



**ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL  
 PROYECTO MINERO QUEBRADA BLANCA FASE 2**

**CAPÍTULO 3  
 “LÍNEA DE BASE DE CALIDAD DEL AGUA SUPERFICIAL Y SUBTERRÁNEA”**

**TQB14016-REP-MA-0255**

**INDICE**

<b>3</b>	<b>LÍNEA DE BASE .....</b>	<b>3.2.9-1</b>
3.2	MEDIO FÍSICO .....	3.2.9-1
3.2.9	CALIDAD DE LAS AGUAS SUPERFICIALES Y SUBTERRÁNEAS.....	3.2.9-1
3.2.9.1	Introducción .....	3.2.9-1
3.2.9.2	Objetivos .....	3.2.9-2
3.2.9.2.1	Objetivo General .....	3.2.9-2
3.2.9.2.2	Objetivos Específicos .....	3.2.9-2
3.2.9.3	Determinación y Justificación del Área de Influencia.....	3.2.9-2
3.2.9.4	Metodología .....	3.2.9-3
3.2.9.4.1	Revisión de antecedentes .....	3.2.9-3
3.2.9.4.2	Criterios de aceptación y validación de la información.....	3.2.9-4
3.2.9.4.3	Selección de parámetros de calidad de agua .....	3.2.9-4
3.2.9.4.4	Sectorización del área de contexto.....	3.2.9-6
3.2.9.4.5	Caracterización de la calidad del agua .....	3.2.9-10
3.2.9.4.6	Determinación de la línea base de calidad del agua Proyecto Minero Quebrada Blanca Fase 2.....	3.2.9-13
3.2.9.5	Resultados .....	3.2.9-14
3.2.9.5.1	Variación espacial y temporal de la calidad de agua .....	3.2.9-14
3.2.9.5.2	Carácter iónico de las aguas .....	3.2.9-242
3.2.9.5.3	Determinación de la Línea Base.....	3.2.9-257
3.2.9.6	Síntesis .....	3.2.9-269
3.2.9.7	Bibliografía .....	3.2.9-280

**TABLAS**

Tabla 3.2.9-1.	Minerales reactivos de quebrada Blanca y parámetros representativos .....	3.2.9-5
Tabla 3.2.9-2.	Sectorización del Área de Contexto .....	3.2.9-10
Tabla 3.2.9-3.	Estaciones de monitoreo consideradas para presentación gráfica de resultados en Sector Mina, diferenciadas por Subsectores. ....	3.2.9-14
Tabla 3.2.9-4.	Resumen calidad de agua en Subsector Mina – Rajo, registros históricos. ....	3.2.9-29
Tabla 3.2.9-5.	Resumen calidad de agua en Subsector Mina – Rajo, registros 2015-2016.....	3.2.9-29
Tabla 3.2.9-6.	Resumen calidad de agua en Subsector Mina - Q.Blanca, registros históricos.....	3.2.9-55
Tabla 3.2.9-7.	Resumen calidad de agua en Subsector Mina - Q.Blanca, registros 2015-2016.....	3.2.9-55
Tabla 3.2.9-8.	Estaciones de monitoreo en Sector Quebrada Blanca, diferenciadas por subsectores. ....	3.2.9-72
Tabla 3.2.9-9.	Resumen calidad de agua en Subsector Quebrada Blanca Alto, registros históricos.....	3.2.9-82
Tabla 3.2.9-10.	Resumen calidad de agua en Subsector Quebrada Blanca Alto, registros 2015-2016.....	3.2.9-83
Tabla 3.2.9-11.	Resumen calidad de agua en Subsector Quebrada Blanca Bajo, registros históricos.....	3.2.9-104
Tabla 3.2.9-12.	Resumen calidad de agua en Subsector Quebrada Blanca Bajo, registros 2015-2016.....	3.2.9-104
Tabla 3.2.9-13.	Estaciones de monitoreo en Sector Llareta.....	3.2.9-121
Tabla 3.2.9-14.	Resumen calidad de agua en Sector Llareta, registros históricos. ....	3.2.9-128
Tabla 3.2.9-15.	Resumen calidad de agua en Sector Llareta, registros 2015-2016. ....	3.2.9-128
Tabla 3.2.9-16.	Estaciones de monitoreo en Sector Jovita. ....	3.2.9-145
Tabla 3.2.9-17.	Resumen calidad de agua en Sector Jovita, registros históricos (2015 – 2016). ....	3.2.9-151
Tabla 3.2.9-18.	Estaciones de monitoreo en Sector Ramucho - Choja. ....	3.2.9-168
Tabla 3.2.9-19.	Resumen calidad de agua en Sector Ramucho – Choja, registros históricos.....	3.2.9.5-177
Tabla 3.2.9-20.	Resumen calidad de agua en Sector Ramucho - Choja, registros 2015-2016.....	3.2.9.5-178
Tabla 3.2.9-21.	Estaciones de monitoreo en Sector Huinquintipa - Ornajuno. ....	3.2.9.5-195

Tabla 3.2.9-22.	Resumen calidad de agua en Sector Huinquentipa – Ornajuno, registros históricos.....	3.2.9-210
Tabla 3.2.9-23.	Resumen calidad de agua en Sector Huinquentipa – Ornajuno, registros 2015 – 2016.....	3.2.9-211
Tabla 3.2.9-24.	Estaciones de monitoreo en Sector Paguana. ....	3.2.9-230
Tabla 3.2.9-25.	Resumen calidad de agua en Sector Paguana, registros históricos (2015 – 2016).....	3.2.9-234
Tabla 3.2.9-26.	Valores máximo y mínimo de Línea Base Actualización Proyecto Minero Quebrada Blanca.....	3.2.9-258
Tabla 3.2.9-27.	Línea Base de calidad de agua Proyecto Quebrada Blanca Fase 2. Sector Mina.....	3.2.9-259
Tabla 3.2.9-28.	Línea Base de calidad de agua Proyecto Quebrada Blanca Fase 2. Sector Quebrada Blanca.....	3.2.9-261
Tabla 3.2.9-29.	Línea Base de calidad de agua Proyecto Quebrada Blanca Fase 2. Sector Llaretá.....	3.2.9-261
Tabla 3.2.9-30.	Línea Base de calidad de agua Proyecto Quebrada Blanca Fase 2. Sector Jovita.....	3.2.9-262
Tabla 3.2.9-31.	Línea Base de calidad de agua Proyecto Quebrada Blanca Fase 2. Sector Ramucho - Chojá.....	3.2.9-263
Tabla 3.2.9-32.	Línea Base de calidad de agua Proyecto Quebrada Blanca Fase 2. Sector Huinquentipa - Ornajuno.....	3.2.9-266
Tabla 3.2.9-33.	Línea Base de calidad de agua Proyecto Quebrada Blanca Fase 2. Sector Paguana.....	3.2.9-268

## FIGURAS

Figura 3.2.9-1.	Sectorización del Área de Contexto .....	3.2.9-9
Figura 3.2.9-2	Ejemplo de diagrama de Piper.....	3.2.9-12
Figura 3.2.9-3	Sector Mina. Subsectores Mina - Rajo y Mina - Q.Blanca.....	3.2.9-16
Figura 3.2.9-4	Variación espacial y temporal del pH de las aguas superficiales del Subsector Mina - Rajo.....	3.2.9-30
Figura 3.2.9-5	Variación espacial y temporal del pH de las aguas subterráneas del Subsector Mina - Rajo.....	3.2.9-31
Figura 3.2.9-6	Variación espacial y temporal de la CE de aguas superficiales del Subsector Mina - Rajo.....	3.2.9-32
Figura 3.2.9-7	Variación espacial y temporal de la CE de aguas subterráneas del Subsector Mina - Rajo.....	3.2.9-33
Figura 3.2.9-8	Variación espacial y temporal de la concentración de sulfato en las aguas superficiales del Subsector Mina - Rajo.....	3.2.9-34
Figura 3.2.9-9	Variación espacial y temporal de la concentración de sulfato en las aguas subterráneas del Subsector Mina - Rajo.....	3.2.9-35

Figura 3.2.9-10	Variación espacial y temporal de la concentración de cloruro en las aguas superficiales del Subsector Mina - Rajo. ....	3.2.9-36
Figura 3.2.9-11	Variación espacial y temporal de la concentración de cloruro en las aguas subterráneas del Subsector Mina - Rajo. ....	3.2.9-37
Figura 3.2.9-12	Variación espacial y temporal de la concentración de cobre disuelto en las aguas superficiales del Subsector Mina - Rajo. ....	3.2.9-38
Figura 3.2.9-13	Variación espacial y temporal de la concentración de cobre disuelto en las aguas subterráneas del Subsector Mina - Rajo. ....	3.2.9-39
Figura 3.2.9-14	Variación espacial y temporal de la concentración de cobre total en las aguas superficiales del Subsector Mina - Rajo. ....	3.2.9-40
Figura 3.2.9-15	Variación espacial y temporal de la concentración de cobre total en las aguas subterráneas del Subsector Mina - Rajo. ....	3.2.9-41
Figura 3.2.9-16	Variación espacial y temporal de la concentración de hierro disuelto en las aguas superficiales del Subsector Mina - Rajo. ....	3.2.9-42
Figura 3.2.9-17	Variación espacial y temporal de la concentración de hierro disuelto en las aguas subterráneas del Subsector Mina - Rajo. ....	3.2.9-43
Figura 3.2.9-18	Variación espacial y temporal de la concentración de hierro total en las aguas superficiales del Subsector Mina - Rajo. ....	3.2.9-44
Figura 3.2.9-19	Variación espacial y temporal de la concentración de hierro total en las aguas subterráneas del Subsector Mina - Rajo. ....	3.2.9-45
Figura 3.2.9-20	Variación espacial y temporal del pH de las aguas superficiales del Subsector Mina - Q.Blanca. En la figura A), las estaciones se encuentran ordenadas en el sentido del escurrimiento. ....	3.2.9-56
Figura 3.2.9-21	Variación espacial y temporal del pH de las aguas subterráneas del Subsector Mina - Q.Blanca. En la figura A), las estaciones se encuentran ordenadas en el sentido del escurrimiento. ....	3.2.9-57
Figura 3.2.9-22	Variación espacial y temporal de la CE de aguas superficiales del Subsector Mina - Q.Blanca. En la figura A), las estaciones se encuentran ordenadas en el sentido del escurrimiento. ....	3.2.9-58
Figura 3.2.9-23	Variación espacial y temporal de la CE de aguas subterráneas del Subsector Mina - Q.Blanca. En la figura A), las estaciones se encuentran ordenadas en el sentido del escurrimiento. ....	3.2.9-59
Figura 3.2.9-24	Variación espacial y temporal de la concentración de sulfato en las aguas superficiales del Subsector Mina - Q.Blanca. En la figura A), las estaciones se encuentran ordenadas en el sentido del escurrimiento. ....	3.2.9-60
Figura 3.2.9-25	Variación espacial y temporal de la concentración de sulfato en las aguas subterráneas del Subsector Mina - Q.Blanca. En la figura A), las estaciones se encuentran ordenadas en el sentido del escurrimiento. ....	3.2.9-61
Figura 3.2.9-26	Variación espacial y temporal de la concentración de cloruro en las aguas superficiales del Subsector Mina - Q.Blanca. En la figura A), las estaciones se encuentran ordenadas en el sentido del escurrimiento. ....	3.2.9-62

Figura 3.2.9-27	Variación espacial y temporal de la concentración de cloruro en las aguas subterráneas del Subsector Mina - Q.Blanca. En la figura A), las estaciones se encuentran ordenadas en el sentido del escurrimiento. .... 3.2.9-63
Figura 3.2.9-28	Variación espacial y temporal de la concentración de cobre disuelto en las aguas superficiales del Subsector Mina - Q.Blanca. En la figura A), las estaciones se encuentran ordenadas en el sentido del escurrimiento. .... 3.2.9-64
Figura 3.2.9-29	Variación espacial y temporal de la concentración de cobre disuelto en las aguas subterráneas del Subsector Mina - Q.Blanca. En la figura A), las estaciones se encuentran ordenadas en el sentido del escurrimiento. .... 3.2.9-65
Figura 3.2.9-30	Variación espacial y temporal de la concentración de cobre total en las aguas superficiales del Subsector Mina - Q.Blanca. En la figura A), las estaciones se encuentran ordenadas en el sentido del escurrimiento. .... 3.2.9-66
Figura 3.2.9-31	Variación espacial y temporal de la concentración de cobre total en las aguas subterráneas del Subsector Mina - Q.Blanca. En la figura A), las estaciones se encuentran ordenadas en el sentido del escurrimiento. .... 3.2.9-67
Figura 3.2.9-32	Variación espacial y temporal de la concentración de hierro disuelto en las aguas superficiales del Subsector Mina - Q.Blanca. En la figura A), las estaciones se encuentran ordenadas en el sentido del escurrimiento. .... 3.2.9-68
Figura 3.2.9-33	Variación espacial y temporal de la concentración de hierro disuelto en las aguas subterráneas del Subsector Mina - Q.Blanca. En la figura A), las estaciones se encuentran ordenadas en el sentido del escurrimiento. .... 3.2.9-69
Figura 3.2.9-34	Variación espacial y temporal de la concentración de hierro total en las aguas superficiales del Subsector Mina - Q.Blanca. En la figura A), las estaciones se encuentran ordenadas en el sentido del escurrimiento. .... 3.2.9-70
Figura 3.2.9-35	Variación espacial y temporal de la concentración de hierro total en las aguas subterráneas del Subsector Mina - Q.Blanca. En la figura A), las estaciones se encuentran ordenadas en el sentido del escurrimiento. .... 3.2.9-71
Figura 3.2.9-36	Sector Quebrada Blanca. Quebrada Blanca Alto y Quebrada Blanca Bajo. .... 3.2.9-73
Figura 3.2.9-37	Variación espacial y temporal del pH de las aguas superficiales del Subsector Quebrada Blanca Alto. En la figura A), las estaciones se encuentran ordenadas en el sentido del escurrimiento. .... 3.2.9-84
Figura 3.2.9-38	Variación espacial y temporal del pH de las aguas subterráneas del Subsector Quebrada Blanca Alto. En la figura A), las estaciones se encuentran ordenadas en el sentido del escurrimiento. .... 3.2.9-85

Figura 3.2.9-39	Variación espacial y temporal de la CE de aguas superficiales del Subsector Quebrada Blanca Alto. En la figura A), las estaciones se encuentran ordenadas en el sentido del escurrimiento. ....3.2.9-86
Figura 3.2.9-40	Variación espacial y temporal de la CE de aguas subterráneas del Subsector Quebrada Blanca Alto. En la figura A), las estaciones se encuentran ordenadas en el sentido del escurrimiento. ....3.2.9-87
Figura 3.2.9-41	Variación espacial y temporal de la concentración de sulfato en las aguas superficiales del Subsector Quebrada Blanca Alto. En la figura A), las estaciones se encuentran ordenadas en el sentido del escurrimiento. ....3.2.9-88
Figura 3.2.9-42	Variación espacial y temporal de la concentración de sulfato en las aguas subterráneas del Subsector Quebrada Blanca Alto. En la figura A), las estaciones se encuentran ordenadas en el sentido del escurrimiento. ....3.2.9-89
Figura 3.2.9-43	Variación espacial y temporal de la concentración de cloruro en las aguas superficiales del Subsector Quebrada Blanca Alto. En la figura A), las estaciones se encuentran ordenadas en el sentido del escurrimiento. ....3.2.9-90
Figura 3.2.9-44	Variación espacial y temporal de la concentración de cloruro en las aguas subterráneas del Subsector Quebrada Blanca Alto. En la figura A), las estaciones se encuentran ordenadas en el sentido del escurrimiento. ....3.2.9-91
Figura 3.2.9-45	Variación espacial y temporal de la concentración de cobre disuelto en las aguas superficiales del Subsector Quebrada Blanca Alto. En la figura A), las estaciones se encuentran ordenadas en el sentido del escurrimiento. ....3.2.9-92
Figura 3.2.9-46	Variación espacial y temporal de la concentración de cobre disuelto en las aguas subterráneas del Subsector Quebrada Blanca Alto. En la figura A), las estaciones se encuentran ordenadas en el sentido del escurrimiento. ....3.2.9-93
Figura 3.2.9-47	Variación espacial y temporal de la concentración de cobre total en las aguas superficiales del Subsector Quebrada Blanca Alto. En la figura A), las estaciones se encuentran ordenadas en el sentido del escurrimiento. ....3.2.9-94
Figura 3.2.9-48	Variación espacial y temporal de la concentración de cobre total en las aguas subterráneas del Subsector Quebrada Blanca Alto. En la figura A), las estaciones se encuentran ordenadas en el sentido del escurrimiento. ....3.2.9-95
Figura 3.2.9-49	Variación espacial y temporal de la concentración de hierro disuelto en las aguas superficiales del Subsector Quebrada Blanca Alto. ....3.2.9-96
Figura 3.2.9-50	Variación espacial y temporal de la concentración de hierro disuelto en las aguas subterráneas del Subsector Quebrada Blanca Alto. En la figura A), las estaciones se encuentran ordenadas en el sentido del escurrimiento. ....3.2.9-97

Figura 3.2.9-51	Variación espacial y temporal de la concentración de hierro total en las aguas superficiales del Subsector Quebrada Blanca Alto. En la figura A), las estaciones se encuentran ordenadas en el sentido del escurrimiento. .... 3.2.9-98
Figura 3.2.9-52	Variación espacial y temporal de la concentración de hierro total en las aguas subterráneas del Subsector Quebrada Blanca Alto. En la figura A), las estaciones se encuentran ordenadas en el sentido del escurrimiento. .... 3.2.9-99
Figura 3.2.9-53	Variación espacial y temporal del pH de las aguas superficiales del Subsector Quebrada Blanca Bajo. En la figura A), las estaciones se encuentran ordenadas en el sentido del escurrimiento. .... 3.2.9-105
Figura 3.2.9-54	Variación espacial y temporal del pH de las aguas subterráneas del Subsector Quebrada Blanca Bajo. En la figura A), las estaciones se encuentran ordenadas en el sentido del escurrimiento. .... 3.2.9-106
Figura 3.2.9-55	Variación espacial y temporal de la CE de aguas superficiales del Subsector Quebrada Blanca Bajo. En la figura A), las estaciones se encuentran ordenadas en el sentido del escurrimiento. .... 3.2.9-107
Figura 3.2.9-56	Variación espacial y temporal de la CE de aguas subterráneas del Subsector Quebrada Blanca Bajo. En la figura A), las estaciones se encuentran ordenadas en el sentido del escurrimiento. .... 3.2.9-108
Figura 3.2.9-57	Variación espacial y temporal de la concentración de sulfato en las aguas superficiales del Subsector Quebrada Blanca Bajo. En la figura A), las estaciones se encuentran ordenadas en el sentido del escurrimiento. .... 3.2.9-109
Figura 3.2.9-58	Variación espacial y temporal de la concentración de sulfato en las aguas subterráneas del Subsector Quebrada Blanca Bajo. En la figura A), las estaciones se encuentran ordenadas en el sentido del escurrimiento. .... 3.2.9-110
Figura 3.2.9-59	Variación espacial y temporal de la concentración de cloruro en las aguas superficiales del Subsector Quebrada Blanca Bajo. En la figura A), las estaciones se encuentran ordenadas en el sentido del escurrimiento. .... 3.2.9-111
Figura 3.2.9-60	Variación espacial y temporal de la concentración de cloruro en las aguas subterráneas del Subsector Quebrada Blanca Bajo. En la figura A), las estaciones se encuentran ordenadas en el sentido del escurrimiento. .... 3.2.9-112
Figura 3.2.9-61	Variación espacial y temporal de la concentración de cobre disuelto en las aguas superficiales del Subsector Quebrada Blanca Bajo. En la figura A), las estaciones se encuentran ordenadas en el sentido del escurrimiento. .... 3.2.9-113
Figura 3.2.9-62	Variación espacial y temporal de la concentración de cobre disuelto en las aguas subterráneas del Subsector Quebrada Blanca Bajo. En la figura A), las estaciones se encuentran ordenadas en el sentido del escurrimiento. .... 3.2.9-114

Figura 3.2.9-63	Variación espacial y temporal de la concentración de cobre total en las aguas superficiales del Subsector Quebrada Blanca Bajo. En la figura A), las estaciones se encuentran ordenadas en el sentido del escurrimiento. .... 3.2.9-115
Figura 3.2.9-64	Variación espacial y temporal de la concentración de cobre total en las aguas subterráneas del Subsector Quebrada Blanca Bajo. En la figura A), las estaciones se encuentran ordenadas en el sentido del escurrimiento. .... 3.2.9-116
Figura 3.2.9-65	Variación espacial y temporal de la concentración de hierro disuelto en las aguas superficiales del Subsector Quebrada Blanca Bajo. En la figura A), las estaciones se encuentran ordenadas en el sentido del escurrimiento. .... 3.2.9-117
Figura 3.2.9-66	Variación espacial y temporal de la concentración de hierro disuelto en las aguas subterráneas del Subsector Quebrada Blanca Bajo. En la figura A), las estaciones se encuentran ordenadas en el sentido del escurrimiento. .... 3.2.9-118
Figura 3.2.9-67	Variación espacial y temporal de la concentración de hierro total en las aguas superficiales del Subsector Quebrada Blanca Bajo. En la figura A), las estaciones se encuentran ordenadas en el sentido del escurrimiento. .... 3.2.9-119
Figura 3.2.9-68	Variación espacial y temporal de la concentración de hierro total en las aguas subterráneas del Subsector Quebrada Blanca Bajo. En la figura A), las estaciones se encuentran ordenadas en el sentido del escurrimiento. .... 3.2.9-120
Figura 3.2.9-69	Sector Llaretá ..... 3.2.9-122
Figura 3.2.9-70	Variación espacial y temporal del pH de las aguas superficiales del Sector Llaretá..... 3.2.9-129
Figura 3.2.9-71	Variación espacial y temporal del pH de las aguas subterráneas del Sector Llaretá. En la figura A), las estaciones se encuentran ordenadas en el sentido del escurrimiento. .... 3.2.9-130
Figura 3.2.9-72	Variación espacial y temporal de la CE de aguas superficiales del Sector Llaretá..... 3.2.9-131
Figura 3.2.9-73	Variación espacial y temporal de la CE de aguas subterráneas del Sector Llaretá. En la figura A), las estaciones se encuentran ordenadas en el sentido del escurrimiento. .... 3.2.9-132
Figura 3.2.9-74	Variación espacial y temporal de la concentración de sulfato en las aguas superficiales del Sector Llaretá. .... 3.2.9-133
Figura 3.2.9-75	Variación espacial y temporal de la concentración de sulfato en las aguas subterráneas del Sector Llaretá. En la figura A), las estaciones se encuentran ordenadas en el sentido del escurrimiento. .... 3.2.9-134
Figura 3.2.9-76	Variación espacial y temporal de la concentración de cloruro en las aguas superficiales del Sector Llaretá. .... 3.2.9-135



Figura 3.2.9-77	Variación espacial y temporal de la concentración de cloruro en las aguas subterráneas del Sector Llareta. En la figura A), las estaciones se encuentran ordenadas en el sentido del escurrimiento. .... 3.2.9-136
Figura 3.2.9-78	Variación espacial y temporal de la concentración de cobre disuelto en las aguas superficiales del Sector Llareta..... 3.2.9-137
Figura 3.2.9-79	Variación espacial y temporal de la concentración de cobre disuelto en las aguas subterráneas del Sector Llareta. En la figura A), las estaciones se encuentran ordenadas en el sentido del escurrimiento. .... 3.2.9-138
Figura 3.2.9-80	Variación espacial y temporal de la concentración de cobre total en las aguas superficiales del Sector Llareta. En la figura A), las estaciones se encuentran ordenadas en el sentido del escurrimiento. .... 3.2.9-139
Figura 3.2.9-81	Variación espacial y temporal de la concentración de cobre total en las aguas subterráneas del Sector Llareta. En la figura A), las estaciones se encuentran ordenadas en el sentido del escurrimiento. .... 3.2.9-140
Figura 3.2.9-82	Variación espacial y temporal de la concentración de hierro disuelto en las aguas superficiales del Sector Llareta..... 3.2.9-141
Figura 3.2.9-83	Variación espacial y temporal de la concentración de hierro disuelto en las aguas subterráneas del Sector Llareta. En la figura A), las estaciones se encuentran ordenadas en el sentido del escurrimiento. .... 3.2.9-142
Figura 3.2.9-84	Variación espacial y temporal de la concentración de hierro total en las aguas superficiales del Sector Llareta. En la figura A), las estaciones se encuentran ordenadas en el sentido del escurrimiento. .... 3.2.9-143
Figura 3.2.9-85	Variación espacial y temporal de la concentración de hierro total en las aguas subterráneas del Sector Llareta. En la figura A), las estaciones se encuentran ordenadas en el sentido del escurrimiento. .... 3.2.9-144
Figura 3.2.9-86	Sector Jovita ..... 3.2.9-146
Figura 3.2.9-87	Variación espacial y temporal del pH de las aguas superficiales del Sector Jovita. En la figura A), las estaciones se encuentran ordenadas en el sentido del escurrimiento. .... 3.2.9-152
Figura 3.2.9-88	Variación espacial y temporal del pH de las aguas subterráneas del Sector Jovita. En la figura A), las estaciones se encuentran ordenadas en el sentido del escurrimiento. .... 3.2.9-153
Figura 3.2.9-89	Variación espacial y temporal de la CE de aguas superficiales del Sector Jovita. En la figura A), las estaciones se encuentran ordenadas en el sentido del escurrimiento. .... 3.2.9-154
Figura 3.2.9-90	Variación espacial y temporal de la CE de aguas subterráneas del Sector Jovita. En la figura A), las estaciones se encuentran ordenadas en el sentido del escurrimiento. .... 3.2.9-155
Figura 3.2.9-91	Variación espacial y temporal de la concentración de sulfato en las aguas superficiales del Sector Jovita. En la figura A), las estaciones se encuentran ordenadas en el sentido del escurrimiento. .... 3.2.9-156
Figura 3.2.9-92	Variación espacial y temporal de la concentración de sulfato en las aguas subterráneas del Sector Jovita. En la figura A), las estaciones se encuentran ordenadas en el sentido del escurrimiento. .... 3.2.9-157

Figura 3.2.9-93	Variación espacial y temporal de la concentración de cloruro en las aguas superficiales del Sector Jovita. En la figura A), las estaciones se encuentran ordenadas en el sentido del escurrimiento. .... 3.2.9-158
Figura 3.2.9-94	Variación espacial y temporal de la concentración de cloruro en las aguas subterráneas del Sector Jovita. En la figura A), las estaciones se encuentran ordenadas en el sentido del escurrimiento. .... 3.2.9-159
Figura 3.2.9-95	Variación espacial y temporal de la concentración de cobre disuelto en las aguas superficiales del Sector Jovita. En la figura A), las estaciones se encuentran ordenadas en el sentido del escurrimiento. .... 3.2.9-160
Figura 3.2.9-96	Variación espacial y temporal de la concentración de cobre disuelto en las aguas subterráneas del Sector Jovita. En la figura A), las estaciones se encuentran ordenadas en el sentido del escurrimiento. .... 3.2.9-161
Figura 3.2.9-97	Variación espacial y temporal de la concentración de cobre total en las aguas superficiales del Sector Jovita. En la figura A), las estaciones se encuentran ordenadas en el sentido del escurrimiento. .... 3.2.9-162
Figura 3.2.9-98	Variación espacial y temporal de la concentración de cobre total en las aguas subterráneas del Sector Jovita. En la figura A), las estaciones se encuentran ordenadas en el sentido del escurrimiento. .... 3.2.9-163
Figura 3.2.9-99	Variación espacial y temporal de la concentración de hierro disuelto en las aguas superficiales del Sector Jovita. En la figura A), las estaciones se encuentran ordenadas en el sentido del escurrimiento. .... 3.2.9-164
Figura 3.2.9-100	Variación espacial y temporal de la concentración de hierro disuelto en las aguas subterráneas del Sector Jovita. .... 3.2.9-165
Figura 3.2.9-101	Variación espacial y temporal de la concentración de hierro total en las aguas superficiales del Sector Jovita. .... 3.2.9-166
Figura 3.2.9-102	Variación espacial y temporal de la concentración de hierro total en las aguas subterráneas del Sector Jovita. .... 3.2.9-167
Figura 3.2.9-103.	Sector Ramucho - Choja. .... 3.2.9-169
Figura 3.2.9-104	Variación espacial y temporal del pH de las aguas superficiales del Sector Ramucho - Choja. En la figura A), las estaciones se encuentran ordenadas en el sentido del escurrimiento. .... 3.2.9.5-179
Figura 3.2.9-105	Variación espacial y temporal del pH de las aguas subterráneas del Sector Ramucho - Choja. En la figura A), las estaciones se encuentran ordenadas en el sentido del escurrimiento. .... 3.2.9.5-180
Figura 3.2.9-106	Variación espacial y temporal de la CE de aguas superficiales del Sector Ramucho - Choja. En la figura A), las estaciones se encuentran ordenadas en el sentido del escurrimiento. .... 3.2.9.5-181
Figura 3.2.9-107	Variación espacial y temporal de la CE de aguas subterráneas del Sector Ramucho - Choja. En la figura A), las estaciones se encuentran ordenadas en el sentido del escurrimiento. .... 3.2.9.5-182
Figura 3.2.9-108	Variación espacial y temporal de la concentración de sulfato en las aguas superficiales del Sector Ramucho - Choja. En la figura A), las estaciones se encuentran ordenadas en el sentido del escurrimiento. .... 3.2.9.5-183

Figura 3.2.9-109	Variación espacial y temporal de la concentración de sulfato en las aguas subterráneas del Sector Ramucho - Choja. En la figura A), las estaciones se encuentran ordenadas en el sentido del escurrimiento..... 3.2.9.5-184
Figura 3.2.9-110	Variación espacial y temporal de la concentración de cloruro en las aguas superficiales del Sector Ramucho - Choja. En la figura A), las estaciones se encuentran ordenadas en el sentido del escurrimiento..... 3.2.9.5-185
Figura 3.2.9-111	Variación espacial y temporal de la concentración de cloruro en las aguas subterráneas del Sector Ramucho - Choja. En la figura A), las estaciones se encuentran ordenadas en el sentido del escurrimiento..... 3.2.9.5-186
Figura 3.2.9-112	Variación espacial y temporal de la concentración de cobre disuelto en las aguas superficiales del Sector Ramucho - Choja. En la figura A), las estaciones se encuentran ordenadas en el sentido del escurrimiento. .... 3.2.9.5-187
Figura 3.2.9-113	Variación espacial y temporal de la concentración de cobre disuelto en las aguas subterráneas del Sector Ramucho - Choja. En la figura A), las estaciones se encuentran ordenadas en el sentido del escurrimiento. .... 3.2.9.5-188
Figura 3.2.9-114	Variación espacial y temporal de la concentración de cobre total en las aguas superficiales del Sector Ramucho - Choja. En la figura A), las estaciones se encuentran ordenadas en el sentido del escurrimiento. .... 3.2.9.5-189
Figura 3.2.9-115	Variación espacial y temporal de la concentración de cobre total en las aguas subterráneas del Sector Ramucho - Choja. En la figura A), las estaciones se encuentran ordenadas en el sentido del escurrimiento. .... 3.2.9.5-190
Figura 3.2.9-116	Variación espacial y temporal de la concentración de hierro disuelto en las aguas superficiales del Sector Ramucho - Choja. En la figura A), las estaciones se encuentran ordenadas en el sentido del escurrimiento. .... 3.2.9.5-191
Figura 3.2.9-117	Variación espacial y temporal de la concentración de hierro total en las aguas superficiales del Sector Ramucho - Choja. En la figura A), las estaciones se encuentran ordenadas en el sentido del escurrimiento. .... 3.2.9.5-192
Figura 3.2.9-118	Variación espacial y temporal de la concentración de hierro total en las aguas subterráneas del Sector Ramucho - Choja. En la figura A), las estaciones se encuentran ordenadas en el sentido del escurrimiento. .... 3.2.9.5-193
Figura 3.2.9-119	Sector Huinquentipa – Ornajuno. .... 3.2.9-196
Figura 3.2.9-120	Variación espacial y temporal del pH de las aguas superficiales del Sector Huinquentipa – Ornajuno. En la figura A), las estaciones se encuentran ordenadas en el sentido del escurrimiento. .... 3.2.9-212
Figura 3.2.9-121	Variación espacial y temporal del pH de las aguas subterráneas del Sector Huinquentipa – Ornajuno. En la figura A), las estaciones se encuentran ordenadas en el sentido del escurrimiento. .... 3.2.9-213

Figura 3.2.9-122	Variación espacial y temporal de la CE de las aguas superficiales del Sector Huinquantipa – Ornajuno. En la figura A), las estaciones se encuentran ordenadas en el sentido del escurrimiento. .... 3.2.9-214
Figura 3.2.9-123	Variación espacial y temporal de la CE de las aguas subterráneas del Sector Huinquantipa – Ornajuno. En la figura A), las estaciones se encuentran ordenadas en el sentido del escurrimiento. .... 3.2.9-215
Figura 3.2.9-124	Variación espacial y temporal de la concentración de sulfato en las aguas superficiales del Sector Huinquantipa – Ornajuno. En la figura A), las estaciones se encuentran ordenadas en el sentido del escurrimiento. .... 3.2.9-216
Figura 3.2.9-125	Variación espacial y temporal de la concentración de sulfato en las aguas subterráneas del Sector Huinquantipa – Ornajuno. En la figura A), las estaciones se encuentran ordenadas en el sentido del escurrimiento. .... 3.2.9-217
Figura 3.2.9-126	Variación espacial y temporal de la concentración de cloruro en las aguas superficiales del Sector Huinquantipa – Ornajuno. En la figura A), las estaciones se encuentran ordenadas en el sentido del escurrimiento. .... 3.2.9-218
Figura 3.2.9-127	Variación espacial y temporal de la concentración de cloruro en las aguas subterráneas del Sector Huinquantipa – Ornajuno. En la figura A), las estaciones se encuentran ordenadas en el sentido del escurrimiento. .... 3.2.9-219
Figura 3.2.9-128	Variación espacial y temporal de la concentración de cobre disuelto en las aguas superficiales del Sector Huinquantipa – Ornajuno. En la figura A), las estaciones se encuentran ordenadas en el sentido del escurrimiento. .... 3.2.9-220
Figura 3.2.9-129	Variación espacial y temporal de la concentración de cobre disuelto en las aguas subterráneas del Sector Huinquantipa – Ornajuno. En la figura A), las estaciones se encuentran ordenadas en el sentido del escurrimiento. .... 3.2.9-221
Figura 3.2.9-130	Variación espacial y temporal de la concentración de cobre total en las aguas superficiales del Sector Huinquantipa – Ornajuno. En la figura A), las estaciones se encuentran ordenadas en el sentido del escurrimiento. .... 3.2.9-222
Figura 3.2.9-131	Variación espacial y temporal de la concentración de cobre total en las aguas subterráneas del Sector Huinquantipa – Ornajuno. En la figura A), las estaciones se encuentran ordenadas en el sentido del escurrimiento. .... 3.2.9-223
Figura 3.2.9-132	Variación espacial y temporal de la concentración de hierro disuelto en las aguas superficiales del Sector Huinquantipa – Ornajuno. En la figura A), las estaciones se encuentran ordenadas en el sentido del escurrimiento. .... 3.2.9-224
Figura 3.2.9-133	Variación espacial y temporal de la concentración de hierro disuelto en las aguas subterráneas del Sector Huinquantipa – Ornajuno. En la figura A), las estaciones se encuentran ordenadas en el sentido del escurrimiento. .... 3.2.9-225

Figura 3.2.9-134	Variación espacial y temporal de la concentración de hierro total en las aguas superficiales del Sector Huinquantipa – Ornajuno. En la figura A), las estaciones se encuentran ordenadas en el sentido del escurrimiento. .... 3.2.9-226
Figura 3.2.9-135	Variación espacial y temporal de la concentración de hierro total en las aguas subterráneas del Sector Huinquantipa – Ornajuno. En la figura A), las estaciones se encuentran ordenadas en el sentido del escurrimiento. .... 3.2.9-227
Figura 3.2.9-136	Variación espacial y temporal de la concentración de manganeso disuelto en las aguas superficiales del Sector Huinquantipa – Ornajuno. En la figura A), las estaciones se encuentran ordenadas en el sentido del escurrimiento. .... 3.2.9-228
Figura 3.2.9-137	Variación espacial y temporal de la concentración de manganeso disuelto en las aguas subterráneas del Sector Huinquantipa – Ornajuno. En la figura A), las estaciones se encuentran ordenadas en el sentido del escurrimiento. .... 3.2.9-229
Figura 3.2.9-138	Sector Paguana. .... 3.2.9-231
Figura 3.2.9-139	Variación espacial y temporal de pH de las aguas superficiales del Sector Paguana. En la figura A), las estaciones se encuentran ordenadas en el sentido del escurrimiento. .... 3.2.9-235
Figura 3.2.9-140	Variación espacial y temporal de CE de las aguas superficiales del Sector Paguana. En la figura A), las estaciones se encuentran ordenadas en el sentido del escurrimiento. .... 3.2.9-236
Figura 3.2.9-141	Variación espacial y temporal de la concentración de sulfato en las aguas superficiales del Sector Paguana. En la figura A), las estaciones se encuentran ordenadas en el sentido del escurrimiento. .... 3.2.9-237
Figura 3.2.9-142	Variación espacial y temporal de la concentración de cloruro en las aguas superficiales del Sector Paguana. En la figura A), las estaciones se encuentran ordenadas en el sentido del escurrimiento. .... 3.2.9-238
Figura 3.2.9-143	Variación espacial y temporal de la concentración de cobre disuelto en las aguas superficiales del Sector Paguana. En la figura A), las estaciones se encuentran ordenadas en el sentido del escurrimiento. .... 3.2.9-239
Figura 3.2.9-144	Variación espacial y temporal de la concentración de cobre total en las aguas superficiales del Sector Paguana. En la figura A), las estaciones se encuentran ordenadas en el sentido del escurrimiento. .... 3.2.9-240
Figura 3.2.9-145	Variación espacial y temporal de la concentración de hierro total en las aguas superficiales del Sector Paguana. En la figura A), las estaciones se encuentran ordenadas en el sentido del escurrimiento. .... 3.2.9-241
Figura 3.2.9-146	Diagrama de Piper Subsector Mina-Rajo, aguas superficiales (figura superior) y aguas subterráneas (figura inferior)..... 3.2.9-243
Figura 3.2.9-147	Diagrama de Piper Subsector Mina-Q.Blanca, aguas superficiales (figura superior) y aguas subterráneas (figura inferior)..... 3.2.9-245
Figura 3.2.9-148.	Diagrama de Piper Q.Blanca-Alto, aguas superficiales (figura superior) y aguas subterráneas (figura inferior). .... 3.2.9-247

Figura 3.2.9-149.	Diagrama de Piper Q.Blanca-Bajo, aguas superficiales (figura superior) y aguas subterráneas (figura inferior). ....	3.2.9-248
Figura 3.2.9-150.	Diagrama de Piper Sector Llaretá, aguas superficiales (figura superior) y aguas subterráneas (figura inferior). ....	3.2.9-250
Figura 3.2.9-151.	Diagrama de Piper Sector Jovita, aguas superficiales (figura superior) y aguas subterráneas (figura inferior). ....	3.2.9-251
Figura 3.2.9-152.	Diagrama de Piper Sector Ramucho-Choja, aguas superficiales (figura superior) y aguas subterráneas (figura inferior). ....	3.2.9-253
Figura 3.2.9-153.	Diagrama de Piper Sector Huinquentipa-Ornajuno, aguas superficiales (figura superior) y aguas subterráneas (figura inferior).....	3.2.9-255
Figura 3.2.9-154.	Diagrama de Piper Sector Paguana, Aguas Superficiales.....	3.2.9-256
Figura 3.2.9-155.	Sectorización de Línea Base de Sector Ramucho - Choja. Se incluyen, de modo referencial, algunas de las estaciones de monitoreo. ....	3.2.9-264
Figura 3.2.9-156.	Sectorización de Línea Base de Sector Huinquentipa – Ornajuno. Se incluyen, de modo referencial, algunas de las estaciones de monitoreo. ....	3.2.9-267
Figura 3.2.9-157.	Línea Base Proyecto Quebrada Blanca Fase 2. Rango de variación de pH. ....	3.2.9-271
Figura 3.2.9-158.	Línea Base Proyecto Quebrada Blanca Fase 2. Rango de variación CE. ....	3.2.9-272
Figura 3.2.9-159.	Línea Base Proyecto Quebrada Blanca Fase 2. Rango de variación concentración de sulfato. ....	3.2.9-273
Figura 3.2.9-160.	Línea Base Proyecto Quebrada Blanca Fase 2. Rango de variación concentración de cloruro. ....	3.2.9-274
Figura 3.2.9-161.	Línea Base Proyecto Quebrada Blanca Fase 2. Rango de variación concentración de cobre disuelto.....	3.2.9-275
Figura 3.2.9-162.	Línea Base Proyecto Quebrada Blanca Fase 2. Rango de variación concentración de cobre total. ....	3.2.9-276
Figura 3.2.9-163.	Línea Base Proyecto Quebrada Blanca Fase 2. Rango de variación concentración de hierro disuelto. ....	3.2.9-277
Figura 3.2.9-164.	Línea Base Proyecto Quebrada Blanca Fase 2. Rango de variación concentración de hierro total. ....	3.2.9-278
Figura 3.2.9-165.	Línea Base Proyecto Quebrada Blanca Fase 2. Rango de variación concentración de manganeso disuelto. ....	3.2.9-279

**PLANOS**

Plano 3.2.9-1	Estaciones de muestreo – Plano General.
---------------	---

## **ANEXOS**

---

Anexo 3.2.9-1	Base de Datos Hidroquímica, Niveles, Caudales y Criterios de Validación para su Uso (Archivo Digital)
Anexo 3.2.9-2	Tabla Resumen de Estaciones de Monitoreo de Calidad de Aguas Existentes en Sectores Estudiados (Archivo Digital)
Anexo 3.2.9-3	Diagramas de Piper y Series Iónicas de Invierno y Verano



## ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL PROYECTO MINERO QUEBRADA BLANCA FASE 2

### CAPÍTULO 3.2.9 “LÍNEA DE BASE DE CALIDAD DEL AGUA SUPERFICIAL Y SUBTERRÁNEA”

TQB14016-REP-MA-0255

## 3 LÍNEA DE BASE

### 3.2 MEDIO FÍSICO

#### 3.2.9 Calidad de las Aguas Superficiales y Subterráneas

##### 3.2.9.1 Introducción

El Proyecto Minero Quebrada Blanca Fase 2, de Compañía Minera Teck Quebrada Blanca S.A. (CMTQB), está ubicado en la Región de Tarapacá de Chile, en el borde occidental del altiplano chileno, a una altura aproximada de 4.200 m s.n.m., a 21° de latitud sur, 68° 48' de longitud oeste y aproximadamente a 240 km al sureste de la ciudad costera de Iquique.

La actual faena minera Quebrada Blanca opera el yacimiento desde el año 1994. El proyecto opera como una mina a rajo abierto, con un proceso metalúrgico que incluye el chancado, lixiviación en pilas y botaderos, extracción por solvente (SX) y electro obtención (EW), generando como producto final cátodos de cobre de alta pureza.

En el depósito se ha identificado la presencia de mineralización hipógena que se extiende bajo la superficie del rajo existente. El resultado de dicha exploración permite poner en marcha un plan de expansión de la mina, con un rajo extendido, un proceso por chancado, recuperación por flotación y un depósito de relaves, el cual corresponde al Proyecto Minero Quebrada Blanca Fase 2 (desde ahora el Proyecto o QB2).

La presente caracterización de calidad de agua comprende una recopilación, verificación y análisis de información hidroquímica, generada por CMTQB en el marco de su programa de monitoreo. Dicha caracterización ha sido realizada tanto para la situación histórica de la calidad del agua (hasta marzo 2016), como para la condición de línea base de la componente. Los sistemas que se analizan para la componente de aguas superficiales y subterráneas corresponden a los Sectores Mina, Quebrada Blanca, Llaretta, Jovita, Ramucho – Choja,



Huinquintipa – Ornajuno y Paguana. Esta caracterización de calidad de agua ha considerado el análisis de la variabilidad espacial y temporal de los parámetros definidos como principales descriptores, de acuerdo a las características geológicas del Área de Influencia del Proyecto y de las actividades ahí desarrolladas.

Para el análisis de la variabilidad espacial, se evalúa para cada Sector la evolución de los distintos parámetros de calidad de agua en el sentido de escurrimiento de las aguas, mientras que la variabilidad temporal se describe por medio de la presentación de la data histórica de calidad de agua. Adicionalmente, el análisis considera el carácter iónico de las aguas tanto superficiales como subterráneas.

### 3.2.9.2 Objetivos

#### 3.2.9.2.1 Objetivo General

El objetivo principal de este capítulo es realizar la caracterización de la calidad de agua, tanto superficial como subterránea, dentro del área de influencia del Proyecto. Dicha caracterización ha sido realizada tanto para la situación histórica de la calidad del agua (Acápites 3.2.9.5.1 y 3.2.9.5.2), como para la condición de línea base de la componente (Acápites 3.2.9.5.3).

#### 3.2.9.2.2 Objetivos Específicos

Para el logro del objetivo general, se plantean los siguientes objetivos específicos:

- Recopilar y verificar la información de calidad de agua dentro del área de influencia del Proyecto.
- En función de las características del Proyecto, identificar aquellos parámetros de calidad de agua que son indicadores o representativos de las actividades del Proyecto y/o de las características naturales de las aguas del área de influencia del mismo.
- Analizar la evolución temporal y espacial de la calidad de las aguas superficiales y subterráneas para los parámetros seleccionados como indicadores.
- Caracterización de los tipos de aguas presentes en el área de influencia del Proyecto.
- Definición de la Línea Base del Proyecto.

#### 3.2.9.3 Determinación y Justificación del Área de Influencia

La determinación del Área de Influencia de la componente de Calidad de Aguas Superficiales y Subterráneas ha tomado en consideración los impactos ambientales potencialmente significativos sobre dicha componente, así como el espacio geográfico en el cual se emplazan las partes, obras y/o acciones del Proyecto, según lo definido en la letra d) del Artículo 18 del D.S. N° 40/2012 del

MMA (RSEIA). Para efectos de limitar dicho espacio geográfico, se ha considerado como unidad base la cuenca hidrográfica.

El Área de Influencia de la componente de Calidad de Aguas Superficiales y Subterráneas ha sido determinada a partir de un área mayor, denominada Área de Contexto, necesaria para el análisis de la potencial ocurrencia de impactos sobre la calidad del recurso hídrico, la afectación intrínseca de la variable, o bien su condición como servicio ecosistémico. El detalle y justificación se presenta en el acápite 2.3.1.7 del **Capítulo 2 Determinación y Justificación del Área de Influencia** del presente EIA.

#### 3.2.9.4 Metodología

Para el cumplimiento de los objetivos de este estudio, se han analizado las propiedades físico químicas de las aguas superficiales y subterráneas del área de contexto, evaluando cambios tanto temporales como espaciales, así como el carácter iónico de las mismas. A continuación se presenta la metodología utilizada para dichos análisis.

##### 3.2.9.4.1 Revisión de antecedentes

En primer término se realizó una revisión de todos los antecedentes de calidad de agua disponibles, considerando los resultados de monitoreos hidroquímicos, así como distintos reportes elaborados respecto a la componente calidad de agua. Un listado de estos antecedentes se presenta a continuación.

##### a) Base de datos hidroquímica

La información hidroquímica utilizada para la elaboración de la presente Línea Base comprende datos generados como parte de los monitoreos realizados por CMTQB, así como otros datos provenientes de revisión bibliográfica.

Toda esta información fue recopilada y sistematizada por Schlumberger Water Services (SWS), generándose una única base de datos, la cual constituye el insumo principal para la presente caracterización de calidad de agua y definición de Línea de Base. La base de datos se adjunta en el Anexo 3.2.9-1 del presente Capítulo. Adicionalmente, SWS desarrolló un Memorandum Técnico (SWS, 2016), donde se explica en detalle el contenido de la base de datos, así como los criterios aplicados para la validación de la información. Dicho reporte se adjunta en el Anexo 3.2.9-1 del presente Capítulo.

##### b) Principales reportes analizados

De forma complementaria al análisis de la información hidroquímica contenida en la mencionada base de datos, se han tenido en cuenta los análisis presentados en distintos reportes que forman parte de la evaluación ambiental del Proyecto, tanto en la Actualización Proyecto Minero Quebrada Blanca como en QB2. Los principales reportes considerados se listan a continuación:

- Anexo 1.4 Reformulación de Línea Base de Calidad de Aguas - Sector Mina (Anexo 1.4 de Adenda N° 3 del EIA Actualización Proyecto Minero Quebrada Blanca, QB1).
- Capítulo 3.2.7 Línea Base Hidrología del presente EIA.
- Capítulo 3.2.8 Línea Base Hidrogeología del presente EIA.

#### 3.2.9.4.2 Criterios de aceptación y validación de la información

La información contenida en la base de datos fue verificada mediante criterios generales de validación de la información, así como criterios de garantía y control de la calidad (Quality Assurance and Quality Control, QA/QC), lo que entregó como resultado una base de datos depurada, sobre la cual se realizaron los análisis presentados en esta línea base. Para efectos de todos los análisis realizados, valores bajo el límite de detección del método analítico utilizado ( $< L.D.$ ), fueron considerados como el valor de dicho límite ( $L.D.$ ).

Los criterios generales utilizados en la validación de la información fueron:

- Balance Iónico menor o igual a 20%, como valor absoluto.
- Verificación que concentración total de cada metal fuese mayor que la misma en fase disuelta (metal total  $>$  metal disuelto).

El detalle de los criterios aplicados se presenta en el memorándum “Base de Datos Hidroquímica, niveles, caudales y criterios de validación para su uso” (Anexo 3.2.9-1).

