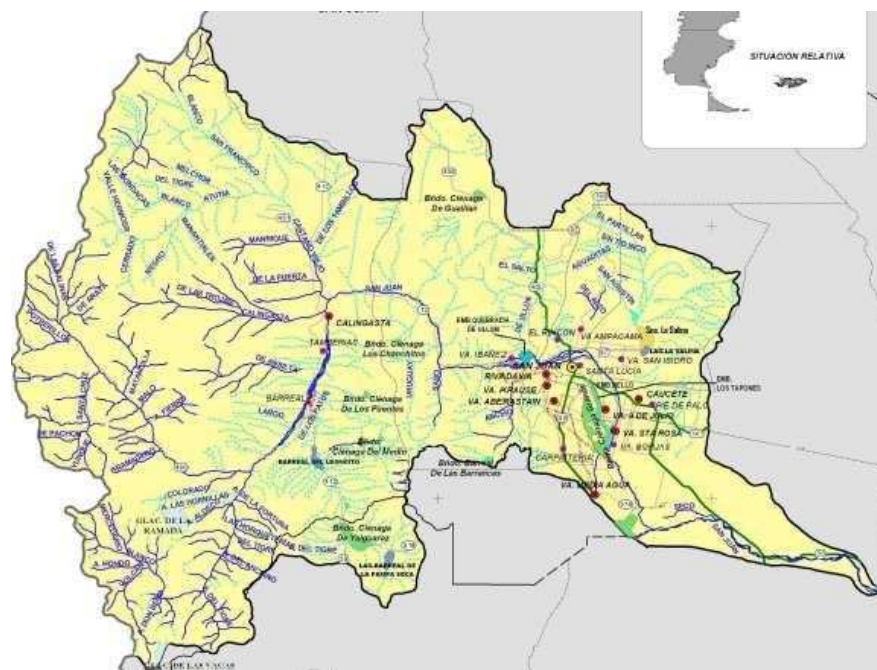


Figura 4. Mapa de la subcuenca del río San Juan.

El río presenta un curso de 500 km de longitud, y la subcuenca cubre 38.642 km². El curso superior del río se usa para deporte: rafting, pesca, windsurf y natación en el Ullúm. En toda su longitud, el río San Juan se usa para riego.

2.4.1. Clima y precipitaciones

Las precipitaciones en la zona son mayores en el sector cordillerano. En efecto, en el extremo sudoeste son superiores a los 300 mm, disminuyendo hacia el Norte hasta unos 150 mm. Por el contrario, en el sector Este del área las precipitaciones son muy escasas, del orden de los 50 mm, aumentando en sentido este-oeste. En las depresiones inter montañas, como el valle del Cura, las precipitaciones disminuyen como consecuencia de los cordones montañosos que se oponen a las circulaciones aéreas, provenientes tanto del Este como del Oeste. La precipitación media anual en la zona es de 85 mm. Los parámetros están asociados a un régimen pluviométrico netamente continental, con lluvias exclusivamente estivales en el sector del Valle y precipitaciones nivales invernales en la zona cordillerana con una muy baja frecuencia media de días con lluvia o nieve.

De acuerdo a los datos meteorológicos que se dispone, se estima que el clima del área es árido-desértico, con grandes amplitudes térmicas diurnas y anuales, elevada insolación, importantes valores de evapotranspiración, gran transparencia atmosférica, escasa humedad y muy reducida nubosidad.

La temperatura media anual es de 15,7 °C; el mes más cálido es enero con 23,0 °C y el más frío julio con 7,9 °C. Las temperaturas máxima y mínima promedio anual son de 23,2 °C y 5,1 °C respectivamente. Los meses de mayores temperaturas máximas medias son diciembre y enero, con 27 °C y los de menores temperaturas mínimas medias son junio y julio, con 1,6 °C.

El río Tupungato ubica sus cabeceras en los glaciares septentrionales del cerro homónimo, en el extremo sur de la cuenca y luego se le une el río Plomo, que nace igualmente, de un grupo importante de ventisqueros ubicados entre los paralelos 33°00' y 33°15' (Glaciares del Plomo y Juncal).

El río Vacas, tiene sus nacientes a la altura de la localidad de Casa de Piedra (69°50 longitud oeste y los 32°37 de latitud sur), recibiendo en esta zona el aporte de varios arroyos como el arroyo Relincho que tiene sus nacientes en el Glaciar de Los Polacos ubicado en la pared este del Cerro Aconcagua y el arroyo Corontas, entre otros, que tiene sus nacientes en la cordillera del Tigre. Tras recorrer 27 km aproximadamente, el río Vacas vuelca sus aguas en el río Mendoza en la localidad de Punta de Vacas ubicada a 2395 msnm entre los 32° 50' de latitud sur y 69° 45' de longitud oeste.

Desde Punta de Vacas ya nace el río Mendoza que dirige su curso hacia el nordeste hasta el Valle de Uspallata, y luego tuerce el rumbo al sudeste, para correr entre el Cordón del Plata y la Precordillera hasta Álvarez Condarco, donde sale a la planicie oriental para desaguar, en el norte de la provincia, en las lagunas del Rosario y Guanacache.

Independiente de sus tres grandes tributarios, el río Mendoza se alimenta de vertientes importantes como son los de su margen izquierda (departamento Las Heras) Arroyo de Los Tambillos, Arroyo Cortaderas, río Picheuta, Ranchillos, A° El Chacai. Y por su margen derecha (departamento de Luján de Cuyo), río Colorado, río Blanco de arriba, Arroyo el Minero. Algunos de ellos se encuentran secos salvo en años hidrológicos ricos.

La topografía de la región y las amplias variaciones térmicas estacionales y diarias, determinan significativos cambios en las velocidades y descargas del río. Estos aspectos influyen de manera directa sobre las características físicas, químicas y biológicas tales como la conductividad, temperatura, transparencia, composición y estructura de las comunidades acuáticas; lo que sumado a la variación altitudinal y el asentamiento de zonas urbanas e industriales permiten la presencia en la cuenca de ambientes diversos, (Peralta & Claps 2001).

En la zona de Cordillera Principal se destaca la presencia de formaciones geológicas del Mesozoico compuestas por rocas sedimentarias clásticas y químicas y la presencia de yesos y calizas, esto tiene como consecuencia aguas con contenidos elevados de sólidos disueltos (sales, especialmente Sulfato de Calcio) y sedimentables. En esto último inciden también la dinámica de los glaciares de altura.

Los aportes provenientes de los arroyos de Cordillera Frontal tienen en general escasas proporciones de sales, vinculado a la mayor presencia de rocas ígneas y metamórficas. Por otra parte es interesante destacar que los sistemas termales como el de Puente del Inca inciden de manera significativa en el nivel de salinidad del río.

2.5.1 Clima y precipitaciones

El territorio mendocino se ubica dentro de la denominada “franja árida” de la Argentina, caracterizada como un área desértica y semidesértica relacionada con la barrera orográfica

constituida por la Cordillera de los Andes. Esta localización le impone un pobre régimen de precipitaciones (en promedio, unos 200 mm/año), lo que ha fomentado entre sus pobladores el desarrollo de una verdadera “cultura del agua”.

2.6. Subcuenca del río Tunuyán

El río Tunuyán nace en el Monte Tupungato, en los Andes, y fluye inicialmente hacia el noreste, pasando por la ciudad de Tunuyán. Es endicado en el dique El Carrizal, después gira al este sudeste pasando cerca de las ciudades de Rivadavia, Santa Rosa y La Paz. Finalmente se abre en el Tunuyán Nuevo (al norte) y Tunuyán Viejo (al sur), y desemboca en el río Desaguadero.

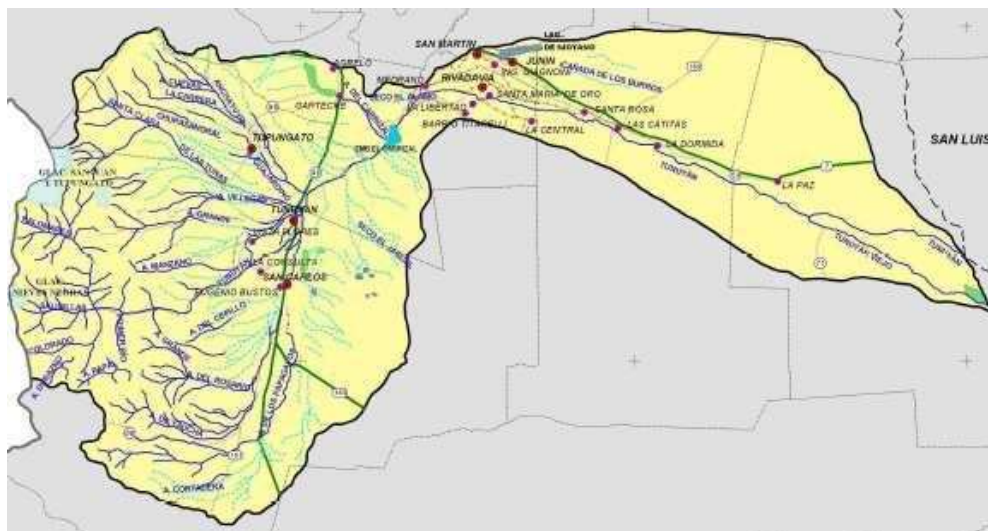


Figura 6. Mapa de la subcuenca del río Tunuyán.

En las nacientes de la Cordillera Principal, el clima está dominado por la acción del anticiclón del Pacífico, resultando en precipitaciones nivo-pluviales en invierno (nieve debido a la alta altitud y bajas temperaturas, que se acumula hasta la primavera cuando funde, dando lugar a innumerables arroyos. Esos arroyos forman cursos fluviales. Pero dichos ríos disminuyen su aporte de agua por los afluentes, por la aridez en aumento de los ambientes de su trayectoria, y su caudal disminuye también por la elevada evaporación y la infiltración.

El caudal del Tunuyán lo determina la fusión de nieve invernal en las partes altas, y en algunos años por el deshielo de glaciares. Así el máximo caudal es en verano, con datos quintuplicados a los de invierno, cuando el cauce está casi seco.

Aunque sin grandes caudales, tienen fuerza erosiva por el montañismo, dando el fenómeno de "antecedencia", que se expresa por las angostas y profundas gargantas (Cacheuta, Cañón del Atuel) y de terrazas fluviales, como en Álvarez Condarco.

Así encajonado el río y, con pendientes intensas provee potencial para construir diques para energía hidroeléctrica, modular caudales para riego y formar lagos turísticos.

En cuanto al aprovechamiento que el hombre ha realizado y realiza de estos cursos en la zona de planicie, es necesario comenzar nombrando la red de canales construida ya en tiempos

Dicha red, que con el paso del tiempo fue creciendo y se fue haciendo cada vez más compleja con la construcción de grandes represas, diques derivadores, revestimiento de canales, piletas potabilizadoras, etc. ha permitido el asentamiento de grandes concentraciones humanas muy dinámicas en un medio que naturalmente no lo hubiese permitido, debido al déficit hídrico permanente.

La cuenca del río Diamante abarca una superficie aproximada de 8.563 km², en la zona sur de la provincia de Mendoza. Nace en la Laguna del Diamante (Departamento San Carlos), escurriendo hacia el Sur hasta recibir su principal afluente (Río Borbollón) y desde allí se dirige hacia el Sudeste describiendo una amplia curva. Luego ingresa al Departamento de San Rafael (a la altura de la Presa “Agua del Toro”), siguiendo posteriormente su curso hacia el Noreste. Pasa por el Sur de la ciudad de San Rafael, se dirige hacia el Este y desemboca en el río Salado (límite con la provincia de San Luis).

2.7.1. Clima y precipitaciones

- 23 -

En el ámbito de la cuenca existen dos regímenes de precipitación: (i) mediterráneo (precipitaciones concentradas en invierno) y (ii) monzónico (precipitaciones en primavera, verano y otoño). Dentro de las variables que definen que exista uno u otro tipo de régimen se pueden mencionar la latitud, la longitud y la altura de las estaciones meteorológicas.

El río Diamante y sus afluentes más importantes presentan régimen nival, por estar alimentados fundamentalmente por precipitaciones provenientes del Océano Pacífico. También se observan variaciones de precipitación que están vinculadas con la altitud. En términos de precipitación media anual, los registros más elevados corresponden a la serie 1993-2001 de la estación Goico con 431,5 mm. La estación de La Jaula registra la menor precipitación media con 250,9 mm.

La precipitación media promedio de toda la cuenca es de 290 mm, mientras que en las zonas de aprovechamiento agrícola la precipitación se eleva a 365 mm. El análisis de la evolución de la precipitación indica una tendencia creciente de sus registros en todas las estaciones.

2.7.2. Temperaturas

Los valores térmicos de la zona la caracterizan de continental. La temperatura media del mes más cálido en las estaciones de la cuenca no supera los 23,1 °C (Enero), mientras que la media del mes más frío se encuentra por encima de 6,5 °C (Julio) en la Estación INTA Rama Caída a una altura de 692 msnm.

2.7.3. Hidrología

El río Diamante nace de glaciares en el volcán Maipo, en la frontera andina argentina-chilena, y fluye hacia el este hasta desaguar en el río Desaguadero. Tiene una superficie de 8.563 km² en la región central de Mendoza. Está conformado por dos tipos de subcuencas: generadoras de caudales y de uso consuntivo. Las primeras están formadas por las subcuencas de aportación permanente, de aportación temporal, de aportación temporal con riesgo aluvional, de secano y cerradas. Por su parte, las subcuencas de uso consuntivo incluyen a las unidades de manejo, áreas bajo riego donde se aprovecha el agua. Allí se concentra el mayor porcentaje de las actividades productivas.

El río Diamante se alimenta del deshielo que entra al Lago Diamante. Tiene un caudal de 33 m³/s, con máximos en primavera y en verano; entre octubre-marzo suma el 70 % del volumen anual de agua. El curso superior del río va al sur y finaliza yendo al norte, y entra al profundo y angosto "Cañón de Agua del Toro", donde es embalsado para producir hidroelectricidad en el Embalse de Agua del Toro, a 69° O, y a pocos kilómetros aguas abajo en el Embalse Los Reyunos.

Al alcanzar la planicie, el Diamante pierde parte de su caudal por infiltración y evaporación. Hace un gran arco, pasa al sur de la ciudad de San Rafael, en el centro geográfico de la provincia de Mendoza, donde se lo usa para riego (junto con el río Atuel). El río se abre en múltiples brazos cortamente hasta alcanzar el Desaguadero (aquí llamado Salado), en el límite con la provincia de San Luis.

La subcuenca del río Atuel se ubica en la provincia de Mendoza, en el sector Centro - Oeste de la misma, entre los paralelos 34° y 35° de latitud Sur, y entre los meridianos de 70° y 67° 30' de longitud Oeste. Políticamente el valle del río Atuel se ubica en los departamentos sureños de Malargüe, San Rafael y General Alvear, ocupando la franja central de la provincia de Mendoza y los departamentos de Chalileo, Chical – Có, Limay Mahuida y Puelen en el Noreste de la provincia de La Pampa.

El río Atuel tiene un desarrollo Oeste-Este, atravesando distintos ambientes geográficos desde la cordillera de los Andes, con picos que superan los 5.000 metros de altitud sobre el nivel del mar, hasta la llanura semidesértica de 400 msnm en su tramo final donde ocasionalmente desemboca en el río Salado. La superficie total es de 39.404 km².

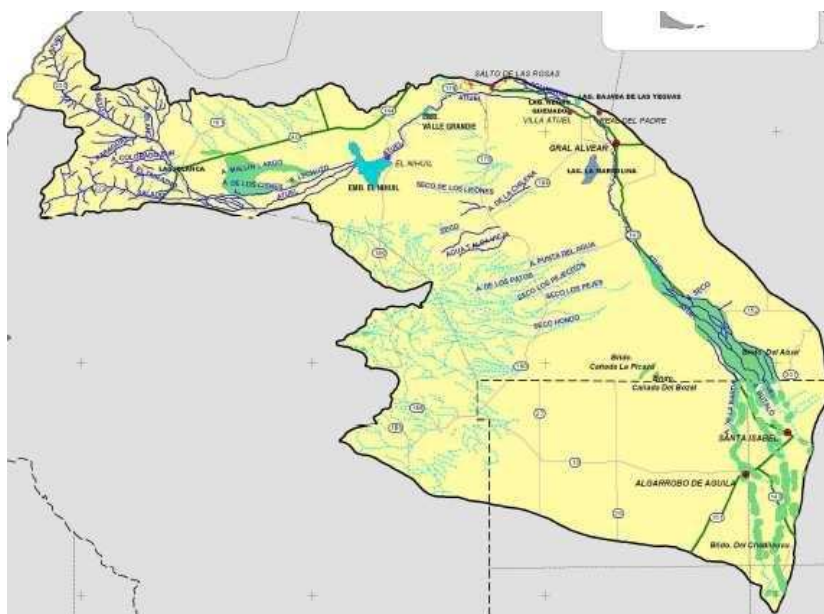


Figura 8. Mapa de la subcuenca del río Atuel.

Los recursos hídricos superficiales provenientes de la alta cuenca son interceptados en la cuenca media, en la cual se desarrolla un paisaje serrano, por obras de aprovechamiento hidráulico, que posibilitan la regulación de los caudales para el regadío y la generación de energía hidroeléctrica.

Aguas abajo de la presa de Valle Grande, las aguas del río Atuel son utilizadas como fuente de vida para el desarrollo socioeconómico de la región sobre la base de la agricultura de regadío, generándose los oasis de San Rafael (irrigado también con el río Diamante) y General Alvear.

2.8.1. Clima

El clima de la región del río Atuel puede definirse como continental y árido. Este presenta el factor ecológico y económico más importante.

La subcuenca del río Atuel presenta grandes contrastes en cuanto a su geografía lo cual hace que desde una punta a la otra de la misma se observen importantes variaciones climáticas. Por lo tanto el clima de la subcuenca del Atuel se ve condicionado en gran parte por el relieve, por la latitud, por los componentes atmosféricos climáticos, por la orientación y exposición de los valles y por la distancia al mar.

La interacción de estos factores dan el clima de la cuenca en general y de subunidades climáticas locales en particular.

Dentro de la región de la montaña se distinguen los siguientes pisos climáticos: 1) de las altas cumbres; 2) de las altiplanicies o páramos, y 3) de los valles profundos. Las condiciones atmosféricas de estos últimos difieren de acuerdo con la orientación (transversal o longitudinal) y la altura a la que se encuentran.

Las diversas unidades del piedemonte presentan condiciones climáticas particulares. La depresión del sur o de las Salinas del Atuel es más seca y cálida que la del centro pero más húmeda que la del norte. En su extremidad sur comienza el cambio de las precipitaciones estivales a las invernales.

La planicie, al ser más homogénea que la montaña, permite establecer algunos tipos locales. En ésta domina la acción de las masas de aire del Atlántico, lo cual favorece las precipitaciones en verano. La planicie posee los caracteres típicos de las regiones situadas a sotavento de grandes cadenas de montañas. Posee escasas precipitaciones y es azotada por vientos como el Zonda, que sopla desde el norte de la provincia de Catamarca hasta la parte central de la provincia de Neuquén. El régimen térmico, de alta concentración estival tiende a fresco sobre la planicie de la subcuenca del Atuel por la acción más eficiente de las masas de aire de este rumbo.

Los factores climáticos de mayor incidencia económica de la zona bajo riego son las precipitaciones, las heladas y las granizadas.

2.9. Subcuenca de los ríos Salado y Chadileuvú

Los ríos Salado y Chadileuvú no son ríos de comportamiento simple. El primero de ellos penetra en la Provincia de La Pampa con rumbo Noreste - Sudoeste, que mantiene a lo largo de 37 km, hasta su encuentro con el Atuel. Entre ambos cursos, forman un laberinto de bañados, lagunas, brazos menores desde los cuales continúa el río Chadileuvú que pasa frente a La Reforma y descarga en las Lagunas Dulce y Urre – Lauquen.

[illegible]

2.10. Subcuenca del río Curacó

Entre las principales acciones que se han proyectos y acciones con motivo de atender los problemas de las descargas de agua con alto contenido de sales desde el río Curacó al río Colorado, se identifican:

- 27 -

Recientemente, en enero del 2007, el Gobierno pampeano abrió el llamado “Tapón de Alonso”, en el bañado de la laguna La Amarga, permitiendo que el río Curacó escurra con un pequeño caudal aguas abajo que en un breve período descargó en el río Colorado hasta que se construyeron obras precarias (conductos con regulación parcial).

La decisión anterior fue tomada con el propósito de brindar abastecimiento de agua al ganado vacuno aguas abajo de la localidad de Puelches, recordando que la interrupción al libre escurrimiento data desde el año 1985. El agua está en los límites de salinidad para la ingesta vacuna. La provincia de La Pampa proyecta una obra que permitirá un manejo regulado para abastecer tal requerimiento y no llegar a crear ningún inconveniente con la calidad de aguas del río Colorado.

2.11. Análisis conjunto de las subcuencas de los ríos Curacó y Chadileuvú

El río Chadileuvú-Curacó escurre por una Depresión diagonal originada en una falla tectónica. Tal zona deprimida forma en el norte los humedales llamados Bañados del Atuel y hacia el sur posee someras lagunas como las llamadas Urre – Lauquen, Laguna Dulce y Laguna Amarga y salinas o salares que son restos de antiguas lagunas. Por último, al oeste de la depresión del Chadileuvú-Curacó el terreno vuelve a elevarse y se hace bastante accidentado con la presencia de sistemas orográficos más conspicuos: la Meseta del Fresco y sobre todo (en el extremo noroeste) la sierra del ya señalado Cerro Negro.



Figura 10. Mapa de los ríos Curacó y Chadileuvú.

2.12. Cuenca del río Colorado

El río Colorado, constituye un recurso permanente alimentado por deshielos. La superficie actual de la subcuenca alcanza los 47.458 km², con un caudal medio de 150 m³/seg en Buta Ranquil, manifiesta crecidas cíclicas cada 10/11 años que, en algunos casos, han llegado a superar los 1.200 m³/seg, pero los máximos anuales no superan los 600 m³/seg en verano, respetando el régimen nival del río.



asentamiento de distintos núcleos urbanos: Rincón de los Sauces, 25 de Mayo, Colonia Chica, Gobernador Duval, Casa de Piedra, Pichi Mahuida, río Colorado, La Adela y Pedro Luro, viviendo en su vera alrededor de 120.000 personas.

Esta cuenca tiene como Autoridad de Aplicación al Comité Interjurisdiccional del río Colorado (COIRCO), creado en 1976 por acuerdo de los gobernadores de las provincias de Buenos Aires, La Pampa, Mendoza, Neuquén y Río Negro. Mediante este Comité las provincias asumieron la responsabilidad de poner en marcha el Programa Único de Habilitación de Áreas de Riego y Distribución de Caudales del río Colorado, tendiente a una distribución razonable y equitativa de sus aguas para beneficio común.

Desde el río Colorado se abastece de agua para consumo humano a todas las áreas ribereñas (urbanas y rurales), estando autorizada la cobertura de los requerimientos de gran parte de las localidades de la Provincia de La Pampa a través de un acueducto en construcción. De acuerdo al último ciclo agrícola, se riega en la cuenca aproximadamente una superficie del orden de las 158.900 hectáreas, sobre un total potencial de 318.000 hectáreas. Se cubren además otros usos consuntivos vinculados a actividades ganaderas, petroleras, mineras e industriales. Actualmente el Acueducto del río Colorado abastece de agua hasta la localidad de Santa Rosa y aledañas al acueducto durante el recorrido. En su proyección final se prevee que abastecerá hasta la localidad de General Pico, alcanzando de esta manera el 80% de la población pampeana.

2.13. Zonas y nodos singulares de las cuencas

Con objeto de facilitar el posterior análisis del comportamiento hidrológico de la cuenca y para elaborar el diagnóstico (*Tomo II*), se dividió a la cuenca del Desaguadero-Salado-Chadileuvú-Curacó en cuatro zonas. Complementariamente a esta zonificación, las sub-cuencas de los ríos Colorado y Desaguadero fueron divididas en varios tramos que se detallan a continuación.

El río Colorado se dividió en dos tramos:

- Tramo I: Desde las nacientes del río Colorado hasta la confluencia del río Curacó.
- Tramo II: Desde la confluencia del río Curacó hasta la descarga del río al océano Atlántico.

El río Desaguadero se dividió en los siguientes tres tramos:

- Tramo I: Lagunas de Guanacache hasta la unión del río Tunuyán y Desaguadero.
- Tramo II: Unión Tunuyán y Desaguadero hasta los Bañados del Atuel.
- Tramo III: Bañados del Atuel hasta la unión de los ríos Curacó y Colorado.

Los extremos de los tramos I y II coinciden con los dos primeros nodos empleados para el análisis hidrológico que se efectúa en el presente Tomo I, mientras que en el tramo III se encuentran los otros dos nodos analizados.

Las cuatro zonas establecidas para la cuenca total son:

- ❑ **Subcuenca alta**: esta formada por las subcuencas del río Bermejo, en La Rioja, y de los ríos Jáchal y San Juan, en la provincia de San Juan.



- ❑ **Subcuenca media alta**: la integran las subcuencas de los ríos Mendoza, Tunuyán y Diamante en la provincia de Mendoza, y los tramos I y II de aporte directo al río Desaguadero (provincia de Mendoza y San Luis).
- ❑ **Subcuenca media baja**: incluye las subcuencas de los ríos Atuel, y el área de aporte del tramo III del río Desaguadero y el tramo I del río Colorado.
- ❑ **Subcuenca baja**: integrada por el área de aporte del tramo II del río Colorado.

2.14. Departamentos que integran las diversas zonas de la cuenca

Para el análisis de las actividades humanas (PBI, NBI, exportaciones etc.), las cuales se encuentran disponibles a nivel de Departamentos en las estadísticas oficiales (INDEC), es necesario efectuar un prorrateo de la superficie de los Departamentos que forman parte de la cuenca. Para ello hay que hacer una suposición y simplificaciones que asignan a cada zona (alta, media-alta, media-baja y baja) una jurisdicción política representativa. Esta tarea fue efectuada de manera automática por el Sistema de Información Geográfica.

2.14.1. Subcuenca del río Bermejo

El área de la sub-cuenca es de 35.490 km² y comprende los Departamentos: General Sarmiento (81,7 %), General Lamadrid (70,7%), General Lavalle (97,9%), Independencia (10,5%) y una pequeña porción Chilecito y Famatina en la provincia de La Rioja; los Departamentos Jáchal (33,3%), Caucete (58,9%), Valle Fértil (10,7%), 25 de mayo (45,4%), San Martín (6,1%) y una pequeña porción del Departamento de Angacó en la provincia de San Juan; el Departamento de Ayacucho (8,9%) en la provincia de San Luis.

2.14.2. Subcuenca del río Jáchal

El río Jáchal es el segundo en importancia en la provincia de San Juan con una superficie de 34.661 km². Están comprendidos en el área los Departamentos de General Sarmiento (17%) y General Lamadrid (28,9%) en la provincia de La Rioja, y los Departamentos Jáchal (64,5%), Iglesias (98,6%), Angacó (33%) y una parte del Departamento Caucete en la provincia de San Juan.

2.14.3. Subcuenca del río San Juan

El río San Juan es el primero en importancia en la provincia de San Juan, su sub-cuenca es de 38.555 km². Están comprendidos en el área la totalidad de los Departamentos Albardón, Chimbas, Rivadavia, Santa Lucía, 9 de Julio, Capital y Rawson, el 90,9% de Zonda, el 93,9% de San Martín, el 97,1% de Calingasta, el 96,8% de Ullum, el 99,5% de Pocito, el 54,6% de 25 de mayo, el 66,5% de Angacó, el 16,3% de Sarmiento y una pequeña parte del Departamento Caucete en la provincia de San Juan. Además, los Departamentos Las Heras (14,3%) y Lavalle (5,6%) en la provincia de Mendoza.

2.14.4. Subcuenca del río Mendoza

Esta subcuenca tiene una superficie de 17.802 km² y abarca los Departamentos Maipú, Capital, Godoy Cruz y Guaymallén en su totalidad, el 85,5% de Las Heras, el 78% de Luján de Cuyo, el 23,8% de Lavalle, el 22,6% Junín y el 14,1% de San Martín en la provincia de Mendoza. En la provincia de San Juan abarca el 83,7% del Departamento Sarmiento

Según Departamento General de Irrigación de la provincia de Mendoza los datos son los siguientes:

Superficie: 19.553 km² comprendiendo los Departamentos Capital, Godoy Cruz, Guaymallén, Maipú, Las Heras, Luján de Cuyo y parcialmente San Martín (14%)

2.14.5. Subcuenca del río Tunuyán

Esta subcuenca pose 21.121 km² y comprende los Departamentos Tupungato (97,5%), Tunuyán (98,8%), San Carlos (54,8%), Rivadavia (65,3%), Junin (77,4%), Santa Rosa (35,3%), La Paz (45,2%), Luján de Cuyo (20,8%) y San Martín (11,2%) todos en la provincia de Mendoza.

Según Departamento General de Irrigación de la provincia de Mendoza los datos son los siguientes:

Superficie: 18.954 km² comprendiendo los Departamentos de Tunuyán, San Carlos, Tupungato; Rivadavia, Junín, San Martín (86 %), Santa Rosa y La Paz

2.14.6. Subcuenca del río Diamante

Esta subcuenca cubre 8.563 km² ubicados en los Departamentos San Rafael (17,5%), San Carlos (18,1%) y General Alvear (6,2%).

Según Departamento General de Irrigación de la provincia de Mendoza los datos son los siguientes:

Superficie: 12.523 km². Si bien una parte de la cuenca imbrífera recorre el territorio del Departamento San Carlos y otra pequeña porción de General Alvear, el oasis irrigado pertenece mayoritariamente al Departamento de San Rafael. El porcentaje que corresponde del Departamento San Rafael para el río Diamante es 24% por lo que el 76% restante se afecta a la subcuenca del río Atuel.

2.14.7. Subcuenca del río Atuel

Esta subcuenca cubre 39.260 km² y abarca el 59,7% del Departamento San Rafael, el 27,1% de General Alvear y el 15,5 % del Departamento Malargüe, todos en Mendoza. Además, incluye el 23,1% del Departamento Chalileo y el 84,6 % del Departamento Chical Co.

Según Departamento General de Irrigación de la provincia de Mendoza los datos son los siguientes:

Según el Plan Director del río Atuel la superficie de la subcuenca es 29.721 km². En la provincia de Mendoza se toma el 76 % del Departamento de San Rafael, el 40 % de General Alvear y el 13 % de Malargüe. En la provincia de La Pampa, manteniendo los datos del GIS se toma el 23,1% del Departamento Chalileo, el 84,6 % del Departamento Chical Co.

2.14.8. Subcuenca del río Desaguadero - Tramo I

La subcuenca del tramo I del río Desaguadero tiene 31.616 km². En territorio mendocino el área abarca el 70,3% del Departamento Lavalle, el 74,7% de San Martín, el 64,7% de Santa Rosa, el 54,8% de La Paz, el 34,7% de Rivadavia y el 26,8% de San Carlos; en la provincia de San Luis quedan incluidos en el área el 51,7% del Departamento Belgrano, el 45 % del Departamento Capital y una pequeña parte del Departamento de Ayacucho.

2.14.9. Subcuenca del río Desaguadero - Tramo II

De acuerdo con los datos que surgen del GIS la subcuenca del tramo II tiene una superficie de 30.081 km². En la provincia de Mendoza quedan incluidos el 22,2% de San Rafael y el 66,7% de General Alvear; en la provincia de San Luis abarca el 39,2% de Gobernador Dupuy, el 41,7% del Departamento Capital y el 5% de Coronel Pringles.

2.14.10. Subcuenca del río Desaguadero - Tramo III

Esta subcuenca abarca una superficie de 57.208 km² e incluye a los Departamentos Curacó (86,2%), Lihuel Calel (34,8%), Puelen (79,4%), Chalileo (76,9%), Limay Mahuida (97,7%) y Chical Co (15,4%) todos en la provincia de La Pampa. Además, queda incluido en el área el 14,8 % del Departamento de Malargüe en la provincia de Mendoza.

2.14.11. Subcuenca del río Colorado – Tramo I

Esta subcuenca abarca una superficie de 43.018 km² e incluye a los Departamentos Curacó (13.8%) y Puelen (20.5%) en la provincia de La Pampa, General Roca (52.6%) y Avellaneda (11.9%) en la provincia de Río Negro, Malargüe (44%) en Mendoza y Chos-Malal (42.6), Pehuenches (65.8%) y Añelo (9.6%) en la provincia de Neuquén.

2.14.12. Subcuenca del río Colorado – Tramo II

Esta subcuenca abarca una superficie de 4.409 km² e incluye a los Departamentos Caleu Caleu (5.2%) en la provincia de La Pampa, Pichi Mahuida (10.1%) en la provincia de Río Negro y Villarino (15%) y Patagones (6.10%) en la provincia de Buenos Aires.

2.15. Caracterización general hidrológica en base a caudales característicos

A continuación se indica en forma resumida, los meses dentro de los cuales ocurren los valores de caudales máximos de los diferentes sistemas lóticos que componen a la cuenca bajo análisis y que serán de gran utilidad para los distintos análisis que se llevarán a cabo en las páginas siguientes.

	Ríos	Análisis Hidrológico
		Caudales máximos
		Mes
Cuenca Alta	Bermejo	Enero - Febrero
	Jáchal	Diciembre - Enero
	San Juan	Diciembre - Enero
Cuenca Media Alta	Mendoza	Diciembre - Enero
	Tunuyán	Diciembre - Enero
	Diamante	Diciembre - Enero
	1º Tramo Desaguadero	Diciembre - Enero
	2º Tramo Desaguadero	Enero - Febrero
Cuenca Media Baja	Atuel	Diciembre - Enero
	3º Tramo Desaguadero	Enero - Febrero

Tabla 2. Caudales máximos.

Como se observa en la *Tabla 2*, los caudales máximos para los ríos que abastecen a la cuenca ocurren en forma coincidente en los meses de diciembre y enero. Lo dicho anteriormente se explica con facilidad al analizar el origen o el nacimiento de estos ríos. Tanto el Jáchal, como el San Juan, el Mendoza, el Tunuyán, el Diamante y el Atuel encuentran su origen en el derretimiento de los hielos que se acumulan en la cordillera en la época invernal. Cuando comienzan a desarrollarse las temperaturas más elevadas (épocas estivales), el deshielo alimenta estos ríos provocando la ocurrencia de los máximos caudales en los meses de diciembre y enero, y en ocasiones en febrero. Pero es de destacar que los caudales máximos en la mayoría de los casos se encuentran dentro de estos meses.

Se advierte a su vez, un retraso de uno a dos meses en la aparición de los caudales picos en el segundo y tercer tramo colector (su régimen no es nival, sino que es el resultado de la yuxtaposición del comportamiento de los anteriores).

2.16. Índice climático de las sub-cuencas

Existen distintas formas de clasificar los climas, atendiendo generalmente a los aspectos meteorológicos. Una forma de clasificación es conforme al régimen hídrico. Para determinar el

régimen se debe calcular un indicador de aridez (UNEP, 1997), que tiene en cuenta la precipitación y evapotranspiración promedio anuales según la siguiente fórmula:

$$I_a = \frac{P_{anual}}{ET_{anual}}$$

A continuación se presenta la clasificación de las zonas en función del indicador de aridez:

ZONA	I _a
Hiper Árida	< 0.05
Árida	0.05 – 0.20
Semiárida	0.20 – 0.50
Subhúmeda seca	0.50 – 0.65
Subhúmeda húmeda	0.65 – 1.00
Húmeda	>1

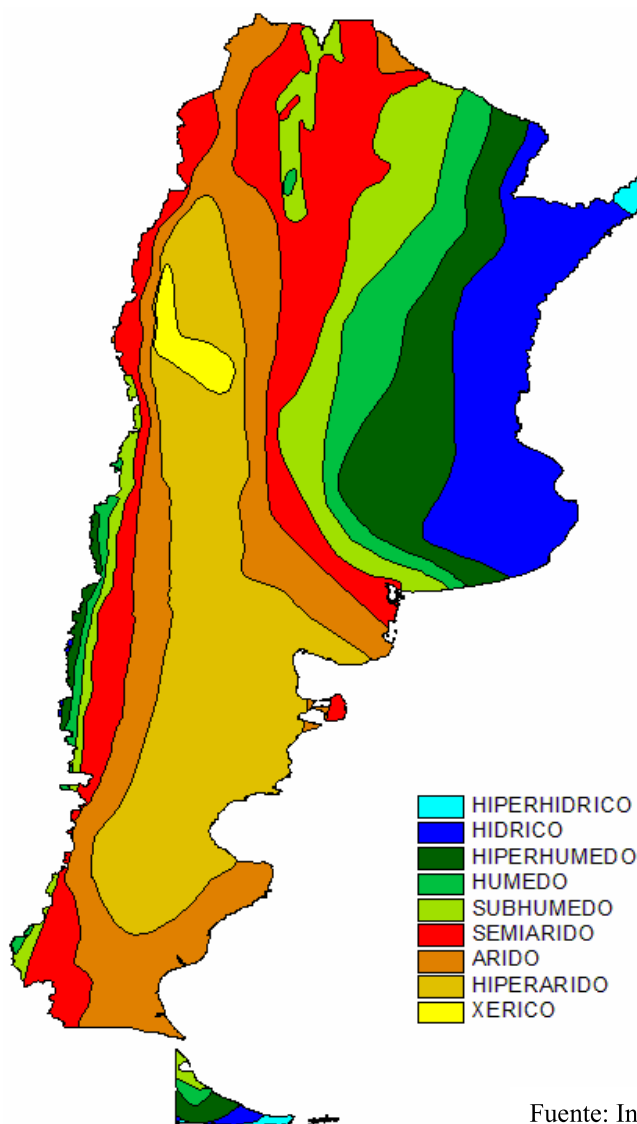
Tabla 3. Indicadores de aridez para diferentes tipos de zonas.

Existe otro indicador de régimen de aridez, en función de la cantidad de meses secos al año. Este indicador considera un mes como seco si el indicador de aridez es menor que 0.5. Se presenta la clasificación de régimen hídrico según este indicador:

REGIMEN HIDRICO	Condiciones
Xerico	12 meses secos e I _a < 0.05
Hiperárido	11 – 12 meses secos
Árido	9 – 10 meses secos
Semiárido	7 – 8 meses secos
Subhúmedo	5 – 6 meses secos
Húmedo	3 – 4 meses secos
Hiperhúmedo	1 – 3 meses secos
Hídrico	0 mes seco y P < 2500 mm
Hiperhídrico	0 mes seco y P > 2500 mm

Tabla 4. Clasificación de régimen hídrico en función del indicador de aridez.

A continuación se presenta el mapa de la Argentina con la clasificación de las distintas regiones del país con el régimen hídrico correspondiente, elaborado por Moyano y Díaz (2006).



Fuente: Instituto Nacional del Agua

Figura 13. Mapa de zonas áridas, semiáridas y subhúmedas. Zonificación conforme el régimen hídrico

Se analizaron los mapas de las distintas sub-cuencas en estudio en conjunto con el mapa de zonificación conforme el régimen hídrico. Se determinó el porcentaje de superficie de cada sub-cuenca correspondiente a los distintos regímenes hídricos. Se asignó un valor numérico para cada uno de los regímenes hídricos en función de la cantidad de meses secos en el año. Al multiplicar el valor representativo de cada tipo de régimen por el porcentaje de área correspondiente al mismo y sumar todos estos productos, se determina un valor de régimen hídrico representativo para toda la sub-cuenca. Los resultados obtenidos, así como también un mapa ampliado de la zona de interés se presentan a continuación.

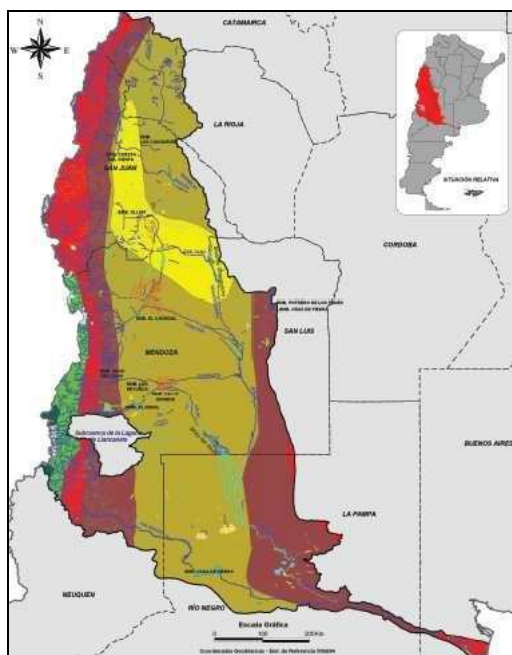


Figura 14 .Mapa de zonas áridas, semiáridas y subhúmedas. Área de estudio

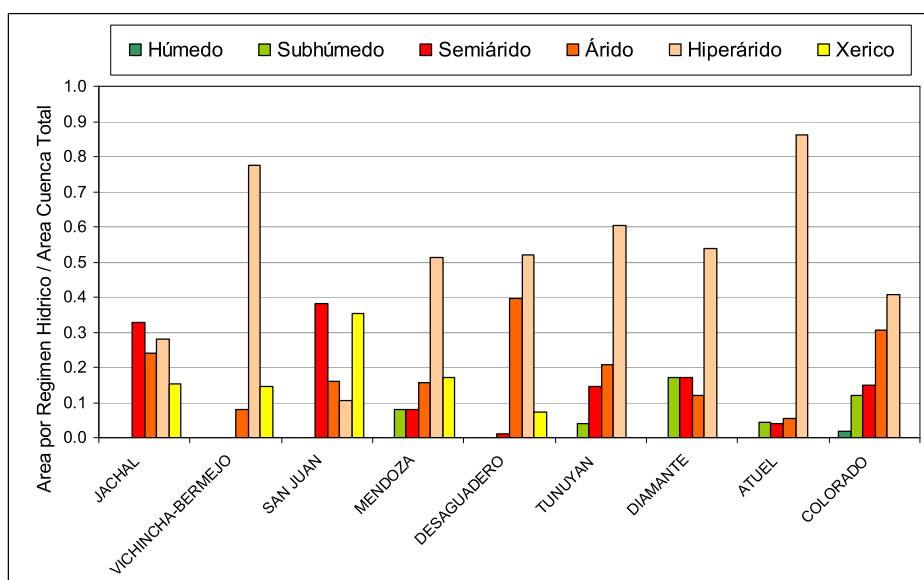


Gráfico 1. Determinación del régimen hídrico significativo de las sub-cuencas.

SUB-CUENCA	REGIMEN HIDRICO
Jáchal	Árido
Vichincha-Bermejo	Hiperárido
San Juan	Árido
Mendoza	Hiperárido
Desaguadero	Hiperárido
Tunuyan	Árido
Diamante	Árido
Atuel	Hiperárido
Colorado	Árido

Tabla 5. Régimen hídrico significativo de las sub-cuencas.

2.17. Registros de calidad y cantidad de agua

Los resultados que se presentan en este estudio son el producto de distintos análisis realizados sobre las series de registros existentes en la zona. Los registros incluyen mediciones diarias, medias mensuales y extremos anuales de caudal, así como también valores diarios y mensuales de salinidad de los distintos cursos de interés. La distribución areal de las estaciones donde se miden los distintos tipos de registro no es homogénea sobre la cuenca. En la parte alta de la cuenca se cuenta con estaciones de aforos con registros largos y continuos, mientras que en la parte baja no todos los cursos presentan largos registros de caudales, sin embargo se cuenta con varias estaciones que tienen mediciones de calidad de agua. La **Tabla 6** presenta un resumen de las estaciones de registro seleccionadas para realizar el estudio. En la misma se presentan los años de medición, la longitud de los registros, la condición de actividad o fuera de actividad de la estación, el tipo de dato existente y la fuente de cada una de las series.

La longitud y el tipo de registro es variable para las distintas estaciones. Por este motivo, los resultados del presente informe están sujetos a la calidad y disponibilidad de las mediciones, tanto por el tipo de registro, la ubicación geográfica de las estaciones y la longitud y paso de los registros.



Tabla 6. Estaciones de registro seleccionadas para el estudio.

RIO	ESTACIÓN	REGISTROS				MEDICIONES				FUENTE
		Inicio	Fin	Años	A: Activa NA: No Activa	QMM	Q extremos anuales	Conductividad MM	Conductividad Instantánea	
Vinchina	Vinchina	1966	1981	15	NA	si	si	no	no	1
San Juan	Km 101	1971	2004	33	A	si	si	no	no	1
	Km 47.3	1909	2004	95	A	si	si	no	no	1
Jáchal	Ing. De la Roza	1909	1989	80	NA	si	si	no	no	1
Mendoza	Pachimoco	1921-1928	1936-1990	61	NA	si	si	no	no	1
	Guido	1956	2004	48	A	si	si	no	no	1
	Cacheuta	1909	1990	81	NA	si	si	no	no	1
Tunuyan	Valle del Uco	1954	2004	50	A	si	si	no	no	1
Desaguadero - 1 ^{er}	El Encon	1993	2004	11	A	si	si	no	no	1
Desaguadero - 2 ^{do}	Arco del Desaguadero	1936	1953	17	NA	si	si	no	no	1
Desaguadero - 3 ^{er}	Canalejas	1987	2004	17	A	si	si	no	no	1
	La Jaula	1970	2004	34	A	si	si	no	no	1
Diamante	Monte Comán	1990	2004	14	A	si	si	no	no	1
	Los Reyunos	1917-1925	1938-1977	47	NA	si	si	no	no	1
Atuel	El Sosneado	1972	2004	32	A	si	si	no	no	1
	Loma Negra	1980	2004	24	A	si	si	no	no	1
	La Angostura	1906	2004	98	A	si	si	no	no	1
	Carmensa	1985	2004	19	A	si	si	no	no	1
	Puesto Jacinto Ugalde	1980	2004	24	A	si	si	no	si	2
Atuel - Arroyo de la Barda	Puesto Anguero Ugalde	1996	2006	10	A	si	si	no	si	2
	Algarrobo del Aguila	2004	2006	2	A	no	no	no	si	2
	La Puntilla	1985	2006	21	A	no	no	no	si	2
Salado	Paso del Loro	1980	2006	26	A	si	si	no	si	2
	Paso de los Carros (La Pampa)	1981-1987	2004-2006	8	A	no	no	no	si	2
	Paso de los Algarrobos	2004	2006	2	A	no	no	no	si	2
Salado - Chadileuvú	La Reforma	1980	1998	18	NA	si	si	no	si	2
	Entrada a la dulce. Ruta 107	2005	2006	1	A	no	no	no	si	2
	Puelches	1983	2006	23	A	si	si	no	si	2
Encadenadas del Curacó	Laguna Urre Lauquén	2004	2004	1	A	no	no	no	si	2
	La Dulce. Frente al Mojón	2004	2006	2	A	no	no	no	si	2
	La Amarga - Tapon de Alonso	2006	2006	1	A	no	no	no	si	2
Curacó	La Amarga - Frente a Tapón de cierre	2005	2006	1	A	no	no	no	si	2
	Pichi Mahuida II	1983	1998	15	NA	si	si	si	no	2
	Buta Ranquil	1940	2006	66	A	si	si	no	no	1
Colorado	Pichi Mahuida	1918	2006	88	A	si	si	no	no	1
	Buta Ranquil	1981	2005	24	A	si	no	si	no	3
	Pichi Mahuida	1981	2005	24	A	si	no	si	no	3
	Casa de Piedra	1986	2005	19	A	si	no	si	no	3
	Paso Alsina	1982	2005	23	A	si	no	si	no	3

Nota: Las mediciones de conductividad instantánea no son continuas en el tiempo.

Los caudales extremos anuales solo están disponibles para los años con registros completos de los 12 meses.

FUENTE: 1) Subsecretaría de Recursos Hídricos de La Nación / EVARSA S.A.

2) "Estadística hidrográfica de los ríos Atuel, Salado, Chadileuvú y Curacó", Secretaría de Recursos Hídricos de La Pampa, Dirección de Investigación Hídrica.

3) Comité Interjurisdiccional del Río Colorado (COIRCO)

CAPÍTULO 3: CARACTERIZACIÓN HIDROLÓGICA

En la primera parte de este capítulo se efectúa una caracterización hidrológica general de las diversas subcuencas y la cuenca en su conjunto. Para ello se analizan las series de datos disponibles, las cuales fueron obtenidas de la Red Hidrológica Nacional de la Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación, operada por la Empresa EVARSA, de las provincias de la cuenca y el Comité Interjurisdiccional del río Colorado (COIRCO).

Utilizando la información obtenida en la caracterización hidrológica de la cuenca, se realizará en la segunda parte del capítulo, un estudio de análisis de extremos. El análisis de extremos permitirá determinar si se observan cambios en los regímenes hidrológicos de los ríos de la cuenca debido a distintos factores posibles, como son la variabilidad de clima, el cambio del uso del suelo o la generación de un volumen de embalse. El análisis se hará teniendo en cuenta dos enfoques distintos, un primer enfoque tradicional basado en el análisis de los períodos de retorno y un segundo enfoque basado en el análisis de tendencia. Con el análisis de los períodos de retorno se pretende poder observar el cumplimiento de la condición de la estacionariedad de los caudales o no, pudiendo llegar a advertir posibles tendencias en las series de caudales; y con el análisis de tendencia se pretende poner en evidencia las variaciones en el comportamiento hidrológico de los ríos de la cuenca ocurridas desde la década del 80 posiblemente atribuibles a la incidencia del cambio climático. Este análisis es preliminar y responde a hipótesis similares que han sido evaluadas para otras cuencas en la región (ver referencias).



3.1. Hidrograma medio anual

Tabla 8. *Hidrograma medio anual*

Río	Estación	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Registro
Viedma	Viedma	1.14	1.19	1.02	1.04	1.03	1.08	1.77	2.18	1.39	1.17	1.11	1.12	66 a 81
San Juan	Km 101	38.0	38.0	38.6	55.0	90.1	109.4	104.8	75.2	54.0	43.5	41.9	41.3	71 a 04
San Juan	Km 47.3	40.3	38.9	40.2	53.6	90.0	129.8	117.9	83.8	57.4	44.8	43.6	42.6	09 a 04
San Juan	Ing. De la Roza	34.2	36.5	36.5	46.3	78.7	119.6	110.0	78.0	53.2	40.5	42.3	35.5	09 a 89
Jáchal	Pachimoco	6.5	6.5	7.8	9.8	12.5	15.7	16.2	12.9	10.0	8.7	8.3	7.2	21 a 90
Mendoza	Guido	20.7	20.5	21.9	28.3	46.9	84.2	100.4	81.4	54.7	34.1	28.7	22.8	56 a 04
Mendoza	Cachenta	22.7	21.9	23.9	31.0	49.8	91.9	117.9	93.3	58.5	36.8	29.3	23.2	09 a 90
Tumayan	Valle del Uco	11.8	11.9	13.5	19.8	36.1	58.5	63.9	48.5	32.5	19.7	15.0	12.8	54 a 04
Desaguadero	El Bacon	18.3	16.1	12.7	9.6	9.3	31.9	35.8	25.0	18.1	13.8	14.6	15.1	93 a 04
Desaguadero	Camalejas	21.7	21.0	15.9	10.7	7.2	15.7	37.6	33.8	23.2	17.2	17.0	23.5	87 a 04
Diamante	La Junta	17.9	17.9	19.5	25.7	44.8	72.2	70.5	49.5	33.3	23.1	19.9	18.6	70 a 04
Diamante	Monte Corón	11.4	8.2	7.4	8.5	7.3	10.3	13.5	9.6	8.3	8.7	9.7	11.1	90 a 04
Diamante	Los Reynos	17.7	18.1	19.4	26.7	45.1	69.1	69.3	53.1	35.4	24.8	21.1	18.9	17 a 25 y 38 a 77
Atuel	El Sombrero	20.7	20.8	22.1	27.4	43.8	76.9	84.2	69.1	46.5	29.4	25.3	22.3	72 a 04
Atuel	Loma Negra	22.6	22.7	24.5	30.1	44.4	66.3	66.4	51.2	36.9	26.2	24.5	24.0	80 a 04
Atuel	La Angostura	21.2	21.1	22.5	28.7	41.5	59.1	64.9	53.3	37.9	26.2	23.9	22.6	06 a 04
Atuel	Carmena	15.2	10.8	5.4	6.8	6.7	7.5	7.8	6.1	6.8	7.2	7.5	12.0	85 a 04
Colorado	Bata Ranquil	83.8	83.2	96.0	166.7	300.2	324.7	252.5	143.1	98.6	80.7	84.8	87.5	82 a 05
Colorado	Piedra Malnada	78.5	80.8	88.9	137.2	241.7	272.9	210.8	134.1	94.6	75.2	74.7	78.5	82 a 05

Fuente: Subsecretaría de Recursos Hídricos de La Nación, Estadística Hidrológica de la Rep. Argentina, Edición 2004

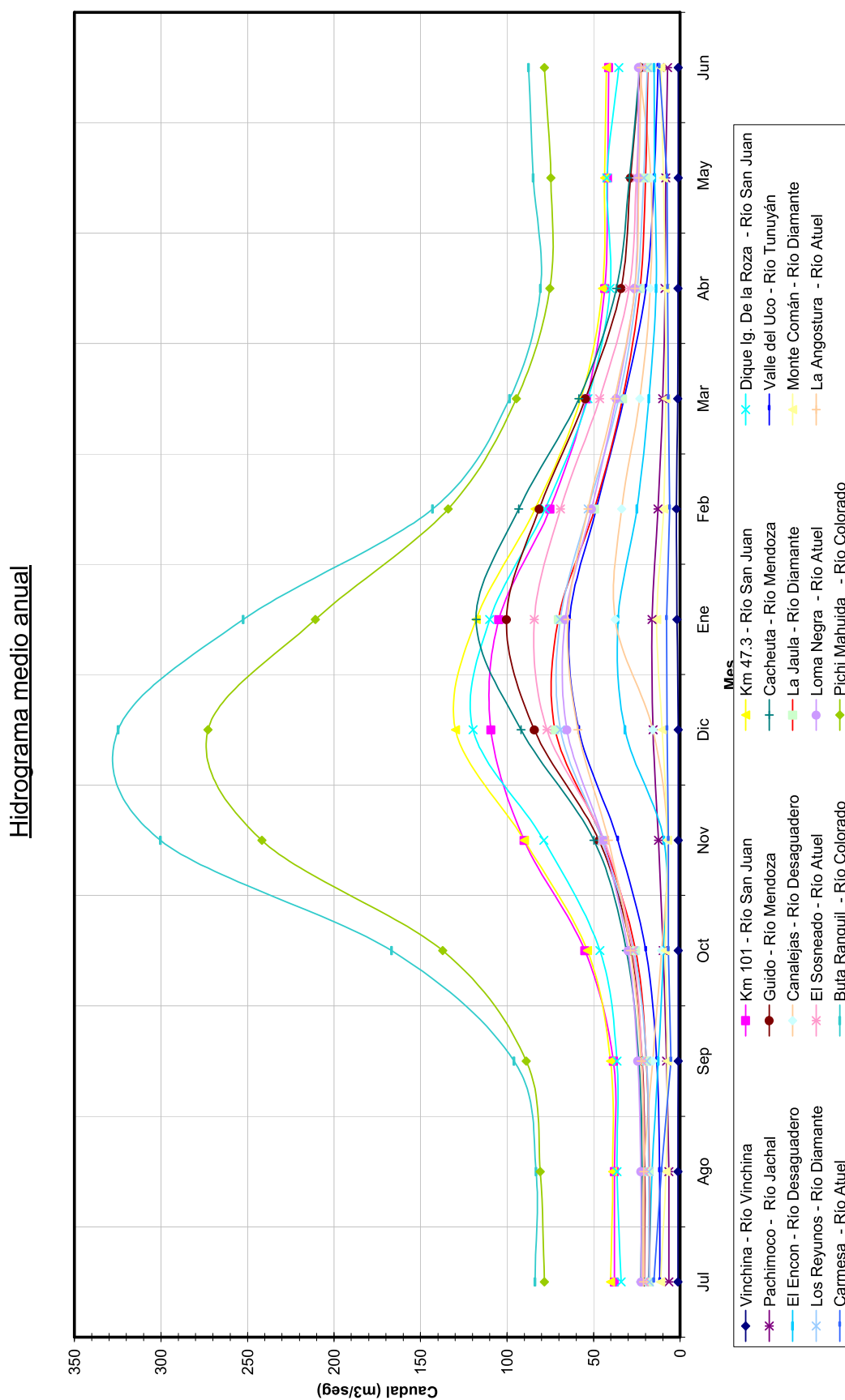


Gráfico 2. Hidrograma medio anual

Fuente: Subsecretaría de Recursos Hídricos de La Nación, Estadística Hidrológica de la Rep. Argentina, Edición 2004

3.2. Caudal mínimo, módulo y máximo

El registro sobre el cual se analizaron los caudales máximos y mínimos mensuales fue el utilizado para hallar el hidrograma medio anual (Hidrograma medio anual – Registro (Última columna de la tabla)). En adición a lo anterior, el valor de caudal módulo fue calculado a través de la utilización del hidrograma mencionado anteriormente (*Mapas 19, 20, 21*).

Río	Estación	Caudales (m ³ /s)		
		Mínimo	Módulo	Máximo
Vinchina	Vinchina	0.9	1.3	6.6
San Juan	Km 47.3	16.3	65.2	774.0
Jáchal	Pachimoco	3.0	10.2	144.0
Mendoza	Guido	11.0	45.1	265.9
Mendoza	Cacheuta	14.2	50.0	370.0
Tunuyan	Valle del Uco	7.3	28.6	164.0
Desaguadero - 1^{er} tramo	El Encon	0.0	20.4	184.3
Desaguadero - 2^{do} tramo	Arco del Desaguadero	0.0	14.5	228.4
Salado	Canalejas	0.2	20.3	289.0
Diamante	Monte Comán	0.5	9.5	66.6
Diamante	Los Reyunos	10.0	34.8	189.7
Atuel	La Angostura	10	35.2	157
Atuel	Carmensa	0	8.6	40.34
Colorado	Buta Ranquil	39	148.3	778
Colorado	Pichi Mahuida	15	130.7	694

Observación: Los valores de caudal mínimo y máximo de la presente tabla son mensuales, el módulo es medio anual.

Tabla 8. Caudales característicos por río

Fuente: Subsecretaría de Recursos Hídricos de La Nación, Estadística Hidrológica de la Rep. Argentina, Edición 2004.

Caudal mínimo mensual, módulo y máximo mensual

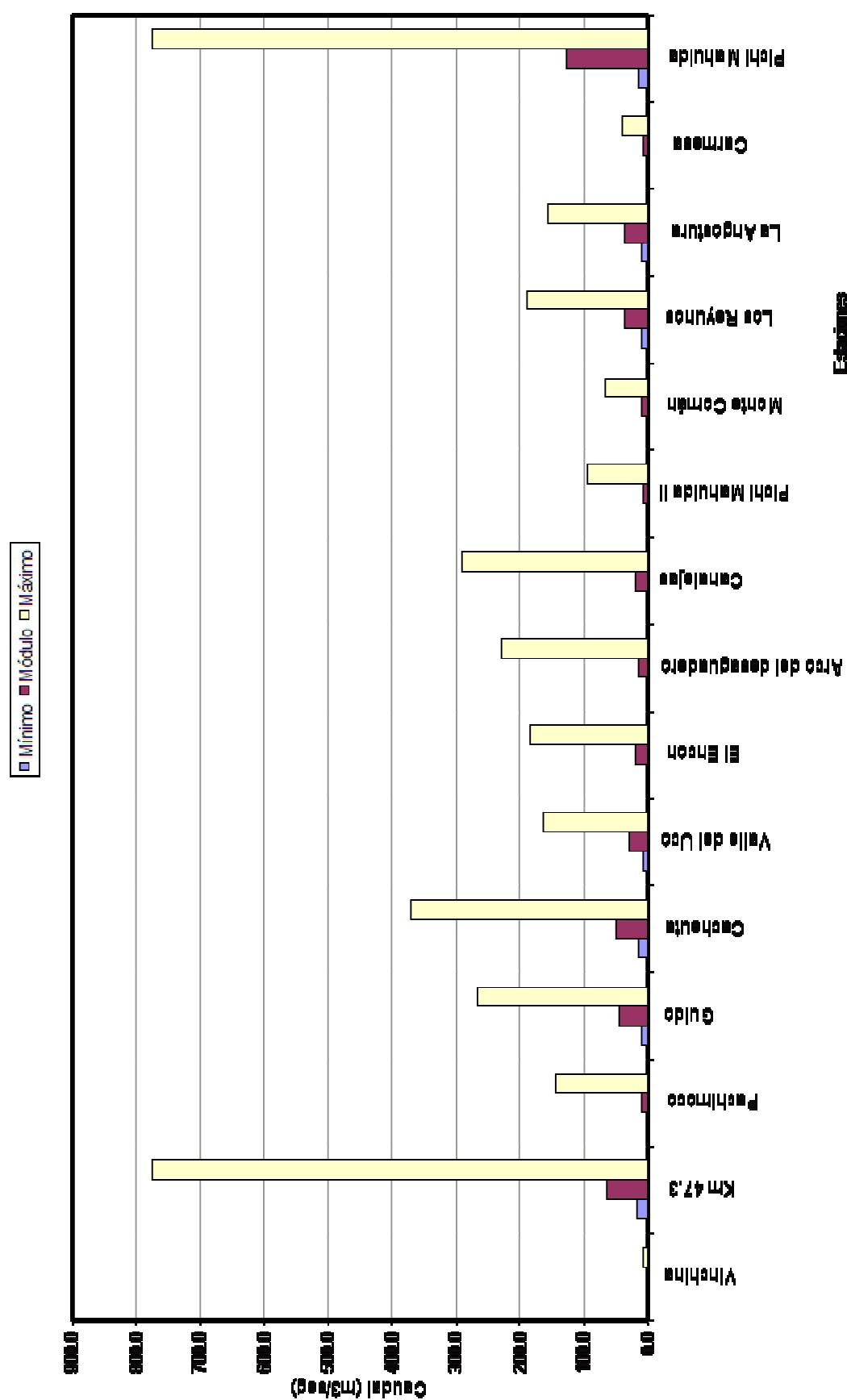


Gráfico 3. Caudales mínimos, módulos y máximos mensuales.

Fuente: Subsecretaría de Recursos Hídricos de La Nación, Estadística Hidrológica de la Rep. Argentina, Edición 2004

3.3. Análisis de extremos

A continuación se hará una breve reseña del modelo adoptado para realizar el análisis de extremos como así también de la función de probabilidad y método de estimación de parámetros empleados para la realización de los estudios correspondientes.

3.3.1. Modelo de Máximos anuales (AM)

En la Estadística Hidrológica se cuenta con un método de análisis que se denomina “Estudio Estadístico de Extremos”, con el cual se busca satisfacer la incertidumbre que se tiene sobre ciertas variables hidrológicas, “determinando” en cierta manera la probabilidad de ocurrencia de cierto valor de la variable en cuestión, la frecuencia con que ese valor sería alcanzado o superado, como así también que valor de dicha variable tiene cierta probabilidad de ser superada.

Este tipo de estudios esta compuesto por tres fases:

- ☐ Modelo,
- ☐ Familia de distribuciones de probabilidad,
- ☐ Método de estimación de parámetros.

En cuanto al primero de los puntos mencionados, se destaca que si bien existen distintos modelos, como lo son el método de Máximos Anuales (AM), Series de Duración Parcial (Picos Sobre un Umbral, POT), Series de Excedencias Anuales (AE) y Series de Tiempo, en el presente trabajo se hizo uso del primero de ellos.

Este modelo considera para su análisis sólo los máximos anuales de la variable en cuestión, asumiendo que estos valores son independientes entre si, como así también que están igualmente distribuidos. Por lo tanto, bajo estas hipótesis el modelo permite ajustar una función de distribución de probabilidad a la serie de datos que corresponda, resolviendo de esta manera el problema planteado.

3.3.2. Funciones de densidad de probabilidad

Este titulo hace referencia al segundo punto esencial en todo análisis de extremos, las familias de distribuciones de probabilidad, de las cuales se desarrollará una breve reseña sobre la EV1, la cual será utilizada.

3.3.2.1. EVI (Gumbel)

La distribución de Gumbel de parámetros a y $m > 0$ se utiliza en el análisis de la distribución asintótica de los extremos muestrales. Su función de densidad es:

$$f(x) = 1/m \cdot \exp((a-x)/m - \exp((a-x)/m))$$

y la de probabilidad acumulada

$$F(x) = \exp(-\exp((a-x)/m))$$

3.3.3 Métodos de estimación de parámetros

Este último título hace referencia al tercero de los elementos, a saber los diferentes Métodos de estimación de parámetros. Para el presente análisis se utilizará el Método de máxima Verosimilitud, sobre el cual se hace referencia a continuación.

3.3.3.1. **Máxima Verosimilitud (MV)**

Sea X una variable aleatoria con función de probabilidad

$$f(x; \theta)$$

Las muestras aleatorias simples de tamaño n , X_1, X_2, \dots, X_n ; tienen por distribución de probabilidad conjunta:

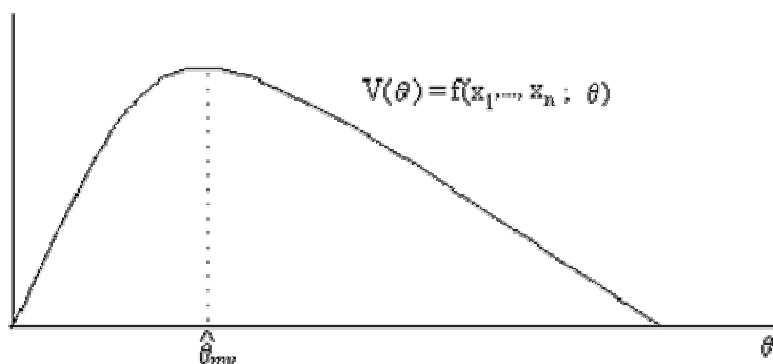
$$f_c(x_1, x_2, \dots, x_n; \theta) = f(x_1, x_2, \dots, x_n) f(x_1; \theta) \cdot f(x_2; \theta) \dots f(x_n; \theta)$$

Esta función que depende de $n+1$ cantidades podemos considerarla de dos maneras:

- Fijando θ , es una función de las n cantidades x_i . Esto es la función de probabilidad o densidad.
- Fijados los x_i como consecuencia de los resultados de elegir una muestra mediante un experimento aleatorio, es únicamente función de θ . Esta función de θ es denominada **función de verosimilitud**.

En este punto podemos plantearnos el que dado una muestra sobre la que se ha observado los valores x_i , una posible estimación del parámetro es aquella que maximiza la función de verosimilitud.

$$x_1, \dots, x_n \text{ fijados} \Rightarrow \text{Verosimilitud} \equiv V(\theta) = f(x_1, x_2, \dots, x_n; \theta)$$



Como es lo mismo maximizar una función que su logaritmo (al ser esta una función estrictamente creciente), este máximo puede calcularse derivando con respecto a θ la función de verosimilitud (bien su logaritmo) y tomando como estimador máximo verosímil al que haga la derivada nula:

$$\frac{\partial \log V}{\partial \theta}(\hat{\theta}_{MV}) = 0$$

De modo más preciso, se define el **estimador máximo verosímil** como la variable aleatoria

$$\hat{\theta}_{MV} = \max_{\theta \in R} f(X_1, X_2, \dots, X_n; \theta)$$

3.3.3.2. Estimación de Parámetros de EV1 (u y α)

La primera ecuación debe resolverse para α en forma iterativa y para ello se recomienda el uso del comando de XL “Buscar Objetivo”. Conocido α , u se obtiene directamente de la segunda ecuación.

$$\alpha = \bar{x} - \frac{\sum x \cdot e^{-x/\alpha}}{\sum e^{-x/\alpha}} \quad u = -\alpha \cdot \ln \left(\frac{\sum e^{-x/\alpha}}{N} \right)$$

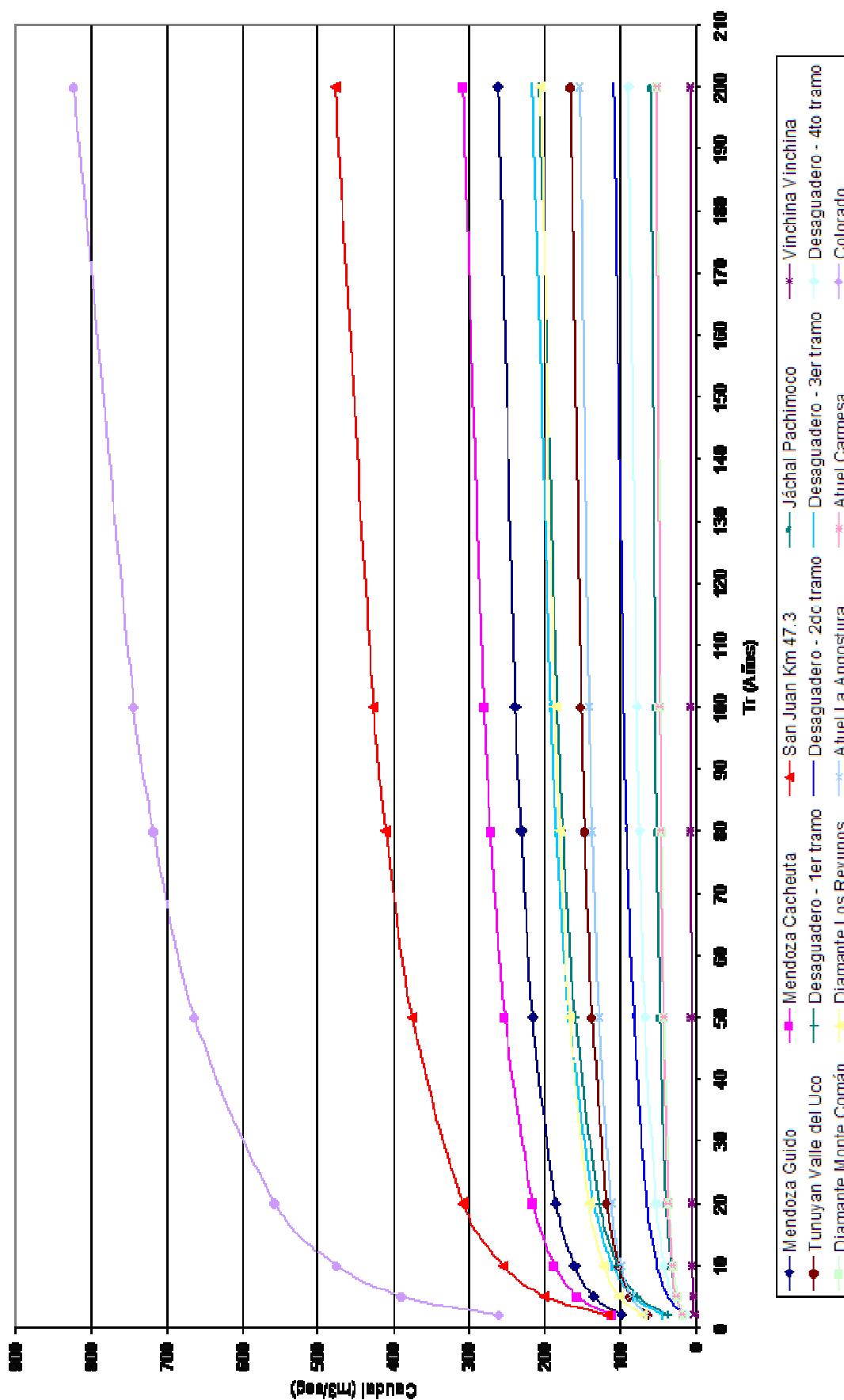
A continuación, se incluye una tabla con los caudales correspondientes a los diferentes períodos de retorno para cada río.

Tabla 9. Caudales por río para diferentes períodos de retorno

Río	Estación	Parámetros Distribución Gumbel		Caudal (m³/seg)								Registro		
		a	m	Tr = 2 años	Tr = 5 años	Tr = 10 años	Tr = 20 años	Tr = 50 años	Tr = 80 años	Tr = 100 años	Tr = 200 años	Inicio	Fin	Años
Vinchina	Vinchina	1,0	2,0	2	3	4	5	6	6	7	7	1966	1981	15 años
San Juan	Km 47.3	73,1	90,0	117	200	255	307	375	410	426	477	1909	2004	95 años
Jáchal	Pachimoco	9,0	12,0	15	25	32	39	47	51	53	60	1921-1928	1936-1990	61 años
Mendoza	Guido	33,1	86,0	98	136	160	184	215	231	238	261	1956	2004	48 años
Mendoza	Cacheuta	39,8	97,0	112	157	187	215	252	271	280	308	1909	1990	81 años
Tunuyan	Valle del Uco	20,9	55,0	63	86	102	117	137	146	151	166	1954	2004	50 años
Desaguadero - 1º tramo	El Encon	34,4	25,0	38	77	102	127	159	175	183	207	1993	2004	11 años
Desaguadero - 2º tramo	Arco del Desaguadero	19,0	8,0	15	36	51	64	82	91	95	108	1936	1953	16 años
Desaguadero - 3º tramo	Canalejas	35,2	30,0	43	83	109	134	167	184	192	216	1987	2004	17 años
Diamante	Monte Comán	7,3	13,0	16	24	29	35	42	45	47	52	1990	2004	14 años
Diamante	Los Reyunos	27,4	60,0	70	101	122	141	167	180	186	205	1917-1925	1938-1977	47 años
Atuel	La Angostura	18,0	58,0	65	85	98	111	128	137	141	153	1906	2004	98 años
Atuel	Carmensa	6,8	16,0	18	26	31	36	42	46	47	52	1985	2004	19 años
Colorado	Pichi Mahuida	114,5	217,0	259	389	475	557	664	718	744	823	1981	2006	25 años

Fuente: Subsecretaría de Recursos Hídricos de La Nación, Estadística Hidrológica de la Rep. Argentina, Edición 2004

Gráfico 4. Caudales por río para diferentes periodos de retorno



3.4. Histograma de frecuencias y curvas de duración

Existen diferentes formas para expresar la frecuencia de ocurrencia de caudales observados. Esta puede ser expresada como el porcentaje de tiempo de excedencia de un determinado caudal, o como una proporción de años para los que un determinado caudal se observa en un río. Las formas gráficas de representar estas dos formas de expresión de frecuencia son: el histograma de frecuencias y la curva de duración.

3.4.1. Histograma de frecuencias

Este tipo de gráfico describe la frecuencia con que se producen determinadas clases de caudal. En primer lugar, se debe proponer el número de clases en cual se dividirá el espectro de caudales. En el presente informe se adoptó intervalos de 10 m³/seg, por lo que las clases quedaron determinadas por los caudales medios diarios mínimos y máximos característicos de cada río (cubriendo de este modo el rango total de caudales).

Por último, se contabilizan la cantidad de días en los cuales el caudal medio diario se encontró dentro de cada clase y a cada uno de estos valores obtenidos se lo divide por el total de los días del período para poder expresar la frecuencia en porcentaje de tiempo.

3.4.2. Curva de duración o permanencia

La curva de duración o permanencia indica el porcentaje de tiempo en que es posible obtener un cierto caudal o uno mayor a él. En definitiva, lo que brinda esta curva es la posibilidad de poder contar con un determinado caudal. De aquí su importancia para el estudio de diversos aprovechamientos.

Esta curva se construye a partir de los caudales observados ya sean diarios, mensuales o anuales y puede corresponder al período total de medición o para períodos de tiempo específicos.

La zona de la curva con caudales menores a la mediana (cuantil con porcentaje de superación igual a 50%) representa condiciones de caudales mínimos. La pendiente de esta zona de la curva representa el aporte de caudal base. Las curvas de duración con importantes pendientes indican bajas contribuciones de almacenamientos naturales, como pueden ser el subterráneo. Las curvas con bajas pendientes indican importantes aportes de caudal base. De esta manera la forma de la curva de duración está asociada con las características hidrogeológicas de la cuenca (Smakhtin, 2001).

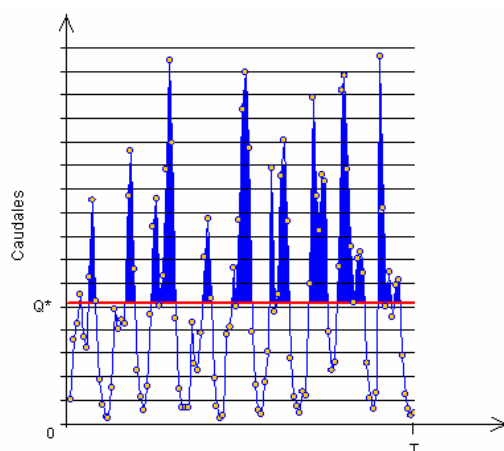
La curva de duración es uno de los métodos más informativos, ya que aborda el rango total de caudales, desde los mínimos hasta los máximos, aunque no brinde información sobre las propiedades de la secuencia de ocurrencia de los caudales.

Para la construcción de esta curva se procedió de la siguiente manera:

- I. Se ordenaron los caudales medios mensuales de manera decreciente, asignando al máximo el número 1, y al mínimo un valor “n” igual al numero de datos con los que se cuenta.
- II. Al valor asignado a cada caudal se lo dividió por el valor “n”, obteniendo así la probabilidad de que dicho caudal sea superado.

Observación: En el caso de caudales repetidos, se tomó como único valor de probabilidad el correspondiente al mayor de ellos.

Otra forma de construir esta curva, sería a partir del hidrograma. El procedimiento a seguir se detalla a continuación.



Al observar el grafico se deduce que la probabilidad de que un caudal como el Q^* sea igualado o superado se calcula como la relación entre la suma de las intervalos de tiempo donde la curva supera a la recta correspondiente a dicho caudal y el tiempo total. De la misma manera se procedería para los diferentes caudales.

Cabe destacar dos puntos singulares. El primero de ellos es el correspondiente al caudal medio mensual mínimo, donde se observa que la curva es siempre superior a la recta, consecuentemente el porcentaje de superación de dicho caudal es de 100%. La misma observación vale para el máximo, siendo en este caso la recta siempre superior a la curva (probabilidad de superación nula).

3.4.3. Resultados

A continuación se advierten los histogramas de frecuencia y las curvas de duración de las diferentes estaciones de medición. Las mismas han sido realizadas en base a la información (series de caudales medios diarios) brindada por la Subsecretaría de Recursos Hídricos de La Nación.

Posteriormente, se incluye una tabla en donde se encuentran las fecha de inicio y finalización de los registros utilizados a lo largo del presente análisis, y los valores de caudal medio diario correspondientes a un porcentaje de superación de 100% (caudal mínimo de la serie), 95%, 80%, 50% (Moda de la serie), 20% y 0% (caudal máximo de la serie).

