



**REPÚBLICA DE CHILE
MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS
DIRECCION GENERAL DE AGUAS**

**PROPUESTA DE CALIDAD OBJETIVO Y ANALISIS
GENERAL DE IMPACTO ECONOMICO Y SOCIAL-CUENCA
RIO LLUTA. BASES CONCEPTUALES Y CUANTITATIVAS.**

REALIZADO POR:

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA
DICTUC**

Departamento de Conservación y Protección de Recursos Hídricos

S.I.T. N° 151

SANTIAGO, NOVIEMBRE 2008

**Ministro de Obras Públicas
Ing. Sr. Sergio Bitar Ch.**

**Director General de Aguas
Abogado. Sr. Rodrigo Weisner L.**

**Jefa Departamento de Conservación y Protección de Recursos Hídricos
Ing. Sra. Mesenia Atenas V.**

**Inspector Fiscal
Ing. Sra. Mónica Musalem J.**

DICTUC-PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA:

**Jefe de Proyecto
Ing Sr. Gonzalo Pizarro P.**

**Jefe de Proyecto Alterno
Ing Sr. Pablo Pastén G.**

**Ingeniero de Proyecto
Ing Srta. Katherine Lizama A.**

Tipo Informe Informe técnico folio N° 460618	Cuerpo del Informe 213 hojas (incluye portada)
Título del Proyecto Propuesta de calidad objetivo y análisis general del impacto económico y social- Cuenca Río Lluta.	Fecha Informe Noviembre 2008
Autor (es) Jefe de Proyecto: Gonzalo Pizarro Puccio Jefe de Proyecto Alterno: Pablo Pastén González Ingeniero de Proyecto: Katherine Lizama Allende	Contrato 30067481-0
6. Nombre y Dirección de la Organización Investigadora Pontificia Universidad Católica de Chile, DICTUC Vicuña Mackenna N° 4860, Casilla 306 – Correo 22, Macul - Santiago	7. Período de Investigación Diciembre 2007- Septiembre 2008
8. Antecedentes de la Institución Mandante Nombre : Dirección General de Aguas- MOPTT Dirección: Morandé 59- 8° piso RUT: 61.202.000-0 Teléfono: 4493804 Fax: 4493825	9. Contraparte Técnica Nombre: Mónica Musalem Cargo: Inspector Fiscal
10. Resumen Informe final del proyecto. Se presentan los principales aspectos en cuanto a la calidad del agua de los cursos superficiales de la cuenca de río Lluta y la propuesta de calidad objetivo para sus distintos tramos. Se consideran los efectos en la calidad del agua dado el aumento de carga contaminante para los parámetros críticos por tramo, lo que permitirá evaluar distintos escenarios de carga contaminante durante el AGIES.	

Sr. Gonzalo Pizarro Puccio
Jefe de Proyecto

DICTUC

ÍNDICE GENERAL

I.	Introducción.....	18
II.	Objetivos.....	18
III.	Metodología y actividades.....	19
IV.	Descripción general de la cuenca	26
1.	Geografía general	26
a.	Geología	27
b.	Suelos	27
2.	Flora y Fauna.....	28
3.	Asentamientos humanos.....	29
4.	Usos del suelo.....	29
a.	Agrícola	29
b.	Urbano	30
c.	Áreas silvestres protegidas	30
V.	Complementación línea de base de calidad del agua	32
1.	Información disponible.....	32
2.	Información recolectada en el marco de este estudio.....	35
3.	Condición actual de la cuenca del río Lluta	35
a.	Características antrópicas de la cuenca	35
b.	Características naturales de la cuenca	37
VI.	Definición de tramos y usos del agua.....	65
VII.	Propuesta de objetivos de calidad por tramo.....	72
VIII.	Parámetros críticos y evaluación de cargas contaminantes.....	80
4.	Aspectos conceptuales generales.....	81
a.	pH.....	81
b.	Alcalinidad	82
c.	DBO y DQO	82
d.	Arsénico.....	83
e.	Fierro	84
f.	Boro	84
g.	Conductividad.....	85
5.	Aspectos específicos por tramos.....	85
a.	pH.....	91
b.	Alcalinidad	101
c.	DBO y DQO	104
d.	Arsénico.....	123
e.	Fierro	140
f.	Boro	150
g.	Conductividad.....	165
IX.	Conclusiones.....	175
X.	Referencias	177
XI.	Anexos.....	179
1.	Tabla N°1 y N°2 del Decreto Supremo 90.....	179
2.	Fases termodinámicamente factibles de precipitar según estaciones de la cuenca del río Lluta	181
3.	Mediciones de terreno y de laboratorio	198

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura III-1. Esquema general del estudio y su resultado final. Este proyecto contribuye a complementar la línea de base de calidad del agua de la cuenca y a la propuesta de valores para la Norma Secundaria, lo que finalmente se reflejará a favor de mantener la condición natural de los cursos superficiales de la cuenca.	20
Figura III-2. Esquema de toma de decisiones para el muestreo.	21
Figura III-3. Metodología para la propuesta de objetivos de calidad.	22
Figura IV-1. Cuenca del río Lluta y puntos de muestreo. Fuente: Elaboración propia.	26
Figura IV-2. Sector de riego y pastoreo de la Quebrada Quecalane. Enero 2008.	30
Figura IV-3. Parque Nacional Lauca. Fuente: Elaboración propia.	31
Figura IV-4. Áreas de protección en la Región de Arica y Parinacota y Región de Tarapacá. Fuente: www.dga.cl	32
Figura V-1. Esquema representativo de la cuenca del río Lluta, principales afluentes y estaciones de monitoreo de la DGA.	34
Figura V-2. Descarga de la planta Desalari ubicada en la desembocadura del Río Lluta, a 200 metros de la orilla del mar. 31-1-2008.	36
Figura V-3. Descarga de Planta Desalari al Río Lluta, aproximadamente 430 metros aguas arriba de la estación DGA Lluta en Panamericana. 1-2-2008.	37
Figura V-4. Distribución espacial de la concentración total de boro en la cuenca del río Lluta.	38
Figura V-5. Distribución espacial de la concentración total y disuelta de arsénico en la cuenca del río Lluta. Los gráficos tienen la misma escala, para efectos de comparación entre puntos, excepto el río Azufre antes de Caracarani, cuyas concentraciones bordean los 3 mg/L As.	39
Figura V-6. Distribución espacial de la concentración total y disuelta de metales de interés. Los gráficos de los puntos tienen la misma escala, con un máximo de 40 mg/L metal, sin embargo se utilizó una escala mayor para Azufre antes de Caracarani (máximo 80 mg/L metal) debido a las altas concentraciones presentes.	40
Figura V-7. Datos históricos de la DGA para el pH.	41
Figura V-8. Mediciones de pH reportadas por este estudio.	42
Figura V-9. Mediciones de pH reportadas por este estudio, continuación.	43
Figura V-10. Datos históricos de la DGA para la conductividad.	44
Figura V-11. Mediciones de conductividad (mS/cm) reportadas por este estudio.	45
Figura V-12. Mediciones de conductividad (mS/cm) reportadas por este estudio, continuación.	46
Figura V-13. Relación entre caudal y conductividad, datos históricos DGA, estación Lluta en Panamericana.	47
Figura V-14. Relación entre caudal y conductividad, datos históricos DGA, estación Colpitas antes de Caracarani.	47
Figura V-15. Datos históricos de la DGA para la concentración de cloruro.	48
Figura V-16. Mediciones de cloruro reportadas por este estudio.	49
Figura V-17. Mediciones de cloruro reportadas por este estudio, continuación.	50
Figura V-18. Relación entre caudal y concentración de cloruro y sulfato, datos históricos DGA, estación Colpitas antes de Caracarani.	51
Figura V-19. Relación entre caudal y concentración de cloruro y sulfato, datos históricos DGA, estación Lluta en Panamericana.	51

Figura V-20. Datos históricos de la DGA para la concentración de sulfato.	52
Figura V-21. Mediciones de sulfato reportadas por este estudio.	53
Figura V-22. Mediciones de DQO realizadas por la DGA, estación Lluta en Panamericana.	54
Figura V-23. DQO reportada por la DGA en la estación Lluta en Tocontasi.	54
Figura V-24. Mediciones de DQO (mg/L) reportadas por este estudio.	55
Figura V-25. Datos históricos de la DGA para la concentración de boro.	56
Figura V-26. Mediciones de boro reportadas por este estudio.	57
Figura V-27. Mediciones de boro reportadas por este estudio, continuación.	58
Figura V-28. Datos históricos de la DGA para la concentración de arsénico.	59
Figura V-29. Mediciones de arsénico total reportadas por este estudio.	60
Figura V-30. Mediciones de arsénico total (mg/L) reportadas por este estudio, continuación.	61
Figura V-31. Datos históricos de la DGA para la concentración de hierro.	62
Figura V-32. Mediciones de fierro total reportadas por este estudio.	63
Figura V-33. Variación estacional de pH, conductividad, concentración de boro y arsénico en cuatro estaciones de monitoreo de calidad del agua.	64
Figura V-34. Caudales promedio y flujos máxicos de boro y arsénico para las estaciones de Lluta en Panamericana y Colpitas antes de Caracarani.	65
Figura VI-1. Metodología para la propuesta de objetivos de calidad.	66
Figura VI-2. Principales cursos de agua de la cuenca y su segmentación en tramos.	70
Figura VI-3. Quebradas afluentes al río Lluta con distinta calidad.	70
Figura VIII-1. Procesos y factores que regulan la calidad del agua en una cuenca.	86
Figura VIII-2. Representación esquemática de la metodología empleada para simular los efectos de descargas al tramo de interés.	89
Figura VIII-3. Dosis de ácido y base requerida para llegar al pH mínimo y máximo recomendado, tramo AZU-1.	92
Figura VIII-4. Dosis de ácido y base requerida para llegar al pH mínimo y máximo recomendado, tramo COLP-1.	92
Figura VIII-5. Dosis de ácido y base requerida para llegar al pH mínimo y máximo recomendado, tramo CARAC-1.	93
Figura VIII-6. Dosis de ácido y base requerida para llegar al pH mínimo y máximo recomendado, tramo CARAC-2.	93
Figura VIII-7. Dosis de ácido y base requerida para llegar al pH mínimo y máximo recomendado, tramo LLUTA-1.	94
Figura VIII-8. Dosis de ácido y base requerida para llegar al pH mínimo y máximo recomendado, tramo LLUTA-2.	95
Figura VIII-9. Dosis de ácido y base requerida para llegar al pH mínimo y máximo recomendado, tramo LLUTA-3.	95
Figura VIII-10. Dosis de ácido y base requerida para llegar al pH mínimo y máximo recomendado, tramo QORIEN1-1.	96
Figura VIII-11. Dosis de ácido y base requerida para llegar al pH mínimo y máximo recomendado, tramo QORIEN2-1.	97
Figura VIII-12. Dosis de ácido requerida para llegar al pH mínimo recomendado, tramo QORIEN3-1.	98
Figura VIII-13. Dosis de ácido requerida para llegar al pH mínimo recomendado, tramo QORIEN4-1.	98
Figura VIII-14. Dosis de ácido y base requerida para llegar al pH mínimo y máximo recomendado, tramo HUAYLA-1.	99

Figura VIII-15. Dosis de base requerida para llegar al pH máximo recomendado, tramo AROMA-1.....	99
Figura VIII-16. Dosis de ácido requerida para llegar al pH mínimo recomendado, tramo ALLANE-1.....	100
Figura VIII-17. Disminución en las concentraciones de DBO, principales tramos cuenca del Lluta.....	106
Figura VIII-18. Concentraciones máximas sugeridas de DBO para cumplir con el máximo propuesto en la estación representativa de los principales tramos de la cuenca del Lluta.	107
Figura VIII-19. Curvas de concentración final de DBO para distintas concentraciones y caudales de descarga, tramo AZU-1.....	108
Figura VIII-20. Curva de carga máxima diaria de DBO admitida para el tramo.....	108
Figura VIII-21. Curvas de concentración final de DBO para distintas concentraciones y caudales de descarga, tramo CARAC-1.....	109
Figura VIII-22. Curva de carga máxima diaria de DBO admitida para el tramo CARAC-1.....	109
Figura VIII-23. Curvas de concentración final de DBO para distintas concentraciones y caudales de descarga, tramo CARAC-2.....	110
Figura VIII-24. Curva de carga máxima diaria de DBO admitida para el tramo CARAC-2.....	110
Figura VIII-25. Curvas de concentración final de DBO para distintas concentraciones y caudales de descarga, tramo COLP-1.....	111
Figura VIII-26. Curva de carga máxima diaria de DBO admitida para el tramo COLP-1.....	111
Figura VIII-27. Curvas de concentración final de DBO para distintas concentraciones y caudales de descarga, tramo LLUTA-1.....	112
Figura VIII-28. Curva de carga máxima diaria de DBO admitida para el tramo LLUTA-1.....	112
Figura VIII-29. Curvas de concentración final de DBO para distintas concentraciones y caudales de descarga, tramo LLUTA-2.....	113
Figura VIII-30. Curva de carga máxima diaria de DBO admitida para el tramo LLUTA-2.....	113
Figura VIII-31. Curvas de concentración final de DBO para distintas concentraciones y caudales de descarga, tramo LLUTA-3.....	114
Figura VIII-32. Curva de carga máxima diaria de DBO admitida para el tramo LLUTA-3.....	114
Figura VIII-33. Curvas de concentración final de DBO para distintas concentraciones y caudales de descarga, tramo QORIEN1-1.....	115
Figura VIII-34. Curva de carga máxima diaria de DBO admitida para el tramo QORIEN1-1.....	116
Figura VIII-35. Curvas de concentración final de DBO para distintas concentraciones y caudales de descarga, tramo QORIEN2-1.....	116
Figura VIII-36. Curva de carga máxima diaria de DBO admitida para el tramo QORIEN2-1.....	117
Figura VIII-37. Curvas de concentración final de DBO para distintas concentraciones y caudales de descarga, tramo QORIEN3-1.....	117
Figura VIII-38. Curva de carga máxima diaria de DBO admitida para el tramo QORIEN3-1.....	118
Figura VIII-39. Curvas de concentración final de DBO para distintas concentraciones y caudales de descarga, tramo QORIEN4-1.....	118

Figura VIII-40. Curva de carga máxima diaria de DBO admitida para el tramo QORIEN4-1.	119
Figura VIII-41. Curvas de concentración final de DBO para distintas concentraciones y caudales de descarga, tramo ALLANE-1.	119
Figura VIII-42. Curva de carga máxima diaria de DBO admitida para el tramo ALLANE-1.	120
Figura VIII-43. Curvas de concentración final de DBO para distintas concentraciones y caudales de descarga, tramo HUAYLA-1.	120
Figura VIII-44. Curva de carga máxima diaria de DBO admitida para el tramo HUAYLA-1.	121
Figura VIII-45. Curvas de concentración final de DBO para distintas concentraciones y caudales de descarga, tramo AROMA-1.	121
Figura VIII-46. Curva de carga máxima diaria de DBO admitida para el tramo AROMA-1.	122
Figura VIII-47. Arsénico en la fase acuosa en función del arsénico total agregado, tramo AZU-1.	125
Figura VIII-48. Arsénico en la fase acuosa en función del arsénico total agregado, tramo COLP-1.	125
Figura VIII-49. Arsénico en la fase acuosa en función del arsénico total agregado, tramo QORIEN1-1.	126
Figura VIII-50. Arsénico en la fase acuosa en función del arsénico total agregado, tramo QORIEN3-1.	126
Figura VIII-51. Arsénico en la fase acuosa en función del arsénico total agregado, tramo QORIEN4-1.	127
Figura VIII-52. Arsénico en la fase acuosa en función del arsénico total agregado, tramo AROMA-1.	127
Figura VIII-53. Curvas de concentración final de arsénico para distintas concentraciones y caudales de descarga, tramo AZU-1.	128
Figura VIII-54. Curva de carga máxima diaria de arsénico admitida para el tramo AZU-1.	129
Figura VIII-55. Curvas de concentración final de arsénico para distintas concentraciones y caudales de descarga, tramo COLP-1.	129
Figura VIII-56. Curva de carga máxima diaria de arsénico admitida para el tramo COLP-1.	130
Figura VIII-57. Curvas de concentración final de arsénico para distintas concentraciones y caudales de descarga, tramo QORIEN1-1.	130
Figura VIII-58. Curva de carga máxima diaria de arsénico admitida para el tramo QORIEN1-1.	131
Figura VIII-59. Curvas de concentración final de arsénico para distintas concentraciones y caudales de descarga, tramo QORIEN3-1.	131
Figura VIII-60. Curva de carga máxima diaria de arsénico admitida para el tramo QORIEN3-1.	132
Figura VIII-61. Curvas de concentración final de arsénico para distintas concentraciones y caudales de descarga, tramo QORIEN4-1.	132
Figura VIII-62. Curva de carga máxima diaria de arsénico admitida para el tramo QORIEN4-1.	133
Figura VIII-63. Curvas de concentración final de arsénico para distintas concentraciones y caudales de descarga, tramo AROMA-1.	133

Figura VIII-64. Curva de carga máxima diaria de arsénico admitida para el tramo AROMA-1.....	134
Figura VIII-65. Variación del arsénico en la fase sólida y en la fase acuosa en función del arsénico total agregado, tramo CARAC-2.....	136
Figura VIII-66. Variación del arsénico en la fase sólida y en la fase acuosa en función del arsénico total agregado, tramo LLUTA-1.	137
Figura VIII-67. Variación del arsénico en la fase sólida y en la fase acuosa en función del arsénico total agregado, tramo LLUTA-2.	137
Figura VIII-68. Variación del arsénico en la fase sólida y en la fase acuosa en función del arsénico total agregado, tramo LLUTA-3.	138
Figura VIII-69. Variación del arsénico en la fase sólida y en la fase acuosa en función del arsénico total agregado, tramo HUAYLA-1.....	139
Figura VIII-70. Curvas de concentración final de fierro para distintas concentraciones y caudales de descarga, tramo AZU-1.....	141
Figura VIII-71. Curva de carga máxima diaria de fierro propuesta para el tramo AZU-1.	142
Figura VIII-72. Curvas de concentración final de fierro para distintas concentraciones y caudales de descarga, tramo CARAC-1.	142
Figura VIII-73. Curva de carga máxima diaria de fierro propuesta para el tramo CARAC-1.	143
Figura VIII-74. Curvas de concentración final de fierro para distintas concentraciones y caudales de descarga, tramo CARAC-2.	143
Figura VIII-75. Curva de carga máxima diaria de fierro propuesta para el tramo CARAC-2.	144
Figura VIII-76. Curvas de concentración final de fierro para distintas concentraciones y caudales de descarga, tramo COLP-1.....	144
Figura VIII-77. Curva de carga máxima diaria de fierro propuesta para el tramo COLP-1.	145
Figura VIII-78. Curvas de concentración final de fierro para distintas concentraciones y caudales de descarga, tramo LLUTA-1.	145
Figura VIII-79. Curva de carga máxima diaria de fierro admitida para el tramo LLUTA-1.	146
Figura VIII-80. Curvas de concentración final de fierro para distintas concentraciones y caudales de descarga, tramo LLUTA-2.....	146
Figura VIII-81. Curva de carga máxima diaria de fierro admitida para el tramo LLUTA-2.	147
Figura VIII-82. Curvas de concentración final de fierro para distintas concentraciones y caudales de descarga, tramo LLUTA-3.....	147
Figura VIII-83. Curva de carga máxima diaria de fierro admitida para el tramo LLUTA-3.	148
Figura VIII-84. Curvas de concentración final de boro para distintas concentraciones y caudales de descarga, tramo AZU-1.....	150
Figura VIII-85. Curva de carga máxima diaria de boro admitida para el tramo AZU-1... 151	
Figura VIII-86. Curvas de concentración final de boro para distintas concentraciones y caudales de descarga, tramo CARAC-1.	151
Figura VIII-87. Curva de carga máxima diaria de boro admitida para el tramo CARAC-1.	152
Figura VIII-88. Curvas de concentración final de boro para distintas concentraciones y caudales de descarga, tramo CARAC-2.	152

Figura VIII-89. Curva de carga máxima diaria de boro admitida para el tramo CARAC-2.	153
Figura VIII-90. Curvas de concentración final de boro para distintas concentraciones y caudales de descarga, tramo COLP-1.	153
Figura VIII-91. Curva de carga máxima diaria de boro admitida para el tramo COLP-1.	154
Figura VIII-92. Curvas de concentración final de boro para distintas concentraciones y caudales de descarga, tramo LLUTA-1.	154
Figura VIII-93. Curva de carga máxima diaria de boro admitida para el tramo LLUTA-1.	155
Figura VIII-94. Curvas de concentración final de boro para distintas concentraciones y caudales de descarga, tramo LLUTA-2.	155
Figura VIII-95. Curva de carga máxima diaria de boro admitida para el tramo LLUTA-2.	156
Figura VIII-96. Curvas de concentración final de boro para distintas concentraciones y caudales de descarga, tramo LLUTA-3.	156
Figura VIII-97. Curva de carga máxima diaria de boro admitida para el tramo LLUTA-3 y LLUTA-4.	157
Figura VIII-98. Curvas de concentración final de boro para distintas concentraciones y caudales de descarga, tramo QORIEN-1.	158
Figura VIII-99. Curva de carga máxima diaria de boro admitida para el tramo QORIEN-1.	158
Figura VIII-100. Curvas de concentración final de boro para distintas concentraciones y caudales de descarga, tramo QORIEN4-1.	159
Figura VIII-101. Curva de carga máxima diaria de boro admitida para el tramo QORIEN4-1.	159
Figura VIII-102. Curvas de concentración final de boro para distintas concentraciones y caudales de descarga, tramo HUAYLA-1.	160
Figura VIII-103. Curva de carga máxima diaria de boro admitida para el tramo HUAYLA-1.	160
Figura VIII-104. Curvas de concentración final de boro para distintas concentraciones y caudales de descarga, tramo AROMA-1.	161
Figura VIII-105. Curva de carga máxima diaria de boro admitida para el tramo AROMA-1.	161
Figura VIII-106. Curvas de conductividad resultante en función de la conductividad y caudal de la descarga, tramo AZU-1.	166
Figura VIII-107. Curvas de conductividad resultante en función de la conductividad y caudal de la descarga, tramo CARAC-1.	166
Figura VIII-108. Curvas de conductividad resultante en función de la conductividad y caudal de la descarga, tramo CARAC-2.	167
Figura VIII-109. Curvas de conductividad resultante en función de la conductividad y caudal de la descarga, tramo COLP-1.	167
Figura VIII-110. Curvas de conductividad resultante en función de la conductividad y caudal de la descarga, tramo LLUTA-1.	168
Figura VIII-111. Curvas de conductividad resultante en función de la conductividad y caudal de la descarga, tramo LLUTA-2.	168
Figura VIII-112. Curvas de conductividad resultante en función de la conductividad y caudal de la descarga, tramo LLUTA-3.	169
Figura VIII-113. Curvas de conductividad resultante en función de la conductividad y caudal de la descarga, tramo QORIEN1-1.	170

Figura VIII-114. Curvas de conductividad resultante en función de la conductividad y caudal de la descarga, tramo QORIEN1-1.	170
Figura VIII-115. Curvas de conductividad resultante en función de la conductividad y caudal de la descarga, tramo QORIEN1-1.	171
Figura VIII-116. Curvas de conductividad resultante en función de la conductividad y caudal de la descarga, tramo QORIEN-1.	171
Figura VIII-117. Curvas de conductividad resultante en función de la conductividad y caudal de la descarga, tramo ALLANE-1.	172
Figura VIII-118. Curvas de conductividad resultante en función de la conductividad y caudal de la descarga, tramo HUAYLA-1.....	172

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla VI-1. Segmentación de los cursos de agua de la cuenca del río Lluta.	68
Tabla VI-2. Estaciones o puntos de muestreo representativos de cada tramo de la cuenca del río Lluta.	69
Tabla VI-3. Características de los sistemas APR de la cuenca del Lluta.	71
Tabla VI-4. Principales usos de los tramos propuestos de la cuenca del río Lluta.	72
Tabla VII-1. Valores de parámetros relevantes recomendados según uso del agua.....	73
Tabla VII-2. Valores de parámetros relevantes recomendados para Agricultura, agrupados según tramos.	76
Tabla VII-3. Valores de parámetros relevantes recomendados para Potabilización agrupados según tramos.	77
Tabla VII-4. Valores de parámetros relevantes recomendados para Potabilización agrupados según tramos (continuación).	78
Tabla VII-5. Valores de parámetros relevantes recomendados para Mantenimiento del ecosistema natural, agrupados según tramos.	79
Tabla VII-6. Valores de compuestos orgánicos, plaguicidas y productos secundarios de desinfección, relevantes para Potabilización.	80
Tabla VIII-1. Valores máximos de parámetros de interés calculados considerando capacidad de dilución.	90
Tabla VIII-2. Valores máximos de parámetros de interés corregidos considerando la exigencia del DS 90.	91
Tabla VIII-3. Requerimiento ácido base para llegar a pH mínimo y máximo sugerido, principales ríos cuenca Lluta, si se comienza del pH medio medido para cada tramo.	96
Tabla VIII-4. Requerimientos ácido base para llegar a pH mínimo y máximo sugerido, otros afluentes cuenca Lluta.	100
Tabla VIII-5. Alcalinidad estimada para cada tramo de la cuenca.	101
Tabla VIII-6. Requerimiento y pH resultante en función de la alcalinidad, tramo LLUTA-1, pH mínimo sugerido 3,6.	102
Tabla VIII-7. Requerimiento y pH resultante en función de la alcalinidad, tramo LLUTA-2, pH mínimo sugerido 4.	103
Tabla VIII-8. Requerimiento y pH resultante en función de la alcalinidad, tramo LLUTA-3, pH mínimo sugerido 5,5.	103
Tabla VIII-9. Requerimiento y pH resultante en función de la alcalinidad, tramo HUAYLA-1, pH mínimo sugerido 6,5.	104
Tabla VIII-10. Valores sugeridos como máximos de DBO ₅ , considerando una descarga proporcional al caudal de cada tramo. Considera normativa de Decreto Supremo N° 90.	123
Tabla VIII-11. Valores sugeridos como máximos de arsénico, considerando una descarga proporcional.	134
Tabla VIII-12. Valores sugeridos como máximos de arsénico, para descargas proporcionales al caudal de cada tramo. Incluye correcciones de acuerdo a Decreto Supremo N° 90.	135
Tabla VIII-13. Variación porcentual del arsénico disuelto a medida que aumenta la concentración total, tramos con hidróxidos de hierro.	139
Tabla VIII-14. Valores sugeridos como máximos de fierro, considerando una descarga proporcional.	149

Tabla VIII-15. Valores sugeridos como máximos de fierro, para descargas proporcionales al caudal de cada tramo. Incluye correcciones de acuerdo a Decreto Supremo N° 90.....	149
Tabla VIII-16. Valores sugeridos como máximos de boro, considerando una descarga proporcional al caudal de cada tramo. Considera normativa del Decreto Supremo N° 90.	162
Tabla VIII-17. Valores sugeridos como máximos de boro, considerando una descarga proporcional al caudal de cada tramo. Incluye correcciones de acuerdo a Decreto Supremo N° 90.	163
Tabla VIII-18. Precipitación de fases según estación.....	164
Tabla VIII-19. Conductividades máximas para la descarga en función de su caudal, como criterio de no excedencia del máximo sugerido por tramo.....	173
Tabla VIII-20. Conductividades máximas sugerida para la descarga en función de su caudal, como criterio de no excedencia de la calidad actual por tramo.	174

Agradecimientos

Agradecemos a todos quienes colaboraron en la ejecución de este proyecto, en particular en el trabajo en terreno: la Junta de Vigilancia del río Lluta, el Presidente del Comité de APR Putre Señor Tomás Lara, el Presidente del Comité de APR Lluta Señor Juan Leyton, el SEREMI de Salud de la Región de Arica y Parinacota Dr. Sergio Sánchez y la DGA de la Región de Arica y Parinacota. Agradecemos también a profesionales ligados al área que participaron en campañas a terreno: Ingeniero Diego San Miguel (DGA), Dr. Aaron Packman (Northwestern University, EEUU).

También a otros profesionales ligados al servicio público: Pilar Mazuela SEREMI de Obras Públicas, Leonel Claros de la DOH de la Región de Arica y Parinacota, Pedro Carril de la DGA de la Región de Tarapacá, César González de la CNR, Valeska González y Héctor Subiabre del INIA Arica, Elías Muñoz del SEREMI de Agricultura Región de Arica y Parinacota y Víctor Valdivia del SAG Arica.

Presentación

El Ministerio de Obras Públicas, a través de la Dirección General de Aguas (DGA), ha tomado el compromiso ambiental de desarrollar normas secundarias de calidad de aguas, para lo cual ha generado y requiere seguir generando información de línea base que permita tomar decisiones respecto de la calidad objetivo, especialmente en cuencas con problemas ambientales ya sea por escasez o calidad, como es el caso de la cuenca del río Lluta.

La DGA ha desarrollado una serie de estudios de base para la realización del Análisis General de Impacto Económico y Social (AGIES) de los anteproyectos de las normas secundarias de calidad de aguas superficiales, con el fin de apoyar el proceso de dictación de normas ambientales, coordinado por la Comisión Nacional del Medio Ambiente (CONAMA).

La norma secundaria de calidad de aguas de la cuenca del río San José fue incluida en el décimo programa priorizado de normas ambientales (2005-2006). Sin embargo, CONAMA de la región de Arica y Parinacota ha manifestado que no es posible desarrollar un proyecto normativo debido a la falta de información de línea base en esa cuenca, por lo que se ha propuesto reemplazar dicha normativa por su equivalente en la cuenca del Río Lluta, la que ya cuenta con antecedentes de línea base.

Es primordial avanzar en la propuesta de instrumentos de gestión y alternativas de solución a los problemas detectados en la región: Carencia de recursos hídricos en la cuenca del río San José, mala calidad del agua del río Lluta, los efectos negativos de las crecidas estivales en Arica; y la presencia de actividades productivas importantes en ambos ríos que se ven afectadas por la escasez hídrica. Así, es fundamental para el desarrollo regional analizar los desafíos y oportunidades en cuanto a los recursos hídricos, con el propósito de asegurar a mediano y largo plazo un desarrollo socioeconómico sustentable para la naciente Región de Arica y Parinacota.

La DGA apoya el proceso de dictación de normas secundarias de calidad ambiental de aguas para diversas cuencas del país, y en particular la norma secundaria de la cuenca del río Lluta. Este proceso necesita de información de línea de base tanto para proponer los valores de la norma secundaria como para el Análisis General de Impacto Económico y Social (AGIES) del anteproyecto. El desarrollo de este proyecto contribuye a complementar la línea base de calidad de la cuenca y a la propuesta de valores para la norma secundaria, considerando las características intrínsecas de la cuenca.

Resumen

El río Lluta y sus principales tributarios presentan una deficiente calidad de sus aguas. Específicamente, el Río Azufre y el río Colpitas son responsables del aporte mayoritario de boro, arsénico y sales que posee el río Lluta. Esta situación de la cuenca tiene causas asociadas a condiciones geológicas, y por tanto naturales. La influencia antrópica es prácticamente nula pues no existen descargas asociadas a actividades industriales, por lo que puede considerarse que la calidad actual de la cuenca corresponde a la natural.

El trabajo realizado en terreno, su posterior procesamiento y análisis permitió complementar la línea base de calidad del agua de la cuenca. Se identificaron las fuentes de contaminación y los factores que influyen en la calidad del agua, en el contexto de la biogeoquímica de la cuenca.

Se segmentaron los cursos superficiales de la cuenca en tramos, asignándose distintos usos del agua y sus respectivas calidades asociadas, según la información disponible.

El análisis espacial detallado de los cursos de agua de la cuenca permitió detectar quebradas menores de buena calidad en la ribera oriente del río Caracarani. Estos cuerpos de agua representan un recurso del orden de 250 L/s de agua de buena calidad que deben ser protegidos. Además fue posible localizar en otras zonas, quebradas de calidad superior a la del río Lluta. Según la definición de tramos y usos, para estos cuerpos y el tramo del río Caracarani antes de la junta con el río Azufre se ha sugerido uso de potabilización y protección de vida acuática. Para los tramos del río Lluta, el uso correspondiente corresponde a agricultura, mientras que para los ríos Azufre, Colpitas y Caracarani después de Azufre se recomienda mantener su calidad natural.

En base a recomendaciones de estándares internacionales como los propuestos por la Organización Mundial de la Salud, se recomendaron valores máximos de parámetros relevantes de calidad del agua. Estos se compararon con datos representativos de la calidad natural de la cuenca y al considerar información relevante como su influencia en la calidad del agua, se propusieron estándares de calidad por tramo para dichos parámetros.

Para definir los parámetros críticos de la cuenca, se consideró el impacto, cantidad y distribución que tienen en ella y se definieron a partir de los parámetros relevantes de calidad del agua. Los parámetros seleccionados fueron: pH, alcalinidad, DBO y DQO, boro, arsénico, fierro y conductividad.

Se usaron herramientas de modelación geoquímica para simular descargas de riles en los distintos tramos de la cuenca, con el fin de estudiar distintos escenarios de cargas contaminantes y analizar las condiciones bajo las cuales se exceden los valores sugeridos de los parámetros críticos. Esto entrega una primera aproximación a la carga de contaminante que es posible agregar en cada tramo considerado. Las modelaciones geoquímicas consideran la factibilidad termodinámica dadas las condiciones actuales de la cuenca, las cuales podrían verse afectadas tanto natural como antropogénicamente.

Debido a la amplitud del rango de valores que se han reportado para algunos de los parámetros críticos en algunos de los tramos de la cuenca, podría pensarse que es posible agregar altas cargas hasta llegar al máximo histórico. Este análisis considera sólo la carga en el tramo de la descarga, por lo que debe considerarse el efecto hacia aguas abajo de la cuenca. Además, la condición inicial puede cambiar. Por ejemplo, un alza natural del parámetro analizado y/o de otros parámetros que provoquen un cambio en la calidad del agua determinará que la carga contaminante que pueda aplicarse será menor.

Los cursos de agua con uso para potabilización y protección de vida acuática se deben proteger especialmente, ya que su buena calidad los hace más sensibles a cambios. Para esto se recomienda monitorear -tanto en estos tramos como en los de regular y mala calidad- los parámetros relevantes de calidad del agua, en especial los parámetros críticos con el fin de observar posibles variaciones y supervisar el cumplimiento de los valores sugeridos como máximos y mínimos. Adicionalmente, es necesario continuar complementando la información de línea de base.

Los valores recomendados como máximos para los parámetros relevantes y críticos debiesen considerar la variabilidad característica de procesos biogeoquímicos complejos que ocurren naturalmente en la cuenca del río Lluta. Se recomienda considerar mediciones mensuales consecutivas de manera de actualizar y homogeneizar el registro histórico, a partir del cual se obtiene el máximo sugerido. De esta manera, el valor de la norma no sería estático sino dinámico, reflejando las condiciones naturales del sistema.

I. Introducción

La Dirección General de Aguas del Ministerio de Obras Públicas -en adelante, DGA- encargó a la Pontificia Universidad Católica de Chile -a través de la Dirección de Investigaciones Científicas y Tecnológicas DICTUC- la ejecución del estudio “Propuesta de Calidad Objetivo y Análisis General de Impacto Económico y Social- Cuenca Río Lluta. Bases Conceptuales y Cuantitativas” (Código BIP 30067481-0).

Este documento presenta el informe final del proyecto, y describe los siguientes puntos:

- Calidad actual de la cuenca del río Lluta
- Definición de tramos y usos
- Propuesta de calidad objetivo
- Parámetros críticos y evaluación de escenarios de cargas contaminantes

Debido a las características de la cuenca, los valores máximos que se consideren para la Norma Secundaria deben reflejar la condición actual y natural del tramo relacionado.

La agricultura, principal actividad económica de la zona, depende del río Lluta y sus afluentes, y por lo tanto de su calidad. Antes de permitir descargas de riles en cualquier tramo, se deben considerar los efectos en la calidad final del curso receptor. Este proyecto pretende orientar no sólo en cuanto a la propuesta de calidad objetivo, sino también en profundizar en los fenómenos y procesos que controlan y determinan la calidad del agua en la cuenca, de manera de poder interpretar posibles cambios o variaciones en los valores reportados de los parámetros relevantes.

Adicionalmente, el presente estudio será una herramienta para la gestión de la calidad del agua del río Lluta puesto que se podrá disponer de herramientas cuantitativas para evaluar distintos escenarios de calidad del agua, aspectos fundamentales para apoyar la toma de decisiones en un contexto de gestión integrada de cuencas.

II. Objetivos

Objetivos generales:

El objetivo general del estudio es desarrollar las bases conceptuales y cuantitativas de calidad del agua para el Análisis General de Impacto Económico y Social de la cuenca del río Lluta.

Objetivos específicos:

- Complementar de la línea base de calidad de aguas superficiales de la cuenca.
- Identificar y caracterizar factores que determinan la calidad del agua.
- Identificar parámetros críticos a incluir en la norma secundaria y revisión de objetivos de calidad.
- Recolectar y sistematizar antecedentes bases de calidad del agua para realizar el AGIES.

III. Metodología y actividades

El proyecto se ha desarrollado siguiendo lo indicado en los términos de referencia del estudio, y lo acordado con los profesionales del Departamento de Conservación y Protección de Recursos Hídricos. Dada la naturaleza del trabajo, se ha mantenido como criterio fundamental la compatibilización de los objetivos del estudio, la adaptación a las condiciones encontradas en terreno, la flexibilidad frente al hallazgo de aspectos de interés técnico, los plazos y presupuesto disponible, y la seguridad del personal involucrado.

La estrategia de trabajo ha contemplado los siguientes principios:

- Maximizar el aprovechamiento de la información existente sobre calidad del agua. Se ha buscado y solicitado distintas fuentes de información tanto nacional como internacional, ya sea asociadas a información específica del río Lluta como a la experiencia internacional en cuanto a la determinación de objetivos de calidad en aguas superficiales.
- Se hizo partícipe a los principales involucrados en el desarrollo del proyecto. Durante las campañas a terreno se solicitó el apoyo a los lugareños para acceder a distintos lugares de muestreo y obtener información relevante. Se realizó una presentación a la comunidad de los objetivos, metodología y resultados disponibles a la fecha durante el desarrollo del proyecto como se detalla más adelante.
- Participación activa del staff superior en la realización del trabajo en terreno. El Jefe de Proyecto y el Jefe de Proyecto Alterno integraron el equipo de muestreo durante todas las campañas a terreno. Esto ha permitido aumentar sustancialmente la fuerza de trabajo, la efectividad en terreno, acelerar la toma de decisiones frente a condiciones encontradas y obtener un conocimiento más acabado de los factores hidrológicos, biogeoquímicos y humanos que caracterizan la cuenca del río Lluta.
- Uso de metodologías probadas y adecuadas a las condiciones de terreno. Junto con trabajar con las metodologías requeridas en las bases técnicas y equipos de medición avanzados, el mismo personal profesional que analiza la información ha participado activamente en el muestreo en terreno.

La Figura III-1 muestra la integración de estos principios.

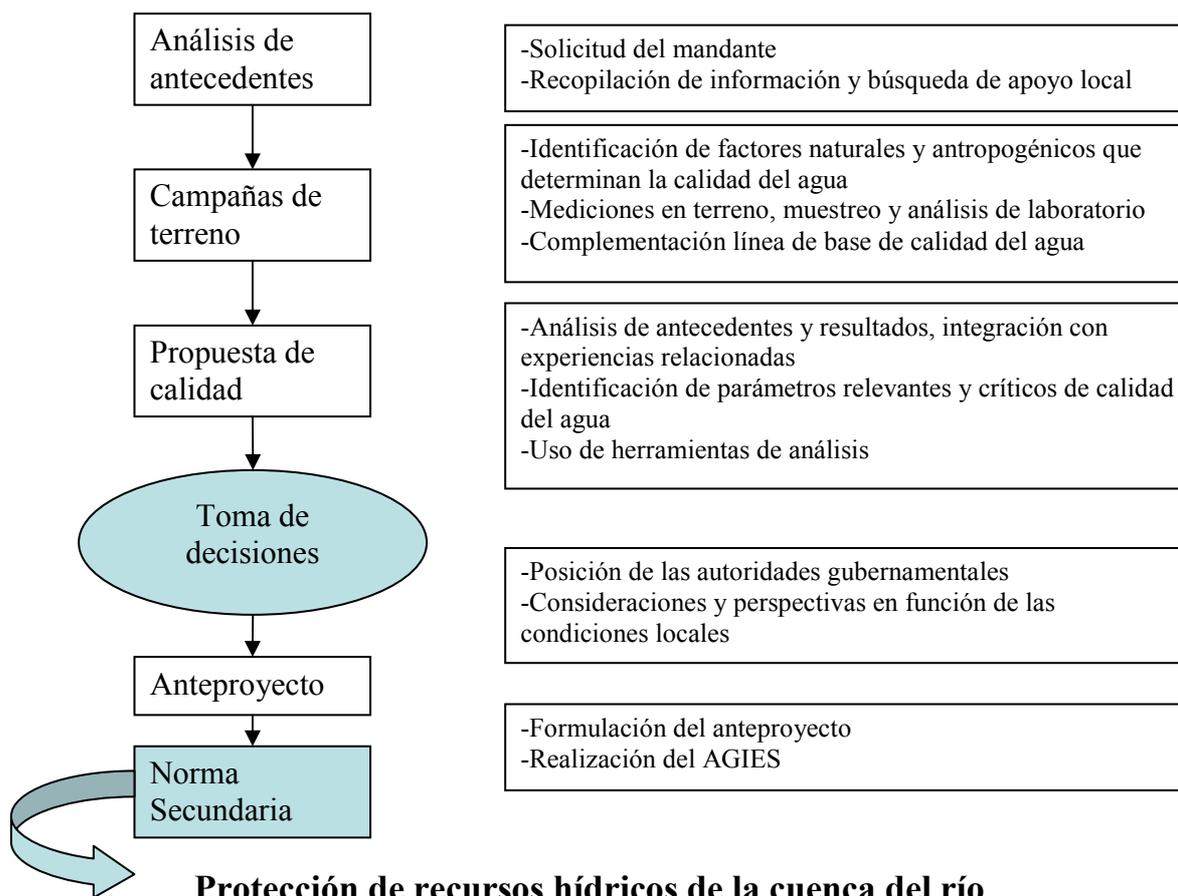


Figura III-1. Esquema general del estudio y su resultado final. Este proyecto contribuye a complementar la línea de base de calidad del agua de la cuenca y a la propuesta de valores para la Norma Secundaria, lo que finalmente se reflejará a favor de mantener la condición natural de los cursos superficiales de la cuenca.

La caracterización hidroquímica de los distintos cursos superficiales de la cuenca tuvo un papel preponderante en el desarrollo de este proyecto. La Figura III-2 muestra el esquema de decisión para la toma de muestras, de manera de optimizar dicho proceso y por lo tanto la información obtenida a partir de éste.

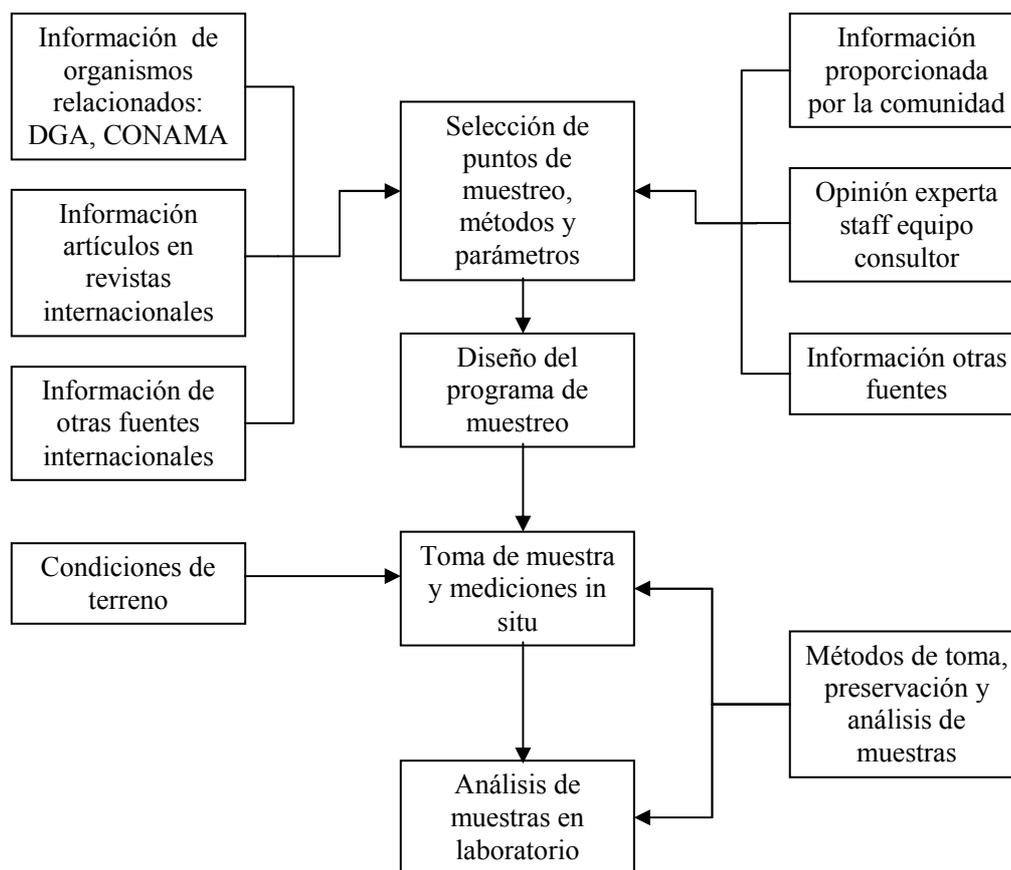


Figura III-2. Esquema de toma de decisiones para el muestreo.

La metodología empleada en este estudio para proponer los objetivos de calidad del agua en la cuenca del río Lluta se resume en la Figura III-3.

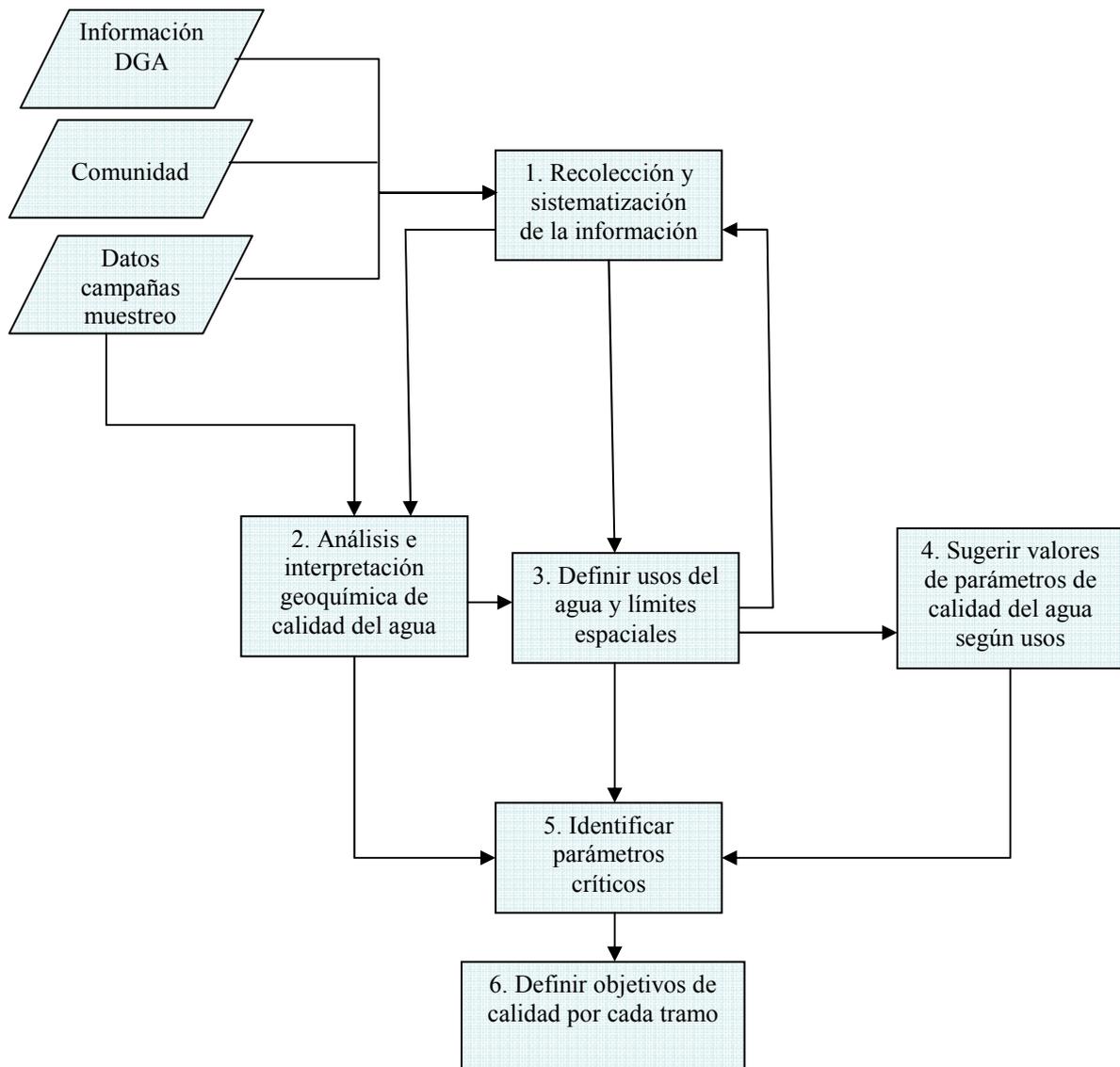


Figura III-3. Metodología para la propuesta de objetivos de calidad.

La estrategia general consistió en dividir el trabajo en los siguientes pasos:

1. **Recolección y sistematización de la información**, utilizando la información de calidad del agua de la DGA, entrevistas con la comunidad de manera de conocer preocupaciones específicas, información recolectada en visitas a terreno, etc.
2. El **análisis y la interpretación geoquímica de la calidad del agua** se realizó mediante la integración de la información disponible con modelos geoquímicos que permiten explicar el comportamiento de diferentes especies en el agua.
3. Mediante la información de terreno y los datos de calidad del agua se pudieron **definir los usos del agua en diferentes secciones del río**. Dependiendo de las condiciones, los usos posibles son: consumo humano (con procesos de potabilización), protección de la vida acuática, recreación y agricultura.

Es importante destacar la relación entre los puntos 1, 2, 3 y 5. El análisis de la geoquímica del agua (punto 2) permite visualizar aquellos parámetros que tienen mayor influencia en la calidad del agua y que podrían considerarse como parámetros críticos (punto 5). Asimismo, si se requiere más información y análisis que permita una caracterización más acabada de la cuenca, es posible volver al punto 1 y por lo tanto al punto 2. Esto podría influir en la definición de los usos del agua según la calidad (punto 3), generándose de esta forma un ciclo o *loop* entre los puntos 1, 2 y 3.

4. Conocidos los usos del agua, se procedió a **sugerir parámetros de calidad del agua** y valores que son relevantes para esos usos. La intención de esta etapa fue determinar cuáles son los valores de calidad del agua que permiten que se mantenga el uso que se ha asignado. En general, los parámetros de relevancia se pueden dividir entre los que tienen efectos tóxicos directos en organismos y animales y los que afectan indirectamente el ecosistema, causando problemas para algunos usos específicos. Se puede incluir aquí también parámetros físicos o químicos que pueden cambiar indirectamente la toxicidad de otro contaminante. La determinación de los valores para estos parámetros requiere de un análisis toxicológico y de análisis de riesgo que está fuera del alcance de este estudio. Muchos de estos estudios han sido realizados en otros países y los valores recomendados provienen de estudios de la US-EPA (United States Environmental Protection Agency, 2006), OMS (Organización Mundial de la Salud, 2006) y del Natural Resource Management Ministerial Council de Australia (Australian Government. Natural Resource Management Ministerial Council, 2000).

Este punto, como lo muestra la Figura II-1, está más bien fuera del ciclo que conforman los puntos 1, 2, y 3; debido a que las recomendaciones internacionales consideran el uso del agua independientemente de la calidad natural de ésta. Es por esto que es necesario integrar la situación actual de la cuenca con los parámetros relevantes propuestos para definir la calidad objetivo por tramo.

5. Utilizando el análisis geoquímico y los usos del agua en diferentes secciones se pudo **identificar los parámetros críticos**. Los parámetros críticos se seleccionaron principalmente por 2 motivos: (i) tienen relevancia en los procesos físicos, químicos o biológicos que intervienen en la especiación de compuestos en el agua, y (ii) el valor de la concentración que poseen en el cuerpo de agua se encuentra entre el 80% o superior al valor de referencia de calidad del agua. Estos parámetros tienen riesgo de ser superados, por lo que es conveniente analizarlos con más detención.
6. Con la información de la calidad del agua de la cuenca y la influencia de los parámetros críticos se definieron los **objetivos de calidad para los diferentes tramos**. Esta definición puede hacer variar los valores sugeridos en el punto 4 dependiendo de condiciones locales. Estos objetivos serán específicos para un sector. Puede considerarse adicionalmente los usos que se haga del recurso aguas abajo de manera de protegerlo.

Los puntos 1 y 2 de la metodología fueron presentados en el informe 2. Los puntos 3, 4, 5 y 6 se mostraron en el informe 3. Este informe resume e integra los principales aspectos presentados en los informes parciales.

En el contexto de las actividades realizadas en la zona, el día lunes 7 de abril del 2008 se realizó en la Dirección Regional de Aguas de la Región de Arica y Parinacota una reunión donde se dio a conocer este proyecto a los distintos servicios públicos relacionados: CONAMA, INIA, INDAP, SAG, SEREMI Agricultura; presentándose los resultados de las primeras campañas de monitoreo del río Lluta y tributarios.

Durante la reunión se discutieron aspectos relevantes de la zona entre los que se destacan:

- Posible contaminación difusa en el río Lluta por utilización de fertilizantes en agricultura.
- Denuncias de incumplimientos de RCA.
- El SAG mencionó la posibilidad de seguir monitoreando algunos puntos, después que se haya acabado el estudio.
- Durante los próximos meses llegará a la región el SERNAGEOMIN por lo que se contará con información más expedita referente a proyectos mineros en la zona.

En esta reunión participó el Jefe de Proyecto y el Jefe de Proyecto Alternativo, además asistió un profesional de la DGA central como representante de la Inspectoría Fiscal.

Con respecto al uso de fertilizantes y plaguicidas en la cuenca, si bien no existe un registro de fertilizantes en Chile, estos insumos pueden ingresar al país siempre que cumplan con las regulaciones vigentes. Sin embargo, el SAG puede prohibir el ingreso, fabricación, distribución o venta de fertilizantes que contengan elementos perjudiciales para la agricultura.

Se investigó en distintas fuentes la existencia de información relacionada con el uso de estos productos: tipo, dosis y zonas de uso. El INIA Arica informó al equipo consultor acerca de un informe que estaban elaborando con respecto a este tema, que estaría disponible para consultar en julio 2008. Sin embargo, el informe fue entregado sin la información de interés que a la fecha está en proceso de redacción. Los antecedentes preliminares obtenidos del INIA indican que el uso de los fertilizantes en el Valle de Lluta podría diferir de las instrucciones indicadas, lo cual podría traducirse en un uso indiscriminado de estos productos causando una alta e innecesaria presencia de nutrientes en los suelos de la zona. Se sugiere a la DGA considerar esta información cuando esté disponible, que será relevante en el contexto de este proyecto.

Adicionalmente, se realizó un seminario dictado en la Universidad de Tarapacá (UTA), el cual estuvo enfocado en la problemática de la cuenca. El seminario contó con la participación del Dr. Aaron Packman, de Northwestern University (EEUU), experto internacional que visitó la cuenca durante la semana junto al equipo consultor y un profesional de la DGA.

El seminario se denominó: “Transporte, reacción y destino de contaminantes en sistemas acuáticos fluviales”. La presentación estuvo a cargo de la Dra. Lorena Cornejo, Universidad de Tarapacá. Se llevó a cabo el viernes 11 de abril del 2008, en la Universidad de Tarapacá, Campus General Velásquez, Arica.

Los expositores y temas respectivos se detallan a continuación:

- Dr. Gonzalo Pizarro: “Modelación de sistemas naturales complejos”.
- Dr. Pablo Pastén: “Reacción y especiación de contaminantes en aguas y sedimentos”.
- Dr. Aaron Packman: “Procesos de transporte en sistemas acuáticos fluviales”.

Con respecto a la asistencia, se puede decir que hubo alrededor de 25 personas, incluyendo académicos, alumnos de postgrado y profesionales de servicios.

El principal alcance fue generar una discusión académica con respecto al transporte, reacción y destino de contaminantes en sistemas acuáticos fluviales, lo cual se logró mediante las siguientes actividades:

- Presentación y discusión sobre los principios que controlan fuentes y transformación de contaminantes en sistemas fluviales.
- Presentación de los principios de modelación conceptual y cuantitativa de este tipo de sistemas.
- Discusión sobre la complejidad asociada a este tipo de sistemas.

El viernes 7 de noviembre de 2008 se realizó en la Secretaría Regional Ministerial de la XV Región de Arica y Parinacota la 3° Sesión del Comité Operativo Reunión Mesa del Agua. El Jefe del Proyecto presentó los principales aspectos y resultados del proyecto a los 23 asistentes, encabezados por la SEREMI de Obras Públicas y el Director General de Aguas de la Región. Asistieron representantes de diversos organismos públicos como CONAMA, INDAP, MINVU, MINAGRI, DOH, Bienes Nacionales y también privados como Aguas del Altiplano. También se hizo presente la Junta de Vigilancia del río Lluta y un profesional de la DGA Central en representación de la Inspectora Fiscal.

Al final de la presentación se plantearon los siguientes aspectos:

- Se realizaron consultas varias con respecto a aspectos específicos del proyecto, por ejemplo mediciones de parámetros en ciertos lugares.
- Aportes de asistentes de la zona con respecto a la situación actual y futura de la calidad del agua del río Lluta y afluentes como el río Azufre. Se destacó la influencia que tiene este curso de agua en la cuenca y la necesidad de profundizar en la influencia de la presencia de la azufrera ubicada a los pies del Volcán Tacora en la calidad del agua del río Azufre. También se comentó la posibilidad de que proyectos mineros en la zona fronteriza con Perú sean una posible fuente de contaminación.
- Destacar el uso del agua de la cuenca como prioritario para la agricultura, enfatizando que la calidad del agua sólo permite el cultivo de ciertas especies resistentes al boro y a la salinidad como la alfalfa y el tomate.
- Junto con agradecer la realización del estudio a la DGA, se manifestó al equipo consultor la intención de seguir trabajando en conjunto con el fin de seguir avanzando en la gestión sustentable de los recursos hídricos de la cuenca del río Lluta.

IV. Descripción general de la cuenca

1. Geografía general

La cuenca del río Lluta tiene una extensión de 3.378 km² y está ubicada en la XV Región de Arica y Parinacota; entre los paralelos 18°- 18°30' latitud sur y meridianos 70°20'- 69°22' longitud. La red hídrica tiene su origen en la Cordillera de los Andes con una elevación entre los 4.000 y 5.000 msnm. La precipitación media anual oscila entre 350 mm para la zona alta, hasta cero en la zona baja del valle. Los principales afluentes del Lluta corresponden al Río Azufre, y las quebradas de Caracarani, Colpitas, Putre y Socoroma.

En la Figura IV-1 se muestra la ubicación geográfica de la cuenca.



Figura IV-1. Cuenca del río Lluta y puntos de muestreo. Fuente: Elaboración propia.

El río Lluta desemboca aproximadamente 10 kms al norte de la ciudad de Arica, donde existen diversas especies vegetales que conforman el Humedal del río Lluta.

a. Geología

El volcán Tacora, clasificado como volcán activo, con estructura de estratovolcán del tipo fumarólica y ubicado en 17° 43' S 69° 46' W, influye en la calidad del agua del Río Azufre. Éste nace al pie del volcán y se caracteriza por su bajo pH y contenido de azufre y metales, desembocando finalmente en el río Caracarani (Dirección General de Aguas, 2004).

La geología de la zona baja del Valle del Lluta se clasifica en rocas del basamento y rocas cuaternarias. Las rocas del basamento se consideran impermeables debido a que las fracturas y fisuras se encuentran bien desarrolladas en la capa superior y menos desarrolladas en la parte inferior.

Las siguientes formaciones influyen en la calidad del agua de la cuenca:

- Rocas volcánicas del mioceno inferior-medio; complejos volcánicos parcialmente erosionados y secuencias volcánicas: lavas, brechas, domos y rocas piroclásticas andesítico-basáltica a dacíticas. Se ubican principalmente en la parte superior del río Azufre.
- Rocas volcánicas, del cuaternario; estrato volcanes y complejos volcánicos; lavas basálticas a riolíticas, domos y depósitos piroclásticos andesíticos basálticos a dacíticos; principalmente calcoalcalinos en la parte alta de la cuenca.
- Rocas volcánicas del oligoceno-mioceno; secuencias piroclásticas dacíticas a riolíticas asociadas a calderas de colapso. Otras con secuencias y centros volcánicos intermedios a ácidos: lavas, brechas, domos y rocas piroclásticas.
- Rocas sedimentarias del jurásico-neocomiano; secuencias sedimentarias marinas carbonatadas y clásticas: calizas, lutitas, areniscas calcáreas, paraconglomerados, niveles de yeso, ubicadas en la parte baja de la cuenca del Lluta (Servicio Nacional de Geología y Minería, 2002).

b. Suelos

Para su descripción, se puede dividir la cuenca en cuatro secciones:

a) Sección superior de la cuenca (alta cordillera)

Zona de altiplano; suelos con desarrollo orgánico débil (esqueléticos), de material volcánico. Gran capacidad de retención de agua. Existen cuencas cerradas con drenaje restringido y suelos de alto contenido de materia orgánica conocidos como bofedales.

- Textura: gruesa (arenosa franca a muy arenosa)
- Permeabilidad: alta (suelos permeables)
- Escorrentía: lenta
- Riesgo de erosión: bajo

b) Sección media de la cuenca (precordillera)

Planos deposicionales o conos aluviales sobre los que se desarrollan suelos estratificados por lluvias torrenciales del invierno boliviano. El escurrimiento superficial se realiza de dos maneras: como erosión lineal en el curso superior y medio de las quebradas, y como erosión laminar en el curso inferior de dichas depresiones, dejando las laderas verticales.

- Textura: gruesa y masiva (arenosa franca a muy arenosa)

- Permeabilidad: alta
- Escorrentía: lenta
- Riesgo de erosión: bajo

c) Sección baja del valle de la cuenca

Suelos con alta salinidad, producto de su defectuoso drenaje. Asociado a alta evapotranspiración, lo que permite ascenso por capilaridad de las sales de la napa freática.

- Textura: moderadamente fina (franco arcillosa a franco arcillo arenosa)
- Permeabilidad: media
- Escorrentía: media
- Riesgo de erosión: moderado, dependiendo de precipitaciones

d) Sección costera (cordillera de la Costa y plataforma de abrasión)

Influencia coluvial, suelos poco desarrollados. Ocupan terraza marina baja.

- Textura: franca (franco arcilloso a franco arenosa) y gruesa (arenosa franca a muy arenosa).
- Permeabilidad: media - alta
- Escorrentía: media - lenta
- Riesgo de erosión: moderado – bajo (Dirección General de Aguas, 2004)

La superficie regada alcanza las 1.869 hectáreas en el Valle de Lluta (Dirección de Obras Hidráulicas, 2004). La demanda futura se estima en 2.892 hectáreas. Usando riego tecnificado, con un caudal de 750 L/s, podrían regarse 2.800 hectáreas.

2. Flora y Fauna

En la cuenca se presentan 4 formaciones, que pertenecen a 2 regiones vegetacionales del país: la Región de la Estepa Altoandina y la Región del Desierto.

1. Región de la Estepa Altoandina:

Se encuentra en la Cordillera de los Andes árida y semiárida, extendiéndose desde el extremo norte, en el límite con Perú y Bolivia, hasta las montañas andinas de la VII Región. Los factores determinantes son la altitud y el relieve. Como forma de vida de las plantas existe una gran homogeneidad, aunque puede resumirse la existencia de tres tipos biológicos fundamentales: plantas pulvinadas o en cojín, las gramíneas cespitosas, pastos duros o “coirones” y los arbustos bajos de follaje lucido (“tolas”).

Las formaciones de esta región son la estepa alto andina altiplánica y la estepa arbustiva pre-altiplánica.

2. Región del Desierto:

Se extiende desde el extremo de la XV Región, en la Línea de la Concordia, hasta el río Elqui, en la IV Región. Constituye la parte más austral del desierto de la costa del Pacífico de América del Sur. Aunque tiene como límite oeste la costa oceánica, es principalmente un desierto interior, con una altitud media aproximada de 1.500 msnm, abarcando los abruptos acantilados costeros, las serranías de la Cordillera de la Costa, las grandes depresiones interiores y las laderas occidentales de la Cordillera de los Andes.

Las formaciones de esta región son el desierto interior y el matorral desértico con suculentas columnáceas (Gajardo, 1994).

Dadas las características de la cuenca – alta presencia de contaminantes, en conjunto con la irregularidad en la disponibilidad del recurso hídrico-, debiera existir casi total ausencia de flora acuática en ella. Sin embargo, estudios ambientales de ESSAT (ESSAT 2000 y 2001) y estudios de manejo de cuencas, financiados por el Global Environmental Fund de Naciones Unidas (GEFNUD, 2001), han permitido recopilar información sobre la flora y fauna acuática existente (Dirección General de Aguas, 2004).

La flora acuática presente en la cuenca del río Lluta incluye: *Eleocharis sp.*, *Juncos sp.*, *Oxichloe andina*, *Distichia muscoides*, *Lilaeopsis lineada*, *Catabrosa verdermanni*, *Distichlis humilis*, *Carex sp.*, *Sarcocornia pulvinata*, *Scirpus atacamensis*, *Drabella sp.*, *Potamogeton strictum*, *Ranunculus sp.*

La desembocadura del río Lluta se caracteriza por presentar tupida vegetación entre la cual se puede mencionar grama salada, cola de caballo, chilca, chingollo y totora.

Con respecto a la fauna en el río Lluta, se ha encontrado la presencia del camarón de río del norte desde Poconchile hasta la desembocadura. En la desembocadura también se ha reportado la presencia de peces pejerreyes y lisas (Dirección General de Aguas, 2004), además es común la presencia de caracoles, insectos acuáticos y guppis.

3. Asentamientos humanos

La cuenca se ubica en la Región de Arica y Parinacota, cubriendo las provincias de Parinacota y Arica. La localidad de Putre es la comunidad más importante de la cuenca. Existen otras localidades menores como Poconchile, Socoroma, Zapahuirra, Molinos, etc. Las actividades más importantes de Putre son turísticas y servicios asociados como restaurantes. En las localidades del Lluta Bajo la agricultura es la principal actividad económica. La población de la comuna de Putre según el Censo 2002 es de 1.977 habitantes, de los cuales 1.235 corresponden a población urbana y 742 a población rural (Instituto Nacional de Estadísticas, 2002).

4. Usos del suelo

a. Agrícola

De las 337.800 hectáreas de la cuenca del río Lluta, sólo el 2% (7.606 ha) se utiliza como terreno agrícola y agricultura de riego. El mayor porcentaje (47%) corresponde a otros usos (matorrales, cuerpos de agua, humedales, áreas no reconocidas), seguidos por áreas sin vegetación (36%) y praderas (15%).

Del total de superficie agrícola, sólo el 37% corresponde a terreno cultivado debido a la falta de agua de riego. El tipo de cultivo con mayor superficie cultivada corresponde al maíz, seguido por la alfalfa (Dirección General de Aguas, 2004).

Durante las campañas a terreno, se observó que en la parte baja del Río Lluta -desde Molinos hasta la Panamericana aproximadamente- existen zonas de cultivos aledañas a la ribera del río, principalmente de maíz. Existen también áreas con cultivos nuevos, como el

tomate. Además, en la zona media y alta de la cuenca, específicamente en las quebradas de Socoroma y Putre respectivamente, también se observaron zonas de cultivo y pastoreo de animales. En Socoroma, gracias a la disponibilidad de agua de buena calidad y su posición protegida entre la quebrada, se cultivan distintos tipos de frutas y verduras como por ejemplo naranjas y orégano. En la zona de Ancolacane y Quecalane la actividad principal correspondía al pastoreo de animales que se alimentan en bofedales. En la Figura IV-2 se observa un bofedal construido por los habitantes de la zona usando agua de la quebrada transportada por canales.



Figura IV-2. Sector de riego y pastoreo de la Quebrada Quecalane. Enero 2008.

b. Urbano

La cuenca del río Lluta tiene poco desarrollo urbano. La comuna de Putre, capital provincial de Parinacota, es la única entidad urbana de la cuenca (Dirección General de Aguas, 2004). Cabe destacar que la comuna de Putre incluye al poblado del mismo nombre e incluye a las otras localidades menores de la provincia, por ejemplo Socoroma, Coronel Alcérreca, Zapahuira, etc. En la zona baja de la cuenca existen poblaciones menores, de las cuales la de mayor tamaño es Poconchile.

c. Áreas silvestres protegidas

Dentro de la cuenca del río Lluta la única área silvestre protegida corresponde a un sector del Parque Nacional Lauca que se extiende hacia la cuenca, en el sector al norte de Putre, al sur del río Colpitas y hacia el oeste del río Lluta. La Figura IV-3 indica la ubicación de este parque.

Otra área por la cual ha habido interés por su conservación es el humedal del río Lluta, ubicado en la desembocadura del río y que tiene una superficie aproximada de 300

hectáreas. La principal fauna corresponde a las aves, fluctuando el número de especies, censándose entre 1.800 y 8.000 entre los años 2000 y 2004 (Wetlands International, 2004).

Hasta julio 2007 INACAP y CONICYT a través del programa Bicentenario de Ciencias y Tecnología desarrollaron el proyecto “Estudio Integral del Humedal del Río Lluta”, donde se impulsó la idea de postularlo al acuerdo RAMSAR, tratado intergubernamental para la conservación y uso racional de los humedales y sus recursos.

Hasta el momento este humedal carece de protección legal, sin embargo la Ilustre Municipalidad de Arica se encuentra gestionando su declaratoria como “Reserva Natural Municipal”, iniciativa que pretende proteger y conservar de manera efectiva este humedal e implementar medidas tendientes a su recuperación. CONAMA lo declaró segundo sitio prioritario dentro de la propuesta de estrategia y plan de acción para la conservación de la biodiversidad (Comisión Nacional del Medio Ambiente, 2003).



Figura IV-3. Parque Nacional Lauca. Fuente: Elaboración propia.

La DGA ha identificado y ubicado áreas de vegas y bofedales, y delimitado sus acuíferos alimentadores. En la ex I Región quedaron protegidos 139 humedales, con una superficie aproximada de 335 km², equivalentes al 0,5% del total de la superficie regional. Sin embargo, la mayor parte se encuentra en la cuenca del río Lauca. La Figura IV-4 muestra las áreas de protección mencionadas.

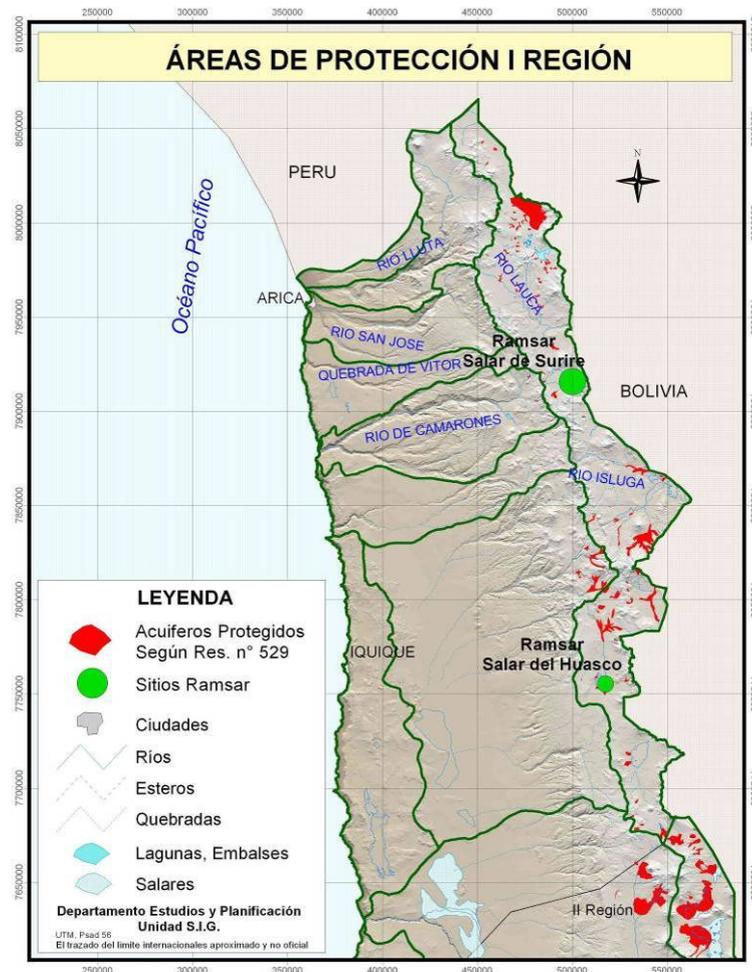


Figura IV-4. Áreas de protección en la Región de Arica y Parinacota y Región de Tarapacá. Fuente: www.dga.cl

V. Complementación línea de base de calidad del agua

1. Información disponible

La información disponible de la cuenca proviene de tres fuentes principales: La Dirección General de Aguas, el estudio “Diagnóstico y clasificación de los cursos y cuerpos de agua según objetivos de calidad. Cuenca del Río Lluta” realizado por la consultora CADE-IDEPE para la DGA (Dirección General de Aguas, 2004) y el estudio “The study of the development of water resources in Northern Chile” de la JICA (Japan International Cooperation Agency, 2005).

La DGA proporcionó información de parámetros fisicoquímicos de las estaciones de calidad del agua de la zona de estudio: Caracarani en Alcérreca (antes de la junta con Colpitas), Colpitas en Alcérreca (antes de la junta con Colpitas), Lluta en Tocontasi y Lluta en Panamericana. La información está disponible desde el año 1983 hasta el 2007 aproximadamente, y la periodicidad de los muestreos varía entre 1 y 4 veces al año. Los

parámetros medidos son: temperatura, pH, conductividad, oxígeno disuelto, carbonato, bicarbonato, cloruro, sulfato, calcio, magnesio, potasio, sodio, plata, aluminio, arsénico, boro, cadmio, cobalto, cromo, cobre, fierro, mercurio, manganeso, molibdeno, níquel, plomo, selenio, zinc, nitrato, fosfato y DQO.

El estudio de CADE-IDEPE se basó en la información entregada por la DGA y en un muestreo puntual en octubre 2003, mientras que en el estudio de la JICA se realizó un muestreo puntual en junio 1993.

El detalle de la información en que se basó el estudio de CADE IDEPE es:

- Datos depurados del monitoreo de calidad de aguas de la DGA entre 1980 y 2001
 - Estaciones de monitoreo:
 - Río Caracarani antes Colpitas
 - Río Colpitas antes Caracarani
 - Río Lluta en Chapisca
 - Río Lluta en Panamericana
 - Parámetros analizados:
 - Conductividad eléctrica, oxígeno disuelto, pH, RAS, cloruro, sulfato, boro, cobre, cromo, hierro, manganeso, molibdeno, zinc, aluminio, arsénico, plomo.
- Muestreo puntual octubre 2003:
 - Puntos de monitoreo:
 - Río Lluta en Coronel Alcérreca
 - Río Lluta aguas abajo Qda. Aromo
 - Río Lluta en Chapisca
 - Río Lluta en Poconchile
 - Río Lluta en Panamericana
 - Parámetros medidos:
 - DBO₅, color aparente, sólidos disueltos, sólidos suspendidos totales, amonio, cianuro, fluoruro, nitrito, sulfuro, estaño, coliformes fecales, coliformes totales.

En el muestreo puntual realizado para el estudio de la JICA se midieron los siguientes parámetros químicos:

En el Río Lluta: As, B, Fe, Cl, SO₄, pH.

En los tributarios en la parte alta de la cuenca (Caracarani, Azufre, Colpitas, Putre): As, B, Fe.

Con esta información fue posible observar para qué puntos y en qué tramos del río y sus afluentes se puede contar con información periódica de los distintos parámetros, en qué rango se encuentran dichas mediciones y principalmente identificar los principales afluentes que son fuentes de contaminantes. Además, se pudo estudiar la factibilidad de agregar otros puntos de muestreo que no han sido considerados y que pudiesen entregar información relevante de la calidad del agua de la cuenca. Eventualmente se podrían agregar otros parámetros a medir si se considera necesario.

La DGA tiene mediciones de los siguientes parámetros para 4 de los 8 puntos de control: As, B, pH, conductividad y caudal, desde el año 1983 al 2007. Los datos brutos fueron proporcionados directamente por la DGA.

Las estaciones con monitoreo de calidad del agua de la DGA son:

- Caracarani antes de Colpitas
- Colpitas antes de Caracarani
- Lluta en Tocontasi
- Lluta en Panamericana

Para la estación río Lluta en Tocontasi, los caudales medidos no coinciden con las fechas de monitoreo de calidad del agua; por lo que no posible correlacionar la calidad con la cantidad de agua. Lo mismo ocurre con la estación Caracarani antes de Colpitas.

La Figura V-1 es una representación esquemática de los principales hitos de la cuenca y los principales afluentes del río Lluta, indicándose la ubicación de las estaciones de monitoreo de la DGA recién mencionadas

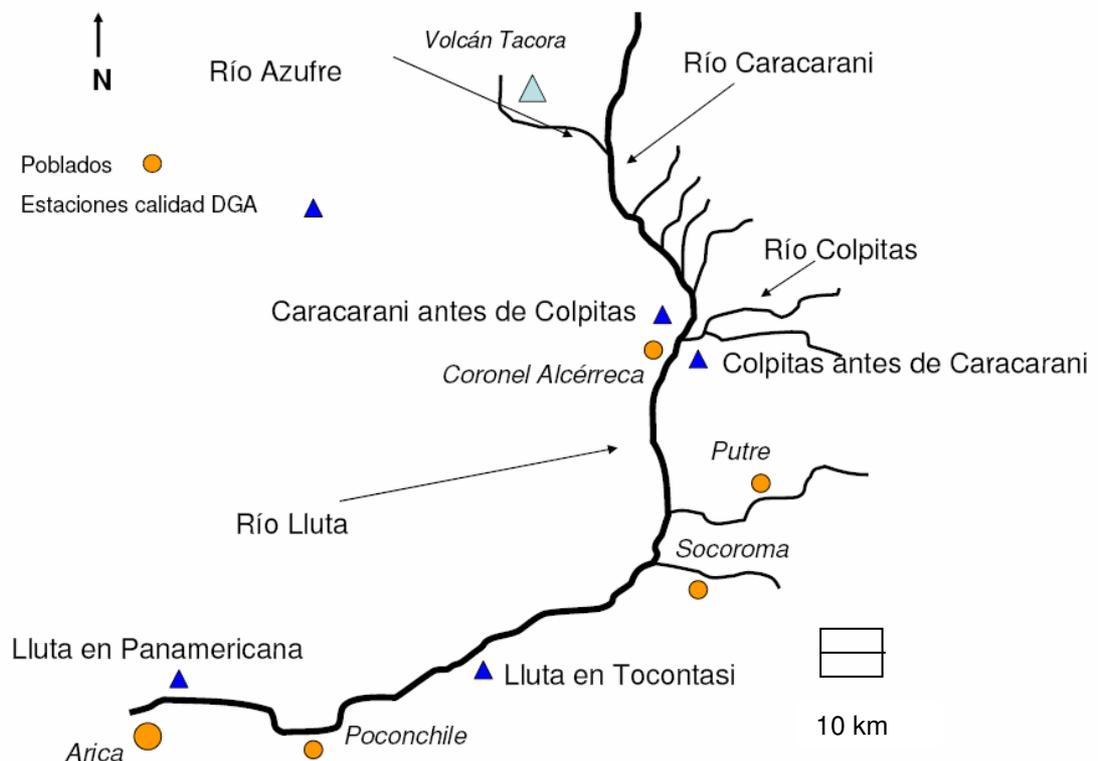


Figura V-1. Esquema representativo de la cuenca del río Lluta, principales afluentes y estaciones de monitoreo de la DGA.

2. Información recolectada en el marco de este estudio

La naturaleza de este proyecto requirió de una componente importante de trabajo en terreno. El programa de muestreo de este estudio se diseñó para complementar de manera efectiva a la información disponible. En general, la información disponible es puntual en el tiempo, con excepción de los muestreos de la DGA. Por otra parte, la distribución espacial del muestreo se focaliza en la zona media y baja del río Lluta, sin disponer de datos de calidad del agua en la zona alta (aguas arriba de río Colpitas). El programa de muestreo consideró recolectar información en las dos temporadas más significativas: la temporada seca, sin lluvias y la temporada de crecidas, durante las lluvias del invierno altiplánico. También se decidió tener una cobertura espacial mucho mayor y con un análisis de parámetros más amplio distinguiendo entre las concentraciones totales y disueltas de manera de poder contar con información que permita realizar conclusiones con respecto a procesos que pudieran estar ocurriendo en el curso del río y que expliquen algunos comportamientos diferentes en parámetros de calidad del agua. El muestreo, la preservación y el transporte de muestras se hizo considerando lo establecido en “Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater” (American Public Health Association, 2005) y las normas que el INN dispone para tal efecto. En casos especiales, se han tomado decisiones basadas en la experiencia del Jefe y Jefe Alternativo del proyecto que han participado de todas las campañas de terreno.

Se realizaron cuatro campañas de terreno, orientadas a caracterizar los parámetros de interés en temporada seca y de invierno altiplánico. Estas campañas fueron realizadas según el siguiente detalle:

- Principios de Diciembre 2007, 1 semana, temporada seca.
- Fines de Diciembre 2007, 1 semana, fin temporada seca.
- Enero 2008, 1 semana, temporada lluvias.
- Abril 2008, 1 semana, después de temporada lluvias.

En base a las fuentes de información disponibles y la obtenida por el equipo consultor, se caracterizó la calidad de los principales cursos superficiales de la cuenca, poniendo énfasis en aquellos para los que se contaba escasa o nula información. Los principales resultados y análisis se presentan en el punto siguiente, en el contexto de las características naturales de la cuenca. El detalle de todos los muestreos y mediciones se presenta en la sección Anexos.

3. Condición actual de la cuenca del río Lluta

a. Características antrópicas de la cuenca

La cuenca del río Lluta prácticamente no tiene intervención humana. Según el catastro de fuentes controladas publicado por la Superintendencia de Servicios Sanitarios con respecto al cumplimiento del DS.90 o del DS.46, no hay establecimientos industriales que viertan sus riles al Río Lluta. Se han identificado sólo dos descargas antrópicas puntuales:

- Descarga de aguas servidas de la localidad de Putre

El caudal estimado de esta descarga es de 24 L/día. Los parámetros microbiológicos junto con lo observado en terreno indican que la contaminación orgánica es baja y que la dilución es importante durante la época del muestreo. El impacto de esta descarga en el río Lluta es muy pequeño, debido a que hay alrededor de 6 km antes de que la quebrada descargue en el río.

- Descarga de RIL de planta desalinizadora Desalari

Según el EIA del proyecto “Ampliación de la Capacidad de Producción de Agua Potable en Arica; Captaciones Costeras Sondajes Lluta Bajo y Planta Desalinizadora” de la Empresa de Servicios Sanitarios de Tarapacá S.A., ESSAT S.A, la descarga de aguas residuales de la planta desalinizadora se realizará directamente al mar (en la zona de la desembocadura del Lluta, Figura V-2). Sin embargo, el equipo consultor presenció una descarga adicional al río aguas arriba de la estación Lluta en Panamericana, a principios de febrero y a mediados de abril del presente año (Figura V-3). Los principales aportes de esta descarga son el boro -con concentraciones del orden de 40 mg/L- y sales como cloruro, sulfato y sodio que hacen que la conductividad bordee los 14 mS.



Figura V-2. Descarga de la planta Desalari ubicada en la desembocadura del Río Lluta, a 200 metros de la orilla del mar. 31-1-2008.



Figura V-3. Descarga de Planta Desalari al Río Lluta, aproximadamente 430 metros aguas arriba de la estación DGA Lluta en Panamericana. 1-2-2008.

Debido a esta situación, la calidad del agua de los cursos superficiales de la cuenca es muy similar a su estado natural.

Existen además otras zonas en que la calidad del agua es sustancialmente distinta a la del Lluta y afluentes principales (río Azufre, río Caracarani y río Colpitas), que se detallan en el punto 3.

b. Características naturales de la cuenca

La calidad del agua de la cuenca del río Lluta está regulada por procesos naturales. Los contaminantes principales del agua del río Lluta provienen de fuentes puntuales, asociadas a características geológicas:

- Arsénico, boro, azufre y metales como fierro, manganeso y zinc, son aportados por el río Azufre, el cual nace a los pies del Volcán Tacora.
- Boro además proviene de afloramientos identificados como borateras ubicadas aguas arriba del pueblo de Colpitas, que finalmente desembocan al río del mismo nombre.