#### 3.2.9.4.3 Selección de parámetros de calidad de agua

Para efectos de la caracterización de calidad de agua, se seleccionó un conjunto de parámetros que permitan representar de manera adecuada la variabilidad de esta componente dentro del área de influencia, considerando el tipo de ambiente que se encuentra en condiciones naturales (pórfido cuprífero), así como las actividades mineras que se han desarrollado históricamente.

Al igual como se indicó para la Actualización Proyecto Minero Quebrada Blanca (Teck, 2014), los principales minerales reactivos presentes en quebrada Blanca son la pirita, calcopirita, bornita, atacamita y brocantita. El detalle de estos minerales, su fórmula química, y parámetros de interés asociados se presentan en la Tabla 3.2.9-1. Además de los elementos o compuestos que podrían ser liberados o consumidos en función de la mineralogía del depósito y la reactividad de estos minerales, se ha incluido en el análisis la Conductividad Eléctrica, que es una medida de la totalidad de iones en solución.

**Tabla 3.2.9-1. Minerales reactivos de quebrada Blanca y parámetros representativos**

Mineral	Fórmula química	Parámetro representativo
Pirita	FeS <sub>2</sub>	pH, Fe, SO <sub>4</sub>
Calcopirita	CuFeS <sub>2</sub>	pH, Fe, SO <sub>4</sub> , Cu
Bornita	Cu <sub>5</sub> FeS <sub>4</sub>	pH, Fe, SO <sub>4</sub> , Cu
Atacamita	Cu <sub>2</sub> Cl(OH) <sub>3</sub>	pH, Cu, Cl
Brocantita	Cu <sub>4</sub> (SO <sub>4</sub> )(OH) <sub>6</sub>	pH, SO <sub>4</sub> , Cu

Fuente: Modificado de MWH, 2015.

Considerando lo anterior, en la Actualización Proyecto Minero Quebrada Blanca (Teck, 2014) fueron considerados para la definición de la Línea Base de Calidad de Agua los parámetros pH, CE, Cl, SO<sub>4</sub>, Fe total y Cu total.

Cabe señalar que las aguas del Área de Influencia tienen un origen mayoritariamente subterráneo y que regularmente los flujos superficiales están asociados a afloramientos de aguas subterráneas. Así, se ha definido utilizar para la definición de la presente Línea de Base la fracción disuelta de los metales cobre y hierro (este último, exclusivamente para el Sector Huiniquintipa – Ornajuno), dado que los metales en esta fase son más móviles y biodisponibles (John y Leventhal, 1995), por efecto de la gran capacidad solvente del agua (USGS, 2016).

En el caso del Sector Huiniquintipa-Ornajuno, Compañía Minera Doña Inés de Collahuasi (CMDIC, 2006) indica que en el yacimiento Huiniquintipa, ubicado aguas arriba del área de influencia del Proyecto, existe mineralización asociada a un yacimiento exótico de óxidos, caracterizados por la presencia de crisocola, copper pitch y copper wad. Por esta razón, para la caracterización de calidad de agua del Sector Huiniquintipa-Ornajuno considera además de los elementos ya señalados, el Manganeso disuelto (Mn dis), el cual se encuentra como elemento mayoritario de las composiciones de la crisocola y el copper pitch y wad.

Dado lo anterior, los parámetros utilizados en la caracterización de calidad de agua, diferenciados por tipo de análisis, son los siguientes:

- Variación temporal y espacial de la calidad del agua: pH, Conductividad Eléctrica, Sulfato, Cloruro, Cobre total y disuelto y Hierro total y disuelto. Estos parámetros fueron considerados para todos los Sectores. Para el Sector Huiniquintipa-Ornajuno se agrega Manganeso disuelto.
- Carácter iónico de las aguas (diagrama de Piper): Sodio, Potasio, Calcio, Magnesio, Cloruro, Sulfato, Bicarbonato. Estos parámetros fueron considerados para todos los Sectores.

En lo que respecta a los parámetros conductividad eléctrica y pH, en la caracterización de la calidad de las aguas se ha incluido una clasificación para cada uno, de acuerdo a sus rangos de variación.

Para la caracterización del grado de acidez de las aguas, se consideró la clasificación dada por Hounslow (1995). De acuerdo a esta, se distinguen 5 tipos de agua, en función de la variación del pH, los que corresponden a:

- Fuertemente ácido: pH menor a 4 UpH.
- Moderadamente ácido: pH en rango 4 UpH – 6,5 UpH.
- Neutro: pH en rango 6,5 UpH – 7,8 UpH.
- Moderadamente alcalino: pH en rango 7,8 UpH – 9,0 UpH.
- Fuertemente alcalino: pH > 9 UpH.

En el caso de la concentración de sales disueltas, se consideró la clasificación dada por (FAO, sitio web). De acuerdo a esta, se distinguen 5 tipos de agua, en función de la variación de la conductividad eléctrica (de ahora en más, CE), los que corresponden a:

- Aguas dulces: CE menor a 700  $\mu\text{S/cm}$ .
- Aguas levemente salinas: CE en rango 700  $\mu\text{S/cm}$  - 2.000  $\mu\text{S/cm}$ .
- Aguas moderadamente salinas: CE en rango 2.000  $\mu\text{S/cm}$  – 10.000  $\mu\text{S/cm}$ .
- Agua altamente salina: CE en rango 10.000  $\mu\text{S/cm}$  – 45.000  $\mu\text{S/cm}$ .
- Salmuera: CE mayor a 45.000  $\mu\text{S/cm}$ .

Finalmente, se destaca que, no obstante la selección de parámetros realizada, y producto de la intensificación de los monitoreos hidroquímicos realizada por CMTQB a partir del año 2012, en la actualidad se cuenta con datos de hasta 186 parámetros de calidad de agua, medidos en la mayor parte de las estaciones del área de influencia. Toda esta información ha sido sistematizada en una base de datos (SWS, 2016), la cual se presenta en el Anexo 3.2.9-1 del presente Capítulo.

#### 3.2.9.4.4 Sectorización del área de contexto

Para efectos de la caracterización de la calidad de aguas superficiales y subterráneas (Acápito 3.2.9.4.5), las distintas cuencas, sub cuencas y sub sub cuencas, han sido agrupadas en Sectores, los cuales se indican en la Tabla 3.2.9-2 y se describen a continuación. La ubicación de estos Sectores se presenta en la Figura 3.2.9-1. Por otra parte, en el Anexo 3.2.9-2 se presenta una tabla resumen con la información detallada de todas las estaciones de monitoreo existentes en el Área de Contexto y en el Plano 3.2.9-1 se encuentra el detalle de la distribución espacial de dichas estaciones.

##### a) Sector Mina

El Sector Mina comprende el área donde se ubican las principales obras del Proyecto “Actualización Proyecto Minero Quebrada Blanca”. Este Sector se ha dividido de acuerdo a la divisoria de aguas existente, producto de la presencia del rajo que actúa como sumidero hidráulico (Teck, 2014). De esta forma, se han considerado dos Subsectores, uno cuyas aguas desaguan hacia el rajo y otro cuyas aguas desaguan hacia la quebrada Blanca.

## a.1) Subsector Mina-Rajo

Comprende el área donde se ubican las principales obras del Proyecto. Destacan dentro de este Sector las quebradas Agua del Mote, del Carmen y Ciénaga Grande.

## a.2) Subsector Mina-Q. Blanca

Comprende el tramo superior de la quebrada Blanca, hasta el Sistema Cortafugas N°1. La principal instalación minera de este sector corresponde al Botadero de Lixiviación de Sulfuros. Cabe destacar que el objetivo del Sistema Cortafugas N° 1 es lograr la contención efectiva de las aguas de contacto generadas aguas arriba de este, por lo cual se ha considerado a esta obra como límite sur del Subsector.

## b) Sector Quebrada Blanca

Este Sector comprende el tramo de quebrada Blanca ubicado inmediatamente aguas abajo del Sistema Cortafugas N°1, hasta aguas arriba de la confluencia entre las quebradas Blanca y Ramucho. Para efectos de la caracterización de calidad de agua, este Sector se ha dividido en los siguientes Subsectores.

## b.1) Subsector Q. Blanca-Alto

Comprende el tramo de la quebrada Blanca, desde el Sistema Cortafugas N°1 (inmediatamente aguas abajo), hasta el pozo RAC-GWQ-QB-01BS. Este último límite se ha definido de acuerdo a cambios significativos en la calidad de agua, asociados a un incremento de pH y un descenso en la concentración de sales disueltas hacia aguas abajo. Dichos cambios son abruptos y se verifican entre los pozos PM-DDH-4 y PM-DDH-5. Se consideró como límite entre dichos tramos al pozo RAC-GWQ-QB-01BS, que presenta una calidad de agua intermedia, pero de mayor semejanza con los pozos ubicados en el Subsector Q. Blanca Alto (por ejemplo, PM-DDH-4) en lo que respecta a la concentración de sales disueltas.

## b.2) Subsector Q. Blanca-Bajo

Comprende el tramo que se extiende por quebrada Blanca desde inmediatamente aguas abajo del pozo RAC-GWQ-QB-01BS, ubicado unos 800 m aguas arriba de la junta con quebrada Jovita, hasta aguas arriba de la junta con quebrada Ramucho.

## c) Sector Llareta

Incluye la sub sub cuenca de la quebrada Llareta.

## d) Sector Jovita

Incluye la sub sub cuenca de la quebrada Jovita.

e) Sector Ramucho-Choja

Incluye la sub cuenca de la quebrada Ramucho. Este sector se ha extendido hasta aguas abajo de la confluencia entre la quebrada Ramucho y la quebrada Blanca, hasta la estación de monitoreo CHO-103, para evaluar la mezcla de ambas calidades de agua en la parte alta de quebrada Choja.

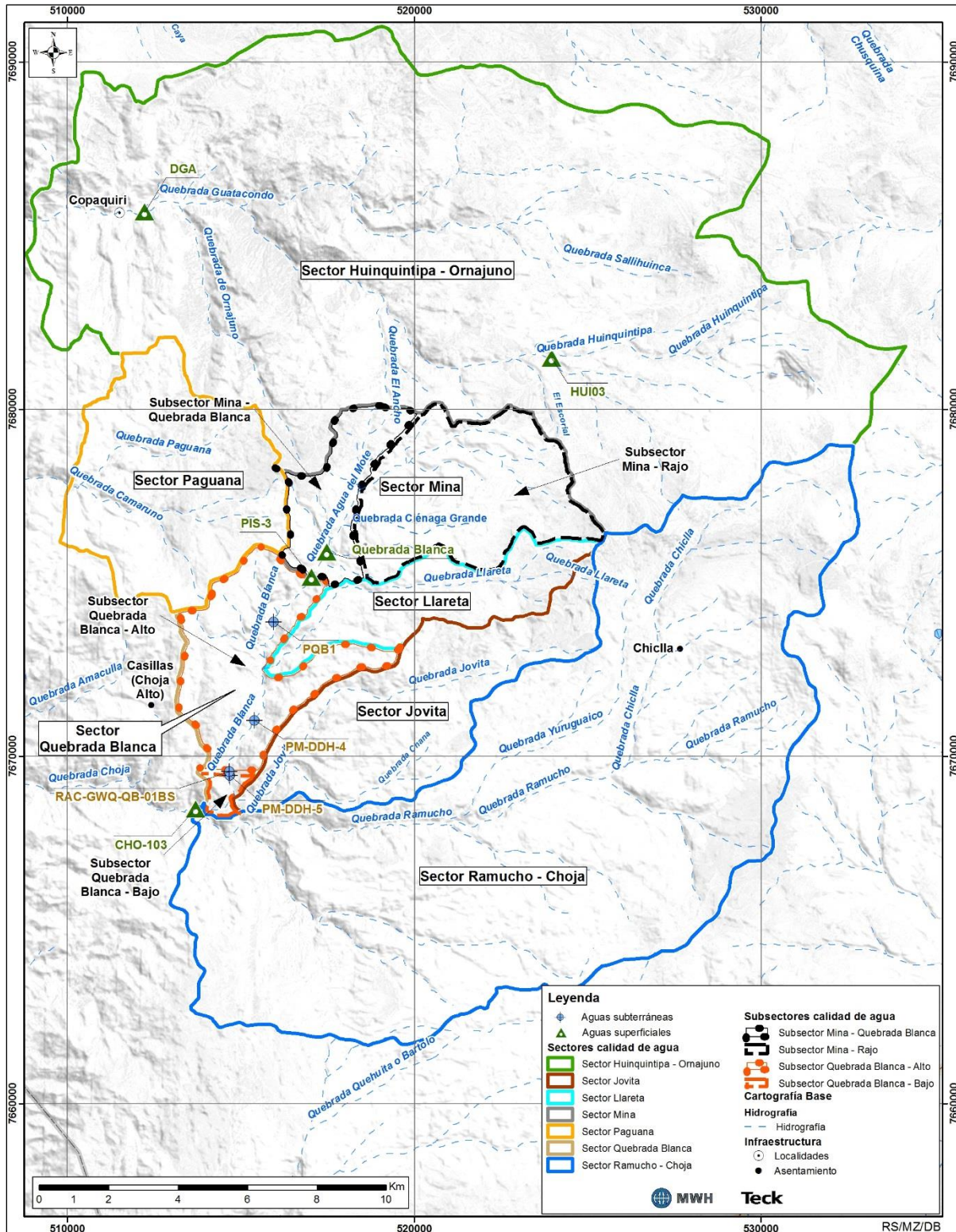
f) Sector Huinquentipa-Ornajuno

Incluye la cuenca de la quebrada Guatacondo, hasta aproximadamente 1 km aguas abajo de la estación fluviométrica de la DGA (Río Guatacondo en Copaquire). El Sector se ha nombrado de esa forma para identificar sus principales quebradas.

g) Sector Paguana

Incluye la cuenca de la quebrada Paguana.

**Figura 3.2.9-1. Sectorización del Área de Contexto**



Fuente: Elaboración propia.



**Tabla 3.2.9-2. Sectorización del Área de Contexto**

Sector	Subsector
Mina	Mina-Rajo
	Mina-Q. Blanca
Quebrada Blanca	Q. Blanca-Alto
	Q. Blanca-Bajo
Llaretá	-
Jovita	-
Ramucho-Choja	-
Huinquintipa-Ornajuno	-
Paguana	-

Fuente: Elaboración propia.

#### 3.2.9.4.5 Caracterización de la calidad del agua

Para cada uno de los Sectores indicados en el Acápite 3.2.9.4.4, se ha analizado la variabilidad de la calidad del agua, tanto temporal como espacial. Este análisis se realizó para cada parámetro seleccionado como representativo (Acápite 3.2.9.4.3), diferenciando entre aguas superficiales y aguas subterráneas, incluyendo todas las estaciones con registros válidos, de acuerdo a los análisis QA/QC realizados (SWS, 2016).

##### a) Variación espacial de la calidad del agua

Para evaluar la variabilidad espacial de la calidad del agua, se han utilizado diagramas de caja (o boxplot), los cuales permiten presentar en una misma gráfica, la totalidad de estaciones de un sistema, graficando los datos medidos en cada estación a través del tiempo (representados como puntos), y los principales estadísticos de dicha serie de datos (representados como un diagrama de caja). Estos diagramas se presentan en el Acápite 3.2.9.1.

En estas gráficas, las estaciones han sido ordenadas de izquierda a derecha en el sentido de escurrimiento de las aguas. También se han diferenciado con distintos colores aquellas estaciones que se ubican sobre o en el entorno de la quebrada principal, de las que se ubican en quebradas tributarias. Cada gráfico de caja se encuentra dividido en cuartiles, siendo el primer cuartil (Q1) el extremo inferior de la caja, el segundo cuartil o mediana (Q2), la línea horizontal dentro de la caja y el tercer cuartil (Q3), el extremo superior de la caja. De cada caja sobresalen dos líneas verticales, que indican 1,5 veces el rango intercuartil (RQ) de cada serie graficada. Estas gráficas han sido realizadas utilizando el software Tableau 9.2.

Cabe señalar que para facilitar la visualización de los resultados gráficos, en sectores con un alto número de estaciones de monitoreo solamente fueron consideradas un grupo de éstas en las figuras de resultados. Para lo anterior, fueron consideradas estaciones que contasen con un número suficiente de registros, que permitieran dar cuenta de la variabilidad espacial y temporal de esta componente.

## b) Variación temporal de la calidad del agua

Los cambios temporales de la calidad del agua fueron evaluados mediante gráficas de dispersión, realizadas para cada parámetro y estación seleccionada (tal como fue descrito en el punto anterior, no fueron consideradas todas las estaciones en la representación gráfica de los resultados). En el eje de las ordenadas se ha graficado la concentración de los distintos parámetros evaluados. En las abscisas se ha graficado el tiempo, además de líneas de referencia a hitos importantes en la historia de este Proyecto, para los Sectores que corresponda. Estas gráficas han sido realizadas utilizando el software Tableau 9.2.

## c) Carácter iónico de las aguas

Como una forma de caracterizar la huella geoquímica de las aguas del área de contexto, se ha determinado la serie iónica de las aguas de los distintos Sectores en análisis, caracterizada por los macroelementos predominantes. Adicionalmente, estos resultados se han graficado como diagramas de Piper, de forma de visualizar mejor la distribución de dichos iones. Estos análisis han sido realizados utilizando el software Aquachem 2014.2. Las series iónicas se presentan en el Anexo 3.2.9-3.

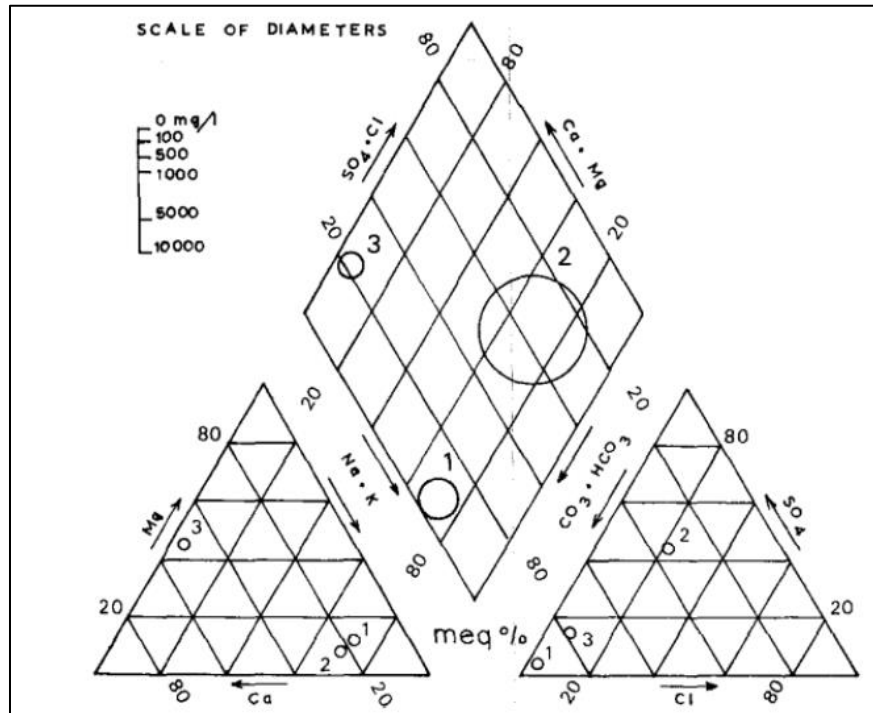
Los diagramas de Piper son gráficas triangulares que permiten representar la composición de los aniones y cationes principales (o macroelementos) de una muestra de agua, en unidades equivalentes entre sí (meq/l, % de meq/l). Los diagramas de Piper utilizan dos triángulos, uno a la derecha para los cationes o iones positivos y uno a la izquierda para los aniones o iones negativos. Cada vértice representa el 100% de uno o más iones seleccionados. De esta forma, cada muestra de agua queda representada como un único punto en cada uno de los triángulos, de acuerdo a su composición. El resultado final de diagrama se resume en un rombo, donde se proyectan e intersectan los puntos obtenidos de cada triángulo. De esta forma, en un mismo diagrama se pueden proyectar gran cantidad de muestras de agua, las cuales se agrupan en caso de tener composición iónica similar. La Figura 3.2.9-2 presenta un ejemplo de diagrama de Piper.

Para elaborar los diagramas de Piper, se seleccionó para cada estación una campaña representativa de la condición media de invierno, y una campaña representativa de la condición media de verano, procurando en ambos casos seleccionar campañas lo más recientes posibles. De esta forma, se compararon los diagramas de Piper entre sí para definir el carácter iónico de las aguas. En el cuerpo del informe se presentó sólo uno de los dos diagramas, seleccionando el periodo de verano por incluir generalmente mayor cantidad de datos. No obstante lo anterior, cada diagrama de Piper generado se presenta en el Anexo 3.2.9-3 del presente Capítulo.

Para todas las estaciones se utilizaron los macroelementos disueltos, salvo en cuatro estaciones donde no existen mediciones de estos elementos disueltos, pero sí totales. En dichos casos se utilizaron concentraciones totales para los siete macroelementos, sin mezclar para una misma campaña entre disueltos y totales. Las cuatro estaciones en las cuales se usaron los

macroelementos totales son QDH-2, MAH01, RMA01 (Sector Huinquentipa-Ornajuno) y M6(2) (Subsector Q. Blanca-Alto).

**Figura 3.2.9-2 Ejemplo de diagrama de Piper.**



Fuente: MWH, 2014

d) Síntesis de la información

Para cada uno de los Sectores analizados, se ha elaborado una tabla resumen con los rangos de concentraciones registrados históricamente en el Área de Contexto, para cada uno de los parámetros analizados. Para este resumen se ha separado en dos casos: Situación Actual (periodo 2015-2016) y Situación Histórica (todos los registros).

Como parámetros estadísticos representativos, se han considerado los registros mínimo, máximo, y los percentiles P10, P50 y P90. El Percentil (Px) es un parámetro estadístico que indica, una vez ordenados los datos de menor a mayor, el valor de la variable por debajo del cual se encuentra un porcentaje dado de observaciones en un conjunto de datos. El valor del percentil varía entre 0 y 100, correspondiendo P0 al valor mínimo de la serie de datos y P100 al máximo. Por ejemplo, el percentil 10 (P10), indica el valor tal que el 10% de los datos de la serie se encuentra bajo ese valor. El percentil 50 (P50), es igual a la mediana de los datos (50% de los datos bajo ese valor). El método del percentil ha sido ampliamente usado en la determinación de parámetros característicos de la calidad del agua subterránea (Post, 2013; Wendland *et al.*, 2003).

#### 3.2.9.4.6 Determinación de la línea base de calidad del agua Proyecto Minero Quebrada Blanca Fase 2

Para determinar la línea base de calidad de agua del Área de Influencia, se ha analizado para cada uno de los Sectores definidos, la Línea Base de la Actualización Proyecto Minero Quebrada Blanca en su versión más actualizada (Anexo 1.4 de Adenda N° 3 del EIA QB1), procediendo a actualizarla en caso de existir nuevos antecedentes con respecto al último dato considerado en dicho documento (diciembre 2013). Adicionalmente, se han incluido los Sectores Jovita, Ramucho-Choja, Huinuintipa-Ornajuno y Paguana, los cuales no formaron parte de la Línea Base en la Actualización Proyecto Minero Quebrada Blanca.

### 3.2.9.5 Resultados

#### 3.2.9.5.1 Variación espacial y temporal de la calidad de agua

##### a) Sector Mina

Tal como fue descrito en el Acápite 3.2.9.4.4, para la caracterización del Sector Mina se diferenció en dos Subsectores, de acuerdo a la dirección de escurrimiento de las aguas. La subdivisión considerada se esquematiza en la Figura 3.2.9-3, en la que además se indica la ubicación de los puntos de monitoreo considerados para la presentación gráfica de los resultados (al respecto, ver Acápite 3.2.9.4.5). En la Tabla 3.2.9-3 se presentan mayores detalles respecto a dichas estaciones. El total de estaciones ubicadas en el Sector se presenta en el Anexo 3.2.9-2. Los resultados se presentan a continuación.

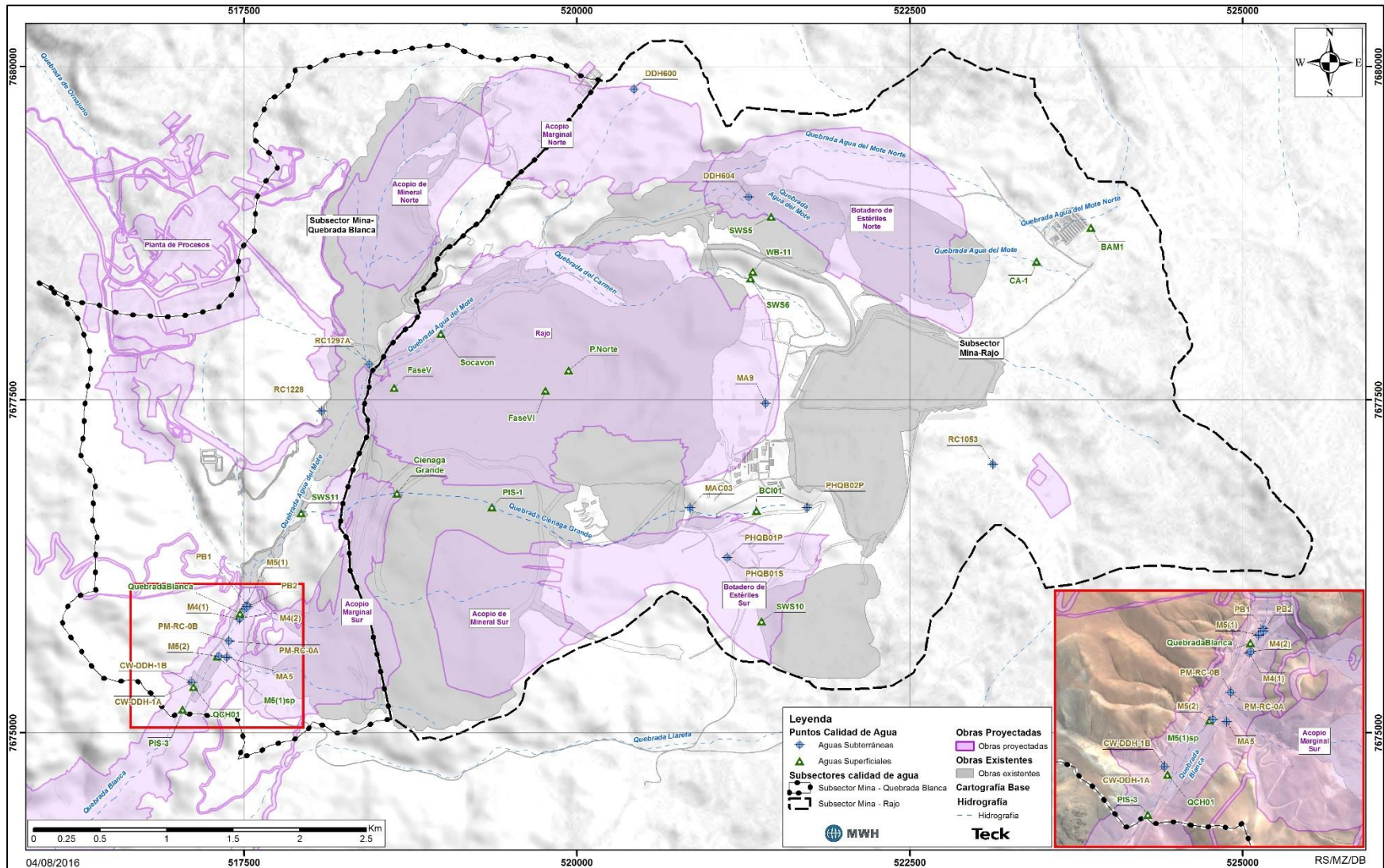
**Tabla 3.2.9-3. Estaciones de monitoreo consideradas para presentación gráfica de resultados en Sector Mina, diferenciadas por Subsectores.**

Nombre	DATUM WGS84, H19S			Tipo de Agua	Ubicación	Período con registros válidos
	Este (m)	Norte (m)	Elevación (m s.n.m.)			
<b>Subsector Mina – Rajo</b>						
BAM1	523.861	7.678.792	4.352	Superficial	Qda. Agua del Mote	2011 – 2016
CA-1	523.452	7.678.537	4.446*	Superficial		1998
DDH600	520.430	7.679.829	4.352	Subterránea		2012 – 2016
DDH604	521.291	7.679.021	4.231	Subterránea		2012 – 2016
Socavón	518.979	7.677.996	4.159*	Superficial		1991
SWS5	521.459	7.678.874	4.239	Superficial		2012 – 2016
BCI01	521.350	7.676.668	4.315	Superficial	Qda. Ciénaga Grande	2011 – 2016
Ciénaga Grande	518.651	7.676.798	4.260*	Superficial		1991
PHQB01P	521.130	7.676.314	4.328	Subterránea		2013 – 2016
PHQB01S	521.130	7.676.314	4.328	Subterránea		2013 – 2016
PHQB02P	521.729	7.676.688	4.356	Subterránea		2013 – 2016
PIS-1	519.363	7.676.694	4.282	Superficial		1994
RC1053	523.124	7.677.015	4.500	Subterránea	Qda. del Carmen	2012 – 2016
SWS6	521.305	7.678.411	4.298	Superficial		2012 – 2013
WB-11	521.321	7.678.461	4.314*	Superficial	Rajo	2015
FaseV	518.628	7.677.591	4.084	Superficial	Rajo	2012 – 2016
FaseVI	519.764	7.677.570	4.070	Superficial	Rajo	2012 – 2016
MA9	521.418	7.677.472	4.369	Subterránea	Pila de lixiviación	2001 – 2016
MAC03	520.851	7.676.687	4.281	Subterránea	Piscina de emergencia (C. Grande)	2000 – 2014
P.Norte	519.939	7.677.721	4.076	Superficial	Rajo	2012 – 2016
SWS10	521.387	7.675.838	4.379*	Superficial	Botadero sur de rios de lixiviación-	2012 – 2016
<b>Subsector Mina – Q.Blanca</b>						
RC1297A	518.440	7.677.766	4.139	Subterránea	Qda. Blanca	2013 – 2016
RC1228	518.082	7.677.415	4.141	Subterránea	Qda. Tributaria	2012 – 2016

Nombre	DATUM WGS84, H19S			Tipo de Agua	Ubicación	Período con registros válidos
	Este (m)	Norte (m)	Elevación (m s.n.m.)			
SWS11	517.931	7.676.651	4.374	Superficial	Qda. Blanca	2012 – 2016
PB1	517.524	7.675.958	4.002	Subterránea		2007 – 2015
PB2	517.525	7.675.946	4.005	Subterránea		2008 – 2016
Quebrada Blanca	517.471	7.675.897	4.022*	Superficial		1991
M5(1)	517.505	7.675.929	3.985	Subterránea		2007 – 2016
M4(2)	517.472	7.675.861	3.980	Subterránea	Qda. Blanca	2007 – 2015
M4(1)	517.466	7.675.853	3.980	Subterránea		2007 – 2015
PM-RC-0A	517.388	7.675.689	3.989	Subterránea		2014 – 2016
PM-RC-0B	517.388	7.675.689	3.989	Subterránea		2014 – 2016
M5(2)	517.313	7.675.574	3.985	Subterránea		2012 – 2016
MA5	517.372	7.675.565	3.990	Subterránea		1996 – 2016
M5(1)sp	517.299	7.675.573	4.001*	Superficial		2012
CW-DDH-1A	517.110	7.675.377	3.984	Subterránea		2014 – 2016
CW-DDH-1B	517.110	7.675.377	3.984	Subterránea		2014 – 2016
QCH01	517.122	7.675.344	3.972	Superficial		2011 – 2016
PIS-3	517.039	7.675.175	4.100	Superficial		1994

(\*) Cota estimada a partir de Google Earth.

**Figura 3.2.9-3 Sector Mina. Subsectores Mina - Rajo y Mina - Q.Blanca.**



Fuente: Elaboración propia.

### a.1) Subsector Mina - Rajo

El Subsector Mina - Rajo se compone de diversas instalaciones que generan cambios en la calidad de las aguas superficiales y subterráneas, las que presentan una significativa variabilidad espacial. En vista de lo anterior, para el análisis de este Subsector se ha distinguido entre aguas no alteradas y las asociadas a las distintas faenas. Al respecto, se ha entendido como “agua no alterada” exclusivamente a los registros llevados a cabo en forma previa al inicio de las operaciones mineras, y a las mediciones realizadas en estaciones de monitoreo ubicadas aguas arriba de las instalaciones mineras.

Durante el período previo al inicio de las actividades mineras, las quebradas Agua del Mote, del Carmen y Ciénaga Grande correspondieron a los principales tributarios que aportaban a quebrada Blanca en la porción superior de la subcuenca, en particular en el Sector Mina – Rajo. En el EIA Actualización del Proyecto Minero Quebrada Blanca fue definida una Línea Base para diferentes parámetros en cada una de éstas (ver Acápito 3.2.9.5.3), de acuerdo a la cual se consideró como aguas no alteradas a los registros de las estaciones CA-1, Socavón, PIS-1, Ciénaga Grande y BAM-1 y en los pozos DDH-600 y RC1053 (Anexo 1.4 de la Adenda N° 3 del EIA QB1). De estas, las primeras cuatro cuentan con información previa al inicio de las operaciones mineras, mientras que las últimas tres presentan información actualizadas, ubicándose aguas arriba de las instalaciones mineras.

En lo que respecta a las aguas ubicadas en torno a las instalaciones mineras o aguas abajo de las mismas, estas presentan una calidad de agua variable, dependiente de diferentes factores, tales como si el agua está asociada a los procesos de lixiviación, si está en contacto con materiales excavados, o si se encuentra alejada de las instalaciones, pero está afectada a una potencial interacción con aguas de contacto.

Se debe destacar que, dada la existencia de un considerable número de estaciones de monitoreo, en la presentación de resultados gráficos no se han incluido la totalidad de ellas (ver Tabla 3.2.9-3). Esto ha generado que, en algunos casos, no haya concordancia entre los registros máximos indicados en el texto o en las Tablas de Síntesis (ambos consideran la totalidad de estaciones) (Tabla 3.2.9-4 y Tabla 3.2.9-5) y los presentados en las figuras de resultados (considera conjunto de estaciones). Cabe señalar que, si bien para el desarrollo de la caracterización de la calidad de agua, en el texto han sido consideradas todas las estaciones existentes en el Subsector, el análisis se ha enfocado en el mismo grupo de puntos de monitoreo utilizados para la presentación gráfica de resultados (ver Figura 3.2.9-3), dada su representatividad.

En la presentación de los resultados gráficos asociados a la variabilidad temporal de cada parámetro, se han incluido los principales hitos del desarrollo histórico del Proyecto QB1.



## pH

En la Figura 3.2.9-4 y Figura 3.2.9-5 se presentan la variación espacial y temporal del pH de las aguas superficiales y subterráneas del Subsector Mina - Rajo, respectivamente. Cabe señalar que en la Figura 3.2.9-4, dentro de los principales hitos de 1992 no han sido explícitamente señalados el Botadero de Lixiviación de Óxidos de Baja Ley y el Botadero de Estériles Sur, para una mejor resolución de los resultados. Esto también ha sido considerado para las figuras asociadas a la variación temporal de los restantes parámetros.

Para la descripción de los resultados, se ha diferenciado entre la calidad de agua de las estaciones de monitoreo consideradas como “no alteradas” en la Línea Base Reformulada del Proyecto QB1 (Anexo 1.4 de Adenda N° 3 del EIA QB1) y las restantes. De acuerdo a lo señalado en forma previa, existen 5 estaciones superficiales (CA-1, Socavón, BAM-1, Ciénaga Grande, PIS-1) y dos pozos (DDH-600 y RC1053), distribuidos entre las quebradas Agua del Mote y Ciénaga Grande.

La diferenciación descrita ha sido realizada para todos los parámetros evaluados, incluyendo aguas superficiales y subterráneas.

En quebrada Agua del Mote, el pH de las **aguas superficiales** no alteradas ha variado en el rango 5,5 UpH y 9,6 UpH, habiendo sido registrados ambos valores en las estaciones Socavón, en el año 1991, y BAM-1, durante 2013, respectivamente (la estación CA-1 presentó un pH igual a 6,9 UpH en su único registro de 1998). Dicho rango incluye aguas desde moderadamente ácidas, hasta fuertemente alcalinas. Cabe señalar que la mediana del pH de la estación BAM-1 corresponde a 7,7 UpH, siendo este valor representativo de aguas neutras.

En el caso de quebrada Ciénaga Grande, el rango de variación del pH de las aguas no alteradas ha correspondido a 6,7 UpH – 8,5 UpH, habiendo sido registrados dichos valores en las estaciones Ciénaga Grande durante 1991 y PIS-1 en el año 1994, respectivamente.

Las aguas de contacto y/o procesos de la mina presentan valores de pH variando en diversos y amplios rangos, tal como se describe a continuación:

- Aguas fuertemente ácidas: La estación de medición FaseV, correspondiente a un afloramiento en el Rajo, presenta valores de pH que han variado entre 1,7 UpH y 1,9 UpH; la estación SWS10, ubicada aguas abajo del actual Botadero Sur de Ripios de Lixiviación y donde está contemplada la instalación del Botadero de Estériles Sur, cuenta con mediciones de pH variando en el rango 1,8 UpH – 2,8 UpH. La estación SWS5, ubicada en quebrada Agua del Mote, aguas abajo del Botadero Norte de Ripios de Lixiviación, donde está contemplado el Botadero de Estériles Norte, presenta registros de pH variando en el rango 2,9 UpH – 3,2 UpH. En términos temporales, la variación del pH ha sido leve en los tres puntos descritos.
- Existen aguas de contacto con registros intermedios de pH, como por ejemplo las estaciones Pared Norte y FaseVI, ambas ubicadas en torno al Rajo, cuyos valores de pH han variado en

el rango 3,1 UpH – 5,4 UpH, alcanzando rangos de aguas moderadamente ácidas. Ambas estaciones tuvieron tendencias decrecientes entre 2013 y 2014, desde valores del orden de 5 UpH a registros en torno a 4 UpH o un tanto inferiores. Posteriormente, entre 2015 y 2016, la estación Pared Norte presentó registros de pH levemente inferiores al del período previo, del orden de 3 UpH. La estación Fase VI, en tanto, mostró una recuperación del pH durante las campañas de julio y octubre de 2015.

- Se cuenta con registros de pH que varían en rangos similares a los rangos de las aguas no alteradas. Por ejemplo, las estaciones WB-11 y SWS6, ubicadas en quebrada del Carmen y con mediciones recientes, han presentado entre ambas registros de pH variando en el rango 6,2 UpH – 7,5 UpH, mientras que en la estación BCI01, ubicada en quebrada Ciénaga Grande, el rango de variación de pH ha sido 5,7 UpH – 7,5 UpH.

Respecto a las **aguas subterráneas**, en el caso de aguas no alteradas, en quebrada Agua del Mote se cuenta con información del pozo DDH600, cuyo pH ha variado en el rango 6,8 UpH y 8,3 UpH, correspondiente a aguas neutras y moderadamente alcalinas. Cabe señalar que la mediana corresponde a 7,4 UpH, valor representativo de aguas neutras.

En el caso de quebrada Ciénaga Grande, se cuenta con información del pozo RC1053, que cuenta con registros actuales. El rango de variación del pH en dicho pozo ha correspondido a 6,4 UpH – 7,5 UpH.

Tal como en el caso de las aguas superficiales, la calidad de las aguas es muy variable. A continuación se presentan ejemplos de pozos considerados representativos de los diferentes tipos de agua:

- Existen pozos con aguas fuertemente ácidas. Por ejemplo, el pozo MA-9, ubicado en el sector de la Planta de Procesos, en el sector del Rajo, presenta valores de pH en el rango 1,0 UpH – 5,8 UpH, siendo la mayoría de los registros menores a 4 UpH. Otro pozo que permite caracterizar estas aguas corresponde a MAC03, ubicado cerca de la quebrada Ciénaga Grande, en torno a diferentes instalaciones mineras. Cuenta con registros validados entre 2004 y 2014, con aguas que regularmente variaron entre fuertemente ácidas y moderadamente ácidas. Su rango de variación fue 2,4 UpH – 6,7 UpH.
- El pozo DDH604, ubicado actualmente junto al proyectado Botadero de Estériles Norte, aguas arriba del Acopio de Hipógeno, presenta valores de pH correspondientes a aguas moderadamente ácidas, con un rango de variación correspondiente a 4,0 UpH – 6,1 UpH.
- Los pozos PHQB01P y PHQB01S, ubicados donde se contempla se ubicará el Botadero de Estériles Sur, en la quebrada Ciénaga Grande, y el pozo PHQB02P, también en quebrada Ciénaga Grande, presentan valores de pH superiores a los descritos en los puntos previos. El rango de variación de los tres pozos ha sido amplio, con un mínimo igual a 4,9 UpH (PHQB02P, julio de 2015) y un máximo igual a 10,9 UpH (PHQB01S, octubre de 2013), describiendo aguas desde moderadamente ácidas, hasta fuertemente alcalinas. De éstos, los pozos PHQB01P y

PHQB02P han presentado normalmente registros en el rango de aguas neutras, con medianas iguales a 7,4 UH y 7,5 UpH, respectivamente. El pozo PHQB01S, normalmente ha presentado condiciones de aguas fuertemente alcalinas, con una mediana igual a 9,0 UpH, aunque desde abril de 2015 todos sus registros han sido inferiores a 7,8 UpH, límite superior del pH característico de aguas neutras.

### Conductividad eléctrica

En la Figura 3.2.9-6 y Figura 3.2.9-7 se presentan la variación espacial y temporal de la CE de las aguas superficiales y subterráneas del Subsector Mina - Rajo, respectivamente.

En quebrada Agua del Mote, la CE de las **aguas superficiales** no alteradas ha variado históricamente en el rango 194  $\mu\text{S/cm}$  y 1.511  $\mu\text{S/cm}$ , correspondiente a aguas dulces y levemente salinas, habiendo sido registrados en las estaciones CA-1 y BAM-1, respectivamente. Cabe señalar que la mediana de la CE de la estación BAM-1 correspondió a 252  $\mu\text{S/cm}$ , estando regularmente los registros bajo 500  $\mu\text{S/cm}$ .

En el caso de quebrada Ciénaga Grande, el rango de variación de la CE de las aguas no alteradas ha sido 236  $\mu\text{S/cm}$  – 1.378  $\mu\text{S/cm}$ , también representativo de aguas dulces y levemente salinas, correspondiendo dichos valores a las estaciones Ciénaga Grande (1991) y PIS-1 (1994), respectivamente.

Las aguas de contacto y/o procesos de la mina presentan valores de CE variando en amplios rangos, agrupándose de forma similar, a lo descrito para el pH:

- Las aguas ácidas presentan valores de CE en el rango de aguas altamente salinas, como se verifica en las estaciones FaseV (31.000  $\mu\text{S/cm}$  - 37.500  $\mu\text{S/cm}$ ), SWS10, (24.800  $\mu\text{S/cm}$  – 35.700  $\mu\text{S/cm}$ ) y SWS5 (13.700  $\mu\text{S/cm}$  – 15.600  $\mu\text{S/cm}$ ). En las tres se observan leves tendencias de incremento en el tiempo.
- Las estaciones con valores de pH en el rango de aguas fuertemente ácidas y moderadamente ácidas, presentaron valores de CE intermedios, aunque en su mayoría en rangos de agua levemente salinas. Esto se aprecia en los puntos de monitoreo Pared Norte, en el que la CE ha variado en el rango 732  $\mu\text{S/cm}$  – 1.670  $\mu\text{S/cm}$ , y Fase VI, cuyos registros se han concentrado normalmente en el rango 601  $\mu\text{S/cm}$  – 1.060  $\mu\text{S/cm}$ , pero con 2 mediciones puntuales iguales a 1.880  $\mu\text{S/cm}$  y 4.120  $\mu\text{S/cm}$ , esta última en enero de 2016.
- Respecto a las estaciones con registros en rangos similares a los de las aguas no alteradas, las estaciones WB-11 y SWS6, ubicadas en quebrada del Carmen y con mediciones recientes, han presentado valores de CE en el rango 429  $\mu\text{S/cm}$  – 726  $\mu\text{S/cm}$ . La estación BCI01, en tanto, ha presentado registros variando entre 279  $\mu\text{S/cm}$  y 597  $\mu\text{S/cm}$ , con una leve tendencia decreciente.

Respecto a las **aguas subterráneas**, en el caso de las aguas no alteradas en quebrada Agua del Mote, la CE ha variado en el rango 293  $\mu\text{S/cm}$  – 393  $\mu\text{S/cm}$ , valores correspondientes a aguas dulces, ubicados dentro del rango verificado para las aguas superficiales.

En el caso de quebrada Ciénaga Grande, los registros del pozo RC1053 han presentado una tendencia decreciente desde 2013 hasta 2016, con un valor máximo igual a 351  $\mu\text{S/cm}$  y un mínimo correspondiente a 134  $\mu\text{S/cm}$ , ambos valores en el rango de aguas dulces. Estos valores son similares a los registros de las aguas superficiales, pero con una cota superior menor.

Las aguas de contacto y/o de procesos de la mina presentan valores de CE variando en diferentes rangos, los que se describen a continuación, utilizando algunos pozos representativos.

- El pozo MA-9 presenta registros de CE de hasta 103.700  $\mu\text{S/cm}$  (agosto de 2010), mostrando variaciones temporales abruptas, donde las principales corresponden al aumento desde 14.510  $\mu\text{S/cm}$ , hasta 103.700  $\mu\text{S/cm}$  durante 2010; y un decremento de casi 50.000  $\mu\text{S/cm}$  durante 2013-2014. Respecto al pozo MAC03, este presentó un rango de variación igual a 3.324  $\mu\text{S/cm}$  – 49.160  $\mu\text{S/cm}$ . Cabe destacar el incremento significativo de la CE durante 2010 para MAC03, en el que alcanzó su máximo valor. Además, este pozo presentó registros estables, en torno a 4.000  $\mu\text{S/cm}$  – 6.000  $\mu\text{S/cm}$ , en las mediciones de 2014.
- El pozo DDH604 presenta aguas moderadamente salinas, cuya CE ha variado en el rango 2.560  $\mu\text{S/cm}$  – 5.480  $\mu\text{S/cm}$ , con una tendencia creciente desde abril de 2013.
- Los pozos PHQB01P y PHQB01S presentan registros en el rango de aguas dulces y levemente salinas. El pozo somero (S) presenta mayores valores de CE, variando en el rango 774  $\mu\text{S/cm}$  – 1.863  $\mu\text{S/cm}$ , habiéndose estabilizado en valores en torno a 1.300  $\mu\text{S/cm}$  en sus últimos registros. El pozo profundo (P) en tanto, cuenta con registros en el mismo rango de las aguas no alteradas, variando de 320  $\mu\text{S/cm}$  a 707  $\mu\text{S/cm}$ , mostrando una tendencia levemente creciente. Respecto al pozo PHQB02P, presenta registros levemente superiores a los de agua de no contacto ubicados en Ciénaga Grande, variando en el rango 213  $\mu\text{S/cm}$  – 703  $\mu\text{S/cm}$ . Cabe señalar que el valor mínimo de CE medido en este Subsector (118  $\mu\text{S/cm}$ ) se verificó en el pozo MA2, ubicado en Ciénaga Grande, en torno a la estación superficial BCI01 y cercano a los pozos PHQB01P, PHQB01S y PHQB02P.

### Sulfato

En la Figura 3.2.9-8 y Figura 3.2.9-9 se presentan la variación espacial y temporal de la concentración de sulfato en las aguas superficiales y subterráneas del Subsector Mina - Rajo, respectivamente.

En lo que respecta a las aguas no alteradas, en quebrada Agua del Mote, el rango de variación de la concentración de sulfato de las **aguas superficiales** ha correspondido a 20 mg/l – 128 mg/l, donde el valor mínimo fue registrado en la estación CA-1 durante 1998 y el máximo en Socavón

en 1991. Cabe señalar que la mediana de la concentración de sulfato en la estación BAM-1 ha correspondido a 26 mg/l.

En el caso de quebrada Ciénaga Grande, el rango de variación de la concentración de sulfato ha correspondido a 23 mg/l – 39 mg/l, registros asociados a la estación Ciénaga Grande.

Tal como ya ha sido descrito, las aguas de contacto y/o procesos de la mina presentan una calidad físico-química espacialmente variable. En el caso de la concentración de sulfato, los rangos de variación para cada uno de los grupos de estaciones de monitoreo, descritos en forma previa para los parámetros pH y CE, ha variado en los siguientes rangos (considerando los mismos puntos de monitoreo característicos):

- Aguas ácidas y de alta salinidad: El rango de variación de la concentración de sulfato ha correspondido a 18.500 mg/l (SWS5) – 80.300 mg/l (SWS10). En las estaciones FaseV y SWS10 existe una tendencia de incremento desde 2014.
- Aguas de contacto con calidad intermedia: La concentración de sulfato ha variado entre 227 mg/l – 2.780 mg/l (ambos valores correspondientes a estación Fase VI). Se destaca el que las estaciones Fase VI y Pared Norte presentaron un aumento de las concentraciones a partir de 2014 y que el registro máximo del primero fue medido durante 2016, estando fuera del rango de variación histórico.
- Aguas con calidad similar a las no alteradas: La concentración de sulfato ha variado en el rango 65 mg/l – 143 mg/l (ambos registros asociados a la estación BCI01).

Respecto a las **aguas subterráneas** con una condición no alterada, en quebrada Agua del Mote la concentración de sulfato ha variado en el rango 54 mg/l – 74 mg/l, similar al registrado en las aguas superficiales.

En el caso de quebrada Ciénaga Grande, los registros del pozo RC1053 han presentado una tendencia decreciente desde 2013 hasta 2016, con un valor máximo igual a 111 mg/l y un mínimo correspondiente a 24 mg/l.