Finalmente, con el propósito de poder comparar el comportamiento hidrológico de los ríos, se calculan dos indicadores adimensionales para cada estación. Estos indicadores son:

$$I_1 = Q_{80} / Q_{med}$$

$$I_2 = Q_{20} / Q_{med}$$

Donde:

- Q_{80} : Caudal que presenta un porcentaje de superación igual a 80%
- Q_{20} : Caudal que presenta un porcentaje de superación igual a 20%
- Q_{med} : Valor medio de los caudales medios diarios de la serie

RIO SAN JUAN ESTACION DE AFORO KM. 47.3

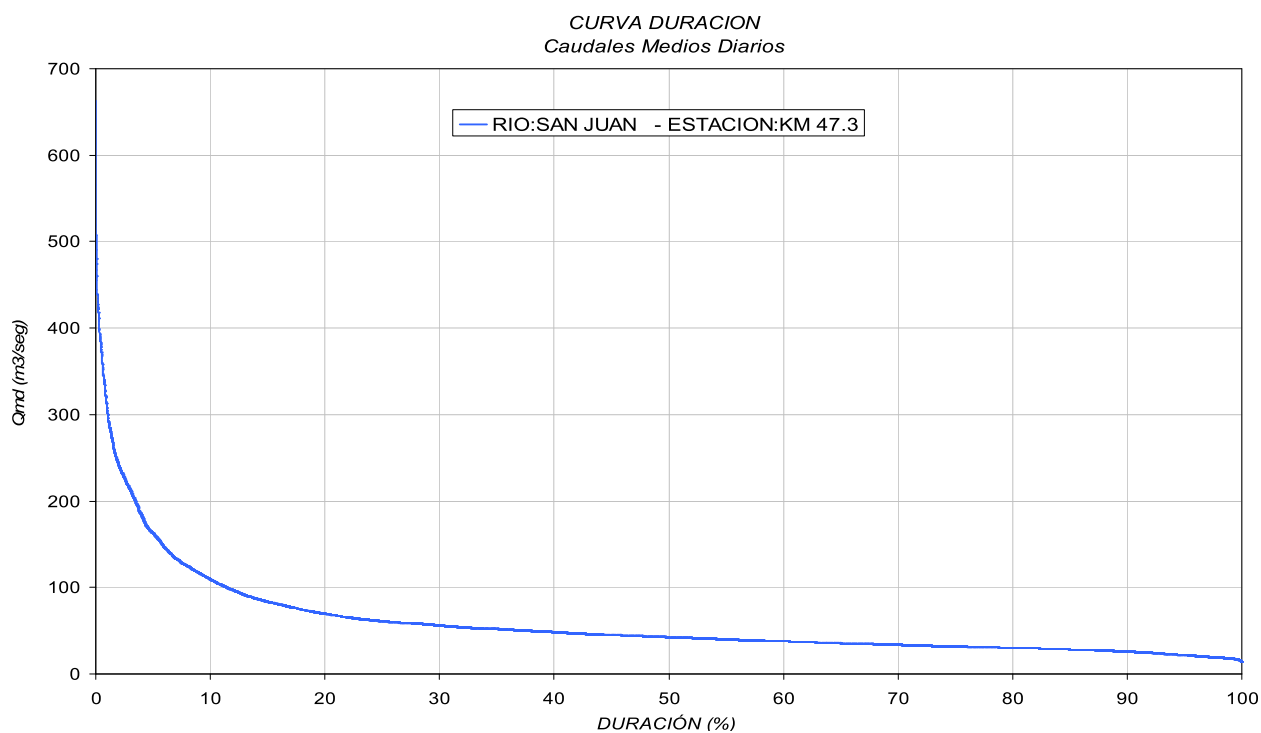


Gráfico 5. Curva de duración – Estación km 47.3 - río San Juan

HISTOGRAMA DE FRECUENCIAS
Caudales Medios Diarios

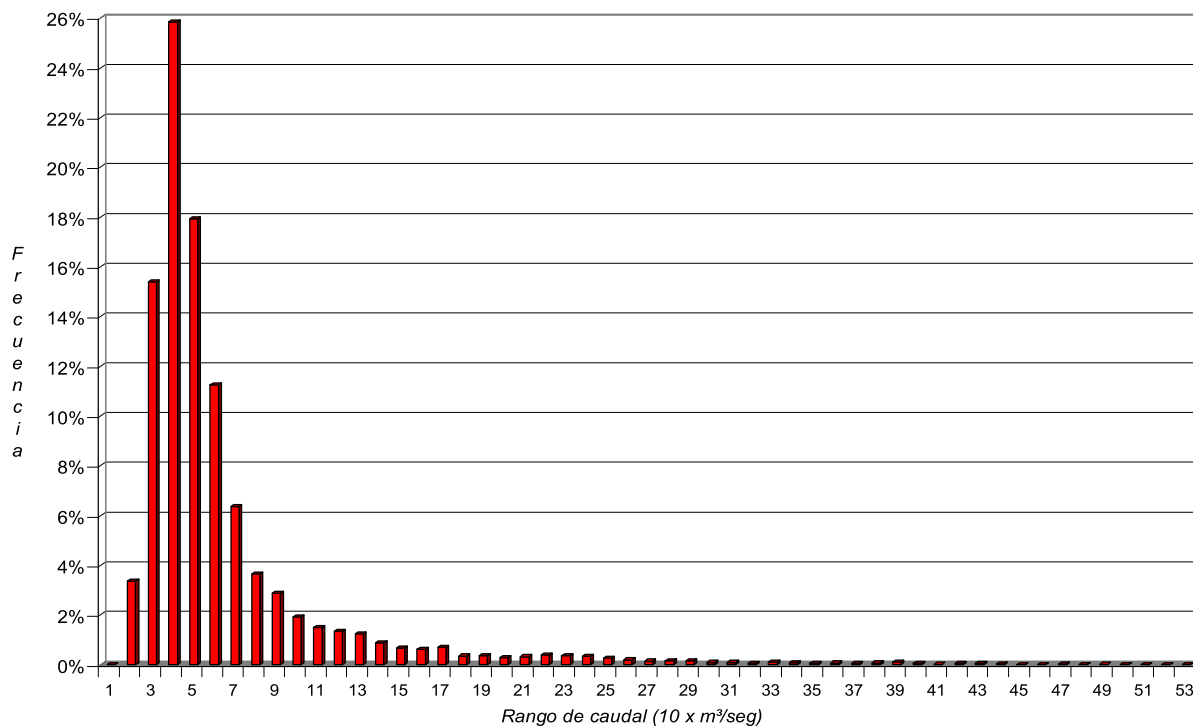


Gráfico 6. Histograma de frecuencias – Estación km 47.3 – río San Juan

RIO SAN JUAN ESTACION DE AFORO DIQUE I. DE LA ROZA

CURVA DURACION
Caudales Medios Diarios

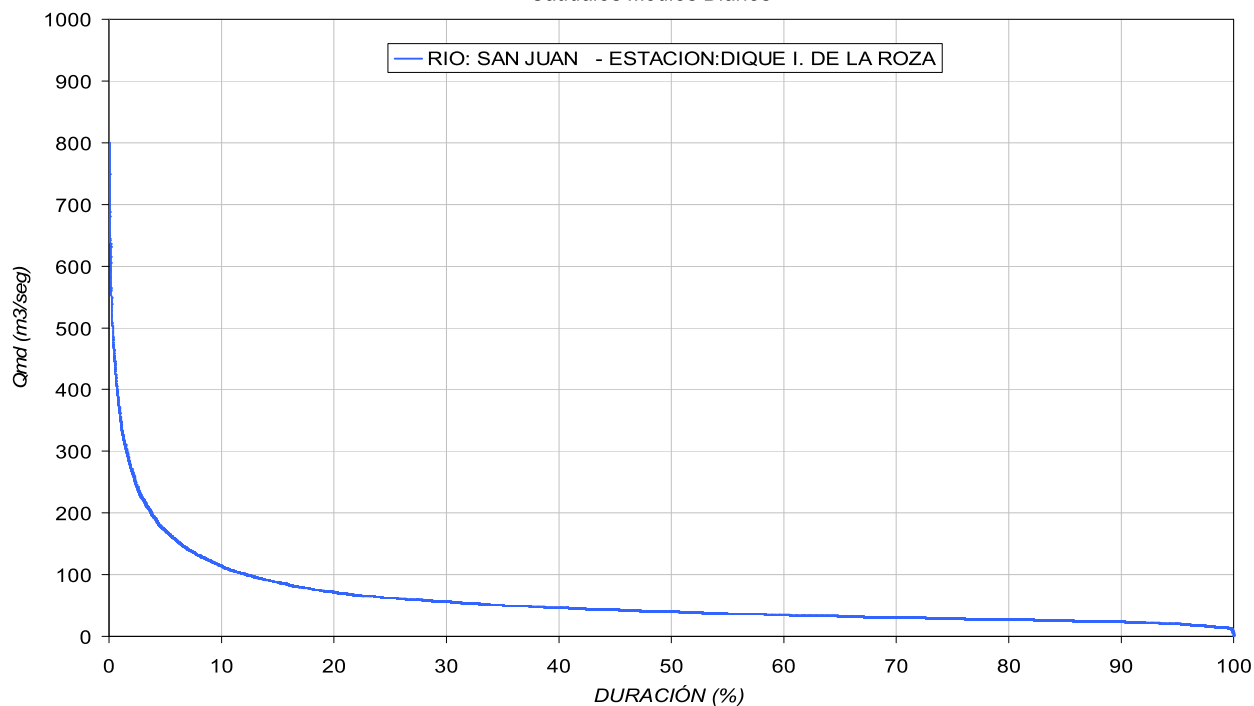


Gráfico 7. Curva de duración – Estación Dique I. de la Roza - río San Juan

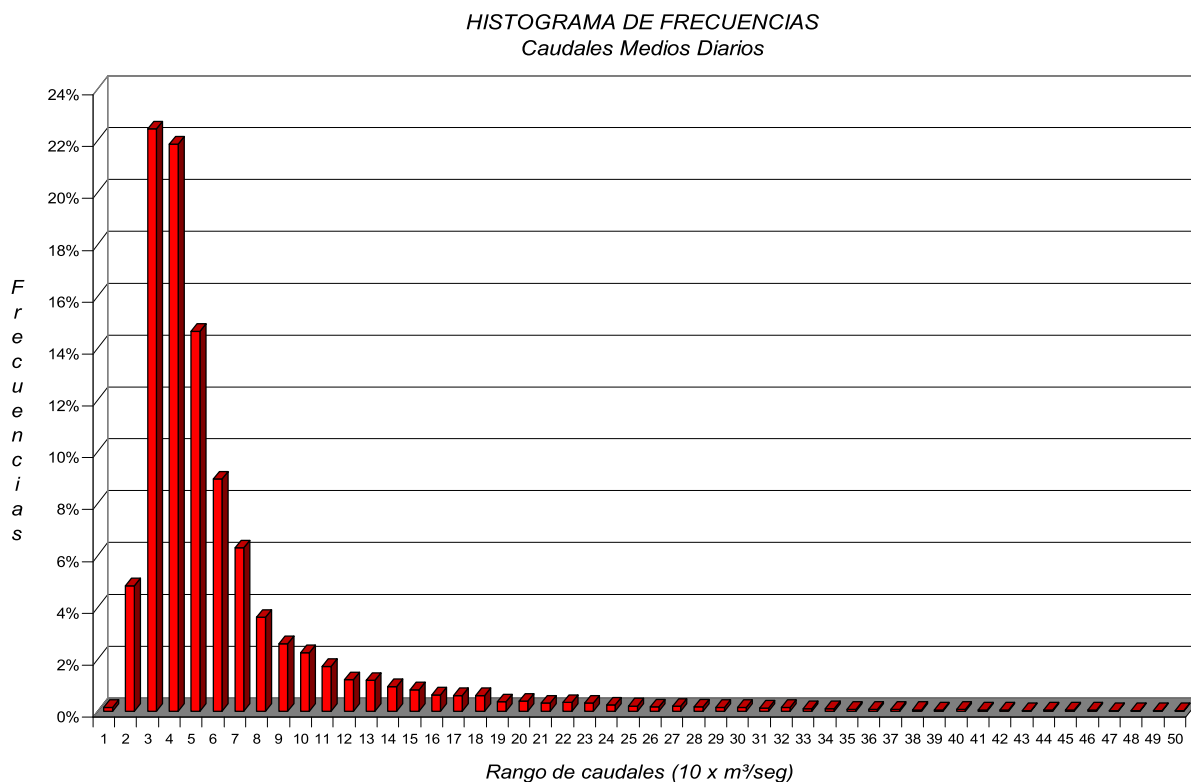


Gráfico 8. Histograma de frecuencias – Estación Dique I. de la Roza – río San Juan

RIO MENDOZA ESTACION DE AFORO GUIDO

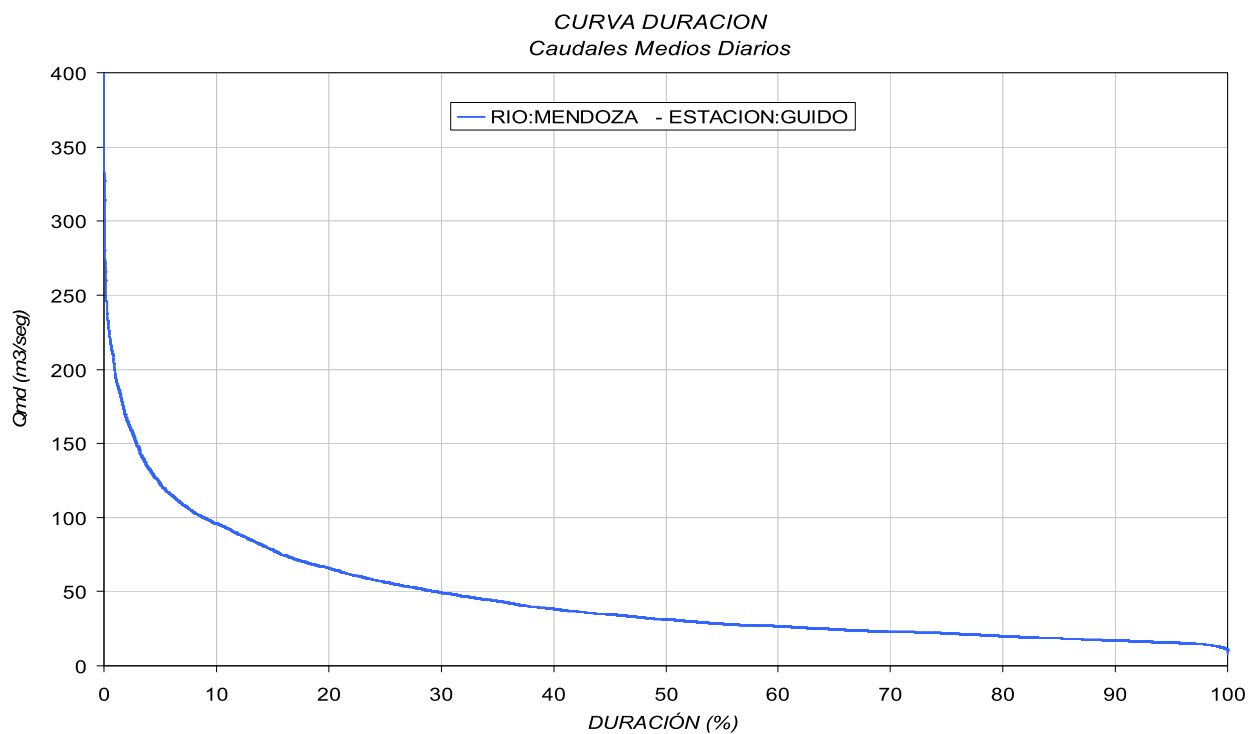


Gráfico 9. Curva de duración – Estación Guido – río Mendoza

HISTOGRAMA DE FRECUENCIAS
Caudales Medios Diarios

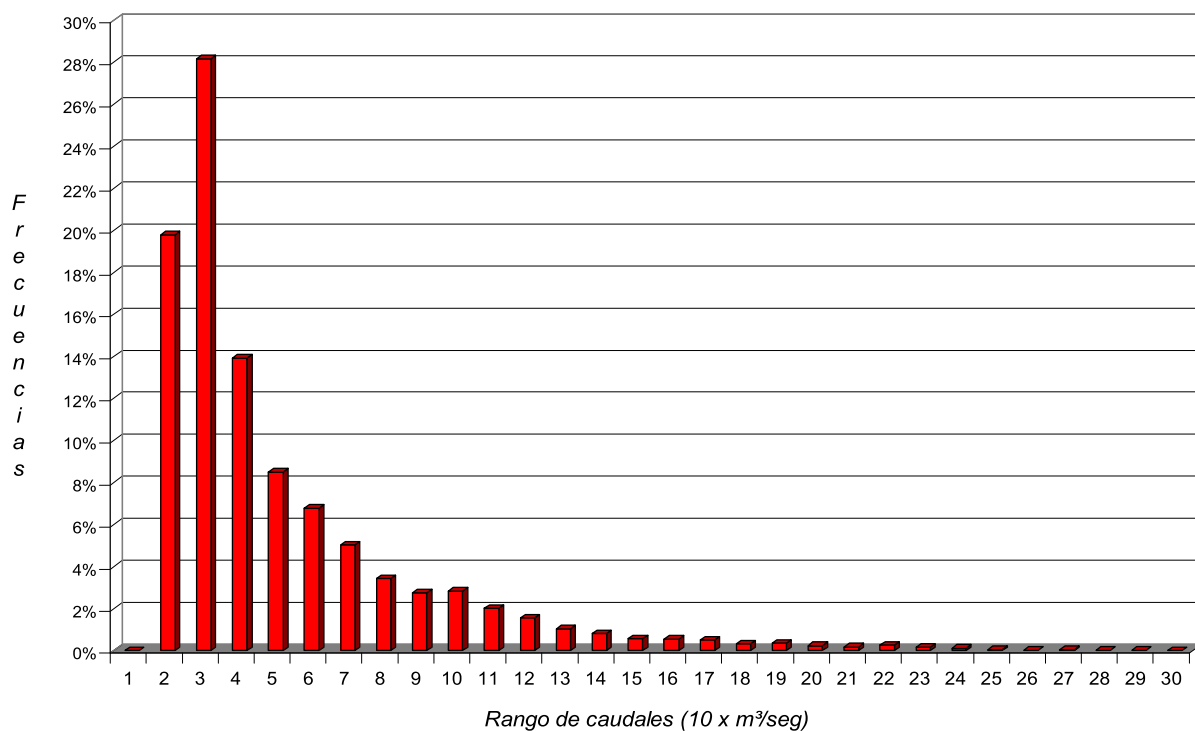


Gráfico 10. Histograma de frecuencias – Estación Guido – río Mendoza

RIO MENDOZA

ESTACION DE AFORO PUNTA DE VACAS

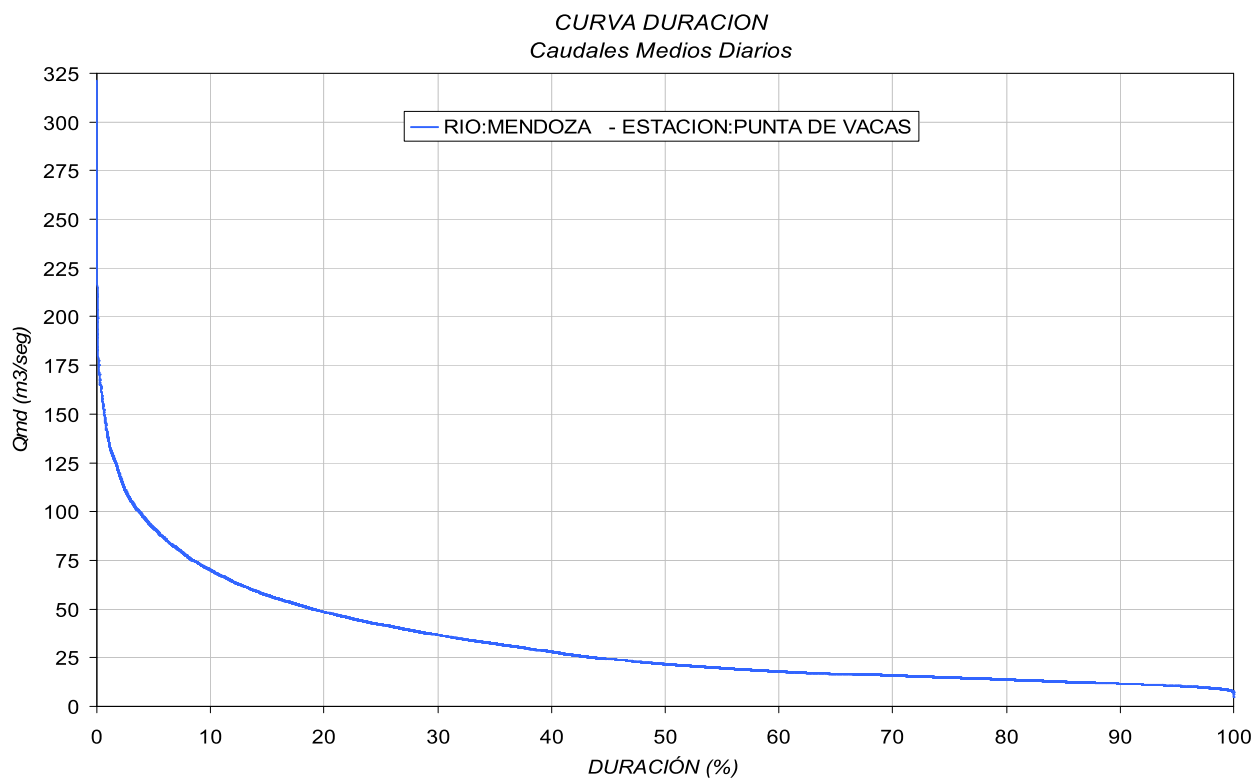


Gráfico 11. Curva de duración – Estación Punta de Vacas – río Mendoza

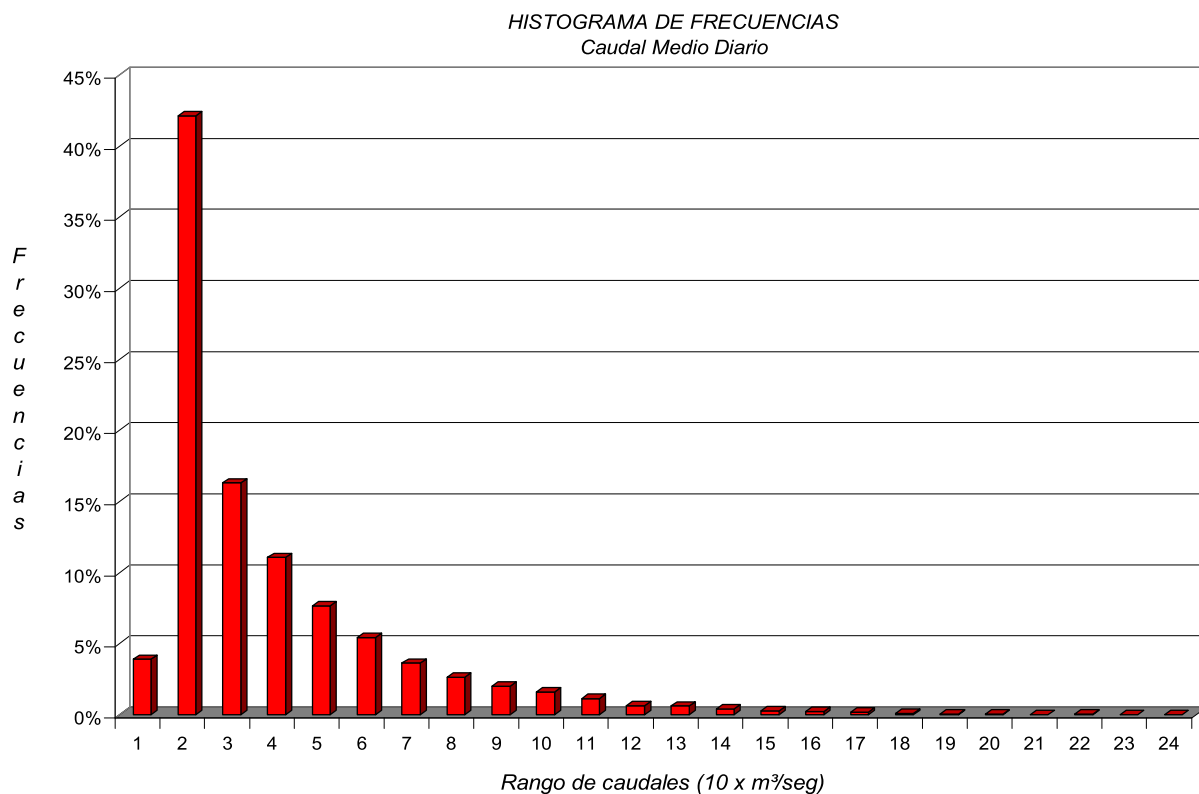


Gráfico 12. Histograma de frecuencias – Estación Punta de Vacas – río Mendoza

RIO TUNUYAN ESTACION DE AFORO VALLE DEL UCO

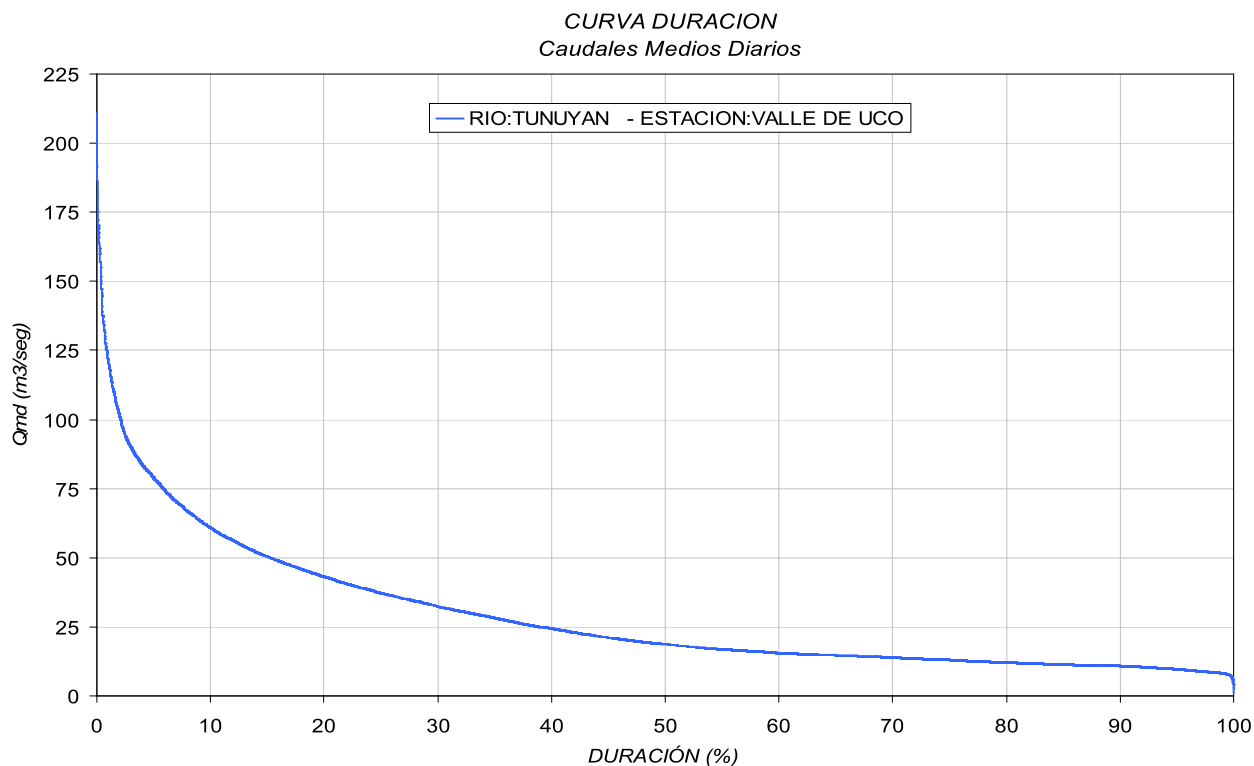


Gráfico 13. Curva de duración – Estación Valle de Uco – río Tunuyán

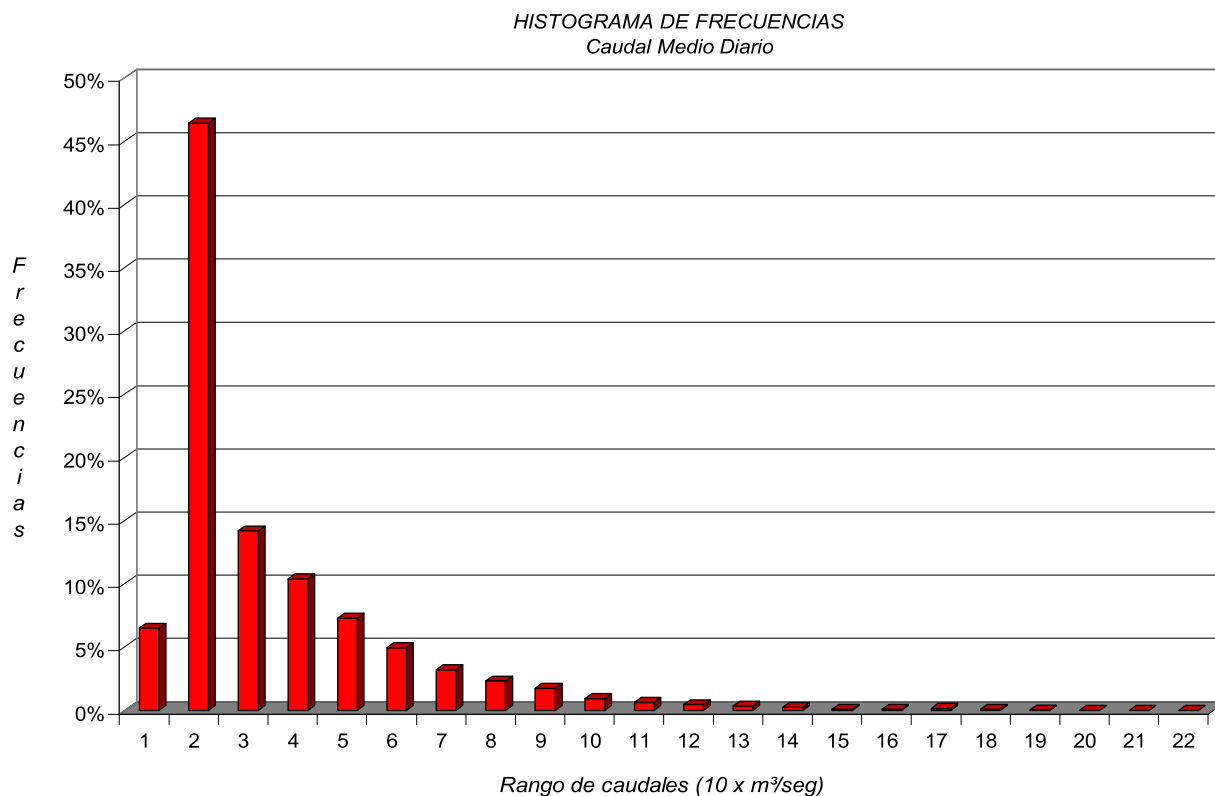


Gráfico 14. Histograma de frecuencias – Estación Valle de Uco – río Tunuyán

RIO SALADO ESTACION DE AFORO CANALEJAS

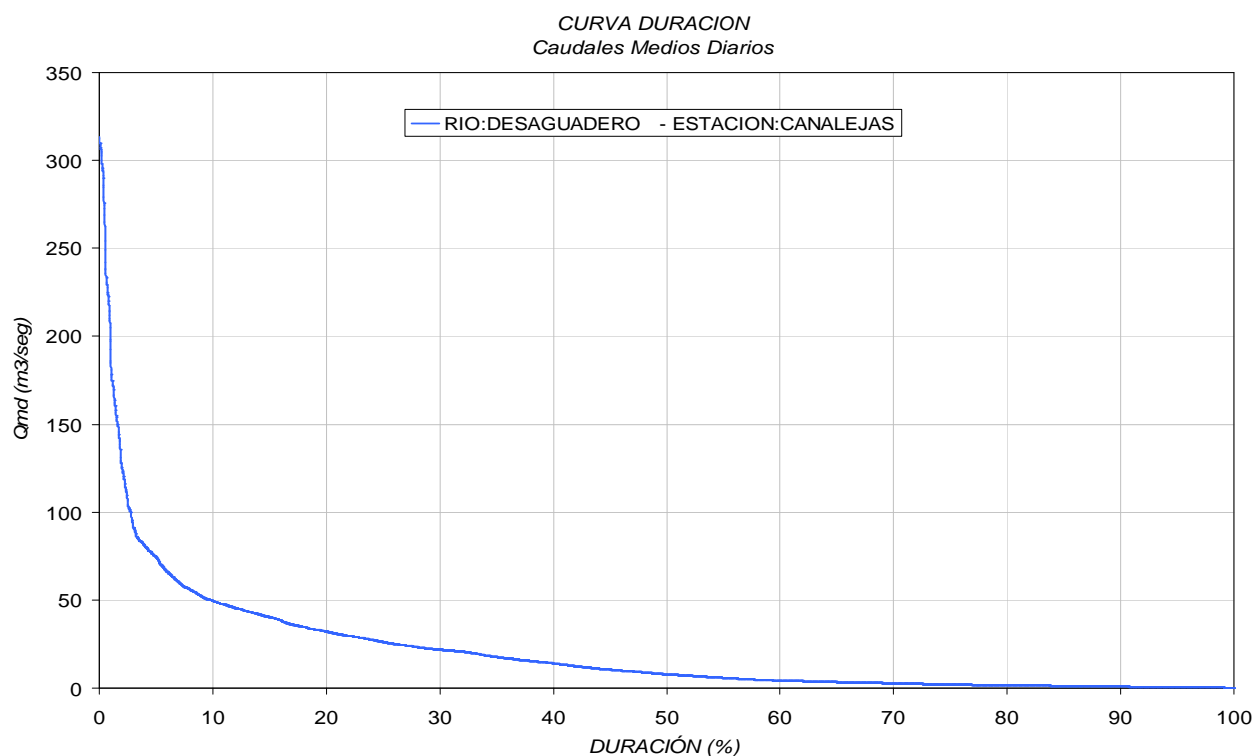


Gráfico 15. Curva de duración – Estación Canalejas – río Salado

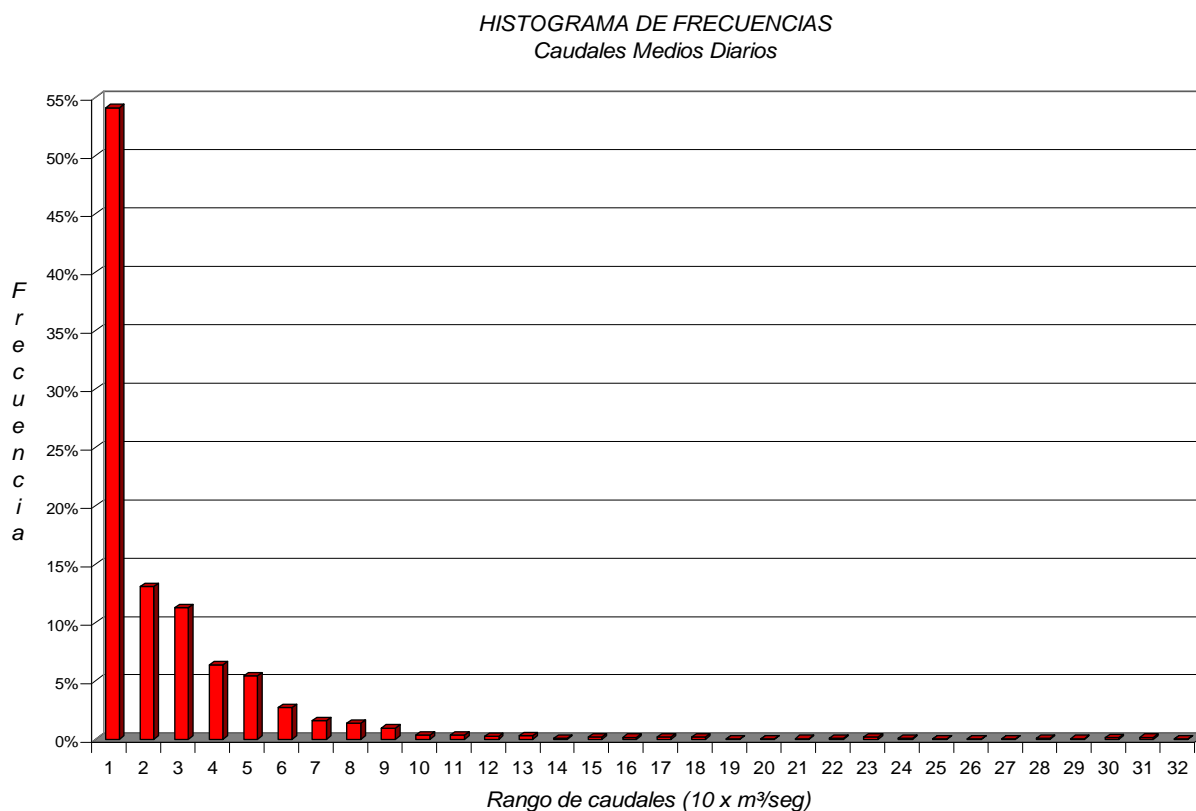


Gráfico 16. Histograma de frecuencias – Estación Canalejas – río Salado

RIO DIAMANTE ESTACION DE AFORO LOS REYUNOS

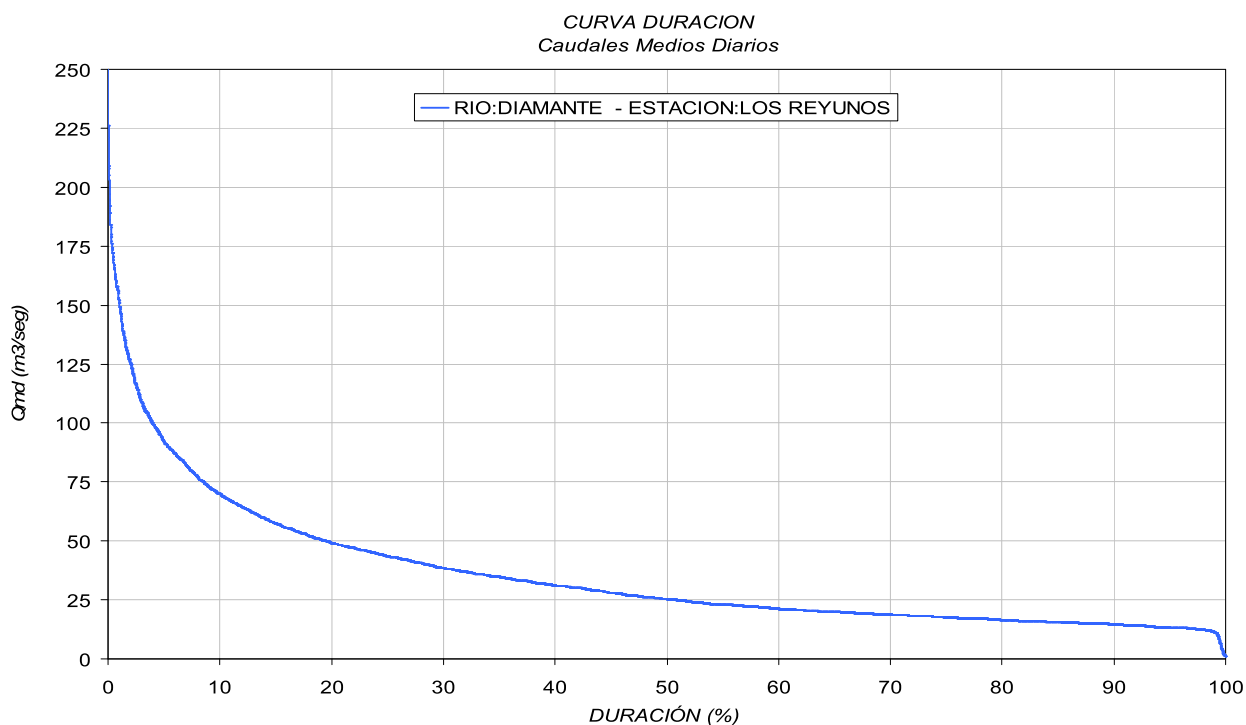


Gráfico 17. Curva de duración – Estación Los Reyunos – río Diamante

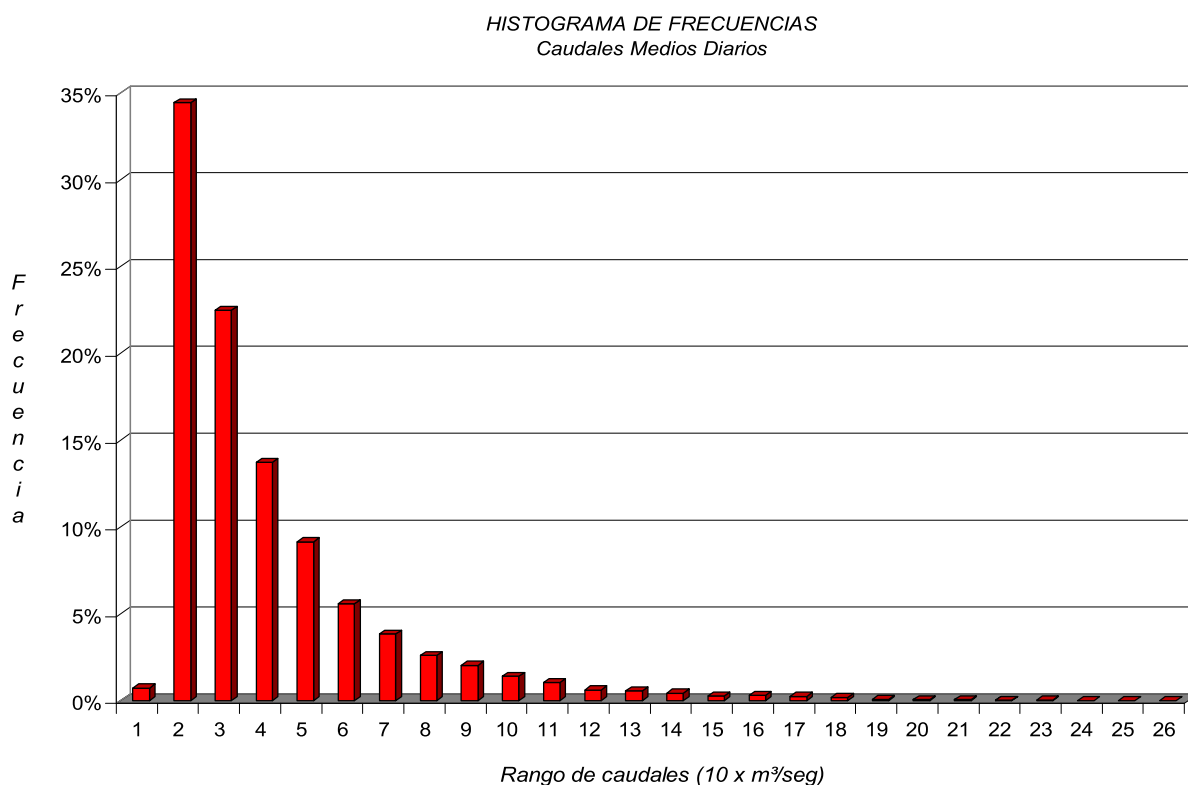


Gráfico 18. Histograma de frecuencias – Estación Los Reyunos – río Diamante

RIO DIAMANTE ESTACION DE AFORO LA JAULA

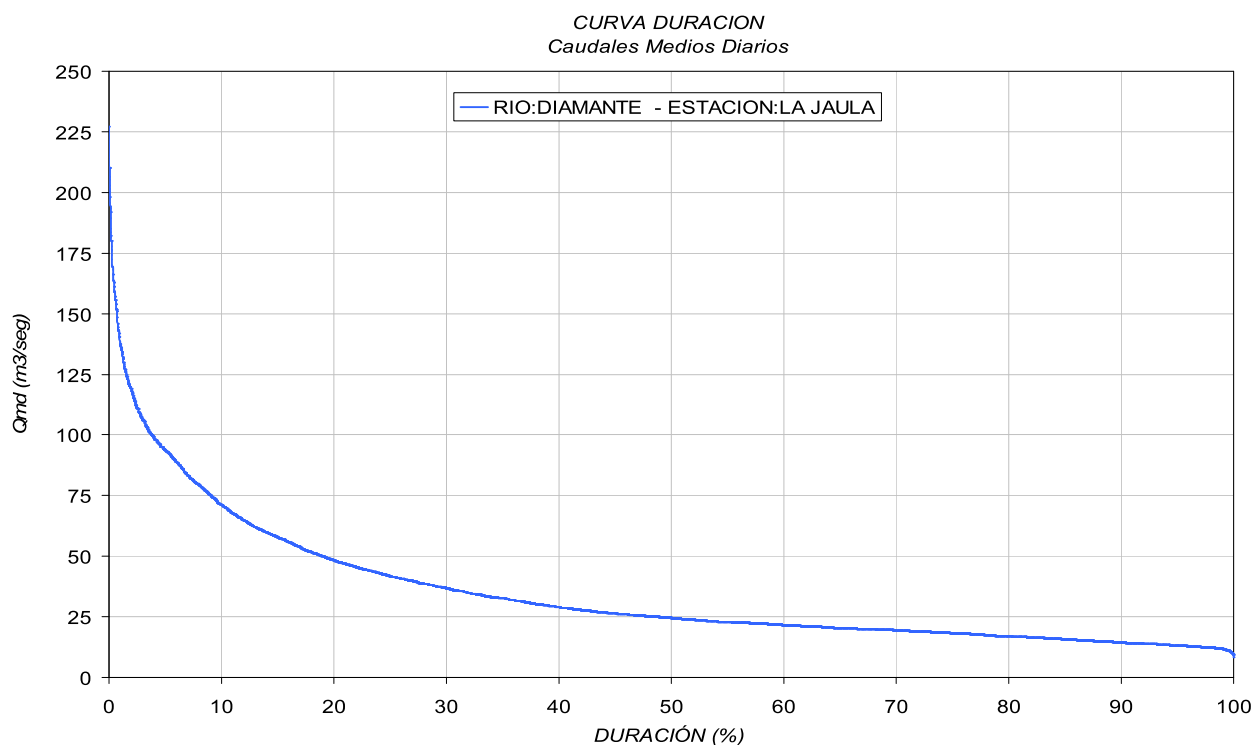


Gráfico 19. Curva de duración – Estación La Jaula – río Diamante

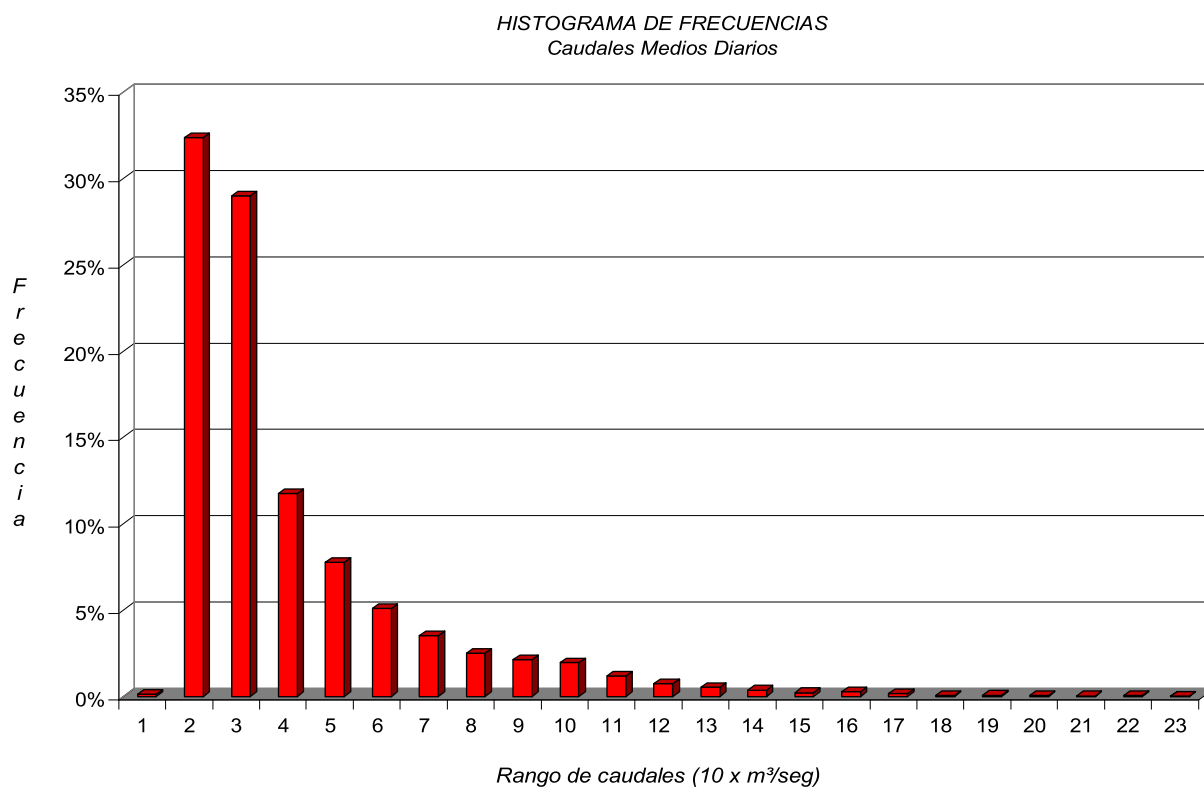


Gráfico 20. Histograma de frecuencias – Estación La Jaula – río Diamante

RIO ATUEL ESTACION DE AFORO LA ANGOSTURA

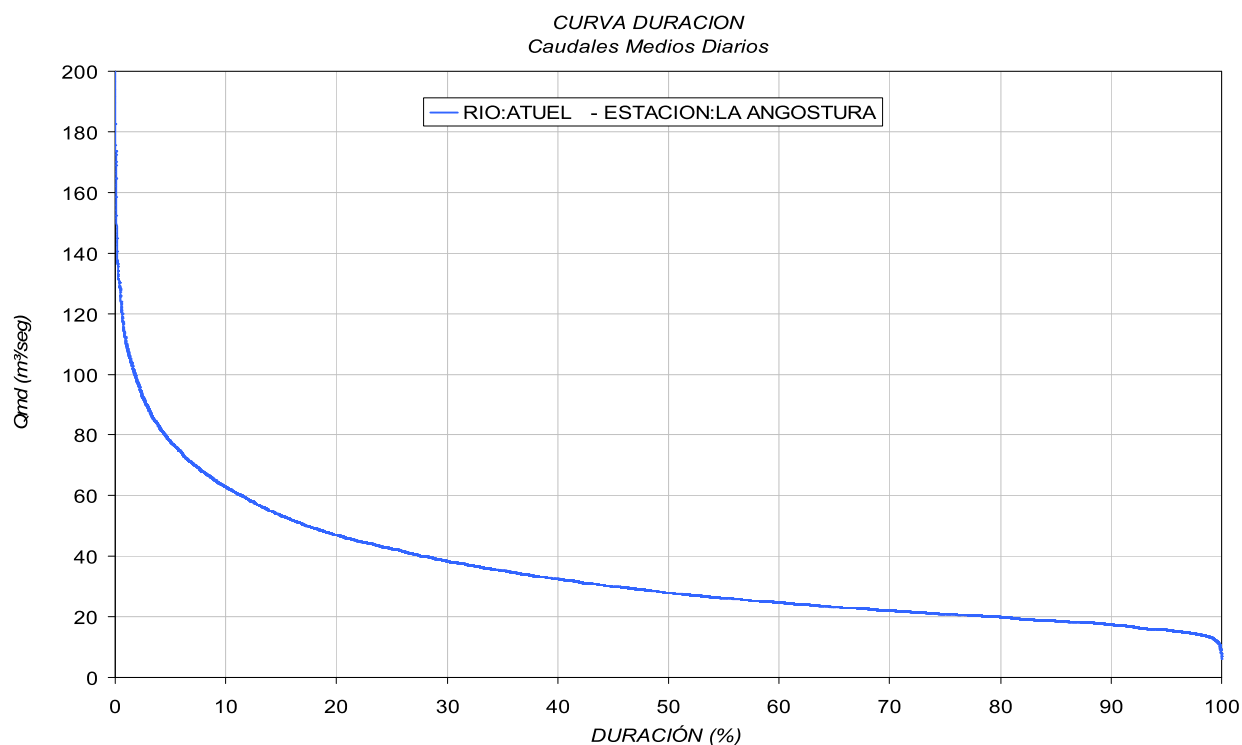


Gráfico 21. Curva de duración – Estación La Angostura – río Atuel

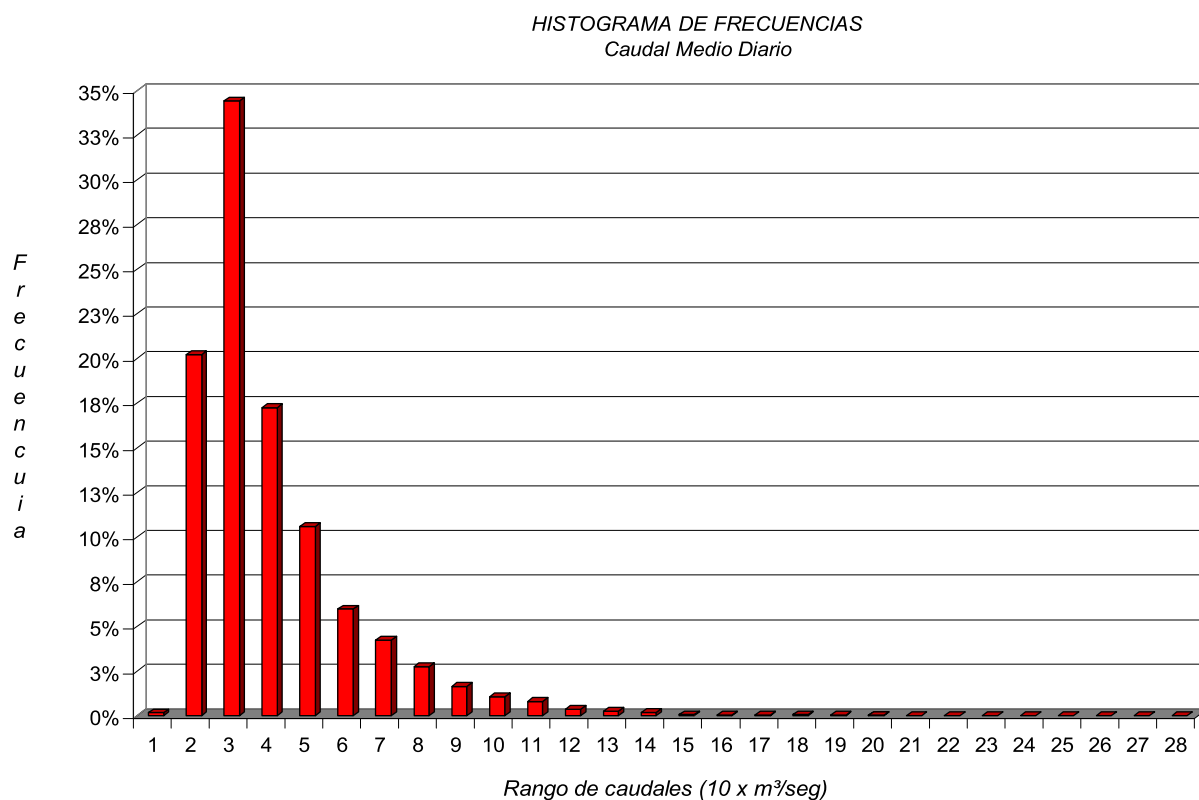


Gráfico 22. Histograma de frecuencias – Estación La Angostura – río Atuel

RIO COLORADO

ESTACION DE AFORO BUTA RANQUIL

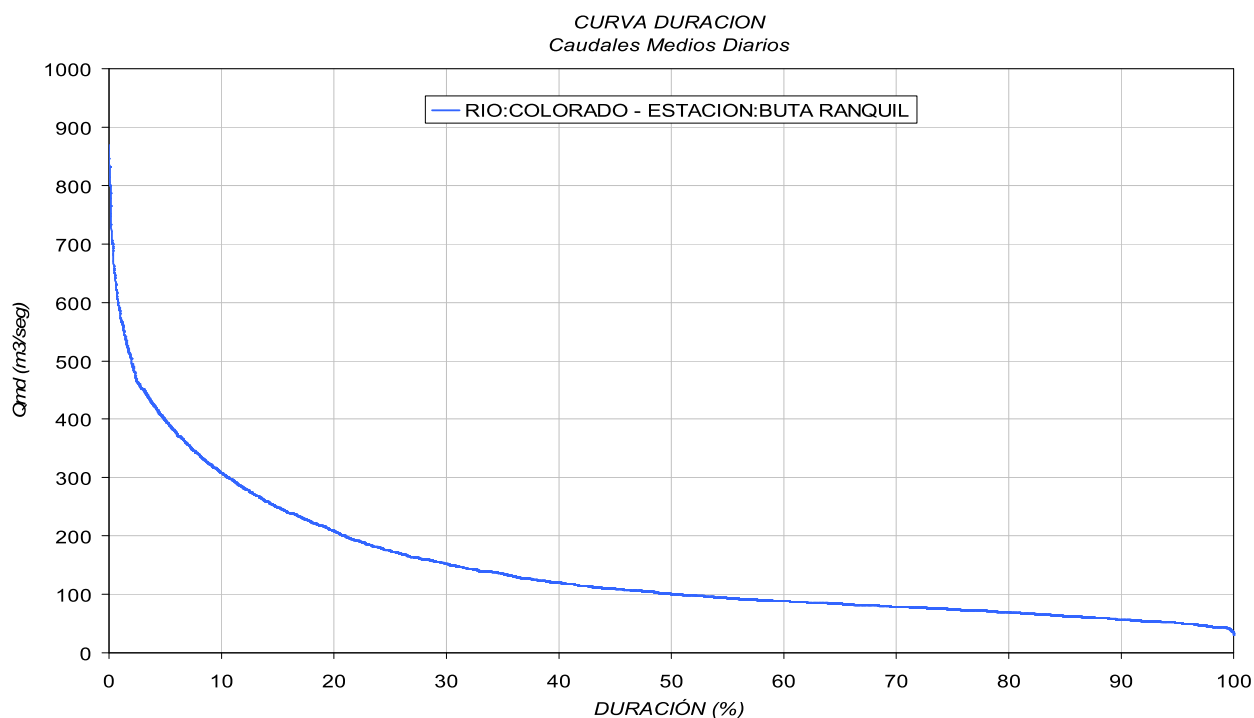


Gráfico 23. Curva de duración – Estación Buta Ranquil – río Colorado

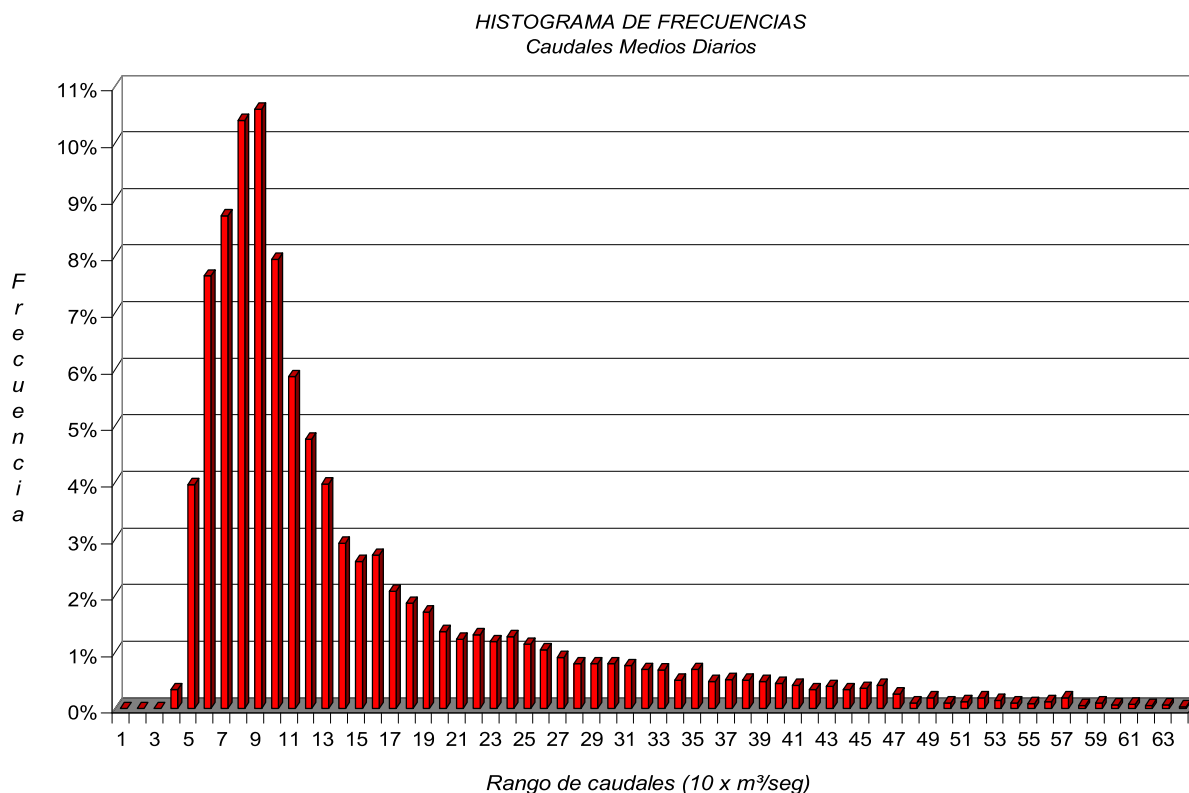


Gráfico 24. Histograma de frecuencias – Estación Buta Ranquil – río Colorado

RIO COLORADO ESTACION DE AFORO PICH MAHUIDA

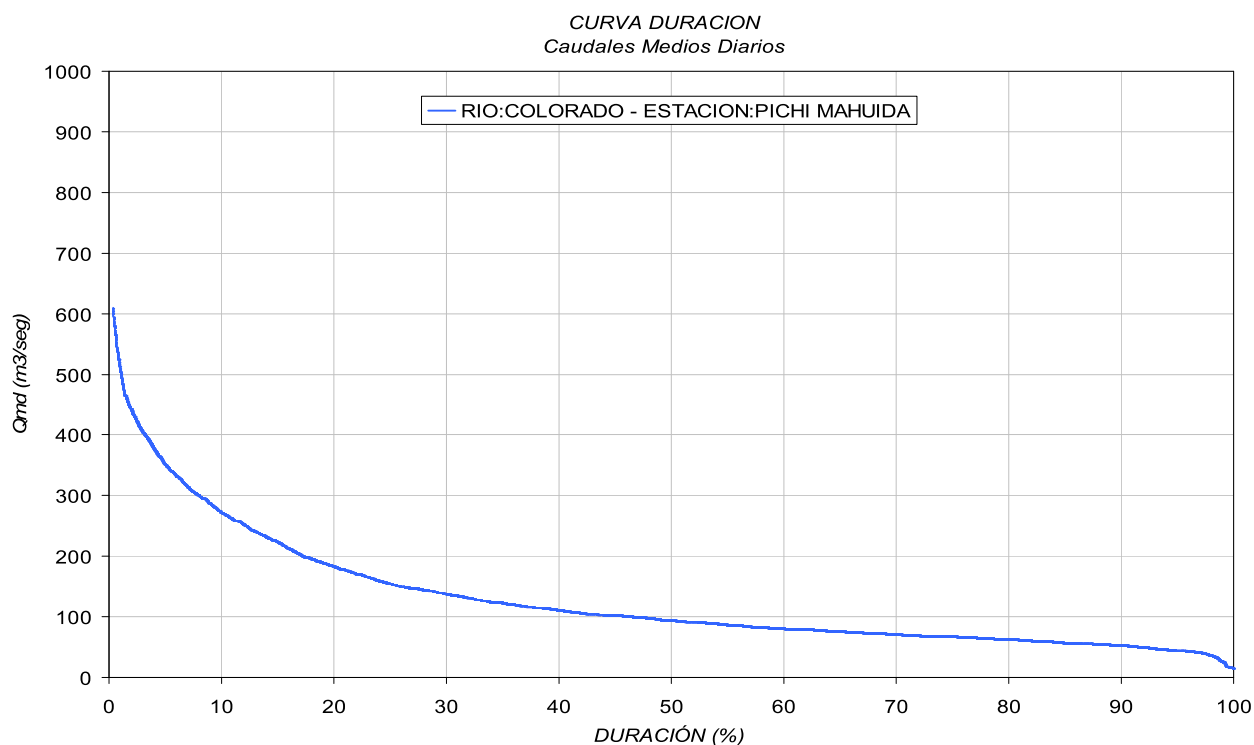


Gráfico 25. Curva de duración – Estación Pichi Mahuida – río Colorado

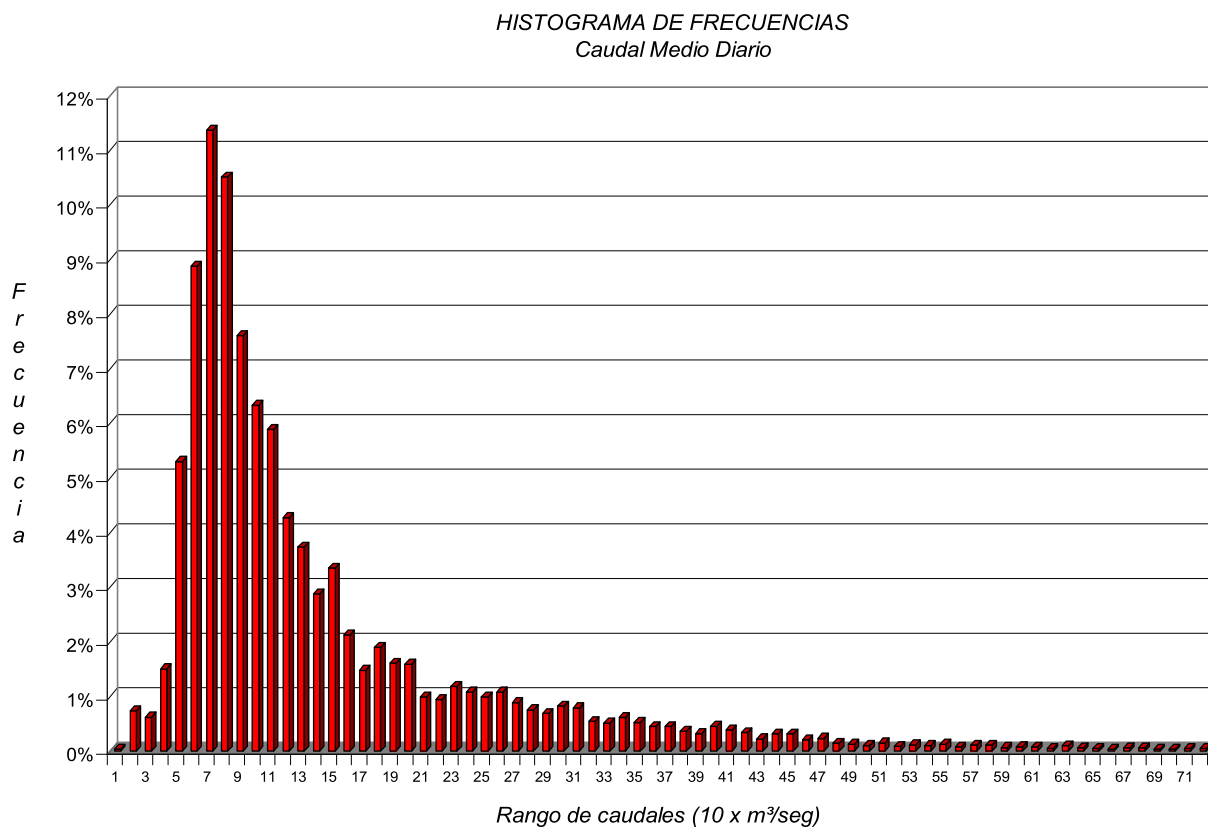


Gráfico 26. Histograma de frecuencias – Estación Pichi Mahuida – río Colorado



En la siguiente tabla se advierte un resumen de los caudales correspondientes a diferentes porcentajes de superación. A su vez, se puede observar el registro utilizado para realizar los histogramas de frecuencia y la curvas de duración.

Cuantiles												
Estación de medición	Río	San Juan	San Juan	Mendoza	Mendoza	Tunuyán	Desaguadero	Diamante	Diamante	Atuel	Colorado	Colorado
	Locación	Km 47.3	Dique I. de la Roza	Guido	Punta de Vacas	Valle del Uco	Canalejas	Los Reyunos	La Jaula	La Angostura	Buta Ranquil	Pichi Mahuida
	ID	1208	1209	1413	1414	1419	1452	1409	1423	1403	2002	1801
Registro	Inicio	01-01-55	01-07-09	01-07-56	01-01-49	01-05-54	01-07-87	01-11-16	01-01-71	01-01-31	01-04-40	01-07-18
	Fin	30-06-07	30-04-92	30-06-07	30-06-00	30-06-07	30-06-07	30-11-80	30-06-07	30-06-07	01-06-06	01-06-06
Porcentaje de superación	0	663,1	1097,0	401,5	321,0	211,0	313,1	255,0	227,0	207,5	870,0	818,0
	20	69,8	71,0	65,7	48,3	43,1	32,0	49,0	48,2	47,0	207,9	183,0
	50	42,5	40,0	31,0	21,5	18,1	7,8	25,3	24,5	27,9	100,6	94,6
	80	30,3	27,0	20,0	13,7	12,0	1,5	16,5	16,9	19,9	69,0	62,0
	95	21,8	20,0	15,7	10,3	9,6	0,4	13,2	13,2	15,6	51,0	44,0
	100	13,8	0,3	7,7	4,7	1,0	0,1	0,9	8,5	6,0	30,0	14,6
Unidad	[%]	[m³/seg]	[m³/seg]	[m³/seg]	[m³/seg]	[m³/seg]	[m³/seg]	[m³/seg]	[m³/seg]	[m³/seg]	[m³/seg]	[m³/seg]

Fuente: Subsecretaría de Recursos Hídricos de La Nación

Observación: Los valores que figuran en la tabla son caudales medios diarios

Tabla 10. Tabla Resumen Curvas de duración o permanencia

Como se mencionó al comienzo del análisis de resultados, se estimaron dos indicadores por estación de aforo. A continuación figuran los indicadores relacionados con los caudales mínimos de los ríos (Indicador uno calculado con Q_{80}), y posteriormente los indicadores relacionados con los caudales máximos de los ríos (Indicador dos calculado con Q_{20}).

Estación de medición	Río	San Juan	San Juan	Mendoza	Mendoza	Tunuyán	Desaguadero	Diamante	Diamante	Atuel	Colorado	Colorado
	Locación	Km 47.3	Dique I. de la Roza	Guido	Punta de Vacas	Valle del Uco	Canalejas	Los Reyunos	La Jaula	La Angostura	Buta Ranquil	Pichi Mahuida
	ID	1208	1209	1413	1414	1419	1452	1409	1423	1403	2002	1801
Q_{med}		59.2	60.0	46.0	32.9	28.9	20.6	35.6	35.0	35.0	146.3	131.0
Indicadores	I_1	0.51	0.45	0.44	0.41	0.42	0.07	0.46	0.48	0.57	0.47	0.47
	I_2	1.18	1.18	1.43	1.47	1.49	1.56	1.38	1.38	1.34	1.42	1.40
Unidad	[%]	[m³/seg]	[m³/seg]	[m³/seg]	[m³/seg]	[m³/seg]	[m³/seg]	[m³/seg]	[m³/seg]	[m³/seg]	[m³/seg]	[m³/seg]

Tabla 11. Tabla Indicadores para distintas series de caudales diarios

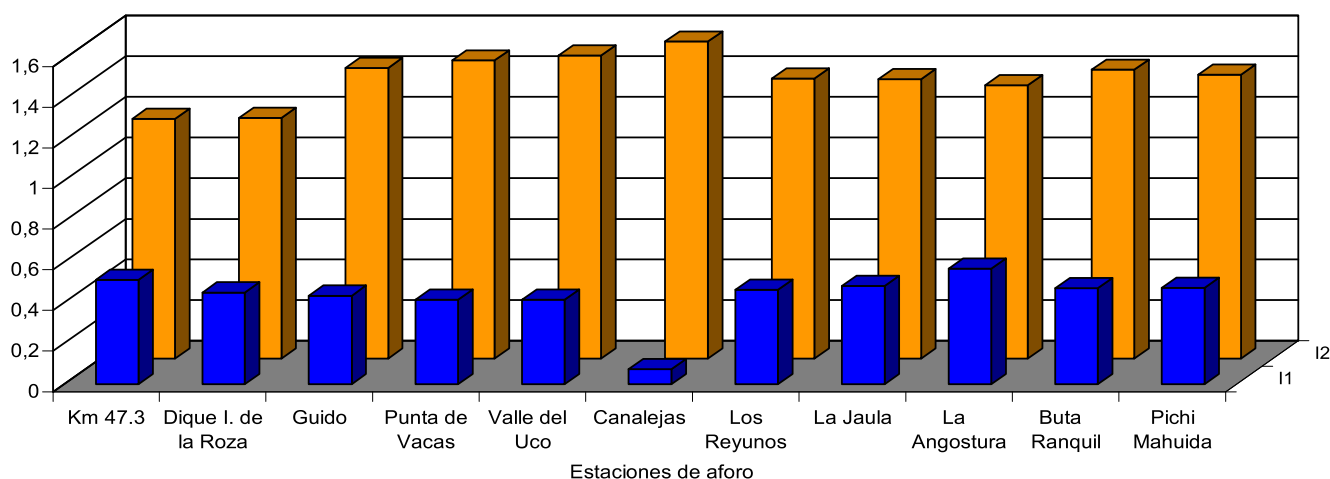


Gráfico 27. Índices por estación

Del análisis de los resultados obtenidos se observa que los ríos en las estaciones analizadas presentan valores muy similares en lo que respecta a ambos indicadores. Para el indicador uno (I_1), los valores se encuentran acotados entre [0.41, 0.57]. Se observa un comportamiento diferente para la estación Canalejas correspondiente al río Salado, donde se obtuvo un valor de 0.07, muy menor a los valores característicos de los otros ríos. La razón principal de dicha diferencia, se encuentra al analizar el Histograma de Frecuencias de este río (Ver punto 2.4. río Salado: Estación de aforo Canalejas). Allí se puede apreciar que el mismo presenta una frecuencia muy elevada para caudales muy bajos (menores a 10 m³/seg), resultando un Q_{80} muy bajo. Como consecuencia de ello, y sumado a que también presenta en varias situaciones caudales muy elevados (elevando el valor de Q_{med}), el indicador uno resulta tener valores muy inferiores a los característicos del sistema.

En cuanto al Indicador dos (I_2), nuevamente los valores se encuentran muy acotados. Para este caso, la variación se encuentra dentro del rango [1.34, 1.56]. En este caso, y a diferencia del indicador uno, las estaciones correspondientes al río San Juan presentan valores que difieren ampliamente de los encontrados para los otros ríos. Nuevamente, si analizamos el Histograma de frecuencias (Ver punto 2.1. río San Juan), notamos que el mismo es el que presenta una mayor simetría sumado a un menor valor de desvío. Los histogramas restantes presentan valores de frecuencia que tienden a caer en forma hiperbólica para rangos de caudales crecientes, alejando el valor de caudal Q_{20} del valor medio. Es por esta razón que los valores que presenta el río San Juan para el indicador número 2 difieren ampliamente (por defecto) de la media de este indicador para las estaciones restantes.

3.5. Detección de tendencias

Un aspecto relevante en el estudio del régimen hidrológico de los ríos de la cuenca del Desaguadero-Salado-Chadileuvú-Curacó es determinar si se observan cambios de los regímenes. Estos cambios pueden ser consecuencia de distintos factores, como ser: la variabilidad y cambio en el clima, el cambio del uso del suelo, o la puesta en funcionamiento de un embalse, y pueden

analizarse a través del estudio de las tendencias. Las tendencias de variables hidrológicas pueden ser detectadas con métodos paramétricos y no paramétricos.

El concepto de período de retorno, ampliamente utilizado en la ingeniería como criterio de diseño de distintos aprovechamientos, es la frecuencia con la que un caudal dado se presentará sobre un largo período extendido indefinidamente hacia el futuro. La forma convencional de estimar un caudal asociado a un período de retorno supone la condición de estacionariedad. La presencia de tendencias en las series de caudales indica un régimen hidrológico cambiante, es decir no estacionario, lo que implica una redefinición del concepto de período de retorno.

Para realizar este estudio se analizan las series de caudales medios y máximos anuales de los principales ríos de la cuenca, se utilizan las estaciones que presentan períodos de registro mayores a 45 años y que incluyan los registros de los últimos 30 años. El test de Mann-Kendall fue empleado para evidenciar cambios en las tendencias y el gráfico de CUSUM en conjunto con el test de Mann-Whitney para detectar saltos en la media de las series.

3.5.1. Prueba de Mann-Kendall

La prueba de Mann-Kendall (MK) es el test no paramétrico más conocido para identificar tendencias en los valores de una variable hidrológica. Por tratarse de un método no paramétrico, la prueba tiene la ventaja de que no hay necesidad de suponer una función de densidad de probabilidad de la variable a ser analizada, ni de la naturaleza de la tendencia (lineal, curvilínea, etc.). Esta prueba fue aplicada por varios autores para estudiar la presencia de tendencias en variables hidrometeorológicas (Hirsch *et al.*, 1982; Lettenmaier *et al.*, 1994; Westmacott y Burn, 1997; Yue *et al.*, 2003; Cunderlik y Burn, 2004).

Esta prueba estadística no-paramétrica tiene como propósito detectar la existencia de tendencia monótona o cambio, gradual o súbito, creciente o decreciente, durante un intervalo de tiempo, sin determinar el momento de ocurrencia del mismo. La prueba supone que los datos $(x_1, ..., x_n)$ son variables aleatorias independientes e idénticamente distribuidas. Las hipótesis de la prueba se presentan a continuación:

H₀) Los datos $(x_1, ..., x_n)$ corresponden a una muestra de n variables aleatorias, independientes e idénticamente distribuidas.

H₁) Las distribuciones de x_j y x_k no son idénticas para todos los $k, j < n$ con $k \neq j$.

Tabla 12. Prueba Mann-Kendall	
Estadístico	Z (normal estandarizada)
$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sgn}(x_j - x_k)$	$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & \text{si } S > 0 \\ 0 & \text{si } S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & \text{si } S < 0 \end{cases}$

(Las fórmulas se presentan en el Anexo 1)

El nivel de significación de la prueba es la probabilidad de cometer el error de rechazar H_0 cuando esta hipótesis es cierta. Para la prueba de MK, el valor p es la probabilidad de que una variable aleatoria normal estándar tome valores en módulo mayores que el valor calculado de $|Z|$. Para que el nivel de significación de la prueba sea α , la hipótesis nula H_0 se rechaza si $|Z| > z_{\alpha/2}$, lo que es equivalente a que $p < \alpha$.

La prueba de Mann-Kendall sirve para detectar tendencias en series. La magnitud de la tendencia puede expresarse mediante la pendiente, es decir, cambio por unidad de tiempo, lo que no implica suponer que la tendencia es lineal en la media del proceso. El estimador de pendiente B está relacionado con el estadístico de la prueba MK mediante su signo y se define de la siguiente manera:

$$B = \text{Mediana} \left\{ \frac{x_j - x_k}{j - k} \right\} \forall k < j$$

3.5.2. Gráfico de CUSUM

En el caso de una tendencia significativa, el análisis progresivo de la serie con la ayuda del gráfico CUSUM permite situar el comienzo del fenómeno. Si existe una tendencia, se debe verificar si la forma de la función de densidad de probabilidad adoptada para cada río varía según las series observadas antes y durante la tendencia.

El gráfico CUSUM (Cumulative Sum) permite detectar saltos en la media de un proceso. Este representa la evolución del valor S_m en función del año de la muestra i . Se calcula el S_m para cada observación Q_i con la siguiente fórmula:

$$S_m = \sum_{i=1}^m (Q_i - \bar{\mu})$$

El valor μ es el valor medio de la muestra y Q_i es la observación i de la muestra.

Para detectar a partir de que observación (año) se producen cambios en la media de un proceso, se identifica el valor máximo ó mínimo del gráfico CUSUM. La posición del valor extremo puede ser tomada como una estimación del punto de cambio de la media del proceso.

La determinación de los diferentes períodos de observación permite comparar a las sub-series a partir de las características estadísticas de cada una.