Las concentraciones de estos contaminantes reportadas por este estudio y su distribución espacial se pueden ver en la Figura V-4, Figura V-5 y Figura V-6.

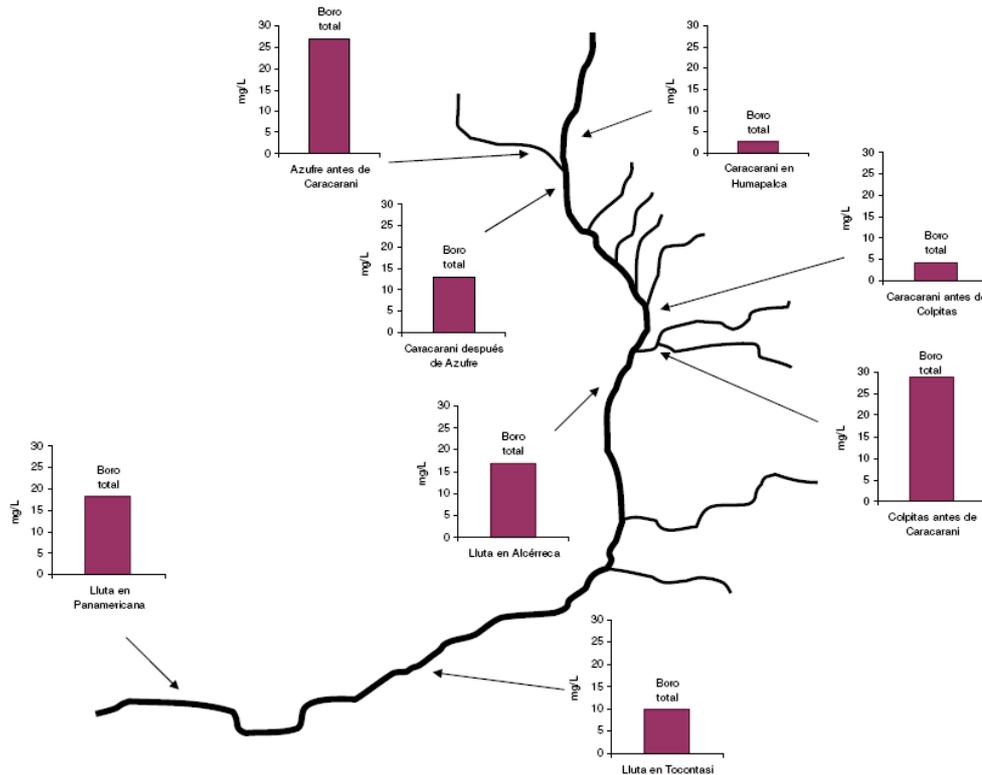


Figura V-4. Distribución espacial de la concentración total de boro en la cuenca del río Lluta.

Se puede observar claramente que los aportes de boro y arsénico a la cuenca provienen del río Azufre y de la quebrada de Colpitas. Los aportes de agua de Caracarani antes de la junta con Azufre y de las quebradas de la zona oriente contienen concentraciones de boro y arsénico mucho menores que estos dos aportes principales.

Como lo muestra la Figura V-5 la especiación y concentración de arsénico en el río Lluta va cambiando hacia aguas abajo. Esto se explica principalmente por la alta reactividad de este metaloide, que tiende a sorberse sobre superficies sólidas como los oxihidróxidos de hierro. Estos oxihidróxidos forman precipitados (de color naranja) a pH superiores a 4,5. Al ser sólidos, algunos de estos precipitados se depositan en los sedimentos del río generando un sumidero de arsénico a lo largo del éste. Esto se refleja en los datos de dos formas: la diferencia que hay entre la concentración de arsénico total y disuelto y la disminución de la concentración total de arsénico. Además, a medida que aumenta el pH, las especies del arsénico tienen carga más negativa y por tanto las interacciones electrostáticas favorecen la sorción en otras partículas. Por otro lado, el aumento de pH favorece la formación de los oxihidróxidos de hierro. Es así que casi todo el arsénico presente en el río Azufre está disuelto (pH en torno a 1,6); mientras que en Lluta en Alcórreca la mayor parte del arsénico está particulado, asociado a oxihidróxidos de hierro.

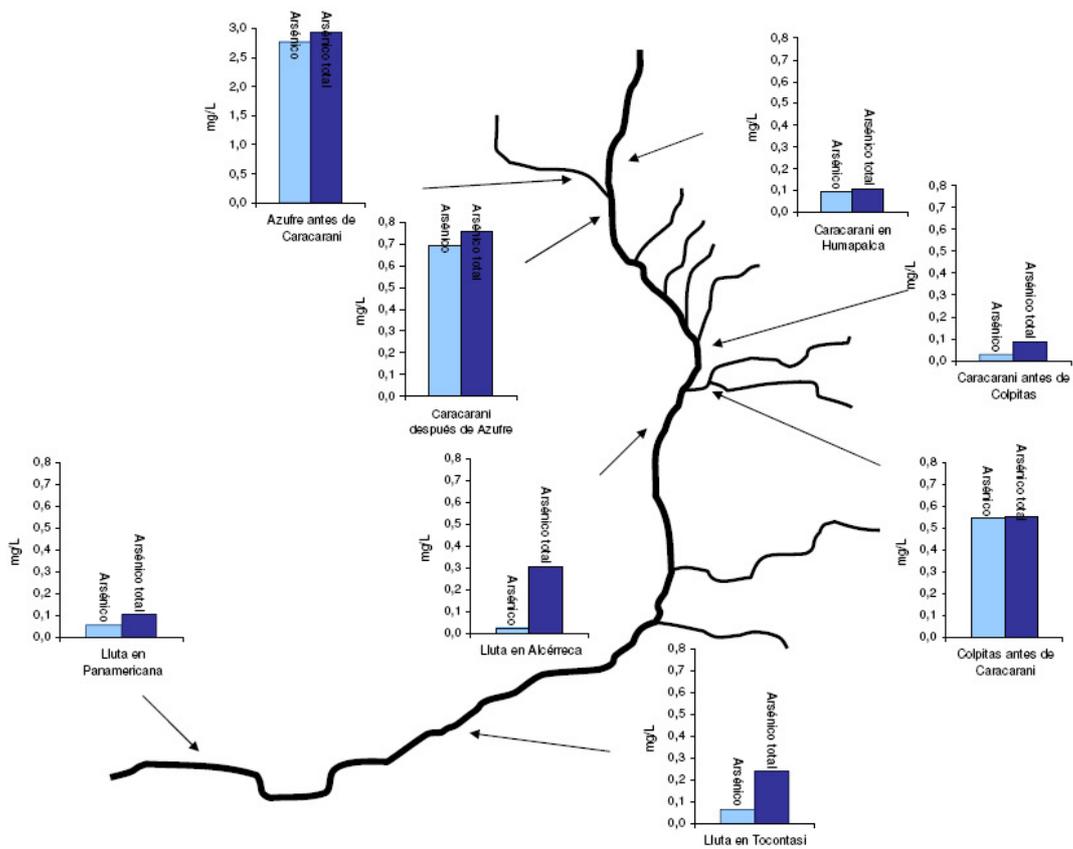


Figura V-5. Distribución espacial de la concentración total y disuelta de arsénico en la cuenca del río Lluta. Los gráficos tienen la misma escala, para efectos de comparación entre puntos, excepto el río Azufre antes de Caracarani, cuyas concentraciones bordean los 3 mg/L As.

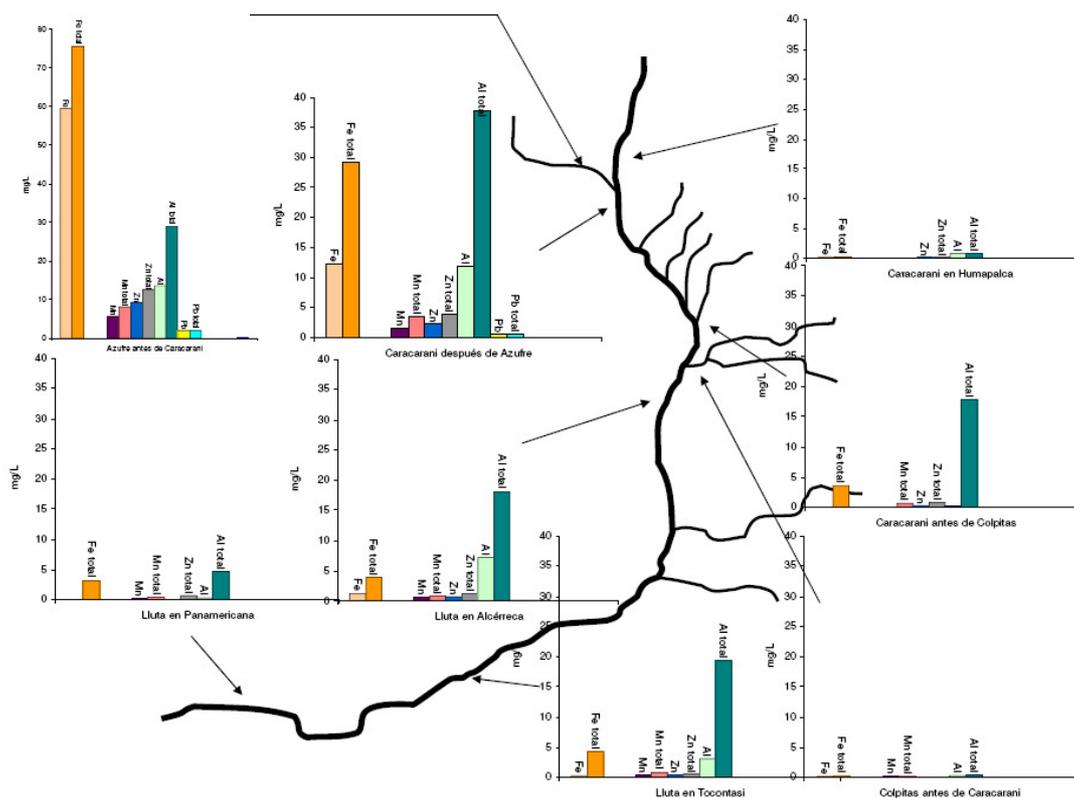


Figura V-6. Distribución espacial de la concentración total y disuelta de metales de interés. Los gráficos de los puntos tienen la misma escala, con un máximo de 40 mg/L metal, sin embargo se utilizó una escala mayor para Azufre antes de Caracarani (máximo 80 mg/L metal) debido a las altas concentraciones presentes.

La Figura V-6 muestra la presencia de metales en las aguas del río Lluta, la que se debe principalmente al aporte de aguas del río Azufre. Este río aporta principalmente fierro, aluminio, zinc, manganeso y en menor medida plomo. Este gran aporte se refleja hacia aguas abajo del río. Los otros afluentes al río no representan aportes significativos de metales, con excepción del aluminio proveniente de la quebrada de Colpitas, que se encuentra principalmente en los sólidos.

Otras características relevantes de la cuenca son:

- Bajo pH en el río Azufre -del orden de 1,6 como ya se mencionó- originado por la oxidación de sulfuros a sulfato en el río.
- Poca relevancia de materia orgánica en la cuenca, evidenciado por las mediciones de parámetros biológicos como DQO y DBO₅.

Se presenta un resumen de las mediciones reportadas por este estudio para los parámetros críticos y relacionados: pH, conductividad, DQO, boro, arsénico, conductividad, cloruro, sodio y aluminio, para los tramos Azufre antes de Caracarani, Caracarani antes de Azufre (Caracarani en Humapalca), Lluta en Alcérreca, Quebrada Oriente 1, 2, 3, 4 y Quebrada Aroma, las que no tienen estación de monitoreo de la DGA. Si están disponibles, se presentan las mediciones para las estaciones relevantes: Caracarani antes de Colpitas, Colpitas antes de Caracarani, Lluta en Tocontasi y Lluta en Panamericana. Este punto tiene

como objetivo tener una referencia de la variabilidad temporal y espacial de los parámetros presentados, obtenida en las campañas a terreno realizadas en diciembre 2007, enero y abril 2008.

La información obtenida a partir de los datos históricos de la DGA se compara con las mediciones realizadas por el equipo consultor, si corresponde.

pH

Los gráficos de dispersión de las mediciones reportadas por la DGA se muestran continuación.

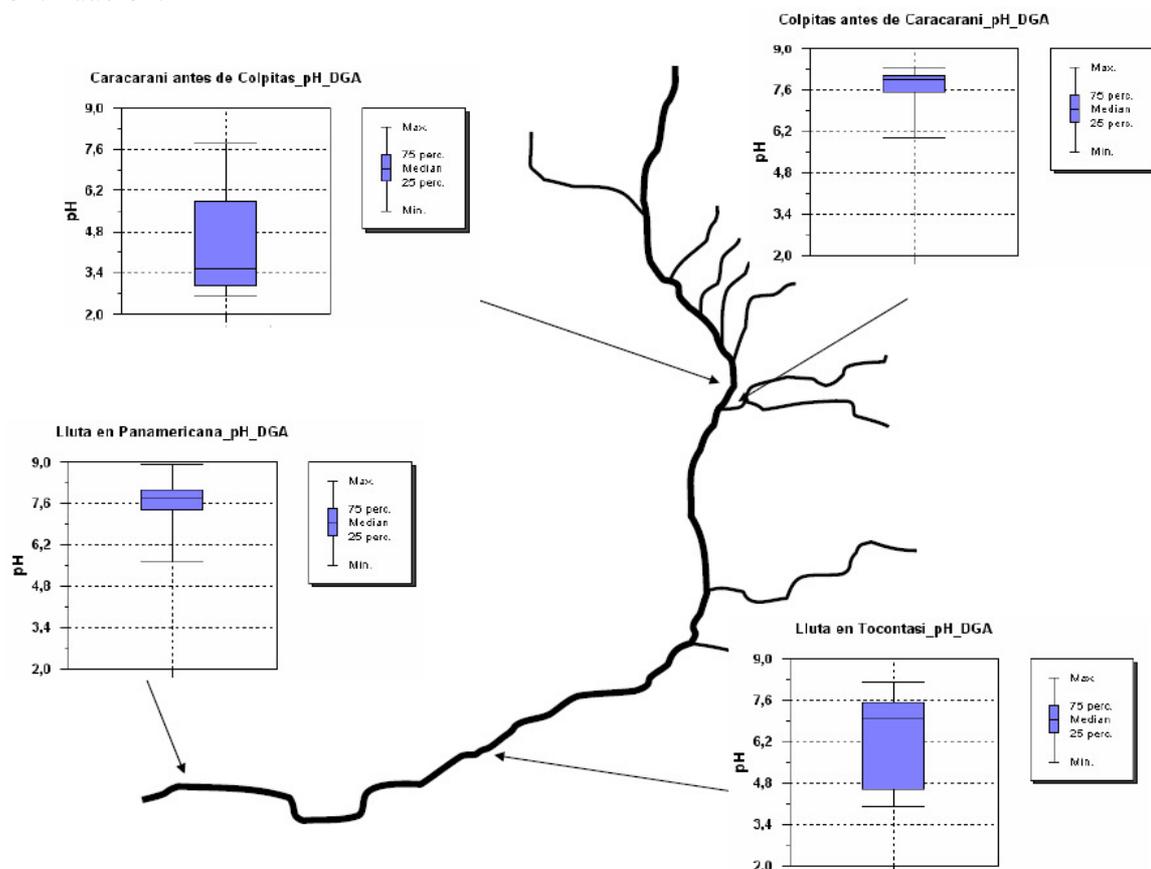


Figura V-7. Datos históricos de la DGA para el pH.

La Figura V-7 muestra que el pH histórico de la estación Caracarani antes de Colpitas es bastante variable, con tendencia a ser ácido. Una de las particularidades del parámetro pH es su relación logarítmica con la concentración (actividad) del H^+ . En términos simples, esto se traduce en que diferencias de 0,3 unidades en el pH implican cambios al doble o a la mitad de la concentración de H^+ , según sea una diferencia negativa o positiva, respectivamente. Un agua con pH 7 tiene el doble de concentración de H^+ que un agua con pH 6,7. Las mediciones de este estudio fluctuaron entre 2,9 y 4,6 (Figura V-8). Mientras, para Colpitas antes de Caracarani los datos de la DGA muestran que es más bien estable y alcalino. Las mediciones de este estudio fluctuaron entre 7,9 y 8,3. Para el Lluta bajo, específicamente en Lluta en Tocontasi las mediciones de este estudio fluctuaron entre 7,1 y

8; exceptuando la temporada después de las lluvias (abril) donde se reportó 4,8. Aun así, está dentro del rango de las mediciones históricas de la DGA, que muestran una alta variabilidad, fluctuando entre neutro y ácido. En Lluta en Panamericana las mediciones reportadas por este estudio fluctuaron entre 7,9 y 8,2. Prácticamente no hubo variación. El pH histórico es estable y más bien alcalino.

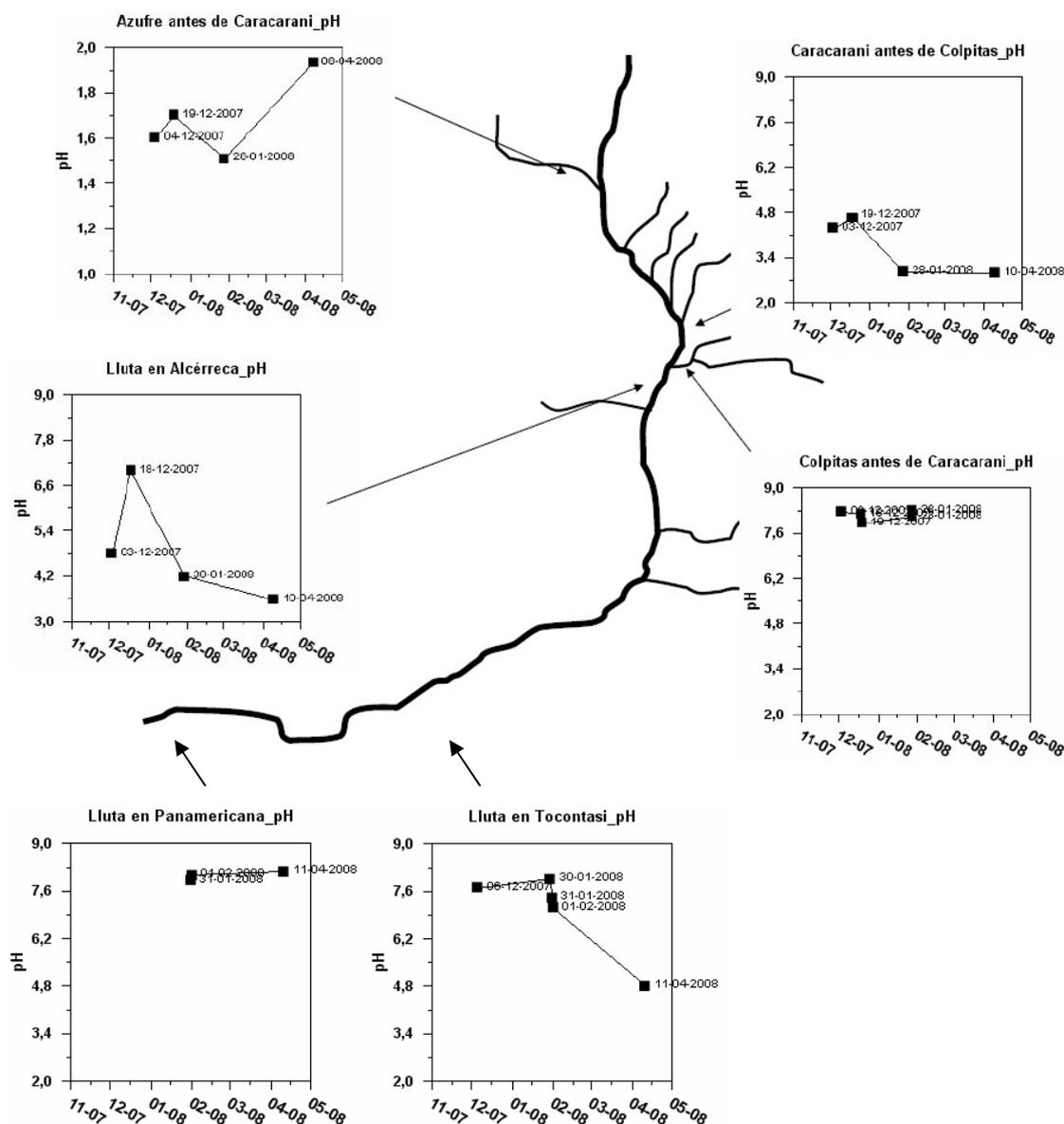


Figura V-8. Mediciones de pH reportadas por este estudio.

La Figura V-8 muestra la variabilidad espacial y temporal de las mediciones de pH realizadas en terreno por el equipo consultor. El río Azufre no sube de pH 2, Colpitas es prácticamente constante en torno a 8, mientras que Lluta en Alcérreca y Caracarani antes de Colpitas presentan una mayor variabilidad en el rango ácido.

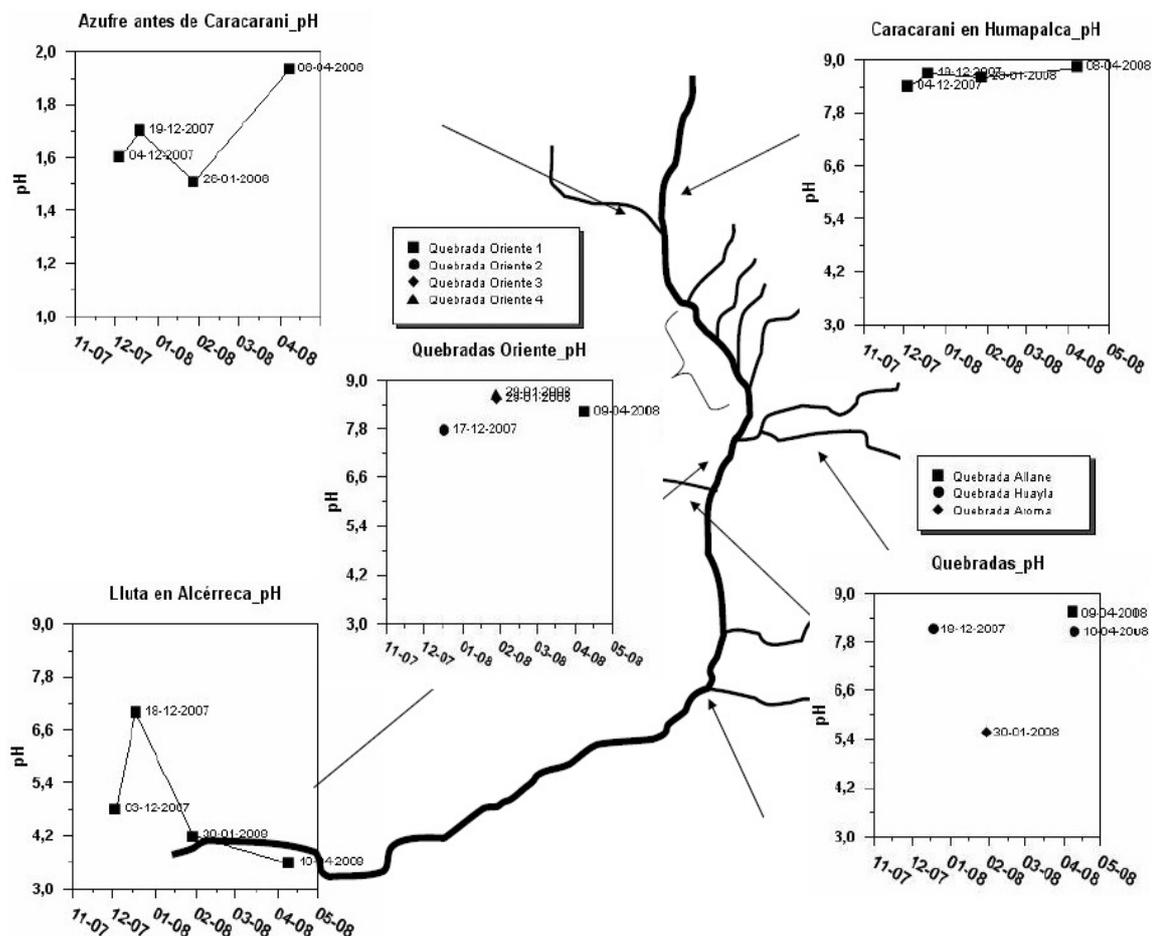


Figura V-9. Mediciones de pH reportadas por este estudio, continuación.

La Figura V-9 muestra la distribución espacial de distintos valores de pH en la cuenca. El eje sólo es distinto para Azufre antes de Caracarani (entre 1,5 y 2), con el fin de resaltar la acidez de este curso. Puede observarse que el río Caracarani prácticamente no presentó variación, siendo su pH más bien alcalino; mientras que Lluta en Alcérreca es más bien ácido, registrándose valores en un rango más amplio. Las mediciones puntuales de las Quebradas Oriente 3 y 4 indican que su pH es más bien alcalino, mientras que la Quebrada Aroma bordea la neutralidad.

Las mediciones de pH de este estudio se encuentran dentro del rango medido por la DGA, confirmando el comportamiento histórico. Se puede observar que el comportamiento de este parámetro en los distintos cursos de la cuenca es heterogéneo y altamente influido por el río Azufre.

Conductividad

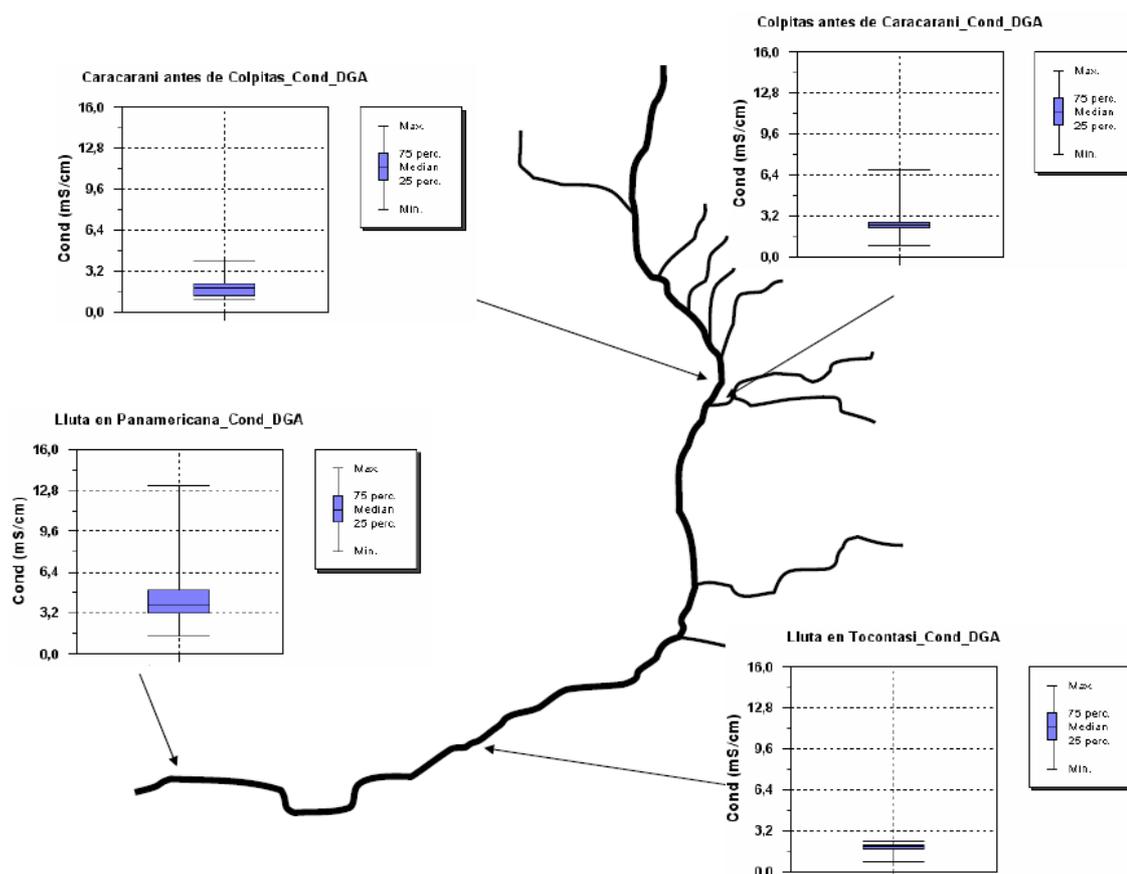


Figura V-10. Datos históricos de la DGA para la conductividad.

La Figura V-10 permite apreciar que en Caracarani antes de Colpitas la conductividad histórica presenta poca variación. Los valores reportados por este estudio fluctuaron entre 1,3 y 2,14 mS. La situación es similar para Colpitas antes de Caracarani, donde la conductividad ha sido poco variable. Los valores reportados por este estudio fluctuaron entre 2,5 y 2,9 mS (Figura V-11 y Figura V-12). Mientras, para la estación Lluta en Tocontasi la DGA ha reportado que la conductividad es bastante estable. Las mediciones del equipo consultor fluctuaron entre 1,4 y 2,3 mS. Distinto es el caso de la estación Lluta en Panamericana, ya que es la que reporta mayor variación histórica. Las mediciones de este estudio fluctuaron entre 3,15 y 5,47 mS y la DGA ha reportado una variabilidad similar.

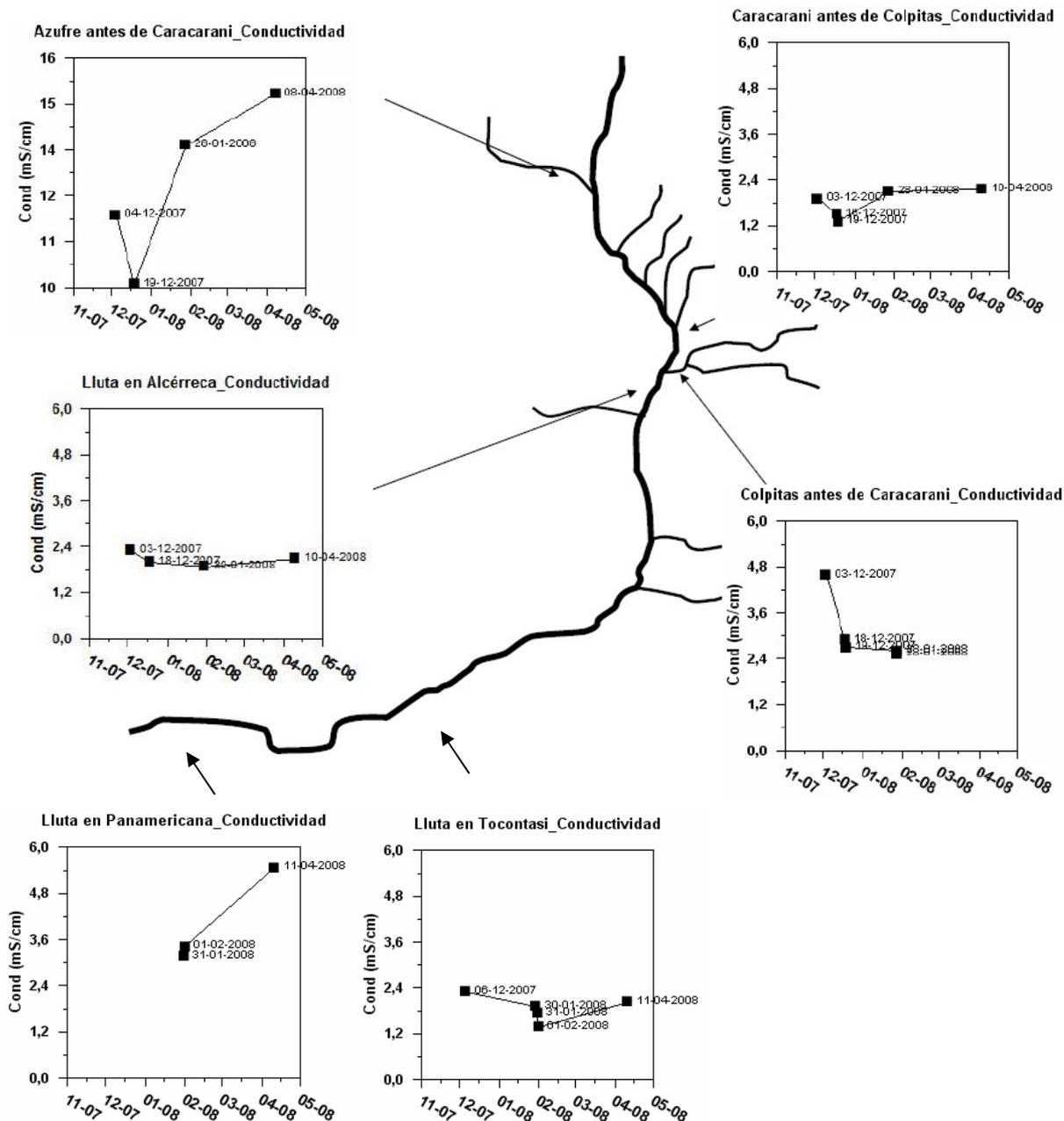


Figura V-11. Mediciones de conductividad (mS/cm) reportadas por este estudio.

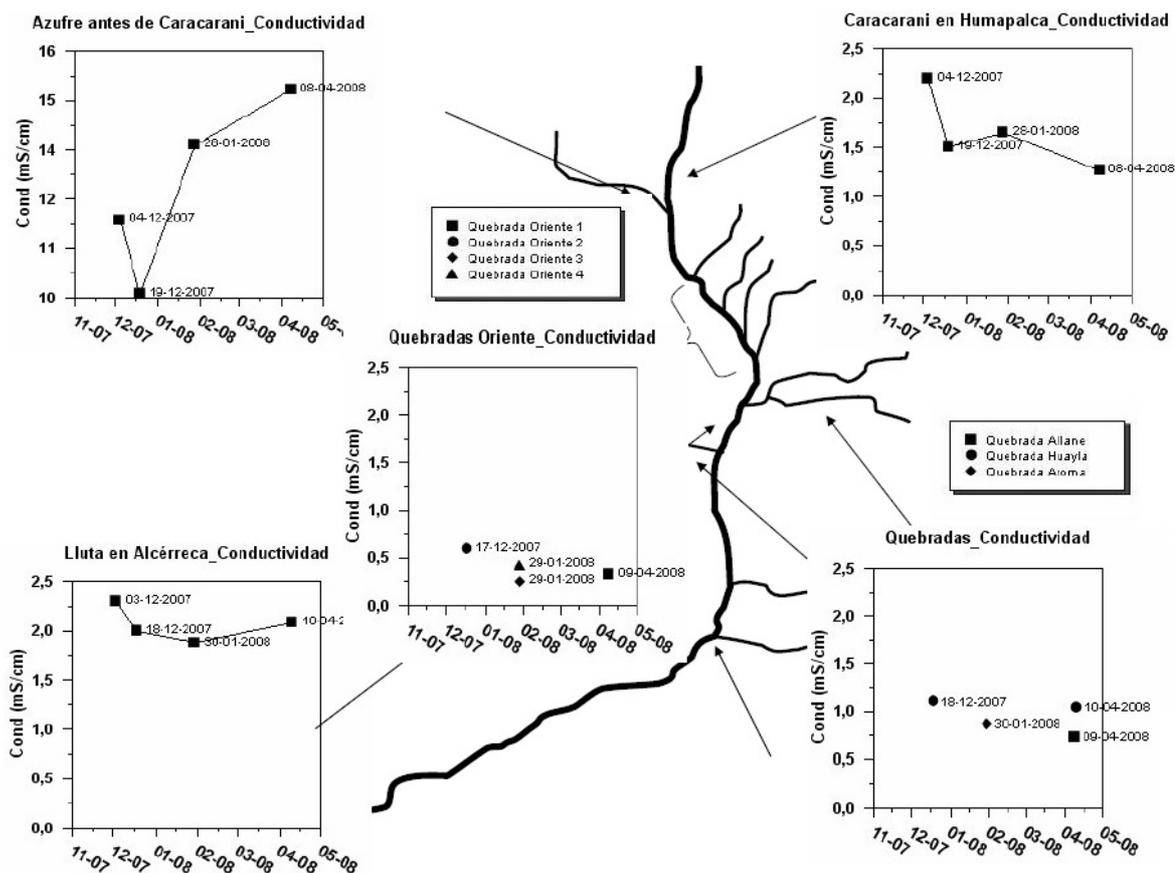


Figura V-12. Mediciones de conductividad (mS/cm) reportadas por este estudio, continuación.

La Figura V-12 muestra las mediciones de conductividad realizadas por el equipo consultor. Se ordenan los cauces de menor a mayor salinidad: Quebrada Oriente 3, Quebrada Oriente 4, Quebrada Aroma, Caracarani en Humapalca, Lluta en Alcérreca y Azufre en Caracarani; cuya conductividad oscila en un rango mayor (entre 10 y 17 mS/cm) y por tanto se presenta en una escala diferente.

Los valores de conductividad tanto históricos como los realizados por el equipo consultor (Figura V-11 y Figura V-12) son altos para todas las estaciones de monitoreo, indicando que naturalmente los cursos de agua tienen un alto contenido de sales, aportadas principalmente por el río Azufre y las borateras de la Quebrada Colpitas.

El análisis de la información histórica de la DGA en las cuales hay información de caudal y de calidad del agua indica que la conductividad de la estación Lluta en Panamericana disminuye para caudales altos, indicando un cierto grado de dilución (Figura V-13). Esto también se ve reflejado en la concentración de cloruro y sulfato que se presentan en el punto siguiente.

Por otra parte, para la estación Colpitas antes de Caracarani, la tendencia es mucho menos clara y al parecer la concentración de sales se mantiene bastante constante a pesar de un aumento de caudal, lo que indicará un lavado de suelos producto de las precipitaciones (Figura V-14). Dada la forma de la cuenca y los depósitos evaporíticos que se observan en la zona alrededor de las borateras, esto es altamente probable.

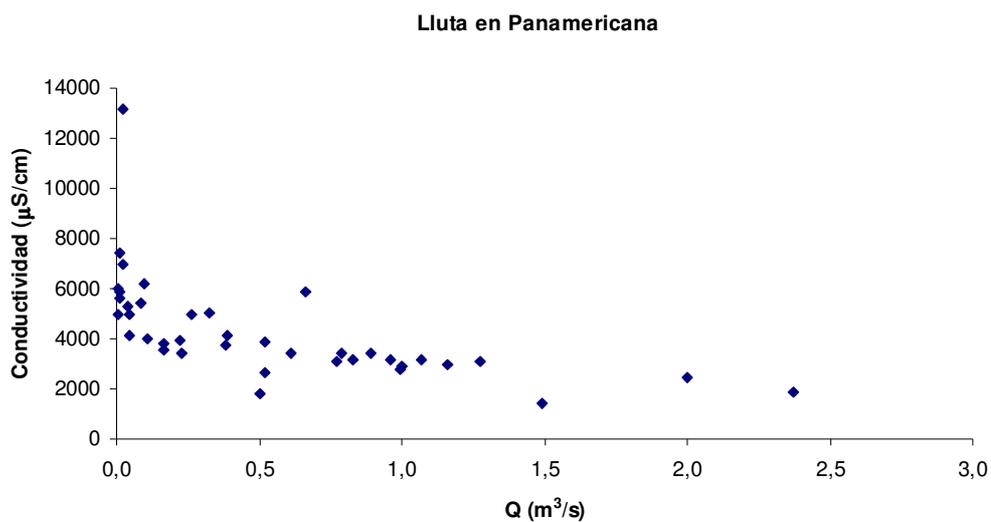


Figura V-13. Relación entre caudal y conductividad, datos históricos DGA, estación Lluta en Panamericana.

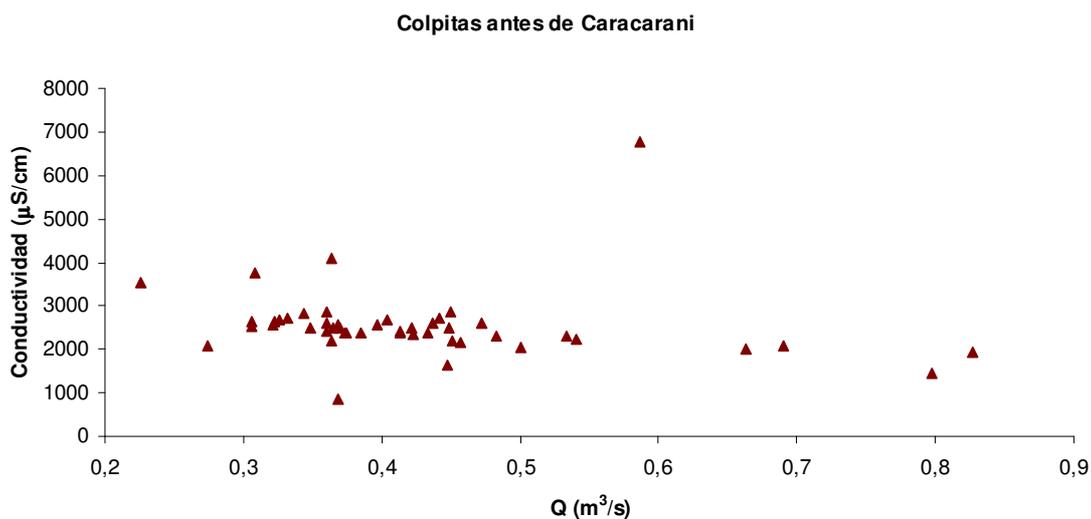


Figura V-14. Relación entre caudal y conductividad, datos históricos DGA, estación Colpitas antes de Caracarani.

Cloruro y sulfato

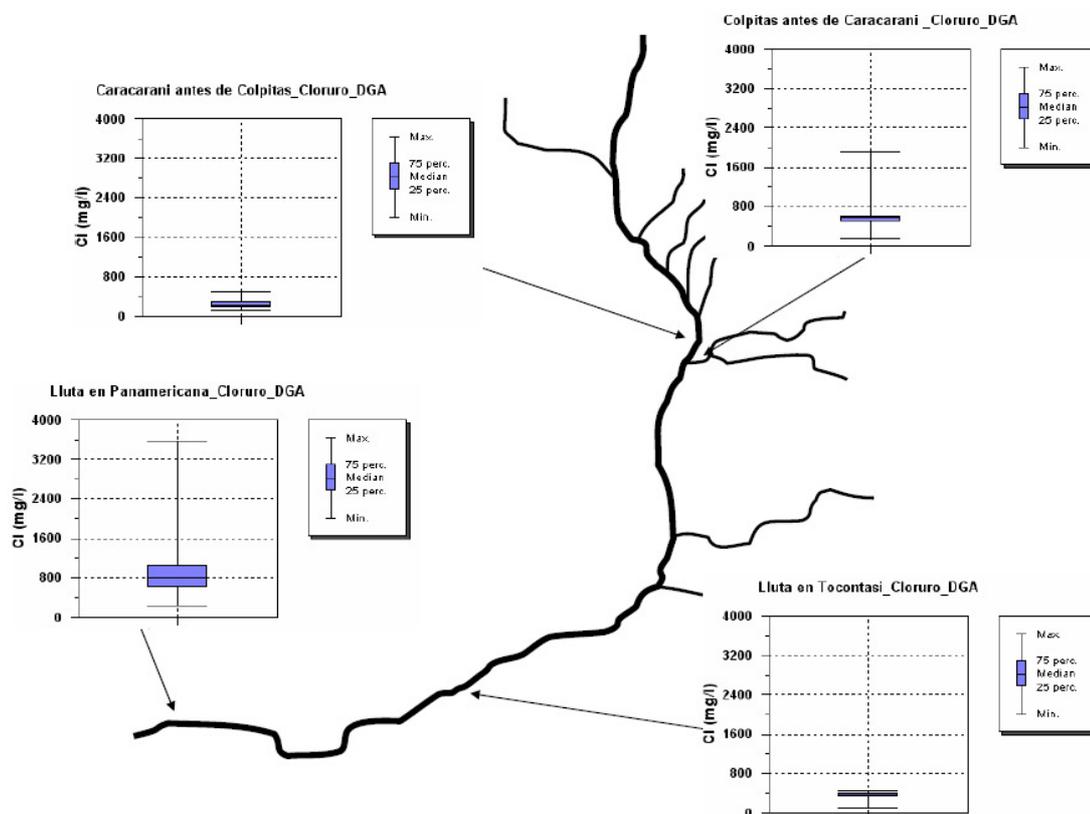


Figura V-15. Datos históricos de la DGA para la concentración de cloruro.

La Figura V-15 presenta los reportes históricos que muestran la estabilidad de la concentración de cloruro en Caracarani antes de Colpitas. Las mediciones de este estudio oscilaron entre 242 y 301 mg/L (Figura V-16), siendo consistentes con lo reportado por la DGA. Por otro lado, la variabilidad histórica en la estación Colpitas antes de Caracarani se atribuye a la presencia de costras salinas en la zona de borateras, las cuales probablemente se disuelven y desembocan finalmente al río Colpitas en época de precipitaciones. Las mediciones de este estudio fluctuaron entre 577 y 1.043 mg/L. En Lluta en Tocontasi las mediciones de la DGA son estables y no se reportan *peaks* puntuales. Las mediciones de este estudio fluctuaron entre 140 y 444 mg/L. En Lluta en Panamericana las mediciones de la DGA muestran que en esta estación la concentración de cloruro presenta una oscilación mayor que en los otros puntos. El máximo de 3.575 mg/L está asociado a un caudal de 20 L/s (27-9-98), bastante bajo para lo que normalmente escurre en esta estación (500 a 1.000 L/s), por lo que presumiblemente la evaporación y/o infiltración de cauce provocaron la concentración de este ión en el cauce. Las mediciones de este estudio oscilaron entre 616 y 1.123 mg/L (Figura V-16), dentro del rango de dispersión de las concentraciones históricas. Debe tenerse presente también que la descarga de Desalari puede aumentar la concentración de sales disueltas en la estación Lluta en Panamericana.

La Figura V-16 y Figura V-17 muestran las mediciones de cloruro reportadas por el equipo consultor. A pesar de las diferencias entre el río Azufre y el resto de los cursos, todas se encuentran dentro del mismo orden de magnitud. A diferencia de lo que ocurre con el

sulfato, el cual tiene una presencia menos marcada en el río Colpitas debido a que los mayores aportes provienen del Azufre, el cloruro tiene una distribución más homogénea en la cuenca.

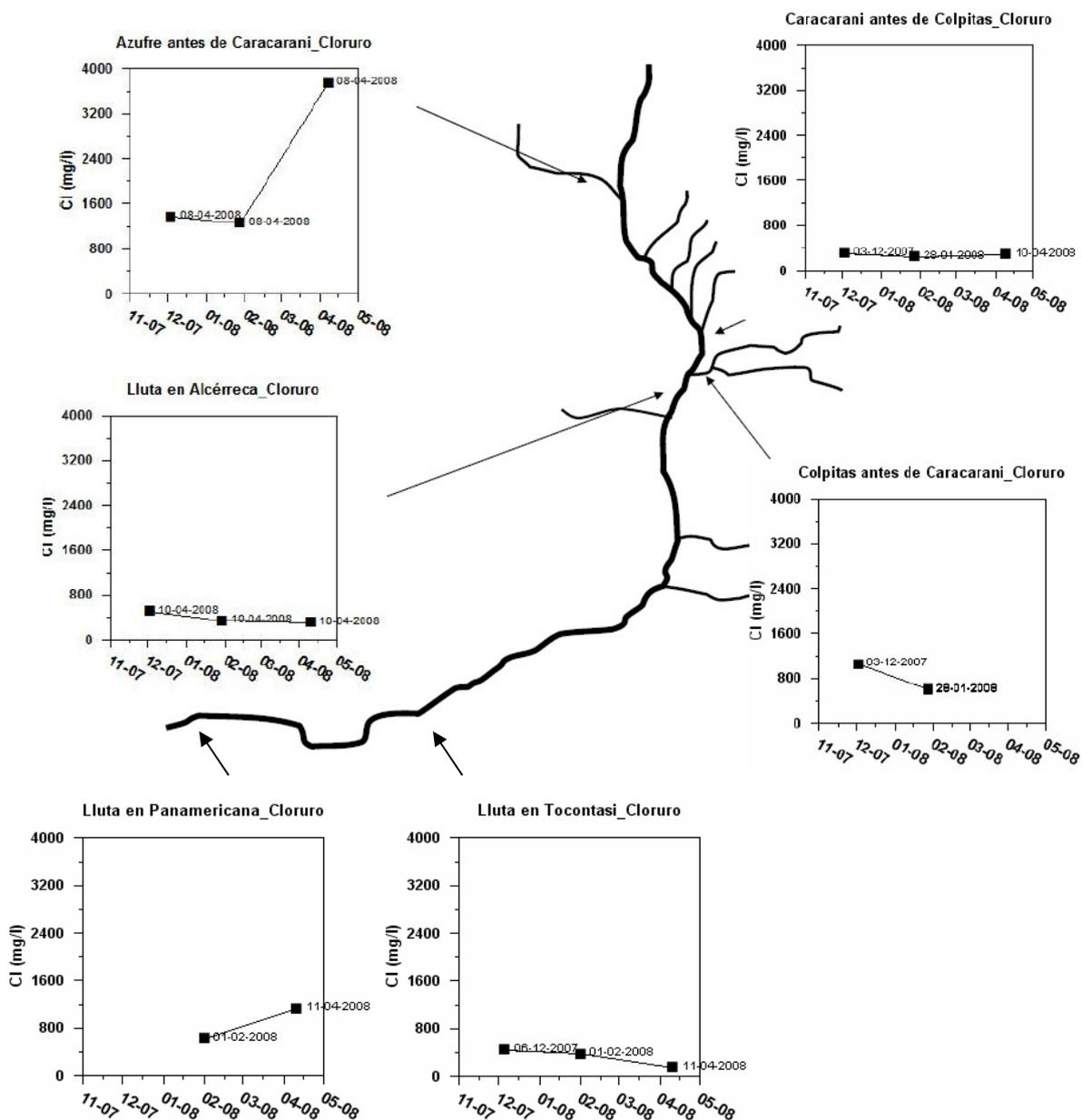


Figura V-16. Mediciones de cloruro reportadas por este estudio.

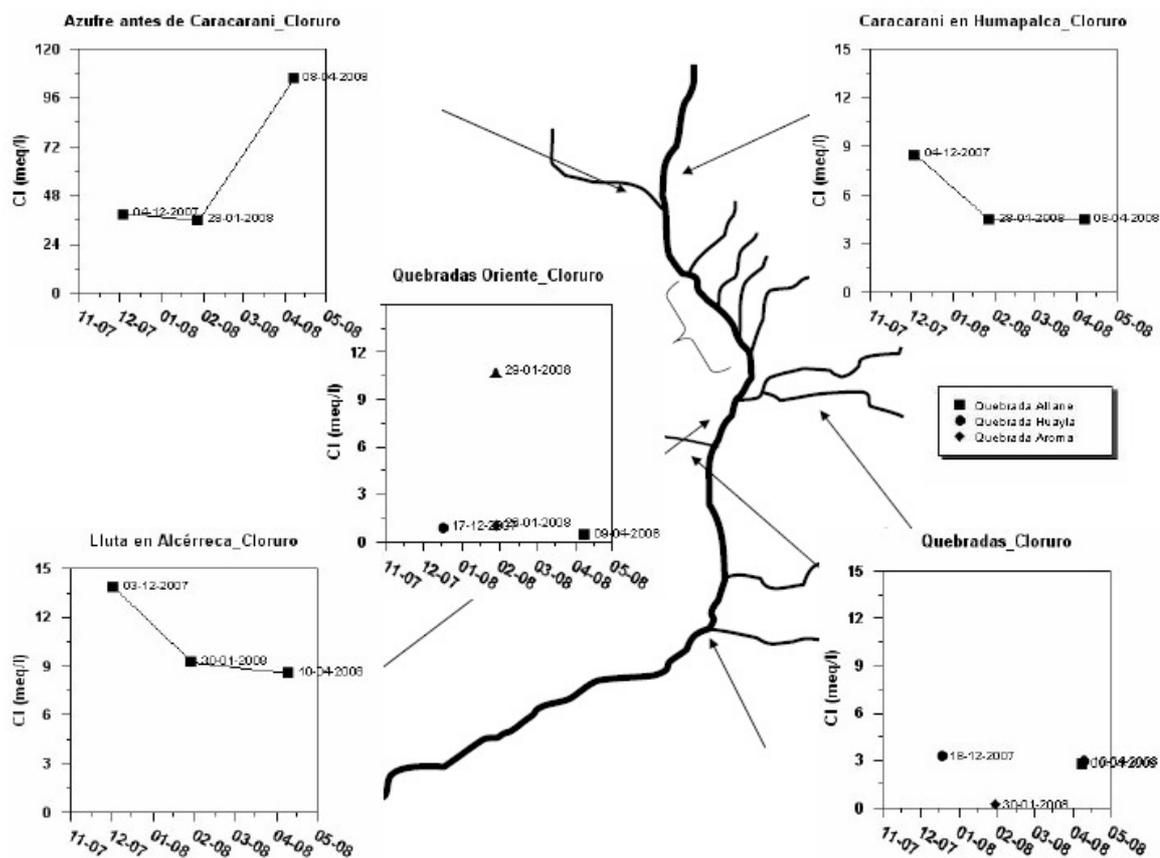


Figura V-17. Mediciones de cloruro reportadas por este estudio, continuación.

La Figura V-16 y Figura V-17 muestran que la mayoría los cursos de agua se caracterizan por su alto contenidos de cloruro. En orden decreciente: Azufre -que nuevamente se presenta en una escala distinta-, Lluta en Alcérreca, Caracarani en Humapalca, Quebrada Oriente 4, Quebrada Oriente 3 y Quebrada Aroma.

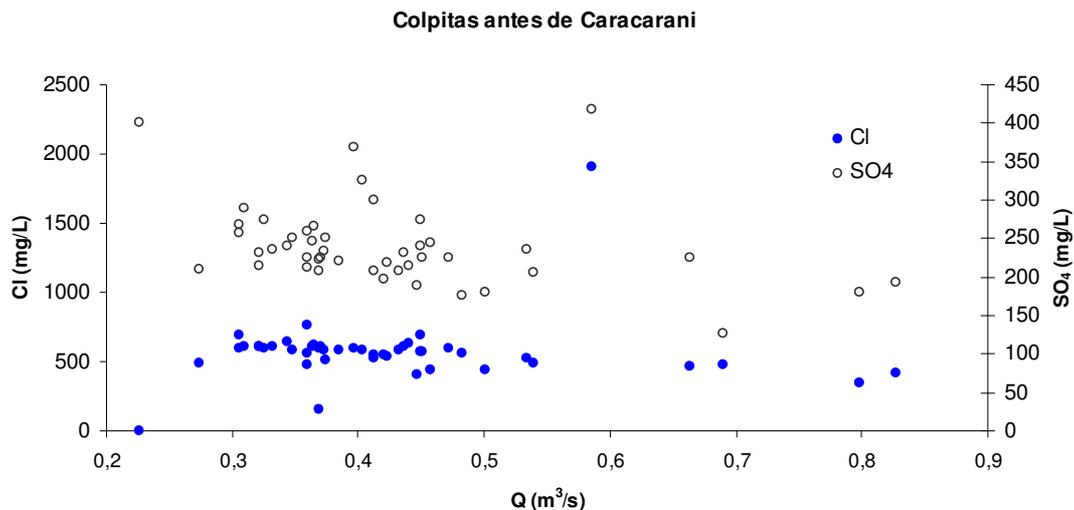


Figura V-18. Relación entre caudal y concentración de cloruro y sulfato, datos históricos DGA, estación Colpitas antes de Caracarani.

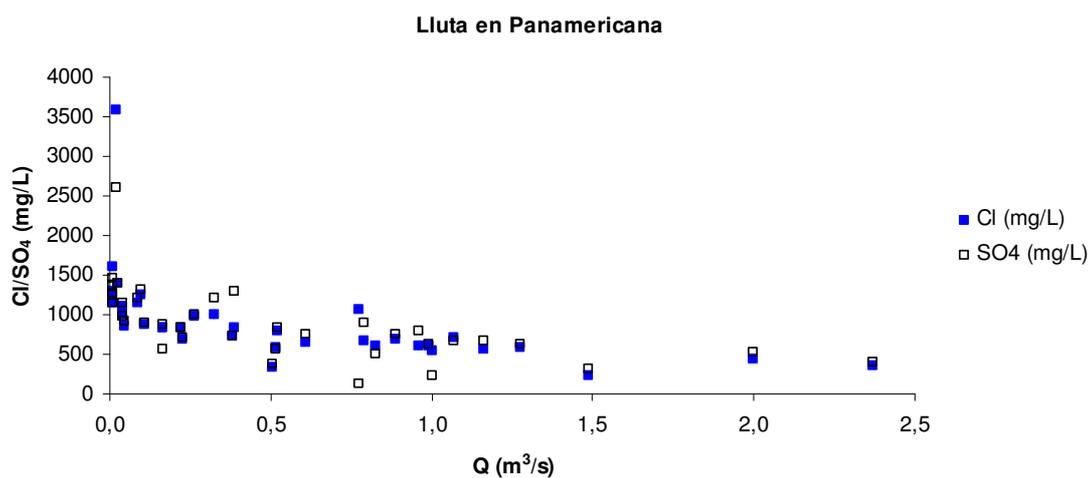


Figura V-19. Relación entre caudal y concentración de cloruro y sulfato, datos históricos DGA, estación Lluta en Panamericana.

La Figura V-20 presenta la dispersión en las mediciones de sulfato reportadas por la DGA en sus estaciones de monitoreo de calidad.

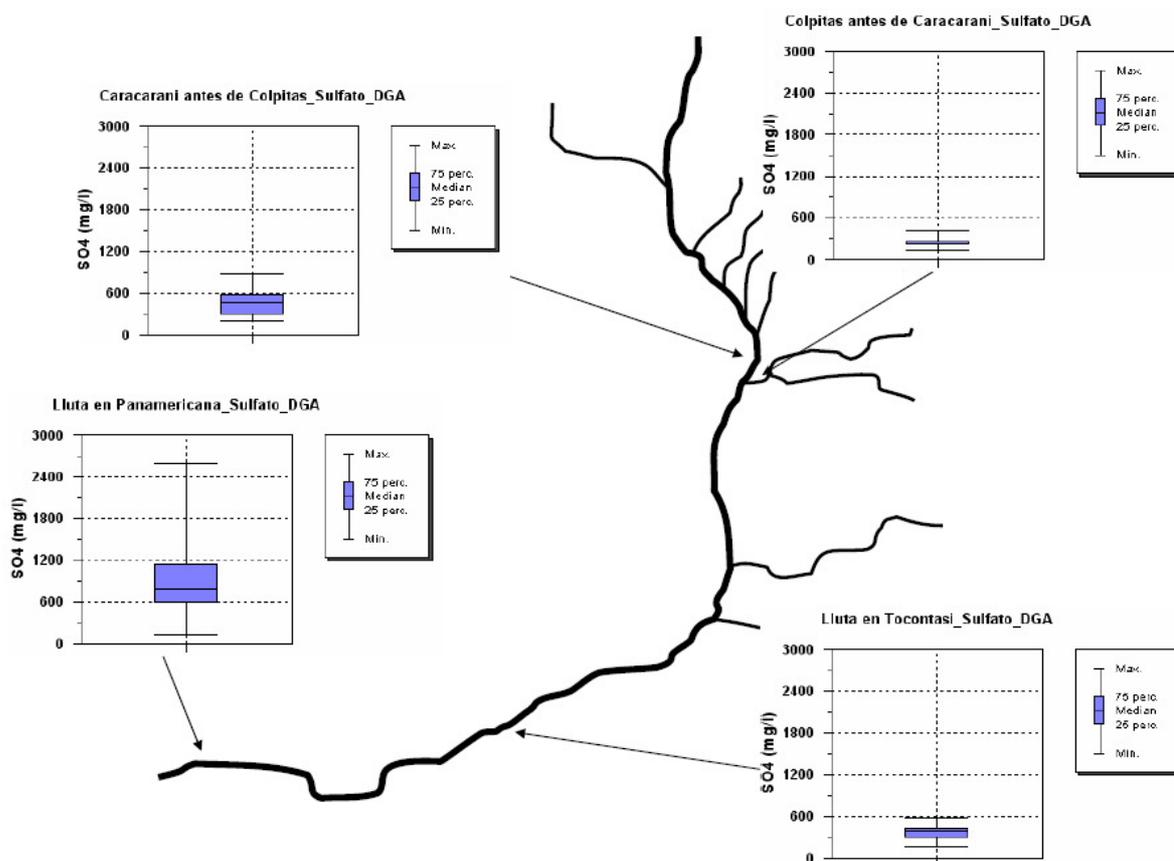


Figura V-20. Datos históricos de la DGA para la concentración de sulfato.

Se puede apreciar que los datos históricos de la concentración de sulfato de la DGA para la estación Caracarani antes de Colpitas muestran un cierto grado de variabilidad. Las mediciones de este estudio fluctuaron entre 560 y 768 mg/L (Figura V-21), dentro del rango reportado por la DGA. Sin embargo, en Colpitas antes de Caracarani las mediciones de este estudio estuvieron en torno a los 230 mg/L. Las mediciones de la DGA muestran una baja dispersión y ausencia de máximos que se alejen de la tendencia general. Para la estación Lluta en Tocontasi las mediciones de este estudio fluctuaron entre 406 y 840 mg/L. Los registros históricos de la DGA son más bien constantes, sin ningún *peak* considerable. Por último en Lluta en Panamericana las concentraciones reportadas por la DGA presentan una variabilidad considerable. Las mediciones de sulfato para este punto oscilan entre 714 y 1.820 mg/L. El máximo de 2.598 mg/L coincide con la fecha de reporte del máximo de cloruro (27-9-98), lo que validaría la hipótesis de un posible fenómeno de concentración producto de la evapotranspiración de los cultivos en la parte más baja del río.

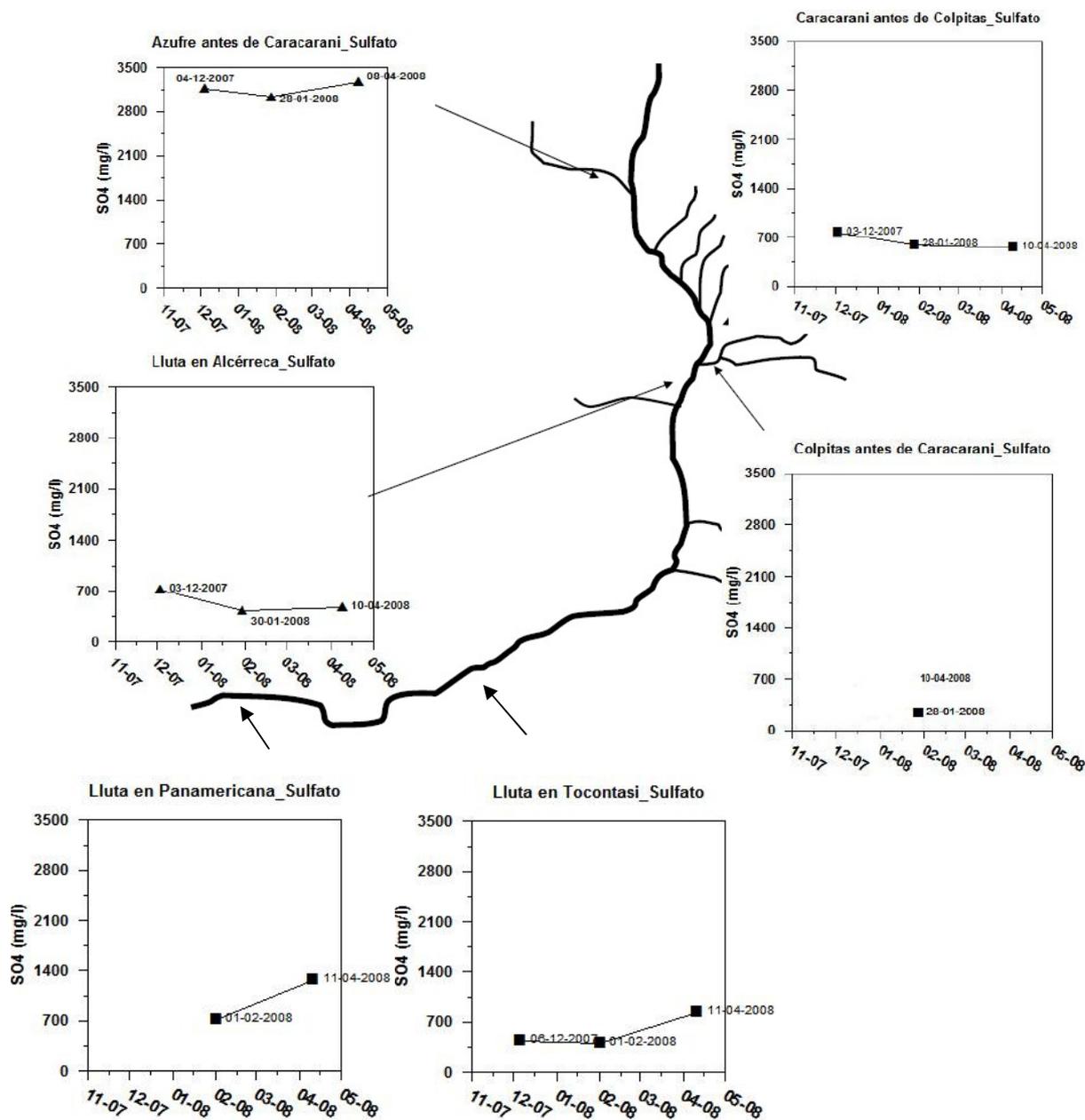


Figura V-21. Mediciones de sulfato reportadas por este estudio.

La Figura V-21 presenta las mediciones de sulfato reportadas en este estudio, distribuidas espacialmente en la cuenca. Destaca las elevadas concentraciones del río Azufre, siendo el Colpitas el que presenta las menores.

DQO

Los registros de la DGA para las estaciones Lluta en Panamericana y Lluta en Tocontasi, presentan marcadas diferencias entre un período y otro, para el mismo punto, como se puede observar en la Figura V-22 y Figura V-23.

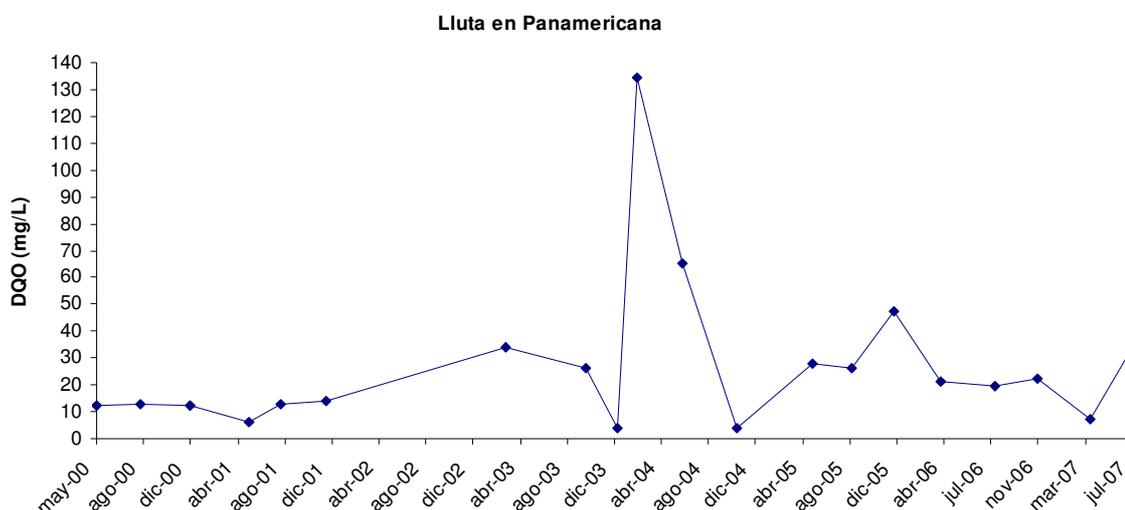


Figura V-22. Mediciones de DQO realizadas por la DGA, estación Lluta en Panamericana.

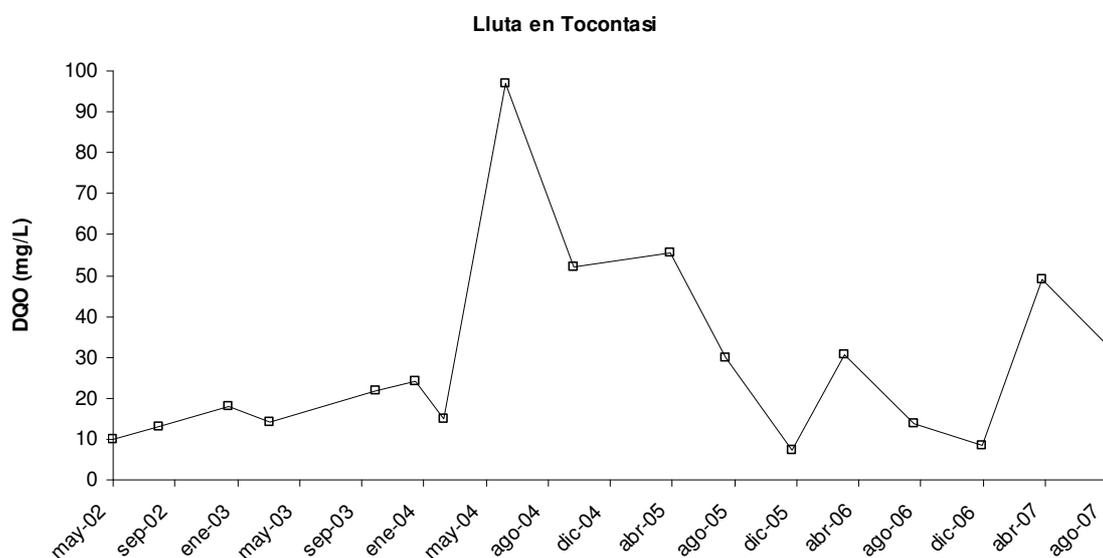


Figura V-23. DQO reportada por la DGA en la estación Lluta en Tocontasi.

Los máximos de los valores para ambas estaciones coincide con el aumento del caudal del río (11 febrero 2004) por lo que puede atribuirse al aumento de la escorrentía producto de las precipitaciones, la cual arrastra materia orgánica del suelo (desechos de animales y/o plantas) con el consiguiente aumento de la DQO total en el agua.

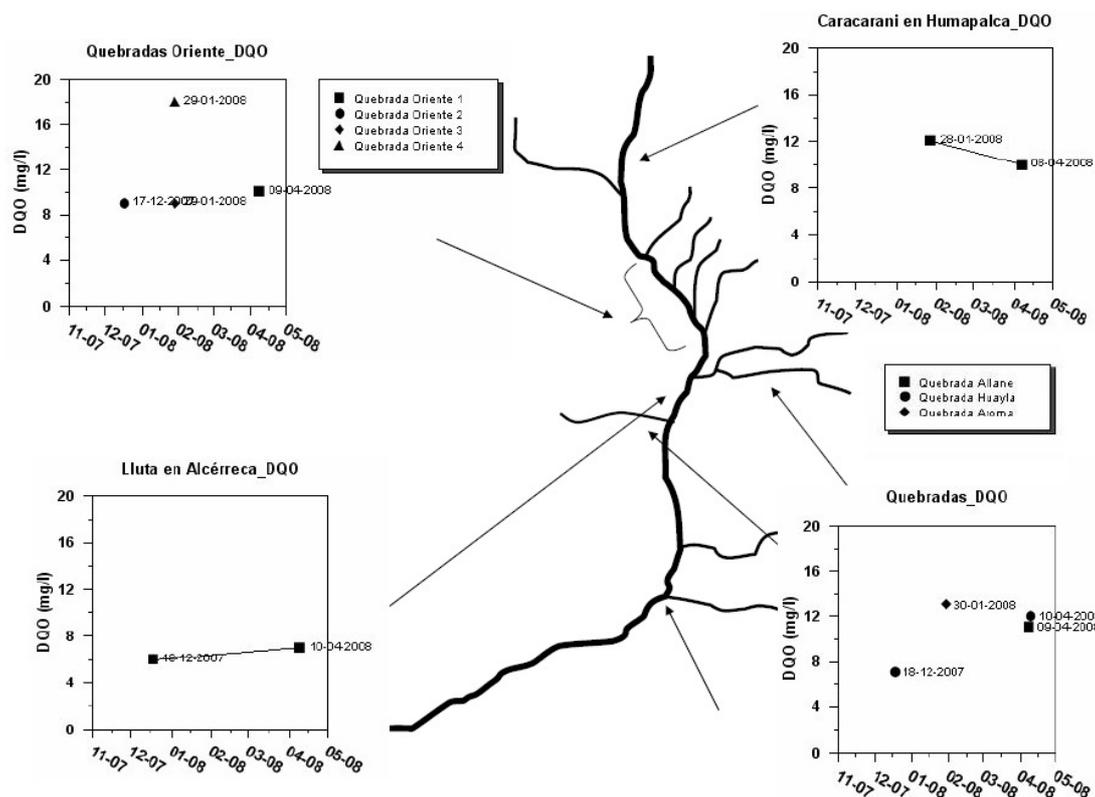


Figura V-24. Mediciones de DQO (mg/L) reportadas por este estudio.

No se presentan valores de DQO para el río Azufre debido a que el parámetro no fue detectado en las mediciones.

Como lo muestra la Figura V-24 los valores no superan los 20 mg/L, siendo Lluta en Alcérreca, Quebrada Huayla y Quebrada Oriente 2 las cotas inferiores.

A partir de esta información se verifica la baja presencia de materia orgánica en la cuenca.

Boro

La Figura V-25 presenta la variabilidad histórica de las concentraciones de boro reportadas por la DGA.

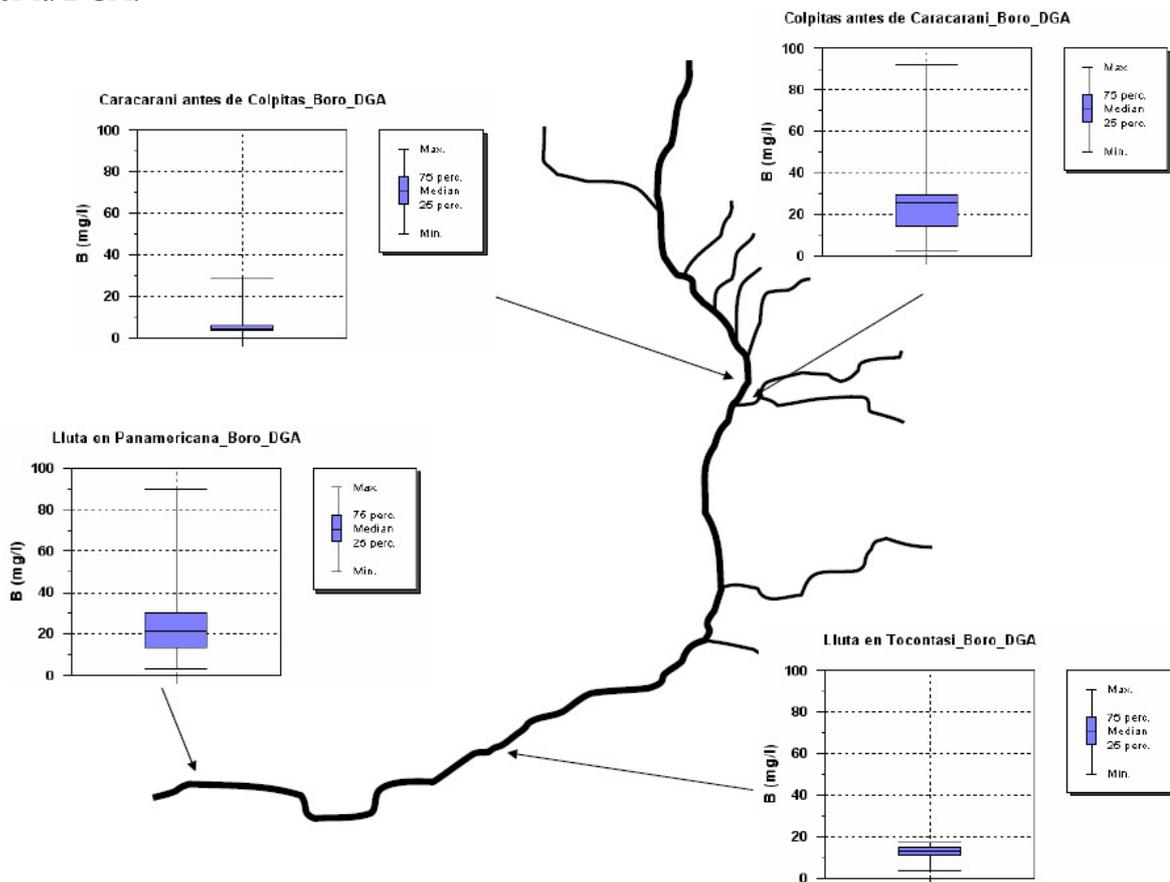


Figura V-25. Datos históricos de la DGA para la concentración de boro.

Los datos históricos en la estación Caracarani antes de Colpitas indican que la presencia de boro se hace mucho más marcada hacia aguas abajo, presentando además poca dispersión. Las mediciones de este estudio fluctuaron entre 2,5 y 6,9 mg/L B (Figura V-26). Mientras, en la estación Colpitas antes de Caracarani las mediciones de este estudio fluctuaron entre 25,3 y 36,4 mg/L B. La DGA ha reportado una variabilidad mayor. El máximo reportado de 92 mg/L (22-3-88) (bastante alejado de la mayoría de los datos) prácticamente coincide en el tiempo con el máximo de 90 mg/L en Lluta en Panamericana (28-3-88), y no coincide con un aumento de caudal significativo. Este hecho avala la hipótesis que la mayor parte del boro presente en el río Lluta es aportado por el río Colpitas. Para Lluta en Tocontasi los valores reportados por este estudio para la concentración de boro se encuentran dentro de lo reportado por la DGA: entre 6,6 mg/L en temporada seca (diciembre) y 13 mg/L luego de la temporada de lluvias (abril). La variabilidad histórica no pareciera ser significativa. Con respecto a la correlación entre los *peaks* de boro entre Lluta en Panamericana y Colpitas antes de Caracarani, lamentablemente la DGA no realizó el monitoreo de calidad para Lluta en Tocontasi en dicha fecha. Por otro lado, en Lluta en Panamericana las concentraciones históricas de boro de la DGA son mayores y más dispersas que las de Lluta en Tocontasi. Las mediciones de este estudio fluctuaron entre 19 y 26 mg/L B. El *peak* de boro de 90 mg/L no coincide con un aumento de caudal significativo.

Tanto los datos históricos como los de este estudio indican que el río Colpitas es la principal fuente de boro para el río Lluta. Este cauce es más bien estable en cuanto a caudal, no así en lo que respecta a concentración de boro, por lo que se presume la existencia de otros fenómenos asociados a los afloramientos termales identificados como borateras (con concentraciones del orden de 350 mg/L B) que desembocan al río Colpitas.

La Figura V-26 presenta las mediciones de boro reportadas por el equipo consultor para los principales cursos de la cuenca. Éstas validan las mediciones de la DGA y aportan nueva información en cuanto al aporte significativo del río Azufre, que presenta concentraciones del orden de 30 mg/L, siendo comparable con el río Colpitas. Es decir, este curso no sólo es el principal aporte de arsénico, sino también de boro.

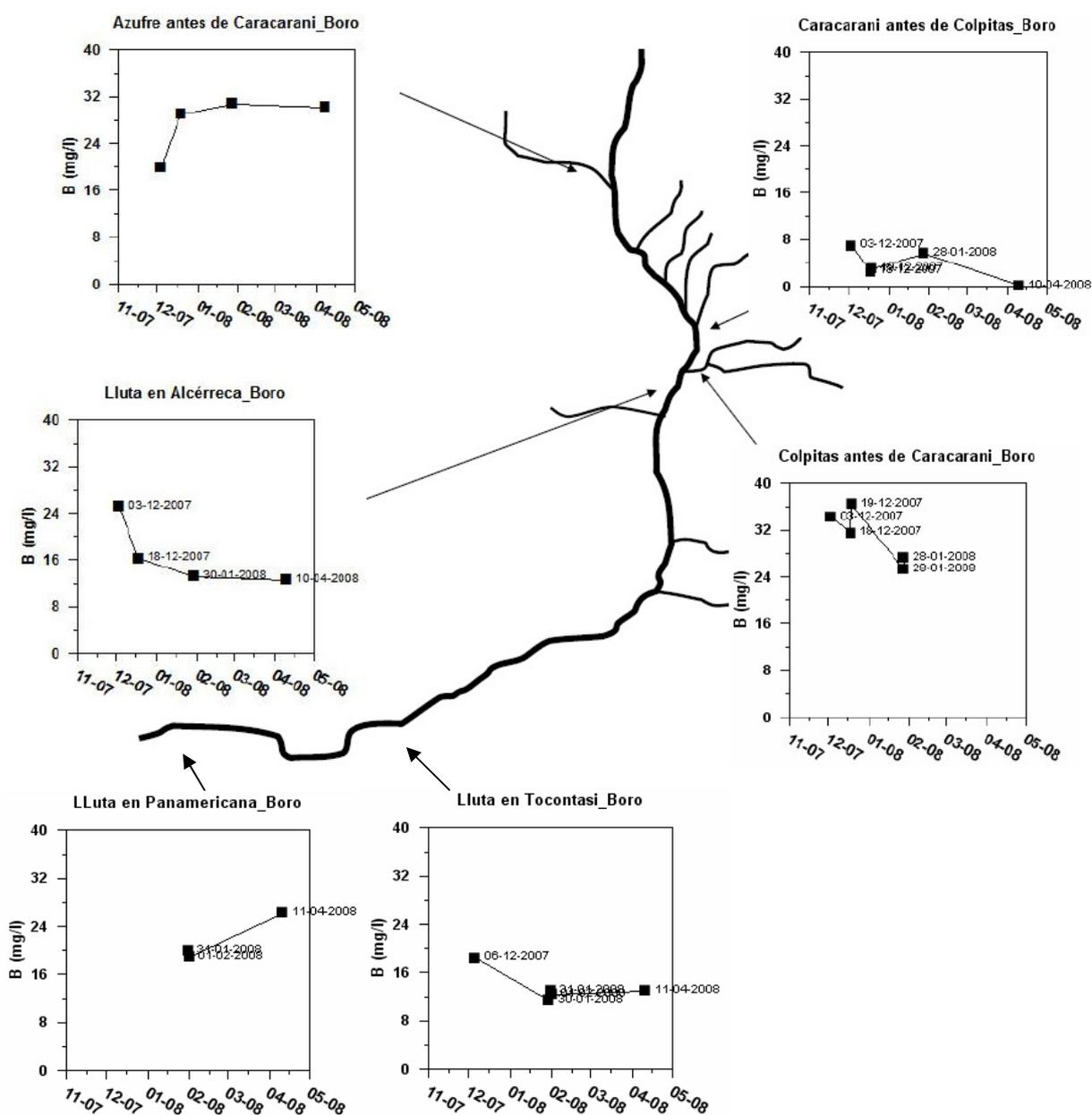


Figura V-26. Mediciones de boro reportadas por este estudio.

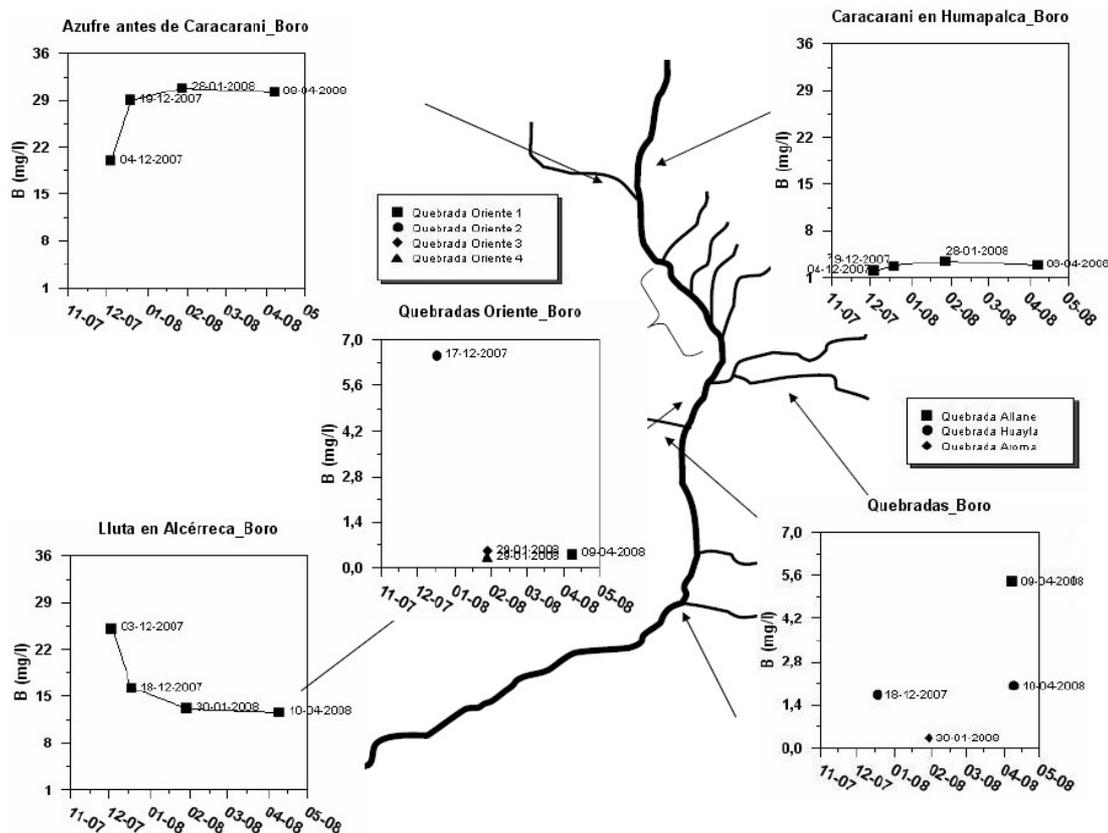


Figura V-27. Mediciones de boro reportadas por este estudio, continuación.