Las aguas de contacto y/o procesos de la mina presentan concentraciones de sulfato variando en rangos amplios, del mismo modo que ha sido descrito para otros parámetros:

- La concentración de sulfato en el pozo MA-9 presenta una evolución temporal similar a la de la CE, con incrementos y decrementos abruptos (de más de 40.000 mg/l) en los mismos períodos, alcanzando un valor máximo igual a 53.900 mg/l durante agosto de 2010. No obstante, la máxima concentración de sulfato en el Subsector fue alcanzada en el pozo MA-7, ubicado junto a MA-9, alcanzando 65.690 mg/l. En el caso del pozo MAC-03, la variación temporal también fue similar a la descrita para la CE, alcanzando una concentración máxima igual a 27.800 mg/l durante 2010.

- La concentración de sulfato en el pozo DDH604 ha sido significativamente inferior a las del pozo MA-7, variando los registros en el rango 1.440 mg/l – 4.920 mg/l, con una tendencia creciente desde abril de 2013.
- Respecto a los pozos PHQB01P y PHQB01S, el primero presenta mayores concentraciones de sulfato, variando en el rango 248 mg/l – 587 mg/l, con una tendencia creciente. El último pozo, en tanto, cuenta con registros similares a los de las aguas no alteradas, variando en el rango 125 mg/l – 212 mg/l, mostrando una tendencia levemente creciente. El pozo PHQB02P, ubicado en la quebrada Ciénaga Grande, ha presentado registros en un orden similar al de las aguas no alteradas de dicha quebrada, variando en el rango 30 mg/l – 230 mg/l. Cabe destacar que el registro mínimo en el Subsector correspondió al pozo RC1052, cuya concentración de sulfato mínima fue igual a 23 mg/l.

### Cloruro

En la Figura 3.2.9-10 y Figura 3.2.9-11 se presentan la variación espacial y temporal de la concentración de cloruro en las aguas superficiales y subterráneas del Subsector Mina - Rajo, respectivamente.

En las quebradas Agua del Mote y Ciénaga Grande, la concentración de cloruro ha variado en los rangos 5 mg/l – 396 mg/l y 30 mg/l - 114 mg/l, respectivamente. Las máximas concentraciones corresponden a la estación BAM-1, cuyo máximo valor fue medido en marzo de 2012.

Respecto a las aguas de contacto y/o procesos, la concentración de cloruro es poco significativa respecto al total de sales disueltas que estas presentan, principalmente en las aguas de mayor salinidad. Esto genera la existencia de una mayor homogeneidad espacial, respecto al parámetro.

- El grupo de aguas ácidas, caracterizado por las estaciones Fase V, SWS5 y SWS10, ha presentado registros de cloruro variando en el rango 35 mg/l – 743 mg/l. Cabe destacar que los dos registros máximos (verificados en SWS10) han correspondido a condiciones puntuales medidas en campañas desarrolladas durante la primavera de 2015.
- El grupo de aguas de contacto con calidad intermedia (estaciones Fase VI y Pared Norte), ha presentado concentraciones de cloruro inferiores al del grupo previo, variando en el rango 5 mg/l – 32 mg/l.
- Las aguas con calidad similar a las aguas no alteradas (caracterizadas por las estaciones WB-11, SWS6 y BC101) tienen registros de cloruro que han variado en el rango 16 mg/l – 111 mg/l.

En las quebradas Agua del Mote y Ciénaga Grande, la concentración de cloruro de las **aguas subterráneas** ha variado en los rangos 10 mg/l – 24 mg/l y 7 mg/l – 12 mg/l, respectivamente. Dichos valores son similares, aunque levemente inferiores, a los registrados en las aguas superficiales.

Respecto a las aguas de contacto y/o procesos, la concentración de cloruro es poco significativa respecto al total de sales disueltas que éstas presentan, principalmente en las aguas de mayor salinidad. Esto genera la existencia de una mayor homogeneidad espacial, respecto al parámetro.

- Los pozos MA-9 y MAC-03, característicos de aguas ácidas y de alta salinidad, han presentado concentraciones de cloruro variando regularmente en el rango 11 mg/l – 200 mg/l, con un registro puntual máximo igual a 400 mg/l. Cabe destacar que la concentración máxima del Subsector se verificó en el pozo MA-7, correspondiendo a 1.566 mg/l.
- Las aguas de contacto con calidad intermedia (caracterizadas por el pozo DDH604), muestran valores mínimo y máximo iguales a 58 mg/l y 83 mg/l, respectivamente.
- Respecto a los pozos cuya calidad de agua es similar a la de aguas no alteradas (caracterizada con los pozos PHQB01S, PHQB01P y PHQB02P), tienen registros de cloruro que han variado en el rango 11 mg/l – 125 mg/l. Cabe destacar que la concentración mínima medida en el Subsector (5 mg/l) se verificó en el pozo RC1423, el que pese a ubicarse en torno al rajo, presenta registros similares a los de aguas no alteradas.

### Cobre disuelto

En la Figura 3.2.9-12 y Figura 3.2.9-13 se presentan la variación espacial y temporal de la concentración de cobre disuelto en las aguas superficiales y subterráneas del Subsector Mina - Rajo, respectivamente.

Respecto a las **aguas superficiales** en condición no alteradas, en las quebradas Agua del Mote y Ciénaga Grande la concentración de cobre disuelto ha variado en los rangos <0,0002 mg/l – 16,2 mg/l y < 0,01 mg/l – 0,02 mg/l, respectivamente. Cabe destacar que el máximo registro (16,2 mg/l) fue verificado en la estación Socavón el año 1991.

En lo que respecta a las aguas de contacto y/o procesos de este Subsector, se agrupan del mismo modo que con los parámetros descritos en forma previa.

- Aguas ácidas y de alta salinidad: Las estaciones Fase V y SWS10 han presentado concentraciones de cobre disuelto en el rango 1.300 mg/l – 3.350 mg/l, mientras que el rango de variación en la estación SWS5 ha sido un orden de magnitud menor (289 mg/l – 443 mg/l). Las tres estaciones presentan tendencias decrecientes, aunque en las dos primeras hubo un incremento de concentración en los últimos registros de 2015.
- Aguas de contacto con calidad intermedia: Las estaciones Fase VI y Pared Norte presentan tendencias crecientes de la concentración de cobre disuelto. Los registros en éstas han variado en el rango 2 mg/l – 106 mg/l.

- Aguas con calidad similar a las no alteradas: Han variado en el rango 0,02 mg/l – 1,3 mg/l. Las menores concentraciones corresponden a la estación SWS6, mientras que las más altas fueron medidas en la estación BCI01.

En cuanto a las **aguas subterráneas** en condición no alterada, en las quebradas Agua del Mote y Ciénaga Grande la concentración de cobre disuelto ha variado en los rangos <0,0002 mg/l – 0,05 mg/l y <0,0002 mg/l – 0,2 mg/l, respectivamente.

En lo que respecta a las aguas de contacto y/o procesos de este Subsector, se agrupan del mismo modo que con los parámetros descritos en forma previa.

- Las máximas concentraciones de cobre disuelto en los pozos considerados para la caracterización corresponden a la estación MA-9, variando en el rango 12,8 mg/l – 1.020 mg/l. Cabe destacar que dicha estación presenta una tendencia decreciente en la concentración de este parámetro, correspondiendo el registro máximo a su primera medición de cobre disuelto (noviembre de 2013) y el mínimo a la última (enero de 2016). No se cuenta con registros validados de concentración de cobre disuelto para el pozo MAC03, de acuerdo a los criterios QA/QC señalados en Acápite 3.2.9.4.2.
- El pozo DDH604 presenta concentraciones de cobre disuelto inferiores a las del pozo MA-9, aunque con una tendencia creciente. Sus registros han variado entre 0,3 mg/l y 31 mg/l.
- En lo que respecta a los pozos PHQB01P y PHQB01S, el cobre disuelto ha variado en rangos similares, con una concentración mínima igual a 0,001 mg/l y una máxima de 0,3 mg/l. El pozo PHQB02P, en tanto, ha presentado una concentración máxima igual a 3,2 mg/l y una tendencia creciente en el tiempo.

### Cobre total

En la Figura 3.2.9-30 y Figura 3.2.9-31 se presentan la variación espacial y temporal de la concentración de cobre total en las aguas superficiales y subterráneas del Subsector Mina - Rajo, respectivamente.

Respecto a las **aguas superficiales** en condición no alteradas, en las quebradas Agua del Mote y Ciénaga Grande la concentración de cobre total ha variado en los rangos 0,003 mg/l – 16,3 mg/l y 0,03 mg/l – 0,9 mg/l, respectivamente.

En lo que respecta a las aguas de contacto y/o procesos de este Subsector, se agrupan del mismo modo que con los parámetros descritos en forma previa.

- Aguas ácidas y de alta salinidad: Las estaciones Fase V y SWS10 han presentado concentraciones de cobre total en el rango 1.300 mg/l – 4.310 mg/l, correspondiendo esta última a la máxima concentración verificada en el Subsector. Por otra parte, el rango de variación en la estación SWS5 ha sido un orden de magnitud menor (332 mg/l – 448 mg/l).



- Aguas de contacto con calidad intermedia: Las estaciones Fase VI y Pared Norte presentan tendencias crecientes de la concentración de cobre total. Los registros en éstas han variado en el rango 1,5 mg/l – 116 mg/l.
- Aguas con calidad similar a las no alteradas: En las estaciones consideradas para la caracterización de estas aguas, la concentración ha variado en el rango 0,06 mg/l – 2,0 mg/l. Las menores concentraciones correspondieron a SWS6 y las más altas a BCI01.

En cuanto a las **aguas subterráneas** en condición no alterada, en las quebradas Agua del Mote y Ciénaga Grande la concentración de cobre total ha variado en los rangos 0,009 mg/l – 0,2 mg/l y 0,006 mg/l – 0,4 mg/l, respectivamente.

En lo que respecta a las aguas de contacto y/o procesos de este Subsector, se agrupan del mismo modo que con los parámetros descritos en forma previa.

- Las máximas concentraciones de cobre total en los pozos considerados para la caracterización corresponden al pozo MA-9, variando en el rango 14 mg/l – 2.130 mg/l. El pozo MAC03, en tanto, ha variado en el rango 0,25 mg/l – 1.288 mg/l.
- El pozo DDH604, característico de aguas con condiciones intermedias, presenta concentraciones de cobre total en el rango 0,5 mg/l y 35 mg/l.
- Los pozos PHQB01P, PHQB01S y PHQB02P han presentado registros con concentraciones levemente superiores a la de las aguas no alteradas, variando en el rango 0,002 mg/l – 3,6 mg/l. Cabe señalar que en PHQB01P se ha verificado tendencia creciente de la concentración de cobre total en el tiempo.

### Hierro disuelto

En la Figura 3.2.9-16 y Figura 3.2.9-17 se presentan la variación espacial y temporal de la concentración de hierro disuelto en las aguas superficiales y subterráneas del Subsector Mina - Rajo, respectivamente.

Respecto a las **aguas superficiales**, en el caso de las aguas no alteradas, en las quebradas Agua del Mote y Ciénaga Grande la concentración de hierro disuelto ha variado en los rangos 0,02 mg/l – 0,3 mg/l y 0,3 mg/l – 1,6 mg/l, respectivamente. Cabe señalar que el máximo registro (1,6 mg/l) correspondió a la estación Ciénaga Grande (datos de 1991).

En lo que respecta a las aguas de contacto y/o procesos de este Subsector, se agrupan del mismo modo que los principales parámetros descritos en forma previa.

- Aguas ácidas y de alta salinidad: La concentración de hierro disuelto en las estaciones Fase V y SWS10 ha variado en el rango 509 mg/l – 2.060 mg/l. La estación SWS5, en tanto ha presentado concentraciones un orden de magnitud menor (87 mg/l – 577 mg/l).

- Aguas de contacto con calidad intermedia: Las estaciones Fase VI y Pared Norte han presentado concentraciones de hierro disuelto en un amplio rango: < 0,01 mg/l – 9,0 mg/l.
- Aguas con calidad similar a las no alteradas: Han variado en el rango 0,05 mg/l – 0,6 mg/l.

En las quebradas Agua del Mote y Ciénaga Grande, la concentración de hierro disuelto de las **aguas subterráneas** en condiciones no alteradas ha variado en los rangos <0,01 mg/l – 0,3 mg/l y <0,01 mg/l - 0,4 mg/l, respectivamente.

En lo que respecta a las aguas de contacto y/o procesos de este Subsector, se agrupan del mismo modo que los parámetros descritos en forma previa.

- Las máximas concentraciones de hierro disuelto en los pozos considerados para la caracterización, se registraron en la estación MA-9, variando en el rango 1,7 mg/l – 4.444 mg/l. Cabe destacar que ésta presentó una tendencia decreciente entre 2012 y 2014, período en el que registró sus valores extremos, siendo verificados los valores máximos en las campañas de monitoreo de 2012. No se cuenta con información de concentración de hierro disuelto para el pozo MAC03, de acuerdo a los criterios QA/QC señalados en Acápite 3.2.9.4.2.
- El pozo DDH604 presenta concentraciones de hierro disuelto inferiores a las del pozo MA-9, con una baja variabilidad temporal. Sus registros han variado entre 4,5 mg/l y 23,7 mg/l.
- Los pozos PHQB01P, PHQB01S y PHQB02P han presentado concentraciones similares a las de las aguas no alteradas, presentando una concentración mínima menor al L.D. (correspondiente a 0,01 mg/l) y una máxima igual a 0,3 mg/l (pozo PHQB01S).

### Hierro total

En la Figura 3.2.9-18 y Figura 3.2.9-19 se presentan la variación espacial y temporal de la concentración de hierro total en las aguas superficiales y subterráneas del Subsector Mina - Rajo, respectivamente.

Respecto a las **aguas superficiales**, en el caso de las aguas no alteradas, en las quebradas Agua del Mote y Ciénaga Grande la concentración de hierro total ha variado en los rangos 0,09 mg/l – 1,6 mg/l y 0,1 mg/l – 125 mg/l, respectivamente.

En lo que respecta a las aguas de contacto y/o procesos de este Subsector, se agrupan del mismo modo que los principales parámetros descritos en forma previa.

- Aguas ácidas y de alta salinidad: La concentración de hierro total en las estaciones Fase V y SWS10 ha variado en el rango 509 mg/l – 3.980 mg/l, correspondiendo este valor al máximo del Subsector. La estación SWS5, en tanto ha presentado concentraciones un orden de magnitud menores (87 mg/l – 577 mg/l).

- Aguas de contacto con calidad intermedia: Las estaciones Fase VI y Pared Norte han presentado concentraciones de hierro total en el rango 0,02 mg/l – 10 mg/l. Los menores registros en ambas coincidieron en el mismo período (entre marzo y septiembre de 2013).
- Aguas con calidad similar a las no alteradas: Han variado en el rango 0,08 mg/l – 1,7 mg/l, similar al de las aguas no alteradas de quebrada Aguas del Mote.

En las quebradas Agua del Mote y Ciénaga Grande, la concentración de hierro total de las **aguas subterráneas** en condiciones no alteradas ha variado en los rangos 0,8 mg/l – 7,0 mg/l y 0,07 mg/l - 7,6 mg/l, respectivamente.

En lo que respecta a las aguas de contacto y/o procesos de este Subsector, se agrupan del mismo modo que con los parámetros descritos en forma previa.

- La concentración de hierro total en los pozos MA-9 y MAC03 ha variado en el rango 0,08 mg/l – 860 mg/l, mostrando ambos pozos una dispersión considerable de los registros. Cabe señalar que la máxima concentración de hierro total en el Subsector se verificó en el pozo MA7, correspondiendo a 1.330 mg/l.
- El pozo DDH604, característico de aguas con calidad intermedia, presenta registros de concentración de hierro total normalmente inferiores a las de los pozos MA-9 y MAC03, con un rango de variación igual a 14 mg/l – 100 mg/l.
- Los pozos PHQB01P, PHQB01S y PHQB02P han presentado concentraciones similares a las de las aguas no alteradas, presentando una concentración mínima igual a 0,07 mg/l y una máxima igual a 4,7 mg/l, estando ambos registros asociados al pozo PHQB01P.

### Resumen

A modo de síntesis de los resultados presentados, a continuación se resume la descripción de la calidad de agua en el Subsector Mina – Rajo para los parámetros evaluados, por medio del uso de diferentes estadísticos, considerando entre otros el registro mínimo, el máximo y el P50 o mediana (ver metodología). En la elaboración de este resumen han sido incorporados los registros existentes en todos los puntos de monitoreo ubicados en este Subsector. Los resultados se presentan en la Tabla 3.2.9-4 y Tabla 3.2.9-5, diferenciándose entre la serie histórica, que considera todos los registros, y las mediciones realizadas desde 2015 en adelante (situación actual).

**Tabla 3.2.9-4. Resumen calidad de agua en Subsector Mina – Rajo, registros históricos.**

Tipo Agua	Valor	C.E.	Cl	Cu dis	Cu tot	Fe dis	Fe tot	pH	SO <sub>4</sub>
		µS/cm	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	UpH	mg/l
Aguas Superficiales	Mín.	194	5	< 0,0002	0,003	< 0,01	0,02	1,7	20
	P(10)	334	24	0,06	0,08	0,09	0,25	2,6	78
	P(50)	15.200	79	405	407	542	509	3,0	22.900
	P(90)	32.300	209	2.950	3.110	985	1.190	7,2	66.400
	Máx.	37.500	743	3.350	4.310	2.060	3.980	9,6	80.300
Aguas Subterráneas	Mín.	118	5	< 0,0002	0,002	< 0,01	0,05	1,0	23
	P(10)	253	19	0,009	0,1	0,03	0,3	2,8	60
	P(50)	5.020	91	0,8	97	3,9	16	3,7	4.050
	P(90)	37.780	157	270	832	85	125	6,8	29.110
	Máx.	103.700	1.566	1.020	2.130	4.444	1.330	10,9	65.690

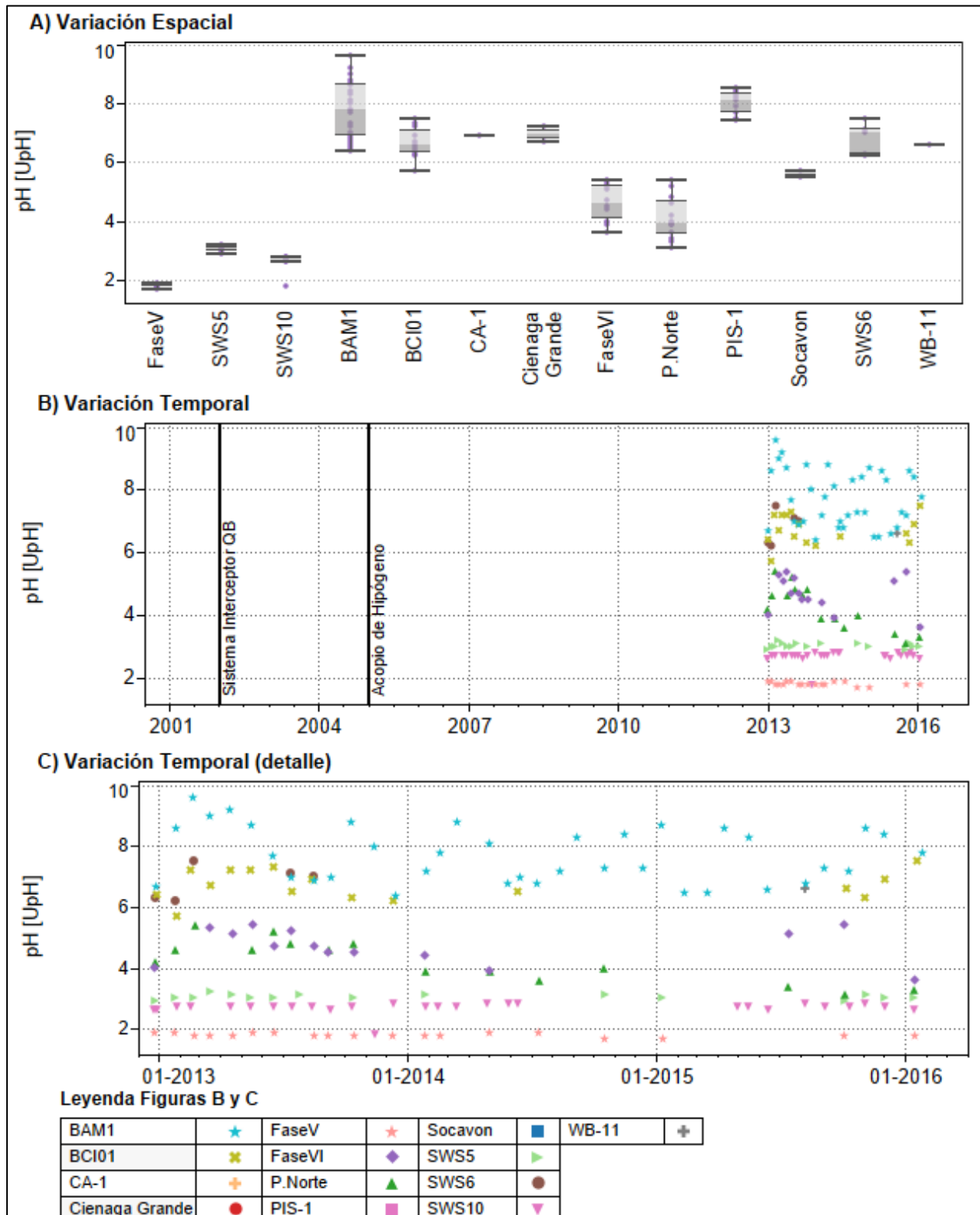
Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 3.2.9-5. Resumen calidad de agua en Subsector Mina – Rajo, registros 2015-2016.**

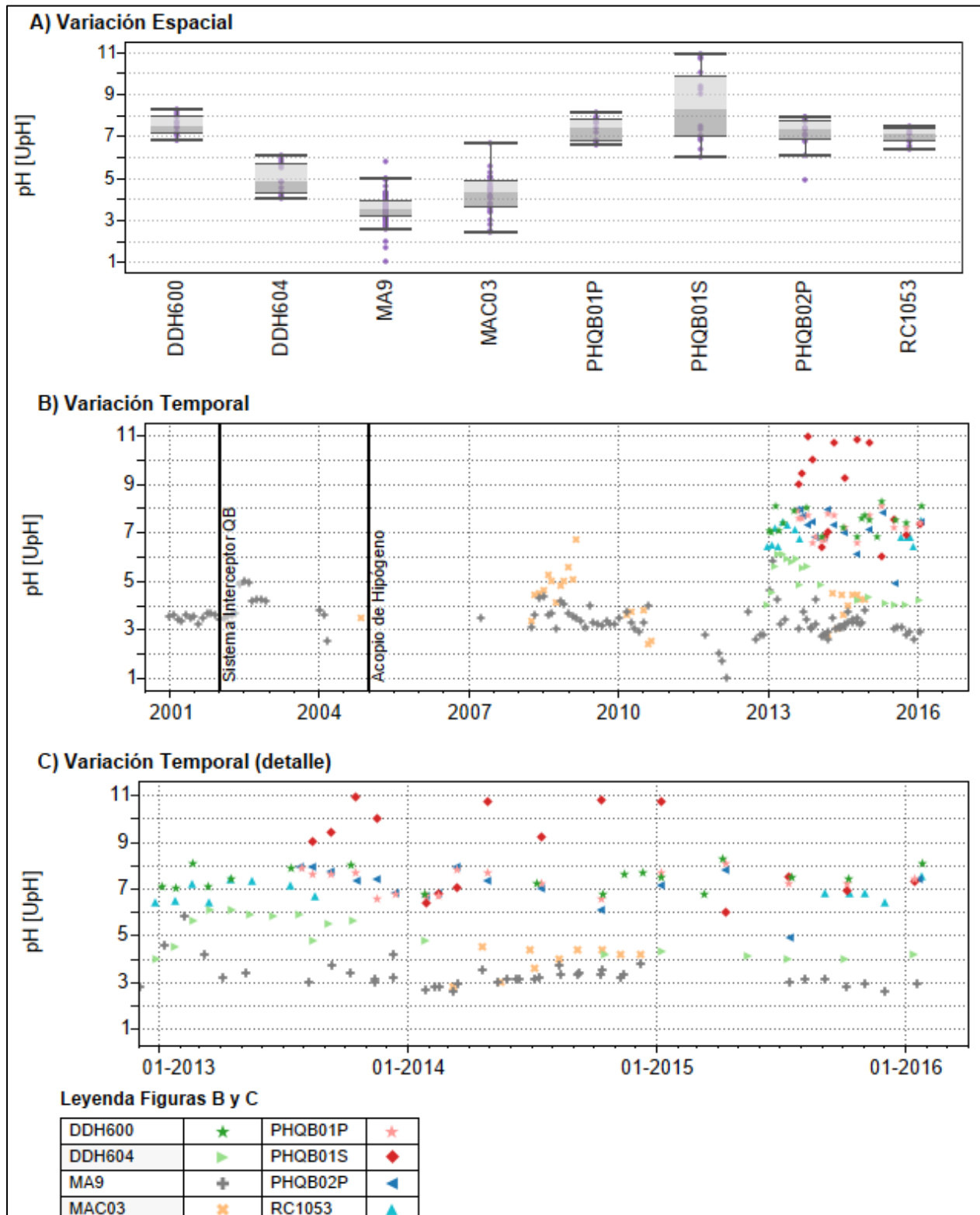
Tipo Agua	Valor	C.E.	Cl	Cu dis	Cu tot	Fe dis	Fe tot	pH	SO <sub>4</sub>
		µS/cm	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	UpH	mg/l
Aguas Superficiales	Mín.	211	5	< 0,0002	0,003	0,01	0,09	1,7	23
	P(10)	318	19	0,08	0,2	0,07	0,3	2,6	68
	P(50)	15.500	103	301	358	616	708	3,0	23.300
	P(90)	32.400	318	2.870	2.290	866	1.120	6,9	73.800
	Máx.	36.500	743	3.350	4.310	2.060	2.360	8,7	80.300
Aguas Subterráneas	Mín.	129	6	0,001	0,009	< 0,01	0,07	2,6	23
	P(10)	215	8	0,02	0,1	0,03	0,7	2,9	40
	P(50)	836	47	1,1	1,7	1,9	3,6	4,9	216
	P(90)	6.110	115	143	143	94	97	7,5	5.560
	Máx.	12.600	158	266	268	197	244	10,7	16.000

Fuente: Elaboración propia.

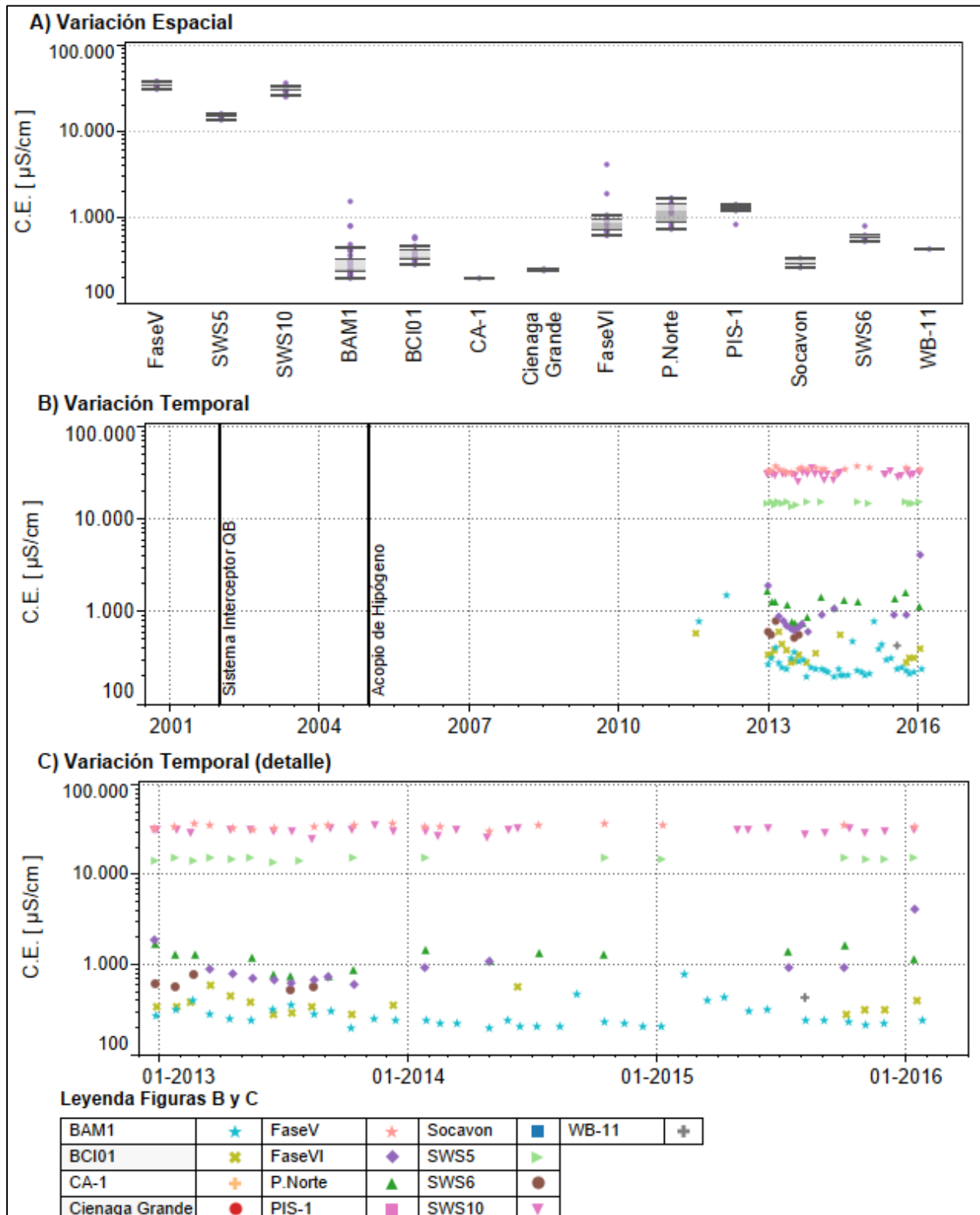
**Figura 3.2.9-4 Variación espacial y temporal del pH de las aguas superficiales del Subsector Mina - Rajo.**



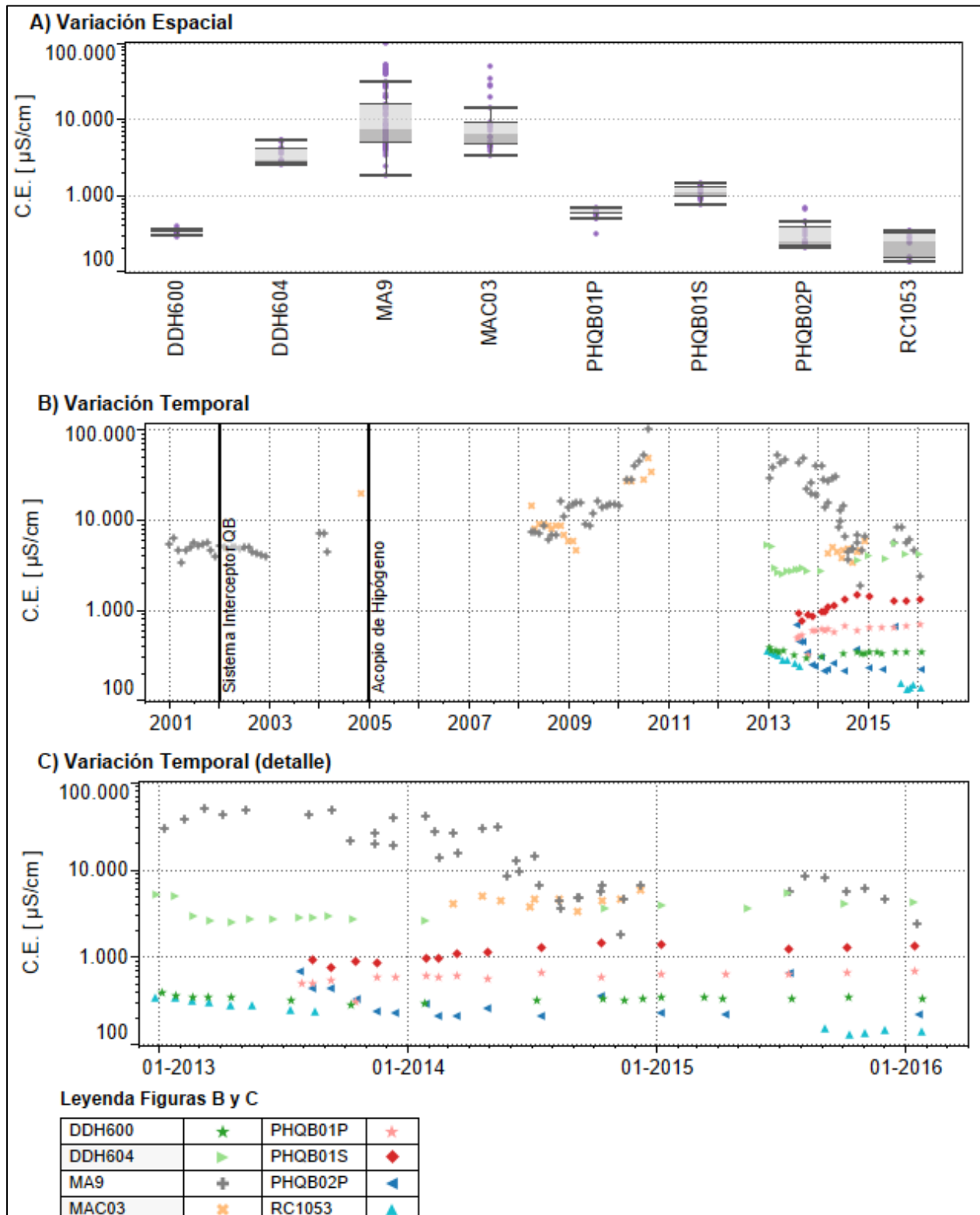
**Figura 3.2.9-5 Variación espacial y temporal del pH de las aguas subterráneas del Subsector Mina - Rajo.**



**Figura 3.2.9-6 Variación espacial y temporal de la CE de aguas superficiales del Subsector Mina - Rajo.**

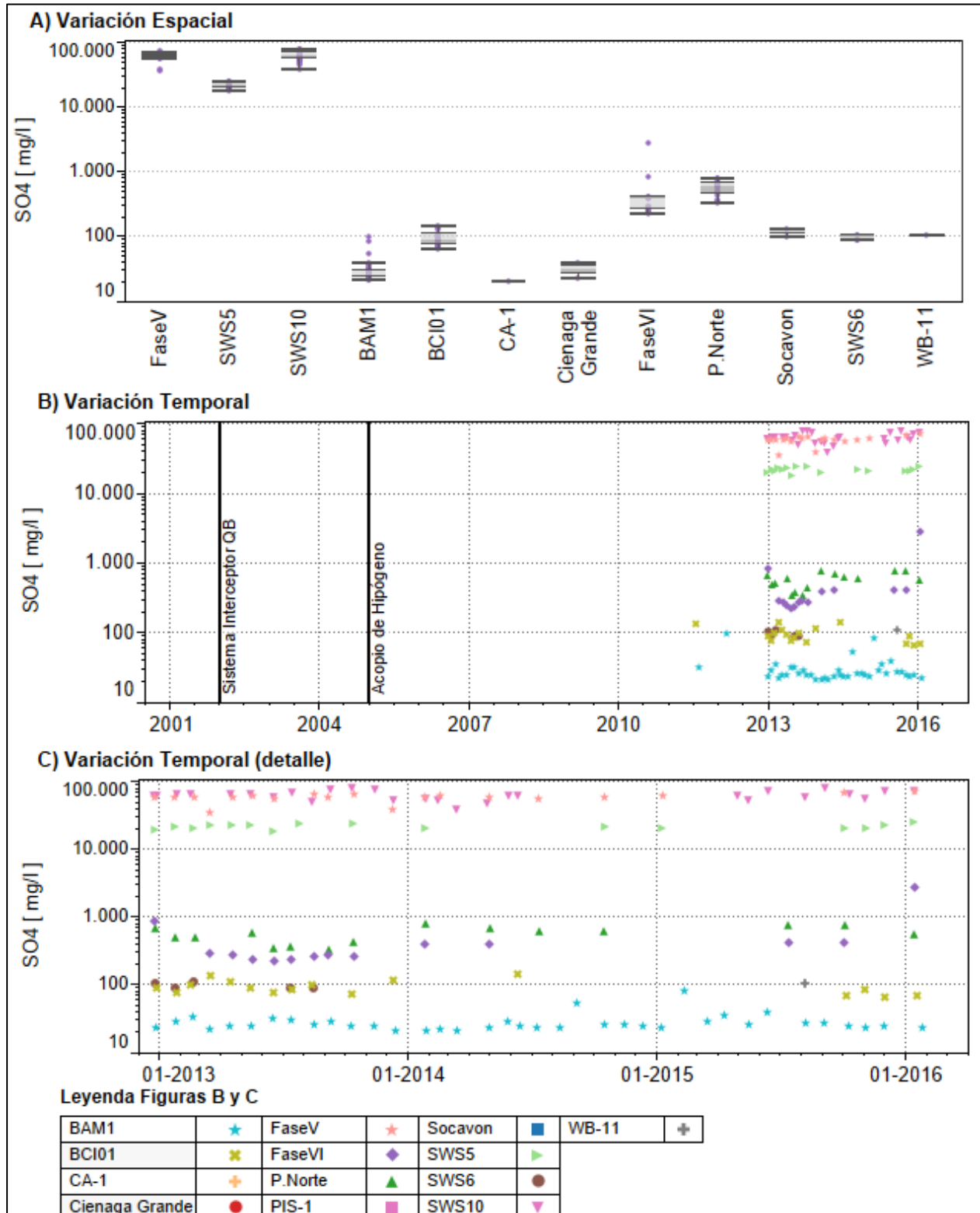


**Figura 3.2.9-7 Variación espacial y temporal de la CE de aguas subterráneas del Subsector Mina - Rajo.**

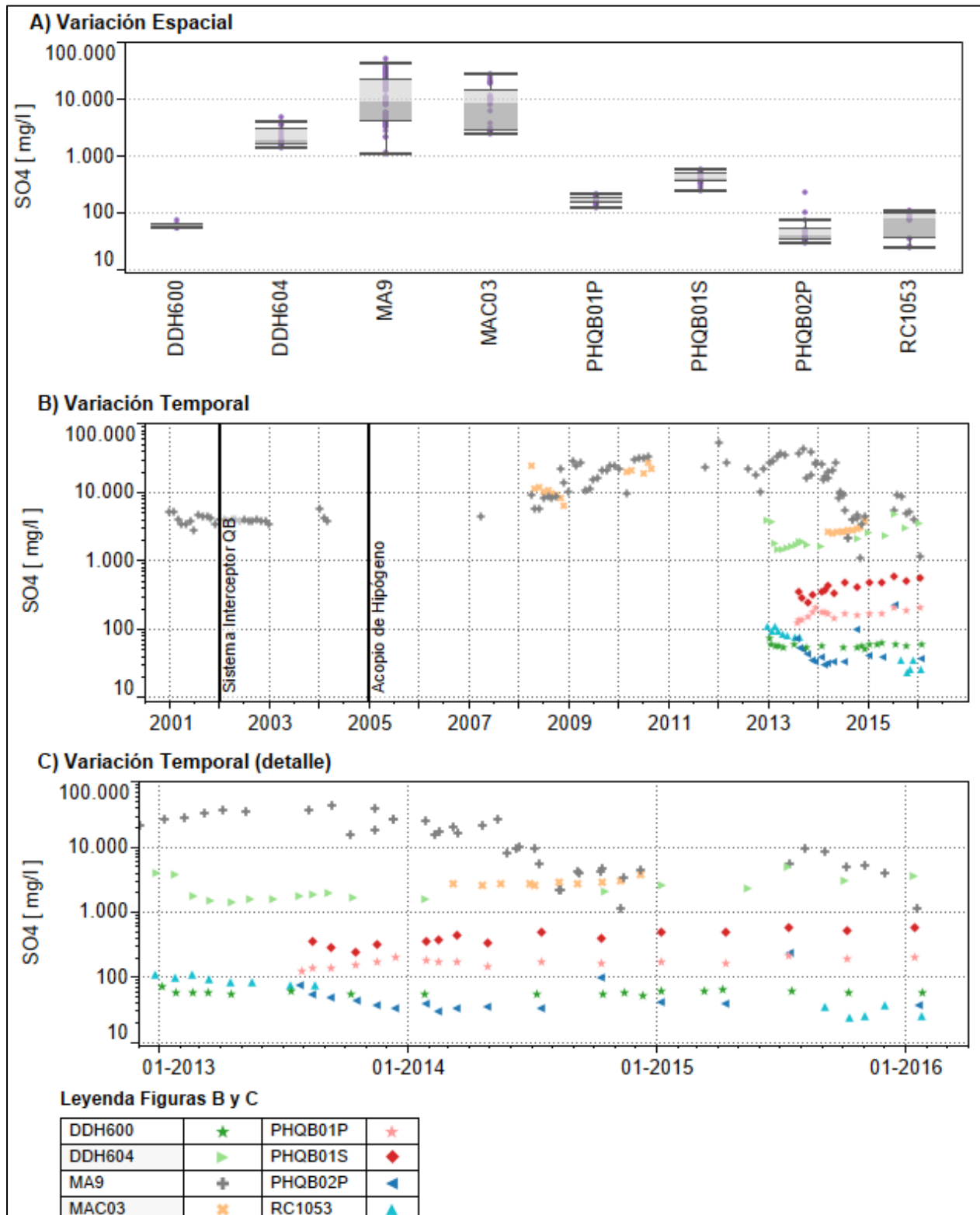




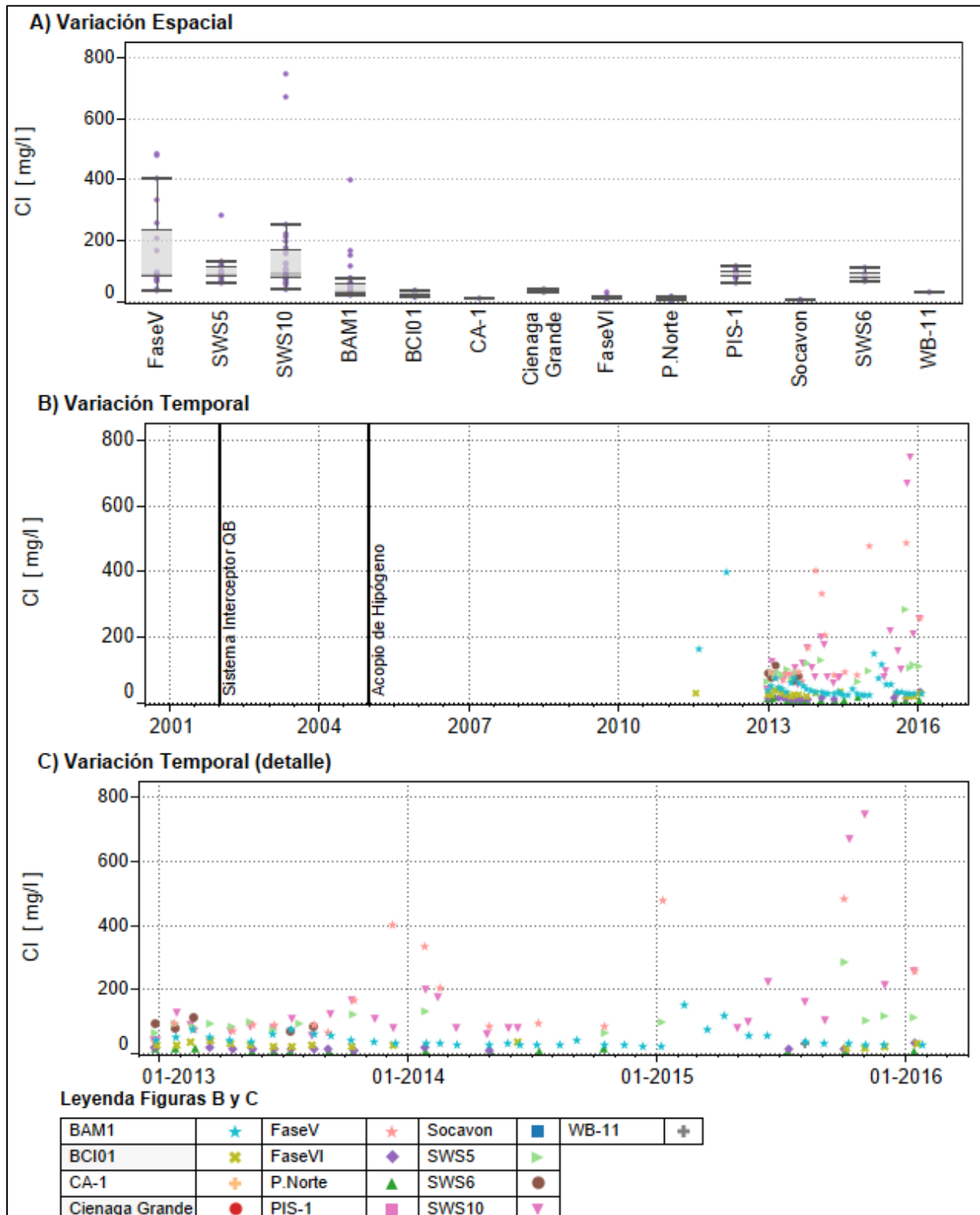
**Figura 3.2.9-8 Variación espacial y temporal de la concentración de sulfato en las aguas superficiales del Subsector Mina - Rajo.**



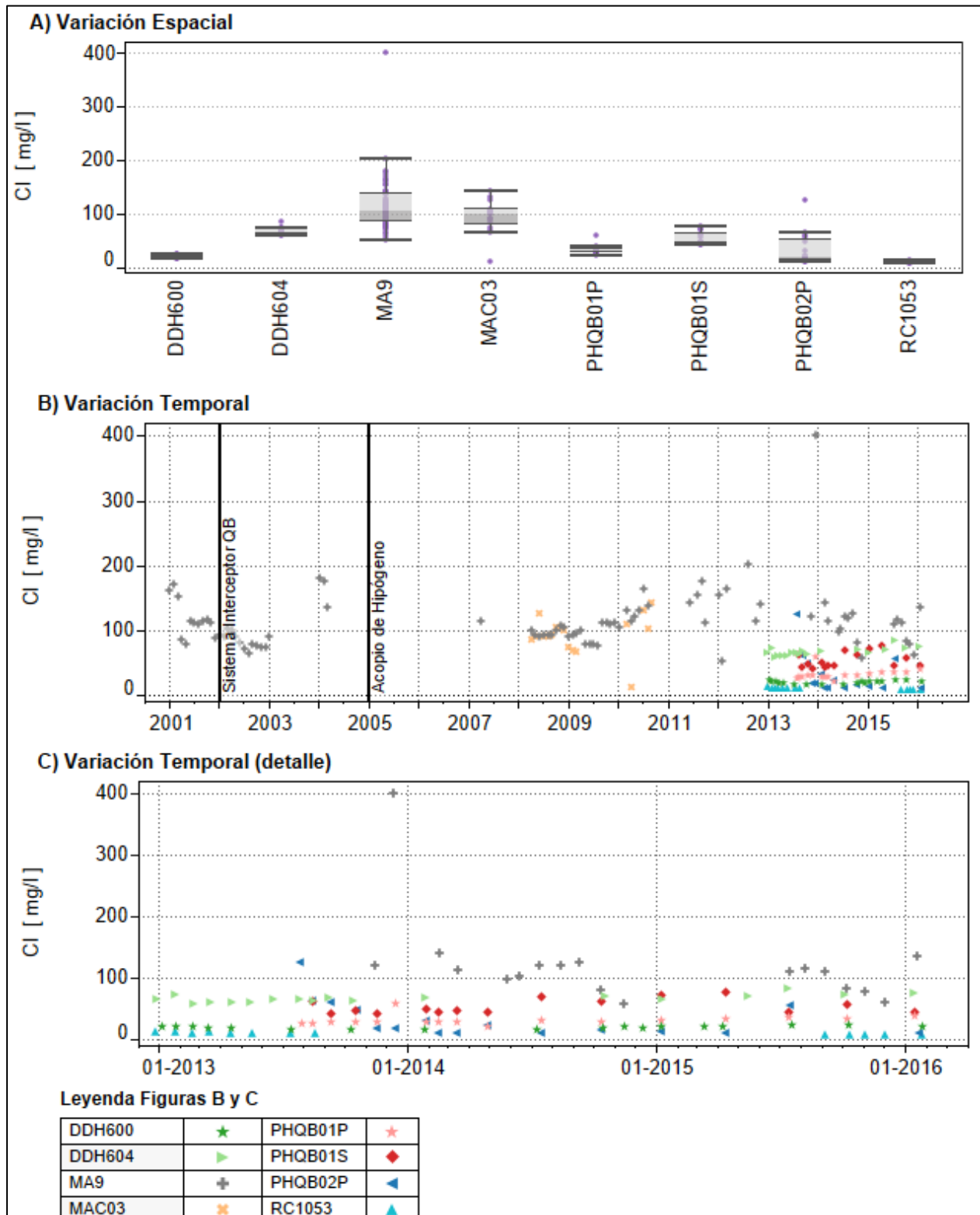
**Figura 3.2.9-9 Variación espacial y temporal de la concentración de sulfato en las aguas subterráneas del Subsector Mina - Rajo.**