3.5.3 Prueba de Mann-Whitney

Para validar la existencia de dos períodos de registro diferentes se utiliza la prueba de Mann-Whitney (MW). Esta prueba es un test no paramétrico complementario que permite comparar las distribuciones de dos poblaciones. Por tratarse de un método no paramétrico, la prueba tiene la

misma ventaja que la prueba de MK: no hay necesidad de suponer una función de densidad de probabilidad de la variable a ser analizada.

Esta prueba estadística no-paramétrica tiene como propósito comparar dos muestras y determinar si las medias de las muestras son iguales o distintas. Las hipótesis de la prueba se presentan a continuación:

H₀) La serie 1 compuesta por los datos $(x_1, ..., x_n)$ tiene la misma media que otra serie 2 compuesta por $(y_1, ..., y_m)$.

H₁) Las dos series tienen medias distintas.

Tabla 13. Prueba Mann-Whitney	
Estadístico	Z (normal estandarizada)
$U = N_i \times N_j + 0.5 \times N_i \times (N_i + 1) - T_i$ $T_i = \sum \text{Ranking Serie } i$	$Z = \frac{ U - E(U) }{\sqrt{\text{Var}(U)}}$

(Las fórmulas se presentan en el Anexo 2)

En la aplicación bidireccional de la prueba, para un nivel de significación α , la hipótesis nula H_0 es rechazada si $Z \geq z_{\alpha/2}$.

3.5.4. Resultados

3.5.4.1. Aplicación – Series de caudales medios

En la siguiente tabla se presenta la información básica analizada que incluye: tamaño en años de las muestras analizadas (N), años de registro y los principales estadísticos de las series de medios: media en m³/seg (Q_{MED}), coeficiente de variación (CV), asimetría (S) y kurtosis (K).

Río	ESTACIÓN	N	Años de Muestra	Q _{MED}	CV	S	K
SAN JUAN	KM 47.3	95	1909-10 a 2003-04	65.23	0.60	1.73	3.56
MENDOZA	GUIDO	48	1956-57 a 2003-04	45.08	0.35	1.27	2.03
COLORADO	BUTA RANQUIL	64	1940-41 a 2003-04	148.29	0.35	0.51	0.002
TUNUYAN	VALLE DE UCO	50	1954-55 a 2003-04	28.60	0.30	0.88	0.97
ATUEL	LA ANGOSTURA	98	1906-07 a 2003-04	35.18	0.26	0.83	0.87

Tabla 14. Estadísticos de las muestras de caudales medios analizadas.

En la siguiente tabla se presentan la cantidad de datos N, el estimador de pendiente B, el estadístico la **prueba de Mann-Kendall**, S, el valor de la variable normal estándar Z

correspondiente y sus valores p para la prueba original. También, se presenta el valor de Z_{cr} y el resultado de la prueba para un nivel de significación del 5%.

Río	N (Años)	B (m ³ /s año)	S	Z	p (%)	Z _{cr} (p=5%)	Resultado
SAN JUAN	95	-0.08	-214	-0.68	49.35	1.96	Ho NO puede ser rechazada
MENDOZA	48	0.37	326	2.89	0.39	1.96	Ho puede ser rechazada
COLORADO	64	0.44	201	1.16	24.66	1.96	Ho NO puede ser rechazada
TUNUYAN	50	0.12	197	1.64	10.11	1.96	Ho NO puede ser rechazada
ATUEL	98	0.01	96	0.29	77.06	1.96	Ho NO puede ser rechazada

Tabla 15. Resultados de la prueba MK para las distintas series estudiadas.

Estos resultados indican que la única serie que presenta tendencia significativa es la correspondiente al río Mendoza en la estación Guido. A continuación se presenta un gráfico de los caudales medios anuales registrados en la estación Guido del río Mendoza, que presenta tendencia significativa positiva:

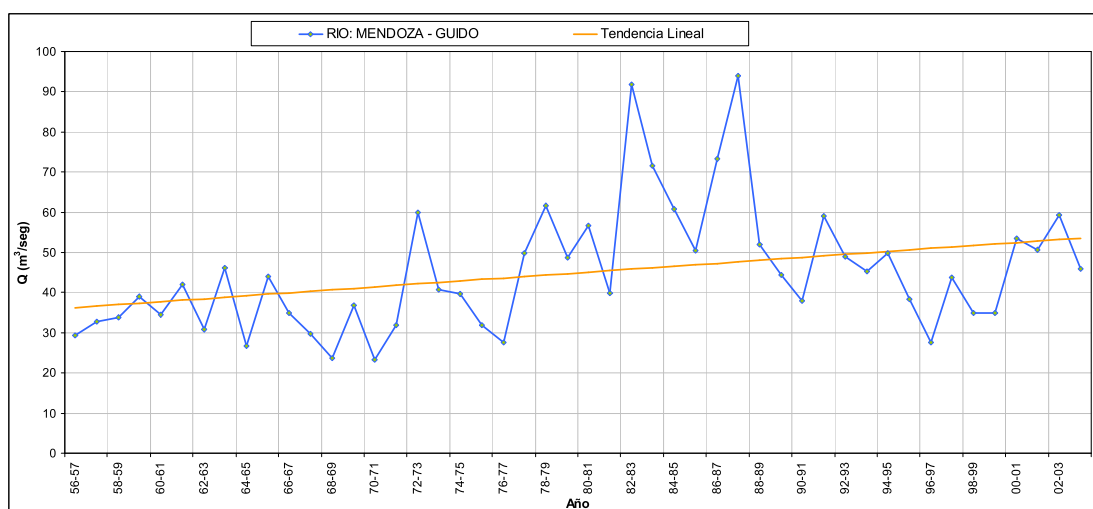


Gráfico 28. Caudales medios anuales en Estación Guido, río Mendoza.

A partir del gráfico CUSUM obtenido para cada serie de caudales medios se identificó un año de corte que determina dos sub-series. Se determinaron los ranking de las sub-series y se estimaron los estadísticos Z para aplicar la **prueba de Mann-Whitney**. En algunos casos la hipótesis nula puede ser rechazada con un nivel de significación del 5%, es decir que las medias de las sub-series registradas en los distintos períodos son distintas. A continuación se presentan tabulados los resultados obtenidos:

Río	Sub-serie 1	Sub-serie 2	U	Z	p (%)	Z _{cr} (p=5%)	Resultado
SAN JUAN	1909-10 a 44-45	1944-45 a 2003-04	800	1.93	5.38	1.96	Ho NO puede ser rechazada
MENDOZA	1956-57 a 76-77	1976-77 a 2003-04	90	3.97	0.01	1.96	Ho puede ser rechazada
COLORADO	1940-41 a 71-72	1971-72 a 2003-04	358	2.07	3.86	1.96	Ho puede ser rechazada
TUNUYAN	1954-55 a 71-72	1971-72 a 2003-04	175	2.16	3.07	1.96	Ho puede ser rechazada
ATUEL	1906-07 a 71-72	1971-72 a 2003-04	706	2.76	0.59	1.96	Ho puede ser rechazada

Tabla 16. Resultados de la prueba MW para las distintas series estudiadas.

Los resultados de la prueba de MW indican que las series de caudales medios anuales de los ríos Mendoza, Colorado, Tunuyán y Atuel presentan sub-series con medias distintas. De esta manera se rechaza la hipótesis nula que plantea que estas sub-series provienen de poblaciones con distribuciones idénticas.

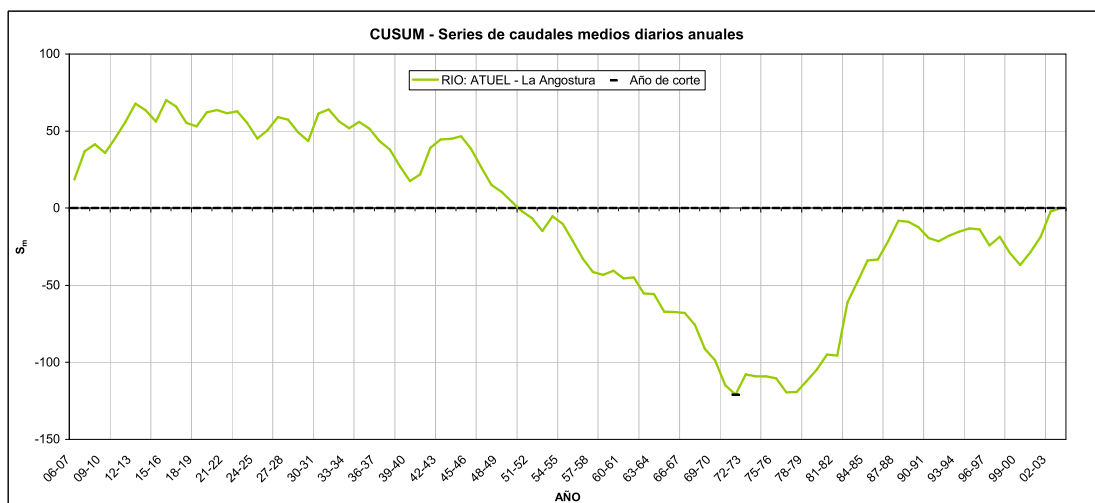
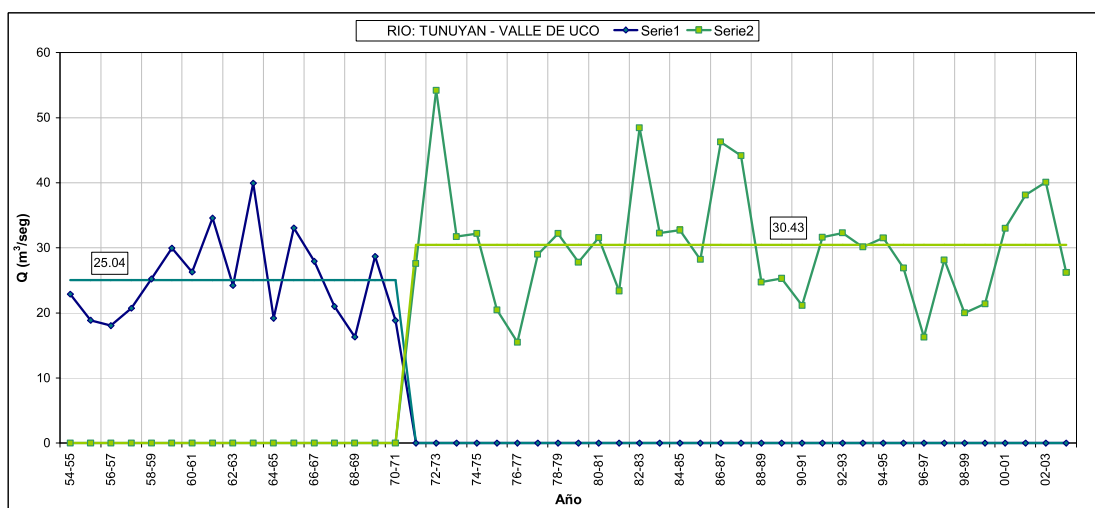
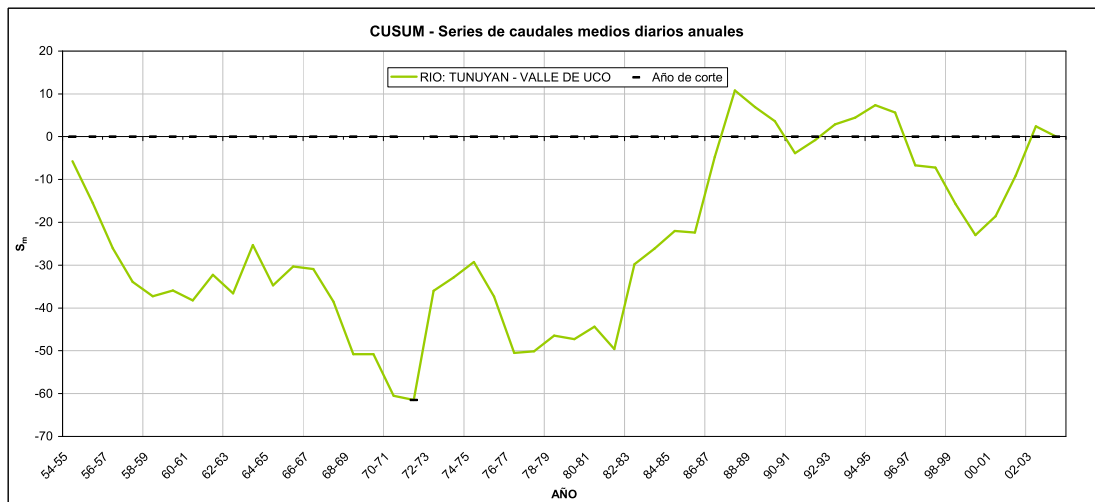
Se realizó una prueba adicional a las sub-series que presentan medias significativamente distintas. Se aplicó la **prueba de Mann-Kendall** para determinar si las distintas sub-series presentan tendencia. En la siguiente tabla se presentan los valores p correspondientes a la variable normal estándar Z para cada sub-serie analizada. Los resultados de la prueba para un nivel de significación del 5% se presentan en la siguiente tabla:

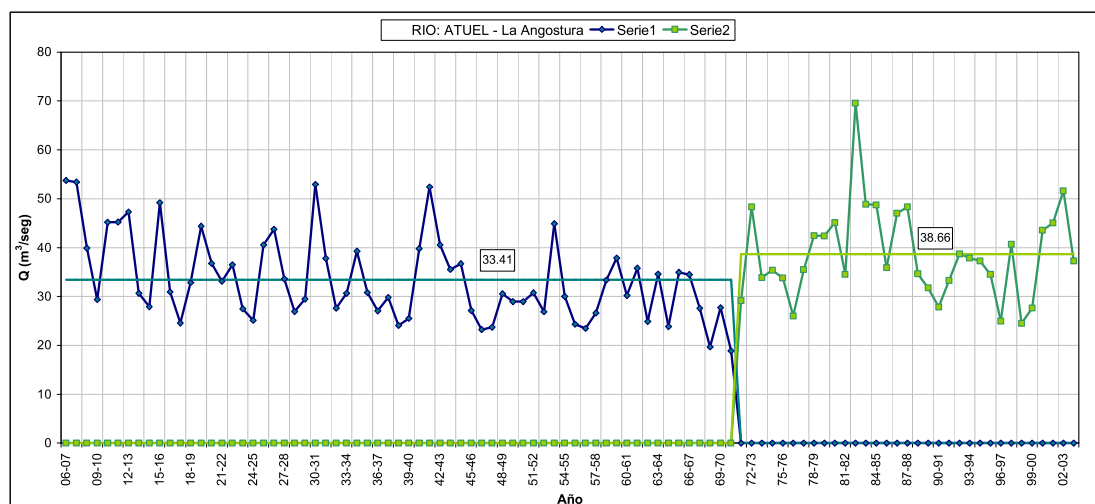
Río	p (%)	
	Sub-serie 1	Sub-serie 2
MENDOZA	72.12	19.91
COLORADO	12.61	81.62
TUNUYAN	77.31	74.49
ATUEL	0.03	98.76

Tabla 17. Resultados de la prueba MK para las distintas sub-series.

Estos resultados indican que ninguna de las sub-series analizadas presenta tendencia significativa, a excepción de la sub-serie correspondiente al primer período de registro del río Atuel.

A continuación se presentan los gráficos CUSUM y sub-series comparadas en la prueba de MW aplicadas a la series de caudales medios de los ríos Tunuyán y Atuel:





3.5.4.2. Aplicación – Series de caudales máximos

En la siguiente tabla se presenta la información básica analizada que incluye: tamaño en años de las muestras analizadas (N), años de registro y los principales estadísticos de las series de máximos: media en m^3/seg (Q_{MED}), coeficiente de variación (CV), asimetría (S) y kurtosis (K).

Río	ESTACIÓN	N	Años de Muestra	Q_{MED}	CV	S	K
SAN JUAN	KM 47.3	53	1951-52 a 2003-04	172.99	0.86	1.44	1.42
MENDOZA	GUIDO	48	1956-57 a 2003-04	148.72	0.51	1.89	4.10
COLORADO	BUTA RANQUIL	64	1940-41 a 2003-04	457.22	0.43	0.57	0.49
TUNUYAN	VALLE DE UCO	50	1954-55 a 2003-04	93.96	0.45	1.42	1.72
ATUEL	LA ANGOSTURA	88	1916-17 a 2003-04	91.24	0.36	0.81	0.59

Tabla 18. Estadísticos de las muestras de caudales máximos analizadas.

En la siguiente tabla se presentan la cantidad de datos N, el estimador de pendiente B, el estadístico la **prueba de Mann-Kendall**, S, el valor de la variable normal estándar Z correspondiente y sus valores p para la prueba original. También, se presenta el valor de Z_{cr} y el resultado de la prueba para un nivel de significación del 5%.

Río	N (Años)	B (m^3/s año)	S	Z	p (%)	Z_{cr} (p=5%)	Resultado
SAN JUAN	53	0.66	117	0.89	37.36	1.96	Ho NO puede ser rechazada
MENDOZA	48	1	235	2.08	3.75	1.96	Ho puede ser rechazada
COLORADO	64	1.39	196	1.13	25.86	1.96	Ho NO puede ser rechazada
TUNUYAN	50	0.19	80	0.66	50.87	1.96	Ho NO puede ser rechazada
ATUEL	88	0.02	43	0.15	87.97	1.96	Ho NO puede ser rechazada

Tabla 19. Resultados de la prueba MK para las distintas series estudiadas.

Estos resultados indican que la única serie que presenta tendencia significativa es la correspondiente al río Mendoza, cuya tendencia es positiva. A continuación se presenta un gráfico de los caudales máximos anuales registrados en la estación Guido del río Mendoza:

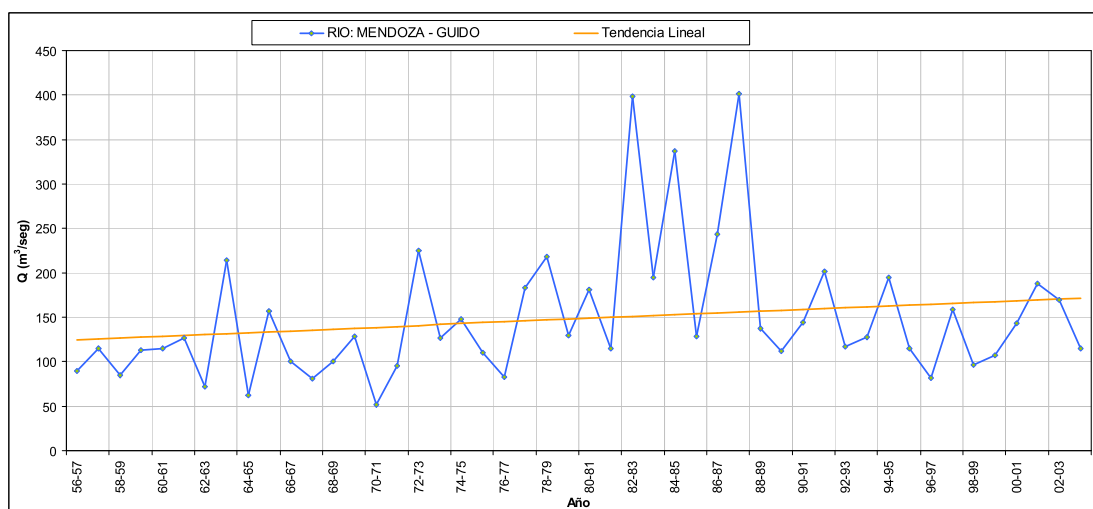


Gráfico 29. Caudales máximo anuales en estación Guido, río Mendoza.

A partir del gráfico CUSUM obtenido para cada serie de caudales máximos se identificó un año de corte que determina dos sub-series. Se determinaron los ranking de las sub-series y se estimaron los estadísticos Z para aplicar la **prueba de Mann-Whitney**. En algunos casos la hipótesis nula puede ser rechazada con un nivel de significación del 5%, es decir que las medias de las sub-series registradas en los distintos períodos son distintas. A continuación se presentan tabulados los resultados obtenidos:

Río	Sub-serie 1	Sub-serie 2	U	Z	p (%)	Zcr (p=5%)	Resultado
SAN JUAN	1951-52 a 76-77	1976-77 a 2003-04	255	1.70	8.88	1.96	Ho NO puede ser rechazada
MENDOZA	1956-57 a 76-77	1976-77 a 2003-04	139	2.96	0.31	1.96	Ho puede ser rechazada
COLORADO	1940-41 a 70-71	1970-71 a 2003-04	374	1.84	6.63	1.96	Ho NO puede ser rechazada
TUNUYAN	1954-55 a 71-72	1971-72 a 2003-04	215	1.34	17.98	1.96	Ho NO puede ser rechazada
ATUEL	1916-17 a 71-72	1971-72 a 2003-04	656	2.17	2.99	1.96	Ho puede ser rechazada

Tabla 20. Resultados de la prueba MW para las distintas series estudiadas.

Los resultados de la prueba de MW indican que las series de caudales máximos anuales de los ríos Mendoza y Atuel presentan sub-series con medias distintas. De esta manera se rechaza la hipótesis nula que plantea que estas sub-series provienen de poblaciones con distribuciones idénticas.

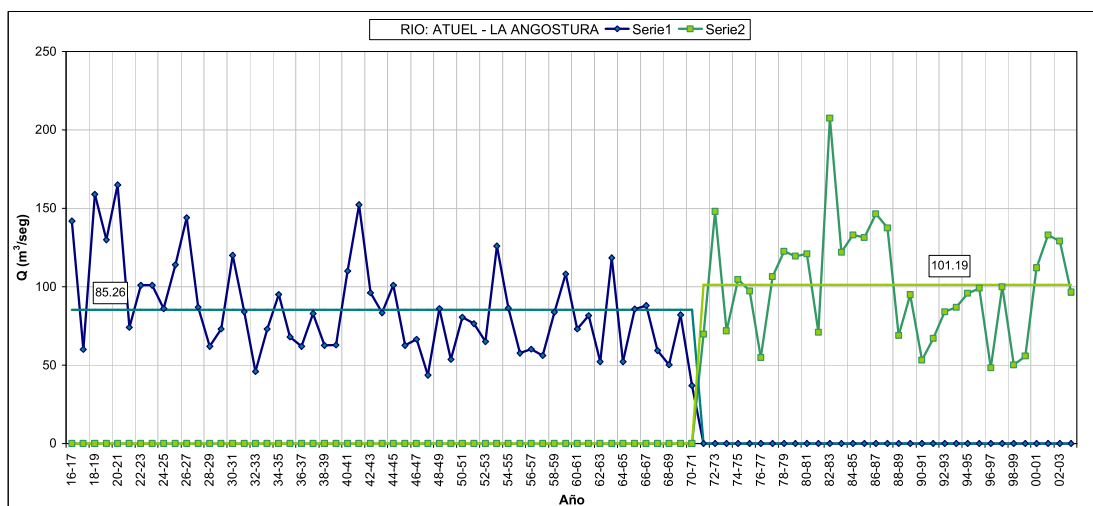
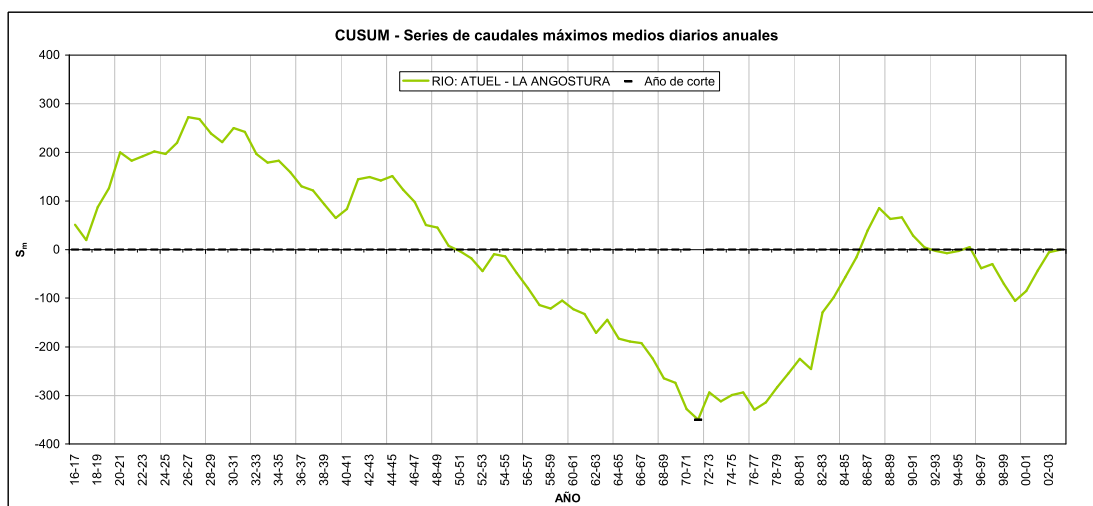
Se realizó una prueba adicional a las sub-series que presentan medias significativamente distintas. Se aplicó la **prueba de Mann-Kendall** para determinar si las distintas sub-series presentan tendencia. En la siguiente tabla se presentan los valores p correspondientes a la variable normal estándar Z para cada sub-serie analizada. Los resultados de la prueba para un nivel de significación del 5% se presentan en la siguiente tabla:

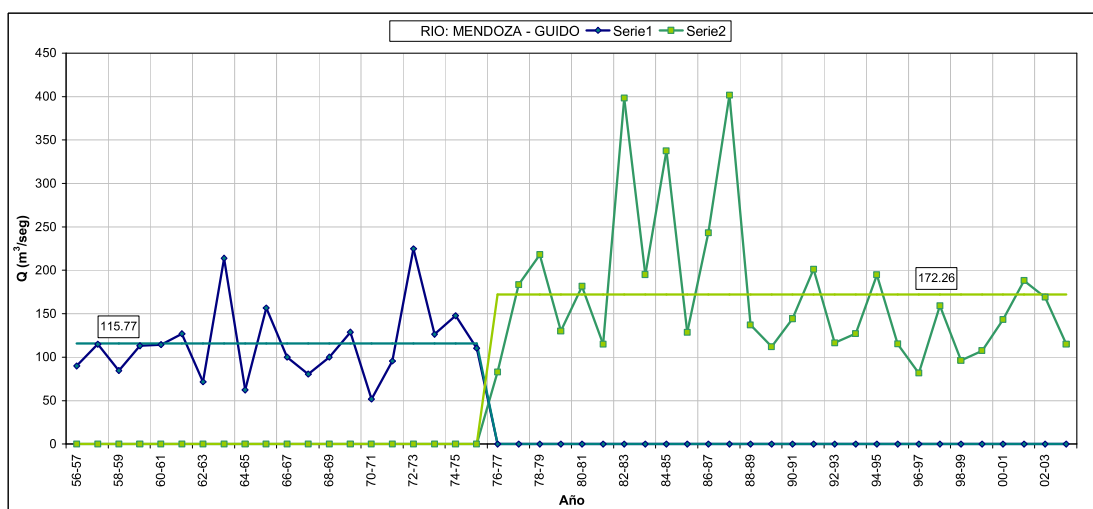
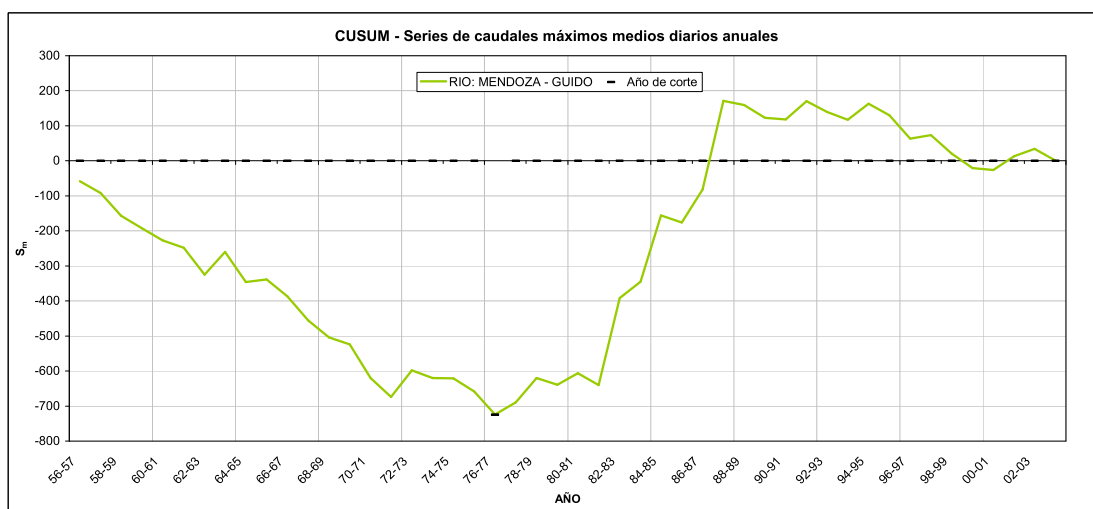
Río	p (%)	
	Sub-serie 1	Sub-serie 2
MENDOZA	45.55	16.07
ATUEL	0.20	59.83

Tabla 21. Resultados de la prueba MK para las distintas sub-series.

Estos resultados indican que ninguna de las sub-series analizadas presenta tendencia significativa, a excepción de la sub-serie correspondiente al primer período de registro del río Atuel.

A continuación se presentan los gráficos CUSUM y sub-series comparadas en la prueba de MW aplicadas a la series de caudales máximos de los ríos Atuel y Mendoza.





3.5.4.3. Aplicación – Series de caudales mínimos

En la siguiente tabla se presenta la información básica analizada que incluye: tamaño en años de las muestras analizadas (N), años de registro y los principales estadísticos de las series de mínimos: media en m^3/seg (Q_{MED}), coeficiente de variación (CV), asimetría (S) y kurtosis (K).

Río	ESTACIÓN	N	Años de Muestra	Q_{MED}	CV	S	K
SAN JUAN	KM 47.3	53	1951-52 a 2003-04	28.46	0.24	0.32	0.09
MENDOZA	GUIDO	48	1956-57 a 2003-04	16.93	0.30	0.89	0.85
COLORADO	BUTA RANQUIL	64	1940-41 a 2003-04	60.62	0.28	0.62	0.52
TUNUYAN	VALLE DE UCO	50	1954-55 a 2003-04	8.36	0.30	-	0.41
ATUEL	LA ANGOSTURA	88	1916-17 a 2003-04	15.55	0.32	0.71	1.51

Tabla 22. Estadísticos de las muestras de caudales mínimos analizadas.

En la siguiente tabla se presentan la cantidad de datos N , el estimador de pendiente B , el estadístico la **prueba de Mann-Kendall**, S , el valor de la variable normal estándar Z correspondiente y sus valores p para la prueba original. También, se presenta el valor de Z_{cr} y el resultado de la prueba para un nivel de significación del 5%.

Río	N (Años)	B (m ³ /s año)	S	Z	p (%)	Z _{cr} (p=5%)	Resultado
SAN JUAN	53	0.12	232	1.77	7.64	1.96	Ho NO puede ser rechazada
MENDOZA	48	0.15	345	3.06	0.22	1.96	Ho puede ser rechazada
COLORADO	64	0.31	423	2.44	1.45	1.96	Ho puede ser rechazada
TUNUYAN	50	0.05	261	2.17	2.96	1.96	Ho puede ser rechazada
ATUEL	88	0.06	797	2.87	0.41	1.96	Ho puede ser rechazada

Tabla 23. Resultados de la prueba MK para las distintas series estudiadas.

Estos resultados indican que la única serie que no presenta tendencia significativa es la correspondiente al río San Juan, el resto de las series presentan tendencias crecientes. A continuación se presenta un gráfico de los caudales mínimos anuales registrados en el río Colorado, que presenta tendencia significativa positiva:

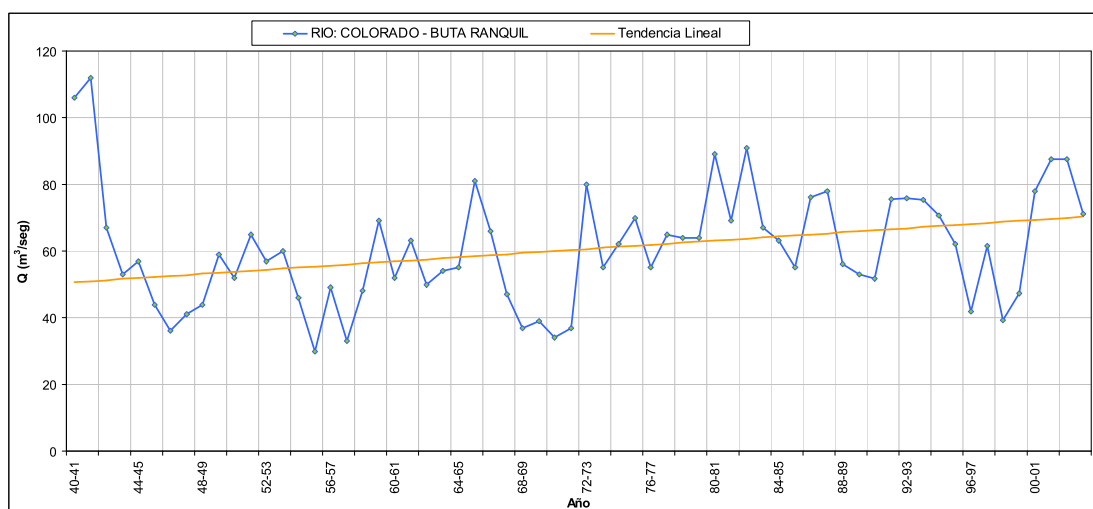


Gráfico 30. Caudales mínimos anuales, río Colorado.

A partir del gráfico CUSUM obtenido para cada serie de caudales máximos se identificó un año de corte que determina dos sub-series. Se determinaron los ranking de las sub-series y se estimaron los estadísticos Z para aplicar la **prueba de Mann-Whitney**. En algunos casos la hipótesis nula puede ser rechazada con un nivel de significación del 5%, es decir que las medias de las sub-series registradas en los distintos períodos son distintas. A continuación se presentan tabulados los resultados obtenidos:



Río	Sub-serie 1	Sub-serie 2	U	Z	p (%)	Z _{cr} (p=5%)	Resultado
SAN JUAN	1951-52 a 77-78	1977-78 a 2003-04	168	3.26	0.11	1.96	Ho puede ser rechazada
MENDOZA	1956-57 a 78-79	1978-79 a 2003-04	85	4.17	0.00	1.96	Ho puede ser rechazada
COLORADO	1940-41 a 71-72	1971-72 a 2003-04	275	3.18	0.15	1.96	Ho puede ser rechazada
TUNUYAN	1954-55 a 81-82	1981-82 a 2003-04	189	2.37	1.80	1.96	Ho puede ser rechazada
ATUEL	1916-17 a 78-79	1978-79 a 2003-04	297	4.66	0.00	1.96	Ho puede ser rechazada

Tabla 24. Resultados de la prueba MW para las distintas series estudiadas.

Los resultados de la prueba de MW indican que todas las series de caudales mínimos anuales analizadas presentan sub-series con medias distintas. De esta manera se rechaza la hipótesis nula que plantea que estas sub-series provienen de poblaciones con distribuciones idénticas.

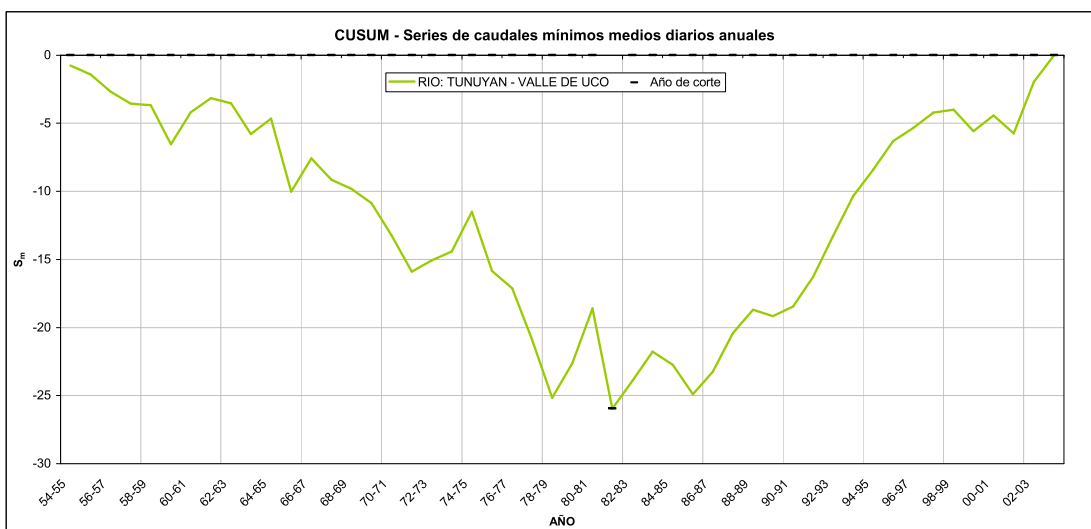
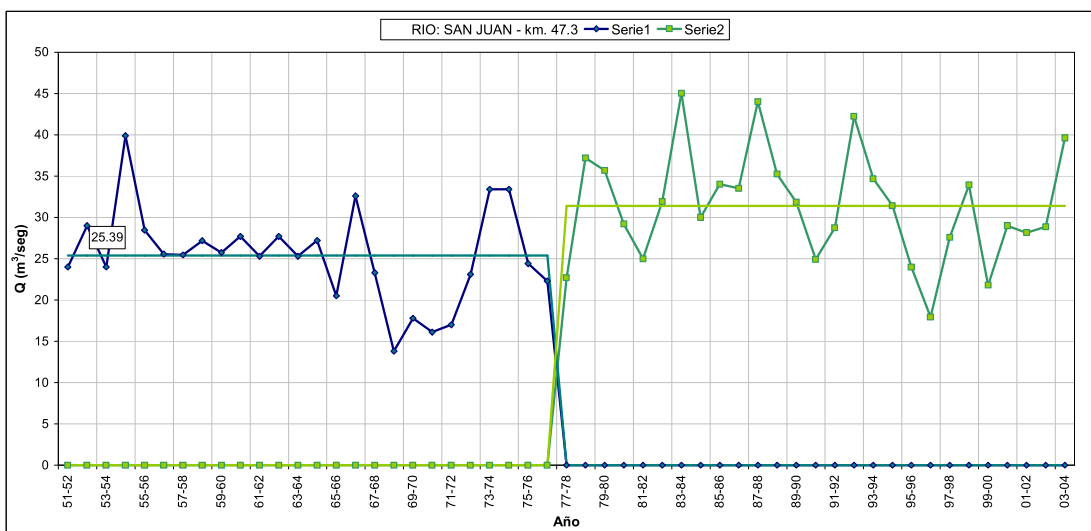
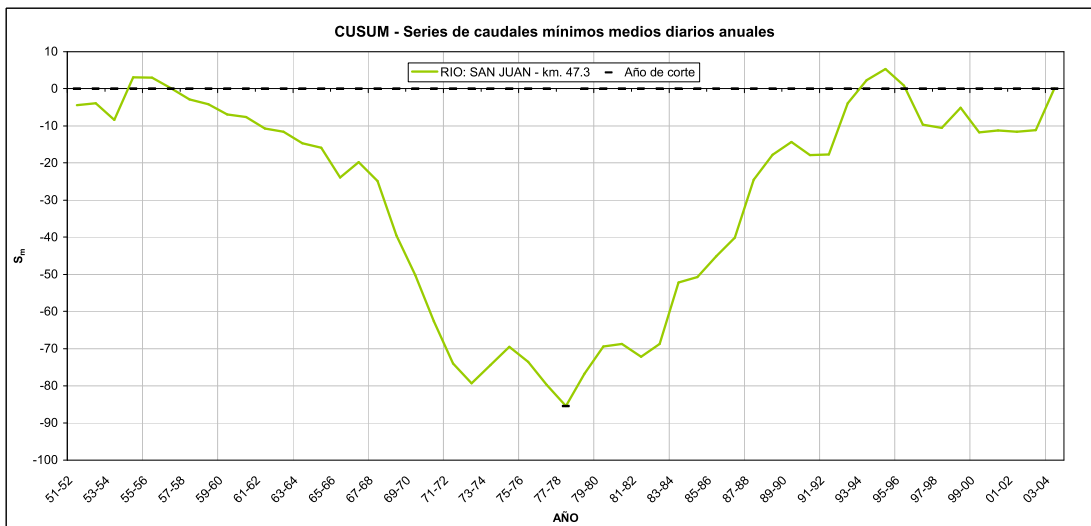
Se realizó una prueba adicional a las sub-series que presentan medias significativamente distintas. Se aplicó la **prueba de Mann-Kendall** para determinar si las distintas sub-series presentan tendencia. En la siguiente tabla se presentan los valores p correspondientes a la variable normal estándar Z para cada sub-serie analizada. Los resultados de la prueba para un nivel de significación del 5% se presentan en la siguiente tabla:

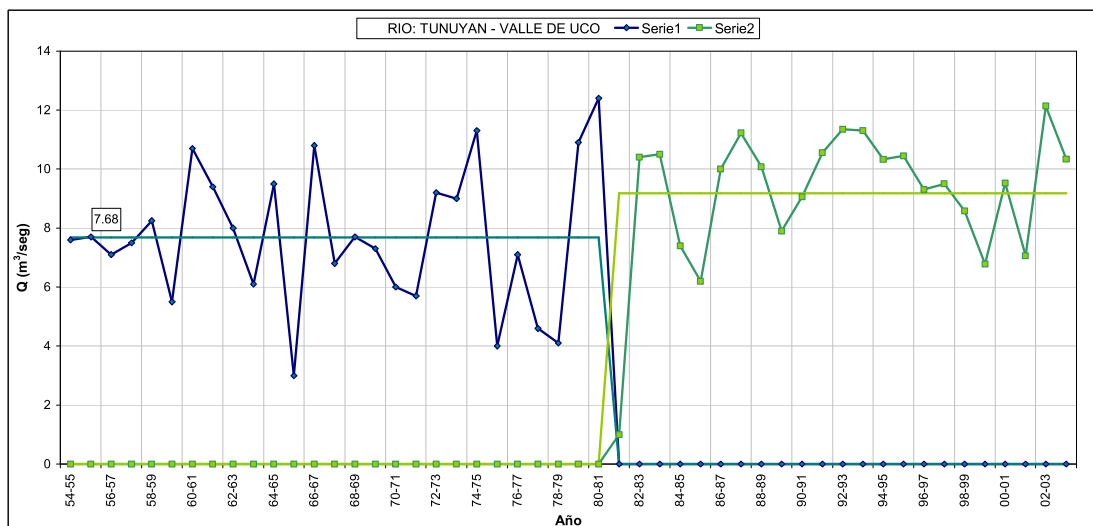
Río	p (%)	
	Sub-serie 1	Sub-serie 2
SAN JUAN	10.29	22.66
MENDOZA	35.21	4.49
COLORADO	21.47	72.16
TUNUYAN	100.00	63.45
ATUEL	17.17	94.73

Tabla 25. Resultados de la prueba MK para las distintas sub-series.

Estos resultados indican que ninguna de las sub-series analizadas presenta tendencia significativa, a excepción de la sub-serie correspondiente al segundo período de registro del río Mendoza.

A continuación se presentan los gráficos CUSUM y sub-series comparadas en la prueba de MW aplicadas a la series de caudales medios de los ríos San Juan y Tunuyán:





3.5.5. Conclusiones del análisis de tendencia

Las series utilizadas en el análisis de tendencia corresponden a los ríos San Juan, Mendoza, Tunuyán, Atuel y Colorado, las estaciones seleccionadas presentan períodos de registro iguales ó mayores a 50 años e incluyen los registros de los últimos 30 años.

Los resultados de la aplicación de la prueba de Mann-Kendall muestran que los registros de caudales medios anuales y máximos anuales del río Mendoza en la Estación Guido presentan tendencia significativa positiva. El resto de las series de caudales medios y máximos registradas en las distintas estaciones analizadas no presentan tendencia significativa. Para el caso de las series de caudales mínimos, los resultados indican que las series de los ríos Mendoza, Tunuyán, Colorado y Atuel presentan tendencia significativa creciente.

En cuanto la aplicación de la prueba de Mann-Whitney, los resultados indican que las series de caudales medios anuales de los ríos Mendoza, Colorado, Tunuyán y Atuel presentan medias distintas, por lo que se rechaza la hipótesis que plantea que estas sub-series provienen de poblaciones con distribuciones idénticas. Por otro lado las series de caudales máximos anuales que presentan sub-series con medias distintas son las de los ríos Mendoza y Atuel. La misma prueba aplicada a las series de caudales mínimos indica que las cinco series analizadas presentan sub-series con medias distintas, en todos los casos las sub-series observadas en el segundo período tiene medias mayores. Por este motivo, para analizar la recurrencia de estas series, se deberían ajustar y estudiar las sub-series separadamente.

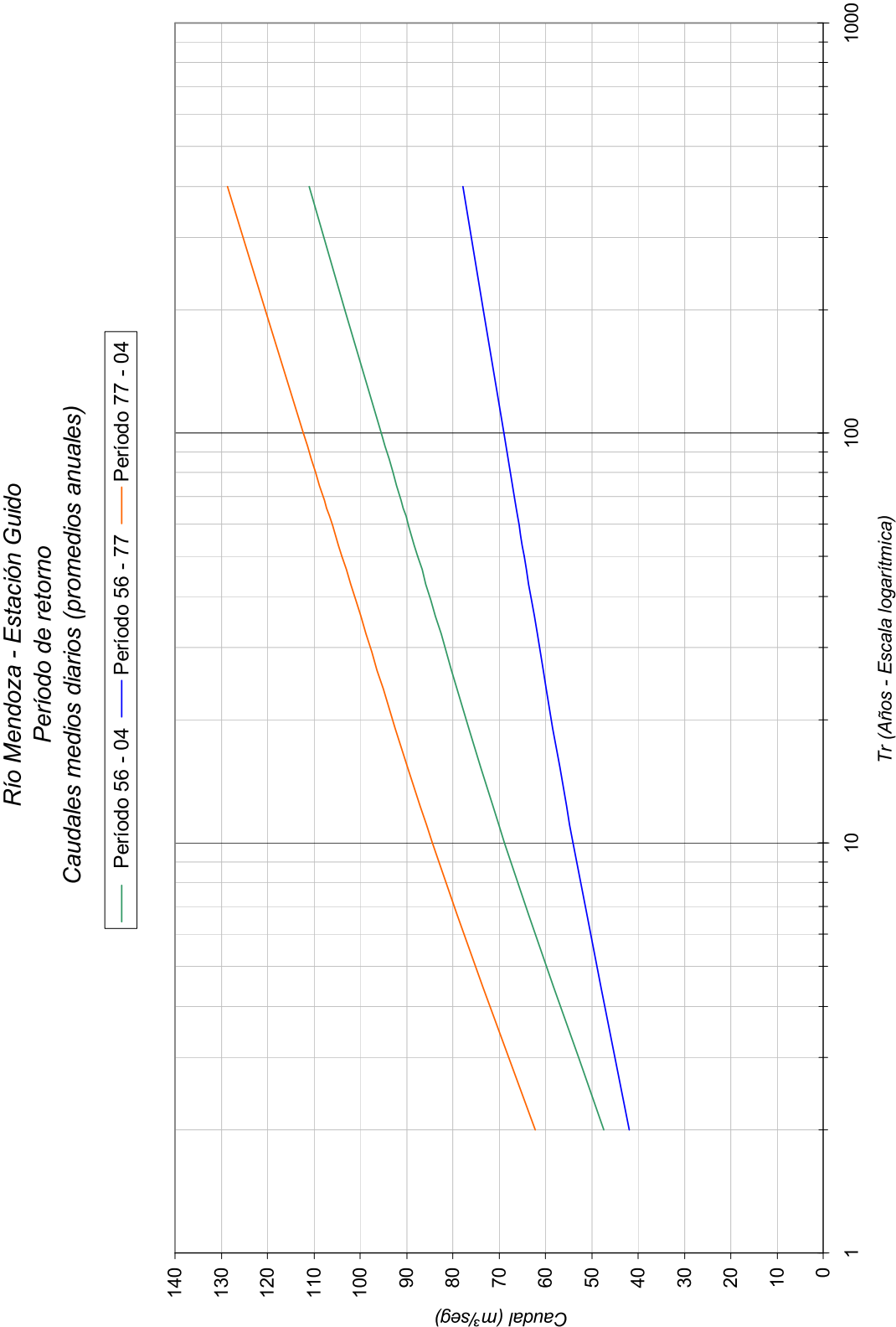


Gráfico 31. Caudales medios diarios (promedios anuales), Estación Guido, río Mendoza.

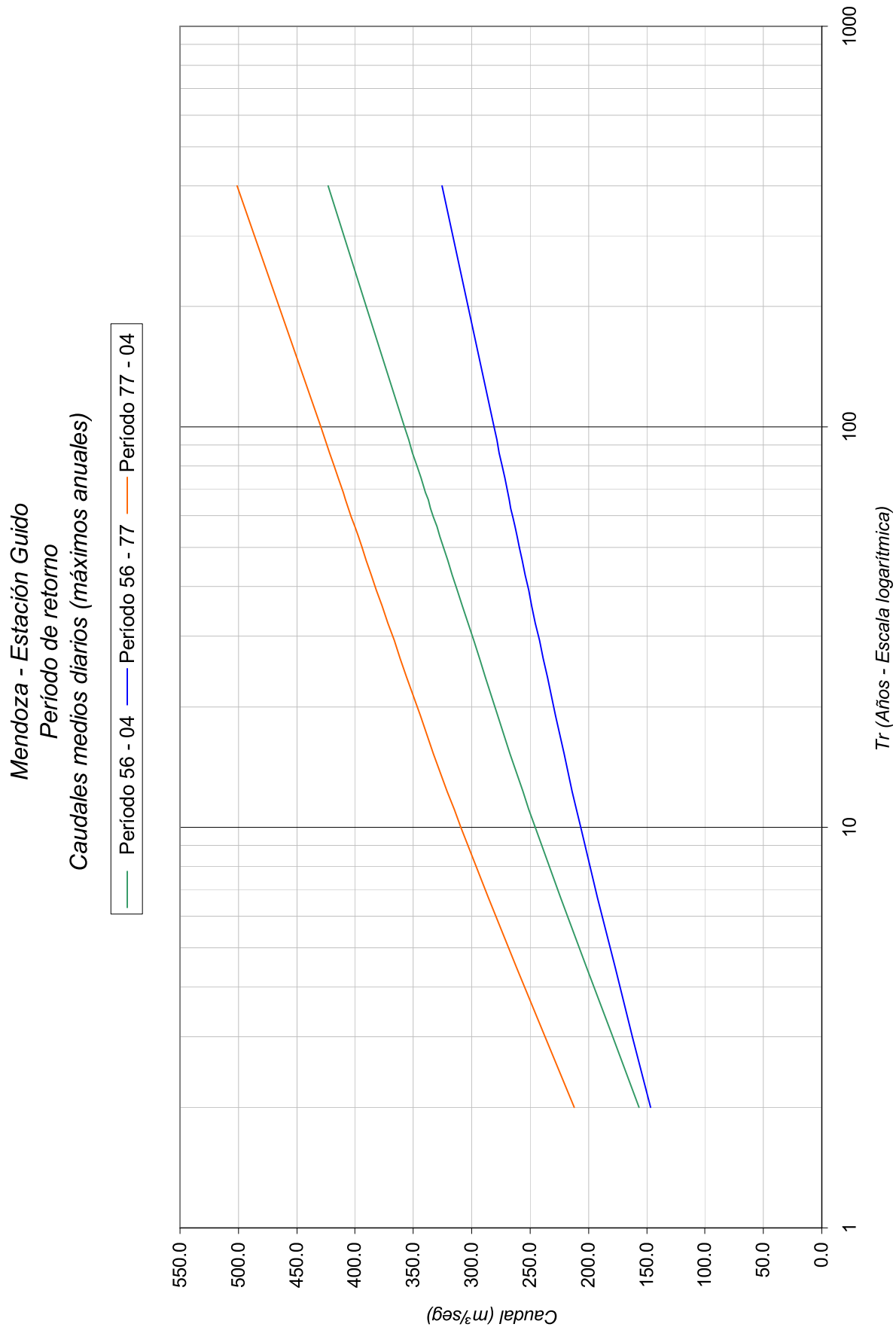


Gráfico 32. Caudales medios diarios (máximos anuales), Estación Guido, río Mendoza.



Río Tunuyán- Estación Valle del Uco
Período de retorno
Caudales medios diarios (promedios anuales)

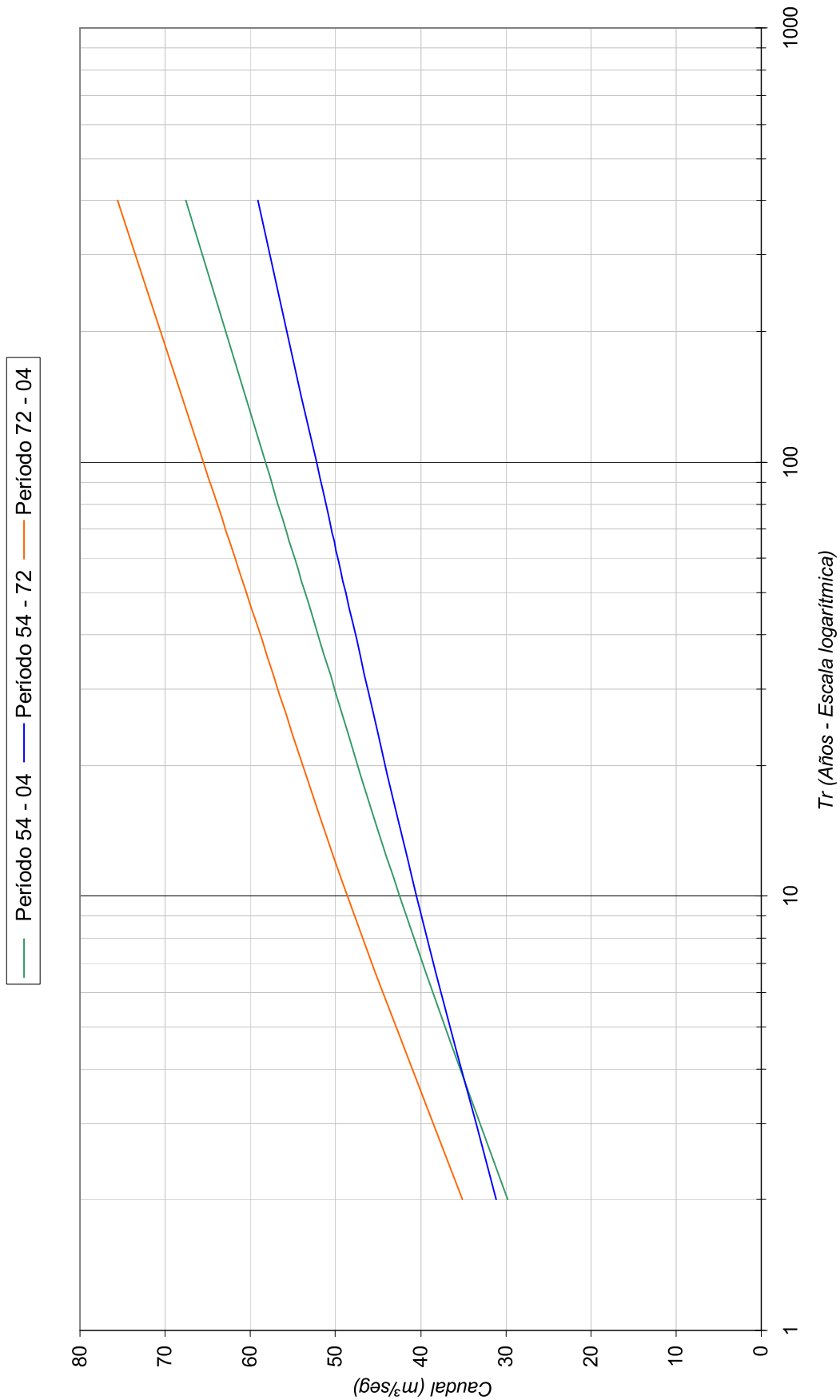


Gráfico 33. Caudales medios diarios (promedios anuales), Estación Valle de Uco.

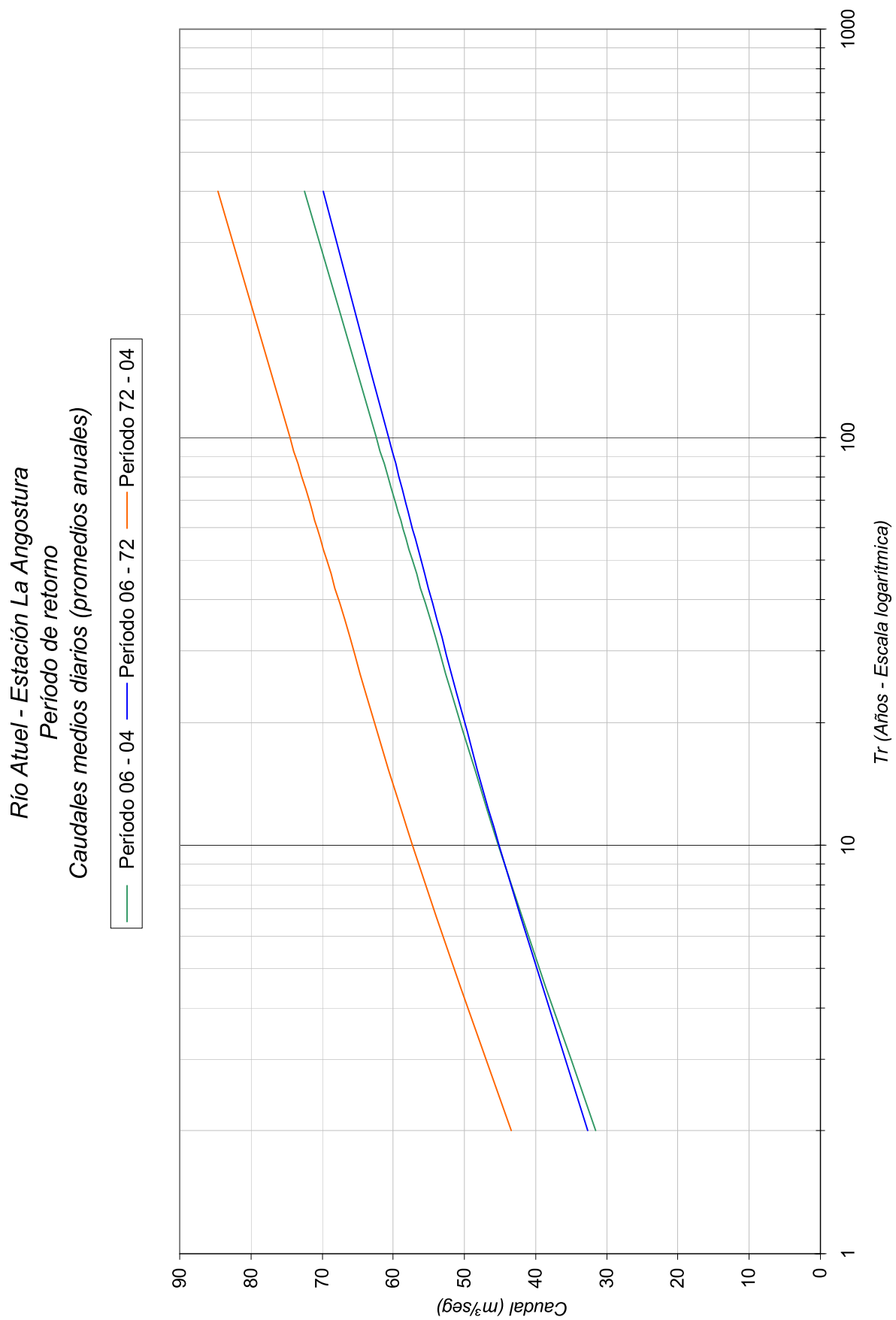


Gráfico 34. Caudales medios diarios (promedios anuales), Estación La Angostura.

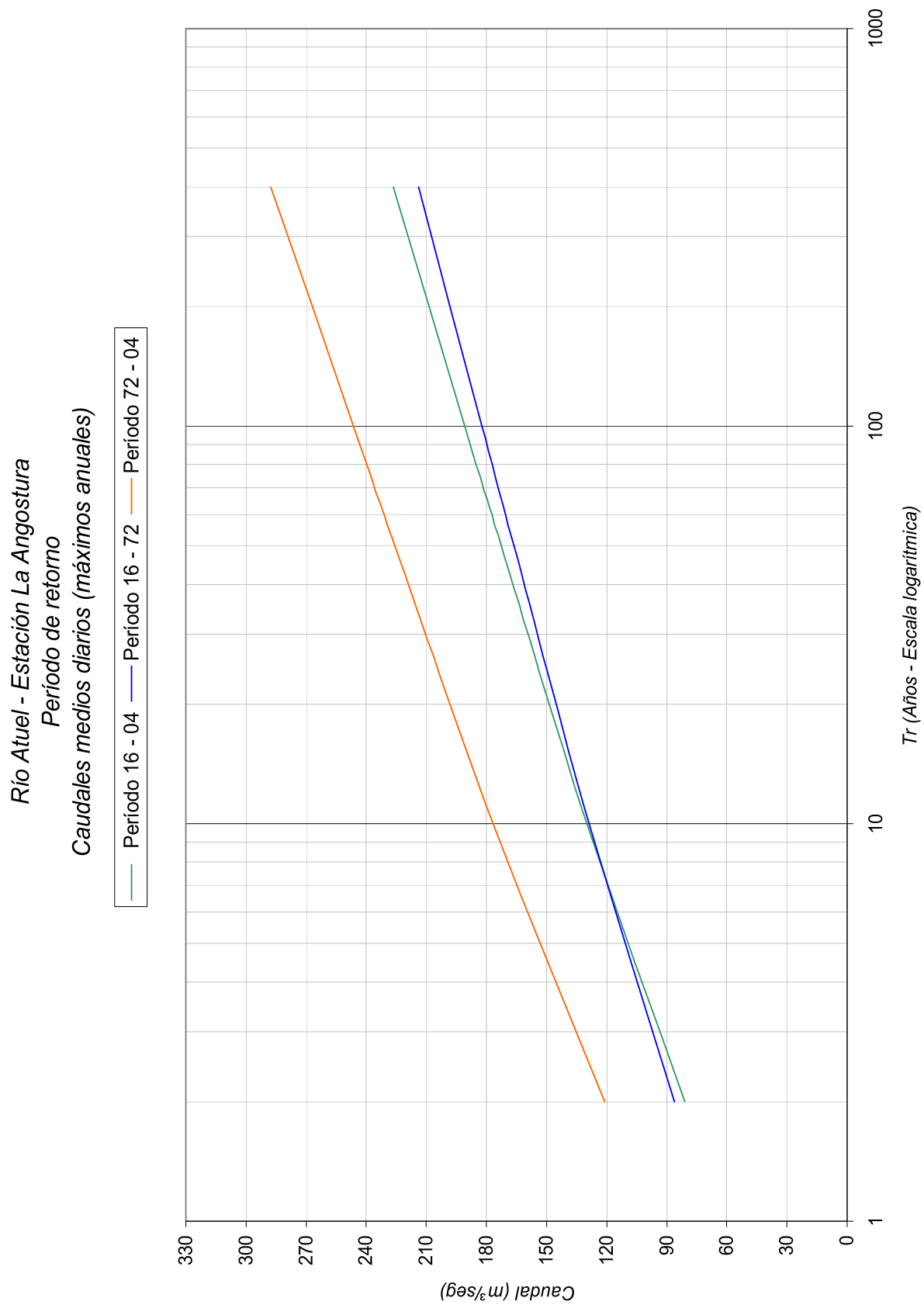


Gráfico 35. Caudales medios diarios (máximos anuales), Estación La Angostura.

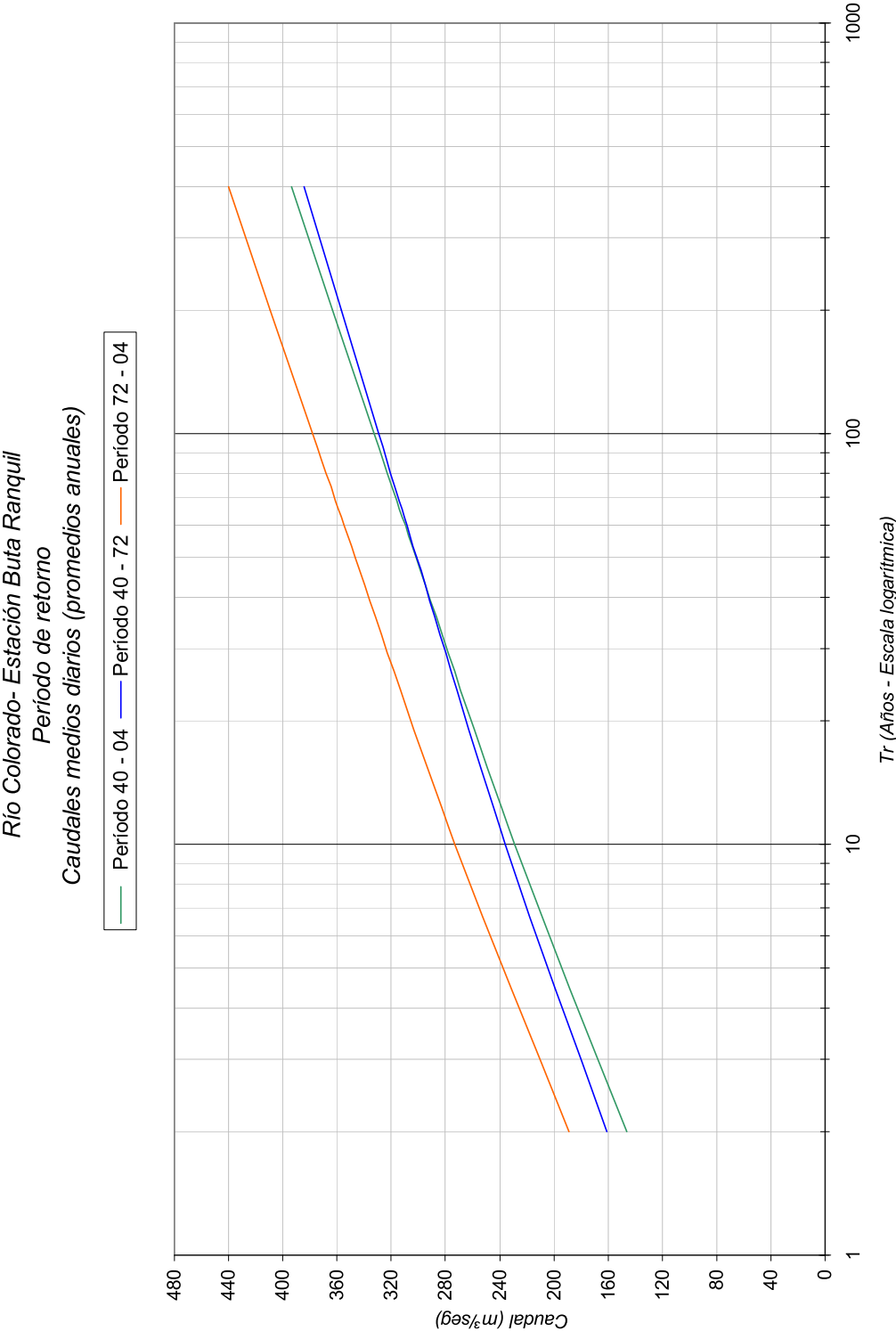


Gráfico 36. Caudales medios diarios promedios anuales, Estación Buta Ranquil, río Colorado.

Tabla 26. Caudales Medios Diarios (promedio anual) para distintos Períodos de retorno, río Mendoza

Tr	Caudal		
	Período 56 - 04	Período 56 - 77	Período 77 - 04
2	47.4	41.9	62.2
10	68.8	54.0	84.4
50	87.5	64.5	104.0
100	95.4	69.0	112.2
200	103.3	73.4	120.4
400	111.0	77.9	128.6
[Años]	[m³/seg]	[m³/seg]	[m³/seg]

Tabla 27. Caudales Medios Diarios (máximo anual) para distintos Períodos de retorno, río Mendoza

Tr	Caudal		
	Período 56 - 04	Período 56 - 77	Período 77 - 04
2	156.4	146.9	212.4
10	245.8	206.6	309.0
50	324.2	259.0	393.8
100	357.3	281.1	429.6
200	390.3	303.2	465.3
400	423.2	325.2	501.0
[Años]	[m³/seg]	[m³/seg]	[m³/seg]

Tabla 28. Caudales Medios Diarios (promedio anual) para distintos Períodos de retorno, río Tunuyán

Tr	Caudal		
	Período 54 - 04	Período 54 - 72	Período 72 - 04
2	29.8	31.1	35.1
10	42.5	40.5	48.6
50	53.5	48.7	60.5
100	58.2	52.2	65.5
200	62.9	55.7	70.5
400	67.5	59.2	75.5
[Años]	[m³/seg]	[m³/seg]	[m³/seg]

Tabla 29. Caudales Medios Diarios (promedio anual) para distintos Períodos de retorno, río Atuel

Tr	Caudal		
	Período 06 - 04	Período 06 - 72	Período 72 - 04
2	31.6	32.7	43.5
10	45.3	45.1	57.3
50	57.3	56.0	69.4
100	62.4	60.7	74.5
200	67.4	65.3	79.6
400	72.5	69.8	84.7
[Años]	[m³/seg]	[m³/seg]	[m³/seg]

Tabla 30. Caudales Medios Diarios (máximo anual) para distintos Períodos de retorno, río Atuel

Tr	Caudal		
	Período 16 - 04	Período 16 - 72	Período 72 - 04
2	81.1	86.1	121.0
10	129.8	128.9	176.8
50	172.6	166.5	225.7
100	190.6	182.3	246.4
200	208.6	198.2	267.0
400	226.6	213.9	287.6
[Años]	[m³/seg]	[m³/seg]	[m³/seg]

Tabla 31. Caudales Medios Diarios (promedio anual) para distintos Períodos de retorno, río Colorado

Tr	Caudal		
	Período 40 - 04	Período 40 - 72	Período 72 - 04
2	146.2	161.1	188.8
10	229.2	235.9	273.0
50	301.9	301.5	346.7
100	332.6	329.2	377.9
200	363.2	356.8	409.0
400	393.8	384.4	440.0
[Años]	[m³/seg]	[m³/seg]	[m³/seg]



3.6. Sistemas de regulación natural de la cuenca del Desaguadero-Salado-Chadileuvú-Curacó

Siguiendo la identificación de los sistemas principales de regulación natural de la cuenca, que se presenta en la sección de caracterización de la cuenca desarrollada para este proyecto, y en base a los registros otorgados por la Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación, a continuación se analiza cuál es la capacidad de regulación de dichos los sistemas.

De aquí en más, los sistemas naturales de regulación serán identificados como Nodos de regulación de la Cuenca, según se lista a continuación:

- Nodo 1R: Lagunas de Puelches;
- Nodo 2R: Bañados del Atuel;
- Nodo 3R: Bañados del Tunuyán;
- Nodo 4R: Laguna de Guanacache.

Los resultados obtenidos del análisis de los datos permitirán medir la variación entre los caudales de entrada y salida, el tiempo de retardo producido y el tiempo de residencia de las aguas en estos sistemas.

Dados los registros existentes de las series de caudales medios mensuales de los ríos que se utilizarán para la descripción de cada sistema de regulación, surge el inconveniente de no poder superponer todos los hidrogramas hallados dada la inexistencia de un registro de un período en común para todos ellos.

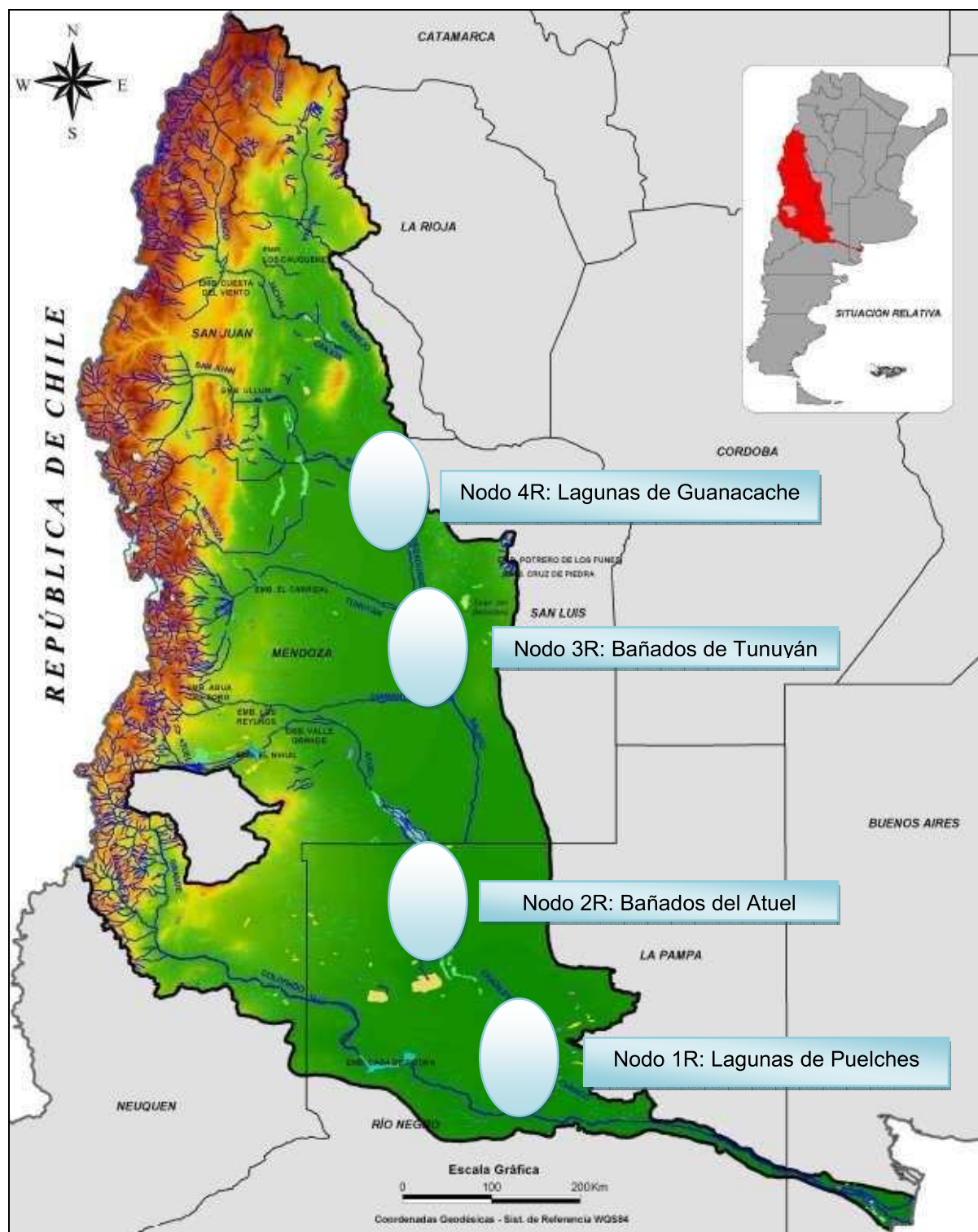


Figura 15. Identificación de la ubicación en la cuenca de los principales nodos de regulación (NR).

3.6.1. Nodo 1R: Lagunas de Puelches

Las lagunas de Puelches son alimentadas por los ríos Salado-Chadileuvú y descargan sobre el río Salado-Chadileuvú-Curacó. Este sistema de lagunas está conformado por una serie de cuerpos de agua y cuyas componentes más relevantes son las lagunas: La Dulce, Urre Lauquén y La Amarga.

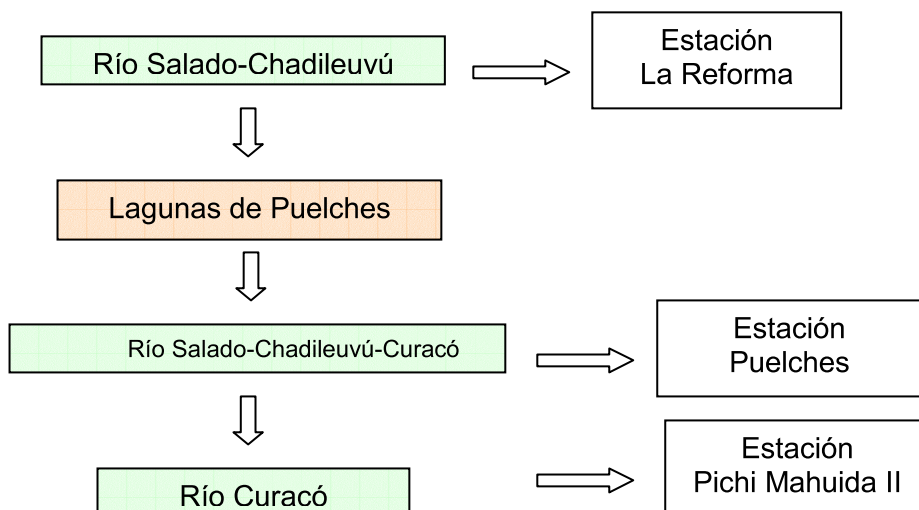
Para realizar el análisis de este sistema, se han seleccionado las siguientes estaciones representativas de cada río:

Tabla 32. Estaciones representativas – Lagunas de Puelches

Río	Estación representativa	Series de Datos (años disponibles)
Salado-Chadileuvú	La Reforma	1980-1998
Salado-Chadileuvú-Curacó	Puelches	1983-2006 (incompleto)
Curacó	Pichi Mahuida II	1983-1998

El análisis correspondiente a las lagunas de Puelches se hará en base a series hidrológicas que van desde el año 1983 hasta 1998.

Figura 16. Modelo de análisis – Lagunas de Puelches

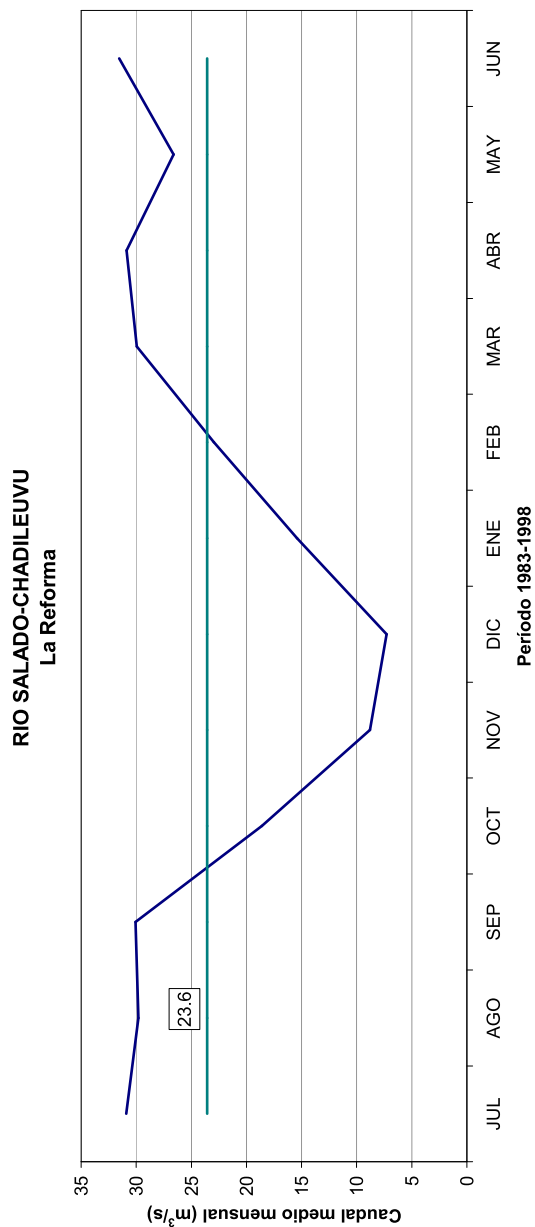


La estación Puelches se encuentra ubicada aguas abajo de las lagunas La Dulce y Urre Lauquén, mientras que la estación Pichi Mahuida II se ubica aguas arriba de la confluencia del río Curacó con el Colorado.