La Figura V-27 ver la variación espacial de la concentración de boro en otros cursos relevantes de la cuenca. Las quebradas prácticamente no tienen este metaloide y por eso se presentan en una escala menor, mientras que Lluta en Alcérreca muestra el resultante de la mezcla entre el Colpitas, el Azufre -que presenta concentraciones considerables, del orden de 30 mg/L- y el Caracarani que no supera los 4 mg/L B.

Arsénico

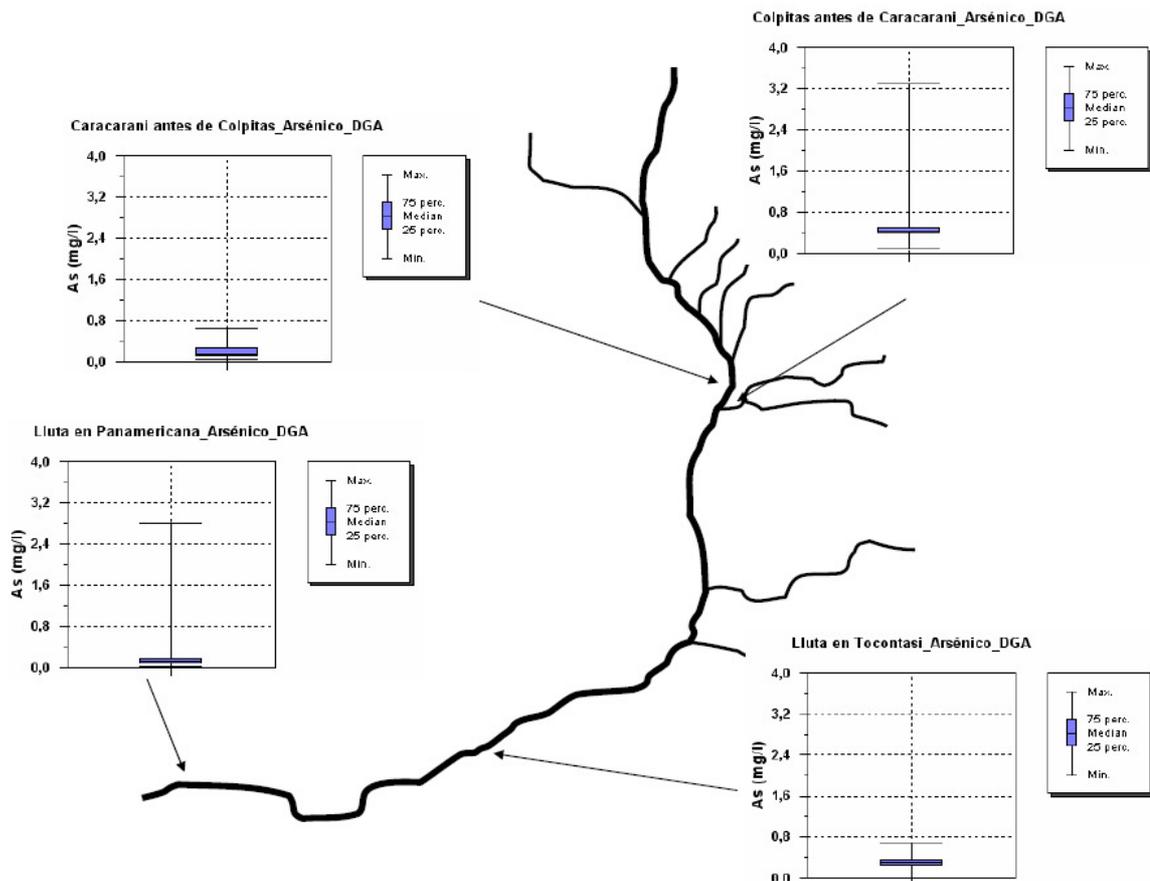


Figura V-28. Datos históricos de la DGA para la concentración de arsénico.

La Figura V-28 muestra que los datos históricos de concentración de As en la estación Caracarani antes de Colpitas presentan una tendencia más bien estable. Las mediciones de este estudio fluctuaron entre 0,009 y 0,164 mg/L As (Figura V-29). Similar es la situación en Colpitas antes de Caracarani, donde la concentración de arsénico histórica muestra poca variación, exceptuando el *peak* puntual de 3,3 mg/L (19-3-03). Las mediciones de este estudio fluctuaron entre 0,486 y 0,669 mg/L As (Figura V-29). En la estación Lluta en Tocontasi la DGA reporta que la concentración de As no varía notablemente. Consistentemente, las mediciones de este estudio fluctuaron entre 0,23 y 0,25 mg/L As total, es decir la variación fue mínima. Para Lluta en Panamericana, fuera del *peak* puntual de 2,8 mg/L (11-2-04), las mediciones de As de la DGA no presentan una dispersión considerable. El equipo consultor reportó valores entre 0,047 y 0,186 mg/L As.

En general, el arsénico total presente en la cuenca es bastante estable. No fue posible correlacionar los *peaks* de Colpitas antes de Caracarani y Lluta en Panamericana debido a las diferentes fechas en que se realizó el monitoreo de calidad. Se puede considerar que el río Azufre es la fuente principal de As, aunque el río Colpitas también presenta concentraciones considerables, del orden de 0,5 mg/L debido a que las borateras presentan concentraciones del orden de 10 mg/L As.

Cabe destacar que existen grandes diferencias en la cuenca en cuanto a la forma en que se encuentra el arsénico. Las mediciones históricas de la DGA consideran arsénico total,

mientras que las de este estudio consideran tanto el arsénico total como mediciones de la fracción disuelta, la cual puede ser proporcionalmente importante como en el caso de los ríos Azufre, Caracarani y Colpitas. La mayor parte del arsénico en el río Lluta, con pHs más básicos, se encuentra asociado a partículas, y por este motivo probablemente el *peak* de 2,8 mg/L -que se encuentra asociado a una crecida de 28,3 m³/s- podría explicarse por el arrastre y resuspensión de sedimentos arsenicados del lecho del río. Además, el arsénico puede volver a la fase acuosa si hay descensos en el pH, debido a la solubilización de los oxihidróxidos de hierro en estas condiciones y por tanto la liberación del arsénico al agua. Una explicación más detallada de este fenómeno se presenta en la sección VIII-1.

La Figura V-29 resume las mediciones reportadas por el equipo consultor para las concentraciones totales de arsénico, las que corroboran los aportes principales de arsénico provenientes de los ríos Azufre y Colpitas.

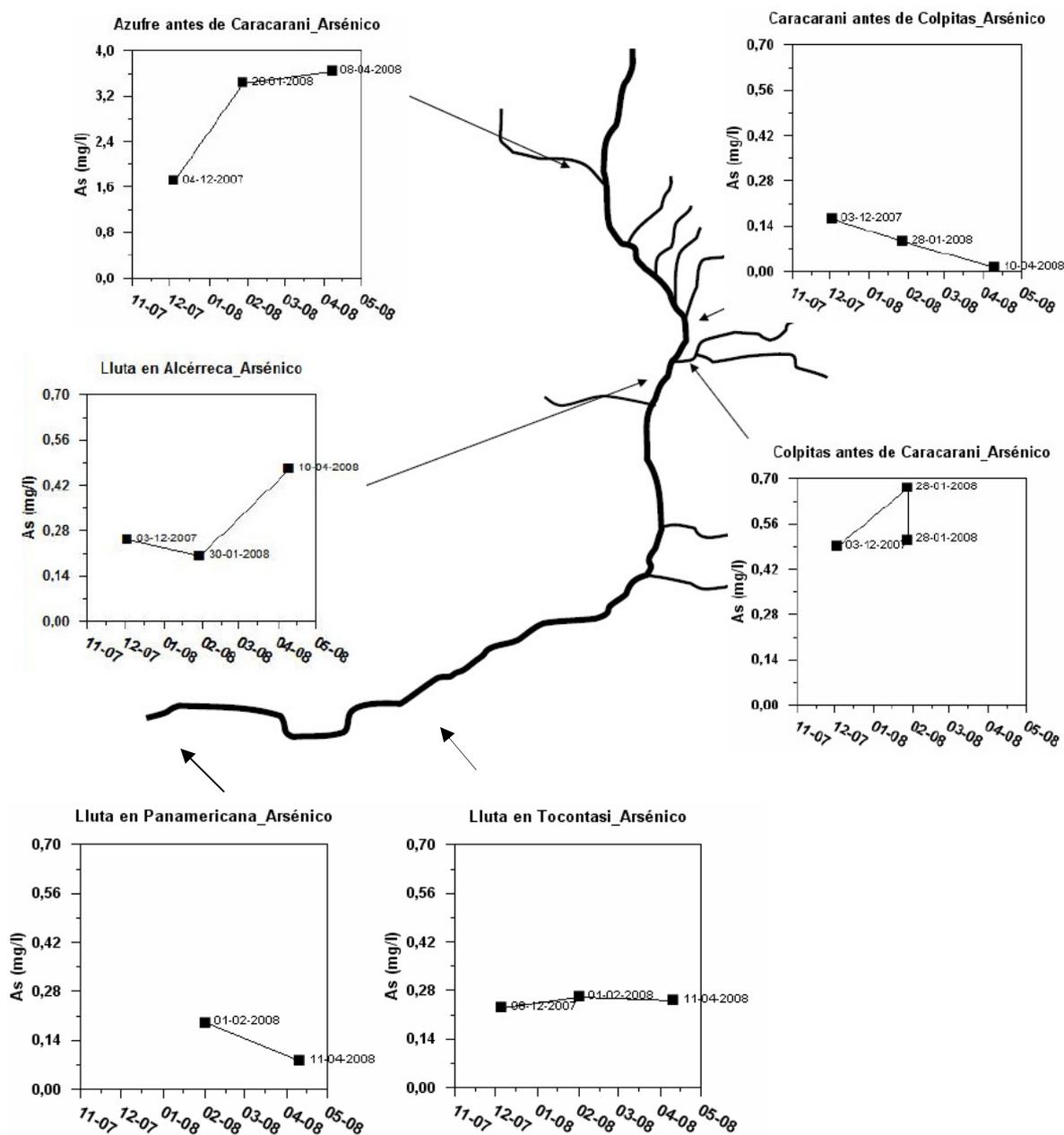


Figura V-29. Mediciones de arsénico total reportadas por este estudio.

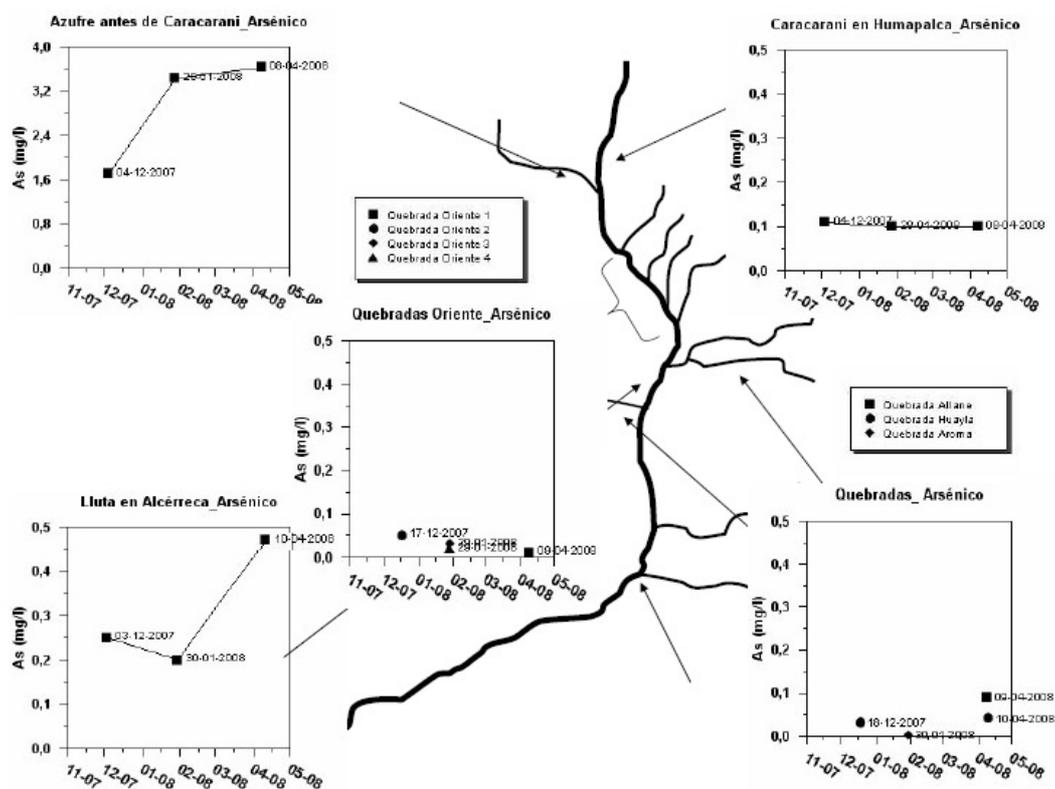


Figura V-30. Mediciones de arsénico total (mg/L) reportadas por este estudio, continuación.

La Figura V-30 muestra claramente que el río Azufre es la principal fuente de As. Caracarani en Humapalca es prácticamente constante, en torno a los 0,1 mg/L As, mientras que aguas abajo, Lluta en Alcérreca refleja en cierto grado la dependencia del río Azufre: cuando la concentración de Azufre es mayor, la de Alcérreca también lo es. Las quebradas no superan los 0,05 mg/L, es decir un orden de magnitud menor al Lluta y Caracarani, y 2 órdenes de magnitud menor que el Azufre.

Fierro

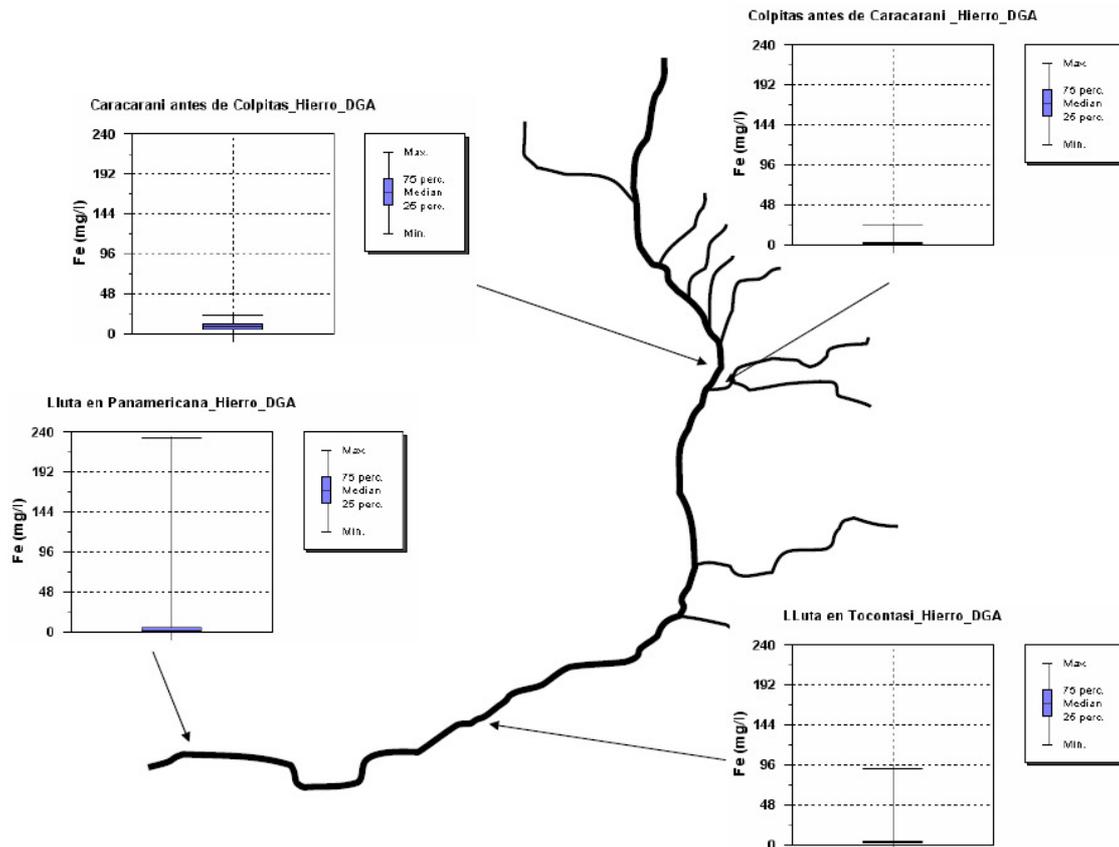


Figura V-31. Datos históricos de la DGA para la concentración de hierro.

La Figura V-31 muestra que históricamente las concentraciones de hierro en Caracarani antes de Colpitas presentan poca variabilidad. Los valores reportados por este estudio fluctuaron entre 2 y 8,8 mg/L Fe. Mientras, para Colpitas antes de Caracarani este estudio reportó valores entre 0,05 y 0,4 mg/L Fe (Figura V-31). Este río es el que reporta las menores concentraciones histórica de Fe dentro de las estaciones de monitoreo de la DGA. Además, estos valores son bastante estables. En la estación Lluta en Tocontasi los valores reportados por este estudio fluctuaron entre 3,4 y 13,4 mg/L. El máximo de 91,6 mg/L (11-2-04) se escapa de la tendencia histórica de tener poca variabilidad para la concentración total de Fe. Finalmente para Lluta en Panamericana este estudio reportó valores entre 0,76 y 8,1 mg/L Fe. No existe mucha variación para este parámetro, fuera del *peak* puntual de 232 mg/L reportado en la misma fecha del *peak* de As (11-2-04).

Las mediciones históricas validan la correlación entre la concentraciones totales de Fe y As: los máximos coinciden en la crecida del 11-2-04, además el pH reportado de 5,7 (bastante más ácido que el 8,1 y 7,2 reportado antes y después de dicha fecha, respectivamente). Probablemente la crecida causó la acidificación de río, además de la resuspensión de sedimentos y/o partículas de oxihidróxidos de hierro y la consiguiente liberación de hierro y arsénico a la fase acuosa debido a la disminución de pH.

La Figura V-32 muestra la distribución espacial de las mediciones de hierro realizadas por el equipo consultor. El río Azufre es el mayor aporte de este metal a los cursos aguas

abajo, con concentraciones del orden de 100 mg/L. Por otro lado, el río Colpitas antes de Caracarani es el que presenta las concentraciones más bajas, no superando los 0,4 mg Fe/L.

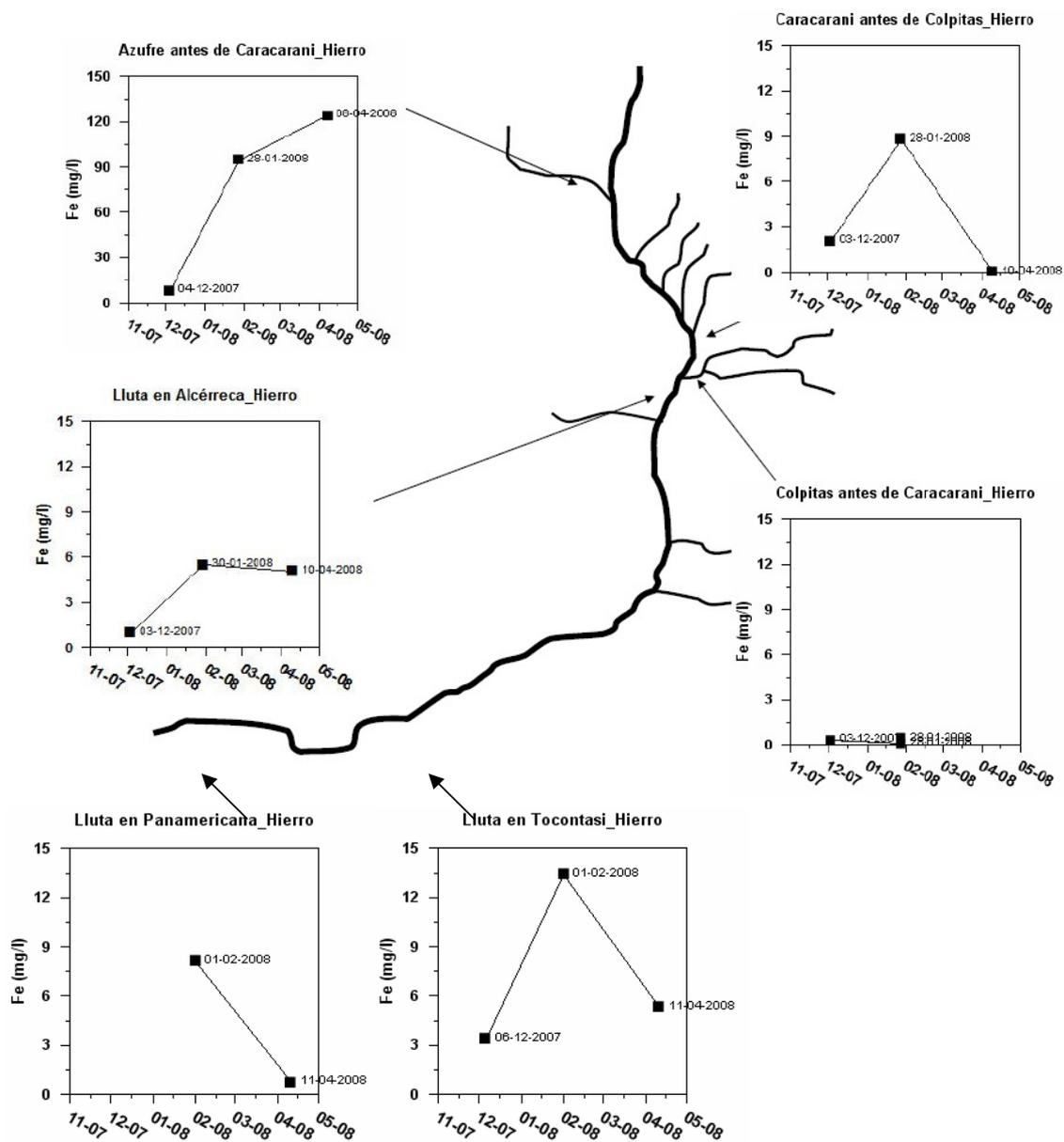


Figura V-32. Mediciones de hierro total reportadas por este estudio.

Para la información de calidad del agua de la DGA y los caudales correspondientes a la fecha del muestreo para las estaciones Colpitas antes de Caracarani (entre 1980 y 2007) y Lluta en Panamericana (entre 1983 y 2007), se presenta un análisis por período estacional que considera el caudal. También se realizó el análisis para las otras 2 estaciones aunque no se cuente con dicho dato (Figura V-33 y Figura V-34).

El comportamiento de los parámetros químicos presenta algunas variaciones estacionales. En general estas variaciones se pueden dividir en dos períodos principales, el verano (invierno boliviano) y el resto del año. Estas variaciones son diferentes dependiendo del parámetro que se analice. Es así como el arsénico presenta valores máximos durante los meses de verano. Esto es especialmente notorio en la estación de Colpitas antes de Caracarani. Si el análisis se hace con flujos máxicos, el aumento en los meses de verano es evidente.

La concentración de boro tiene un comportamiento mucho más estable a lo largo del año. Sin embargo, en términos de flujo máxico se ve un aumento claro en los meses de verano. Este aumento es mayor en la estación de Lluta en Panamericana, indicando un aporte de boro al agua del río. Esto podría estar asociado a aportes de aguas subterráneas que comienzan a aflorar en los últimos kilómetros del río.

El pH no tiene variaciones estacionales muy importantes, aunque las diferencias entre estaciones de monitoreo son significativas y muy consistentes en el tiempo.

Por último, la conductividad presenta valores siempre muy altos en las cuatro estaciones con información. La estación Lluta en Panamericana tiene un aumento para el invierno y primavera.

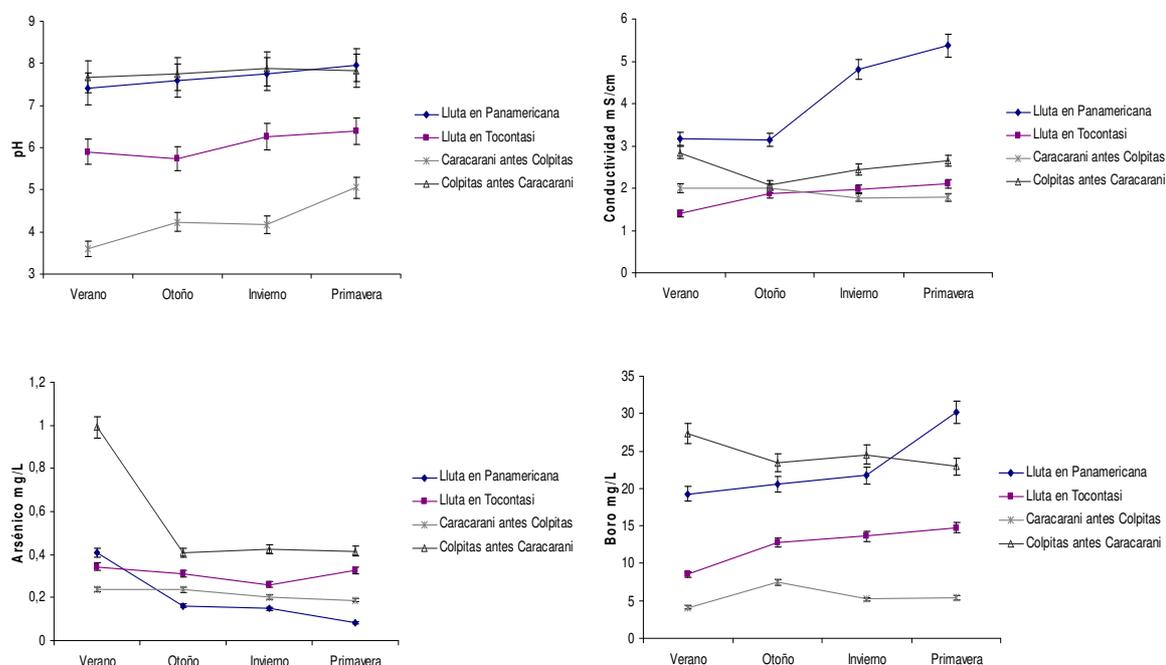


Figura V-33. Variación estacional de pH, conductividad, concentración de boro y arsénico en cuatro estaciones de monitoreo de calidad del agua.

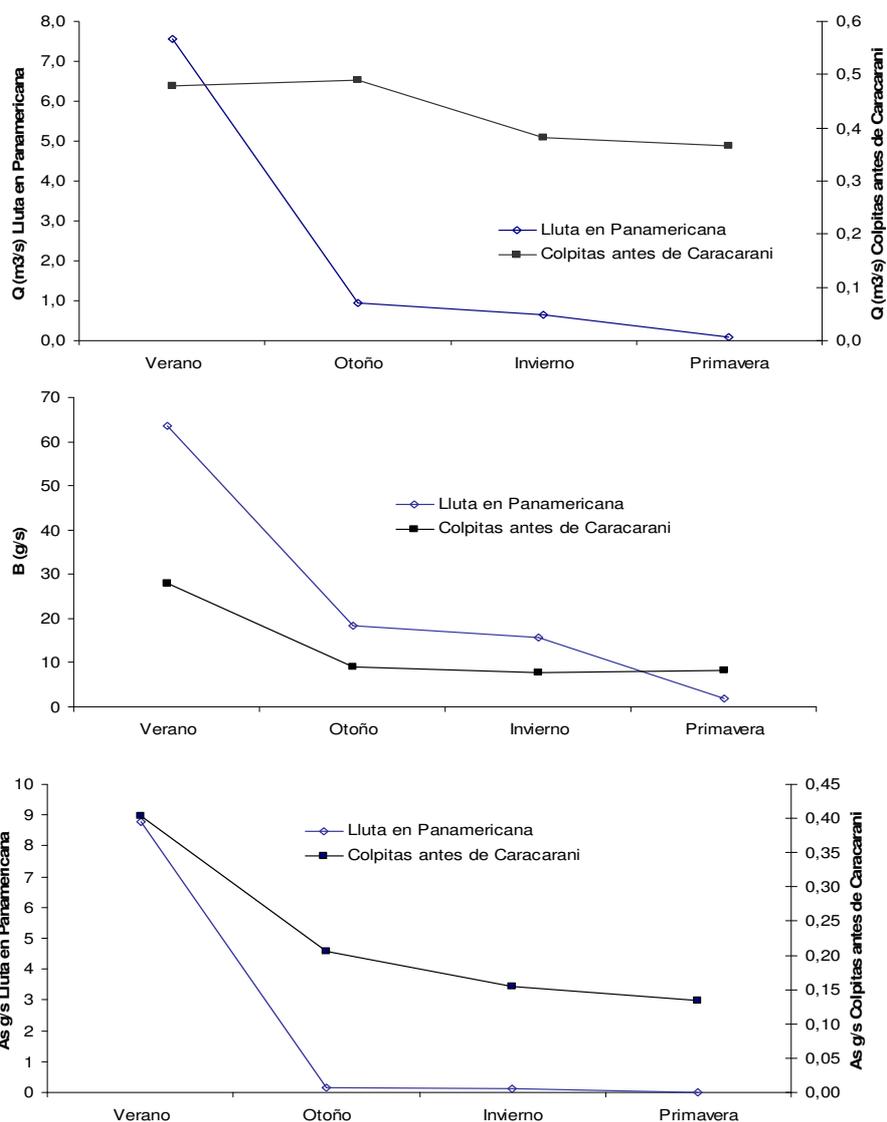


Figura V-34. Caudales promedio y flujos máxicos de boro y arsénico para las estaciones de Luta en Panamericana y Colpitas antes de Caracarani.

La información de calidad del agua recopilada ha sido utilizada para la propuesta de objetivos de calidad, como se explicó en la metodología.

VI. Definición de tramos y usos del agua

La metodología empleada en este estudio para proponer los objetivos de calidad del agua en la cuenca del río Luta se resume en la Figura VI-1.

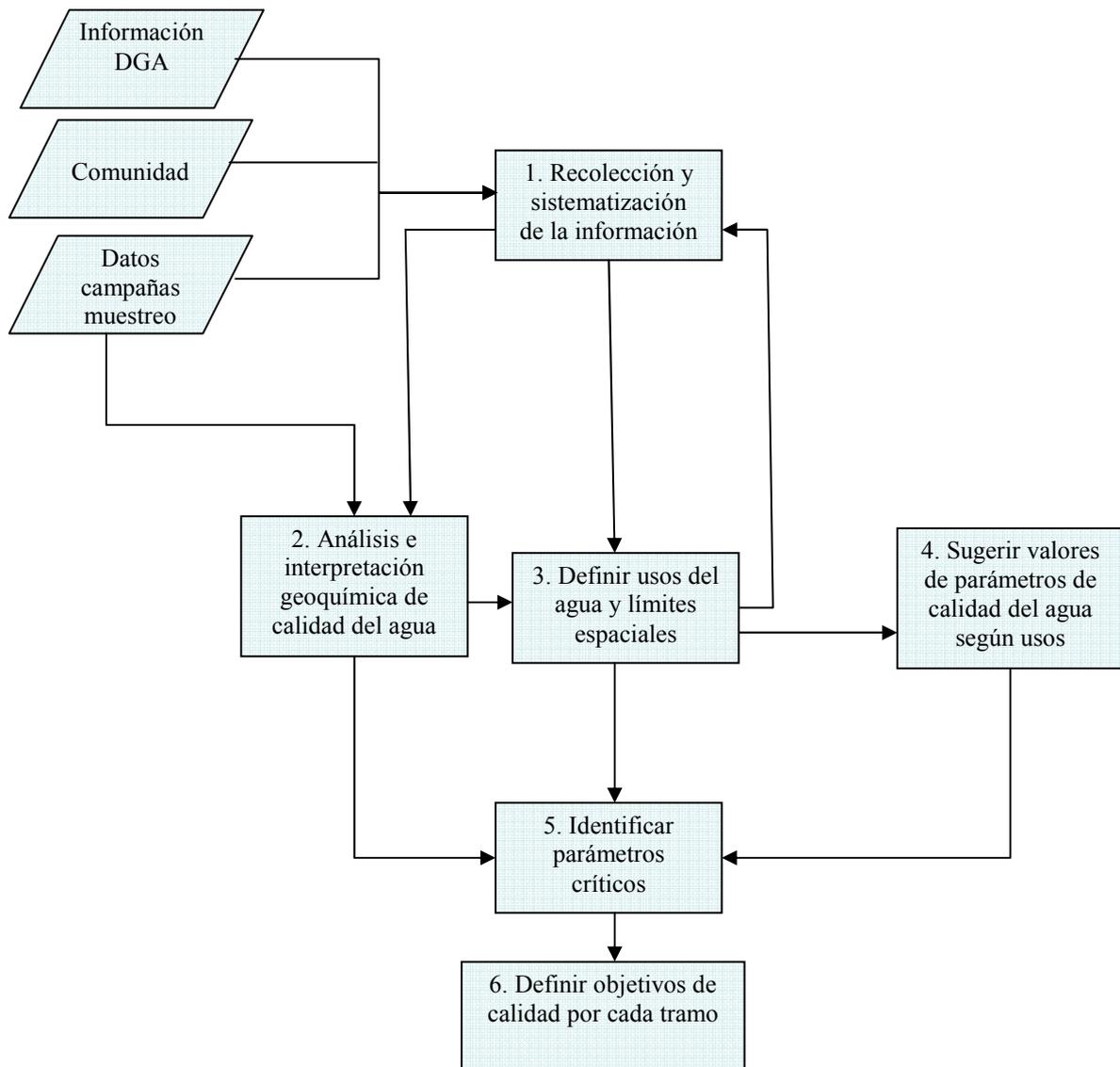


Figura VI-1. Metodología para la propuesta de objetivos de calidad.

La estrategia general consistió en dividir el trabajo en los siguientes pasos:

1. **Recolección y sistematización de la información**, utilizando la información de calidad del agua de la DGA, entrevistas con la comunidad de manera de conocer preocupaciones específicas, información recolectada en visitas a terreno, etc.
2. El **análisis y la interpretación geoquímica de la calidad del agua** se realizó mediante la integración de la información disponible con modelos geoquímicos que permiten explicar el comportamiento de diferentes especies en el agua.
3. Mediante la información de terreno y los datos de calidad del agua se pudieron **definir los usos del agua en diferentes secciones del río**. Dependiendo de las condiciones, los usos posibles son: consumo humano (con procesos de potabilización), protección de la vida acuática, recreación y agricultura.

Es importante destacar la relación entre los puntos 1, 2, 3 y 5. El análisis de la geoquímica del agua (punto 2) permite visualizar aquellos parámetros que tienen mayor influencia en la calidad del agua y que podrían considerarse como parámetros críticos (punto 5). Asimismo, si se requiere más información y análisis que permita una caracterización más acabada de la cuenca, es posible volver al punto 1 y por lo tanto al punto 2. Esto podría influir en la definición de los usos del agua según la calidad (punto 3), generándose de esta forma un ciclo o *loop* entre los puntos 1, 2 y 3.

4. Conocidos los usos del agua, se procedió a **sugerir parámetros de calidad del agua** y valores que son relevantes para esos usos. La intención de esta etapa fue determinar cuáles son los valores de calidad del agua que permiten que se mantenga el uso que se ha asignado. En general, los parámetros de relevancia se pueden dividir entre los que tienen efectos tóxicos directos en organismos y animales y los que afectan indirectamente el ecosistema, causando problemas para algunos usos específicos. Se puede incluir aquí también parámetros físicos o químicos que pueden cambiar indirectamente la toxicidad de otro contaminante. La determinación de los valores para estos parámetros requiere de un análisis toxicológico y de análisis de riesgo que está fuera del alcance de este estudio. Muchos de estos estudios han sido realizados en otros países y los valores recomendados provienen de estudios de la US-EPA (United States Environmental Protection Agency, 2006), OMS (Organización Mundial de la Salud, 2006) y del Natural Resource Management Ministerial Council de Australia (Australian Government. Natural Resource Management Ministerial Council, 2000).

Este punto, como lo muestra la Figura II-1, está más bien fuera del ciclo que conforman los puntos 1, 2, y 3; debido a que las recomendaciones internacionales consideran el uso del agua independientemente de la calidad natural de ésta. Es por esto que es necesario integrar la situación actual de la cuenca con los parámetros relevantes propuestos para definir la calidad objetivo por tramo.

5. Utilizando el análisis geoquímico y los usos del agua en diferentes secciones se pudo **identificar los parámetros críticos**. Los parámetros críticos se seleccionaron principalmente por 2 motivos: (i) tienen relevancia en los procesos físicos, químicos o biológicos que intervienen en la especiación de compuestos en el agua, y (ii) el valor de la concentración que poseen en el cuerpo de agua se encuentra entre el 80% o superior al valor de referencia de calidad del agua. Estos parámetros tienen riesgo de ser superados, por lo que es conveniente analizarlos con más detención.
6. Con la información de la calidad del agua de la cuenca y la influencia de los parámetros críticos se definieron los **objetivos de calidad para los diferentes tramos**. Esta definición puede hacer variar los valores sugeridos en el punto 4 dependiendo de condiciones locales. Estos objetivos serán específicos para un sector. Puede considerarse adicionalmente los usos que se haga del recurso aguas abajo de manera de protegerlo.

Los puntos 1 y 2 de la metodología fueron presentados en el informe 2. Los puntos 3, 4, 5 y 6 se mostraron en el informe 3. Este informe resume e integra los principales aspectos presentados en los informes parciales.

Para la definición de tramos se consideraron 2 factores principales:

- Calidad del agua: Se consideraron en tramos distintos aquellos cursos de agua que tuviesen calidad sustancialmente distinta.
- Disponibilidad de información: Las estaciones de monitoreo de calidad de agua de la DGA se consideraron como límite en los tramos del río Lluta.

De acuerdo a estos factores y considerando la división de los cursos superficiales principales de la cuenca del río Lluta, fue posible definir los tramos que se presentan en la Tabla VI-1.

Tabla VI-1. Segmentación de los cursos de agua de la cuenca del río Lluta.

Principales ríos cuenca Lluta		Límites de los tramos	
Curso	ID Tramo	Inicio	Fin
Río Caracarani	CARAC-1	Nacimiento	Junta río Azufre
Río Caracarani	CARAC-2	Junta Río Azufre	Junta río Colpitas
Río Azufre	AZU-1	Nacimiento	Junta río Caracarani
Río Colpitas	COLP-1	Nacimiento Q.Colpitas	Junta río Caracarani
Río Lluta	LLUTA-1	Lluta en Alcérreca	Junta Quebrada Aroma
Río Lluta	LLUTA-2	Junta Quebrada Aroma	Lluta en Tocontasi
Río Lluta	LLUTA-3	Lluta en Tocontasi	Lluta en Panamericana
Río Lluta	LLUTA-4	Lluta en Panamericana	Desembocadura
Otros afluentes cuenca Lluta		Límites de los tramos	
Curso	ID Tramo	Inicio	Fin
Quebrada Oriente 1	QORIEN1-1	Nacimiento	Junta río Caracarani
Quebrada Oriente 2	QORIEN2-1	Nacimiento	Junta río Caracarani
Quebrada Oriente 3	QORIEN3-1	Nacimiento	Junta río Caracarani
Quebrada Oriente 4	QORIEN4-1	Nacimiento	Junta río Caracarani
Quebrada Huayla	HUAYLA-1	Nacimiento	Junta río Lluta
Quebrada Aroma	AROMA-1	Nacimiento	Junta río Lluta
Quebrada Allane	ALLANE-1	Nacimiento	Junta río Colpitas

La calidad del agua de cada tramo corresponde a la de un punto de monitoreo representativo, de aquí en adelante denominado “estación”. En el caso de los tramos del río Lluta y de CARAC-1, CARAC-2 y COLP-1, las estaciones coinciden con estaciones de monitoreo de calidad de la DGA. Para el resto de los tramos, las estaciones corresponden a puntos de muestreo escogidos estratégicamente por el equipo consultor. La Tabla VI-2 detalla el nombre de la estación asociada a cada tramo y su ubicación geográfica.

Tabla VI-2. Estaciones o puntos de muestreo representativos de cada tramo de la cuenca del río Lluta.

ID Tramo	Estación	UTM E	UTM N*
CARAC-1	Caracarani en Humapalca	425335	8027896
CARAC-2	Caracarani antes de Colpitas	433484	8010637
AZU-1	Azufre antes de Caracarani	425223	8027928
COLP-1	Colpitas antes de Caracarani	433775	8010581
LLUTA-1	Lluta en Alcérreca	433233	8009651
LLUTA-2	Lluta en Tocontasi	403421	7968653
LLUTA-3	Lluta en Panamericana	363270	7965503
LLUTA-4	Lluta en Panamericana	363270	7965503
QORIEN1-1	Quebrada Oriente 1	430518	8022913
QORIEN2-1	Quebrada Oriente 2	432259	8021499
QORIEN3-1	Quebrada Oriente 3	434566	8021893
QORIEN4-1	Quebrada Oriente 4	436862	8018415
HUAYLA-1	Quebrada Huayla	431522	8004799
AROMA-1	Quebrada Aroma	437508	7980848
ALLANE-1	Quebrada Allane	449850	8012010

*Datum PSAD 1956 UTM 19 S.

En el caso particular de los tramos LLUTA-3 y LLUTA-4, se consideró como representativa de ambos tramos la estación Lluta en Panamericana.

Las figuras presentadas a continuación permiten visualizar los distintos tramos en los que se dividió la cuenca del río Lluta. La Figura VI-2 hace referencia a los afluentes principales y a los tramos propios del río Lluta, mientras que la Figura VI-3 muestra aquellas quebradas que difieren en términos de calidad del agua con el resto de los tramos.

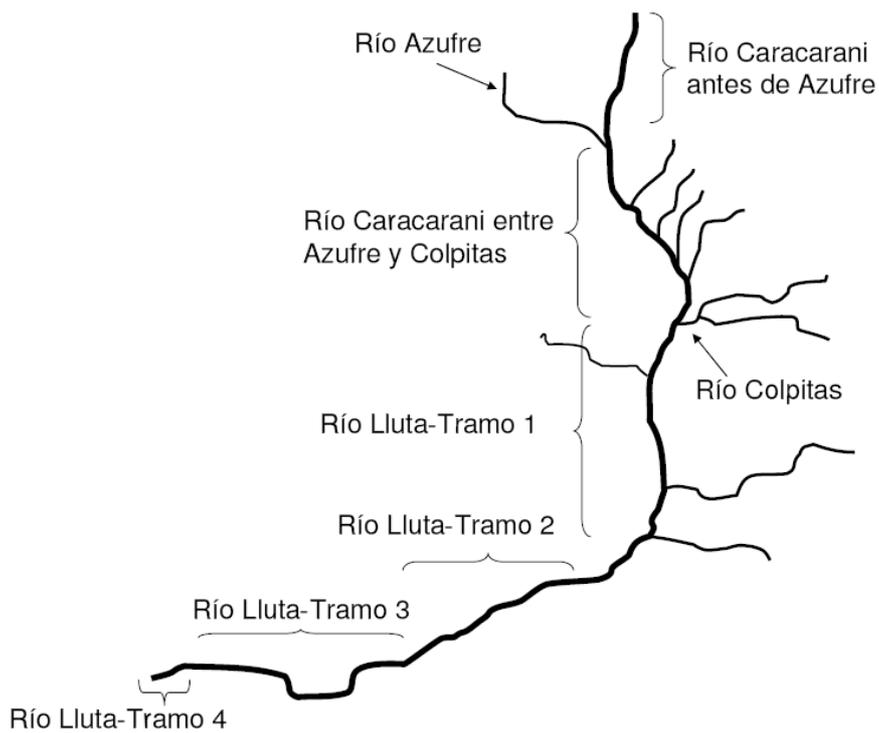


Figura VI-2. Principales cursos de agua de la cuenca y su segmentación en tramos.

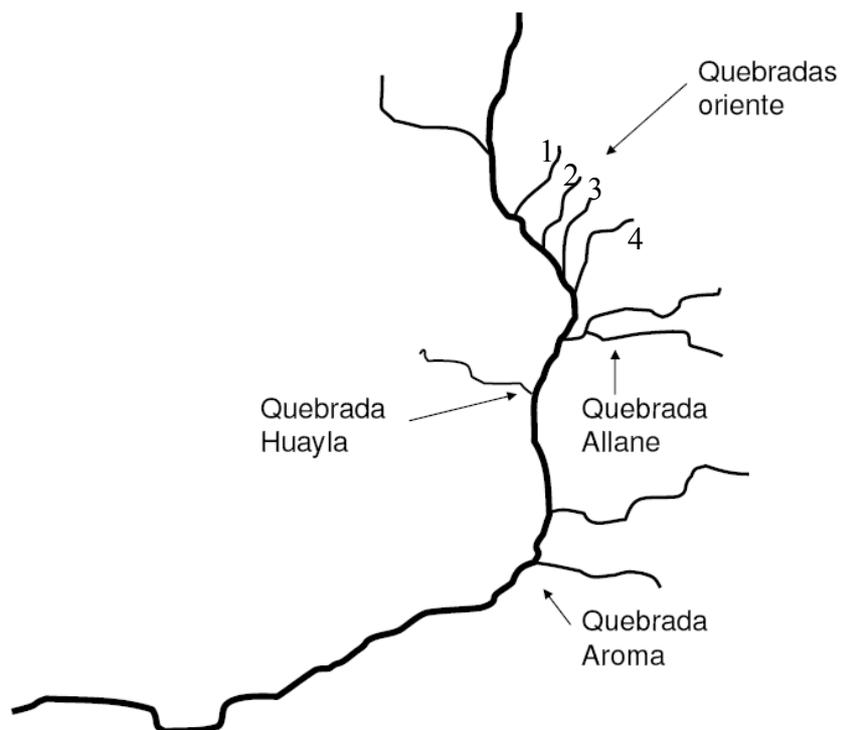


Figura VI-3. Quebradas afluentes al río Lluta con distinta calidad.

Una vez definidos los tramos en los que se dividió la cuenca del río Lluta, se asignaron a ellos los posibles usos de sus aguas.

Los usos posibles en esta cuenca pueden ser:

- Suministro para agua potable: incluye aguas que son fuente para sistemas de agua potable, como por ejemplo Agua Potable Rural (APR), empresas sanitarias, poblados. El agua puede requerir un tratamiento de potabilización antes del suministro a la población.
- Protección de vida acuática y ecosistemas.
- Agricultura: incluye aguas que son adecuadas para el riego de cultivos, consumo de animales, mantienen vegetación para alimentación de animales, etc.

Según la información recopilada y lo observado en terreno, los principales usos actuales del agua corresponden a uso agrícola y uso de agua potable. No existen zonas de recreación o pesca deportiva.

El uso agrícola corresponde principalmente a riego, agricultura y pastoreo de animales. En el valle del Lluta, se observaron cultivos desde la zona de Molinos hasta la Panamericana y en las localidades de Socoroma y Putre. Entre los cultivos que se pueden mencionar el maíz, el tomate y distintos tipos de frutas y verduras. Pastoreo de animales -por ejemplo llamas y alpacas- pudo visualizarse en las zonas de las quebradas Oriente 3 y 4, aunque también en algunas zonas de las quebradas de Socoroma y Putre. Además de estos usos típicamente agrícola-ganaderos, se ha reportado uso de aguas para acuicultura. De acuerdo a la información entregada por el SERNATUR (SERNATUR, 2008) en el pueblo de Colpitas se cultivan truchas en piscinas implementadas por la comunidad Aymara residente en el pueblo.

Con respecto al uso de agua para consumo humano, en la cuenca del río Lluta existen dos sistemas de Agua Potable Rural (APR), que abastecen a las localidades de Putre y Poconchile. La Tabla VI-3 muestra una breve descripción de ellas. La información fue proporcionada por la DOH de la región.

Tabla VI-3. Características de los sistemas APR de la cuenca del Lluta.

Sistema APR	Localidad abastecida	Responsable operación	Población beneficiaria	Nº de arranques	Tratamiento	Año inicio operación
Putre	Putre	Comité APR Putre	1.540	271	Cloración	1983
Lluta	Poconchile-Linderos-Sta Rosa-Chacabuco-El Morro-Jordán-Porvenir-Valle Hermoso-Beneficencia	Comité APR Lluta	2.190	468	Cloración	1998

Para estas fuentes, se cuenta con información de los años 2006 y 2007 proporcionada por el SEREMI de Salud; además de las realizadas por este estudio. Con respecto al APR de Putre, se pudo comprobar mediante este estudio la buena calidad de esta fuente. Se reportó 0,5 mg/L de boro, conductividad inferior a 100 μ S y concentraciones de arsénico inferiores

a 0,04 mg/L. Una situación diferente se pudo apreciar en el APR de Poconchile, donde se reportó una concentración de boro de 14,5 mg/L, resultando la calidad de esta fuente bastante similar a la del agua de río Lluta, de hecho para el muestreo del 2007 no cumplió con la NCh 409.

Considerando los usos actuales y la calidad del agua actual e histórica de las aguas de la cuenca, se definieron los usos posibles para los tramos de la cuenca. Esta clasificación se muestra en la Tabla VI-4.

Tabla VI-4. Principales usos de los tramos propuestos de la cuenca del río Lluta.

Principales ríos cuenca Lluta		
Curso	ID Tramo	Uso del agua
Río Caracarani	CARAC-1	Potabilización-protección vida acuática
Río Caracarani	CARAC-2	Mantención ecosistema natural
Río Azufre	AZU-1	Mantención ecosistema natural
Río Colpitas	COLP-1	Mantención ecosistema natural
Río Lluta	LLUTA-1	Agricultura
Río Lluta	LLUTA-2	Agricultura
Río Lluta	LLUTA-3	Agricultura
Río Lluta	LLUTA-4	Agricultura
Otros afluentes cuenca Lluta		
Curso	ID Tramo	
Quebrada Oriente 1	QORIEN1-1	Potabilización-protección vida acuática
Quebrada Oriente 2	QORIEN2-1	Potabilización-protección vida acuática
Quebrada Oriente 3	QORIEN3-1	Potabilización-protección vida acuática
Quebrada Oriente 4	QORIEN4-1	Potabilización-protección vida acuática
Quebrada Huayla	HUAYLA-1	Potabilización-protección vida acuática
Quebrada Aroma	AROMA-1	Potabilización-protección vida acuática
Quebrada Allane	ALLANE-1	Potabilización-protección vida acuática

VII. Propuesta de objetivos de calidad por tramo

Esta etapa consideró contrastar valores recomendados de parámetros relevantes de calidad de agua para cada uso específico con la información particular de cada tramo de la cuenca. Estos valores máximos sugeridos se presentan en la Tabla VII-1 y fueron definidos mediante recomendaciones de estándares internacionales según el uso del agua (United Status Environmental Protection Agency, 2006; Organización Mundial de la Salud, 2006; Natural Resource Management Ministerial Council, Australian Government, 2000). De esta forma, factores específicos y locales influyeron para modificar el valor máximo recomendado para cada parámetro. En este sentido, información como calidad natural base y factores químicos o de calidad del agua que influyen sobre otros parámetros, fueron considerados para definir la calidad objetivo correspondiente.

Tabla VII-1. Valores de parámetros relevantes recomendados según uso del agua.

Parámetro	unidad	Recomendación según uso	
		Agricultura	Potabilización/Protección de vida acuática
pH	-	entre 5,5 y 9	entre 6,5 y 8,5
Conductividad	µS/cm	-	750
Sólidos suspendidos	mg/L	-	30
Oxígeno disuelto	mg/L	-	>7,5
DBO ₅	mg/L	<10	<5
Boro	mg/L	0,75	0,5
Hierro	mg/L	5	-
Manganeso	mg/L	0,2	1,9
Cloruro	mg/L	200	-
Sulfato	mg/L	500	-
Arsénico	mg/L	0,1	0,05
Cadmio	mg/L	0,01	0,002
Cromo	mg/L	0,1	0,01
Cobre	mg/L	0,2	0,009
Plomo	mg/L	2	0,0025
Zinc	mg/L	2	0,12
Fluoruro	mg/L	1,5	-
Aluminio	mg/L	5	0,09
Níquel	mg/L	0,2	0,052
Mercurio	mg/L	0,002	0,00077
Selenio	mg/L	0,02	0,005
Plata	mg/L	-	0,0032
Molibdeno	mg/L	0,01	0,01
Cianuro	mg/L	-	0,0052
Cobalto	mg/L	0,05	-
Berilio	mg/L	0,1	-
Litio	mg/L	2,5	-

Las Tablas a partir de la Tabla VII-2 hasta la Tabla VII-5 muestran los objetivos de calidad propuestos por uso del agua, agrupados según tramo de la cuenca. Para cada caso, la calidad objetivo puede corresponder a 3 casos que se indican con distinto color:

- Caso 1: Valor máximo reportado por el equipo consultor, marcado con color amarillo.
- Caso 2: Percentil 75 de las mediciones históricas de la DGA, denotado con color verde.
- Caso 3: Recomendación según uso, valores de Tabla VII-1, fondo sin color.

En el caso en que se cuente con información de la estación de monitoreo asociada al tramo respectivo, se compara entre los valores del caso 1, 2 y 3 y se escoge el máximo entre ellos, con el fin de representar lo que ha ocurrido alguna vez naturalmente en la cuenca. En el caso de los tramos sin esta información, se compara entre el caso 1 y el caso 3.

Por lo tanto, el código de colores de la Tabla VII-2 hasta la Tabla VII-5 es el siguiente:

	Máximos reportados por este estudio
	Percentil 75 mediciones DGA
	Recomendación según uso, valores de Tabla VII-1

En el caso en que se cuente con información de la estación de monitoreo asociada al tramo respectivo, se compara entre los valores del caso 1, 2 y 3 y se escoge el máximo entre ellos, con el fin de representar lo que ha ocurrido alguna vez naturalmente en la cuenca. En el caso de los tramos sin esta información, se compara entre el caso 1 y el caso 3.

Valores representados con (-) en estas tablas indican que los parámetros no han sido medidos, que se superó el umbral de detección de los métodos y/o que no existen valores recomendados para ese parámetro según el uso (ya que no se encuentran definidos los rangos que podrían ser dañinos para la salud o tóxicos para otras especies).

En el caso del pH, es necesario establecer el límite inferior (pH mínimo), por lo que se selecciona el menor valor entre los mínimos medidos por el equipo consultor, las mediciones históricas de la DGA y valores mínimos recomendados en la Tabla VII-1. Lo mismo ocurre con el oxígeno disuelto, para el cual sólo se sugiere un valor mínimo debido a que no se puede considerar como un contaminante.

Aunque los valores recomendados en estas tablas consideran el comportamiento histórico de los parámetros de calidad relevantes puesto que consideran el percentil 75 de las mediciones registradas por la DGA en sus monitoreo rutinarios, preliminarmente éstos no podrían considerarse del todo representativos, puesto que no tienen una distribución homogénea en el tiempo. Por ejemplo, en el caso particular del boro, las mediciones fluctúan entre 1 vez al año para Lluta en Tocontasi en febrero año 1987, hasta 4 veces durante el año 1986 en Lluta de Panamericana (febrero, marzo, mayo y noviembre). Además, los muestreos de las distintas estaciones no siempre coinciden en las fechas en que se efectuaron: en algunos casos el muestreo no se realizó para cierta estación, o bien se realizó con diferencias entre 2 y 7 días. Esto se explica por las distancias entre los tramos y la dificultad para acceder a los distintos afluentes de la cuenca, lo que dificulta un muestreo simultáneo. Tampoco se cuenta con la medición de caudal correspondiente a la fecha del muestreo para todas las estaciones de calidad, por lo que no se pudo estimar los flujos máxicos para todos los cursos, sólo para Colpitas antes de Caracarani y Lluta en Panamericana. De todas maneras y como se presentó anteriormente, la información entregada permite observar tendencias generales como la influencia de la concentración de boro en Colpitas antes de Caracarani en las concentraciones reportadas aguas abajo, en Lluta en Tocontasi y Lluta en Panamericana.

Los valores de los parámetros de calidad objetivo deben ser utilizados como una guía para determinar el cumplimiento de la norma. En este sentido, los valores sugeridos en este estudio son una primera aproximación, pero deben ser refinados en el tiempo considerando fundamentalmente tres criterios:

- i) Científico-técnico en base a la información histórica del lugar y procesos que ocurren en la cuenca.
- ii) Sociales, considerando la opinión y necesidades de la comunidad que usa el agua.
- iii) Económicos, en que se evalúa el costo-beneficio del valor del parámetro seleccionado.

Con respecto al primer criterio, es fundamental aumentar la cantidad y confiabilidad de los datos de calidad del agua existentes en la cuenca, en particular en lugares donde hasta el momento no se han realizado muestreos permanentes. Existen recomendaciones internacionales de la frecuencia y forma de considerar los datos para recomendar parámetros objetivo (e.g. Australian Government. Natural Resource Management Ministerial Council, 2000) que podrían utilizarse como guía para la implementación de los programas nacionales. Disponer de más datos y con mayor frecuencia ayudará a distinguir con más certeza cambios naturales en la calidad del agua y por lo tanto tomar mejores decisiones con respecto a los parámetros objetivos que se determinen.

En cuanto a los otros criterios, las autoridades locales deben considerar la posición de todos aquellos a quienes afecta la calidad del agua de los cursos superficiales de la cuenca (como los agricultores y comunidades de la zona alta de la cuenca), junto con los actuales y futuros factores socioeconómicos (por ejemplo un eventual aumento de los usuarios del agua de un río) que influyen en la fijación de la Norma Secundaria.

Tabla VII-2. Valores de parámetros relevantes recomendados para Agricultura, agrupados según tramos.

Parámetros	Unidad	LLUTA-1	LLUTA-2	LLUTA-3	LLUTA-4
		Lluta en Alcérreca	Lluta en Tocontasi	Lluta en Panamericana	Lluta en Panamericana
pH min		3,6	4	5,5	5,5
pH max		9	9	9	9
Conductividad	mS/cm	2,28	2,3	5,47	5,47
Sólidos suspendidos	mg/L	16,8	666,6	276	276
Oxígeno disuelto	mg/L	>5,11	>5,29	>6,42	>6,42
DBO ₅	mg/L	<10	<10	<10	<10
Boro	mg/L	25,1	18,41	30	30
Hierro	mg/L	5,48	13,4	8,1	8,1
Manganeso	mg/L	1,26	1,21	1,03	1,03
Cloruro	mg/L	491,7	444,6	1123,1	1123,1
Sulfato	mg/L	720	840,7	1267,7	1267,7
Arsénico	mg/L	0,47	0,35	0,186	0,186
Cadmio	mg/L	0,01	0,01	0,01	0,01
Cromo	mg/L	0,1	0,1	0,1	0,1
Cobre	mg/L	0,2	0,2	0,2	0,2
Plomo	mg/L	2	2	2	2
Zinc	mg/L	2	2	2	2
Fluoruro	mg/L	1,5	1,5	1,5	1,5
Aluminio	mg/L	24,8	26,7	8,93	8,93
Níquel	mg/L	0,2	0,2	0,2	0,2
Mercurio	mg/L	0,002	0,002	0,002	0,002
Selenio	mg/L	0,02	0,02	0,02	0,02
Plata	mg/L	-	-	-	-
Molibdeno	mg/L	0,01	0,01	0,01	0,01
Cianuro	mg/L	-	-	-	-
Cobalto	mg/L	0,05	0,05	0,05	0,05
Berilio	mg/L	0,1	0,1	0,1	0,1
Litio	mg/L	2,5	2,5	2,5	2,5

Tabla VII-3. Valores de parámetros relevantes recomendados para Potabilización agrupados según tramos.

Parámetros	Unidad	QORIEN1-1	QORIEN2-1	QORIEN3-1	QORIEN4-1
		Q. Oriente 1	Q. Oriente 2	Q. Oriente 3	Q. Oriente 4
pH min		6,5	6,5	6,5	6,5
pH max		8,5	8,5	8,53	8,63
Conductividad	mS/cm	0,75	0,75	0,75	0,75
Sólidos Suspendidos	mg/L	30	30	30	30
Oxígeno disuelto	mg/L	7,5	7,5	7,5	7,5
DBO ₅	mg/L	<5	<5	<5	<5
Boro	mg/L	0,5	6,49	0,52	0,5
Hierro	mg/L	0,07	-	0,64	0,18
Manganeso	mg/L	1,9	1,9	1,9	1,9
Cloruro	mg/L	15,5	30,2	36,6	379,4
Sulfato	mg/L	97,8	132	39,5	628,1
Arsénico	mg/L	0,05	0,051	0,05	0,05
Cadmio	mg/L	0,002	0,002	0,002	0,002
Cromo	mg/L	0,01	0,01	0,01	0,01
Cobre	mg/L	0,009	0,009	0,01	0,07
Plomo	mg/L	0,0025	0,0025	0,0025	0,0025
Zinc	mg/L	0,12	0,12	0,12	1,3
Fluoruro	mg/L	-	-	0,1	0,8
Aluminio	mg/L	0,09	0,09	0,61	0,2
Níquel	mg/L	0,052	0,052	0,052	0,052
Mercurio	mg/L	0,00077	0,00077	0,00077	0,00077
Selenio	mg/L	0,005	0,005	0,005	0,005
Plata	mg/L	0,0032	0,0032	0,0032	0,0032
Molibdeno	mg/L	0,01	0,01	0,01	0,01
Cianuro	mg/L	0,0052	0,0052	0,0052	0,0052
Cobalto	mg/L	-	-	-	-
Berilio	mg/L	-	-	-	-
Litio	mg/L	-	-	-	-

Tabla VII-4. Valores de parámetros relevantes recomendados para Potabilización agrupados según tramos (continuación).

Parámetros	Unidad	CARAC- 1	ALLANE-1	HUAYLA- 1	AROMA-1
		Caracarani en Humapalca	Q. Allane	Q. Huayla	Q. Aroma
pH min		6,5	6,5	6,5	5,57
pH max		8,8	8,51	8,5	8,5
Conductividad	mS/cm	2,2	0,75	1,1	0,867
Sólidos Suspendidos	mg/L	30	30	30	30
Oxígeno Disuelto	mg/L	7,5	11,2	7,5	7,5
DBO ₅	mg/L	<5	<5	<5	<5
Boro	mg/L	3,4	5,42	2	0,5
Hierro	mg/L	0,4	0,24	1,1	0,26
Manganeso	mg/L	1,9	1,9	1,9	1,9
Cloruro	mg/L	300	98,5	115,5	7,4
Sulfato	mg/L	569	106	280	428,1
Arsénico	mg/L	0,1	0,087	0,05	0,05
Cadmio	mg/L	0,002	0,002	0,002	0,002
Cromo	mg/L	0,01	0,01	0,01	0,01
Cobre	mg/L	0,04	0,009	0,06	0,03
Plomo	mg/L	0,037	0,0025	0,0025	0,0025
Zinc	mg/L	0,23	0,12	0,7	0,12
Fluoruro	mg/L	0,5	-	0,5	1,1
Aluminio	mg/L	1,6	0,09	0,11	2,12
Níquel	mg/L	0,052	0,052	0,052	0,052
Mercurio	mg/L	0,00077	0,00077	0,00077	0,00077
Selenio	mg/L	0,005	0,005	0,005	0,005
Plata	mg/L	0,0032	0,0032	0,0032	0,0032
Molibdeno	mg/L	0,01	0,01	0,01	0,01
Cianuro	mg/L	0,0052	0,0052	0,0052	0,0052
Cobalto	mg/L	-	-	-	-
Berilio	mg/L	-	-	-	-
Litio	mg/L	0,03	-	-	-

Tabla VII-5. Valores de parámetros relevantes recomendados para Mantenimiento del ecosistema natural, agrupados según tramos.

Parámetros	Unidad	AZU-1	CARAC-2	COLP-1
		Azufre antes de Caracarani	Caracarani antes de Colpitas	Colpitas antes de Caracarani
pH min		1,5	2,6	5,5
pH max		9	9	9
Conductividad	mS/cm	15,1	2,23	4,61
Sólidos suspendidos	mg/L	30	30	30
Oxígeno disuelto	mg/L	>7,5	>7,5	>5,5
DBO ₅	mg/L	<10	<10	<10
Boro	mg/L	30,8	6,89	36,38
Hierro	mg/L	124	11,1	5
Manganeso	mg/L	11,6	1,9	1,9
Cloruro	mg/L	3743,5	301	1043
Sulfato	mg/L	3264	768	500
Arsénico	mg/L	3,6	0,27	0,67
Cadmio	mg/L	0,127	0,01	0,01
Cromo	mg/L	0,1	0,1	0,1
Cobre	mg/L	0,2	0,2	0,2
Plomo	mg/L	2	2	2
Zinc	mg/L	13,9	2,09	2
Fluoruro	mg/L	1,5	1,5	1,5
Aluminio	mg/L	30,1	33,9	5
Níquel	mg/L	0,2	0,2	0,2
Mercurio	mg/L	0,002	0,002	0,002
Selenio	mg/L	0,02	0,02	0,02
Plata	mg/L	0,0032	0,0032	0,0032
Molibdeno	mg/L	0,01	0,01	0,01
Cianuro	mg/L	0,0052	0,0052	0,0052
Cobalto	mg/L	0,05	0,05	0,05
Berilio	mg/L	0,1	0,1	0,1
Litio	mg/L	2,5	2,5	2,5

Para el caso de los compuestos orgánicos, plaguicidas y productos secundarios de desinfección no se cuenta con ningún tipo de medición para la cuenca del río Lluta. Los valores sugeridos para uso de agua potable se obtuvieron considerando referencias internacionales (United Status Environmental Protection Agency, 2006; Organización Mundial de la Salud, 2006; Natural Resource Management Ministerial Council, Australian Government, 2000) y se presentan en la Tabla VII-6.

Tabla VII-6. Valores de compuestos orgánicos, plaguicidas y productos secundarios de desinfección, relevantes para Potabilización.

Parámetros	Descripción	Unidad	Valor Sugerido
Tetracloroetano	Orgánico	mg/L	0,04
Benceno	Orgánico	mg/L	0,01
Tolueno	Orgánico	mg/L	1,3
Xilenos	Orgánico	mg/L	0,6
Comp. Fenólicos	Orgánico	mg/L	0,3
DDT+DDD+DDE	Plaguicidas	mg/L	0,02
2,4 - D	Plaguicidas	mg/L	0,03
Lindano	Plaguicidas	mg/L	0,02
Metoxicloro	Plaguicidas	mg/L	0,3
Pentaclorofenol	Plaguicidas	mg/L	0,01
Monocloroamina	Prod. sec. desinfección	mg/L	3
Dibromoclorometano	Prod. sec. desinfección	mg/L	0,1
Bromodichlorometano	Prod. sec. desinfección	mg/L	0,06
Tribromometano	Prod. sec. desinfección	mg/L	0,1
Triclorometano	Prod. sec. desinfección	mg/L	0,2
Trihalometanos	Prod. sec. desinfección	mg/L	1

Cabe destacar que el DDT se encuentra prohibido por el Servicio Agrícola y Ganadero (Comisión Nacional del Medio Ambiente, 2004) para el uso agrícola, por lo que no debería encontrarse por causas antropogénica en los suelos cultivables.

VIII. Parámetros críticos y evaluación de cargas contaminantes

Los parámetros relevantes recomendados en el punto anterior fueron el primer paso para decidir los parámetros críticos a evaluar en el caso particular de la cuenca en estudio.

Los parámetros críticos son aquellos que tienen una especial importancia en la cuenca del río Lluta, ya que su criterio de selección se basó en dos aspectos principales:

1. Su relevancia en los procesos físicos, químicos o biológicos que intervienen en la especiación de compuestos en el agua. Los parámetros críticos de acuerdo a esta definición son: pH, alcalinidad, parámetros biológicos como DBO y DQO.
2. Se encuentran sobre el 80% del valor de referencia de la norma o sobrepasan el valor recomendado. Estos parámetros tienen riesgo de ser superados y es conveniente analizarlos con más detención. En este contexto, se requiere tener especial cuidado con aquellos parámetros específicos de la cuenca del Lluta que naturalmente tienen altas

concentraciones. Para este caso, los parámetros críticos son: boro, arsénico, fierro y conductividad.

Dentro de los parámetros recomendados en el punto VII, se seleccionaron aquellos que dados sus características y la información disponible en cuanto a su presencia, distribución y geoquímica en la cuenca, se consideraron claves al momento de proteger los cursos superficiales. Puede apreciarse que sólo la alcalinidad no está dentro de los parámetros recomendados por estándares internacionales, sin embargo el equipo consultor consideró que este parámetro tiene un importante rol si se requiere evaluar posibles cambios en la calidad del agua, especialmente en el caso de la cuenca del río Lluta.

Con el fin de considerar los efectos en la calidad del agua que puedan tener la variación de los parámetros críticos en la cuenca en estudio, a continuación se presentan dos aspectos relevantes para dicho análisis:

- Aspectos conceptuales generales

Se realiza una breve descripción conceptual de cada parámetro y de qué manera se estima su variación al considerar mezcla de cauces.

- Aspectos específicos por tramo

Se abordan específicamente en el caso de la cuenca del Lluta, es decir se encuentran y analizan las condiciones bajo las cuales los parámetros máximos recomendados por tramo pueden ser excedidos.

4. Aspectos conceptuales generales

El objetivo de este punto es mostrar la relevancia de los parámetros escogidos en la calidad del agua de la cuenca del río Lluta, junto con mostrar una base conceptual para una mayor comprensión de la influencia de éstos en la cuenca.

a. pH

Indica la acidez o basicidad del medio, en escala logarítmica. En general, el pH del 95% de las aguas naturales se encuentra entre 6 y 9 (Snoeyink and Jenkins, 1980). En el caso de la cuenca del río Lluta, las excepciones están dadas por el río Azufre y el río Caracarani luego de la junta con el Azufre, debido a la acidez aportada por dicho cauce.

El intervalo de pH adecuado para el desarrollo de la mayor parte de la vida es bastante estrecho y crítico (Metcalf & Eddy Inc, 1995). Además, este parámetro controla directamente la especiación de diversos metales de interés, en particular del arsénico y el fierro que pasan de fase disuelta a pH ácido, a fase sólida a pH alto.

El pH resultante de una mezcla de dos cursos de agua de distinta calidad depende básicamente de la capacidad que tenga el cuerpo receptor de amortiguar la carga ácida. Esta capacidad se denomina alcalinidad.

Para evaluar cuantitativamente la variación del pH de un curso de agua al recibir una descarga, se requiere un modelo conceptual que considere la alcalinidad del curso receptor y la calidad del agua descargada.

b. Alcalinidad

Es una medida de la capacidad del agua a amortiguar cambios de pH debido a la adición de ácido. Esto puede ocurrir debido a la descarga de un cuerpo de agua con un pH diferente, por ejemplo de una descarga industrial. Debido a esto, la alcalinidad y el pH son dos parámetros que están fuertemente correlacionados. Si un curso de agua tiene alta alcalinidad, tendrá una capacidad mayor de resistir un cambio de pH frente a una misma descarga.

La alcalinidad además es importante para los peces y otros organismos acuáticos en sistemas naturales puesto que amortigua los cambios de pH que ocurren naturalmente como resultado de la actividad fotosintética de la vegetación clorofilada (United States Environmental Protection Agency, 1986).

La alcalinidad se atribuye mayormente a iones como hidroxilo, bicarbonato y carbonato, y en menor grado de otros como el fosfato. Es decir, depende de las especies ácido-base presentes que sean capaces de complexar protones.

Como la relevancia de este parámetro recae en su influencia para determinar los cambios en el pH, interesa encontrar el pH resultante al mezclar cursos de diferente calidad.

c. DBO y DQO

La DBO es una medida del oxígeno disuelto que consumen los microorganismos en el proceso de oxidación biológica de la materia orgánica. La DQO indica el oxígeno necesario requerido para la oxidación química de la materia orgánica. Por lo tanto, ambas están relacionadas, siendo la DQO mayor que su correspondiente DBO (Metcalf & Eddy Inc, 1995). Estos parámetros generan condiciones de óxido-reducción que pueden influir en la especiación de compuestos de interés. Por ejemplo, si los sedimentos arsenicados en el lecho del Lluta quedan expuestos a condiciones anaeróbicas, se puede producir la reducción de As(+5) a As(+3) y su consiguiente liberación a la fase acuosa. Esto es especialmente relevante cuando existen embalses.

Para estimar la DBO resultante DBO_f de la adición de n cursos de agua, cada uno con un caudal Q_i y demanda biológica DBO_i , se puede utilizar la expresión:

$$DBO_f = \frac{\sum_{i=1}^n DBO_i \cdot Q_i}{\sum_{i=1}^n Q_i}$$

Análogamente, se tiene que para el caso de la DQO la DQO_f final corresponde a:

$$DQOf = \frac{\sum_{i=1}^n DQOi \cdot Qi}{\sum_{i=1}^n Qi}$$

La cinética de reacción de la DBO se formula de acuerdo a una reacción de primer orden, y por tanto la DBO presente en el instante t corresponde a

$$DBOt = DBO_0(e^{-kt})$$

Donde DBO_0 es la DBO inicial, t es el tiempo de recorrido para una distancia x dada una velocidad de flujo v, ($t=x/v$) y k es la constante de la reacción, que depende de la velocidad de consumo de los microorganismos.

En el caso particular de la cuenca en estudio, esto es útil para determinar la máxima DBO admitida aguas arriba de un tramo de modo que se cumpla el valor del parámetro sugerido en la estación representativa.

d. Arsénico

Este metaloide está presente en sistemas acuáticos principalmente en dos estados de oxidación (As(+3) y As(+5)) comúnmente llamados arsenito y arsenato respectivamente. En condiciones oxidantes (que contienen oxígeno en solución) son termodinámicamente estables las especies derivadas del arsenato (H_3AsO_4 , $H_2AsO_4^-$, $HAsO_4^{2-}$ y AsO_4^{3-}), mientras que para condiciones ligeramente reductoras y/o valores bajos de pH, el arsenito es estable, principalmente en la forma neutral H_3AsO_3 (Cullen and Reimer, 1989). En sistemas acuáticos naturales el rango de especies arsenicadas se presenta más restringido ya que el pH de estos sistemas raramente excede los límites de pH entre 5 y 9 (Crecelius et al., 1986). Por lo tanto, en aguas oxigenadas y basados en aspectos termodinámicos el As(+5) debiera dominar fuertemente por sobre el As(III). Este hecho es relevante ya que las especies de As(+5) son menos tóxicas y más fáciles de remover que las especies de As(+3).

El arsénico es no esencial para las plantas, pero sí es un elemento esencial traza para varias especies de animales (American Public Health Association, 2005).

El arsénico es soluble, lo que significa que sólo soluciones con altas concentraciones forman precipitados bajo ambientes químicos determinados. Las principales especies minerales son la arsenopirita ($FeAsS$), oropimente (As_2S_3), realgarita (AsS) y arsenolita (As_4O_6).

El arsénico es altamente reactivo puesto que como se ha mencionado en este estudio, además de encontrarse en la fase acuosa con distintas cargas y formar minerales bajo diversas condiciones, puede encontrarse sorbido a sedimentos marinos, fases sólidas orgánicas e hidróxidos de metales, principalmente fierro y manganeso (Cullen and Reimer, 1989). En particular, el equipo consultor ha observado -gracias a las visitas a terreno y los análisis hidroquímicos- la presencia de hidróxidos de fierro que capturan el arsénico en algunos sectores de la cuenca del río Lluta.

Para poder estimar las concentraciones de arsénico resultantes al mezclar cursos de agua de distinta calidad, se requiere un modelo geoquímico que considere las reacciones termodinámicas que involucren principalmente los procesos ácido-base, precipitación-disolución y sorción sobre partículas.

e. Hierro

Este metal es el segundo más abundante en la corteza terrestre luego del aluminio. Es esencial para los seres vivos y se encuentra normalmente en estado de oxidación +2 y +3. La solubilidad del ión $\text{Fe}(+2)$ es controlada por el carbonato (American Public Health Association, 2005). En ambiente oxidante se produce la oxidación a $\text{Fe}(+3)$, el cual puede hidrolizarse (captar iones hidroxilo OH^-) y formar óxidos de hierro hidratados (hidróxidos) insolubles. En la ausencia de iones complexantes, el Fe no es significativamente soluble a menos que el pH sea muy bajo. Esta situación se presenta en el río Azufre, que es la principal fuente de hierro de la cuenca y que en este cauce se encuentra disuelto debido a la acidez del mismo (en promedio, 100 mg/L Fe disuelto a pH 1,6).

Como se mencionó en el punto d, su principal relevancia se atribuye a que al encontrarse en forma de hidróxido controla la especiación de los metales pesados, en particular el arsénico presente en la cuenca del río Lluta.

Debido a las diferentes formas en que se puede presentar el hierro, se requiere un modelo geoquímico que considere su potencial especiación bajo distintas condiciones ambientales.

f. Boro

El boro, a diferencia del arsénico, no tiene una química de óxido-reducción, lo que hace que la variación de potencial redox -calidad de ambiente oxidante o reductor- no determine su especiación. Sólo se encuentra en estado de oxidación +3. El boro es esencial sólo para las plantas, aunque se requiere en bajas concentraciones. En altas concentraciones es perjudicial para el crecimiento de las plantas.

A pesar que existen distintos minerales boratados, la termodinámica favorece que el boro esté disuelto. A diferencia del arsénico, no hay referencias en cuanto a la sorción sobre superficies. Por lo tanto, los principales factores que determinan la especiación del boro son el pH y la concentración total de boro. Para las condiciones de la cuenca del Lluta, la especie dominante es $\text{B}(\text{OH})_3$, incluso en las zonas donde el pH es muy bajo -río Azufre- y las concentraciones de boro son máximas -borateras afluentes a río Colpitas, entre 300 y 350 mg/L-.

Estos antecedentes indican preliminarmente que si el boro está mayormente disuelto, podría considerarse que la dilución sería el principal factor para determinar la concentración de boro resultante al mezclar dos cursos de agua. Sin embargo, según la calidad de éstos y las características del medio podrían generarse las condiciones que favorecen la formación de minerales boratados; para lo que se requiere evaluar con un modelo geoquímico la especiación resultante del boro.

g. Conductividad

La conductividad es una medida de la habilidad de una solución de conducir una corriente eléctrica y está íntimamente relacionada con la concentración de iones en solución (salinidad) (Metcalf & Eddy Inc, 1995).

Este parámetro es de alta importancia para el uso agrícola, debido a que los cultivos tienen distintas tolerancias a la conductividad (salinidad) del agua de riego.

En el caso particular de la cuenca del río Lluta, el mayor aporte a la conductividad lo hacen los iones sodio, cloruro y sulfato.

Los modelos geoquímicos no incorporan este parámetro debido a que los componentes son iones solubles conservativos. Por lo tanto, se puede considerar que la conductividad resultante C_f de la adición de n cursos de agua, cada uno con un caudal Q_i y conductividad C_i , corresponde a

$$C_f = \frac{\sum_{i=1}^n C_i \cdot Q_i}{\sum_{i=1}^n Q_i}$$

5. Aspectos específicos por tramos

En esta sección, los parámetros críticos descritos en el punto anterior son analizados en detalle, en cuanto a su variación en el tramo de interés al considerar posibles fuentes contaminantes que modifiquen la calidad natural de la cuenca.

El diagrama presentado en la Figura VIII-1 es una representación simplificada de los principales factores ambientales y procesos que controlan la calidad del agua en una cuenca. Esta representación se basa en la literatura especializada y ha sido adaptada para incluir los aspectos de especial interés para la cuenca del río Lluta.

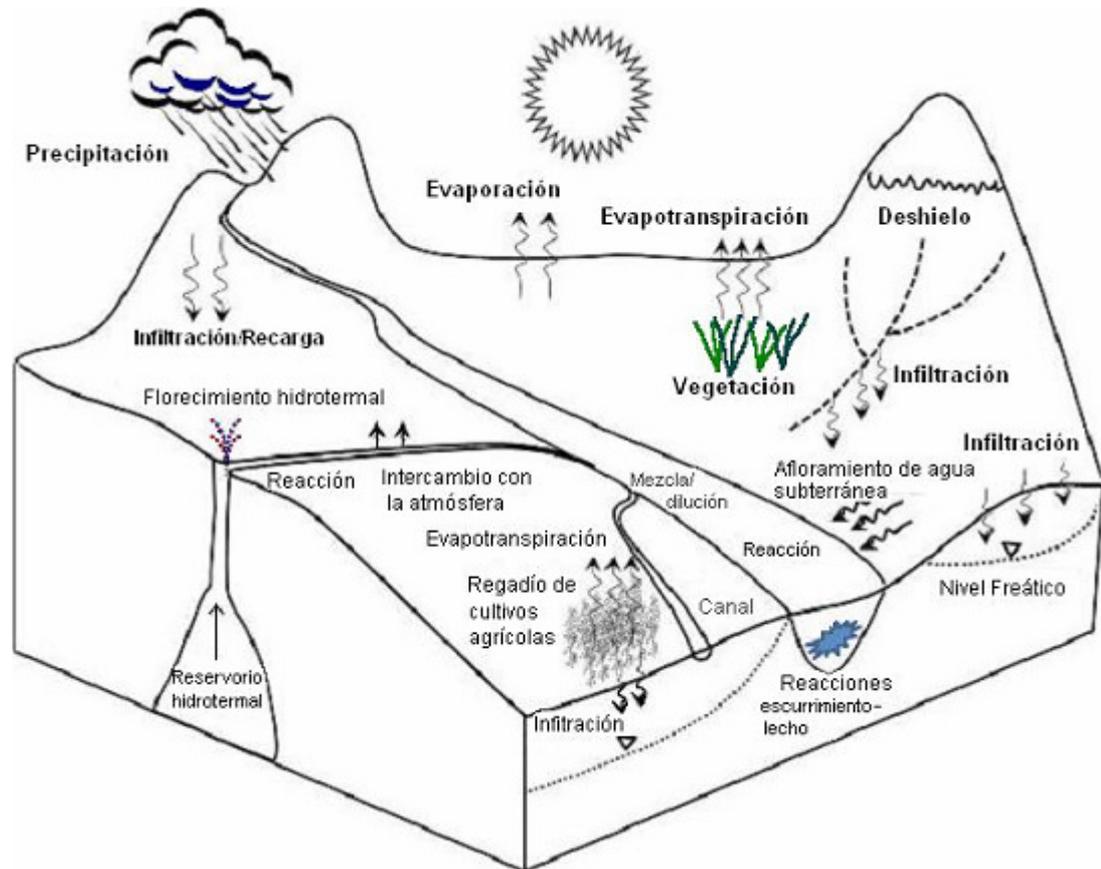


Figura VIII-1. Procesos y factores que regulan la calidad del agua en una cuenca.

La calidad del agua queda determinada por un conjunto de procesos físicos, químicos y biológicos; incluyendo procesos de mezcla, dilución/concentración y reacciones ácido/base, complejación, precipitación/disolución y oxidación/reducción. Los factores físicos que condicionan la calidad del agua están relacionados con hidrología superficial y la hidrología subterránea. La distribución espacio temporal de las precipitaciones unidas a la geomorfología del terreno y las propiedades de infiltración y evaporación, determinan los caudales superficiales, variable clave de la hidrología superficial. Las condiciones hidrológicas subterráneas que influyen en la calidad del agua dicen relación con las características hidráulicas de los acuíferos y la reactividad del material poroso que los compone. Asimismo, las contribuciones desde las aguas subterráneas a las superficiales - como afloramientos y yacimientos hidrotermales- y desde las aguas superficiales a las aguas subterráneas también pueden condicionar la calidad de las distintas corrientes y masas de agua.

Para el caso de la cuenca del río Lluta, los procesos más relevantes para los parámetros críticos son los relativos a sistemas ácido-base, precipitación-disolución, óxido-reducción, sorción en hidróxidos de hierro y dilución. Dados estos antecedentes, los parámetros críticos se separaron en dos grupos para efectos de la simulación de cargas contaminantes:

- No se requiere modelación geoquímica para analizar su variación: conductividad, DBO.

- Se requiere modelación geoquímica para analizar su variación: pH, alcalinidad, arsénico, fierro, boro.

Para los casos que no requieren la modelación geoquímica, es decir en que la dilución es el factor determinante, se simularon diferentes descargas o riles con distintas características según el siguiente detalle:

- Se consideraron 5 riles con caudales correspondientes a 5%, 10%, 20%, 50% y 100% del caudal promedio de cada cauce receptor de la descarga.
- Para cada una de las descargas se variaron los valores del parámetro respectivo, en este caso conductividad y DBO, hasta conseguir que producto de la dilución de la descarga en su respectivo cauce receptor se excediera el valor propuesto como máximo.
- Estas adiciones también se expresan como carga de contaminante expresada como masa por unidad de tiempo, resumiéndose las distintas curvas de adición en una sola.
- La condición inicial del tramo es la concentración promedio que se observa de la especie analizada.