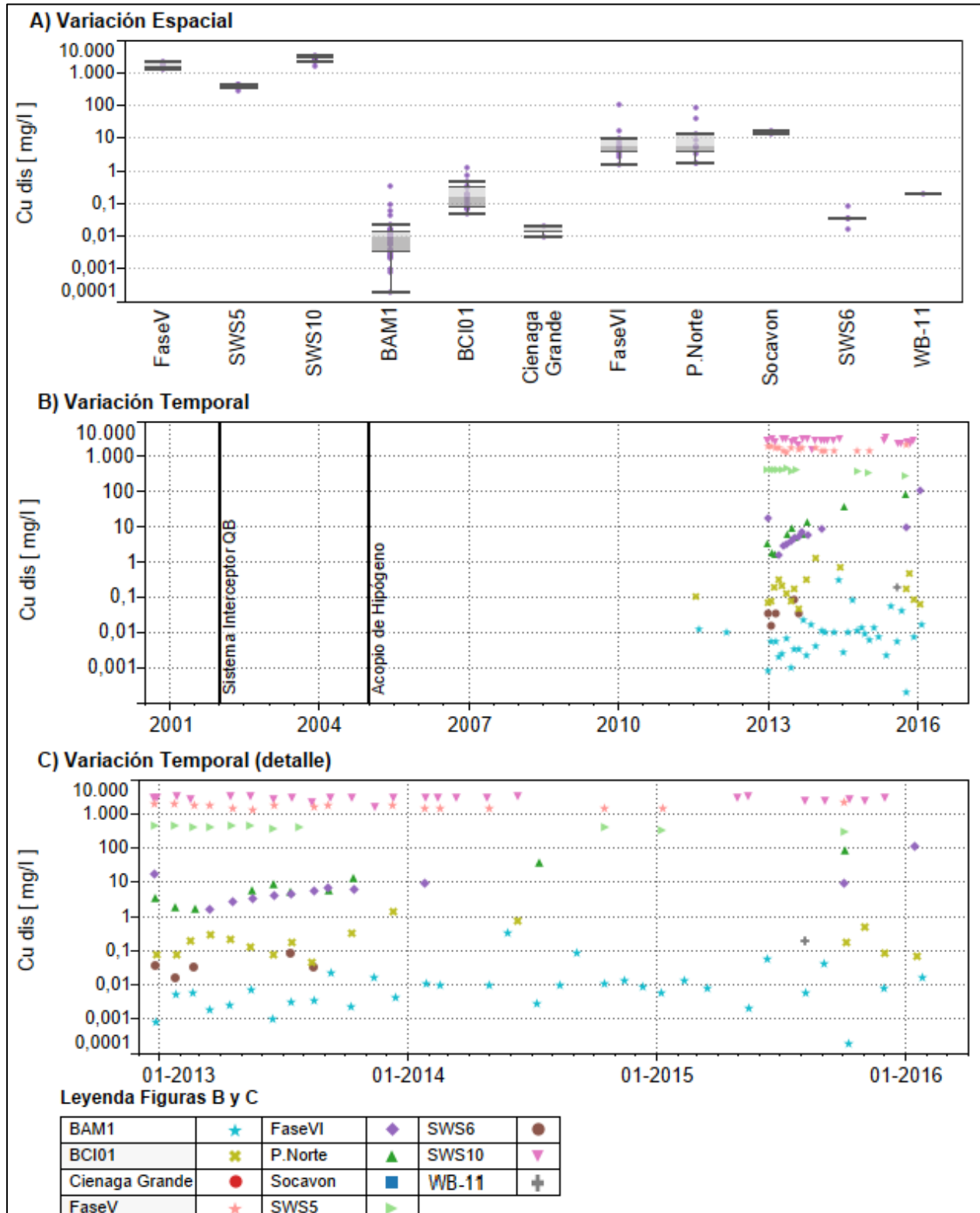
**Figura 3.2.9-10 Variación espacial y temporal de la concentración de cloruro en las aguas superficiales del Subsector Mina - Rajo.**



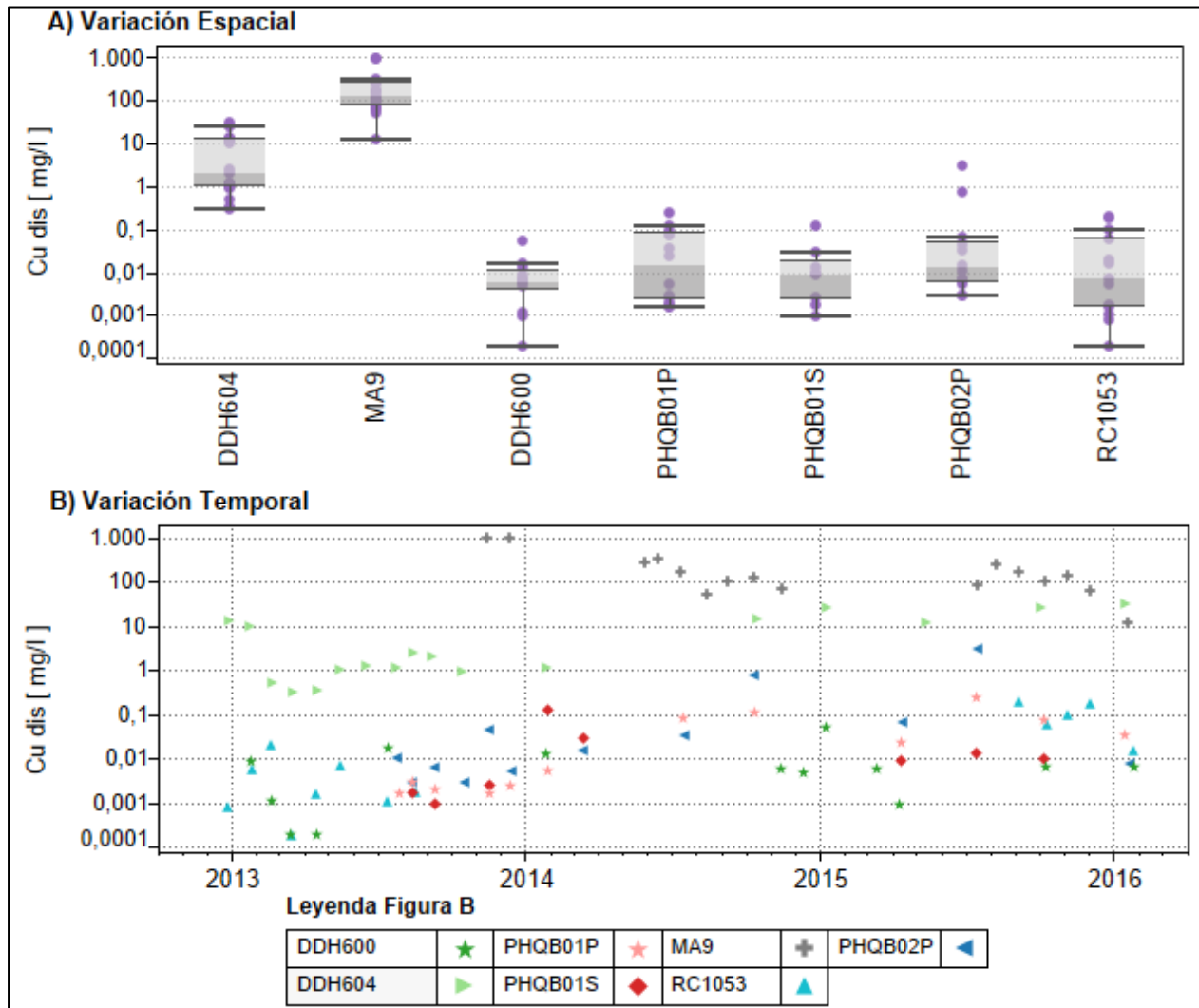
**Figura 3.2.9-11 Variación espacial y temporal de la concentración de cloruro en las aguas subterráneas del Subsector Mina - Rajo.**



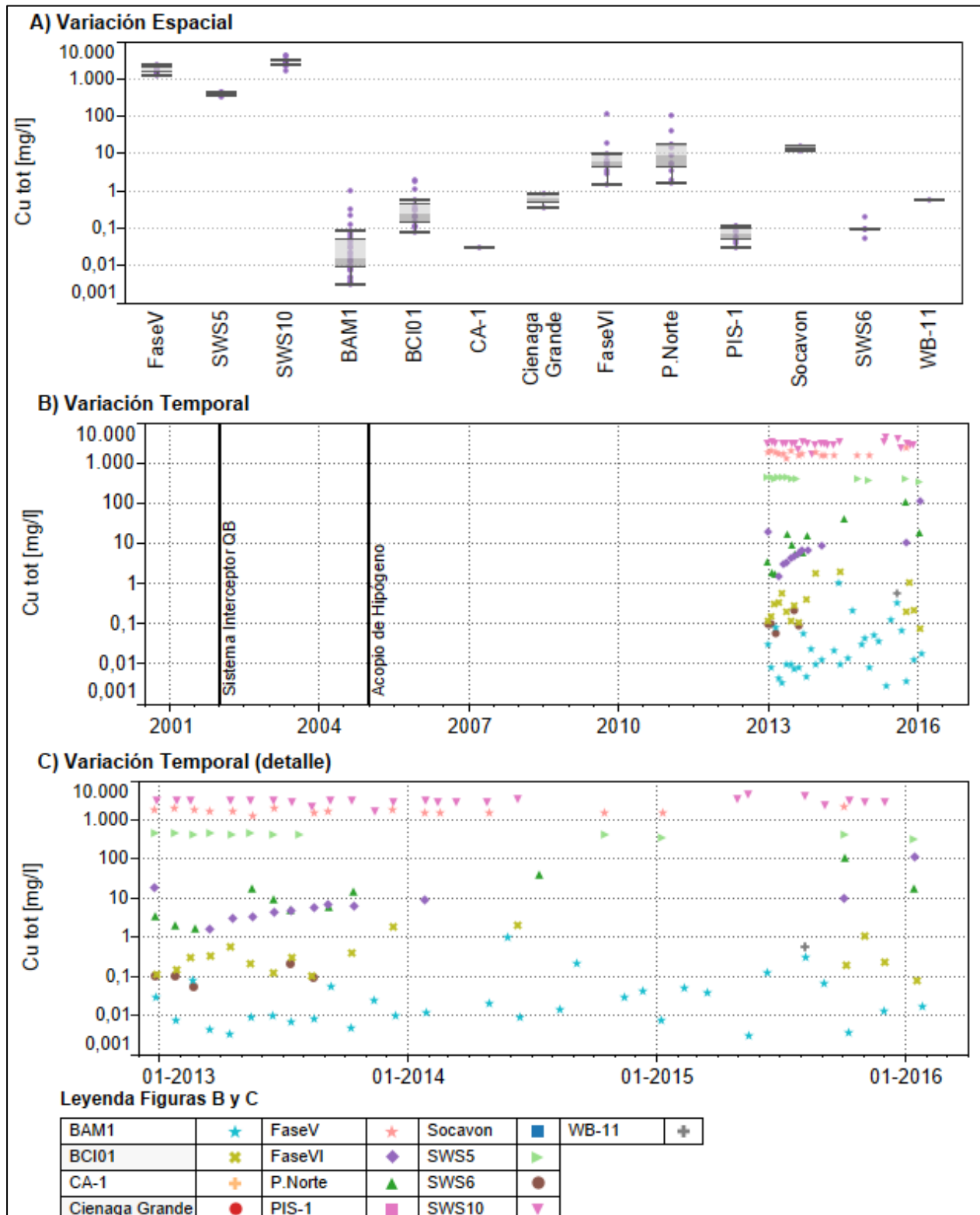
**Figura 3.2.9-12 Variación espacial y temporal de la concentración de cobre disuelto en las aguas superficiales del Subsector Mina - Rajo.**



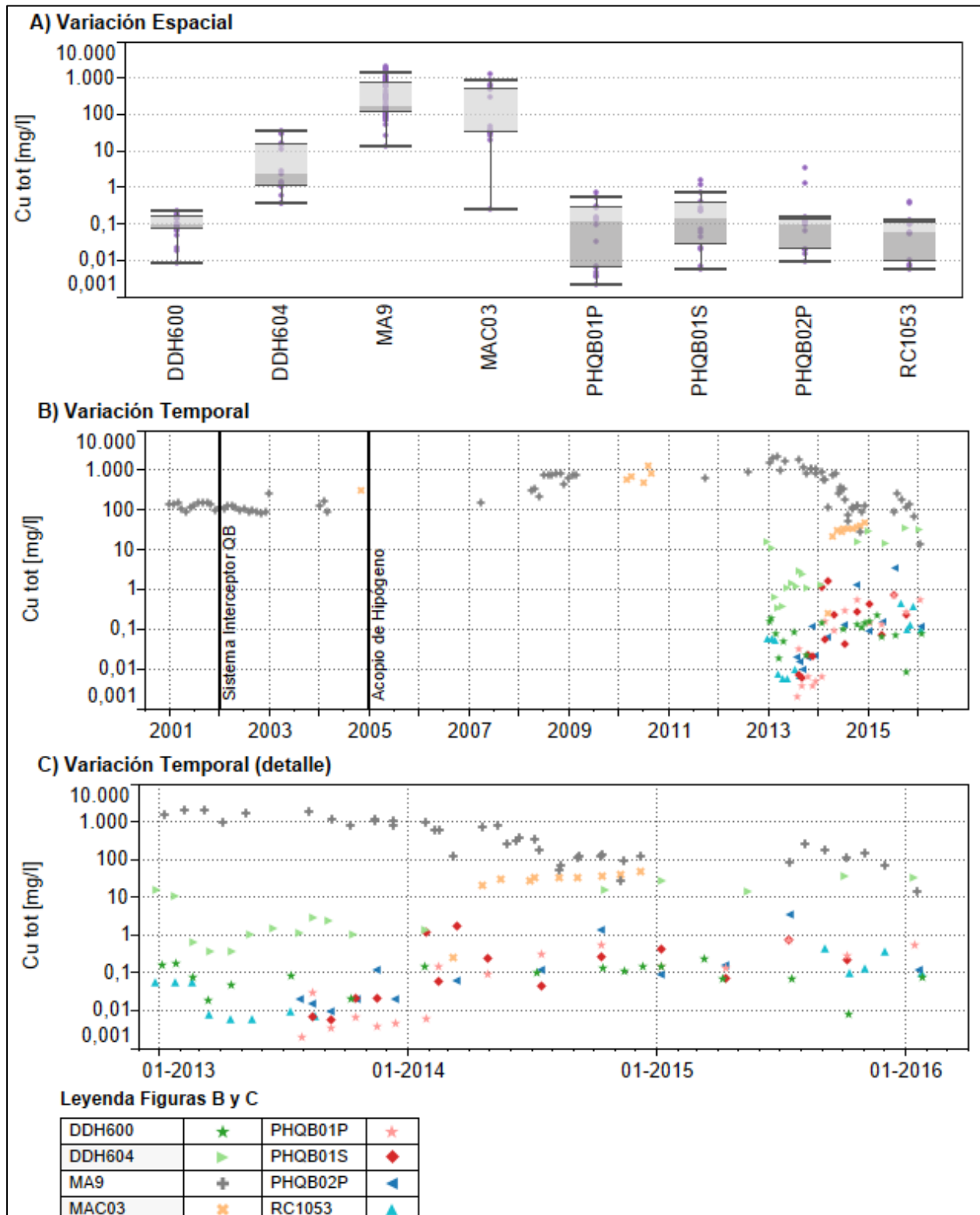
**Figura 3.2.9-13 Variación espacial y temporal de la concentración de cobre disuelto en las aguas subterráneas del Subsector Mina - Rajo.**



**Figura 3.2.9-14 Variación espacial y temporal de la concentración de cobre total en las aguas superficiales del Subsector Mina - Rajo.**

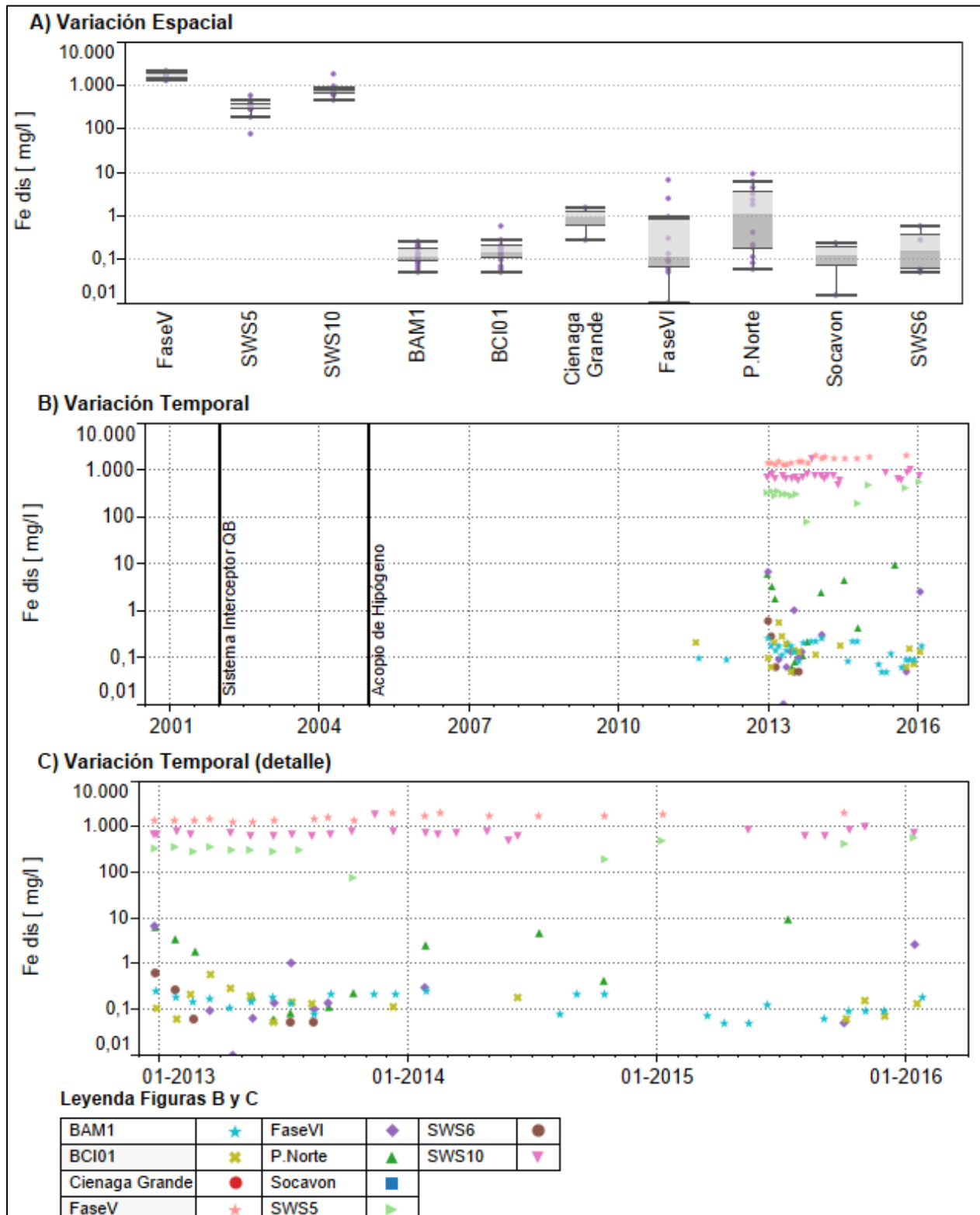


**Figura 3.2.9-15 Variación espacial y temporal de la concentración de cobre total en las aguas subterráneas del Subsector Mina - Rajo.**

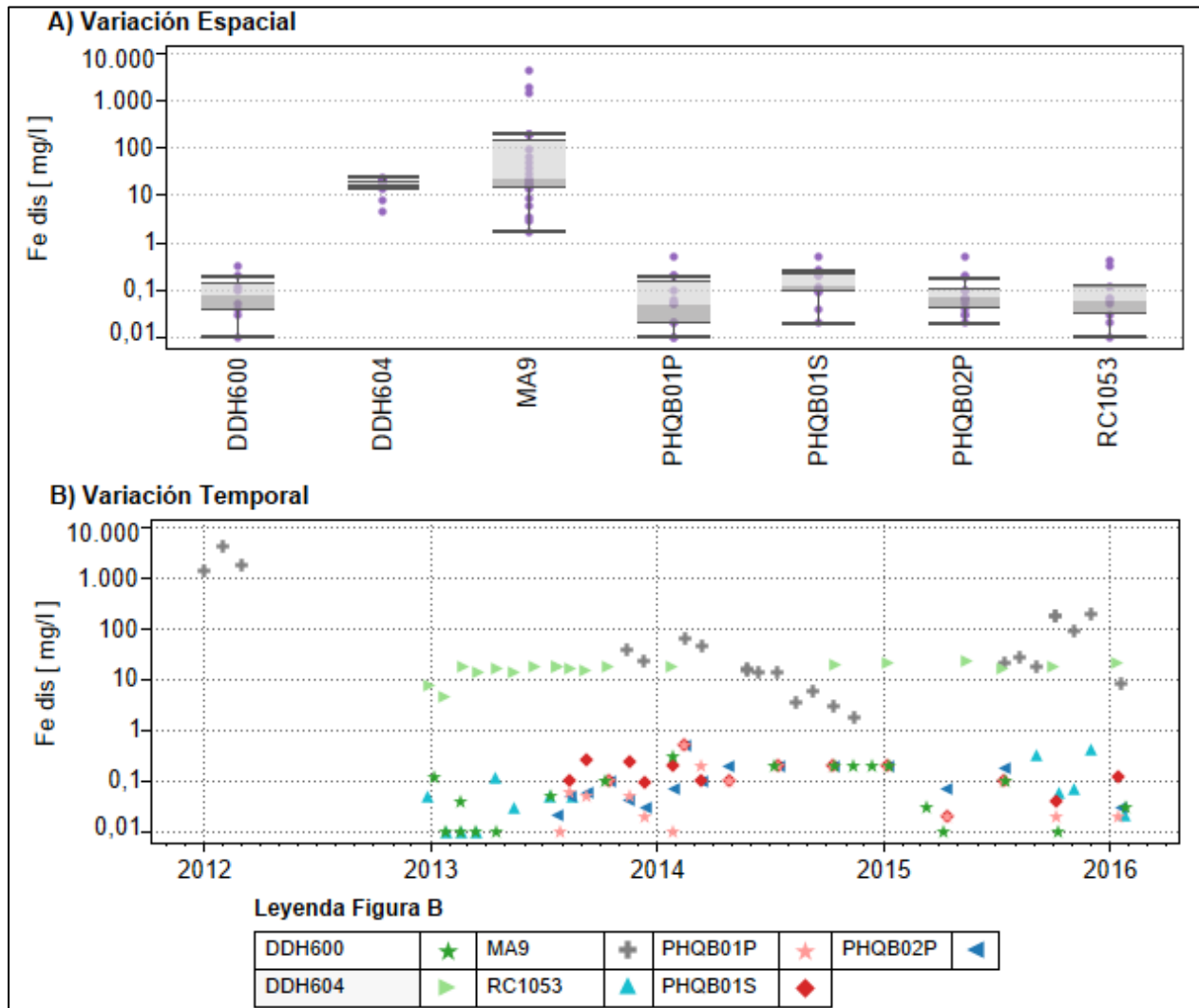




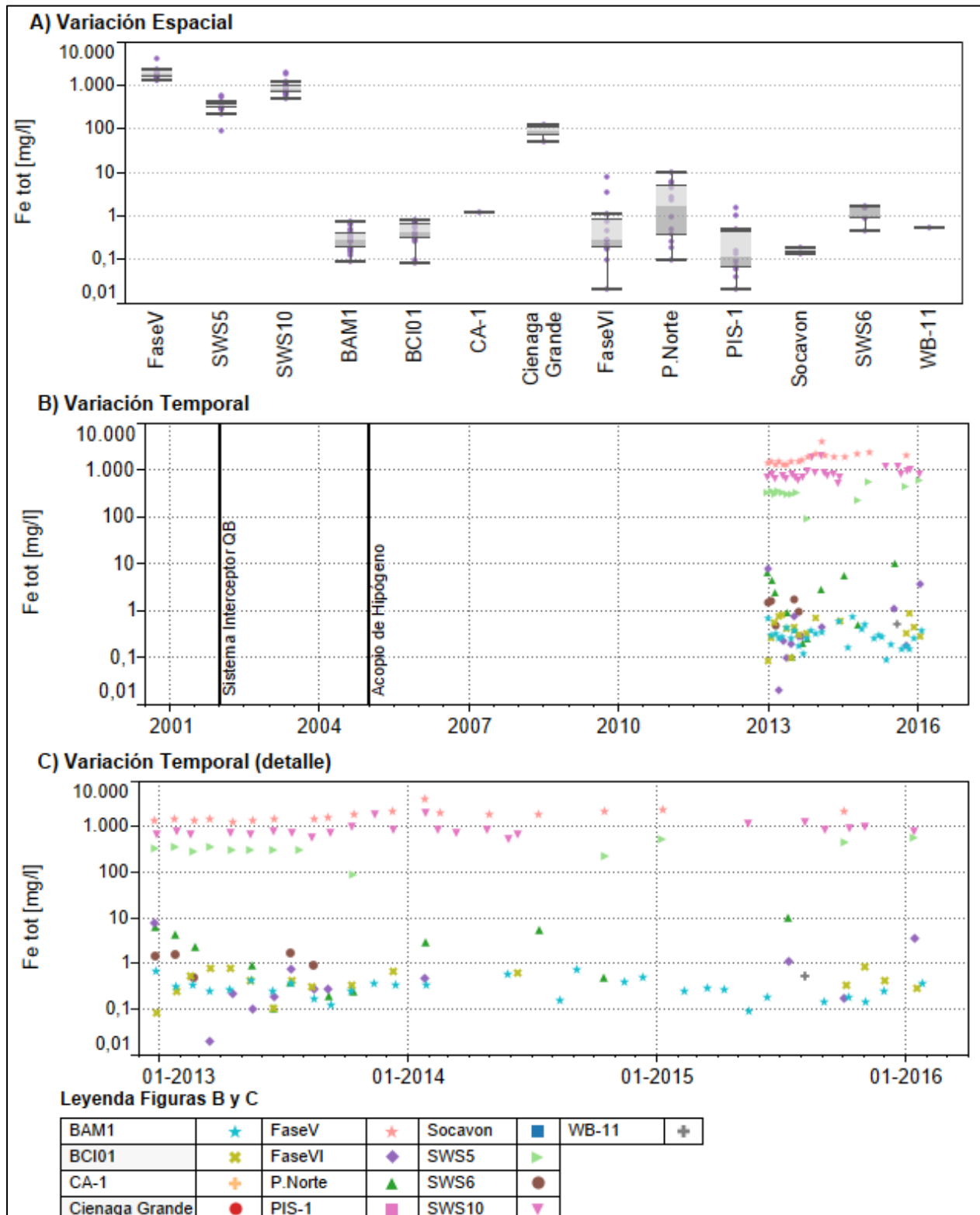
**Figura 3.2.9-16 Variación espacial y temporal de la concentración de hierro disuelto en las aguas superficiales del Subsector Mina - Rajo.**



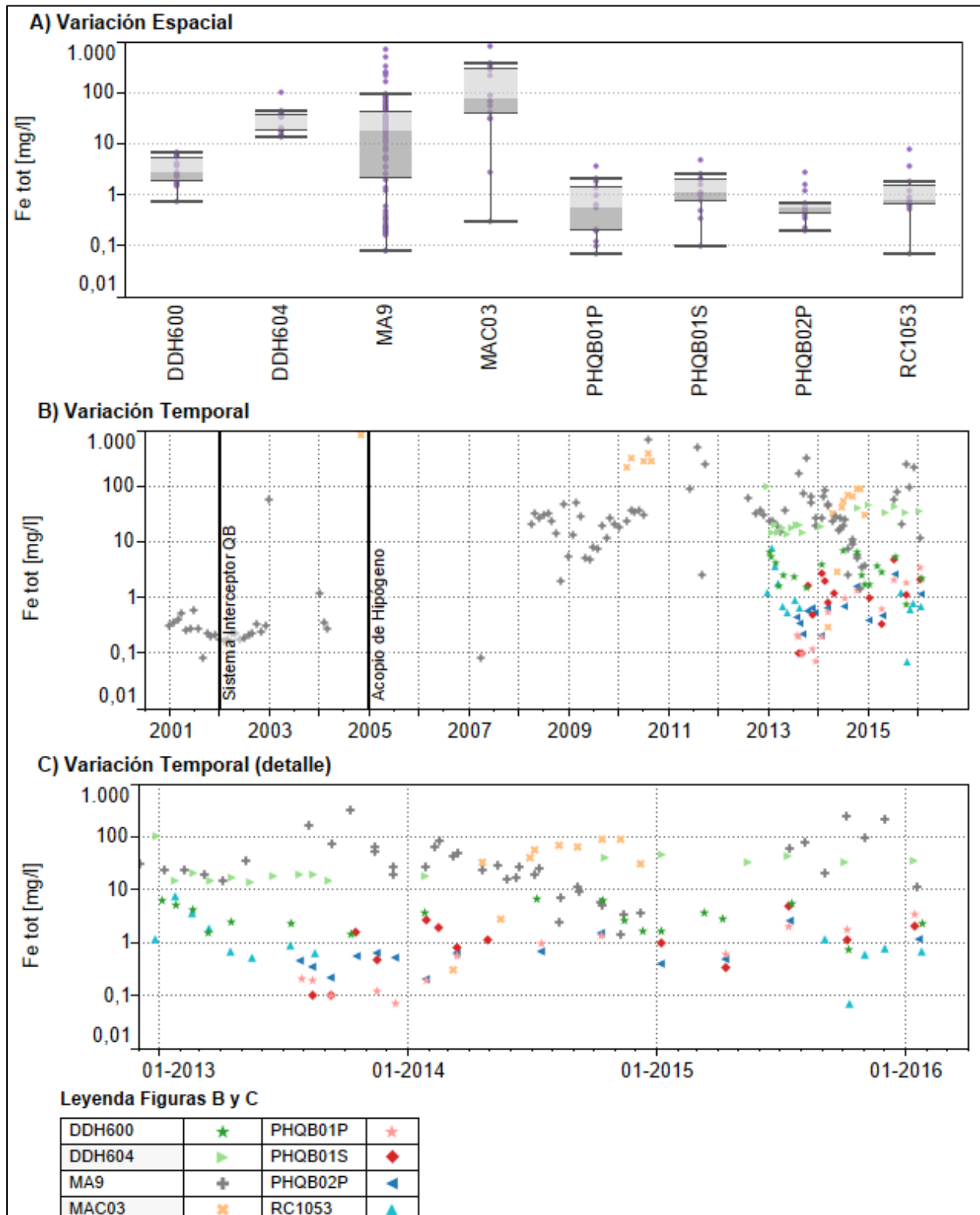
**Figura 3.2.9-17 Variación espacial y temporal de la concentración de hierro disuelto en las aguas subterráneas del Subsector Mina - Rajo.**



**Figura 3.2.9-18 Variación espacial y temporal de la concentración de hierro total en las aguas superficiales del Subsector Mina - Rajo.**



**Figura 3.2.9-19 Variación espacial y temporal de la concentración de hierro total en las aguas subterráneas del Subsector Mina - Rajo.**



## a.2) Subsector Mina - Q.Blanca

El Subsector Mina - Q.Blanca corresponde al tramo de la subcuenca de quebrada Blanca donde se ubican instalaciones asociadas a las actividades mineras, considerando desde el Botadero de Lixiviación de Sulfuros, hasta el final del Sistema Cortafugas N° 1. El límite sur de este Subsector está referencialmente definido por la estación de monitoreo de aguas superficiales PIS-3.

Tal como en el Subsector Mina - Rajo, la calidad de las aguas de este subsector es altamente variable, dependiendo de si está o no asociada a alguna instalación minera, del tipo de instalación a la que se asocia y de su relación con la misma.

El detalle de las estaciones de calidad de agua existentes en el Subsector Mina - Q.Blanca se presenta en la Figura 3.2.9-3 y en la Tabla 3.2.9-3.

De igual forma que para el Subsector Mina - Rajo, para la presentación gráfica de los resultados no fueron considerados todos los puntos de monitoreo existentes, usando los puntos de mayor representatividad. En particular, para las aguas superficiales no se incluyen los puntos Ciénaga y MO-8, por corresponder a descargas de PTAS. Considerando lo anterior, existe la posibilidad de que en algunos parámetros la concentración máxima del Subsector no se vea representada en las figuras asociadas a la variación de cada parámetro evaluado. De todos modos, en las Tablas de Síntesis (Tabla 3.2.9-6 y Tabla 3.2.9-7) han sido incluidos todos los puntos de monitoreo.

Cabe señalar que aunque fueron consideradas todas las estaciones para la caracterización de la calidad de agua del Subsector, el foco del análisis del texto correspondió a las indicadas en la Tabla 3.2.9-3, consideradas como representativas de la variación espacial y temporal de la calidad de agua.

### pH

En la Figura 3.2.9-20 y Figura 3.2.9-21 se presentan la variación espacial y temporal del pH de las aguas superficiales y subterráneas del Subsector Mina - Q.Blanca, respectivamente. Cabe destacar que en la Figura 3.2.9-21 se incluyen los pozos CW-DDH-1A y CW-DDH-1B, con la denominación DDH-1A y DDH-1B. Esto es válido para todas las figuras asociadas a la descripción de las aguas subterráneas de este Subsector.

En lo que respecta a las **aguas superficiales**, en el sector de las Piscinas Gemelas (punto de monitoreo SWS11), se aprecian condiciones de aguas fuertemente ácidas, variando el pH regularmente entre 1,7 UpH y 1,9 UpH, con un máximo igual a 2,7 UpH.

Las aguas superficiales de Quebrada Blanca hacia aguas abajo, han sido caracterizadas a partir de las estaciones de monitoreo Quebrada Blanca, PIS-3, M5(1)sp y QCH01. Las dos primeras fueron consideradas para la definición de la Línea Base de la Actualización Proyecto Minero Quebrada Blanca, específicamente en la quebrada Blanca (Anexo 1.4 de Adenda N° 3 del EIA

QB1. Ver Acápito 3.2.9.5.3). La estación Quebrada Blanca cuenta con registros de 1991, mientras que PIS-3, ubicada cerca del límite sur del Sistema Cortafugas N° 1, tiene mediciones de 1994. Las estaciones restantes se ubican aguas arriba de la Piscina de control QB y a unos 200 m aguas arriba de PIS-3, respectivamente.

La calidad del agua en este tramo, aguas abajo de las Piscinas Gemelas, ha presentado una alta variabilidad. El registro mínimo del pH fue igual a 2,9 UpH (condición puntual verificada en la estación M5(1)sp), mientras que los máximos correspondieron a 8,8 UpH (estación Ciénaga) y 8,6 UpH (estación PIS-3). En cuanto a los registros de la estación Quebrada Blanca, estos variaron dentro del rango descrito (4,4 UpH – 4,6 UpH), correspondiendo a aguas moderadamente ácidas.

Respecto a las **aguas subterráneas**, tal como en las superficiales, existen diferentes tipos de agua. En el sector del Botadero de Lixiviación de Sulfuros (pozo RC1297A), las aguas son ácidas, variando entre 1,4 UpH y 3 UpH, mientras que a un costado de dicho botadero (pozo RC1228), las aguas presentan valores de pH más altos, con aguas que regularmente han variado entre neutras y moderadamente alcalinas, con un pH máximo igual a 7,8 UpH, y registros puntuales de mayor acidez, presentando un valor mínimo igual a 4 UpH.

En el sector de la Cortina Hidráulica N° 1, e inmediatamente aguas abajo, se han considerado los pozos M4(1), M4(2), M5(1), PB1 y PB2 como característicos de este tramo. Las aguas han sido regularmente ácidas, variando el pH normalmente entre 3 UpH y 4 UpH, con algunos registros puntuales superiores y un mínimo igual a 1,2 UpH. Las aguas de los pozos PB2 y M5(1) han presentado algunas diferencias respecto a lo descrito. El primero se ubica a un costado del eje de quebrada Blanca, presentando un rango de variación más amplio, entre 2,8 UpH y 6,1 UpH, mientras que M5(1) contó con una serie de mediciones en torno a 6 UpH (máximo igual 8,3) durante 2012-2013, valores que no se correspondieron con los restantes pozos.

Hacia aguas abajo, la calidad de agua ha sido variable. Los pozos MA5 y M5(2) han presentado registros que en su mayoría han estado en el rango 3 UpH – 4 UpH. Otros pozos, en tanto, han presentado aguas variando en rangos moderadamente ácidos a moderadamente alcalinos (pozos PM-RC-0A, PM-RC-0B, CW-DDH-1A, CW-DDH-1B, todos con registros a partir de 2014), con valores de pH que, salvo algunos registros puntuales, han variado entre 6,2 UpH y 8,3 UpH. El máximo valor de pH registrado ha correspondido al pozo CW-DDH-2A (8,4 UpH). Cabe destacar que dichos valores son similares a los registros de las aguas superficiales, considerando el período común de mediciones entre ambas.

Tal como fue señalado previamente, la calidad de las aguas en el tramo ubicado aguas abajo de la Cortina Hidráulica N° 1, está influenciada por la operación de ésta. Al respecto, se destaca la existencia de una tendencia creciente del pH en los últimos años en pozos ubicados en este Subsector. En torno a la Cortina Hidráulica N° 1, dicha tendencia fue leve y se extendió desde 2014, hasta los primeros meses de 2015. Otros pozos ubicados aguas abajo presentaron una variación similar (por ejemplo, MA5 y M5(2)). En pozos con aguas de mayor pH la tendencia

creciente ha sido de mayor magnitud, extendiéndose desde 2014, hasta los últimos registros de 2016.

### Conductividad eléctrica

En la Figura 3.2.9-22 y Figura 3.2.9-23 se presentan la variación espacial y temporal de la CE de las aguas superficiales y subterráneas del Subsector Mina - Q.Blanca, respectivamente.

En lo que respecta a las **aguas superficiales**, en las Piscinas Gemelas son altamente salinas, presentando concentraciones de CE que han variado entre 32.300  $\mu\text{S/cm}$  – 37.600  $\mu\text{S/cm}$ .

Aguas abajo de la actual Cortina Hidráulica N° 1, las aguas han presentado una alta variabilidad en la concentración de sales disueltas, correspondiendo los registros máximo y mínimo de la CE a 722  $\mu\text{S/cm}$  y 18.400  $\mu\text{S/cm}$ , respectivamente, aunque los datos se concentraron regularmente en torno a 1.000  $\mu\text{S/cm}$  – 2.000  $\mu\text{S/cm}$ , en el rango de aguas levemente salinas. Al respecto, los dos registros de la estación Quebrada Blanca correspondieron a 1.740  $\mu\text{S/cm}$  y 1.780  $\mu\text{S/cm}$ , mientras que las mediciones en la estación PIS-3 variaron en el rango 1.043  $\mu\text{S/cm}$  – 1.415  $\mu\text{S/cm}$ .

De acuerdo a lo descrito, la variación temporal de la CE de las aguas superficiales estaría influenciada por la operación de la Cortina Hidráulica N° 1. Al respecto, la estación QCH01 presentó sus máximos registros entre diciembre de 2012 y agosto de 2013 (14.200  $\mu\text{S/cm}$  – 18.400  $\mu\text{S/cm}$ ), con valores similares a los de los pozos M4(1) y M4(2), entre otros. En forma previa, dicha estación contó con dos registros, los que fueron inferiores a 2.500  $\mu\text{S/cm}$ , lo que coincidió con un descenso de los registros en pozos de la Cortina Hidráulica. Adicionalmente, durante 2015, las mediciones en QCH01 se mantuvieron inferiores a 2.000  $\mu\text{S/cm}$ , lo que fue consistente con un descenso significativo de la CE de las aguas subterráneas hasta los primeros meses de 2015. Además de la variación temporal descrita para la estación QCH01, se verificó un incremento considerable de la CE en M5(1)sp durante octubre de 2012, aumentando desde valores en el rango 1.000  $\mu\text{S/cm}$  – 2.000  $\mu\text{S/cm}$  a registros superiores a 16.000  $\mu\text{S/cm}$ .

Respecto a las **aguas subterráneas**, en el sector del Botadero de Lixiviación de Sulfuros la CE alcanzó un valor máximo igual a 51.600  $\mu\text{S/cm}$ , aunque a un costado de este, las aguas han presentado una menor concentración de sales disueltas, variando la CE entre 860  $\mu\text{S/cm}$  y 2.430  $\mu\text{S/cm}$ . Aguas abajo, en torno a las Piscinas Gemelas, se presentó el registro máximo en el Subsector, igual a 143.800  $\mu\text{S/cm}$ , correspondiente al pozo MA4.

En el sector de la Cortina Hidráulica N° 1, e inmediatamente aguas abajo, se aprecia el efecto de su operación sobre la calidad de agua, variando la CE de manera significativa, con un registro mínimo en el rango de agua dulce (588  $\mu\text{S/cm}$ ) y un máximo en el de salmuera (76.988  $\mu\text{S/cm}$ ). Esto también se verifica, de manera más suavizada, hacia aguas abajo en algunos tramos acotados, como el asociado al pozo M5(2), que presenta varios valores con CE superiores a 15.000  $\mu\text{S/cm}$  (máximo igual a 18.500  $\mu\text{S/cm}$ ), así como otros en torno a 2.000  $\mu\text{S/cm}$ . De todos modos, la condición general aguas abajo de la Cortina Hidráulica N° 1 se ha correspondido con

aguas en el rango intermedio entre dulces y moderadamente salinas, con un rango de variación normal correspondiente a 1.000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  - 4.000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

Respecto a la variación temporal de la CE, se observa una tendencia común en diferentes tramos de este Subsector, la que está asociada a la operación de la Cortina Hidráulica N° 1. Entre 2009 y 2010 hubo una tendencia decreciente, apreciable en el sector de la Cortina Hidráulica N° 1, que en algunos pozos se extendió hasta los primeros meses de 2011. A partir de 2011 se generó un incremento significativo de la CE, el que se mantuvo durante 2012 y parte de 2013. En dicho período se alcanzaron los máximos registros en los diferentes pozos ubicados en este tramo, en torno a 20.000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  – 50.000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (descontando PB1), lo que es consistente con los registros de pozos ubicados hacia aguas abajo, como M5(2), y la estación superficial QCH01. Posteriormente existió un descenso significativo de la CE, con algunos incrementos aislados durante 2014, alcanzando valores en el rango de agua dulce, hasta 2015, año en el que nuevamente se verificó un incremento, aunque más acotado en extensión y magnitud que el de 2011-2013. Cabe destacar que el pozo MA5, con registros continuos desde 1996, presentó una muy leve variación de la CE hasta 2016, no manifestando influencia asociada a la operación de la Cortina Hidráulica N° 1. Salvo mediciones puntuales, los registros variaron entre 1.000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  y 4.000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

Es importante precisar que los pozos PM-RC-0A, PM-RC-0B, CW-DDH-1A y CW-DDH-1B cuentan con registros a partir de 2014, período en que la CE en la Cortina Hidráulica N° 1 ha descendido de manera significativa.

### Sulfato

En la Figura 3.2.9-24 y Figura 3.2.9-25 se presentan la variación espacial y temporal de la concentración de sulfato en las aguas superficiales y subterráneas del Subsector Mina - Q.Blanca, respectivamente.

Respecto a las **aguas superficiales**, en SWS11 las concentraciones históricas mínima y máxima de sulfato han sido iguales a 37.200 mg/l y 75.600 mg/l.

Hacia aguas abajo existe una variabilidad significativa de la concentración de sulfato, desde 208 mg/l a 31.200 mg/l, rango dentro del cual se ubican los registros de la estación Quebrada Blanca, correspondientes a 942 mg/l y 1.020 mg/l. La estación PIS-3 no cuenta con información respecto a la concentración de sulfato.

Las mayores concentraciones se han verificado en períodos acotados. La estación QCH01 presentó una variación de la concentración de sulfato igual a 18.500 mg/l – 31.200 mg/l entre diciembre de 2012 y agosto de 2013. En forma previa y posterior a dicha fecha, siempre mantuvo una concentración menor a 710 mg/l, correspondiendo la mínima a 215 mg/l. Esta evolución es consistente con la variación temporal de la concentración de sulfato de las aguas subterráneas. Por otra parte, la máxima concentración de sulfato en M5(1)sp (con datos entre mayo y noviembre de 2012) se verificó en noviembre, estando desfasada en un mes respecto a la máxima CE.



En cuanto a las **aguas subterráneas**, también se verificaron altas concentraciones en aguas de proceso en el sector del Botadero de Lixiviación de Sulfuros (pozo RC1297A), en el que la concentración de sulfato presentó una concentración máxima del orden de 86.000 mg/l y una mediana superior a 60.000 mg/l. A un costado dichas instalaciones, por el borde oeste (pozo RC1228), la concentración de sulfato ha sido considerablemente inferior, con una mediana y valor máximo iguales a 454 mg/l y 1.920 mg/l, respectivamente. Cabe destacar que dicho registro máximo correspondió a una condición particular verificada en la campaña de julio de 2015, toda vez que las restantes mediciones han sido inferiores a 800 mg/l.

La máxima concentración de sulfato en el Subsector fue verificada en el pozo MA4, ubicado en el sector de las Piscinas Gemelas, entre el Botadero de Lixiviación de Sulfuros y la Cortina Hidráulica N° 1, alcanzando 92.234 mg/l.

En torno a la Cortina Hidráulica N° 1, la dinámica espacial y temporal de la concentración de sulfato ha sido similar a la descrita para la CE. Las máximas concentraciones han correspondido al pozo de bombeo PB1, con valores medios sobre 30.000 mg/l y un registro máximo igual a 87.672 mg/l. Los otros pozos característicos del tramo asociado a la Cortina Hidráulica N° 1 han presentado valores menores, aunque sus máximas concentraciones han sido superiores a 30.000 mg/l. Los registros mínimos, en tanto, han variado regularmente en torno a 200 mg/l – 400 mg/l, aunque el mínimo correspondió a 110 mg/l (pozo M4(1)).

Aguas abajo del tramo de la Cortina Hidráulica N° 1, salvo en sectores particulares (como el asociado al pozo M5(2)), las concentraciones de sulfato han sido considerablemente inferiores. Al respecto, cabe señalar que en los pozos con registros hacia aguas abajo considerados en el análisis, con la excepción de MA5, se cuenta con información desde 2014, período en el que los pozos de la Cortina Hidráulica N° 1 redujeron sus concentraciones de sulfato. Excluyendo MA5, la máxima concentración en este tramo alcanzó 2.400 mg/l, mientras que los registros mínimos fueron del orden de 400 mg/l.

Respecto a la evolución temporal de la concentración de sulfato, se aprecia una tendencia similar a la verificada para la CE. Así, se han verificado diferentes períodos de incremento y decremento de la concentración entre 2009 y 2015 en los pozos de la Cortina Hidráulica N° 1, que se ajustan a la variabilidad descrita para las aguas superficiales (QCH01) y subterráneas (M5(2)) hacia aguas abajo. En el pozo MA5, en cambio, la concentración de sulfato presentó una muy leve variación desde 1996, y, salvo excepciones particulares, sus registros variaron entre 800 mg/l y 3.200 mg/l.

Tal como se señaló en la descripción de la CE, los pozos restantes cuentan con información a partir de 2014, período en el que disminuyeron las concentraciones en los pozos ubicados en torno a la Cortina Hidráulica N° 1.

## Cloruro

En la Figura 3.2.9-26 y Figura 3.2.9-27 se presentan la variación espacial y temporal de la concentración de cloruro en las aguas superficiales y subterráneas del Subsector Mina - Q.Blanca, respectivamente.

La alta concentración de sales disueltas en aguas con altos valores de CE es explicada en gran medida por la concentración de sulfato, siendo la concentración de cloruro considerablemente inferior. Por este motivo, las **aguas superficiales** presentan una mayor homogeneidad espacial en la distribución de dicho parámetro, habiendo sido todos los registros evaluados inferiores a 300 mg/l, salvo tres mediciones puntuales en SWS11, cuyo máximo correspondió a 822 mg/l. El rango de variación de los puntos restantes fue igual a 27 mg/l – 241 mg/l.

Las **aguas subterráneas**, tal como las superficiales, han presentado una considerable homogeneidad espacial en la distribución de cloruro, variando los registros entre 3 mg/l y 409 mg/l en todos los pozos considerados para la descripción del Subsector (salvo el pozo M4(1)), descontando las aguas asociadas al Botadero de Lixiviación de Sulfuros, que han presentado concentraciones levemente superiores, con un máximo igual a 853 mg/l. El pozo M4(1) ha presentado registros considerablemente superiores, con una mediana igual a 19.695 mg/l y una concentración máxima correspondiente a 52.124 mg/l.

## Cobre disuelto

En la Figura 3.2.9-28 y Figura 3.2.9-29 se presentan la variación espacial y temporal de la concentración de cobre disuelto en las aguas superficiales y subterráneas del Subsector Mina - Q.Blanca, respectivamente.

Respecto a las **aguas superficiales**, las máximas concentraciones han correspondido a aguas de proceso del sector de las Piscinas Gemelas (estación SWS11), las que han variado en el rango 1.250 mg/l – 3.240 mg/l.

Hacia aguas abajo, los registros variaron en el rango 0,003 mg/l – 947 mg/l, ambos valores asociados a la estación QCH01, presentando las estaciones M5(1)sp y Quebrada Blanca concentraciones intermedias. Tal como fue descrito en el análisis de parámetros analizados en forma previa, la variación temporal de la concentración de cobre disuelto en la estación QCH01 ha sido similar a la de la concentración de las aguas subterráneas de la Cortina Hidráulica N° 1, con valores máximos en el período diciembre de 2012 - agosto de 2013 y concentraciones hasta 3 órdenes de magnitud inferiores en los registros restantes. Cabe señalar que la estación PIS-3 no cuenta con información respecto a la concentración de cobre disuelto.

En cuanto a las **aguas subterráneas**, se verificaron altas concentraciones en aguas de proceso en el sector del Botadero de Lixiviación de Sulfuros (pozo RC1297A), alcanzando un valor máximo igual a 2.150 mg/l. Al costado de dichas instalaciones, en tanto, la concentración de cobre disuelto varió entre 0,001 mg/l y 6,7 mg/l, presentando una tendencia al alza.