A continuación se incluyen los caudales medios mensuales de los ríos involucrados en el análisis de las lagunas de Puelches. Seguido de las tablas, se elaboró el gráfico correspondiente, dado que la información gráfica permite percibir en forma más rápida y sencilla la capacidad de regulación del nodo.

Gráfico 37. Caudales medios mensuales río Salado-Chadileuvú

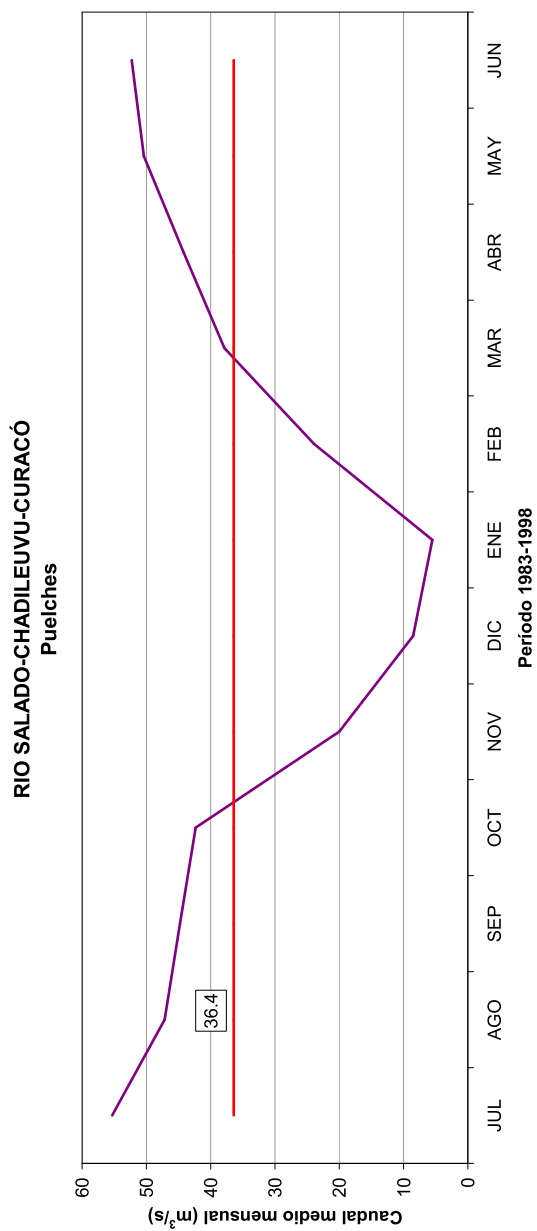
PROMEDIO DE 1983-1998	
Mes	Caudal
Julio	30.9
Agosto	29.8
Septiembre	30.1
Octubre	18.6
Noviembre	8.8
Diciembre	7.3
Enero	15.4
Febrero	23.0
Marzo	30.0
Abril	30.9
Mayo	26.6
Junio	31.5
	m ³ /seg



Fuente: Subsecretaria de Recursos Hídricos de La Pampa, Argentina.

Gráfico 38. Caudales medios mensuales Salado-Chadileuvú-Curacó

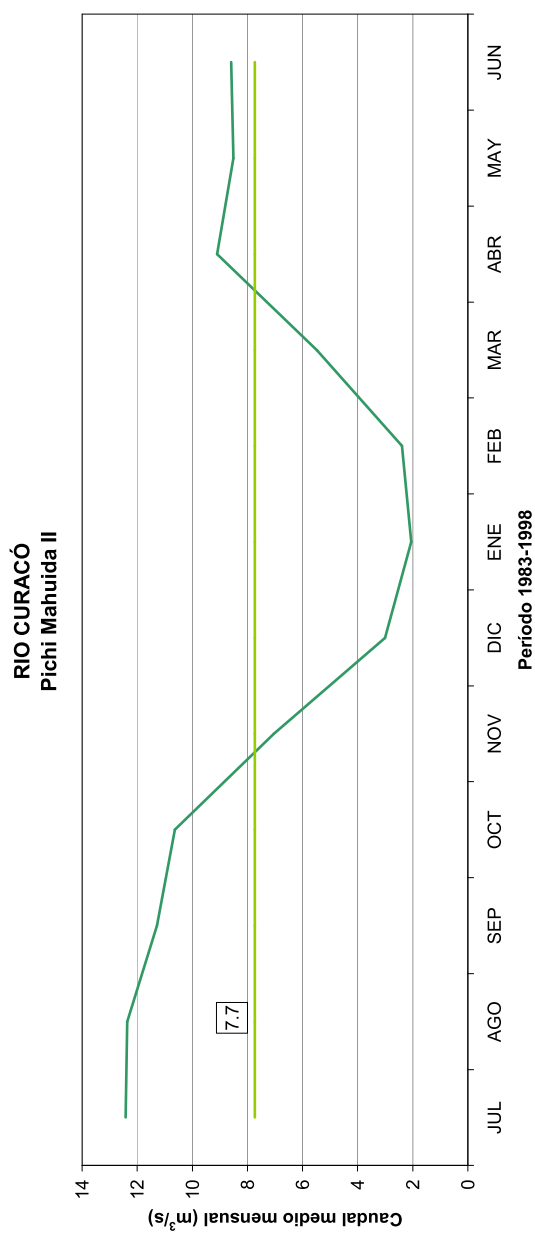
PROMEDIO DE 1983-1998	
Mes	Caudal
Julio	55.3
Agosto	47.1
Septiembre	44.7
Octubre	42.4
Noviembre	20.0
Diciembre	8.5
Enero	5.6
Febrero	23.9
Marzo	37.8
Abril	44.2
Mayo	50.4
Junio	52.3
	m ³ /seg



Fuente: Subsecretaria de Recursos Hídricos de La Pampa, Argentina.

Gráfico 39. Caudales medios mensuales río Curacó

PROMEDIO DE 1983-1998	
Mes	Caudal
Julio	12.4
Agosto	12.4
Septiembre	11.3
Octubre	10.6
Noviembre	7.0
Diciembre	3.0
Enero	2.1
Febrero	2.4
Marzo	5.5
Abril	9.1
Mayo	8.5
Junio	8.6
	m ³ /seg



Fuente: Subsecretaria de Recursos Hídricos de La Pampa, Argentina.

Superponiendo dos de los hidrogramas precedentes (Salado-Chadileuvú y Curacó), se observa el efecto de amortiguamiento de las lagunas de Puelches. No se incluyó en el gráfico la serie de promedios mensuales de la estación Puelches, porque la misma presenta una importante cantidad de meses faltantes, lo que podría distorsionar la interpretación del gráfico.

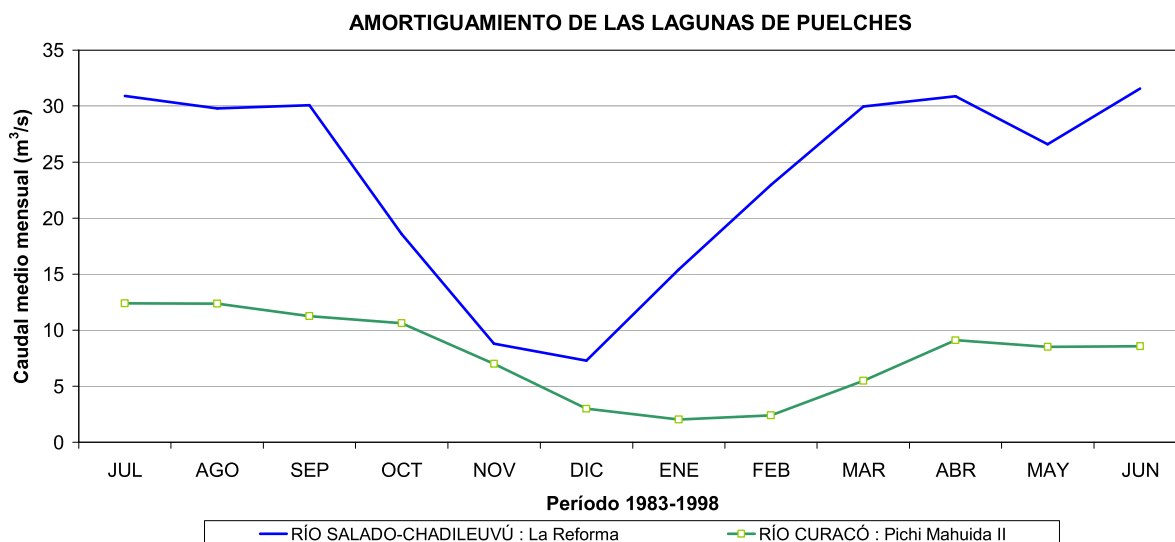


Gráfico 40. Amortiguamiento de las Lagunas de Puelches

Fuente: Subsecretaría de Recursos Hídricos de La Pampa, Argentina.

Estas series presentan un período de caudales importantes que va desde Abril hasta Octubre, registrándose los máximos caudales en los meses de Julio y Agosto. Se distingue la amortiguación que las lagunas de Puelches ejercen sobre el Curacó por la reducción de todos los caudales a lo largo del año, en especial la del caudal pico que es de un 60%.

Tabla 33. Tabla resumen – Capacidad reguladora de las Lagunas de Puelches

PERÍODO 1983-1998					
RÍO	ESTACIÓN	CAUDAL MODULO	CAUDAL PICO	TIEMPO PICO	ΔQ_{pico}
SALADO-CHADILEUVÚ	La Reforma	23.6	31.5	Junio	-60%
CURACÓ	Pichi Mahuida II	7.7	12.4	Julio-Agosto	
		m³/seg	m³/seg		

Los resultados presentados corresponden a los promedios mensuales de los años analizados. En el gráfico a continuación se presentan, en forma cronológica y para el período de registro seleccionado, los caudales mensuales de las estaciones analizadas.

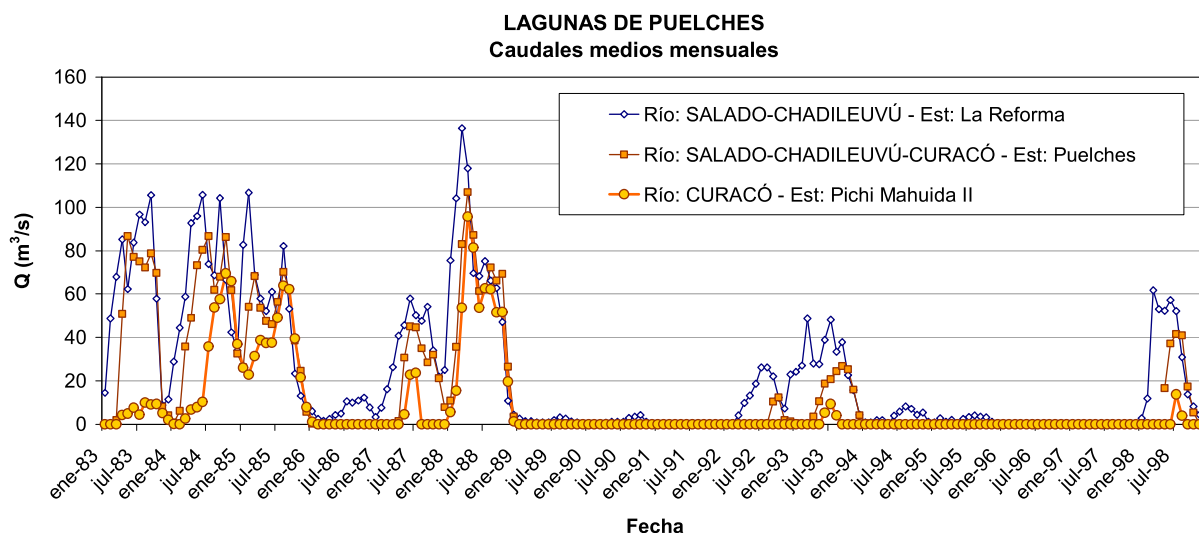


Gráfico 41. Caudales medios mensuales – Lagunas de Puelches

Se puede observar en el gráfico que las tres series tienen formas similares, respondiendo a los mismos pulsos de crecidas. Existe una primera atenuación sobre los caudales aforados en la estación Puelches, ubicada en la salida de las lagunas, y otra atenuación más importante de acuerdo a los registros de Pichi Mahuida II, antes de ingresar al río Colorado. El corrimiento de los picos es del orden del mes a los tres meses de acuerdo a estas curvas.

Podemos ver claramente como al realizar un balance de volúmenes, en todos los casos la salida del sistema presenta una atenuación muy importante a la suma directa de los componentes de la entrada. Además se percibe un desplazamiento temporal en la materialización de las magnitudes máximas de caudal. En otras palabras, los espejos de agua tienen un efecto amortiguador y retardador de las avenidas máximas anuales.

3.6.2. Nodo 2R: Bañados del Atuel

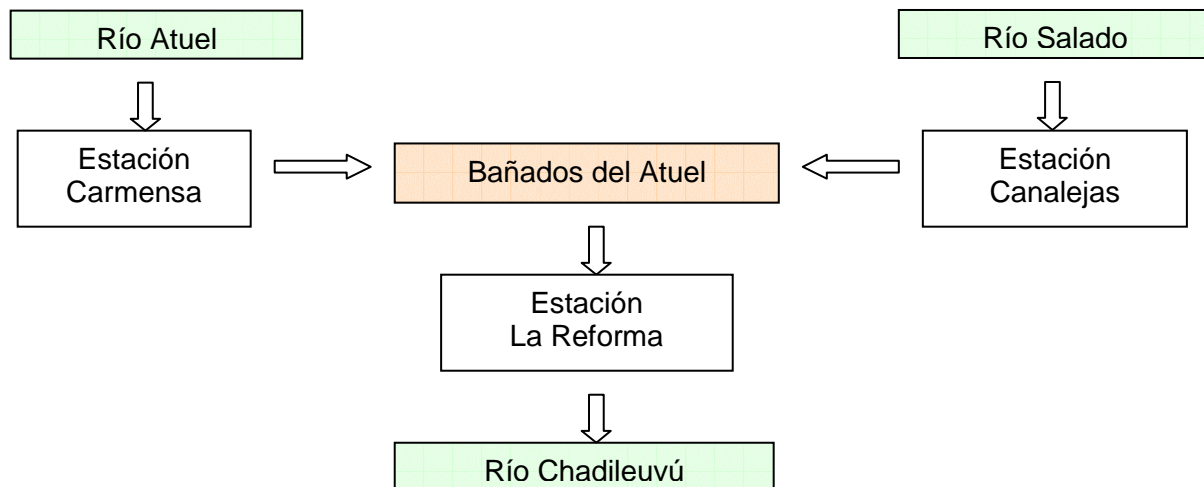
Los bañados del Atuel son alimentadas por los ríos Atuel y Salado y descargan sobre el río Salado-Chadileuvú. Para realizar el análisis de este sistema, se han seleccionado las siguientes estaciones representativas de cada río:

Tabla 34. Estaciones representativas – Bañados del Atuel

Río	Estación representativa	Serie de Datos (años disponibles)
Atuel	Carmensa	1985-2003
Salado	Canalejas	1987-2003
Chadileuvú	La Reforma	1980-1999

El análisis correspondiente a los Bañados del Atuel se hará en base a series hidrológicas que van desde el año 1990 hasta 1998.

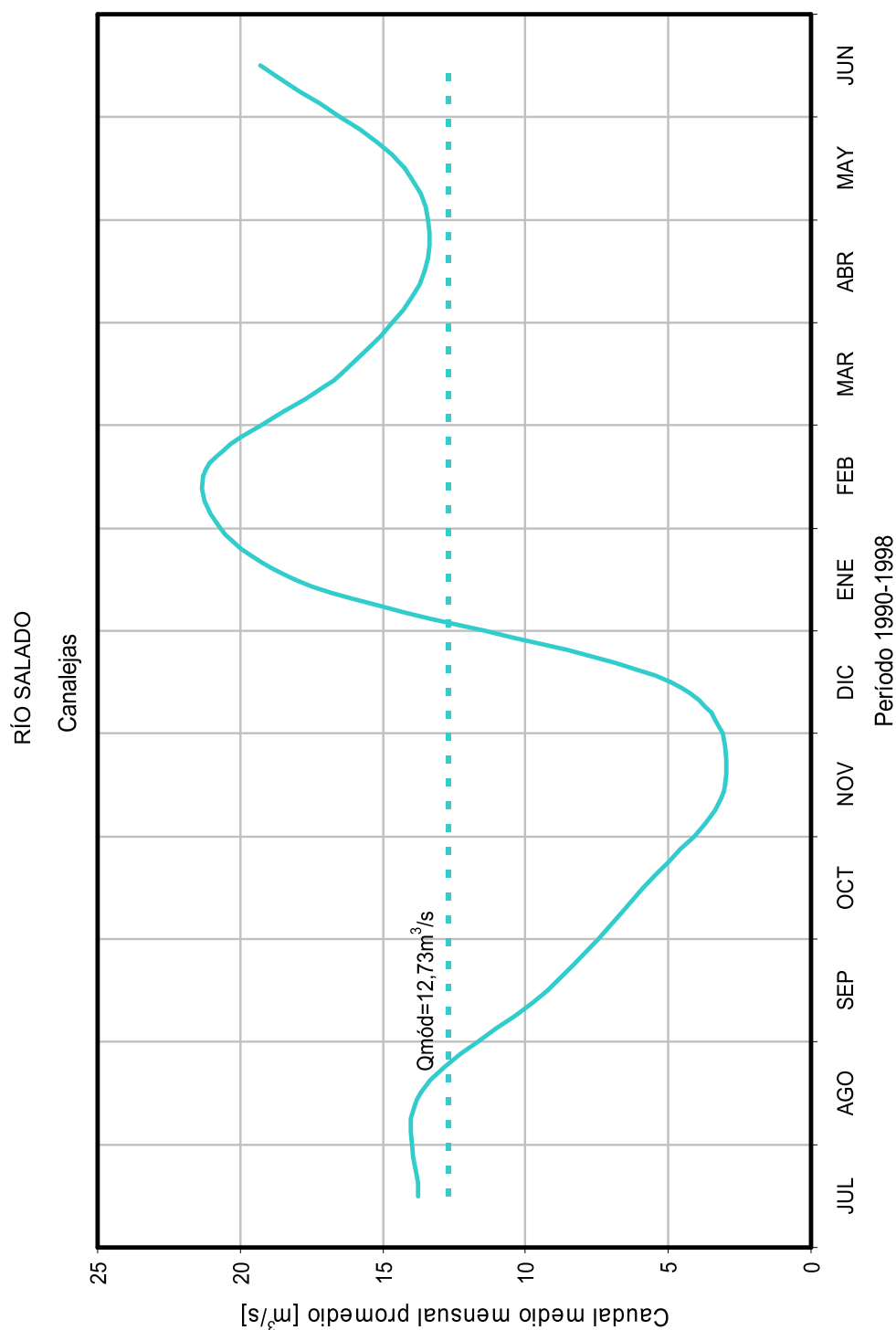
Figura 17. Modelo de análisis – Bañados del Atuel



A continuación se incluyen los caudales medios mensuales promedio de los ríos involucrados en el análisis de los Bañados del Atuel. Seguido de las tablas, se elaboró el gráfico correspondiente, dado que la información gráfica permite percibir en forma más rápida y sencilla la capacidad de regulación del nodo.

Gráfico 42. Caudales medios mensuales río Salado

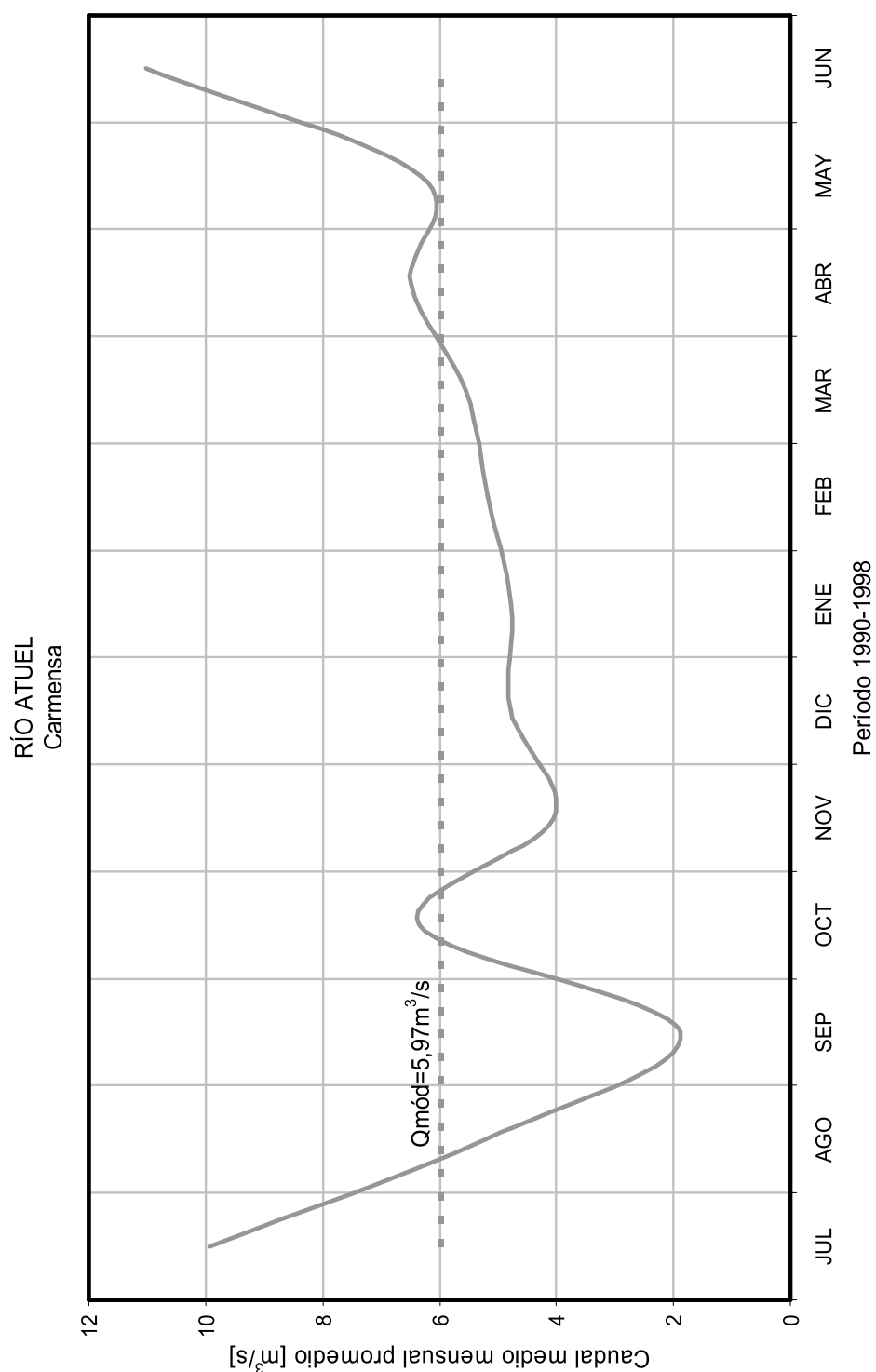
PROMEDIO DE 1990-1998	
Mes	Caudal
Julio	13,8
Agosto	13,7
Septiembre	9,2
Octubre	5,9
Noviembre	3,0
Diciembre	4,9
Enero	18,1
Febrero	21,3
Marzo	16,5
Abril	13,5
Mayo	14,3
Junio	19,3
m ³ /seg	



Fuente: Subsecretaria de Recursos Hídricos de La Nación, Estadística Hidrológica de la Rep. Argentina, Edición 2004.

Gráfico 43. Caudales medios mensuales río Atuel

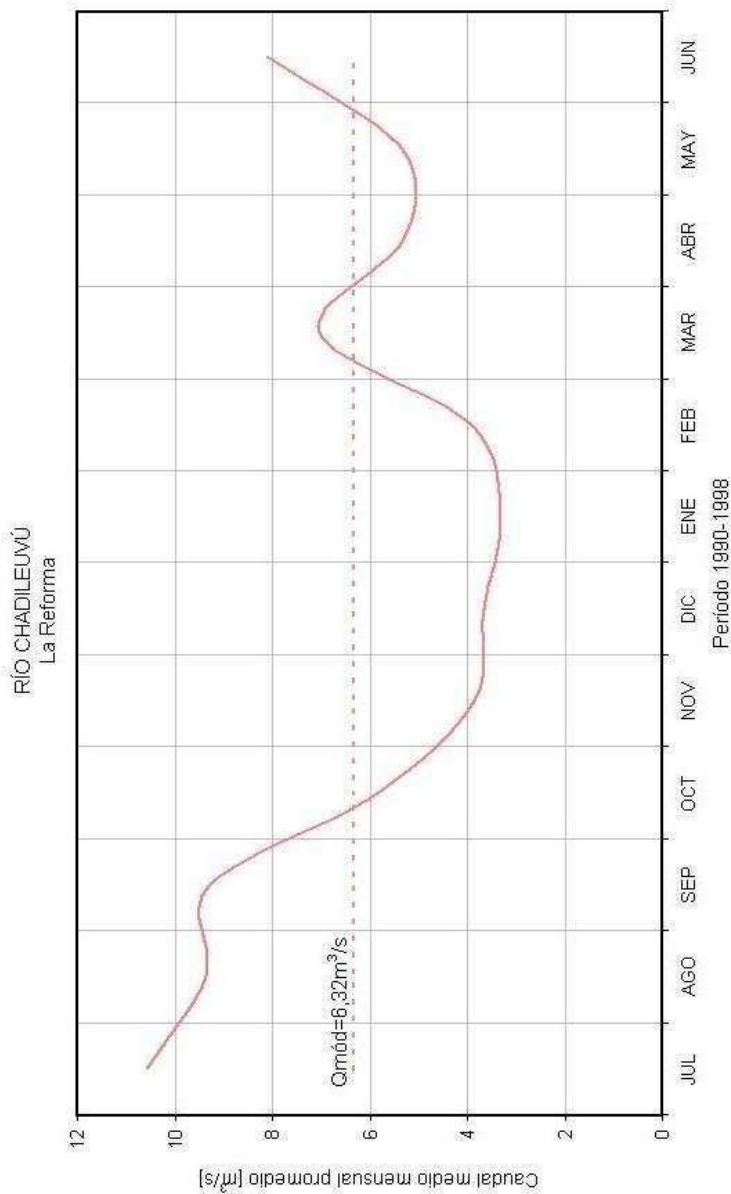
PROMEDIO DE 1990-1998	
Mes	Caudal
Julio	9,9
Agosto	5,2
Septiembre	1,9
Octubre	6,3
Noviembre	4,0
Diciembre	4,8
Enero	4,8
Febrero	5,2
Marzo	5,5
Abril	6,5
Mayo	6,3
Junio	11,0
m ³ /seg	



Fuente: Subsecretaria de Recursos Hídricos de La Nación, Estadística Hidrológica de la Rep. Argentina, Edición 2004.

Gráfico 44. Caudales medios mensuales río Chadileuvú

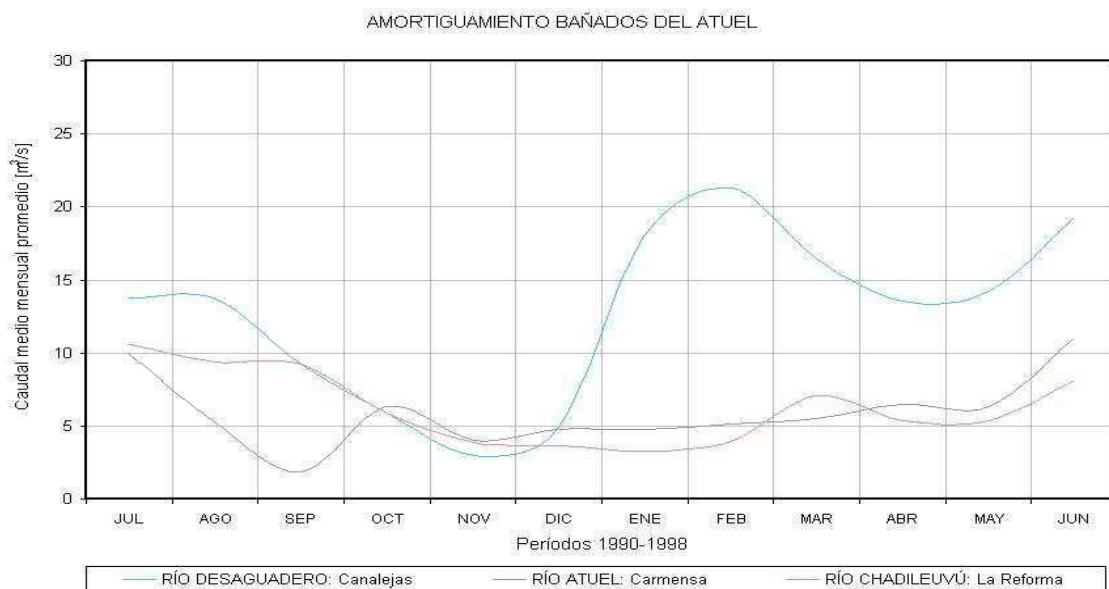
PROMEDIO DE 1990-1998	
Mes	Caudal
Julio	10,6
Agosto	9,4
Septiembre	9,3
Octubre	5,9
Noviembre	3,9
Diciembre	3,7
Enero	3,3
Febrero	3,9
Marzo	7,0
Abril	5,3
Mayo	5,3
Junio	8,1
	m ³ /seg



Fuente: Subsecretaría de Recursos Hídricos de La Pampa, Argentina.

Superponiendo los hidrogramas precedentes (Desaguadero, Atuel y Salado), se observa el efecto de amortiguamiento de los Bañados del Atuel, ubicados aguas arriba de la estación hidrométrica La Reforma.

Gráfico 45. Amortiguamiento Bañados del Atuel



Fuente: Subsecretaría de Recursos Hídricos de La Nación, Estadística Hidrológica de la Rep. Argentina, Edición

Se observa el comportamiento atípico de estos ríos con caudales pico en los meses de junio/julio y un segundo Qp^4 en febrero en el caso del río Salado a la altura de Canalejas. Se distingue la amortiguación que los bañados del Atuel ejercen sobre el Salado debido a la reducción del caudal pico en un 50%, y en el caso del pico de febrero, éste se ve reducido luego en marzo al observar el hidrograma del río Chadileuvú en La Reforma.

El comportamiento atípico mencionado es posiblemente atribuido a la acción antrópica en la zona que produjo el cambio de los hidrogramas; donde se observa que el comportamiento hidrodinámico del río lejos se encuentra de un río de origen nival.

⁴ Caudal pico del hidrograma

Tabla 35. Tabla resumen – Capacidad reguladora de los Bañados del Atuel

PERÍODO 1990-1998					
RÍO	ESTACIÓN	CAUDAL MODULO	CAUDAL PICO	TIEMPO PICO	ΔQ_{pico}
SALADO	Canalejas	12,73	21,30	Febrero	-50%
ATUEL	Carmensa	5,97	11,02	Junio	-4%
SALADO	La Reforma	6,32	10,58	Julio	
		m ³ /seg	m ³ /seg		

Los resultados presentados corresponden a los promedios mensuales de los años analizados. En el gráfico a continuación se presentan, en forma cronológica y para el período de registro seleccionado, los caudales mensuales de las estaciones analizadas. Se agregó una nueva estación de análisis ubicada sobre el Arroyo la Barda del río Atuel, aguas arriba de la descarga del mismo a los bañados.

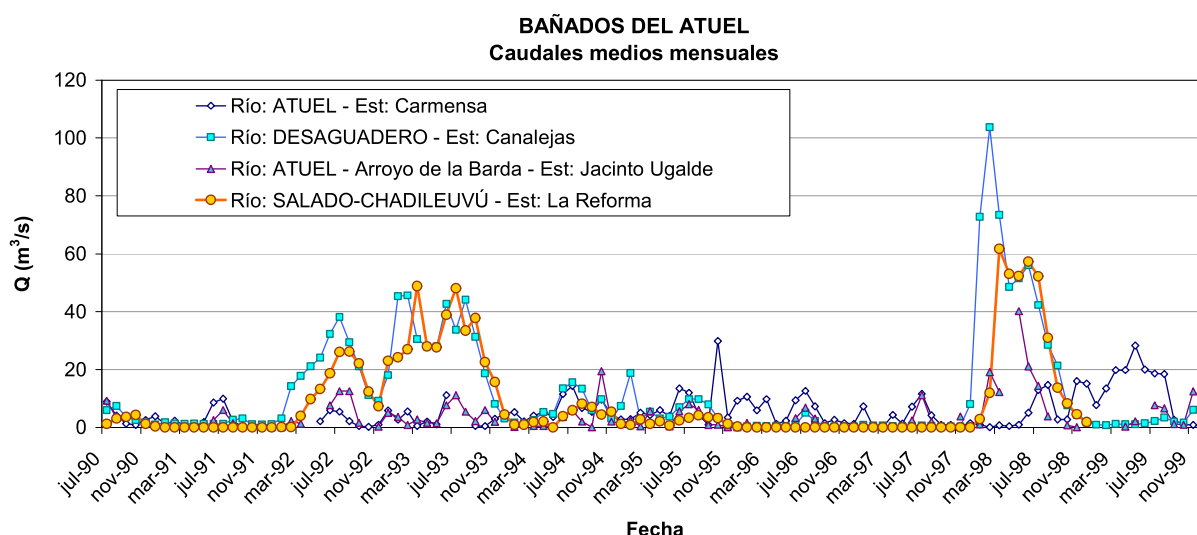


Gráfico 46. Caudales medios mensuales – Bañados del Atuel

El gráfico indica que los registros en la estación La Reforma siguen una forma similar a los caudales medios mensuales del Salado. En algunos de los años, los caudales medios mensuales registrados aguas abajo de los bañados son menores a los afluentes, lo que indicaría algún grado de atenuación de crecidas por parte de los bañados. Los caudales aportados por el río Atuel son bajos comparados con los del Salado.

3.6.3. Nodo 3R: Bañados del Tunuyán

Los bañados del Tunuyán son alimentados por los ríos Tunuyán y Desaguadero y descarga sobre este último.

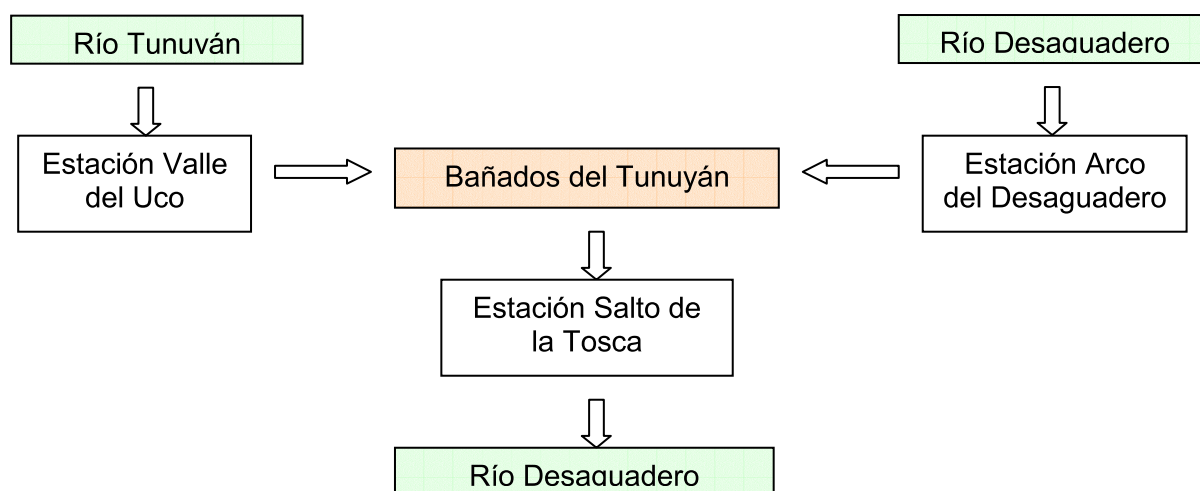
Para realizar el análisis de este sistema, se han seleccionado las siguientes estaciones representativas de cada río:

Tabla 36. Estaciones representativas – Bañados de Tunuyán

Río	Estación representativa	Serie de Datos (años disponibles)
Tunuyán	Valle del Uco	1954-2004
Desaguadero	Arco del Desaguadero	1941-1946
Desaguadero	Salto de la Tosca	1943-1948

Para la selección de eventos correspondiente a los Bañados de Tunuyán, se utilizó una serie hidrológica que va desde el año 1941 hasta 1948 y 1954 hasta 1959. Si bien no se debería superponer los efectos de estas dos series, dado que son las más próximas halladas en el tiempo para las estaciones dadas y no se cuenta con otra información mas precisa, se procederá al análisis de estas series teniendo en cuenta la salvedad hecha anteriormente.

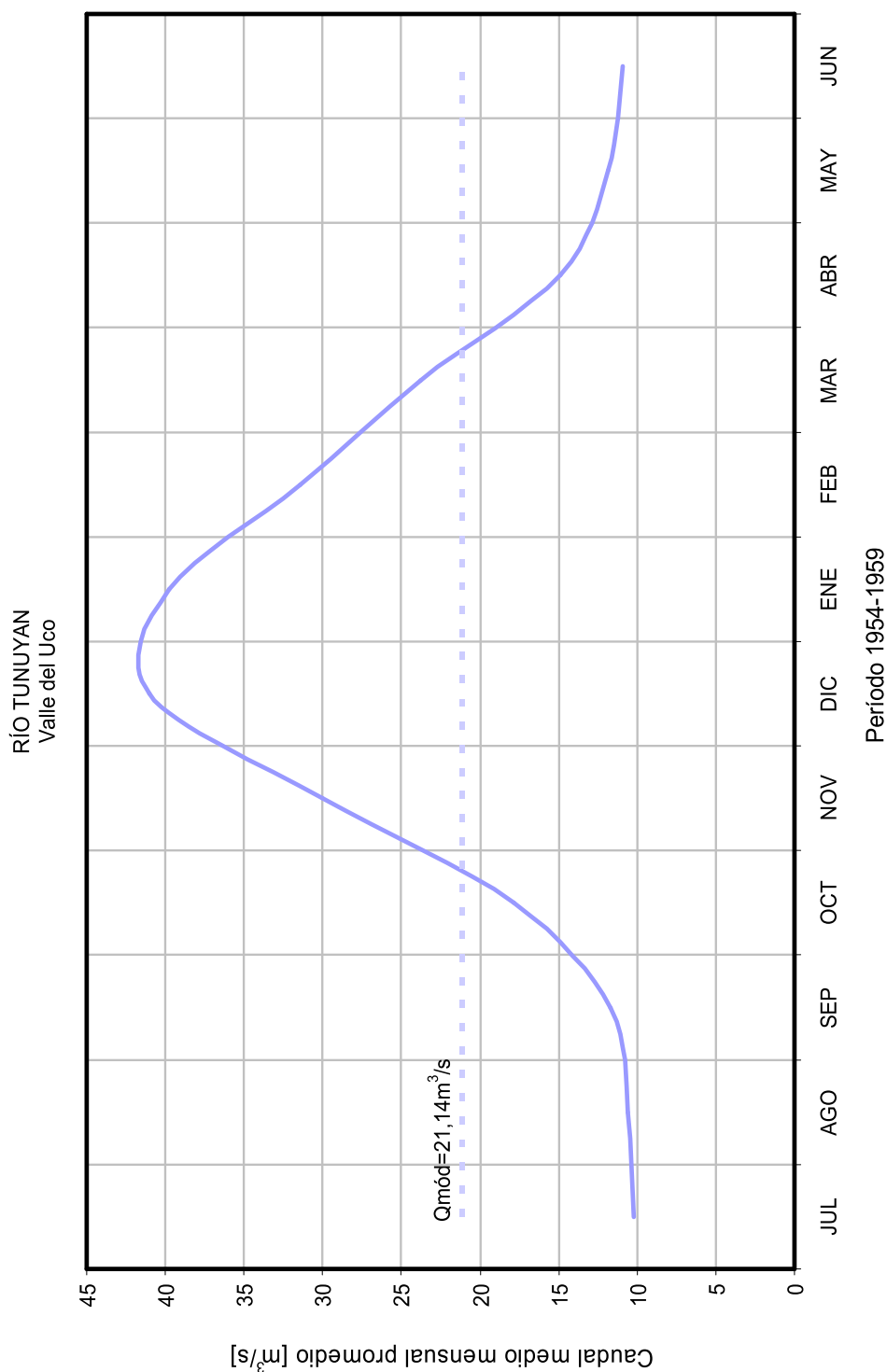
Figura 18. Modelo de análisis – Bañados de Tunuyán



A continuación se incluyen los caudales medios mensuales promedio de los ríos involucrados en el análisis de los Bañados del Tunuyán. Seguido de las tablas, se elaboró el gráfico correspondiente, dado que la información gráfica permite percibir en forma más rápida y sencilla la capacidad de regulación del nodo.

Gráfico 47. Caudales medios mensuales río Tunuyán

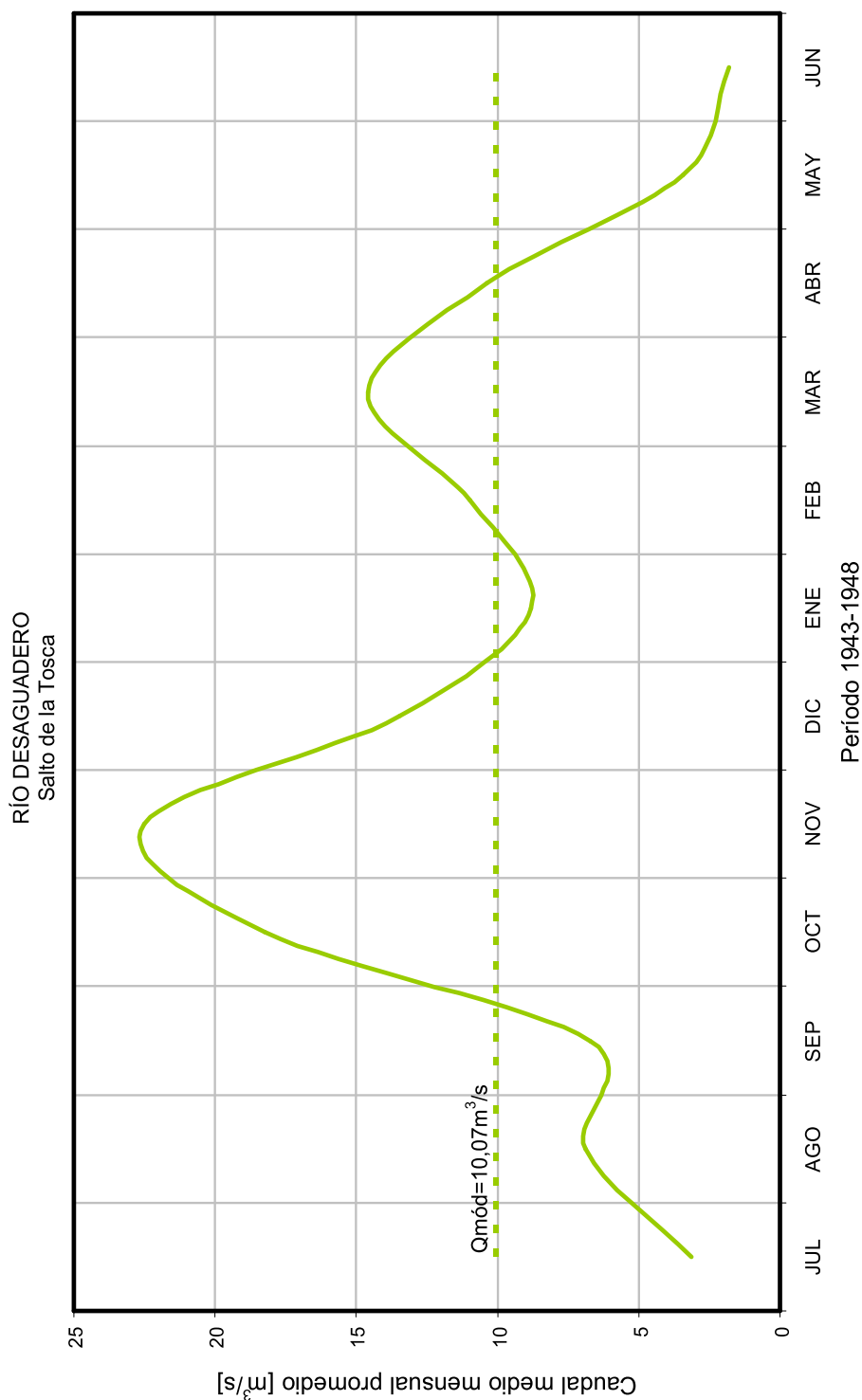
PROMEDIO DE 1954-1959	
Mes	Caudal
Julio	10,2
Agosto	10,58
Septiembre	11,7
Octubre	17,88
Noviembre	30,04
Diciembre	41
Enero	39,74
Febrero	31,4
Marzo	23,82
Abril	14,92
Mayo	11,86
Junio	10,94
	m ³ /seg



Fuente: Subsecretaría de Recursos Hídricos de La Nación, Estadística Hidrológica de la Rep. Argentina, Edición 2004.

Gráfico 48. Caudales medios mensuales río Desaguadero

PROMEDIO DE 1943-1948	
Mes	Caudal
Julio	3,15
Agosto	6,90
Septiembre	6,72
Octubre	18,26
Noviembre	22,49
Diciembre	13,47
Enero	8,82
Febrero	10,97
Marzo	14,57
Abril	10,36
Mayo	3,45
Junio	1,80
	m ³ /seg



Fuente: Subsecretaría de Recursos Hídricos de La Nación, Estadística Hidrológica de la Rep. Argentina, Edición 2004.

Superponiendo los hidrogramas precedentes (Arco del Desaguadero, Tunuyán y Salto de la Tosca), se observa el efecto de amortiguamiento de los Bañados de Tunuyán, ubicados aguas arriba de la estación hidrométrica Salto de la Tosca, actualmente suspendida:

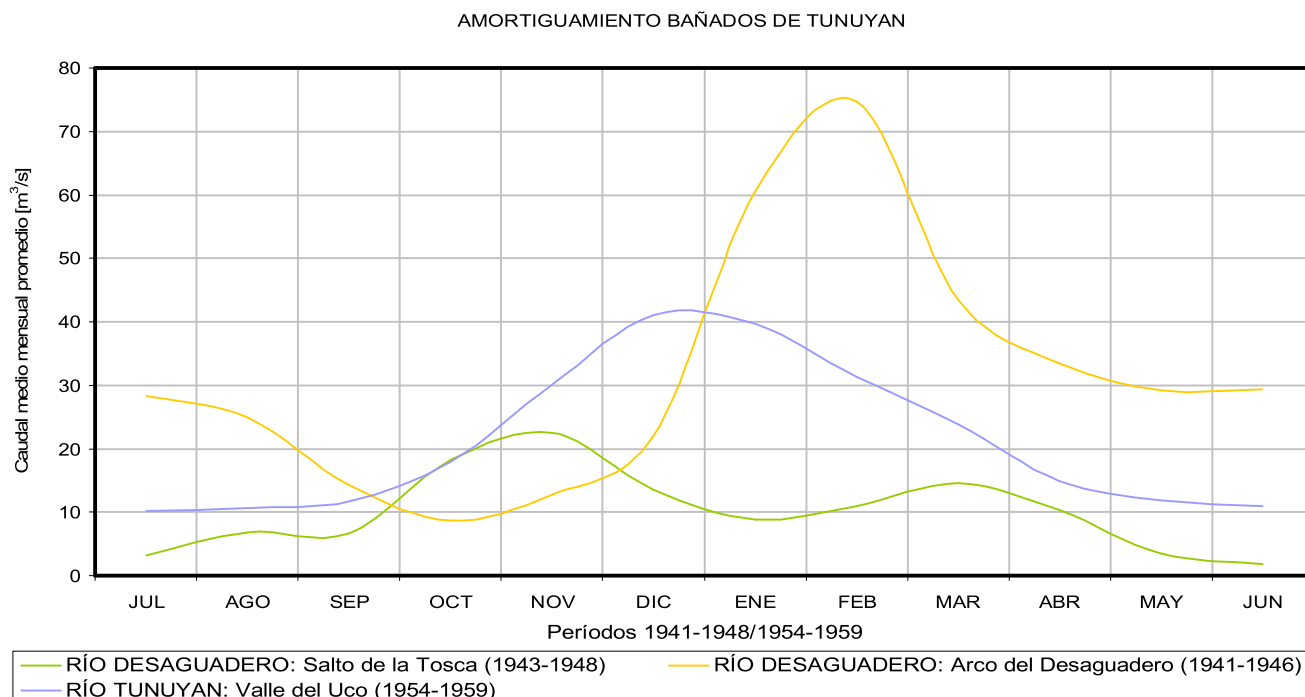


Gráfico 49. Amortiguamiento Bañados de Tunuyán

Fuente: Subsecretaría de Recursos Hídricos de La Nación, Estadística Hidrológica de la Rep. Argentina, Edición 2004.

Al comparar los valores del caudal pico de cada estación aguas arriba de los Bañados de Tunuyán respecto de la estación aguas abajo de los mismos (Salto de la Tosca), se observan considerables reducciones del caudal pico del río Desaguadero a la altura de la estación Arco del Desaguadero, del 80% de su valor inicial, mientras que el Qp^5 del río Tunuyán se ve reducido en un 64%.

También se puede concluir que existe un retraso del tiempo en el que se llega al caudal pico. El mismo es de tres meses respecto del tiempo pico del Tunuyán producido en Diciembre y de un mes respecto del tiempo pico del Desaguadero (Arco del Desaguadero) producido en Febrero. Ambos comparados con el tiempo pico del Desaguadero en Salto de la Tosca el cual se produce en el mes de marzo.

⁵ Caudal pico del hidrograma

Tabla 37. Tabla resumen – Capacidad reguladora de los Bañados del Tunuyán

PERÍODO 1941-1948 / 1954-1959					
RÍO	ESTACIÓN	CAUDAL MODULO	CAUDAL PICO	TIEMPO PICO	ΔQ_{pico}
DESAGUADERO	Arco del Desaguadero	31,57	74,66	Febrero	-80%
TUNUYAN	Valle del Uco	21,14	41,00	Diciembre	-64%
DESAGUADERO	Salto de la Tosca	10,07	14,57	Marzo (*)	
		m ³ /seg	m ³ /seg		

(*) Se toma en cuenta el segundo pico del hidrograma

Los resultados presentados corresponden a los promedios mensuales de los años analizados. En el gráfico a continuación se presentan, en forma cronológica y para el período de registro seleccionado, los caudales mensuales de dos estaciones. Solo se incluyeron en el gráfico las series que presentan un período de registro coincidente.

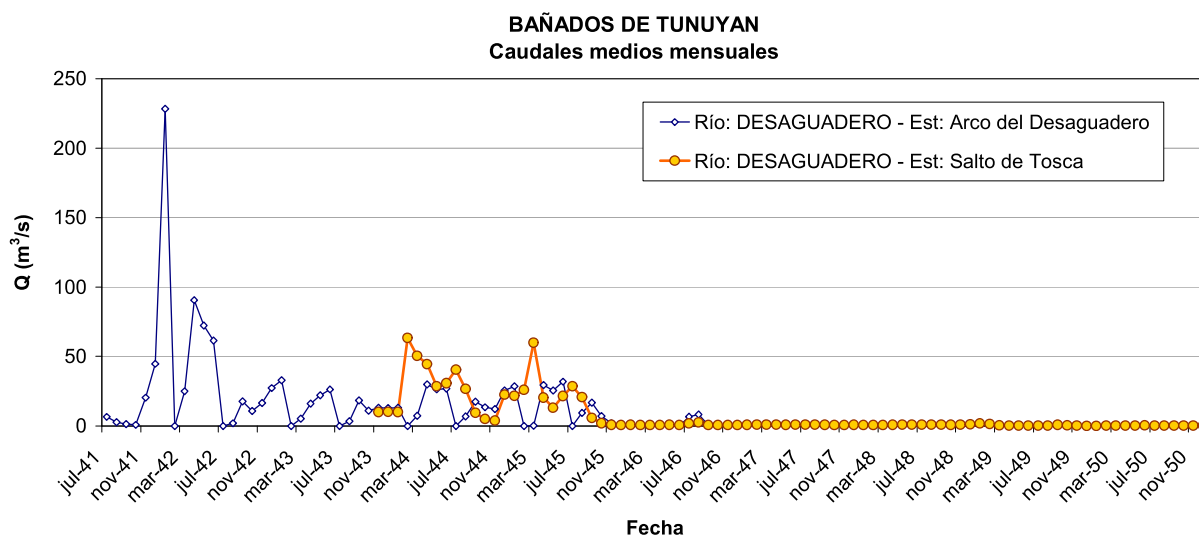


Gráfico 50. Caudales medios mensuales – Bañados de Tunuyán

De acuerdo al gráfico, los máximos registros mensuales observados en el río Desaguadero, en la estación aguas abajo de los bañados, son mayores que los registrados aguas arriba sobre el mismo curso. El río Tunuyán presenta series de aforos a partir del año 1954, por lo que es imposible superponer los registros. Los máximos caudales mensuales del río Tunuyán se registran en los meses de Diciembre a Enero y podrían ser los que alimentan al río Desaguadero, a través de los bañados con algunos meses de retardo.

3.6.4. Nodo 4R: Lagunas del Guanacache

3.6.4.1. Evolución de las Lagunas de Guanacache

Las lagunas o humedales del Guanacache se encuentran en la zona limítrofe de la provincias de Mendoza, San Juan y San Luis.



El área incluye parte de la zona sur de los departamentos de Sarmiento y 25 de Mayo, en la Provincia de San Juan y la zona norte del departamento de Lavalle, en la Provincia de Mendoza.

Es un sistema exorreico de lagunas y bañados encadenados, alimentados por los ríos Mendoza y San Juan y, antiguamente, los desagües del Bermejo, que descarga por el río Desaguadero. Alcanza una extensión de más de 200 Km. y cubre un área potencial de 10.000 Km². Representa históricamente uno de los humedales más extensos de la Región del Gran Cuyo, el cual mantiene una población de aproximadamente 2.000 habitantes de origen hispano-aborigen ("Laguneros").

Las Lagunas de Guanacache representaban antiguamente un verdadero sustento para las comunidades Huarpes, que habitaron la región desde al menos el año 300 d.c. y hasta mediados del siglo XVI. Las actividades agropecuarias que practicaban dependían de pulsos de crecidas de origen fluvial, que regaban grandes extensiones de campo o "Ciénagas". Cuando bajaba el agua, los suelos se aprovechaban para la agricultura y, más recientemente, para el pastoreo de ganado. La pesca, otra de las actividades tradicionales, se realizaban con balsas de Totorá o Juncos. La relación de los "Laguneros" con las Lagunas de Guanacache fue muy positiva hasta entrado el siglo XVI.

En los últimos tiempos las Lagunas han sufrido un proceso de desecamiento que las ha llevado a la casi total desaparición. Las causas de este proceso se deben tanto a factores antrópicos, como la utilización del agua en los "oasis" para consumo humano, riego, uso industrial y canalización de los cauces naturales de los ríos; y a factores naturales como los cambios en el nivel de base de los ríos, erosión retrocedente de las barrancas del río Desaguadero, excesiva acumulación de sedimentos aluviales en las cubetas lacunares, deriva del cauce del río Mendoza y formación de cárcavas en bañados, ciénagas y lagunas.

En la actualidad las provincias de San Juan y Mendoza, en forma conjunta, están llevando a cabo un programa de rehabilitación y manejo del humedal, para la recuperación de al menos una parte del sistema.

Las Lagunas del Guanacache son alimentadas por los ríos San Juan y Jáchal y descarga sobre el río Desaguadero. En la antigüedad también era alimentado por los aportes del río Bermejo y del Mendoza. Este último ha dejado de ser un afluente de estos lagunares para pasar a ser un afluente del río San Juan.

3.6.4.2. Análisis del Nodo 4R: Lagunas de Guanacache

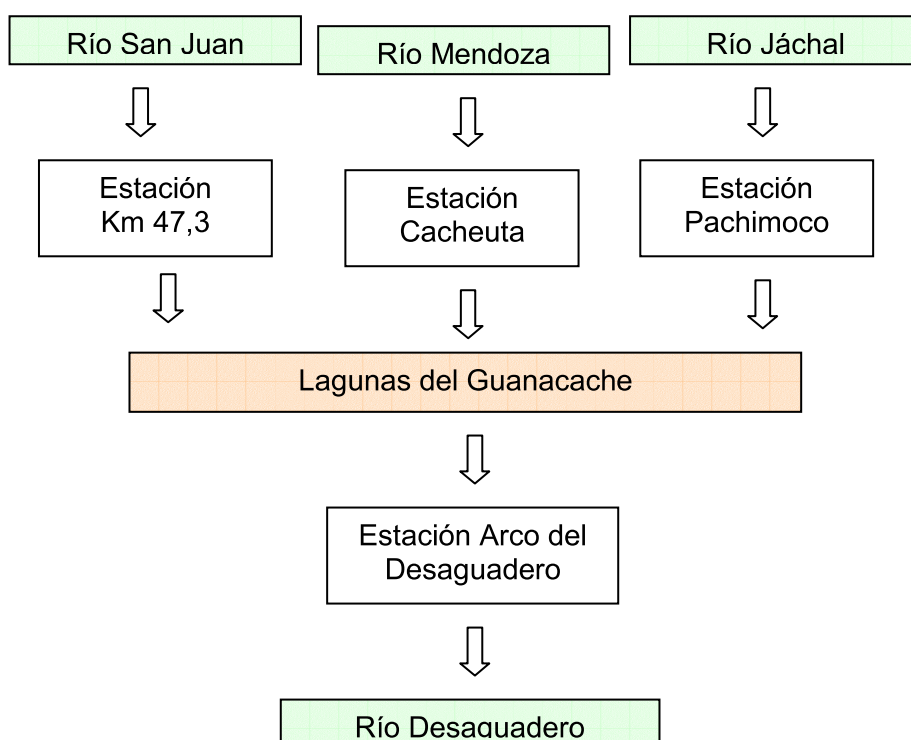
Siguiendo las mismas hipótesis ya mencionadas para el análisis hidrológico, en función de la información disponible, para realizar el análisis de este sistema, se han seleccionado las siguientes estaciones representativas de cada río:

Tabla 38. Estaciones representativas. Lagunas de Guanacache

Río	Estación representativa	Serie de Datos (años disponibles)
San Juan	Km 47,3	1909-2004
Jáchal	Pachimoco	1921-1928, 1936-1990
Mendoza	Cacheuta	1909-1990
Desaguadero	Arco del Desaguadero	1941-1946

En función de lo expuesto en la tabla anterior, se advierte que para el lapso 1941-1946 se cuenta con las series hidrológicas completas de las cuatro estaciones, por lo que será dicho período el elegido para llevar a cabo el análisis. Dado que el período de tiempo es muy breve, se deberá tener en cuenta esta salvedad a la hora de analizar la representatividad de los resultados obtenidos.

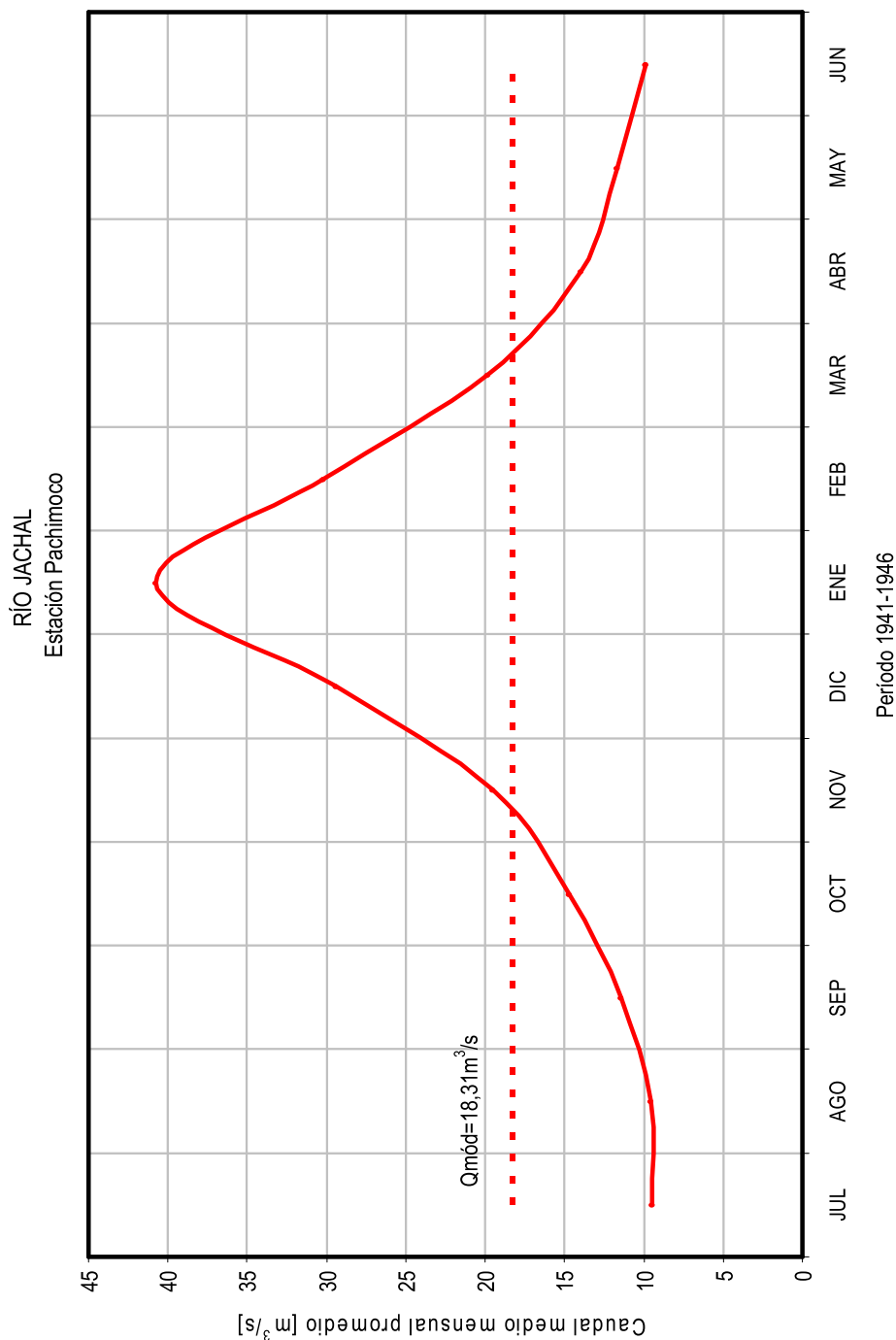
Figura 19. Modelo de análisis - Lagunas de Guanacache



A continuación se incluyen los caudales medios mensuales promedio de los ríos involucrados en el análisis de las Lagunas del Guanacache. Seguido de las tablas, se elaboró el gráfico correspondiente, dado que la información gráfica permite percibir en forma más rápida y sencilla la capacidad de regulación del nodo.

Gráfico 51. Caudales medios mensuales río Jáchal

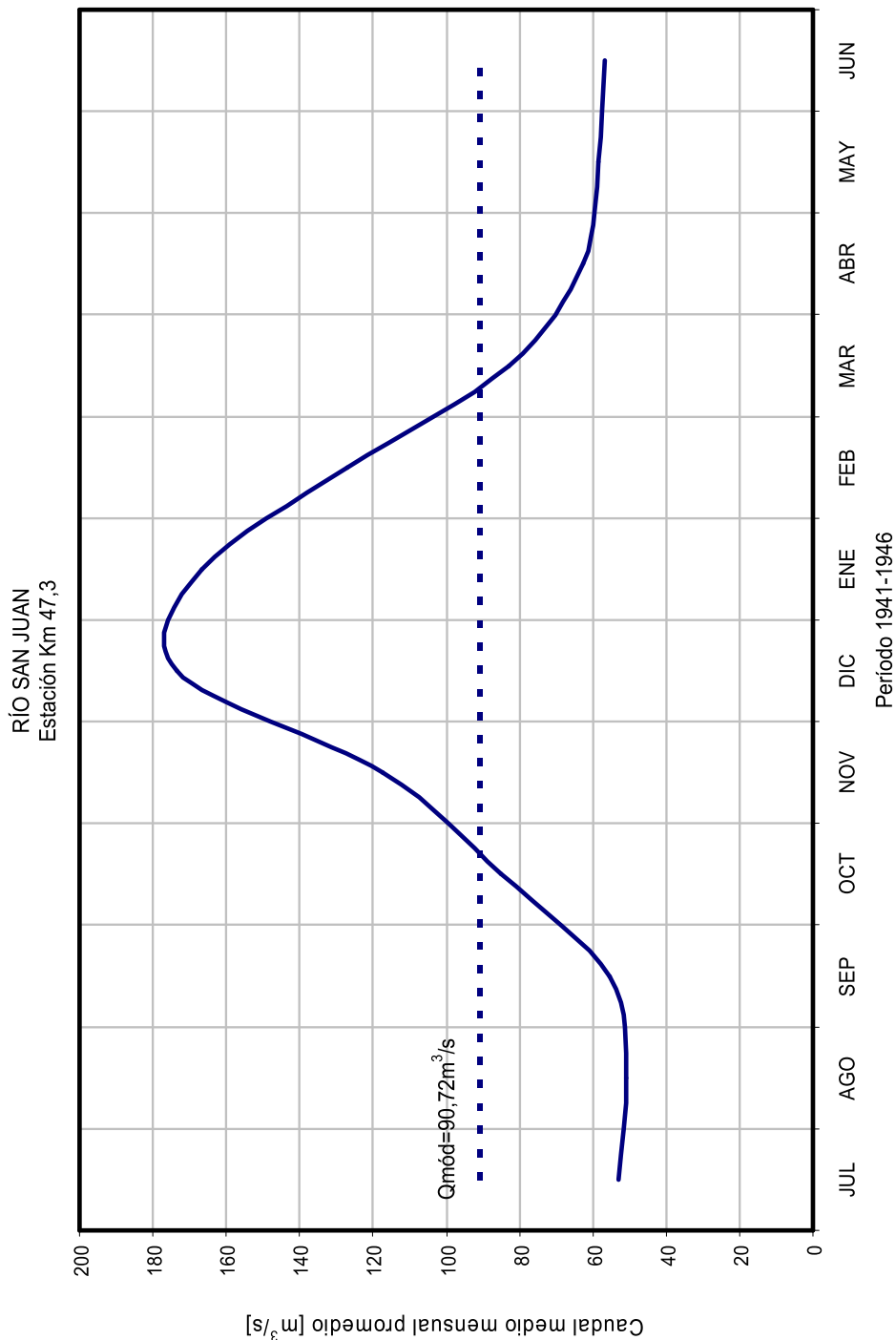
PROMEDIO DE 1941-1946	
Mes	Caudal
Julio	9,44
Agosto	9,52
Septiembre	11,44
Octubre	14,66
Noviembre	19,5
Diciembre	29,4
Enero	40,74
Febrero	30,18
Marzo	19,86
Abril	13,96
Mayo	11,68
Junio	9,9
m ³ /seg	



Fuente: Subsecretaría de Recursos Hídricos de La Nación, Estadística Hidrológica de la Rep. Argentina, Edición 2004.

Gráfico 52. Caudales medios mensuales río San Juan

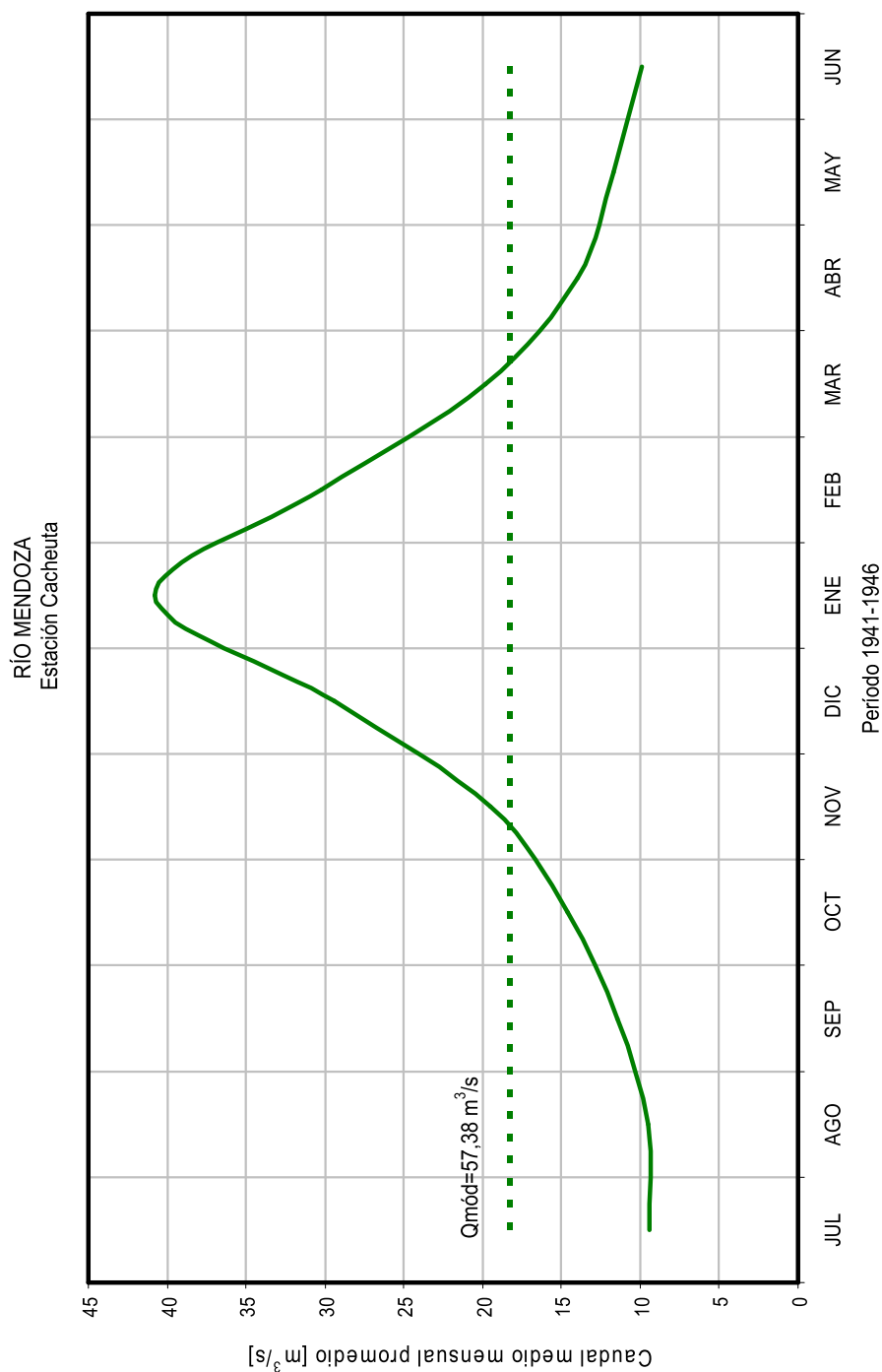
PROMEDIO DE 1941-1946	
Mes	Caudal
Julio	52,94
Agosto	50,98
Septiembre	55,44
Octubre	84,88
Noviembre	117,44
Diciembre	173,42
Enero	166,64
Febrero	126,96
Marzo	83,02
Abril	62,66
Mayo	58,64
Junio	56,8
m ³ /seg	



Fuente: Subsecretaría de Recursos Hídricos de La Nación, Estadística Hidrológica de la Rep. Argentina, Edición 2004.

Gráfico 53. Caudales medios mensuales río Mendoza

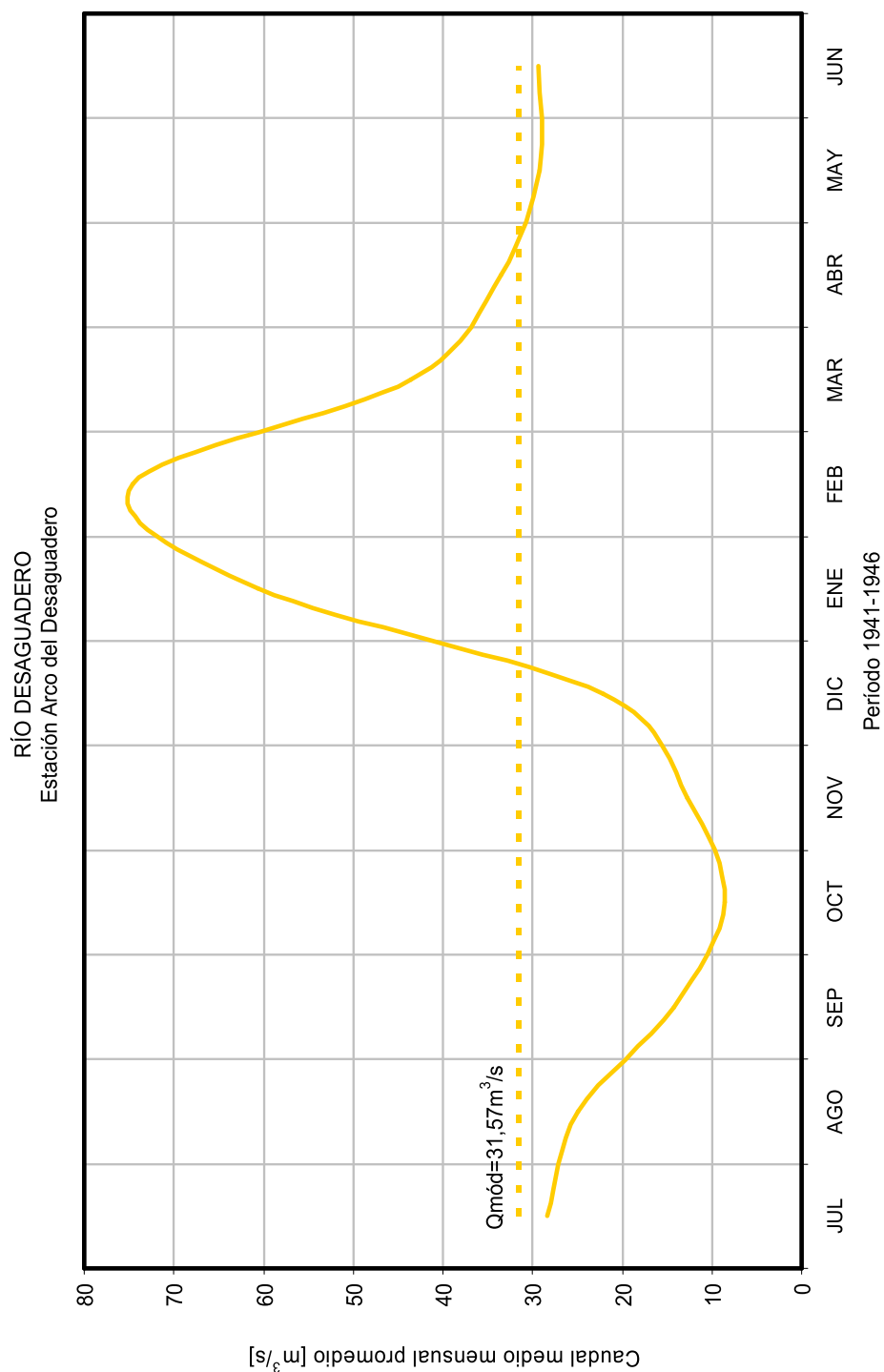
PROMEDIO DE 1941-1946	
Mes	Caudal
Julio	24,50
Agosto	22,94
Septiembre	26,86
Octubre	40,82
Noviembre	49,02
Diciembre	110,80
Enero	149,58
Febrero	108,52
Marzo	64,00
Abril	36,08
Mayo	30,46
Junio	27,04
	m ³ /seg



Fuente: Subsecretaría de Recursos Hídricos de La Nación, Estadística Hidrológica de la Rep. Argentina, Edición 2004.

Gráfico 54. Caudales medios mensuales río Desaguadero

PROMEDIO DE 1941-1946	
Mes	Caudal
Julio	28,32
Agosto	24,88
Septiembre	14,3
Octubre	8,6
Noviembre	12,8
Diciembre	22,12
Enero	60,6
Febrero	74,66
Marzo	43,54
Abril	33,5
Mayo	29,26
Junio	29,3
	m ³ /seg



Fuente: Subsecretaria de Recursos Hídricos de La Nación, Estadística Hidrológica de la Rep. Argentina, Edición 2004.

Superponiendo los hidrogramas precedentes, se observa el efecto de amortiguamiento de la Laguna de Guanacache, ubicada aguas arriba de la estación hidrométrica Arco del Desaguadero, actualmente suspendida:

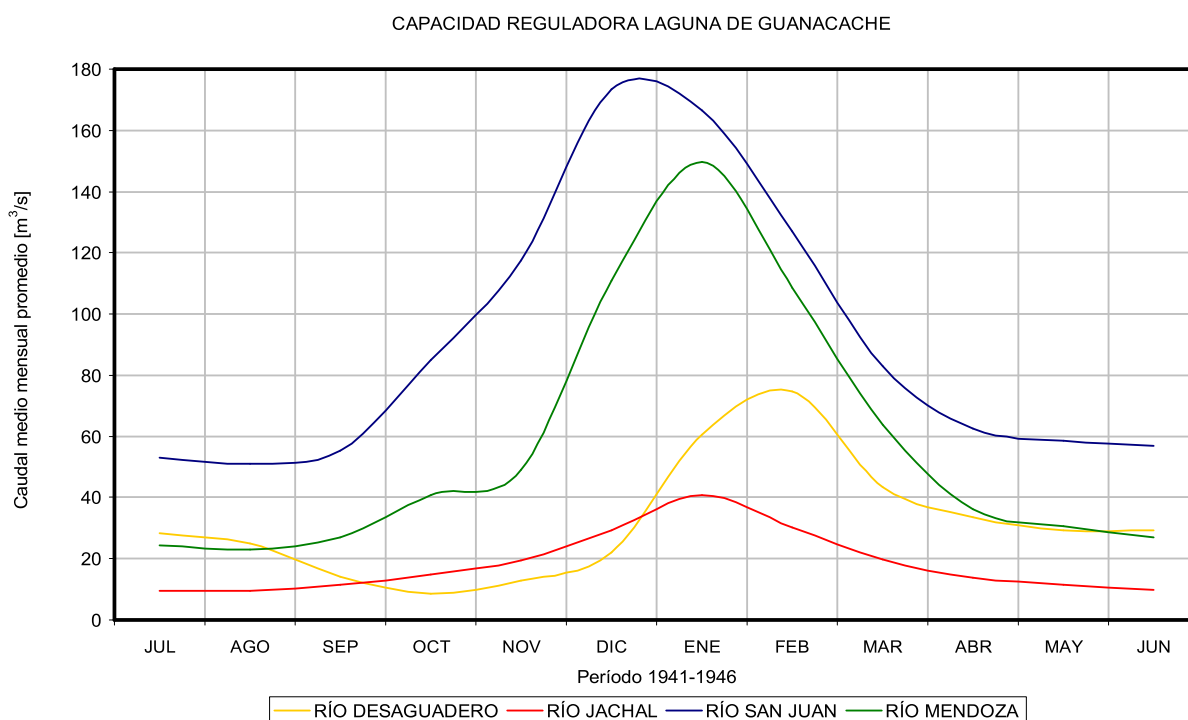


Gráfico 55. Capacidad reguladora - Lagunas de Guanacache

Fuente: Subsecretaría de Recursos Hídricos de La Nación, Estadística Hidrológica de la Rep. Argentina, Edición 2004.

El gráfico obtenido muestra una considerable reducción del caudal pico del río San Juan (57 %) y del río Mendoza (50 %). El río Jáchal, por el contrario, resulta tener un caudal pico menor que el resultante aguas abajo de la laguna (su caudal pico aumenta un 83%). Esta disminución se puede deber a varios factores, como son la infiltración, la evapotranspiración y diferentes acciones antrópicas en la zona.