En los casos en que es aplicable la modelación geoquímica, las simulaciones se realizaron en PHREEQC, programa de modelación geoquímica de la USGS (Parkhurst and Appelo, 1999). Este programa ha sido usado en la literatura (Appelo and Postma, 1999) (Charlet et al., 2007) y está basado en la química de equilibrio de soluciones acuosas que interactúan por ejemplo con fases sólidas, siendo capaz de realizar un gran número de cálculos geoquímicos. Los procesos más relevantes para la cuenca del Lluta han sido simulados en el presente punto, según su relevancia e información con que se cuente para el parámetro respectivo.

Para modelar las variaciones de los parámetros críticos en los tramos de la cuenca, se requiere simular adiciones de reactivos que dependen del parámetro estudiado y que se detallan a continuación.

- pH

Se adicionó ácido nítrico HNO_3 para simular disminución de pH. La adición de un milimol de HNO_3 equivale a la de un miliequivalente de protón (meq H^+).

Se adicionó hidróxido de sodio NaOH para simular aumento de pH. La adición de un milimol de NaOH equivale a la de un miliequivalente de hidroxilo (meq OH^-).

- Alcalinidad

Se simuló la variación de las dosis de base y ácido requeridas para subir o bajar el pH respectivamente, para distintas alcalinidades de cada tramo.

- Arsénico

Se modeló la adición de arsenato de sodio Na_3AsO_4 (As+5) sobre cada una de las estaciones o puntos de control a lo largo de la cuenca del río Lluta, hasta alcanzar la concentración máxima de arsénico recomendada. Estas adiciones se consideraron como descargas con caudales definidos. Siguiendo procedimientos similares a los utilizados para la conductividad y DBO_5 , se consideraron 5 riles de caudales proporcionales al caudal promedio del cauce receptor.

Para cada una de las descargas, se calculó la concentración de arsénico, expresada en mg/L, a partir de los moles de Na_3AsO_4 calculados previamente por PHREEQC.

Dados los antecedentes de especiación de arsénico comentados en el punto anterior, se consideraron dos tipos de tramos para efectos de la modelación: los que tienen hidróxidos de hierro y los que no.

A partir de balances de masa, se pudo determinar si la dosis de arsénico agregada permanecía disuelta, precipitaba formando minerales arsenicados, o bien se sorbía a los hidróxidos de hierro.

- Fierro

Se simuló la adición de Fe disuelto (Fe^{3+}).

Así se pudo determinar si la dosis de fierro agregada permanecía disuelta o precipitaba formando minerales.

- Boro

Se simuló la adición de boro, agregado como $\text{B}(\text{OH})_3$, para las distintas estaciones de la cuenca.

A partir de balances de masa, se concluyó que para todas las estaciones el boro se mantenía disuelto, por lo que se puede realizar un procedimiento similar al aplicado en el caso de arsénico y calcular las concentraciones por dilución.

La metodología empleada para simular las condiciones bajo las cuales los parámetros máximos pueden o no ser excedidos, corresponde a la adición y/o mezcla del tramo de interés caracterizado por un caudal Q_i y concentración del parámetro de interés C_i con otro cauce -en este caso denominado ril o descarga- de caudal Q_r y concentración C_r del parámetro de interés, tal como lo esquematiza la Figura VIII-2.

En el caso de los parámetros modelados en PHREEQC, el cauce receptor no sólo está caracterizado por el parámetro de interés, sino que se ha utilizado información de calidad del agua recopilada por el equipo consultor para los distintos tramos de la cuenca. Esta caracterización es un input para el modelo geoquímica y considera los principales parámetros de calidad del agua medidos en terreno y en laboratorio.

Para cada caso, los resultados de las simulaciones se representan gráficamente y mediante una tabla resumen de los valores máximos de permitidos para las descargas realizadas en las distintas estaciones, de acuerdo a rangos de caudales de las descargas. Esta tabla posee un código de colores para representar el cumplimiento de la normativa del Decreto Supremo N° 90 del 30 de mayo del 2000 (Ministerio Secretaría General de la Presidencia, 2000). Este decreto establece la Norma de Emisión para la Regulación de Contaminantes Asociados a las Descargas de Residuos Líquidos a Aguas Marinas y Continentales Superficiales. El código es el siguiente:

	Cumplimiento de normativa, sin considerar capacidad de dilución.
	Cumplimiento de normativa, considerando capacidad de dilución.
	Valores que no cumplen normativa del Decreto Supremo N° 90.

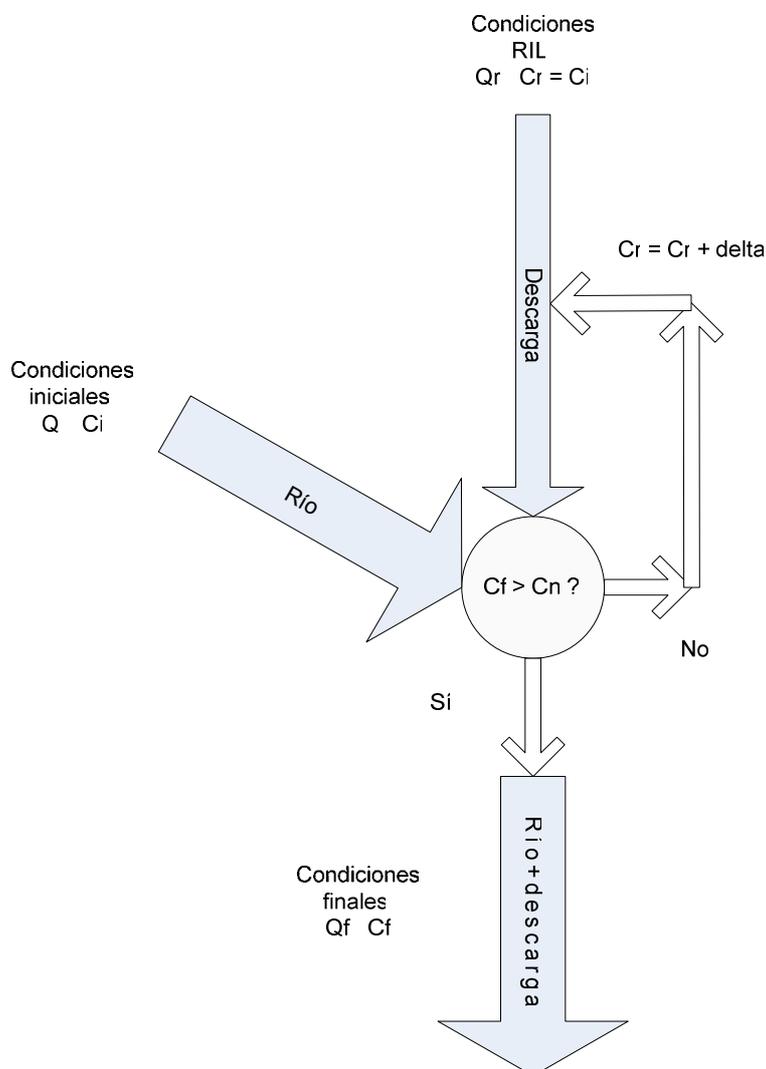


Figura VIII-2. Representación esquemática de la metodología empleada para simular los efectos de descargas al tramo de interés.

Para considerar la capacidad de dilución de un cauce, se recurre a las siguientes fórmulas y principios:

$$d = \frac{\text{Caudal_disponible_del_cuerpo_receptor}}{\text{Caudal_medio_mensual_del_efluente_vertido}}$$

$$C_i = T_{li} \times (1 + d)$$

C_i representa el límite máximo permitido del contaminante i , que se incrementa a partir del valor T_{li} (que corresponde al valor límite del contaminante i sin considerar capacidad de dilución, de la Tabla 1 del decreto presentada en la sección Anexos), en función de la tasa de dilución d del cauce receptor. Así, se aprovecha la capacidad de dilución del cauce receptor para incrementar los límites de contaminantes de la fuente emisora.

El DS 90 establece los valores máximos de los contaminantes si se considera capacidad de dilución. En el caso de que el valor calculado con la ecuación 2 sea mayor al que establece el DS 90 en la Tabla 2 (que se presenta en la sección Anexos), entonces el valor límite será el indicado por dicha tabla.

Para los valores de caudales de descargas supuestos, proporcionales al caudal promedio de cada tramo en porcentajes de 5%, 10%, 20%, 50% y 100% del caudal promedio del cauce receptor, las tasas de dilución corresponden a 20, 10, 5, 2 y 1 respectivamente. Dadas estas tasas, se presenta en la Tabla VIII-1 los valores máximos de parámetros de interés de acuerdo a lo calculado mediante la ecuación presentada. Se presenta también lo recomendado por el DS 90 (últimas filas).

Tabla VIII-1. Valores máximos de parámetros de interés calculados considerando capacidad de dilución.

Tasa dilución	Arsénico mg/L	Boro mg/L	DBO₅ mg/L	Fe mg/L
20	10,5	15,75	735	105
10	5,5	8,25	385	55
5	3	4,5	210	30
2	1,5	2,25	105	15
1	1	1,5	70	10
<i>Sin dilución</i>	0,5	0,75	35	5
<i>Máx. con dilución</i>	1	3	300	10

Por lo tanto, corresponde corregir los valores calculados en la Tabla VIII-1 según el máximo permitido por el DS 90, como lo presenta la Tabla VIII-2.

Tabla VIII-2. Valores máximos de parámetros de interés corregidos considerando la exigencia del DS 90.

Tasa dilución	Arsénico mg/L	Boro mg/L	DBO ₅ mg/L	Fe mg/L
20	1	3	300	10
10	1	3	300	10
5	1	3	210	10
2	1	2,25	105	10
1	1	1,5	70	10

A continuación se muestra para cada parámetro crítico, las condiciones bajo las cuales los máximos o mínimos recomendados pueden ser excedidos usando la metodología mencionada. Cabe destacar que estos valores son de referencia pues se requerirá hacer un análisis particular para cada descarga que se incorpore al Río Lluta.

a. pH

Para cada tramo de la cuenca, se obtuvo la dosis de ácido o base requerido para bajar o subir el pH hasta el mínimo o máximo recomendado, simulando adiciones de ácido y base. Dichas dosis se expresan en milequivalentes/L (H^+ u OH^-) con el fin de facilitar la comparación con una posible descarga.

Se presentan primero los casos de los cursos mayores de la cuenca, y a continuación los afluentes menores.

Principales ríos cuenca Lluta

AZU-1: Estación Azufre antes de Caracarani

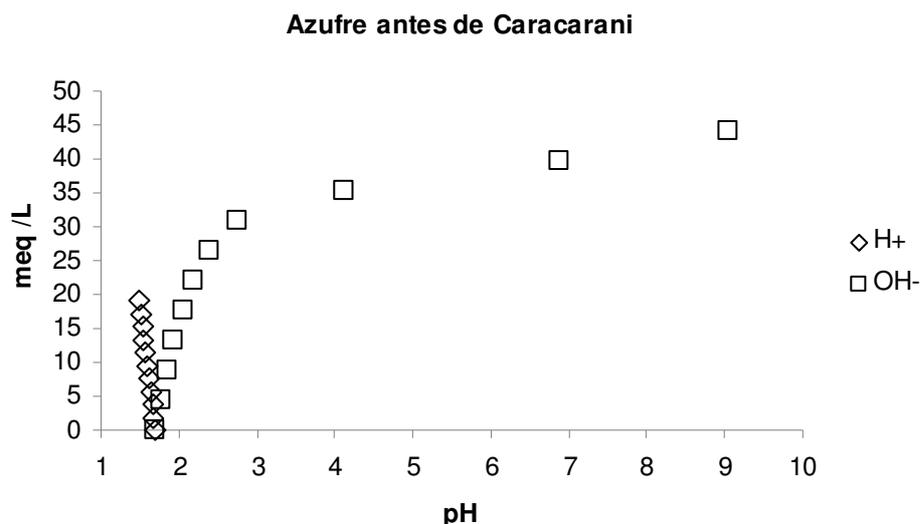


Figura VIII-3. Dosis de ácido y base requerida para llegar al pH mínimo y máximo recomendado, tramo AZU-1.

Debido a la diferencia entre el bajo pH característico del tramo AZU-1 (que está en torno a 1,7 y el máximo recomendado que corresponde a 9), se requiere una alta dosis de equivalentes OH^- para llegar a éste. De hecho, la escala de la Figura es la mayor de todos los tramos de la cuenca.

COLP-1: Estación Colpitas antes de Caracarani

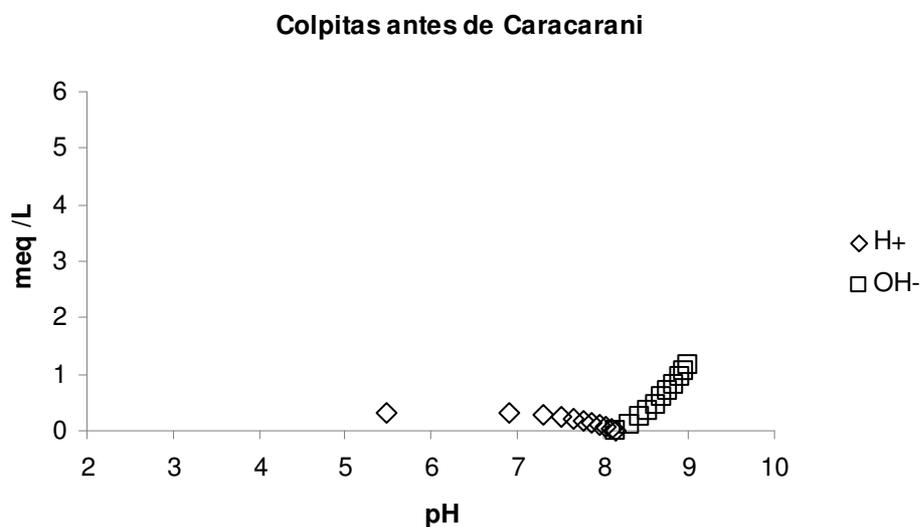


Figura VIII-4. Dosis de ácido y base requerida para llegar al pH mínimo y máximo recomendado, tramo COLP-1.

El tramo COLP-1 es mayormente sensible en el rango de pH entre 5,5 y 7; es decir que una vez que se lograr bajar el pH a 7 es más facil llegar a un pH menor, como lo muestra la ausencia de puntos en ese rango en la Figura VIII-4.

CARAC-1: Estación Caracarani en Humapalca

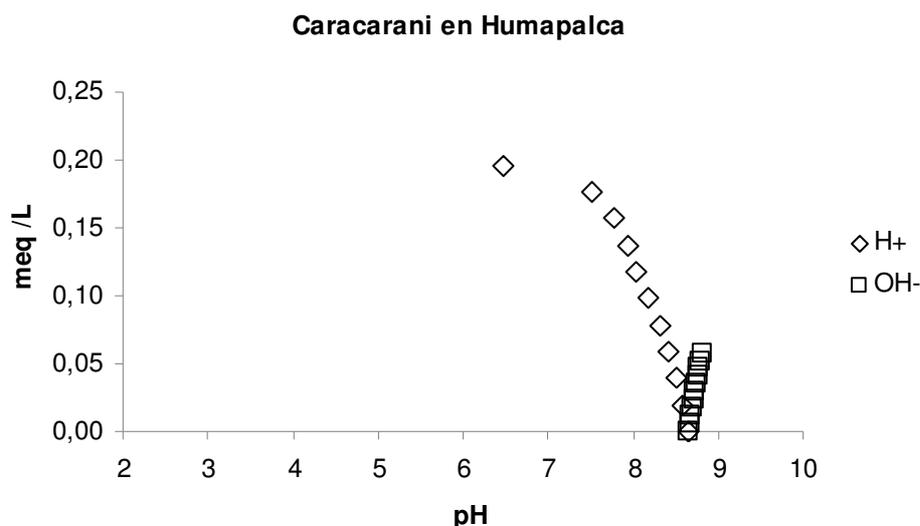


Figura VIII-5. Dosis de ácido y base requerida para llegar al pH mínimo y máximo recomendado, tramo CARAC-1.

Este tramo es el más sensible de los principales de la cuenca, puesto que el pH natural de 8,65 está cercano al máximo recomendado de 8,8 y por tanto tal como lo muestra la Figura VIII-5 la dosis necesaria para llegar a dicho pH es muy baja (0,06 meq/L). Además, el requerimiento de equivalentes para llegar al mínimo es un orden de magnitud inferior al de otros tramos con diferencia similar entre pH natural y pH mínimo recomendado. Debido a esto, los resultados se presentan en una escala menor del eje Y, como lo muestra la Figura VIII-5. Esta sensibilidad implica una baja capacidad de buffer, es decir presenta dificultad para resistir cambios en el pH debido a adiciones de ácido.

CARAC-2: Estación Caracarani antes de Colpitas

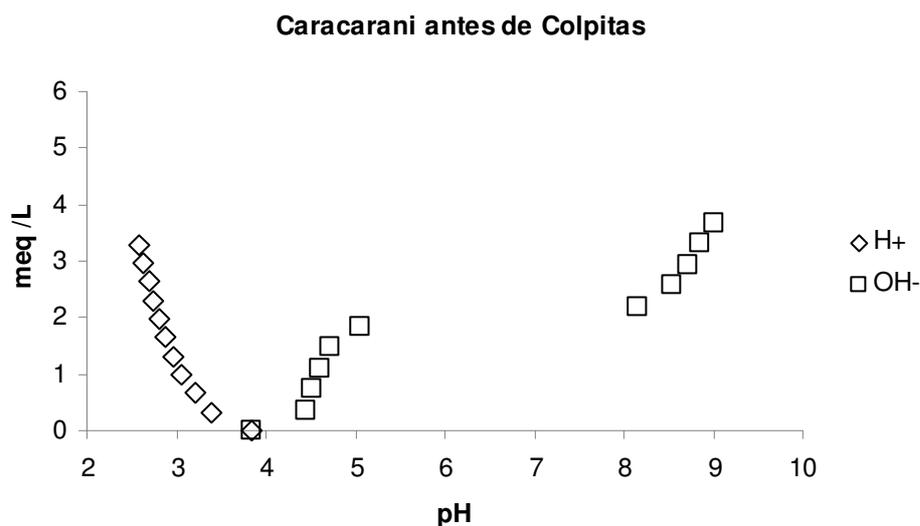


Figura VIII-6. Dosis de ácido y base requerida para llegar al pH mínimo y máximo recomendado, tramo CARAC-2.

Al comparar la Figura VI-3 y la Figura VI-4 puede verse la gran diferencia entre los tramos CARAC-1 y CARAC-2, asociada a la influencia del río Azufre, que acidificó el río Caracarani. El tramo CARAC-2 es notoriamente más sensible en el rango de pH entre 5 y 8 como lo muestra la Figura VIII-6.

LLUTA-1: Estación Lluta en Alcérreca

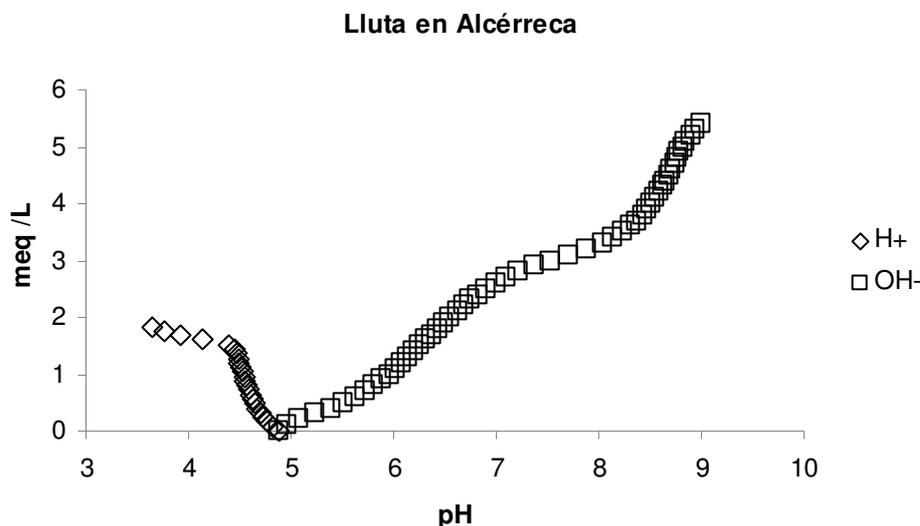


Figura VIII-7. Dosis de ácido y base requerida para llegar al pH mínimo y máximo recomendado, tramo LLUTA-1.

El primer tramo del río Lluta, tal como lo indica la Figura VIII-7, es bastante distinto al de los tramos que lo originan (COLP-1 y CARAC-2, Figura VIII-4 y Figura VIII-6 respectivamente). En particular, puede apreciarse que en el rango de pH entre 4,5 y 5 aproximadamente, las adiciones de ácido tienen un menor efecto en el cambio de pH que en el resto de la curva. Un vez que se llega a 4,5 es mucho más fácil lograr un cambio de pH hasta llegar al mínimo recomendado de 3,6.

LLUTA-2: Estación Lluta en Tocontasi

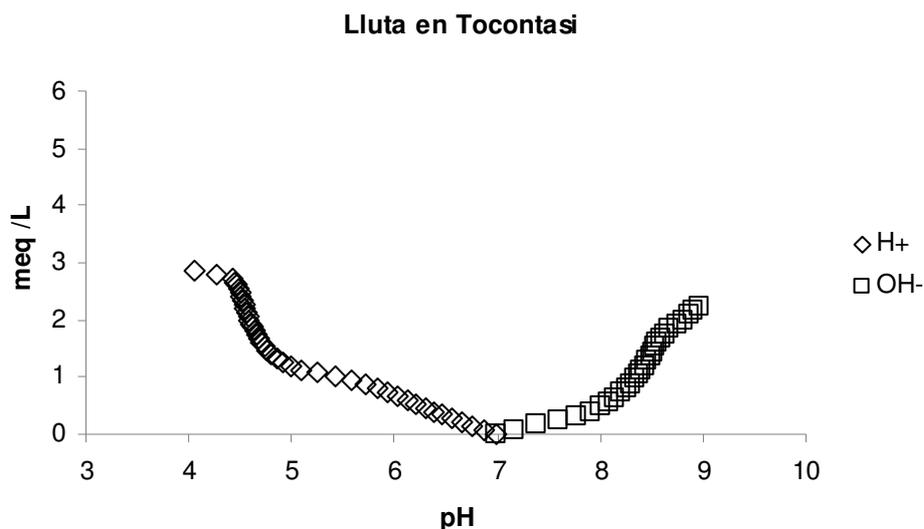


Figura VIII-8. Dosis de ácido y base requerida para llegar al pH mínimo y máximo recomendado, tramo LLUTA-2.

El tramo LLUTA-2, como lo muestra la Figura VIII-8, ya tiene un pH bastante mayor al del tramo LLUTA-1, y por tanto su comportamiento ácido base es diferente. La similitud la presentan en el intervalo de pH inferior a 4,5 donde ambos sistemas son más sensibles al cambio de pH en comparación al resto del rango. Además hay otra similitud en el rango de pH entre 7 y 8, donde también habría una menor capacidad de amortiguar el cambio de pH.

LLUTA-3: Estación Lluta en Panamericana

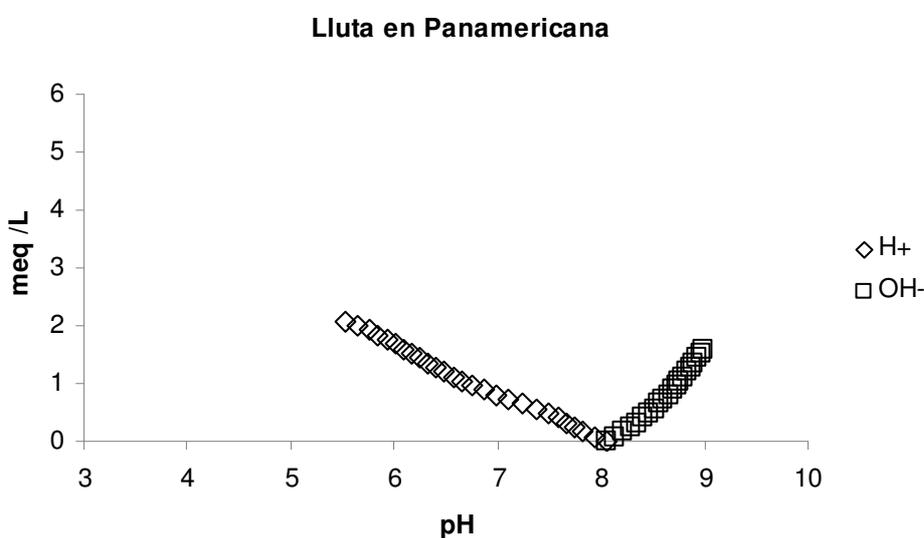


Figura VIII-9. Dosis de ácido y base requerida para llegar al pH mínimo y máximo recomendado, tramo LLUTA-3.

El rango de pH en que puede variar el tramo LLUTA-3 es más estrecho, como lo muestra la Figura VIII-9. La pendiente de las curvas de ácido y base a diferencia de los tramos

LLUTA-1 y LLUTA-2 es prácticamente constante, aunque hay que considerar que la cota inferior es mayor para este tramo: pH mínimo sugerido es 5,5.

La Tabla VIII-3 resume las dosis de ácido o base en meq/L necesarias para alcanzar las cotas superior e inferior de pH recomendadas.

Tabla VIII-3. Requerimiento ácido base para llegar a pH mínimo y máximo sugerido, principales ríos cuenca Lluta, si se comienza del pH medio medido para cada tramo.

Tramo	pH	pH mínimo	meq H ⁺ /L requerido	pH máximo	meq OH ⁻ /L requerido
AZU-1	1,69	1,50	19,00	9,00	44,00
CARAC-1	8,65	6,50	0,20	8,80	0,06
CARAC-2	3,85	2,60	3,30	9,00	3,67
COLP-1	8,15	5,50	0,34	9,00	1,18
LLUTA-1	4,88	3,60	1,84	9,00	5,40
LLUTA-2	6,99	4,00	2,87	9,00	2,24
LLUTA-3	8,05	5,50	2,08	9,00	1,60

En resumen, cada tramo se comporta de una manera particular. Los casos extremos son el río Azufre (AZU-1), el cual es el que ofrece mayor resistencia al cambio de pH ya sea para bajarlo o subirlo; y el río Caracarani antes de Colpitas (CARAC-2), con el que se recomienda tener especial cuidado debido a la facilidad con que puede cambiar su pH, puesto que dentro de los cursos principales es el que necesita menor adición de ácido y base para alcanzar el pH mínimo y máximo sugerido.

Otros afluentes cuenca Lluta

QORIEN1-1: Estación Quebrada Oriente 1

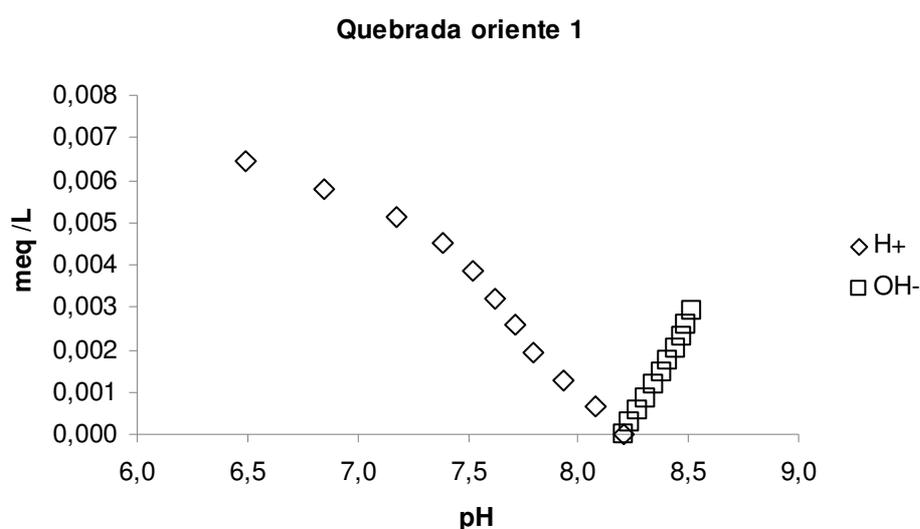


Figura VIII-10. Dosis de ácido y base requerida para llegar al pH mínimo y máximo recomendado, tramo QORIEN1-1.

El tramo QORIEN1-1 es el más sensible de los aportes menores de la cuenca, puesto que sus requerimientos de meq/L son un orden de magnitud menor al de la mayoría de los otros tramos. Como lo muestra la Figura VIII-10, el eje Y sólo llega a 0,008 meq/L, mientras que para los tramos QORIENTE2-1, QORIENTE3-1, QORIENTE4-1 y QALLANE-1 el máximo corresponde a 0,07 meq/L.

QORIEN2-1: Estación Quebrada Oriente 2

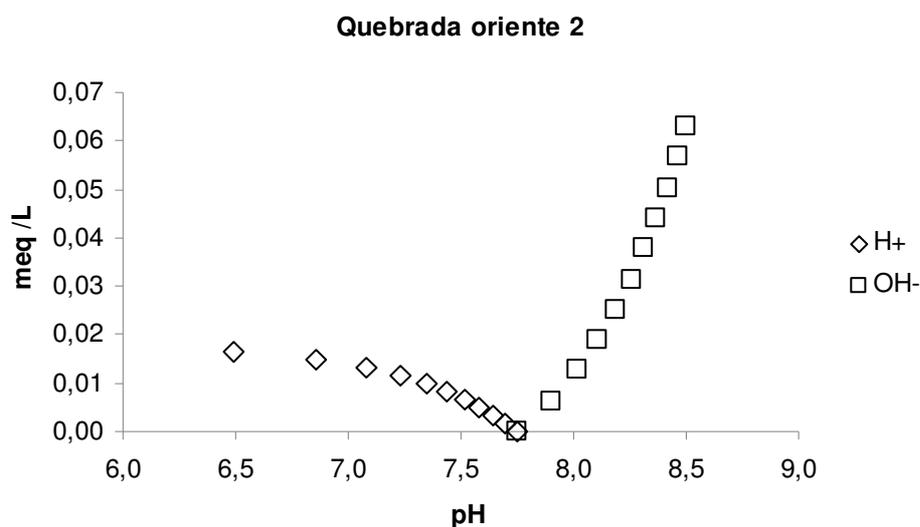


Figura VIII-11. Dosis de ácido y base requerida para llegar al pH mínimo y máximo recomendado, tramo QORIEN2-1.

El tramo QORIEN2-1, como lo muestra la Figura VIII-11, tiene un pH natural más bajo que las otras Quebradas Oriente. La sensibilidad a bajar el pH aumenta a partir de pH 7,5; mientras que para aumentos de pH, el comportamiento es similar entre el pH natural de 7,75 y el máximo recomendado de 8,5.

QORIEN3-1: Estación Quebrada Oriente 3

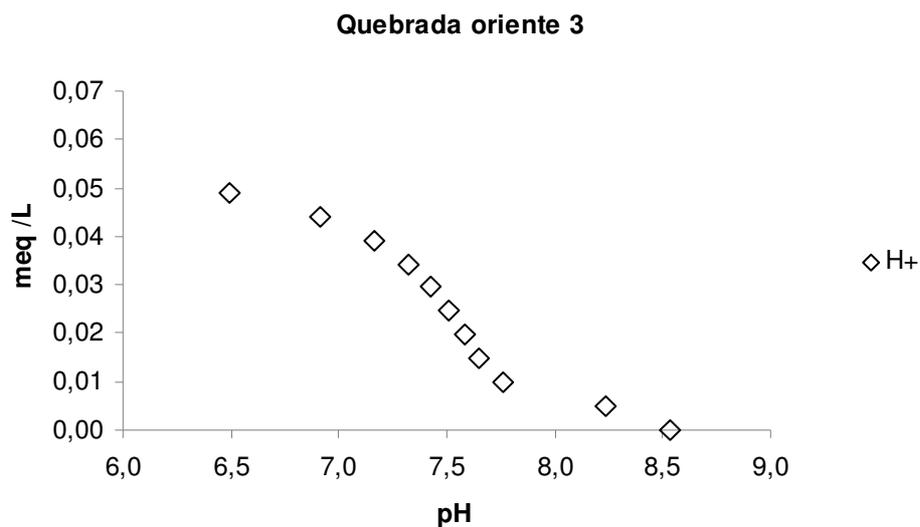


Figura VIII-12. Dosis de ácido requerida para llegar al pH mínimo recomendado, tramo QORIEN3-1.

Como se ve en la Figura VIII-12, la curva de adición de ácido indica la facilidad con que puede bajar el pH, especialmente en el rango 8,5-8,0 y 7,0-6,5. No se realizó la simulación de adición de base debido a que se sugiere que el pH sea igual o inferior a 8,53, que corresponde a la calidad actual.

QORIEN4-1: Estación Quebrada Oriente 4

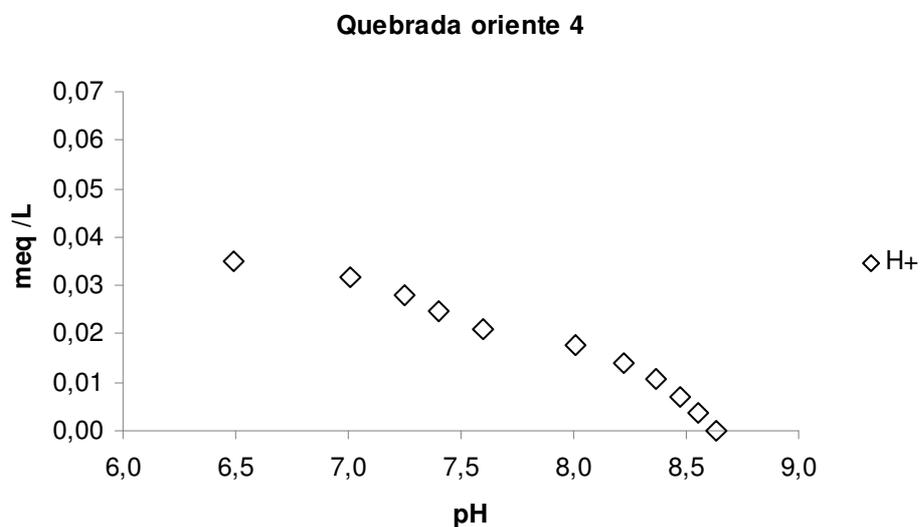


Figura VIII-13. Dosis de ácido requerida para llegar al pH mínimo recomendado, tramo QORIEN4-1.

El caso del tramo QORIEN4-1 es análogo al del tramo QORIEN3-1, ya que tiene un pH de 8,63 naturalmente alcalino y las adiciones requeridas -Figura VIII-13- son del mismo orden de magnitud.

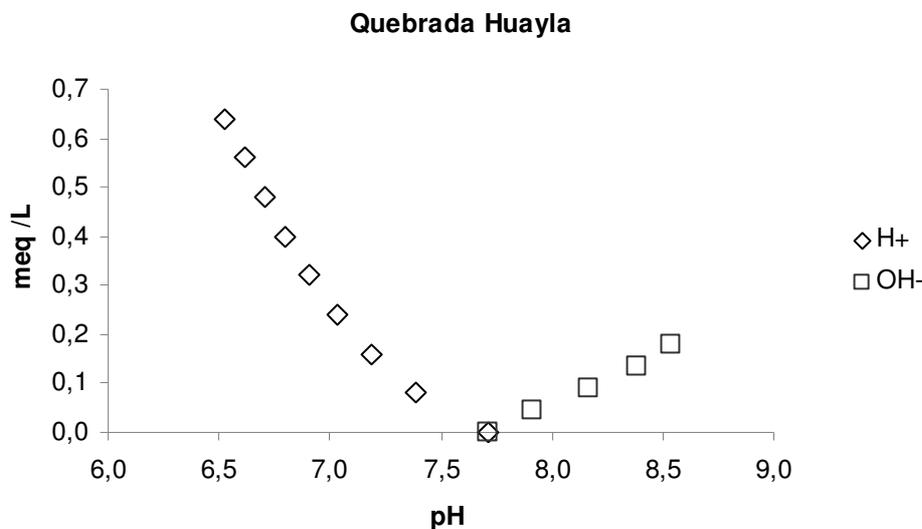
HUAYLA-1: Estación Quebrada Huayla

Figura VIII-14. Dosis de ácido y base requerida para llegar al pH mínimo y máximo recomendado, tramo HUAYLA-1.

El tramo HUAYLA-1 como lo indica la Figura VIII-14 tiene un comportamiento más bien homogéneo. No hay diferencias notables en rangos de pH intermedio, es decir antes del llegar a los valores sugeridos como mínimos y máximos. Este tramo tiene mayor alcalinidad que los tramos recién presentados debido a que se requiere del orden de 10 veces más de ácido y base para llegar a los extremos del pH, siendo que son similares en cuanto presentan buena calidad.

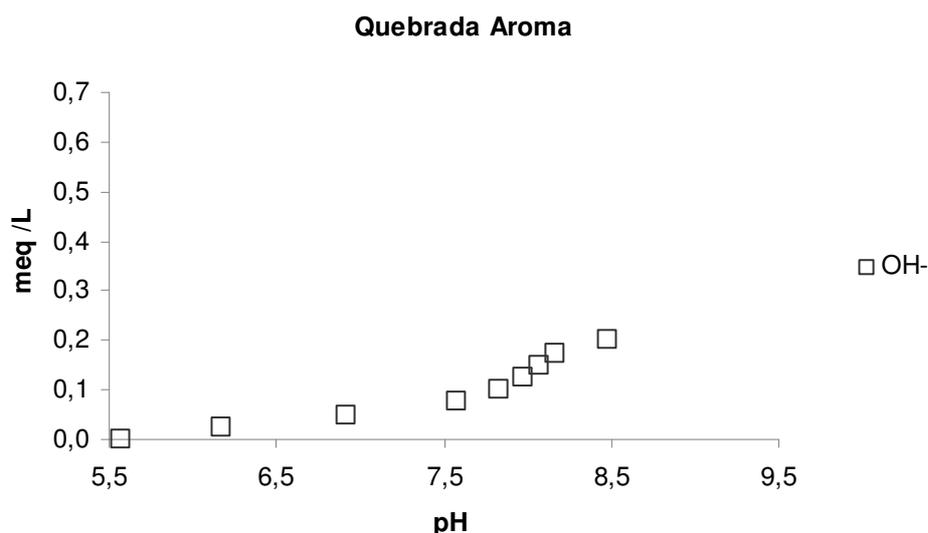
AROMA-1: Estación Quebrada Aroma

Figura VIII-15. Dosis de base requerida para llegar al pH máximo recomendado, tramo AROMA-1.

Este tramo es el más ácido de los cursos menores de la cuenca, motivo por el cual se sugiere que el pH no baje de su calidad actual. La Figura VIII-15 muestra que se requiere una dosis similar de base a la requerida para el tramo HUAYLA-1 para llegar al pH máximo sugerido de 8,5.

ALLANE-1: Estación Quebrada Allane

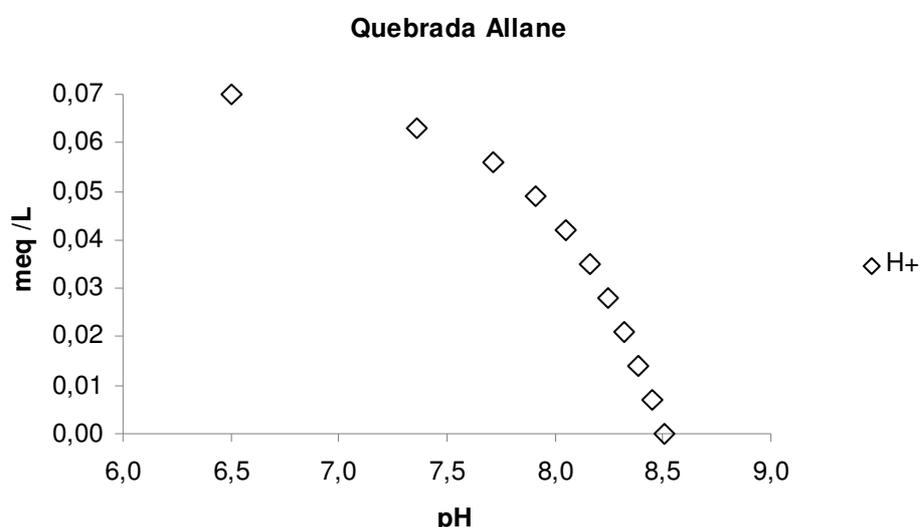


Figura VIII-16. Dosis de ácido requerida para llegar al pH mínimo recomendado, tramo ALLANE-1.

Para este tramo se sugiere que el pH máximo sea el actual que corresponde a 8,5 (Figura VIII-16), por lo que sólo se simuló la adición de ácido. El requerimiento para llegar al mínimo sugerido es del orden de los requeridos para las Quebradas Oriente 2, 3 y 4.

La Tabla VIII-4 resume las dosis necesarias de ácido o base (meq/L) que se requeriría agregar para llegar al pH mínimo y máximo sugerido para los tramos recién presentados.

Tabla VIII-4. Requerimientos ácido base para llegar a pH mínimo y máximo sugerido, otros afluentes cuenca Lluta.

Tramo	pH	pH mínimo	meq H ⁺ /L requerido	pH máximo	meq OH ⁻ /L requerido
QORIEN1-1	8,21	6,50	0,0064	8,50	0,0029
QORIEN1-2	7,75	6,50	0,02	8,50	0,06
QORIEN1-3	8,53	6,50	0,05	8,53	-
QORIEN1-4	8,63	6,50	0,04	8,63	-
HUAYLA-1	7,71	6,50	0,64	8,50	0,18
AROMA-1	5,57	5,57	-	8,50	0,20
ALLANE-1	8,51	6,50	0,07	8,51	-

Los valores no presentados se explican puesto que para los tramos QORIEN1-3, QORIEN1-2 y ALLANE-1, no es posible determinar la máxima adición de base debido a que el pH máximo recomendado equivale al pH actual. Para el tramo AROMA-1, no es posible determinar la máxima adición de ácido puesto que el pH mínimo sugerido corresponde a la calidad actual.

Puede verse que la tendencia de los tramos menores es bastante distinta a la de los tramos principales y entre ellas. A pesar que el rango de pH en que pueden variar es más estricto, las dosis requeridas tanto de ácido como de base son al menos de un orden de magnitud inferior a las necesarias para cambiar el pH de los cursos mayores. Como lo ha mostrado este estudio, la composición química de estos cauces es bastante distinta a la de los afluentes mayores (ríos Azufre, Caracarani, Colpitas y Lluta). En general, tienen menos compuestos en solución y por lo tanto menos especies que puedan contribuir a la alcalinidad, lo que los hace más sensibles a descargas que puedan cambiar su pH natural.

b. Alcalinidad

A partir de las simulaciones de adiciones de ácido del punto anterior, se obtuvo la alcalinidad para los tramos cuyo pH representativo fuese superior a 4,5. Esto debido a que operativamente la alcalinidad se encuentra agregando un ácido fuerte a la muestra de interés hasta llegar a pH 4,5 (Snoeyink and Jenkins, 1980). Este parámetro, si bien es simple de medir, requiere cuidado durante la medición y en la interpretación de los datos si se trata de muestras naturales complejas como es el caso de este estudio. Este hecho podría implicar limitaciones de cinética, disolución de partículas en el caso de trabajar con muestras no filtradas, entre otros. El equipo consultor realizó mediciones tanto en terreno como en laboratorio para algunas muestras representativas.

La Tabla VIII-5 muestra los valores estimados por el modelo para los tramos de la cuenca y los obtenidos por el equipo consultor experimentalmente. Puede verse que algunos valores difieren, en particular para el caso de los cursos de mejor calidad. Los valores presentados en cursiva corresponden a titulaciones realizadas en terreno.

Tabla VIII-5. Alcalinidad estimada para cada tramo de la cuenca.

Principales cursos cuenca Lluta		Modelada	Experimental
Tramo	pH	Alcalinidad (mg CaCO ₃ /L)	
AZU-1	1,69	-	-
CARAC-1	8,65	15,4	<i>117,9</i>
CARAC-2	3,85	-	-
COLP-1	8,15	20,3	<i>145,8</i>
LLUTA-1	4,88	60,0	-
LLUTA-2	6,99	123,3	85,5
LLUTA-3	8,05	140,0	105,5
Otros afluentes cuenca Lluta		Modelada	Experimental
Tramo	pH	Alcalinidad (mg CaCO ₃ /L)	
QORIEN1-1	8,21	2,3	41,8
QORIEN1-2	7,75	2,7	57,1
QORIEN1-3	8,53	7,2	<i>54,4</i>
QORIEN1-4	8,63	5,0	85,5
HUAYLA-1	7,71	84,0	86,2
AROMA-1	5,57	12,0	2,5
ALLANE-1	8,51	5,5	98,6

Como puede verse, los cursos menores de la cuenca se caracterizan por su baja alcalinidad (menor a 20 mg CaCO₃/L) (American Public Health Association, 2005). Mientras, el río Lluta presenta valores del orden de 100 mg/L CaCO₃, lo que se atribuye a la presencia de compuestos en el río Lluta que son capaces de amortiguar las adiciones de ácido y que, debido a la mejor calidad de los cauces menores, no están presentes en ellos.

Se recomienda que la alcalinidad se mantenga en su calidad actual por tramo. Debido a que no se cuenta con información suficiente no se han propuesto valores específicos recomendados por tramo. Como referencia, sólo se ha reportado un estándar internacional (United States Environmental Protection Agency, 1986) que recomienda un mínimo de 20 mg/L CaCO₃, a menos que la concentración natural sea menor. Este hecho hace ver que es importante preservar la condición natural del cauce a proteger.

Se debe tener en cuenta que preliminarmente en caso de cambios de este parámetro, el caso más favorable sería que este valor aumente a que disminuya, puesto que así ante una descarga ácida, el pH del cuerpo receptor sería menos sensible al cambio. Si la alcalinidad aumenta, ya sea natural o antropogénicamente, existe algún proceso que está provocando un aumento en la concentración de especies básicas y que por tanto probablemente otros parámetros podrían ser excedidos. En el caso particular de la cuenca del río Lluta, los siguientes parámetros relevantes tienen iones asociados que podrían aportar alcalinidad: pH -asociado a la concentración de hidroxilo OH⁻, boro -asociado al ión borato B(OH)₄⁻ y carbonato CO₃⁻².

Con el fin de estimar el impacto de una disminución en la alcalinidad en los cauces de interés, se simuló el requerimiento de ácido para alcanzar el pH mínimo recomendado para distintas alcalinidades inferiores a la característica de cada tramo. Se debe destacar que debido a la relación entre pH y alcalinidad, cuando uno de esos parámetros cambia el otro también. Específicamente, al simular que la alcalinidad disminuye, por equilibrio de cargas el pH debe disminuir también.

Para cada tramo, las Tablas presentadas a continuación indican el pH obtenido al bajar la alcalinidad y la respectiva dosis requerida en meq/L para llegar al pH mínimo sugerido. En todos los casos, se observó que a medida que la alcalinidad disminuye, la dosis de ácido necesaria para llegar al pH mínimo sugerido también.

Principales ríos cuenca Lluta

LLUTA-1: Estación Lluta en Alcérreca

Tabla VIII-6. Requerimiento y pH resultante en función de la alcalinidad, tramo LLUTA-1, pH mínimo sugerido 3,6.

Alcalinidad (mg CaCO₃/L)	pH	meq H+/L requerido
60	4,88	1,84
50	4,63	1,32
40	4,59	1,12
30	4,55	0,88
20	4,51	0,72

*LLUTA-2: Estación Lluta en Tocontasi***Tabla VIII-7. Requerimiento y pH resultante en función de la alcalinidad, tramo LLUTA-2, pH mínimo sugerido 4.**

Alcalinidad (mg CaCO₃/L)	pH	meq H⁺/L requerido
123,3	6,99	2,87
103,3	5,97	2,13
83,3	5,14	1,73
63,3	4,74	1,40
43,3	4,61	1,00
23,3	4,53	0,53
20	4,51	0,47

*LLUTA-3: Estación Lluta en Panamericana***Tabla VIII-8. Requerimiento y pH resultante en función de la alcalinidad, tramo LLUTA-3, pH mínimo sugerido 5,5.**

Alcalinidad (mg CaCO₃/L)	pH	meq H⁺/L requerido
140	8,05	2,08
120	7,58	1,68
100	6,98	1,28
80	6,51	0,80
60	6,11	0,40
40	5,64	0,04
20	4,97	-

Para los tramos CARAC-1 y COLP-1, como lo muestra la Tabla VIII-5, las alcalinidades obtenidas son inferiores en un orden de magnitud a las del río Lluta en sus diferentes tramos. Debido a esto, no fue posible modelar las dosis necesarias de ácido para que el pH bajase al mínimo recomendado para alcalinidades menores a la actual. Estos cursos de agua ya poseen una baja alcalinidad. Es recomendable que estos tramos no se vean afectados por descargas ácidas, ya que debido a las bajas alcalinidades la sensibilidad al cambio de pH es mayor.

Otros afluentes cuenca Lluta

Análogamente al caso de CARAC-1 Estación Caracarani en Humapalca y COLP-1 Estación Colpitas antes de Caracarani, para los tramos menores de la cuenca (exceptuando

el tramo HUAYLA-1) no fue posible modelar las dosis necesarias de ácido para que el pH bajase al mínimo recomendado para alcalinidades menores a la actual debido al bajo valor de ésta en todos los tramos.

La Tabla VIII-9 muestra el pH y las dosis requeridas de ácido para llegar al pH mínimo, en función de distintas alcalinidades simuladas para Quebrada Huayla.

Tabla VIII-9. Requerimiento y pH resultante en función de la alcalinidad, tramo HUAYLA-1, pH mínimo sugerido 6,5.

Alcalinidad (mg CaCO₃/L)	pH	meq H⁺/L requerido
84	7,71	0,64
80	7,43	0,56
60	6,72	0,24
40	6,30	-
20	5,84	-

Como puede verse en la Tabla VIII-9, la alcalinidad del tramo HUAYLA-1 no puede bajar a 40 mg CaCO₃/L, puesto que eso implicaría que el pH sería inferior al mínimo sugerido de 6,5.

Se recomienda especial atención a las posibles descargas ácidas a estos cursos menores, pues si bien el pH mínimo recomendado (que corresponde a 6,5) es inferior a la calidad actual -con excepción de Quebrada Allane que tiene pH 5,57-, estos cauces son susceptibles a bajas de pH antes pequeñas adiciones de ácido dada su calidad natural.

c. DBO y DQO

Debido a la falta de información tanto histórica como puntual, se realizó una estimación teórica para el valor representativo de la DBO₅ por tramo a partir de las mediciones de DQO reportadas por el equipo consultor. Dichos valores se encuentran en el orden de magnitud de mediciones puntuales de referencia para el río Lluta, que oscilan entre 2,2 y <1,5 mg/L (Dirección General de Aguas, 2004); y de valores puntuales reportados por este estudio para las quebradas receptoras de la descarga de aguas servidas de la localidad de Putre, cuyos valores oscilan entre 2,46 y 4,96 mg/L.

En el caso puntual de esta descarga de aguas servidas -con un caudal estimado de 24 L/día- y dado el bajo caudal de la quebrada receptora (del orden de 20 L/s) con una DBO₅ de 4,86 mg/L, el impacto en el río Lluta se traduce en un aumento del 4%, considerando que tiene una DBO₅ de 2 mg/L. Es decir, el impacto en el río es prácticamente imperceptible para estas condiciones.

Para efectos de las simulaciones, se adicionaron 5 distintas descargas con caudales correspondientes al 5%, 10%, 20%, 50% y 100% del caudal promedio del cauce receptor.

Para cada una de las descargas se varió la DBO_5 , expresada en mg/L, hasta conseguir que producto de la dilución de la descarga en su respectivo cauce receptor se alcanzara el valor máximo sugerido. Se sugieren dos valores máximos de DBO_5 , de acuerdo al uso del tramo: para agricultura y mantención del ecosistema natural se sugiere un valor máximo de 10 mg/L; mientras que para potabilización este valor es de 5 mg/L.

De acuerdo al DS 90, los niveles de DBO_5 en descargas se restringen a valores máximos de 35 mg/L, sin considerar capacidad de dilución del cauce receptor y de 300 mg/L, considerando capacidad de dilución. Los valores simulados de los riles cumplen el DS 90, por lo que no fue necesario corregir la Tabla VIII-10.

Estas simulaciones consideran los efectos de agregar una descarga puntual en la estación representativa del tramo, es decir sólo la situación de mezcla inicial. Para considerar el efecto del consumo de oxígeno a lo largo del río, se emplea el modelo de Streeter-Phelps.

Se debe distinguir la DBO última DBO_u de la DBO_5 mediante la siguiente expresión:

$$DBO_5 = DBO_u (1 - e^{-k \cdot 5})$$

Se podría considerar que tiene más sentido hacer recomendaciones para la DBO última. Sin embargo, dada la baja presencia de materia orgánica en la cuenca y por tanto los bajos valores de los parámetros biológicos reportados, la DBO_u es prácticamente igual que la DBO_5 . Además, la normativa debe considerar la DBO_5 , por lo cual todas las recomendaciones y cálculos están basados en dicho parámetro.

La consideración de este modelo podría permitir que las concentraciones de DBO superen el máximo sugerido en algunas secciones del tramo, si se considera como criterio que se cumpla sólo en la estación representativa y que no haya descargas en el recorrido.

Por ejemplo, dada una distancia aproximada de 48 kms entre las estaciones Lluta en Tocontasi y Lluta en Panamericana, si se llegase al máximo sugerido de 10 mg DBO/L en la primera y sin considerar descargas entre ellas, la DBO final (DBO_u) en Lluta en Panamericana bordearía los 4,6 mg DBO_u /L (Figura VIII-17). Si se quisiera cumplir con el requerimiento de 10 mg/L en Lluta en Panamericana considerando que hay un aumento justo aguas abajo de Lluta en Tocontasi, la concentración máxima recomendada en dicho punto sería de 21,7 mg/L (Figura VIII-18).

Para el caso del tramo CARAC-2, donde el máximo recomendado también es de 10 mg/L para la estación representativa Caracarani antes de Colpitas (uso sugerido: mantención del ecosistema natural), considerando una distancia de 30 km entre el inicio del tramo (junta de río Caracarani con río Azufre) y la mencionada estación, la DBO al principio del tramo podría ser de 16,2 mg/L, llegando a 10 mg/L antes de la junta con Colpitas (Figura VIII-18). Esta estimación no considera posibles alteraciones debido a los aportes de las Quebradas Oriente, puesto que dado su uso de potabilización la DBO no puede superar los 5 mg/L y como los caudales aportados son un orden de magnitud inferior al del Caracarani, contribuyen más bien diluyendo el cauce.

La Figura VIII-17 esquematiza la variación de la DBO para los principales cursos de la cuenca. A mayor distancia entre estaciones, mayor consumo de oxígeno y por tanto una mayor disminución de la DBO inicial.

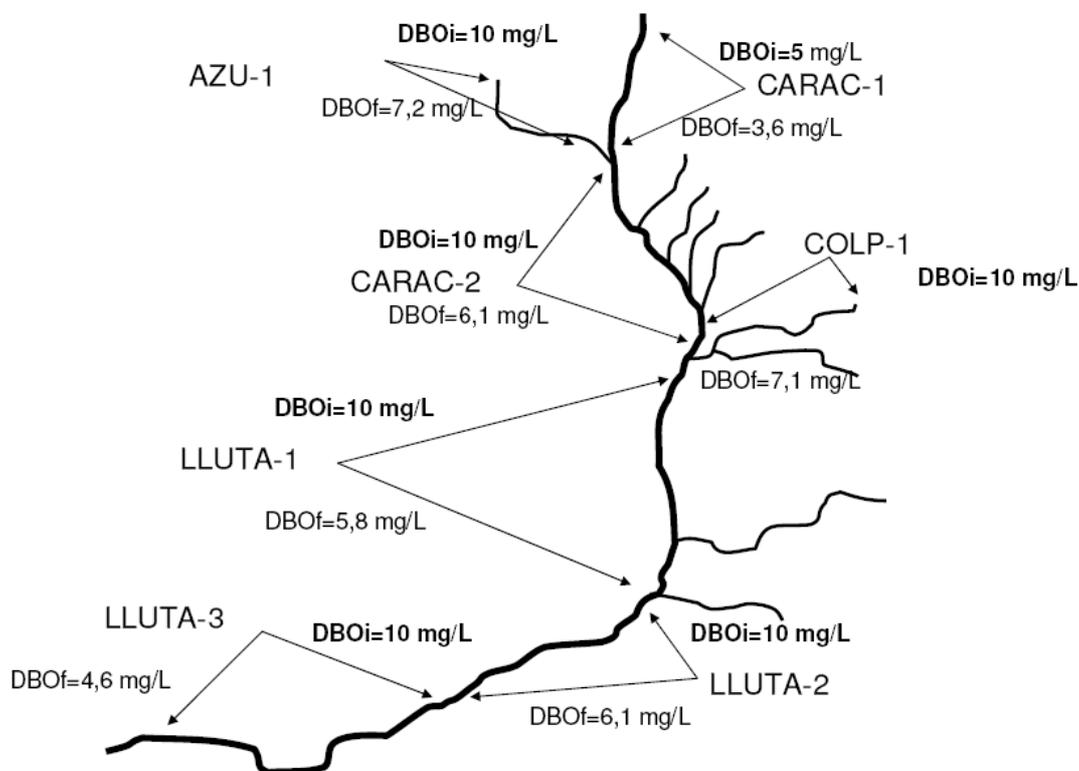


Figura VIII-17. Disminución en las concentraciones de DBO, principales tramos cuenca del Lluta.

La Figura VIII-18 muestra las concentraciones hipotéticas máximas que podrían ser aceptadas aguas arriba de cada tramo, de manera que se cumpla el máximo sugerido en la estación correspondiente. Sin embargo, los valores sugeridos como máximos deben respetarse a lo largo de todo el tramo y no sólo en el punto de monitoreo; por lo que la concentración en el origen del tramo no debe superar los 10 mg/L DBO_5 en el caso de los tramos AZU-1, CARAC-2, COLP-1, LLUTA-1, LLUTA-2, LLUTA-3, y los 5 mg/L en el tramo CARAC-1.

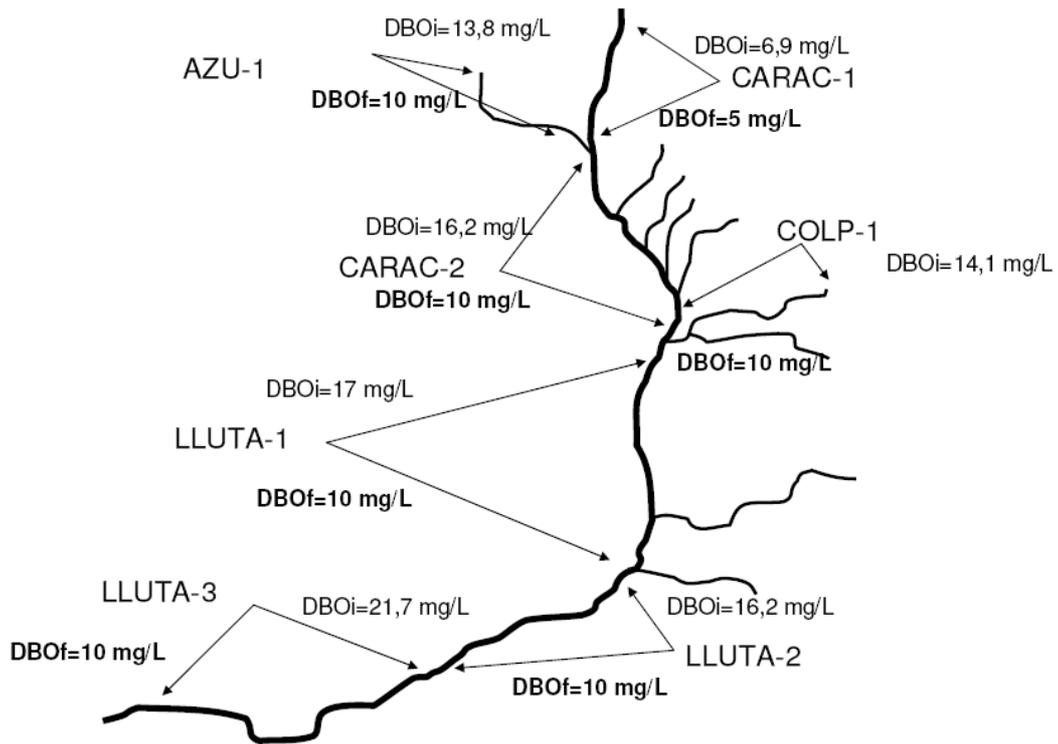


Figura VIII-18. Concentraciones máximas sugeridas de DBO para cumplir con el máximo propuesto en la estación representativa de los principales tramos de la cuenca del Lluta.

Las Figuras presentadas a continuación muestran las simulaciones puntuales ya mencionadas, es decir las curvas de concentración para la DBO_5 de la mezcla puntual en la estación representativa del tramo en función de la DBO_5 de la descarga, para distintos valores de caudales de ésta. Estas simulaciones también se presentan como carga de contaminante expresado en unidad de masa por unidad de tiempo (kg DBO/día).

Principales ríos cuenca Lluta

AZU-1: Estación Azufre antes de Caracarani

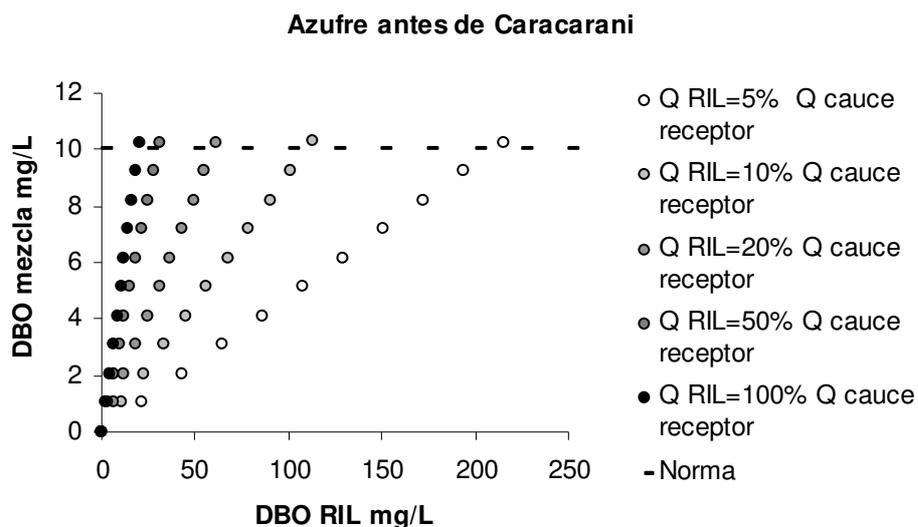


Figura VIII-19. Curvas de concentración final de DBO para distintas concentraciones y caudales de descarga, tramo AZU-1.

La Figura VIII-19 presenta la variación de la DBO_5 característica del tramo AZU-1, producto de descargas con distintos caudales y niveles de DBO_5 sobre este tramo. En descargas con caudales menores que el 5% del caudal promedio del río Azufre, se recomienda no exceder los 210 mg/L de DBO_5 . Estos aportes también puede expresarse como carga (ver Figura VIII-20), donde se indica que la carga máxima diaria no puede superar los 57,3 kg/día.

Para descargas con caudales entre 5-100% del caudal promedio del tramo, se recomienda revisar la Tabla VIII-10 sobre valores máximos de DBO_5 sugeridos según tramos.

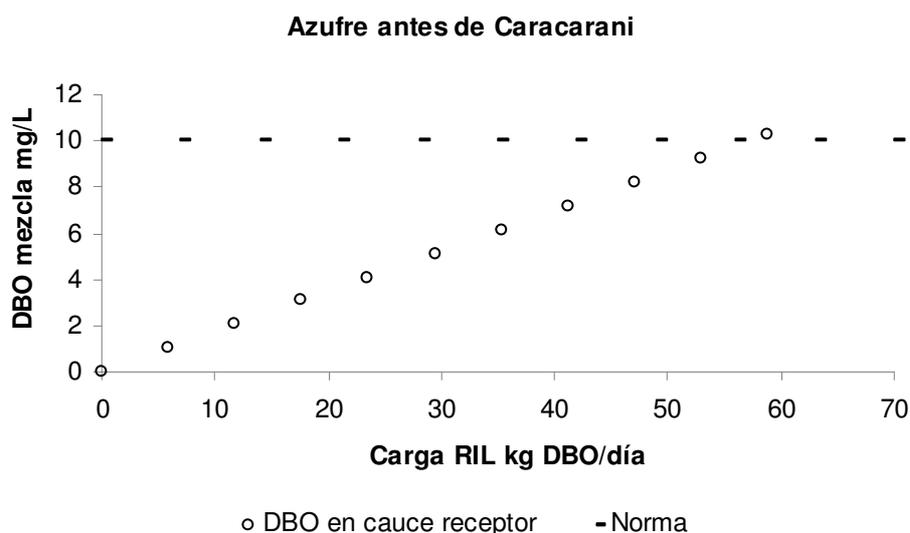


Figura VIII-20. Curva de carga máxima diaria de DBO admitida para el tramo AZU-1.

La Figura VIII-20 muestra que la carga máxima sugerida para AZU-1 corresponde a 57,4 kg DBO/día.

CARAC-1: Estación Caracarani en Humapalca

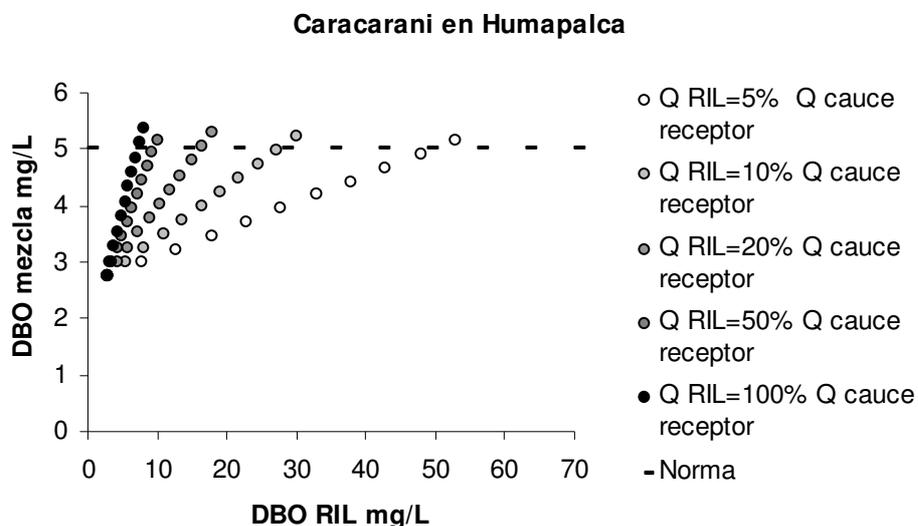


Figura VIII-21. Curvas de concentración final de DBO para distintas concentraciones y caudales de descarga, tramo CARAC-1.

La Figura VIII-21 muestra que para el tramo CARAC-1 el valor recomendado como máximo es de 50 mg/L de DBO₅ en descargas con caudales menores al 5% del caudal promedio del tramo.

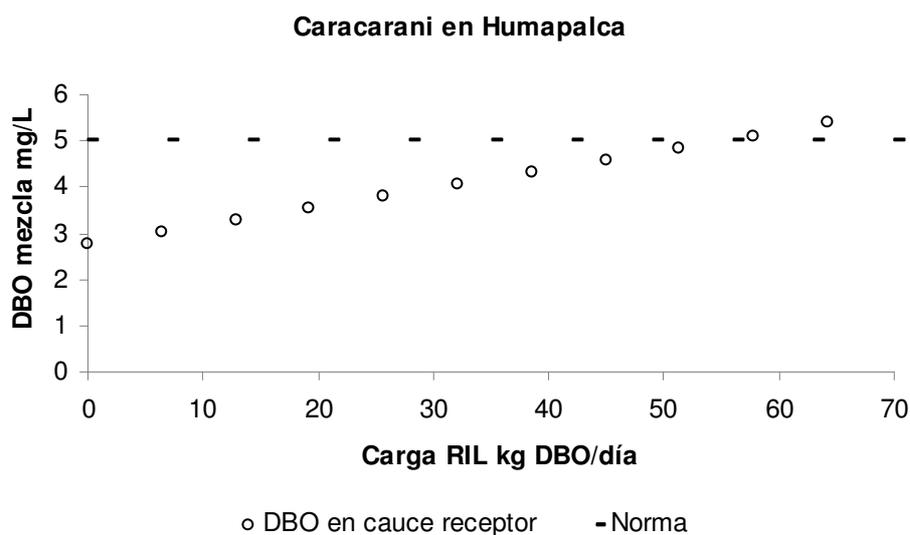


Figura VIII-22. Curva de carga máxima diaria de DBO admitida para el tramo CARAC-1.

La Figura VIII-22 muestra que carga máxima sugerida para la estación Caracarani en Humapalca corresponde a 55 kg DBO/día.

CARAC-2: Estación Caracarani antes de Colpitas

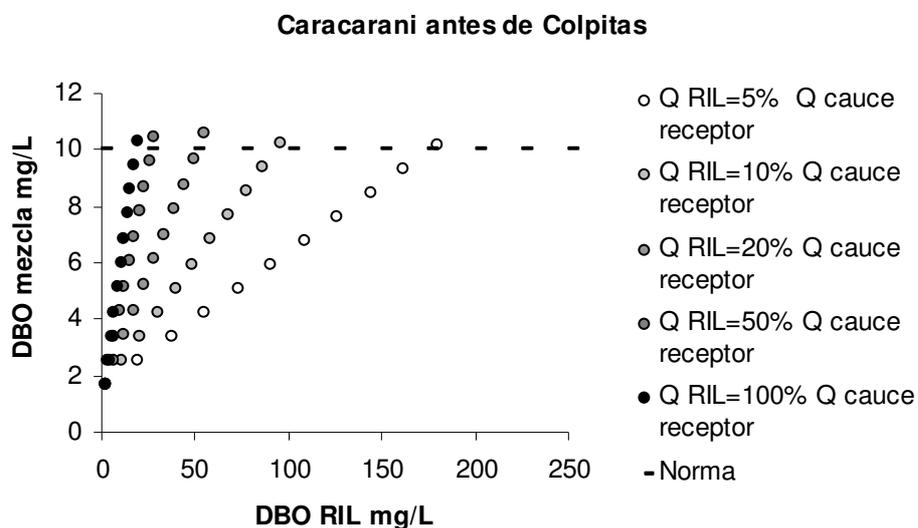


Figura VIII-23. Curvas de concentración final de DBO para distintas concentraciones y caudales de descarga, tramo CARAC-2.

Para el tramo CARAC-2, la Figura VIII-24 muestra que descargas con caudales menores al 5% del caudal promedio del tramo, no deberían exceder niveles de DBO_5 de 176,6 mg/L.

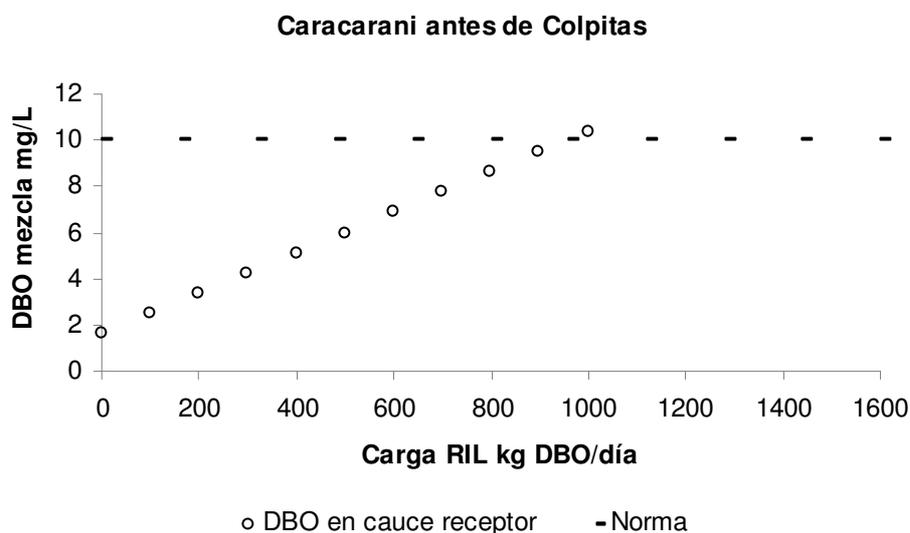


Figura VIII-24. Curva de carga máxima diaria de DBO admitida para el tramo CARAC-2.

La Figura VIII-24 muestra que carga máxima sugerida para la estación Caracarani antes de Colpitas corresponde a 957,8 kg DBO/día.

COLP-1: Estación Colpitas antes de Caracarani

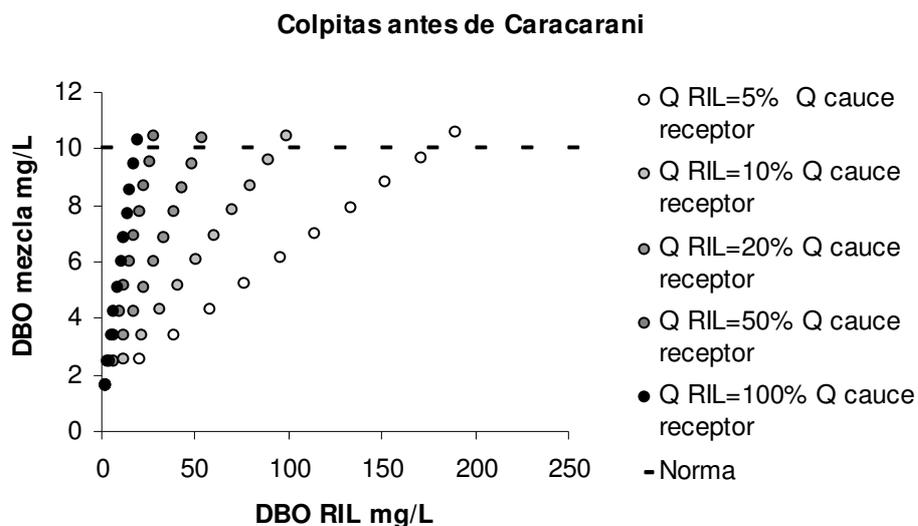


Figura VIII-25. Curvas de concentración final de DBO para distintas concentraciones y caudales de descarga, tramo COLP-1.

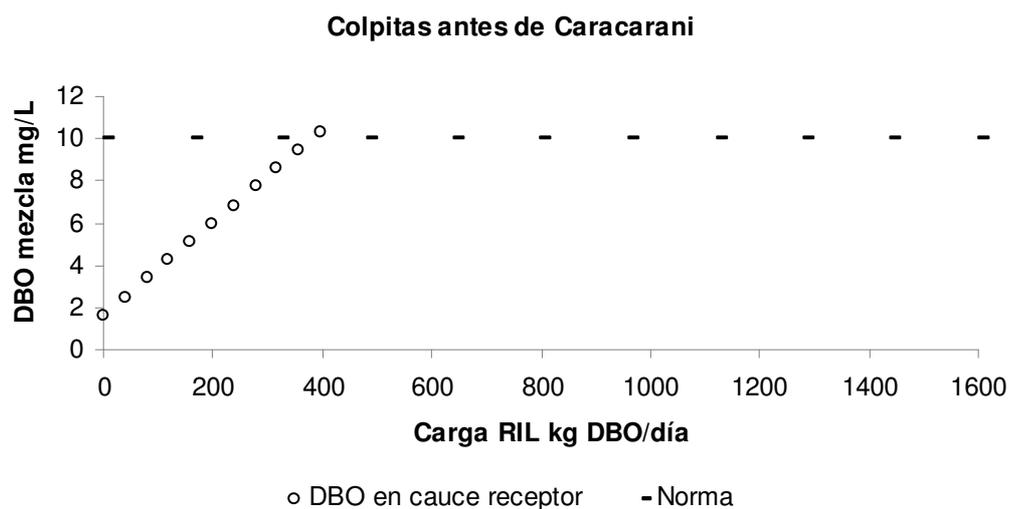


Figura VIII-26. Curva de carga máxima diaria de DBO admitida para el tramo COLP-1.

La Figura VIII-26 muestra que carga máxima sugerida para la estación Colpitas antes de Caracarani corresponde a 382,4 kg/día.

LLUTA-1: Estación Lluta en Alcérreca

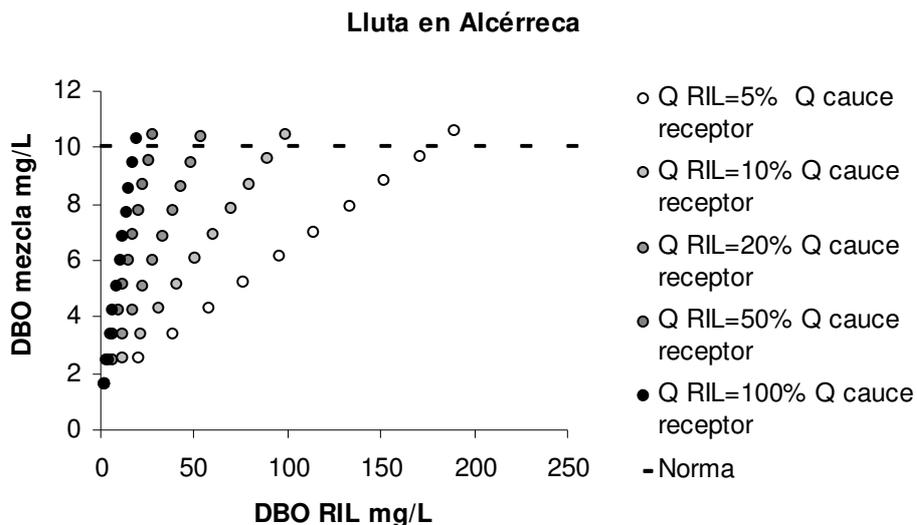


Figura VIII-27. Curvas de concentración final de DBO para distintas concentraciones y caudales de descarga, tramo LLUTA-1.

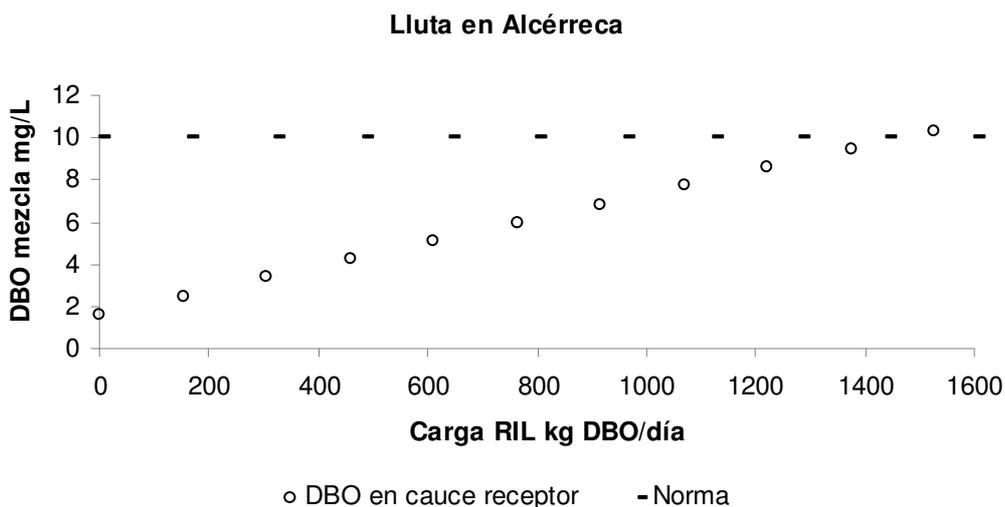


Figura VIII-28. Curva de carga máxima diaria de DBO admitida para el tramo LLUTA-1.

La Figura VIII-28 muestra que carga de DBO máxima sugerida para el tramo LLUTA-1 es de 1.469,2 kg/día.

Los tramos COLP-1 y LLUTA-1 poseen el mismo valor estimado de DBO₅, por lo que pueden agruparse y ser analizados en conjunto, a través de la Figura VIII-25 y Figura VIII-27. Se puede observar mediante estas figuras que para descargas con caudales menores al 5% del caudal promedio del tramo, se recomienda como valor máximo de DBO₅ 177,5 mg/L.

LLUTA-2: Estación Lluta en Tocontasi

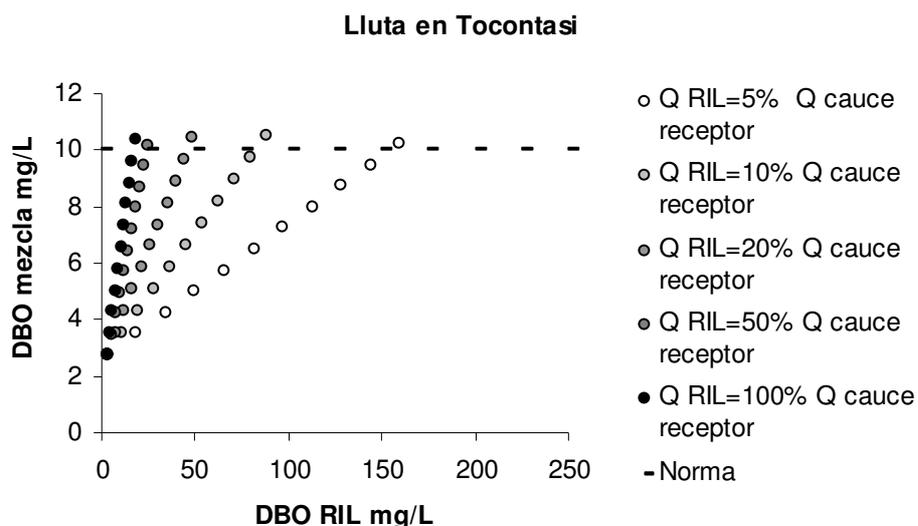


Figura VIII-29. Curvas de concentración final de DBO para distintas concentraciones y caudales de descarga, tramo LLUTA-2.

La Figura VIII-29 presenta la posible variación del valor de DBO_5 característico del tramo LLUTA-2 debido a las descargas simuladas en Lluta en Tocontasi.

Se puede observar que el valor de DBO_5 recomendado para no exceder el valor propuesto como máximo en el tramo es de 155 mg/L, para descargas con caudales menores al 5% del caudal promedio de Lluta en Tocontasi.

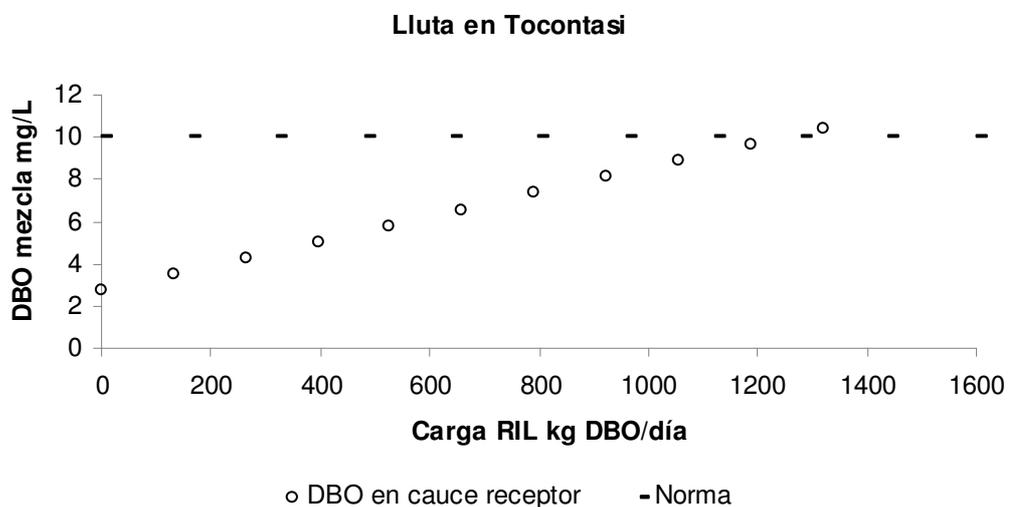


Figura VIII-30. Curva de carga máxima diaria de DBO admitida para el tramo LLUTA-2.

La Figura VIII-30 muestra que carga máxima sugerida para el tramo LLUTA-2 es de 1.250 kg/día.