En torno a la Cortina Hidráulica N° 1, las máximas concentraciones han correspondido a uno de los pozos de bombeo de esta (PB1), con valores medios superiores a 1.000 mg/l y un registro máximo igual a 1.890 mg/l. Las concentraciones más bajas del tramo se han verificado en el pozo PB2, ubicado a un costado del eje principal de la quebrada (mínimo igual a 0,05 mg/l). Pese a lo anterior, este pozo ha presentado registros superiores a 1.000 mg/l, aunque la mediana es del orden de 20 mg/l.

Aguas abajo del tramo de la Cortina Hidráulica N° 1, salvo algunos sectores particulares (como el asociado al pozo M5(2)), las concentraciones de cobre disuelto han sido considerablemente inferiores. Al respecto, cabe señalar que, en este tramo, el pozo MA5 cuenta con registros previos a 2014, año en que descienden las concentraciones de cobre disuelto en la Cortina Hidráulica N° 1. La máxima concentración en este tramo correspondió a 17,6 mg/l (pozo PM-RC-0A), mientras que la mínima fue igual a 0,0003 mg/l (pozo CW-DDH-1B).

La variación temporal de la concentración de cobre disuelto en torno a la Cortina Hidráulica N° 1 ha sido similar a la descrita para los parámetros CE y sulfato. Así, dicha variación se ajusta a la variabilidad de las aguas superficiales (QCH01) y subterráneas (M5(2)) hacia aguas abajo. Junto con lo anterior, es destacable la estabilidad en los registros del pozo MA5, en el que la concentración de cobre disuelto ha variado entre 0,4 mg/l y 3,4 mg/l.

### Cobre total

En la Figura 3.2.9-30 y Figura 3.2.9-31 se presentan la variación espacial y temporal de la concentración de cobre total en las aguas superficiales y subterráneas del Subsector Mina - Q.Blanca, respectivamente.

Respecto a las **aguas superficiales**, las máximas concentraciones han correspondido a aguas de proceso del sector de las Piscinas Gemelas (estación SWS11), las que han variado en el rango 1.350 mg/l – 3.180 mg/l.

Hacia aguas abajo, los registros mínimo y máximo correspondieron a la estación QCH01 (0,0056 mg/l y 954 mg/l, respectivamente). Cabe destacar que la variación temporal de los registros en esta estación es similar al descrito previamente en otros parámetros, con valores máximos en el período diciembre de 2012 - agosto de 2013 y concentraciones varios órdenes de magnitud inferiores en los registros restantes. Respecto a las estaciones Quebrada Blanca y PIS-3, presentaron concentraciones intermedias, variando entre 8,3 mg/l y 11,3 mg/l y 0,2 mg/l y 49 mg/l, respectivamente.

En cuanto a las **aguas subterráneas**, se verificaron altas concentraciones en aguas de proceso en el sector del Botadero de Lixiviación de Sulfuros (pozo RC1297A), alcanzando un valor máximo igual a 2.490 mg/l. Al costado de dichas instalaciones (pozo RC1228), la concentración de cobre total varió entre 0,1 mg/l y 9,3 mg/l.

En torno a la Cortina Hidráulica N° 1, hay una serie de pozos con concentraciones máximas superiores a 1.000 mg/l, entre ellos PB1 (1.510 mg/l) y M5(1) (1.470 mg/l). En el pozo PB2, en cambio, la concentración máxima medida ha correspondido a 92 mg/l.

Aguas abajo del tramo de la Cortina Hidráulica N° 1, salvo algunos pozos particulares (como M5(2)), se verifica un descenso considerable de la concentración de cobre total, con medianas en torno a 0,3 mg/l - 1 mg/l y concentraciones máximas inferiores a 10 mg/l.

### Hierro disuelto

En la Figura 3.2.9-32 y Figura 3.2.9-33 se presenta la variación espacial y temporal de la concentración de hierro disuelto en las aguas superficiales y subterráneas del Subsector Mina – Q. Blanca, respectivamente.

En lo que respecta a las **aguas superficiales**, las máximas concentraciones han correspondido a la estación SWS11, las que han variado en el rango 638 mg/l – 2.390 mg/l, consistente con su ubicación en las Piscinas Gemelas.

Hacia aguas abajo, la estación Quebrada Blanca cuenta con 2 mediciones, iguales a < 0,03 mg/l y 0,07 mg/l. En tanto, los registros de la estación QCH01 presentaron una variabilidad similar a la indicada para los parámetros previamente descritos, con valores máximos en el período diciembre de 2012 - agosto de 2013 (concentración máxima igual a 5 mg/l) y concentraciones en al menos un orden de magnitud inferiores en los registros restantes. La mínima concentración medida correspondió a 0,04 mg/l y fue verificada durante 2015. Cabe señalar que la estación PIS-3 no cuenta con información respecto a la concentración de hierro disuelto.

En cuanto a las **aguas subterráneas**, tal como en el caso del cobre disuelto, se verificaron altas concentraciones de hierro disuelto en aguas de proceso en el sector del Botadero de Lixiviación de Sulfuros (pozo RC1297A), alcanzando un valor máximo igual a 2.020 mg/l. Al costado de dichas instalaciones, en tanto, la concentración de hierro disuelto varió entre 0,1 mg/l y 16,6 mg/l.

En torno a la Cortina Hidráulica N° 1, se cuenta con registros en los pozos PB2 y M5(1). Las máximas concentraciones se han verificado en el primero, con valores del mismo orden que RC1297A, alcanzando un máximo igual a 2.990 mg/l, aunque también cuenta con registros inferiores a 1 mg/l. En M5(1), en tanto, el rango de variación ha sido similar al de los restantes pozos ubicados hacia aguas abajo, correspondiendo a 0,4 mg/l – 15,4 mg/l.

En el tramo ubicado hacia aguas abajo, la concentración de hierro disuelto ha variado en rangos similares a los descritos para el pozo M5(1), con mínimos en torno a 0,1 mg/l – 1 mg/l (el mínimo del tramo corresponde a 0,03 mg/l, medido en el pozo CW-DDH-2A), medianas en el rango 1 mg/l – 10 mg/l y máximos del orden de 8 mg/l – 20 mg/l, salvo el pozo CW-DDH-1A, cuyas concentraciones medias y máximas son inferiores a las dadas por los rangos indicados. El rango absoluto de variación de este tramo ha correspondido a 0,1 mg/l – 18 mg/l.

### Hierro total

En la Figura 3.2.9-34 y Figura 3.2.9-35 se presentan la variación espacial y temporal de la concentración de hierro total en las aguas superficiales y subterráneas del Subsector Mina - Q.Blanca, respectivamente.

En lo que respecta a las **aguas superficiales**, la estación SWS11 ha presentado altas concentraciones de hierro total, con un máximo igual a 2.670 mg/l, consistente con su ubicación en las Piscinas Gemelas. No obstante, los máximos registros corresponden a la estación MA4, ubicada aguas arriba de SWS11, con una concentración máxima igual a 3.319 mg/l.

Hacia aguas abajo, la estación Quebrada Blanca cuenta con 2 mediciones, iguales a 0,03 mg/l y 11 mg/l, mientras que PIS-3 cuenta con registros que variaron en el rango 0,09 mg/l – 1,4 mg/l. Por otra parte, la estación QCH01 presentó una menor variabilidad que la descrita para el cobre total. Sus valores máximos se concentraron en el período diciembre de 2012 - agosto de 2013, alcanzando una concentración máxima igual a 7,1 mg/l.

En cuanto a las **aguas subterráneas**, el pozo RC1297A presentó una concentración máxima igual a 2.490 mg/l. Al costado de dichas instalaciones, en tanto, la concentración de hierro total varió entre 0,02 mg/l y 36 mg/l.

En torno a la Cortina Hidráulica N° 1 se registraron las concentraciones máximas del Subsector en el pozo PB2 (cuyo rango de variación fue 0,3 mg/l - 7.350 mg/l). Por otra parte, los menores registros de este tramo han sido medidos en el pozo M5(1), con un máximo igual a 27 mg/l.

En el tramo ubicado hacia aguas abajo, la concentración de hierro total ha variado en torno a concentraciones menores a las medidas en la Cortina Hidráulica N° 1, con mínimos en torno a 0,4 mg/l – 3 mg/l (siendo el mínimo medido en el pozo M5(2)) y máximos del orden de 4 mg/l – 27 mg/l (con el máximo medido en el pozo PM-RC-0B).

### Resumen

A modo de síntesis, a continuación se presenta la descripción de agua en el Subsector Mina – Q. Blanca para los parámetros evaluados, por medio del uso de diferentes estadísticos, considerando entre otro el registro mínimo, el máximo y el P50 o mediana. Han sido incorporados los registros existentes en todos los puntos de monitoreo ubicados en este Subsector. Los resultados se presentan en la Tabla 3.2.9-6 y Tabla 3.2.9-7, diferenciándose entre la serie histórica, que considera todos los registros, y las mediciones realizadas desde 2015 en adelante (situación actual).

**Tabla 3.2.9-6. Resumen calidad de agua en Subsector Mina - Q.Blanca, registros históricos.**

Tipo Agua	Valor	C.E.	Cl	Cu dis	Cu tot	Fe dis	Fe tot	pH	SO <sub>4</sub>
		µS/cm	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	UpH	mg/l
Aguas Superficiales	Mín.	722	3	0,003	0,006	< 0,03	0,01	1,7	208
	P(10)	727	33	0,004	0,02	0,04	0,1	3,3	241
	P(50)	1.720	87	0,05	24	3,1	0,8	5,0	710
	P(90)	18.400	139	947	912	4,8	7,1	8,1	28.600
	Máx.	37.600	822	3.240	3.180	2.390	2.670	8,8	75.600
Aguas Subterráneas	Mín.	588	3	0,0003	0,07	0,03	0,02	1,2	110
	P(10)	1.650	47	0,4	0,6	0,7	1,3	3,0	1.053
	P(50)	2.482	74	339	353	9,2	12	3,6	1.474
	P(90)	26.500	120	1.270	1.480	1.450	586	4,3	34.986
	Máx.	143.800	52.124	2.150	2.490	2.990	7.350	8,4	92.234

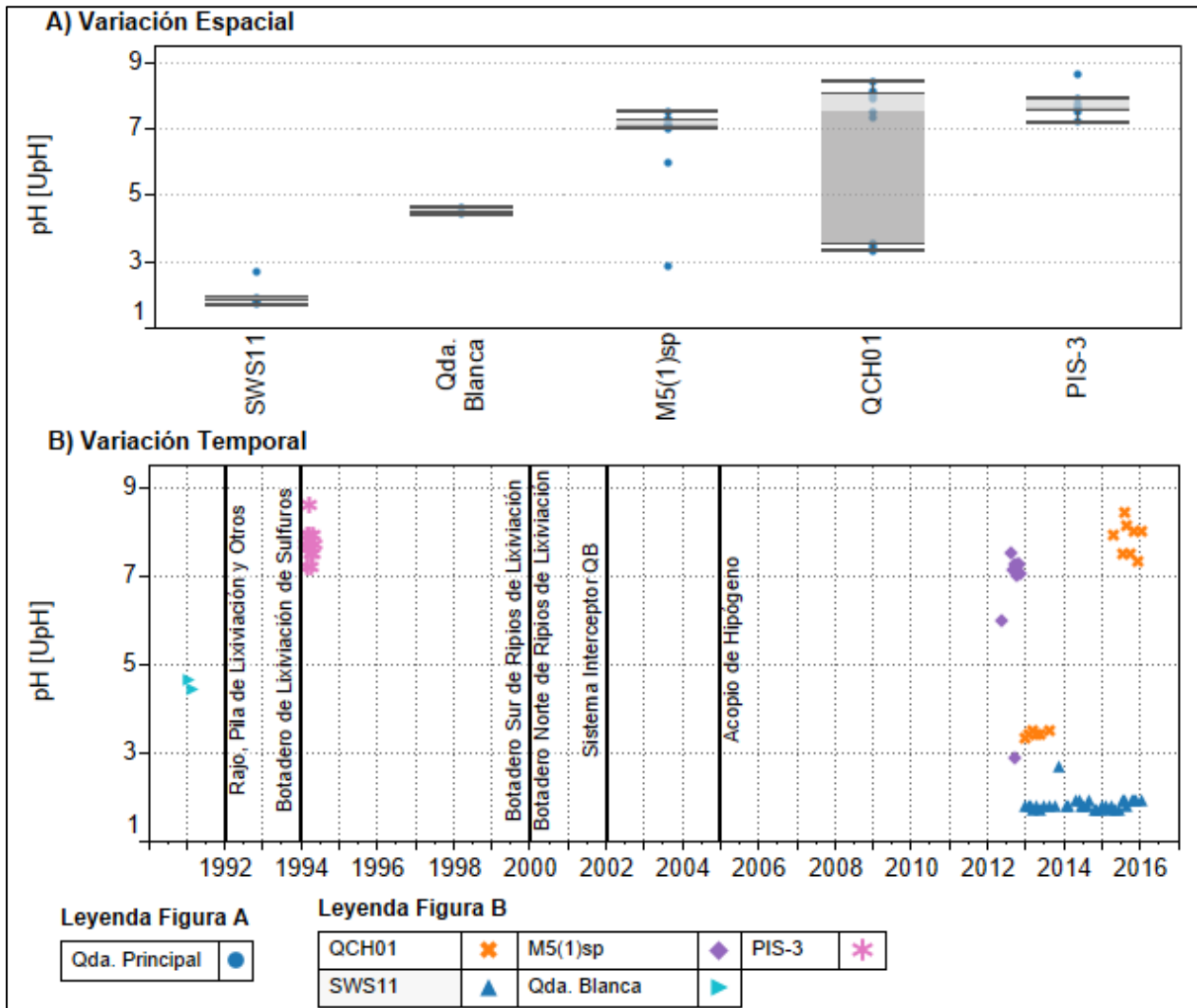
Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 3.2.9-7. Resumen calidad de agua en Subsector Mina - Q.Blanca, registros 2015-2016.**

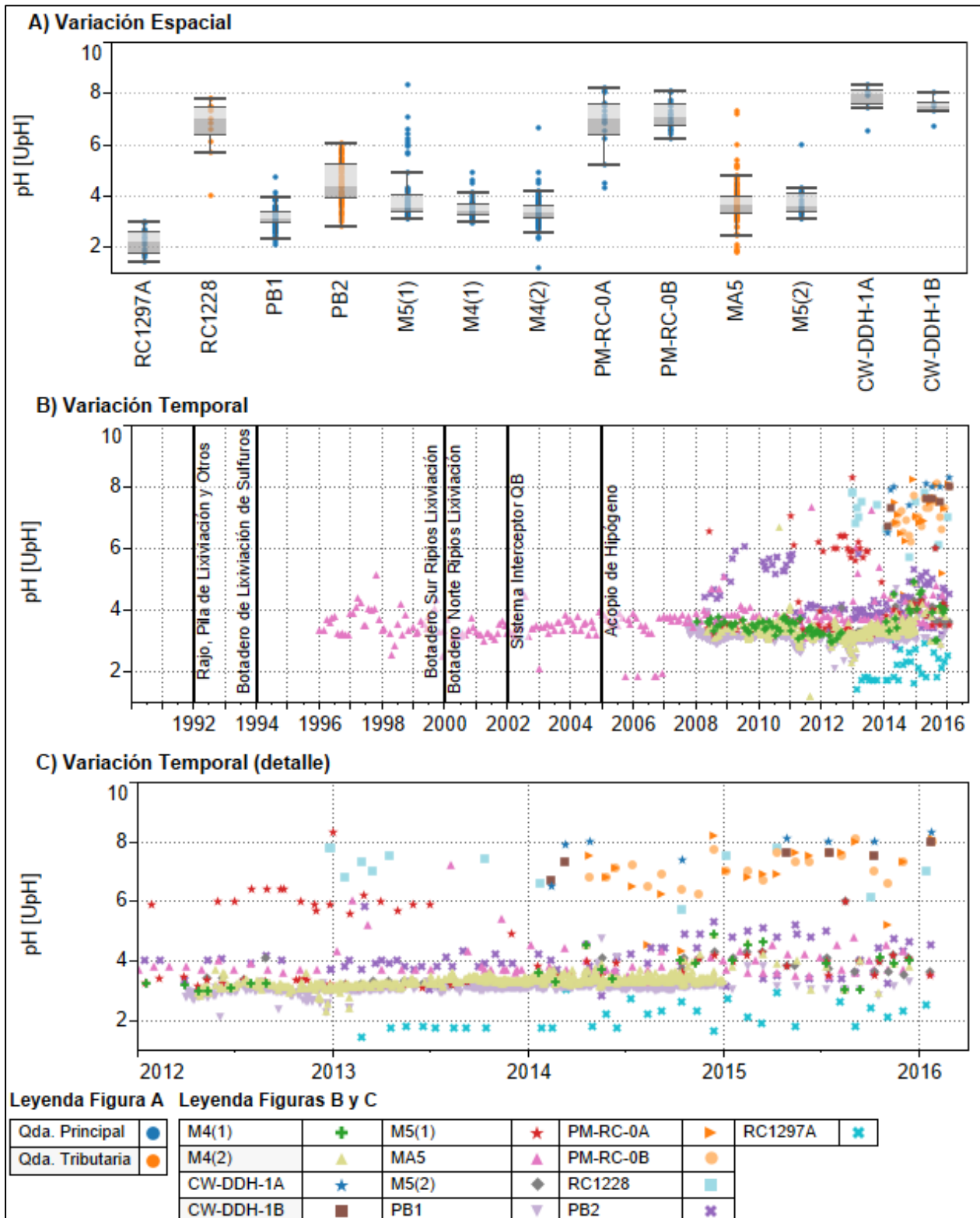
Tipo Agua	Valor	C.E.	Cl	Cu dis	Cu tot	Fe dis	Fe tot	pH	SO <sub>4</sub>
		µS/cm	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	UpH	mg/l
Aguas Superficiales	Mín.	722	31	0,003	0,006	0,04	0,1	1,7	215
	P(10)	722	31	0,003	0,006	0,04	0,1	7,3	215
	P(50)	1.140	73	0,01	0,04	0,07	0,4	7,9	398
	P(90)	1.790	139	0,05	0,1	906	1,2	8,4	710
	Máx.	37.200	822	2.340	3.170	2.390	2.670	8,4	75.600
Aguas Subterráneas	Mín.	588	15	0,0003	0,07	0,03	0,3	1,7	265
	P(10)	2.151	37	0,4	0,5	0,4	1,6	2,9	1.235
	P(50)	8.928	80	169	147	8,1	18	3,6	5.804
	P(90)	54.960	273	1.410	1.550	835	229	4,7	48.020
	Máx.	115.260	979	2.150	2.490	1.830	2.490	8,4	86.000

Fuente: Elaboración propia.

**Figura 3.2.9-20 Variación espacial y temporal del pH de las aguas superficiales del Subsector Mina - Q.Blanca. En la figura A), las estaciones se encuentran ordenadas en el sentido del escurrimiento.**

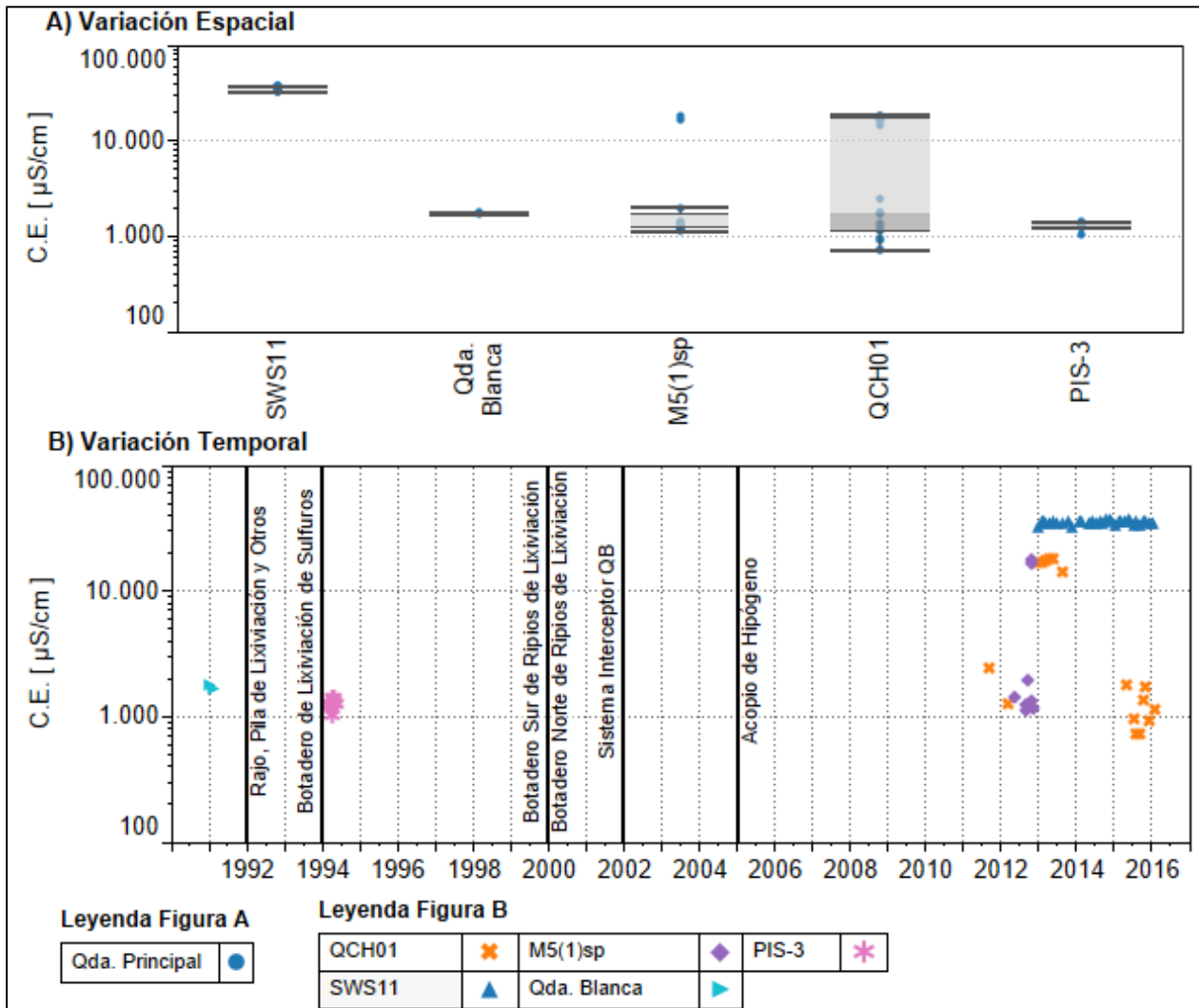


**Figura 3.2.9-21 Variación espacial y temporal del pH de las aguas subterráneas del Subsector Mina - Q.Blanca. En la figura A), las estaciones se encuentran ordenadas en el sentido del escurrimiento.**

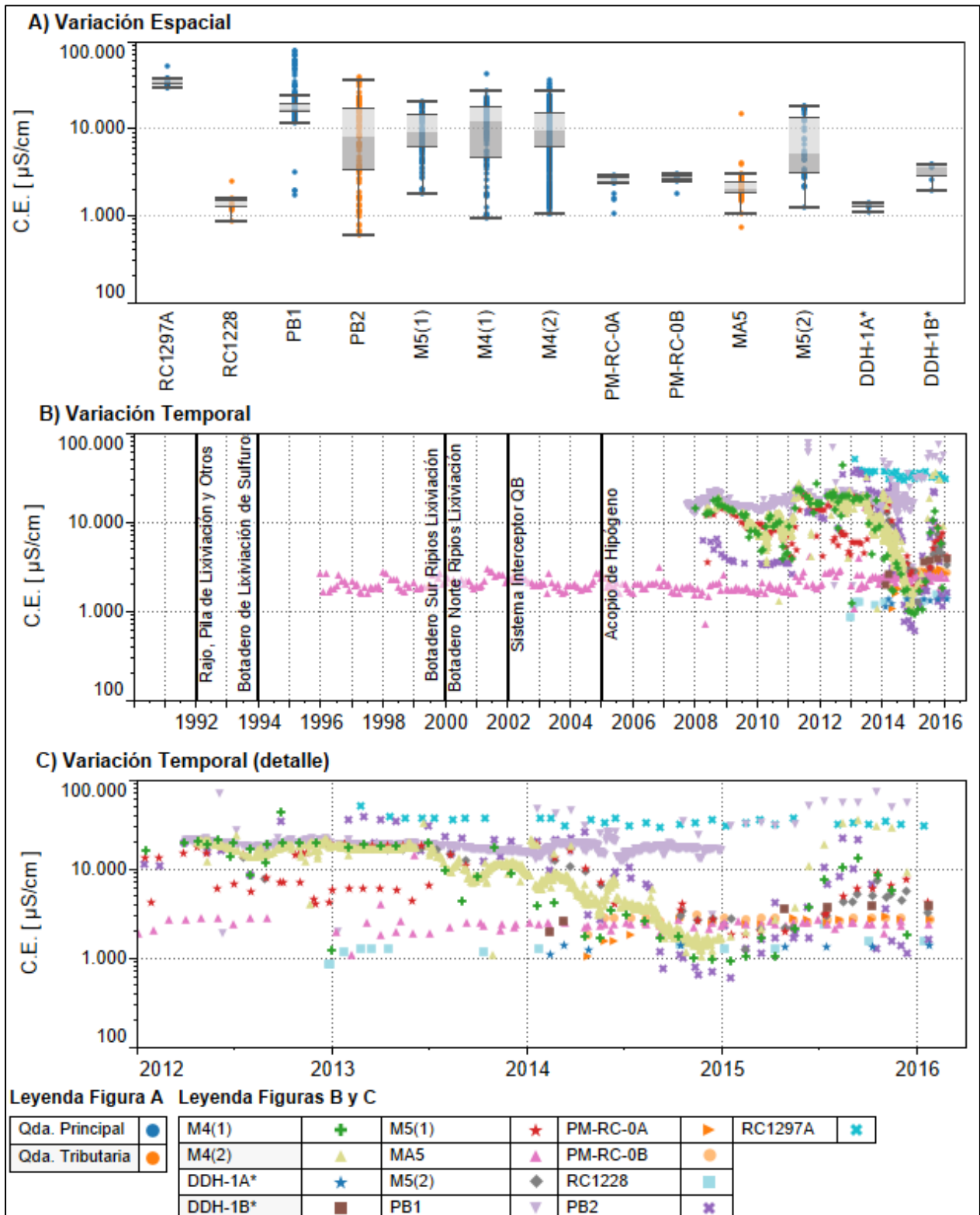




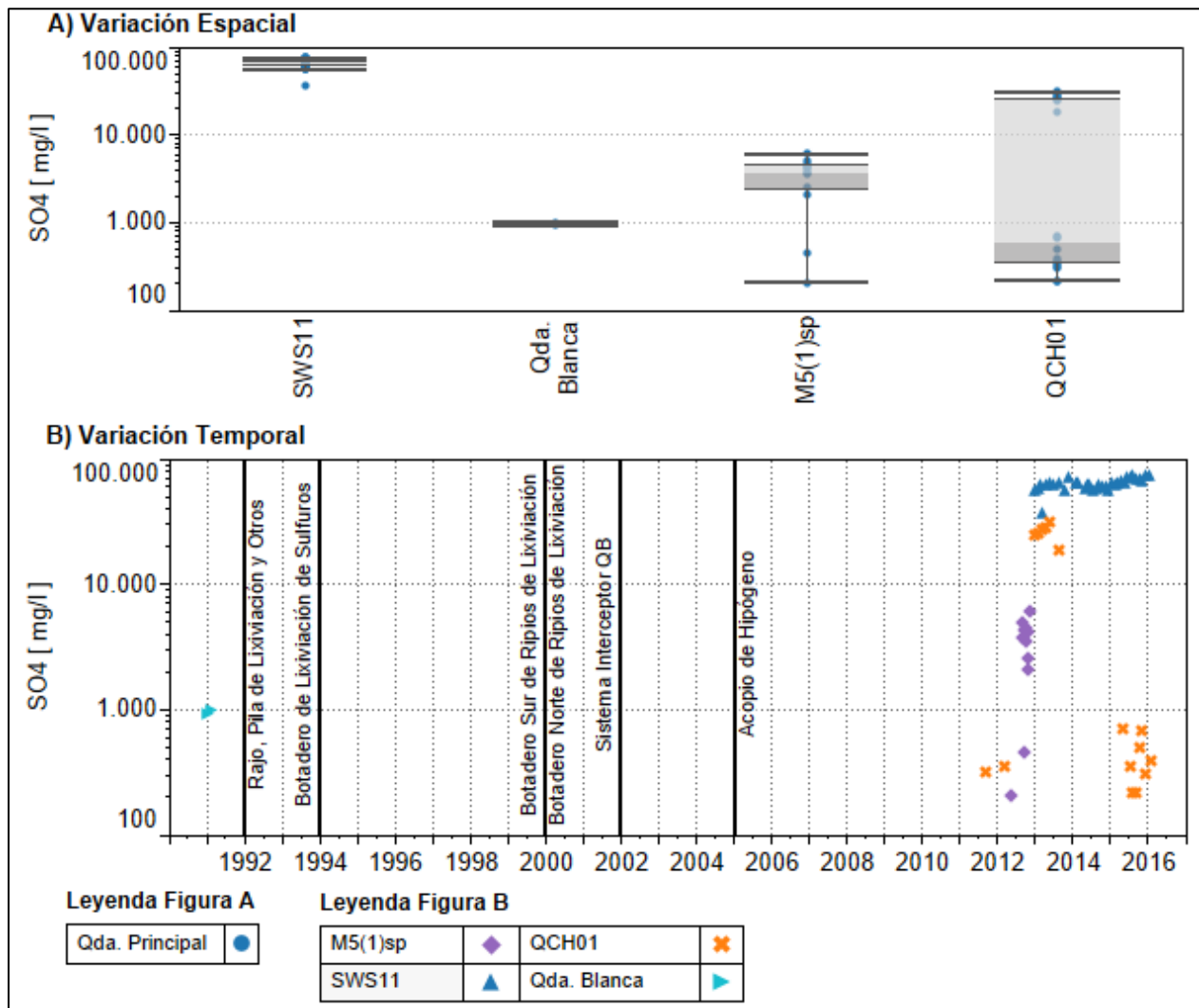
**Figura 3.2.9-22 Variación espacial y temporal de la CE de aguas superficiales del Subsector Mina - Q.Blanca. En la figura A), las estaciones se encuentran ordenadas en el sentido del escurrimiento.**



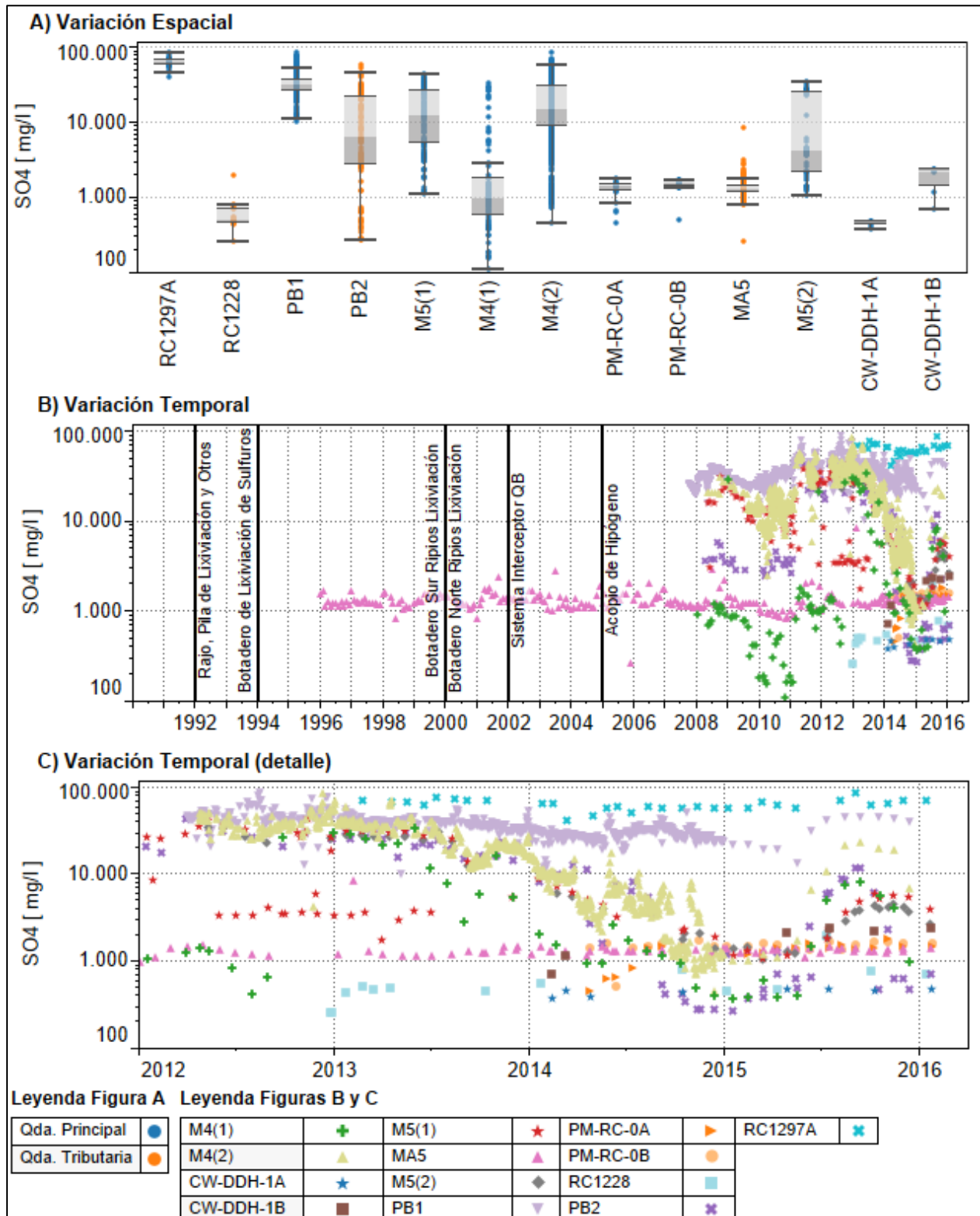
**Figura 3.2.9-23 Variación espacial y temporal de la CE de aguas subterráneas del Subsector Mina - Q.Blanca. En la figura A), las estaciones se encuentran ordenadas en el sentido del escurrimiento.**



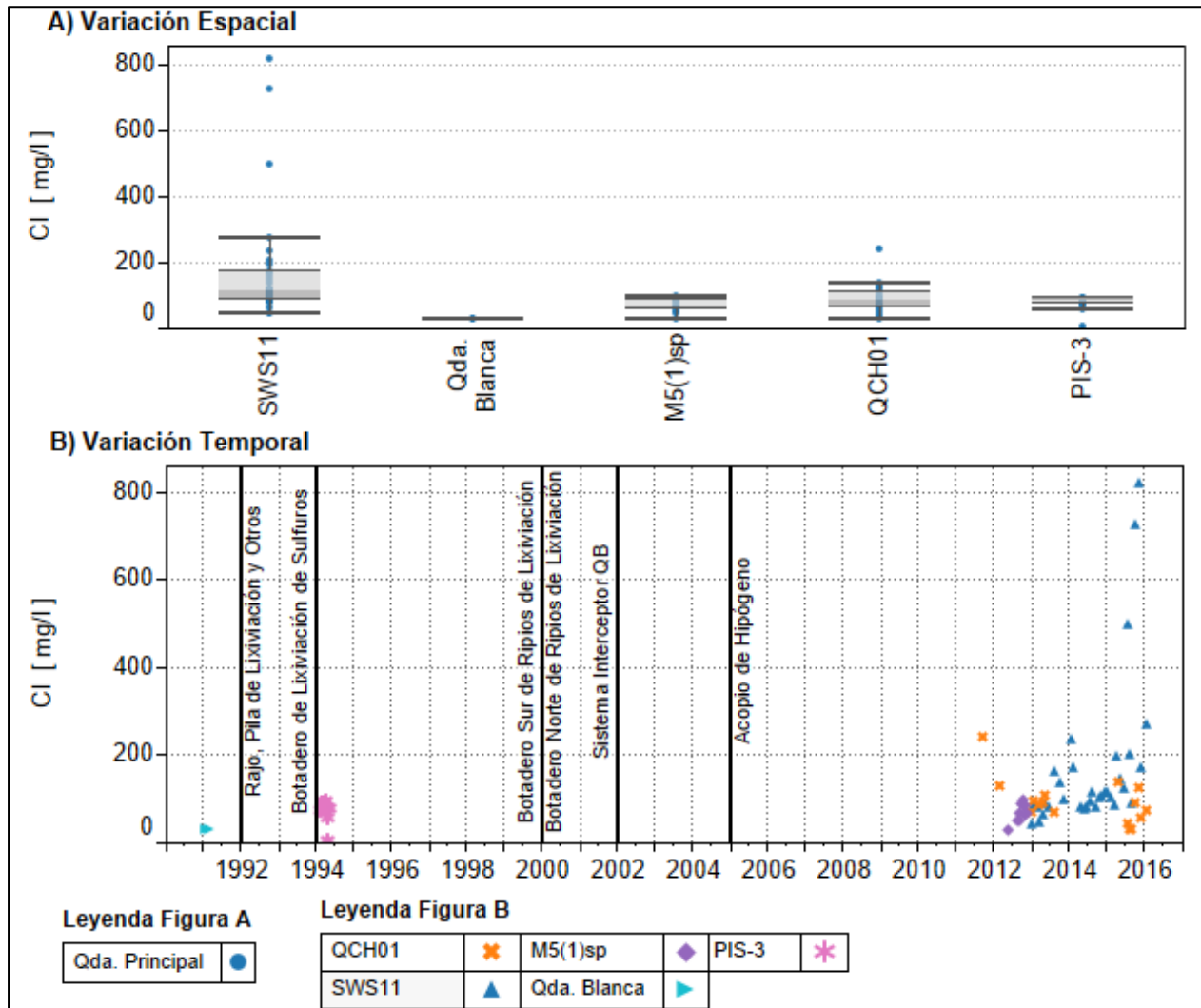
**Figura 3.2.9-24 Variación espacial y temporal de la concentración de sulfato en las aguas superficiales del Subsector Mina - Q.Blanca. En la figura A), las estaciones se encuentran ordenadas en el sentido del escurrimiento.**



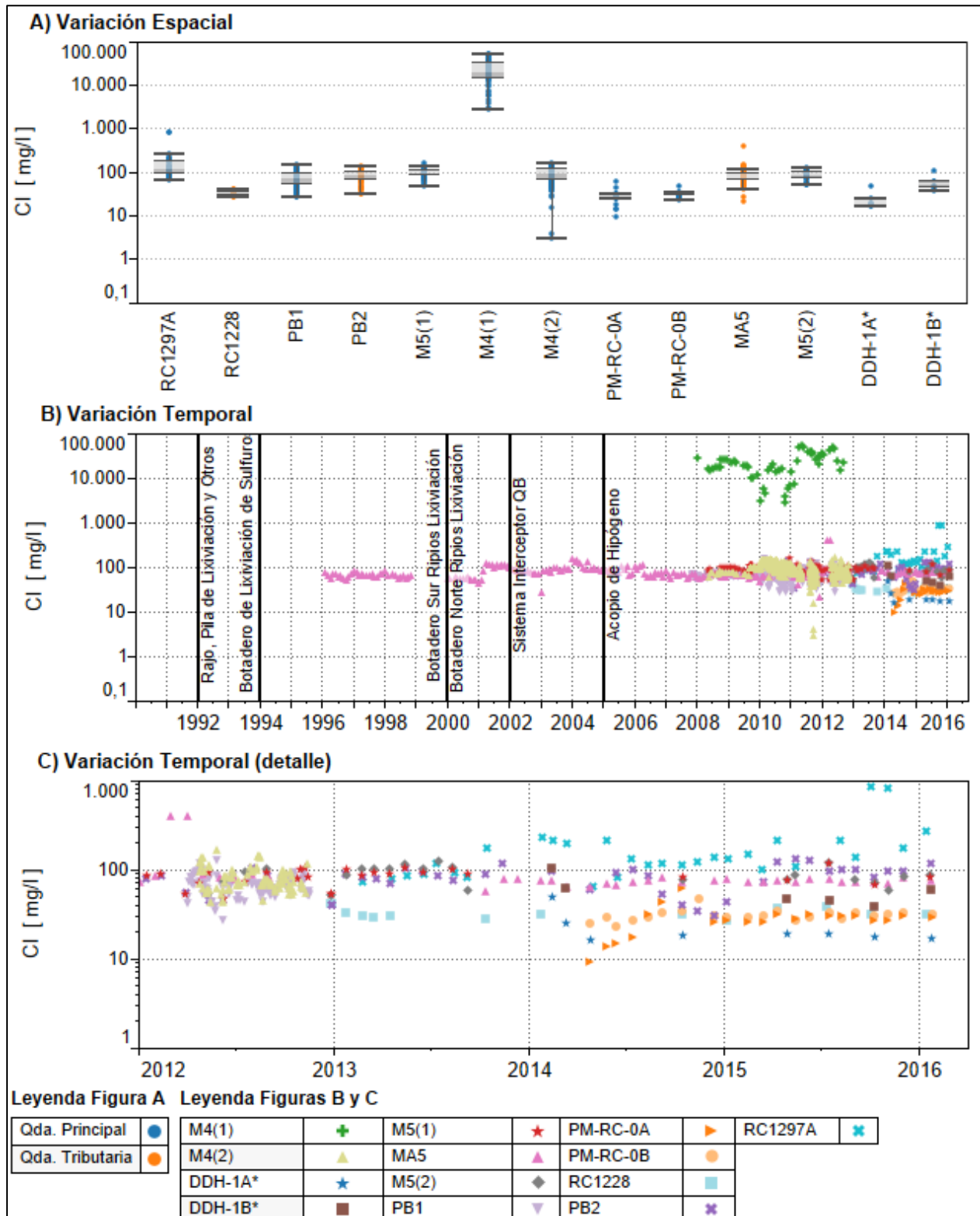
**Figura 3.2.9-25 Variación espacial y temporal de la concentración de sulfato en las aguas subterráneas del Subsector Mina - Q.Blanca. En la figura A), las estaciones se encuentran ordenadas en el sentido del escurrimiento.**



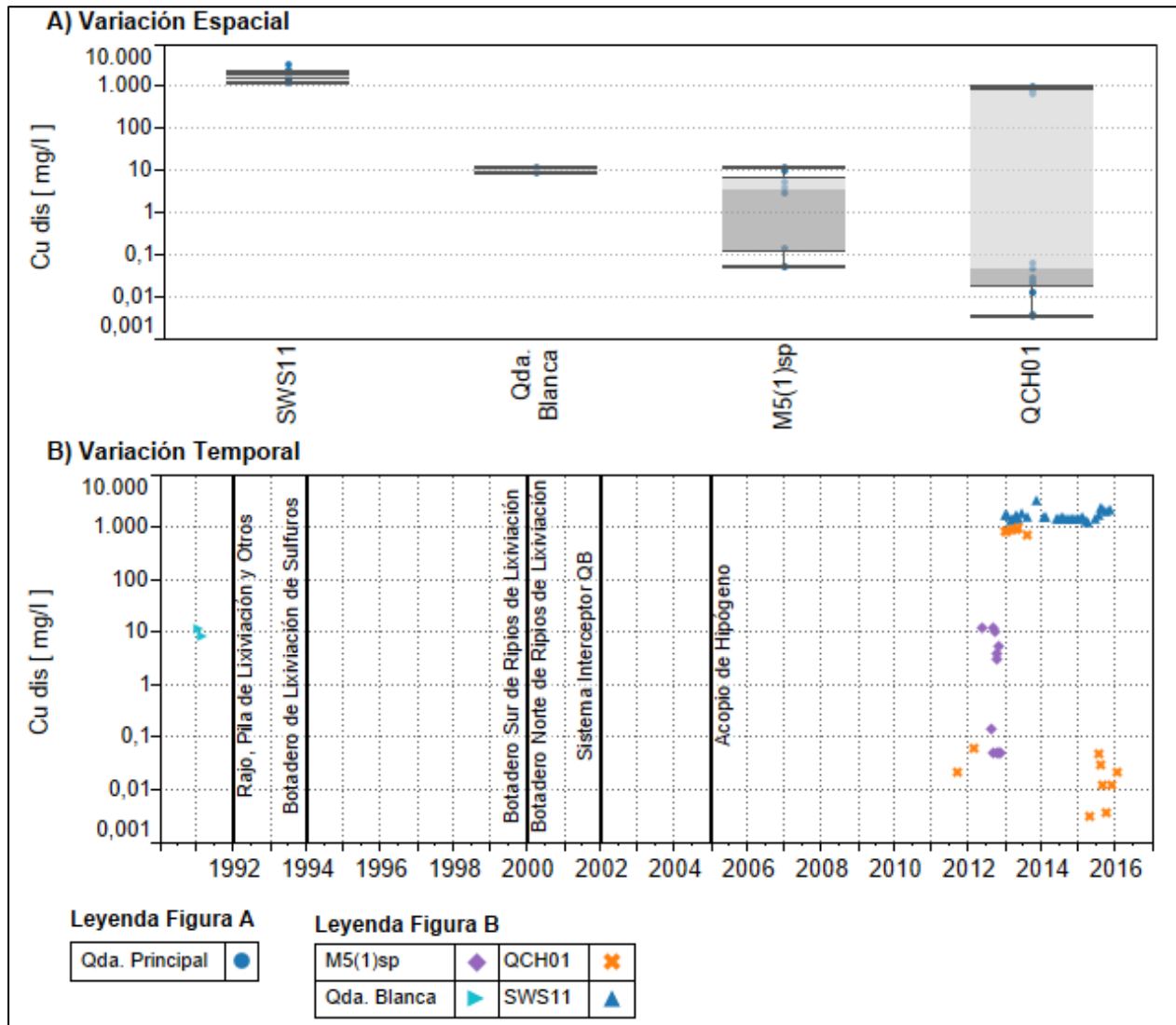
**Figura 3.2.9-26 Variación espacial y temporal de la concentración de cloruro en las aguas superficiales del Subsector Mina - Q.Blanca. En la figura A), las estaciones se encuentran ordenadas en el sentido del escurrimiento.**



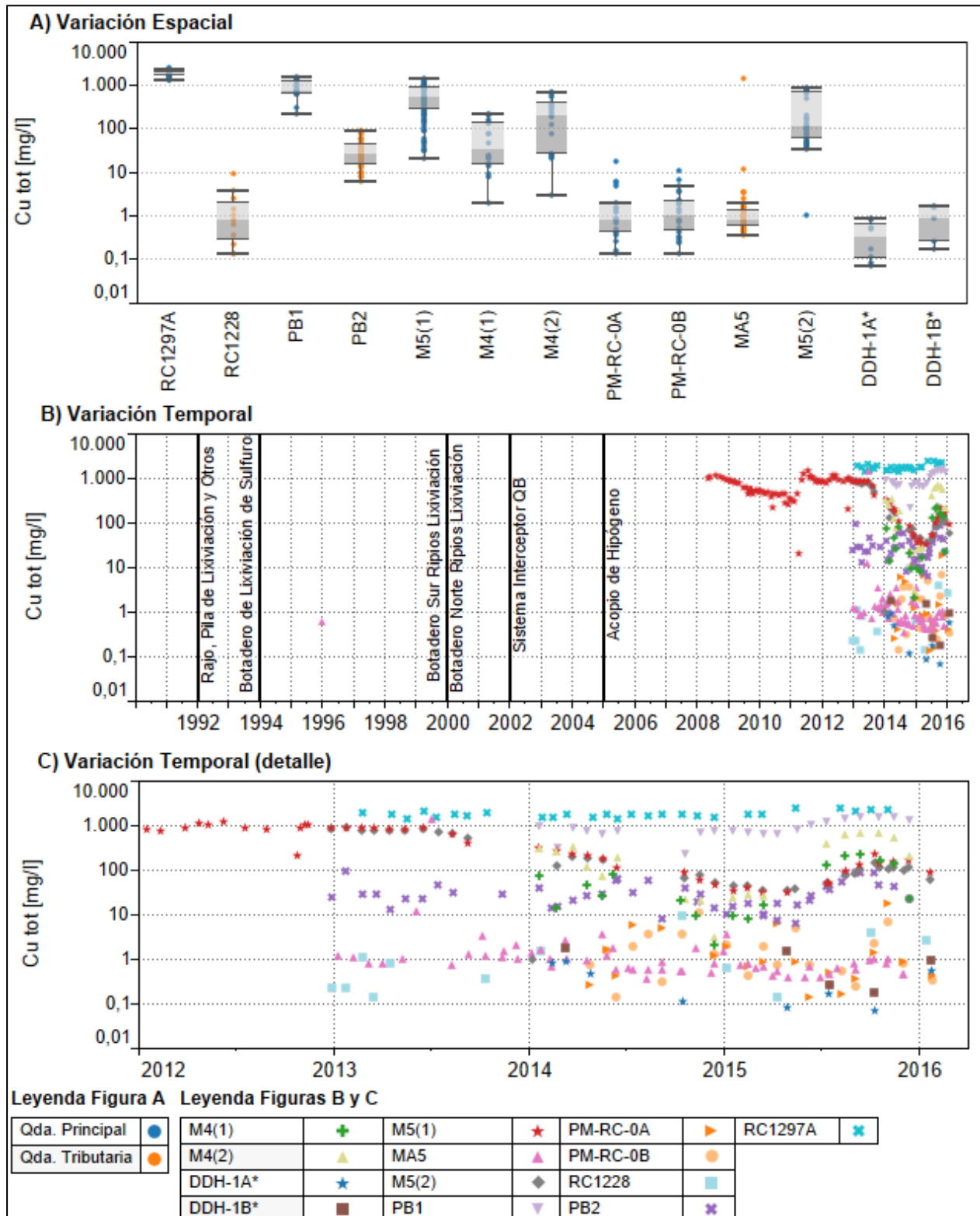
**Figura 3.2.9-27 Variación espacial y temporal de la concentración de cloruro en las aguas subterráneas del Subsector Mina - Q.Blanca. En la figura A), las estaciones se encuentran ordenadas en el sentido del escurrimiento.**