También se puede concluir que existe un retraso del tiempo en el que se llega al caudal pico. El retraso que presenta el hidrograma del río Desaguadero en la estación Arco del Desaguadero es de dos meses respecto del tiempo al pico del río San Juan producido en Diciembre y de un mes respecto del tiempo pico del río Jáchal y Mendoza.

Es importante reiterar que por el periodo de tiempo adoptado para el análisis de la regulación (según datos disponibles) y por la ubicación de las estaciones de registro en los ríos Jáchal, San Juan, y Mendoza, el hidrograma del río Desaguadero (en la estación Arcos del Desaguadero) no representa el efecto regulador de los embalses construidos, con posterioridad al año 1946, en los ríos citados. Además, no fue considerado el uso consuntivo del agua en el periodo analizado.

Tabla 39. Tabla resumen – Capacidad reguladora de las Lagunas del Guanacache

PERÍODO 1941-1946					
RIO	ESTACION	CAUDAL MODULO	CAUDAL PICO	TIEMPO PICO	ΔQ_{pico}
JACHAL	Pachimoco	18,31	40,74	Enero	83%
MENDOZA	Cacheuta	57,38	149,58	Enero	-50%
SAN JUAN	Km 47,3	90,72	173,42	Diciembre	-57%
DESAGUADERO	Arco del Desaguadero	31,57	74,66	Febrero	
		[m ³ /seg]	[m ³ /seg]		

Los resultados presentados corresponden a los promedios mensuales de los años analizados. En el gráfico a continuación se presentan, en forma cronológica y para el período de registro seleccionado, los caudales mensuales de las estaciones analizadas.

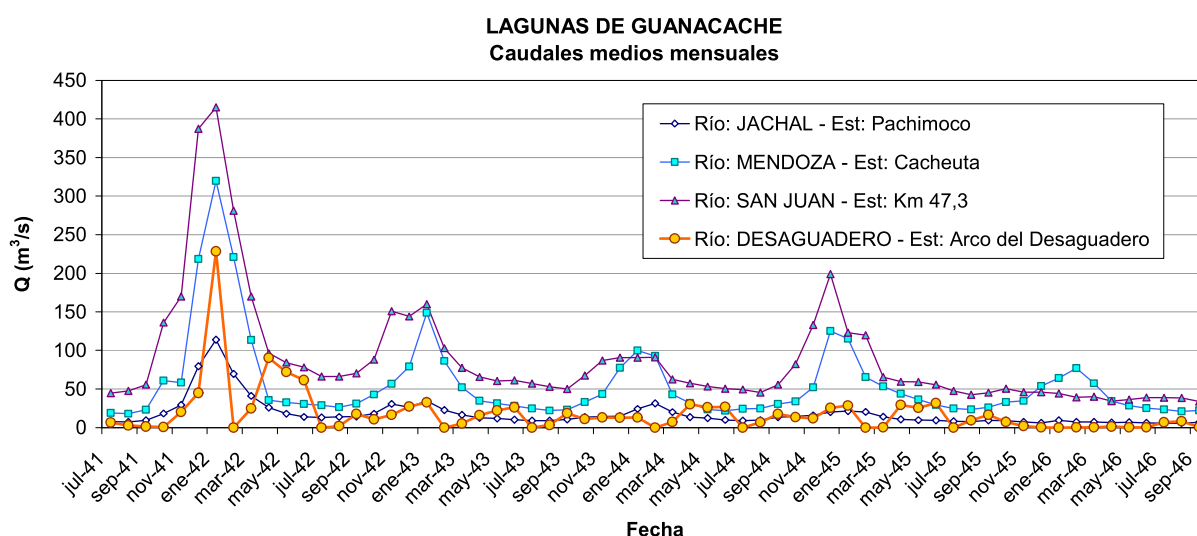


Gráfico 56. Caudales medios mensuales – Lagunas de Guanacache

Puede observarse que en algunos casos, como son los años 42, 43 y 45, el mes de registro de los caudales máximos mensuales de los ríos San Juan, Mendoza y Jáchal coincide con el del río Desaguadero. Sin embargo se puede apreciar que los valores máximos registrados aguas abajo de las lagunas son menores y se observa un segundo pico desplazado tres meses. Este fenómeno podría atribuirse a la regulación natural de las lagunas.



CAPITULO 4: LA SALINIDAD EN EL SISTEMA

Uno de los principales problemas que se presenta en la cuenca del Desaguadero-Salado-Chadileuvú-Curacó es el alto nivel de salinidad. La salinidad es un factor relevante en las aguas que integran toda la cuenca, ya que gran parte de ella es usada como suministro para riego.

Cabe destacar que debido a la gran magnitud de la cuenca, la cual ocupa el 22 % del territorio Nacional, hacen que el análisis de la problemática involucre a varias jurisdicciones que presentan intereses unívocos sobre la mencionada cuenca.

En la primera parte del capítulo se presenta una descripción general de salinidad, formas de cuantificación de la misma y la relación entre los niveles de salinidad y tolerancia de cultivos según normas internacionales. Luego se buscará establecer cual es el recorrido de la sal por el sistema, analizando sus orígenes, el transporte de la misma y otros aspectos de relevancia que se detallaran a lo largo del informe.

4.1. Salinidad y cultivos

La salinidad se define como la concentración de sales minerales disueltas, presentes en el agua o en el suelo, referidas a una unidad de volumen o de peso. Todas las aguas de riego contienen sales disueltas, cuyo tipo y cantidad depende de su origen y del curso que hayan seguido antes de su utilización [Tanji, 1990].

Existen diferentes parámetros para medir la salinidad:

- CE_w : conductividad eléctrica del agua de riego. Se utiliza como medida indirecta de la concentración de sólidos disueltos totales (SDT). Se expresa en deciSiemens por metro (dS/m).

$$1 \text{ dS/m} = 1 \text{ mmho/cm} = 1 \text{ mS/cm} = 1.000 \text{ } \mu\text{S/cm}$$

- SDT: sólidos disueltos totales. Para la mayoría de las aplicaciones agrícolas existe una relación directa entre los valores de conductividad eléctrica (CE) y los de SDT con una precisión en torno al 10 %. Adoptando una conversión general que permita estimar de modo aproximado la relación se utiliza:

$$SDT \approx CE \cdot 640 \quad (\text{mg/l})$$

- RAS ó SAR: relación de adsorción de sodio. Da una idea de la cantidad de sodio presente en el agua de riego en relación con otros cationes y se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$RAS = Na / \sqrt{(Ca + Mg) / 2}$$

A continuación se incluyen tablas elaboradas por diferentes autores, con diversos indicadores de la calidad de agua para riego. En la mayoría de ellas se utilizan los indicadores mencionados anteriormente o valores de concentración de un determinado elemento, como por ejemplo partes por millón (ppm) de Boro.

Clase de agua	CE [$\mu\text{S}/\text{cm}$]	TDS [mg/l]
Excelente	250	175
Buena	250-750	175-525
Permisible	750-2.000	525-1.400
Uso dudoso	2.000-3.000	1.400-2.100
Inapropiada	3.000	2.100

Tabla 40. Clasificación de las aguas según la salinidad del agua de riego (James, et al , 1982)

VALORES INDICATIVOS DE CALIDAD DE AGUA PARA RIEGO						
Problemas potenciales en el riego			Grado de restricción en el uso			Unidad
			Ninguno	Ligero a moderado	Estricto	
Salinidad, afecta a la disponibilidad de agua para los cultivos.	CE _w		< 0,7	0,7-3,0	> 3,0	dS/m
	SDT		< 450	450-2000	> 2000	mg/l
Permeabilidad, afecta a la velocidad de infiltración del agua en el suelo. Se evalúa utilizando CE _w y RAS juntos.	RAS = 0-3	CE _w :	≥ 0,7	0,7-0,2	< 0,2	dS/m
	RAS = 3-6	CE _w :	≥ 1,2	1,2-0,3	< 0,3	dS/m
	RAS = 6-12	CE _w :	≥ 1,9	1,9-0,5	< 0,5	dS/m
	RAS = 12-20	CE _w :	≥ 2,9	2,9-1,9	< 1,9	dS/m
	RAS = 20-40	CE _w :	≥ 5,0	5,0-2,9	< 2,9	dS/m
Toxicidad de iones específicos, afecta a los cultivos sensibles.	Sodio (riego superficial)		< 3	3-9	> 9	RAS
	Sodio (riego con aspersores)		< 70	> 70		mg/l
	Cloro (riego superficial)		< 140	140-350	> 350	mg/l
	Cloro (riego con aspersores)		< 100	> 100		mg/l
	Boro		< 0,7	0,7-3	> 0,3	mg/l

Tabla 41. Clasificación desarrollada por el Committee of Consultants de la Universidad de California y ampliada por Ayers y Westcot.

VALORES INDICATIVOS DE CALIDAD DE AGUA PARA RIEGO					
Problemas potenciales en el riego		Grado de restricción en el uso			Unidad
		Ninguno	Ligero a moderado	Estricto	
Otros efectos, afectarían a cultivos sensibles.	Nitrógeno (N total)	< 5	5-30	> 30	mg/l
	Bicarbonato (aspersores elevados)	< 90	90-500	> 500	mg/l
	Cloro residual (aspersores elevados)	< 1,0	1,0-5,0	> 5,0	mg/l
Acidez, afectaría a cultivos sensibles.	pH	Intervalo óptimo variable			

Tabla 41. Clasificación desarrollado por el Committee of Consultants de la Universidad de California y posteriormente ampliado por Ayers y Westcot.

Un criterio de clasificación del agua para riego muy utilizado es el establecido por las normas Riverside. A partir de los datos de conductividad eléctrica (CE) y la relación de adsorción de sodio (RAS), se establece la clasificación del agua. Es un método fundamental para definir su calidad. En el siguiente gráfico se pueden advertir las diferentes clasificaciones. Como se dijo anteriormente, este es un gráfico de doble entrada, donde entrando con los valores correspondientes a las variables CE y RAS, se obtiene una clasificación del agua constituida por dos pares de datos. El primero de ellos hace referencia a la variable CE. La variable comprende un amplio margen de valores, que van desde los 0 – 250 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (categoría C1) hasta valores mayores a 6000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, correspondientes a la categoría C6. El segundo par de datos hace referencia a la variable RAS. Los valores están comprendidos entre los reales positivos y la clasificación depende de la CE. A continuación del gráfico se encuentra una descripción sobre cada clasificación.

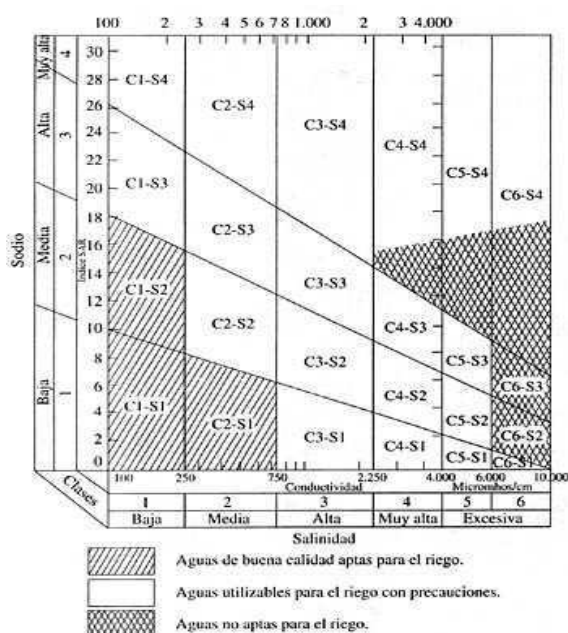


Figura 1. Normas de Riverside para evaluar la calidad de las aguas de riego.

Tabla 42. Clasificaciones de aguas según las normas Riverside

Tipos	Calidad y normas de uso
C ₁	Agua de baja salinidad, apta para el riego en todos los casos. Pueden existir problemas sólo en suelos de muy baja permeabilidad.
C ₂	Agua de salinidad media, apta para el riego. En ciertos casos puede ser necesario emplear volúmenes de agua en exceso y utilizar cultivos tolerantes a la salinidad.
C ₃	Agua de salinidad alta que puede utilizarse para el riego de suelos con buen drenaje, empleando volúmenes de agua en exceso para lavar el suelo y utilizando cultivos muy tolerantes a la salinidad.
C ₄	Agua de salinidad muy alta que en muchos casos no es apta para el riego. Sólo debe usarse en suelos muy permeables y con buen drenaje, empleando volúmenes en exceso para lavar las sales del suelo y utilizando cultivos muy tolerantes a la salinidad.
C ₅	Agua de salinidad excesiva, que sólo debe emplearse en casos muy contados, extremando todas las precauciones apuntadas anteriormente.
C ₆	Agua de salinidad excesiva, no aconsejable para riego.
S ₁	Agua con bajo contenido en sodio, apta para el riego en la mayoría de los casos. Sin embargo, pueden presentarse problemas con cultivos muy sensibles al sodio.
S ₂	Agua con contenido medio en sodio, y por lo tanto, con cierto peligro de acumulación de sodio en el suelo, especialmente en suelos de textura fina (arcillosos y franco-arcillosos) y de baja permeabilidad. Deben vigilarse las condiciones físicas del suelo y especialmente el nivel de sodio cambiante del suelo, corrigiendo en caso necesario
S ₃	Agua con alto contenido en sodio y gran peligro de acumulación de sodio en el suelo. Son aconsejables aportaciones de materia orgánica y empleo de yeso para corregir el posible exceso de sodio en el suelo. También se requiere un buen drenaje y el empleo de volúmenes copiosos de riego.
S ₄	Agua con contenido muy alto de sodio. No es aconsejable para el riego en general, excepto en caso de baja salinidad y tomando todas las precauciones apuntadas.

Tabla 43. Calidad del agua de riego en relación con su contenido en boro

Clase respecto al boro	Cultivos sensibles [ppm]	Cultivos semitolerantes [ppm]	Cultivos tolerantes [ppm]
1	< 0,33	< 0,67	> 1,00
2	0,33 a 0,67	0,67 a 1,33	1,00 a 2,00
3	0,67 a 1,00	1,33 a 2,00	2,00 a 3,00
4	1,00 a 1,25	2,00 a 2,50	3,00 a 3,75
5	> 1,25	> 2,50	> 3,75

Dentro de la bibliografía existente, es posible encontrar también tablas que clasifican a los cultivos según la sensibilidad de estos a los valores de los distintos indicadores ya mencionados. A continuación se advierten algunas de ellas.

Tabla 44. Clasificación de los cultivos según la tolerancia al riego con aguas salinas (Hass y Hoffman, 1977)

	Cultivos sensibles	Cultivos Tolerantes	Cultivos muy tolerantes
CE [$\mu\text{s}/\text{cm}$] Límite de tolerancia	700-2.000	1.300-4.000	2.700-5.300
Cultivos	Zanahoria, cebolla, rábano, batata, pimiento, maíz dulce, papa, coliflor, melón, pepino, frutilla, frambuesa, zarzamora, ciruelo, almendro, viña, duraznero, peral, manzano, limonero, naranjo, pomelo, arroz, haba, lino, lechuga	Alfalfa, espinaca, tomate, brócoli, granada, olivo, higuera, soja, trigo	Remolacha, algodón, cebada, remolacha azucarera, sorgo

Tabla 45. Clasificación según el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA)

Factores limitantes	
Salinidad:	<p><u>Cultivos sensibles:</u> apio, arveja, batata, citrus, frutales de carozo, frutales de pepita, frutilla, garbanzo, maní, palta, poroto, rábano.</p> <p><u>Cultivos semi-tolerantes:</u> alfalfa, arroz, avena, centeno, girasol, hortícolas, olivo, peral, soja, trigo, vid</p> <p><u>Cultivos tolerantes:</u> agropiro algodón, cebada, espárrago, espinaca, festucas, lotus, morera, palma datilera, phalaris, sorgos, remolacha</p>
Sodicidad:	<p><u>Cultivos sensibles:</u> citrus, frutales, maíz, poroto</p> <p><u>Cultivos tolerantes:</u> alfalfa, algodón, arroz, cebada, cebolla, hortícolas, tomate, trigo</p>
Boro:	<p><u>Cultivos sensibles:</u> ajo, batata, caupí, cebada, cebolla, cerezo, damasco, duraznero, frutilla, girasol, guindo, higuera, limonero, lupino, maní, manzano, naranjo, nogal, palta, pecán, peral, pomelo, poroto, trigo, vid, zarzamora</p> <p><u>Cultivos semi-tolerantes:</u> alcachofa, apio, arveja, avena, coliflor, haba, lechuga, maíz, melón, nabo, papa, pepino, pimiento, rábano, tabaco, zanahoria, zapallo</p> <p><u>Cultivos tolerantes:</u> alfalfa, algodón, espárrago, palma datilera, perejil, remolacha, sorgo, tomate</p>
Cloruros:	<p><u>Cultivos sensibles:</u> cítrico, forestales, frutales de carozo, lechuga, leguminosas, papa, tabaco</p> <p><u>Cultivos tolerantes:</u> cebada, espinaca, maíz, remolacha azucarera, tomate</p>
*Fuente: “Diagnóstico de suelos”, Ortega y Corvalán, INTA, 2001	

Desde otra perspectiva, de acuerdo a la clasificación de Maas (IHE, 2002), las aguas presentan valores de conductividad eléctrica que condicionan el rendimiento de la producción de los cultivos regados con la misma.

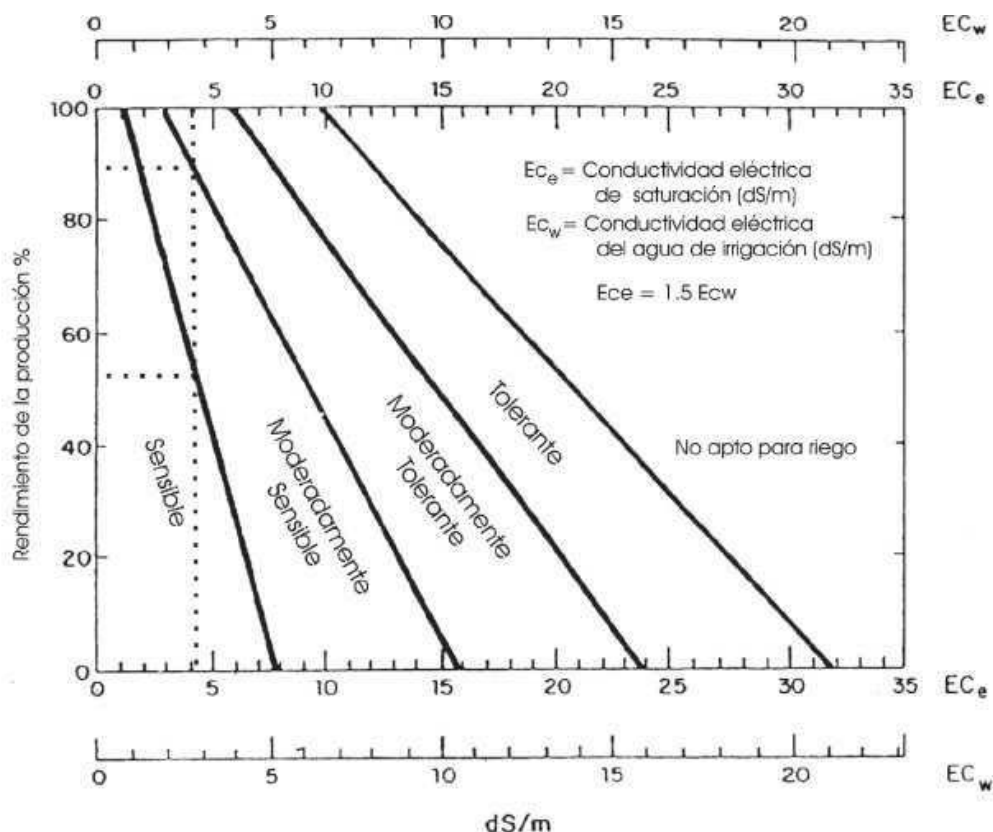


Figura 2. Diagrama de Maas.

Tabla 46. Reducción del rendimiento de producción de un cultivo según la salinidad del agua de riego (Hass y Hoffman, 1977).

Cultivo	Tolerancia	CE _a [μS/cm] del agua en la zona de las raíces (límite de tolerancia)	CE [μS/cm] del agua de riego (límite de tolerancia)	Disminución del rendimiento [%]		
				10%	25%	50%
				CE [μS/cm] del agua de riego	CE [μS/cm] del agua de riego	CE [μS/cm] del agua de riego
Cebada grano	Muy tolerante	8.000	5.300	6.700	8.700	12.000
Algodón	Muy tolerante	7.700	5.100	6.400	8.400	12.000
Remolacha azucarera	Muy tolerante	7.000	4.700	5.800	7.500	10.000
Trigo	Tolerante	6.000	4.000	4.900	6.400	8.700
Soja	Tolerante	5.000	3.500	3.700	4.200	5.000
Sorgo	Muy tolerante	4.000	2.700	3.400	4.800	7.200
Maní	Sensible	3.200	2.100	2.400	2.700	3.300
Arroz	Sensible	3.000	2.000	2.600	3.400	4.800
Lino	Sensible	1.700	1.100	1.700	2.500	3.900
Haba	Sensible	1.700	1.100	1.800	2.000	4.500
Higuera	Tolerante	2.700	1.800	2.600	3.700	5.600
Olivo	Tolerante	2.700	1.800	2.600	3.700	5.600
Granada	Tolerante	2.700	1.800	2.600	3.700	5.600
Pomelo	Sensible	1.500	1.200	1.600	2.200	3.300
Naranja	Sensible	1.700	1.100	1.600	2.200	3.200
Limonero	Sensible	1.700	1.100	1.600	2.200	3.200
Manzano	Sensible	1.700	1.000	1.600	2.200	3.200
Peral	Sensible	1.700	1.000	1.600	2.200	3.200
Duraznero	Sensible	1.700	1.100	1.400	1.900	2.700
Viña	Sensible	1.500	1.000	1.700	2.700	4.500
Almendro	Sensible	1.500	1.000	1.400	1.900	2.700
Ciruelo	Sensible	1.000	1.000	1.400	1.900	2.800
Zarzamora	Sensible	1.300	1.000	1.300	1.800	2.500
Frambuesa	Sensible	1.000	700	1.000	1.400	2.100
Frutilla	Sensible	1.000	700	900	1.200	1.700

Cultivo	Tolerancia	CE _e [μS/cm] del agua en la zona de las raíces (límite de tolerancia)	CE [μS/cm] del agua de riego (límite de tolerancia)	Disminución del rendimiento [%]		
				10%	25%	50%
				CE [μS/cm] del agua de riego	CE [μS/cm] del agua de riego	CE [μS/cm] del agua de riego
Remolacha	Muy tolerante	4.000	2.700	3.400	4.500	6.400
Brócoli	Tolerante	2.800	1.900	2.600	3.700	5.500
Tomate	Tolerante	2.500	1.700	2.300	3.400	5.000
Pepino	Sensible	2.500	1.700	2.200	2.900	4.200
Melón	Sensible	3.200	1.500	2.400	3.800	6.100
Espinaca	Tolerante	2.000	1.300	2.200	3.500	5.700
Coliflor	Sensible	1.800	1.200	1.900	2.900	4.600
Papa	Sensible	1.700	1.100	1.700	2.500	3.900
Maíz dulce	Sensible	1.700	1.100	1.700	2.500	3.900
Batata	Sensible	1.700	1.100	1.700	2.500	3.900
Pimiento	Sensible	1.500	1.000	1.600	2.500	4.000
Lechuga	Sensible	1.300	900	1.400	2.100	3.400
Rábano	Sensible	1.200	800	1.300	2.100	3.400
Zanahoria	Sensible	1.000	700	1.100	1.900	3.100
Alfalfa	Tolerante	2.000	1.300	2.200	2.600	5.900

Fuente: "Irrigation Water Quality Standards and Salinity Management Strategies", Texas Agricultural Extension Service, 1996.

4.2. Valores de conductividad que caracterizan al sistema

A continuación se indican valores mínimos y máximos mensuales de conductividad para los ríos Salado, Atuel, Chadileuvú, Curacó y Colorado. Con el objetivo de lograr tener un mayor panorama de las condiciones del sistema, también se han agregado los valores correspondientes a una estación ubicada en el baricentro de los bañados del Atuel, a saber la estación Pte. Paso de los Algarrobos y las mediciones correspondientes al sistema de lagunas encadenadas del Curacó.

La información utilizada fue provista por el COIRCO y por la Dirección de Investigación Hídrica de la Secretaría de Recursos Hídricos de la provincia de La Pampa. La tabla contiene una columna donde figuran los años que abarca el registro disponible, no obstante hay años que figuran en dicha columna de los que no se cuenta con la totalidad de las lecturas mensuales. Para los sistemas lagunares del Curacó y otras estaciones los registros son muy breves, por lo que se deberá ratificar la consistencia de los datos volcados en la tabla que figura a continuación con el recibimiento de series hidroquímicas complementarias.

A través de estos datos se intenta mostrar en forma general, los valores de salinidad que caracterizan a dichos cursos, la variabilidad de los mismos, la regularidad, valores máximos, mínimos, etc.

Previo a la tabla resumen de la salinidad en la cuenca media-baja y baja, se cree necesario mostrar la ubicación geográfica de las estaciones de medición (*Mapa 22*).

Es importante aclarar que el río Atuel es afluente al ramal Desaguadero- Salado – Chadileuvú – Curacó. Los ríos antes citados son los más comprometidos con la salinidad en la cuenca en estudio, por ello la inclusión del río Atuel en la caracterización de la salinidad del sistema se apoya en la contribución que este río puede tener en la amortiguación de los tenores salinos aguas debajo de los Bañados del Atuel.

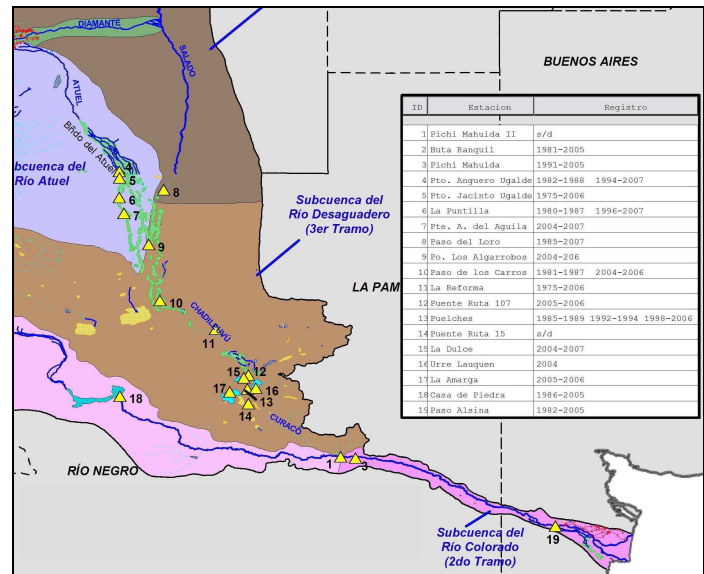


Figura 3. Estaciones de medición

Tabla 47. Tabla resumen de valores de conductividad para diferentes ríos y lagunas de la cuenca media baja y baja

Ríos	Estaciones	Salinidad								
		Valores de conductividad								
		Mínimo	Mes	Año	Máximo	Mes	Año	Promedio	Registro	Fuente
Río Atuel	Pto. Anguero Ugalde	1220	Mayo	1983	4200	Septiembre	2004	2278	1982-1988 1994-2007	Sec. Rec. Hídricos - La Pampa
	Pto. Jacinto Ugalde	1170	Diciembre	1982	7400	Agosto	1976	2608	1975-2006	Sec. Rec. Hídricos - La Pampa
Salado	Pte. Paso del Loro	1179	Febrero	1998	128520	Noviembre	1997	23050	1985-2007	Sec. Rec. Hídricos - La Pampa
Río Bañados del Atuel	Pto. La Puntilla	1499	Febrero	1987	16200	Marzo	2000	3193	1980-1987 1996-2007	Sec. Rec. Hídricos - La Pampa
	Pte. Algarrobo del Aguila	2080	Agosto	2006	6440	Octubre	2004	3485	2004-2007	Sec. Rec. Hídricos - La Pampa
	Pte. Paso de los Algarrobos	1980	Marzo	2006	29900	Diciembre	2004	7112	2004-206	Sec. Rec. Hídricos - La Pampa
	Pte. Paso de los Carros	1680	Junio	1985	47750	Diciembre	2004	10471	1981-1987 2004-2006	Sec. Rec. Hídricos - La Pampa
Río Chadileuvú	Pte. La Reforma	1850	Junio	1985	71900	Febrero	2001	14169	1975-2006	Sec. Rec. Hídricos - La Pampa
Encadenadas del Curacó	Pte. Ruta 107	3610	Agosto	2006	29500	Noviembre	2005	8138	2005-2006	Sec. Rec. Hídricos - La Pampa
	Lag. La Dulce	25700	Septiembre	2006	89500	Marzo	2006	41380	2004-2007	Sec. Rec. Hídricos - La Pampa
	Lag. Urre Lauquen	18540	Diciembre	2004	26500	Septiembre	2004	22520	2004	Sec. Rec. Hídricos - La Pampa
	Lag. La Amarga	6750	Septiembre	2006	95580	octubre	2006	32264	2005-2006	Sec. Rec. Hídricos - La Pampa
	Pte. Puelches	2135	Marzo	1999	36830	Noviembre	1986	8534	1985-1989 1992 1994 1998-2006	Sec. Rec. Hídricos - La Pampa
Curacó	Pte. Ruta 15									-
	Pichi Mahuida II	3072	Agosto	1988	26880	Mayo	1987	9906		COIRCO
Colorado	Buta Ranquil	430	Diciembre	1982	1272	Mayo	2000	818	1981-2005	COIRCO
	Casa de Piedra	551	Noviembre	1988	1364	Junio	1990	993	1986-2005	COIRCO
	Pichi Mahuida	569	Enero	1985	5093	Junio	1987	1102	1985-2005	COIRCO
	Paso Alsina	628	Enero	1983	4198	Junio	1987	1216	1982-2005	COIRCO
Unidades		[µS/cm]	-	-	[µS/cm]	-	-	[µS/cm]	[años]	-

Observación: En blanco, dato faltante

Conductividad [0 a 1000	1000 a 5000	5000 a 10000	10000 a 20000	20000 a 50000	más de 50000
Referencia						

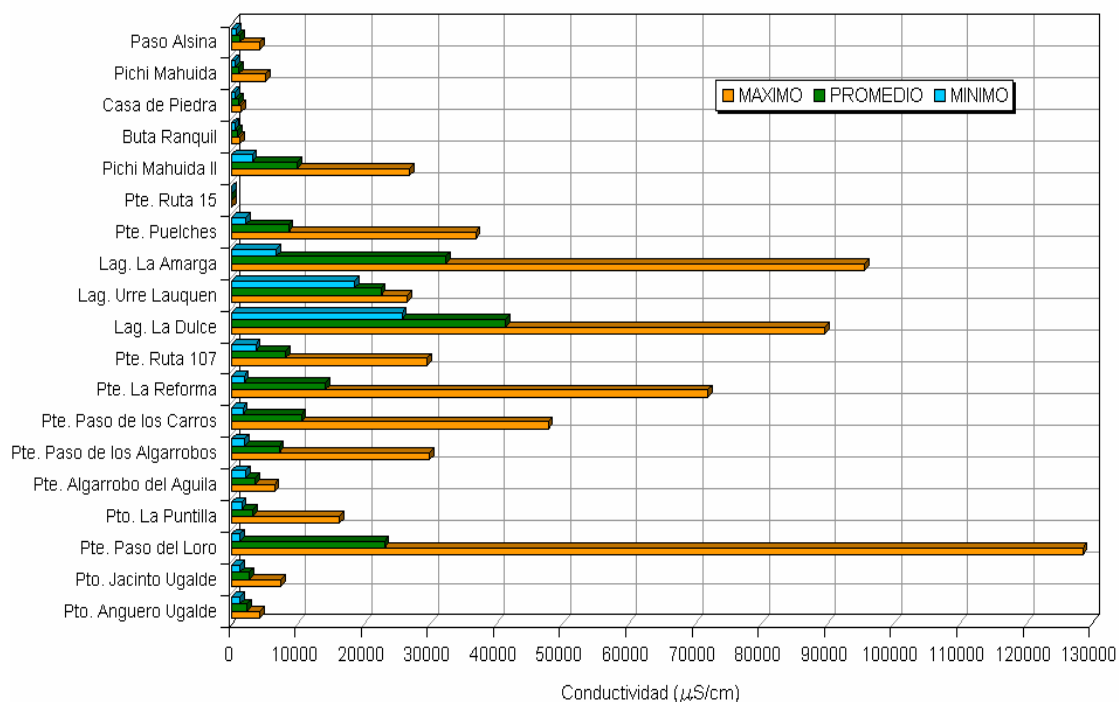


Gráfico 57. Valores de conductividad para diferentes ríos y lagunas de la cuenca media baja y baja

4.3. Caracterización salina de los cursos de agua

La siguiente tabla contiene las concentraciones de iones medias (mg/l) presentes en los diferentes ríos de la cuenca. Nuevamente se hace mención que este análisis tiene un alcance parcial debido a la falta de datos. En otras palabras, las estaciones analizadas contemplan la zona cubierta entre la estación Paso del Loro (río Salado) y Puelches (río Curacó). La zona correspondiente a la cuenca media y alta, al igual que las estaciones correspondientes al río Colorado, no han sido analizadas dado que se carece de la información hidroquímica necesaria.

Tabla 48. Concentración de iones por estación

Río	Estación	Cl ⁻	SO ₄ ⁼	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	F ⁻	Na ⁺	K ⁺	B
Salado	Paso del Loro	7602	3357	545	387	0,9	4249	318	6,3
Atuel	J. Ugalde	232	768	271	91	1,1	122	6	-
Atuel	La Puntilla	488	1034	291	60	1,6	383	15	-
Bañados del Atuel	Paso de los Algarrobos	700	919	308	104	1,1	412	12	-
Bañados del Atuel	Algarrobo del Águila	423	949	365	130	1,9	176	9	-
Chadileuvú	Paso de los carros	2228	1680	311	147	1,0	1053	35	-
Chadileuvú	La Reforma	3497	2387	438	243	1,1	1816	48	3,6
Chadileuvú	Ruta 107	3410	1992	713	266	1,8	1987	62	-
-	Laguna La Amarga	17314	5995	3612	1400	3,0	6785	142	-
-	Laguna La Dulce	17170	7604	3324	1260	5,0	9110	197	-
Curacó	Puelches	1561	1958	451	150	1,1	707	26	1,7
	Promedio	4966	2604	966	385	1,8	2436	79	3,9
	Unidades	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l

Fuente: "Estadística hidrológica de los ríos Atuel, Salado, Chadileuvú y Curacó", Secretaría de Recursos Hídricos de La Pampa, Dirección de Investigación Hídrica.

Analizando los valores obtenidos, se observa que existe una alta concentración aniones cloruros y sulfatos, y de cationes de sodio en todo el sistema; siendo los primeros los que se presentan con mayores magnitudes. De este modo, la máxima concentración media observada en el Cl^- es de 17170 mg/l (Laguna La Amarga), contra 7604 mg Mg^{2+} /l en la laguna La Dulce y 9110 mg Na^+ /l también en esta laguna.

Se observa a continuación, los datos volcados en la tabla precedente en forma gráfica con el propósito de facilitar su interpretación.

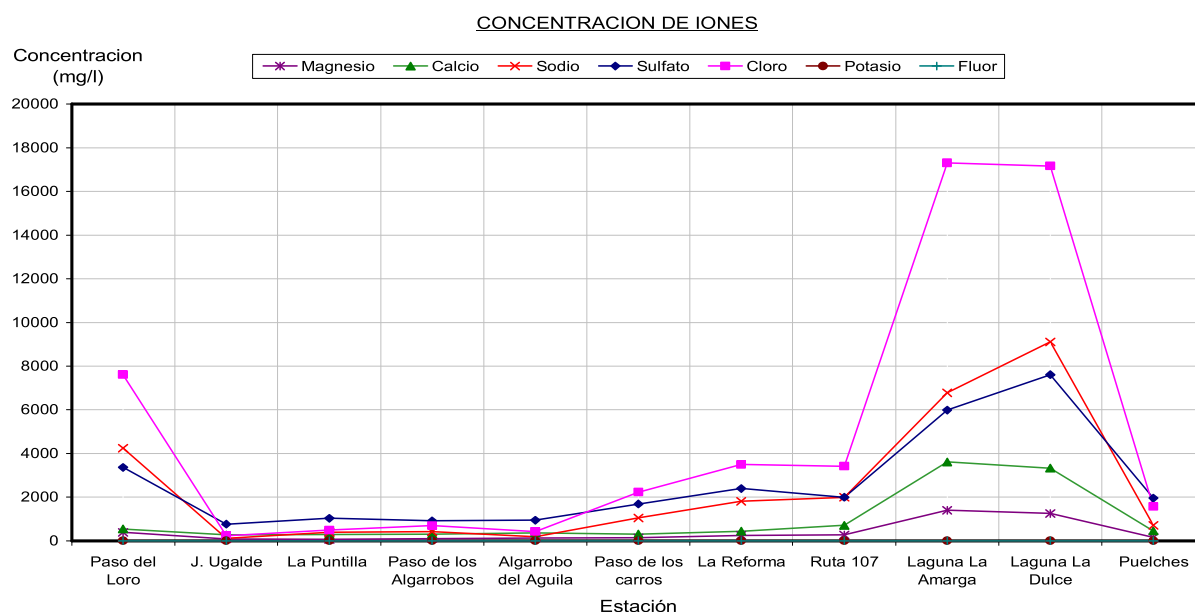


Gráfico 58. Concentración de iones

Resulta interesante analizar las concentraciones de cada Ion en las diferentes estaciones. En línea con el propósito planteado, se elaboraron los gráficos correspondientes a cada ion, con sus respectivos valores medios.

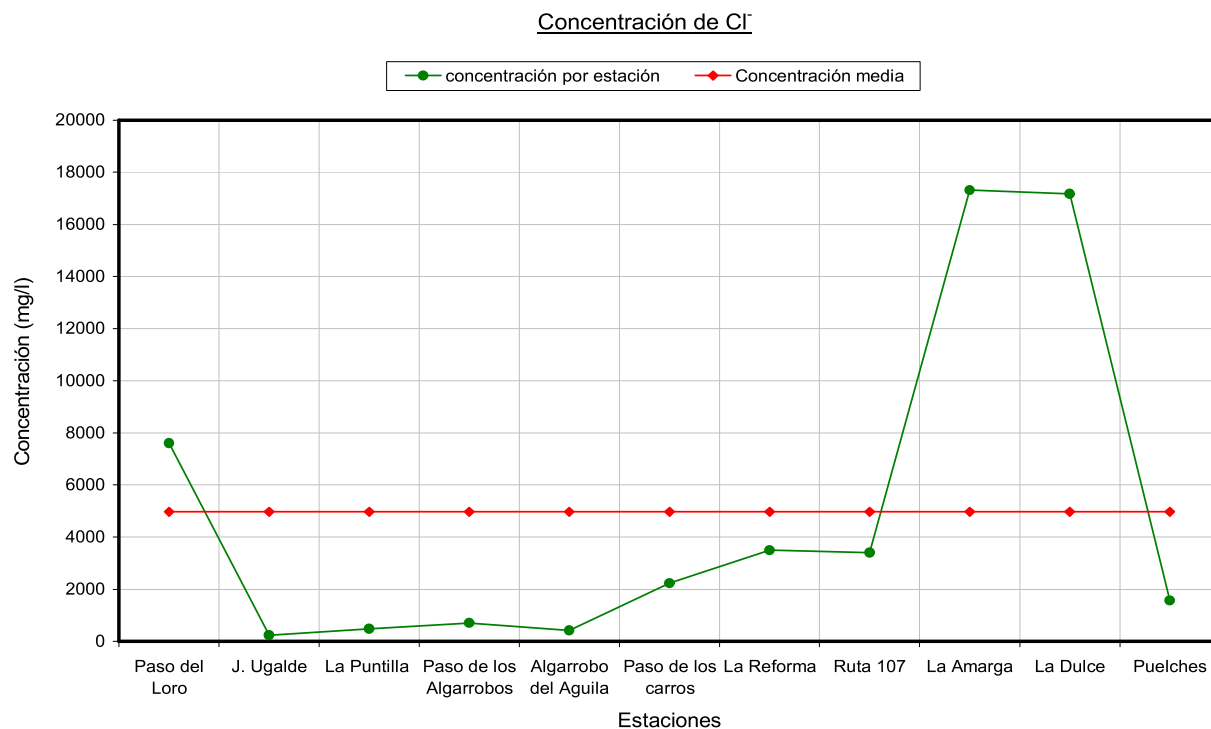


Gráfico 59. Concentración de Cl^-

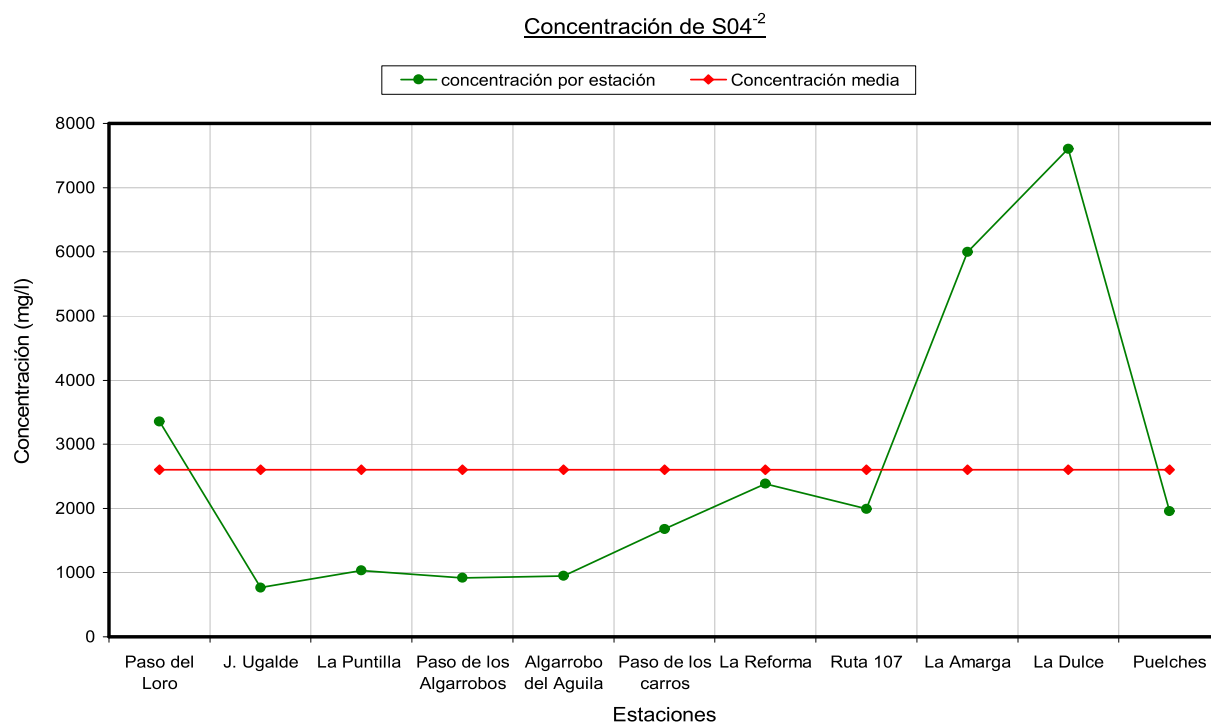


Gráfico 60. Concentración de SO_4^{-2}

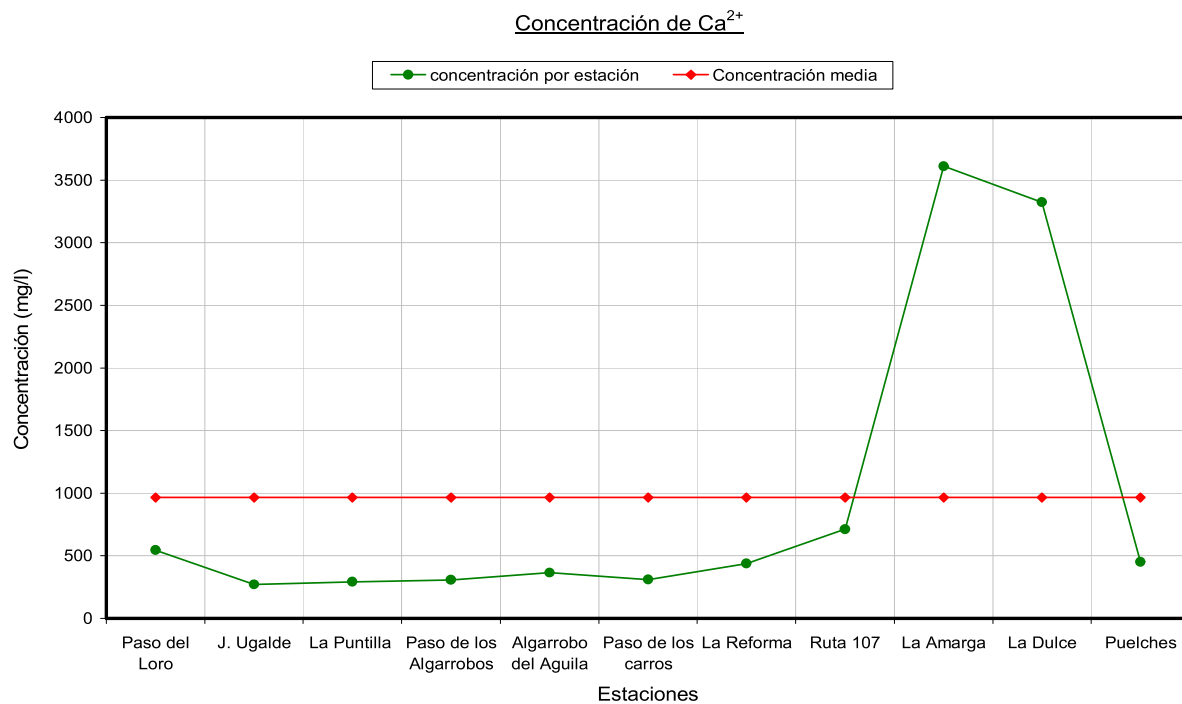


Gráfico 61. Concentración de Ca^{+2}

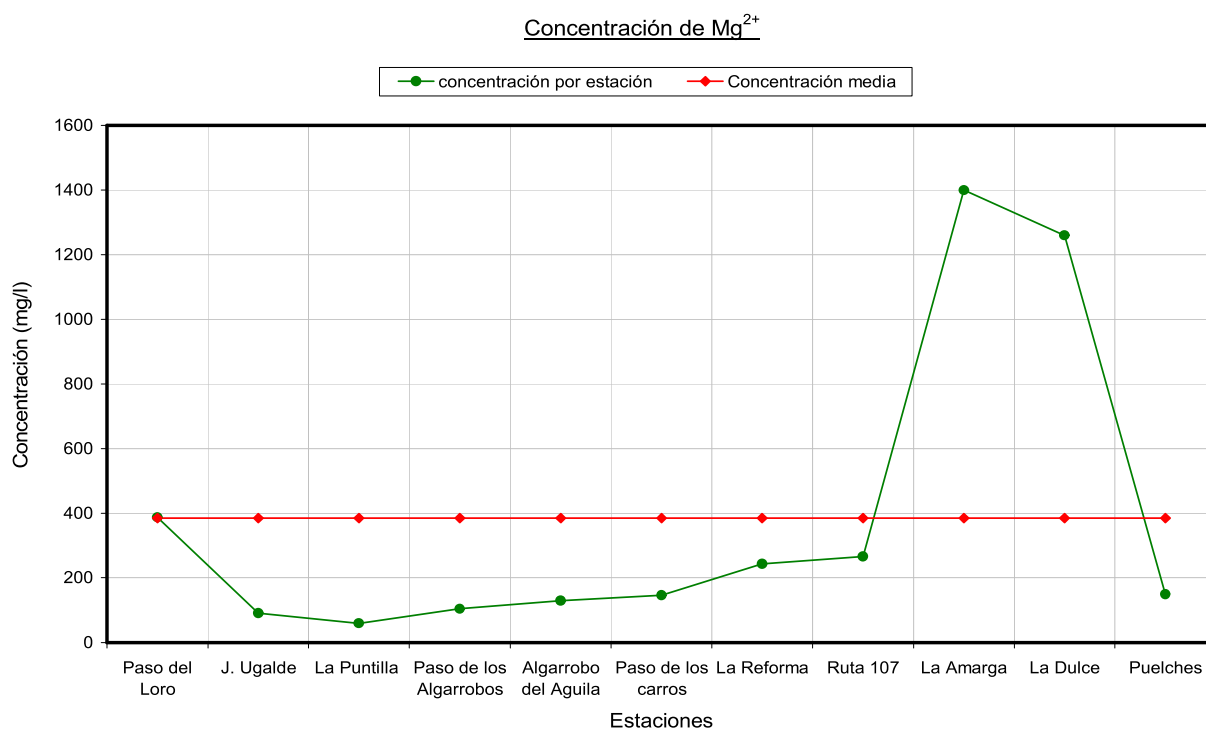


Gráfico 62. Concentración de Mg^{+2}

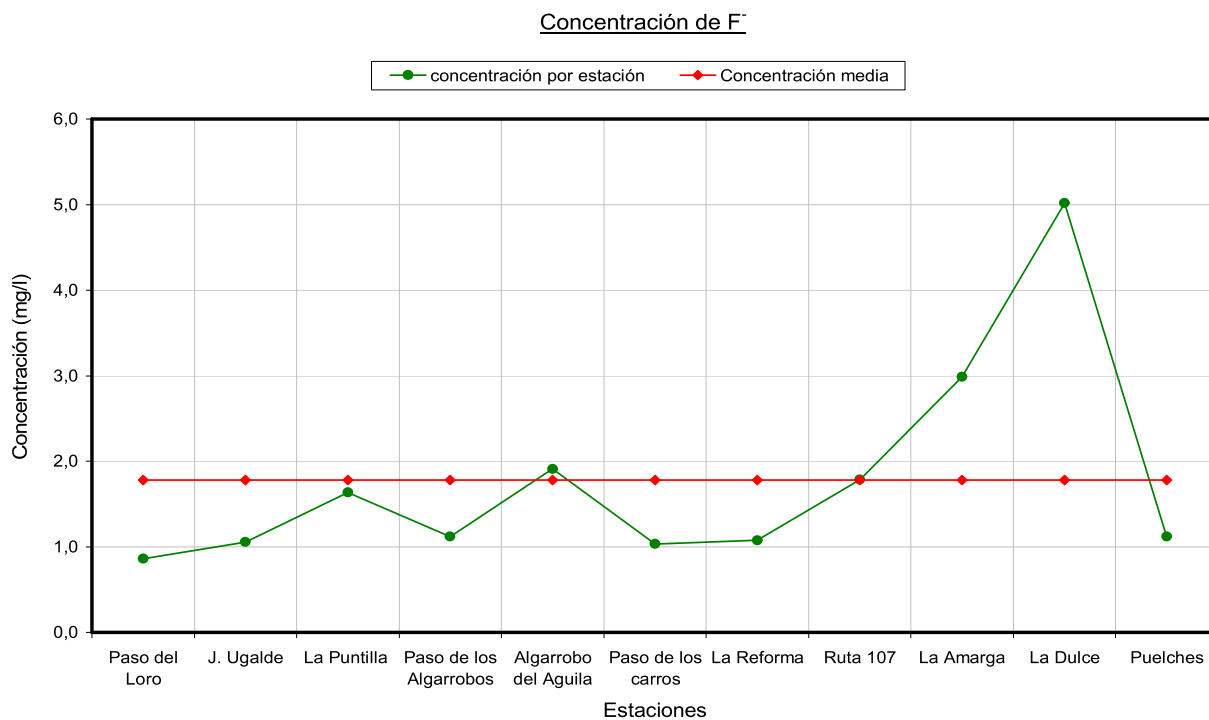


Gráfico 63. Concentración de F^-

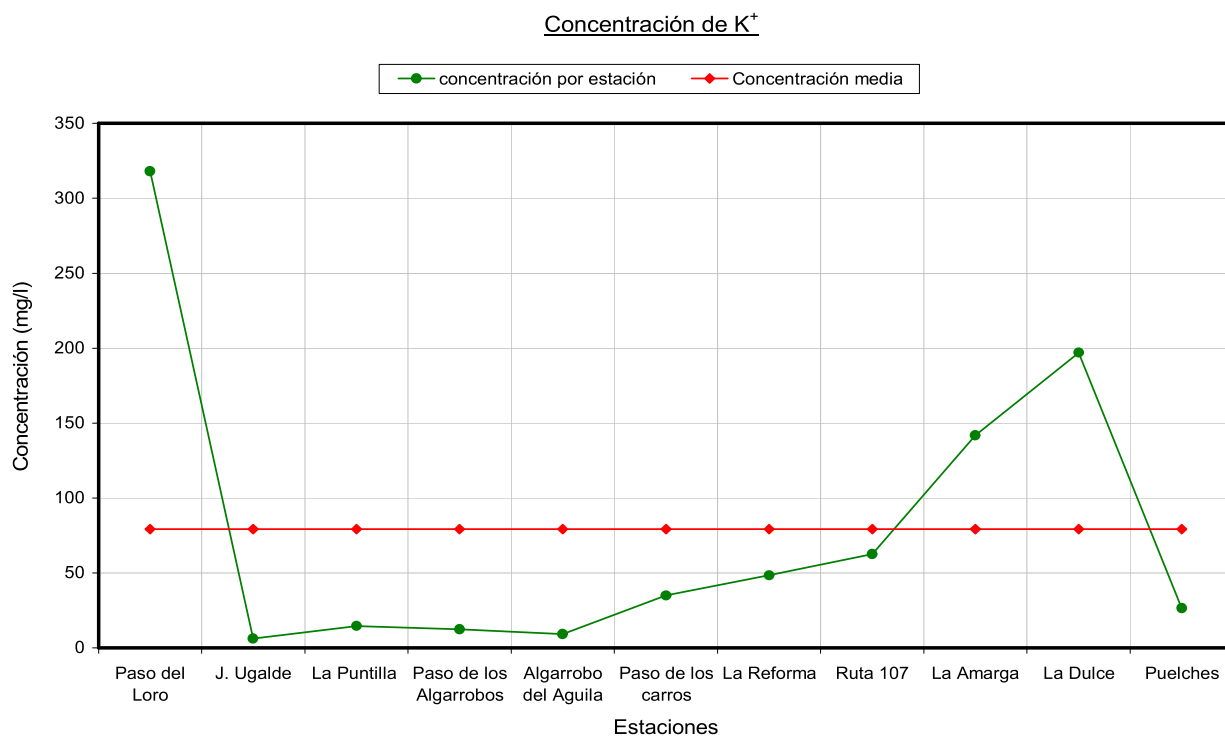


Gráfico 64. Concentración de K^+



Del análisis de estos gráficos se puede advertir que los picos de concentraciones se encuentran en forma alternada entre las lagunas encadenadas del Curacó, a saber La Amarga y La Dulce, seguidos por las concentraciones obtenidas en Paso del Loro. Los valores correspondientes a estas lagunas son ampliamente superiores que los valores restantes, y en la mayoría de los casos duplican los mismos.

Se destaca que dicho comportamiento no es aplicable al analizar el Potasio, en donde se observa que la concentración más alta corresponde a la estación Paso del Loro, con la escolta de las concentraciones en estas lagunas.

4.4. Conductividad: Curvas de duración

A continuación se han elaborado las curvas de duración para diferentes estaciones de la cuenca media y baja. Dichas curvas han sido realizadas con los valores de conductividad provistos por la Secretaría de Recursos Hídricos de La Pampa, específicamente por la Dirección de Investigación Hídrica; y por el Comité interjurisdiccional del río Colorado (COIRCO). Es pertinente aclarar, previo al análisis de los gráficos que figuran a continuación, tres puntos singulares:

- 1) Para las estaciones Paso del Loro, Jacinto Ugalde y La Reforma, se utilizaron conductividades medias diarias. Para las estaciones del río Colorado y la estación Pichi Mahuida II, se utilizó una escala mensual.
- 2) En lo referente a la estación Pichi Mahuida II, se cuenta con una serie de datos muy reducida, por ser un curso esporádico. Sin embargo, los registros disponibles corresponden a cada uno de los períodos en que el curso estuvo activo (descarga al Río Colorado)
- 3) Los valores de conductividad de las curvas de duración están expresadas en $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Posteriormente, se incluye una tabla donde se encuentran los valores de conductividad media correspondientes a un porcentaje de superación de 100% (conductividad mínimo de la serie), 75%, 50% (Moda de la serie), 25% y 0% (conductividad máximo de la serie) de cada estación. Para lograr ver con mayor facilidad el orden de magnitud de los valores hallados, los valores de la tabla mencionada anteriormente se han volcado en un gráfico. Tras observar el gráfico, se podrá advertir que los valores correspondientes a Paso del Loro (río Salado), La Reforma (río Chadileuvú) y Pichi Mahuida II (río Curacó) son ampliamente mayores que los que caracterizan a las demás estaciones. Se cree oportuno reiterar, que existe una diferencia en la escala temporal de los valores. Se recomienda tener presente esta salvedad hora de realizar un análisis conjunto de los resultados obtenidos.

4.4.1. Río Salado – Estación Paso del Loro

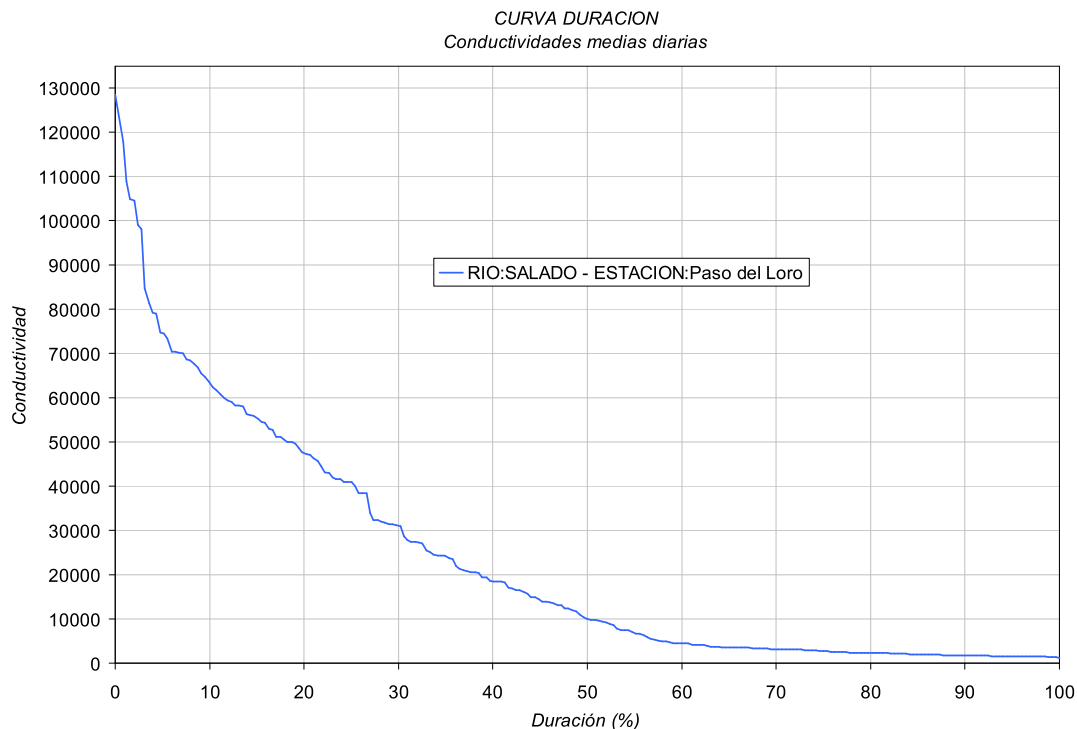


Gráfico 65. Curva de duración – Estación Paso del Loro – río Salado

4.4.2. Río Atuel – Estación Jacinto Ugalde

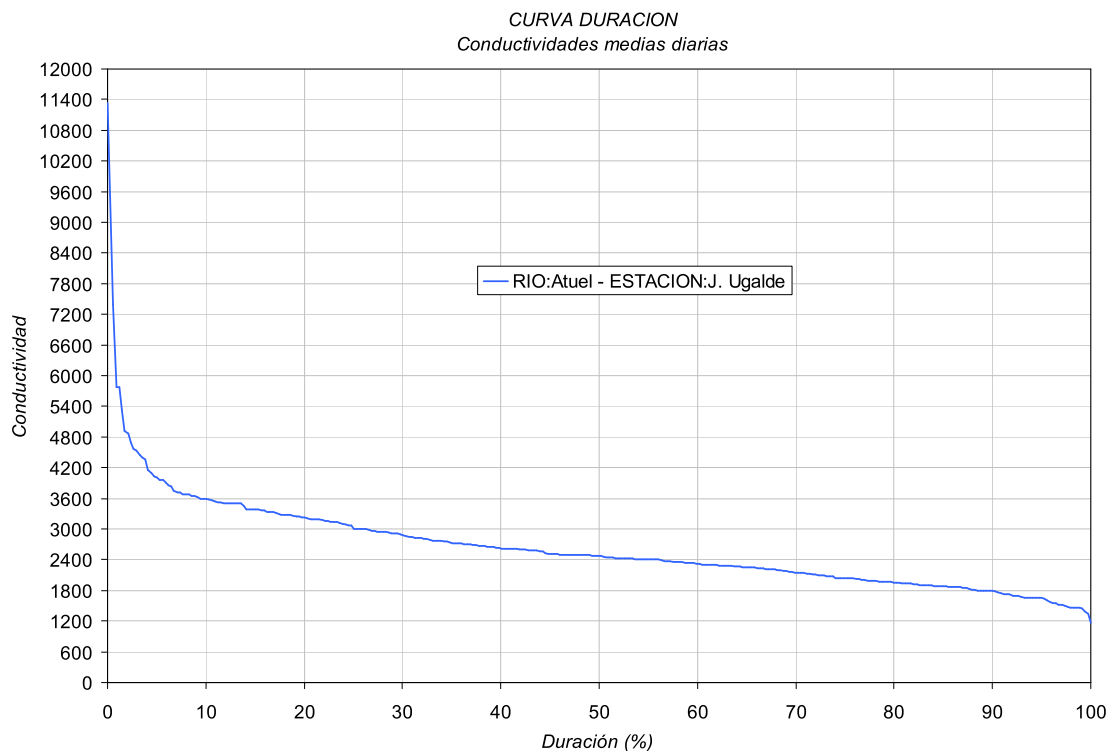


Gráfico 66. Curva de duración – Estación Jacinto Ugalde – río Atuel

4.4.3. Río Chadileuvu – Estación La Reforma

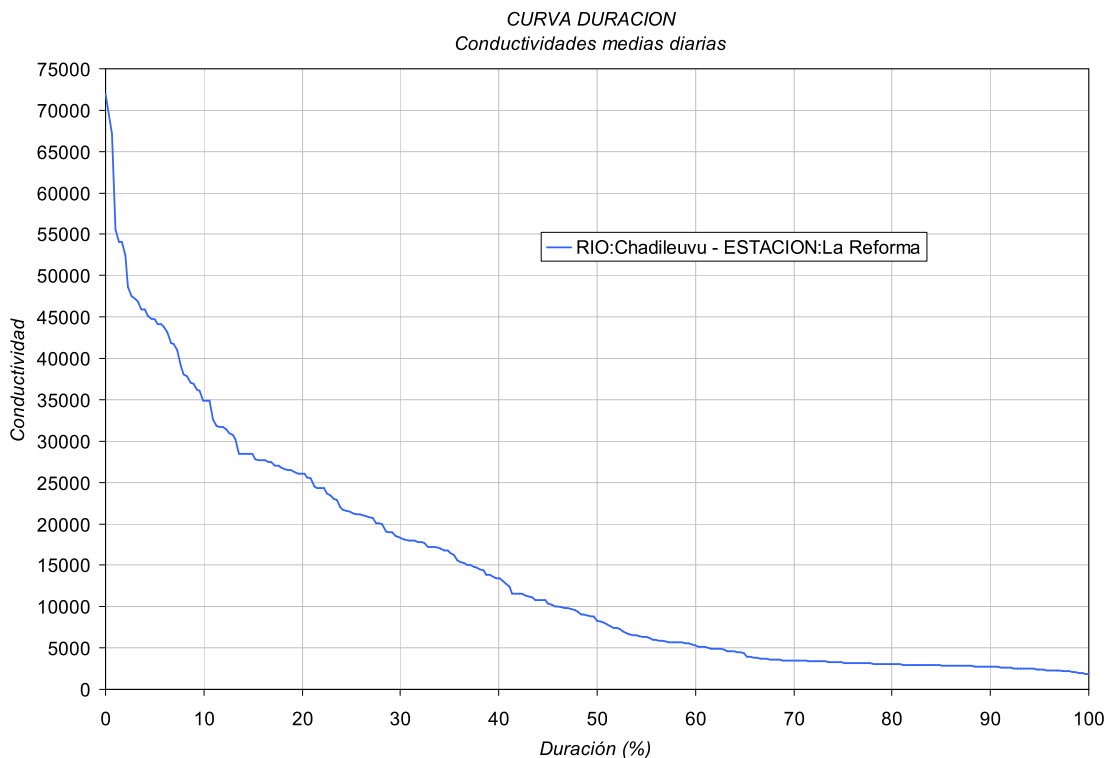


Gráfico 67. Curva de duración – Estación La Reforma – río Chadileuvú

4.4.4. Río Curacó – Estación Pichi Mahuida II

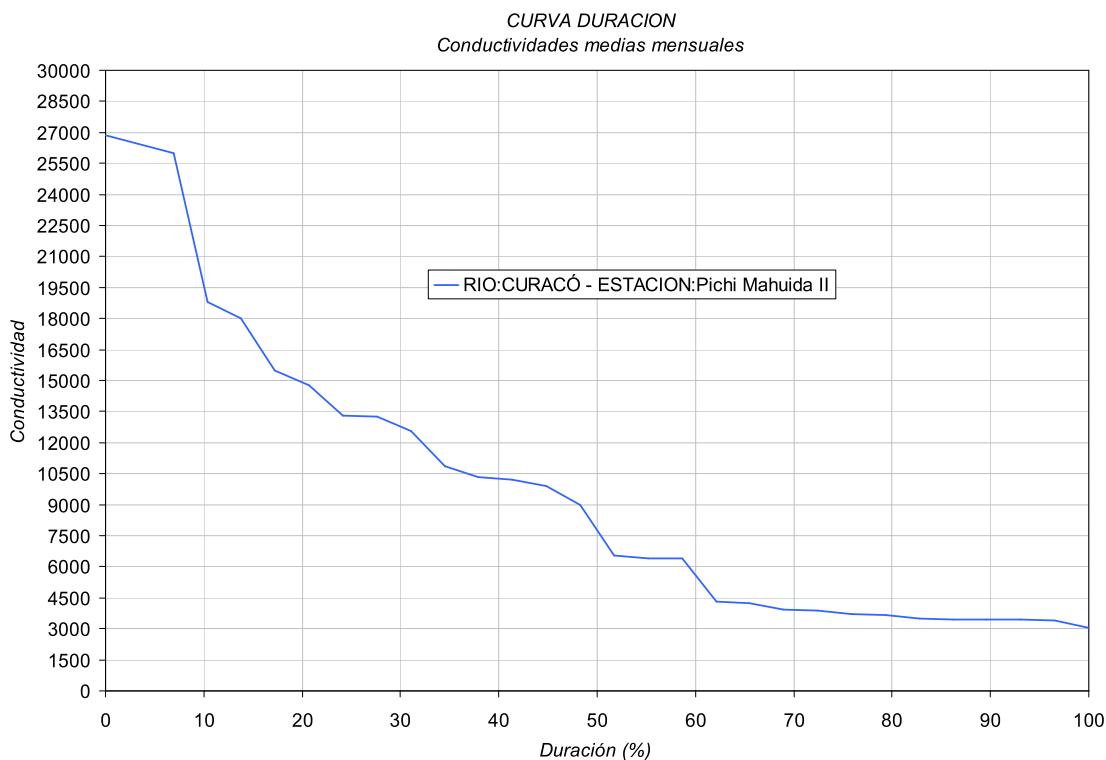


Gráfico 68. Curva de duración – Estación Pichi Mahuida II – río Curacó

4.4.5. Río Colorado – Estación Buta Ranquil

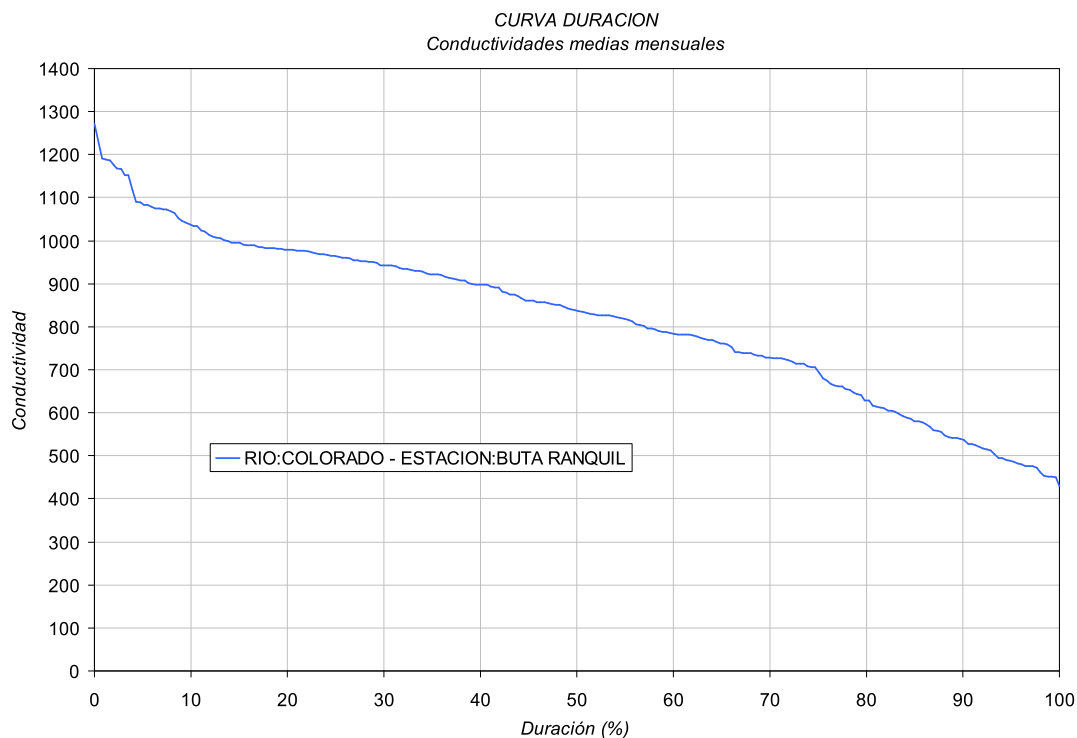


Gráfico 69. Curva de duración – Estación Buta Ranquil – río Colorado

4.4.6. Río Colorado – Estación Casa de Piedra

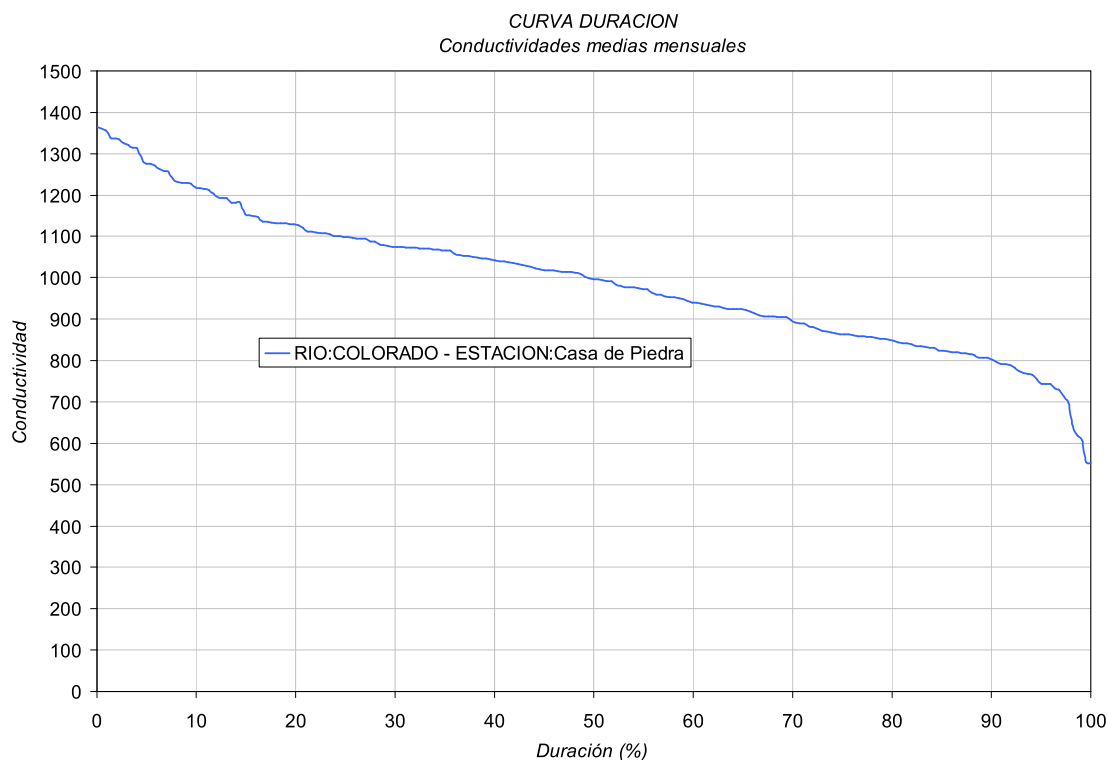


Gráfico 70. Curva de duración – Estación Casa de Piedra – río Colorado

4.4.7. Río Colorado – Estación Pichi Mahuida

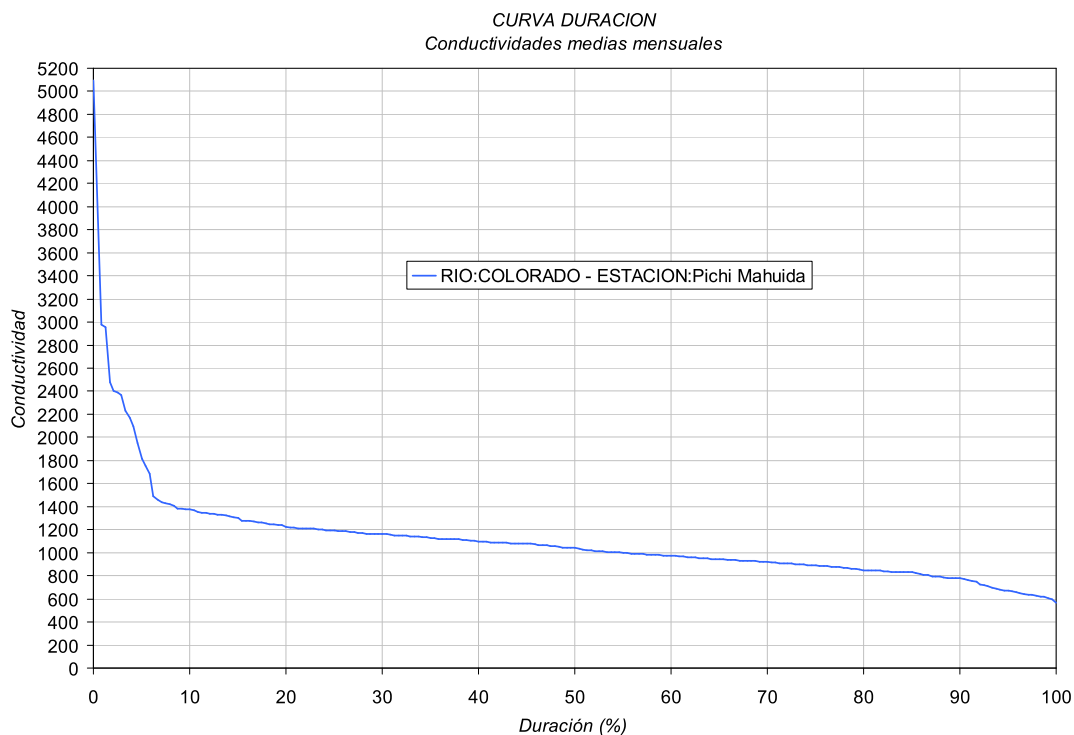


Gráfico 71. Curva de duración – Estación Pichi Mahuida – río Colorado

4.4.8. Río Colorado – Estación Paso Alsina

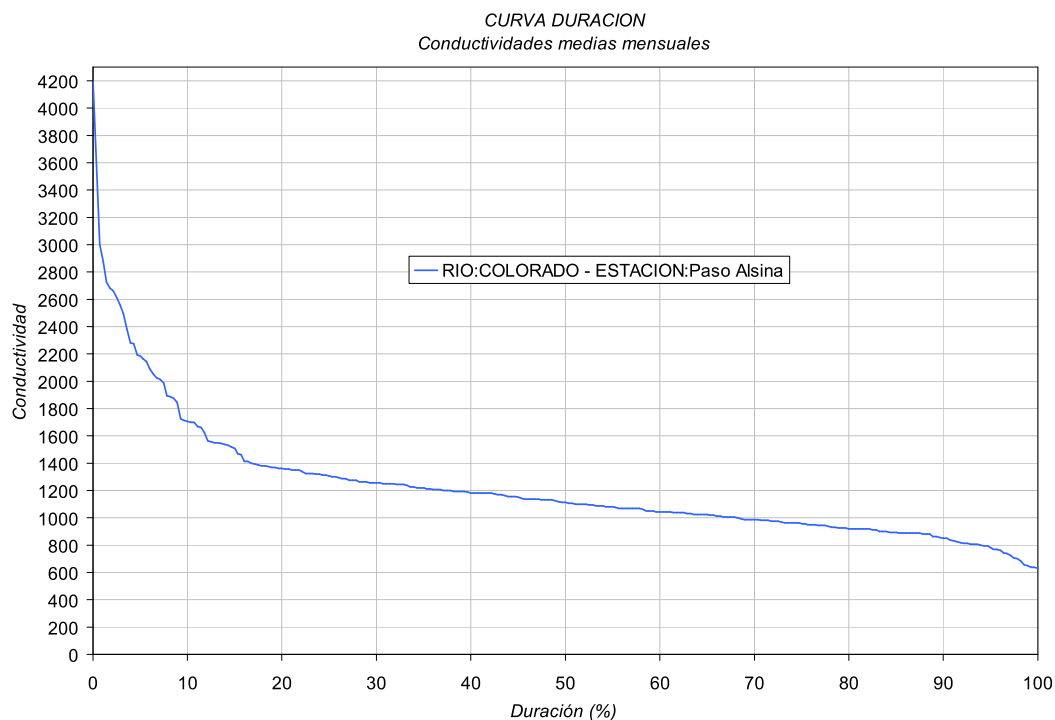


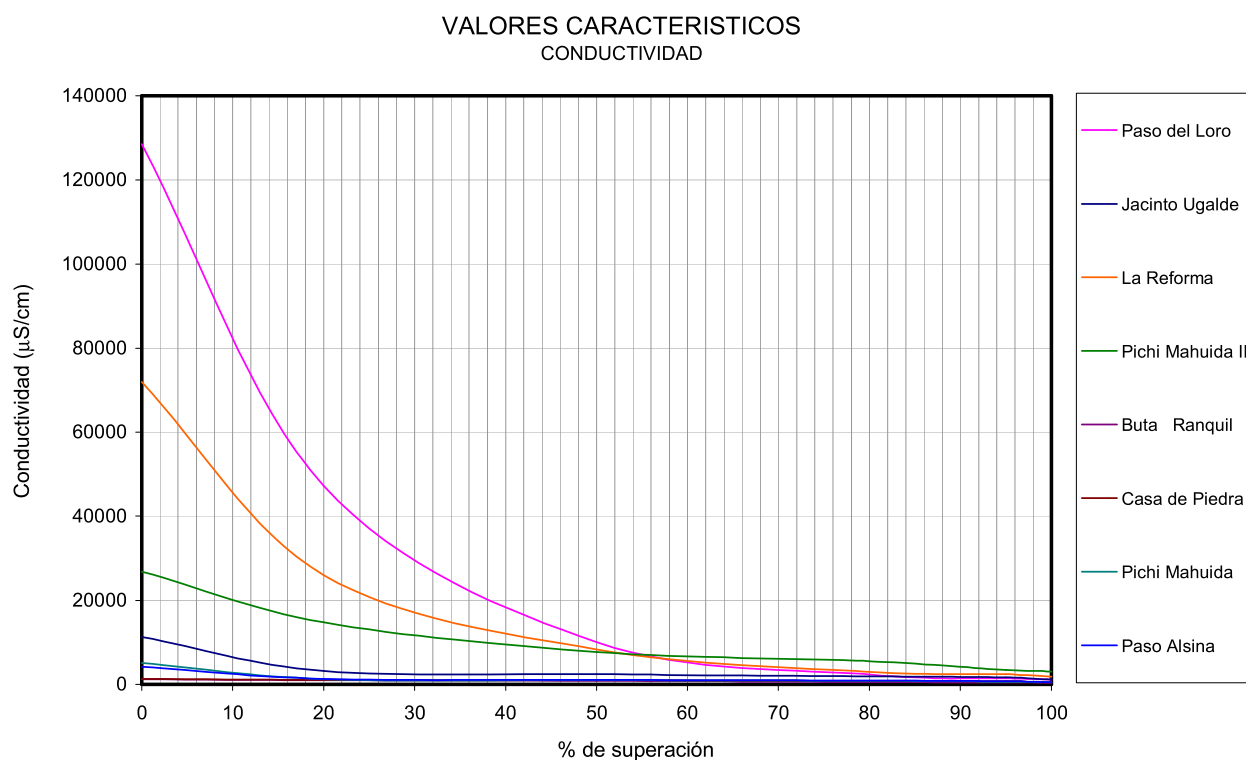
Gráfico 72. Curva de duración - Estación Paso Alsina – río Colorado

4.4.9. Resumen de valores característicos

Estación de medición	Cuantiles								
	Río	Salado	Atuel	Chadileuvú	Curacó	Colorado	Colorado	Colorado	Colorado
	Locación	Paso del Loro	Jacinto Ugalde	La Reforma	Pichi Mahuida II *	Buta Ranquil *	Casa de Piedra *	Pichi Mahuida *	Paso Alsina *
Porcentaje de superación	0	128500	11340	71900	26880	1272	1364	5092	4197
	20	47250	3226	26000	14784	978	1127	1224	1360
	50	10081	2472	8318	7757	836	997	1042	1111
	80	2356	1962	3010	5573	628	849	849	919
	95	1542	1649	2394	3411	487	744	672	784
	100	1179	1170	1850	3072	430	551	569	628
Unidad	[%]	[$\mu\text{S/cm}$]	[$\mu\text{S/cm}$]	[$\mu\text{S/cm}$]	[$\mu\text{S/cm}$]	[$\mu\text{S/cm}$]	[$\mu\text{S/cm}$]	[$\mu\text{S/cm}$]	[$\mu\text{S/cm}$]

*: Los valores correspondientes a estas estaciones fueron elaborados en base a conductividades medias mensuales. Los resultados correspondientes a las estaciones restantes fueron obtenidos en base a valores medios diarios.