LLUTA-3: Estación Lluta en Panamericana

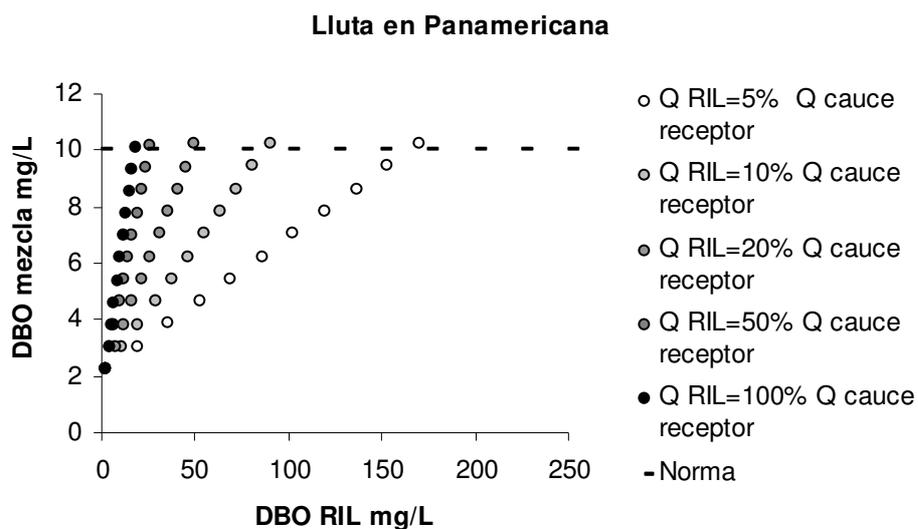


Figura VIII-31. Curvas de concentración final de DBO para distintas concentraciones y caudales de descarga, tramo LLUTA-3.

La Figura VIII-31 muestra los cambios en la DBO_5 de la estación Lluta en Panamericana, la que es común para los tramos LLUTA-3 y LLUTA-4.

Para estos tramos, se recomienda que descargas con caudales menores al 5% del caudal promedio de Lluta en Panamericana, no excedan niveles de DBO_5 de 165 mg/L, para asegurar que no se supere el máximo de 10 mg/L de DBO_5 propuesto para los tramos.

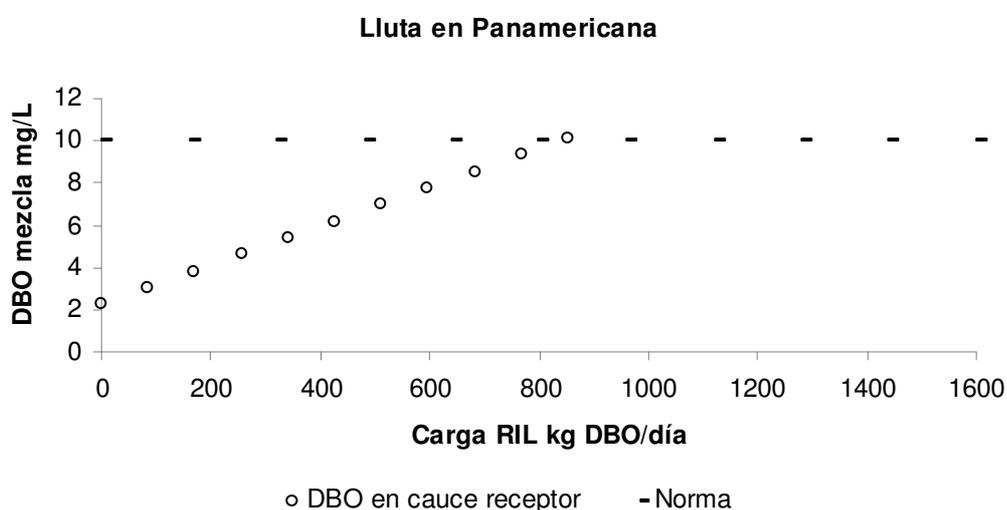


Figura VIII-32. Curva de carga máxima diaria de DBO admitida para el tramo LLUTA-3.

La Figura VIII-32 muestra que carga de DBO máxima sugerida para el tramo LLUTA-3 es de 842,3 kg/día.

Como se pudo apreciar en las figuras anteriores, los tramos asociados a usos de agricultura y mantención del ecosistema natural son bastante homogéneos permitiendo valores máximos de DBO_5 entre 155-178 mg/L para descargas con caudales menores al 5% del caudal promedio del tramo. El único caso que escapa a este rango de DBO_5 es el tramo AZU-1, por tener un valor característico de DBO_5 muy bajo.

Otros afluentes cuenca Lluta

QORIEN1-1: Estación Quebrada Oriente 1

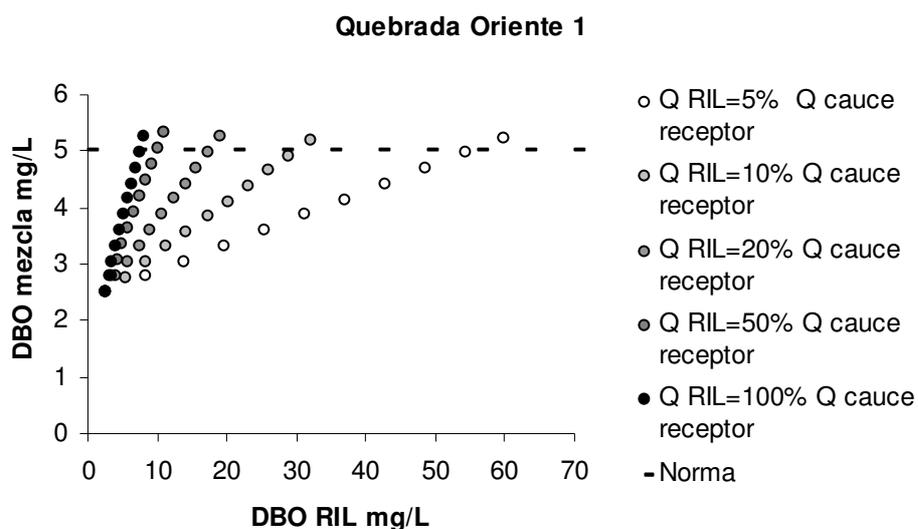


Figura VIII-33. Curvas de concentración final de DBO para distintas concentraciones y caudales de descarga, tramo QORIEN1-1.

Para Quebrada Oriente 1, la Figura VIII-33 permite visualizar un comportamiento muy similar al de Caracarani en Humapalca. El valor máximo recomendado para el tramo QORIEN1-1 es de 55 mg/L de DBO_5 para descargas con caudales menores al 5% del caudal promedio del tramo, mientras que para CARAC-1 es de 50 mg/L.

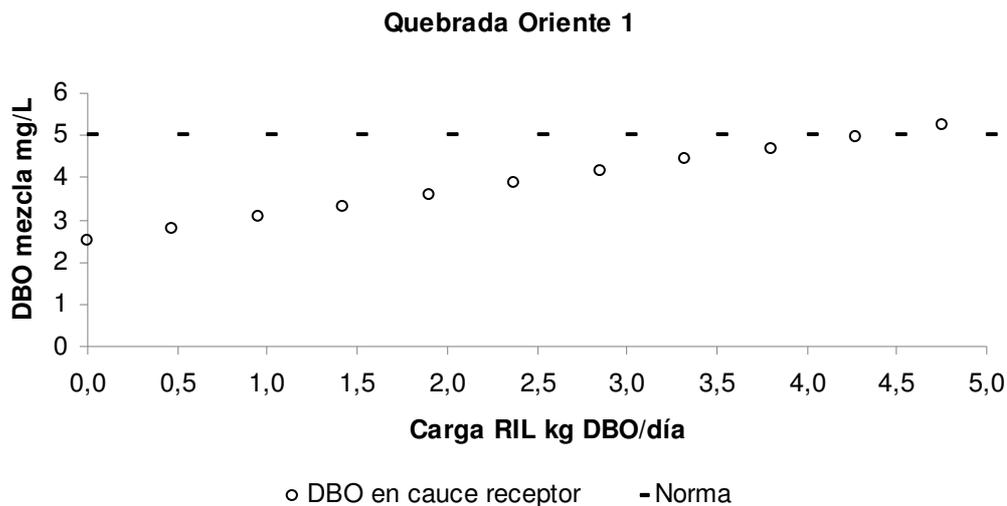


Figura VIII-34. Curva de carga máxima diaria de DBO admitida para el tramo QORIEN1-1.

La Figura VIII-34 muestra que carga de DBO máxima sugerida para el tramo QORIEN1-1 es de 4,32 kg/día.

QORIEN2-1: Estación Quebrada Oriente 2

La Figura VIII-35 permite apreciar que para descargas con caudales inferiores al 5% del caudal promedio de Quebrada Oriente 2, el tramo tolera hasta un valor máximo de 60 mg/L de DBO₅ -para una descarga con un caudal equivalente al 5% del tramo- antes de exceder el valor máximo recomendado de 5 mg/L.

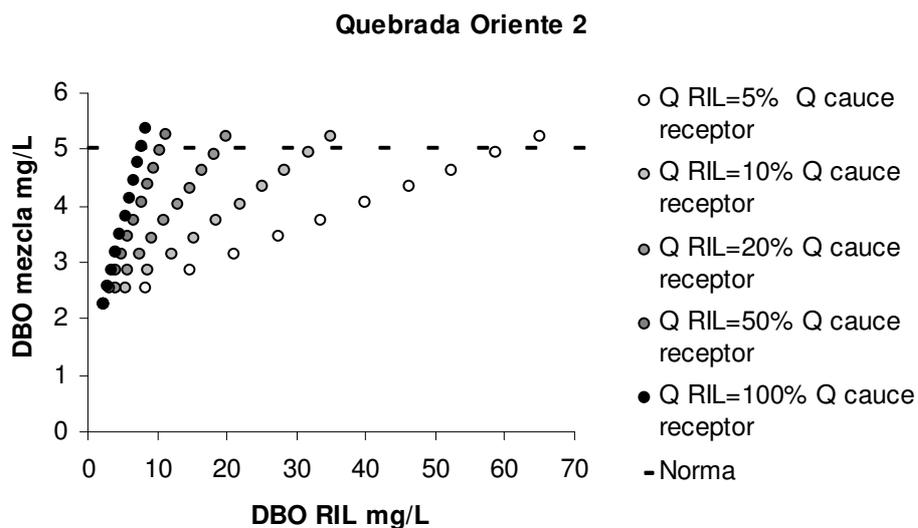


Figura VIII-35. Curvas de concentración final de DBO para distintas concentraciones y caudales de descarga, tramo QORIEN2-1.

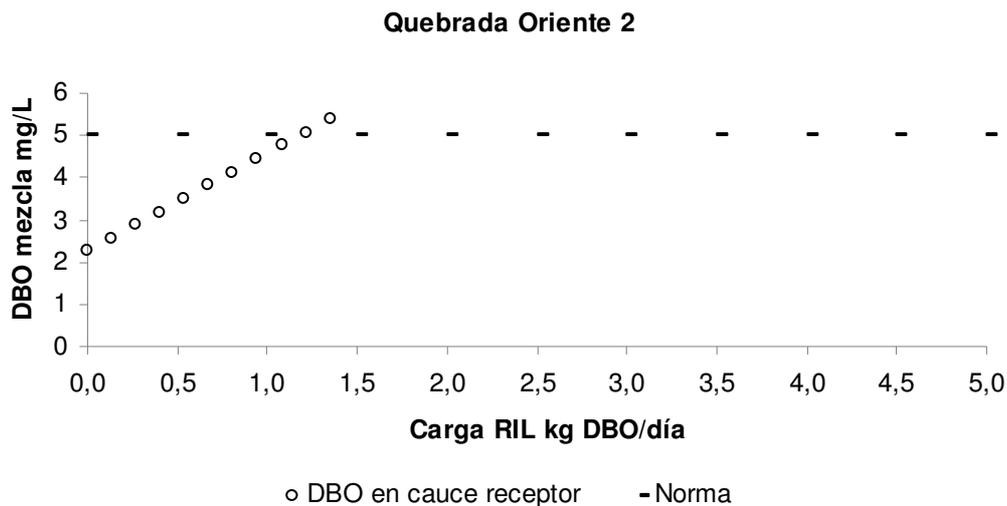


Figura VIII-36. Curva de carga máxima diaria de DBO admitida para el tramo QORIEN2-1.

La Figura VIII-36 muestra que la carga de DBO máxima sugerida para el tramo QORIEN2-1 es de 1,1 kg/día.

QORIEN3-1: Estación Quebrada Oriente 3

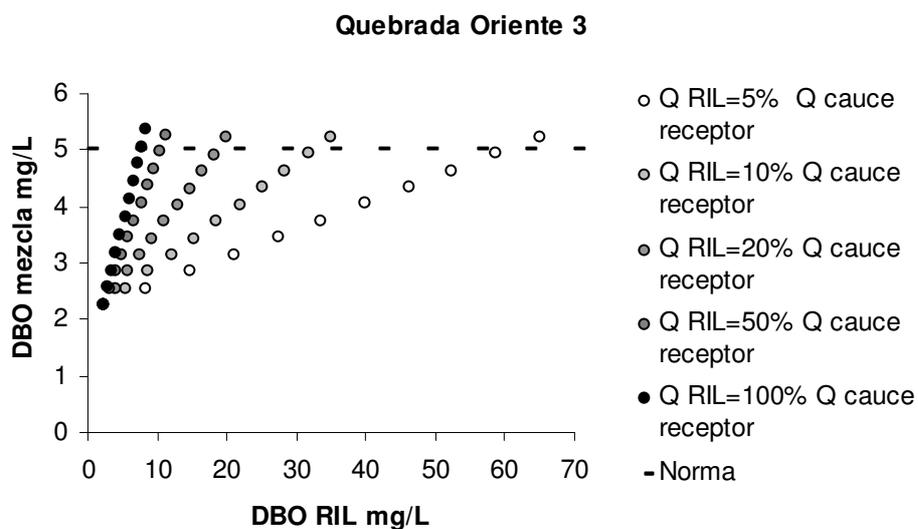


Figura VIII-37. Curvas de concentración final de DBO para distintas concentraciones y caudales de descarga, tramo QORIEN3-1.

El caso de este tramo es igual al de Quebrada Oriente 2 puesto que presentan el mismo valor característico de DBO_5 . Por lo tanto, las curvas de adición son iguales (Figura VIII-37).

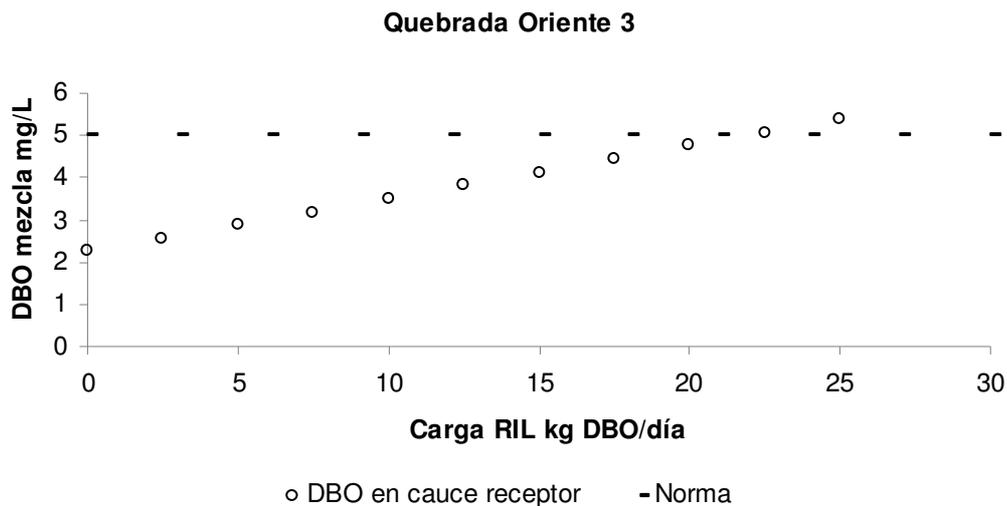


Figura VIII-38. Curva de carga máxima diaria de DBO admitida para el tramo QORIEN3-1.

La Figura VIII-38 muestra que la carga de DBO máxima sugerida para el tramo QORIEN3-1 es de 22 kg/día.

QORIEN4-1: Estación Quebrada Oriente 4

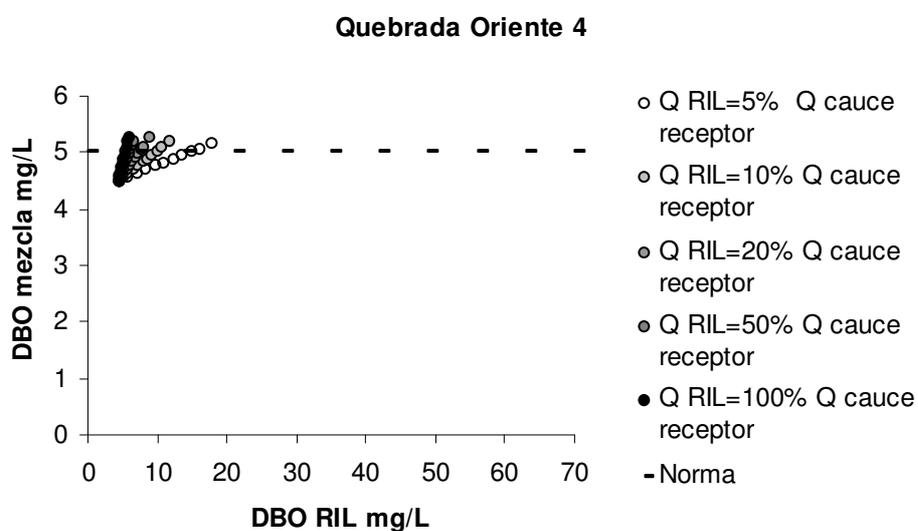


Figura VIII-39. Curvas de concentración final de DBO para distintas concentraciones y caudales de descarga, tramo QORIEN4-1.

La Figura VIII-39 permite apreciar que el tramo QORIEN4-1 tiene un comportamiento distinto al de los tramos estudiados previamente. Para descargas con caudales inferiores al 5% del caudal promedio de esta quebrada, se recomienda como valor máximo 15 mg/L de DBO_5 , muy distante de los 50-60 mg/L permitidos para CARAC-1, QORIEN1-1, QORIEN2-1 y QORIEN3-1. Esto se debe a que la Quebrada Oriente 4 presenta el valor

característico de DBO_5 más alto de toda la cuenca del río Lluta, siendo bastante cercano al valor propuesto como máximo para todos los tramos asociados a potabilización (5 mg/L).

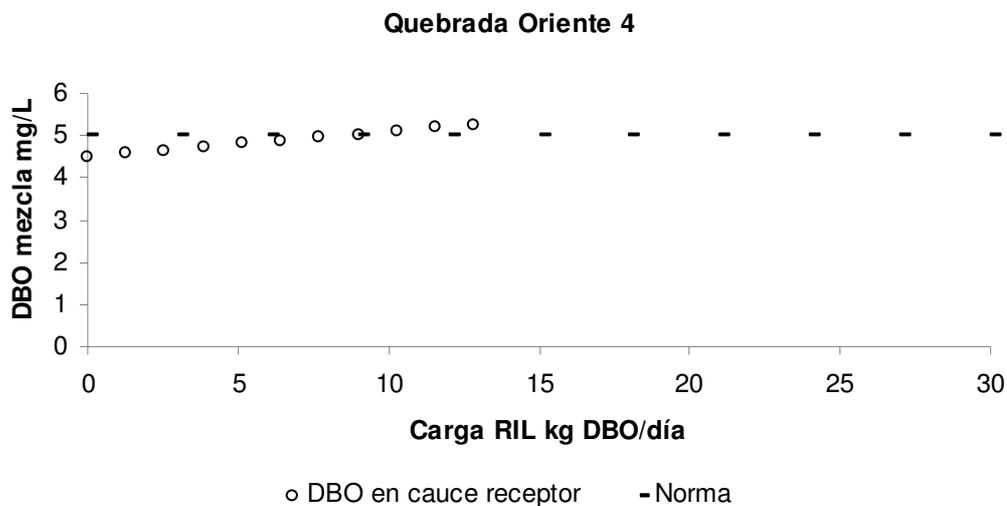


Figura VIII-40. Curva de carga máxima diaria de DBO admitida para el tramo QORIEN4-1.

La Figura VIII-40 muestra que la carga de DBO máxima sugerida para el tramo QORIEN4-1 es de 5,9 kg/día.

ALLANE-1: Estación Quebrada Allane

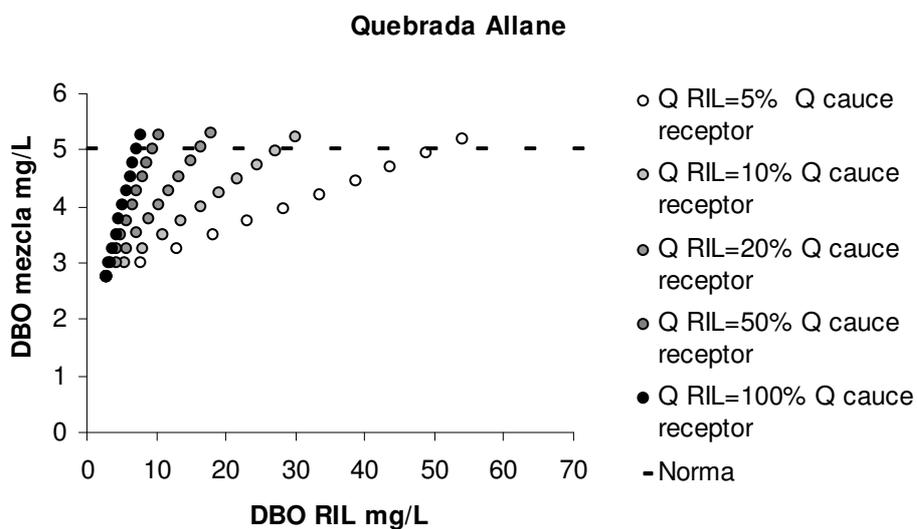


Figura VIII-41. Curvas de concentración final de DBO para distintas concentraciones y caudales de descarga, tramo ALLANE-1.

La variación de DBO_5 en Quebrada Allane se ilustra a través de la Figura VIII-41. Es posible apreciar en esta figura que descargas con caudales menores al 5% del caudal

promedio del tramo no deben superar los 50 mg/L de DBO₅ para garantizar que no se exceda el valor recomendado como máximo.

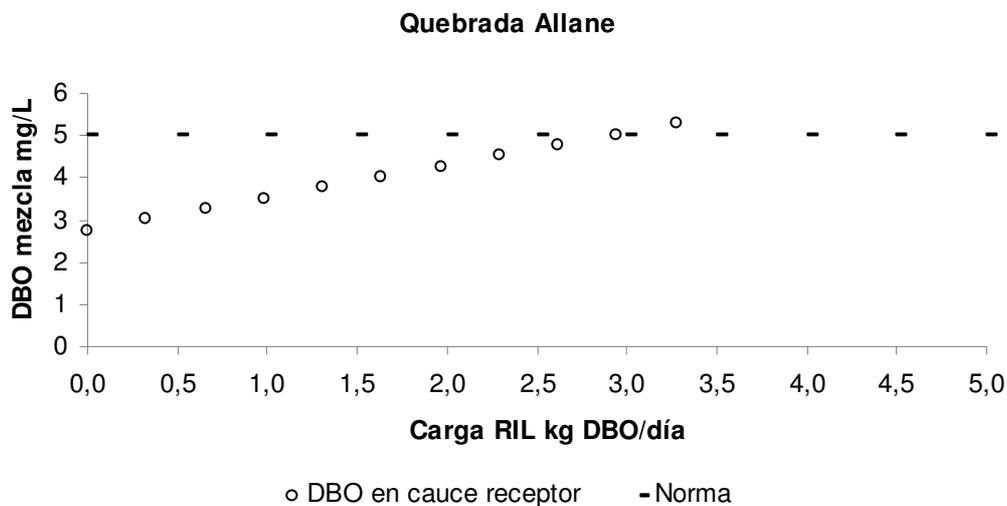


Figura VIII-42. Curva de carga máxima diaria de DBO admitida para el tramo ALLANE-1.

La Figura VIII-42 muestra que la carga de DBO máxima sugerida para el tramo ALLANE-1 es de 2,9 kg/día.

HUAYLA-1: Estación Quebrada Huayla

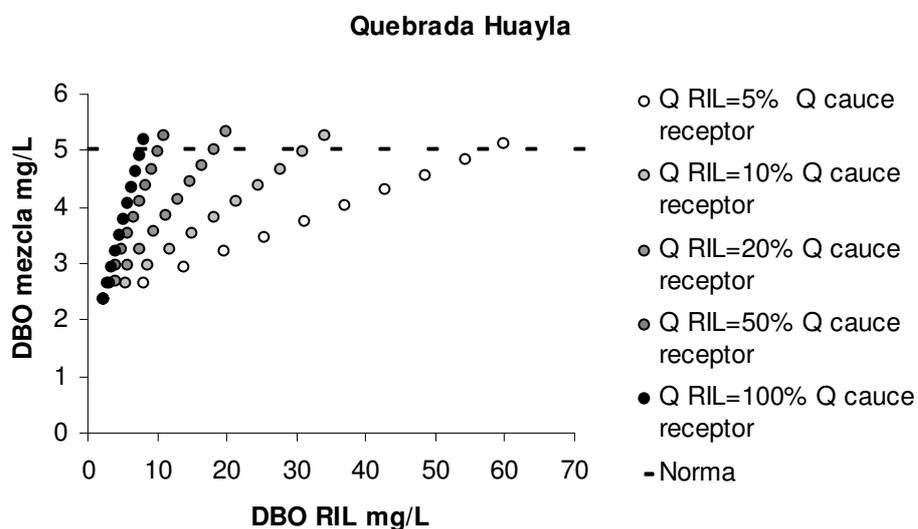


Figura VIII-43. Curvas de concentración final de DBO para distintas concentraciones y caudales de descarga, tramo HUAYLA-1.

La Figura VIII-43 muestra que para el tramo HUAYLA-1, el valor máximo de DBO₅ recomendado para descargas con caudales menores al 5% del caudal promedio de la

quebrada debe ser inferior a 57,5 mg/L. Este comportamiento es similar al de los tramos CARAC-1, las quebradas Oriente 1, 2 y 3 y la Quebrada Allane.

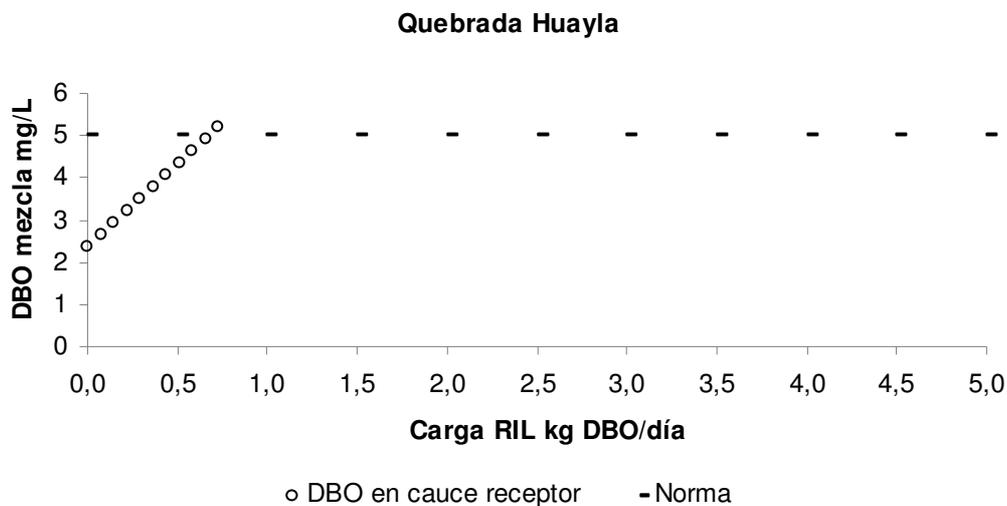


Figura VIII-44. Curva de carga máxima diaria de DBO admitida para el tramo HUAYLA-1.

La Figura VIII-44 muestra que la carga de DBO máxima sugerida para el tramo HUAYLA-1 es de 0,68 kg/día.

AROMA-1: Estación Quebrada Aroma

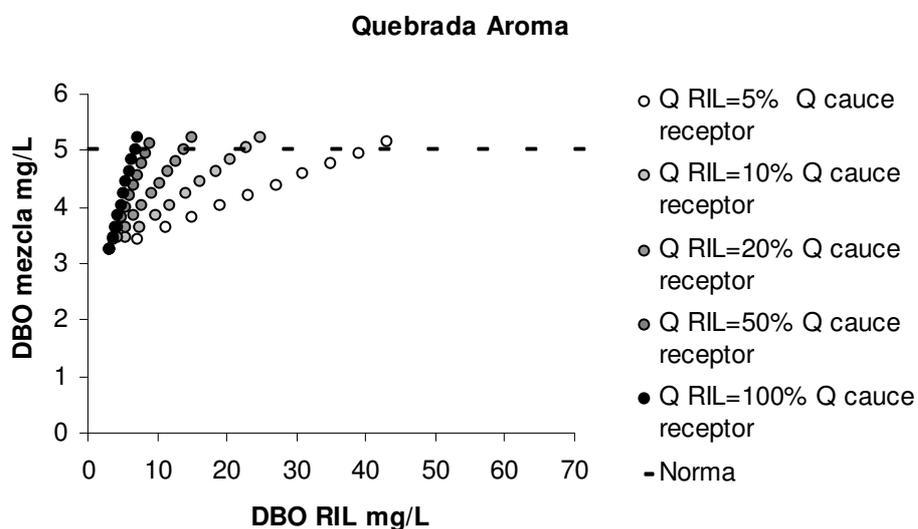


Figura VIII-45. Curvas de concentración final de DBO para distintas concentraciones y caudales de descarga, tramo AROMA-1.

Para la Quebrada Aroma, la Figura VIII-45 muestra que con un valor de 40 mg/L de DBO_5 para descargas con caudales menores que el 5% del caudal promedio del tramo, se alcanza el valor recomendado como máximo.

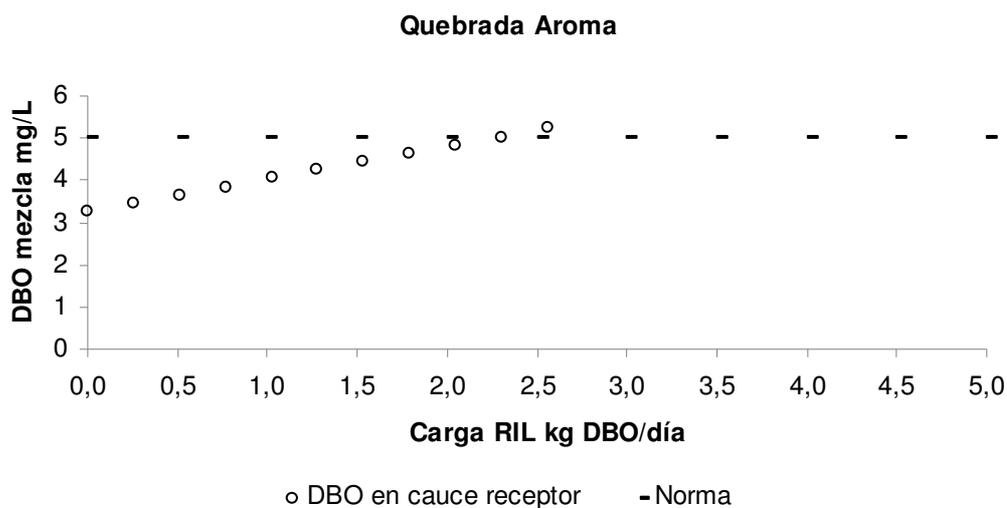


Figura VIII-46. Curva de carga máxima diaria de DBO admitida para el tramo AROMA-1.

La Figura VIII-46 muestra que la carga de DBO máxima sugerida para el tramo AROMA-1 es de 2,2 kg/día.

Para los tramos de potabilización analizados se puede concluir que descargas con caudales menores que el 5% del caudal promedio del tramo pueden tener niveles máximos de DBO₅ entre 40-60 mg/L. El único tramo que no tiene un comportamiento dentro de este rango es el de QORIEN4-1 ya que, como se mencionó anteriormente, tiene el valor característico de DBO₅ más alto de la cuenca y muy cercano al valor máximo recomendado para estos tramos.

Todas las descargas simuladas en este punto cumplen la normativa establecida por el Decreto Supremo N° 90, que establece valores de DBO₅ hasta 300 mg/L al considerar capacidad de dilución del cauce receptor.

La Tabla VIII-10 resume los valores máximos de DBO₅ permitidos para cada descarga realizada en las distintas estaciones, de acuerdo a rangos de caudales de las descargas, representando el cumplimiento del DS 90. La última columna indica la carga máxima sugerida equivalente (CMSE).

Debe considerarse además que el análisis considera el cumplimiento de los valores sugeridos para cada tramo de manera independiente, considerando una condición inicial fija para cada uno de ellos. Sin embargo, en el momento de implementarse la norma, debe conocerse la carga inicial de materia orgánica en cada tramo de manera de no exceder la carga máxima sugerida y obtener así la carga que es posible agregar en función de éstas. Además, un aumento en la carga de DBO influye hacia aguas abajo, puesto que sería factible que cierta carga no exceda la máxima sugerida en el tramo en que es descargada, pero que cause que no se cumpla el máximo sugerido en el tramo siguiente aguas abajo, dependiendo de las características de los cauces involucrados como el caudal y la concentración inicial de DBO.

Tabla VIII-10. Valores sugeridos como máximos de DBO₅, considerando una descarga proporcional al caudal de cada tramo. Considera normativa de Decreto Supremo N° 90.

Estación	Rango de Caudales (% del Caudal Promedio de la Estación)						CMSE DBO ₅ kg/día
	<5% DBO ₅ mg/L	5-10% DBO ₅ mg/L	10-20% DBO ₅ mg/L	20-50% DBO ₅ mg/L	50-100% DBO ₅ mg/L	>100% DBO ₅ mg/L	
Azufre antes de Caracarani	210	110	60	30	20	10	57,4
Caracarani en Humapalca	50	27,5	16,25	9,5	7,25	5	55,0
Quebrada Oriente 1	55	30	17,5	10	7,5	5	4,3
Quebrada Oriente 2	60	32,5	18,75	10,5	7,75	5	1,2
Quebrada Oriente 3	60	32,5	18,75	10,5	7,75	5	0,6
Quebrada Oriente 4	15	10	7,5	6	5,5	5	6,0
Caracarani antes de Colpitas	176,6	93,3	51,6	26,6	18,3	10	957,9
Quebrada Allane	50	27,5	16,25	9,5	7,25	5	2,9
Colpitas antes de Caracarani	177,5	93,75	51,87	26,75	18,37	10	382,4
Lluta en Alcérreca	177,5	93,75	51,87	26,75	18,37	10	1469,3
Quebrada Huayla	57,5	31,25	18,12	10,25	7,62	5	0,7
Quebrada Aroma	40	22,5	13,75	8,5	6,75	5	2,3
Lluta en Tocontasi	155	82,5	46,25	24,5	17,25	10	1250,0
Lluta en Panamericana	165	87,5	48,75	25,5	17,75	10	842,4

d. Arsénico

Debido a la reactividad de este parámetro, como se mostró en el punto 1, existen 2 casos para analizar la máxima adición de arsénico permitida para no excedencia de la norma sugerida:

- Tramos en que se ha evidenciado la presencia de hidróxidos de fierro y por tanto una parte considerable del arsénico total está asociado a dicha fase sólida.

Dentro de estos tramos se encuentran:

LLUTA-1, LLUTA-2, LLUTA-3, LLUTA-4, CARAC-2 y HUAYLA-1.

En estos casos se modeló la variación de la especiación del arsénico a medida que aumenta la concentración total de arsénico. Se realizó con el fin de analizar si los hidróxidos de fierro son capaces de sorber más arsénico -además del que

ya poseen actualmente- en el caso que aumente la concentración debido a una descarga. Así es posible saber qué parte del arsénico total estaría asociada a la fase sólida a medida que aumenta la concentración total

- Tramos en que prácticamente todo el arsénico presente está en la fase acuosa, es decir no hay hidróxidos de hierro.

Los tramos que tienen esta característica son:
AZU-1, COLP-1, QORIEN1-1, QORIEN3-1 y QORIEN4-1.

En este caso, se simuló adiciones de arsénico para encontrar la especiación de éste, es decir si se encontraría disuelto o se formarían minerales arsenicados. El tramo AROMA-1, que naturalmente no tiene arsénico, de igual manera se incluyó para este tipo de simulaciones.

Además, existen tramos en los cuales no es posible aumentar la concentración de arsénico total puesto que la calidad actual corresponde al máximo sugerido. Dichos tramos son: CARAC-1, QORIEN2-1 y ALLANE-1, todos con uso para potabilización.

A continuación se muestran los resultados obtenidos para los dos casos.

Tramos sin hidróxidos de hierro

Para los 6 tramos estudiados, debido a la calidad del agua de éstos -en especial la ausencia de hidróxidos de hierro- el arsénico eventualmente agregado por una descarga pasaría directamente a la fase acuosa, tal como lo muestran las Figuras presentadas en este punto. Es decir, podría considerarse la dilución como único fenómeno asociado a la concentración de arsénico resultante de una descarga, debido a que la modelación geoquímica de todos los tramos de este punto indica que no es termodinámicamente factible que se formen minerales de arsénico, para las condiciones específicas de cada tramo y las concentraciones agregadas de arsénico.

Las Figuras a continuación muestran el aumento en la concentración del arsénico disuelto a medida que se agrega arsénico. El último punto de la curva de adición de cada gráfico corresponde a la concentración máxima sugerida por tramo. Los tramos AZU-1 y COLP-1 se presentan en escalas diferentes debido a su calidad natural, mientras que los tramos QORIEN1-1, QORIEN3-1, QORIEN4-1 y AROMA-1 se presentan en la misma escala, puesto que al ser tramos con uso para potabilización, tienen la misma concentración máxima sugerida de 0,05 mg/L As. Las simulaciones indican que prácticamente el 100% del arsénico total se encontraría en la fase acuosa.

AZU-1: Estación Azufre antes de Caracarani

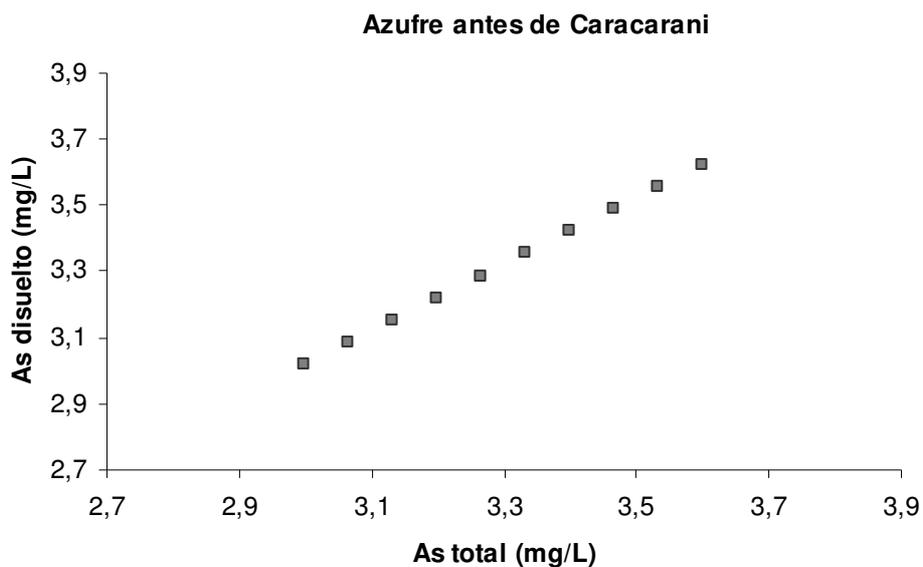


Figura VIII-47. Arsénico en la fase acuosa en función del arsénico total agregado, tramo AZU-1.

La Figura VIII-47 muestra que la concentración máxima sugerida de 3,6 mg/L As para el tramo AZU-1 corresponde a arsénico en la fase acuosa.

COLP-1: Estación Colpitas antes de Caracarani

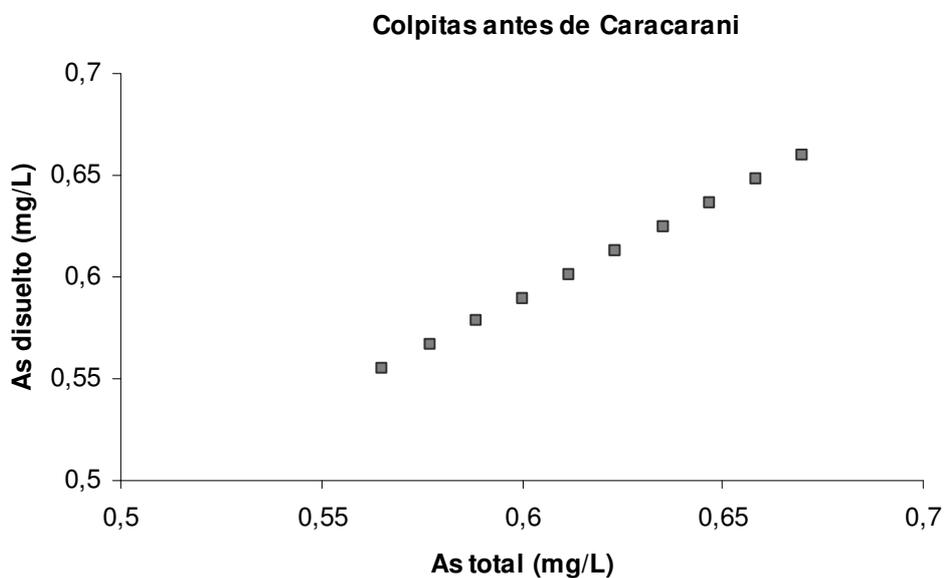


Figura VIII-48. Arsénico en la fase acuosa en función del arsénico total agregado, tramo COLP-1.

La Figura VIII-48 indica que los 0,67 mg/L As (máximo sugerido) del tramo COLP-1 están en la fase acuosa.

QORIENI-1: Estación Quebrada Oriente 1

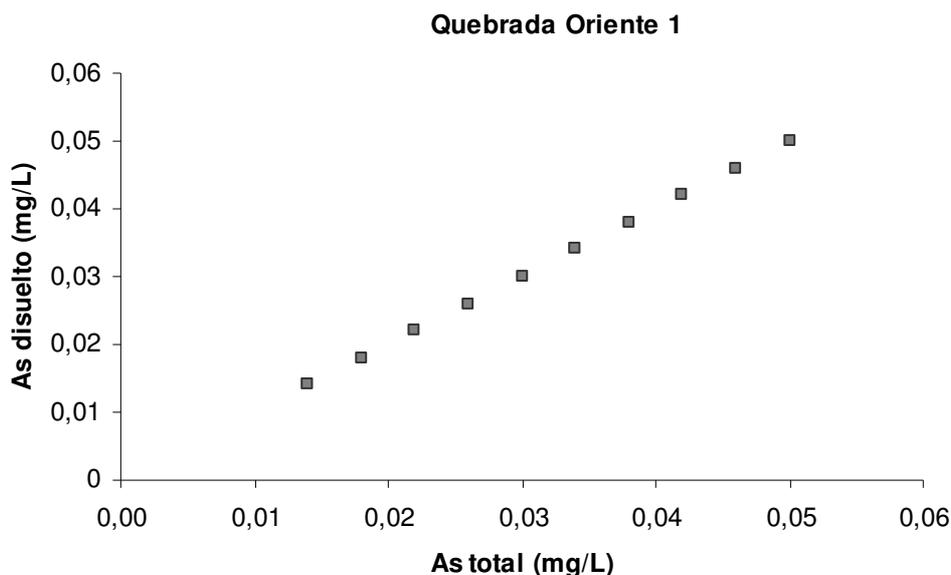


Figura VIII-49. Arsénico en la fase acuosa en función del arsénico total agregado, tramo QORIEN1-1.

Las Figuras muestran que los 0,05 mg/L As sugerido como máximo para los tramos QORIEN1-1, QORIEN3-1, QORIEN4-1 y AROMA-1 corresponden a arsénico disuelto.

En todos los casos, la curva de adición es una recta con pendiente 1, por lo que para cualquier concentración de arsénico entre la condición actual y la máxima propuesta, el arsénico presente se encontraría en la fase acuosa.

QORIEN1-3: Estación Quebrada Oriente 3

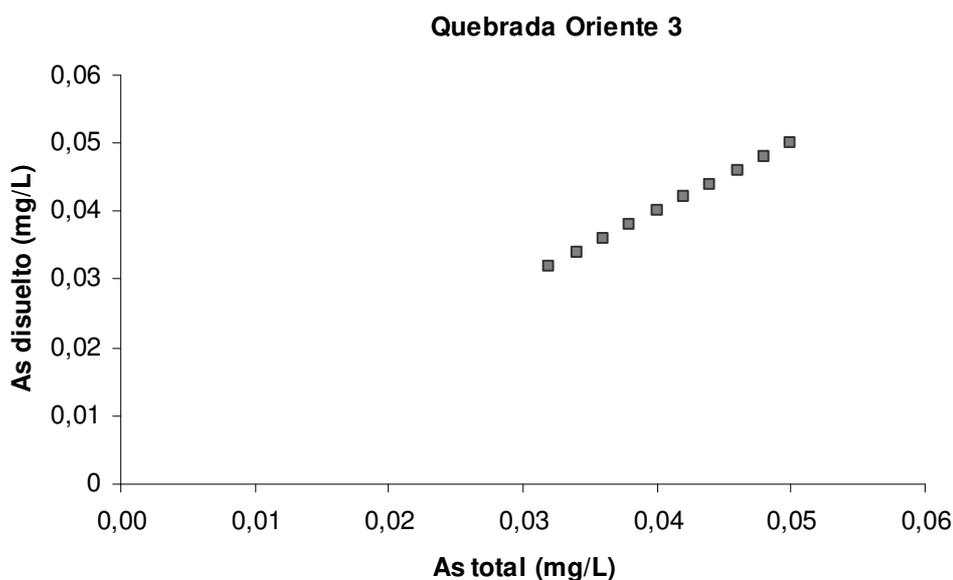


Figura VIII-50. Arsénico en la fase acuosa en función del arsénico total agregado, tramo QORIEN3-1.

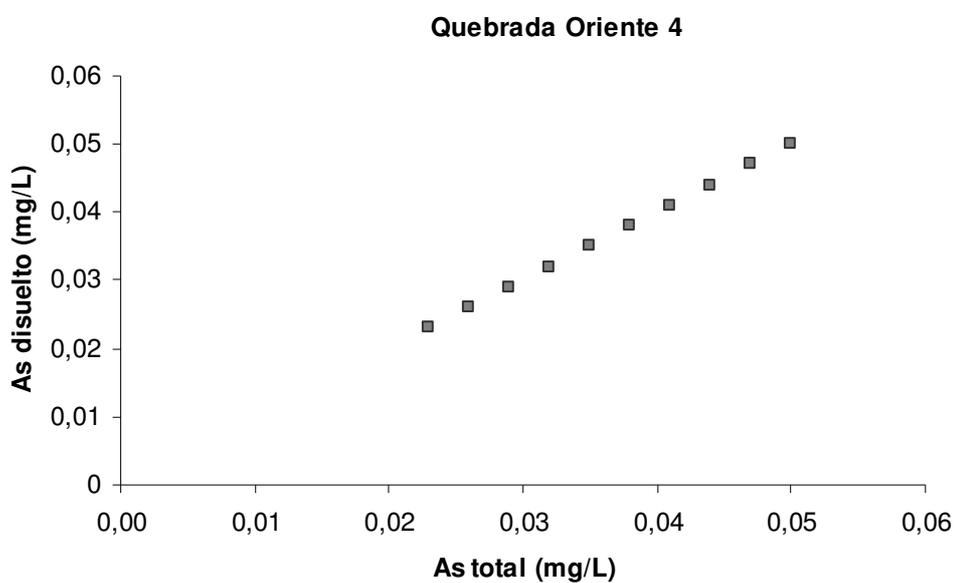
QORIENI-4: Estación Quebrada Oriente 4

Figura VIII-51. Arsénico en la fase acuosa en función del arsénico total agregado, tramo QORIEN4-1.

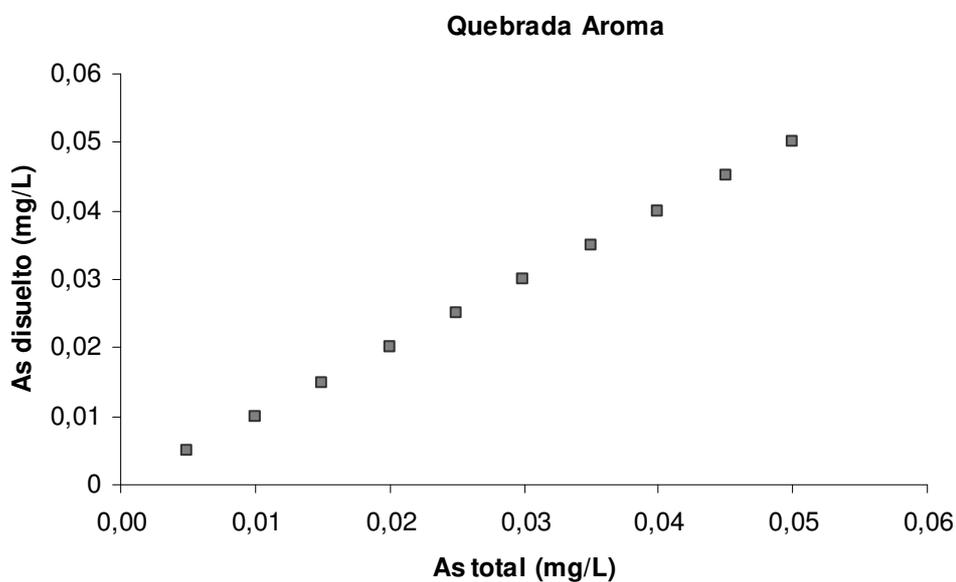
AROMA-1: Estación Quebrada Aroma

Figura VIII-52. Arsénico en la fase acuosa en función del arsénico total agregado, tramo AROMA-1.

Las Figuras muestran, para cada tramo, la concentración resultante de la mezcla en función de la concentración de la descarga para distintos caudales de ésta, según lo presentado en la metodología.

Las simulaciones consideran como concentración máxima de arsénico en el río el máximo reportado por el equipo consultor o el percentil 75 de las mediciones de la DGA (el que sea mayor). Debido a que estos valores son bastante altos, pueden ser alcanzados naturalmente y tienen como punto de partida una concentración promedio representativa del cauce la cual puede variar temporalmente, se sugieren otros criterios basados en la normativa con el fin de considerar que la cuenca se encuentra naturalmente saturada de arsénico, gracias a los ríos Azufre y Colpitas. La penúltima columna de la Tabla VIII-12 considera la máxima concentración de arsénico permitida para una descarga sin considerar la capacidad de dilución (0,5 mg/L), mientras que la última columna considera la concentración máxima permitida considerando la capacidad de dilución (1 mg/L). Esto se refleja en las figuras de carga contaminante, donde la recta vertical denominada SD es la carga máxima sin considerar capacidad de dilución y la recta vertical denominada CD considera esta capacidad.

Por lo tanto, debido a las características propias de los diferentes tramos se sugiere que la carga máxima diaria de arsénico sea el mínimo entre las tres sugerencias, que consideran:

1. La máxima concentración entre la reportada por este estudio y la alcanzada históricamente (información DGA).
2. La concentración máxima autorizada por el DS 90 considerando que el curso receptor no posee capacidad de dilución.
3. La concentración máxima autorizada por el DS 90 considerando que el curso receptor tiene capacidad de dilución.

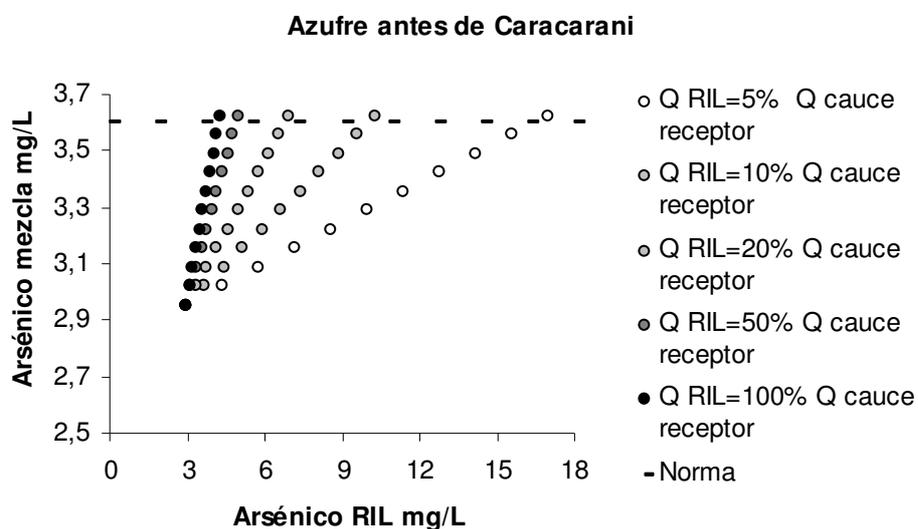


Figura VIII-53. Curvas de concentración final de arsénico para distintas concentraciones y caudales de descarga, tramo AZU-1.

Como se aprecia en la Figura VIII-53 para Azufre antes de la junta con Caracarani se recomienda que descargas con caudales menores que el 5% del caudal promedio del río Azufre, no superen los 16,55 mg/L de arsénico. En el caso de descargas con caudales mayores que el caudal promedio de Azufre, no debiera excederse el valor propuesto de 3,6

mg/L de arsénico. Valores recomendados para descargas con caudales intermedios, se pueden observar en la tabla resumen de esta sección, Tabla VIII-11.

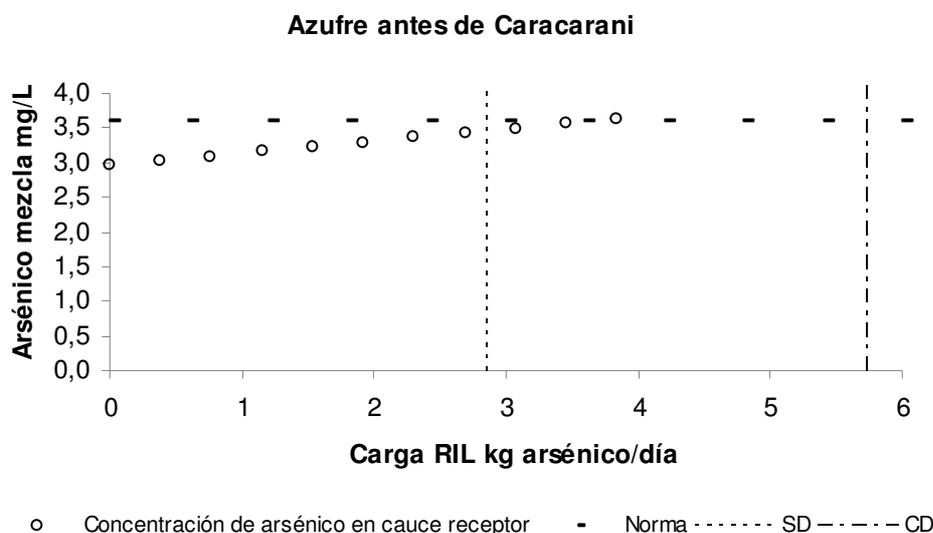


Figura VIII-54. Curva de carga máxima diaria de arsénico admitida para el tramo AZU-1.

La Figura VIII-54 muestra que la carga de arsénico máxima sugerida para la estación Azufre antes de Caracarani corresponde a 2,9 kg/día (curva SD).

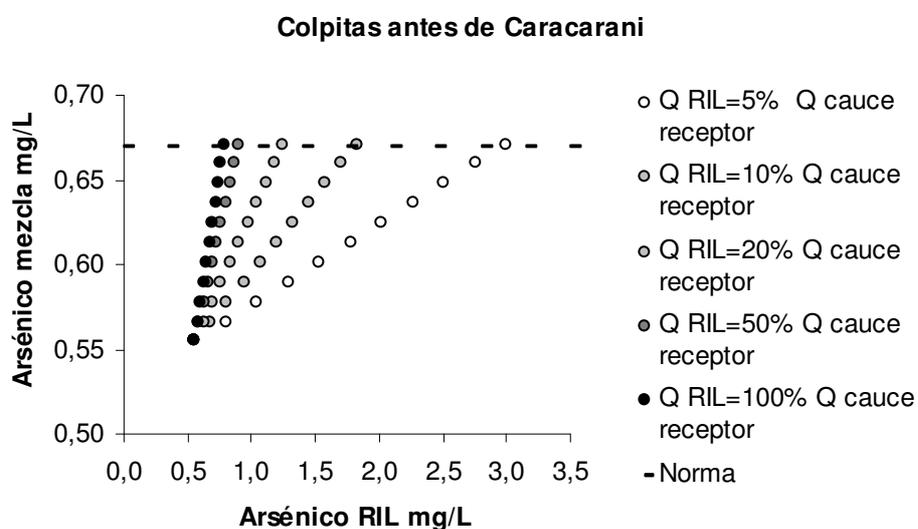


Figura VIII-55. Curvas de concentración final de arsénico para distintas concentraciones y caudales de descarga, tramo COLP-1.

La Figura VIII-55 muestra que para el caso de Colpitas antes de la junta con Caracarani se sugiere que descargas con caudales menores que el 5% del caudal promedio de Colpitas, posean concentraciones de arsénico inferiores a 2,97 mg/L. Si el caudal de la descarga es mayor que el caudal promedio de Colpitas, se recomienda que la concentración de arsénico sea menor que 0,67 mg/L.

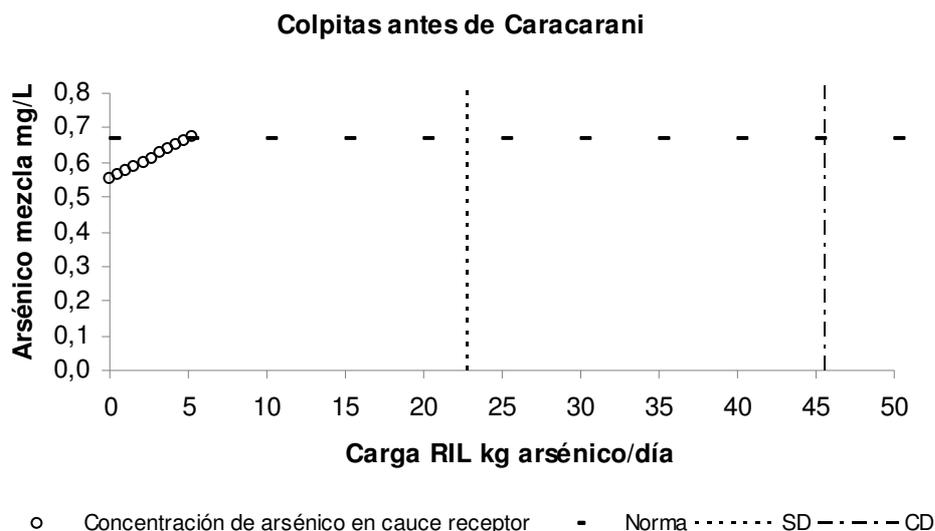


Figura VIII-56. Curva de carga máxima diaria de arsénico admitida para el tramo COLP-1.

La Figura VIII-56 muestra que la carga de arsénico máxima sugerida para la estación Colpitas antes de Caracarani corresponde a 5,31 kg/día.

Para las Quebradas Oriente 1, 3, 4 y para la Quebrada Aroma se puede establecer que el valor de concentración máxima de arsénico en descargas con caudales mayores al caudal promedio no debe exceder los 0,05 mg/L debido a que tienen uso de potabilización.

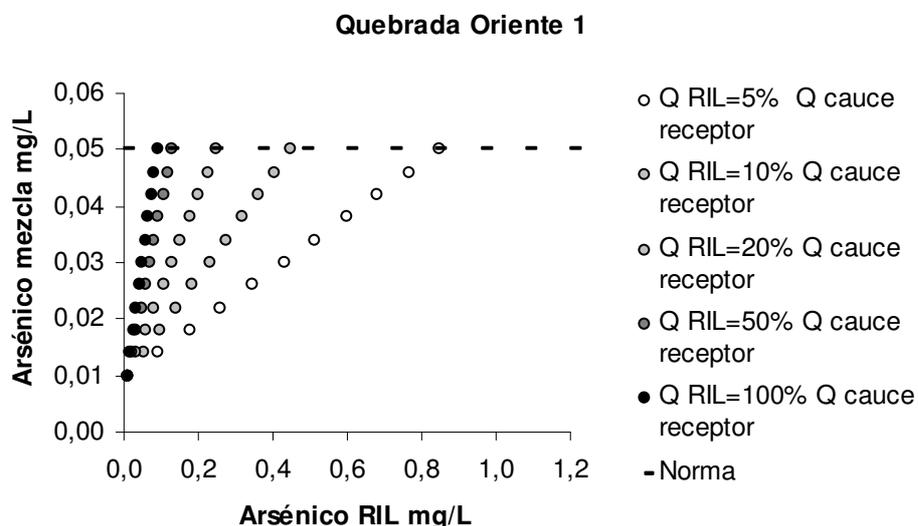


Figura VIII-57. Curvas de concentración final de arsénico para distintas concentraciones y caudales de descarga, tramo QORIEN1-1.

En el caso específico de Quebrada Oriente 1, ver Figura VIII-57, se recomienda que descargas con caudales inferiores al 5% del caudal promedio de la quebrada no superen concentraciones de 0,84 mg/L de arsénico.

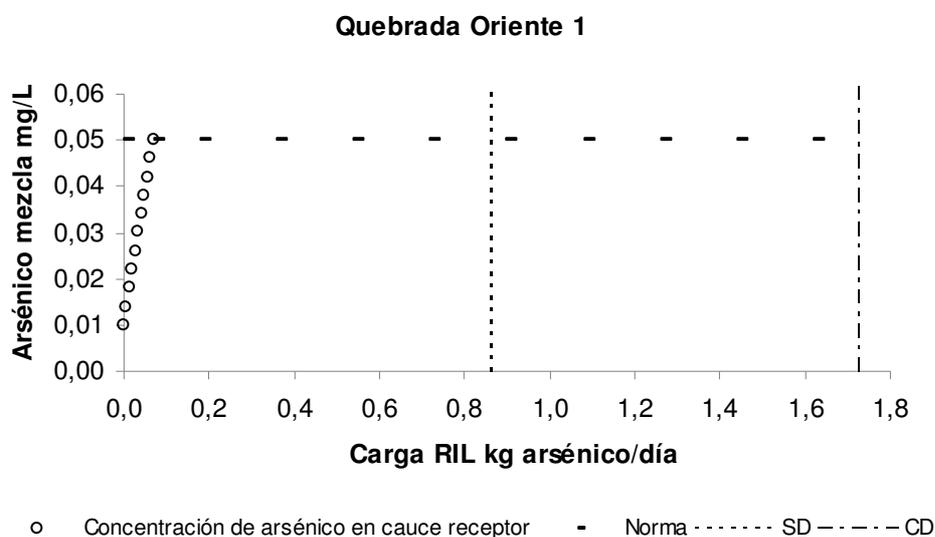


Figura VIII-58. Curva de carga máxima diaria de arsénico admitida para el tramo QORIEN1-1.

La Figura VIII-58 muestra que la carga de arsénico máxima sugerida el tramo QORIEN1-1 corresponde a 0,07 kg/día.

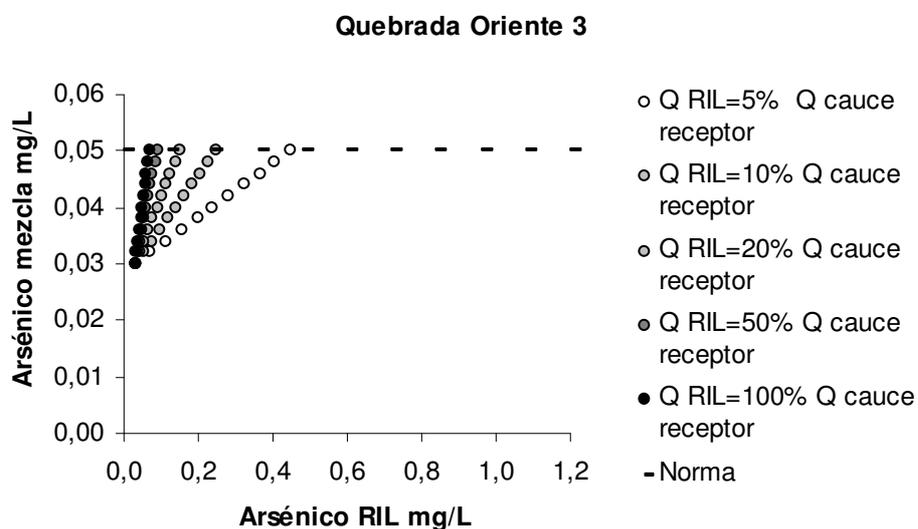


Figura VIII-59. Curvas de concentración final de arsénico para distintas concentraciones y caudales de descarga, tramo QORIEN3-1.

De acuerdo a lo que se aprecia en la Figura VIII-59 se recomienda que descargas con caudales menores al 5% del caudal promedio de Quebrada Oriente 3 posean concentraciones de arsénico inferiores a 0,44 mg/L para garantizar que no se exceda el valor máximo propuesto para esta quebrada (0,05 mg/L).

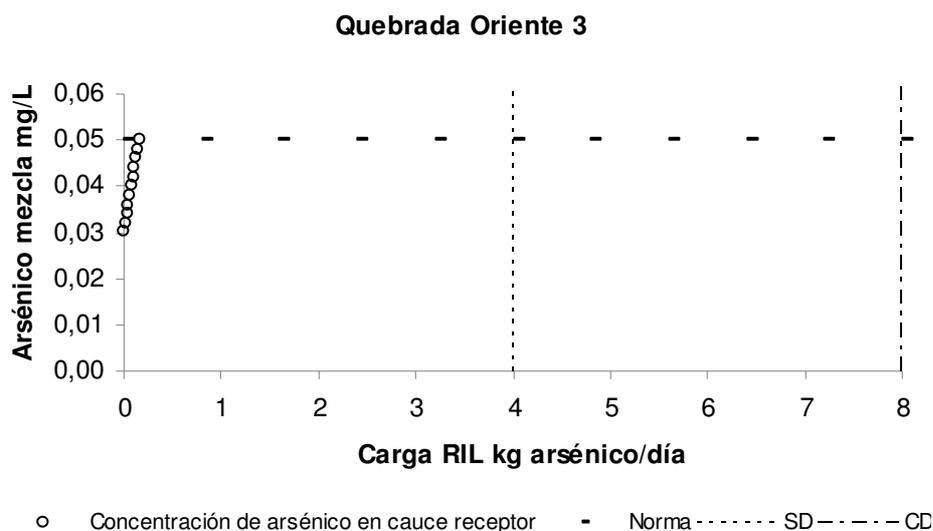


Figura VIII-60. Curva de carga máxima diaria de arsénico admitida para el tramo QORIEN3-1.

La Figura VIII-60 muestra que la carga de arsénico máxima sugerida el tramo QORIEN3-1 corresponde a 0,16 kg/día.

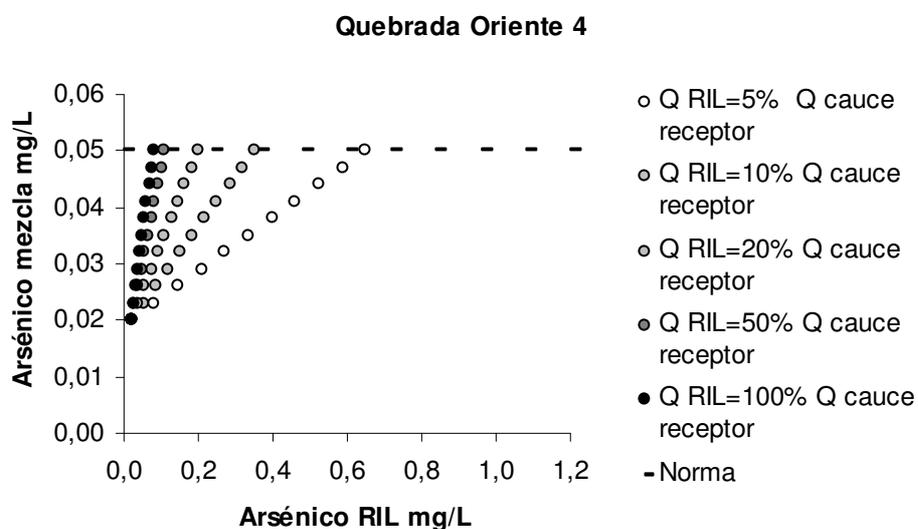


Figura VIII-61. Curvas de concentración final de arsénico para distintas concentraciones y caudales de descarga, tramo QORIEN4-1.

En Quebrada Oriente 4, como lo muestra la Figura VIII-61, descargas con caudales menores que el 5% del caudal promedio de la quebrada deben tener concentraciones de arsénico inferiores a 0,64 mg/L.

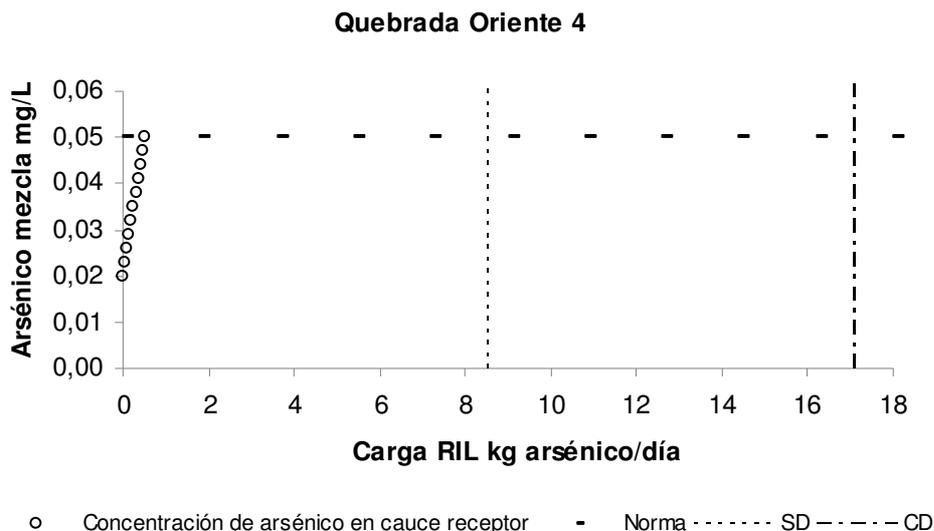


Figura VIII-62. Curva de carga máxima diaria de arsénico admitida para el tramo QORIEN4-1.

La Figura VIII-62 muestra que la carga de arsénico máxima sugerida el tramo QORIEN4-1 corresponde a 0,51 kg/día.

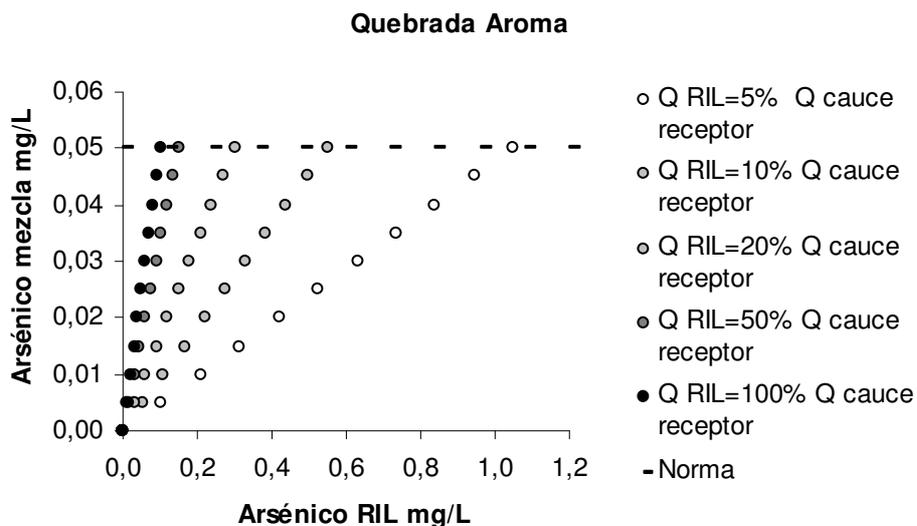


Figura VIII-63. Curvas de concentración final de arsénico para distintas concentraciones y caudales de descarga, tramo AROMA-1.

Como se mencionó previamente, para Quebrada Aroma el valor máximo de arsénico permitido en descargas con caudales mayores que el caudal promedio de la quebrada debe ser inferior a 0,05 mg/L. La Figura VIII-63 muestra que para descargas con caudales menores que el 5% del caudal promedio de la quebrada el valor máximo sugerido es de 1,05 mg/L.

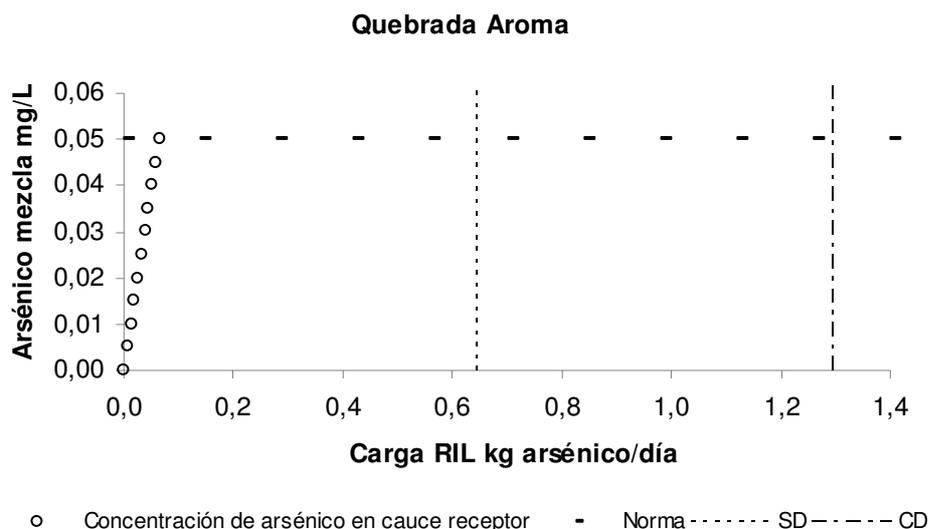


Figura VIII-64. Curva de carga máxima diaria de arsénico admitida para el tramo AROMA-1.

La Figura VIII-64 indica que la carga de arsénico máxima sugerida en el tramo AROMA-1 corresponde a 0,06 kg/día.

A continuación, la Tabla VIII-11 resume los valores máximos de arsénico permitidos para las descargas realizadas en las distintas estaciones, de acuerdo a rangos de caudales de las descargas. La última columna indica la carga máxima sugerida equivalente si se alcanza la concentración máxima sugerida.

Tabla VIII-11. Valores sugeridos como máximos de arsénico, considerando una descarga proporcional al caudal de cada tramo. Considera normativa de Decreto Supremo N° 90.

Estación	Rango de Caudales (% del Caudal Promedio de la Estación)						CMSE As kg/día
	<5% As mg/L	5-10% As mg/L	10-20% As mg/L	20-50% As mg/L	50-100% As mg/L	>100% As mg/L	
Azufre antes de Caracarani	16,55	10,07	6,83	4,89	4,24	3,6	3,85
Quebrada Oriente 1	0,84	0,44	0,24	0,12	0,08	0,05	0,07
Quebrada Oriente 3	0,44	0,24	0,14	0,08	0,069	0,05	0,16
Quebrada Oriente 4	0,64	0,34	0,19	0,109	0,079	0,05	0,51
Colpitas antes de Caracarani	2,97	1,82	1,24	0,9	0,78	0,67	5,31
Quebrada Aroma	1,05	0,55	0,3	0,15	0,1	0,05	0,06

Algunas de las descargas simuladas no cumplen la normativa que establece el Decreto Supremo N°90, por lo que cual se presenta la Tabla VIII-12 que contiene la información

corregida de acuerdo a éste. Las últimas columnas indican la carga máxima sugerida equivalente al considerar el DS 90. Como se mencionó al principio de este punto, se sugiere considerar el mínimo valor entre la CMSE de la Tabla VIII-11 y las de la Tabla VIII-12.

Tabla VIII-12. Valores sugeridos como máximos de arsénico, para descargas proporcionales al caudal de cada tramo. Incluye correcciones de acuerdo a Decreto Supremo N° 90.

Estación	Rango de Caudales (% del Caudal Promedio de la Estación)						CMSE* As kg/día	CMSE** As kg/día
	<5% As mg/L	5-10% As mg/L	10-20% As mg/L	20-50% As mg/L	50-100% As mg/L	>100% As mg/L		
Azufre antes de Caracarani	1	1	1	1	1	1	5,7	2,9
Quebrada Oriente 1	0,84	0,44	0,24	0,12	0,08	0,05	1,7	0,9
Quebrada Oriente 3	0,44	0,24	0,14	0,08	0,069	0,05	8,0	4,0
Quebrada Oriente 4	0,64	0,34	0,19	0,109	0,079	0,05	17,1	8,6
Colpitas antes de Caracarani	1	1	1	0,9	0,78	0,67	45,7	22,8
Quebrada Aroma	1	0,55	0,3	0,15	0,1	0,05	1,3	0,6

*DS 90 con capacidad de dilución

**DS 90 sin capacidad de dilución

Cabe destacar la relevancia de que el arsénico que pueda ser añadido se encuentre en la fase acuosa, lo que hace que se encuentre biodisponible y por tanto su toxicidad es mayor. El arsénico se encuentra menos bioaccesible para los seres vivos en ambientes donde existen óxidos de hierro, pues permanecen asociados a la fase sólida.

Los efectos tóxicos del arsénico sobre la salud humana son diversos y han sido ampliamente documentados. Su toxicología depende fuertemente su especiación química, siendo más tóxicas las especies de As(III) que las de As(V) y las especies inorgánicas (arsenito, arsenato) que las especies orgánicas (e.g., ácidos monometil y dimetil arsénico). Los organismos acuáticos y terrestres tienen un rango amplio de sensibilidades respecto a las diferentes especies de arsénico y el modo de ingreso al organismo difiere ampliamente. Uno de los mecanismos comunes de acción del arsénico es la unión del arsénico a los grupos sulfhidrilos que se encuentran en las proteínas, impidiendo su accionar normal. El arsénico afecta también los procesos óxido reductivos de las células compitiendo con el fosfato en la fosforilación oxidativa. La exposición a arsénico en agua potable en el largo plazo causa cáncer a la piel, pulmones, vejiga y riñones; además de endurecimiento y cambios en el color de la piel (hiperqueratosis). Incluso para concentraciones menores a

0,05 mg/L se ha observado mayores riesgos de cáncer a la vejiga y pulmón y de lesiones en la piel (Organización Mundial de la Salud, 2001).

Tramos con hidróxidos de hierro

Para cada tramo CARAC-2, LLUTA-1, LLUTA-2, LLUTA-3 y HUAYLA-1 se presenta los resultados de la modelaciones en PHREEQC para determinar la especiación en función del arsénico agregado. Mediante las simulaciones de adición de arsénico, se detalla cuánto arsénico sería capaz de unirse a la fase sólida de los hidróxidos de hierro y cuánto quedaría disuelto.

Como situación base para la modelación se consideraron las mediciones del equipo consultor del arsénico total y disuelto para las estaciones de muestreo representativas de los tramos.

CARAC-2: Estación Caracarani antes de Colpitas

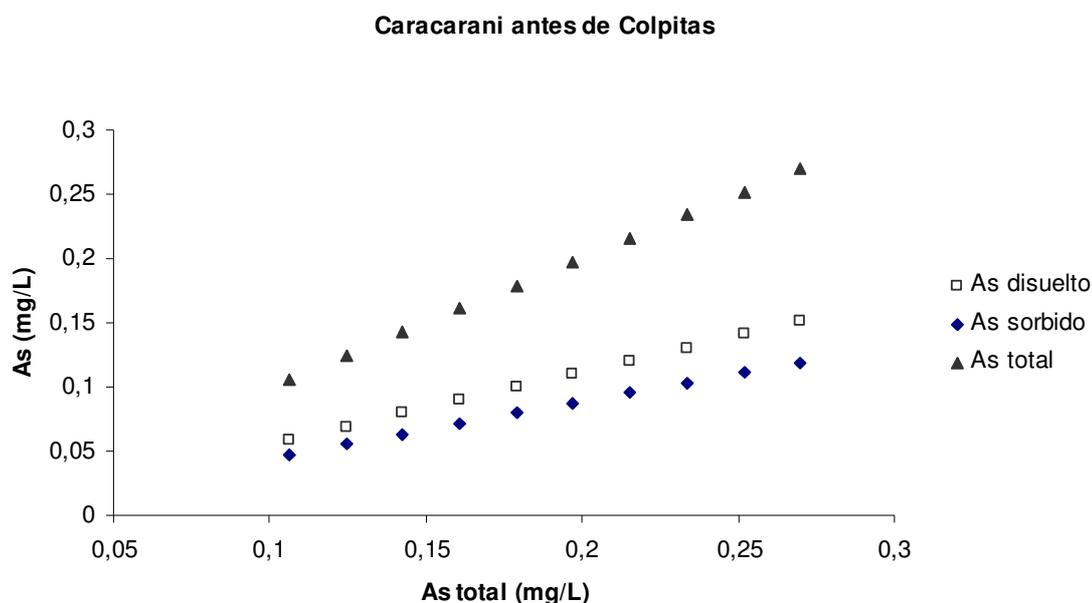


Figura VIII-65. Variación del arsénico en la fase sólida y en la fase acuosa en función del arsénico total agregado, tramo CARAC-2.

La Figura VIII-65 indica que a medida que aumenta el arsénico agregado, aumenta tanto el sorbido como el disuelto, es decir el curso receptor tiene capacidad de adsorber más arsénico. El porcentaje de arsénico disuelto se mantiene prácticamente constante, llegando al final de la simulación al 56%.

LLUTA-1: Estación Lluta en Alcérreca

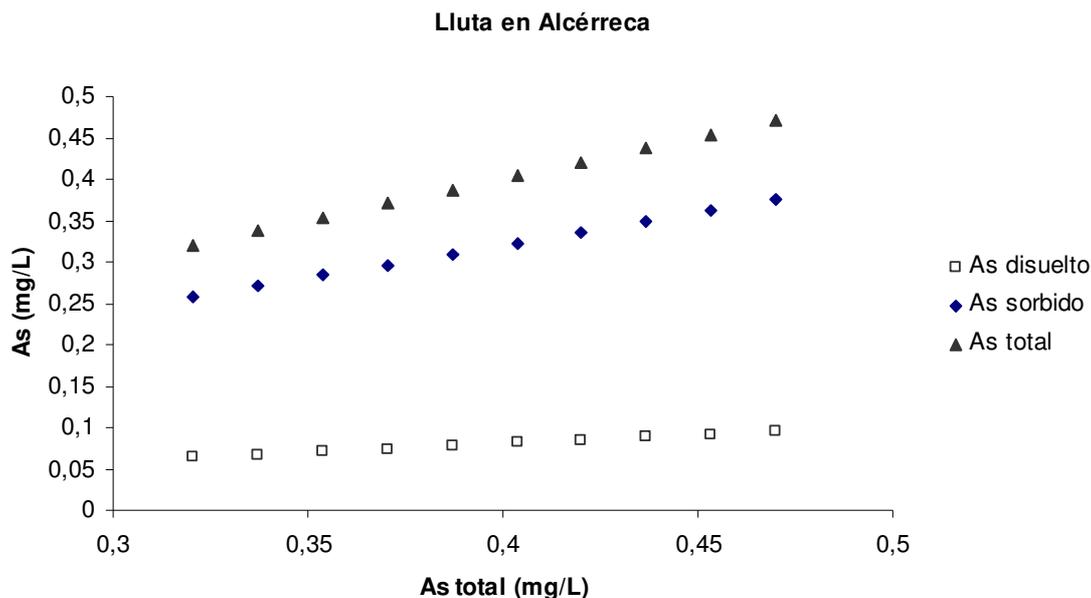


Figura VIII-66. Variación del arsénico en la fase sólida y en la fase acuosa en función del arsénico total agregado, tramo LLUTA-1.

A diferencia de lo que ocurre en el tramo CARAC-2, como muestra la Figura VIII-66 a medida que aumenta el arsénico total agregado, el disuelto permanece prácticamente constante en relación a lo que aumenta el arsénico sorbido. Es decir, hay una alta capacidad de incorporar arsénico eventualmente aportado por una descarga. Debido a esto, el 80% del arsénico total estaría asociado a los hidróxidos de hierro, para todo el rango de arsénico hasta el máximo sugerido de 0,47 mg/L.