**Figura 3.2.9-28 Variación espacial y temporal de la concentración de cobre disuelto en las aguas superficiales del Subsector Mina - Q.Blanca. En la figura A), las estaciones se encuentran ordenadas en el sentido del escurrimiento.**

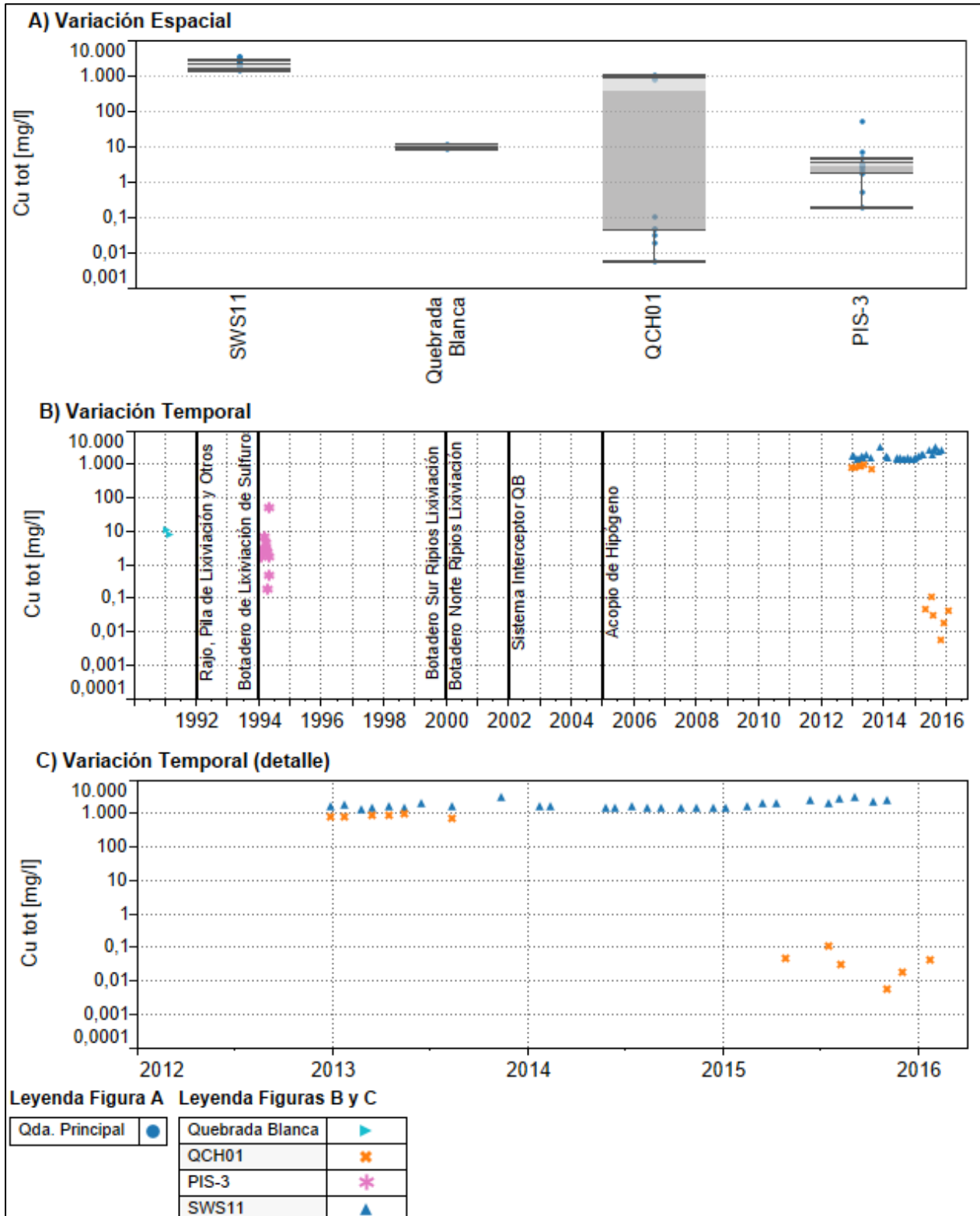


**Figura 3.2.9-29 Variación espacial y temporal de la concentración de cobre disuelto en las aguas subterráneas del Subsector Mina - Q.Blanca. En la figura A), las estaciones se encuentran ordenadas en el sentido del escurrimiento.**

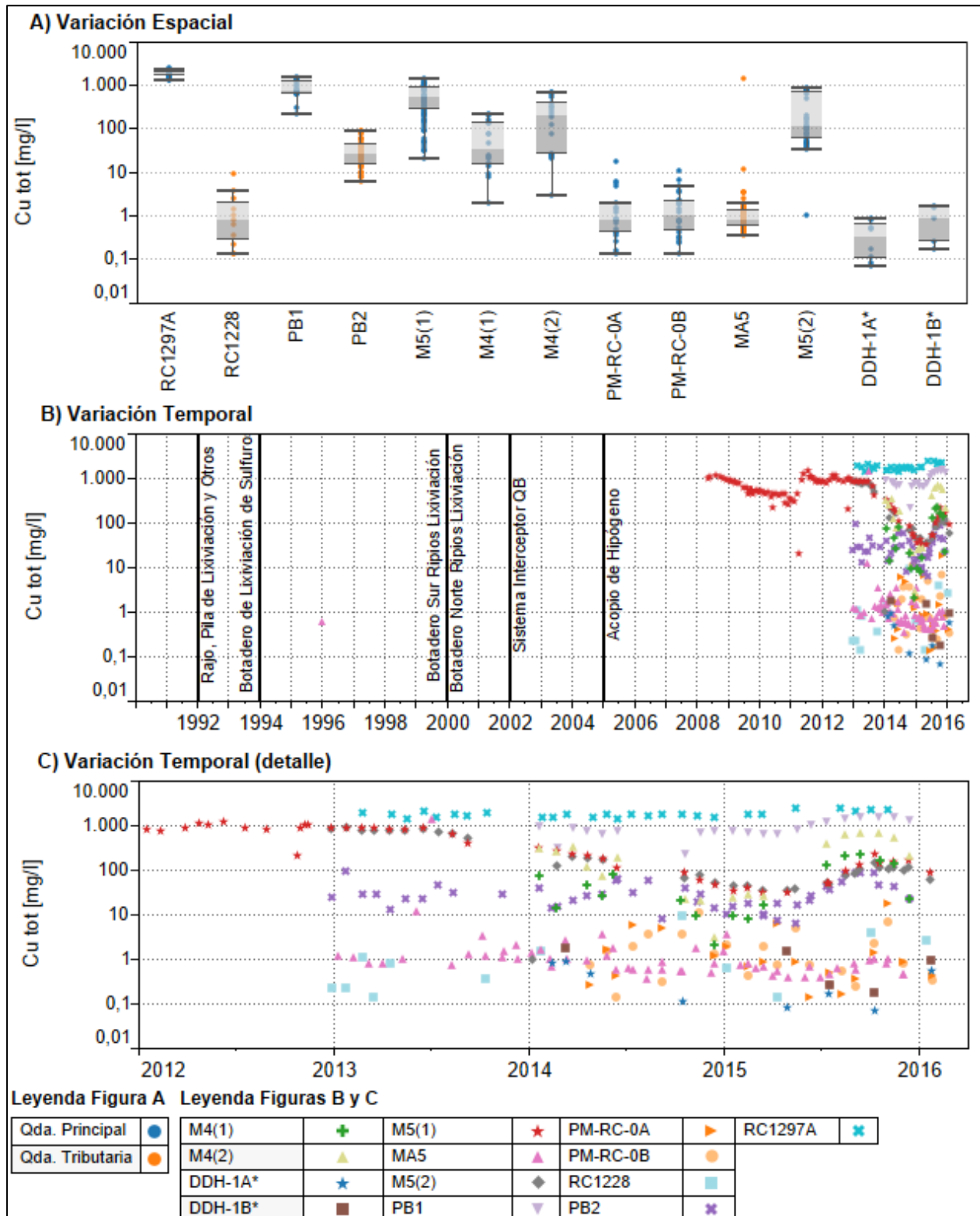




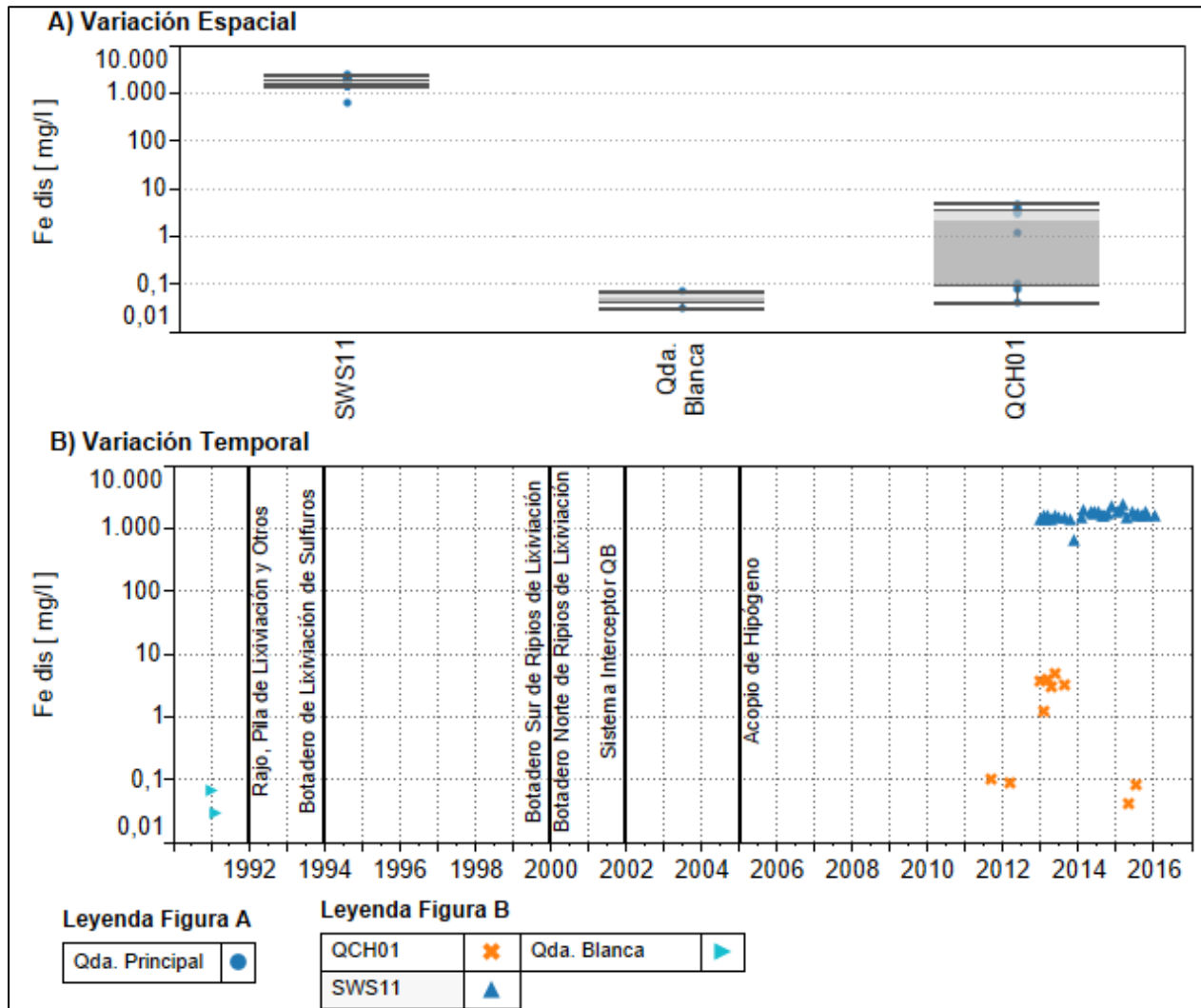
**Figura 3.2.9-30 Variación espacial y temporal de la concentración de cobre total en las aguas superficiales del Subsector Mina - Q.Blanca. En la figura A), las estaciones se encuentran ordenadas en el sentido del escurrimiento.**



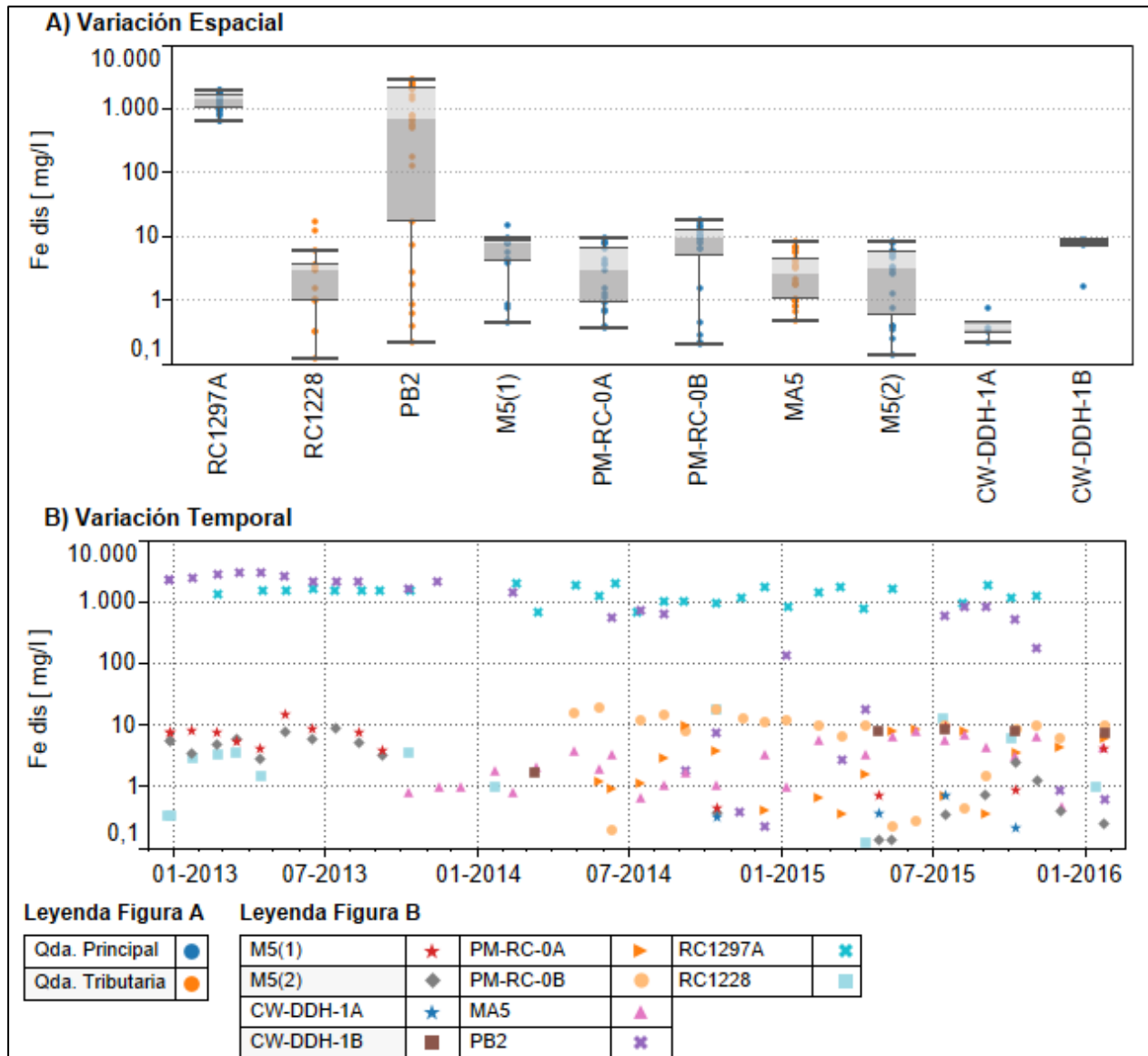
**Figura 3.2.9-31 Variación espacial y temporal de la concentración de cobre total en las aguas subterráneas del Subsector Mina - Q.Blanca. En la figura A), las estaciones se encuentran ordenadas en el sentido del escurrimiento.**



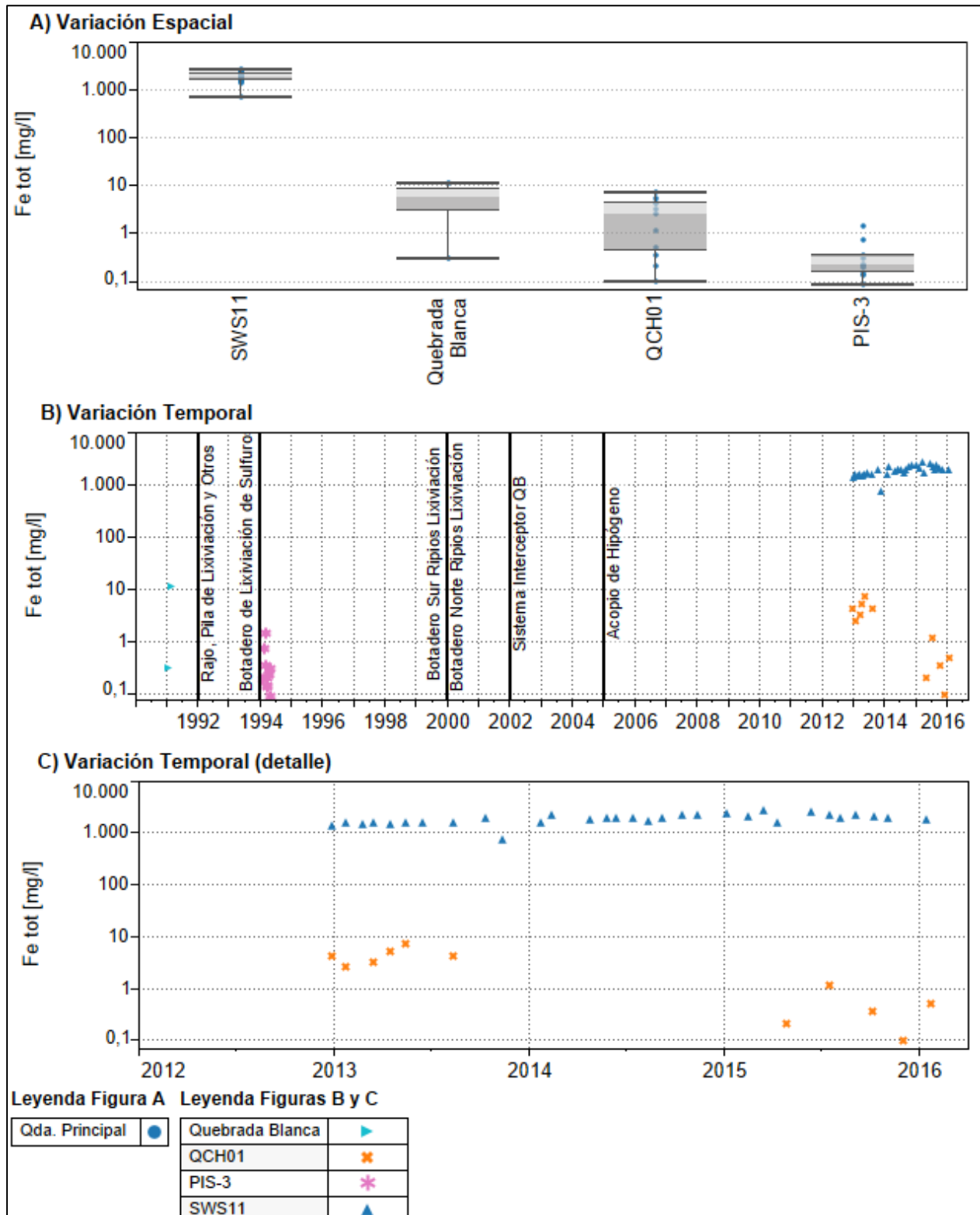
**Figura 3.2.9-32 Variación espacial y temporal de la concentración de hierro disuelto en las aguas superficiales del Subsector Mina - Q.Blanca. En la figura A), las estaciones se encuentran ordenadas en el sentido del escurrimiento.**



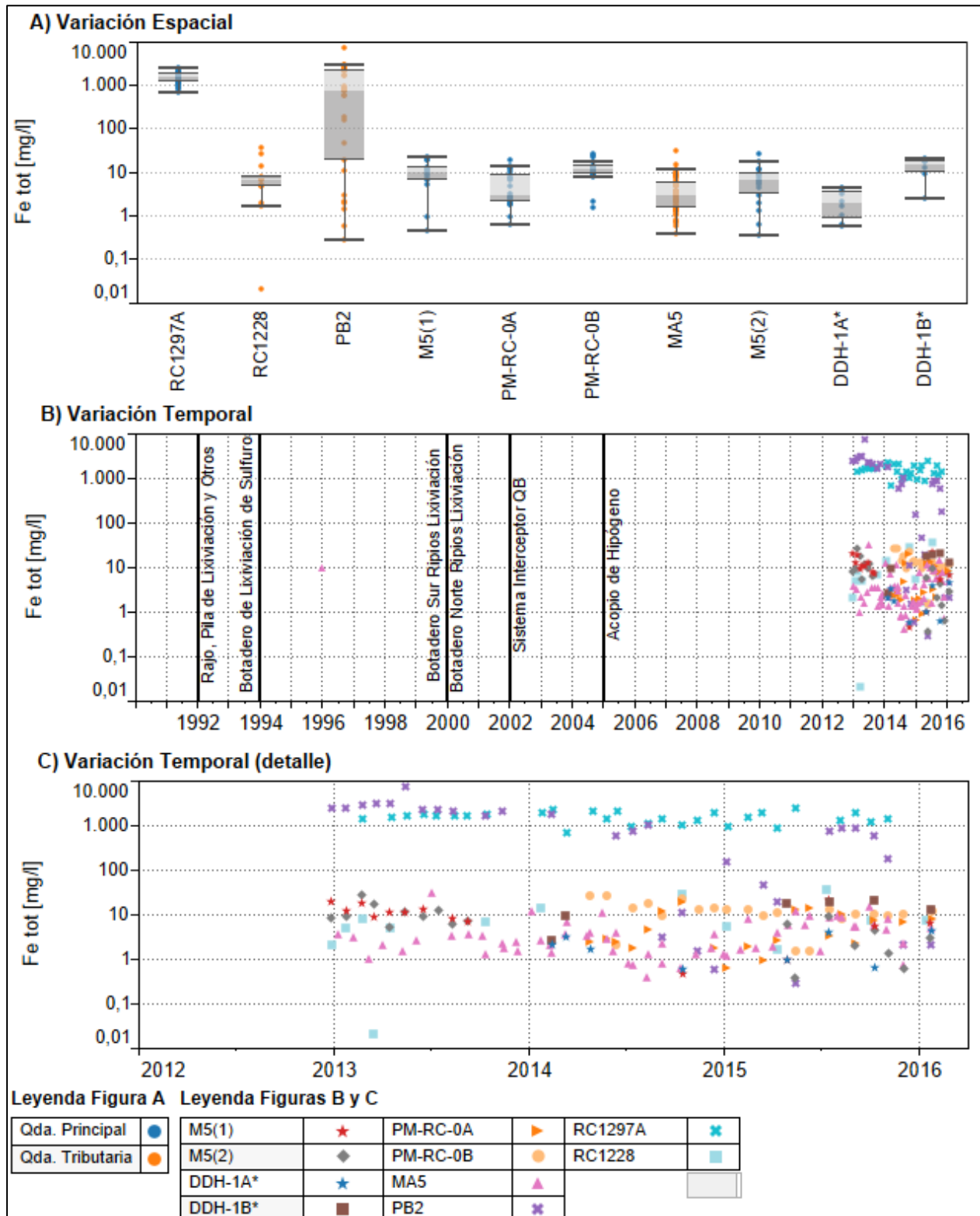
**Figura 3.2.9-33 Variación espacial y temporal de la concentración de hierro disuelto en las aguas subterráneas del Subsector Mina - Q.Blanca. En la figura A), las estaciones se encuentran ordenadas en el sentido del escurrimiento.**



**Figura 3.2.9-34 Variación espacial y temporal de la concentración de hierro total en las aguas superficiales del Subsector Mina - Q.Blanca. En la figura A), las estaciones se encuentran ordenadas en el sentido del escurrimiento.**



**Figura 3.2.9-35 Variación espacial y temporal de la concentración de hierro total en las aguas subterráneas del Subsector Mina - Q.Blanca. En la figura A), las estaciones se encuentran ordenadas en el sentido del escurrimiento.**



b) Sector Quebrada Blanca

El Sector Quebrada Blanca se desarrolla aguas abajo del Subsector Mina - Q.Blanca, aguas abajo del Sistema Cortafugas N° 1. De acuerdo a un cambio notorio en la calidad de aguas que ocurre entre los pozos PM-DDH-4 y PM-DDH-5, para el análisis se ha diferenciado entre dos Subsectores: Subsector Quebrada Blanca Alto y Subsector Quebrada Blanca Bajo, quedando ambos delimitados por el pozo RAC-GWQ-QB-01BS, ubicado en el tramo final del primero (ver Acápite 3.2.9.4.4).

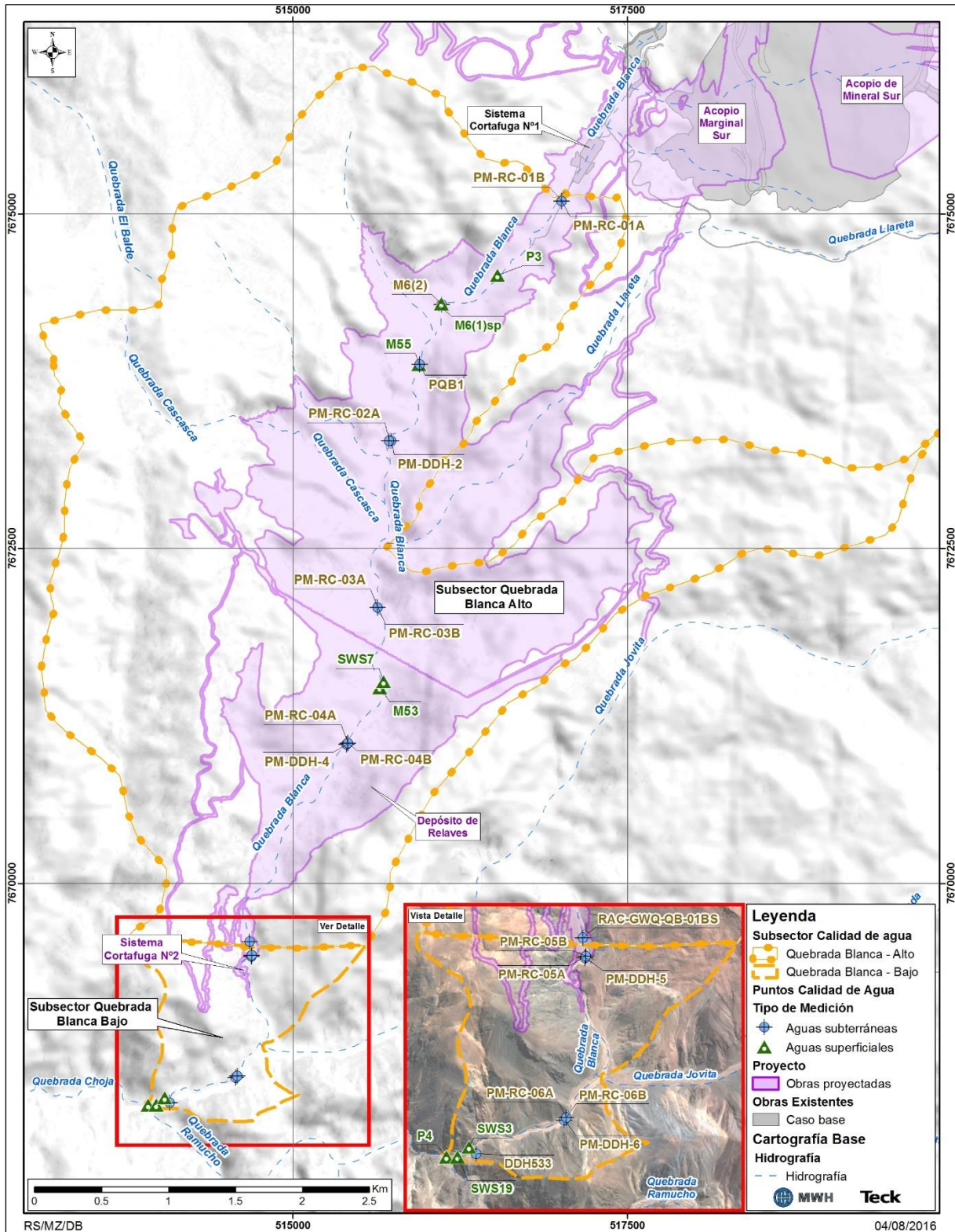
La subdivisión considerada se esquematiza en la Figura 3.2.9-36, en la que además se indica la ubicación de los puntos de monitoreo considerados para la presentación gráfica de los resultados de la descripción de la calidad de aguas del Sector Quebrada Blanca. En la Tabla 3.2.9-8 se presentan mayores detalles respecto a dichas estaciones.

**Tabla 3.2.9-8. Estaciones de monitoreo en Sector Quebrada Blanca, diferenciadas por subsectores.**

Nombre	DATUM WGS84, H19S			Tipo de Agua	Ubicación	Periodo con registros válidos
	Este (m)	Norte (m)	Elevación (m s.n.m.)			
<b>Subsector Quebrada Blanca Alto</b>						
PM-RC-01 <sup>a</sup>	517.010	7.675.095	3.965	Subterránea	Qda. Blanca	2014 - 2016
PM-RC-01B	517.010	7.675.095	3.965	Subterránea		2014 - 2016
P3	516.533	7.674.544	3.944*	Superficial		2000 - 2012
M6(1)sp	516.111	7.674.331	3.907*	Superficial		2011 - 2012
M6(2)	516.116	7.674.325	3.875	Subterránea		2007 - 2015
M55	515.944	7.673.876	3.886*	Superficial		2007 - 2012
PQB1	515.952	7.673.875	3.865	Subterránea		2011 - 2016
PM-DDH-2	515.738	7.673.303	3.830	Subterránea		2014 - 2016
PM-RC-02 <sup>a</sup>	515.723	7.673.305	3.828	Subterránea		2014 - 2016
PM-RC-03 <sup>a</sup>	515.635	7.672.059	3.755	Subterránea		2014 - 2016
PM-RC-03B	515.635	7.672.059	3.755	Subterránea		2014 - 2016
SWS7	515.681	7.671.508	3.728	Superficial		2012 - 2016
M53	515.653	7.671.463	3.737*	Superficial		2007 - 2012
PM-DDH-4	515.404	7.671.038	3.690	Subterránea		2014 - 2016
PM-RC-04 <sup>a</sup>	515.412	7.671.048	3.690	Subterránea		2014 - 2016
PM-RC-04B	515.412	7.671.048	3.690	Subterránea		2014 - 2016
RAC-GWQ-QB-01BS	514.680	7.669.564	3.614*	Subterránea		2016
<b>Subsector Quebrada Blanca Bajo</b>						
PM-RC-05 <sup>a</sup>	514.698	7.669.460	3.585	Subterránea	Qda. Blanca	2014 - 2016
PM-RC-05B	514.698	7.669.460	3.585	Subterránea		2014 - 2016
PM-DDH-5	514.691	7.669.451	3.586	Subterránea		2014 - 2016
PM-RC-06 <sup>a</sup>	514.587	7.668.561	3.524	Subterránea		2014 - 2016
PM-RC-06B	514.587	7.668.561	3.524	Subterránea		2014 - 2016
PM-DDH-6	514.577	7.668.548	3.525	Subterránea		2014 - 2016
DDH533	514.085	7.668.359	3.489	Subterránea		2012 - 2016
SWS3	514.046	7.668.397	3.502	Superficial		2012
SWS19	513.981	7.668.343	3.500	Superficial		2013 - 2015
P4	513.920	7.668.344	3.516*	Superficial		2000 - 2012

(\*) Cota estimada a partir de Google Earth.

**Figura 3.2.9-36 Sector Quebrada Blanca. Quebrada Blanca Alto y Quebrada Blanca Bajo.**



Fuente: Elaboración propia.



### b.1) Subsector Quebrada Blanca Alto

En este Subsector existe un alto número de estaciones de monitoreo, presentando algunas de éstas un número acotado de registros. Aunque todas han sido consideradas en la caracterización general de la evolución espacial y temporal de la calidad de aguas, dicha descripción ha sido enfocada en las consideradas como de mayor representatividad, correspondientes a las indicadas en la Tabla 3.2.9-8.

#### pH

En la Figura 3.2.9-37 y Figura 3.2.9-38 se presentan la variación espacial y temporal del pH de las aguas superficiales y subterráneas del Subsector Quebrada Blanca Alto, respectivamente. Cabe destacar que en la Figura 3.2.9-38 se ha hecho referencia al pozo RAC-GWQ-QB-01BS, como QB-01BS\*. Esto ha sido realizado para todas las figuras asociadas a la descripción de las aguas subterráneas de este Subsector.

Respecto a las **aguas superficiales**, la estación P3, ubicada unos 700 m aguas abajo del Sistema de Inyección N° 1 y con registros hasta 2012, presentó un rango de variación que correspondió a 2,8 UpH – 6,0 UpH, aunque el máximo pH, considerando los registros posteriores a 2003 fue igual a 4,6 UpH. La estación M6(1)sp, ubicada unos 500 m aguas abajo de P3, cuenta con registros entre noviembre de 2011 y noviembre de 2012, presentando aguas fuertemente ácidas, con un rango de variación igual a 3,6 UpH – 4,1 UpH. Aguas abajo de la junta de quebrada Blanca con quebrada Llaretá (puntos de monitoreo SWS7 y M53), las aguas varían entre fuertemente ácidas y moderadamente ácidas, en rangos similares a los de P3, entre 3,4 UpH y 4,6 UpH. Cabe señalar que la estación M55 no cuenta con registros de pH.

En lo que respecta a la variación temporal, el pH de las aguas superficiales presentó durante 2001 sus valores máximos en la estación P3. Durante 2002 hubo un descenso significativo, manteniéndose relativamente estable los registros en el tiempo, con un leve descenso, variando en el rango 4,0 UpH – 4,5 UpH entre 2002 y 2012 y en torno a 3,8 UpH y 4,2 UpH a partir de 2013.

En cuanto a las **aguas subterráneas**, en éstas se verifica una variabilidad considerable, hacia aguas abajo y en profundidad, en algunos tramos. En pozos ubicados en la cabecera de este tramo (PM-RC-01A, PM-RC-01B, M6(2) y PQB1), se manifiesta con claridad dicha variabilidad. El pozo PM-RC-01A (profundo), presenta aguas neutras y moderadamente alcalinas, con registros de pH variando entre 6,7 UpH y 8,1 UpH. El pozo PM-RC-01B (somero), en tanto, pese a ubicarse junto a PM-RC-01A, cuenta con registros de pH en rangos de aguas ácidas (entre 3,5 UpH y 4,0 UpH) desde diciembre de 2014. En este tramo también se presenta el pH máximo registrado en el Subsector, correspondiente al pozo PHQB08S (9,4 UpH).

Hacia aguas abajo, los pozos M6(2) y PQB1 han presentado rangos de variación amplios, estando sus registros de pH en rangos que incluyen desde aguas fuertemente ácidas, a aguas

neutras, con una mediana igual a 6,2 UpH en M6(2) y a 3,9 UpH en PQB1. Cabe señalar que el pH mínimo medido en este último fue igual a 2,8 UpH.

Hacia aguas abajo, entre los pozos PM-DDH-2 y PM-DDH-4, se replica la variabilidad de los registros, con unos pocos pozos con valores de pH en el rango de aguas neutras (por ejemplo, PM-RC-03A y PM-DDH-2), aunque la mayoría han presentado registros asociados a aguas moderadas o fuertemente ácidas. Para ejemplificar se indica que el pozo PM-RC-02A ha presentado registros en el rango 3,5 UpH – 4,0 UpH, mientras que la mayoría de las mediciones en el pozo PM-RC-04A ha variado entre 4,0 UpH y 5,0 UpH, tal como se aprecia en la Figura 3.2.9-38.

Se cuenta con 6 registros del pozo RAC-GWQ-QB-01BS (ubicado en el límite de este Subsector, aguas abajo del pozo PM-DDH-4), generados durante una prueba de bombeo, entre los días 14 y 17 de marzo de 2016. El valor medio de los pH registrados en este pozo correspondió a 6,6 UpH.

No existe una variación temporal del pH común de las aguas subterráneas en este subsector. Se observa que las aguas con pH en rangos neutros han presentado tendencias ascendentes (por ejemplo, pozos PM-RC-01A, o PM-RC-03A), mientras que otros con aguas más ácidas han presentado tendencias decrecientes (pozos PM-DDH-4 o PM-RC-03B, por ejemplo). Dicha tendencia decreciente también se aprecia en el pozo M6(2), en una escala interanual más extensa.

Finalmente, cabe destacar el abrupto descenso del pH del pozo PM-RC-01B entre noviembre de 2014 y diciembre de 2014, pasando las aguas a ser fuertemente ácidas a partir de este último mes, mientras que en forma previa siempre se mantuvieron en rangos de aguas neutras.

### Conductividad eléctrica

En la Figura 3.2.9-39 y Figura 3.2.9-40 se presentan la variación espacial y temporal de la CE de las aguas superficiales y subterráneas del Subsector Quebrada Blanca Alto, respectivamente.

En lo que respecta a las **aguas superficiales**, la estación P3 cuenta con información de concentración de sólidos disueltos totales (ver Anexo 3.2.9-1). Considerando que la tasa SDT/CE debiera variar regularmente en el rango 0,55 – 0,76 (APHA, 2005), la CE en dicho punto habría variado regularmente en torno a 5.000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  – 8.000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  hasta junio de 2010. Esto es consistente con el rango de variación de los registros hacia aguas abajo (los que presentan un valor máximo de la CE igual a 7.430  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), descontando las mediciones realizadas durante 2012 y principios de 2013.

Los registros del período mayo 2012 – noviembre 2012 dan cuenta de una condición particular. En esta se verificó un rango de variación igual a 4.740  $\mu\text{S}/\text{cm}$  – 12.160  $\mu\text{S}/\text{cm}$  en la estación M6(1)sp y un incremento de la CE, desde valores en torno a 4.000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , hasta 9.100  $\mu\text{S}/\text{cm}$  en la estación M55. Dicha condición es coincidente con la descrita para la misma fecha en el punto de monitoreo M5(1)sp del subsector Mina – Q. Blanca. Cabe señalar que el máximo valor

registrado para la CE en el Subsector (20.100  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) se verificó en torno a dicho período (enero, 2013), siendo medido en la estación SWS2.

En cuanto a las **aguas subterráneas**, éstas han presentado mayor variabilidad de CE que las aguas superficiales, presentando registros en torno a 1.000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  – 20.000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

En el tramo ubicado aguas arriba de la junta con quebrada Llaretta se verifica la mayor variación de la CE, lo que es coincidente con su mayor cercanía a la Cortina Hidráulica N° 1. Considerando los pozos M6(2) y PQB1, los de data más extensa, la CE ha variado en el rango 3.220  $\mu\text{S}/\text{cm}$  – 17.200  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . El pozo PM-RC-01B además muestra un incremento significativo de la CE a partir de noviembre de 2014, presentando un rango total de variación igual a 1.390  $\mu\text{S}/\text{cm}$  – 5.850  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Cabe destacar que el máximo valor de la CE en los pozos de este Subsector fue verificado en M7(1), ubicado junto a PQB1, correspondiendo dicho registro a 20.100  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

Desde el pozo PM-RC-02A hacia aguas abajo, las mediciones de CE presentan una mayor similitud, variando las medianas registradas entre valores del orden de 4.500  $\mu\text{S}/\text{cm}$  – 7.500  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , siendo el rango total de variación (mínimo-máximo) igual a 2.580  $\mu\text{S}/\text{cm}$  – 8.400  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (considerando los pozos de la Tabla 3.2.9-8, incluidos en la Figura 3.2.9-40). Cabe destacar que los pozos PM-DDH-4, PM-RC-04A y PM-RC-04B han variado en el rango 5.730  $\mu\text{S}/\text{cm}$  – 6.890  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , con una mediana igual a 6.500  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Aguas abajo, el pozo RAC- GWQ-QB-01BS, ubicado en el límite sur de este Subsector, presenta registros inferiores, variando entre 5.490  $\mu\text{S}/\text{cm}$  – 5.991  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , con un valor medio igual a 5.712  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

Respecto a la variación temporal, el pozo M6(2) presentó hasta 2012 condiciones uniformes de CE (en torno a 4.000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ); la que a partir de 2012 se incrementó hasta registros del orden de 8.000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  – 10.000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Los valores posteriormente variaron en un rango más amplio, con un máximo que alcanzó 11.170  $\mu\text{S}/\text{cm}$  y una aparente tendencia decreciente durante 2015. Este comportamiento podría estar asociado a la operación de la Cortina Hidráulica N°1 y es similar a lo observado en PQB1. Al respecto, este último presenta registros con una tendencia regular decreciente, también en el rango 8.000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  – 10.000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , pero con una serie de registros dispersos, que abarcan desde un mínimo igual a 6.200  $\mu\text{S}/\text{cm}$  hasta 17.200  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Ubicado en torno a estos pozos, el pozo PM-RC-01B también presentó un cambio significativo a partir de noviembre de 2014, el que fue previamente descrito.

Hacia aguas abajo, en general se observa una tendencia creciente de la CE, marcando el pozo PM-RC-02A, que es el que presenta los mayores registros (máximo igual a 8.400  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), una excepción a dicho comportamiento general, con una tendencia decreciente. También se observa una tendencia convergente de la CE en los diferentes pozos ubicados desde PM-DDH-2 hacia aguas abajo, cuyos registros varían entre 5.000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  y 6.800  $\mu\text{S}/\text{cm}$  en las mediciones de los últimos meses de 2015 y los registros de 2016.

## Sulfato

En la Figura 3.2.9-41 y Figura 3.2.9-42 se presenta la variación espacial y temporal de la concentración de sulfato en las aguas superficiales y subterráneas del Subsector Quebrada Blanca Alto, respectivamente.

En lo que respecta a las **aguas superficiales**, la concentración de sulfato ha sido relativamente uniforme en términos espaciales, correspondiendo las diferencias identificadas en la Figura 3.2.9-41 a variaciones temporales del parámetro. De acuerdo a los registros presentados en esta, entre 2002 y 2010 (hasta el mes de junio), la concentración de sulfato se presentó en el rango 900 mg/l – 3.500 mg/l. A partir de 2010 (julio), hubo un incremento en dichos valores, los que variaron regularmente entre 5.000 mg/l y 8.000 mg/l, hasta la actualidad, con excepciones particulares. Durante 2012 se presentó una condición particular, en la que se verificó un aumento significativo de la concentración de sulfato, alcanzando una magnitud igual a 22.350 mg/l en la estación M55 y a 26.548 mg/l en M6(1)sp. Esto coincide con el incremento descrito para la estación M5(1)sp (Subsector Mina - Q.Blanca) en el mismo período y con un aumento de la concentración de sulfato en el pozo M6(2). Cabe destacar que también coinciden con la máxima concentración de sulfato registrada en el Subsector, en la estación SWS2 (32.000 mg/l). Esta no fue incluida en la presentación gráfica de resultados, debido a que cuenta con dos registros (diciembre de 2012 y enero de 2013) y a que la tendencia que estos muestran (incrementos de la concentración de sales disueltas en dicho período), también es representada por las mediciones de la estación M55, con un mayor número de datos.

En cuanto a las **aguas subterráneas**, estas han presentado una variación similar a la descrita para la CE. La mayor variabilidad se ha verificado en el sector de mayor cercanía con la Cortina Hidráulica N° 1 y con el pozo PQB1. Al respecto, el pozo M6(2) ha presentado un rango de variación correspondiente a 2.634 mg/l – 13.768 mg/l, con una mediana en torno a 4.500 mg/l, mientras que el pozo PQB1 cuenta con una concentración máxima inferior (12.700 mg/l), aunque sus registros regularmente han variado en el rango 8.000 mg/l – 9.000 mg/l (mediana igual a 8.620 mg/l), siendo superiores a los del pozo M6(2). La máxima concentración de sulfato en las aguas subterráneas del Subsector fue verificada en el pozo M7(2), ubicado junto a PQB1 (27.515 mg/l). Cabe señalar que dicho valor correspondió a una condición particular verificada durante 2011, dado que los registros en dicho pozo han sido normalmente inferiores a 10.000 mg/l.

Las menores concentraciones de aguas subterráneas en el Subsector en el eje de quebrada Blanca han correspondido al pozo PM-RC-01A, con registros en torno a 500 mg/l (el registro mínimo fue verificado en el pozo SH21-14-05C, ubicado en una quebrada afluente a quebrada Blanca). Las máximas, descontando los pozos ubicados en torno a M6(1) y PQB1 ya descritos, se midieron en el pozo PM-RC-02A, presentando un máximo igual a 7.710 mg/l. Aunque no se observa una tendencia espacial en la distribución de la concentración de sulfato, se aprecia que los pozos someros presentan concentraciones superiores (PM-RC-01B, PM-RC-03B) o similares (PM-RC-04B) que los profundos ubicados contiguos a éstos.

En el pozo RAC-GWQ-QB-01BS, el rango de variación de la concentración de sulfato durante marzo de 2016 correspondió a 2.831 mg/l – 3.418 mg/l, registro levemente inferior a los presentados por los pozos PM-DDH-4, PM-RC-04A y PM-RC-04B, ubicados unos 2 km aguas arriba, cuyos registros de enero de 2016 variaron en torno a 5.550 mg/l – 6.000 mg/l.

En lo que respecta a la variación temporal, entre 2007 y 2011 la concentración de sulfato en las aguas subterráneas en este Subsector, caracterizado por el pozo M6(2), fue uniforme. Varió en torno a 3.500 mg/l, con un período particular (junio-julio de 2010), en el que aumentó en forma significativa. A partir de 2011 se desarrolló una tendencia de incremento, la que se acentuó durante 2012, en un período coincidente con los incrementos descritos para las aguas superficiales, alcanzando los registros máximos. Posteriormente, hubo un descenso en las concentraciones y desde 2014 en adelante se ha verificado una mayor estabilidad temporal de la concentración de sulfato, variando los registros del pozo PQB1 en el rango 8.000 mg/l – 9.000 mg/l y los del pozo M6(2) en torno a 5.000 mg/l – 6.000 mg/l.

Con la excepción del incremento abrupto de la concentración de sulfato en el pozo PM-RC-01B durante la campaña de noviembre de 2014 (similar a la descrita para la CE), los pozos restantes han presentado variaciones atenuadas, presentado la mayoría de los pozos tendencias crecientes. Así, se verificó en diversos pozos a lo largo del eje de quebrada Blanca en este sector (PM-DDH-2, PM-RC-03B, PM-DDH-4, entre otros) un incremento en la concentración de sulfato durante 2015 de una magnitud de entre 1.000 mg/l y 1.500 mg/l. Por contrapartida, en el mismo periodo los pozos profundos PM-RC-03A y PM-RC-01A han mantenido concentraciones estables, mientras que el pozo PM-RC-02A, también profundo, presentó una tendencia decreciente.

### Cloruro

En la Figura 3.2.9-43 y Figura 3.2.9-44 se presentan la variación espacial y temporal de la concentración de cloruro en las aguas superficiales y subterráneas del Subsector Quebrada Blanca Alto, respectivamente.

En lo que respecta a las **aguas superficiales**, las estaciones ubicadas en el Subsector han presentado registros en el rango 27 mg/l - 258 mg/l.

Así como la concentración de cloruro es relativamente homogénea desde el punto de vista espacial, también lo ha sido en términos temporales. Dentro de la estabilidad descrita, la principal particularidad identificada corresponde al período mayo 2012 – noviembre 2012, en el que se presentan la concentración máxima (estación P3) y las mínimas.

En cuanto a las **aguas subterráneas**, la concentración de cloruro ha sido espacialmente homogénea, variando en la mayoría de los pozos en torno a 20 mg/l – 160 mg/l, salvo algunos registros particulares.

Las mayores concentraciones, considerando los pozos presentados en la Figura 3.2.9-44 han sido verificadas en el pozo PM-RC-03A, cuyo rango de variación correspondió a 28 mg/l –

335 mg/l, presentando una tendencia creciente en el tiempo. Sin embargo, las máximas concentraciones del Subsector han sido medidas en el pozo PM-DDH-3, con un registro máximo igual a 1.190 mg/l.

### Cobre disuelto

En la Figura 3.2.9-45 y Figura 3.2.9-46 se presentan la variación espacial y temporal de la concentración de cobre disuelto en las aguas superficiales y subterráneas del Subsector Quebrada Blanca Alto, respectivamente.

Respecto a las **aguas superficiales** el rango de variación ha sido amplio, igual a 10 mg/l – 3.265 mg/l, correspondiendo el máximo al punto de monitoreo M6(1)sp. Cabe destacar que las diferencias se deben principalmente a la evolución temporal del parámetro, aunque también tienen relación con su ubicación a lo largo del eje de la quebrada.

Durante 2012 los registros de cobre disuelto variaron entre 26 mg/l a 542 mg/l en la estación M55, la que se encuentra junto al pozo PQB1 y entre 213 mg/l y 3.265 mg/l en la estación M6(1)sp. Dichos incrementos son similares al descrito para otros parámetros y para el punto de monitoreo M5(1)sp (sector Mina - Q.Blanca). Aguas abajo de la junta con quebrada Llareta, la estación M53 presentó una concentración máxima igual a 41 mg/l, también medida durante 2012. El punto de monitoreo SWS7, ubicado junto a la estación M53, presenta registros desde diciembre de 2012, mostrando una tendencia creciente, alcanzando un máximo igual a 197 mg/l durante 2015.