Tabla 49. Conductividad - Resumen de valores característicos.



4.5. El camino de la sal en el sistema

Un aspecto importante a definir para lograr describir el comportamiento del sistema en lo referente a la salinidad que lo caracteriza es el transporte de la sal. La cuenca del Desaguadero-Salado-Chadileuvú-Curacó es muy ramificada por lo que la sal puede provenir de cualquiera de sus brazos. Consecuentemente, es imperativo entender cual es el camino que sigue la sal en el sistema. Esto permitirá contar con una herramienta más a la hora de pensar en las posibles soluciones o formas de mitigar los altos valores de conductividad del sistema.

Se planteó en un comienzo la posibilidad de realizar el análisis sobre cuatro nodos singulares de la cuenca (*Figura N° 12*):

IDENTIFICACIÓN DE NODOS	
NODO 1S	Confluencia Curacó - Colorado
NODO 2S	Bañados del Atuel
NODO 3S	Bañados del Tunuyán
NODO 4S	Lagunas del Guanacache

Dada la imposibilidad de conseguir datos hidroquímicos sobre los dos últimos nodos que fueron mencionados, se decidió por realizar un análisis sólo cualitativo de estos, mientras que para los dos restantes se llevará a cabo un análisis cuantitativo de la salinidad.

A la luz de lo dicho anteriormente, para realizar este análisis se estudiarán dos puntos singulares de la cuenca. Los nodos, enumerados de sur a norte, son:

- Nodo 1S: Confluencia del río Curacó y río Colorado
- Nodo 2S: Bañados del Atuel (Unión río Atuel y río Salado)

Cada nodo es analizado de acuerdo a los datos hidroquímicos de estaciones insertas en el mismo. En primer lugar, se describen los datos de las estaciones mencionadas anteriormente en forma particular. Una vez realizado este análisis particularizado, se procede al análisis conjunto de todas las estaciones con el fin de tener una visión global de lo que sucede en dicho nodo.

Los objetivos principales de esta sección son describir el comportamiento de los ríos que llegan y/o salen del nodo y entender las relaciones caudal-conductividad de los mismos. Los objetivos mencionados anteriormente son exclusivamente a nivel individual, siendo el objetivo principal a nivel global advertir si existe una atenuación de los valores de conductividad aguas abajo del nodo, entender que tributario genera esa disminución y cual otro representa el principal aporte de sales, estableciendo el patrón salino aguas abajo.

A continuación, se puede observar la ubicación de los nodos mencionados.

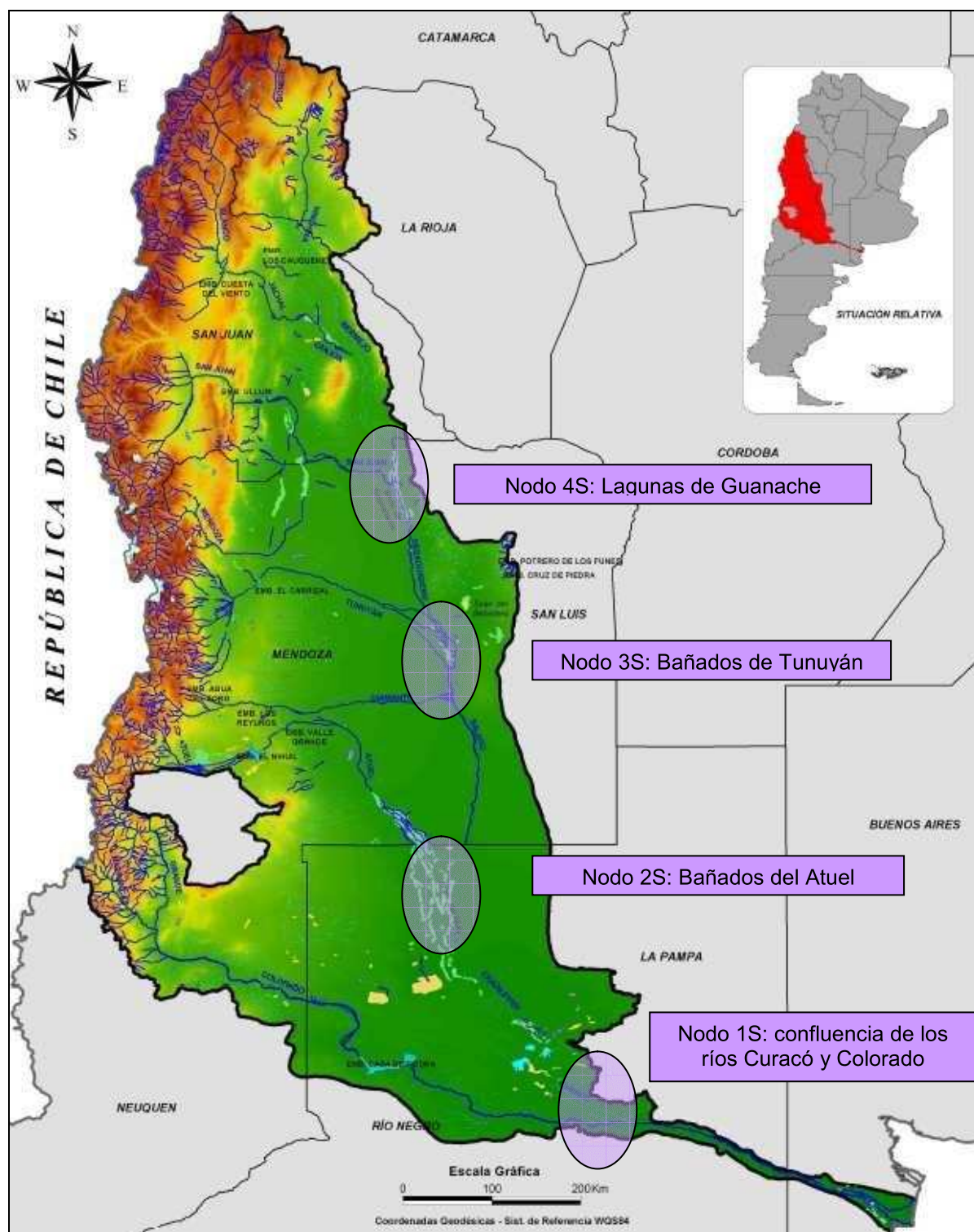


Figura 20. Identificación de nodos de análisis de salinidad (NS)

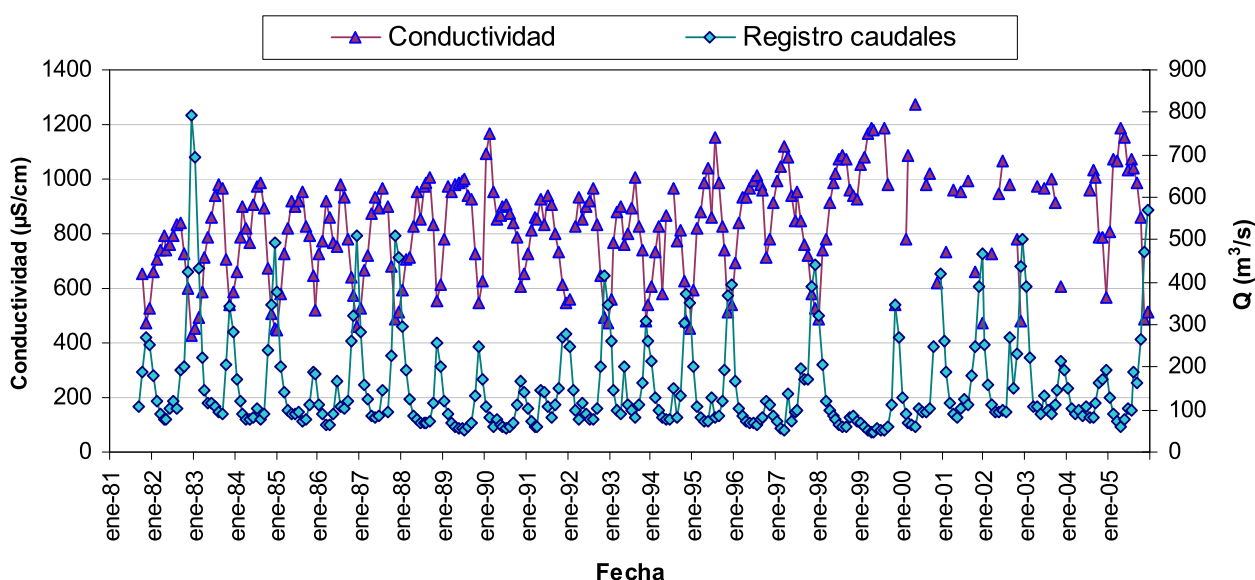
4.5.1. Nodo 1S: Confluencia del río Curacó y río Colorado

Para realizar el análisis de este nodo se cuenta con datos hidroquímicos de 4 estaciones de aforo, a saber:

- Estación Buta Ranquil: Representativa del río Colorado, en la naciente.
- Estación Casa de Piedra: Representativa del río Colorado en el tramo medio entre la naciente y la intersección con el Curacó.
- Estación Pichi Mahuida: Representativa del río Colorado agua abajo de la desembocadura del Curacó.
- Estación Pichi Mahuida II: Representativa del río Curacó

4.5.1.1. Estación Buta Ranquil

A continuación se incluye en gráfico en donde fueron volcados valores de conductividad y de caudal registrados en la estación Buta Ranquil, ambos registros son mensuales.



Fuente: Comité Interjurisdiccional del río Colorado (COIRCO)

Gráfico 74. Conductividad en función del caudal – Estación Buta Ranquil

Los valores de conductividad asociados a los caudales bajos (50–200 m³/seg) presentan gran dispersión. Estos valores varían entre 500 y 1.200 µS/cm, siendo su valor medio de aproximadamente 900 µS/cm. A medida que crecen los caudales los valores de conductividad presentan menor dispersión, variando entre 500 y 700 µS/cm.

Es de destacar que la conductividad no varía en forma representativa para altos valores de caudal. Tal es así que tanto para caudales del orden de los 450 m³/seg como para valores del orden de 700 m³/seg, la conductividad se mantiene constante y con un valor de 500 µS/cm.

Al analizar la relación entre caudales y conductividad se observa que para caudales comprendidos entre 50 y 200 m³/seg aproximadamente, los valores de conductividad varían de manera considerable, mientras que para caudales mayores la variación de conductividad tiende a ser nula. Como consecuencia de lo dicho anteriormente, se puede establecer en forma aproximada un valor asintótico de conductividad para caudales crecientes de 500-600 μ S/cm.

En cuanto a la escala temporal, se observa en correspondencia con lo dicho anteriormente, que para los meses de mayor caudal (Noviembre, diciembre y enero) los valores de conductividad disminuyen y para los meses de menor caudal los valores de conductividad aumentan aproximadamente un 45 %.

A continuación, se incluye un gráfico en donde se realizó el promedio para cada uno de los meses de la serie estudiada, tanto de los valores de caudal como de conductividad para la estación Buta Ranquil. En el mismo se puede observar que el mes con el mayor valor promedio de conductividad es Julio (el valor más bajo de caudal se presenta en abril, pero la diferencia es mínima), y el mes con el menor valor promedio de conductividad es diciembre.

Tabla 50. Tabla resumen valores promedio mensuales. Estación Buta Ranquil

	Caudal	Conductividad
Julio	93	969
Diciembre	337	567
	m ³ /seg	μ S/cm

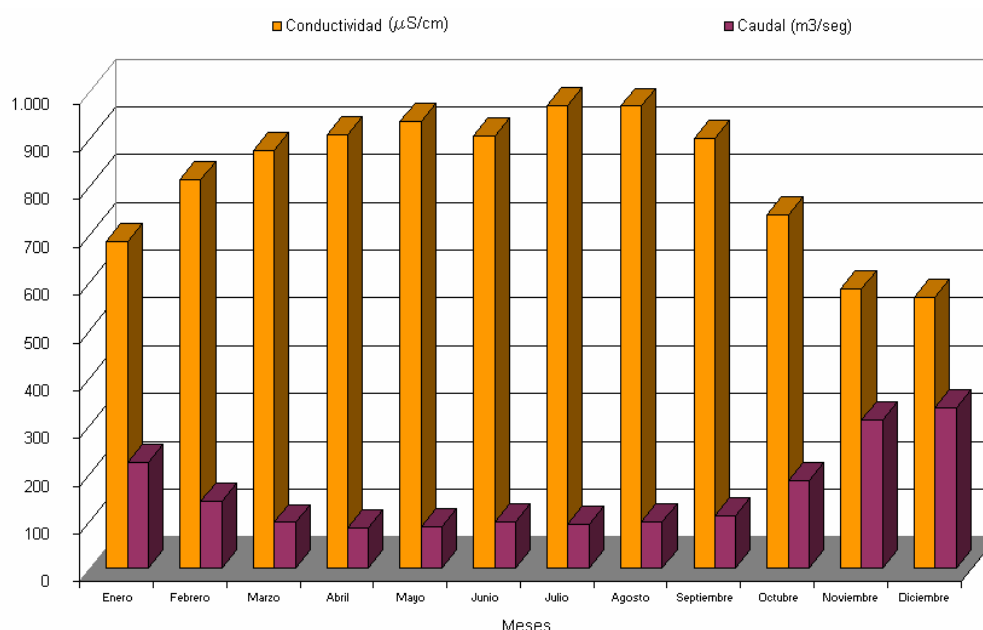
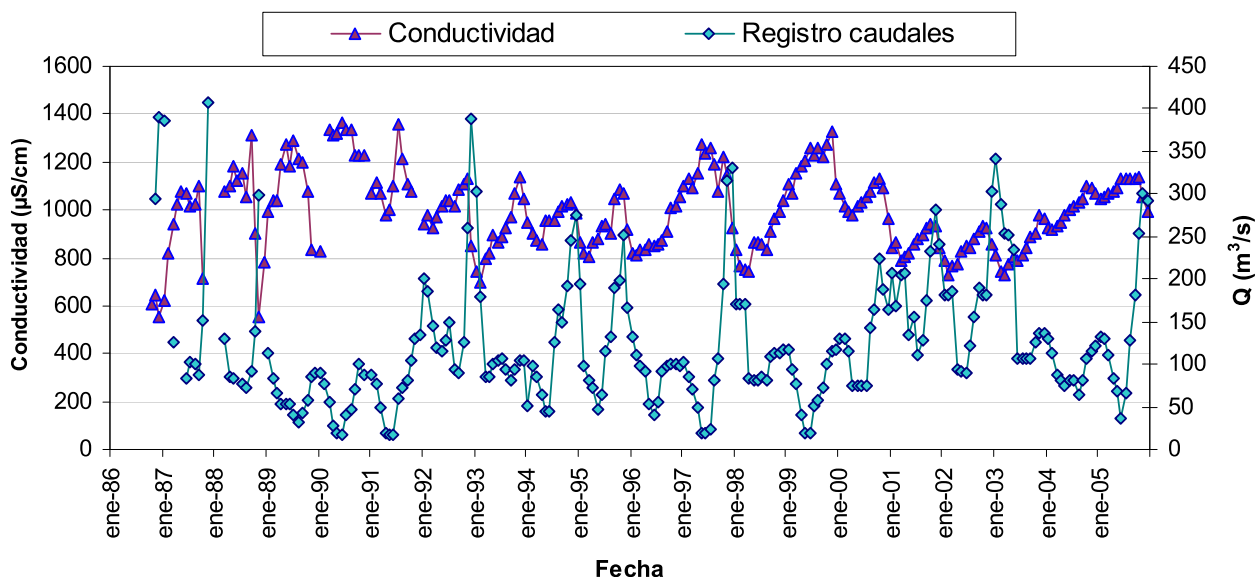


Gráfico 75. Conductividad/Caudal – Estación Buta Ranquil

4.5.1.2. Estación Casa de Piedra

A continuación se incluye en gráfico en donde fueron volcados valores de conductividad y caudal registrados mensualmente en la estación Casa de Piedra.



Fuente: Comité Interjurisdiccional del río Colorado (COIRCO)

Gráfico 76. Conductividad en función del caudal – Estación Casa de Piedra

Los valores de conductividad asociados a los caudales bajos ($0\text{--}150\text{ m}^3/\text{seg}$) presentan gran dispersión, lo cual es consistente con los valores vistos en la estación cercana a la naciente del Colorado (Buta Ranquil). No obstante, a diferencia de esta última, los valores varían entre 800 y $1400\text{ }\mu\text{S}/\text{cm}$, siendo su valor medio de aproximadamente $1100\text{ }\mu\text{S}/\text{cm}$. De la comparación de los valores medios se observa que en el trayecto recorrido entre estas dos estaciones, la media ha crecido un 22% . A medida que crecen los caudales los valores de conductividad presentan menor dispersión, variando entre 700 y $900\text{ }\mu\text{S}/\text{cm}$. Nuevamente se advierte un incremento en el valor medio de conductividad.

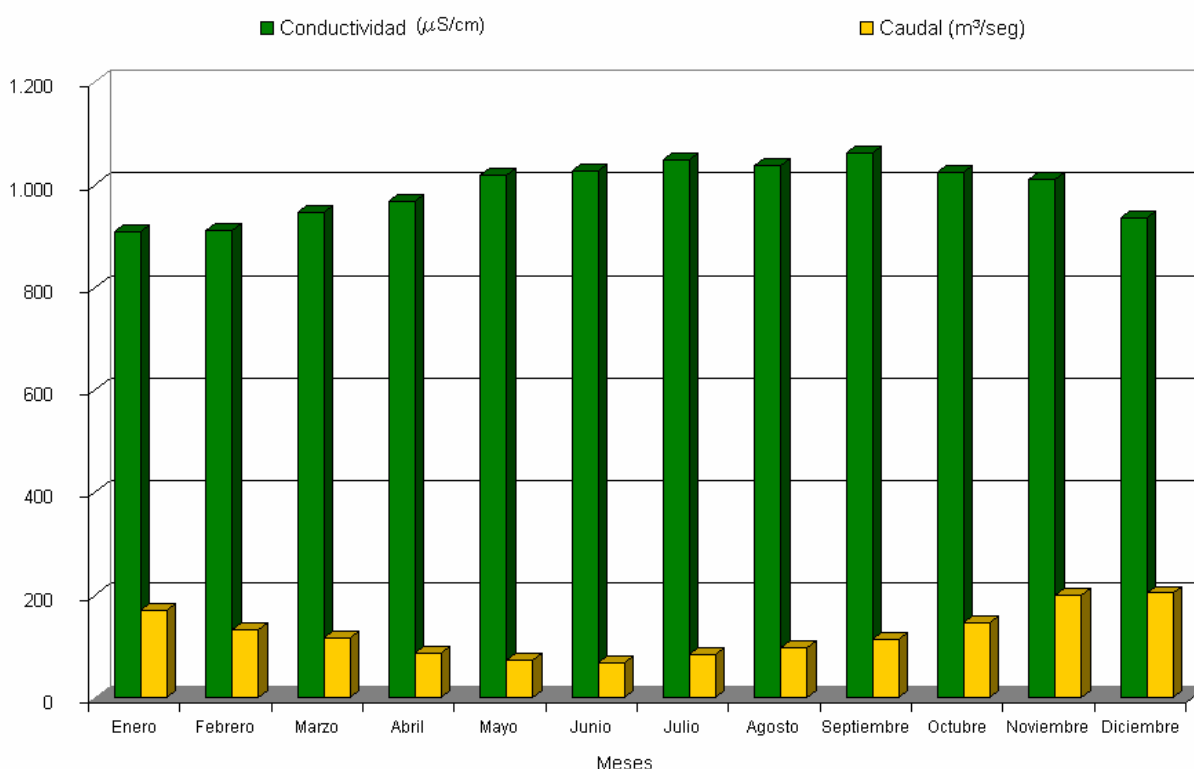
Al analizar la relación entre caudales y conductividad se observa que para caudales comprendidos entre 0 y $150\text{ m}^3/\text{seg}$ aproximadamente, los valores de conductividad varían de manera considerable, mientras que para caudales mayores la variación de conductividad tiende a ser nula. Como consecuencia de lo dicho anteriormente, se puede establecer en forma aproximada un valor asintótico de conductividad para caudales crecientes de $800\text{ }\mu\text{S}/\text{cm}$.

En cuanto a la escala temporal, se observa en correspondencia con lo dicho anteriormente, que para los meses de mayor caudal (Noviembre, diciembre y enero) los valores de conductividad disminuyen y para los meses de menor caudal los valores de conductividad aumentan aproximadamente un 10% . Como se advierte, la variabilidad de los valores de conductividad es menor que en Buta Ranquil, por efecto de la presencia del Embalse Casa de Piedra.

A continuación se incluye un gráfico en donde se realizó el promedio para cada una de las series estudiadas, tanto de los valores de caudal como de conductividad para la estación Casa de Piedra. En el mismo se puede observar que el mes con el mayor valor promedio de conductividad es septiembre (en este caso existe una diferencia apreciable entre el caudal promedio de septiembre y el caudal menor correspondiente a junio de aproximadamente un 70 %). El mes con el menor valor promedio de conductividad es enero. Es destacable la disminución de la diferencia entre las conductividades máxima y mínima, efecto que se produce desde el inicio de la regulación en el año 1989, con la presencia del Embalse Casa de Piedra.

Tabla 51. Tabla resumen valores promedio mensuales – Estación Casa de Piedra

	Caudal	Conductividad
Septiembre	114	1.063
Enero	171	908
	m ³ /seg	μS/cm

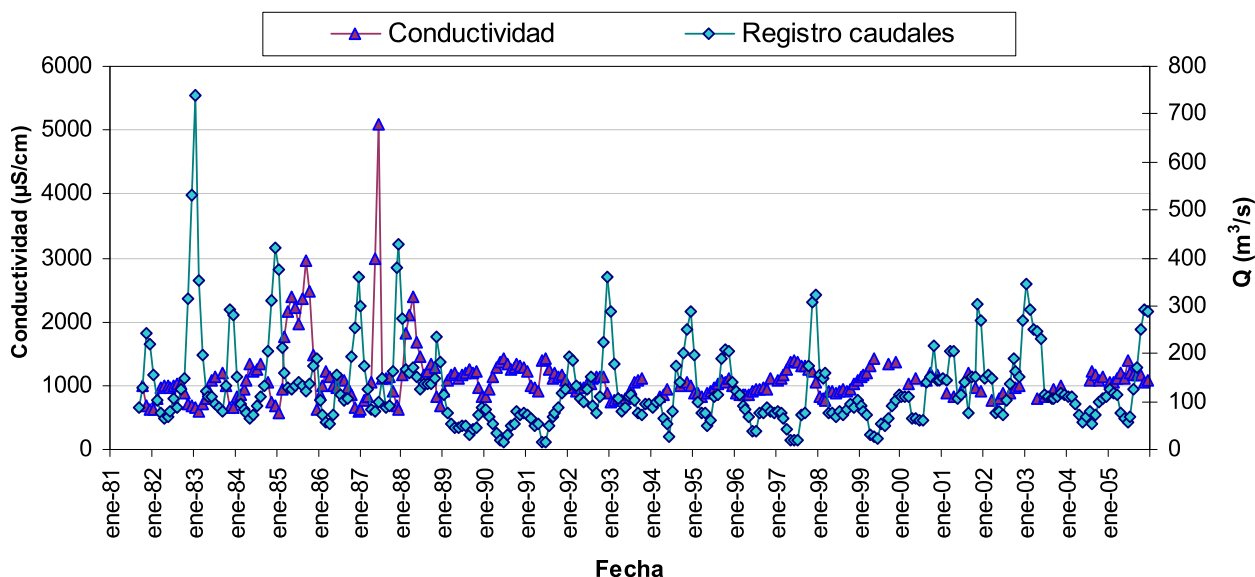


Fuente: Comité Interjurisdiccional del río Colorado (COIRCO)

Gráfico 77. Conductividad/Caudal – Estación Casa de Piedra

4.5.1.3. Estación Pichi Mahuida

A continuación se incluye un gráfico en donde fueron volcados valores de conductividad y caudal registrados mensualmente en la estación Pichi Mahuida.



Fuente: Comité Interjurisdiccional del río Colorado (COIRCO)

Gráfico 78. Conductividad en función del caudal – Estación Pichi Mahuida

Los valores de conductividad asociados a los caudales bajos (0–200 m³/seg) presentan gran dispersión, al igual que los dos casos anteriores. Los valores varían entre 750 y 1450 μS/cm, siendo su valor medio de aproximadamente 1100 μS/cm. De la comparación con el valor medio de la Estación Casa de Piedra se observa que en el trayecto recorrido entre estas dos estaciones, la media se mantuvo constante. A medida que los caudales crecen los valores de conductividad bajan. La mayoría de las mediciones de conductividad se corresponden con valores de caudal bajo.

En cuanto a la escala temporal, se observa en correspondencia con lo dicho anteriormente, que para los meses de mayor caudal (Noviembre, diciembre y enero) los valores de conductividad disminuyen y para los meses de menor caudal los valores de conductividad aumentan aproximadamente un 10 %. En este caso, la variabilidad de los valores de conductividad es similar al observado en la estación Casa de Piedra.

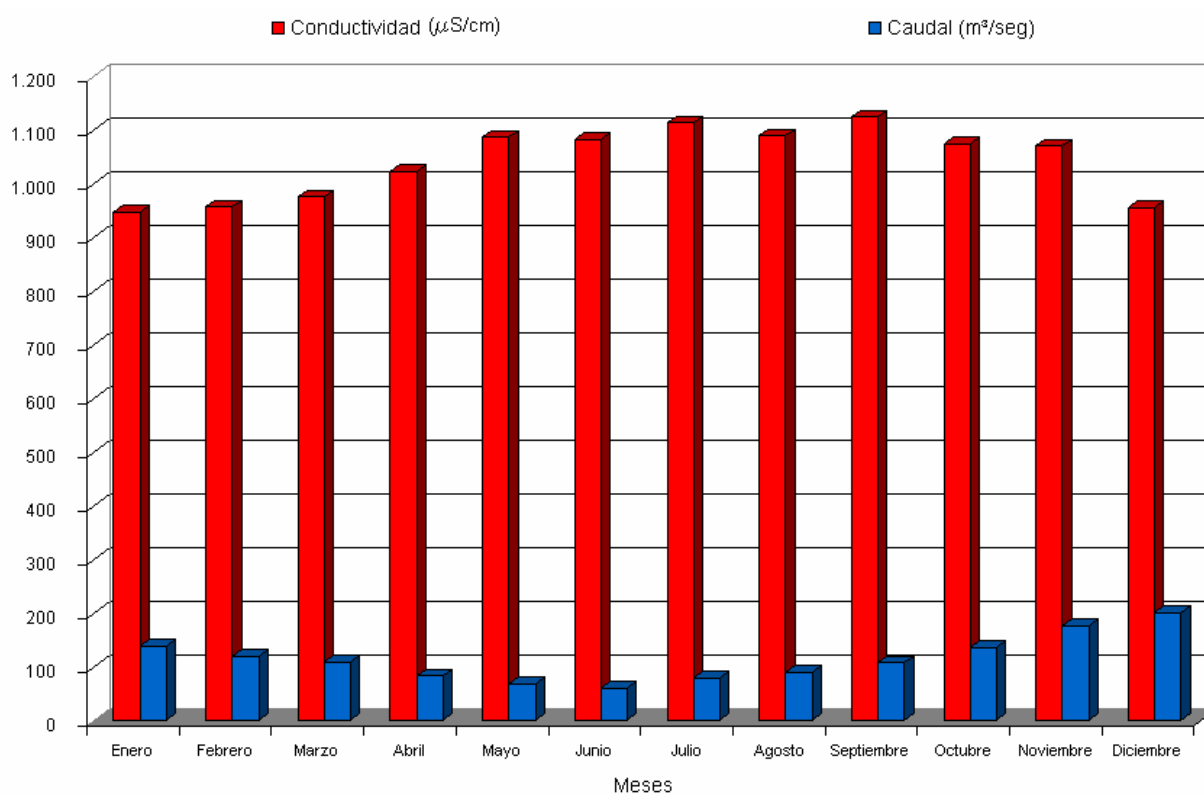
A continuación se incluye un gráfico en donde se realizó el promedio tanto de los valores de caudal como de conductividad para la estación Pichi Mahuida.

En el mismo se puede observar que el mes con el mayor valor promedio de conductividad es septiembre (se conserva el mes de máxima). El mes con el menor valor promedio de conductividad es enero. Es destacable la disminución de la diferencia entre las conductividades máxima y mínima.

Es importante destacar que este análisis fue realizado sin tener en cuenta los años en donde el Curacó volcó sobre el Colorado. Esto se debe principalmente a que se busca establecer el patrón de conductividad del Colorado sin la influencia del Curacó, para luego poder comparar estos valores con los obtenidos tomando en cuenta la perturbación de este último.

Tabla 52. Tabla resumen valores promedio mensuales – Estación Pichi Mahuida

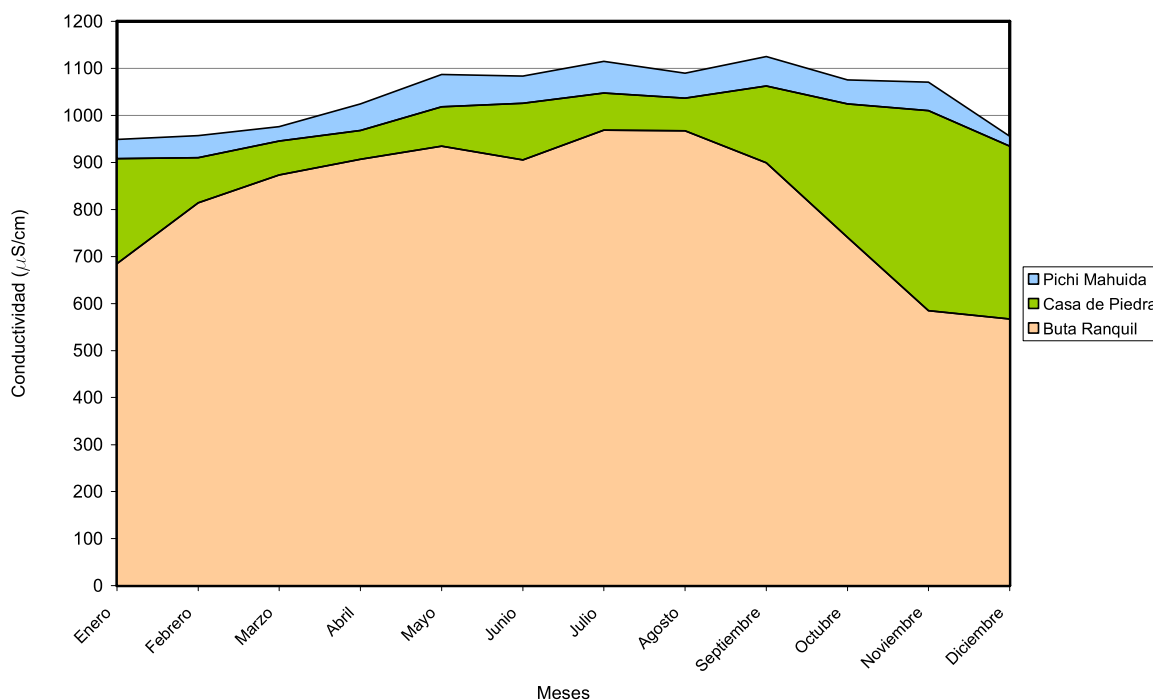
	Caudal	Conductividad
Septiembre	107	1.125
Enero	138	949
	m ³ /seg	μS/cm



Fuente: Comité Interjurisdiccional del río Colorado (COIRCO)

Gráfico 79. Conductividad/Caudal – Estación Pichi Mahuida

4.5.1.4. Variación de conductividad del río Colorado



Fuente: Comité Interjurisdiccional del río Colorado (COIRCO)

Gráfico 80. Variación de la conductividad – río Colorado

En el gráfico anterior se indica la variación de la conductividad del curso del Colorado.

Vale recordar que los valores volcados son el promedio del período de tiempo comprendido entre los años 1981-2005 y que los valores de Pichi Mahuida no contemplan los años en los que el Curacó descargó en el Colorado.

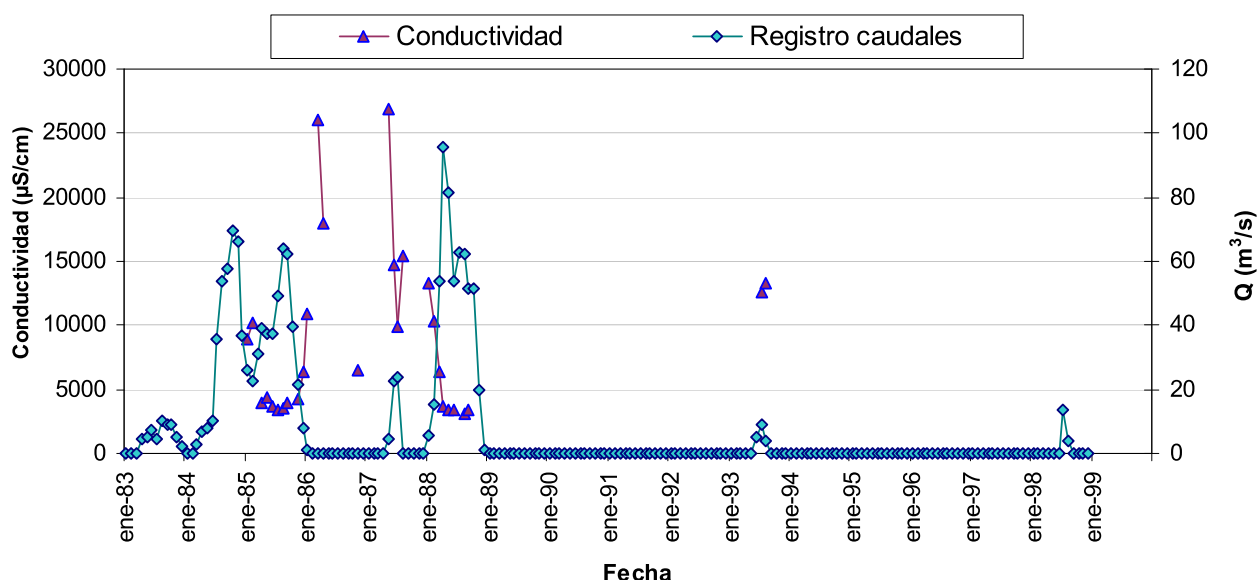
Del análisis del gráfico surgen algunas apreciaciones que se procederá a enumerar. En primer lugar, la curva correspondiente a la estación Buta Ranquil presenta una variabilidad en la conductividad durante el año muy notoria en comparación con las mediciones realizadas en las dos estaciones aguas abajo de la misma. Lo dicho anteriormente se ve reflejado en el gráfico por las pendientes de las series. Las series de aguas abajo son claramente más achatadas que la serie de Buta Ranquil por efecto de la presencia del Embalse Casa de Piedra.

A su vez, en los períodos de grandes caudales (época estival) la diferencia entre los valores tomados en B. Ranquil y Casa de Piedra es importante, no siendo así en lo que resta del año.

Por último, un dato no menor es que sin la perturbación del Curacó, la salinidad del Colorado se encuentra casi en un 100 % de las veces que se realizaron las mediciones, dentro de los límites tolerables (el valor umbral para cultivos frutales el límite corresponde a aproximadamente 1800 $\mu\text{S/cm}$) y por lo tanto podría ser utilizada para los diferentes usos que se le da al recurso.

4.5.1.5. Estación Pichi Mahuida II

A continuación se incluye un gráfico en donde fueron volcados los valores de conductividad y de caudal medios mensuales medidos en la estación Pichi Mahuida II.



Fuente: Comité Interjurisdiccional del río Colorado (COIRCO)

Gráfico 81. Conductividad en función del caudal – Estación Pichi Mahuida II

El gráfico muestra que los valores picos de conductividad se corresponden con los valores mínimos de caudal. A su vez, se observa que existe una muy baja dispersión de los valores de conductividad asociados a caudales altos. Es decir, ante un aumento del caudal se mantienen constantes los valores de conductividad.

Al analizar la relación entre caudales y conductividad se observa que para caudales comprendidos entre 0 y 40 m³/seg aproximadamente, los valores de conductividad varían de manera considerable, mientras que para caudales mayores la variación de conductividad tiende a ser nula. Como consecuencia de lo dicho anteriormente, se puede establecer en forma aproximada un valor asintótico de conductividad para caudales crecientes que oscila entre 3000 y 5000 μS/cm.

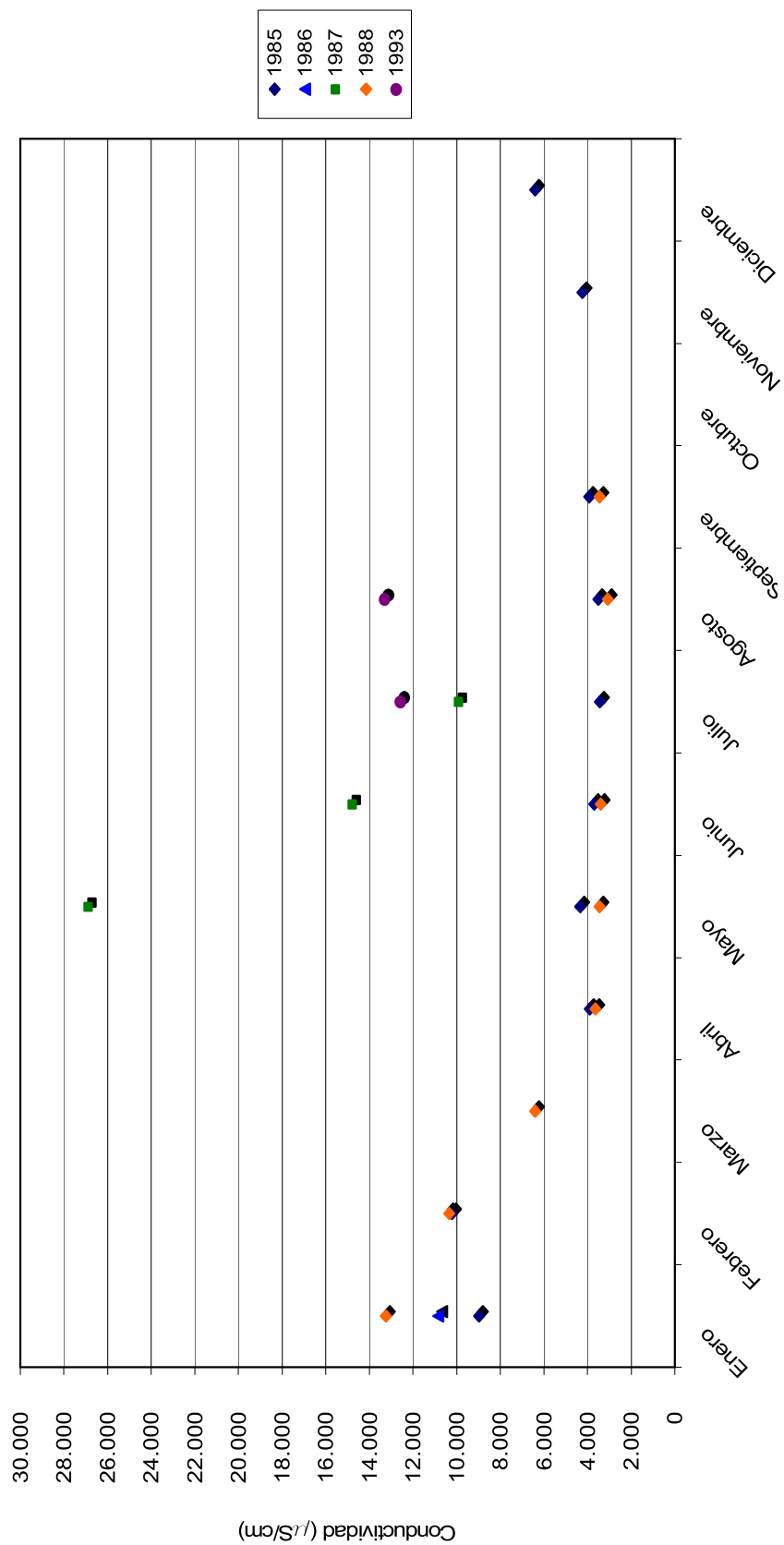
No obstante a lo observado anteriormente, el comportamiento de la conductividad en el cauce del río Curacó resulta ser muy complejo, dado que se encuentra asociado al escurrimiento que se ha presentado durante períodos como no permanente del sistema y a procesos de evaporación en cauces bañados y lagunas. Esto ha generado gran variabilidad de la curva de conductividad en función del tiempo. Es destacable que los niveles de conductividad son claramente mayores que los aportados por el río Colorado. Los valores para el río Colorado se encuentran acotados entre 500 y 1500 μS/cm, mientras que los del Curacó presentan un gran desvío alcanzando y superando en excepcionales situaciones los 25000 μS/cm.



En cuanto a la escala temporal, se observa una tendencia a respetar el comportamiento mostrado por el río Colorado (Valores de conductividad son inversamente proporcionales al caudal). No obstante, el hecho de contar con pocos datos no permite declarar como cierta esta afirmación.

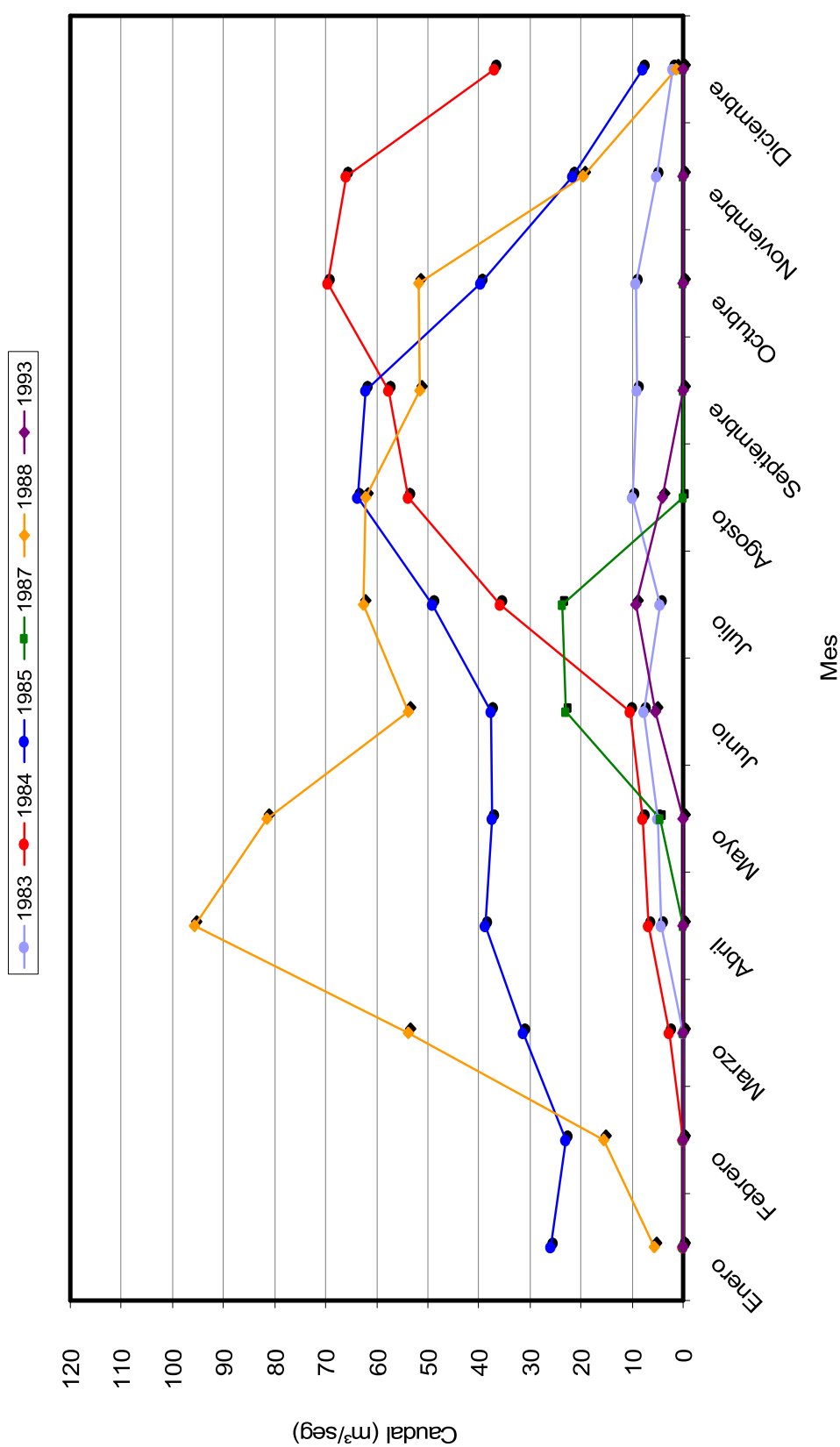
A continuación se incluyen dos gráficos. En el primero de ellos se advierten los valores de conductividad obtenidos para los diferentes meses de los años 1985, 1986, 1987, 1988 y 1993. El segundo de ellos representa los valores de caudal para los meses de diferentes años en donde el Curacó erogó sobre el Colorado.

Gráfico 83. Conductividad en función de los meses del año



Fuente: Comité Interjurisdiccional del Río Colorado (COIRCO)

Gráfico 84. Caudal en función de los meses del año



Fuente: Comité Interjurisdiccional del Río Colorado (COIRCO)



En cuanto al primer gráfico (conductividad vs. mes), se observa una leve tendencia que muestra que las series presentan derivadas negativas en la primer parte del año y la etapa posterior tiende a ser nula. Lo dicho anteriormente se advierte al analizar las series correspondientes al año 1985 y 1988. Un dato importante es que el Curacó erogó sobre el Colorado en forma continua durante estos años.

Para situaciones en donde el escurrimiento esta más asociado a un pulso que a un escurrimiento continuo, se observa que los valores son diversos, pero que siempre fueron mayores que la media de los años que se caracterizaron por un escurrimiento continuo.

En adición, el análisis de la serie del año 1987 (donde el Curacó empezó a erogar sobre el Colorado en el mes de Junio) nos induce a pensar que la conductividad es mayor cuando comienza a haber escurrimiento en el Curacó. Una posible causa que explique lo dicho anteriormente se puede encontrar si se piensa en una primera instancia en un curso seco y que luego se encuentra nuevamente con escurrimiento que crece en forma gradual. En cuanto empieza a circular un caudal importante aumenta la capacidad tractiva del curso de agua y consecuentemente arrastra y se carga de la mayoría de las sales depositadas en el lecho aumentando su conductividad. A medida que aumenta el caudal, aumenta el arrastre de sales; pero el primero es preponderante, teniendo como balance un mayor aumento de la cantidad de agua en proporción a la cantidad de sales disueltas que se incorporaran al curso como consecuencia del aumento de la capacidad tractiva del mismo. Lo dicho anteriormente explicaría porque descienden los valores de conductividad del Curacó a medida que aumenta su caudal.

En cuanto al gráfico correspondiente a los caudales en función del tiempo se puede advertir que los caudales más importantes del Curacó ocurren en los meses centrales del año y disminuyen a medida que nos acercamos a los extremos. Tal comportamiento es característico de las zonas donde es preponderante el uso del recurso para riego. Es decir, los requerimientos de los cultivos aumentan en los meses estivales al igual que la evapotranspiración, por lo tanto mayor cantidad del recurso será utilizado para satisfacer las necesidades de los cultivos. En los meses con características más invernales, la evapotranspiración disminuye al igual que los requerimientos del cultivo; consecuentemente la disponibilidad de recurso será mayor.

4.5.1.6. Perturbación del Curacó sobre el Colorado

Como se mencionó oportunamente en la etapa de análisis del Colorado, la salinidad de este cauce es siempre inferior al valor umbral que imposibilita el uso del recurso. En otras palabras, el Colorado es un sistema que no genera por si mismo los altos valores de conductividad que se detectan en las estaciones de muestreo aguas abajo. No obstante, cuando el río Curacó vuelca sobre las aguas del Colorado, se genera un aumento considerable de la salinidad que limita el uso del recurso debido a la calidad del mismo.

Esta sección se centra en caracterizar el impacto que genera el Curacó sobre el río Colorado por medio de diferentes análisis.

Con respecto a la información utilizada, se cuenta con los valores de caudal y conductividad correspondientes al período de tiempo 1981-2005 provistos por el Comité Interjurisdiccional del río



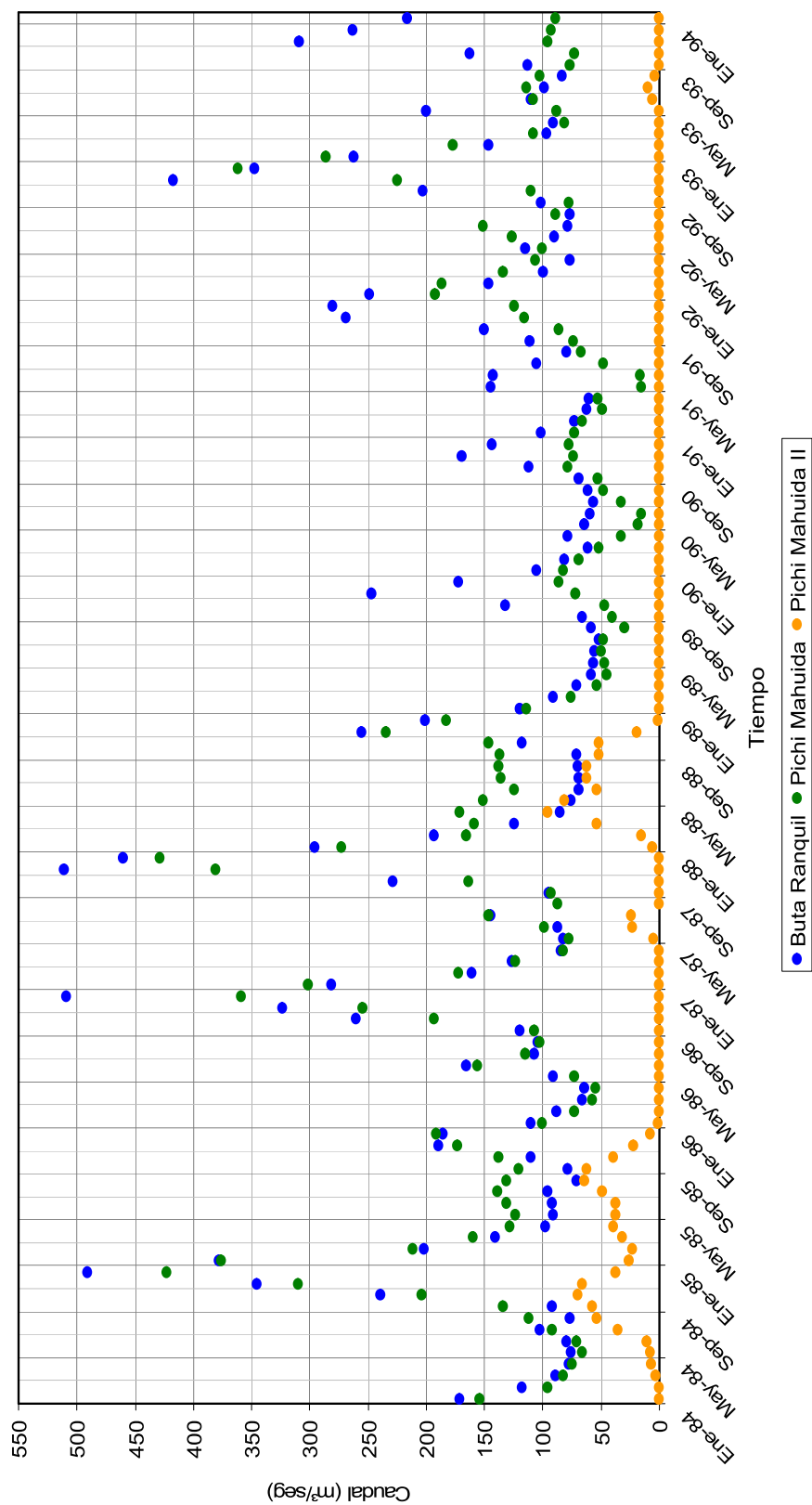
Colorado y la Secretaría de Recursos Hídricos de La Pampa⁶. Es importante aclarar que algunas series disponibles no están completas.

En lo que respecta al primer objetivo mencionado anteriormente, resulta interesante analizar en forma conjunta el gráfico de conductividad y caudal en función del tiempo de las estaciones del Colorado y la del Curacó. A través de los mismos se intentará analizar la relevancia de las variables caudal y conductividad del Curacó a la hora de caracterizar el impacto aguas abajo de la unión de ambos ríos.

A continuación, se advierten los dos gráficos que fueron mencionados en los párrafos precedentes.

⁶ Específicamente, Secretaría de Recursos Hídricos de La Pampa – Dirección de Investigación Hídrica.

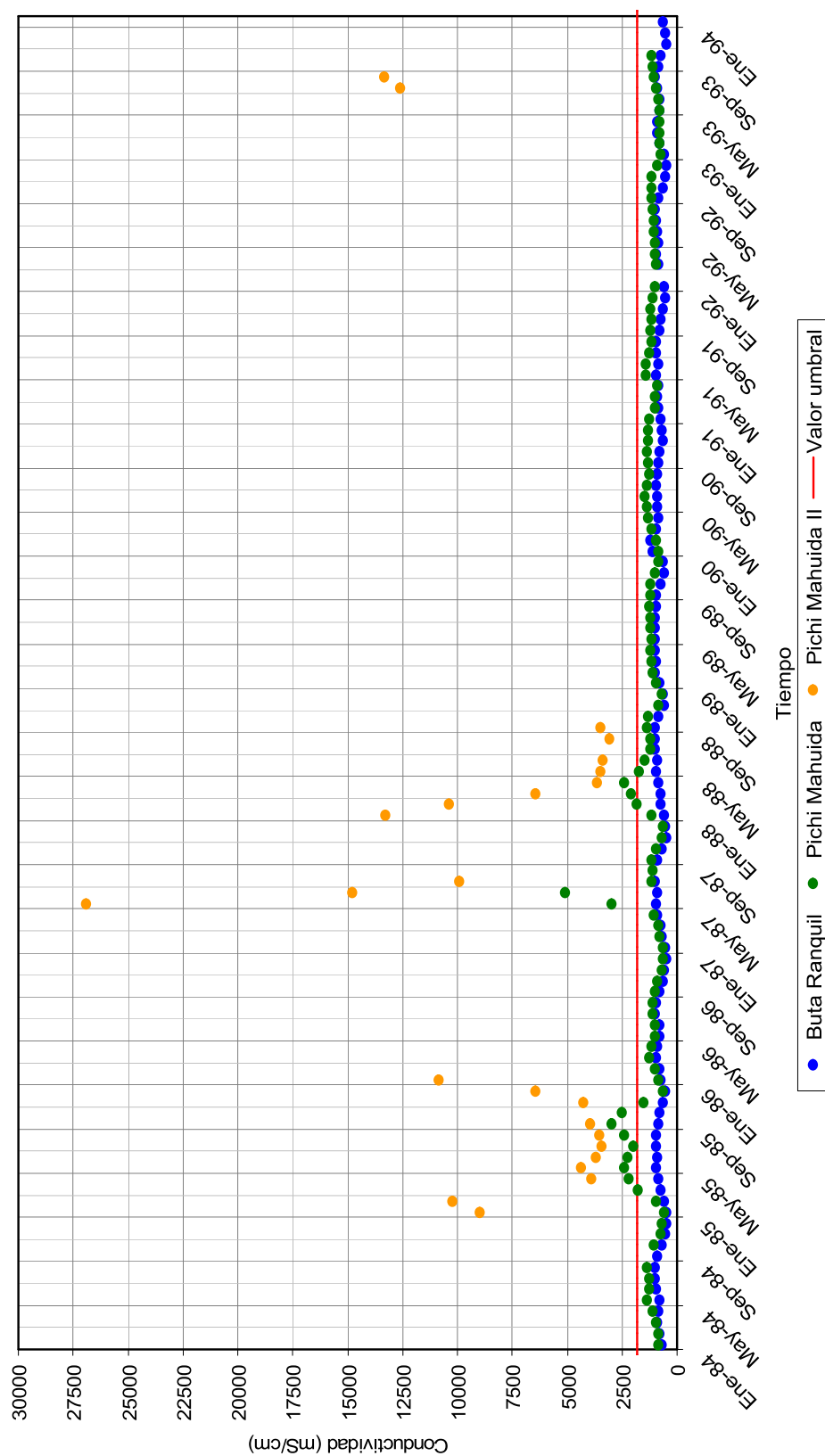
Gráfico 85 .Caudal en función del tiempo



Fuente: 1) Comité Interjurisdiccional del Río Colorado (COIRCO)

2) “Estadística hidrológica de los ríos Atuel, Salado, Chadileuvú y Curacó”, Sec.de Rec. Hídricos de La Pampa, Dirección de Investigación Hídrica.

Gráfico 86. Conductividad en función del tiempo



Fuente:1) Comité Interjurisdiccional del Río Colorado (COIRCO)

2) “Estadística hidrológica de los ríos Atuel, Salado, Chadileuvú y Curacó”, Sec.de Rec. Hídricos de La Pampa, Dirección de Investigación Hídrica.



Como se observa en el gráfico de conductividad en función del tiempo, hubo tres períodos de tiempo en los que los valores de conductividad del río Colorado fueron extraordinarios (Datos estación Pichi Mahuida).

Esos tres períodos de tiempo son:

- Abril, Mayo, Junio, Julio, Agosto, Septiembre y Octubre de 1985
- Mayo y Junio de 1987
- Febrero, Marzo y Abril de 1988

En cuanto al primer período de tiempo en el que el Colorado estuvo fuera de los límites admisibles se observa que en los primeros meses, a pesar de los altos valores de conductividad del Curacó, el Colorado presentaba valores bajos de conductividad (bajos en relación a los que presentaría en los meses venideros). Aquí también se debe destacar que el caudal del Colorado era muy superior al caudal proveniente del Curacó.

En la etapa media de este período, la conductividad del Curacó decae en magnitud pero los efectos sobre el Colorado son más importantes, alcanzando valores de conductividad superiores a los registrados en los meses en donde la conductividad del Curacó era ampliamente superior. De hecho, es en esta etapa donde se llega al máximo valor de conductividad del Colorado en el período (No coincidente con el máximo valor de conductividad del Curacó). En adición, en esta etapa la brecha entre los valores de caudal del Curacó y el Colorado se acortan; siendo en el mes de Septiembre donde más cercanos se encuentran estos valores, y coincidentemente se da el máximo valor de conductividad del Colorado.

En los últimos meses, nuevamente crecen los valores de conductividad del Curacó y vuelve a caer la conductividad del Colorado. Si analizamos los caudales para estos meses se observa que en contraposición a los bajos caudales del Curacó, se dan caudales de gran magnitud en el Colorado.

En el segundo período, los valores de conductividad del Curacó son muy elevados y sumado a esto los caudales de este río se acercan a los caudales del Colorado. Consecuentemente, es difícil establecer en que medida afecta cada una de estas variables al aumento de la salinidad que se genera en el río Colorado.

En el tercer período, se puede distinguir que en los primeros meses (donde la relación entre el Caudal del Curacó y el Caudal del Colorado es mayor, y a su vez se dan altos valores de conductividad en el Curacó) hay un incremento notable en la conductividad del Colorado. En los meses siguientes, hay un descenso en los valores de conductividad del Colorado generado en forma conjunta por un descenso en la relación de caudales y una disminución en los valores de conductividad del Curacó.

Resulta de gran interés para el desarrollo de este análisis, observar lo sucedido a mediados del año 1993. En estos meses el Curacó se presentó con valores de conductividad muy elevados, del orden de los 12500 $\mu\text{S}/\text{cm}$.



En correspondencia, la relación entre el caudal del Curacó y el Colorado era muy baja ($Q_{\text{Curacó}}/Q_{\text{Colorado}} = 0.1$). Como resultado de la mezcla de ambos cursos de agua, la conductividad del Colorado se mantuvo inmutable ante la perturbación del Curacó, presentando una variación aproximadamente nula de su patrón de conductividad. La afirmación anterior, es inferida en función del análisis de los datos de la estación Pichi Mahuida y no deberá ser extrapolada hacia estaciones aguas debajo de la misma previa constatación de dicho comportamiento

A modo de conclusión, se observa que el impacto que genera el Curacó sobre el Colorado está condicionado en mayor medida por una relación entre los caudales característicos de cada río, y en un segundo lugar por los valores de conductividad de los mismos. Es menester aclarar que lo dicho anteriormente no implica que los valores de conductividad del Curacó no tengan incumbencia a la hora de analizar dicho fenómeno, sino que tienen un rol secundario en comparación con la relación entre los caudales. Es oportuno reiterar que esta afirmación es el resultado del análisis de los tres eventos mencionados anteriormente, pero que no representa una verdad irrefutable sino que intenta ser una apreciación realizada en base a lo observado.

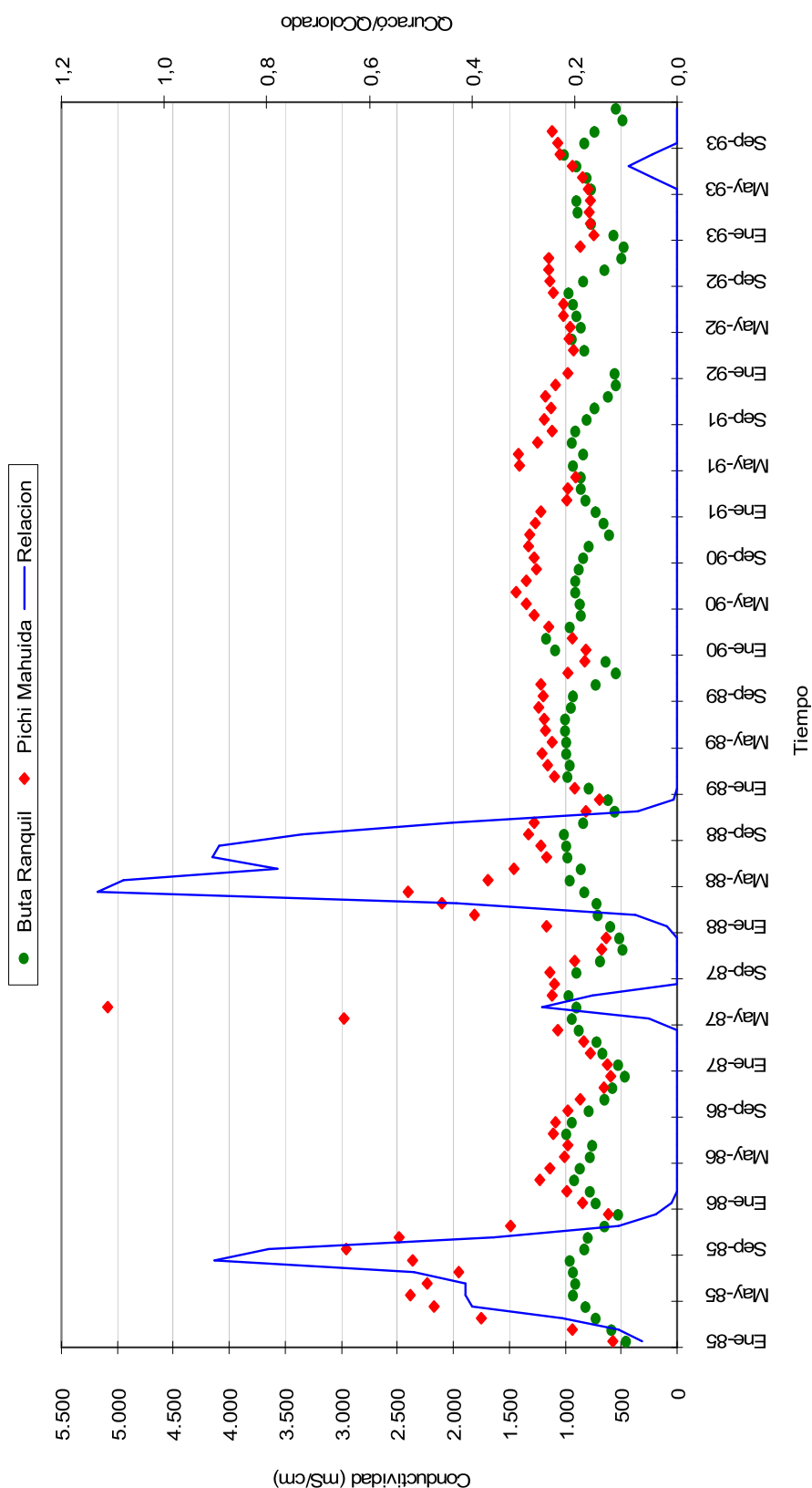
En función de lo dicho anteriormente, y a modo de reflexión de lo analizado, podemos decir que el mayor reto que presenta la cuenca a nivel de su gestión es poder lograr un manejo del recurso con una estrategia definida. Este representa un paso fundamental para lograr paliar las consecuencias que genera el volcamiento de las aguas del Curacó sobre el Colorado; dado que la alta salinidad del Curacó, unida a la aleatoriedad de las crecientes en todo el sistema y a su manejo sin una estrategia definida, constituyen una amenaza latente y permanente para el abastecimiento de agua, para consumo humano, y para las áreas bajo riego situadas en la cuenca media y baja del río Colorado, aguas debajo de la descarga del río Curacó.

Con el objeto de mostrar en forma gráfica lo dicho anteriormente, se incluye un gráfico donde figuran las variaciones en los valores de conductividad del Colorado y la relación entre los caudales del Curacó y este último.

Sin embargo, cabe mencionar, que si se consideran las mediciones en la estación Paso Alsina, y la reportada por COIRCO, los períodos de tiempo en que los valores de conductividad eléctrica del Río Colorado fueron extraordinarios debido a las descargas del río Curacó, son los siguientes:

- Julio, agosto, septiembre y octubre de 1984.
- Abril, mayo, junio, julio, agosto, septiembre y octubre de 1985.
- Mayo, junio y julio de 1987.
- Marzo, abril, mayo, junio, julio, agosto, septiembre y octubre de 1988.
- Junio, julio y agosto de 1993.

Gráfico 87. Relación de caudales y conductividad del río Colorado en función del tiempo



Fuente: 1) Comité Interjurisdiccional del Río Colorado (COIRCO)

2) "Estadística hidrológica de los ríos Atuel, Salado, Chadileuvú y Curacó", Sec.de Rec. Hídricos de La Pampa, Dirección de Investigación Hídrica.

4.5.2. Nodo 2S: Bañados del Atuel (unión río Atuel y río Salado)

Para realizar el estudio de este nodo se utilizaron series hidroquímicas provistas por la Secretaria de Recursos Hídricos de La Pampa. A través del estudio de las series hidroquímicas se buscará determinar cual es el patrón de salinidad de los ríos aguas arriba del nodo, y determinar cual es preponderante aguas abajo.

Realizado lo anterior, se podrá concluir cual de los afluentes del tramo inferior es el que genera la alta salinidad del mismo y cual tiende a disminuir dicho parámetro.

Para el estudio de este nodo se cuenta con los datos hidroquímicos de tres estaciones de aforo. Cada una de las mismas es representativa del curso de agua sobre el cual se ubica. Las estaciones de aforo son:

- Estación Paso del Loro (representativa del río Salado)
- Estación Puesto Jacinto Ugalde⁷ (representativa del río Atuel)
- Estación La Reforma (Representativa del río Chadileuvú)

De este modo, resulta un triángulo formado por las tres estaciones donde se tendría los ingresos del río Salado y del Atuel, el triangulo mismo que representaría a los bañados del Atuel, y finalmente el resultado de esa interacción estaría representado por las mediciones en el río Chadileuvú.

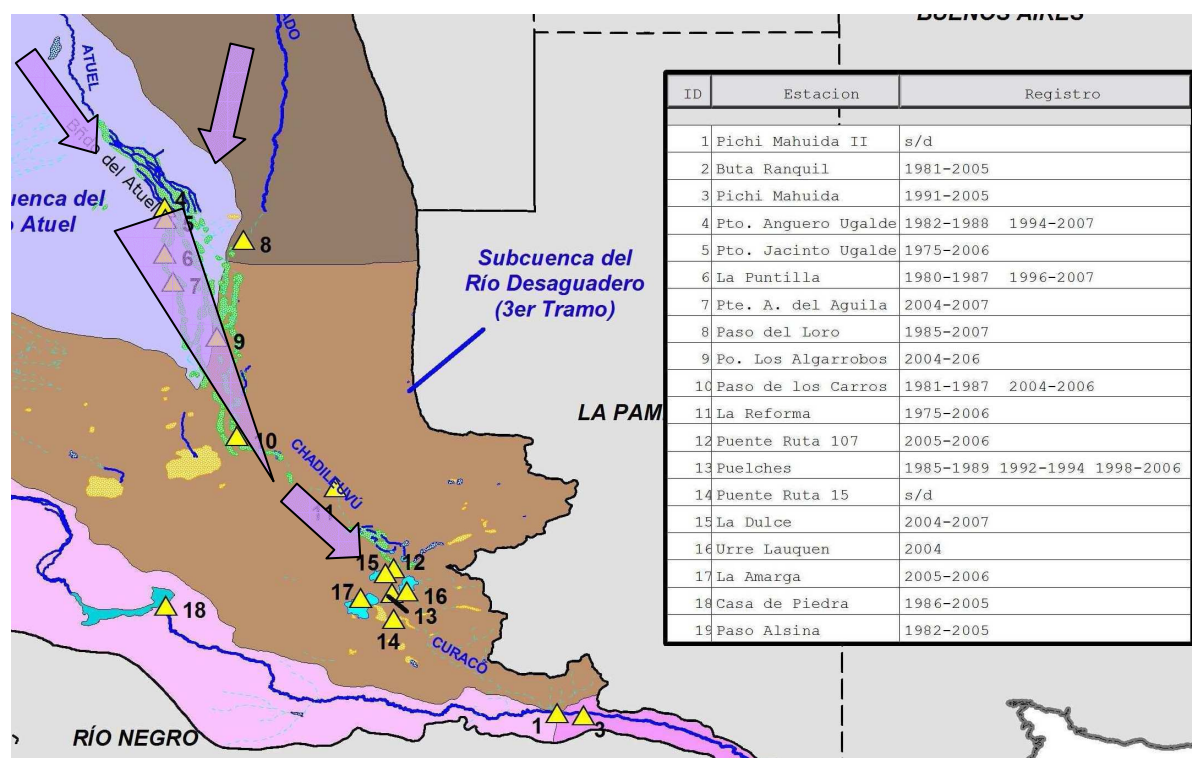
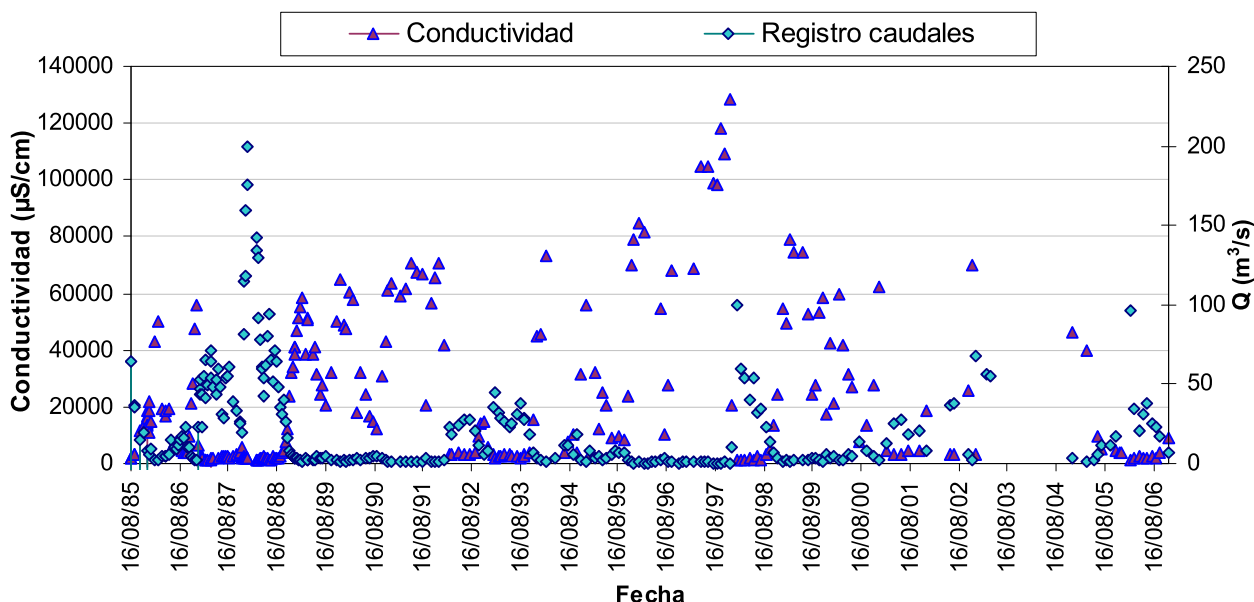


Figura 21. Bañados del Atuel (unión río Atuel y río Salado)

⁷ Los datos hidroquímicos de esta estación fueron complementados con los datos de la estación Anguero Ugalde. Dada la cercanía entre estas dos estaciones, se cree conveniente unificar ambas series para lograr tener una serie más extensa, cometiendo un error despreciable.

4.5.2.1. Estación Paso del Loro

A continuación se presenta un gráfico en donde fueron volcados registros de conductividad y de caudal existentes en la estación Paso del Loro. Ambos son instantáneos y el registro no es continuo.



Fuente: “Estadística hidrológica de los ríos Atuel, Salado, Chadileuvú y Curacó”, Sec.de Rec. Hídricos de La Pampa, Dirección de Investigación Hídrica.

Gráfico 87. Conductividad en función del caudal – Estación Paso del Loro

Los valores de conductividad asociados a los caudales bajos ($0-10 \text{ m}^3/\text{seg}$) presentan gran dispersión. Estos valores varían entre 5000 y $128000 \mu\text{S}/\text{cm}$. A medida que crecen los caudales los valores de conductividad presentan menor dispersión, variando entre 1000 y $3000 \mu\text{S}/\text{cm}$.

Resulta interesante destacar que la conductividad no varía en forma representativa para altos valores de caudal. Tal es así que tanto para caudales del orden de los $20 \text{ m}^3/\text{seg}$ como para valores del orden de $200 \text{ m}^3/\text{seg}$, la conductividad se mantiene constante y con un valor de $2000 \pm 1000 \mu\text{S}/\text{cm}$.

Al analizar la relación entre caudales y conductividad se observa que para caudales comprendidos entre 0 y $10 \text{ m}^3/\text{seg}$ aproximadamente, los valores de conductividad varían de manera considerable, mientras que para caudales mayores la variación de conductividad tiende a ser nula. Como consecuencia de lo dicho anteriormente, se puede establecer en forma aproximada un valor asintótico de conductividad para caudales crecientes de $1500 \mu\text{S}/\text{cm}$.