LLUTA-2: Estación Lluta en Tocontasi

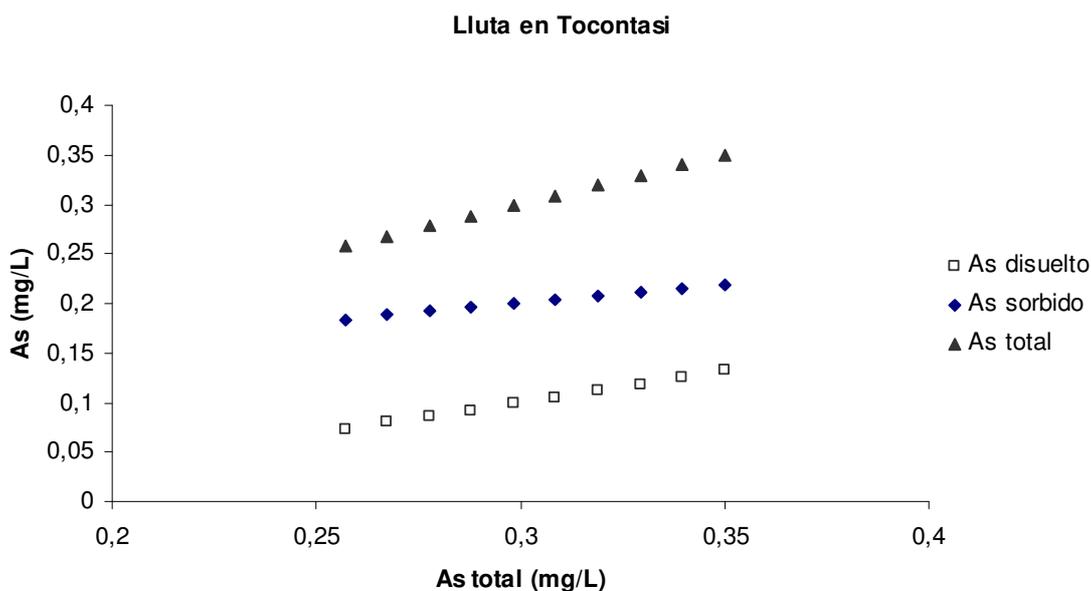


Figura VIII-67. Variación del arsénico en la fase sólida y en la fase acuosa en función del arsénico total agregado, tramo LLUTA-2.

Para el tramo LLUTA-2, a diferencia de lo que ocurre con el tramo LLUTA-1, a medida que aumenta el arsénico total, el arsénico sorbido disminuye y el arsénico disuelto aumenta, tal como lo muestra la Figura VIII-67. El porcentaje de arsénico disuelto aumentó de un 28% a un 38% al llegar al máximo sugerido de 0,35 mg/L. Es decir, los hidróxidos de hierro ya se encuentran prácticamente saturados.

LLUTA-3: Estación Lluta en Panamericana

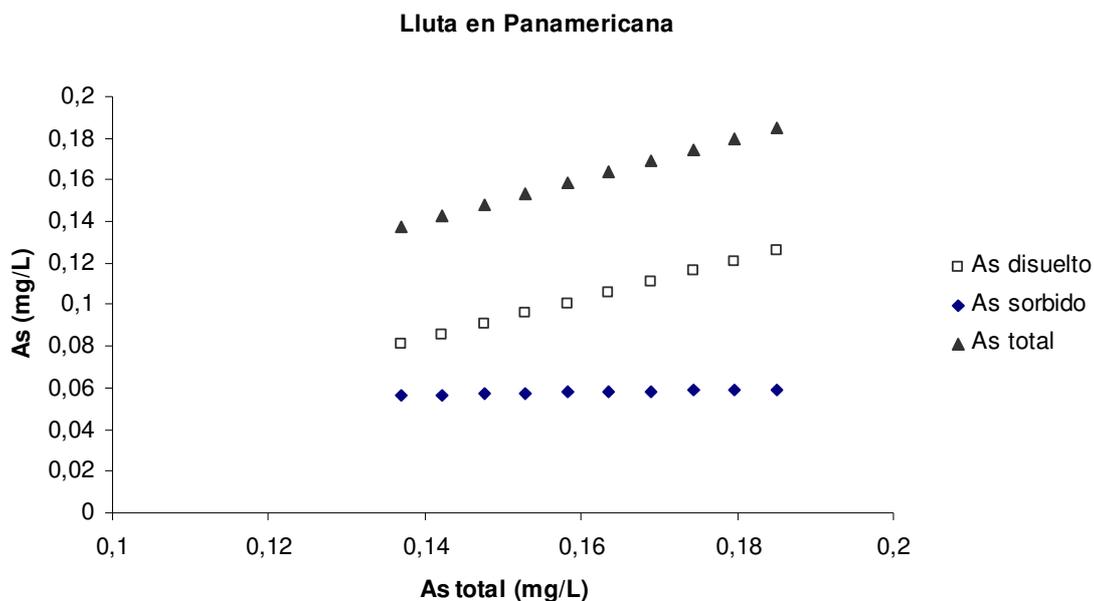


Figura VIII-68. Variación del arsénico en la fase sólida y en la fase acuosa en función del arsénico total agregado, tramo LLUTA-3.

Análogamente al caso del tramo LLUTA-2, el arsénico disuelto aumenta a medida que aumenta el arsénico agregado. Sin embargo en este tramo, como lo muestra la Figura VIII-68, la masa de arsénico en la fase sólida permanece constante; es decir no sería factible que el arsénico eventualmente agregado se sorbiera a los hidróxidos de hierro.

HUAYLA-1: Estación Quebrada Huayla

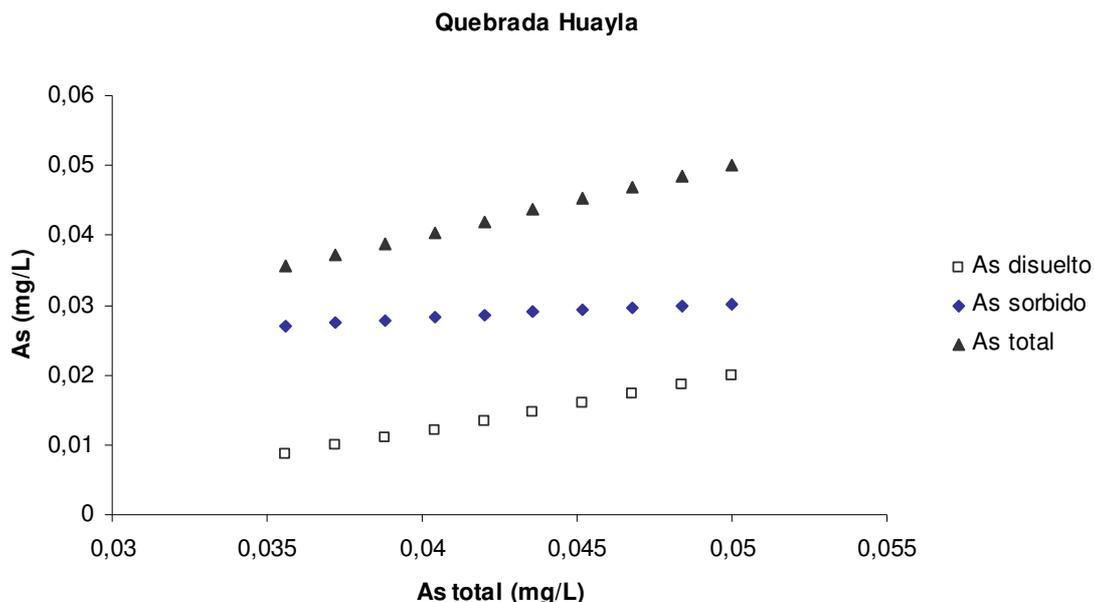


Figura VIII-69. Variación del arsénico en la fase sólida y en la fase acuosa en función del arsénico total agregado, tramo HUAYLA-1.

La Figura VIII-69 muestra que los hidróxidos de hierro de este tramo no serían eventualmente capaces de incorporar más arsénico, ya que a medida que se adiciona arsénico, la concentración de arsénico disuelto aumenta y la de arsénico asociado a los hidróxidos de hierro permanece prácticamente constante.

La Tabla VIII-13 resume los principales aspectos en cuanto a la especiación obtenido en este punto.

Tabla VIII-13. Variación porcentual del arsénico disuelto a medida que aumenta la concentración total, tramos con hidróxidos de hierro.

Tramo	% As disuelto inicial	% As disuelto final	máximo sugerido mg As/L
CARAC-2	55,5	56	0,27
LLUTA-1	20	20	0,47
LLUTA-2	28	38	0,35
LLUTA-3	59	68	0,185
HUAYLA-1	24,5	39,7	0,05

Debe destacarse que la presencia de hidróxidos de hierro no implica necesariamente que el arsénico asociado a éstos permanezca siempre en esa situación, o que el arsénico eventualmente agregado por una descarga se asocie a éstos. La especiación modelada debe tomarse como una referencia, puesto que la presencia y funcionamiento de estos sólidos podrían verse afectados por diversos factores naturales o antropogénicos que podrían influir en la liberación del arsénico a la fase acuosa, o bien impedir que el arsénico proveniente de una fuente contaminante se sorbiera. Algunos ejemplos son:

- Condiciones hidrodinámicas de los cursos superficiales
- Condiciones anaeróbicas
- Resuspensión de sedimentos
- Acidificación

Se ha reportado en la literatura (Redman et al., 2002) que la materia orgánica natural (denominada NOM por sus siglas en inglés) influye directamente en la movilidad del arsénico en aguas naturales, mediante tres mecanismos:

- Complejación de NOM con arsénico, tanto arsenato como arsenito.
- Competencia entre NOM y arsénico por las sorción sobre superficies de óxidos metálicos (como hematita, un mineral de hierro). Se cree que niveles de NOM entre 1 a 50 mg C/L son requeridos para provocar interferencia en la sorción de arsénico. La NOM es capaz también de provocar desorción de arsenito en un nivel superior que para arsenato, lo que explicaría la mayor movilidad del arsenito en sistemas naturales y su mayor toxicidad.
- Cambios en la especiación del arsénico. Se constató en este estudio que NOM en presencia de hematina favorece la reducción de As(+5) a As(+3), aunque NOM por sí sola también muestra actividad reductora de arsénico.

Estos antecedentes deben tomarse en cuenta al considerar posibles aumentos en la materia orgánica de la cuenca, en especial la reducción de As+5 a As+3. Los antecedentes de la geoquímica de la cuenca, específicamente la presencia de oxígeno avalan que el arsénico se encuentra mayormente como As(+5), especie más reactiva debido a su carga negativa, a diferencia del As(+3) que se presenta como especie sin carga.

e. Hierro

Existen muchos minerales de hierro que pueden ser considerados por el modelo geoquímico en el cálculo de la especiación de este metal. Las mediciones realizadas por el equipo consultor y las históricas de la DGA, además de lo visto en terreno, muestran la correlación entre arsénico y hierro en el río Lluta; lo que hace suponer que la mayor parte del hierro particulado corresponde a oxihidróxidos que sorben el arsénico, sin embargo no es factible verificar qué tipo de partícula se encuentra suspendida.

Los resultados entregados por PHREEQC al considerar la situación inicial y la situación al agregar hierro indican que prácticamente todo el hierro precipita en todos los tramos (incluso en el Azufre, donde los análisis de laboratorio indican que la diferencia entre hierro total y disuelto es del orden del 5%) al considerar condiciones de equilibrio termodinámico para todos los minerales que tienen este metal y que se encuentran en la base de datos. Esto se explica por las diversas condiciones que el modelo no toma en cuenta, como por ejemplo la velocidad del flujo, la cinética de reacción, las condiciones de mezcla, el arrastre y resuspensión de sedimentos, etc. Además, al no conocerse la situación inicial con exactitud, es decir los minerales de hierro presentes actualmente en el tramo de interés, no se le puede entregar este dato de entrada al modelo. Esto reviste vital

importancia por la influencia que tiene el contar con una superficie sólida que facilita la formación de más partículas, además de considerar una eventual disolución de los minerales presentes inicialmente.

Es por esto que las simulaciones se realizaron considerando la adición de fierro disuelto en los riles -ya que el DS 90 lo estipula específicamente-, hasta que el total presente alcanzara el máximo sugerido por tramo. Para conocer con exactitud la especiación actual del fierro en cualquier sistema acuático, se requiere el uso de técnicas avanzadas de medición de muestras que no son del alcance de este estudio.

El DS 90 establece valores máximos de concentración de fierro de 5 mg/L para descargas sin considerar capacidad de dilución y de 10 mg/L considerando capacidad de dilución.

Las simulaciones consideran como concentración máxima de fierro en el río el máximo reportado por el equipo consultor o el percentil 75 de las mediciones de la DGA (el que sea mayor). Debido a que estos valores son bastante altos, pueden ser alcanzados naturalmente y tienen como punto de partida una concentración promedio representativa del cauce la cual puede variar temporalmente, se sugieren otros criterios basados en la normativa con el fin de considerar que la cuenca se encuentra naturalmente saturada de fierro, en particular el río Azufre. La penúltima columna de la Tabla VIII-15 considera la máxima concentración de fierro permitida para una descarga sin considerar capacidad de dilución (5 mg/L), mientras que la última columna considera la concentración máxima permitida al considerar capacidad de dilución (10 mg/L). Esto se refleja en las figuras de carga contaminante, donde la recta vertical denominada SD es la carga máxima sin considerar capacidad de dilución, y la recta vertical denominada CD considera esta capacidad.

Por lo tanto, debido a las características propias de los diferentes tramos se sugiere que la carga máxima diaria de fierro sea el mínimo entre las tres sugerencias.

Principales ríos cuenca Lluta

AZU-1: Estación Azufre antes de Caracarani

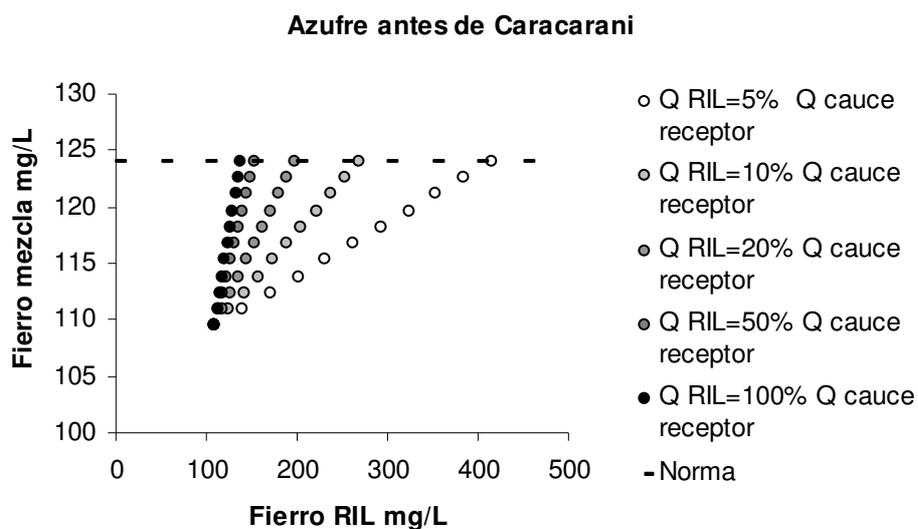


Figura VIII-70. Curvas de concentración final de fierro para distintas concentraciones y caudales de descarga, tramo AZU-1.

La Figura VIII-70 muestra que para el tramo AZU-1 la concentración de fierro recomendada como valor máximo para descargas con caudales inferiores al 5% del caudal promedio del tramo es de 415 mg/L. Para descargas con caudales mayores al caudal promedio de Azufre, se recomienda que la concentración de fierro no exceda los 124 mg/L.

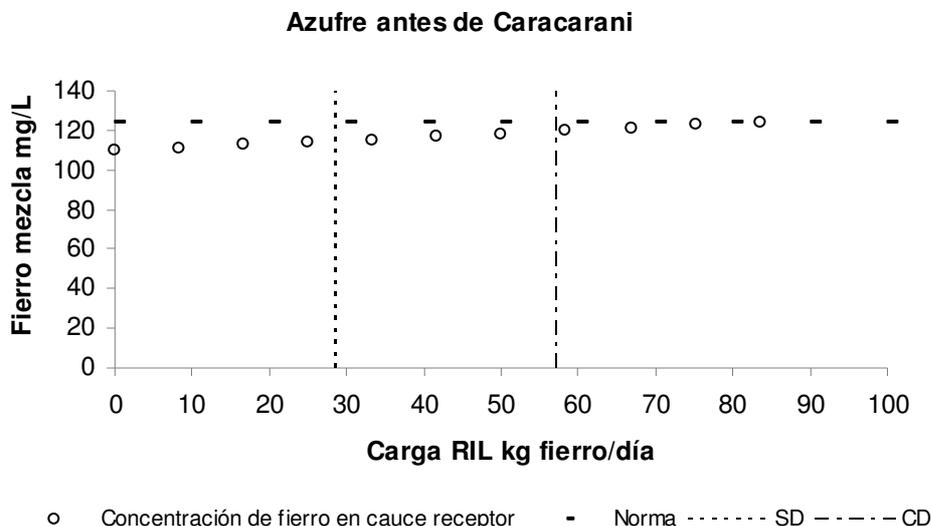


Figura VIII-71. Curva de carga máxima diaria de fierro propuesta para el tramo AZU-1.

La Figura VIII-71 indica que la carga máxima de fierro sugerida para el tramo AZU-1 corresponde a 28,7 kg/día (curva SD).

CARAC-1: Estación Caracarani en Humapalca

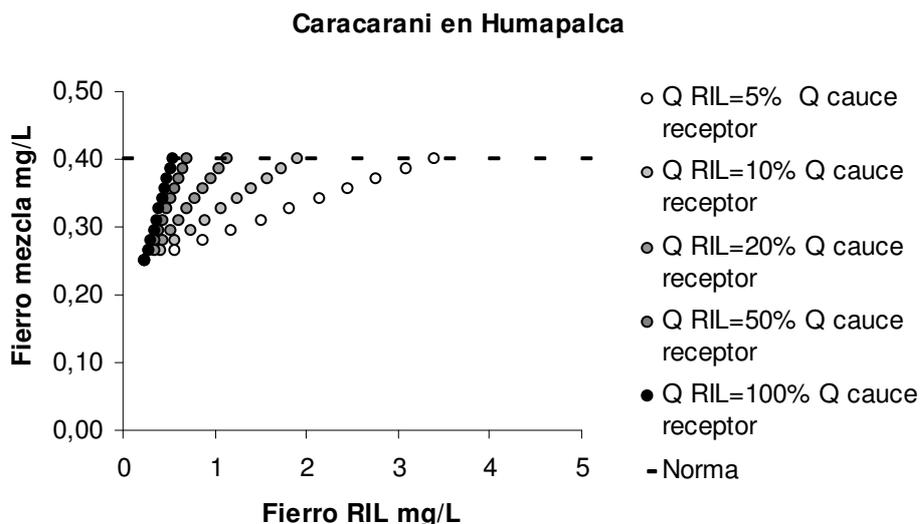


Figura VIII-72. Curvas de concentración final de fierro para distintas concentraciones y caudales de descarga, tramo CARAC-1.

Según la Figura VIII-72 para el tramo CARAC-1 la concentración de hierro recomendada como valor máximo para descargas con caudales inferiores al 5% del caudal promedio del tramo es de 3,4 mg/L. Para descargas con caudales mayores al caudal promedio del Caracarani en Humapalca, se recomienda que la concentración de hierro no exceda los 0,6 mg/L.

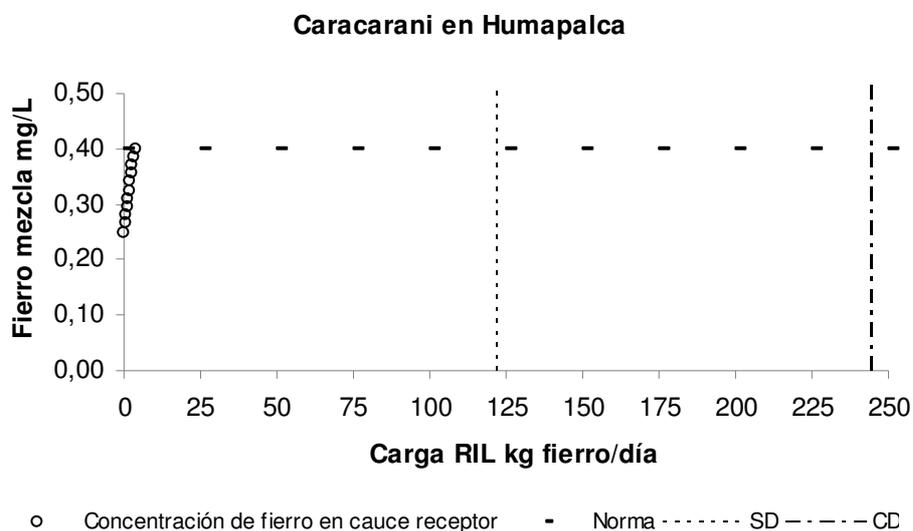


Figura VIII-73. Curva de carga máxima diaria de hierro propuesta para el tramo CARAC-1.

La Figura VIII-73 indica que la carga máxima de hierro sugerida para el tramo CARAC-1 corresponde a 3,67 kg/día.

CARAC-2: Estación Caracarani antes de Colpitas

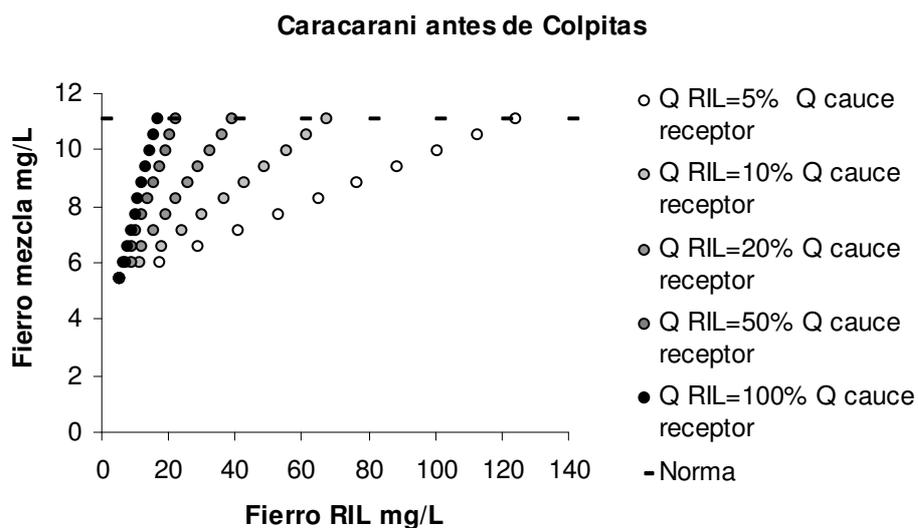


Figura VIII-74. Curvas de concentración final de hierro para distintas concentraciones y caudales de descarga, tramo CARAC-2.

Para el tramo CARAC-2 la Figura VIII-74 muestra que la concentración de fierro recomendada como valor máximo para descargas de riles con caudales inferiores al 5% del caudal promedio del tramo es de 124,6 mg/L. Para descargas con caudales mayores al caudal promedio de Caracarani antes de Colpitas, se recomienda que la concentración de fierro no exceda los 11,1 mg/L.

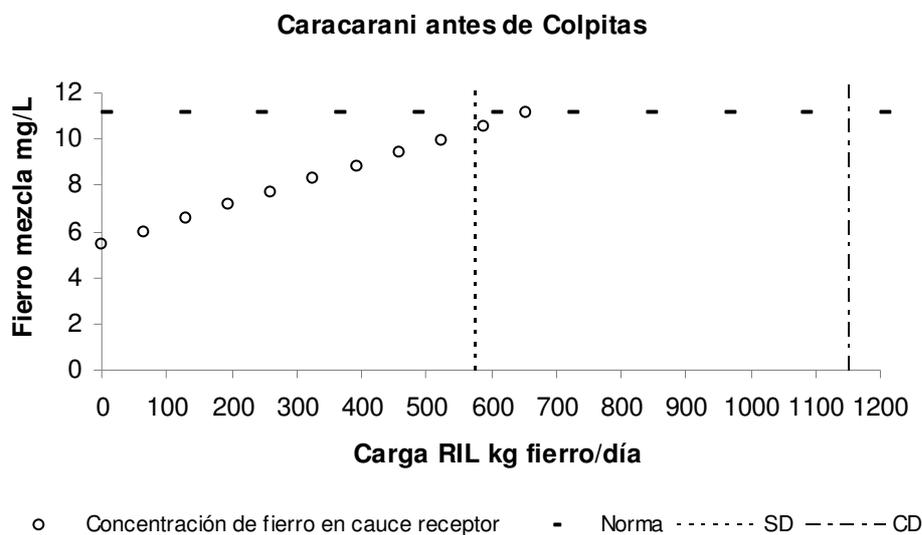


Figura VIII-75. Curva de carga máxima diaria de fierro propuesta para el tramo CARAC-2.

La Figura VIII-75 indica que la carga máxima de fierro sugerida para el tramo CARAC-2 corresponde a 576,4 kg/día.

COLP-1: Estación Colpitas antes de Caracarani

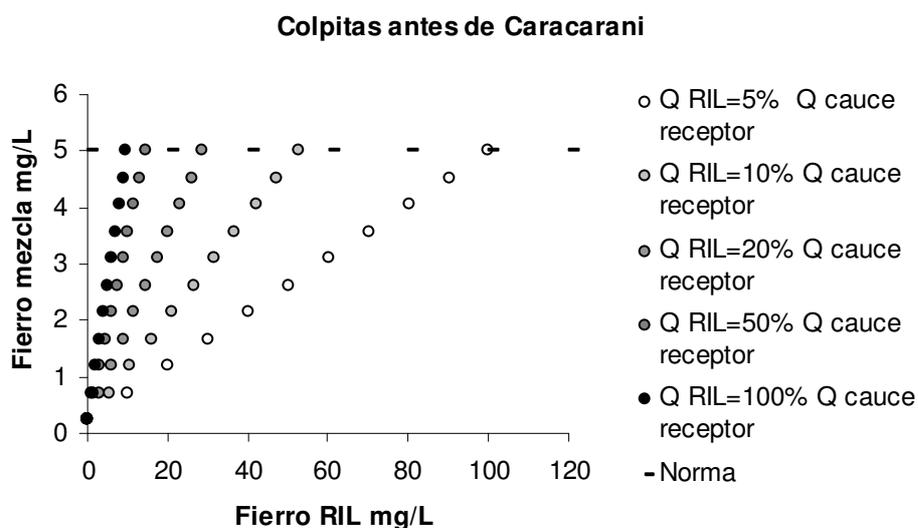


Figura VIII-76. Curvas de concentración final de fierro para distintas concentraciones y caudales de descarga, tramo COLP-1.

Para el tramo COLP-1 la Figura VIII-76 muestra que la concentración de fierro recomendada como valor máximo para descargas con caudales inferiores al 5% del caudal promedio del tramo corresponde a 100 mg/L. Para descargas con caudales mayores al caudal promedio de Colpitas antes de Caracarani se recomienda que la concentración de fierro no exceda los 5 mg/L.

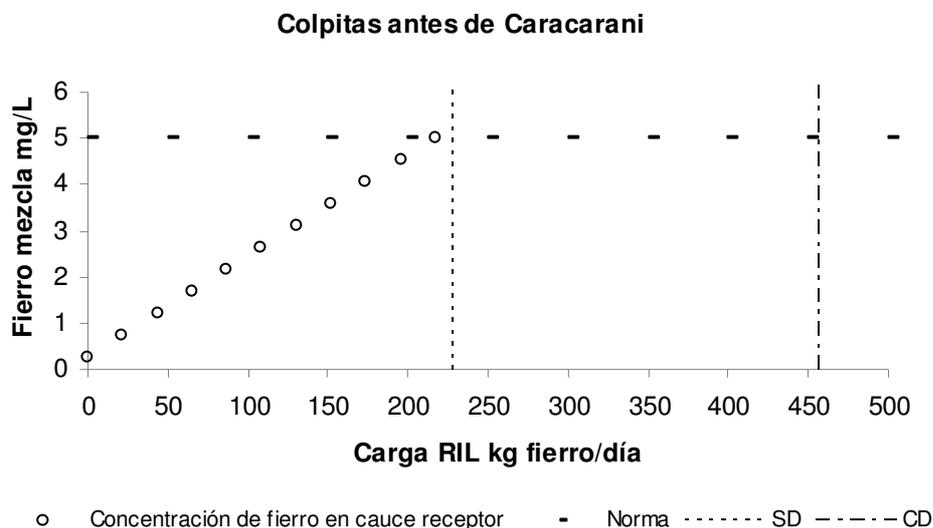


Figura VIII-77. Curva de carga máxima diaria de fierro propuesta para el tramo COLP-1.

La Figura VIII-77 indica que la carga máxima de fierro sugerida para el tramo COLP-1 corresponde a 217,3 kg/día.

LLUTA-1: Estación Lluta en Alcérreca

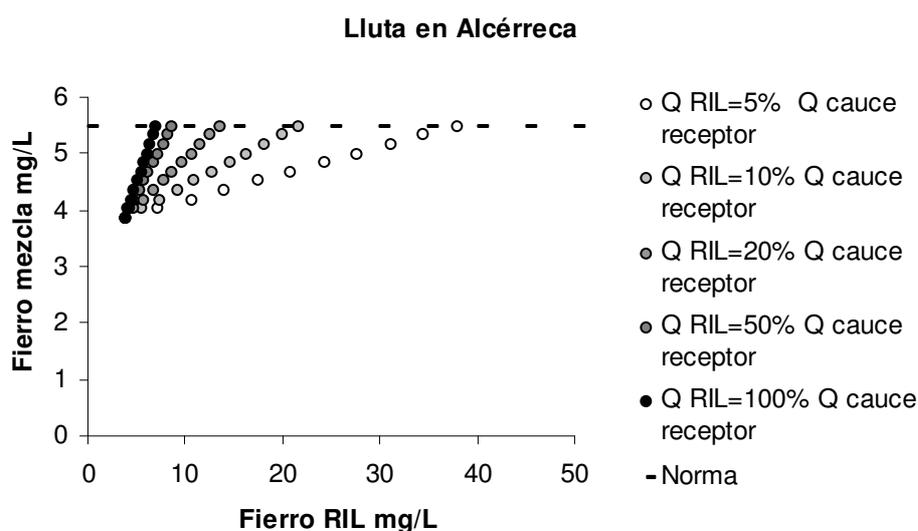


Figura VIII-78. Curvas de concentración final de fierro para distintas concentraciones y caudales de descarga, tramo LLUTA-1.

La Figura VIII-78 muestra que para el tramo LLUTA-1, la concentración de fierro recomendada como valor máximo para descargas con caudales inferiores al 5% del caudal promedio del tramo es de 38 mg/L. Para descargas con caudales mayores al caudal promedio de la estación, se sugiere que la concentración de fierro no exceda los 5,48 mg/L.

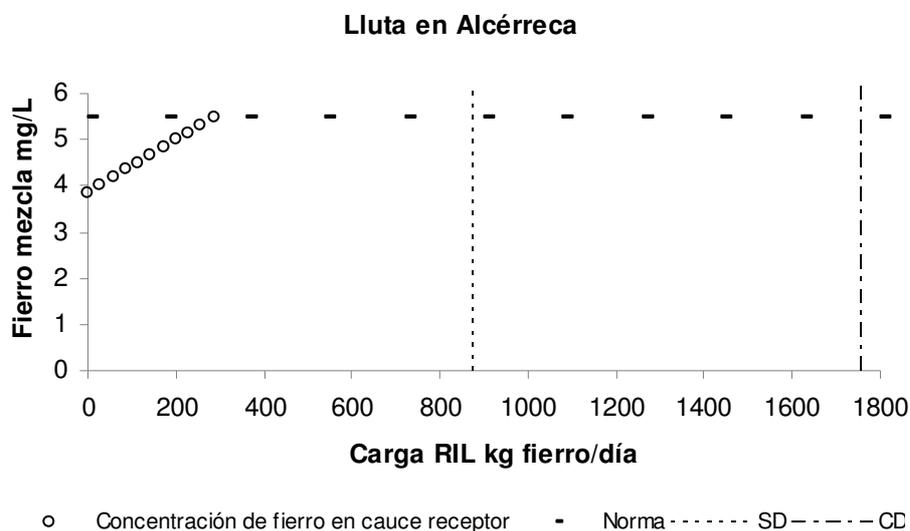


Figura VIII-79. Curva de carga máxima diaria de fierro admitida para el tramo LLUTA-1.

La Figura muestra que la máxima carga diaria de fierro sugerida para el tramo LLUTA-1 equivale a 286,1 kg/día.

LLUTA-2: Estación Lluta en Tocontasi

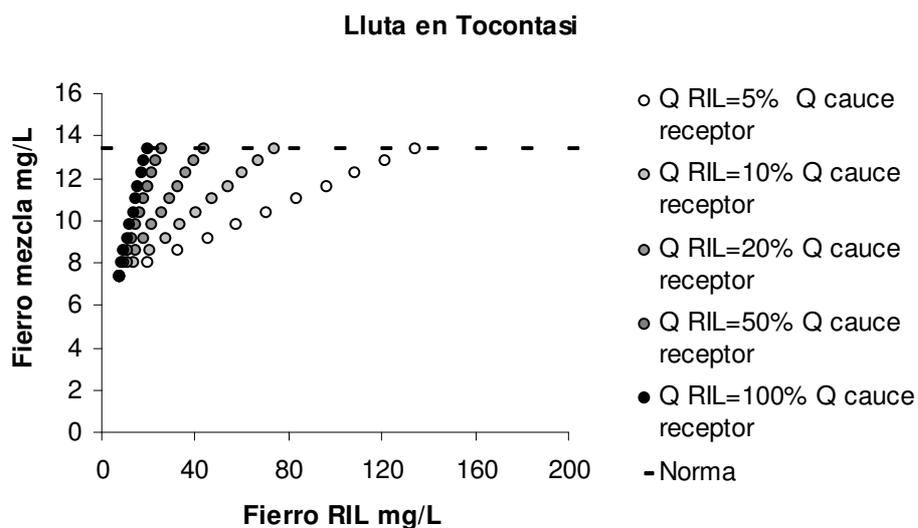


Figura VIII-80. Curvas de concentración final de fierro para distintas concentraciones y caudales de descarga, tramo LLUTA-2.

De la Figura VIII-80 se infiere que para el tramo LLUTA-2, la concentración de fierro recomendada como valor máximo para descargas con caudales inferiores al 5% del caudal promedio del tramo corresponde a 134,2 mg/L. Para descargas con caudales mayores al caudal promedio de la estación se recomienda que la concentración de fierro no exceda los 13,4 mg/L.

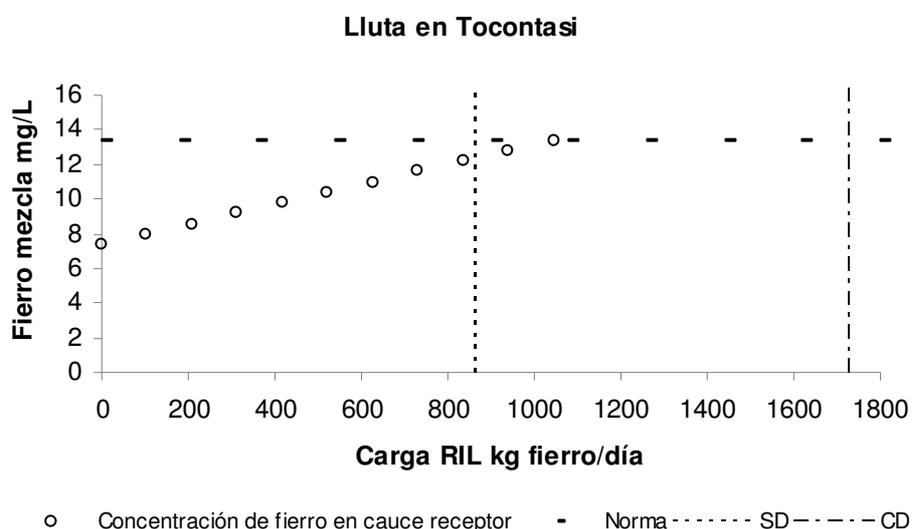


Figura VIII-81. Curva de carga máxima diaria de fierro admitida para el tramo LLUTA-2.

La Figura VIII-81 muestra que la máxima carga diaria de fierro sugerida para el tramo LLUTA-2 equivale a 865,1 kg/día (criterio DS 90 sin considerar capacidad de dilución, curva SD).

LLUTA-3: Estación Lluta en Panamericana

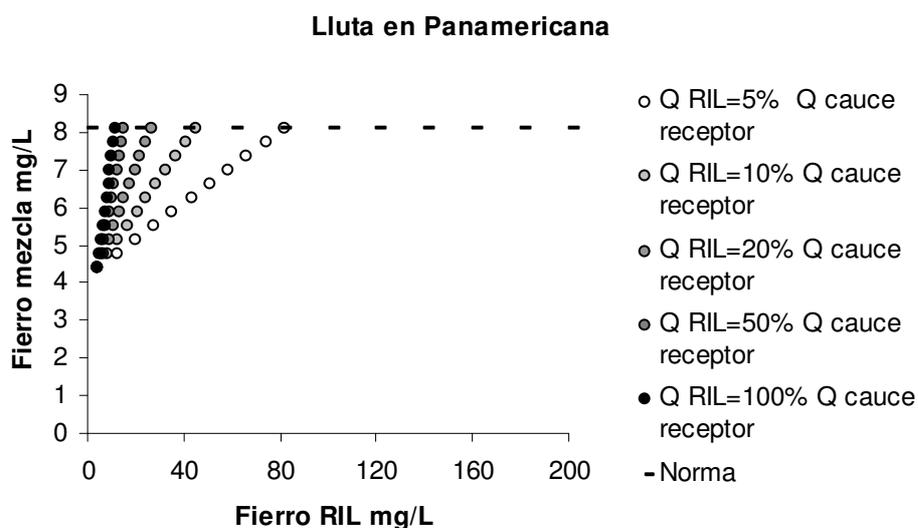


Figura VIII-82. Curvas de concentración final de fierro para distintas concentraciones y caudales de descarga, tramo LLUTA-3.

La Figura VIII-82 muestra que para el tramo LLUTA-3, la concentración de fierro recomendada como valor máximo es de 134,2 mg/L para descargas con caudales inferiores al 5% del caudal promedio del tramo. Para descargas con caudales mayores al caudal promedio de la estación, se recomienda que la concentración de fierro no exceda los 13,4 mg/L.

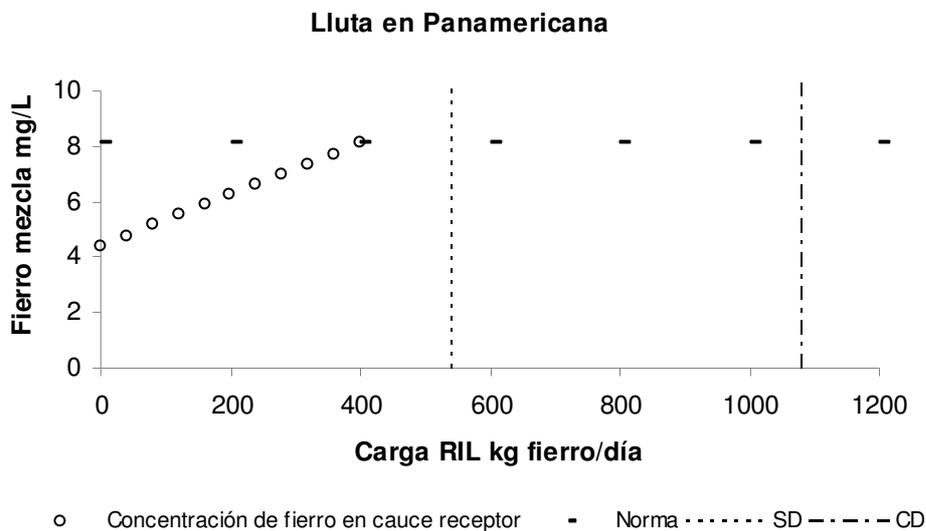


Figura VIII-83. Curva de carga máxima diaria de fierro admitida para el tramo LLUTA-3.

De la Figura VIII-83 se observa que la máxima carga diaria de fierro sugerida para el tramo LLUTA-2 equivale a 399,3 kg/día.

Otros afluentes cuenca Lluta:

Para todos los tramos menores, como la calidad actual corresponde al máximo sugerido, no se recomienda la adición de descargas que aumenten la concentración actual de fierro.

A continuación en la Tabla VIII-14 se presenta un resumen de los valores máximos de boro permitidos para las descargas realizadas en las distintas estaciones, de acuerdo a los rangos de caudales de las descargas.

Dado que en la Tabla VIII-14 se exceden los valores máximos establecidos por el Decreto Supremo N°90, se incluye la información corregida en la Tabla VIII-15. La última columna de cada tabla indica la carga contaminante máxima sugerida en función de la propuesta de calidad (CMSE).

Tabla VIII-14. Valores sugeridos como máximos de fierro, considerando una descarga proporcional al caudal de cada tramo. Considera normativa del Decreto Supremo N° 90.

Estación	Rango de Caudales (% del Caudal Promedio de la Estación)						CMSE Fe kg/día
	<5%	5-10%	10-20%	20-50%	50-100%	>100%	
	Fe mg/L	Fe mg/L	Fe mg/L	Fe mg/L	Fe mg/L	Fe mg/L	
Azufre antes de Caracarani	415,0	269,5	196,8	153,1	138,6	124,0	83,5
Caracarani en Humapalca	3,4	1,9	1,2	0,7	0,6	0,4	3,7
Caracarani antes de Colpitas	124,6	67,9	39,5	22,5	16,8	11,1	654,2
Colpitas antes de Caracarani	100,1	52,6	28,8	14,5	9,8	5,0	217,3
Lluta en Alcérreca	38,0	21,8	13,6	8,7	7,1	5,5	286,1
Lluta en Tocontasi	134,3	73,8	43,6	25,5	19,4	13,4	1.045,5
Lluta en Panamericana	81,8	45,0	26,5	15,5	11,8	8,1	893,5

Tabla VIII-15. Valores sugeridos como máximos de fierro, para descargas proporcionales al caudal de cada tramo. Incluye correcciones de acuerdo a Decreto Supremo N° 90.

Estación	Rango de Caudales (% del Caudal Promedio de la Estación)						CMSE* Fe kg/día	CMSE** Fe kg/día
	<5%	5-10%	10-20%	20-50%	50-100%	>100%		
	Fe mg/L	Fe mg/L	Fe mg/L	Fe mg/L	Fe mg/L	Fe mg/L		
Azufre antes de Caracarani	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	57,4	28,7
Caracarani en Humapalca	3,4	1,9	1,2	0,7	0,6	0,4	244,7	122,4
Caracarani antes de Colpitas	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	1152,8	576,4
Colpitas antes de Caracarani	10,0	10,0	10,0	10,0	9,8	5,0	456,7	228,4
Lluta en Alcérreca	10,0	10,0	10,0	8,7	7,1	5,5	1758,4	879,2
Lluta en Tocontasi	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	1730,1	865,1
Lluta en Panamericana	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	8,1	1083,5	541,7

*DS90 con capacidad de dilución

**DS90 sin capacidad de dilución

f. Boro

Las simulaciones geoquímicas indican que el boro añadido tendería a permanecer en la fase acuosa y que dadas las condiciones particulares de cada tramo, no sería factible la formación de minerales de boro. Esta situación se presentaría en todos los tramos.

Siguiendo la metodología, las Figuras presentadas a continuación describen los cambios producidos en las concentraciones de boro en los distintos tramos de la cuenca, producto de descargas con diferentes concentraciones de boro y distintos caudales, expresadas también como carga diaria en kg/día.

Para el boro, el DS 90 establece valores máximos de 0,75 mg/L para descargas sin considerar capacidad de dilución y 3 mg/L considerando capacidad de dilución.

Las simulaciones consideran como concentración máxima en el río el máximo reportado por el equipo consultor o el percentil 75 de las mediciones de la DGA (el que sea mayor). Debido a que estos valores son bastante altos, pueden ser alcanzados naturalmente y tienen como punto de partida una concentración promedio representativa del cauce la cual puede variar temporalmente, se sugieren otros criterios basados en la normativa con el fin de considerar que la cuenca se encuentra naturalmente saturada de boro. La penúltima columna de la Tabla VIII-17 considera la máxima concentración de boro permitida para una descarga sin considerar capacidad de dilución (3 mg/L), mientras que la última columna considera la concentración máxima permitida sin considerar capacidad de dilución (0,75 mg/L). Esto se refleja en las figuras de carga contaminante, donde la recta vertical denominada SD es la carga máxima sin considerar capacidad de dilución, y la recta vertical denominada CD considera esta capacidad. Por lo tanto, debido a las características propias de los diferentes tramos se sugiere que la carga máxima diaria de boro sea el mínimo entre las tres sugerencias.

Principales ríos cuenca Lluta

AZU-1: Estación Azufre antes de Caracarani

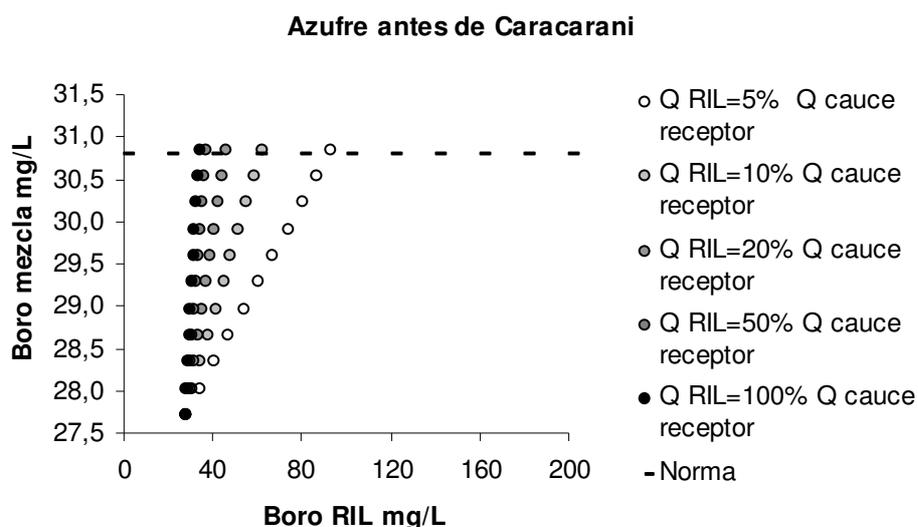


Figura VIII-84. Curvas de concentración final de boro para distintas concentraciones y caudales de descarga, tramo AZU-1.

La Figura VIII-84 muestra que para el tramo AZU-1 la concentración de boro recomendada como valor máximo para descargas con caudales inferiores al 5% del caudal promedio del tramo corresponde a 92,58 mg/L. Para descargas con caudales mayores al caudal promedio del río Azufre se recomienda que la concentración de boro no exceda los 30,8 mg/L.

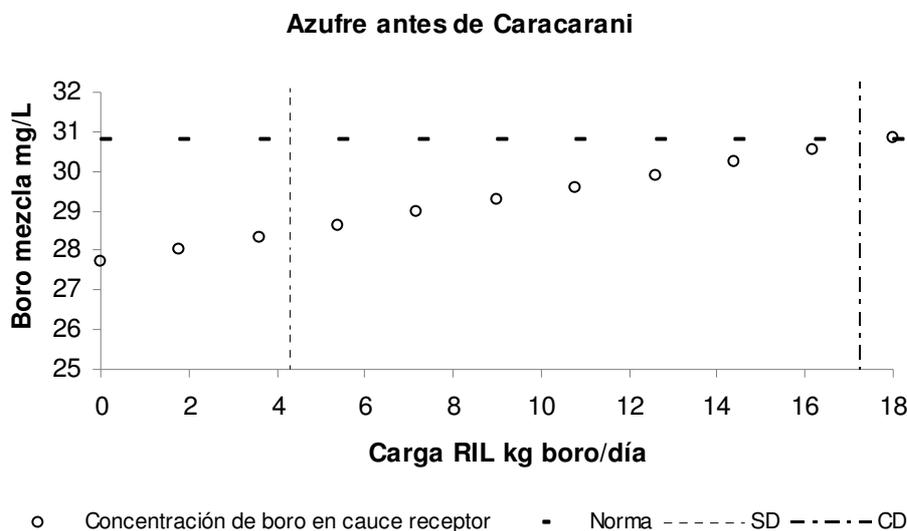


Figura VIII-85. Curva de carga máxima diaria de boro admitida para el tramo AZU-1.

La Figura VIII-85 indica que la carga máxima de boro sugerida para el tramo AZU-1 corresponde a 4,3 kg/día (curva SD).

CARAC-1: Estación Caracarani en Humapalca

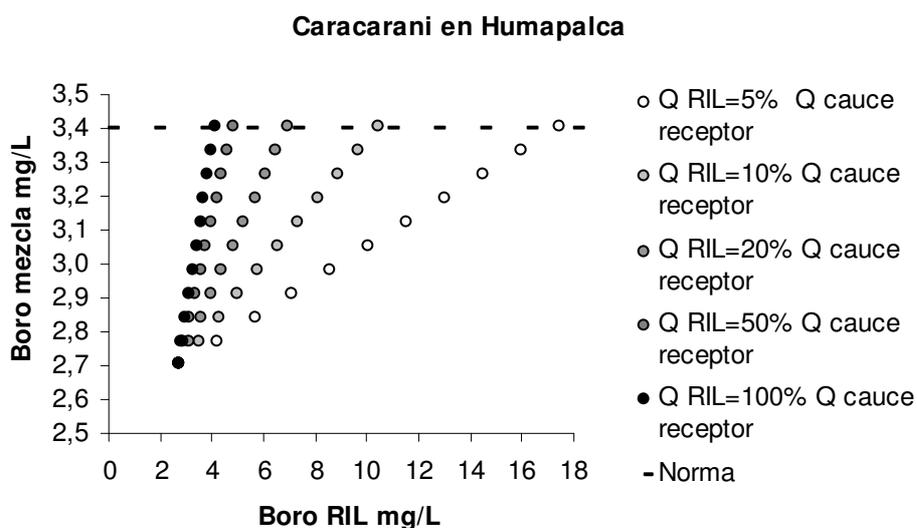


Figura VIII-86. Curvas de concentración final de boro para distintas concentraciones y caudales de descarga, tramo CARAC-1.

Para Caracarani en Humapalca se puede apreciar mediante la Figura VIII-86 que la concentración máxima de boro para descargas con caudales menores que el 5% del caudal promedio del tramo debe ser inferior a 17,34 mg/L para no exceder el valor recomendado como máximo para este tramo. Para descargas con caudales mayores al caudal promedio de CARAC-1, se sugiere que sus concentración de boro no supere los 3,4 mg/L.

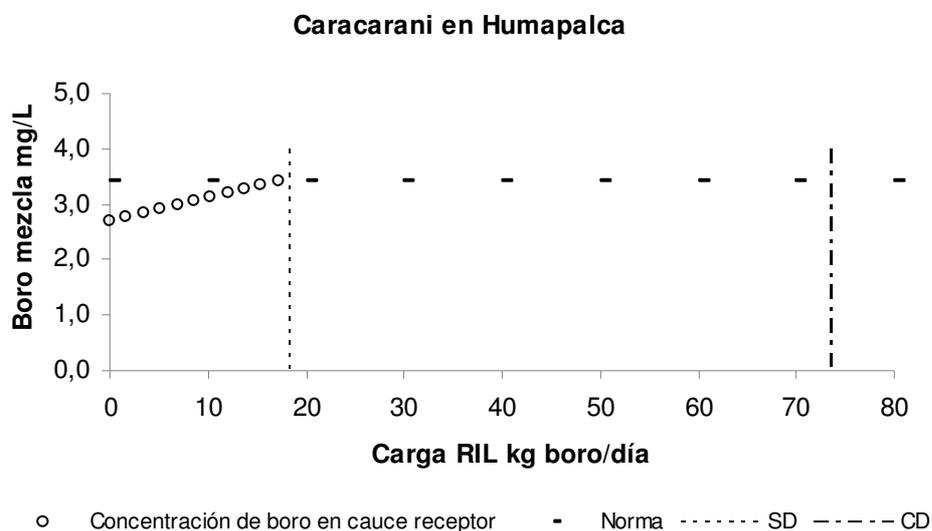


Figura VIII-87. Curva de carga máxima diaria de boro admitida para el tramo CARAC-1.

De la Figura VIII-87 se infiere que la carga máxima de boro corresponde a 17 kg/día para no exceder la concentración máxima sugerida de 3,4 mg/L en el tramo.

CARAC-2: Estación Caracarani antes de Colpitas

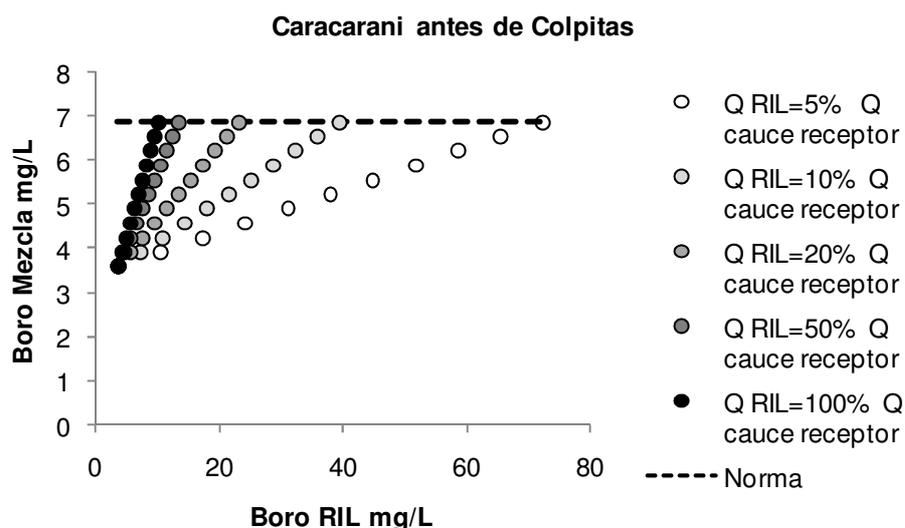


Figura VIII-88. Curvas de concentración final de boro para distintas concentraciones y caudales de descarga, tramo CARAC-2.

Para Caracarani antes de la junta con Colpitas la Figura VIII-88 describe los cambios en la concentración característica de boro del tramo producto de descargas realizadas sobre CARAC-2. Se puede apreciar que para descargas con caudales menores al 5% del caudal promedio del tramo, el valor de concentración de boro máximo en la descarga no debe superar los 72,51 mg/L. Si la descarga posee un caudal mayor que el caudal promedio de CARAC-2, su concentración no debería excederse de 6,89 mg/L de boro.

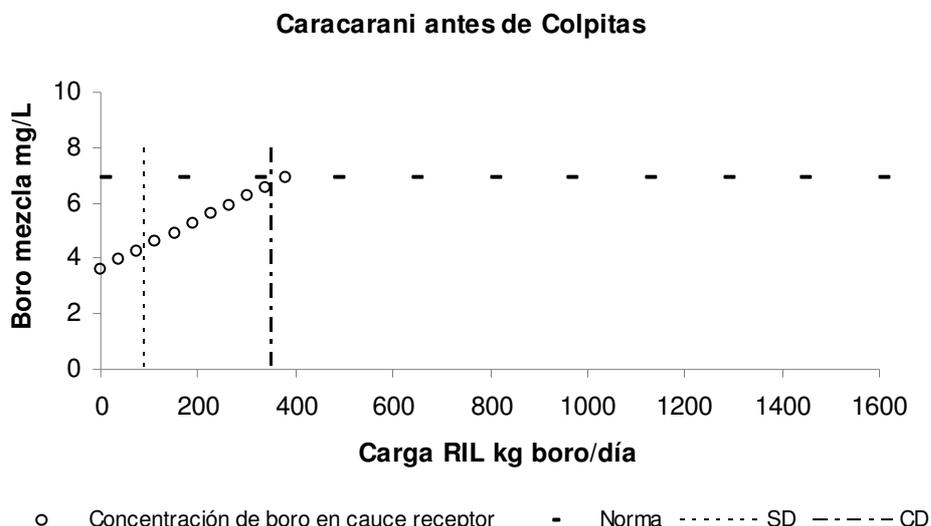


Figura VIII-89. Curva de carga máxima diaria de boro admitida para el tramo CARAC-2.

La Figura VIII-89 muestra que la carga máxima recomendada de boro es de 85,5 kg/día (curva SD).

COLP-1: Estación Colpitas antes de Caracarani

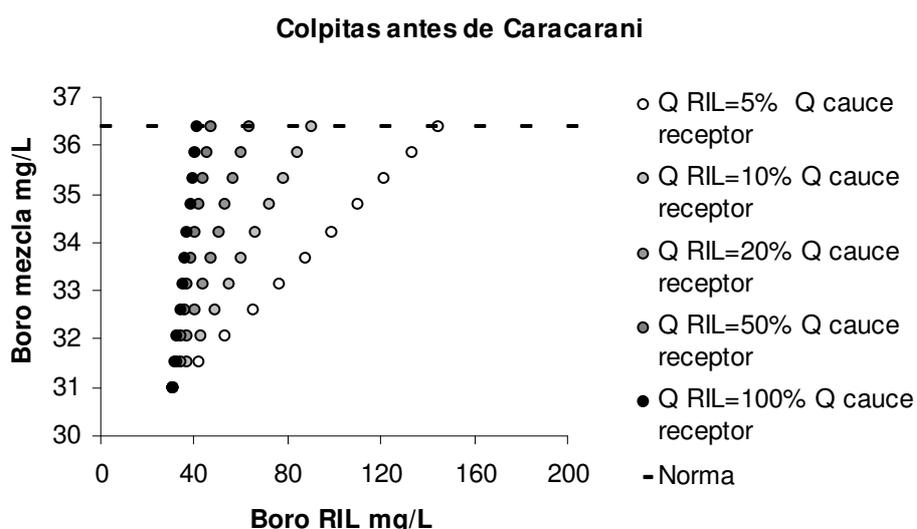


Figura VIII-90. Curvas de concentración final de boro para distintas concentraciones y caudales de descarga, tramo COLP-1.

La Figura VIII-90 permite analizar los niveles máximos de boro sugeridos para descargas efectuadas en el tramo COLP-1. Para descargas con caudales inferiores al 5% del caudal promedio de Colpitas antes de Caracarani se recomienda no exceder los 144,6 mg/L de boro, mientras que para descargas con caudales mayores al caudal promedio del tramo el valor máximo recomendado es de 36,4 mg/L.

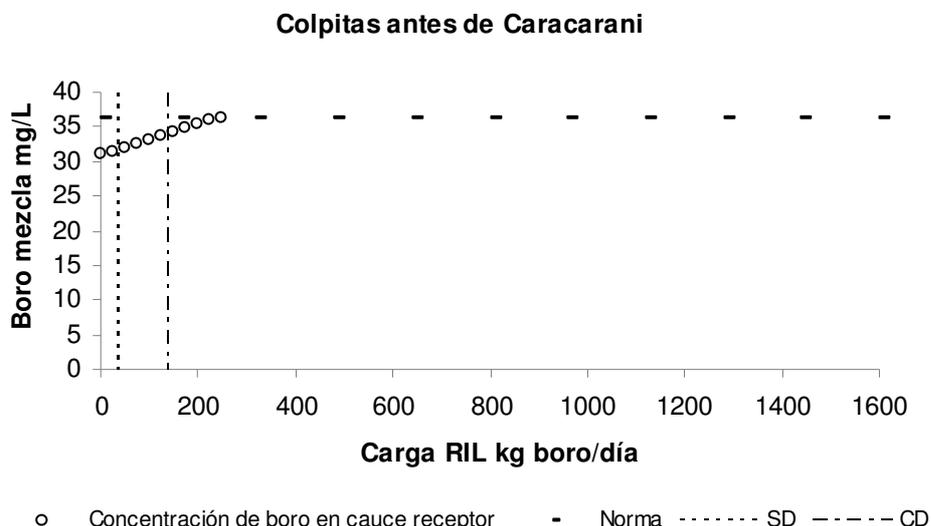


Figura VIII-91. Curva de carga máxima diaria de boro admitida para el tramo COLP-1.

La máxima carga de boro sugerida para el tramo COLP-1 corresponde a 34,3 kg/día, curva SD de la Figura VIII-91.

LLUTA-1: Estación Lluta en Alcérreca

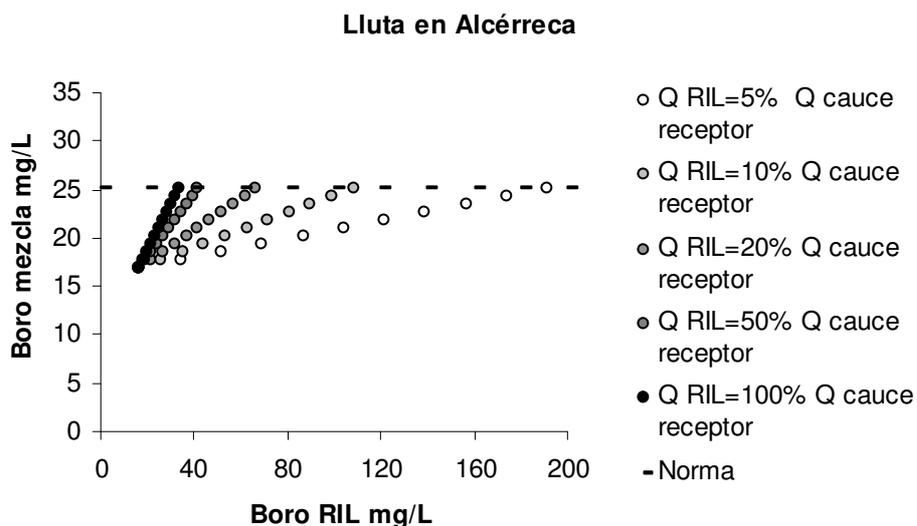


Figura VIII-92. Curvas de concentración final de boro para distintas concentraciones y caudales de descarga, tramo LLUTA-1.

Para el tramo LLUTA-1, representado por la estación Lluta en Alcérreca en la Figura VIII-92, se puede establecer como máximo un valor de 191 mg/L para la concentración de boro de descargas con caudales inferiores al 5% del caudal promedio del tramo. A su vez, para descargas con caudales mayores al caudal promedio del tramo, se recomienda no superar los 25,1 mg/L de boro.

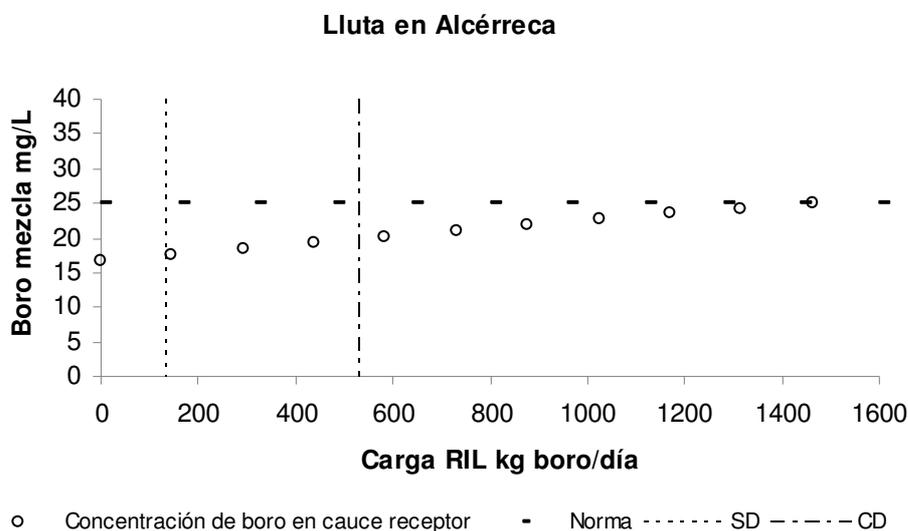


Figura VIII-93. Curva de carga máxima diaria de boro admitida para el tramo LLUTA-1.

La Figura VIII-93 muestra que la máxima carga diaria de boro sugerida para el tramo LLUTA-1 equivale a 131,9 kg/día (curva SD).

LLUTA-2: Estación Lluta en Tocontasi

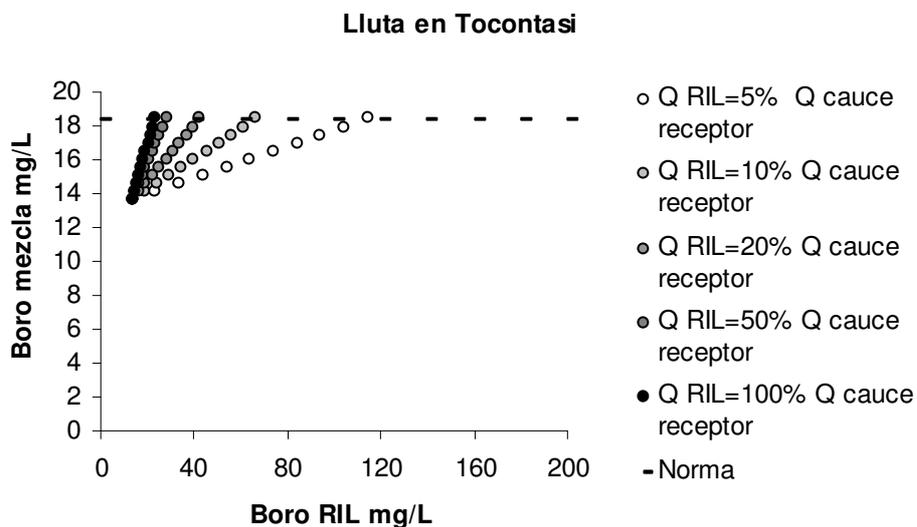


Figura VIII-94. Curvas de concentración final de boro para distintas concentraciones y caudales de descarga, tramo LLUTA-2.

Para el tramo LLUTA-2, representado por la estación Lluta en Tocontasi en la Figura VIII-94, se recomienda no exceder los 18,4 mg/L de boro para descargas con caudales mayores que el caudal promedio del tramo. En cambio si las descargas poseen caudales menores que el 5% del caudal promedio, el valor sugerido asciende a 114,2 mg/L.

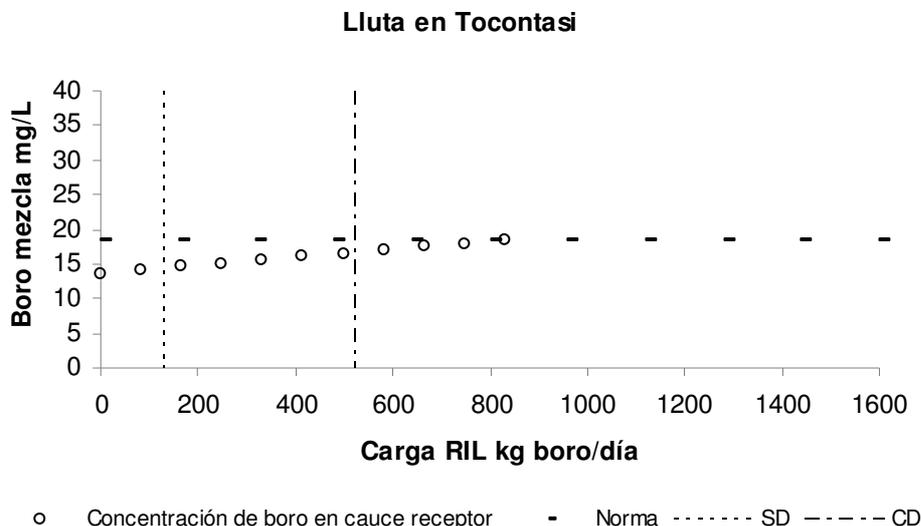


Figura VIII-95. Curva de carga máxima diaria de boro admitida para el tramo LLUTA-2.

La Figura VIII-95 muestra que la máxima carga diaria de boro sugerida para el tramo LLUTA-2 corresponde a 129,8 kg/día (curva SD).

LLUTA-3: Estación Lluta en Panamericana

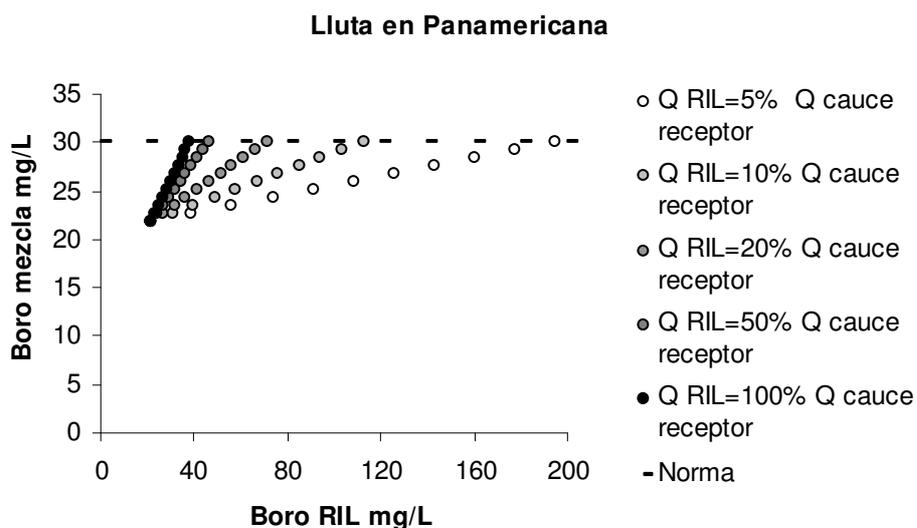


Figura VIII-96. Curvas de concentración final de boro para distintas concentraciones y caudales de descarga, tramo LLUTA-3.

Se aprecia de la Figura VIII-96 que para descargas en el tramo LLUTA-3 con caudales mayores que el caudal promedio del tramo, la concentración máxima de boro no debe superar los 30 mg/L. A su vez, para descargas con caudales menores al 5% del caudal promedio del tramo, el valor máximo recomendado alcanza los 194,4 mg/L de boro.

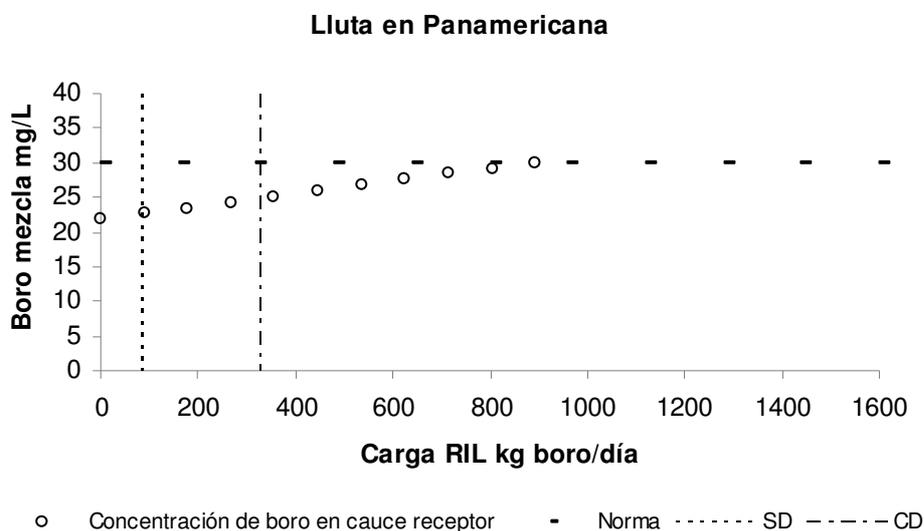


Figura VIII-97. Curva de carga máxima diaria de boro admitida para el tramo LLUTA-3 y LLUTA-4.

La Figura VIII-97 muestra que se sugiere una carga máxima de boro de 81,3 kg/día para los tramos LLUTA-3 y LLUTA-4, curva SD.

Otros afluentes cuenca Lluta

En el caso de las quebradas Oriente 1 y 4, junto con la Quebrada Aroma se establece como valor máximo sugerido para descargas con caudales mayores al caudal promedio del tramo 0,5 mg/L de boro (uso potabilización).

QORIENI-1: Estación Quebrada Oriente 1

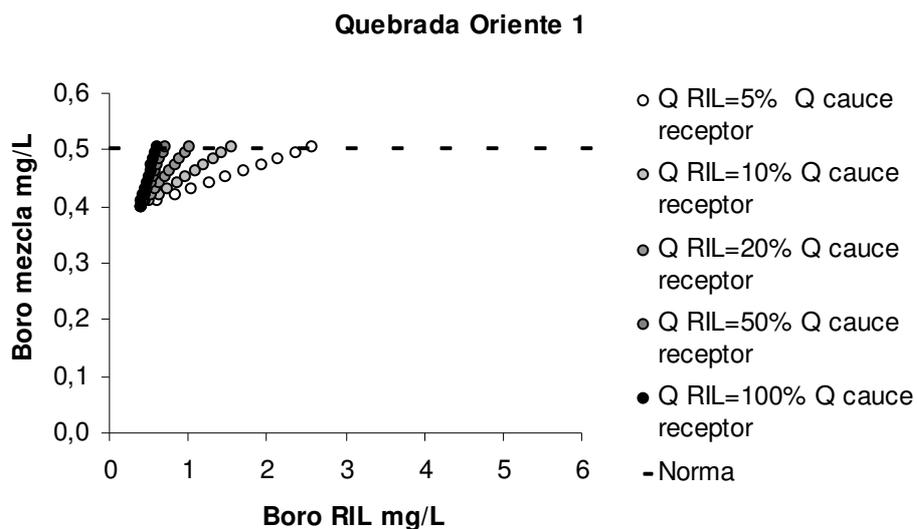


Figura VIII-98. Curvas de concentración final de boro para distintas concentraciones y caudales de descarga, tramo QORIEN-1.

La Figura VIII-98 representa el comportamiento de la Quebrada Oriente 1, donde se pueden apreciar el límite superior de 0,5 mg/L de boro para descargas con caudales mayores al caudal promedio y el valor sugerido de 2,49 mg/L, para descargas con caudales menores al 5% del caudal promedio del tramo.

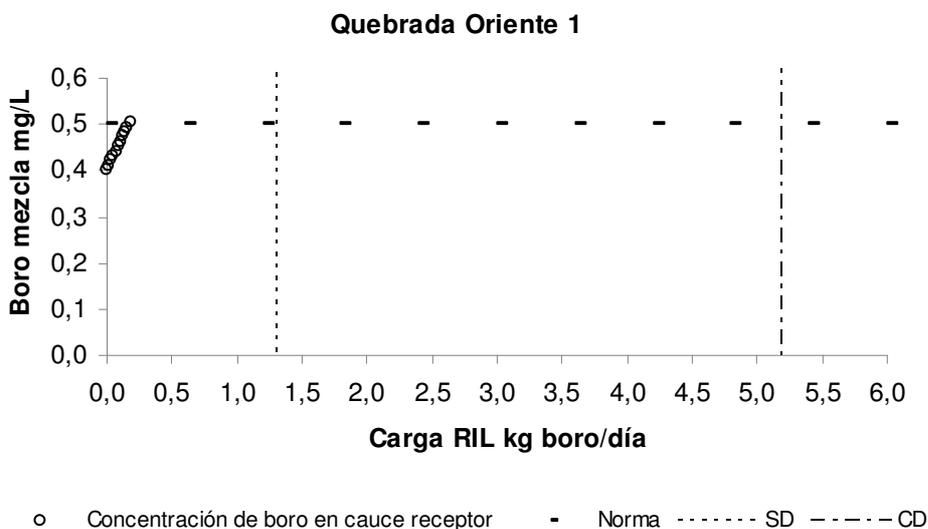


Figura VIII-99. Curva de carga máxima diaria de boro admitida para el tramo QORIEN-1.

Para este tramo, se sugiere una carga máxima de 0,17 kg/día (Figura VIII-99).

QORIEN4-1: Estación Quebrada Oriente 4

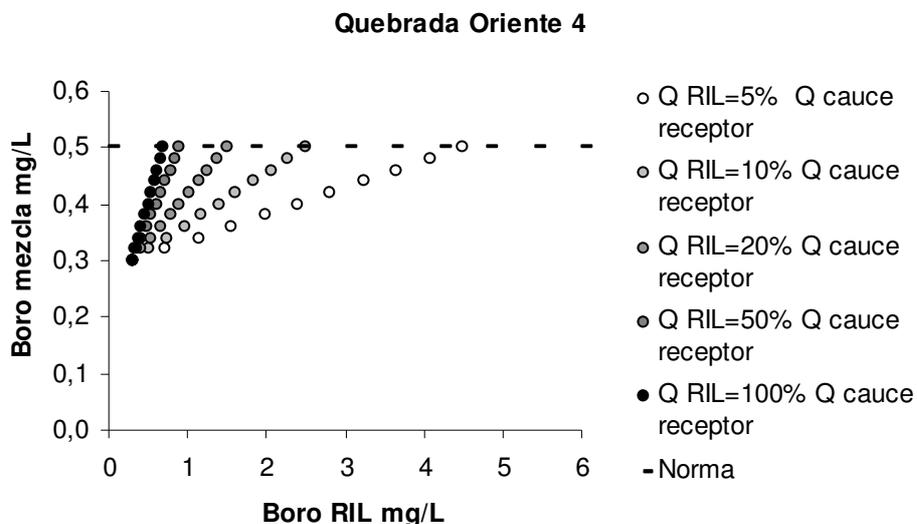


Figura VIII-100. Curvas de concentración final de boro para distintas concentraciones y caudales de descarga, tramo QORIEN4-1.

La Figura VIII-100 muestra que para descargas con caudales mayores al caudal promedio del tramo QORIEN4-1 el valor máximo de boro no debe exceder los 4,49 mg/L; valor 1,8 veces superior al de la Quebrada Oriente 1.

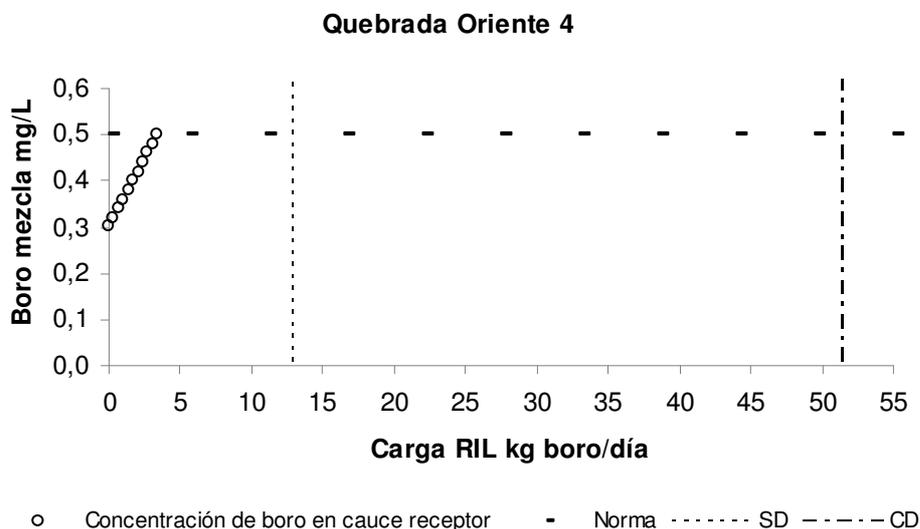


Figura VIII-101. Curva de carga máxima diaria de boro admitida para el tramo QORIEN4-1.

La carga máxima de boro sugerida para este tramo corresponde a 3,4 kg/día (Figura VIII-101).

HUAYLA-1: Estación Quebrada Huayla

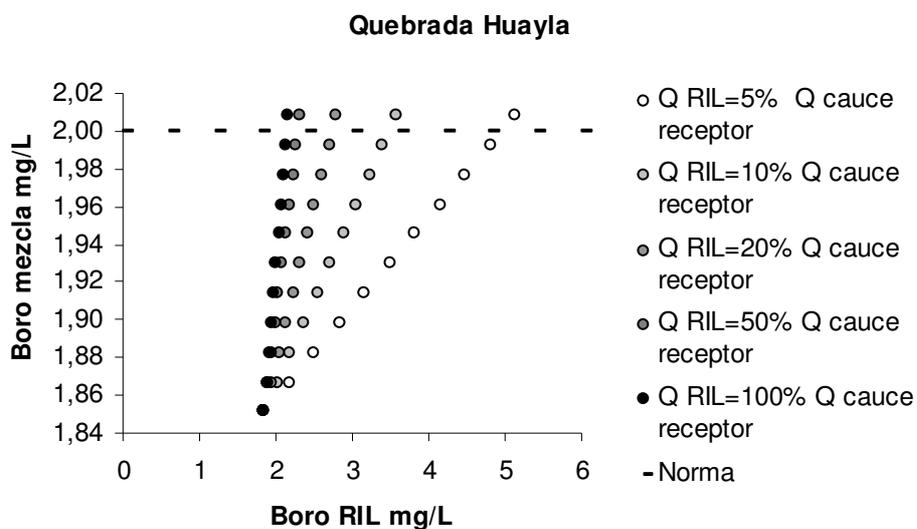


Figura VIII-102. Curvas de concentración final de boro para distintas concentraciones y caudales de descarga, tramo HUAYLA-1.

A través de la Figura VIII-102 se puede apreciar que la situación de la Quebrada Huayla difiere del resto de las quebradas de la cuenca en relación a los niveles máximos de boro en descargas. Esto debido a que para las quebradas Oriente 1, Oriente 4 y Aroma se ha recomendado una concentración máxima de 0,5 mg/L de boro en descargas con caudales mayores al caudal promedio del tramo, mientras que en el caso de la Quebrada Huayla ese valor se eleva a 2 mg/L (debido a que naturalmente presenta mayores concentraciones de boro). Sin embargo, HUAYLA-1 presenta un comportamiento similar al de QORIEN1-1, en cuanto al valor máximo recomendado en descargas con caudales inferiores al 5% del caudal promedio del tramo. Así, para HUAYLA-1 se recomienda no exceder los 2,35 mg/L de boro, similares a los 2,49 mg/L de Quebrada Oriente 1.

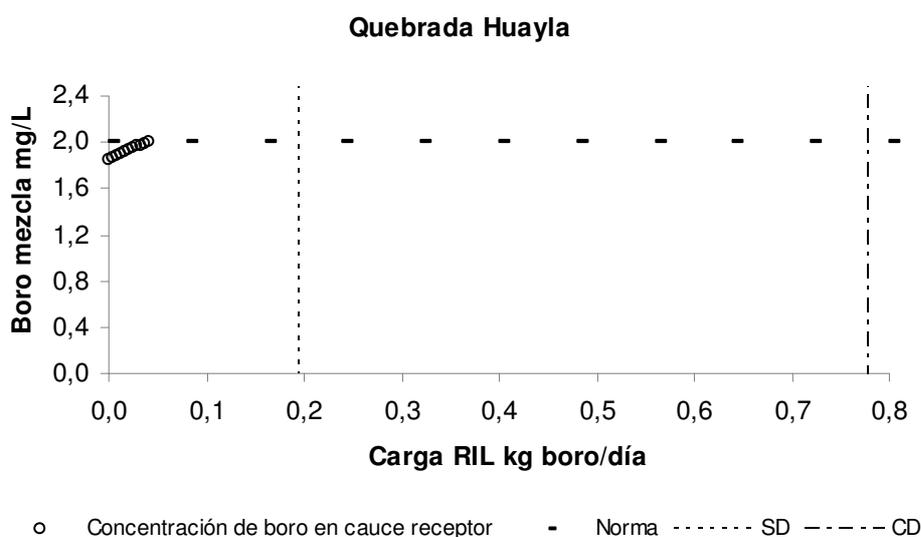


Figura VIII-103. Curva de carga máxima diaria de boro admitida para el tramo HUAYLA-1.

Se recomienda no exceder la carga de boro sobre 0,039 kg/día para el tramo HUAYLA-1 (Figura VIII-103).

AROMA-1: Estación Quebrada Aroma

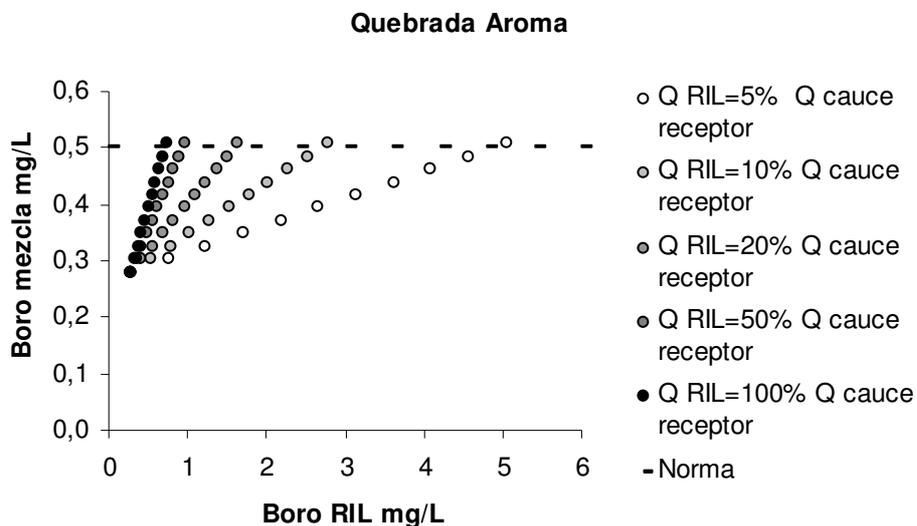


Figura VIII-104. Curvas de concentración final de boro para distintas concentraciones y caudales de descarga, tramo AROMA-1.

La Figura VIII-104 muestra que para el tramo AROMA-1 el valor recomendado como máximo en descargas con caudales inferiores al 5% del caudal promedio del tramo alcanza los 4,89 mg/L de boro. Este valor es del orden del sugerido presentado para Quebrada Oriente 4 que corresponde a 4,49 mg/L.