En cuanto a las **aguas subterráneas**, los rangos de variación de cobre disuelto registrados han sido mayores que los verificados para las aguas superficiales. Por ejemplo, el pozo M6(2) ha presentado una diferencia de 4 órdenes de magnitud entre los valores mínimo (0,05 mg/l) y máximo (367 mg/l) medidos, mientras que la variación del pozo PQB1 ha sido similar a la del pozo M6(2) (0,1 mg/l – 404 mg/l). Las medianas de ambos no superan los 10 mg/l. Cabe destacar que en el pozo M7(1), ubicado junto al pozo PQB1, se ha presentado la máxima concentración de cobre disuelto del Subsector, correspondiendo a 665 mg/l.

Hacia aguas abajo, las máximas concentraciones de cobre disuelto se han registrado en el pozo PM-RC-02A (mediana y máximo iguales a 302 mg/l y 348 mg/l, respectivamente). Una serie de pozos han presentado concentraciones un tanto inferiores a éstas, variando regularmente sus registros en el rango 20 mg/l – 100 mg/l, encontrándose ubicados la mayoría de estos pozos aguas abajo de la junta con quebrada Llareta, entre ellos el pozo PM-DDH-4. Por otra parte, existe un tercer grupo de pozos, en los que se han presentado las concentraciones de cobre disuelto con el rango de variación de menor magnitud, estando entre estos PM-DDH-2, PM-RC-03A y RAC-GWQ-QB-01BS. En estos, los registros han variado entre 0,002 mg/l y 31 mg/l. Cabe señalar que la mayoría de los registros de los pozos M6(2) y PQB1 se han presentado dentro de dicho rango de variación.

La concentración de cobre disuelto en el pozo RAC-GWQ-QB-01BS varió en torno a 0,4 mg/l, magnitud significativamente inferior a la registrada en PM-DDH-4, PM-RC-04A y PM-RC-04B, ubicados cerca de 2 km aguas arriba de éste.

No existe homogeneidad espacial respecto a la variación temporal de la concentración de cobre disuelto. Existen algunos pozos con tendencias decrecientes desde 2014, disminuyendo las concentraciones en al menos un orden de magnitud (PQB1 y PM-DDH-2). Por otra parte, los pozos con registros en el rango 20 mg/l – 100 mg/l, ubicados aguas abajo de la junta con quebrada Llaretá (PM-RC-03B, PM-DDH-4, PM-RC-04A y PM-RC-04B), presentan tendencias crecientes. Además de los anteriores, se destaca el incremento en la concentración de cobre disuelto en el pozo PM-RC-01B durante 2014, cuyas concentraciones tendieron a estabilizarse a partir de noviembre de 2014.

### Cobre total

En la Figura 3.2.9-47 y Figura 3.2.9-48 se presentan la variación espacial y temporal de la concentración de cobre total en las aguas superficiales y subterráneas del Subsector Quebrada Blanca Alto, respectivamente.

Respecto a las **aguas superficiales**, se cuenta con registros en las estaciones P3, SWS2 y SWS7. La concentración de cobre total ha variado entre 14 mg/l (P3) y 1.090 mg/l (SWS2).

En cuanto a la variación temporal, se destaca que, al igual que con otros parámetros, se verificó la existencia de altas concentraciones entre fines de 2012 y principios de 2013. Al respecto, la máxima en la estación SWS2 fue medida en enero de 2013. Por otra parte, en la estación P3 se verificó un incremento de las concentraciones entre los períodos 2000 – 2003 y 2010 – 2012, mientras que en SWS7 hubo una tendencia creciente entre 2012 y 2015.

Las **aguas subterráneas** han presentado una variación considerable de la concentración de cobre total, correspondiendo esta a 0,007 mg/l – 1.720 mg/l. La concentración máxima fue medida en el pozo PQB1, aunque este ha presentado diversos registros inferiores a 1 mg/l, concentrándose estos en el 2015. Su mediana ha sido igual a 5,2 mg/l, valor inferior al de, por ejemplo, los pozos M6(2) y PM-RC-02A (85 mg/l y 326 mg/l, respectivamente).

No se aprecia una tendencia espacial clara. Entre los pozos PM-RC-01A y PQB1, hay pozos como M6(2) y PQB1, con concentraciones regularmente superiores a 10 mg/l, mientras que otros como PM-RC-01A presentan valores medios del orden de 0,5 mg/l o inferiores. Hacia aguas abajo, entre los pozos PM-RC-02A y PM-RC-04A, hay mayor uniformidad en los registros, variando regularmente en torno a 10 mg/l – 100 mg/l, con unos pocos pozos presentando una tendencia diferente (como PM-RC-03A, con una mediana igual a 0,6 mg/l). Dichos registros con considerablemente superiores al del pozo RAC-GWQ-QB-01BS, igual a 0,4 mg/l.

Respecto a la variación temporal, desde el pozo PM-RC-02A, hacia aguas abajo, los diferentes pozos muestran tendencias leves al alza o concentraciones uniformes durante 2015. Hacia aguas

arriba, en tanto, se verifican diferentes tendencias. Por ejemplo, el pozo PQB1 muestra un decremento de la concentración durante 2015, mientras que el pozo M6(2) presenta en el mismo período registros estables, luego de una tendencia de incremento durante 2014.

### Hierro disuelto

En la Figura 3.2.9-49 y Figura 3.2.9-50 se presentan la variación espacial y temporal de la concentración de hierro disuelto en las aguas superficiales y subterráneas del Subsector Quebrada Blanca Alto, respectivamente.

Respecto a las **aguas superficiales**, la estación SWS7 cuenta con un número significativo de registros. Ésta ha presentado un rango de variación igual a  $< 0,01 \text{ mg/l} - 1,0 \text{ mg/l}$ . Cabe destacar que la concentración máxima medida en este Subsector ha sido igual a  $17 \text{ mg/l}$ , correspondiendo a la estación SWS2.

En cuanto a las **aguas subterráneas**, las máximas concentraciones han sido registradas en el pozo PQB1, las que regularmente han variado en el rango  $500 \text{ mg/l} - 1.500 \text{ mg/l}$ , con un máximo igual a  $1.530 \text{ mg/l}$ . No se cuenta con registros de hierro disuelto en el pozo M6(2).

En los restantes pozos del Subsector, los registros han presentado un rango de variación más acotado que el cobre disuelto. Descontando un registro fuera del rango común de variación en el pozo PM-RC-02A (igual a  $186 \text{ mg/l}$ ), el rango de variación de los registros incluidos en la Figura 3.2.9-50 ha correspondido a  $0,03 \text{ mg/l}$  (pozo PM-RC-01A) –  $19,2 \text{ mg/l}$  (PM-RC-01B). En particular, para los pozos PM-DDH-4, PM-RC-04A y PM-RC-04B, los registros han variado entre  $0,1 \text{ mg/l}$  y  $0,7 \text{ mg/l}$ .

El pozo RAC-GWQ-QB-01BS presentó concentraciones de hierro disuelto inferiores al límite de detección del método analítico utilizado (L.D. =  $0,06 \text{ mg/l}$ ).

### Hierro total

En la Figura 3.2.9-51 y Figura 3.2.9-52 se presentan la variación espacial y temporal de la concentración de hierro total en las aguas superficiales y subterráneas del Subsector Quebrada Blanca Alto, respectivamente.

Respecto a las **aguas superficiales**, las menores concentraciones han sido medidas en la estación SWS7 ( $0,02 \text{ mg/l}$ ), mientras que la máxima ha correspondido a la estación SWS2, en la que se cuenta con registros en diciembre de 2012 y enero de 2013, iguales a  $7,8 \text{ mg/l}$  y  $18 \text{ mg/l}$ , respectivamente. La estación P3, por su parte, ha presentado el rango de variación de mayor amplitud ( $0,08 \text{ mg/l} - 12 \text{ mg/l}$ ).

En cuanto a las **aguas subterráneas**, las máximas concentraciones se han registrado en el pozo PQB1, las que regularmente han variado en el rango  $500 \text{ mg/l} - 1.500 \text{ mg/l}$ , con un máximo igual a  $1.625 \text{ mg/l}$ .



En los restantes pozos del Subsector, los registros han presentado un rango de variación más acotado que lo descrito para el cobre total y disuelto. Salvo algunos registros particulares, las mediciones han variado normalmente entre 0,5 mg/l y 40 mg/l.

Respecto a la variación temporal de la concentración de hierro total, descontando algunos casos particulares (como el incremento en el pozo PM-RC-01B durante 2014 o el decremento en el pozo DDH-4 en sus primeros registros en 2014 – 2015), los pozos presentan registros estables o con un cierto grado de dispersión, pero sin tendencias.

### Resumen

A modo de síntesis de los resultados presentados, a continuación se resumen la descripción de la calidad de agua en el Subsector Quebrada Blanca Alto para los parámetros evaluados, por medio del uso de diferentes estadísticos, considerando entre otros el, registro mínimo, el máximo y el P50 o mediana. Los resultados se presentan en la Tabla 3.2.9-9 y Tabla 3.2.9-10, diferenciándose entre la serie histórica, que considera todos los registros, y las mediciones realizadas desde 2015 en adelante (situación actual).

**Tabla 3.2.9-9. Resumen calidad de agua en Subsector Quebrada Blanca Alto, registros históricos.**

Tipo Agua	Valor	C.E.	Cl	Cu dis	Cu tot	Fe dis	Fe tot	pH	SO <sub>4</sub>
		µS/cm	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	UpH	mg/l
Aguas Superficiales	Mín.	3.810	27	10	14	< 0,01	0,02	2,8	944
	P(10)	5.980	76	47	50	0,02	0,02	3,8	4.720
	P(50)	6.870	91	99	106	0,2	0,2	4,0	5.900
	P(90)	7.430	109	197	224	1,0	3,1	4,1	7.048
	Máx.	20.100	258	3.265	1.090	17	18	6,0	32.000
Aguas Subterráneas	Mín.	722	18	0,002	0,007	< 0,01	0,06	2,8	133
	P(10)	3.687	45	0,05	0,3	0,3	1,1	3,6	2.000
	P(50)	8.250	95	4,9	11,4	236	318	4,5	7.020
	P(90)	14.020	149	223	358	994	1.190	7,0	9.550
	Máx.	20.520	1.190	665	1.720	1.530	1.625	9,4	27.515

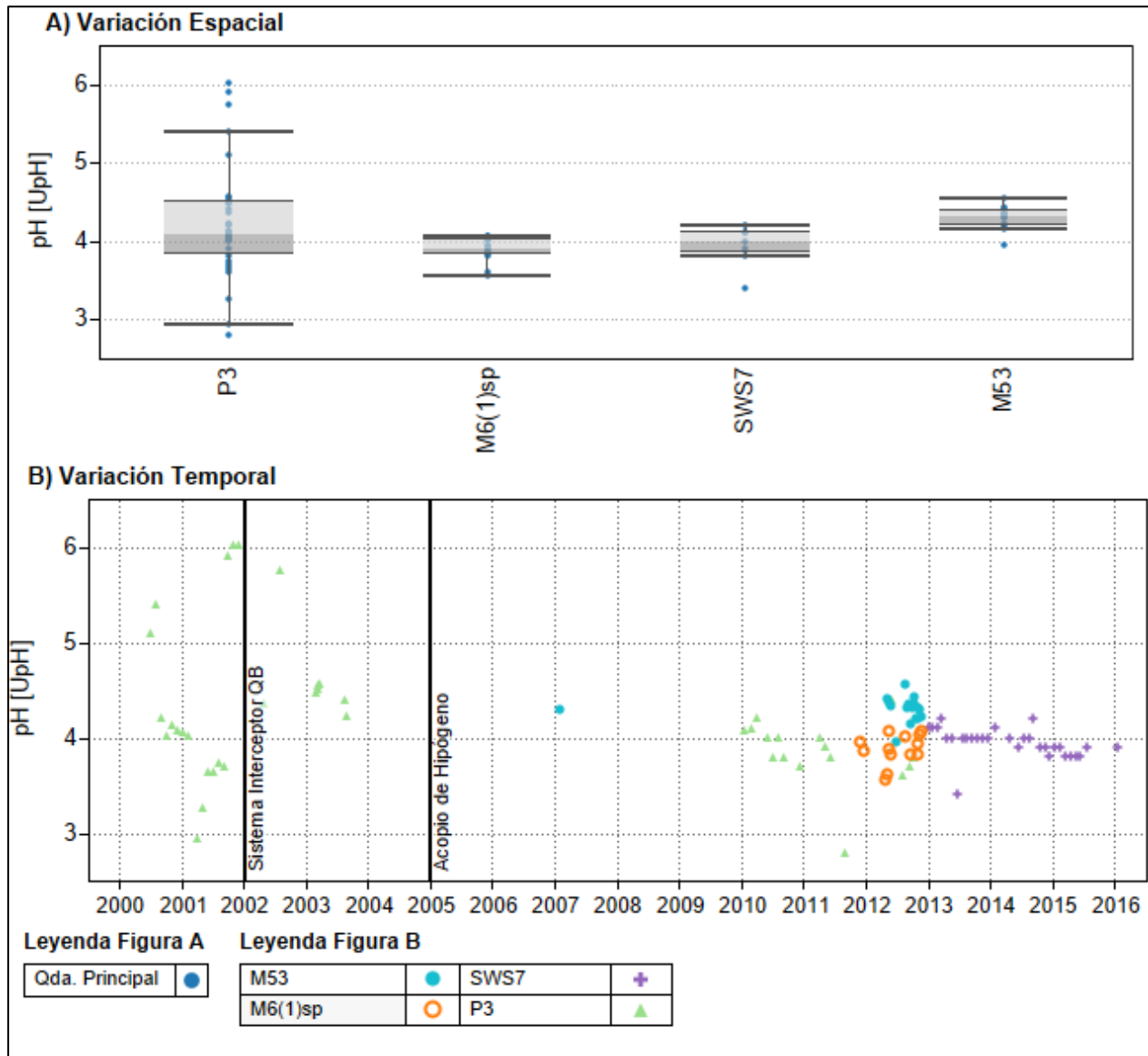
Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 3.2.9-10. Resumen calidad de agua en Subsector Quebrada Blanca Alto, registros 2015-2016.**

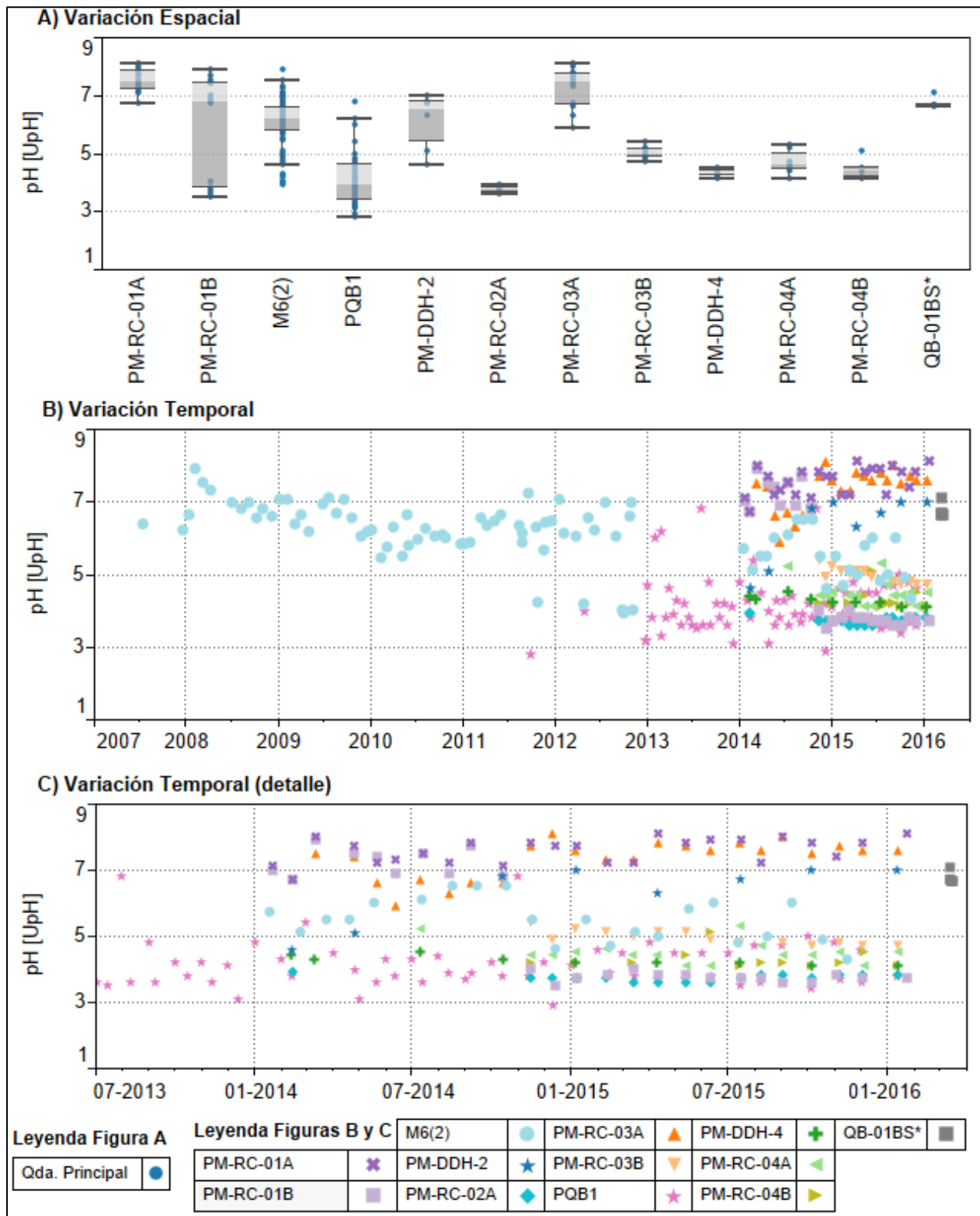
Tipo Agua	Valor	C.E.	Cl	Cu dis	Cu tot	Fe dis	Fe tot	pH	SO <sub>4</sub>
		µS/cm	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	UpH	mg/l
Aguas Superficiales	Mín.	6.610	91	100	121	0,1	0,12	3,8	6.030
	P(10)	6.610	91	100	121	0,1	0,12	3,8	6.030
	P(50)	7.210	105	157	174	0,1	0,14	3,9	6.465
	P(90)	7.430	118	197	237	0,4	0,16	3,9	6.870
	Máx.	7.430	118	197	237	0,4	0,16	3,9	6.870
Aguas Subterráneas	Mín.	722	23	0,003	0,06	0,03	0,06	3,4	133
	P(10)	2.430	30	0,03	0,2	0,2	0,9	3,6	1.180
	P(50)	8.680	109	3,3	4,9	11	17	4,4	6.840
	P(90)	14.220	242	120	420	968	1.178	7,3	8.970
	Máx.	15.910	830	344	691	994	1.255	8,6	9.911

Fuente: Elaboración propia.

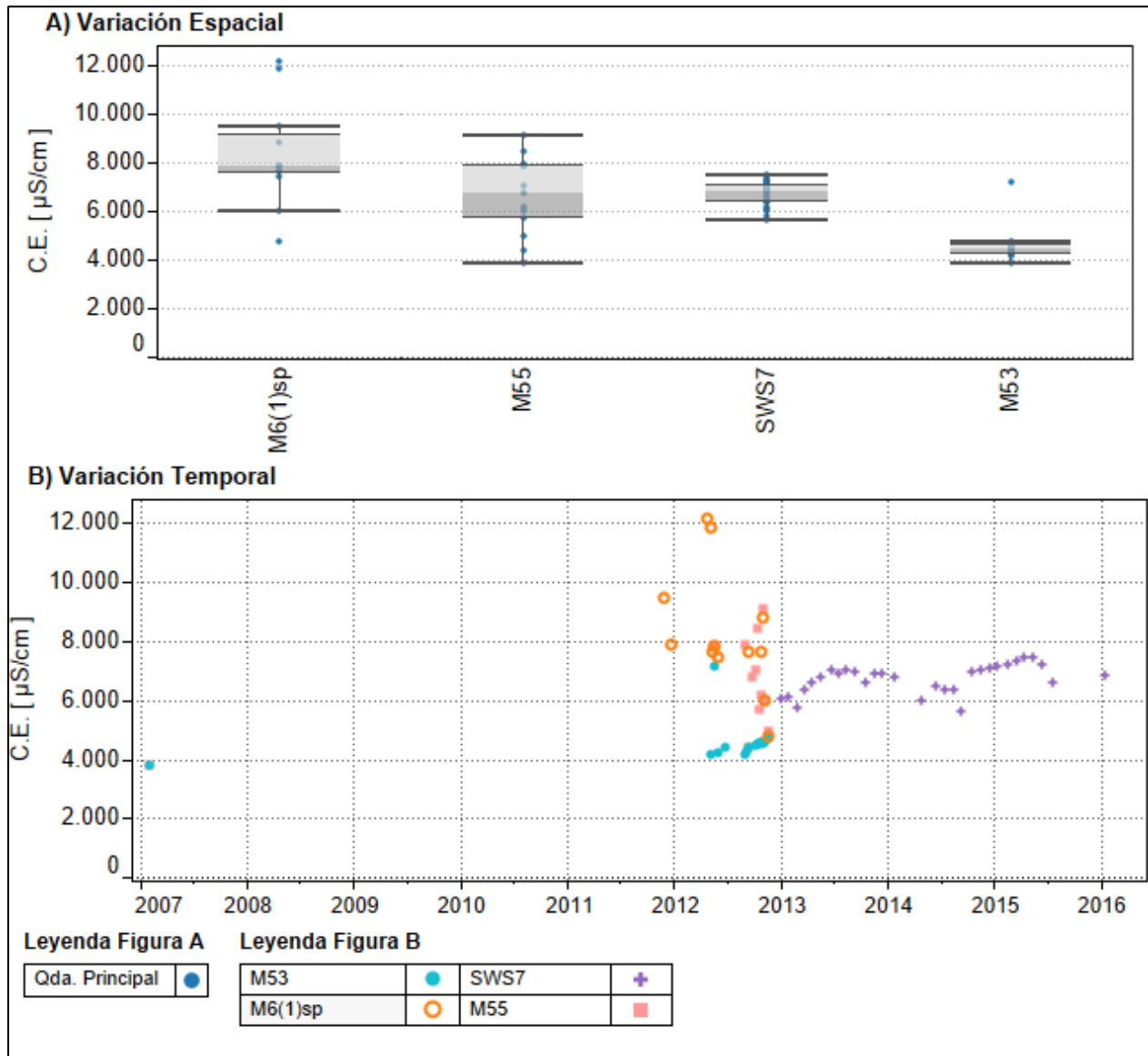
**Figura 3.2.9-37 Variación espacial y temporal del pH de las aguas superficiales del Subsector Quebrada Blanca Alto. En la figura A), las estaciones se encuentran ordenadas en el sentido del escurrimiento.**



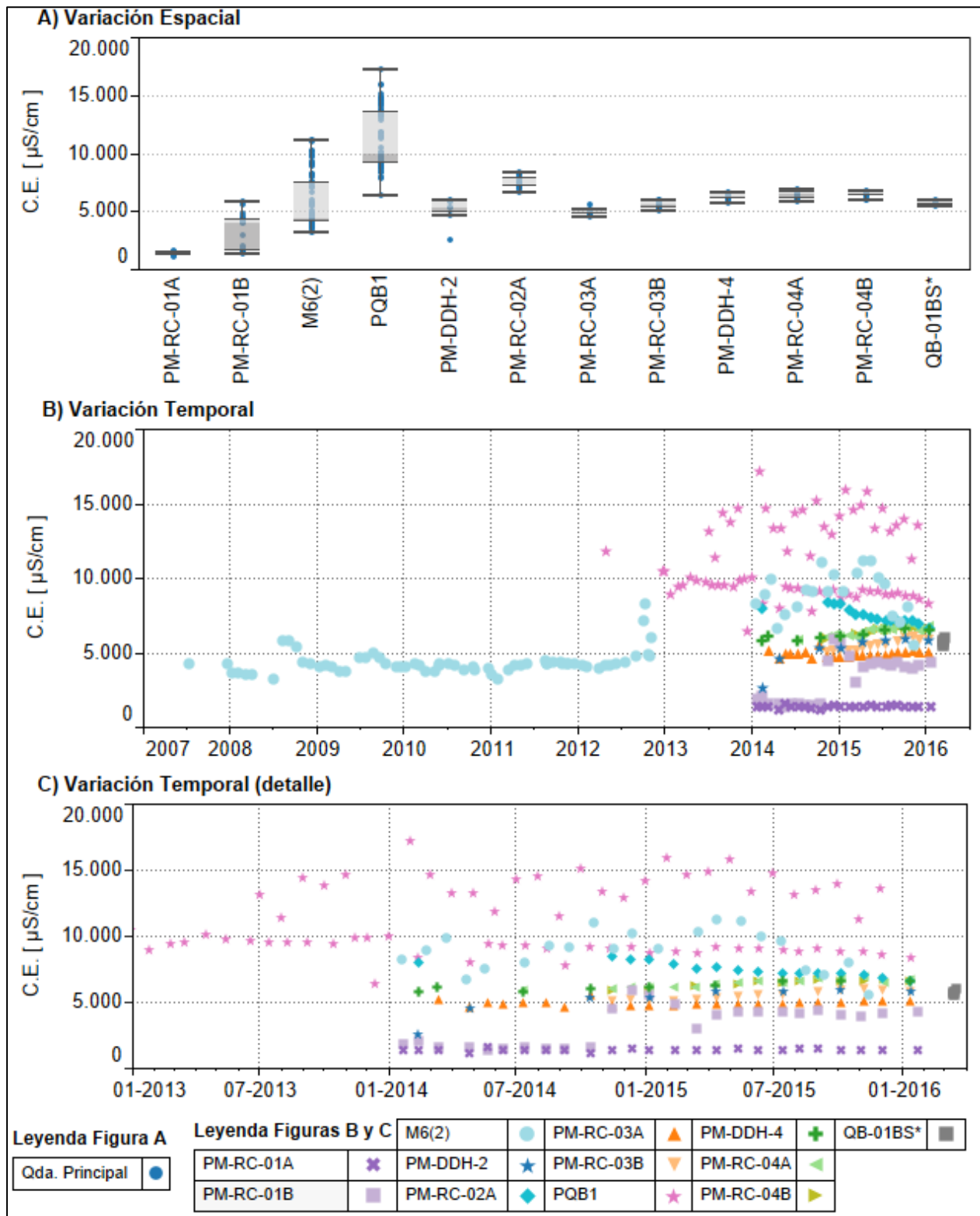
**Figura 3.2.9-38 Variación espacial y temporal del pH de las aguas subterráneas del Subsector Quebrada Blanca Alto. En la figura A), las estaciones se encuentran ordenadas en el sentido del escurrimiento.**



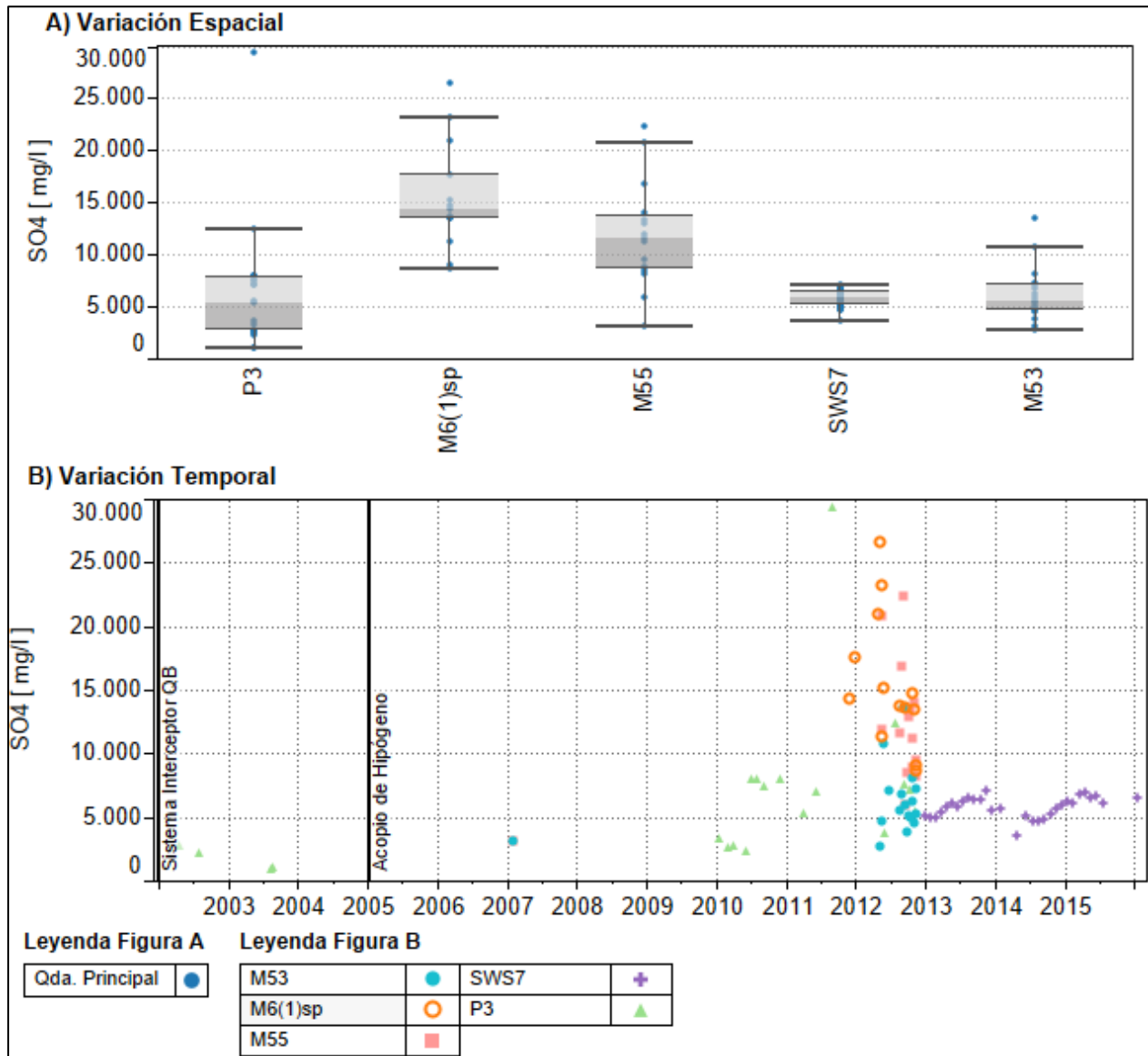
**Figura 3.2.9-39 Variación espacial y temporal de la CE de aguas superficiales del Subsector Quebrada Blanca Alto. En la figura A), las estaciones se encuentran ordenadas en el sentido del escurrimiento.**



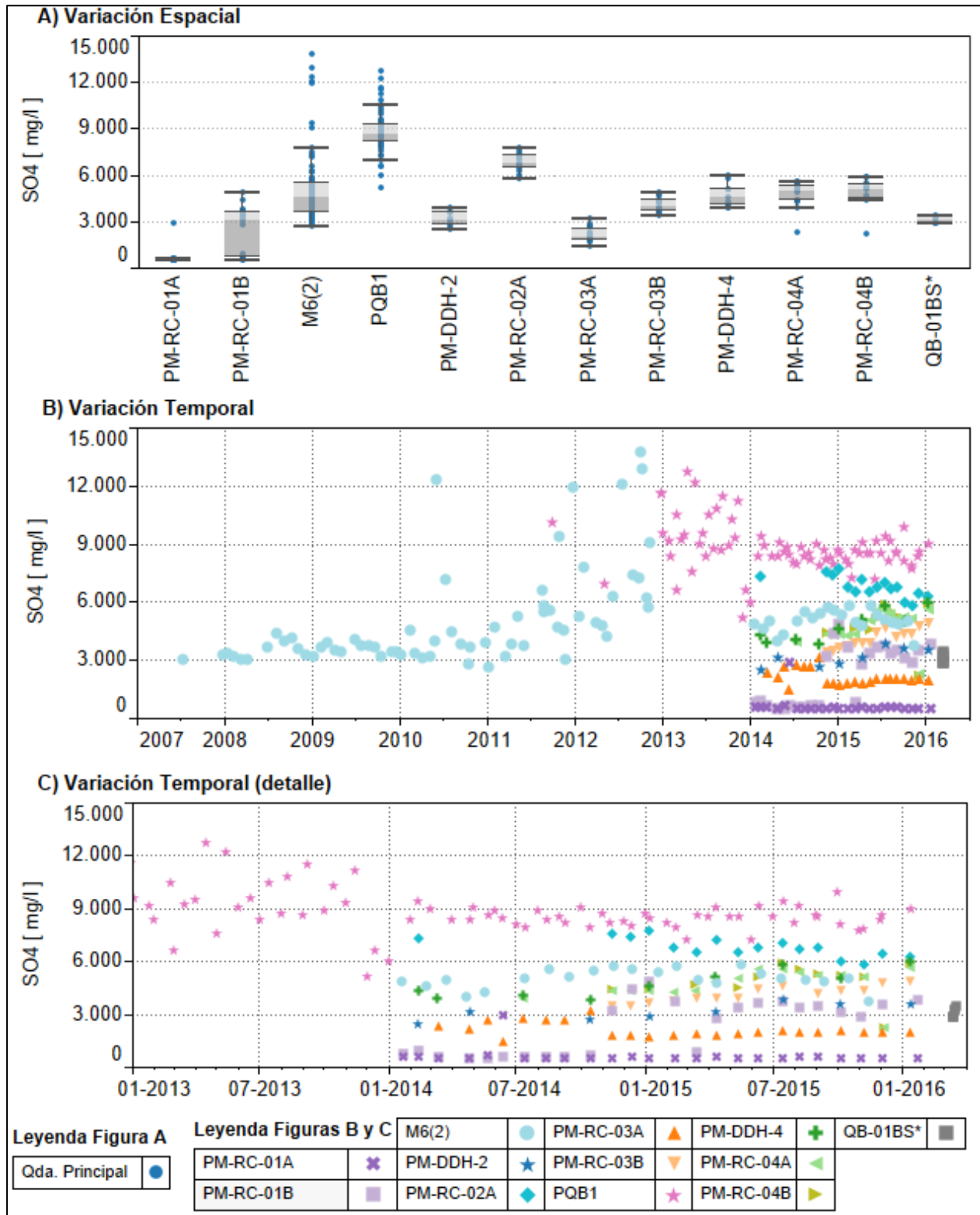
**Figura 3.2.9-40 Variación espacial y temporal de la CE de aguas subterráneas del Subsector Quebrada Blanca Alto. En la figura A), las estaciones se encuentran ordenadas en el sentido del escurrimiento.**



**Figura 3.2.9-41 Variación espacial y temporal de la concentración de sulfato en las aguas superficiales del Subsector Quebrada Blanca Alto. En la figura A), las estaciones se encuentran ordenadas en el sentido del escurrimiento.**

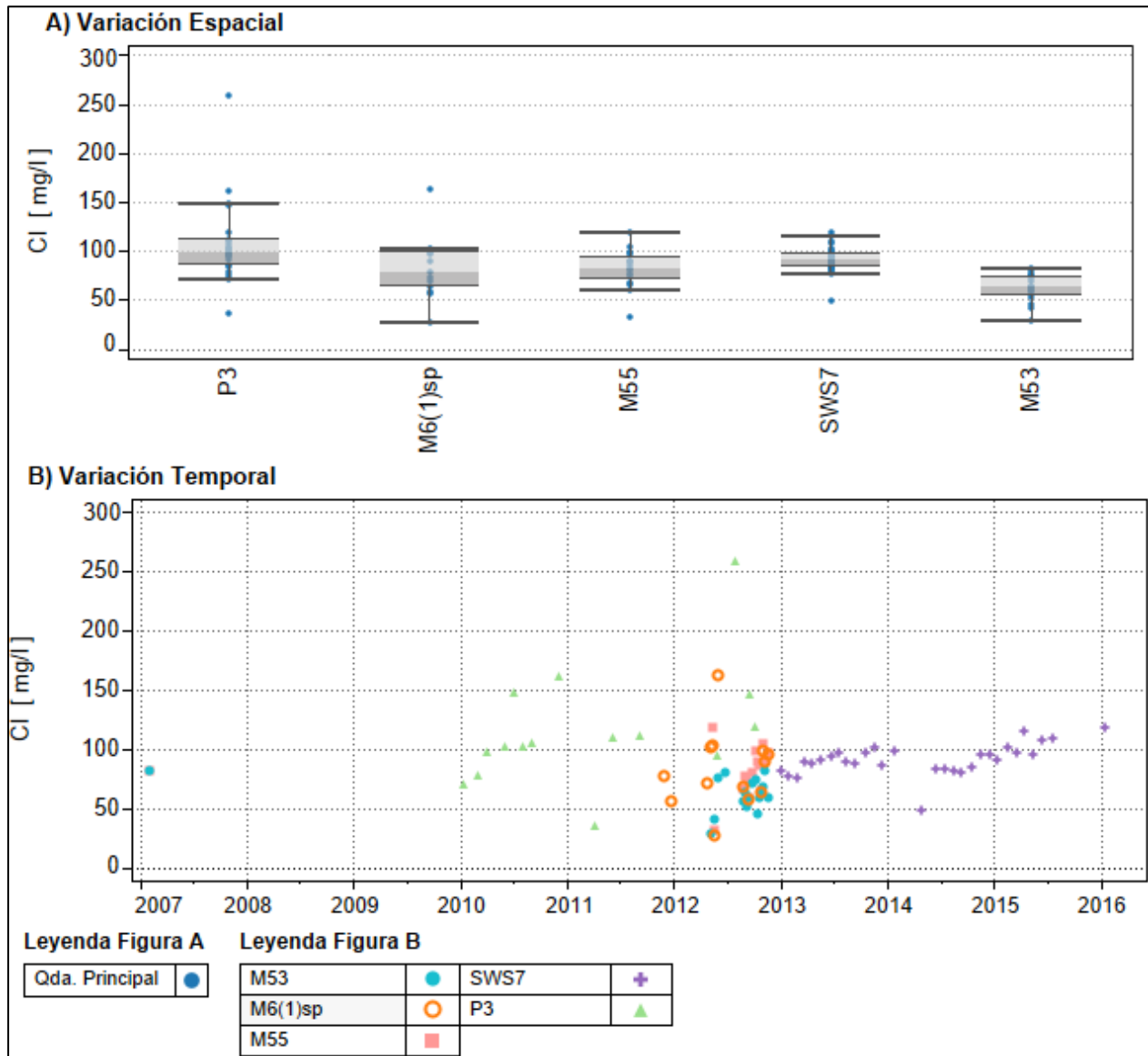


**Figura 3.2.9-42 Variación espacial y temporal de la concentración de sulfato en las aguas subterráneas del Subsector Quebrada Blanca Alto. En la figura A), las estaciones se encuentran ordenadas en el sentido del escurrimiento.**

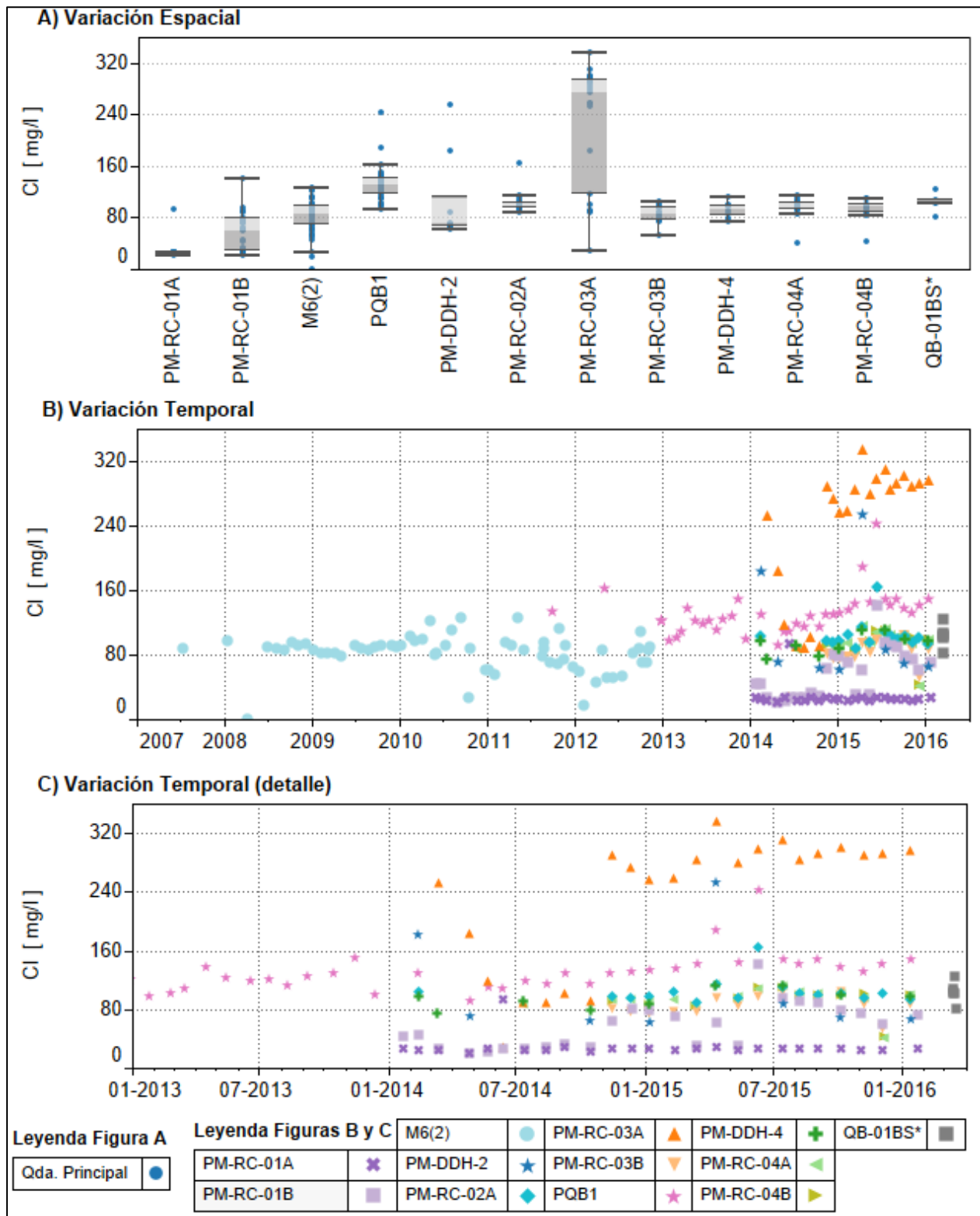




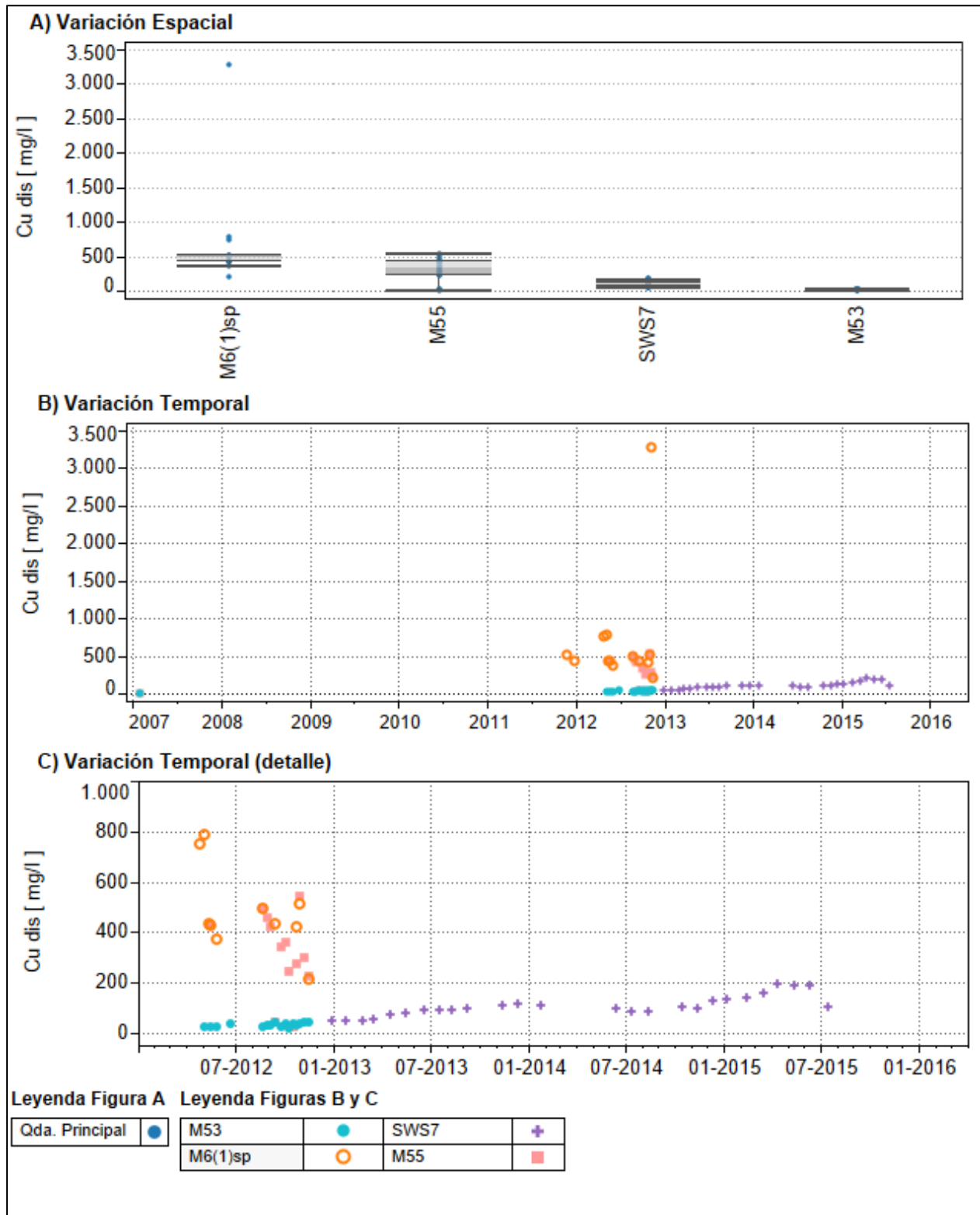
**Figura 3.2.9-43 Variación espacial y temporal de la concentración de cloruro en las aguas superficiales del Subsector Quebrada Blanca Alto. En la figura A), las estaciones se encuentran ordenadas en el sentido del escurrimiento.**



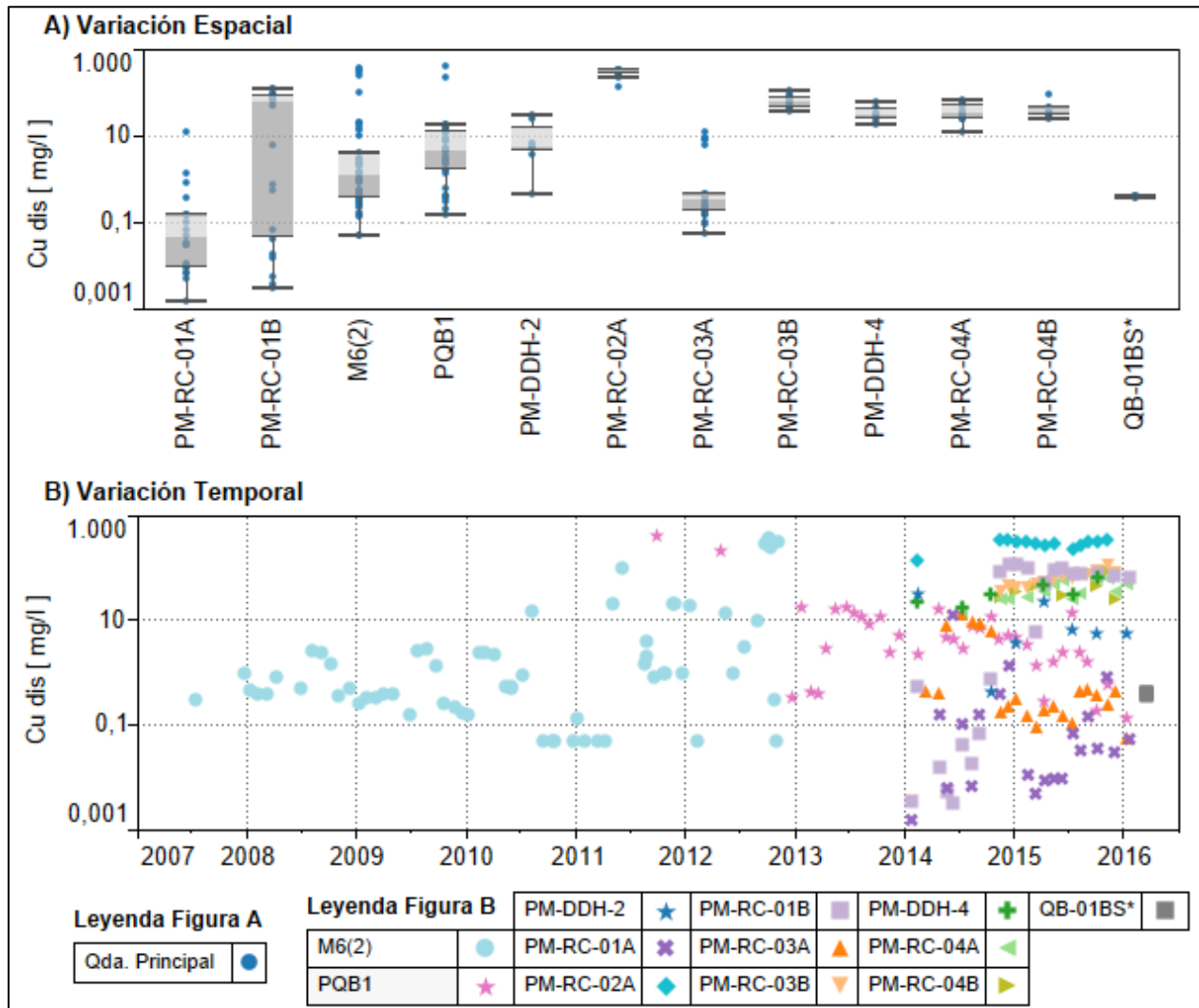
**Figura 3.2.9-44 Variación espacial y temporal de la concentración de cloruro en las aguas subterráneas del Subsector Quebrada Blanca Alto. En la figura A), las estaciones se encuentran ordenadas en el sentido del escurrimiento.**