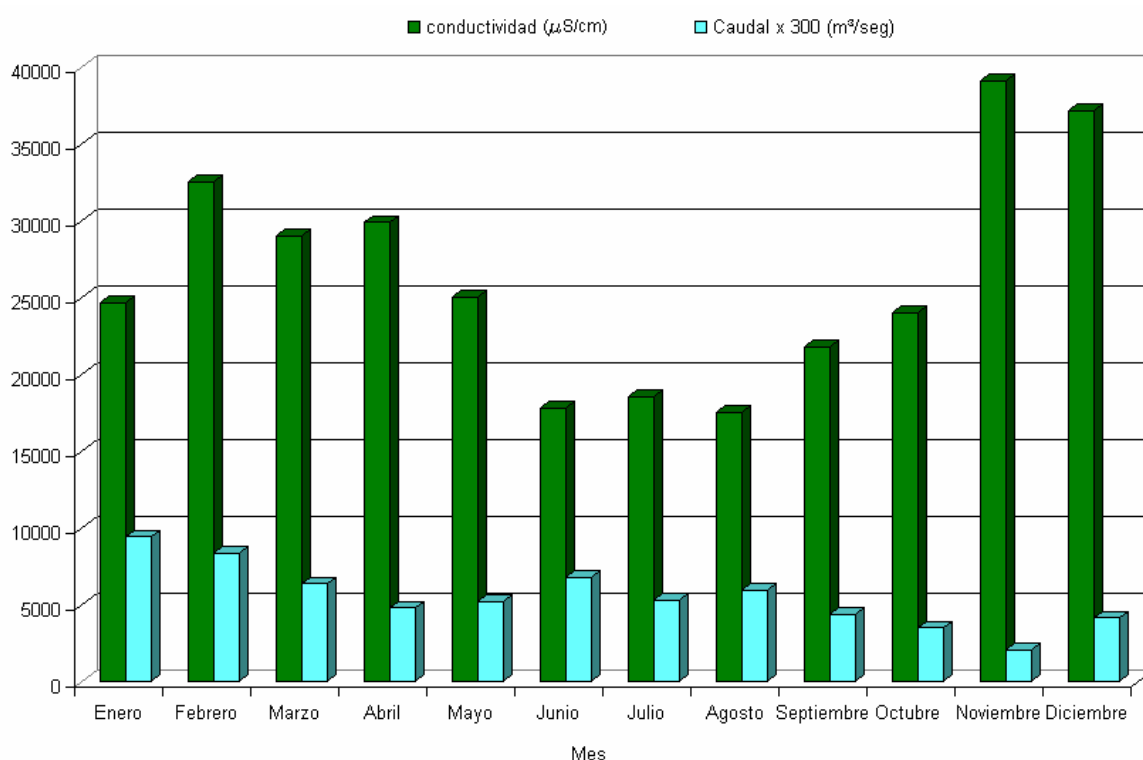
En cuanto a la escala temporal, se observa en correspondencia con lo dicho anteriormente, que para los meses de mayor caudal (Enero, Febrero, Junio Julio y Agosto) los valores de conductividad disminuyen y para los meses de menor caudal los valores de conductividad aumentan aproximadamente un 50% .

A continuación se incluye un gráfico en donde se realizó el promedio tanto de los valores de caudal como de conductividad para la estación Paso del Loro. En el mismo se puede observar que el mes

con el mayor valor promedio de conductividad es Noviembre (en concordancia con el mínimo valor de caudal promedio), y el mes con el menor valor promedio de conductividad es Agosto.

Tabla 53. Tabla resumen valores promedio mensuales – Estación Paso del Loro

	Caudal	Conductividad
Noviembre	6.8	38902
Agosto	19.9	17423
	m ³ /seg	μS/cm

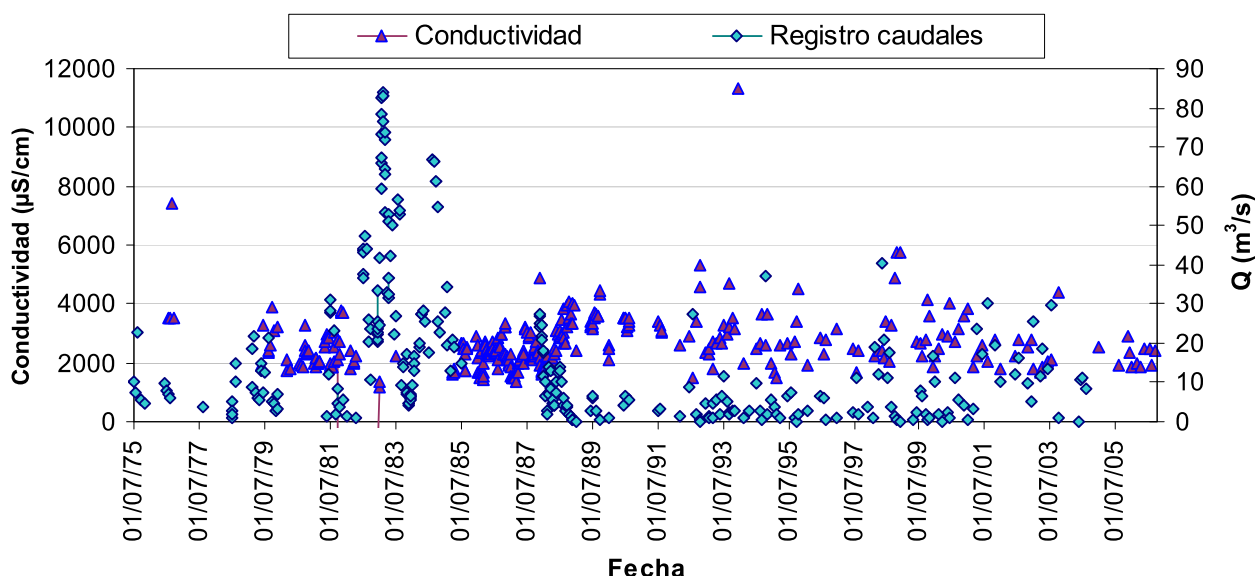


Fuente: “Estadística hidrológica de los ríos Atuel, Salado, Chadileuvú y Curacó”, Sec.de Rec. Hídricos de La Pampa, Dirección de Investigación Hídrica.

Gráfico 88. Conductividad/Caudal – Estación Paso del Loro

4.5.2.2. Estación Puesto Jacinto Ugalde

A continuación se presenta un gráfico en donde fueron volcados registros de conductividad y de caudal existentes en la estación Puesto Jacinto Ugalde. Ambos son instantáneos y el registro no es continuo.



Fuente: “Estadística hidrológica de los ríos Atuel, Salado, Chadileuvú y Curacó”, Sec.de Rec. Hídricos de La Pampa, Dirección de Investigación Hídrica.

Gráfico 89. Conductividad en función del caudal – Estación Puesto Jacinto Ugalde

Los valores de conductividad asociados a los caudales bajos (0–5 m³/seg) presentan mayor dispersión a los asociados a caudales altos. Sin embargo, la dispersión de los valores de conductividad se encuentra acotada. Al comparar estos registros con los de la estación analizada anteriormente (Paso del Loro) se infiere que la dispersión de los valores de conductividad es más importante en Paso del Loro. Los registros de Jacinto Ugalde indican que a medida que aumentamos el caudal, la conductividad se mantiene en un rango constante de valores, y la atenuación de los valores de conductividad para caudales mayores es casi despreciable. No obstante, es importante aclarar que existe una disminución de la conductividad a medida que los caudales crecen en magnitud, pero el gradiente que caracteriza a la curva de tendencia es casi constante a partir de los 3 m³/seg.

En cuanto al carácter cuantitativo, la conductividad varía entre 6000 y 1500 μS/cm para los caudales menores a 5 m³/seg y para caudales mayores es rango de variación es aproximadamente constante y varía desde los 3500 y 1500 μS /cm. En este caso se puede establecer como valor asintótico 2000 μS /cm.

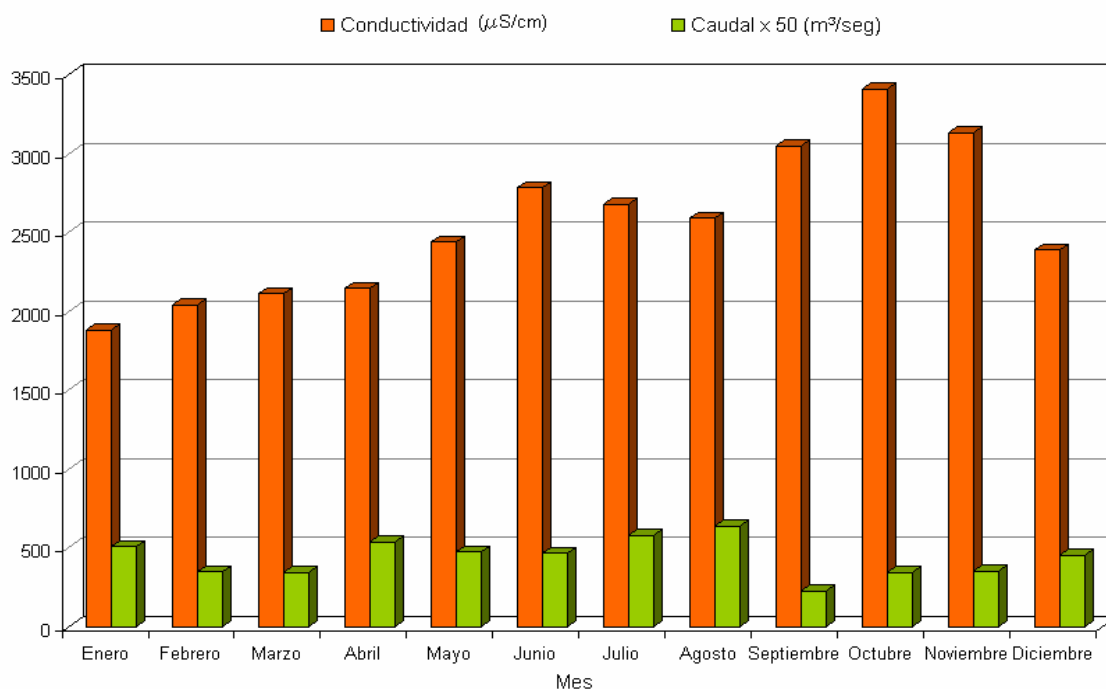
En cuanto a la escala temporal, se observa que el comportamiento es bastante particular. Es decir, se observan caudales maximos relativos con valores minimos (relativos) de conductividad. Para los meses que se encuentran comprendidos entre estos meses de máximos caudales relativos, corresponde la afirmación que establece que a mayor caudal, menor será la conductividad. No obstante, a nivel global la afirmación no tiene consistencia; dado que para el mes de máximo caudal, la conductividad es muy distante de la conductividad minima mensual promedio

A continuación se incluye un grafico en donde se realizó el promedio tanto de los valores de caudal como de conductividad para la estación Jacinto Ugalde. En el mismo se puede observar que el mes

con el mayor valor promedio de conductividad es octubre (el caudal de este mes es el 140% del caudal mínimo absoluto que corresponde a septiembre) y el mes con menor valor promedio de conductividad es enero (el caudal de este mes es el 77% del caudal máximo absoluto que corresponde a agosto).

Tabla 54. Tabla resumen valores promedio mensuales – Estación Puesto Jacinto Ugalde

	Caudal	Conductividad
Octubre	7	3412
Enero	10	1878
	m ³ /seg	μS/cm

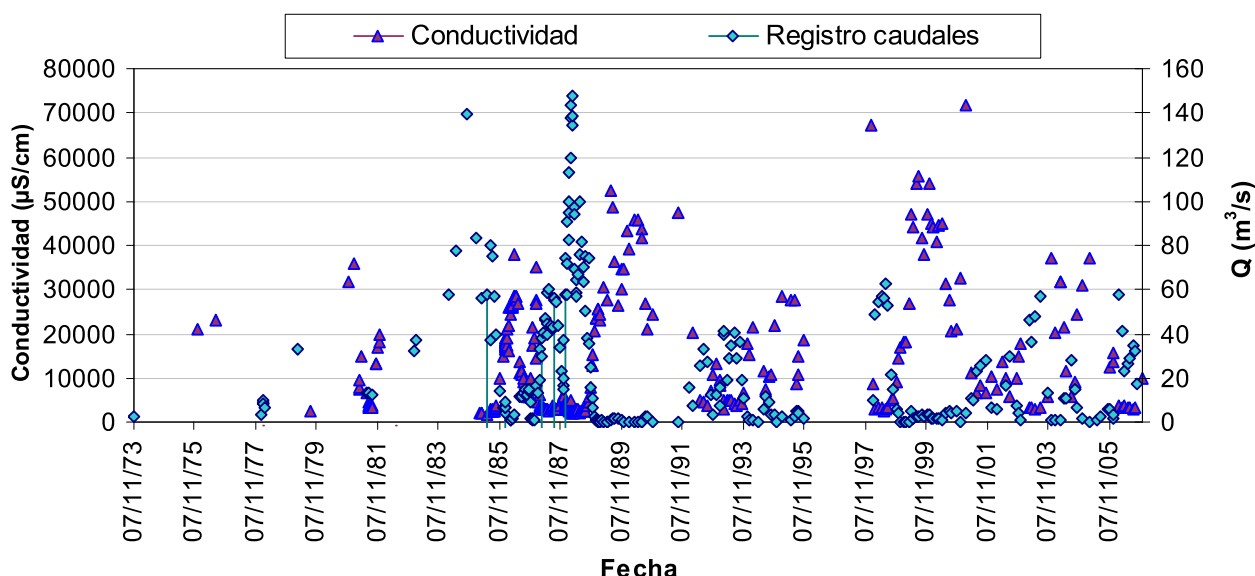


Fuente: “Estadística hidrológica de los ríos Atuel, Salado, Chadileuvú y Curacó”, Sec.de Rec. Hídricos de La Pampa, Dirección de Investigación Hídrica.

Gráfico 90. Conductividad/Caudal – Estación Puesto Jacinto Ugalde

4.5.2.3. Estación La Reforma

A continuación se presenta un gráfico en donde fueron volcados registros de conductividad y de caudal existentes en la estación La Reforma. Ambos son instantáneos y el registro no es continuo.



Fuente: “Estadística hidrológica de los ríos Atuel, Salado, Chadileuvú y Curacó”, Sec.de Rec. Hídricos de La Pampa, Dirección de Investigación Hídrica.

Gráfico 91. Conductividad en función del caudal – Estación La Reforma

Como se observa en el gráfico, los valores de conductividad asociados a los caudales mas bajos (0–10 m³/seg) presentan mayor dispersión que los asociados a los caudales mayores. El rango de variación para estos caudales va desde los 5000 hasta los 55000 μS/cm. Para caudales comprendidos entre los 10 y 30 m³/seg, la variación se reduce considerablemente, pudiéndose acotar dentro del rango 10000-2500 μS/cm. Para caudales mayores, la variación de conductividad esta acotada superiormente a los 5000 μS/cm y se puede establecer como valor asintótico la media de este intervalo, es decir 2500 μS/cm.

En cuanto a la escala temporal, se observa nuevamente que el comportamiento es singular. En lo que se refiere a caudales, se observa que hay una normalización del hidrograma aguas abajo, seguramente provocado por el efecto regulador de los bañados del Atuel (Ver punto 3.6.3 Bañados de Atuel). No obstante, la conductividad no presenta un diagrama definido, por el contrario los picos son dispersos y guardan poca relación con el hidrograma resultante. A pesar de lo dicho anteriormente, existe una leve cooncordancia entre los caudales más bajos y los valores de conductividad más altos.

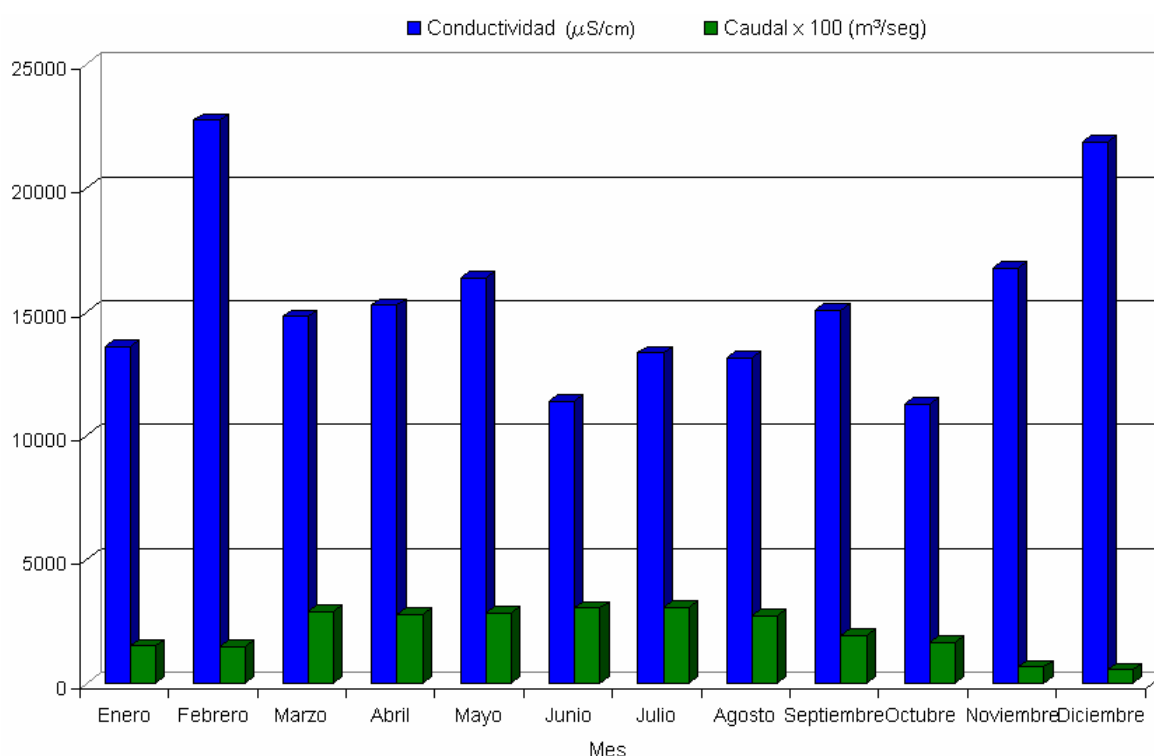
En conclusión, se observa que para los meses de menor caudal (meses del comienzo y del final del año) los valores de conductividad son muy elevados y que para los meses de mayor caudal (meses centrales del año) los valores de conductividad son menores. Pero no se cumple rigurosamente que a medida que crece el caudal disminuye la conductividad, como se da en el caso del río Salado.

A continuación se incluye un grafico en donde se realizó el promedio tanto de los valores de caudal como de conductividad para la estación La Reforma. En el mismo se puede observar que el mes con el mayor valor promedio de conductividad es febrero (el caudal de este mes es el 270% del caudal mínimo absoluto que corresponde a diciembre) y el mes con menor valor promedio de

conductividad es octubre (el caudal de este mes es el 54% del caudal máximo absoluto que corresponde a julio).

Tabla 55. Tabla resumen valores promedio mensuales – Estación La Reforma

	Caudal	Conductividad
Febrero	14.8	22746
Octubre	16.5	11278
	m ³ /seg	μS/cm



Fuente: “Estadística hidrológica de los ríos Atuel, Salado, Chadileuvú y Curacó”, Sec.de Rec. Hídricos de La Pampa, Dirección de Investigación Hídrica.

Gráfico 92. Conductividad/Caudal – Estación La Reforma

4.5.2.4. Análisis integral de estaciones

Tras realizar un análisis de los datos obtenidos, se observa con claridad que la conductividad que caracteriza al río Chadileuvú tiene una tipología muy similar a la característica del río Salado y por el contrario, muy diferente al patrón proveniente del río Atuel.

En otras palabras, la salinidad (relacionada en forma directa con la conductividad) que caracteriza al río Chadileuvú es proporcionada por el río Salado, el cual denota un patrón salino de características similares. Por el contrario, el río Atuel no aumenta la salinidad del Chadileuvú. De hecho, al mezclarse ambos cursos de agua en los bañados del Atuel, las aguas de baja conductividad del Atuel tienen un efecto que tiende a disminuir la salinidad del conjunto.

El proceso descripto anteriormente encuentra su justificación científica en lo siguiente: La salinidad es el contenido de sal disuelta en un cuerpo de agua. Si pensamos en la sal disociada en diferentes iones, disoluciones de diferentes concentraciones de estos tendrán siempre distinta conductividad específica, ya que cada cm^3 de las diferentes disoluciones contiene distinta cantidad de iones, y eso les hace tener distinta conductividad.

Extrapolando lo dicho anteriormente a este caso práctico, la masa de agua proveniente del Salado contiene una gran concentración de iones en solución y consecuentemente altos valores de salinidad. Al mezclarse con las aguas del río Atuel, que presentan una menor concentración de iones en solución, da como resultado un masa de agua con una concentración de iones diferente a la de los ríos aguas arriba. Si la mezcla fuera a escala de laboratorio, y contáramos con un determinado volumen de agua del Salado y otro del Atuel, el volumen resultante de la mezcla (correspondiente al Chadileuvú) tendría la siguiente concentración:

$$V_{\text{Chadileuvú}} \times C_{\text{Chadileuvú}} = V_{\text{Salado}} \times C_{\text{Salado}} + V_{\text{Atuel}} \times C_{\text{Atuel}}$$

Pero teniendo que:

$$V_{\text{Chadileuvú}} = V_{\text{Salado}} + V_{\text{Atuel}}$$

Obtenemos:

$$C_{\text{Chadileuvú}} = (V_{\text{Salado}} \times C_{\text{Salado}} + V_{\text{Atuel}} \times C_{\text{Atuel}}) / (V_{\text{Salado}} + V_{\text{Atuel}})$$

Consecuentemente, se observa del análisis de la fórmula anterior que la concentración del Chadileuvú tendrá como límite superior la concentración del Salado y como límite inferior la correspondiente al río Atuel. Salvaguardando las distancias entre el caso descrito anteriormente y la realidad del sistema, donde encontramos que la masa de agua del Chadileuvú no es la suma algebraica de los cursos aguas arriba, y donde pueden existir diferentes perturbaciones que modifiquen la concentración de iones en el camino, etc. podría considerarse que las aguas del Atuel pueden contribuir en la disminución de la conductividad que se advierte en el trayecto que va desde Paso del Loro hasta La Reforma.

En función de los antes expuesto cabe suponer que en la medida que aumente la cantidad de agua que provenga del Atuel, mayor será la disminución. Si se analizan los límites de la función se puede observar que para un caudal infinito proveniente del Atuel, la concentración resultante aguas abajo será coincidente con la de este último.

Por las razones arriba indicadas, una de las posibles medidas mitigadoras del impacto que genera el Curacó sobre el Colorado, podría ser asegurar el escurrimiento de un caudal mínimo del Atuel.

Retomando los conceptos presentados al principio de este apartado, la alta salinidad que caracteriza al río Chaduleuvú es proporcionada por el río Salado principalmente, y no por el río Atuel. El río Atuel es un afluente al ramal formado por los ríos Desaguadero- Salado- Chadileuvú – Cucacó en los Bañados del Atuel, y de acuerdo con el análisis antes descrito, al mezclarse las aguas de este río con las del río Salado se observa una disminución de la salinidad del conjunto. Este efecto amortiguador de la salinidad se vería potenciado, cuando se incremente el caudal del río Atuel como consecuencia de la construcción de las obras de trasvase del río Grande al río Atuel y las obras de impermeabilización de canales en la provincia de Mendoza. Esta mayor disponibilidad

hídrica permitiría garantizar un caudal mínimo en el río Atuel, situación que fue considerada como una de las medidas de mitigación de la salinidad del sistema.

Es importante aclarar, que el río Atuel, que es uno de los afluentes del sistema, puede contribuir con la disminución de la elevada salinidad del ramal D-S- CH- C que es el principal portador de la sal (como lo demuestran las mediciones en la estación Paso del Loro, ubicada sobre el río Salado). Por las razones antes expuestas, las medidas de mitigación en el ramal citado y en su cuenca de aporte consisten en estudios para investigar el origen de la salinidad, instalación de estaciones de medición y propuestas de obras de regulación que garanticen un caudal mínimo de base que evite los pulsos y procesos de desecación del cauce.

En el gráfico que figura a continuación, se hayan superpuestas las curvas de conductividad promedio de las tres estaciones de medición. Aquí se advierte, el efecto amortiguador del río Atuel que se mencionó anteriormente.

Efecto amortiguador del río Atuel

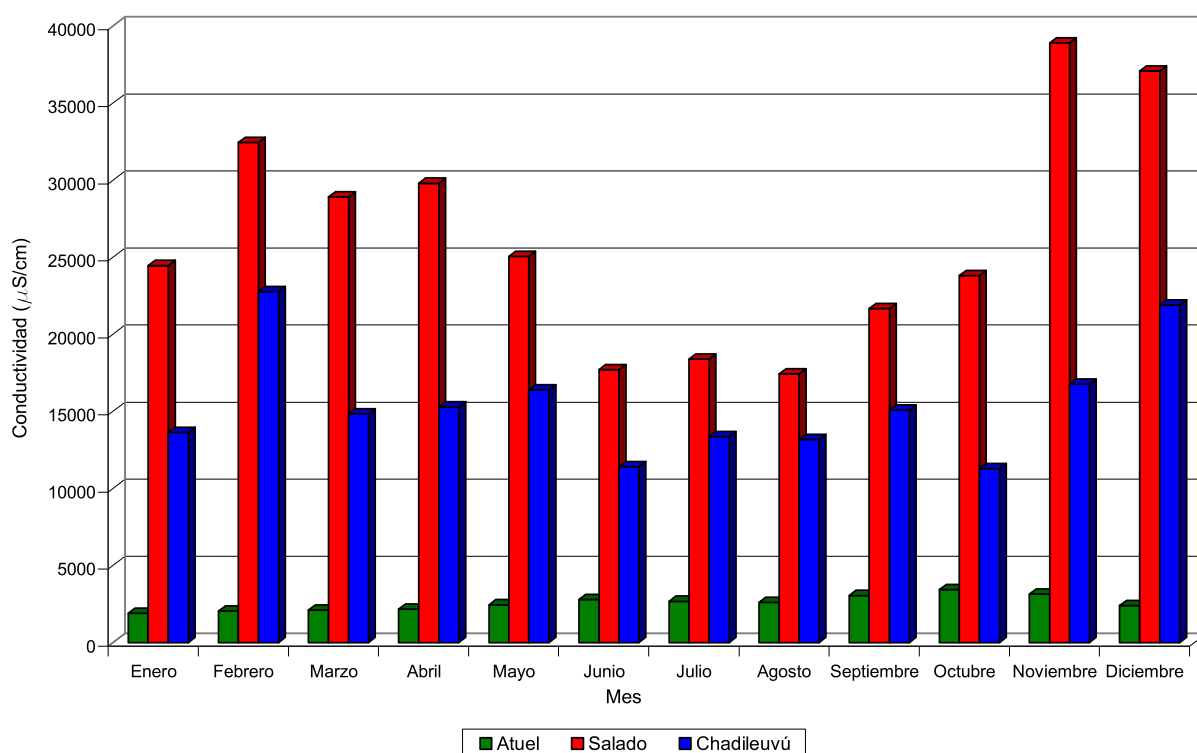


Gráfico 93. Efecto amortiguador del río Atuel

4.6. Orígenes de la salinidad en la cuenca alta y media

La salinidad característica del río Salado tiene orígenes diversos. Una primera hipótesis resalta que uno de los orígenes de la salinidad se encuentra al analizar los estratos geológicos de la cuenca del río Bermejo, estratos distinguidos por su alto contenido salino.



Situación similar se observa en el río Jáchal. El mismo presenta un alto contenido de sales disueltas y de boro en su masa de agua. El origen de la salinidad del Jáchal no es reciente, de hecho en el primer cuarto del siglo XX comienza a agudizarse el problema de la contaminación salina y bórica en el Valle de Jáchal, agravada por los valores importantes de evaporación y evapotranspiración característicos de la zona.

La situación anterior trae aparejado, a su vez, un detrimento en la calidad química del agua subterránea del valle del Jáchal. Esta última no es alentadora ya que la mineralización del río Jáchal (1500 mg/l) origina agua subterránea con hasta 3.000 mg/l.

Un segundo punto a destacar es el hecho de que el agua fluye a través de zonas lagunares y bañados; entre los cuales se puede citar a Las Lagunas del Guanacache, a la zona de hundimiento en la desembocadura del río Tunuyán en el río Desaguadero, los Bañados del Atuel y las lagunas encadenadas del Curacó.

Los bañados que atraviesa el cauce del río Desaguadero en los tramos donde recibe el nombre de “río Desaguadero” propiamente dicho y “río Salado” se caracterizan por ser espejos de agua muy extensos en superficie, sometidos en forma continua a las condiciones climáticas áridas de la zona noroeste del país. Dichos espejos están sometidos a un continuo proceso de desecamiento originado por la evapotranspiración característica de la zona.

Vale destacar que este fenómeno genera un continuo aumento de la salinidad de estos bañados. Más detalladamente, en el proceso de evaporación el agua que se evapora es agua químicamente pura. Consecuentemente, las sales antes disueltas en la masa de agua que sufrió el cambio de estado quedan almacenadas en estos espejos de agua. Como consecuencia de lo descrito anteriormente, se advierte que los bañados sufren un proceso de salinización que se da progresivamente en el tiempo. Esta continuidad surge de considerar a la evaporación como un proceso continuo en el tiempo, que ha de ser mayor en épocas estivales y menor en las épocas invernales.

Cuando el río transita por estos bañados recibe una carga salina de gran importancia debido a las diferentes concentraciones reinantes.

Otro aspecto a tener en cuenta a la hora de analizar los orígenes de la salinidad del agua es la gran utilización de dicho recurso para el abastecimiento de zonas de riego.

Como se mencionó en el inicio del presente estudio, gran parte del recurso está destinado a la agricultura. Cuando se dispone de agua para riego, parte del agua utilizada es tomada por los cultivos y parte escurre hacia los depósitos subterráneos. Esta última, se encarga de lixiviar las sales presentes en el terreno con el propósito de conservar el mismo. De esta aclaración se advierte que dicha masa de agua contendrá un alto contenido de sales disueltas.

Cuando esta masa de agua, de alto contenido salino, retorna al curso natural del río, se manifiesta un aumento de la salinidad del conjunto.



Otro fenómeno de gran relevancia es la alternancia entre los ciclos secos y los ciclos húmedos (ricos en agua) que viene sufriendo la zona noroeste en los últimos treinta años. En varios tramos del río se advierten períodos de tiempo prolongados donde no hay escurrimiento. El curso, antes rico en agua y que en forma progresiva sufrió un proceso de desecación hasta llegar a la sequía total, sufrió un proceso similar a lo explicado en los bañados. El curso de agua que fue secándose tanto sea por infiltración, por evapotranspiración o por factores antrópicos, como la utilización del agua en los "oasis" para consumo humano, riego o uso industrial; dejó depositado en el cauce del río parte de las sales que venían disueltas en el mismo. Estos fenómenos son asociados a los ciclos secos antes mencionados donde hay escasez del recurso.

Cuando comienza el ciclo húmedo de la cuenca caracterizado por precipitaciones de gran valor (incluyendo el término "precipitaciones" a las precipitaciones de nieve y las precipitaciones en forma de lluvia), surgen ondas de crecida muy importantes, cuya acción dinámica pone en movimiento todas las sales depositadas en el fondo del cauce antes sin escurrimiento, aumentando la salinidad de la masa de agua.

Presentadas las causas que llevan en ciertos momentos a dejar sin capacidad de aprovechamiento del recurso y con ello a perder volumen de producción de cultivos en muchas tierras pertenecientes o adyacentes a la cuenca, solo resta por tratar de subsanar mancomunadamente entre las provincias involucradas dicha problemática.

Los mecanismos adecuados tendrán que prescindir de factores que alteren las características del medio circundante para no perturbar el medio ambiente (ecosistema) de la región, o en última instancia evaluar como afectaría a la región una posible solución para impedir que se desaproveche el recurso agua, factor imprescindible para la economía del lugar.

4.7. Consideraciones sobre el impacto económico-ambiental de la salinidad

Una de las principales consecuencias que genera el alto grado de salinidad del sistema es el deterioro progresivo de los suelos destinados a la agricultura, siendo esta una de las actividades productivas más importantes de la cuenca.

Para lograr un mejor entendimiento, es conveniente describir el proceso de deterioro que sufren las zonas bajo riego con agua con alto contenido de sal y las consecuencias que esto trae aparejado.

El continuo riego de un terreno, por pequeña que sea la concentración de sales que tenga el agua, provoca la permanente acumulación de dichas sales en el terreno, el que con el tiempo se saliniza y puede llegar al colapso productivo. Este aspecto es de vital importancia dado que la agricultura se encuentra muy desarrollada en cada subcuenca de la cuenca, y con la repetición de estos ciclos de riego y las consecuencias descriptas, se perdería la fertilidad del suelo bajando la productividad del sistema.

Como agravante al mencionado anteriormente, si bien este proceso es reversible, existen pocos métodos para contrarrestar este fenómeno y resultan ser muy costosos.

Otro de los aspectos importantes a analizar a la hora de determinar el impacto ambiental de la salinidad del agua de la cuenca se advierte al estudiar la cuenca inferior, específicamente en la desembocadura del río Curacó en el río Colorado.

El río Curacó se caracteriza por no presentar caudal permanente, y consecuentemente se encuentra seco gran parte del año. Ante diferentes circunstancias que se generan aguas arriba, como pueden ser las crecidas ocasionales, el Curacó pasa a tener caudal volcando sus aguas al Colorado. Las características geológicas de la subcuenca presentan un importante contenido salino presente, los cuales son puestos en movimiento por la acción dinámica del agua. Dichos arrastres de partículas sedimentarias concentran de un tenor salino al río Colorado que puede sacarlo de funcionamiento para consumo humano y riego.

La aptitud del recurso para riego es determinada en la estación de aforo Pichi Mahuida, ubicada aguas abajo de la confluencia del río Curacó y el río Colorado. Como se puede advertir, de resultar no apta el agua para su uso debido a su alta salinidad, el agua se pierde en el Atlántico, generando la pérdida del agua como recurso, y además comprometiendo a la región cultivada de la cuenca del Colorado aguas debajo de la descarga del río Curacó.

De lo dicho anteriormente, se puede concluir que la salinidad es una problemática que afecta a la totalidad de las jurisdicciones de la cuenca, ya sea por el deterioro continuo del terreno que trae aparejado o por los perjuicios que genera al inhabilitar el uso del agua para riego en las diferentes zonas de la cuenca, en particular en la cuenca inferior.

CAPÍTULO 5: CONCLUSIONES

5.1. Procesos Hidrológicos

El río Desaguadero-Salado-Chadileuvú-Curacó nace en el noroeste de la Provincia de La Rioja donde se lo denomina río Vinchina o Bermejo. Siguiendo siempre una dirección sur-sureste recorre el este de la provincia de San Juan donde recibe los aportes de los ríos Jáchal y San Juan. Al llegar a los confines de las provincias de Mendoza, San Luis y San Juan ingresa en un área de hundimiento donde sus aguas forman el sistema de las Lagunas de Guanacache. Tras superar estas lagunas recibe el nombre de Desaguadero y conforma el límite entre las provincias de Mendoza y San Luis hasta ingresar en la provincia de La Pampa donde recibe los aportes del río Atuel. A lo largo de sus 1.500 km de recorrido recibe los aportes de los ríos Jáchal, San Juan, Mendoza, Tunuyán, Diamante y Atuel, por lo cual presenta un régimen con influencia nival, característico de los ríos con origen cordillerano. La fuente principal de alimentación es, consecuentemente, el derretimiento de los hielos que se acumulan en la cordillera en la época invernal. Los caudales máximos para los ríos que abastecen a la cuenca ocurren en forma coincidente en los meses de diciembre y enero, advirtiéndose a su vez, un retraso de uno a dos meses en la aparición de los caudales picos en el segundo y tercer tramo del río.

En lo que respecta al análisis de tendencia realizado para cada río, se destaca el hecho que todos los ríos (con la excepción del río Tunuyán), han transitado por un enriquecimiento hídrico en las últimas tres décadas, lo cual se observa en la línea de tendencia de los valores de derrames en función del tiempo para cada río, sin embargo, los resultados de la aplicación de la prueba de Mann-Kendall muestran que los registros de caudales medios anuales y máximos anuales del río Mendoza en la estación Guido son los únicos que presentan tendencia significativa positiva, mientras que el resto de las series analizadas en las distintas estaciones no presentan tendencia significativa.

Con respecto al análisis hidrológico de los cuatro nodos de regulación natural identificados en la cuenca: Nodo 1R “Lagunas de Puelches”; Nodo 2R “Bañados del Atuel”; Nodo 3R “Bañados del Tunuyán” y Nodo 4R: “Lagunas de Guanacache” es importante señalar las limitaciones que presenta la información utilizada (ver mapa Pag 88: Identificación de los principales nodos en la cuenca). En efecto la información disponible para la evaluación hidrológica de los distintos nodos no es comparable, mientras que en la subcuenca media baja se dispone de datos de estaciones ubicadas aguas abajo de los embalses construidos al presente en el río Atuel, en las subcuencas alta y media alta la información disponible corresponde a estaciones de medición ubicadas aguas arriba de los embalses construidos al presente. Por lo tanto, los principales hidrogramas afluentes para la evaluación hidrológica de los Nodos 3R y 4R surgen de mediciones de estaciones de registro ubicadas agua arriba de los embalses y oasis de riego de los ríos Jáchal, San Juan, Mendoza, Tunuyán y Diamante, mientras que el hidrograma afluente del río Atuel para la evaluación del nodo 2R corresponde a una estación de medición ubicada aguas abajo de los embalses construidos al presente en este río.

Asimismo, el período de tiempo adoptado para la evaluación hidrológica de los cuatro nodos es el siguiente: Nodo 4R (1941-1946), Nodo 3R (1941-1948/1954-1959), Nodo 2R (1990-1998) y Nodo 1R (1983-1998).



Por lo antes expuesto, la evaluación hidrológica de los nodos 4R y 3R no incluye el efecto regulador de los embalses actuales (los mismos fueron construidos con posterioridad al período de tiempo adoptado para la evaluación), ni el efecto de la mayor utilización de agua para riego en el mismo período. En tanto que en el nodo 2R se considera el efecto regulador de los embalses construidos en el río Atuel y el uso del agua para riego en el mismo río.

Habiendo aclarado las limitaciones en los datos disponibles, se presentan los resultados obtenidos en los análisis respectivos, que igualmente permiten una primera evaluación de las características de regulación hidrológica que realizan los principales nodos en el sistema. Corresponde igualmente manifestar que estos análisis podrán ser realizados con mayor precisión y validez una vez se cuenten como mayor disponibilidad de datos como resultado de un programa de monitoreo hidrológico.

En lo que respecta a las lagunas del Guanacache, se puede señalar que existe una considerable reducción del caudal pico del río San Juan (57 %) y del río Mendoza (50 %) y en el río Jáchal, por el contrario, resulta tener un caudal pico menor que el resultante aguas abajo de la laguna (su caudal pico aumenta un 83%), por lo que se puede concluir que existe un retraso del tiempo en el que se llega al caudal pico. El retraso que presenta el hidrograma del río Desaguadero en la estación Arco del Desaguadero es de dos meses respecto del tiempo al pico del río San Juan producido en Diciembre y de un mes respecto del tiempo pico del río Jáchal y Mendoza. Los estudios realizados sobre los Bañados del Tunuyán, muestran nuevamente considerables reducciones del caudal pico del río Desaguadero a la altura de la estación Salto de la Tosca, del 80% de su valor inicial, mientras que el caudal pico del río Tunuyán se ve reducido en un 64%. En cuanto al retraso en el tiempo del caudal pico, el mismo es de tres meses respecto del tiempo pico del Tunuyán producido en Diciembre y de un mes respecto del tiempo pico del Desaguadero (Arco del Desaguadero) producido en febrero, advirtiendo que los períodos analizados no son contemporáneos debido a la escasa información disponible. Se distingue la amortiguación que los bañados del Atuel ejercen sobre el Chadileuvu (reducción del caudal pico en un 50%). No obstante, en el análisis del presente nodo se ha destacado como una dificultad el cambio que presenta en su comportamiento hidrodinámico el río Atuel.

A continuación, se analiza el efecto de las lagunas de Puelches y se estima que los máximos caudales mensuales que llegan al Colorado a través del Curacó se ven reducidos en un 60 % al pasar por este sistema de lagunas.

5.2. Procesos de Salinidad

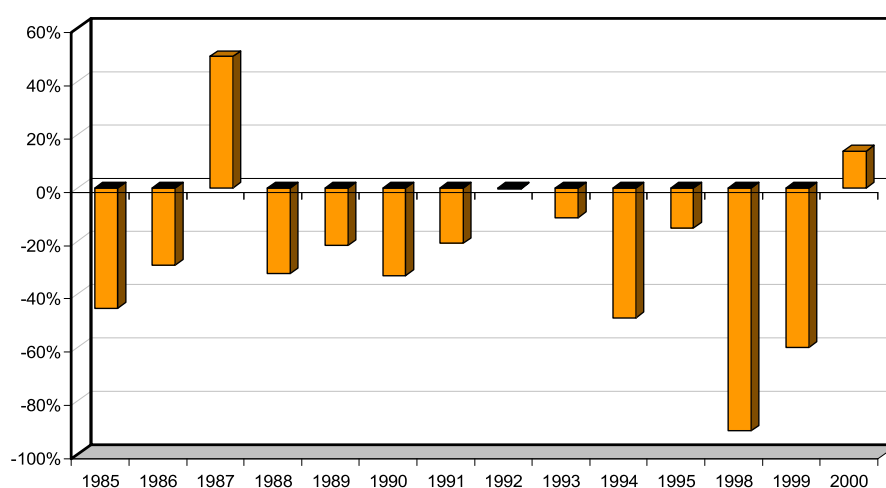
En el presente apartado se presentan los aspectos relevantes, observaciones y conclusiones que surgen de la información secundaria recopilada sobre la salinidad en la cuenca del río DSCHC y se enumeran algunas medidas de mitigación, a nivel identificación de la idea, para disminuir los altos tenores salinos. Estas medidas de mitigación, que también se citan en el Tomo III de este estudio, deberán ser validadas y complementadas con otras cuando se cuente con mayor información sobre la salinidad del sistema..

Como se ha indicado a lo largo del trabajo la falta de información sobre salinidad ha sido un obstáculo para determinar la calidad del agua en bastas zonas de la cuenca. Esta limitación adquirió mayor relevancia en el desarrollo del punto 4.5 “Camino de la sal en el sistema”, en el mismo se realiza en forma cuantitativa el análisis de salinidad en las subcuencas media baja y baja (porque se dispuso de mediciones aportadas por la provincia de La Pampa y COIRCO), en tanto que en las subcuencas alta y media alta se hace en forma cualitativa.

Según las determinaciones realizadas en el Punto 4.5 la salinidad del sistema se manifiesta con mayor relevancia en el ramal de la cuenca formado por los ríos Desaguadero-Salado- Chadileuvú-Curacó. Esta afirmación se apoya en las mediciones realizadas en la estación Paso del Loro, ubicada en el río Salado antes de su ingreso a la provincia de La Pampa, donde se han registrado valores de conductividad de 128.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Estos valores resultan significativos si se los compara con el agua de mar que tiene una conductividad del orden de 55.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Como ya se ha señalado debido a la falta de información aguas arriba de la estación Paso del Loro, no resulta afirmar si los orígenes de la salinidad se encuentran en la cuenca alta (ríos Bermejo, Jachal y San Juan) o en la cuenca media alta (ríos Mendoza, Tunuyán y Diamante).

Por su parte, dentro del mismo apartado 4.5 en el punto 4.5.2.4 “Análisis integral de estaciones” se demuestra que los altos valores de la salinidad que caracterizan al río Salado podrían ser amortiguados al mezclarse sus aguas con las aguas del río Atuel en los bañados del mismo nombre. Esta disminución de la salinidad en los Bañados del Atuel se demuestra con las mediciones de la estación “La Reforma”, ubicada sobre el río Chadileuvú aguas debajo de los bañados citados. El río Atuel es un afluente del ramal DSCHC en los Bañados del Atuel y en el siguiente gráfico 94 se ilustra la variación de la conductividad que existió entre las estaciones “Paso del Loro” y “La Reforma” en el período comprendido entre los años 1985 – 2000. Es necesario advertir que en el gráfico citado se observa que la disminución de la salinidad no sucedió en dos de los años analizados, donde el resultado de la mezcla muestra valores de salinidad mayores a los iniciales.

Variación de la conductividad: Estación Paso del Loro – Estación La Reforma



Fuente: “Estadística hidrológica de los ríos Atuel, Salado, Chadileuvú y Curacó”, Sec. de Rec. Hídricos de La Pampa, Dirección de Investigación Hídrica.

(Observación: Las series de conductividad de los años analizados no se encuentran completas)

Gráfico 94. Variación de la conductividad – Estación Paso del Loro – Estación La Reforma



Asimismo, según el análisis realizado en el punto 4.6 “Orígenes de salinidad en las sub cuencas alta y media alta” y considerando los comentarios que surgieron en los talleres y reuniones mantenidas con los representantes de las distintas provincias, integrantes de la cuenca en estudio desarrollados a lo largo del trabajo, entre las causas que darían origen a la alta salinidad en el ramal DSCHC del sistema se pueden identificar las siguientes:

- Existencia de estratos geológicos salinos y aguas subterráneas salobres en las cuencas ríos Bermejo, Jachal y San Juan.
- Procesos de evaporación y desecación en bañados y lagunas con la consiguiente salinización
- Procesos de salinización de los suelos y de la napa freática debido al riego que tiene lugar en grandes áreas de la cuenca alta y media alta.
- Procesos de desecación y salinización en los cursos de los ríos por infiltración, evaporación y utilización del agua para riego en los oasis.
- Alternancia entre escurrimientos continuos y pulsos, en estos últimos los valores de conductividad son diversos pero en general superan el valor medio.
- Puesta en movimiento de las sales acumuladas en bañados y cursos de los ríos frente al advenimiento de las crecientes.

Por su parte, para mitigar la salinidad del sistema según surge del análisis antes citado de los puntos 4.5 “Camino de la sal en el sistema” y del punto 4.6 “Orígenes de salinidad en las sub cuencas alta y media alta”, se enumeran a nivel identificación de la idea, medidas de mitigación. Estas medidas de mitigación para disminuir la salinidad se centran en el ramal formado por los ríos Desaguadero-Salado-Chadileuvú-Curacó, que es donde se origina la mayor salinidad de acuerdo con las mediciones obtenidas en la estación Paso del Loro. Adicionalmente a las medidas que se proponen para el ramal citado, se destaca el efecto favorable que tendría en la disminución de los tenores salinos el mayor caudal que ingresaría por el río Atuel en los bañados del mismo nombre con la futura construcción de nuevas obras en la provincia de Mendoza. Asimismo, es necesario aclarar que en el Tomo III de este trabajo se encuentra una descripción de ideas, anteproyectos y proyectos de obras en la cuenca de río DSCHCC y un “Programa de Acción para la Cuenca” donde se describen con mayor detalle la mayoría de las medidas de mitigación propuesta en este apartado.

A continuación se enumeran posibles medidas de mitigación:

- a) Relevamiento de información de carácter hidroquímico de los ríos inscriptos en el ramal DSCHC, de manera similar al relevamiento realizado en las subcuencas media baja y baja, para poder identificar de forma precisa en qué tramo de la cuenca se carga con sal el recurso hídrico.
- b) Estudio de sedimentos para determinar con mayor precisión la procedencia de los sedimentos salinos.
- c) Mantenimiento de un caudal continuo o flujo de base a lo largo del ramal DSCHC, de manera de evitar los procesos de evaporación - desecación de causes y bañados y su consecuencia, que es la alternancia entre el escurrimiento continuo y los pulsos. Para lograr este objetivo se propone realizar lo siguiente:



- Búsqueda, revisión y análisis de validez de los proyectos planteados por el Ing. José Fuschini, en el año 1946, en el “Programa Hidráulico Nacional de la subcuenca del río Desaguadero (CFI-1960). Consiste en una obra de control y regulación de caudales en las lagunas Silverio y Quijadas del sistema de Guanacache y en un dique nivelador en Salto de la Tosca con conducciones hasta hacia Beazley y laguna de Bebedero.
- Análisis de la compatibilidad de los proyectos citados en el punto anterior con el Plan de Restauración de Humedales del río Desaguadero propuesto por la provincia de San Luis (incluye la construcción de dos azudes – ver características en Anexo II del Tomo III).
- Consideración del “Anteproyecto y proyecto de obras de regulación y manejo del río Curacó en la zona de la laguna La Amarga” realizado por el Ing. Carlos Rojas y el “Estudio preliminar de la sistematización del río Salado y el aprovechamiento del río Atuel en Santa Isabel” realizado por el Ing. Carlos Oppezzo en el año 1978 (ver Anexo II del Tomo III- Provincia de La Pampa).
- Identificación de nuevas obras de infraestructura (regulación de pulsos, sistematización de nodos naturales de regulación) con estrategia de manejo integrado de los Recursos Hídricos (ver “Programa de Acción para la Cuenca”/Acción 9 que se describe en el Tomo III).

d) Análisis de las consecuencias que traerá aparejadas la construcción de la presa “Portezuelo del Viento” ubicada en el río Grande en la provincia de Mendoza y la obra de trasvase del río Grande al río Atuel. Con la construcción de estas obras se incrementará el caudal del río Atuel y a su vez disminuirá la salinidad de sus aguas, situación que seguramente aumentará el impacto positivo que actualmente provoca la mezcla de las aguas del río Salado con las del río Atuel en los Bañados del Atuel, que se analiza en el punto 4.5.2.4 “Análisis integral de estaciones” y en el Grafico 94 del presente apartado.

e) Investigación de los impactos positivos que sobre la disminución de la salinidad en los Bañados del río Atuel tendrá la ejecución del canal marginal del río Atuel (Tramos II y III) en la provincia de Mendoza. Uno de los objetivos de esta obra es disminuir las pérdidas por infiltración en una longitud de 40 km en la provincia de Mendoza y por lo tanto se incrementará el caudal del río Atuel en los Bañados del Atuel y consecuentemente podrá disminuir la salinidad (ver Anexo II del Tomo III).

5.3. Análisis de la relación cantidad-calidad del agua

A continuación se presentan las conclusiones principalmente focalizadas en las zonas de la cuenca donde existe suficiente información cuantitativa, lo cual se corresponde con las subcuencas media baja y baja.

Si se tiene en cuenta la relación caudal–conductividad que caracterizan a estos ríos, se pueden distinguir dos grupos. En un primer grupo se encuentra el río Salado y el río Chadileuvú. Ambos presentan una gran variabilidad para caudales bajos y luego a medida que aumentan los caudales la conductividad disminuye notoriamente y tiende a una asíntota horizontal.



La variabilidad de los valores en este grupo es muy importante para bajos valores de caudal, y por el contrario se reduce ampliamente a medida que obtenemos valores de caudales crecientes. La amplitud de conductividad en estos ríos es muy grande, del orden de los 100.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

En el segundo grupo se encuentra el río Atuel. La amplitud de la conductividad es mucho menor que la de los ríos del grupo anterior (del orden de los 4.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$). La variabilidad sigue siendo mayor para caudales menores que para caudales mayores, pero la brecha entre ambas se ha acortado. Nuevamente se puede identificar una asíntota horizontal de conductividad para grandes caudales, pero existe una importante dispersión de los puntos con respecto a ella.

Aguas debajo de los Bañados del Atuel, nos encontramos con la desembocadura del río Curacó sobre el río Colorado. Se analizaron las mediciones sobre las diferentes estaciones localizadas sobre el río Colorado antes de la desembocadura del Curacó y se observó que la salinidad del Colorado se encuentra en un 100 % de las veces que se realizaron las mediciones, dentro de los límites tolerables y por lo tanto podría ser utilizada para los diferentes usos que se le da al recurso. La salinidad que caracteriza al Colorado en Buta Ranquil presenta una amplitud de 800 $\mu\text{S}/\text{cm}$, siendo el límite inferior aproximadamente 430 $\mu\text{S}/\text{cm}$., no obstante, esta situación se ve claramente alterada por la perturbación que genera el volcamiento de las aguas con alto contenido salino del Curacó.

Como primer punto a destacar del comportamiento hidroquímico del Curacó, se puede mencionar que los niveles de conductividad son claramente mayores que los aportados por el río Colorado. Los valores del río Colorado se encuentran acotados entre 700 y 1500 $\mu\text{S}/\text{cm}$, mientras que los del Curacó presentan un gran desvío alcanzando y superando los 25.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$. En cuanto a la relación caudal-conductividad, el Curacó muestra una leve tendencia a seguir un comportamiento inversamente proporcional entre ambas variables (a mayor caudal, menor conductividad, y viceversa), al igual que el que se venía advirtiendo en los diferentes sistemas lóticos de la cuenca. Se aprecia una diferencia entre los valores de conductividad en situaciones de régimen prolongado (1 año) y pulsos esporádicos. Para situaciones en donde el escurrimiento está más asociado a un pulso que a un escurrimiento continuo, se observa que los valores son diversos, pero que siempre fueron mayores que la media de los años que se caracterizaron por un escurrimiento continuo. Es más, en la mayoría de los casos los valores de conductividad correspondientes a pulsos esporádicos superaron a los máximos valores obtenidos en escurrimientos continuos.

Por último, se observó que el impacto que genera el Curacó sobre el Colorado está condicionado en mayor medida a una relación entre los caudales característicos de cada río, y en un segundo lugar a los valores de conductividad de los mismos. Lo dicho anteriormente se basa en el análisis de las situaciones en las que el Curacó volcó sobre el Colorado y en las cualidades de estas que han dejado fuera de servicio a este último. De igual manera que fue observado en la etapa de análisis donde se abarcó este tema, se considera menester aclarar que lo dicho anteriormente no implica que los valores de conductividad del Curacó no tiene incumbencia a la hora de analizar dicho fenómeno, sino que tienen un rol secundario en comparación con la relación entre los caudales.

Al problema de los altos valores de salinidad, se le suma la incertidumbre que existe en cuanto al conocimiento del caudal que proviene de aguas arriba, la inexistencia de una estrategia definida de explotación del recurso y la poca coordinación en el uso del recurso.



Esta situación propicia un estado de desconocimiento que finalmente desemboca en perjuicios para gran parte del territorio de la cuenca, es por esto que en el Tomo II se realizarán un análisis de la evolución de los usos del agua en la cuenca, para poder llegar a establecer una relación causa-consecuencia entre la evolución de los usos del agua y la calidad del recurso hídrico.

Bibliografía Tomo I.

- A modified Mann-Kendall Trend Test for Autocorrelated Data. Hamed K.H. y A.R. Rao (1998). Journal of Hydrology, 204, pp. 182-196.
- Análisis estadístico de eventos extremos en un contexto no estacionario. El cambio climático en la cuenca del Plata. Clarke, R. T. (2006). Editores Vicente Barros, Robin Clarke y Pedro Silva Dias. Instituto Interamericano para el Cambio Climático
- Atlas Digital de los Recursos Hídricos Superficiales de la República Argentina. Trabajos aprobados en CD. M. Giraut, S. Ludueña, A. Postiglioni, C. Rey, M. Dente y I. Sol, 2002. XIX Congreso Nacional del Agua. Villa Carlos Paz, Córdoba, Argentina, 13 – 16 de Agosto de 2002.
- Canadian streamflow trend detection: Impacts of serial and cross-correlation. Yue, S.; P. Pilon y B. Phinney (2003). Hydrological Sciences Journal 48(1), pp. 51–63.
- Climate changes effects on the hydrologic regime within the Churchill-Nelson River Basin. Westmacott, J.R. y D.H. Burn (1997). Journal of Hydrology 202, pp. 263-279.
- Contaminación de suelos por sales solubles, C. Dorronsoro, Universidad de Granada, 2001.
- Changing frequency of extreme hydrological events in northern and western Europe. Arnell, N.W. (1989). FRIENDS in Hydrology, IAHS, 187, pp. 237-249.
- Cuenca Propia de los Bajos Submeridionales. Creación de una Unidad Hídrica Independiente. Seminario Internacional sobre manejo Integral de Cuencas Hidrográficas. M. Giraut, C. Laboranti, C. Rey, M. Fioriti, S.Ludueña. 2001. Rosario, Argentina, 8 al 12 de Octubre de 2001.
- Detección de tendencias y cambios abruptos en el régimen fluvial de ríos de Argentina, con nacientes en la Cordillera de los Andes. Vich, A.I.; P.M. López y E.Martínez (2006). Libro de Resúmenes del Simposio sobre Cambio
- Discharge trends and flow dynamics of South American rivers draining the southern Atlantic seaboard: An overview. Pasquini, A.I., y P.J. Depetris (2007). Journal of Hydrology, 333, pp. 385-399.
- Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau. Sen, P.K. (1968) J. Am. Stat. Assoc., 63, pp. 1379-1389.
- Estadística hidrológica de los ríos Atuel, Salado, Chadileuvú y Curacó", Sec.de Rec.Hídricos de La Pampa, Dirección de Investigación Hídrica.
- Estudio de Aguas Subterráneas en la Región Oeste de la Provincia de La Pampa. S. B. Gial. Informe Final. Tomo I. Consejo Federal de Inversiones (CFI). Provincia de La Pampa. Diciembre de 2005.
- Hydro-climatological trends in the continental United States 1948-1988. Lettenmaier, D.P.; E.F. Wood y J.R. Wallis (1994).Journal of Climate 7(4), pp. 586-607.
- Hidrología aplicada. Chow, V.T., D.R. Maidment y L.W. Mays (1959).. Editores Mc Graw-Hill
- Hydrological variable analysis for climate variation in the Limay river basin. Seoane, R.S. y P.M. Lopez (2005). Meeting Environmental change and rational water use. Commission for Water Sustainability. International Geographical Union. Septiembre, Buenos Aires.
- Hydrology: an introduction to hydrologic science. Bras, R. L. (1990). Editores Addison-Wesley Publishing Company, Inc.
- Impact of streamflow persistente on hydrologic design". Journal of Hydrologic Engineering, 7(3), pp. 137-146.
- Ingeniería de aguas residuales" METCALF & EDDY, INC. Mc Graw Hill. 3ª Edición (1995)



- Información aportada por COIRCO y las Provincias integrantes de la cuenca en su conjunto.
- Integración Digital de la Información Hídrica Superficial de la Región Centro-Oeste de la República Argentina. M. Giraut, S. Ludueña, A. Postiglioni, C. Rey, M. Dente y I. Sol. 2001. 1eras Jornadas Regionales en Ciencias de la Tierra. Universidad Nacional de La Rioja.
- Integrated water resources management on a basin level. Jean Burton. 2003.
- Irrigation Water Quality Standards and Salinity Management Strategies, Texas Agricultural Extension Service, 1996.
- Linkages between regional trends in monthly maximum flows and selected climatic variables. Douglas, E.M., R.M. Vogel y C.N. Kroll (2002).
- Mapa argentino de zonas áridas, semiáridas y subhúmedas”. Proyecto del CONAPHI. Moyano, C. y R. Diaz (2006). UNEP (1997). United Nations Environment Programme. World Atlas of desertification. Editores Middleton N. and Thomas D.
- Statistical modelling in hydrology. Clarke, R.T. (1994). Editores John Wiley & Sons Ltd..
- Techniques of trend analysis for monthly water quality data. Hirsch, R.M.; J.R. Slack y R.A. Smith (1982). Water Resources Research 18(1), pp. 107-121.
- The return period of flood flows. Gumbel, E.J. (1941). Ann. Math. Stat, 12(2), pp. 163-190.
- Variability in the discharge of South American rivers and climate. García, N.O., y Mechoso, C.R. (2005). Hydrological Science



Anexo I: Metodologías de análisis de tendencias

PRUEBA DE MANN-KENDALL

El estadístico S de la prueba Mann-Kendall está definido como:

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sgn}(x_j - x_k)$$

donde:

$$\text{sgn}(\theta) = \begin{cases} 1 & \text{si } \theta > 0 \\ 0 & \text{si } \theta = 0 \\ -1 & \text{si } \theta < 0 \end{cases}$$

La distribución de S , bajo la hipótesis de que no existe tendencia, es asintóticamente normal y los valores teóricos de la media y la varianza son:

$$E(S) = 0$$

$$\text{Var}(S) = \frac{N(N-1)(2N+5) - \sum_t t(t-1)(2t+5)}{18}$$

donde t representa la longitud de valores repetidos de la variable en la serie y \sum_t simboliza la suma sobre el número de empates.

Se puede asociar el valor del estadístico S al de la variable Z , normal estandarizada, según:

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & \text{si } S > 0 \\ 0 & \text{si } S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & \text{si } S < 0 \end{cases}$$

El signo del estadístico indica la dirección de la tendencia, positivo si es creciente y negativo si es decreciente.



PRUEBA DE MANN-WHITNEY

Para determinar el estadístico de la prueba Mann-Whitney, se deben asignar rangos a las observaciones de ambas series, ordenadas ascendentemente en una serie total. Las observaciones que se repiten reciben el valor promedio de rango de las repeticiones.

Se definen los siguientes estadísticos:

$$T_1 = \sum \text{Ranking Serie 1}$$

$$T_2 = \sum \text{Ranking Serie 2}$$

El estadístico U de Mann-Whitney está definido como el menor de los siguientes dos estadísticos:

$$U_1 = N_1 \times N_2 + 0.5 \times N_1 \times (N_1 + 1) - T_1$$

$$U_2 = N_1 \times N_2 + 0.5 \times N_2 \times (N_2 + 1) - T_2$$

Donde N_1 y N_2 son la cantidad de observaciones de las series 1 y 2 respectivamente.

Se puede asociar el valor del estadístico U al de la variable Z, normal estandarizada, según:

$$Z = \frac{|U - E(U)|}{\sqrt{\text{Var}(U)}}$$

Donde

$$E(U) = 5 \times N_1 \times N_2$$

$$\text{Var}(S) = \frac{N_1 \times N_2 \times (N_1 + N_2 + 1)}{12}$$



Anexo II: Sistema de Información geográfico

Dentro de los límites del presente proyecto y con el fin de posibilitar el análisis de la información disponible, se desarrolló un Sistema de Información Geográfica (SIG) para la generación de un **mapa base** para la cuenca, **mapas de subcuenca** (zonificación en cuenca alta, media-alta, media-baja y baja) delimitados a partir de los datos contenidos en el primero, y diferentes **mapas temáticos**.

El detalle técnico de la cartografía digital empleada es el que sigue:

La **cartografía hídrica** de base adoptada es el Atlas Digital de los Recursos Hídricos Superficiales de la República Argentina a escala 1/500.000, elaborado en forma conjunta por la SSRH y el INA (1). Su elección y utilización se justifica, en primer lugar, por el hecho de ser el único mapa de cuencas hídricas superficiales a escala nacional, aprobado por IGM y avalado por todas las jurisdicciones hídricas provinciales como herramienta de análisis hidrológico para escala regional y nacional (1/500.000 y menores) (1). Cabe aclarar que, aunque fue generado a partir de información analógica (papel) a escala 1/2.500.000, ha sido validado con cartografía IGM a escala 1/500.000 y transformado a formato digital compatible con el SIG ArcView, conformando un Sistema de Información Geográfica (SIG) de los Recursos Hídricos Superficiales del Territorio Argentino.

En segundo lugar, ha sido aplicado como base para diversos documentos científicos y estudios nacionales, interprovinciales y regionales: Mapa Base de Coirco (Comité Interjurisdiccional del río Colorado), creación de la cuenca de los Bajos Submeridionales (2), estudio hidrológico de la región centro-oeste de Argentina (3), etc.

Por último, la SSRH, juntamente con las autoridades hídricas provinciales, está realizando la actualización de los límites de cuencas definidos en el Atlas, a través del procesamiento y análisis de imágenes satelitarias Landsat y de información digital proveniente del SIG-250 del IGM. Este proyecto denominado “Actualización de la Cartografía Hídrica Superficial Digital a escala 1/250.000” se encuentra en ejecución, y dado que varias de las provincias involucradas en el presente estudio aún no cuentan con esta actualización cartográfica, se decidió utilizar la única cartografía hídrica oficial disponible en forma completa para toda el área de estudio, esto es, el Atlas de RRHH Superficiales a escala 1/500.000.

En cuanto a los **límites jurisdiccionales internos** de las provincias involucradas, se utilizó la información en formato digital correspondiente a la división departamental nacional elaborada por INDEC, que constituye la única información oficial disponible sobre dicha temática.

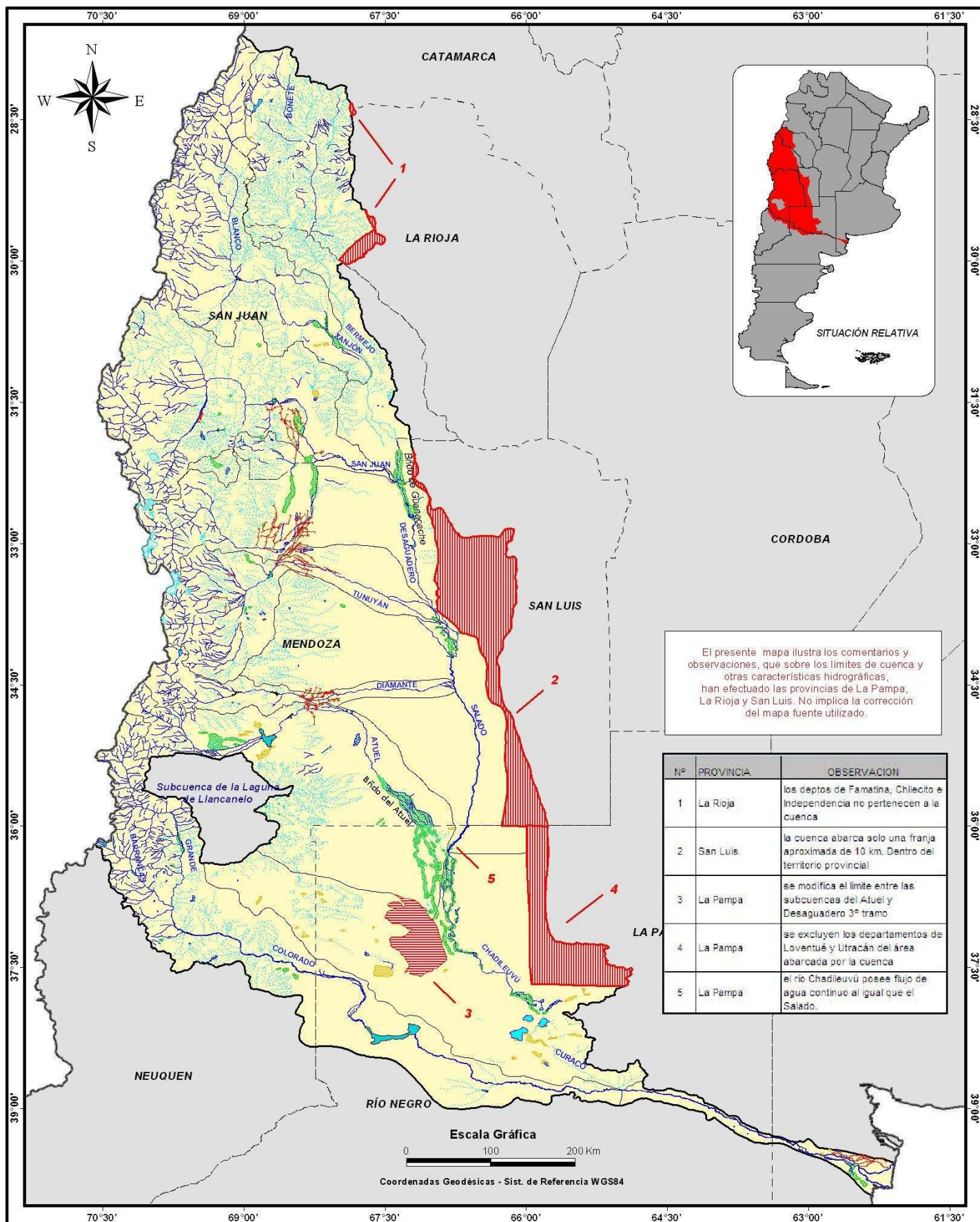
De esta forma, tanto para la delimitación de las cuencas hídricas superficiales como para la división departamental del área comprendida por el presente estudio, se ha empleado y compatibilizado la información digital oficial disponible, a fin de unificar los criterios de análisis espacial y geoprocesamiento de las diversas temáticas abordadas en este documento.



Anexo III: Mapas del Tomo I

ÍNDICE DE MAPAS (Tomo I)

- 1. Mapa base*
- 1*. Mapa de discrepancias*
- 2. Mapa de subcuencas*
- 3. Mapa de subcuenca: río Vinchina-Bermejo*
- 4. Mapa de subcuenca: río Jáchal*
- 5. Mapa de subcuenca: río San Juan*
- 6. Mapa de subcuenca: río Mendoza*
- 7. Mapa de subcuenca: río Tunuyán*
- 8. Mapa de subcuenca: río Diamante*
- 9. Mapa de subcuenca: río Atuel*
- 10. Mapa de subcuenca: río Desaguadero tramo I*
- 11. Mapa de subcuenca: río Desaguadero tramo II*
- 12. Mapa de subcuenca: río Desaguadero tramo III*
- 13. Mapa de subcuenca: río Colorado tramo I*
- 14. Mapa de subcuenca: río Colorado tramo II*
- 15. Zonas áridas, semiáridas y subhúmedas. Zonificación conforme el régimen hídrico*
- 16. Registro de caudales. Actividad en estaciones de aforo*
- 17. Registro de caudales en estaciones de aforo*
- 18. Período de registro de caudales en estaciones de aforo*
- 19. Variación porcentual de caudales medios*
- 20. Variación porcentual de caudales máximos*
- 21. Variación porcentual de caudales mínimos*
- 22. Registro de valores de salinidad. Ubicación de estaciones de muestreo*
- 23. Registro de valores de salinidad. Valores promedio por estación*
- 24. Registro de valores de salinidad. Valores máximos por estación*
- 25. Registro de valores de salinidad. Valores mínimos por estación*
- 26. Salinidad-Caudal vs. Conductividad. Curvas por estación*
- 27. Amortiguación del río Atuel: Salinidad. Gráficos caudal-conductividad en el tiempo*



**UNIVERSIDAD
DE BUENOS AIRES**



FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE HIDRÁULICA

ESTUDIO INTEGRAL DE LA CUENCA DEL RÍO
DESAGUADERO-SALADO-CHADILEUVÚ-CURACÓ

Mapa de Límites de Cuenca Observados por las Provincias

REFERENCIAS

División Política

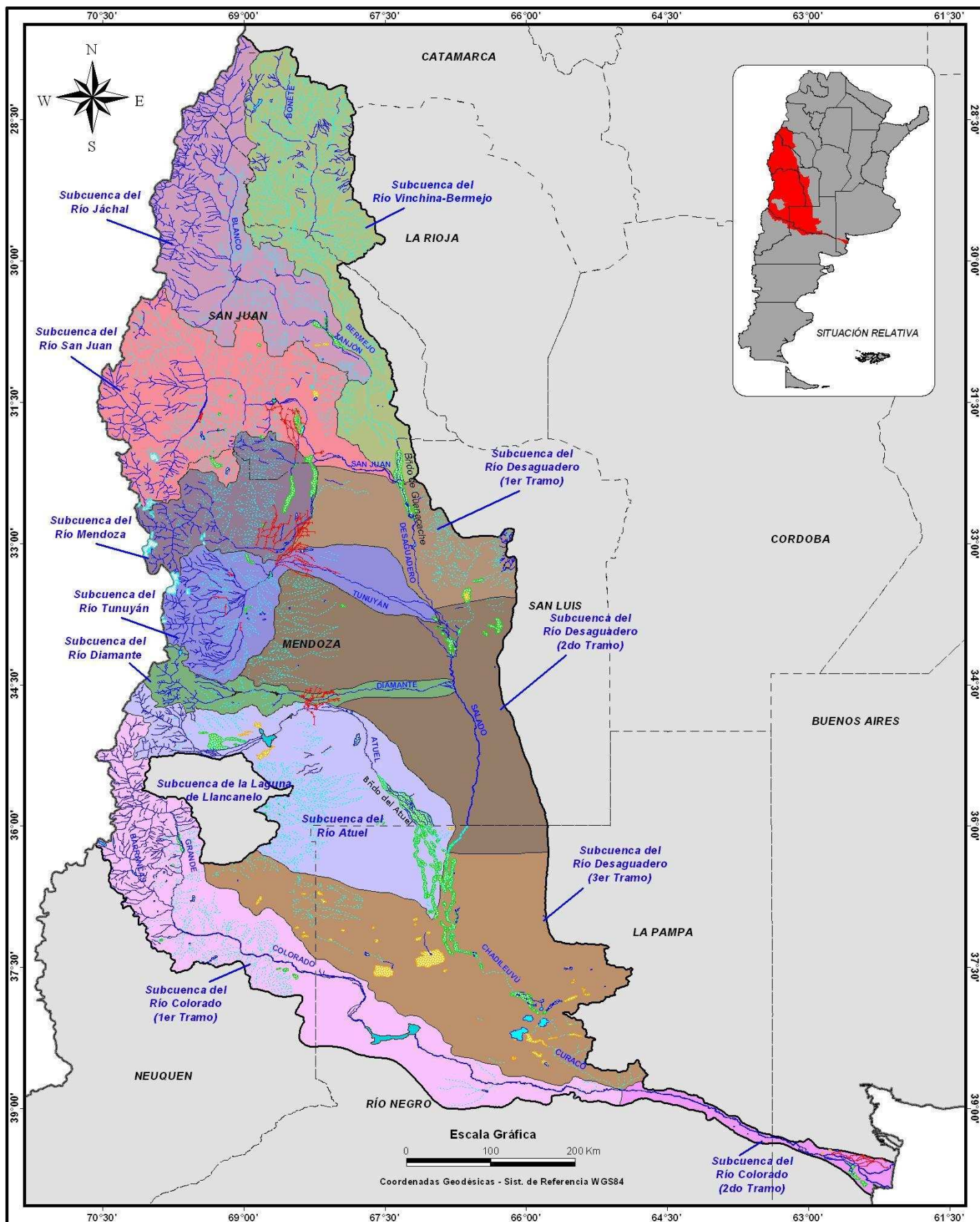
— Límite Internacional
— Límite Provincial

Área de Estudio

— Límite de Área
— Zonas no pertenecientes a la cuenca

— Zonas de discrepancia sobre el límite de subcuenca
— Embalse
— Glaciar
— Laguna Permanente
— Laguna Temporal
— Salina
— Bañado

— Río Permanente
— Río Temporal
— Canal de Riego



UNIVERSIDAD
DE BUENOS AIRES



FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE HIDRÁULICA

ESTUDIO INTEGRAL DE LA CUENCA DEL RÍO
DESAGUADERO-SALADO-CHADILEUVÚ-CURACO

Mapa de Subcuencas

REFERENCIAS

División Política

— Límite Internacional

— Límite Provincial

— Área de Estudio

— Límite de Área

Hidrografía

— Río Permanente

— Río Temporal

— Canal de Riego

— Embalse

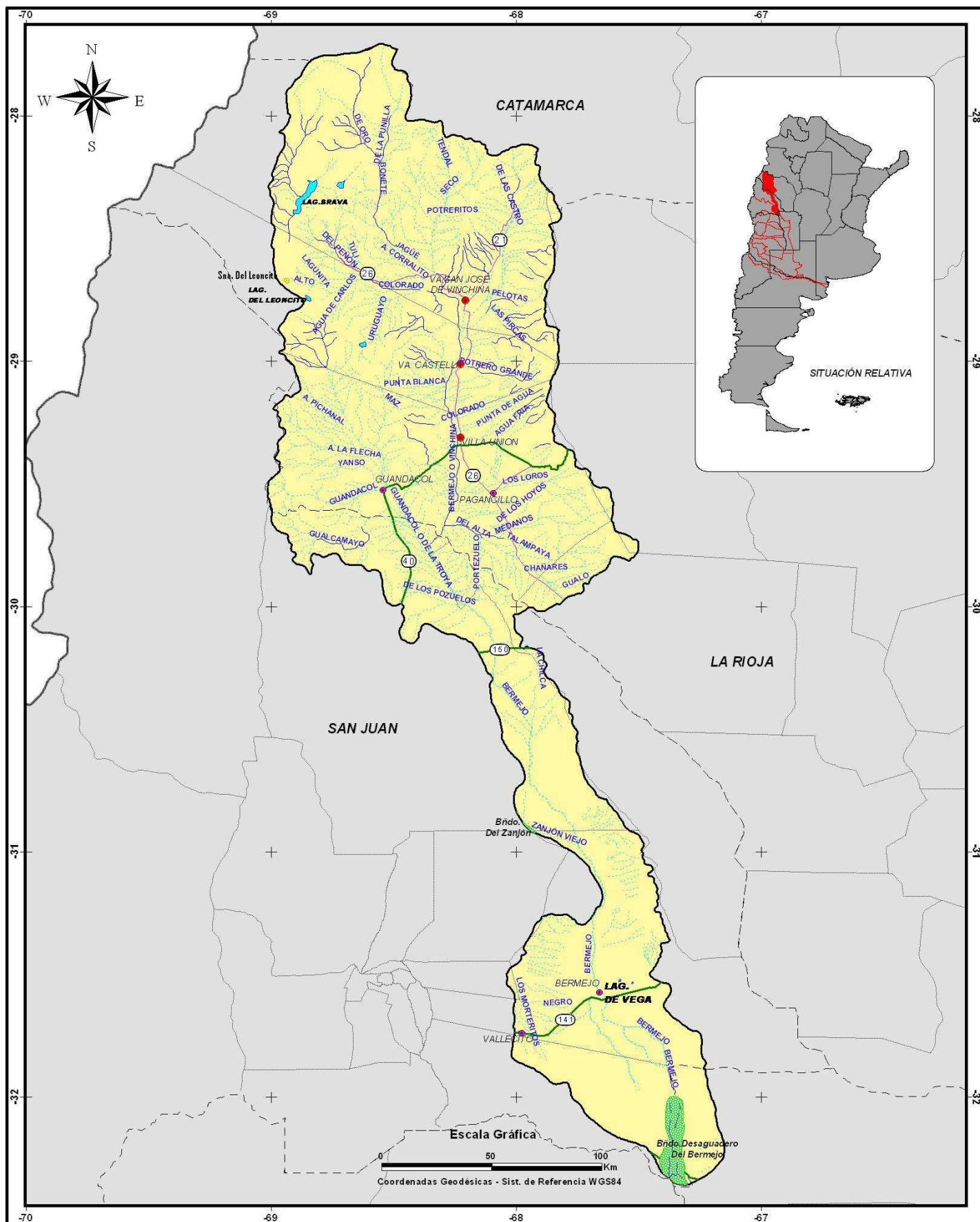
— Olaciar

— Laguna Permanente

— Laguna Temporal

— Salina

— Bafado



**UNIVERSIDAD
DE BUENOS AIRES**



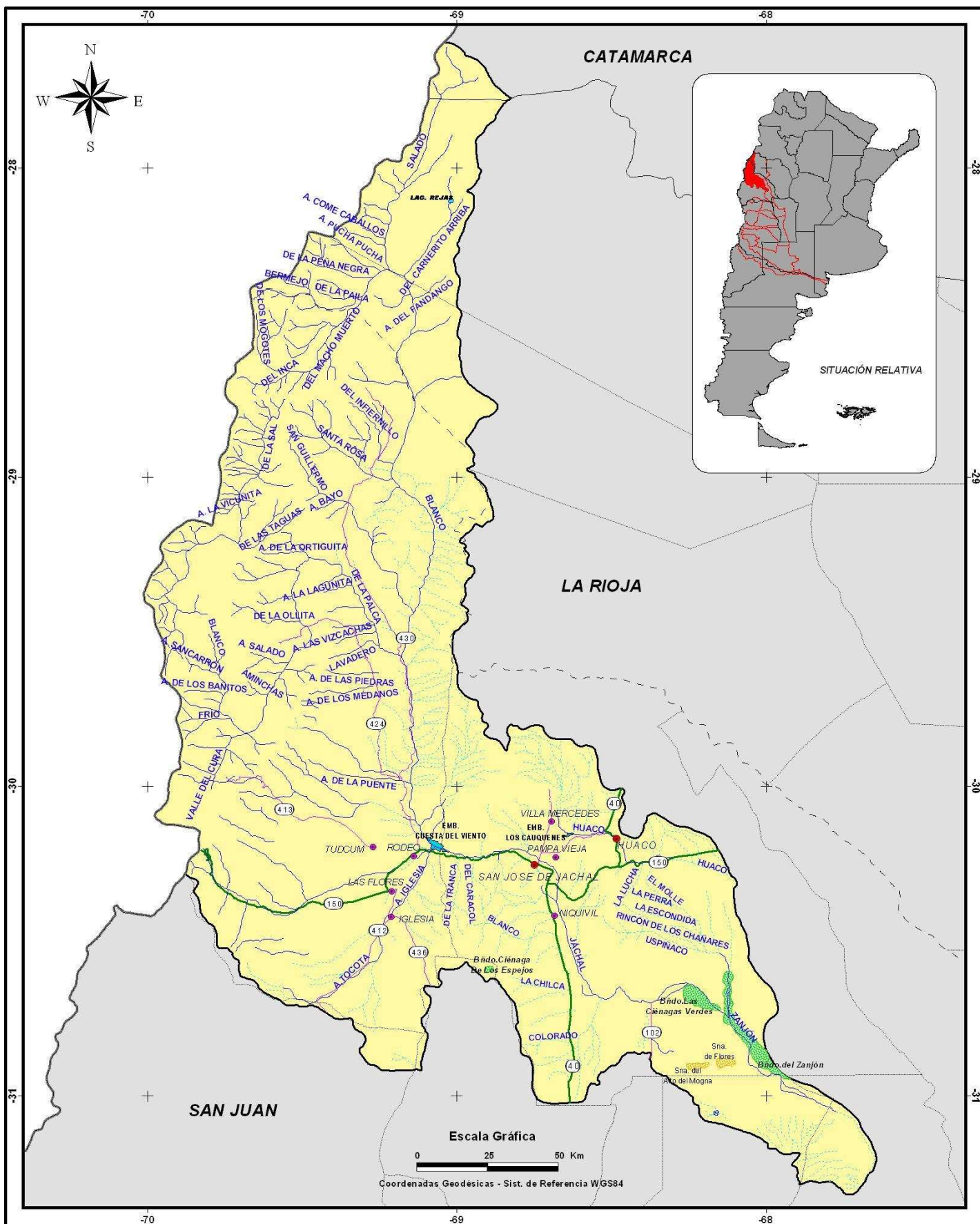
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE HIDRÁULICA