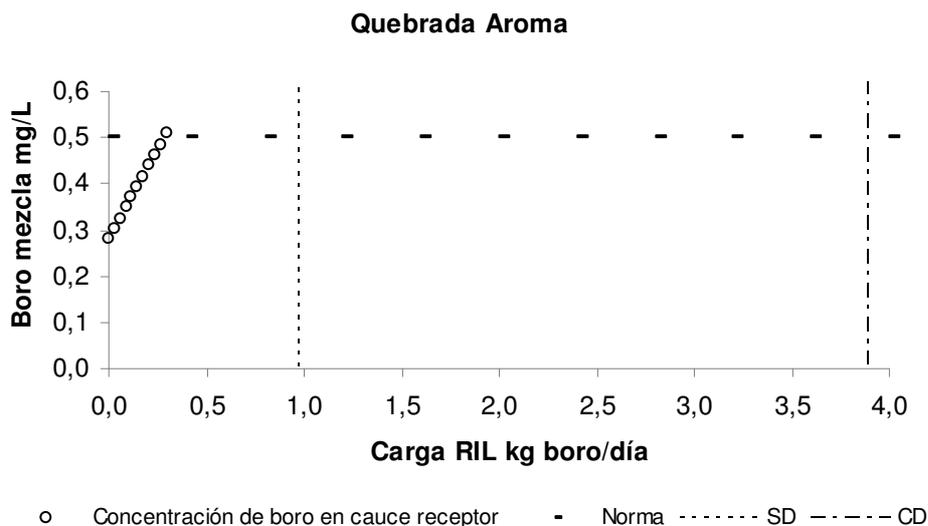


Figura VIII-105. Curva de carga máxima diaria de boro admitida para el tramo AROMA-1.

La Figura VIII-105 muestra que la carga máxima de boro sugerida para este tramo es de 0,284 kg/día.

A continuación en la Tabla VIII-16 se presenta un resumen de los valores máximos de boro permitidos para las descargas realizadas en las distintas estaciones, de acuerdo a los rangos de caudales de las descargas simuladas.

Dado que en la Tabla VIII-16 se exceden los valores máximos establecidos por el Decreto Supremo N°90, se incluye la información corregida en la Tabla VIII-17.

Las últimas columnas de la Tabla VIII-16 indican la carga contaminante máxima sugerida en función de la propuesta de calidad. Se sugiere considerar el mínimo valor entre la última columna de la Tabla VIII-16 y las 2 últimas columnas de la Tabla VIII-17.

Tabla VIII-16. Valores sugeridos como máximos de boro, considerando una descarga proporcional al caudal de cada tramo. Considera normativa del Decreto Supremo N° 90.

Estación	Rango de Caudales (% del Caudal Promedio de la Estación)						CMSE B kg/día
	<5%	5-10%	10-20%	20-50%	50-100%	>100%	
	B mg/L	B mg/L	B mg/L	B mg/L	B mg/L	B mg/L	
Azufre antes de Caracarani	92,6	61,7	46,2	37,0	33,9	30,8	17,7
Caracarani en Humapalca	17,3	10,4	6,9	4,8	4,1	3,4	17,0
Quebrada Oriente 1	2,5	1,5	1,0	0,7	0,6	0,5	0,17
Quebrada Oriente 4	4,5	2,5	1,5	0,9	0,7	0,5	3,4
Caracarani antes de Colpitas	72,5	39,7	23,3	13,5	10,2	6,9	377,1
Colpitas antes de Caracarani	144,6	90,5	63,4	47,2	41,8	36,4	248
Lluta en Alcérreca	191,0	108,0	66,6	41,7	33,4	25,1	1455,2
Quebrada Huayla	5,0	3,5	2,7	2,3	2,1	2,0	0,039
Quebrada Aroma	4,9	2,7	1,6	0,9	0,7	0,5	0,284
Lluta en Tocontasi	114,2	66,3	42,4	28,0	23,2	18,4	824,1
Lluta en Panamericana	194,4	112,2	71,1	46,4	38,2	30,0	893,4

Tabla VIII-17. Valores sugeridos como máximos de boro, considerando una descarga proporcional al caudal de cada tramo. Incluye correcciones de acuerdo a Decreto Supremo N° 90.

Estación	Rango de Caudales (% del Caudal Promedio de la Estación)						CMSE* B kg/día	CMSE** B kg/día
	<5% B mg/L	5-10% B mg/L	10-20% B mg/L	20-50% B mg/L	50-100% B mg/L	>100% B mg/L		
Azufre antes de Caracarani	3	3	3	3	3	3	17,2	4,3
Caracarani en Humapalca	3	3	3	3	3	3	73,4	18,4
Quebrada Oriente 1	2,49	1,49	0,99	0,69	0,59	0,5	5,2	1,3
Quebrada Oriente 4	3	2,49	1,49	0,89	0,69	0,5	51,4	12,8
Caracarani antes de Colpitas	3	3	3	3	3	3	345,8	86,5
Colpitas antes de Caracarani	3	3	3	3	3	3	137,0	34,3
Lluta en Alcérreca	3	3	3	3	3	3	527,5	131,9
Quebrada Huayla	3	3	2,74	2,29	2,14	2	0,8	0,2
Quebrada Aroma	3	2,69	1,59	0,93	0,71	0,5	3,9	1,0
Lluta en Tocontasi	3	3	3	3	3	3	519,0	129,8
Lluta en Panamericana	3	3	3	3	3	3	325,0	81,3

*DS 90 con capacidad de dilución

**DS 90 sin capacidad de dilución

Formación de minerales

A pesar que las modelaciones en PHREEQC indican que los metales agregados (boro, arsénico, fierro) se mantenían en la fase acuosa, según los cálculos de solubilidad sería eventualmente factible en términos termodinámicos la precipitación de ciertos minerales, lo que se resume en la Tabla VIII-18. Esta tabla se encuentra dividida en dos secciones. En la primera se presenta el número de fases con tendencia a precipitar para cada estación, distinguiendo entre fases conteniendo aluminio, arsénico, boro y/o hierro. Cabe destacar que no se detectó tendencia a precipitar de fases compuestas por arsénico y/o boro. La segunda sección de la Tabla resume los porcentajes de composición de las fases con tendencia a precipitar para cada estación. Así para Colpitas antes de Caracarani, que posee el mayor número de fases con tendencia a precipitar dentro de la cuenca del Lluta, se puede apreciar que el 88,4% del total de estas fases contienen aluminio, mientras que el 29,1% contiene hierro.

Tabla VIII-18. Precipitación de fases según estación.

Estación	N° fases precipitadas por estación				Composición de fases precipitadas por estación			
	Al	As	B	Fe	% Al	% As	% B	% Fe
Azufre antes de Caracarani	5	0	0	8	62,5	0	0	100
Caracarani en Humapalca	75	0	0	24	89,3	0	0	28,6
Quebrada Oriente 1	4	0	0	4	50	0	0	50
Quebrada Oriente 2	4	0	0	0	100	0	0	0
Quebrada Oriente 3	4	0	0	7	36,4	0	0	63,6
Quebrada Oriente 4	4	0	0	9	30,8	0	0	69,2
Caracarani antes de Colpitas	38	0	0	18	84,4	0	0	40
Quebrada Allane	4	0	0	5	44,4	0	0	55,6
Colpitas antes de Caracarani	76	0	0	25	88,4	0	0	29,1
Lluta en Alcérreca	42	0	0	19	84	0	0	38
Quebrada Huayla	5	0	0	9	35,7	0	0	64,3
Quebrada Aroma	5	0	0	5	50	0	0	50
Lluta en Tocontasi	73	0	0	27	85,9	0	0	31,8
Lluta en Panamericana	5	0	0	10	33,3	0	0	66,7

Las fases con tendencia a precipitar y que resultaron comunes a todos los tramos corresponden a goetita (FeOOH) y a hematita (Fe₂O₃).

En tramos asociados a mantención del ecosistema natural (AZU-1, CARAC-2 y COLP-1) las fases comunes encontradas corresponden a fases del tipo Nontronita. Entre ellas se pueden mencionar:

- Nontronita-Ca: $\text{Ca}_{0,165}\text{Fe}_2\text{Al}_{0,33}\text{Si}_{3,67}\text{H}_2\text{O}_{12}$
- Nontronita-H: $\text{H}_{0,33}\text{Fe}_2\text{Al}_{0,33}\text{Si}_{3,67}\text{H}_2\text{O}_{12}$
- Nontronita-K: $\text{K}_{0,33}\text{Fe}_2\text{Al}_{0,33}\text{Si}_{3,67}\text{H}_2\text{O}_{12}$
- Nontronita-Mg: $\text{Mg}_{0,165}\text{Fe}_2\text{Al}_{0,33}\text{Si}_{3,67}\text{H}_2\text{O}_{12}$
- Nontronita-Na: $\text{Na}_{0,33}\text{Fe}_2\text{Al}_{0,33}\text{Si}_{3,67}\text{H}_2\text{O}_{12}$

Para tramos asociados a potabilización (CARAC-1, QORIEN1-1, QORIEN2-1, QORIEN3-1, QORIEN4-1, ALLANE-1, HUAYLA-1 y AROMA-1) las fases con tendencia a precipitar comunes encontradas fueron:

- Boemita: AlO_2H

- Corindón: Al_2O_3
- Diásporo: AlHO_2
- Gibbsita: $\text{Al}(\text{OH})_3$

En el caso de tramos asociados a uso agrícola (LLUTA-1, LLUTA-2, LLUTA-3 y LLUTA-4), las fases minerales con tendencia a precipitar comunes fueron las ya previamente mencionadas boemita, diásporo, gibbsita, goetita y hematita. Otras fases con tendencia a precipitar en estos tramos son:

- Alunita: $\text{KAl}_3(\text{OH})_6(\text{SO}_4)_2$
- $\text{Fe}(\text{OH})_3$
- Ferrita-Cu: CuFe_2O_4
- Ferrita-Zn: ZnFe_2O_4
- Jarosita: $\text{KFe}_3(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6$

El detalle de todas las fases termodinámicamente factibles de precipitar por tramo se presenta en la sección de Anexos.

g. Conductividad

Para simular los efectos de descargas en cada tramo, se consideraron 5 riles de caudales correspondientes a 5%, 10%, 20%, 50% y 100% del caudal promedio de cada cauce receptor de la descarga.

Para cada uno de los riles, se hizo variar la conductividad entre el valor promedio de la estación -en mS/cm- y el valor que produce que se exceda el valor sugerido como máximo de conductividad -asignado a cada tramo-, producto de la dilución de cada ril en el cauce receptor correspondiente.

Las figuras que se presentan a continuación muestran la dilución de cada ril en los distintos puntos de interés, considerando para ellos los valores promedio de caudal y de conductividad. Se destaca el valor sugerido por el equipo consultor como máximo (norma) en cada uno de los puntos.

Principales ríos cuenca Lluta

AZU-1: Estación Azufre antes de Caracarani

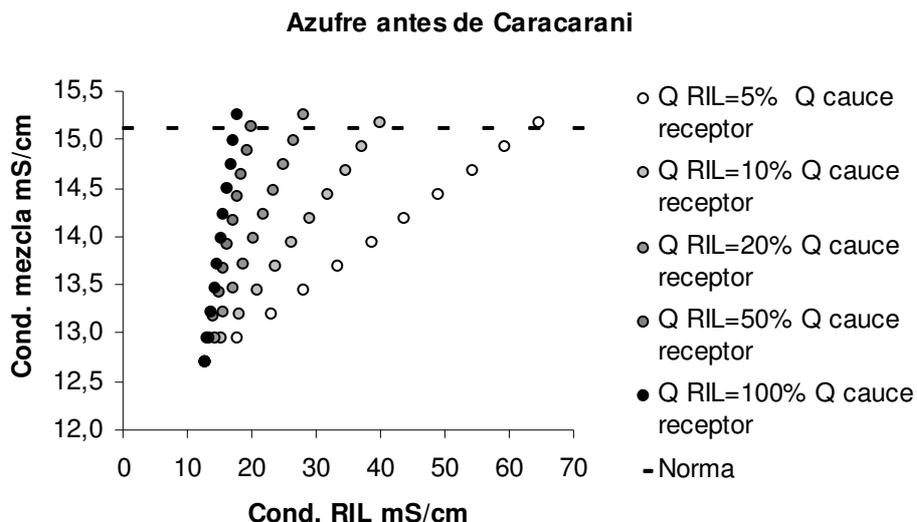


Figura VIII-106. Curvas de conductividad resultante en función de la conductividad y caudal de la descarga, tramo AZU-1.

Para el caso del río Azufre antes de la junta con Caracarani descargas con caudales menores al 5% del caudal promedio del río Azufre no debieran exceder los 63,2 mS/cm para garantizar que no se sobrepase el valor sugerido por el equipo consultor. Para descargas con caudales mayores al caudal promedio del río Azufre se recomienda no exceder los 15,1 mS/cm. Caudales en el rango entre un 5% a un 100% del caudal promedio del río Azufre deben ser analizados caso a caso, usando como guía los valores máximos de conductividad permitida entre los tramos: 5-10%, 10-20%, 20-50% y 50-100%.

CARAC-1: Estación Caracarani en Humapalca

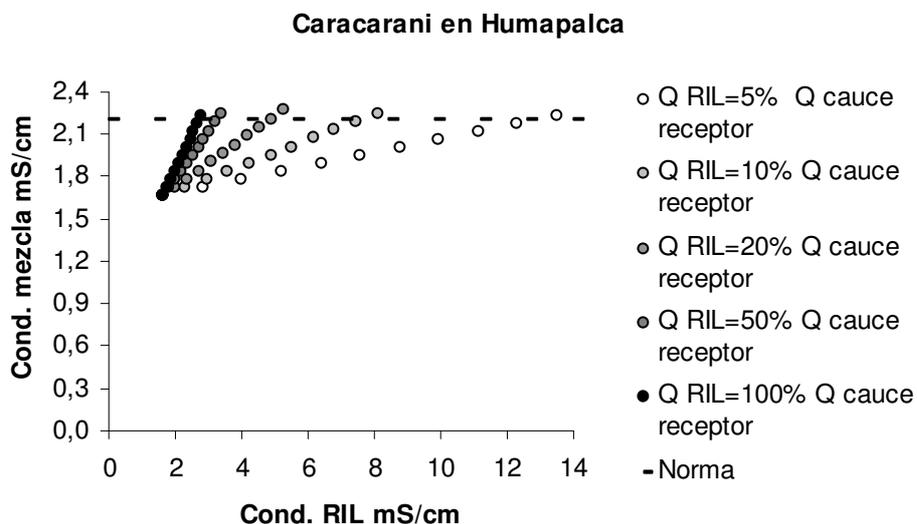


Figura VIII-107. Curvas de conductividad resultante en función de la conductividad y caudal de la descarga, tramo CARAC-1.

Se sugiere no sobrepasar los 13 mS/cm para descargas con caudales inferiores al 5% del caudal promedio de Caracarani en Humapalca. Descargas con caudales mayores que el caudal promedio no deben superar los 2,2 mS/cm.

CARAC-2: Estación Caracarani antes de Colpitas

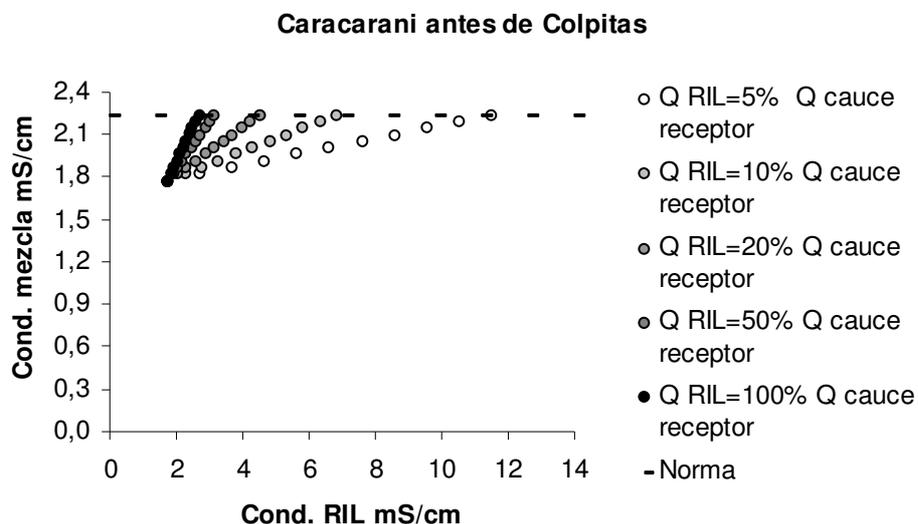


Figura VIII-108. Curvas de conductividad resultante en función de la conductividad y caudal de la descarga, tramo CARAC-2.

En el caso de Caracarani antes de la junta con Colpitas, se recomienda no exceder los 11,4 mS/cm para descargas que cuenten con caudales inferiores al 5% del caudal promedio de Caracarani. Si las descargas superan el caudal promedio de Caracarani, su conductividad no debe sobrepasar los 2,23 mS/cm.

COLP-1: Estación Colpitas antes de Caracarani

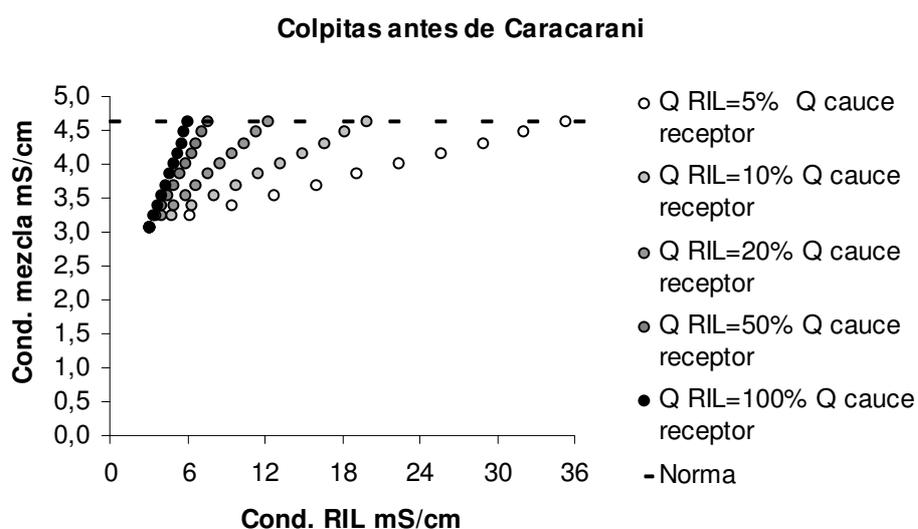


Figura VIII-109. Curvas de conductividad resultante en función de la conductividad y caudal de la descarga, tramo COLP-1.

Para el río Colpitas antes de la junta con Caracarani se sugiere que descargas con caudales menores al 5% del caudal promedio de Colpitas tengan valores de conductividad menores a 35,34 mS/cm. En el caso de descargas con caudales mayores al caudal promedio de Colpitas se recomienda no exceder los 4,6 mS/cm de conductividad.

LLUTA-1: Estación Lluta en Alcérreca

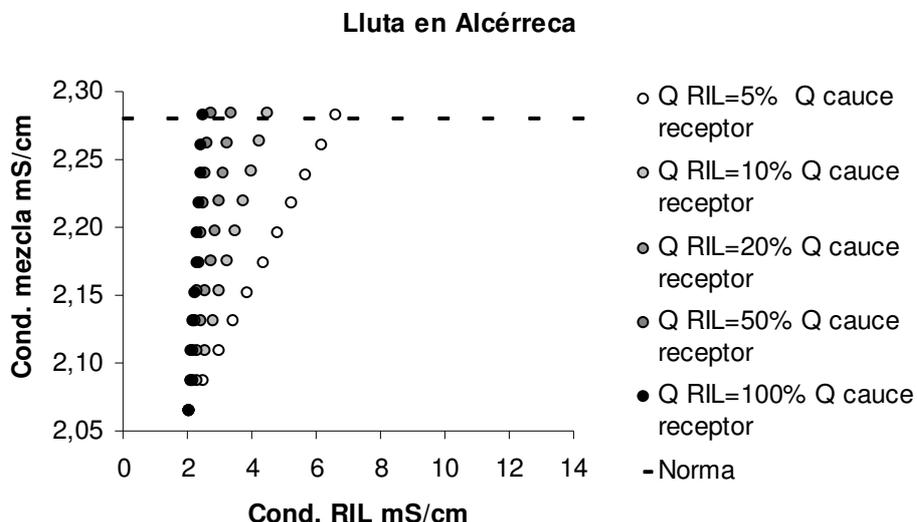


Figura VIII-110. Curvas de conductividad resultante en función de la conductividad y caudal de la descarga, tramo LLUTA-1.

El tramo LLUTA-1 puede mantener niveles de conductividad menores al valor sugerido por el equipo consultor como máximo, si descargas con caudales inferiores al 5% del caudal promedio de Lluta en Alcérreca no sobrepasan los 6,58 mS/cm de conductividad. Para descargas con caudales superiores al caudal promedio de esta estación, se recomienda no sobrepasar los 2,28 mS/cm de conductividad.

LLUTA-2: Estación Lluta en Tocontasi

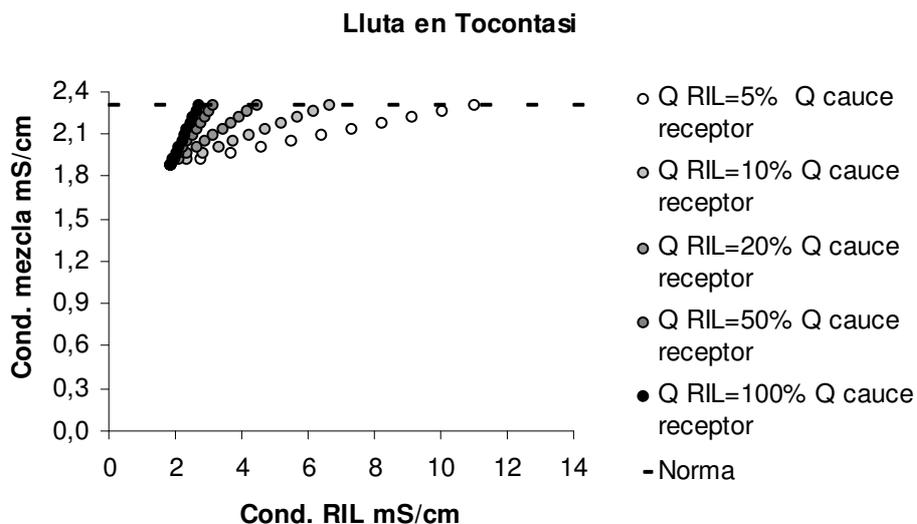


Figura VIII-111. Curvas de conductividad resultante en función de la conductividad y caudal de la descarga, tramo LLUTA-2.

En el caso del tramo LLUTA-2, se puede establecer un límite superior de 10,88 mS/cm de conductividad para descargas con caudales menores que el 5% del caudal promedio de Lluta en Tocontasi. Para descargas con caudales mayores que el promedio de la estación, se recomienda no superar los 2,3 mS/cm.

LLUTA-3: Estación Lluta en Panamericana

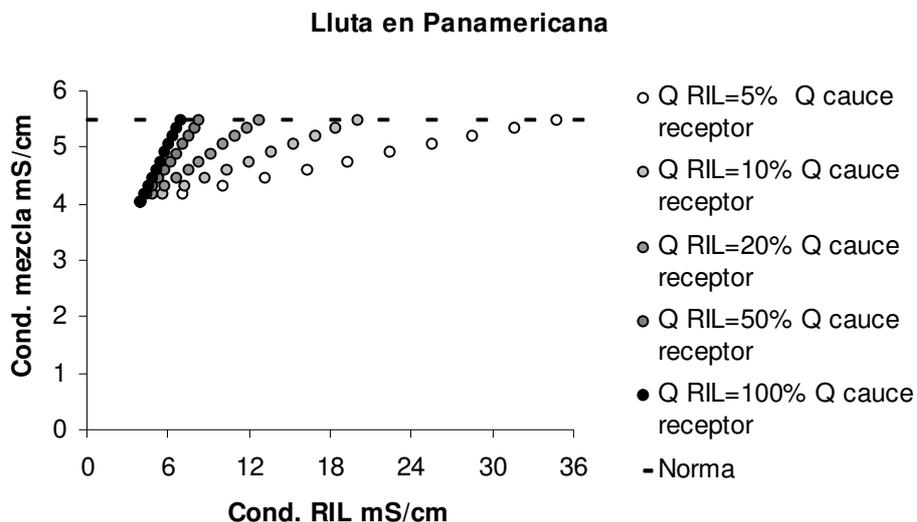


Figura VIII-112. Curvas de conductividad resultante en función de la conductividad y caudal de la descarga, tramo LLUTA-3.

El tramo LLUTA-3 corresponde a un caso similar al de COLP-1, puesto que para descargas con caudales menores al 5% del caudal promedio se recomienda no exceder los 34,67 mS/cm, similar a los 35,34 mS/cm de COLP-1. Si las descargas superan el caudal promedio de la estación Lluta en Panamericana, el valor de conductividad de ellas no podrá exceder los 5,47 mS/cm.

Otros afluentes cuenca Lluta

QORIENI-1: Estación Quebrada Oriente 1

Para las 4 Quebradas Oriente se ha sugerido que para caudales mayores al caudal promedio de cada quebrada no se sobrepase los 0,75 mS/cm de conductividad.

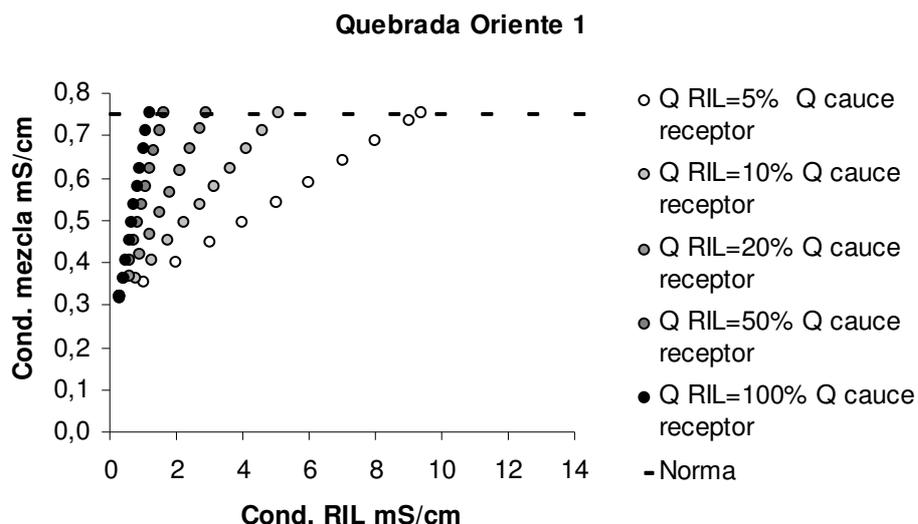


Figura VIII-113. Curvas de conductividad resultante en función de la conductividad y caudal de la descarga, tramo QORIEN1-1.

En el caso de Quebrada Oriente 1, el valor máximo de conductividad sugerido para descargas con caudales menores al 5% del caudal promedio de la quebrada corresponde a 9,3 mS/cm.

QORIEN2-1: Estación Quebrada Oriente 2

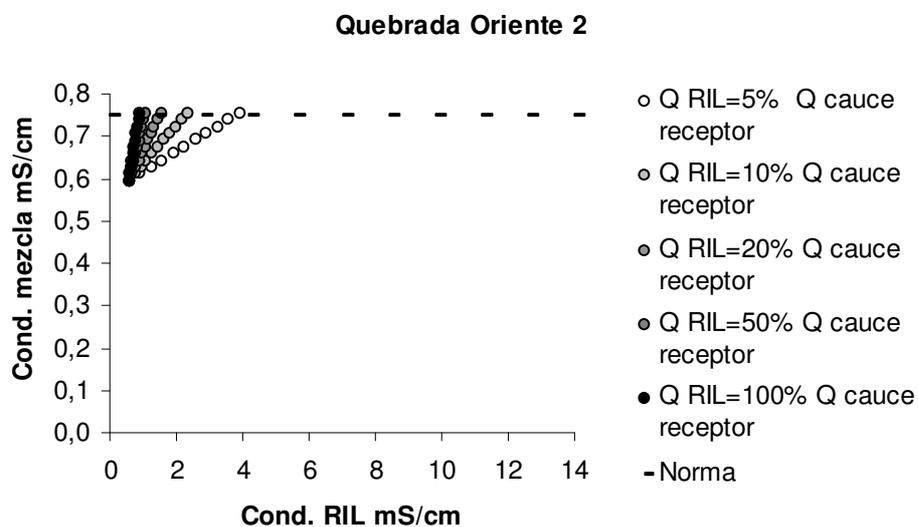


Figura VIII-114. Curvas de conductividad resultante en función de la conductividad y caudal de la descarga, tramo QORIEN1-1.

Para Quebrada Oriente 2 se recomienda que una eventual descarga no sobrepase los 3,8 mS/cm de conductividad, si es que cuenta con un caudal inferior al 5% del caudal promedio de la Quebrada.

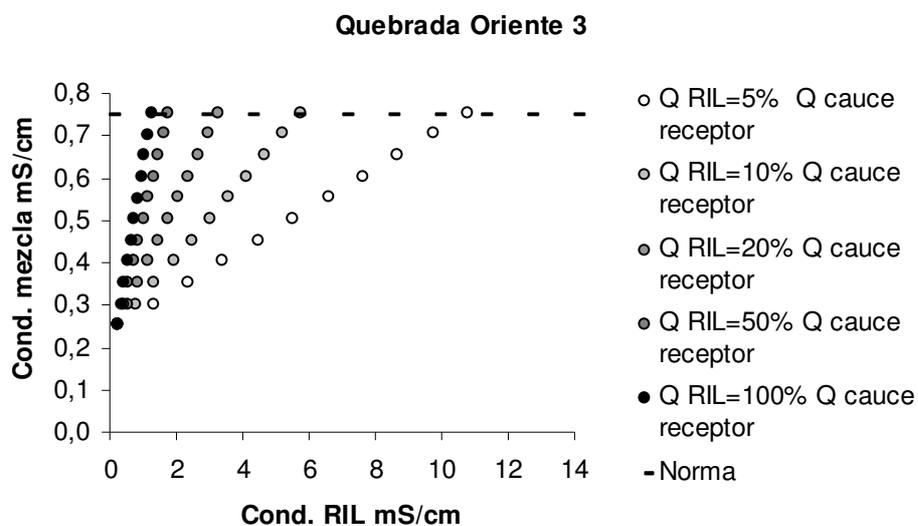
QORIEN3-1: Estación Quebrada Oriente 3

Figura VIII-115. Curvas de conductividad resultante en función de la conductividad y caudal de la descarga, tramo QORIEN1-1.

Para Quebrada Oriente 3 se sugiere que una eventual descarga no sobrepase los 10,7 mS/cm de conductividad, en el caso que tenga un caudal inferior al 5% del caudal promedio de la Quebrada.

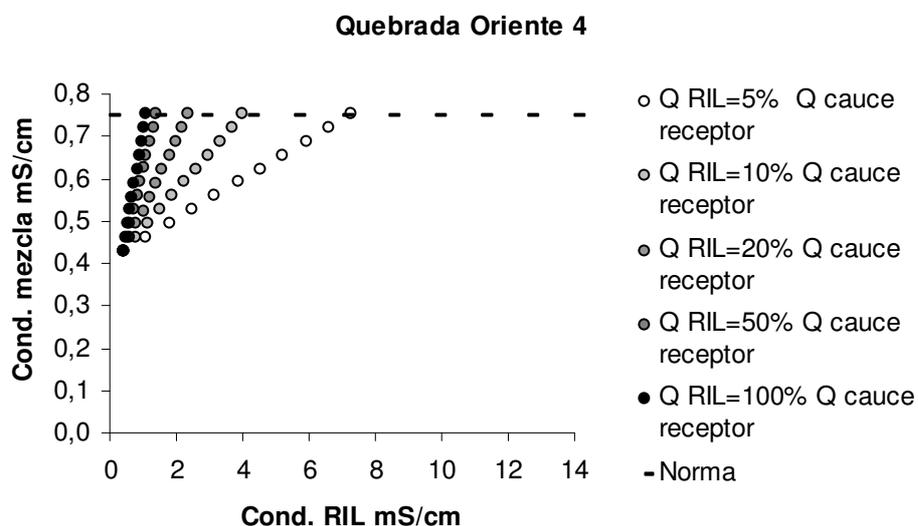
QORIEN4-1: Estación Quebrada Oriente 4

Figura VIII-116. Curvas de conductividad resultante en función de la conductividad y caudal de la descarga, tramo QORIEN-1.

La Quebrada Oriente 4 mantendría niveles de conductividad menores al valor sugerido por el equipo consultor si una eventual descarga no supera los 7,2 mS/cm con un caudal menores al 5% del caudal promedio de la Quebrada.

ALLANE-1: Estación Quebrada Allane

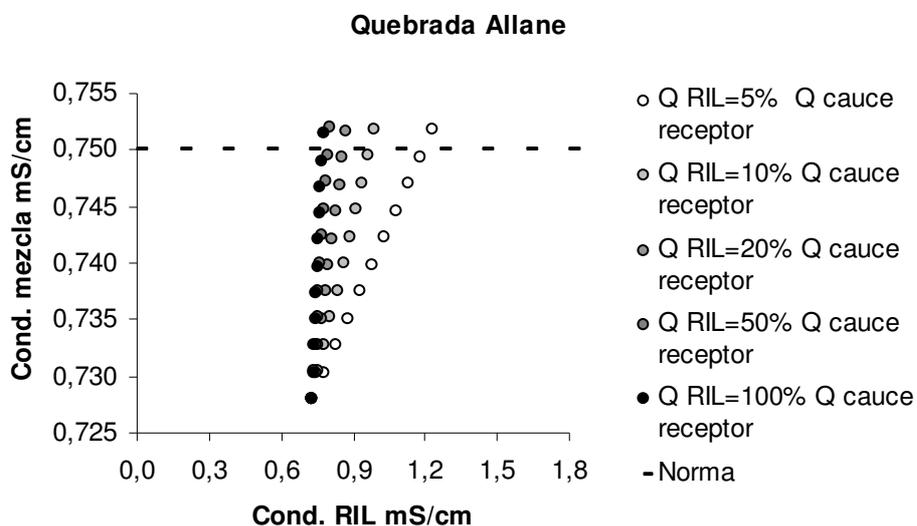


Figura VIII-117. Curvas de conductividad resultante en función de la conductividad y caudal de la descarga, tramo ALLANE-1.

La Quebrada Allane representa un caso similar al de las Quebradas Oriente, sugiriéndose que descargas con caudales mayores al promedio de la quebrada no superen los 0,75 mS/cm de conductividad. Para descargas con caudales menores que el 5% del caudal promedio de la quebrada se recomienda no excedan los 1,19 mS/cm de conductividad.

HUAYLA-1: Estación Quebrada Huayla

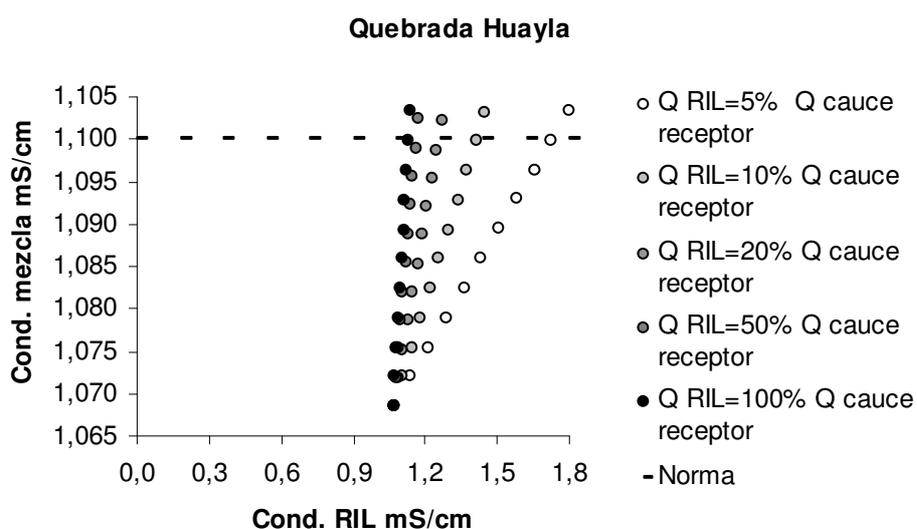


Figura VIII-118. Curvas de conductividad resultante en función de la conductividad y caudal de la descarga, tramo HUAYLA-1.

La Quebrada Huayla difiere del resto de las quebradas en cuanto al valor máximo de conductividad sugerida para descargas con caudales superiores al caudal promedio de la quebrada. El valor máximo recomendado para la Quebrada Huayla es de 1,1 mS/cm, a diferencia de los 0,75 mS/cm del resto de las quebradas. Para descargas con caudales menores que el 5% del caudal promedio de la quebrada, se recomienda no excedan los 1,73 mS/cm.

La Tabla VIII-19 resume los valores máximos de conductividad permitidos para las descargas realizadas en las distintas estaciones, de acuerdo a los rangos de caudales de las descargas.

Dada la alta salinidad de los cursos mayores de la cuenca y la protección que se debe otorgar a aquellos con valores característicos inferiores (es decir los afluentes menores) se sugiere no aumentar la conductividad final de dichos tramos, por lo que la conductividad de la descarga no debe superar la conductividad máxima sugerida independiente de su caudal. La Tabla VIII-20 muestra los valores de conductividad máximos sugeridos para eventuales descargas, corrigiendo así los altos valores presentados en la Tabla VIII-19.

Tabla VIII-19. Conductividades máximas para la descarga en función de su caudal, como criterio de no excedencia del máximo sugerido por tramo.

Estación	Rango de Caudales (% del Caudal Promedio de la Estación)					
	<5% Cond. mS/cm	5-10% Cond. mS/cm	10-20% Cond. mS/cm	20-50% Cond. mS/cm	50-100% Cond. mS/cm	>100% Cond. mS/cm
Azufre antes de Caracarani	63,2	39,1	27,1	19,9	17,5	15,1
Caracarani en Humapalca	13	7,6	4,9	3,28	2,74	2,2
Quebrada Oriente 1	9,3	5	2,9	1,6	1,18	0,75
Quebrada Oriente 2	3,8	2,3	1,5	1,06	0,9	0,75
Quebrada Oriente 3	10,7	5,7	3,2	1,74	1,24	0,75
Quebrada Oriente 4	7,2	3,98	2,36	1,39	1,07	0,75
Caracarani antes de Colpitas	11,4	6,8	4,52	3,14	2,68	2,23
Quebrada Allane	1,19	0,97	0,86	0,79	0,77	0,75
Colpitas antes de Caracarani	35,34	19,97	12,29	7,68	6,14	4,61
Lluta en Alcérreca	6,58	4,43	3,35	2,71	2,49	2,28
Quebrada Huayla	1,73	1,41	1,25	1,16	1,13	1,1
Lluta en Tocontasi	10,88	6,59	4,44	3,15	2,72	2,3
Lluta en Panamericana	34,67	20,07	12,77	8,39	6,93	5,47

Tabla VIII-20. Conductividades máximas sugerida para la descarga en función de su caudal, como criterio de no excedencia de la calidad actual por tramo.

Estación	Conductividad característica tramo mS/cm	Conductividad máxima sugerida tramo mS/cm	Conductividad máxima sugerida descarga mS/cm
Azufre antes de Caracarani	12,70	15,1	15,1
Caracarani en Humapalca	1,66	2,2	2,2
Quebrada Oriente 1	0,32	0,75	0,75
Quebrada Oriente 2	0,59	0,75	0,75
Quebrada Oriente 3	0,25	0,75	0,75
Quebrada Oriente 4	0,43	0,75	0,75
Caracarani antes de Colpitas	1,77	2,23	2,23
Quebrada Allane	0,73	0,75	0,75
Colpitas antes de Caracarani	3,07	4,61	4,61
Lluta en Alcérreca	2,07	2,28	2,28
Quebrada Huayla	1,07	1,1	1,1
Lluta en Tocontasi	1,87	2,3	2,3
Lluta en Panamericana	4,01	5,47	5,47

Se menciona en especial los casos de las juntas de los principales cursos de la cuenca.

Junta río Caracarani con río Colpitas:

Criterios de no-excedencia para el tramo LLUTA-1, sin exceder los tramos CARAC-2 y COLP-1

- Si los tramos CARAC-2 y COLP-1 alcanzan el máximo recomendado al mismo tiempo, se requiere que el caudal de CARAC-2 sea al menos 46,6 veces mayor que el caudal de COLP-1 para que no se exceda el máximo recomendado para LLUTA-1.
- Si el tramo COLP-1 alcanza el máximo recomendado considerando los caudales promedio, se requiere que la conductividad del tramo CARAC-2 no sea superior a 1,356 mS/cm.
- Si el tramo CARAC-2 alcanza el máximo recomendado considerando los caudales promedio, se requiere que la conductividad del tramo COLP-1 no sea superior a 2,406 mS/cm.

Junta río Azufre con río Caracarani:

Criterios de no-excedencia para el tramo CARAC-2, sin exceder los tramos CARAC-2 y AZU-1

- Si los tramos CARAC-1 y AZU-1 alcanzan el máximo de conductividad recomendado al mismo tiempo, se requiere que el caudal de CARAC-1 sea al menos 3,89 veces mayor que el caudal de AZU-1 para que no se exceda el máximo recomendado para la junta de estos tramos.
- Si el tramo AZU-1 alcanza el máximo recomendado considerando los caudales promedio, se requiere que la conductividad del tramo CARAC-1 no sea superior a 2,453 mS/cm.
- Si el tramo CARAC-1 alcanza el máximo recomendado considerando los caudales promedio, se requiere que la conductividad del tramo AZU-1 no sea superior a 16,064 mS/cm.

IX. Conclusiones

La cuenca del río Lluta tiene una calidad de sus aguas equivalente a la natural pues prácticamente no existe influencia antrópica. A pesar de esto, la calidad del agua tiene numerosos problemas debido a la disolución de compuestos que se encuentran naturalmente en los suelos de la zona. En particular, son de relevancia los aportes de minerales del Río Azufre y de la quebrada de Colpitas. Ambos son los que aportan la mayor parte del boro, arsénico e iones que posee el río Lluta.

A pesar de las condiciones geológicas de la zona, la descarga del río Azufre podría considerarse como una descarga industrial. No está claro si la calidad del agua del río Azufre siempre ha tenido las características actuales pues podría deberse a una acción antrópica asociada a la explotación de la azufrera ubicada a los pies del Volcán Tacora. Al explotar los depósitos de sulfuros, se pudo haber expuesto estos depósitos a la atmósfera y a la precipitación. La infiltración de agua y oxígeno a estos depósitos pueden producir la oxidación de los sulfuros y la posterior disminución de pH. En todo caso, esta parece una situación irreversible y por lo tanto debe considerarse como la situación base para el análisis.

El análisis espacial detallado de los cursos de agua de la cuenca permitió detectar quebradas menores de buena calidad en la ribera oriente del río Caracarani -entre Humapalca y la quebrada de Colpitas- denominadas Quebradas Oriente 1, 2, 3 y 4. Estos cuerpos de agua representan un recurso del orden de 250 L/s de agua de buena calidad que deben ser protegidos. Para esto, se asociaron usos y sus respectivas calidades asociadas, para todos los cursos de la cuenca. Además, fue posible localizar otras quebradas de calidad superior a la del río Lluta: Quebrada Huayla, ubicada al surponiente de Lluta en Alcérreca; Quebrada Allane, en la zona sur de Quebrada Colpitas y Quebrada Aroma, correspondiente a la localidad de Socoroma. Según la definición de tramos y usos, para estos cuerpos, las cuatro Quebradas Oriente y el tramo del río Caracarani antes de la junta

con el río Azufre se ha sugerido uso de potabilización y protección de vida acuática. Para los tramos del río Lluta, el uso correspondiente corresponde a agricultura, mientras que para los ríos Azufre, Colpitas y Caracarani el uso asociado corresponde a mantención del ecosistema natural.

Se han recomendado valores máximos de parámetros relevantes de calidad del agua en base a recomendaciones de estándares internacionales, los que se contrastaron con datos representativos de la calidad natural de la cuenca y a la luz de información relevante como la influencia en la calidad del agua, se propusieron estándares de calidad por tramo para dichos parámetros.

Los parámetros críticos de la cuenca se definieron a partir de los parámetros relevantes y considerando la cantidad, distribución e impacto que tienen en la cuenca. Los parámetros escogidos fueron: pH, alcalinidad, DBO y DQO, boro, arsénico, fierro y conductividad.

Para estudiar distintos escenarios de cargas contaminantes y debido a la ausencia de descargas de riles en la cuenca, éstas se simularon usando herramientas de modelación para analizar las condiciones bajo las cuales se exceden los valores sugeridos de los parámetros críticos. Para estas modelaciones se supuso que la calidad del agua en cada tramo era su promedio histórico y sobre ese valor se agregó una carga y se calculó el efecto neto sobre la concentración del tramo. Esto entrega una primera aproximación a la carga de contaminante que es posible agregar en cada tramo considerado, aunque sería conveniente realizar el mismo análisis para otras condiciones iniciales de calidad del cuerpo receptor las cuales pueden variar ya sea por causa antrópica o natural.

Debe considerarse que las modelaciones geoquímicas sólo consideran la factibilidad termodinámica de las reacciones químicas dadas las condiciones actuales de la cuenca, las cuales podrían verse afectadas tanto natural como antropogénicamente. Se destaca el caso particular del arsénico, el que mayormente se encuentra asociado a la fase sólida gracias a la capacidad de sorción de los hidróxidos de fierro, pero eventualmente podrían liberarse por ejemplo ante una disminución del pH. Además, se deben considerar otros factores como la cinética de reacción, puesto que algunos procesos geoquímicos podrían tardar segundos o años en concretarse.

Adicionalmente, es necesario destacar que en la cuenca del río Lluta existen tramos (AZU-1, COLP-1, CARAC-2) en los cuales la calidad natural está muy sobre las normas recomendadas. En estos tramos, dada la calidad recomendada, pareciera que se pueden tener descargas con altas cargas de contaminantes. Esto es válido para el tramo, pero en un análisis más detallado debe incorporarse el efecto de estas descargas hacia aguas abajo de la cuenca y bajo otros escenarios como un aumento natural en la concentración del parámetro analizado. Este análisis también debe incorporar la reactividad del compuesto.

Se sugiere proteger especialmente los cursos de agua con uso para potabilización-protección vida acuática, debido a que su buena calidad los hace más propensos a cambios en ésta. Por ejemplo, la baja alcalinidad de estos cauces hace que su pH baje fácilmente ante cualquier adición de carga ácida. Para esto, se recomienda monitorear los parámetros relevantes de calidad del agua, en especial los parámetros críticos con el fin de supervisar el cumplimiento de los valores sugeridos como máximos y mínimos.

X. Referencias

1. AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION, A. W. W. A., & WATER ENVIRONMENT FEDERATION, (2005) *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 21st edition.*
2. APPELO, C. A. J. & POSTMA, D. (1999) A consistent model for surface complexation on birnessite (-MnO₂) and its application to a column experiment. *Geochimica Et Cosmochimica Acta*, 63, 3039-3048.
3. AUSTRALIAN GOVERNMENT. NATURAL RESOURCE MANAGEMENT MINISTERIAL COUNCIL (2000) Australian and New Zealand guidelines for fresh and marine water quality.
4. CHARLET, L., CHAKRABORTY, S., APPELO, C. A. J., ROMAN-ROSS, G., NATH, B., ANSARI, A. A., LANSON, M., CHATTERJEE, D. & MALLIK, S. B. (2007) Chemodynamics of an arsenic "hotspot" in a West Bengal aquifer: A field and reactive transport modeling study. *Applied Geochemistry*, 22, 1273-1292.
5. COMISIÓN NACIONAL DEL MEDIO AMBIENTE (2003) Estrategia nacional de biodiversidad.
6. COMISIÓN NACIONAL DEL MEDIO AMBIENTE (2004) Instructivo Presidencial para el Establecimiento de las Normas Secundarias de Calidad Ambiental para Aguas Continentales Superficiales y Marinas.
7. CRECELIUS, E. A., BLOOM, N. S., COWAN, C. E. & JENNE, E. A. (1986) Speciation of Selenium and Arsenic in Natural Waters and Sediments: Arsenic Speciation; Electric Power Research Institute; Vol. 2, EA-4641, Project 2020.
8. CULLEN, W. R. & REIMER, K. J. (1989) Arsenic Speciation in the Environment. *Chemical Reviews*, 89, 713-764.
9. DIRECCIÓN DE OBRAS HIDRÁULICAS (2004) Análisis de factibilidad de embalses para los valles Lluta y Azapa I Región. Informe final.
10. DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS (2004) Diagnóstico y clasificación de los cursos y cuerpos de agua según objetivos de calidad. Cuenca del Río Lluta.
11. GAJARDO, R. (1994) *La Vegetación Natural de Chile, Clasificación y Distribución Geográfica. CONAF. Editorial Universitaria.*
12. INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICAS (2002) www.ine.cl.
13. JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY (2005) The study of the development of water resources in Northern Chile. Informe principal.
14. METCALF & EDDY INC (1995) *Ingeniería de aguas residuales, Tratamiento vertido y utilización. Revisado por George Tchobanoglous y Franklin L. Burton, Madrid.*
15. MINISTERIO SECRETARÍA GENERAL DE LA PRESIDENCIA (2000) Decreto Supremo N° 90: Norma de Emisión para la Regulación de Contaminantes Asociados a las Descargas de Residuos Líquidos a Aguas Marinas y Continentales Superficiales.
16. ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD (2001) Environmental Health Criteria 224. Arsenic and Arsenic Compounds. Second edition. Geneva.
17. ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD (2006) Guidelines for drinking-water quality [electronic resource]: incorporating first addendum. Vol. 1, Recommendations. – 3rd ed.

18. PARKHURST, D. L. & APPELO, C. A. J. (1999) User's guide to PHREEQC (version 2). U.S. Geological Survey.
19. REDMAN, A. D., MACALADY, D. L. & AHMANN, D. (2002) Natural organic matter affects arsenic speciation and sorption onto hematite. *Environmental Science & Technology*, 36, 2889-2896.
20. SERNATUR (2008) Catastro de atractivos turísticos de la comuna de General Lagos. <http://www.sernatur.cl/images/lang1/nacional/ciudades/arica/atractivos-gral-lagos.pdf>.
21. SERVICIO NACIONAL DE GEOLOGÍA Y MINERÍA (2002) Mapa Geológico de Chile. Escala 1:1.000.000.
22. SNOEYINK, V. L. & JENKINS, D. (1980) *Water Chemistry*, New York, John Wiley & Sons.
23. UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (1986) Quality Criteria for Water. Office of Water, Regulations and Standards.
24. UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (2006) National Recommended Water Quality Criteria. Office of Water. Office of Science and Technology.
25. WETLANDS INTERNATIONAL (2004) El censo neotropical de aves acuáticas.

XI. Anexos

1. Tabla N°1 y N°2 del Decreto Supremo 90

TABLA N° 1
LIMITES MAXIMOS PERMITIDOS PARA LA DESCARGA DE RESIDUOS
LIQUIDOS A CUERPOS DE AGUA FLUVIALES

Contaminantes	Unidades	Expresión	Límite máximo permitido
Aceites y Grasas	mg/L	A y G	20
Aluminio	mg/L	Al	5
Arsénico	mg/L	As	0,5
Boro	mg/L	B	0,75
Cadmio	mg/L	Cd	0,01
Cianuro	mg/L	CN-	0,2
Cloruros	mg/L	Cl-	400
Cobre Total	mg/L	Cu	1
Coliformes Fecales o Termotolerantes	NMP/100 ml	Coli/100 ml	1000
Indice de Fenol	mg/L	Fenoles	0,5
Cromo Hexavalente	mg/L	Cr ⁶⁺	0,05
DBO ₅	mg O ₂ /L	DBO ₅	35
Fósforo	mg/L	P	10
Fluoruro	mg/L	F-	1,5
Hidrocarburos Fijos	mg/L	HF	10
Hierro Disuelto	mg/L	Fe	5
Manganeso	mg/L	Mn	0,3
Mercurio	mg/L	Hg	0,001
Molibdeno	mg/L	Mo	1
Níquel	mg/L	Ni	0,2
Nitrógeno Total Kjeldahl	mg/L	NKT	50
Pentaclorofenol	mg/L	C ₆ OHCl ₅	0,009
pH	Unidad	pH	6,0-8,5
Plomo	mg/L	Pb	0,05
Poder Espumógeno	mm	PE	7
Selenio	mg/L	Se	0,01
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	SS	80
Sulfatos	mg/L	SO ₄ ²⁻	1000
Sulfuros	mg/L	S ²⁻	1
Temperatura	C°	T°	35
Tetracloroetano	mg/L	C ₂ Cl ₄	0,04
Tolueno	mg/L	C ₆ H ₅ CH ₃	0,7
Triclorometano	mg/L	CHCl ₃	0,2
Xileno	mg/L	C ₆ H ₄ C ₂ H ₆	0,5
Zinc	mg/L	Zn	3

TABLA N° 2
LIMITES MAXIMOS PERMITIDOS PARA LA DESCARGA DE RESIDUOS
LIQUIDOS A CUERPOS DE AGUA FLUVIALES CONSIDERANDO LA
CAPACIDAD DE DILUCION DEL RECEPTOR

Contaminantes	Unidades	Expresión	Límite máximo permitido
Aceites y Grasas	mg/L	A y G	50
Aluminio	mg/L	Al	10
Arsénico	mg/L	As	1
Boro	mg/L	B	3
Cadmio	mg/L	Cd	0,3
Cianuro	mg/L	CN-	1
Cloruros	mg/L	Cl-	2000
Cobre Total	mg/L	Cu	3
Coliformes Fecales o Termotolerantes	NMP/100 ml	Coli/100 ml	1000
Indice de Fenol	mg/L	Fenoles	1
Cromo Hexavalente	mg/L	Cr ⁶⁺	0,2
DBO ₅	mg O ₂ /L	DBO ₅	300
Fósforo	mg/L	P	5
Fluoruro	mg/L	F-	15
Hidrocarburos Fijos	mg/L	HF	50
Hierro Disuelto	mg/L	Fe	10
Manganeso	mg/L	Mn	3
Mercurio	mg/L	Hg	0,01
Molibdeno	mg/L	Mo	2,5
Níquel	mg/L	Ni	3
Nitrógeno Total Kjeldahl	mg/L	NKT	75
Pentaclorofenol	mg/L	C ₆ OHCl ₅	0,01
pH	Unidad	pH	6,0-8,5
Plomo	mg/L	Pb	0,5
Poder Espumógeno	mm	PE	7
Selenio	mg/L	Se	0,1
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	SS	300
Sulfatos	mg/L	SO ₄ ²⁻	2000
Sulfuros	mg/L	S ²⁻	10
Temperatura	C°	T°	40
Tetracloroetano	mg/L	C ₂ Cl ₄	0,4
Tolueno	mg/L	C ₆ H ₅ CH ₃	7
Triclorometano	mg/L	CHCl ₃	0,5
Xileno	mg/L	C ₆ H ₄ C ₂ H ₆	5
Zinc	mg/L	Zn	20

2. Fases termodinámicamente factibles de precipitar según estaciones de la cuenca del río Lluta

En las simulaciones realizadas en el software PHREEQC, se define la tendencia a precipitar de fases a través de índices de saturación $SI > 0$.

De acuerdo a esto, se presentan a continuación todas las fases que presentaron $SI > 0$, según estación y el experimento de simulación realizado.

- Azufre antes de Caracarani, agregando H_3BO_3 , $Al(OH)_3$ o Na_3AsO_4 :

1. Goethite:	$FeOOH$
2. Hematite:	Fe_2O_3
3. Jarosite:	$KFe_3(SO_4)_2(OH)_6$
4. Nontronite-Ca:	$Ca_{0,165}Fe_2Al_{0,33}Si_{3,67}H_2O_{12}$
5. Nontronite-H:	$H_{0,33}Fe_2Al_{0,33}Si_{3,67}H_2O_{12}$
6. Nontronite-K:	$K_{0,165}Fe_2Al_{0,33}Si_{3,67}H_2O_{12}$
7. Nontronite-Mg:	$Mg_{0,33}Fe_2Al_{0,33}Si_{3,67}H_2O_{12}$
8. Nontronite-Na:	$Na_{0,33}Fe_2Al_{0,33}Si_{3,67}H_2O_{12}$

- Caracarani en Humapalca, agregando H_3BO_3 o $Al(OH)_3$:

1. Albite:	$NaAlSi_3O_8$
2. Albite_high:	$NaAlSi_3O_8$
3. Albite_low:	$NaAlSi_3O_8$
4. Amesite-14A:	$Mg_4Al_4Si_2O_{10}(OH)_8$
5. Analcime:	$Na_{0,96}Al_{0,96}Si_{2,04}O_6 \cdot H_2O$
6. Andalusite:	Al_2SiO_5
7. Andradite:	$Ca_3Fe_2(SiO_4)_3$
8. Anorthite:	$CaAl_2(SiO_4)_2$
9. Beidellite-Ca:	$Ca_{0,165}Al_{2,33}Si_{3,67}O_{10}(OH)_2$
10. Beidellite-H:	$H_{0,33}Al_{2,33}Si_{3,67}O_{10}(OH)_2$
11. Beidellite-K:	$K_{0,33}Al_{2,33}Si_{3,67}O_{10}(OH)_2$
12. Beidellite-Mg:	$Mg_{0,165}Al_{2,33}Si_{3,67}O_{10}(OH)_2$
13. Beidellite-Na:	$Na_{0,33}Al_{2,33}Si_{3,67}O_{10}(OH)_2$
14. Boehmite:	AlO_2H
15. Celadonite:	$KMgAlSi_4O_{10}(OH)_2$
16. Clinochlore-14A:	$Mg_5Al_2Si_3O_{10}(OH)_8$
17. Clinochlore-7A:	$Mg_5Al_2Si_3O_{10}(OH)_8$
18. Clinoptilolite-Ca:	$Ca_{1,7335}Al_{3,45}Fe_{0,017}Si_{14,533}O_{36} \cdot 10,922H_2O$
19. Clinoptilolite-hy-Ca:	$Ca_{1,7335}Al_{3,45}Fe_{0,017}Si_{14,533}O_{36} \cdot 11,645H_2O$
20. Clinoptilolite-hy-K:	$K_{3,467}Al_{3,45}Fe_{0,017}Si_{14,533}O_{36} \cdot 7,499H_2O$
21. Clinoptilolite-hy-Na:	$Na_{3,467}Al_{3,45}Fe_{0,017}Si_{14,533}O_{36} \cdot 10,877H_2O$
22. Clinoptilolite-K:	$K_{3,467}Al_{3,45}Fe_{0,017}Si_{14,533}O_{36} \cdot 10,922H_2O$
23. Clinoptilolite-Na:	$Na_{3,467}Al_{3,45}Fe_{0,017}Si_{14,533}O_{36} \cdot 10,922H_2O$
24. Clinozoisite:	$Ca_2Al_3Si_3O_{12}(OH)$

25. Cordierite_anhyd:	$\text{Mg}_2\text{Al}_4\text{Si}_5\text{O}_{18}$
26. Cordierite_hydr:	$\text{Mg}_2\text{Al}_4\text{Si}_5\text{O}_{18}:\text{H}_2\text{O}$
27. Corundum:	Al_2O_3
28. Delafossite:	CuFeO_2
29. Diaspore:	AlHO_2
30. Epidote:	$\text{Ca}_2\text{FeAl}_2\text{Si}_3\text{O}_{12}\text{OH}$
31. Epidote-ord:	$\text{FeCa}_2\text{Al}_2(\text{OH})(\text{SiO}_4)_3$
32. Fe(OH) ₃ :	$\text{Fe}(\text{OH})_3$
33. Ferrite-Ca:	CaFe_2O_4
34. Ferrite-Cu:	CuFe_2O_4
35. Ferrite-Mg:	MgFe_2O_4
36. Ferrite-Zn:	ZnFe_2O_4
37. Gibbsite:	$\text{Al}(\text{OH})_3$
38. Gismondine:	$\text{Ca}_2\text{Al}_4\text{Si}_4\text{O}_{16}:\text{9H}_2\text{O}$
39. Goethite:	FeOOH
40. Grossular:	$\text{Ca}_3\text{Al}_2(\text{SiO}_4)_3$
41. Hematite:	Fe_2O_3
42. Illite:	$\text{K}_{0,6}\text{Mg}_{0,25}\text{Al}_{1,8}\text{Al}_{0,5}\text{Si}_{3,5}\text{O}_{10}(\text{OH})_2$
43. Jadeite:	$\text{NaAl}(\text{SiO}_3)_2$
44. K-Feldspar:	KAlSi_3O_8
45. Kalsilite:	KAlSiO_4
46. Kaolinite:	$\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$
47. Kyanite:	Al_2SiO_5
48. Laumontite:	$\text{CaAl}_2\text{Si}_4\text{O}_{12}:\text{4H}_2\text{O}$
49. Lawsonite:	$\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_7(\text{OH})_2:\text{H}_2\text{O}$
50. Margarite:	$\text{CaAl}_4\text{Si}_2\text{O}_{10}(\text{OH})_2$
51. Maximum_Microcline:	KAlSi_3O_8
52. Mesolite:	$\text{Na}_{0,676}\text{Ca}_{0,657}\text{Al}_{1,99}\text{Si}_{3,01}\text{O}_{10}:\text{2,647H}_2\text{O}$
53. Montmor-Ca:	$\text{Ca}_{0,165}\text{Mg}_{0,33}\text{Al}_{1,67}\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$
54. Montmor-K:	$\text{K}_{0,33}\text{Mg}_{0,33}\text{Al}_{1,67}\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$
55. Montmor-Mg:	$\text{Mg}_{0,495}\text{Al}_{1,67}\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$
56. Montmor-Na:	$\text{Na}_{0,33}\text{Mg}_{0,33}\text{Al}_{1,67}\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$
57. Mordenite:	$\text{Ca}_{0,2895}\text{Na}_{0,361}\text{Al}_{0,94}\text{Si}_{5,06}\text{O}_{12}:\text{3,468H}_2\text{O}$
58. Muscovite:	$\text{KAl}_3\text{Si}_3\text{O}_{10}(\text{OH})_2$
59. Natrolite:	$\text{Na}_2\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_{10}:\text{2H}_2\text{O}$
60. Nontronite-Ca:	$\text{Ca}_{0,165}\text{Fe}_2\text{Al}_{0,33}\text{Si}_{3,67}\text{H}_2\text{O}_{12}$
61. Nontronite-H:	$\text{H}_{0,33}\text{Fe}_2\text{Al}_{0,33}\text{Si}_{3,67}\text{H}_2\text{O}_{12}$
62. Nontronite-K:	$\text{K}_{0,33}\text{Fe}_2\text{Al}_{0,33}\text{Si}_{3,67}\text{H}_2\text{O}_{12}$
63. Nontronite-Mg:	$\text{Mg}_{0,165}\text{Fe}_2\text{Al}_{0,33}\text{Si}_{3,67}\text{H}_2\text{O}_{12}$
64. Nontronite-Na:	$\text{Na}_{0,33}\text{Fe}_2\text{Al}_{0,33}\text{Si}_{3,67}\text{H}_2\text{O}_{12}$
65. Paragonite:	$\text{NaAl}_3\text{Si}_3\text{O}_{10}(\text{OH})_2$
66. Pargasite:	$\text{NaCa}_2\text{Al}_3\text{Mg}_4\text{Si}_6\text{O}_{22}(\text{OH})_2$
67. Petalite:	$\text{LiAlSi}_4\text{O}_{10}$

68. Phlogopite:	$\text{KAlMg}_3\text{Si}_3\text{O}_{10}(\text{OH})_2$
69. Prehnite:	$\text{Ca}_2\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_{10}(\text{OH})_2$
70. Pyrophyllite:	$\text{Al}_2\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$
71. Sanidine_high:	KAlSi_3O_8
72. Saponite-Ca:	$\text{Ca}_{0,165}\text{Mg}_3\text{Al}_{0,33}\text{Si}_{3,67}\text{O}_{10}(\text{OH})_2$
73. Saponite-H:	$\text{H}_{0,33}\text{Mg}_3\text{Al}_{0,33}\text{Si}_{3,67}\text{O}_{10}(\text{OH})_2$
74. Saponite-K:	$\text{K}_{0,33}\text{Mg}_3\text{Al}_{0,33}\text{Si}_{3,67}\text{O}_{10}(\text{OH})_2$
75. Saponite-Mg:	$\text{Mg}_{3,165}\text{Al}_{0,33}\text{Si}_{3,67}\text{O}_{10}(\text{OH})_2$
76. Saponite-Na:	$\text{Na}_{0,33}\text{Mg}_3\text{Al}_{0,33}\text{Si}_{3,67}\text{O}_{10}(\text{OH})_2$
77. Scolecite:	$\text{CaAl}_2\text{Si}_3\text{O}_{10} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$
78. Sillimanite:	Al_2SiO_5
79. Smectite-high-Fe-Mg:	$\text{Ca}_{0,025}\text{Na}_{0,1}\text{K}_{0,2}\text{Fe}_{0,5}\text{Fe}_{0,2}\text{Mg}_{1,15}\text{Al}_{1,25}\text{Si}_{3,5}\text{H}_2\text{O}_{12}$
80. Smectite-low-Fe-Mg:	$\text{Ca}_{0,02}\text{Na}_{0,15}\text{K}_{0,2}\text{Fe}_{0,29}\text{Fe}_{0,16}\text{Mg}_{0,9}\text{Al}_{1,25}\text{Si}_{3,75}\text{H}_2\text{O}_{12}$
81. Spodumene:	$\text{LiAlSi}_2\text{O}_6$
82. Stilbite:	$\text{Ca}_{1,019}\text{Na}_{0,136}\text{K}_{0,006}\text{Al}_{2,18}\text{Si}_{6,82}\text{O}_{18} \cdot 7,33\text{H}_2\text{O}$
83. Wairakite:	$\text{CaAl}_2\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_4$
84. Zoisite:	$\text{Ca}_2\text{Al}_3(\text{SiO}_4)_3\text{OH}$

- **Quebrada oriente 1, agregando H_3BO_3 , $\text{Al}(\text{OH})_3$ o Na_3AsO_4 :**

1. Boehmite:	AlO_2H
2. Corundum:	Al_2O_3
3. Diaspore:	AlHO_2
4. Ferrite-Ca:	CaFe_2O_4
5. Ferrite-Mg:	MgFe_2O_4
6. Gibbsite:	$\text{Al}(\text{OH})_3$
7. Goethite:	FeOOH
8. Hematite:	Fe_2O_3

- **Quebrada oriente 2, agregando $\text{Al}(\text{OH})_3$:**

1. Boehmite:	AlO_2H
2. Corundum:	Al_2O_3
3. Diaspore:	AlHO_2
4. Gibbsite:	$\text{Al}(\text{OH})_3$

- **Quebrada oriente 3, agregando Na_3AsO_4 :**

1. Boehmite:	AlO_2H
2. Corundum:	Al_2O_3
3. Delafossite:	CuFeO_2
4. Diaspore:	AlHO_2
5. $\text{Fe}(\text{OH})_3$:	$\text{Fe}(\text{OH})_3$
6. Ferrite-Cu:	CuFe_2O_4
7. Ferrite-Zn:	ZnFe_2O_4
8. Gibbsite:	$\text{Al}(\text{OH})_3$

- | | |
|----------------|--------------------------------|
| 9. Goethite: | FeOOH |
| 10. Hematite: | Fe ₂ O ₃ |
| 11. Magnetite: | Fe ₃ O ₄ |

- **Quebrada oriente 4, agregando H₃BO₃ o Na₃AsO₄ :**

- | | |
|--------------------------|----------------------------------|
| 1. Boehmite: | AlO ₂ H |
| 2. Corundum: | Al ₂ O ₃ |
| 3. Delafossite: | CuFeO ₂ |
| 4. Diaspore: | AlHO ₂ |
| 5. Fe(OH) ₃ : | Fe(OH) ₃ |
| 6. Ferrite-Ca: | CaFe ₂ O ₄ |
| 7. Ferrite-Cu: | CuFe ₂ O ₄ |
| 8. Ferrite-Mg: | MgFe ₂ O ₄ |
| 9. Ferrite-Zn: | ZnFe ₂ O ₄ |
| 10. Gibbsite: | Al(OH) ₃ |
| 11. Goethite: | FeOOH |
| 12. Hematite: | Fe ₂ O ₃ |
| 13. Magnetite: | Fe ₃ O ₄ |

- **Caracarani antes de Colpitas, agregando Al(OH)₃:**

- | | |
|---------------------------|---|
| 1. Albite: | NaAlSi ₃ O ₈ |
| 2. Albite_low: | NaAlSi ₃ O ₈ |
| 3. Alunite: | KAl ₃ (OH) ₆ (SO ₄) ₂ |
| 4. Beidellite-Ca: | Ca _{0,165} Al _{2,33} Si _{3,67} O ₁₀ (OH) ₂ |
| 5. Beidellite-H: | H _{0,33} Al _{2,33} Si _{3,67} O ₁₀ (OH) ₂ |
| 6. Beidellite-K: | K _{0,33} Al _{2,33} Si _{3,67} O ₁₀ (OH) ₂ |
| 7. Beidellite-Mg: | Mg _{0,165} Al _{2,33} Si _{3,67} O ₁₀ (OH) ₂ |
| 8. Beidellite-Na: | Na _{0,33} Al _{2,33} Si _{3,67} O ₁₀ (OH) ₂ |
| 9. Boehmite: | AlO ₂ H |
| 10. Clinoptilolite-Ca: | Ca _{1,7335} Al _{3,45} Fe _{0,017} Si _{14,533} O ₃₆ :10,922H ₂ O |
| 11. Clinoptilolite-hy-Ca: | Ca _{1,7335} Al _{3,45} Fe _{0,017} Si _{14,533} O ₃₆ :11,645H ₂ O |
| 12. Clinoptilolite-hy-K: | K _{3,467} Al _{3,45} Fe _{0,017} Si _{14,533} O ₃₆ :7,499H ₂ O |
| 13. Clinoptilolite-hy-Na: | Na _{3,467} Al _{3,45} Fe _{0,017} Si _{14,533} O ₃₆ :10,877H ₂ O |
| 14. Clinoptilolite-K: | K _{3,467} Al _{3,45} Fe _{0,017} Si _{14,533} O ₃₆ :10,922H ₂ O |
| 15. Clinoptilolite-Na: | Na _{3,467} Al _{3,45} Fe _{0,017} Si _{14,533} O ₃₆ :10,922H ₂ O |
| 16. Diaspore: | AlHO ₂ |
| 17. Ferrite-Cu: | CuFe ₂ O ₄ |
| 18. Ferrite-Zn: | ZnFe ₂ O ₄ |
| 19. Gibbsite: | Al(OH) ₃ |
| 20. Goethite: | FeOOH |
| 21. Hematite: | Fe ₂ O ₃ |
| 22. Illite: | K _{0,6} Mg _{0,25} Al _{1,8} Al _{0,5} Si _{3,5} O ₁₀ (OH) ₂ |
| 23. Jarosite: | KFe ₃ (SO ₄) ₂ (OH) ₆ |

24. Jarosite-Na:	$\text{NaFe}_3(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6$
25. K-Feldspar:	KAlSi_3O_8
26. Kaolinite:	$\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$
27. Maximum_Microcline:	KAlSi_3O_8
28. Mesolite:	$\text{Na}_{0,676}\text{Ca}_{0,657}\text{Al}_{1,99}\text{Si}_{3,01}\text{O}_{10}:2,647\text{H}_2\text{O}$
29. Montmor-Ca:	$\text{Ca}_{0,165}\text{Mg}_{0,33}\text{Al}_{1,67}\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$
30. Montmor-K:	$\text{K}_{0,33}\text{Mg}_{0,33}\text{Al}_{1,67}\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$
31. Montmor-Mg:	$\text{Mg}_{0,495}\text{Al}_{1,67}\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$
32. Montmor-Na:	$\text{Na}_{0,33}\text{Mg}_{0,33}\text{Al}_{1,67}\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$
33. Mordenite:	$\text{Ca}_{0,2895}\text{Na}_{0,361}\text{Al}_{0,94}\text{Si}_{5,06}\text{O}_{12}:3,468\text{H}_2\text{O}$
34. Muscovite:	$\text{KAl}_3\text{Si}_3\text{O}_{10}(\text{OH})_2$
35. Nontronite-Ca:	$\text{Ca}_{0,165}\text{Fe}_2\text{Al}_{0,33}\text{Si}_{3,67}\text{H}_2\text{O}_{12}$
36. Nontronite-H:	$\text{H}_{0,33}\text{Fe}_2\text{Al}_{0,33}\text{Si}_{3,67}\text{H}_2\text{O}_{12}$
37. Nontronite-K:	$\text{K}_{0,33}\text{Fe}_2\text{Al}_{0,33}\text{Si}_{3,67}\text{H}_2\text{O}_{12}$
38. Nontronite-Mg:	$\text{Mg}_{0,165}\text{Fe}_2\text{Al}_{0,33}\text{Si}_{3,67}\text{H}_2\text{O}_{12}$
39. Nontronite-Na:	$\text{Na}_{0,33}\text{Fe}_2\text{Al}_{0,33}\text{Si}_{3,67}\text{H}_2\text{O}_{12}$
40. Paragonite:	$\text{NaAl}_3\text{Si}_3\text{O}_{10}(\text{OH})_2$
41. Petalite:	$\text{LiAlSi}_4\text{O}_{10}$
42. Pyrophyllite:	$\text{Al}_2\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$
43. Sanidine_high:	KAlSi_3O_8
44. Stilbite:	$\text{Ca}_{1,019}\text{Na}_{0,136}\text{K}_{0,006}\text{Al}_{2,18}\text{Si}_{6,82}\text{O}_{18}:7,33\text{H}_2\text{O}$
45. Trevorite:	NiFe_2O_4

- **Caracarani antes de Colpitas, agregando H_3BO_3 :**

1. Alunite:	$\text{KAl}_3(\text{OH})_6(\text{SO}_4)_2$
2. Beidellite-Ca:	$\text{Ca}_{0,165}\text{Al}_{2,33}\text{Si}_{3,67}\text{O}_{10}(\text{OH})_2$
3. Beidellite-H:	$\text{H}_{0,33}\text{Al}_{2,33}\text{Si}_{3,67}\text{O}_{10}(\text{OH})_2$
4. Beidellite-K:	$\text{K}_{0,33}\text{Al}_{2,33}\text{Si}_{3,67}\text{O}_{10}(\text{OH})_2$
5. Beidellite-Mg:	$\text{Mg}_{0,165}\text{Al}_{2,33}\text{Si}_{3,67}\text{O}_{10}(\text{OH})_2$
6. Beidellite-Na:	$\text{Na}_{0,33}\text{Al}_{2,33}\text{Si}_{3,67}\text{O}_{10}(\text{OH})_2$
7. Clinoptilolite-Ca:	$\text{Ca}_{1,7335}\text{Al}_{3,45}\text{Fe}_{0,017}\text{Si}_{14,533}\text{O}_{36}:10,922\text{H}_2\text{O}$
8. Clinoptilolite-hy-Ca:	$\text{Ca}_{1,7335}\text{Al}_{3,45}\text{Fe}_{0,017}\text{Si}_{14,533}\text{O}_{36}:11,645\text{H}_2\text{O}$
9. Clinoptilolite-hy-Na:	$\text{Na}_{3,467}\text{Al}_{3,45}\text{Fe}_{0,017}\text{Si}_{14,533}\text{O}_{36}:10,877\text{H}_2\text{O}$
10. Clinoptilolite-Na:	$\text{Na}_{3,467}\text{Al}_{3,45}\text{Fe}_{0,017}\text{Si}_{14,533}\text{O}_{36}:10,922\text{H}_2\text{O}$
11. Goethite:	FeOOH
12. Hematite:	Fe_2O_3
13. Jarosite:	$\text{KFe}_3(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6$
14. Jarosite-Na:	$\text{NaFe}_3(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6$
15. K-Feldspar:	KAlSi_3O_8
16. Kaolinite:	$\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$
17. Maximum_Microcline:	KAlSi_3O_8
18. Montmor-Ca:	$\text{Ca}_{0,165}\text{Mg}_{0,33}\text{Al}_{1,67}\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$
19. Montmor-K:	$\text{K}_{0,33}\text{Mg}_{0,33}\text{Al}_{1,67}\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$

20. Montmor-Mg:	$\text{Mg}_{0,495}\text{Al}_{1,67}\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$
21. Montmor-Na:	$\text{Na}_{0,33}\text{Mg}_{0,33}\text{Al}_{1,67}\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$
22. Mordenite:	$\text{Ca}_{0,2895}\text{Na}_{0,361}\text{Al}_{0,94}\text{Si}_{5,06}\text{O}_{12}\cdot 3,468\text{H}_2\text{O}$
23. Nontronite-Ca:	$\text{Ca}_{0,165}\text{Fe}_2\text{Al}_{0,33}\text{Si}_{3,67}\text{H}_2\text{O}_{12}$
24. Nontronite-H:	$\text{H}_{0,33}\text{Fe}_2\text{Al}_{0,33}\text{Si}_{3,67}\text{H}_2\text{O}_{12}$
25. Nontronite-K:	$\text{K}_{0,33}\text{Fe}_2\text{Al}_{0,33}\text{Si}_{3,67}\text{H}_2\text{O}_{12}$
26. Nontronite-Mg:	$\text{Mg}_{0,165}\text{Fe}_2\text{Al}_{0,33}\text{Si}_{3,67}\text{H}_2\text{O}_{12}$
27. Nontronite-Na:	$\text{Na}_{0,33}\text{Fe}_2\text{Al}_{0,33}\text{Si}_{3,67}\text{H}_2\text{O}_{12}$
28. Pyrophyllite:	$\text{Al}_2\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$
29. Stilbite:	$\text{Ca}_{1,019}\text{Na}_{0,136}\text{K}_{0,006}\text{Al}_{2,18}\text{Si}_{6,82}\text{O}_{18}\cdot 7,33\text{H}_2\text{O}$

- **Quebrada Allane, agregando $\text{Al}(\text{OH})_3$:**

1. Boehmite:	AlO_2H
2. Corundum:	Al_2O_3
3. Diaspore:	AlHO_2
4. $\text{Fe}(\text{OH})_3$:	$\text{Fe}(\text{OH})_3$
5. Ferrite-Ca:	CaFe_2O_4
6. Ferrite-Mg:	MgFe_2O_4
7. Gibbsite:	$\text{Al}(\text{OH})_3$
8. Goethite:	FeOOH
9. Hematite:	Fe_2O_3

- **Colpitas antes de Caracarani, agregando $\text{Al}(\text{OH})_3$:**

1. Albite:	$\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$
2. Albite_high:	$\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$
3. Albite_low:	$\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$
4. Alunite:	$\text{KAl}_3(\text{OH})_6(\text{SO}_4)_2$
5. Amesite-14A:	$\text{Mg}_4\text{Al}_4\text{Si}_2\text{O}_{10}(\text{OH})_8$
6. Analcime:	$\text{Na}_{0,96}\text{Al}_{0,96}\text{Si}_{2,04}\text{O}_6\cdot\text{H}_2\text{O}$
7. Andalusite:	Al_2SiO_5
8. Andradite:	$\text{Ca}_3\text{Fe}_2(\text{SiO}_4)_3$
9. Anorthite:	$\text{CaAl}_2(\text{SiO}_4)_2$
10. Beidellite-Ca:	$\text{Ca}_{0,165}\text{Al}_{2,33}\text{Si}_{3,67}\text{O}_{10}(\text{OH})_2$
11. Beidellite-H:	$\text{H}_{0,33}\text{Al}_{2,33}\text{Si}_{3,67}\text{O}_{10}(\text{OH})_2$
12. Beidellite-K:	$\text{K}_{0,33}\text{Al}_{2,33}\text{Si}_{3,67}\text{O}_{10}(\text{OH})_2$
13. Beidellite-Mg:	$\text{Mg}_{0,165}\text{Al}_{2,33}\text{Si}_{3,67}\text{O}_{10}(\text{OH})_2$
14. Beidellite-Na:	$\text{Na}_{0,33}\text{Al}_{2,33}\text{Si}_{3,67}\text{O}_{10}(\text{OH})_2$
15. Boehmite:	AlO_2H
16. Celadonite:	$\text{KMgAlSi}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$
17. Clinochlore-14A:	$\text{Mg}_5\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_{10}(\text{OH})_8$
18. Clinochlore-7A:	$\text{Mg}_5\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_{10}(\text{OH})_8$
19. Clinoptilolite-Ca:	$\text{Ca}_{1,7335}\text{Al}_{3,45}\text{Fe}_{0,017}\text{Si}_{14,533}\text{O}_{36}\cdot 10,922\text{H}_2\text{O}$
20. Clinoptilolite-hy-Ca:	$\text{Ca}_{1,7335}\text{Al}_{3,45}\text{Fe}_{0,017}\text{Si}_{14,533}\text{O}_{36}\cdot 11,645\text{H}_2\text{O}$

21. Clinoptilolite-hy-K:	$K_{3,467}Al_{3,45}Fe_{0,017}Si_{14,533}O_{36} \cdot 7,499H_2O$
22. Clinoptilolite-hy-Na:	$Na_{3,467}Al_{3,45}Fe_{0,017}Si_{14,533}O_{36} \cdot 10,877H_2O$
23. Clinoptilolite-K:	$K_{3,467}Al_{3,45}Fe_{0,017}Si_{14,533}O_{36} \cdot 10,922H_2O$
24. Clinoptilolite-Na:	$Na_{3,467}Al_{3,45}Fe_{0,017}Si_{14,533}O_{36} \cdot 10,922H_2O$
25. Clinozoisite:	$Ca_2Al_3Si_3O_{12}(OH)$
26. Cordierite_anhyd:	$Mg_2Al_4Si_5O_{18}$
27. Cordierite_hydr:	$Mg_2Al_4Si_5O_{18} \cdot H_2O$
28. Corundum:	Al_2O_3
29. Delafossite:	$CuFeO_2$
30. Diaspore:	$AlHO_2$
31. Epidote:	$Ca_2FeAl_2Si_3O_{12}OH$
32. Epidote-ord:	$FeCa_2Al_2(OH)(SiO_4)_3$
33. Fe(OH) ₃ :	$Fe(OH)_3$
34. Ferrite-Ca:	$CaFe_2O_4$
35. Ferrite-Cu:	$CuFe_2O_4$
36. Ferrite-Mg:	$MgFe_2O_4$
37. Ferrite-Zn:	$ZnFe_2O_4$
38. Gibbsite:	$Al(OH)_3$
39. Gismondine:	$Ca_2Al_4Si_4O_{16} \cdot 9H_2O$
40. Goethite:	$FeOOH$
41. Grossular:	$Ca_3Al_2(SiO_4)_3$
42. Hematite:	Fe_2O_3
43. Illite:	$K_{0,6}Mg_{0,25}Al_{1,8}Al_{0,5}Si_{3,5}O_{10}(OH)_2$
44. Jadeite:	$NaAl(SiO_3)_2$
45. K-Feldspar:	$KAlSi_3O_8$
46. Kalsilite:	$KAlSiO_4$
47. Kaolinite:	$Al_2Si_2O_5(OH)_4$
48. Kyanite:	Al_2SiO_5
49. Laumontite:	$CaAl_2Si_4O_{12} \cdot 4H_2O$
50. Lawsonite:	$CaAl_2Si_2O_7(OH)_2 \cdot H_2O$
51. Magnetite:	Fe_3O_4
52. Margarite:	$CaAl_4Si_2O_{10}(OH)_2$
53. Maximum_Microcline:	$KAlSi_3O_8$
54. Mesolite:	$Na_{0,676}Ca_{0,657}Al_{1,99}Si_{3,01}O_{10} \cdot 2,647H_2O$
55. Montmor-Ca:	$Ca_{0,165}Mg_{0,33}Al_{1,67}Si_4O_{10}(OH)_2$
56. Montmor-K:	$K_{0,33}Mg_{0,33}Al_{1,67}Si_4O_{10}(OH)_2$
57. Montmor-Mg:	$Mg_{0,495}Al_{1,67}Si_4O_{10}(OH)_2$
58. Montmor-Na:	$Na_{0,33}Mg_{0,33}Al_{1,67}Si_4O_{10}(OH)_2$
59. Mordenite:	$Ca_{0,2895}Na_{0,361}Al_{0,94}Si_{5,06}O_{12} \cdot 3,468H_2O$
60. Muscovite:	$KAl_3Si_3O_{10}(OH)_2$
61. Natrolite:	$Na_2Al_2Si_3O_{10} \cdot 2H_2O$
62. Nepheline:	$NaAlSiO_4$
63. Nontronite-Ca:	$Ca_{0,165}Fe_2Al_{0,33}Si_{3,67}H_2O_{12}$