ESTUDIO INTEGRAL DE LA CUENCA DEL RÍO
DESAGUADERO-SALADO-CHADILEUVÚ-CURACÓ

Mapa de Subcuenca: Río Vinchina

REFERENCIAS

División Política	Población	Hidrografía
<ul style="list-style-type: none"> — Límite Internacional — Límite Provincial — Límite Departamental 	<ul style="list-style-type: none"> ● Capital de Provincia ● Cabecera de Departamento ● Localidad 	<ul style="list-style-type: none"> — Río Permanente — Río Temporal — Canal de Riego — Embalse — Glaciar — Laguna Permanente — Laguna Temporal — Salina — Bafado
Red Vial	Área de Estudio	
<ul style="list-style-type: none"> — Ruta Nacional — Ruta Provincial 	<ul style="list-style-type: none"> — Límite de Área 	



**UNIVERSIDAD
DE BUENOS AIRES**



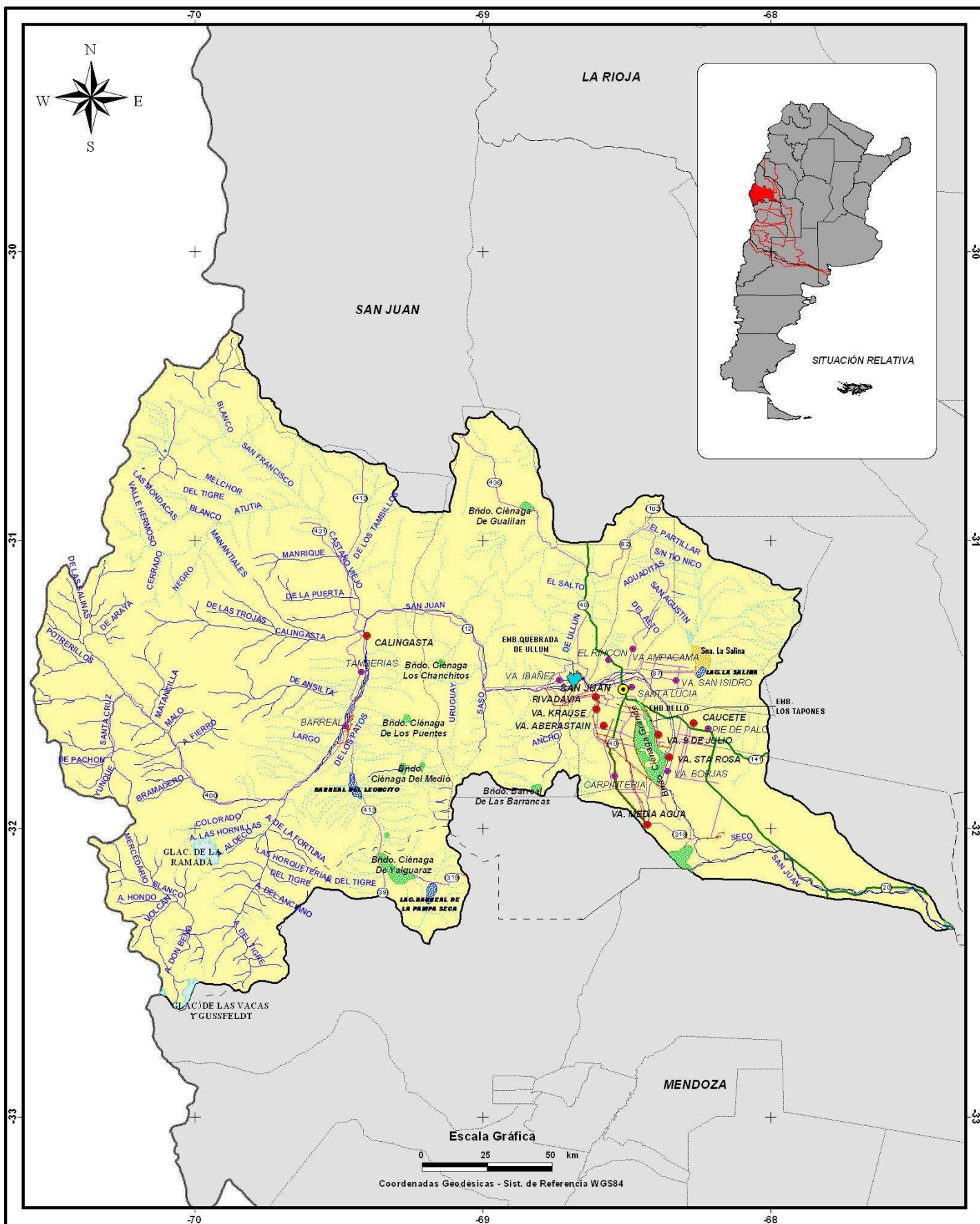
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE HIDRÁULICA

ESTUDIO INTEGRAL DE LA CUENCA DEL RÍO
DESAGUADERO-SALADO-CHADILEUVÚ-CURACÓ

Mapa de Subcuenca: Río Jachal

REFERENCIAS

División Política	Población	Hidrografía
Límite Internacional	Capital de Provincia	Río Permanente
Límite Provincial	Cabecera de Departamento	Río Temporal
Límite Departamental	Localidad	Canal de Riego
Red Vial	Área de Estudio	Embalse
Ruta Nacional	Límite de Área	Glaciar
Ruta Provincial		Laguna Permanente
		Laguna Temporal
		Salina
		Bañado



**UNIVERSIDAD
DE BUENOS AIRES**



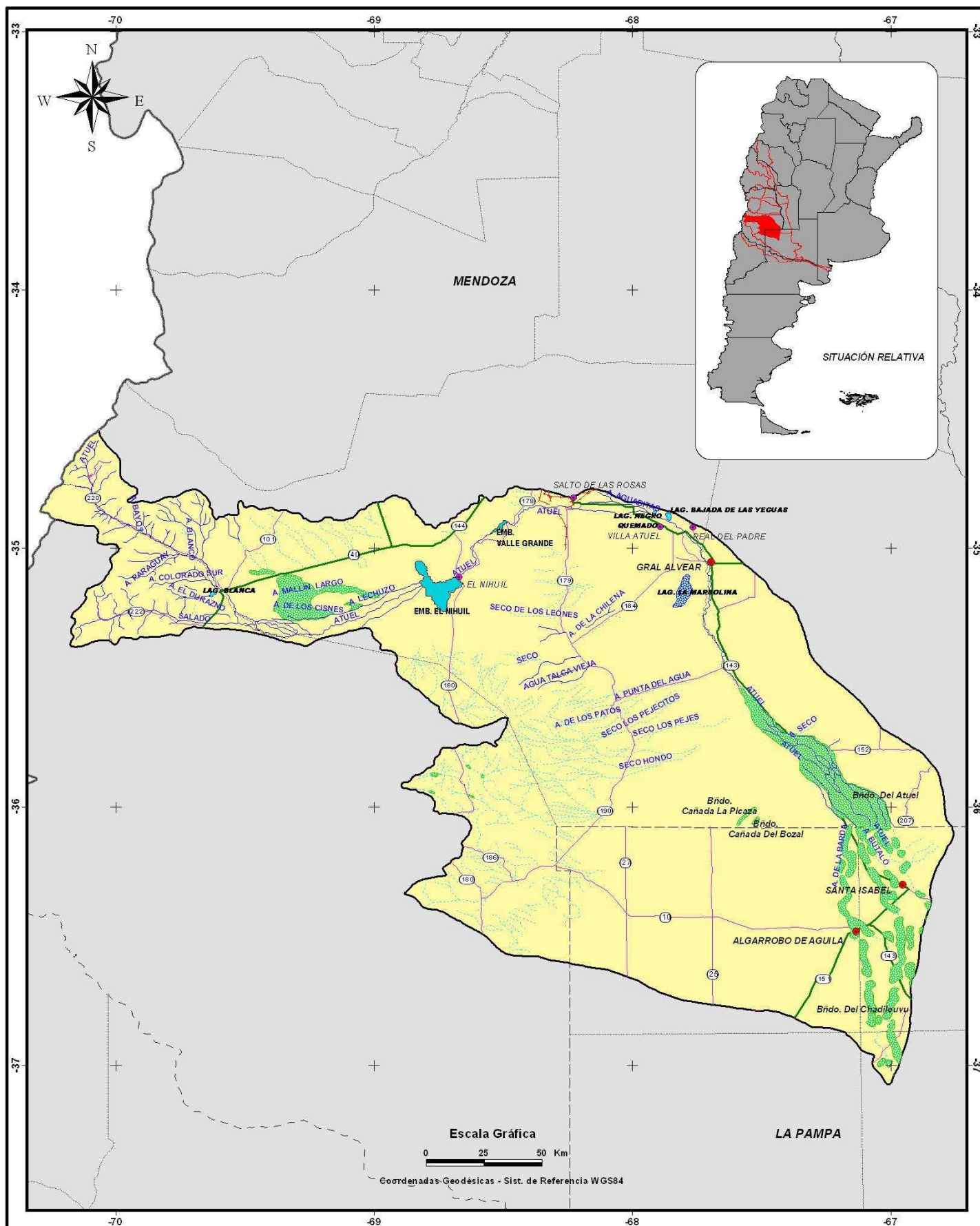
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE HIDRÁULICA

ESTUDIO INTEGRAL DE LA CUENCA DEL RÍO
DESAGUADERO-SALADO-CHADILEUVÚ-CURACÓ

Mapa de Subcuenca: Río San Juan

REFERENCIAS

División Política	Población	Hidrografía
<ul style="list-style-type: none"> — Límite Internacional — Límite Provincial — Límite Departamental 	<ul style="list-style-type: none"> ● Capital de Provincia ● Cabecera de Departamento ● Localidad 	<ul style="list-style-type: none"> — Río Permanente — Río Temporal — Canal de Riego — Embalse — Glaciar — Laguna Permanente — Laguna Temporal — Salina — Bafado
Red Vial	Área de Estudio	
<ul style="list-style-type: none"> — Ruta Nacional — Ruta Provincial 	<ul style="list-style-type: none"> — Límite de Área 	



**UNIVERSIDAD
DE BUENOS AIRES**



FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE HIDRÁULICA

ESTUDIO INTEGRAL DE LA CUENCA DEL RÍO
DESAGUADERO-SALADO-CHADILEUVÚ-CURACÓ

Mapa de Subcuenca: Río Atuel

REFERENCIAS

Division Política

— Límite Internacional

— Límite Provincial

— Límite Departamental

— Límite Municipal

— Límite de Área

— Ruta Nacional

— Ruta Provincial

— Ruta Municipal

Población

● Capital de Provincia

● Cabecera de Departamento

● Localidad

● Población

● Área de Estudio

● Límite de Área

● Ruta Nacional

● Ruta Provincial

● Ruta Municipal

Hidrografía

— Río Permanente

— Río Temporal

— Canal de Riego

— Embalse

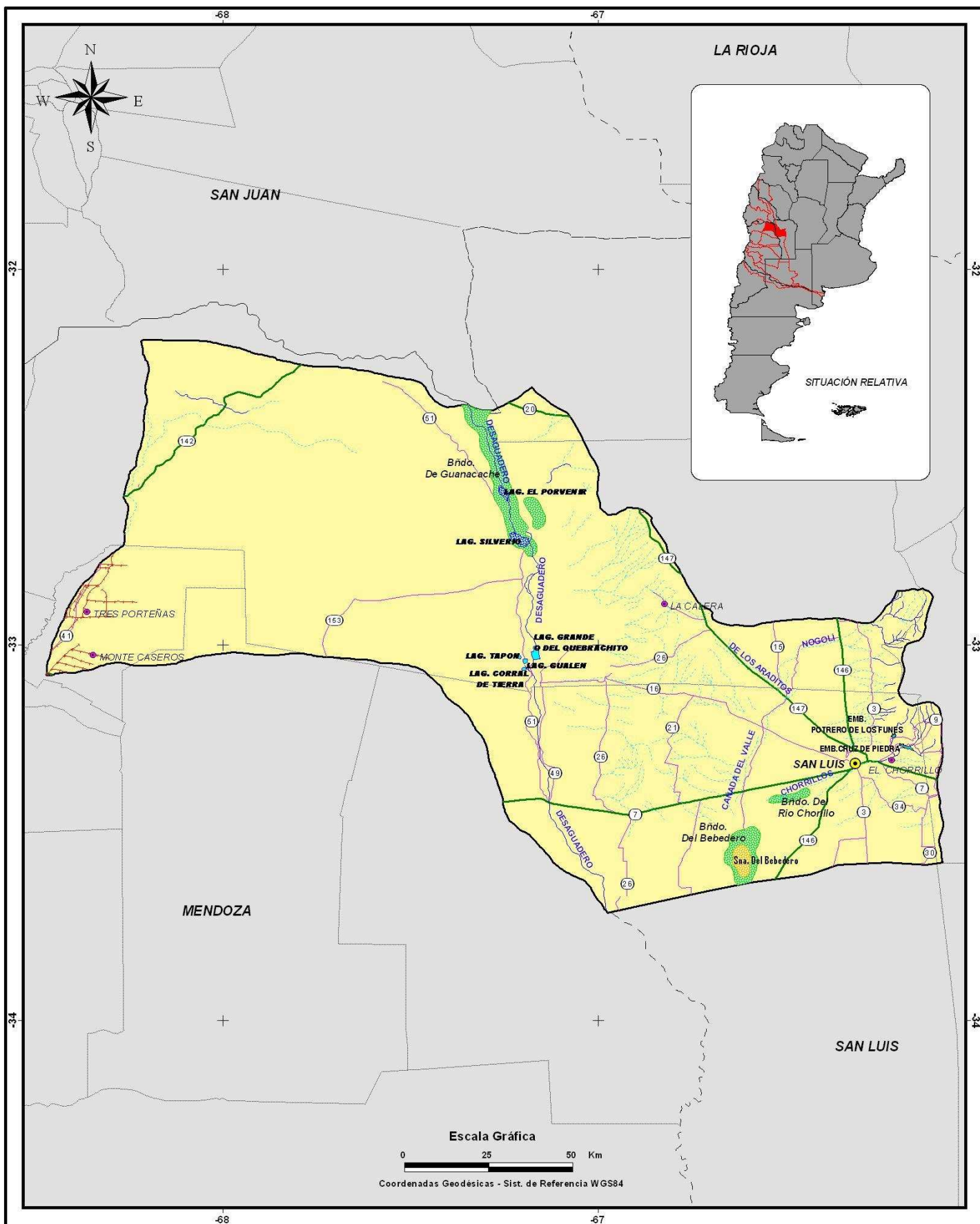
— Glaciar

— Laguna Permanente

— Laguna Temporal

— Salina

— Bañado



**UNIVERSIDAD
DE BUENOS AIRES**



FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE HIDRÁULICA

ESTUDIO INTEGRAL DE LA CUENCA DEL RÍO
DESAGUADERO-SALADO-CHADILEUVU-CURACÓ

**Mapa de Subcuenca:
Río Desaguadero 1º Tramo**

División Política

— Límite Internacional
— Límite Provincial
— Límite Departamental

Red Vial

— Ruta Nacional
— Ruta Provincial

REFERENCIAS

Población

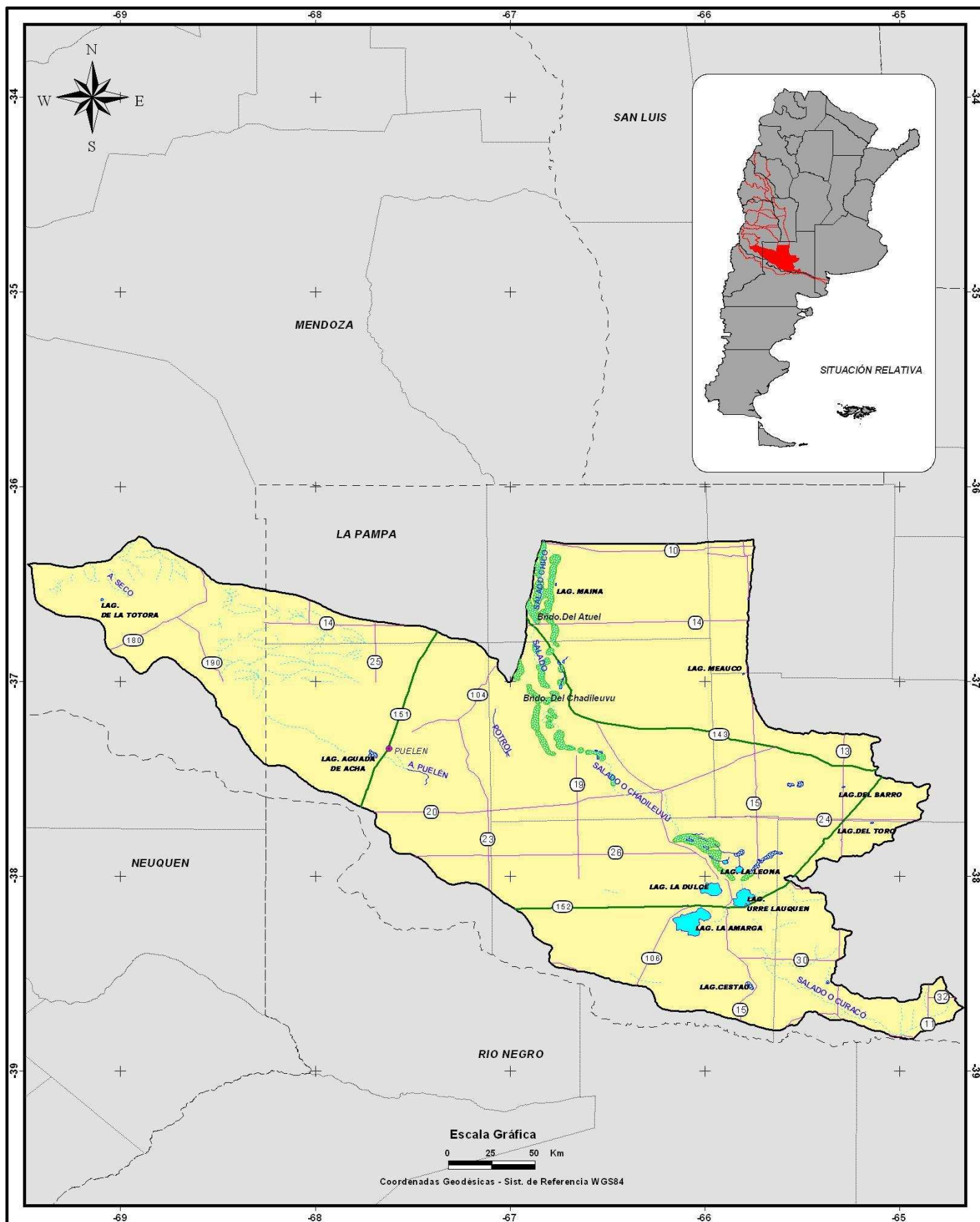
● Capital de Provincia
● Cabeceira de Departamento
● Localidad

Área de Estudio

— Límite de Área

Hidrografía

— Río Permanente
— Río Temporal
— Canal de Riego
— Embalse
— Glaciario
— Laguna Permanente
— Laguna Temporal
— Salina
— Bafado



**UNIVERSIDAD
DE BUENOS AIRES**



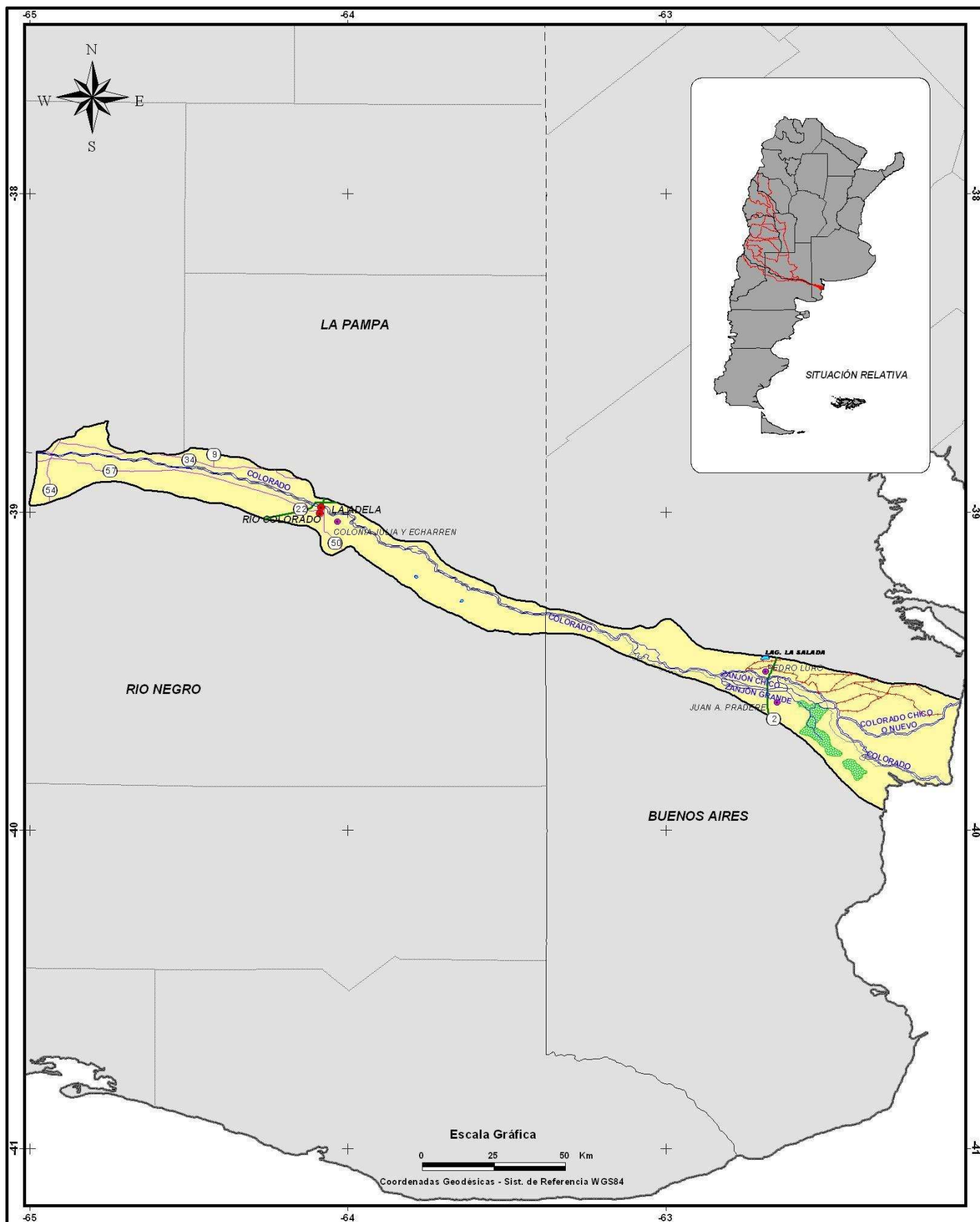
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE HIDRÁULICA

ESTUDIO INTEGRAL DE LA CUENCA DEL RÍO
DESAGUADERO-SALADO-CHADILEUVU-CURACO

Mapa de Subcuenca: Río Desaguadero 3º Tramo

REFERENCIAS

División Política	Población	Hidrografía
Límite Internacional	Capital de Provincia	Río Permanente
Límite Provincial	Cabecera de Departamento	Río Temporal
Límite Departamental	Localidad	Canal de Riego
Red Vial	Área de Estudio	Embalse
Ruta Nacional	Límite de Área	Glaciar
Ruta Provincial		Laguna Permanente
		Laguna Temporal
		Salina
		Bafado



**UNIVERSIDAD
DE BUENOS AIRES**

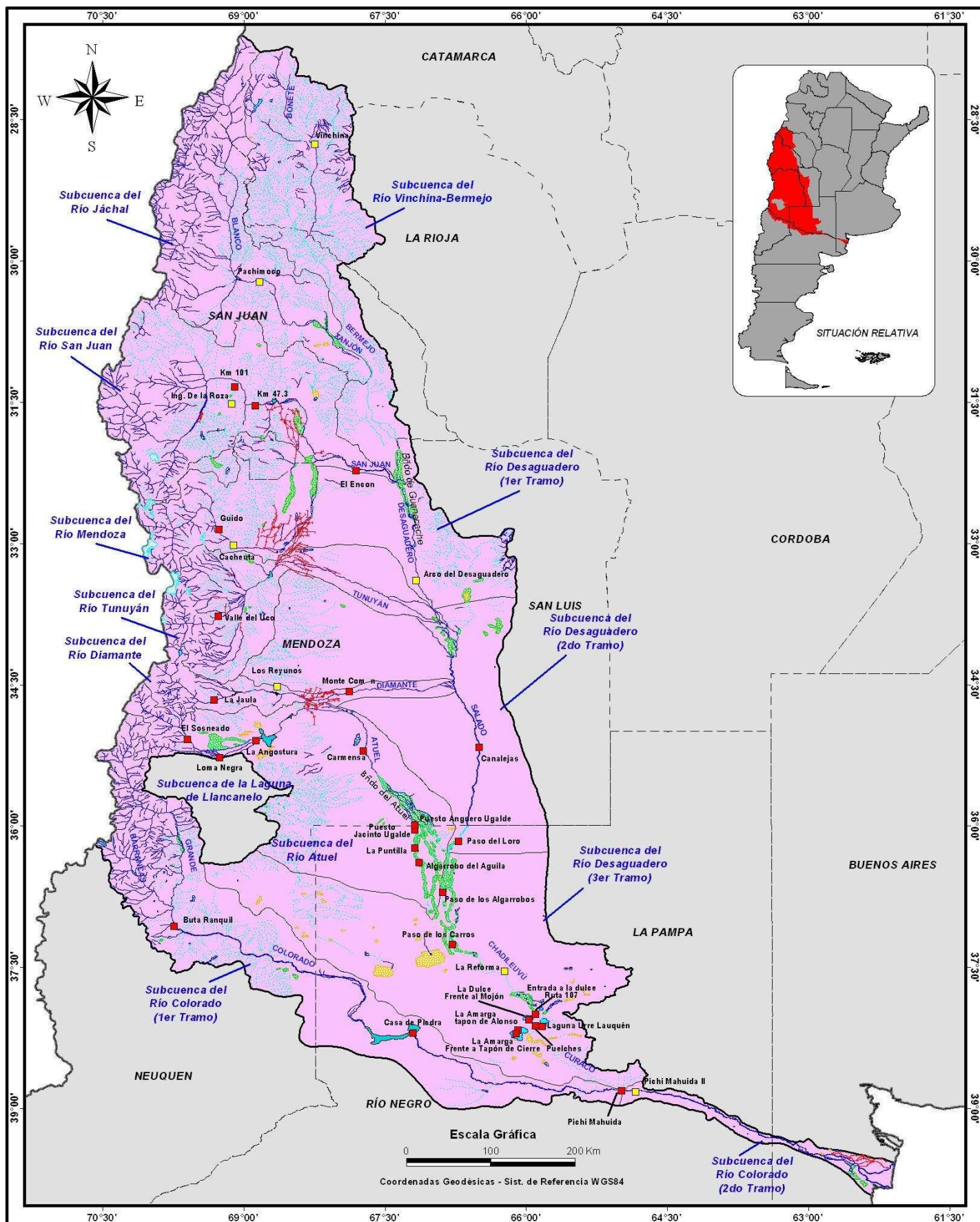


FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE HIDRÁULICA

ESTUDIO INTEGRAL DE LA CUENCA DEL RÍO
DESAGUADERO-SALADO-CHADILEUVÚ-CURACÓ

Mapa de Subcuenca: Río Colorado 2º Tramo

REFERENCIAS		
División Política	Población	Hidrografía
Límite Internacional	Capital de Provincia	Río Permanente
Límite Provincial	Cabecera de Departamento	Río Temporal
Límite Departamental	Localidad	Canal de Riego
Red Vial	Área de Estudio	Embalse
Ruta Nacional	Límite de Área	Glaciar
Ruta Provincial		Laguna Permanente
		Laguna Temporal
		Salina
		Bañado



**UNIVERSIDAD
DE BUENOS AIRES**



FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE HIDRÁULICA

ESTUDIO INTEGRAL DE LA CUENCA DEL RÍO
DESAGUADERO-SALADO-CHADILEUVÚ-CURACÓ

Registro de Caudales: Actividad en Estaciones de Aforo

REFERENCIAS

División Política

— Límite Internacional

— Límite Provincial

— Área de Estudio

— Límite de Área

Hidrografía

— Río Permanente

— Río Temporal

— Canal de Riego

— Embalse

— Glaciar

— Laguna Permanente

— Laguna Temporal

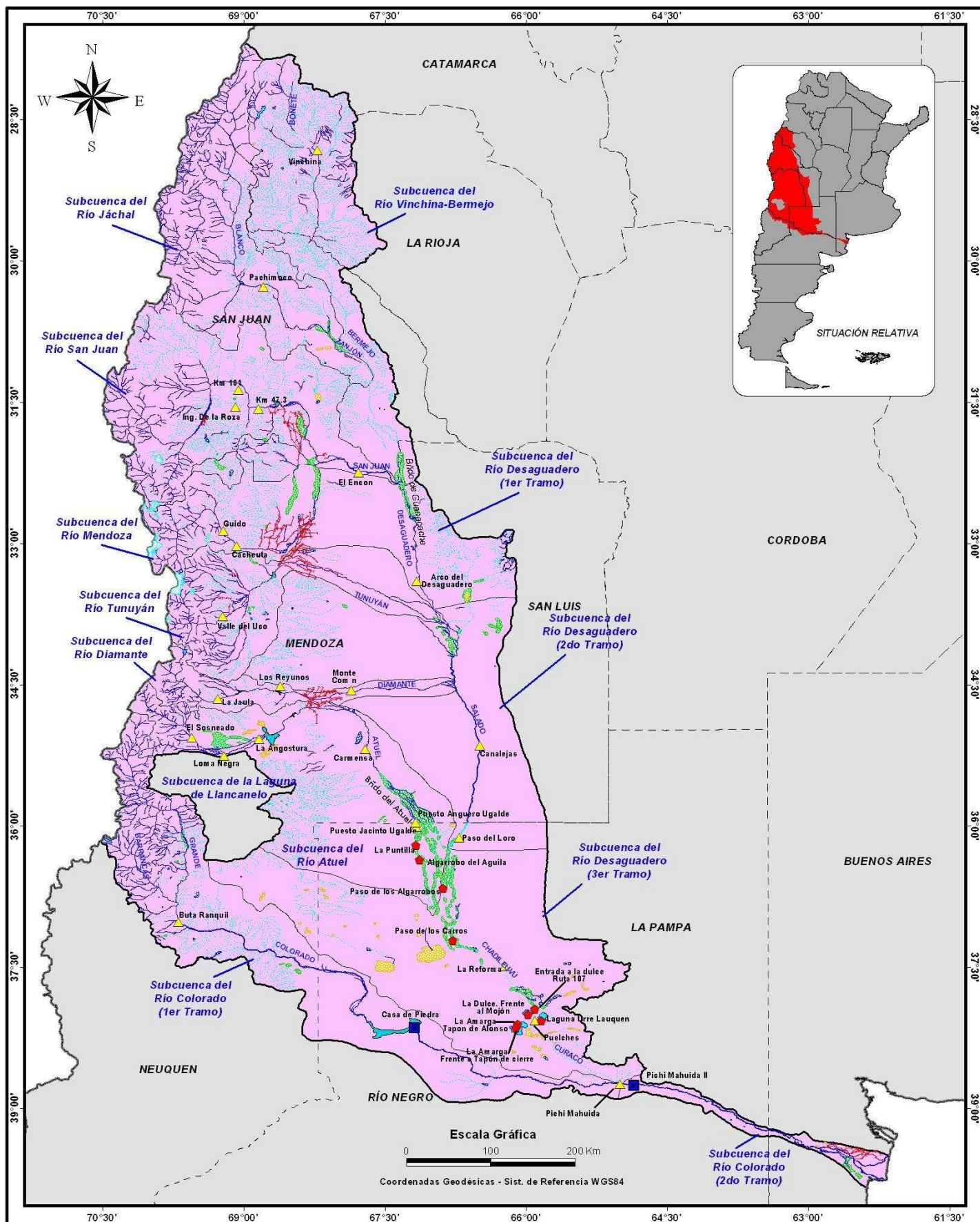
Registro Caudales (Actividad)

— Salina

— Bañado

— Estac. Activas

— Estac. Inactivas



**UNIVERSIDAD
DE BUENOS AIRES**

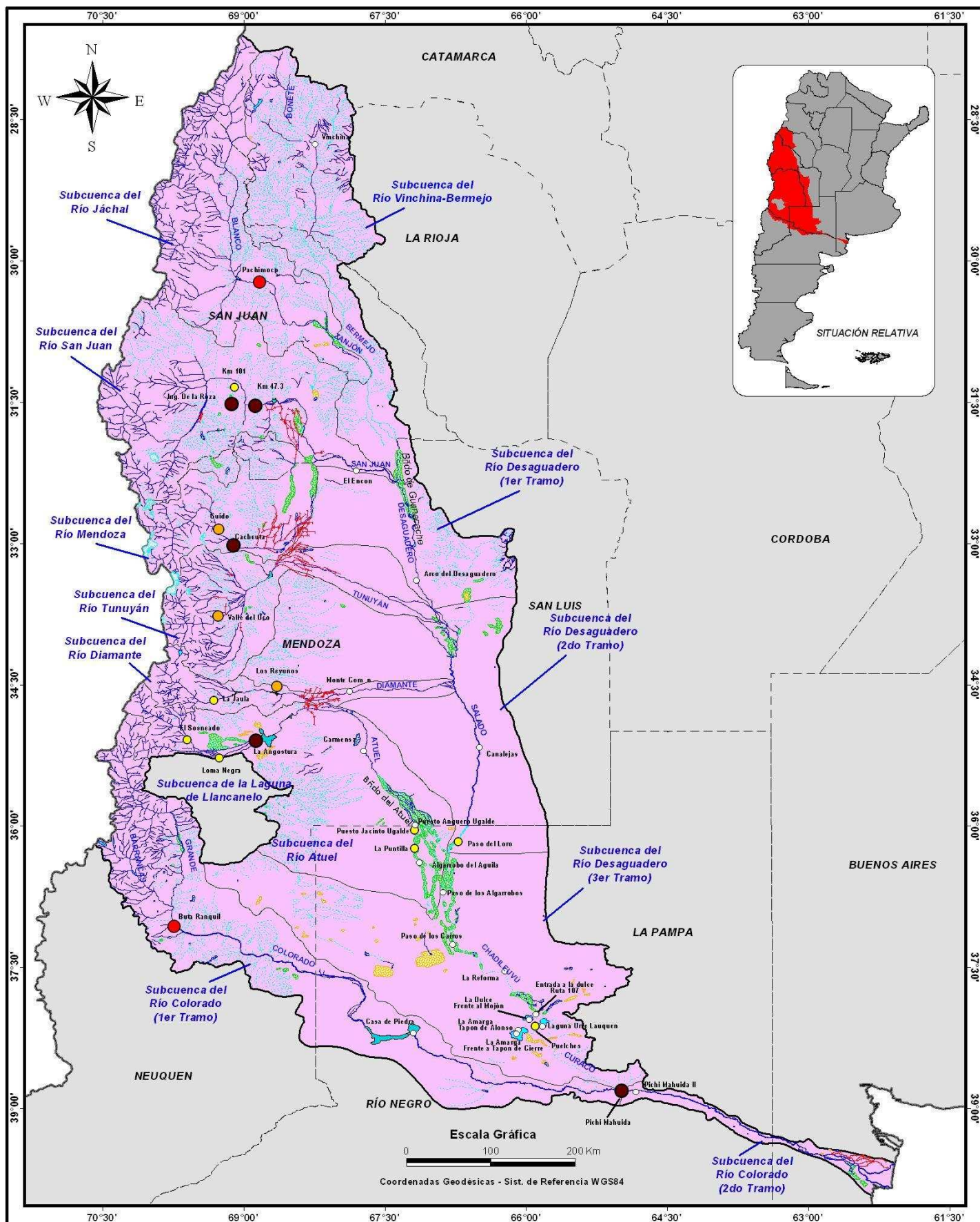


FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE HIDRÁULICA

ESTUDIO INTEGRAL DE LA CUENCA DEL RÍO
DESAGUADERO-SALADO-CHADILEUVÚ-CURACO

Registro de Caudales en Estaciones de Aforo

REFERENCIAS		
División Política	Hidrografía	Registro Caudales
Límite Internacional	Río Permanente	Sin Reg. Continuos
Límite Provincial	Río Temporal	Reg. Medios Mensuales
Área de Estudio	Canal de Riego	Reg. Medios Mensuales y Extremos Anuales (max-min-med)
Límite de Área	Embalse	
	Glaciar	
	Laguna Permanente	
	Laguna Temporal	
	Salina	
	Bañado	



**UNIVERSIDAD
DE BUENOS AIRES**



FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE HIDRÁULICA

ESTUDIO INTEGRAL DE LA CUENCA DEL RÍO
DESAGUADERO-SALADO-CHADILEUVÚ-CURACO

**Período de Registro de Caudales
en Estaciones de Aforo**

REFERENCIAS

División Política

— Límite Internacional

— Límite Provincial

— Área de Estudio

— Límite de Área

Hidrografía

— Río Permanente

— Río Temporal

— Canal de Riego

— Embalse

— Glaciar

— Laguna Permanente

— Laguna Temporal

— Salina

Registro Caudales (Años)

— Bañado

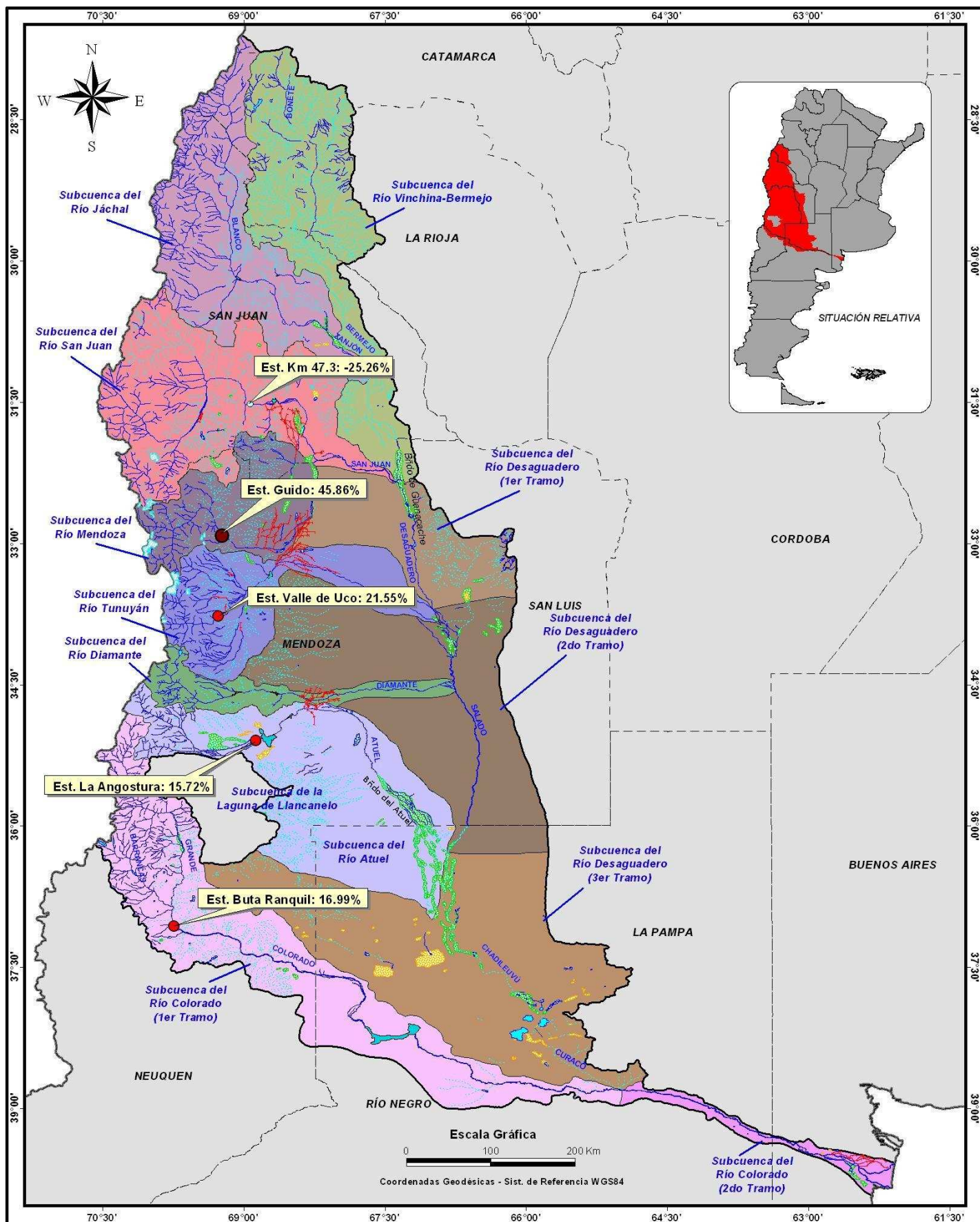
— 1-20

— 21-30

— 40-50

— 60-70

— 70-90



UNIVERSIDAD
DE BUENOS AIRES

FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE HIDRÁULICA

ESTUDIO INTEGRAL DE LA CUENCA DEL RÍO
DESAGUADERO-SALADO-CHADILEUVÚ-CURACÓ

Variación Porcentual de Caudales Medios

REFERENCIAS

División Política

— Límite Internacional
— Límite Provincial

Área de Estudio

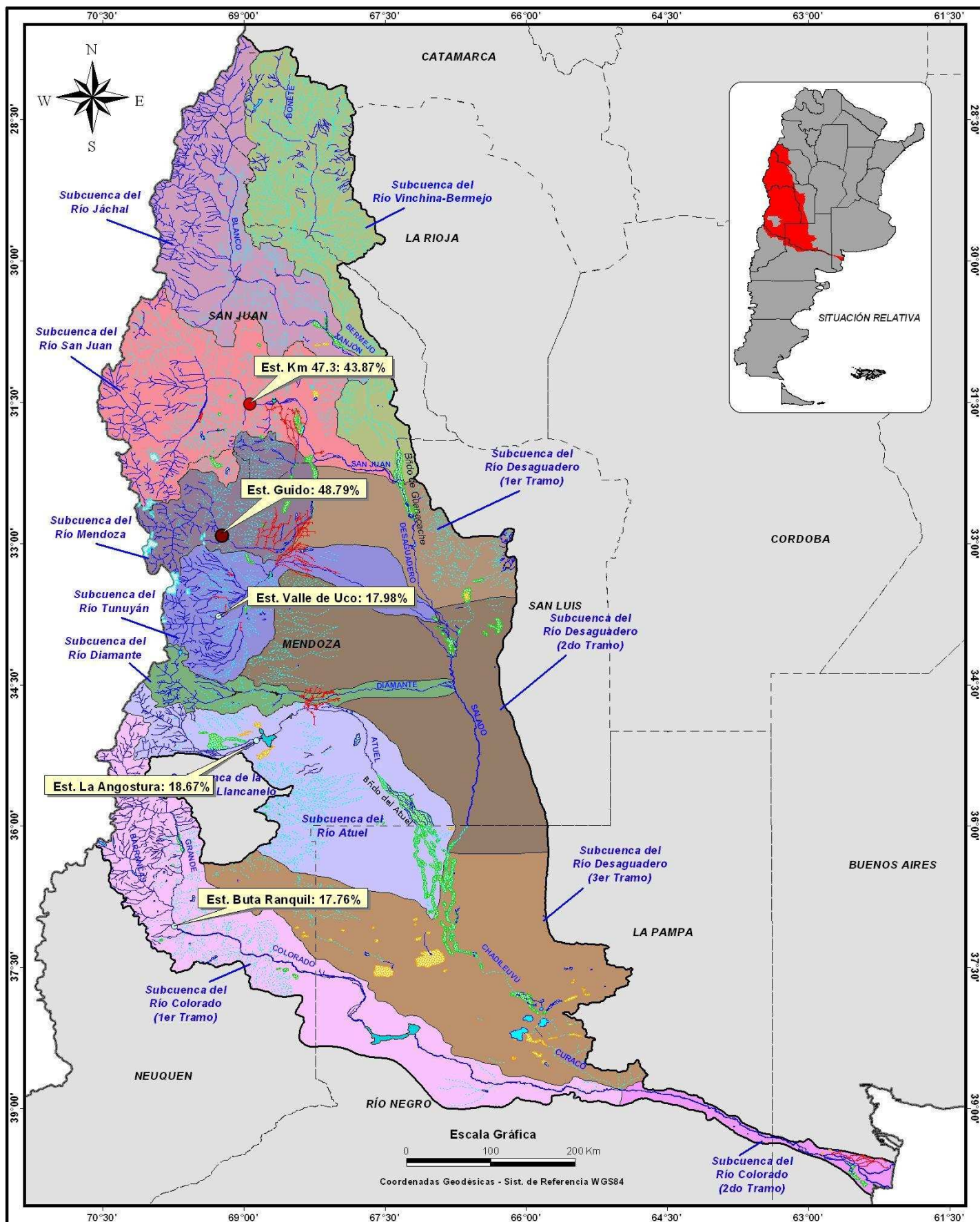
— Límite de Área

Hidrografía

— Río Permanente
— Río Temporal
— Canal de Riego
— Embalse
— Olla
— Laguna Permanente
— Laguna Temporal
— Salina
— Bafado

Variación (%)

— -25 a -13
— -13 a -2
— -2 a -10
— 10 - 22
— 22 - 34
— 34 - 46



**UNIVERSIDAD
DE BUENOS AIRES**

FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE HIDRÁULICA

ESTUDIO INTEGRAL DE LA CUENCA DEL RÍO
DESAGUADERO-SALADO-CHADILEUVÚ-CURACO

Variación Porcentual de Caudales Máximos

REFERENCIAS

División Política

— Límite Internacional
— Límite Provincial

Área de Estudio

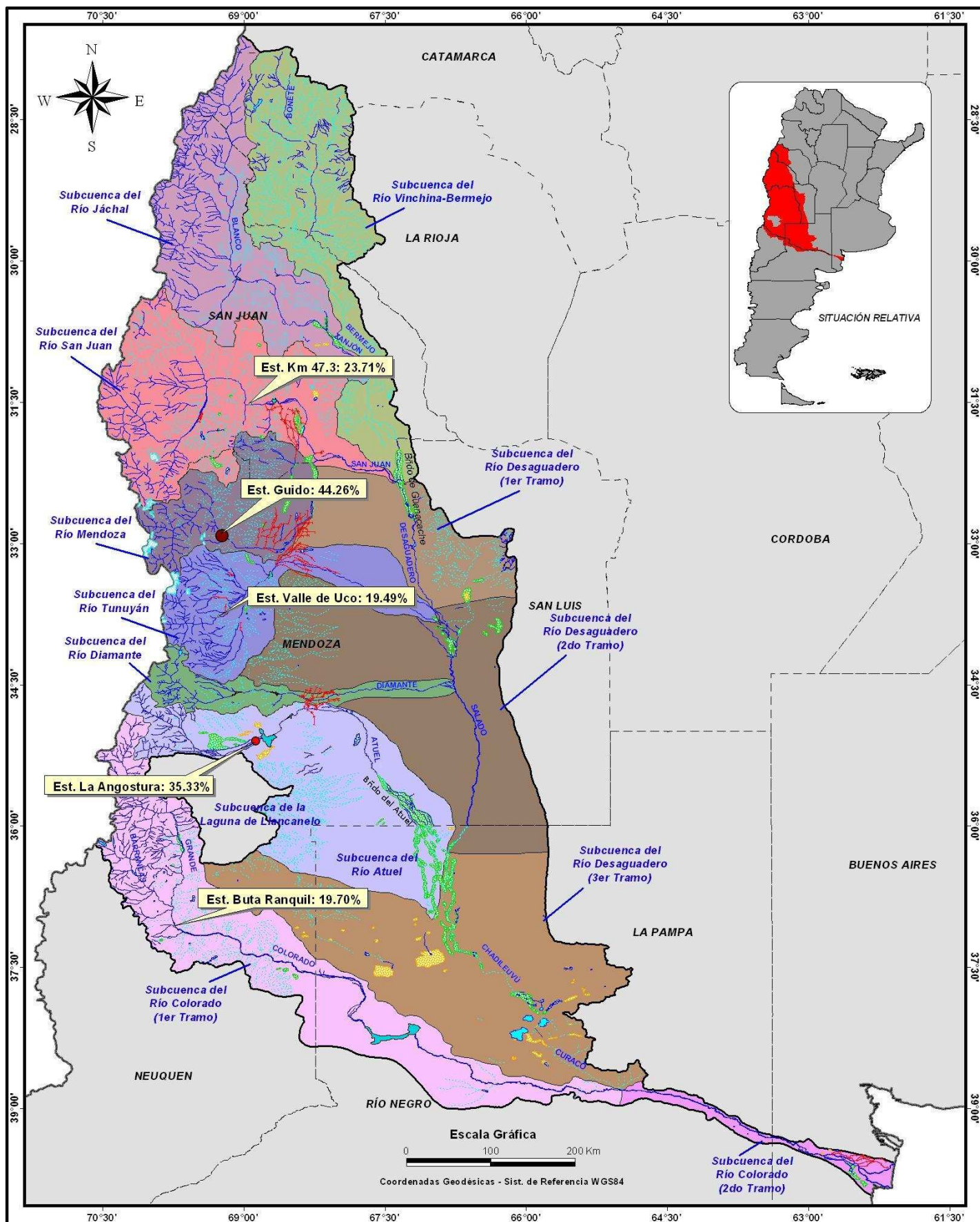
— Límite de Área

Hidrografía

— Río Permanente
— Río Temporal
— Canal de Riego
— Embalse
— Glaciar
— Laguna Permanente
— Laguna Temporal
— Salina
— Bafado

Variación (%)

18 - 23
23 - 28
28 - 33
33 - 38
38 - 44
44 - 49



**UNIVERSIDAD
DE BUENOS AIRES**

FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE HIDRÁULICA

ESTUDIO INTEGRAL DE LA CUENCA DEL RÍO
DESAGUADERO-SALADO-CHADILEUVÚ-CURACÓ

**Variación Porcentual
de Caudales Mínimos**

REFERENCIAS

División Política

— Límite Internacional
— Límite Provincial

Área de Estudio

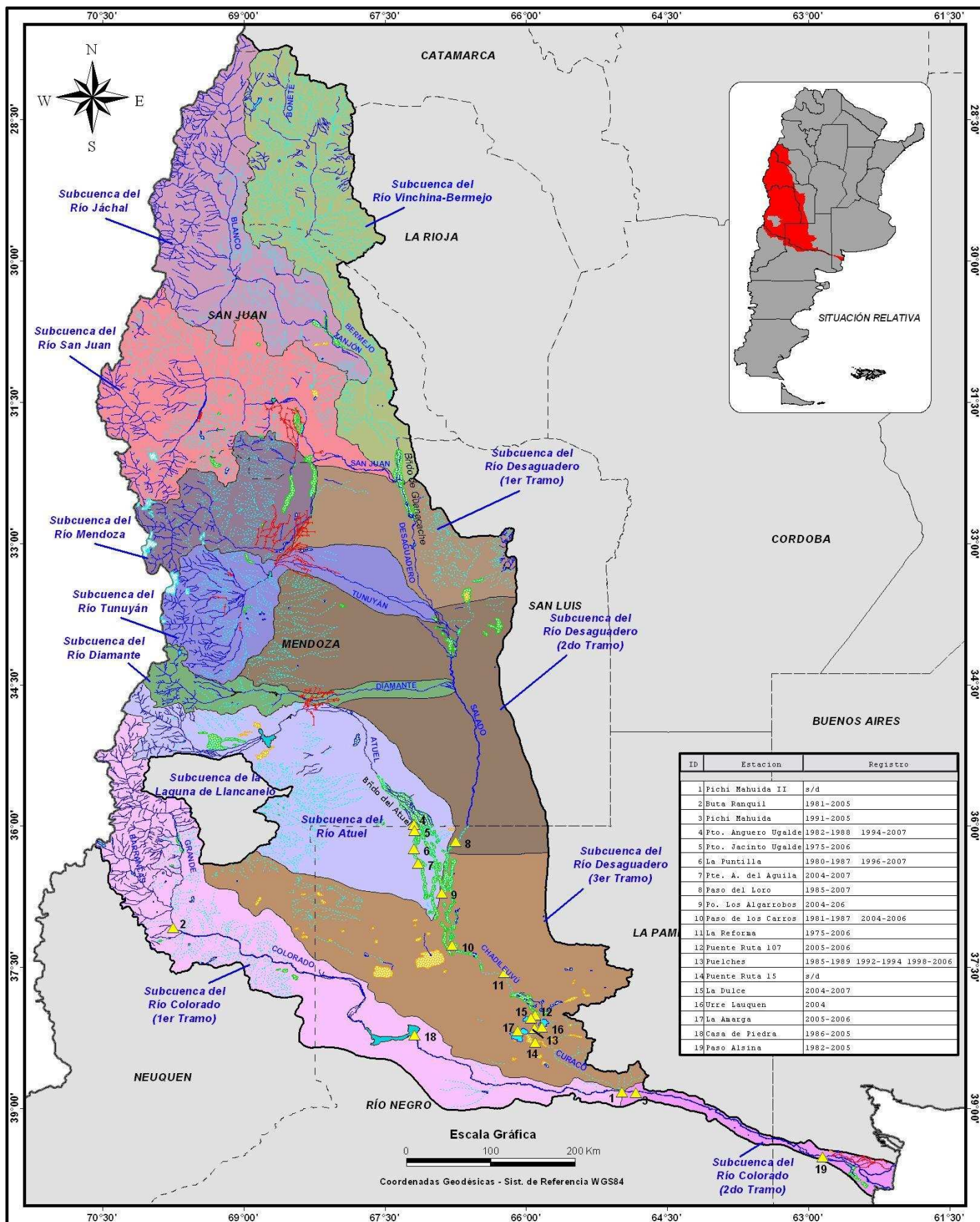
— Límite de Área

Hidrografía

— Río Permanente
— Río Temporal
— Canal de Riego
— Embalse
— Glaciar
— Laguna Permanente
— Laguna Temporal
— Salina
— Bafado

Variación (%)

● 19 - 24
● 24 - 28
● 28 - 32
● 32 - 36
● 36 - 40
● 40 - 44



ID	Estacion	Registro
1	Pichi Mahuida II	s/d
2	Buta Ranquil	1981-2005
3	Pichi Mahuida	1991-2005
4	Pto. Anguero Ugalde	1982-1988 1994-2007
5	Pto. Jacinto Ugalde	1975-2006
6	La Puntilla	1980-1987 1996-2007
7	Pte. A. del Aguila	2004-2007
8	Paso del Loro	1985-2007
9	Po. Los Algarrobos	2004-206
10	Paso de los Carros	1981-1987 2004-2006
11	La Reforma	1975-2006
12	Puente Ruta 107	2005-2006
13	Puelches	1985-1989 1992-1994 1998-2006
14	Puente Ruta 15	s/d
15	La Dulce	2004-2007
16	Utre Lauquen	2004
17	La Amarga	2005-2006
18	Casa de Piedra	1986-2005
19	Paso Alsina	1982-2005



**UNIVERSIDAD
DE BUENOS AIRES**

FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE HIDRÁULICA

ESTUDIO INTEGRAL DE LA CUENCA DEL RÍO
DESAGUADERO-SALADO-CHADILEUVÚ-CURACÓ

**Registro de Valores de Salinidad
Ubicación de Estaciones de Muestreo**

REFERENCIAS

División Política

— Límite Internacional
— Límite Provincial

Área de Estudio

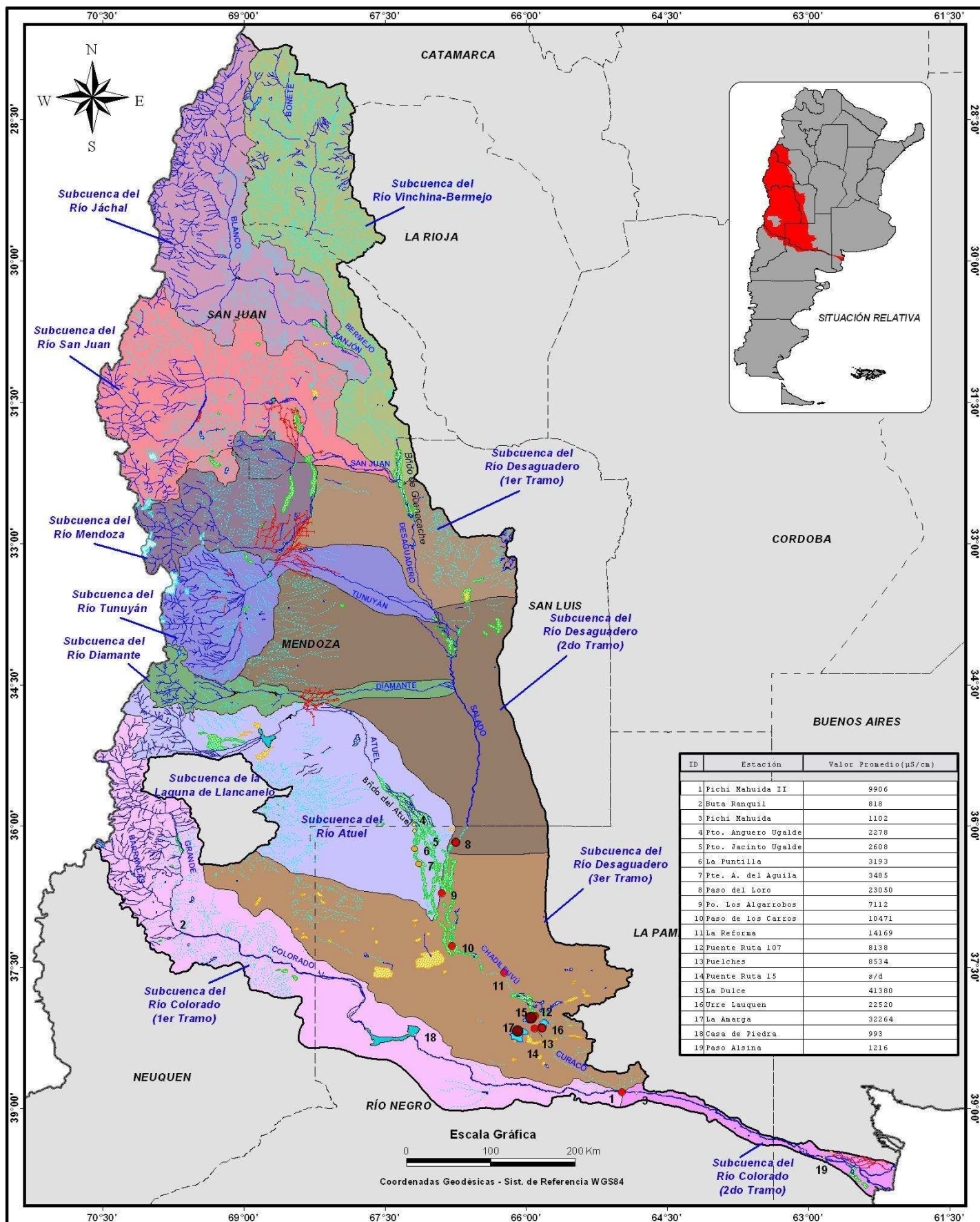
— Límite de Área

Hidrografía

— Río Permanente
— Río Temporal
— Canal de Riego
— Embalse
— Glaciar
— Laguna Permanente
— Laguna Temporal
— Salina
— Bañado

Salinidad

— Estación de Muestreo



**UNIVERSIDAD
DE BUENOS AIRES**

FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE HIDRÁULICA

ESTUDIO INTEGRAL DE LA CUENCA DEL RÍO
DESAGUADERO-SALADO-CHADILEUVÚ-CURACÓ

Registro de Valores de Salinidad Valores Promedio por Estación

División Política

— Límite Internacional
— Límite Provincial

Área de Estudio

— Límite de Área

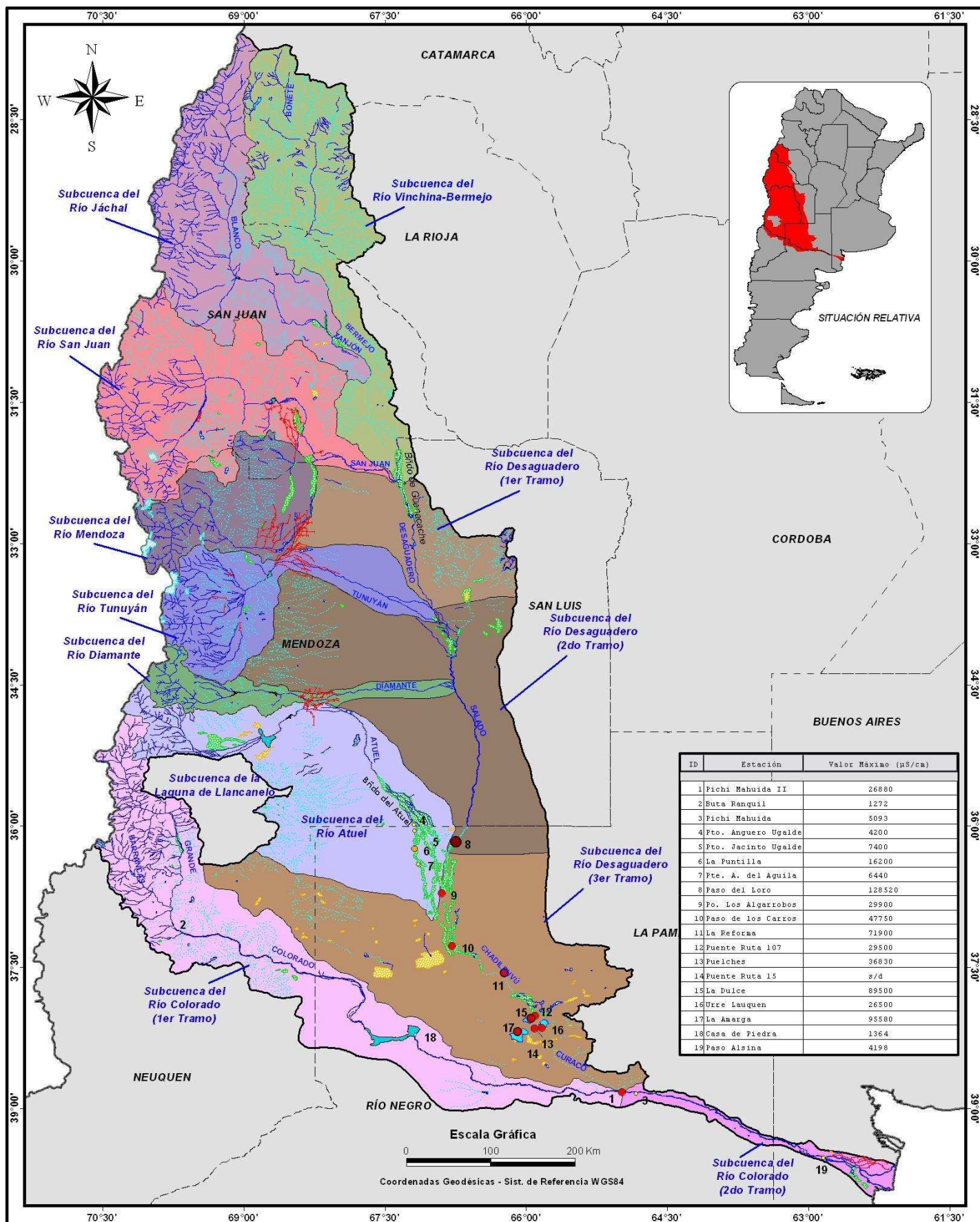
REFERENCIAS

Hidrografía

— Río Permanente
— Río Temporal
— Canal de Riego
— Embalse
— Ocleal
— Laguna Permanente
— Laguna Temporal
— Salina
— Bafado

Salinidad (µS/cm)

● 818 - 1216
● 1217 - 2608
● 2609 - 3485
● 3486 - 14169
● 14170 - 23050
● 23051 - 41380



**UNIVERSIDAD
DE BUENOS AIRES**

FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE HIDRÁULICA

ESTUDIO INTEGRAL DE LA CUENCA DEL RÍO
DESAGUADERO-SALADO-CHADILEUVÚ-CURACÓ

**Registro de Valores de Salinidad
Valores Máximos por Estación**

REFERENCIAS

División Política

— Límite Internacional

— Límite Provincial

— Área de Estudio

— Límite de Área

Hidrografía

— Río Permanente

— Río Temporal

— Canal de Riego

— Embalse

— Oblear

— Laguna Permanente

— Laguna Temporal

— Salina

— Bafado

Salinidad (µS/cm)

— 1272 - 1364

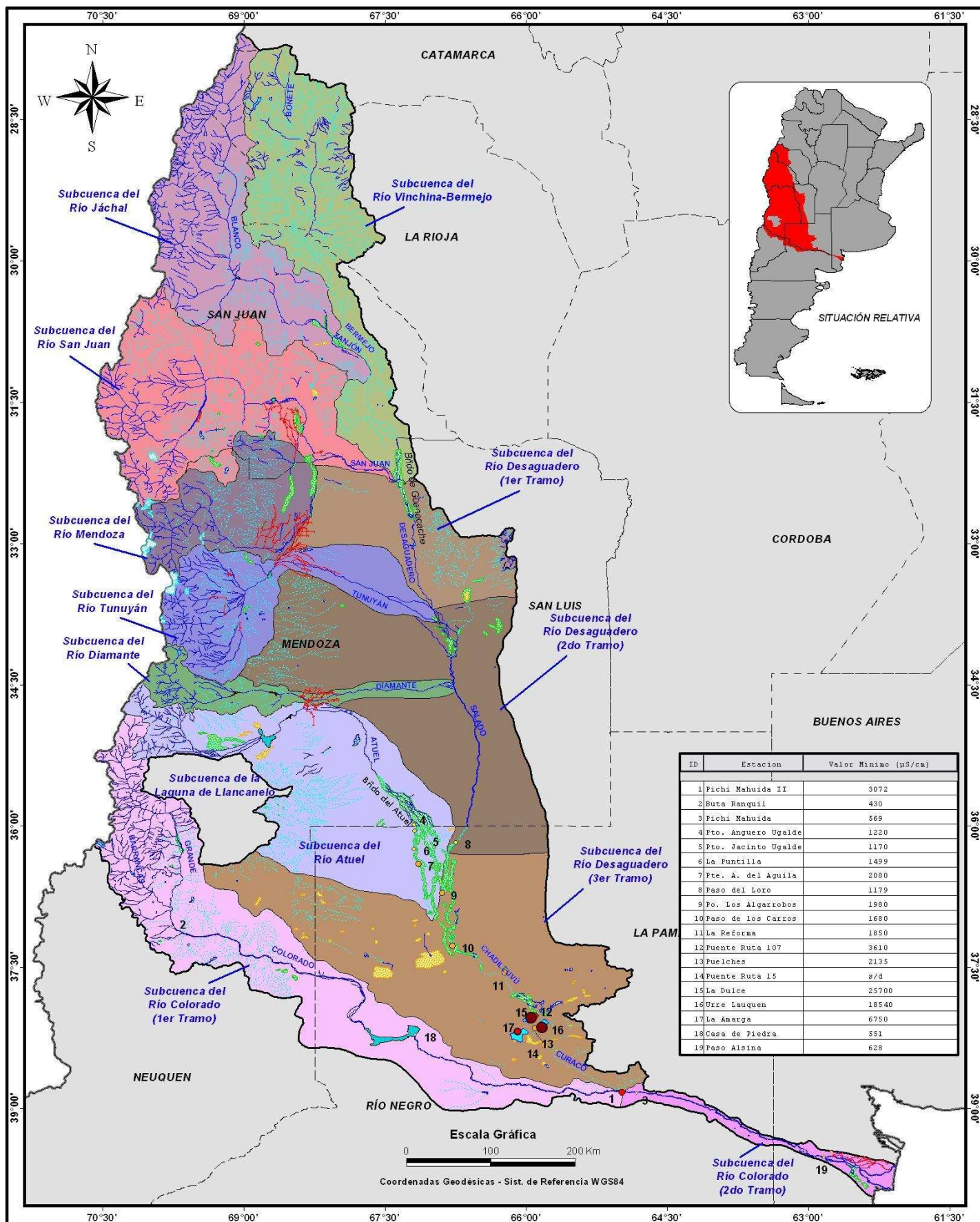
— 1365 - 7400

— 7401 - 16200

— 16201 - 47750

— 47751 - 95580

— 95581 - 128520



**UNIVERSIDAD
DE BUENOS AIRES**

FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE HIDRÁULICA

ESTUDIO INTEGRAL DE LA CUENCA DEL RÍO
DESAGUADERO-SALADO-CHADILEUVÚ-CURACÓ

Registro de Valores de Salinidad
Valores Mínimos por Estación

REFERENCIAS

División Política

— Límite Internacional

— Límite Provincial

— Área de Estudio

— Límite de Área

Hidrografía

— Río Permanente

— Río Temporal

— Canal de Riego

— Embalse

— Otazcar

— Laguna Permanente

— Laguna Temporal

— Salina

— Bafado

Salinidad (µS/cm)

— 430 - 628

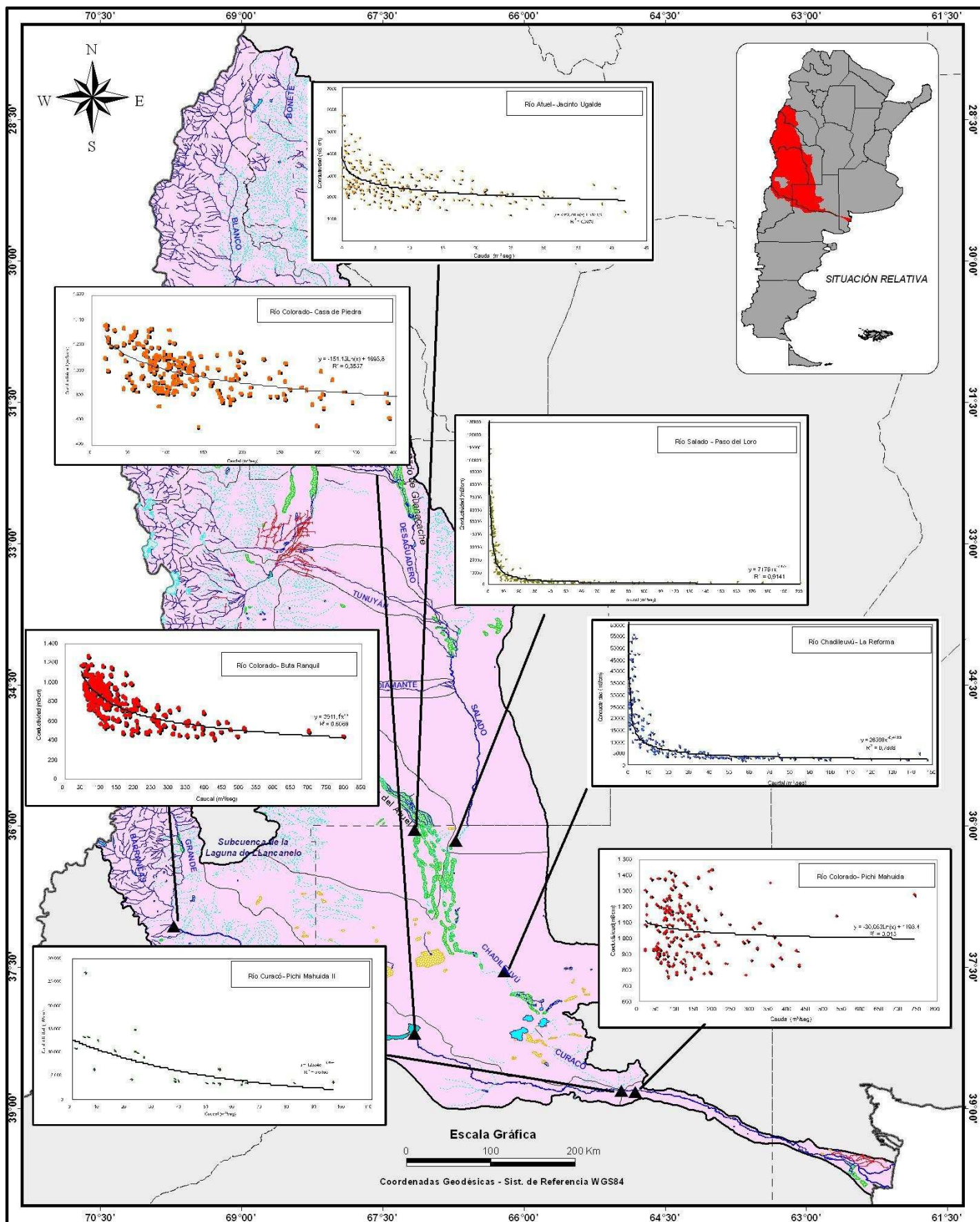
— 629 - 1499

— 1500 - 2135

— 2136 - 3610

— 3611 - 6750

— 6751 - 25700



UNIVERSIDAD
DE BUENOS AIRES



FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE HIDRÁULICA

ESTUDIO INTEGRAL DE LA CUENCA DEL RÍO
DESAGUADERO-SALADO-CHADILEUVÚ-CURACÓ

Salinidad- Caudal vs Conductividad Curvas por Estación

REFERENCIAS

División Política

— Límite Internacional

— Límite Provincial

— Límite de Área

Hidrografía

— Río Perenne

— Río Temporal

— Canal de Riego

— Embalse

— Obrero

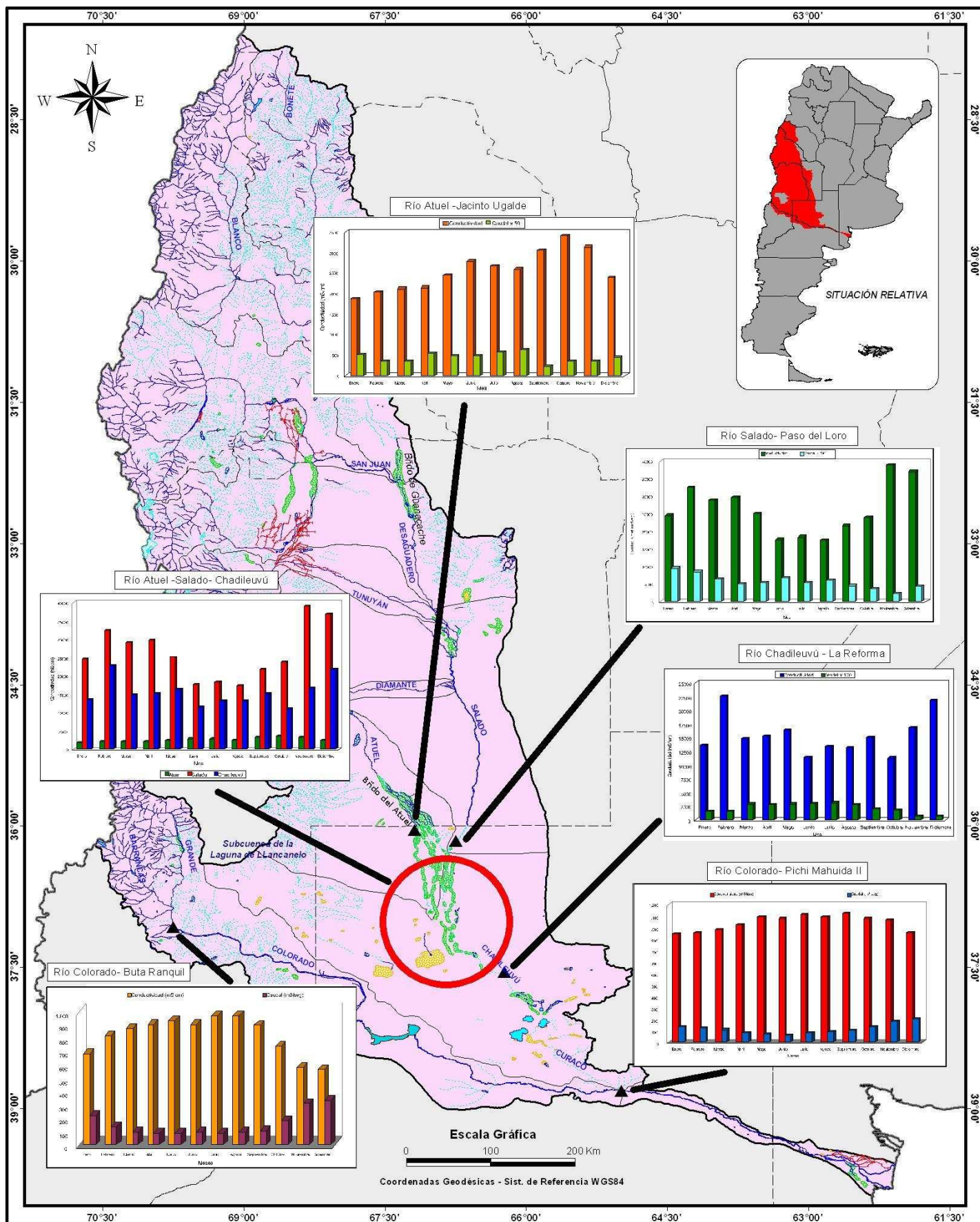
— Laguna Perenne

— Laguna Temporal

— Caudal

— Salinidad

— Estación de Muestreo



UNIVERSIDAD
DE BUENOS AIRES

FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE HIDRÁULICA

ESTUDIO INTEGRAL DE LA CUENCA DEL RÍO
DESAGUADERO-SALADO-CHADILEUVÚ-CURACÓ

Amortiguación del Río Atuel : Salinidad
Gráficos Caudal - Conductividad en el Tiempo

REFERENCIAS

División Política

— Límite Internacional

— Límite Provincial

Área de Estudio

— Límite de Área

Hidrografía

— Río Perimaneño

— Río Temporal

— Canal de Riego

— Embalse

— Glaciar

— Laguna Perimaneño

— Laguna Temporal

— Salina

— Salado

— Estación de Muestreo