64. Nontronite-H:	$H_{0,33}Fe_2Al_{0,33}Si_{3,67}H_2O_{12}$
65. Nontronite-K:	$K_{0,33}Fe_2Al_{0,33}Si_{3,67}H_2O_{12}$
66. Nontronite-Mg:	$Mg_{0,165}Fe_2Al_{0,33}Si_{3,67}H_2O_{12}$
67. Nontronite-Na:	$Na_{0,33}Fe_2Al_{0,33}Si_{3,67}H_2O_{12}$
68. Paragonite:	$NaAl_3Si_3O_{10}(OH)_2$
69. Petalite:	$LiAlSi_4O_{10}$
70. Phlogopite:	$KAlMg_3Si_3O_{10}(OH)_2$
71. Prehnite:	$Ca_2Al_2Si_3O_{10}(OH)_2$
72. Pyrophyllite:	$Al_2Si_4O_{10}(OH)_2$
73. Sanidine_high:	$KAlSi_3O_8$
74. Saponite-Ca:	$Ca_{0,165}Mg_3Al_{0,33}Si_{3,67}O_{10}(OH)_2$
75. Saponite-H:	$H_{0,33}Mg_3Al_{0,33}Si_{3,67}O_{10}(OH)_2$
76. Saponite-K:	$K_{0,33}Mg_3Al_{0,33}Si_{3,67}O_{10}(OH)_2$
77. Saponite-Mg:	$Mg_{3,165}Al_{0,33}Si_{3,67}O_{10}(OH)_2$
78. Saponite-Na:	$Na_{0,33}Mg_3Al_{0,33}Si_{3,67}O_{10}(OH)_2$
79. Scolecite:	$CaAl_2Si_3O_{10} \cdot 3H_2O$
80. Sillimanite:	Al_2SiO_5
81. Smectite-high-Fe-Mg:	$Ca_{0,025}Na_{0,1}K_{0,2}Fe_{0,5}Fe_{0,2}Mg_{1,15}Al_{1,25}Si_{3,5}H_2O_{12}$
82. Smectite-low-Fe-Mg:	$Ca_{0,02}Na_{0,15}K_{0,2}Fe_{0,29}Fe_{0,16}Mg_{0,9}Al_{1,25}Si_{3,75}H_2O_{12}$
83. Spodumene:	$LiAlSi_2O_6$
84. Stilbite:	$Ca_{1,019}Na_{0,136}K_{0,006}Al_{2,18}Si_{6,82}O_{18} \cdot 7,33H_2O$
85. Wairakite:	$CaAl_2Si_4O_{10}(OH)_4$
86. Zoisite:	$Ca_2Al_3(SiO_4)_3OH$

- **Colpitas antes de Caracarani, agregando H_3BO_3 o Na_3AsO_4 :**

1. Albite:	$NaAlSi_3O_8$
2. Albite_high:	$NaAlSi_3O_8$
3. Albite_low:	$NaAlSi_3O_8$
4. Amesite-14A:	$Mg_4Al_4Si_2O_{10}(OH)_8$
5. Analcime:	$Na_{0,96}Al_{0,96}Si_{2,04}O_6 \cdot H_2O$
6. Andalusite:	Al_2SiO_5
7. Andradite:	$Ca_3Fe_2(SiO_4)_3$
8. Anorthite:	$CaAl_2(SiO_4)_2$
9. Beidellite-Ca:	$Ca_{0,165}Al_{2,33}Si_{3,67}O_{10}(OH)_2$
10. Beidellite-H:	$H_{0,33}Al_{2,33}Si_{3,67}O_{10}(OH)_2$
11. Beidellite-K:	$K_{0,33}Al_{2,33}Si_{3,67}O_{10}(OH)_2$
12. Beidellite-Mg:	$Mg_{0,165}Al_{2,33}Si_{3,67}O_{10}(OH)_2$
13. Beidellite-Na:	$Na_{0,33}Al_{2,33}Si_{3,67}O_{10}(OH)_2$
14. Boehmite:	AlO_2H
15. Celadonite:	$KMgAlSi_4O_{10}(OH)_2$
16. Clinochlore-14A:	$Mg_5Al_2Si_3O_{10}(OH)_8$
17. Clinochlore-7A:	$Mg_5Al_2Si_3O_{10}(OH)_8$
18. Clinoptilolite-Ca:	$Ca_{1,7335}Al_{3,45}Fe_{0,017}Si_{14,533}O_{36} \cdot 10,922H_2O$

19. Clinoptilolite-hy-Ca:	$\text{Ca}_{1,7335}\text{Al}_{3,45}\text{Fe}_{0,017}\text{Si}_{14,533}\text{O}_{36} \cdot 11,645\text{H}_2\text{O}$
20. Clinoptilolite-hy-K:	$\text{K}_{3,467}\text{Al}_{3,45}\text{Fe}_{0,017}\text{Si}_{14,533}\text{O}_{36} \cdot 7,499\text{H}_2\text{O}$
21. Clinoptilolite-hy-Na:	$\text{Na}_{3,467}\text{Al}_{3,45}\text{Fe}_{0,017}\text{Si}_{14,533}\text{O}_{36} \cdot 10,877\text{H}_2\text{O}$
22. Clinoptilolite-K:	$\text{K}_{3,467}\text{Al}_{3,45}\text{Fe}_{0,017}\text{Si}_{14,533}\text{O}_{36} \cdot 10,922\text{H}_2\text{O}$
23. Clinoptilolite-Na:	$\text{Na}_{3,467}\text{Al}_{3,45}\text{Fe}_{0,017}\text{Si}_{14,533}\text{O}_{36} \cdot 10,922\text{H}_2\text{O}$
24. Clinozoisite:	$\text{Ca}_2\text{Al}_3\text{Si}_3\text{O}_{12}(\text{OH})$
25. Cordierite_hydr:	$\text{Mg}_2\text{Al}_4\text{Si}_5\text{O}_{18} \cdot \text{H}_2\text{O}$
26. Corundum:	Al_2O_3
27. Delafossite:	CuFeO_2
28. Diaspore:	AlHO_2
29. Epidote:	$\text{Ca}_2\text{FeAl}_2\text{Si}_3\text{O}_{12}\text{OH}$
30. Epidote-ord:	$\text{FeCa}_2\text{Al}_2(\text{OH})(\text{SiO}_4)_3$
31. Fe(OH) ₃ :	$\text{Fe}(\text{OH})_3$
32. Ferrite-Ca:	CaFe_2O_4
33. Ferrite-Cu:	CuFe_2O_4
34. Ferrite-Mg:	MgFe_2O_4
35. Ferrite-Zn:	ZnFe_2O_4
36. Gibbsite:	$\text{Al}(\text{OH})_3$
37. Gismondine:	$\text{Ca}_2\text{Al}_4\text{Si}_4\text{O}_{16} \cdot 9\text{H}_2\text{O}$
38. Goethite:	FeOOH
39. Hematite:	Fe_2O_3
40. Illite:	$\text{K}_{0,6}\text{Mg}_{0,25}\text{Al}_{1,8}\text{Al}_{0,5}\text{Si}_{3,5}\text{O}_{10}(\text{OH})_2$
41. Jadeite:	$\text{NaAl}(\text{SiO}_3)_2$
42. K-Feldspar:	KAlSi_3O_8
43. Kalsilite:	KAlSiO_4
44. Kaolinite:	$\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$
45. Kyanite:	Al_2SiO_5
46. Laumontite:	$\text{CaAl}_2\text{Si}_4\text{O}_{12} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$
47. Lawsonite:	$\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_7(\text{OH})_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$
48. Magnetite:	Fe_3O_4
49. Margarite:	$\text{CaAl}_4\text{Si}_2\text{O}_{10}(\text{OH})_2$
50. Maximum_Microcline:	KAlSi_3O_8
51. Mesolite:	$\text{Na}_{0,676}\text{Ca}_{0,657}\text{Al}_{1,99}\text{Si}_{3,01}\text{O}_{10} \cdot 2,647\text{H}_2\text{O}$
52. Montmor-Ca:	$\text{Ca}_{0,165}\text{Mg}_{0,33}\text{Al}_{1,67}\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$
53. Montmor-K:	$\text{K}_{0,33}\text{Mg}_{0,33}\text{Al}_{1,67}\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$
54. Montmor-Mg:	$\text{Mg}_{0,495}\text{Al}_{1,67}\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$
55. Montmor-Na:	$\text{Na}_{0,33}\text{Mg}_{0,33}\text{Al}_{1,67}\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$
56. Mordenite:	$\text{Ca}_{0,2895}\text{Na}_{0,361}\text{Al}_{0,94}\text{Si}_{5,06}\text{O}_{12} \cdot 3,468\text{H}_2\text{O}$
57. Muscovite:	$\text{KAl}_3\text{Si}_3\text{O}_{10}(\text{OH})_2$
58. Natrolite:	$\text{Na}_2\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_{10} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
59. Nontronite-Ca:	$\text{Ca}_{0,165}\text{Fe}_2\text{Al}_{0,33}\text{Si}_{3,67}\text{H}_2\text{O}_{12}$
60. Nontronite-H:	$\text{H}_{0,33}\text{Fe}_2\text{Al}_{0,33}\text{Si}_{3,67}\text{H}_2\text{O}_{12}$
61. Nontronite-K:	$\text{K}_{0,33}\text{Fe}_2\text{Al}_{0,33}\text{Si}_{3,67}\text{H}_2\text{O}_{12}$

62. Nontronite-Mg:	$\text{Mg}_{0,165}\text{Fe}_2\text{Al}_{0,33}\text{Si}_{3,67}\text{H}_2\text{O}_{12}$
63. Nontronite-Na:	$\text{Na}_{0,33}\text{Fe}_2\text{Al}_{0,33}\text{Si}_{3,67}\text{H}_2\text{O}_{12}$
64. Paragonite:	$\text{NaAl}_3\text{Si}_3\text{O}_{10}(\text{OH})_2$
65. Petalite:	$\text{LiAlSi}_4\text{O}_{10}$
66. Phlogopite:	$\text{KAlMg}_3\text{Si}_3\text{O}_{10}(\text{OH})_2$
67. Prehnite:	$\text{Ca}_2\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_{10}(\text{OH})_2$
68. Pyrophyllite:	$\text{Al}_2\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$
69. Sanidine_high:	KAlSi_3O_8
70. Saponite-Ca:	$\text{Ca}_{0,165}\text{Mg}_3\text{Al}_{0,33}\text{Si}_{3,67}\text{O}_{10}(\text{OH})_2$
71. Saponite-H:	$\text{H}_{0,33}\text{Mg}_3\text{Al}_{0,33}\text{Si}_{3,67}\text{O}_{10}(\text{OH})_2$
72. Saponite-K:	$\text{K}_{0,33}\text{Mg}_3\text{Al}_{0,33}\text{Si}_{3,67}\text{O}_{10}(\text{OH})_2$
73. Saponite-Mg:	$\text{Mg}_{3,165}\text{Al}_{0,33}\text{Si}_{3,67}\text{O}_{10}(\text{OH})_2$
74. Saponite-Na:	$\text{Na}_{0,33}\text{Mg}_3\text{Al}_{0,33}\text{Si}_{3,67}\text{O}_{10}(\text{OH})_2$
75. Scolecite:	$\text{CaAl}_2\text{Si}_3\text{O}_{10}:3\text{H}_2\text{O}$
76. Sillimanite:	Al_2SiO_5
77. Smectite-high-Fe-Mg:	$\text{Ca}_{0,025}\text{Na}_{0,1}\text{K}_{0,2}\text{Fe}_{0,5}\text{Fe}_{0,2}\text{Mg}_{1,15}\text{Al}_{1,25}\text{Si}_{3,5}\text{H}_2\text{O}_{12}$
78. Smectite-low-Fe-Mg:	$\text{Ca}_{0,02}\text{Na}_{0,15}\text{K}_{0,2}\text{Fe}_{0,29}\text{Fe}_{0,16}\text{Mg}_{0,9}\text{Al}_{1,25}\text{Si}_{3,75}\text{H}_2\text{O}_{12}$
79. Spodumene:	$\text{LiAlSi}_2\text{O}_6$
80. Stilbite:	$\text{Ca}_{1,019}\text{Na}_{0,136}\text{K}_{0,006}\text{Al}_{2,18}\text{Si}_{6,82}\text{O}_{18}:7,33\text{H}_2\text{O}$
81. Wairakite:	$\text{CaAl}_2\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_4$
82. Zoisite:	$\text{Ca}_2\text{Al}_3(\text{SiO}_4)_3\text{OH}$

- **Lluta en Alcérreca, agregando Al(OH)₃:**

1. Albite:	$\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$
2. Albite_low:	$\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$
3. Alunite:	$\text{KAl}_3(\text{OH})_6(\text{SO}_4)_2$
4. Beidellite-Ca:	$\text{Ca}_{0,165}\text{Al}_{2,33}\text{Si}_{3,67}\text{O}_{10}(\text{OH})_2$
5. Beidellite-H:	$\text{H}_{0,33}\text{Al}_{2,33}\text{Si}_{3,67}\text{O}_{10}(\text{OH})_2$
6. Beidellite-K:	$\text{K}_{0,33}\text{Al}_{2,33}\text{Si}_{3,67}\text{O}_{10}(\text{OH})_2$
7. Beidellite-Mg:	$\text{Mg}_{0,165}\text{Al}_{2,33}\text{Si}_{3,67}\text{O}_{10}(\text{OH})_2$
8. Beidellite-Na:	$\text{Na}_{0,33}\text{Al}_{2,33}\text{Si}_{3,67}\text{O}_{10}(\text{OH})_2$
9. Boehmite:	AlO_2H
10. Celadonite:	$\text{KMgAlSi}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$
11. Clinoptilolite-Ca:	$\text{Ca}_{1,7335}\text{Al}_{3,45}\text{Fe}_{0,017}\text{Si}_{14,533}\text{O}_{36}:10,922\text{H}_2\text{O}$
12. Clinoptilolite-hy-Ca:	$\text{Ca}_{1,7335}\text{Al}_{3,45}\text{Fe}_{0,017}\text{Si}_{14,533}\text{O}_{36}:11,645\text{H}_2\text{O}$
13. Clinoptilolite-hy-K:	$\text{K}_{3,467}\text{Al}_{3,45}\text{Fe}_{0,017}\text{Si}_{14,533}\text{O}_{36}:7,499\text{H}_2\text{O}$
14. Clinoptilolite-hy-Na:	$\text{Na}_{3,467}\text{Al}_{3,45}\text{Fe}_{0,017}\text{Si}_{14,533}\text{O}_{36}:10,877\text{H}_2\text{O}$
15. Clinoptilolite-K:	$\text{K}_{3,467}\text{Al}_{3,45}\text{Fe}_{0,017}\text{Si}_{14,533}\text{O}_{36}:10,922\text{H}_2\text{O}$
16. Clinoptilolite-Na:	$\text{Na}_{3,467}\text{Al}_{3,45}\text{Fe}_{0,017}\text{Si}_{14,533}\text{O}_{36}:10,922\text{H}_2\text{O}$
17. Diaspore:	AlHO_2
18. Fe(OH) ₃ :	$\text{Fe}(\text{OH})_3$
19. Ferrite-Cu:	CuFe_2O_4
20. Ferrite-Zn:	ZnFe_2O_4

21. Gibbsite:	$\text{Al}(\text{OH})_3$
22. Gismondine:	$\text{Ca}_2\text{Al}_4\text{Si}_4\text{O}_{16}\cdot 9\text{H}_2\text{O}$
23. Goethite:	FeOOH
24. Hematite:	Fe_2O_3
25. Illite:	$\text{K}_{0,6}\text{Mg}_{0,25}\text{Al}_{1,8}\text{Al}_{0,5}\text{Si}_{3,5}\text{O}_{10}(\text{OH})_2$
26. Jarosite:	$\text{KFe}_3(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6$
27. Jarosite-Na:	$\text{NaFe}_3(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6$
28. K-Feldspar:	KAlSi_3O_8
29. Kaolinite:	$\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$
30. Laumontite:	$\text{CaAl}_2\text{Si}_4\text{O}_{12}\cdot 4\text{H}_2\text{O}$
31. Maximum_Microcline:	KAlSi_3O_8
32. Mesolite:	$\text{Na}_{0,676}\text{Ca}_{0,657}\text{Al}_{1,99}\text{Si}_{3,01}\text{O}_{10}\cdot 2,647\text{H}_2\text{O}$
33. Montmor-Ca:	$\text{Ca}_{0,165}\text{Mg}_{0,33}\text{Al}_{1,67}\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$
34. Montmor-K:	$\text{K}_{0,33}\text{Mg}_{0,33}\text{Al}_{1,67}\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$
35. Montmor-Mg:	$\text{Mg}_{0,495}\text{Al}_{1,67}\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$
36. Montmor-Na:	$\text{Na}_{0,33}\text{Mg}_{0,33}\text{Al}_{1,67}\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$
37. Mordenite:	$\text{Ca}_{0,2895}\text{Na}_{0,361}\text{Al}_{0,94}\text{Si}_{5,06}\text{O}_{12}\cdot 3,468\text{H}_2\text{O}$
38. Muscovite:	$\text{KAl}_3\text{Si}_3\text{O}_{10}(\text{OH})_2$
39. Nontronite-Ca:	$\text{Ca}_{0,165}\text{Fe}_2\text{Al}_{0,33}\text{Si}_{3,67}\text{H}_2\text{O}_{12}$
40. Nontronite-H:	$\text{H}_{0,33}\text{Fe}_2\text{Al}_{0,33}\text{Si}_{3,67}\text{H}_2\text{O}_{12}$
41. Nontronite-K:	$\text{K}_{0,33}\text{Fe}_2\text{Al}_{0,33}\text{Si}_{3,67}\text{H}_2\text{O}_{12}$
42. Nontronite-Mg:	$\text{Mg}_{0,165}\text{Fe}_2\text{Al}_{0,33}\text{Si}_{3,67}\text{H}_2\text{O}_{12}$
43. Nontronite-Na:	$\text{Na}_{0,33}\text{Fe}_2\text{Al}_{0,33}\text{Si}_{3,67}\text{H}_2\text{O}_{12}$
44. Paragonite:	$\text{NaAl}_3\text{Si}_3\text{O}_{10}(\text{OH})_2$
45. Petalite:	$\text{LiAlSi}_4\text{O}_{10}$
46. Pyrophyllite:	$\text{Al}_2\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$
47. Sanidine_high:	KAlSi_3O_8
48. Scolecite:	$\text{CaAl}_2\text{Si}_3\text{O}_{10}\cdot 3\text{H}_2\text{O}$
49. Stilbite:	$\text{Ca}_{1,019}\text{Na}_{0,136}\text{K}_{0,006}\text{Al}_{2,18}\text{Si}_{6,82}\text{O}_{18}\cdot 7,33\text{H}_2\text{O}$
50. Trevorite:	NiFe_2O_4

- **Lluta en Alcérreca, agregando H_3BO_3 :**

1. Albite:	$\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$
2. Albite_low:	$\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$
3. Alunite:	$\text{KAl}_3(\text{OH})_6(\text{SO}_4)_2$
4. Beidellite-Ca:	$\text{Ca}_{0,165}\text{Al}_{2,33}\text{Si}_{3,67}\text{O}_{10}(\text{OH})_2$
5. Beidellite-H:	$\text{H}_{0,33}\text{Al}_{2,33}\text{Si}_{3,67}\text{O}_{10}(\text{OH})_2$
6. Beidellite-K:	$\text{K}_{0,33}\text{Al}_{2,33}\text{Si}_{3,67}\text{O}_{10}(\text{OH})_2$
7. Beidellite-Mg:	$\text{Mg}_{0,165}\text{Al}_{2,33}\text{Si}_{3,67}\text{O}_{10}(\text{OH})_2$
8. Beidellite-Na:	$\text{Na}_{0,33}\text{Al}_{2,33}\text{Si}_{3,67}\text{O}_{10}(\text{OH})_2$
9. Boehmite:	AlO_2H
10. Clinoptilolite-Ca:	$\text{Ca}_{1,7335}\text{Al}_{3,45}\text{Fe}_{0,017}\text{Si}_{14,533}\text{O}_{36}\cdot 10,922\text{H}_2\text{O}$
11. Clinoptilolite-hy-Ca:	$\text{Ca}_{1,7335}\text{Al}_{3,45}\text{Fe}_{0,017}\text{Si}_{14,533}\text{O}_{36}\cdot 11,645\text{H}_2\text{O}$

12. Clinoptilolite-hy-K:	$K_{3,467}Al_{3,45}Fe_{0,017}Si_{14,533}O_{36}:7,499H_2O$
13. Clinoptilolite-hy-Na:	$Na_{3,467}Al_{3,45}Fe_{0,017}Si_{14,533}O_{36}:10,877H_2O$
14. Clinoptilolite-K:	$K_{3,467}Al_{3,45}Fe_{0,017}Si_{14,533}O_{36}:10,922H_2O$
15. Clinoptilolite-Na:	$Na_{3,467}Al_{3,45}Fe_{0,017}Si_{14,533}O_{36}:10,922H_2O$
16. Diaspore:	$AlHO_2$
17. Fe(OH) ₃ :	$Fe(OH)_3$
18. Ferrite-Cu:	$CuFe_2O_4$
19. Ferrite-Zn:	$ZnFe_2O_4$
20. Gibbsite:	$Al(OH)_3$
21. Goethite:	$FeOOH$
22. Hematite:	Fe_2O_3
23. Illite:	$K_{0,6}Mg_{0,25}Al_{1,8}Al_{0,5}Si_{3,5}O_{10}(OH)_2$
24. Jarosite:	$KFe_3(SO_4)_2(OH)_6$
25. Jarosite-Na:	$NaFe_3(SO_4)_2(OH)_6$
26. K-Feldspar:	$KAlSi_3O_8$
27. Kaolinite:	$Al_2Si_2O_5(OH)_4$
28. Laumontite:	$CaAl_2Si_4O_{12}:4H_2O$
29. Maximum_Microcline:	$KAlSi_3O_8$
30. Mesolite:	$Na_{0,676}Ca_{0,657}Al_{1,99}Si_{3,01}O_{10}:2,647H_2O$
31. Montmor-Ca:	$Ca_{0,165}Mg_{0,33}Al_{1,67}Si_4O_{10}(OH)_2$
32. Montmor-K:	$K_{0,33}Mg_{0,33}Al_{1,67}Si_4O_{10}(OH)_2$
33. Montmor-Mg:	$Mg_{0,495}Al_{1,67}Si_4O_{10}(OH)_2$
34. Montmor-Na:	$Na_{0,33}Mg_{0,33}Al_{1,67}Si_4O_{10}(OH)_2$
35. Mordenite:	$Ca_{0,2895}Na_{0,361}Al_{0,94}Si_{5,06}O_{12}:3,468H_2O$
36. Muscovite:	$KAl_3Si_3O_{10}(OH)_2$
37. Nontronite-Ca:	$Ca_{0,165}Fe_2Al_{0,33}Si_{3,67}H_2O_{12}$
38. Nontronite-H:	$H_{0,33}Fe_2Al_{0,33}Si_{3,67}H_2O_{12}$
39. Nontronite-K:	$K_{0,33}Fe_2Al_{0,33}Si_{3,67}H_2O_{12}$
40. Nontronite-Mg:	$Mg_{0,165}Fe_2Al_{0,33}Si_{3,67}H_2O_{12}$
41. Nontronite-Na:	$Na_{0,33}Fe_2Al_{0,33}Si_{3,67}H_2O_{12}$
42. Paragonite:	$NaAl_3Si_3O_{10}(OH)_2$
43. Petalite:	$LiAlSi_4O_{10}$
44. Pyrophyllite:	$Al_2Si_4O_{10}(OH)_2$
45. Sanidine_high:	$KAlSi_3O_8$
46. Scolecite:	$CaAl_2Si_3O_{10}:3H_2O$
47. Stilbite:	$Ca_{1,019}Na_{0,136}K_{0,006}Al_{2,18}Si_{6,82}O_{18}:7,33H_2O$
48. Trevorite:	$NiFe_2O_4$

- **Quebrada Huayla, agregando H₃BO₃ o Al(OH)₃:**

1. Alunite:	$KAl_3(OH)_6(SO_4)_2$
2. Boehmite:	AlO_2H
3. Corundum:	Al_2O_3
4. Delafossite:	$CuFeO_2$

5. Diaspore:	AlHO_2
6. $\text{Fe}(\text{OH})_3$:	$\text{Fe}(\text{OH})_3$
7. Ferrite-Ca:	CaFe_2O_4
8. Ferrite-Cu:	CuFe_2O_4
9. Ferrite-Mg:	MgFe_2O_4
10. Ferrite-Zn:	ZnFe_2O_4
11. Gibbsite:	$\text{Al}(\text{OH})_3$
12. Goethite:	FeOOH
13. Hematite:	Fe_2O_3
14. Magnetite:	Fe_3O_4

- **Quebrada Aroma, agregando H_3BO_3 :**

1. Alunite:	$\text{KAl}_3(\text{OH})_6(\text{SO}_4)_2$
2. Boehmite:	AlO_2H
3. Corundum:	Al_2O_3
4. Diaspore:	AlHO_2
5. Ferrite-Cu:	CuFe_2O_4
6. Ferrite-Zn:	ZnFe_2O_4
7. Gibbsite:	$\text{Al}(\text{OH})_3$
8. Goethite:	FeOOH
9. Hematite:	Fe_2O_3
10. Jarosite:	$\text{KFe}_3(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6$

- **Quebrada Aroma, agregando Na_3AsO_4 :**

1. Alunite:	$\text{KAl}_3(\text{OH})_6(\text{SO}_4)_2$
2. Boehmite:	AlO_2H
3. Corundum:	Al_2O_3
4. Diaspore:	AlHO_2
5. Ferrite-Cu:	CuFe_2O_4
6. Ferrite-Zn:	ZnFe_2O_4
7. Gibbsite:	$\text{Al}(\text{OH})_3$
8. Goethite:	FeOOH
9. Hematite:	Fe_2O_3

- **Lluta en Tocontasi, agregando $\text{Al}(\text{OH})_3$:**

1. Albite:	$\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$
2. Albite_high:	$\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$
3. Albite_low:	$\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$
4. Alunite:	$\text{KAl}_3(\text{OH})_6(\text{SO}_4)_2$
5. Amesite-14A:	$\text{Mg}_4\text{Al}_4\text{Si}_2\text{O}_{10}(\text{OH})_8$
6. Analcime:	$\text{Na}_{0,96}\text{Al}_{0,96}\text{Si}_{2,04}\text{O}_6 \cdot \text{H}_2\text{O}$
7. Andalusite:	Al_2SiO_5
8. Andradite:	$\text{Ca}_3\text{Fe}_2(\text{SiO}_4)_3$

9. Anorthite:	$\text{CaAl}_2(\text{SiO}_4)_2$
10. Beidellite-Ca:	$\text{Ca}_{0,165}\text{Al}_{2,33}\text{Si}_{3,67}\text{O}_{10}(\text{OH})_2$
11. Beidellite-H:	$\text{H}_{0,33}\text{Al}_{2,33}\text{Si}_{3,67}\text{O}_{10}(\text{OH})_2$
12. Beidellite-K:	$\text{K}_{0,33}\text{Al}_{2,33}\text{Si}_{3,67}\text{O}_{10}(\text{OH})_2$
13. Beidellite-Mg:	$\text{Mg}_{0,165}\text{Al}_{2,33}\text{Si}_{3,67}\text{O}_{10}(\text{OH})_2$
14. Beidellite-Na:	$\text{Na}_{0,33}\text{Al}_{2,33}\text{Si}_{3,67}\text{O}_{10}(\text{OH})_2$
15. Boehmite:	AlO_2H
16. Celadonite:	$\text{KMgAlSi}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$
17. Clinochlore-14A:	$\text{Mg}_5\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_{10}(\text{OH})_8$
18. Clinochlore-7A:	$\text{Mg}_5\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_{10}(\text{OH})_8$
19. Clinoptilolite-Ca:	$\text{Ca}_{1,7335}\text{Al}_{3,45}\text{Fe}_{0,017}\text{Si}_{14,533}\text{O}_{36}:10,922\text{H}_2\text{O}$
20. Clinoptilolite-hy-Ca:	$\text{Ca}_{1,7335}\text{Al}_{3,45}\text{Fe}_{0,017}\text{Si}_{14,533}\text{O}_{36}:11,645\text{H}_2\text{O}$
21. Clinoptilolite-hy-K:	$\text{K}_{3,467}\text{Al}_{3,45}\text{Fe}_{0,017}\text{Si}_{14,533}\text{O}_{36}:7,499\text{H}_2\text{O}$
22. Clinoptilolite-hy-Na:	$\text{Na}_{3,467}\text{Al}_{3,45}\text{Fe}_{0,017}\text{Si}_{14,533}\text{O}_{36}:10,877\text{H}_2\text{O}$
23. Clinoptilolite-K:	$\text{K}_{3,467}\text{Al}_{3,45}\text{Fe}_{0,017}\text{Si}_{14,533}\text{O}_{36}:10,922\text{H}_2\text{O}$
24. Clinoptilolite-Na:	$\text{Na}_{3,467}\text{Al}_{3,45}\text{Fe}_{0,017}\text{Si}_{14,533}\text{O}_{36}:10,922\text{H}_2\text{O}$
25. Clinozoisite:	$\text{Ca}_2\text{Al}_3\text{Si}_3\text{O}_{12}(\text{OH})$
26. Cordierite_anhyd:	$\text{Mg}_2\text{Al}_4\text{Si}_5\text{O}_{18}$
27. Cordierite_hydr:	$\text{Mg}_2\text{Al}_4\text{Si}_5\text{O}_{18}:\text{H}_2\text{O}$
28. Corundum:	Al_2O_3
29. Delafossite:	CuFeO_2
30. Diaspore:	AlHO_2
31. Epidote:	$\text{Ca}_2\text{FeAl}_2\text{Si}_3\text{O}_{12}\text{OH}$
32. Epidote-ord:	$\text{FeCa}_2\text{Al}_2(\text{OH})(\text{SiO}_4)_3$
33. Fe(OH) ₃ :	$\text{Fe}(\text{OH})_3$
34. Ferrite-Ca:	CaFe_2O_4
35. Ferrite-Cu:	CuFe_2O_4
36. Ferrite-Mg:	MgFe_2O_4
37. Ferrite-Zn:	ZnFe_2O_4
38. Gibbsite:	$\text{Al}(\text{OH})_3$
39. Gismondine:	$\text{Ca}_2\text{Al}_4\text{Si}_4\text{O}_{16}:9\text{H}_2\text{O}$
40. Goethite:	FeOOH
41. Hematite:	Fe_2O_3
42. Illite:	$\text{K}_{0,6}\text{Mg}_{0,25}\text{Al}_{1,8}\text{Al}_{0,5}\text{Si}_{3,5}\text{O}_{10}(\text{OH})_2$
43. Jadeite:	$\text{NaAl}(\text{SiO}_3)_2$
44. Jarosite:	$\text{KFe}_3(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6$
45. K-Feldspar:	KAlSi_3O_8
46. Kalsilite:	KAlSiO_4
47. Kaolinite:	$\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$
48. Kyanite:	Al_2SiO_5
49. Laumontite:	$\text{CaAl}_2\text{Si}_4\text{O}_{12}:4\text{H}_2\text{O}$
50. Lawsonite:	$\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_7(\text{OH})_2:\text{H}_2\text{O}$
51. Magnetite:	Fe_3O_4

52. Margarite:	$\text{CaAl}_4\text{Si}_2\text{O}_{10}(\text{OH})_2$
53. Maximum_Microcline:	KAlSi_3O_8
54. Mesolite:	$\text{Na}_{0,676}\text{Ca}_{0,657}\text{Al}_{1,99}\text{Si}_{3,01}\text{O}_{10}:2,647\text{H}_2\text{O}$
55. Montmor-Ca:	$\text{Ca}_{0,165}\text{Mg}_{0,33}\text{Al}_{1,67}\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$
56. Montmor-K:	$\text{K}_{0,33}\text{Mg}_{0,33}\text{Al}_{1,67}\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$
57. Montmor-Mg:	$\text{Mg}_{0,495}\text{Al}_{1,67}\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$
58. Montmor-Na:	$\text{Na}_{0,33}\text{Mg}_{0,33}\text{Al}_{1,67}\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$
59. Mordenite:	$\text{Ca}_{0,2895}\text{Na}_{0,361}\text{Al}_{0,94}\text{Si}_{5,06}\text{O}_{12}:3,468\text{H}_2\text{O}$
60. Muscovite:	$\text{KAl}_3\text{Si}_3\text{O}_{10}(\text{OH})_2$
61. Natrolite:	$\text{Na}_2\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_{10}:2\text{H}_2\text{O}$
62. Nepheline:	NaAlSiO_4
63. Nontronite-Ca:	$\text{Ca}_{0,165}\text{Fe}_2\text{Al}_{0,33}\text{Si}_{3,67}\text{H}_2\text{O}_{12}$
64. Nontronite-H:	$\text{H}_{0,33}\text{Fe}_2\text{Al}_{0,33}\text{Si}_{3,67}\text{H}_2\text{O}_{12}$
65. Nontronite-K:	$\text{K}_{0,33}\text{Fe}_2\text{Al}_{0,33}\text{Si}_{3,67}\text{H}_2\text{O}_{12}$
66. Nontronite-Mg:	$\text{Mg}_{0,165}\text{Fe}_2\text{Al}_{0,33}\text{Si}_{3,67}\text{H}_2\text{O}_{12}$
67. Nontronite-Na:	$\text{Na}_{0,33}\text{Fe}_2\text{Al}_{0,33}\text{Si}_{3,67}\text{H}_2\text{O}_{12}$
68. Paragonite:	$\text{NaAl}_3\text{Si}_3\text{O}_{10}(\text{OH})_2$
69. Phlogopite:	$\text{KAlMg}_3\text{Si}_3\text{O}_{10}(\text{OH})_2$
70. Prehnite:	$\text{Ca}_2\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_{10}(\text{OH})_2$
71. Pyrophyllite:	$\text{Al}_2\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$
72. Sanidine_high:	KAlSi_3O_8
73. Saponite-Ca:	$\text{Ca}_{0,165}\text{Mg}_3\text{Al}_{0,33}\text{Si}_{3,67}\text{O}_{10}(\text{OH})_2$
74. Saponite-H:	$\text{H}_{0,33}\text{Mg}_3\text{Al}_{0,33}\text{Si}_{3,67}\text{O}_{10}(\text{OH})_2$
75. Saponite-K:	$\text{K}_{0,33}\text{Mg}_3\text{Al}_{0,33}\text{Si}_{3,67}\text{O}_{10}(\text{OH})_2$
76. Saponite-Mg:	$\text{Mg}_{3,165}\text{Al}_{0,33}\text{Si}_{3,67}\text{O}_{10}(\text{OH})_2$
77. Saponite-Na:	$\text{Na}_{0,33}\text{Mg}_3\text{Al}_{0,33}\text{Si}_{3,67}\text{O}_{10}(\text{OH})_2$
78. Scolecite:	$\text{CaAl}_2\text{Si}_3\text{O}_{10}:3\text{H}_2\text{O}$
79. Sillimanite:	Al_2SiO_5
80. Smectite-high-Fe-Mg:	$\text{Ca}_{0,025}\text{Na}_{0,1}\text{K}_{0,2}\text{Fe}_{0,5}\text{Fe}_{0,2}\text{Mg}_{1,15}\text{Al}_{1,25}\text{Si}_{3,5}\text{H}_2\text{O}_{12}$
81. Smectite-low-Fe-Mg:	$\text{Ca}_{0,02}\text{Na}_{0,15}\text{K}_{0,2}\text{Fe}_{0,29}\text{Fe}_{0,16}\text{Mg}_{0,9}\text{Al}_{1,25}\text{Si}_{3,75}\text{H}_2\text{O}_{12}$
82. Stilbite:	$\text{Ca}_{1,019}\text{Na}_{0,136}\text{K}_{0,006}\text{Al}_{2,18}\text{Si}_{6,82}\text{O}_{18}:7,33\text{H}_2\text{O}$
83. Wairakite:	$\text{CaAl}_2\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_4$
84. Zoisite:	$\text{Ca}_2\text{Al}_3(\text{SiO}_4)_3\text{OH}$

- **Lluta en Tocontasi, agregando H_3BO_3 :**

1. Albite:	$\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$
2. Albite_high:	$\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$
3. Albite_low:	$\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$
4. Alunite:	$\text{KAl}_3(\text{OH})_6(\text{SO}_4)_2$
5. Amesite-14A:	$\text{Mg}_4\text{Al}_4\text{Si}_2\text{O}_{10}(\text{OH})_8$
6. Analcime:	$\text{Na}_{0,96}\text{Al}_{0,96}\text{Si}_{2,04}\text{O}_6:\text{H}_2\text{O}$
7. Andalusite:	Al_2SiO_5
8. Andradite:	$\text{Ca}_3\text{Fe}_2(\text{SiO}_4)_3$

9. Beidellite-Ca:	$\text{Ca}_{0,165}\text{Al}_{2,33}\text{Si}_{3,67}\text{O}_{10}(\text{OH})_2$
10. Beidellite-H:	$\text{H}_{0,33}\text{Al}_{2,33}\text{Si}_{3,67}\text{O}_{10}(\text{OH})_2$
11. Beidellite-K:	$\text{K}_{0,33}\text{Al}_{2,33}\text{Si}_{3,67}\text{O}_{10}(\text{OH})_2$
12. Beidellite-Mg:	$\text{Mg}_{0,165}\text{Al}_{2,33}\text{Si}_{3,67}\text{O}_{10}(\text{OH})_2$
13. Beidellite-Na:	$\text{Na}_{0,33}\text{Al}_{2,33}\text{Si}_{3,67}\text{O}_{10}(\text{OH})_2$
14. Boehmite:	AlO_2H
15. Celadonite:	$\text{KMgAlSi}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$
16. Clinoptilolite-Ca:	$\text{Ca}_{1,7335}\text{Al}_{3,45}\text{Fe}_{0,017}\text{Si}_{14,533}\text{O}_{36}:10,922\text{H}_2\text{O}$
17. Clinoptilolite-hy-Ca:	$\text{Ca}_{1,7335}\text{Al}_{3,45}\text{Fe}_{0,017}\text{Si}_{14,533}\text{O}_{36}:11,645\text{H}_2\text{O}$
18. Clinoptilolite-hy-K:	$\text{K}_{3,467}\text{Al}_{3,45}\text{Fe}_{0,017}\text{Si}_{14,533}\text{O}_{36}:7,499\text{H}_2\text{O}$
19. Clinoptilolite-hy-Na:	$\text{Na}_{3,467}\text{Al}_{3,45}\text{Fe}_{0,017}\text{Si}_{14,533}\text{O}_{36}:10,877\text{H}_2\text{O}$
20. Clinoptilolite-K:	$\text{K}_{3,467}\text{Al}_{3,45}\text{Fe}_{0,017}\text{Si}_{14,533}\text{O}_{36}:10,922\text{H}_2\text{O}$
21. Clinoptilolite-Na:	$\text{Na}_{3,467}\text{Al}_{3,45}\text{Fe}_{0,017}\text{Si}_{14,533}\text{O}_{36}:10,922\text{H}_2\text{O}$
22. Clinozoisite:	$\text{Ca}_2\text{Al}_3\text{Si}_3\text{O}_{12}(\text{OH})$
23. Corundum:	Al_2O_3
24. Delafossite:	CuFeO_2
25. Diaspore:	AlHO_2
26. Epidote:	$\text{Ca}_2\text{FeAl}_2\text{Si}_3\text{O}_{12}\text{OH}$
27. Epidote-ord:	$\text{FeCa}_2\text{Al}_2(\text{OH})(\text{SiO}_4)_3$
28. Fe(OH) ₃ :	$\text{Fe}(\text{OH})_3$
29. Ferrite-Ca:	CaFe_2O_4
30. Ferrite-Cu:	CuFe_2O_4
31. Ferrite-Mg:	MgFe_2O_4
32. Ferrite-Zn:	ZnFe_2O_4
33. Gibbsite:	$\text{Al}(\text{OH})_3$
34. Gismondine:	$\text{Ca}_2\text{Al}_4\text{Si}_4\text{O}_{16}:9\text{H}_2\text{O}$
35. Goethite:	FeOOH
36. Hematite:	Fe_2O_3
37. Illite:	$\text{K}_{0,6}\text{Mg}_{0,25}\text{Al}_{1,8}\text{Al}_{0,5}\text{Si}_{3,5}\text{O}_{10}(\text{OH})_2$
38. Jadeite:	$\text{NaAl}(\text{SiO}_3)_2$
39. Jarosite:	$\text{KFe}_3(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6$
40. Jarosite-Na:	$\text{NaFe}_3(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6$
41. K-Feldspar:	KAlSi_3O_8
42. Kalsilite:	KAlSiO_4
43. Kaolinite:	$\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$
44. Kyanite:	Al_2SiO_5
45. Laumontite:	$\text{CaAl}_2\text{Si}_4\text{O}_{12}:4\text{H}_2\text{O}$
46. Lawsonite:	$\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_7(\text{OH})_2:\text{H}_2\text{O}$
47. Magnetite:	Fe_3O_4
48. Margarite:	$\text{CaAl}_4\text{Si}_2\text{O}_{10}(\text{OH})_2$
49. Maximum_Microcline:	KAlSi_3O_8
50. Mesolite:	$\text{Na}_{0,676}\text{Ca}_{0,657}\text{Al}_{1,99}\text{Si}_{3,01}\text{O}_{10}:2,647\text{H}_2\text{O}$
51. Montmor-Ca:	$\text{Ca}_{0,165}\text{Mg}_{0,33}\text{Al}_{1,67}\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$

52. Montmor-K:	$K_{0,33}Mg_{0,33}Al_{1,67}Si_4O_{10}(OH)_2$
53. Montmor-Mg:	$Mg_{0,495}Al_{1,67}Si_4O_{10}(OH)_2$
54. Montmor-Na:	$Na_{0,33}Mg_{0,33}Al_{1,67}Si_4O_{10}(OH)_2$
55. Mordenite:	$Ca_{0,2895}Na_{0,361}Al_{0,94}Si_{5,06}O_{12}:3,468H_2O$
56. Muscovite:	$KAl_3Si_3O_{10}(OH)_2$
57. Natrolite:	$Na_2Al_2Si_3O_{10}:2H_2O$
58. Nepheline:	$NaAlSiO_4$
59. Nontronite-Ca:	$Ca_{0,165}Fe_2Al_{0,33}Si_{3,67}H_2O_{12}$
60. Nontronite-H:	$H_{0,33}Fe_2Al_{0,33}Si_{3,67}H_2O_{12}$
61. Nontronite-K:	$K_{0,33}Fe_2Al_{0,33}Si_{3,67}H_2O_{12}$
62. Nontronite-Mg:	$Mg_{0,165}Fe_2Al_{0,33}Si_{3,67}H_2O_{12}$
63. Nontronite-Na:	$Na_{0,33}Fe_2Al_{0,33}Si_{3,67}H_2O_{12}$
64. Paragonite:	$NaAl_3Si_3O_{10}(OH)_2$
65. Phlogopite:	$KAlMg_3Si_3O_{10}(OH)_2$
66. Prehnite:	$Ca_2Al_2Si_3O_{10}(OH)_2$
67. Pyrophyllite:	$Al_2Si_4O_{10}(OH)_2$
68. Sanidine_high:	$KAlSi_3O_8$
69. Saponite-Ca:	$Ca_{0,165}Mg_3Al_{0,33}Si_{3,67}O_{10}(OH)_2$
70. Saponite-K:	$K_{0,33}Mg_3Al_{0,33}Si_{3,67}O_{10}(OH)_2$
71. Saponite-Mg:	$Mg_{3,165}Al_{0,33}Si_{3,67}O_{10}(OH)_2$
72. Saponite-Na:	$Na_{0,33}Mg_3Al_{0,33}Si_{3,67}O_{10}(OH)_2$
73. Scolecite:	$CaAl_2Si_3O_{10}:3H_2O$
74. Sillimanite:	Al_2SiO_5
75. Smectite-high-Fe-Mg:	$Ca_{0,025}Na_{0,1}K_{0,2}Fe_{0,5}Fe_{0,2}Mg_{1,15}Al_{1,25}Si_{3,5}H_2O_{12}$
76. Smectite-low-Fe-Mg:	$Ca_{0,02}Na_{0,15}K_{0,2}Fe_{0,29}Fe_{0,16}Mg_{0,9}Al_{1,25}Si_{3,75}H_2O_{12}$
77. Stilbite:	$Ca_{1,019}Na_{0,136}K_{0,006}Al_{2,18}Si_{6,82}O_{18}:7,33H_2O$
78. Wairakite:	$CaAl_2Si_4O_{10}(OH)_4$
79. Zoisite:	$Ca_2Al_3(SiO_4)_3OH$

- **Lluta en Panamericana, agregando H_3BO_3 o $Al(OH)_3$:**

1. Alunite:	$KAl_3(OH)_6(SO_4)_2$
2. Boehmite:	AlO_2H
3. Corundum:	Al_2O_3
4. Delafossite:	$CuFeO_2$
5. Diaspore:	$AlHO_2$
6. $Fe(OH)_3$:	$Fe(OH)_3$
7. Ferrite-Ca:	$CaFe_2O_4$
8. Ferrite-Cu:	$CuFe_2O_4$
9. Ferrite-Mg:	$MgFe_2O_4$
10. Ferrite-Zn:	$ZnFe_2O_4$
11. Gibbsite:	$Al(OH)_3$
12. Goethite:	$FeOOH$
13. Hematite:	Fe_2O_3

14. Jarosite: $\text{KFe}_3(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6$
15. Magnetite: Fe_3O_4

3. Mediciones de terreno y de laboratorio

GPS	Temp °C	pH	Cond mS/cm	OD mg/L	Turbidez NTU	Potencial redox mV	Caudal L/s	Alcalinidad mg/L CaCO ₃	B mg/L	As disuelto mg/L	As total mg/L	Fe disuelto mg/L	Fe total mg/L
9	20,2	8,3	4,61	-	21,7	103	532	-	34,2	0,46	0,49	0,11	0,28
10	16,8	4,8	2,28	-	124,0	236	2035	-	25,1	0,08	0,25	0,05	0,99
11	17,9	4,3	1,86	-	119,0	338	1334	-	6,9	0,04	0,16	0,06	2,05
16	-	3,3	3,18	-	56,0	458	595	-	7,2	-	0,24	-	10,7
20	-	6,8	0,23	-	10,0	190	-	202,0	0,0	-	0,02	-	-
22	-	6,5	0,21	-	8,0	205	-	378,1	0,3	-	-	-	-
24	-	6,5	0,59	-	20,0	230	-	155,0	0,1	-	0,01	-	0,83
27	19,6	7,5	6,18	-	10,2	220	-	400,3	114,5	-	1,27	-	0,96
29	-	6,5	0,30	-	5,0	201	-	132,6	0,3	-	0,02	-	0,37
57	-	9,6	0,13	7,5	-	-	-	-	0,2	0,03	0,04	<0,03	<0,03
58	-	8,1	3,71	7,6	-	-	-	939,2	11,4	-	-	-	-
62	-	-	-	-	-	-	79	-	13,5	-	-	-	-
63	23,5	1,8	8,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
64	23,5	1,7	7,99	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
65	23,6	1,7	7,98	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
66	23,4	1,7	8,01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
67	22,9	1,7	8,03	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
68	20,5	1,5	18,70	-	-	-	87	-	42,4	-	-	-	-
69	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
70	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
71	17,8	8,4	2,22	5,8	-	-	224	-	1,9	0,08	0,11	0,05	0,06
74	13,5	1,6	11,93	-	-	-	13	-	20,0	1,31	1,71	7,95	7,95
75	14,0	4,0	2,92	-	-	-	324	-	17,9	0,12	0,29	19,2	19,2
76	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
99	-	-	-	-	-	-	-	-	13,8	-	-	-	-
102	-	-	-	-	-	-	-	-	14,0	-	-	-	-
106	-	-	-	-	7,0	271	-	-	-	-	-	-	-
107	-	-	-	-	20,0	250	87	233,3	18,2	-	1,32	-	0,24
121	18,0	3,9	0,96	-	-	-	-	-	0,5	-	-	-	-
123	16,8	2,9	1,26	-	-	-	-	-	0,5	-	-	-	-

GPS	Temp °C	pH	Cond mS/cm	OD mg/L	Turbidez NTU	Potencial redox mV	Caudal L/s	Alcalinidad mg/L CaCO ₃	B mg/L	As disuelto mg/L	As total mg/L	Fe disuelto mg/L	Fe total mg/L
131	15,4	3,8	1,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
134	22,1	7,7	2,30	-	-	-	1145	-	18,4	0,12	0,23	0,03	3,35
135	20,8	7,8	2,32	-	-	-	-	85,5	16,5	-	-	-	-
140	19,9	7,9	-	-	15,0	22,3	-	559,8	16,5	-	-	-	-
141	-	-	-	-	-	-	-	-	9,3	0,05	0,05	0,49	0,49
142	22,2	8,1	2,56	6,2	20,0	236	1200	502,3	16,7	-	-	-	-
143	21,0	8,2	2,24	6,0	53,4	268	-	-	13,5	-	-	-	-
144	-	-	-	-	-	-	-	-	16,0	-	-	-	-
145	21,0	8,1	2,20	5,9	80,0	253	-	-	15,0	-	-	-	-
146	20,4	8,2	1,60	6,1	54,0	276	-	-	-	-	-	-	-
149	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
150	21,6	8,2	2,03	5,4	47,5	266	-	85,5	15,9	-	-	-	-
151	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
152	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
153	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
154	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
155	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
156	21,1	8,1	2,15	5,4	52,6	249	-	69,7	17,0	-	-	-	-
159	20,1	8,2	2,15	5,8	50,2	269	-	166,2	15,5	-	0,37	-	1,37
160	19,2	8,2	2,16	6,2	90,0	270	-	11,3	16,0	-	0,40	-	1,61
161	-	8,1	2,30	-	-	-	-	81,0	17,9	-	-	-	-
162	19,3	8,0	2,24	6,2	280,0	249	-	199,8	14,5	-	0,26	-	0,99
163	20,7	8,1	2,57	6,6	8,1	254	-	98,9	18,5	-	-	-	-
165	-	8,0	0,34	-	-	-	-	83,2	0,1	-	0,01	-	0,15
169	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
171	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
172	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
173	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
174	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
184	20,1	7,6	2,00	4,4	26,0	243	1200	29,3	14,5	-	-	-	-

GPS	Temp °C	pH	Cond mS/cm	OD mg/L	Turbidez NTU	Potencial redox mV	Caudal L/s	Alcalinidad mg/L CaCO ₃	B mg/L	As disuelto mg/L	As total mg/L	Fe disuelto mg/L	Fe total mg/L
185	18,6	8,1	1,10	4,6	6,9	71	4	96,7	1,7	-	0,03	-	1,1
186	19,0	7,4	2,80	-	25,0	243	1200	-	14,5	-	-	-	-
190	15,3	4,6	1,49	4,9	13,5	358	-	-	2,5	-	-	-	-
191	18,0	8,2	2,94	4,8	3,7	242	-	5,6	31,5	-	-	-	-
192	15,5	7,0	2,01	5,1	22,5	177	-	148,3	16,2	-	-	-	-
207	15,0	8,1	0,29	6,6	2,0	215	4	24,8	0,6	-	0,02	-	0,29
208	21,6	8,9	2,55	4,2	1,0	223	1	415,9	22,9	-	-	-	-
209	19,6	7,9	6,62	4,8	17,8	223	-	369,2	101,8	-	1,68	-	2,4
212	-	7,9	0,69	-	15,0	-	0	33,8	0,7	-	0,01	-	-
213	24,2	7,3	14,13	-	-	-	2	-	250,5	-	-	-	-
216	42,1	6,0	22,20	-	3,0	60	-	902,1	351,0	-	6,20	-	0,21
217	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
218	20,0	7,0	17,62	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
219	26,5	7,2	23,40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
220	20,5	8,1	5,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
221	23,0	8,3	16,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
222	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
223	17,0	7,0	26,60	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
224	25,0	7,9	11,80	9,8	30,0	273	-	533,3	227,6	-	4,32	-	0,89
227	19,0	8,2	0,58	-	-	-	0	-	-	-	-	-	-
236	15,3	8,4	0,53	-	9,7	271	-	-	-	-	-	-	-
237	15,0	8,5	0,50	4,4	7,4	261	-	139,3	0,1	-	-	-	0,56
238	-	-	-	-	-	-	-	-	0,5	-	-	-	-
239	12,6	9,4	0,19	5,5	8,0	224	3	57,4	-	-	-	-	-
240	11,6	9,1	0,18	-	7,4	243	8	-	-	-	-	-	-
241	-	-	0,16	-	-	-	5	-	-	-	-	-	-
243	12,0	8,5	0,18	5,3	8,2	267	5	78,7	0,1	-	0,02	-	0,58
247	11,8	9,1	0,32	-	4,8	250	1	-	-	-	-	-	-
248	11,0	8,5	0,32	5,4	1,8	281	28	42,8	1,0	-	-	-	-
254	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

GPS	Temp °C	pH	Cond mS/cm	OD mg/L	Turbidez NTU	SST mg/L	Potencial redox mV	Caudal L/s	Alcalinidad mg/L CaCO ₃	B mg/L	As disuelto mg/L	As total mg/L	Fe disuelto mg/L	Fe total mg/L
255	10,0	1,8	17,30	-	-	-	-	60	-	42,0	-	-	-	-
256	-	-	-	-	-	-	-	46	-	-	-	-	-	-
257	-	-	-	-	-	-	-	27	-	-	-	-	-	-
258	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
260	9,0	1,7	10,06	-	-	-	-	20	-	29,0	-	-	-	-
261	10,0	8,7	1,50	-	-	-	-	-	200,9	2,7	-	-	-	-
262	9,9	3,2	2,41	-	15,0	-	516	-	-	8,0	-	-	-	-
263	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
264	12,8	4,6	1,27	-	13,4	-	384	-	-	3,0	-	-	-	-
265	15,5	7,9	2,68	-	3,3	-	287	-	947,9	36,4	-	-	-	-
280	21,4	8,6	1,65	6,4	4,8	0,4	208	342	-	3,4	0,10	0,10	-	0,26
281	23,6	1,5	13,72	5,3	16,2	7,5	511	167	-	30,8	3,44	3,44	-	94,9
282	22,5	2,2	4,85	5,5	15,8	2,2	513	470	-	11,8	1,07	1,07	-	30,5
283	17,3	2,9	2,09	6,4	26,6	9,6	488	-	-	5,6	0,06	0,09	-	8,8
284	18,5	8,3	2,52	6,7	10,5	2,8	139	-	-	27,2	0,51	0,51	-	0,4
287	17,0	2,4	4,19	6,5	11,1	10,7	-	690	-	11,4	-	-	-	-
288	19,0	8,5	0,25	6,3	7,0	3,0	-	93	54,0	0,5	0,03	0,03	0,14	0,64
289	18,6	8,6	0,43	6,7	2,9	11,8	-	198	85,5	0,3	0,02	0,02	0,12	0,18
290	17,3	8,8	0,30	8,1	-	16,5	-	-	-	0,4	-	-	-	-
291	17,8	8,5	0,22	6,7	199,0	-	-	-	-	4,0	-	-	-	-
293	15,3	1,4	18,11	-	23,0	15,9	-	-	-	29,1	4,38	4,42	107	114
296	17,6	5,6	0,87	6,6	4,9	4,7	-	-	-	0,3	0,00	0,00	0,2	0,26
297	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,2	-	-	-	-
298	22,3	7,1	1,86	7,9	437,3	739,8	-	2291	-	11,8	-	-	-	-
299	21,9	8,0	1,92	-	439,0	-	-	-	-	11,3	-	-	-	-
300	17,8	7,4	1,73	8,5	432,7	666,6	-	2860	-	13,0	-	-	-	-
301	24,0	7,9	1,60	8,6	265,0	378,6	-	2254	-	14,2	-	-	-	-
302	28,2	7,9	3,15	8,4	188,7	276,0	-	1254	-	19,9	-	-	-	-
303	29,8	8,0	3,17	7,5	187,3	-	-	-	-	21,9	-	-	-	-
304	16,4	7,1	1,37	9,6	601,1	-	352	-	-	12,3	0,26	0,26	-	13,4

GPS	Temp °C	pH	Cond mS/cm	OD mg/L	Turbidez NTU	SST mg/L	Potencial redox mV	Caudal L/s	Alcalinidad mg/L CaCO ₃	B mg/L	As disuelto mg/L	As total mg/L	Fe disuelto mg/L	Fe total mg/L
305	-	-	3,08	-	2,4	-	317	-	-	13,0	-	-	-	-
306	21,4	7,9	2,19	9,1	412,5	316,2	284	-	-	14,8	-	0,23	-	9,84
307	24,2	7,7	2,36	8,6	305,0	200	163	-	-	11,2	0,05	0,24	0,14	10,2
308	28,7	7,8	2,70	8,3	452,6	376,8	233	-	-	11,6	0,07	0,27	0,15	9,6
309	29,7	8,0	3,00	8,3	319,0	-	225	-	-	21,9	-	-	-	-
310	25,7	7,6	13,97	-	3,1	-	252	-	-	30,1	-	0,08	-	<0,03
311	30,2	8,1	3,08	8,1	315,0	242,8	216	-	-	19,9	-	-	-	-
312	30,3	8,1	2,95	8,0	324,2	-	216	-	-	-	-	-	-	-
313	30,4	8,1	3,41	8,2	219,0	261,6	314	-	-	18,9	0,07	0,19	-	8,1
314	-	-	-	-	-	-	-	-	54,0	0,5	-	0,05	-	-
315	-	-	-	-	-	-	-	-	659,0	1,6	-	0,01	-	0,04
323	7,2	8,6	1,79	9,5	29,3	-	118	-	-	-	-	-	-	-
325	12,1	8,5	1,47	9,4	5,2	-	109	-	-	-	-	-	-	-
327	7,1	8,7	1,84	9,0	29,9	19,9	108	-	-	-	-	-	-	-
329	8,8	8,6	1,40	8,6	16,4	-	133	-	-	-	-	-	-	-
331	9,1	8,6	1,75	8,8	80,0	22,6	144	-	143,4	15,5	0,96	0,96	0,18	0,18
333	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
335	12,9	7,7	0,09	17,6	0,5	0,4	129	12	8,2	0,5	0,03	0,03	-	-
337	12,7	8,3	0,19	13,8	4,3	2,4	108	-	22,9	1,0	0,03	0,04	0,16	0,33
339	10,3	8,5	0,73	11,2	6,6	2,4	75	15	98,6	5,4	0,09	0,09	0,15	0,24
341	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
343	53,1	6,3	23,00	-	-	<2	-	1	-	365,3	9,37	9,39	1,06	1,06
345	51,0	6,4	20,20	0,1	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-
349	20,0	7,2	29,10	13,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
351	35,0	6,2	26,00	0,2	-	<2	-	-	-	406,6	14,57	14,57	2,92	2,92
353	19,1	7,9	29,70	18,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
355	41,0	6,3	22,70	0,5	-	<2	-	-	-	375,6	8,33	8,33	2,11	2,11
357	9,3	7,8	0,59	-	0,6	<2	115	5	57,1	6,5	0,05	0,05	-	-
359	14,5	2,5	4,87	-	24,2	13,5	499	-	-	14,9	0,77	0,79	20,08	23,59
361	14,2	2,5	4,76	-	24,1	10,3	502	-	-	14,1	0,73	0,75	18,94	23,11

GPS	Temp °C	pH	Cond mS/cm	OD mg/L	Turbidez NTU	SST mg/L	Potencial redox mV	Caudal L/s	Alcalinidad mg/L CaCO ₃	B mg/L	As disuelto mg/L	As total mg/L	Fe disuelto mg/L	Fe total mg/L
363	14,8	8,0	1,00	7,5	6,4	6,8	25	-	-	7,6	0,50	0,50	0,08	0,28
365	11,8	7,8	0,36	6,8	18,0	11,3	70	-	-	3,6	0,13	0,13	0,13	0,17
367	20,3	8,0	5,82	7,7	3,3	2	72	7	-	104,4	7,89	14,73	0,12	0,14
369	22,7	8,3	20,76	18,4	3,4	167,3	-42	0	-	-	-	-	-	-
371	14,8	5,1	2,04	7,0	242,0	11,6	201	15	-	-	-	-	-	-
373	18,9	8,1	2,61	6,8	7,7	13	96	525	142,2	25,3	0,67	0,67	0,05	0,05
375	13,0	7,0	1,19	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
377	20,0	8,3	4,68	9,7	21,0	-	-	-	-	32,2	0,06	0,09	0,05	0,82
379	24,8	7,5	14,42	8,6	0,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-
381	21,4	8,2	5,47	10,9	14,0	11,1	-	-	105,5	26,3	0,05	0,08	0,73	0,73
383	22,7	8,1	3,70	8,5	15,4	-	-	-	-	40,6	0,06	0,07	0,58	0,58
385	24,6	7,7	14,09	8,4	0,7	-	-	-	-	57,9	0,15	0,15	0,1	0,1
387	24,1	8,0	7,82	8,8	10,2	-	-	-	-	44,1	0,09	0,10	0,02	0,25
389	24,7	7,9	3,07	8,3	33,5	-	-	-	-	20,8	0,05	0,11	1,33	1,33
391	23,2	7,9	2,49	8,6	46,0	-	-	-	-	16,7	0,23	0,23	0,03	1,46
393	23,8	7,2	2,33	7,8	9,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-
395	23,5	7,2	2,26	8,1	55,3	69,1	-	-	-	15,1	0,02	0,17	0,07	1,53
397	22,2	4,8	2,04	7,6	66,2	98,8	-	-	-	13,0	0,01	0,25	0,46	5,32
399	22,2	4,7	2,04	7,6	68,7	-	-	-	-	-	-	-	-	-
401	21,5	4,7	2,02	7,5	136,0	222,4	-	-	-	-	-	-	-	-
403	21,0	4,7	2,02	7,5	59,3	-	-	-	-	-	-	-	-	-
404	-	-	-	-	-	12,6	-	20	-	-	-	-	-	-
405	-	-	-	-	-	<2	-	-	102,6	14,5	0,03	0,05	0,04	0,04
408	50,0	1,8	8,23	0,6	-	<2	-	5	-	-	-	-	-	-
410	32,0	2,2	6,33	3,0	-	8,0	-	30	-	8,5	3,37	3,37	92,92	98,21
412	24,6	2,0	8,00	4,8	-	<2	-	40	-	-	-	-	-	-
414	15,4	1,9	19,33	5,9	-	10,9	-	50	-	-	-	-	-	-
416	13,0	1,9	15,07	6,4	20,0	15,2	-	-	-	30,2	3,58	3,64	119	124
418	11,7	8,8	1,27	6,4	<5	0,3	-	-	82,5	2,8	0,09	0,10	0,34	0,42
420	11,1	2,5	4,53	6,6	10,0	0,6	-	-	-	9,5	0,90	0,92	24,4	37,9

GPS	Temp °C	pH	Cond mS/cm	OD mg/L	Turbidez NTU	SST mg/L	Potencial redox mV	Caudal L/s	Alcalinidad mg/L CaCO ₃	B mg/L	As disuelto mg/L	As total mg/L	Fe disuelto mg/L	Fe total mg/L
428	16,4	8,5	0,13	7,7	1,5	<2	63	7	-	1,9	-	-	0,11	0,43
430	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
432	18,5	9,2	0,34	7,1	2,6	2,3	52	-	-	-	-	-	-	-
434	22,1	9,2	0,36	7,4	1,2	<2	45	-	-	0,5	0,004	0,004	0,08	0,14
438	9,0	8,2	0,32	7,0	-	<2	-	20	41,8	0,4	0,009	0,009	0,07	0,07
440	12,1	2,6	4,18	7,0	-	2,2	-	-	-	6,4	0,550	0,550	13,84	13,98
442	11,1	2,3	4,62	6,7	-	9,4	-	500	-	10,0	0,912	0,919	23,02	23,02
444	16,0	3,6	2,09	6,3	-	16,8	-	-	-	12,6	0,469	0,469	2,46	5,09
448	15,6	2,9	2,14	6,4	-	9,8	-	-	-	0,1	0,009	0,009	-	-
452	15,0	3,7	2,10	6,5	-	11,4	-	-	-	13,1	0,023	0,246	2,87	4,5
454	11,8	8,0	1,04	7,0	-	4,5	-	2	-	2,0	0,027	0,035	0,19	1,02
456	14,5	3,7	2,07	6,6	-	-	-	-	-	12,4	-	0,008	-	0,32
1648	19,7	4,2	1,88	-	23,2	-	395	-	-	13,2	0,196	0,196	-	5,48

GPS	Ca mg/L	Mg mg/L	K mg/L	Na mg/L	Cl mg/L	SO ₄ mg/L	RAS	NO ₃ mg/L	PO ₄ mg/L	F mg/L	I mg/L
9	131,0	24,8	49,2	646,0	1.043,0	7,3	13,6	6,2	0,2	0,4	6,2
10	140,0	62,1	15,9	336,0	491,7	720,0	5,9	2,6	0,1	0,6	2,6
11	128,0	65,7	18,8	1.904,0	301,0	768,0	34,1	5,5	-	0,7	5,5
16	228,0	66,5	28,5	183,0	464,5	987,8	2,7	2,8	-	1,1	2,8
20	13,6	4,6	4,8	16,7	20,2	46,9	1,0	1,2	-	0,2	1,2
24	394,0	94,0	30,0	96,0	737,3	2.251,4	1,1	0,7	-	0,6	1,1
27	60,5	9,3	35,9	285,0	1.769,5	2.243,2	9,0	15,4	-	0,6	15,4
29	20,6	6,0	7,9	17,5	24,1	74,5	<1	1,1	-	0,2	1,1
57	5,8	3,3	1,7	12,7	12,8	39,5	<1	2,6	-	0,2	2,6
71	141,0	64,7	0,6	277,0	300,0	569,0	4,8	2,5	0,1	0,4	2,5
74	370,0	216,0	88,9	414,0	1.364,0	3.164,0	4,2	1,4	0,2	0,9	1,4
75	218,0	36,1	20,4	311,0	440,0	899,8	5,1	1,8	1,6	0,8	1,8
107	205,0	35,9	19,4	254,0	47,3	745,3	4,3	10,4	-	0,6	10,4
134	171,0	46,9	17,0	299,0	444,6	437,7	5,2	2,3	0,4	0,6	2,3
141	386,0	126,0	49,4	648,0	868,7	1.820,0	7,3	3,4	0,6	3,6	3,6
159	108,0	51,0	29,2	196,0	388,9	627,7	3,9	2,7	-	0,8	3,9
160	225,0	53,6	30,6	199,0	442,4	987,4	3,1	2,9	-	0,8	3,1
162	114,0	55,0	31,4	206,0	427,6	654,4	4,0	3,3	-	0,8	4,0
165	28,0	4,9	1,4	16,1	5,4	93,0	<1	0,7	-	0,2	0,7
185	105,0	35,9	19,4	254,0	115,5	252,7	2,1	0,8	-	0,5	2,1
207	22,5	6,0	7,4	18,5	29,5	77,0	<1	0,9	-	0,2	0,9
209	84,0	8,4	32,6	294,0	1.656,4	2.296,7	8,2	15,5	-	0,4	15,5
212	59,0	24,2	1,9	11,6	5,8	196,3	<1	2,1	-	0,3	2,1
216	783,0	21,3	161,0	3.878,0	5.160,9	6.371,6	37,3	57,1	-	0,3	57,1
224	616,0	16,4	79,9	2.600,0	3.175,2	4.651,1	28,2	45,0	-	0,4	45,0
237	28,0	13,5	3,8	7,8	9,3	112,0	<1	0,3	-	0,4	0,4
243	12,4	4,1	4,4	14,5	19,7	45,3	<1	0,8	-	0,1	0,8
280	-	-	-	-	158,5	406,6	-	3,0	-	0,5	3,0
281	-	-	-	-	1.257,8	3.031,5	-	15,8	-	0,5	15,8
282	-	-	-	-	508,1	1.286,0	-	6,0	-	0,4	6,0

GPS	Ca mg/L	Mg mg/L	K mg/L	Na mg/L	Cl mg/L	SO ₄ mg/L	RAS	NO ₃ mg/L	PO ₄ mg/L	F mg/L	I mg/L
283	-	-	-	-	242,2	595,8	-	1,9	-	0,8	1,9
284	-	-	-	-	577,5	233,7	-	5,8	-	0,4	5,8
288	-	-	-	-	36,6	39,5	-	0,0	-	0,1	0,1
289	184,0	13,2	5,3	210,0	379,4	628,1	<1	1,2	-	0,8	1,2
293	1.300,0	148,0	129,0	800,0	1.769,5	3.918,4	3,9	18,1	-	0,2	18,1
296	105,0	20,0	6,1	19,6	7,4	428,1	<1	0,1	-	1,1	1,1
304	0,0	0,0	0,0	0,0	368,6	406,6	-	3,6	-	<0,1	3,6
306	148,0	45,9	32,6	222,0	373,6	485,7	4,1	4,3	-	0,8	4,3
307	149,0	45,9	31,8	222,0	469,4	790,3	4,0	3,8	-	0,8	4,0
308	174,0	53,4	36,8	260,0	584,9	670,9	4,2	3,7	-	1,0	4,2
310	1.300,0	315,0	182,0	1.000,0	3.145,7	4.552,3	6,5	37,1	-	4,0	37,1
313	-	-	-	-	616,4	713,6	-	8,6	-	<0,1	8,6
314	-	-	-	-	10,5	12,8	-	1,5	-	0,2	1,5
315	-	-	-	-	105,5	66,9	-	9,0	-	0,1	9,0
331	113,9	21,7	23,4	230,9	258,0	277,0	5,2	1,2	0,0	-	-
335	2,9	9,2	1,7	1,7	10,3	22,3	0,1	2,8	0,0	0,2	2,8
337	12,6	3,5	3,6	21,1	14,8	34,5	1,4	0,0	0,0	-	-
339	45,3	15,6	9,1	91,7	98,5	106,0	3,0	0,0	0,0	-	-
343	239,5	31,2	279,8	3.463,7	7.720,0	351,0	55,8	0,0	0,0	-	-
351	294,3	40,8	301,1	3.659,3	8.470,0	356,0	52,9	0,0	0,0	-	-
355	272,7	31,2	300,5	3.292,3	7.220,0	343,0	50,3	0,0	0,0	-	-
357	46,8	15,3	6,2	52,8	30,2	132,0	1,7	0,0	0,0	-	-
359	155,7	80,9	43,5	211,0	444,0	967,0	3,4	0,0	1,4	-	-
361	167,2	80,8	41,8	200,3	456,0	1.050,0	3,2	0,0	1,5	-	-
363	103,7	23,8	13,2	102,5	95,9	203,0	2,4	0,9	0,0	-	-
365	26,0	7,0	6,8	40,9	41,6	42,6	1,8	0,0	0,0	-	-
367	157,0	33,2	129,6	938,0	1.710,0	120,0	17,7	0,0	0,0	-	-
373	82,3	22,6	73,7	381,0	596,2	233,0	9,6	8,7	0,0	0,4	9,6
377	408,4	110,5	57,3	527,4	894,0	1.030,0	6,0	0,0	0,0	-	-
381	355,0	109,0	128,0	706,0	1.123,1	1.267,7	8,4	17,7	0,2	1,4	17,7

GPS	Ca mg/L	Mg mg/L	K mg/L	Na mg/L	Cl mg/L	SO ₄ mg/L	RAS	NO ₃ mg/L	PO ₄ mg/L	F mg/L	I mg/L
383	420,0	100,7	48,8	450,1	711,0	793,0	5,1	0,0	0,0	-	-
385	1.210,3	345,2	177,4	1.670,4	3.050,0	3.530,0	10,9	2,5	0,0	-	-
387	521,1	150,4	92,5	889,2	1.540,0	1.820,0	8,8	0,8	0,0	-	-
389	208,6	58,5	41,7	359,5	572,0	640,0	5,7	0,0	0,0	-	-
391	161,6	44,7	35,8	285,9	452,0	524,0	5,1	0,0	0,0	-	-
395	139,1	37,6	33,6	262,0	430,0	501,0	5,1	0,0	0,0	-	-
397	133,0	41,8	54,8	269,0	140,4	840,7	5,2	3,0	0,1	1,0	5,2
401	97,0	6,0	4,8	159,0	319,5	339,2	4,2	6,7	0,0	<0,1	6,7
405	181,0	39,4	25,4	274,0	467,9	506,4	4,8	14,7	0,0	0,9	14,7
410	217,3	85,9	76,5	322,3	455,0	2.930,0	4,7	0,0	1,9	-	-
416	816,0	337,0	421,0	1.205,0	3.743,5	3.264,0	9,0	21,3	1,2	0,2	21,3
418	71,1	37,6	15,5	126,0	159,1	312,0	3,0	3,7	0,0	0,4	3,7
420	251,0	126,0	92,0	371,0	748,7	1.140,1	4,8	3,4	1,6	1,1	4,8
428	10,2	2,9	3,7	8,1	3,4	41,4	0,6	-	-	-	-
434	38,9	9,6	7,3	16,6	26,2	155,0	0,6	-	-	-	-
438	21,6	7,1	4,8	38,1	15,5	97,8	1,8	-	-	-	-
440	90,2	40,2	30,2	148,1	293,0	688,0	3,3	-	-	-	-
442	134,6	63,7	47,1	216,6	467,0	1.100,0	3,8	0,0	1,1	-	-
444	75,5	31,2	186,0	34,4	303,1	479,9	4,5	2,7	0,0	0,8	4,5
448	138,0	68,2	73,0	234,0	280,8	559,8	4,1	1,5	3,2	0,9	4,1
452	89,8	34,2	36,9	226,4	383,0	447,0	5,2	-	-	-	-
454	103,9	19,0	18,4	88,8	103,0	280,0	2,1	-	-	-	-
1648	-	-	-	-	328,5	433,4	-	1,9	-	0,6	1,9

GPS	DQO mg/L	Si mg/L	Cu disuelto mg/L	Cu total mg/L	Mn disuelto mg/L	Mn total mg/L	Zn disuelto mg/L	Zn total mg/L	Pb total mg/L	Sn total mg/L	Cr total mg/L	Cd total mg/L
9	12	149	0,01	0,01	0,05	0,05	0,02	0,02	0	<0,01	<0,01	<0,005
10	12	110	<0,01	0,01	0,02	0,22	0,37	1,4	0,052	-	<0,01	<0,005
11	15	84,9	<0,01	<0,01	0,47	0,47	0,46	0,86	0,081	-	<0,01	0,01
16	-	-	-	0,05	-	2,68	-	3,09	-	<0,01	0,01	0,026
20	-	-	-	<0,01	-	0,07	-	0	-	<0,01	<0,01	<0,002
24	-	-	-	0,02	-	-	0	0,01	-	0,07	<0,01	<0,002
27	-	-	-	0,02	-	0,19	0	0,51	-	0,01	0,01	0,008
29	-	-	-	0,01	-	<0,01	0	0,04	-	<0,01	0,02	<0,002
57	-	-	<0,01	<0,01	<0,01	0,04	0,01	0,01	-	<0,01	<0,01	<0,002
71	21	81,5	<0,01	0,02	0,02	0,02	0,23	0,23	0,037	-	<0,01	<0,005
74	<1	195	<0,01	0,03	<0,01	1,41	4,64	10,7	1,486	<0,01	<0,01	0,122
75	12	96,8	<0,01	0,03	<0,01	3,51	0,68	2,1	-	-	<0,01	-
107	-	-	-	0,03	-	0,05	-	<0,01	-	<0,01	<0,01	0,012
134	10	85,5	<0,01	0,01	0,01	0,63	0,03	0,13	0,062	<0,01	<0,01	<0,005
141	-	47,7	<0,01	<0,01	<0,01	0,07	0,03	1,19	-	-	<0,01	-
159	-	-	-	0,01	-	0,1	-	0,29	-	<0,01	0,02	0,003
160	-	-	-	0	-	0,13	-	0,22	-	<0,01	0,01	0,003
165	-	-	-	0,04	-	0,01	-	0,65	-	0,06	<0,01	<0,002
184	6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
185	7	-	-	0,06	-	0,13	-	0,7	-	<0,01	<0,01	<0,002
190	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
191	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
192	6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
207	5	-	-	<0,01	-	<0,01	-	0,39	-	<0,01	<0,01	<0,002
208	7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
209	11	-	-	0,01	-	0,2	-	0,14	-	0,01	0,01	0,011
212	-	-	-	<0,01	-	<0,01	-	<0,01	-	<0,01	<0,01	<0,002
216	40	-	-	0,07	-	0,52	-	<0,01	-	<0,01	<0,01	0,057
224	23	-	-	0,03	-	0,07	-	0,03	-	<0,01	<0,01	0,039
237	-	-	-	<0,01	-	-	-	0,86	-	<0,01	<0,01	<0,002

GPS	DQO mg/L	Cu disuelto mg/L	Cu total mg/L	Mn disuelto mg/L	Mn total mg/L	Zn disuelto mg/L	Zn total mg/L	Sn disuelto mg/L	Sn total mg/L	Cr disuelto mg/L	Cr total mg/L	Cd disuelto mg/L	Cd total mg/L
243	-	-	<0,01	-	0,01	-	0,03	-	<0,01	-	<0,01	-	<0,002
280	12	-	<0,01	-	0,05	-	0,01	-	<0,01	-	<0,01	-	<0,002
281	<1	-	0,06	-	11,6	-	13,4	-	<0,01	-	0,06	-	0,127
282	<1	-	0,03	-	3,68	-	4,22	-	<0,01	-	0,01	-	0,032
283	13	-	0,02	-	1,63	-	1,65	-	<0,01	-	0,01	-	0,007
284	9	-	<0,01	-	0,37	-	0,03	-	<0,01	-	<0,01	-	<0,002
287	<1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
288	9	<0,01	0,01	<0,01	<0,01	0,02	0,03	<0,01	<0,01	-	<0,01	<0,01	<0,01
289	18	<0,01	0,07	<0,01	0,01	0,24	1,3	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,002	<0,002
290	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
293	<1	<0,01	<0,01	8,61	11,6	15,8	17,8	<0,01	<0,01	<0,01	0,06	0,156	0,177
296	13	0,01	0,03	0,55	0,6	0,07	0,08	<0,01	<0,01	<0,01	0,01	<0,002	<0,002
297	13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
298	8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
299	9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
300	17	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
301	11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
302	9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
304	-	-	0,02	-	1,21	-	0,59	-	<0,01	-	<0,01	-	<0,002
306	2	-	0,02	-	0,86	-	0,28	-	<0,01	-	<0,01	-	0,004
307	12	0,01	0,05	0,79	1,03	0,04	0,28	<0,01	<0,01	<0,01	0,01	<0,002	0,004
308	11	0,04	0,06	0,68	0,9	0,03	0,21	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,002	0,004
309	7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
310	19	-	0,06	-	0,01	-	0,01	-	<0,01	-	<0,01	-	<0,002
311	13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
313	7	-	0,01	-	1,03	-	0,19	-	<0,01	-	<0,01	-	<0,002
314	-	-	0,03	-	<0,01	-	0,02	-	<0,01	-	<0,01	-	<0,002
315	-	-	0,05	-	0,41	-	0,02	-	<0,01	-	<0,01	-	<0,002
327	9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

GPS	DQO mg/L	Si mg/L	Cu disuelto mg/L	Cu total mg/L	Mn disuelto mg/L	Mn total mg/L	Zn disuelto mg/L	Zn total mg/L	Pb disuelto mg/L	Pb total mg/L	Sn disuelto mg/L	Sn total mg/L	Cr disuelto mg/L	Cr total mg/L
331	10	-	<0,03	<0,03	0,092	0,124	<0,026	<0,026	-	<0,029	<0,28	<0,28	<0,05	<0,05
335	5	-	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,002	<0,002	-	<0,01	-	<0,01
337	8	-	<0,03	<0,03	0,024	0,024	<0,026	<0,026	-	<0,029	<0,28	<0,28	<0,05	<0,05
339	11	-	<0,03	<0,03	0,082	0,082	<0,026	<0,026	-	<0,029	<0,28	<0,28	<0,05	<0,05
343	40	139,1	0,06	0,06	0,332	0,332	<0,026	<0,026	-	<0,029	<0,28	<0,28	<0,05	<0,05
351	40	126,8	0,06	0,06	0,3	0,308	<0,026	<0,026	-	<0,029	<0,28	<0,28	<0,05	<0,05
355	36	133,8	0,06	0,06	0,531	0,531	<0,026	<0,026	-	<0,029	<0,28	<0,28	<0,05	<0,05
357	9	-	<0,03	<0,03	<0,013	<0,013	<0,026	<0,026	-	<0,029	<0,28	<0,28	<0,05	<0,05
359	<1	-	<0,03	<0,03	3,3	3,3	-	-	-	0,286	<0,28	<0,28	0,137	0,131
361	2	-	<0,03	<0,03	3,107	3,107	-	-	-	0,422	<0,28	<0,28	0,123	0,125
363	-	-	<0,03	<0,03	0,02	0,022	<0,026	<0,026	-	<0,029	<0,28	<0,28	<0,05	<0,05
365	-	-	<0,03	<0,03	<0,013	0,013	<0,026	<0,026	-	<0,029	<0,28	<0,28	<0,05	<0,05
367	9	-	<0,03	<0,03	0,521	0,521	<0,026	<0,026	-	<0,029	<0,28	<0,28	<0,05	<0,05
371	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
373	-	81,9	0,1	0,1	0,1	0,1	<0,01	<0,01	<0,002	<0,002	-	<0,01	-	<0,01
377	13	-	<0,03	<0,03	0,016	0,194	<0,026	<0,026	-	<0,029	<0,28	<0,28	0,075	0,075
381	11	-	<0,01	<0,01	0,2	0,22	<0,01	0,51	0,014	0,015	-	<0,01	-	<0,01
383	-	-	<0,03	<0,03	<0,013	0,221	<0,026	<0,026	-	<0,029	<0,28	<0,28	0,062	0,062
385	-	-	0,04	0,05	0,019	0,028	<0,026	<0,026	-	<0,029	<0,28	<0,28	0,284	0,284
387	-	-	<0,03	0,03	<0,013	0,222	<0,026	<0,026	-	<0,029	<0,28	<0,28	0,146	0,146
389	-	-	<0,03	<0,03	<0,013	0,504	<0,026	<0,026	-	<0,029	<0,28	<0,28	0,052	0,054
391	-	-	<0,03	<0,03	0,047	0,54	0,138	0,264	-	<0,029	<0,28	<0,28	<0,05	0,053
395	10	-	<0,03	<0,03	0,882	0,882	0,344	0,429	-	<0,029	<0,28	<0,28	<0,05	0,05
397	7	-	<0,01	<0,01	0,84	0,91	0,73	1,07	0,038	0,055	-	<0,01	-	<0,01
401	6	-	-	<0,01	-	<0,01	-	<0,01	-	-	-	<0,01	-	<0,01
405	-	-	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,33	0,33	<0,002	<0,002	-	<0,01	-	<0,01
410	-	-	<0,03	<0,03	8,861	8,861	4,686	4,813	-	0,074	<0,28	<0,28	0,255	0,255
412	<1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
414	<1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
416	<1	149,3	<0,01	<0,01	11,2	11,4	13,9	13,9	1,958	1,985	-	<0,01	-	0,08

GPS	DQO mg/L	Si mg/L	Cu disuelto mg/L	Cu total mg/L	Mn disuelto mg/L	Mn total mg/L	Zn disuelto mg/L	Zn total mg/L	Pb disuelto mg/L	Pb total mg/L	Sn disuelto mg/L	Sn total mg/L	Cr disuelto mg/L	Cr total mg/L
418	10	-	0,04	0,04	0,02	0,02	0,08	0,08	0,012	0,012	-	<0,01	-	<0,01
420	1	-	0,07	0,08	3,15	3,15	3,77	5,52	0,533	0,549	-	<0,01	-	0,03
428	14	-	<0,03	<0,03	<0,013	<0,013	<0,026	<0,026	-	<0,029	<0,28	<0,28	<0,05	<0,05
432	7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
434	14	-	<0,03	<0,03	<0,013	<0,013	<0,026	<0,026	-	<0,029	<0,28	<0,28	<0,05	<0,05
438	10	-	<0,03	<0,03	<0,013	<0,013	<0,026	<0,026	-	<0,029	<0,28	<0,28	<0,05	<0,05
440	<1	-	<0,03	<0,03	2,145	2,145	2,03	2,03	-	0,226	<0,28	<0,28	0,101	0,101
442	1	-	<0,03	<0,03	3,645	3,645	3,201	3,329	-	0,321	<0,28	<0,28	0,16	0,16
444	7	77	<0,01	<0,01	1,13	1,13	1	1,01	0,08	0,082	-	<0,01	-	<0,01
448	3	-	0,04	0,04	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,002	<0,002	-	0,012	-	<0,01
452	6	-	<0,03	<0,03	1,264	1,264	0,971	1,01	-	0,1	<0,28	<0,28	<0,05	<0,05
454	12	-	<0,03	<0,03	0,964	1,034	<0,026	<0,026	-	<0,029	<0,28	<0,28	<0,05	<0,05
1648	-	-	-	<0,01	-	1,26	-	1,15	-	-	-	-	-	<0,01

GPS	Ni total mg/L	Li mg/L	Mo total mg/L	Se total mg/L	Ba total mg/L	Be total mg/L	Co total mg/L	Sr mg/L	Hg total mg/L	V total mg/L	Br total mg/L	CN mg/L	NH₄ mg/L
9	0	0,68	<0,01	<0,004	0,02	<0,01	<0,01	0,86	<0,001	0,04	<0,01	<0,05	<0,05
10	0,01	0,49	-	-	-	-	-	-	-	-	<0,01	<0,05	<0,05
11	0,01	0,13	-	-	-	-	-	-	-	-	<0,01	<0,05	<0,05
71	0	0,03	-	-	-	-	-	-	-	-	<0,01	<0,05	<0,05
74	0,02	0,16	<0,01	<0,004	0,01	<0,01	0,01	0,19	<0,001	0,21	<0,01	<0,05	<0,05
75	0,03	0,31	-	-	-	-	-	-	-	-	<0,01	<0,05	<0,05
134	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	<0,01	<0,05	<0,05
141	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	<0,01	<0,05	<0,05