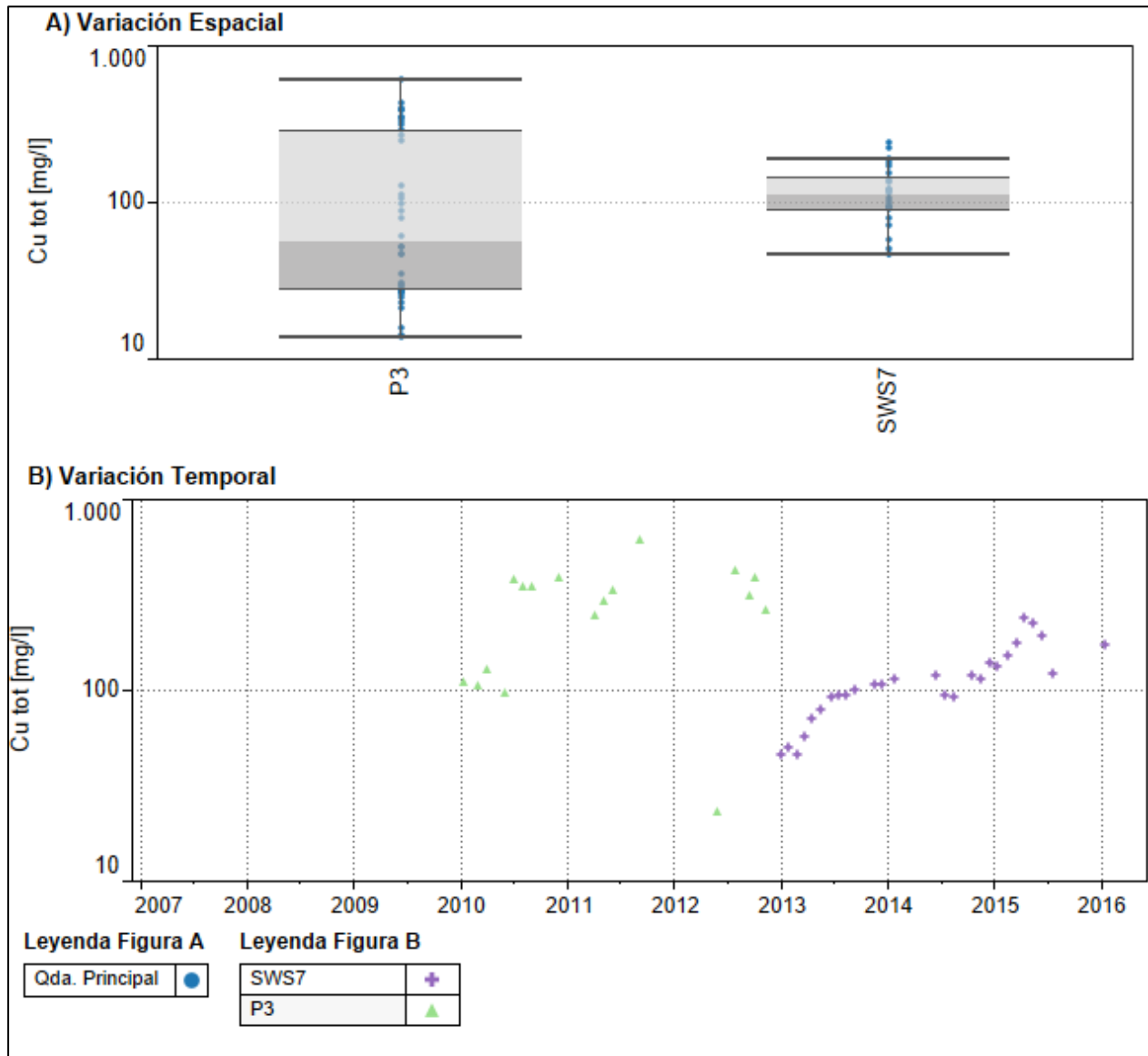
**Figura 3.2.9-45 Variación espacial y temporal de la concentración de cobre disuelto en las aguas superficiales del Subsector Quebrada Blanca Alto. En la figura A), las estaciones se encuentran ordenadas en el sentido del escurrimiento.**



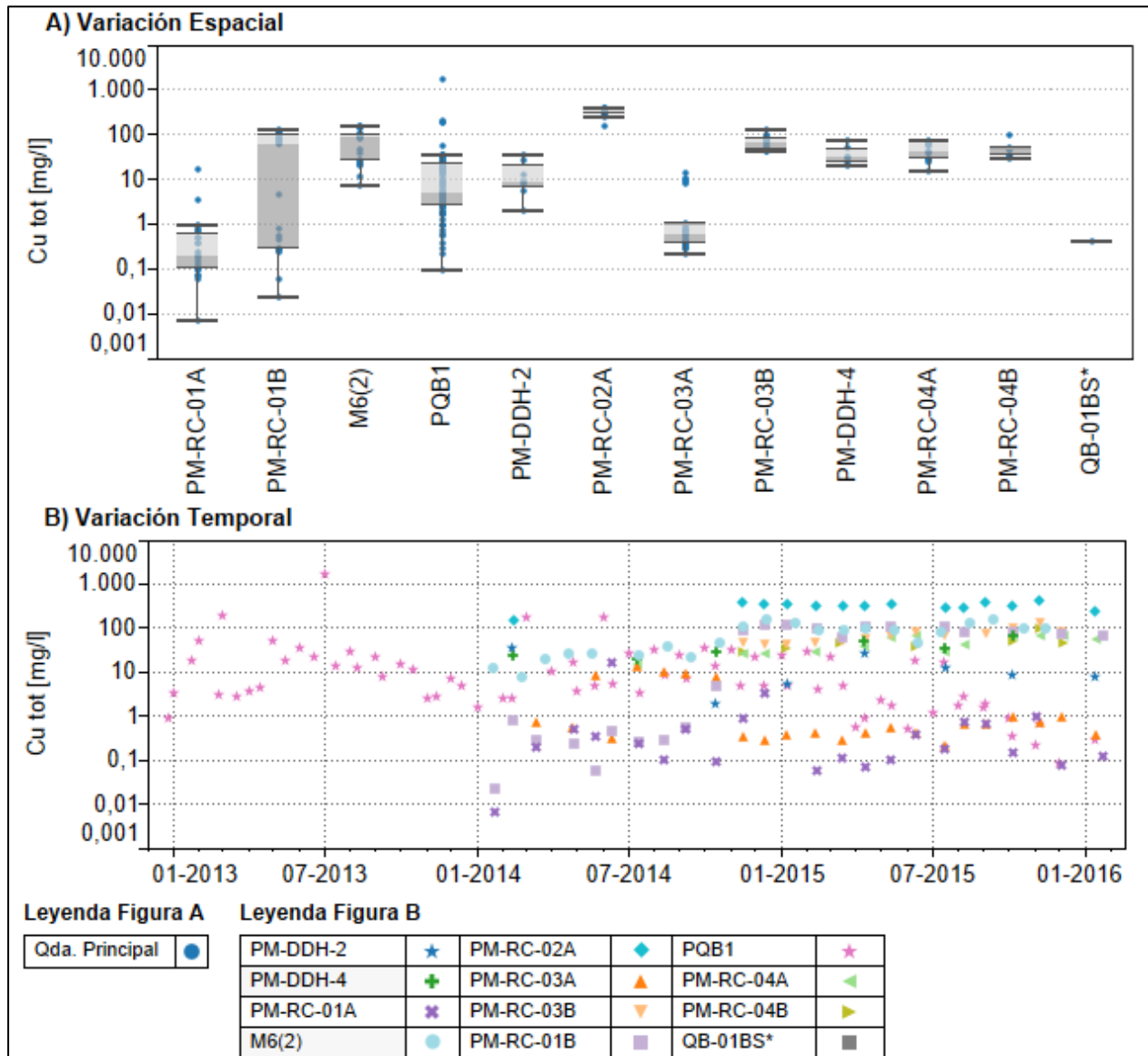
**Figura 3.2.9-46 Variación espacial y temporal de la concentración de cobre disuelto en las aguas subterráneas del Subsector Quebrada Blanca Alto. En la figura A), las estaciones se encuentran ordenadas en el sentido del escurrimiento.**



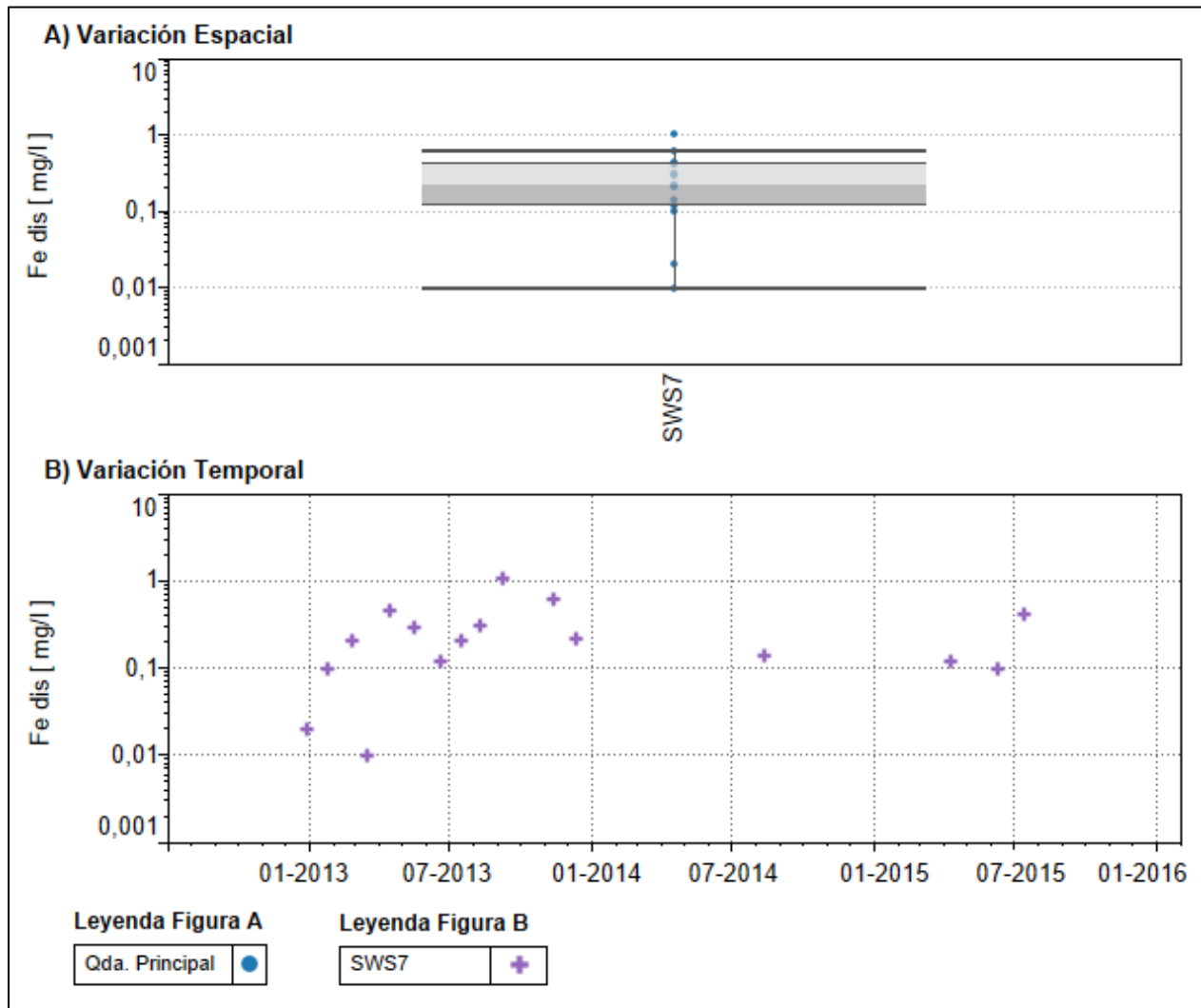
**Figura 3.2.9-47 Variación espacial y temporal de la concentración de cobre total en las aguas superficiales del Subsector Quebrada Blanca Alto. En la figura A), las estaciones se encuentran ordenadas en el sentido del escurrimiento.**



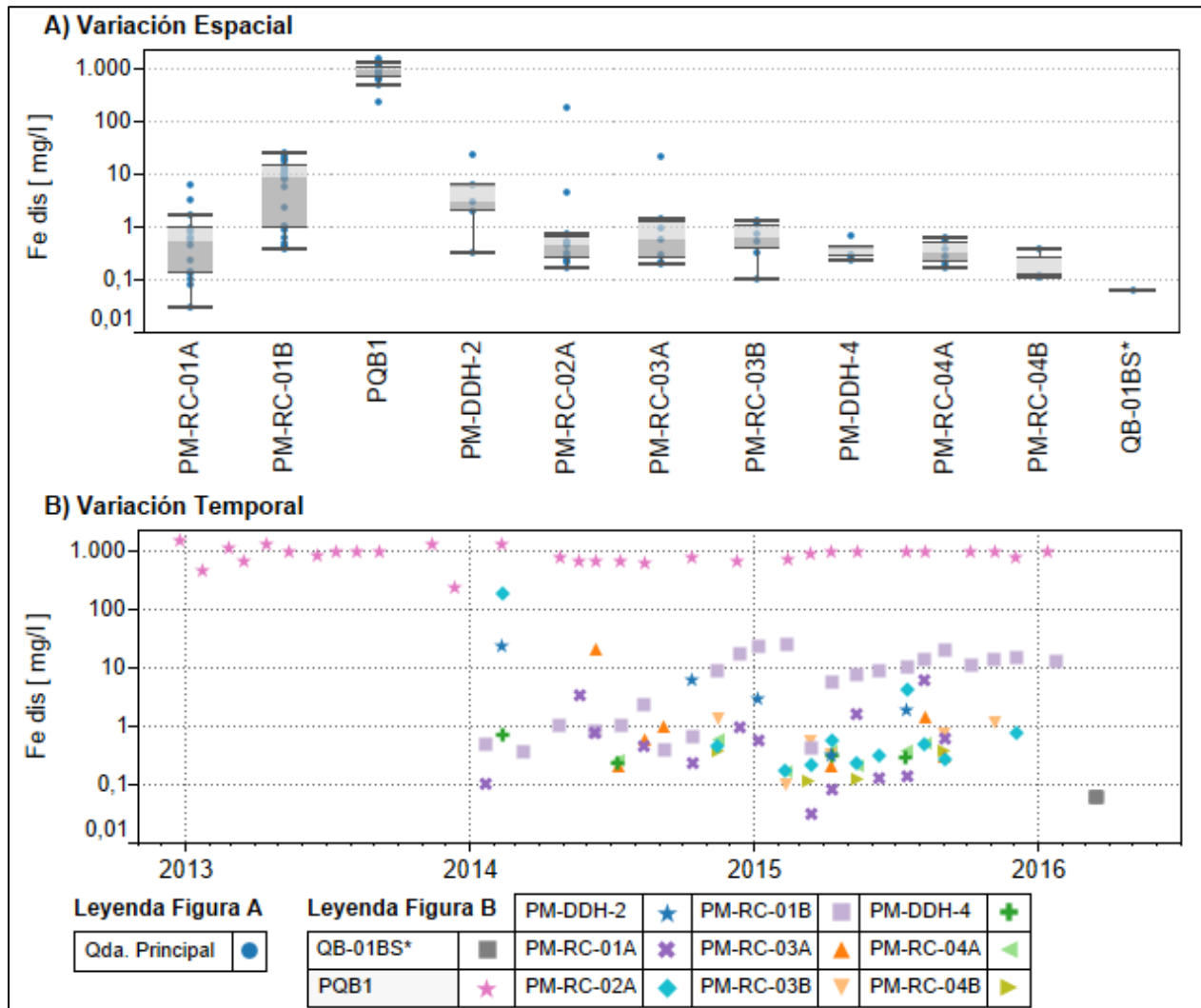
**Figura 3.2.9-48 Variación espacial y temporal de la concentración de cobre total en las aguas subterráneas del Subsector Quebrada Blanca Alto. En la figura A), las estaciones se encuentran ordenadas en el sentido del escurrimiento.**



**Figura 3.2.9-49 Variación espacial y temporal de la concentración de hierro disuelto en las aguas superficiales del Subsector Quebrada Blanca Alto.**

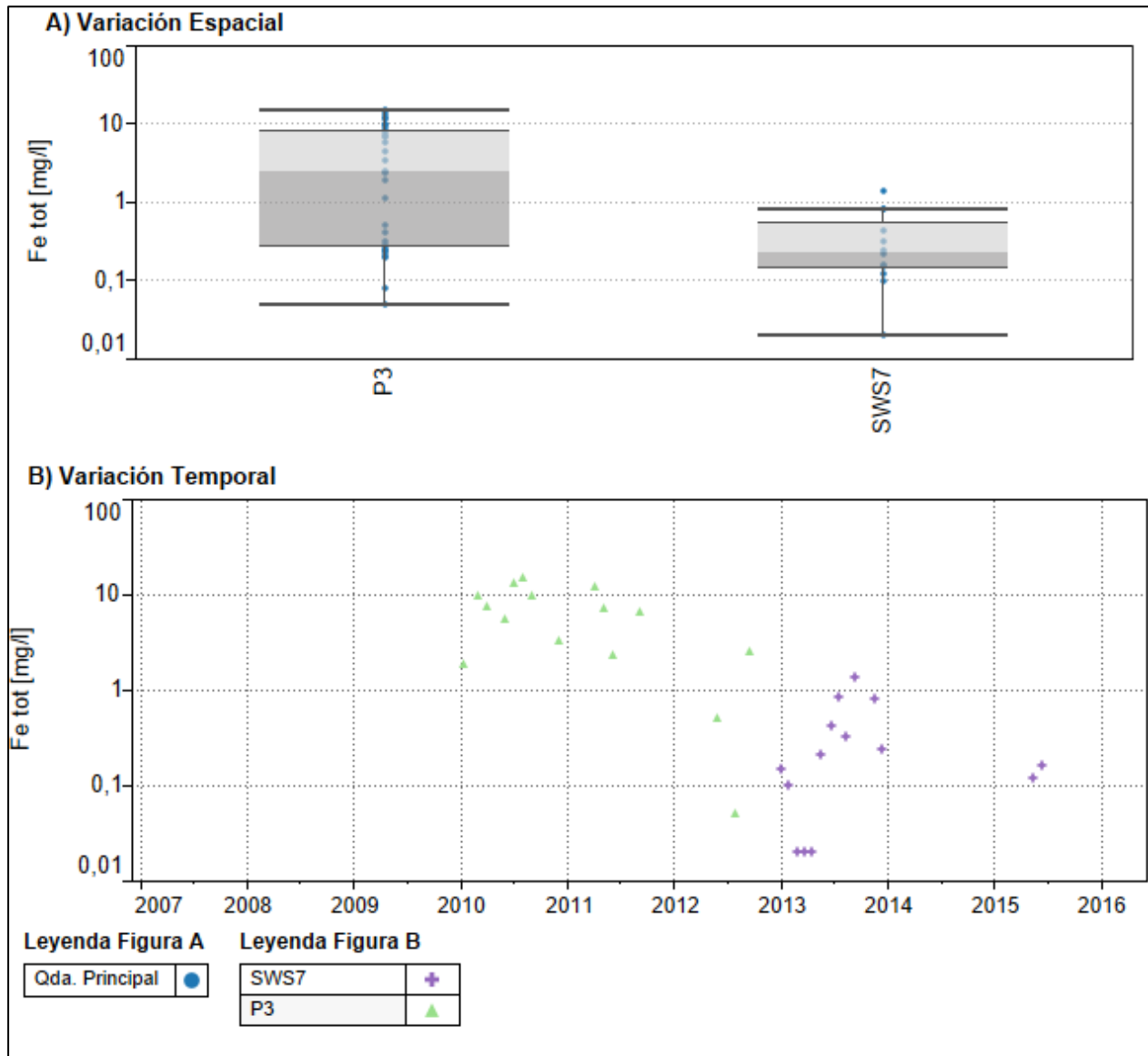


**Figura 3.2.9-50 Variación espacial y temporal de la concentración de hierro disuelto en las aguas subterráneas del Subsector Quebrada Blanca Alto. En la figura A), las estaciones se encuentran ordenadas en el sentido del escurrimiento.**

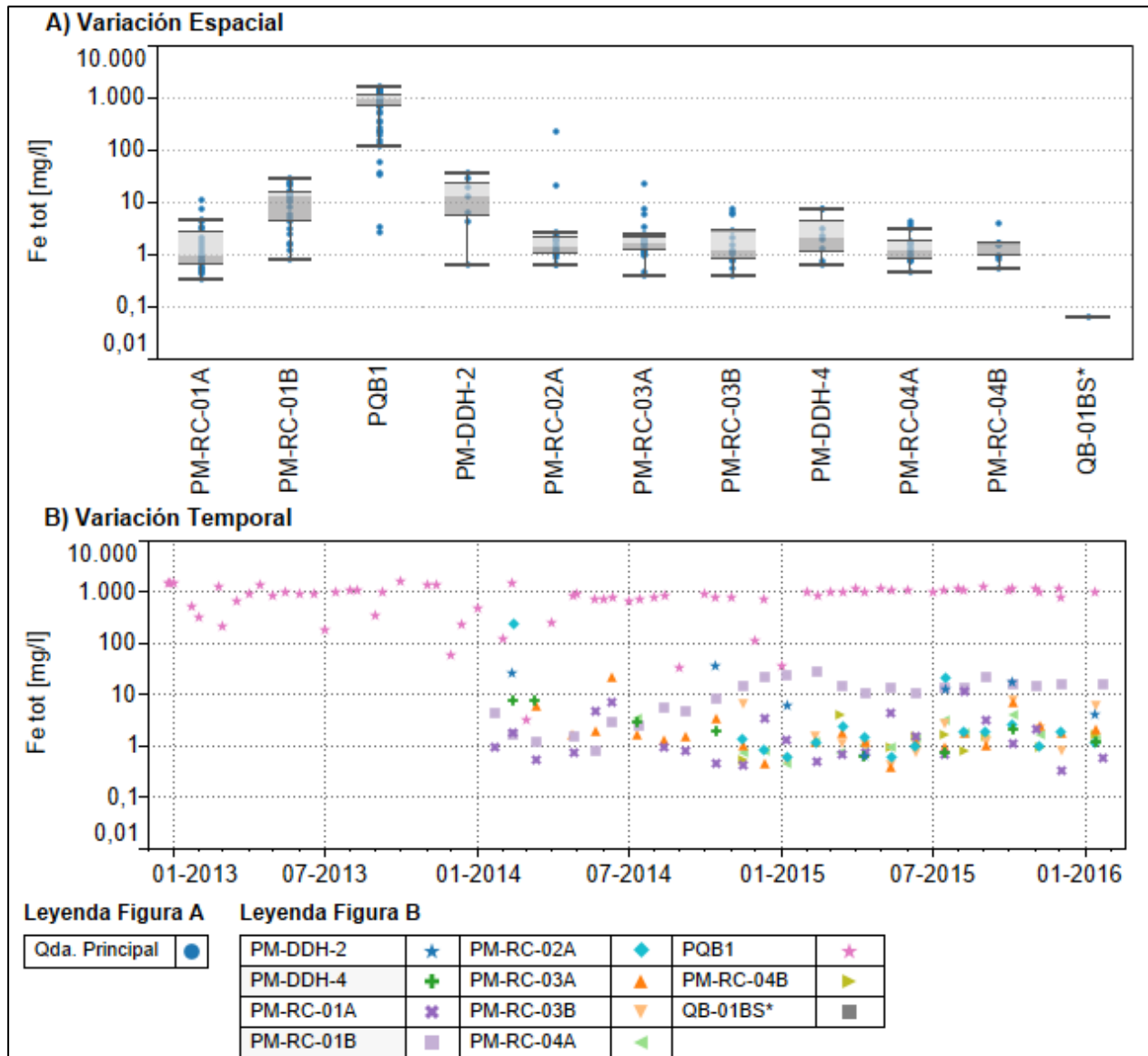




**Figura 3.2.9-51 Variación espacial y temporal de la concentración de hierro total en las aguas superficiales del Subsector Quebrada Blanca Alto. En la figura A), las estaciones se encuentran ordenadas en el sentido del escurrimiento.**



**Figura 3.2.9-52 Variación espacial y temporal de la concentración de hierro total en las aguas subterráneas del Subsector Quebrada Blanca Alto. En la figura A), las estaciones se encuentran ordenadas en el sentido del escurrimiento.**



## b.2) Subsector Quebrada Blanca Bajo

### pH

En la Figura 3.2.9-53 y Figura 3.2.9-54 se presentan la variación espacial y temporal del pH de las aguas superficiales y subterráneas del Subsector Quebrada Blanca Bajo, respectivamente.

Para la descripción de la calidad de las **aguas superficiales**, han sido considerados tres puntos de monitoreo. La estación P4, con registros desde 2000 hasta 2012, la estación SWS19, con mediciones a partir de 2013 y la estación SWS3, con registro en diciembre de 2012.

En la estación P4, el pH varió entre 3,7 UpH y 8,4 UpH, lo que incluye desde aguas fuertemente ácidas, hasta moderadamente alcalinas, aunque la mayoría de las mediciones ha estado en rangos de aguas neutras o alcalinas, correspondiendo la mediana a 7,6 UpH. En SWS19 también se han verificado regularmente condiciones moderadamente alcalinas, contando con algunos registros en rangos de agua neutra, variando el pH entre 7,3 UpH y 8,2 UpH.

En lo que respecta a la variabilidad temporal del pH en la estación P4, ésta se explica fundamentalmente en las mediciones de los años 2000 y 2001. Desde 2002 en adelante el pH se mantuvo regularmente en el rango 7,5 UpH – 8 UpH, con unos pocos registros particulares con valores inferiores a 6 UpH. Cabe destacar en la estación P4 la medición de diciembre de 2012, correspondiente a 5 UpH, valor coherente con el registro de la estación SWS3, igual a 3,9 UpH. Esto es consistente con descensos de pH e incrementos en la concentración de diferentes parámetros (cobre disuelto, sulfato, entre otros) en otros puntos asociados a los Subsectores Mina - Q.Blanca y Quebrada Blanca Alto en la misma fecha.

Se cuenta con información de pH en las **aguas subterráneas** desde diciembre de 2012. Existe uniformidad espacial en los registros de pH en este Subsector (medianas de pH en los entre 7,3 UpH y 7,6 UpH), los que se han presentado en el rango 6,4 UpH – 8,1 UpH, con la excepción de un dato medido en el pozo PM-RC-06A (5,6 UpH).

En todos los pozos con mediciones desde los primeros meses de 2014, el pH mínimo fue verificado en dicho año, existiendo una leve tendencia al alza del pH generalizada en este tramo, que se aprecia en forma clara en pozos como PM-RC-05B y PM-RC-06A. Dicha tendencia puede estar asociada con el proceso de estabilización de los pozos, posterior a su habilitación. En base a los datos disponibles, el pH se estaría estabilizando en torno a 7,3 UpH – 7,8 UpH.

### Conductividad eléctrica

En la Figura 3.2.9-55 y Figura 3.2.9-56 se presentan la variación espacial y temporal de la CE de las aguas superficiales y subterráneas del Subsector Quebrada Blanca Bajo, respectivamente.

Respecto a la calidad de las **aguas superficiales**, en SWS3 el registro disponible correspondió a 7.740  $\mu\text{S/cm}$ , mientras que hacia aguas abajo, la CE en la estación SWS19 ha variado entre 2.340  $\mu\text{S/cm}$  y 3.620  $\mu\text{S/cm}$  (aguas moderadamente salinas), con una tendencia levemente

creciente entre 2014 y 2015, aunque su valor mínimo correspondió a la última medición registrada.

A modo de referencia, en la estación P4 se cuenta con mediciones de concentración de sólidos disueltos totales, con registros del orden de 3.000 mg/l – 4.000 mg/l, los que son equivalente a valores de CE en torno a 4.500  $\mu\text{S/cm}$  – 6.000  $\mu\text{S/cm}$ , aproximadamente. Así, existiría una disminución entre dichos valores y los registros en la estación SWS19.

En cuanto a las **aguas subterráneas**, los registros de CE han sido relativamente homogéneos en términos espaciales, variando entre 2.000  $\mu\text{S/cm}$  y 4.250  $\mu\text{S/cm}$ , descontando un registro considerado fuera del rango común de variación de la estación PM-RC-05B (1.340  $\mu\text{S/cm}$ ). Así, las aguas en este tramo también corresponden a aguas moderadamente salinas, con concentraciones de sales disueltas similares a las de las aguas superficiales. Cabe destacar que se aprecia una leve tendencia creciente en la mayoría de los pozos, salvo en PM-DDH-5 y PM-RC-05B, los que contaron con registros estables durante 2015.

### Sulfato

En la Figura 3.2.9-57 y Figura 3.2.9-58 se presentan la variación espacial y temporal de la concentración de sulfato en las aguas superficiales y subterráneas del Subsector Quebrada Blanca Bajo, respectivamente.

En las **aguas superficiales**, la concentración de sulfato ha presentado una relativa estabilidad en el tiempo, variando regularmente entre 1.500 mg/l y 3.000 mg/l, con dos períodos particulares en que se incrementó: durante 2009, alcanzando un máximo igual a 3.528 mg/l, y el ya mencionado registro de la estación SWS3, de diciembre de 2012, cuya concentración correspondió a 7.760 mg/l.

En cuanto a las **aguas subterráneas**, la concentración de sulfato ha presentado registros similares en los diferentes pozos considerados para la caracterización. Los valores mínimos y máximo del sector han correspondido a 1.090 mg/l y 2.850 mg/l, respectivamente.

Se aprecia una tendencia creciente en la concentración de sulfato a partir de 2014. Al respecto, cabe destacar que el pozo DDH533 presentó una tendencia creciente entre 2012 y 2013, disminuyendo la concentración durante 2014, para presentar una nueva tendencia creciente en 2015. Esto sugiere que podría tratarse de una variación cíclica. En los restantes pozos de este Subsector no se cuenta con registros previos a 2014, que permitan verificar un comportamiento similar al descrito para el pozo DDH533.

### Cloruro

En la Figura 3.2.9-59 y Figura 3.2.9-60 se presentan la variación espacial y temporal de la concentración de cloruro en las aguas superficiales y subterráneas del Subsector Quebrada Blanca Bajo, respectivamente.

La concentración de cloruro en las **aguas superficiales** ha sido estable en el tiempo. Descontando los valores fuera del rango común de variación (concentración máxima igual a 238 mg/l en estación P4), todos los registros variaron entre 48 mg/l y 115 mg/l.

La concentración de cloruro en las **aguas subterráneas** también ha sido estable en el tiempo, aunque presenta una leve tendencia creciente. El rango de variación regular de los registros (descontando los valores fuera de rango) ha correspondido a 30 mg/l y 104 mg/l.

Cabe destacar que los valores fuera de rango antes señalado, se presentan en la Tabla 3.2.9-11 y Tabla 3.2.9-12, correspondiente a los valores extremos de variación (mínimo o máximo según corresponda).

### Cobre disuelto

En la Figura 3.2.9-61 y Figura 3.2.9-62 se presentan la variación espacial y temporal de la concentración de cobre disuelto en las aguas superficiales y subterráneas del Subsector Quebrada Blanca Bajo, respectivamente.

Para las **aguas superficiales**, se cuenta con mediciones de las estaciones SWS3 y SWS19. Esta última presenta registros que han variado en el rango 0,007 mg/l – 0,07 mg/l, mientras que el registro disponible de SWS3 correspondió a 113 mg/l, siendo medido en 2012.

Las **aguas subterráneas** presentan registros uniformes, sin apreciarse tendencias temporales. La concentración mínima correspondió a un valor bajo el límite de detección (L.D. = 0,0002 mg/l), en el pozo DDH-533, mientras que la máxima fue igual a 2,9 mg/l (pozo PM-RC-06A). Descontando ambos registros extremos, todas las mediciones han variado entre 0,001 mg/l y 0,5 mg/l.

### Cobre total

En la Figura 3.2.9-63 y Figura 3.2.9-64 se presenta la variación espacial y temporal de la concentración de cobre total en las aguas superficiales y subterráneas del Subsector Quebrada Blanca Bajo, respectivamente.

Para las **aguas superficiales**, se cuenta con mediciones de las estaciones SWS3, SWS19 y P4. La máxima concentración fue medida en la estación SWS3 durante 2012 (115 mg/l). De las estaciones restantes, en P4 hubo diversos registros superiores a 10 mg/l entre 2000 y 2012 (máximo igual a 51 mg/l), aunque la mayoría de las mediciones en dicha estación fueron iguales

a 0,05 mg/l. Por otra parte, la estación SWS19 ha presentado los registros inferiores del Subsector, con un rango de variación igual a 0,002 mg/l – 0,1 mg/l.

Las **aguas subterráneas** han presentado registros variando en el rango 0,01 mg/l (pozo PM- RC- 05B) y 3,2 mg/l (PM-RC-06A), sin tendencias temporales apreciables. Cabe destacar los registros medios han sido similares en los diferentes pozos, lo que se manifiesta en las diferentes leves entre la mediana mínima y máxima (0,08 mg/l en el pozo PM-RC-05A y 0,14 mg/l en el pozo PM-RC-06A, respectivamente).

### Hierro disuelto

En la Figura 3.2.9-65 y Figura 3.2.9-66 se presentan la variación espacial y temporal de la concentración de hierro disuelto en las aguas superficiales y subterráneas del Subsector Quebrada Blanca Bajo, respectivamente.

Para las **aguas superficiales**, el rango de variación de este parámetros ha estado dado por los registros de la estación SWS19, correspondiente a 0,05 mg/l – 1,3 mg/l. No se aprecian tendencias temporales significativas.

Las **aguas subterráneas** han mostrado un rango de variación del hierro disuelto similar al de las aguas superficiales, correspondiendo a 0,05 mg/l – 4 mg/l, habiendo sido ambos registrados en el pozo DDH-533.

### Hierro total

En la Figura 3.2.9-67 y Figura 3.2.9-68 se presentan la variación espacial y temporal de la concentración de hierro total en las aguas superficiales y subterráneas del Subsector Quebrada Blanca Bajo, respectivamente.

Para las **aguas superficiales**, se cuenta con mediciones de las estaciones SWS3, SWS19 y P4. La máxima concentración ha sido medida en la estación P4 (8,8 mg/l), aunque la mayoría de los registros en dicha estación fueron iguales a 0,05 mg/l, valor correspondiente a su mediana. Por otra parte, mientras SWS19 ha presentado un rango de variación similar (0,05 mg/l – 4,2 mg/l), en SWS3 se cuenta con un registro del año 2012, igual a 5,4 mg/l.

Para las **aguas subterráneas** los registros han sido superiores a los de las aguas superficiales, con un rango de variación igual a 0,3 mg/l – 27 mg/l, correspondiendo el registro máximo al pozo PM-RC-05B (julio de 2015). Cabe destacar que hay un incremento en la concentración durante los primeros meses del año en la mayoría de los pozos (salvo PM-RC-06B y DDH-533), coincidiendo además la existencia de los mínimos históricos en dichos pozos en el período verano – otoño de 2015.

**Resumen**

A modo de síntesis de los resultados presentados, a continuación se resume la descripción de la calidad de agua en el Subsector Quebrada Blanca Bajo para los parámetros evaluados, por medio del uso de diferentes estadísticos, considerando entre otro el registro mínimo, el máximo y el P50 o mediana. Los resultados se presentan en la Tabla 3.2.9-11 y Tabla 3.2.9-12, diferenciándose entre la serie histórica, que considera todos los registros, y las mediciones realizadas desde 2015 en adelante (situación actual).

**Tabla 3.2.9-11. Resumen calidad de agua en Subsector Quebrada Blanca Bajo, registros históricos.**

Tipo Agua	Valor	C.E.	Cl	Cu dis	Cu tot	Fe dis	Fe tot	pH	SO <sub>4</sub>
		µS/cm	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	UpH	mg/l
Aguas Superficiales	Mín.	2.340	10	0,007	0,002	0,05	0,01	3,7	1.320
	P(10)	3.160	67	0,007	0,01	0,05	0,05	6,8	1.800
	P(50)	3.340	77	0,01	0,05	0,3	0,1	7,8	2.010
	P(90)	3.620	86	0,07	0,2	1,3	1,9	8,1	2.315
	Máx.	7.740	238	113	115	1,3	8,8	8,4	7.760
Aguas Subterráneas	Mín.	1.340	30	< 0,0002	0,01	0,05	0,3	5,6	1.090
	P(10)	2.590	53	0,005	0,03	0,07	0,6	6,8	1.450
	P(50)	3.320	72	0,02	0,1	0,3	1,9	7,5	1.990
	P(90)	3.740	89	0,2	0,5	1,3	9,6	7,8	2.420
	Máx.	4.250	128	2,9	3,2	4,0	30	8,1	2.850

Fuente: Elaboración propia.

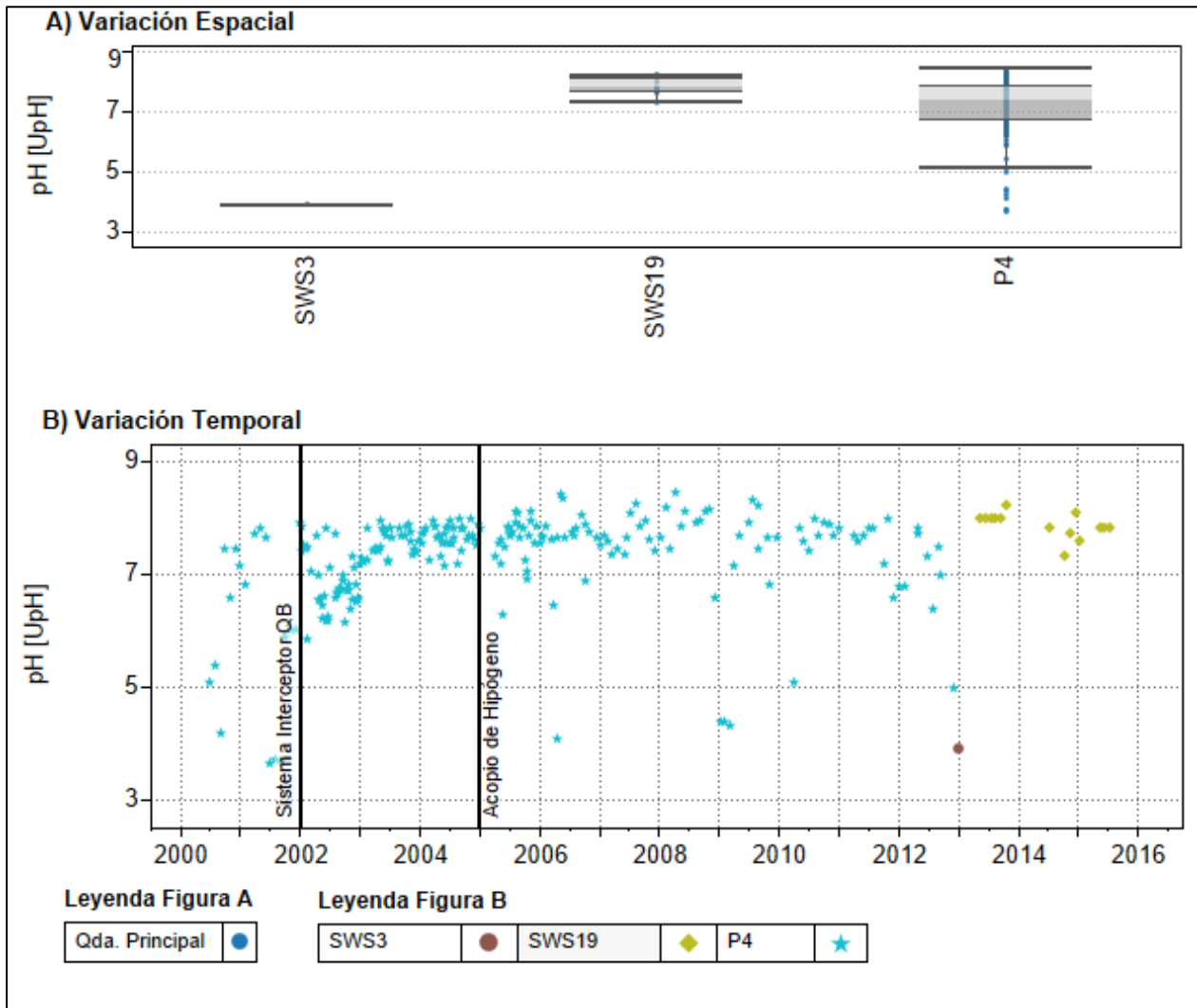
**Tabla 3.2.9-12. Resumen calidad de agua en Subsector Quebrada Blanca Bajo, registros 2015-2016.**

Tipo Agua	Valor	C.E.	Cl	Cu dis	Cu tot	Fe dis	Fe tot	pH	SO <sub>4</sub>
		µS/cm	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	UpH	mg/l
Aguas Superficiales	Mín.	2.340	58	s/i	0,002	0,2	0,05	7,6	1.320
	P(10)	2.340	58	s/i	0,002	0,2	0,05	7,6	1.320
	P(50)	3.515	78	s/i	0,01	0,2	0,1	7,8	2.010
	P(90)	3.620	86	s/i	0,02	0,2	0,24	7,8	2.290
	Máx.	3.620	86	s/i	0,02	0,2	0,24	7,8	2.290
Aguas Subterráneas	Mín.	2.510	48	0,001	0,01	0,05	0,3	6,9	1.440
	P(10)	3.000	63	0,005	0,03	0,07	0,8	7,1	1.730
	P(50)	3.420	76	0,02	0,08	0,2	1,8	7,5	2.090
	P(90)	3.900	93	0,1	0,4	0,6	7,5	7,8	2.580
	Máx.	4.250	104	0,3	0,8	1,9	27	7,9	2.850

s/i: sin información validada por los criterios QA/QC definidos en Acápite 3.2.9.4.2.

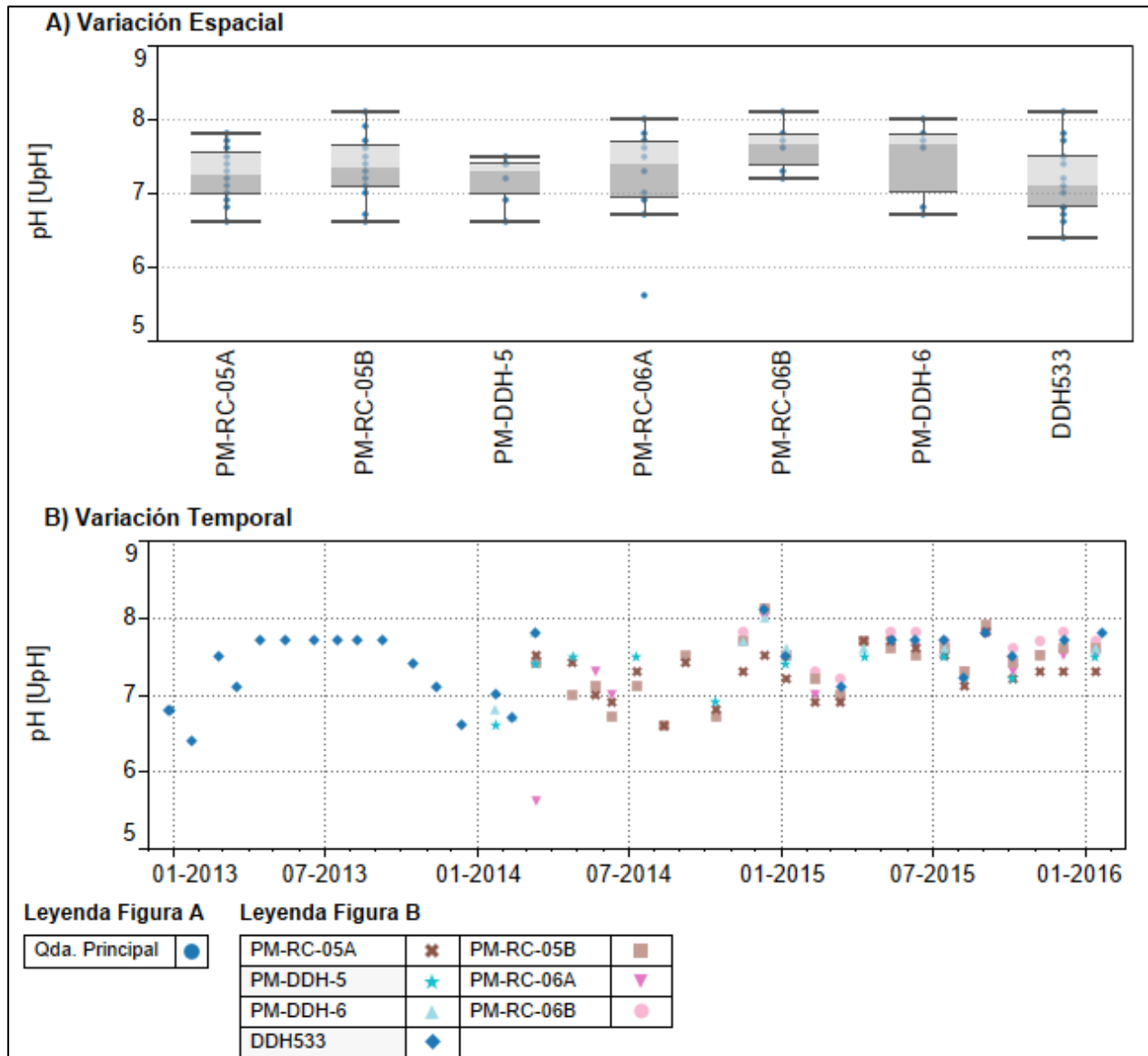
Fuente: Elaboración propia.

**Figura 3.2.9-53 Variación espacial y temporal del pH de las aguas superficiales del Subsector Quebrada Blanca Bajo. En la figura A), las estaciones se encuentran ordenadas en el sentido del escurrimiento.**

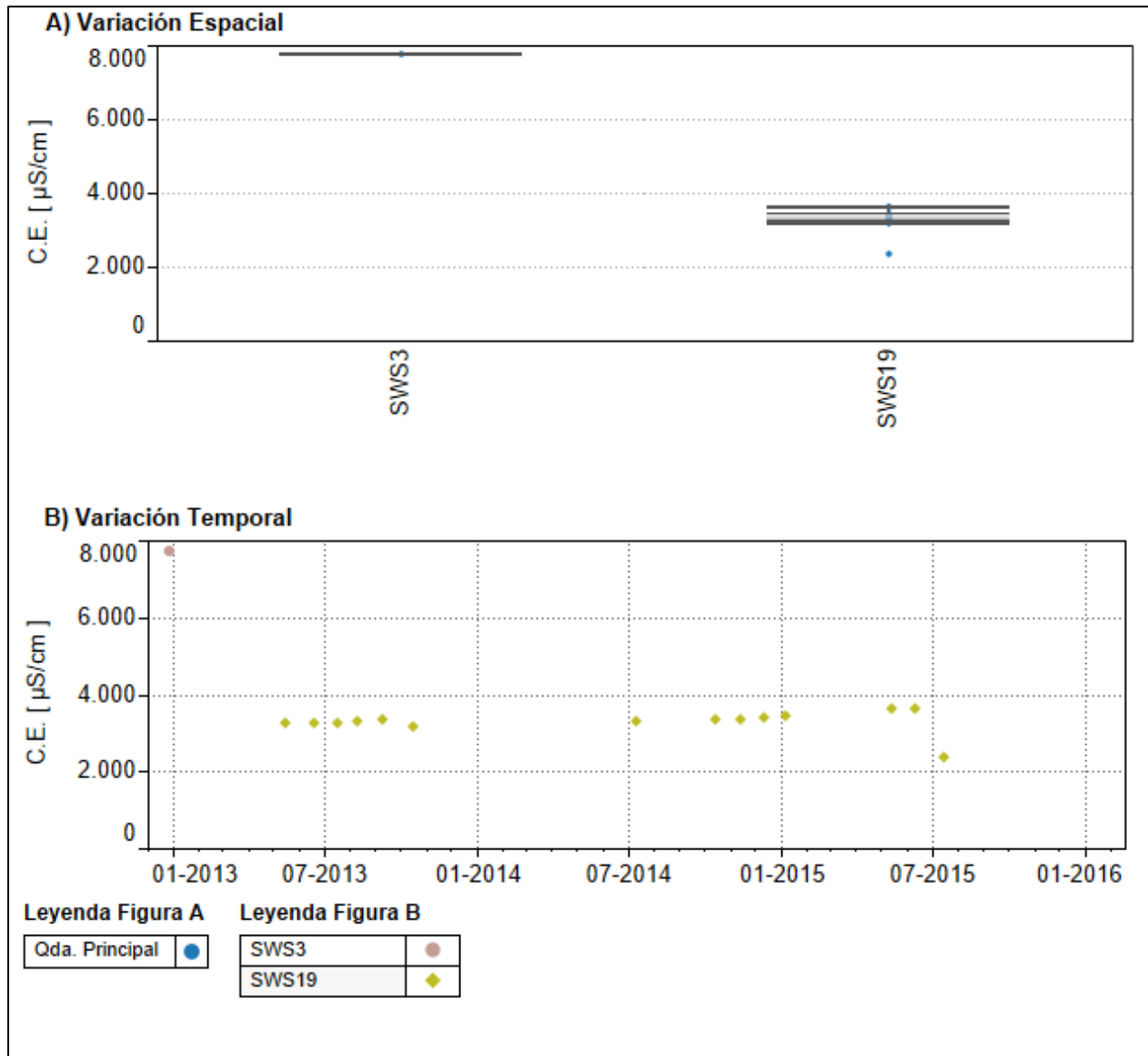




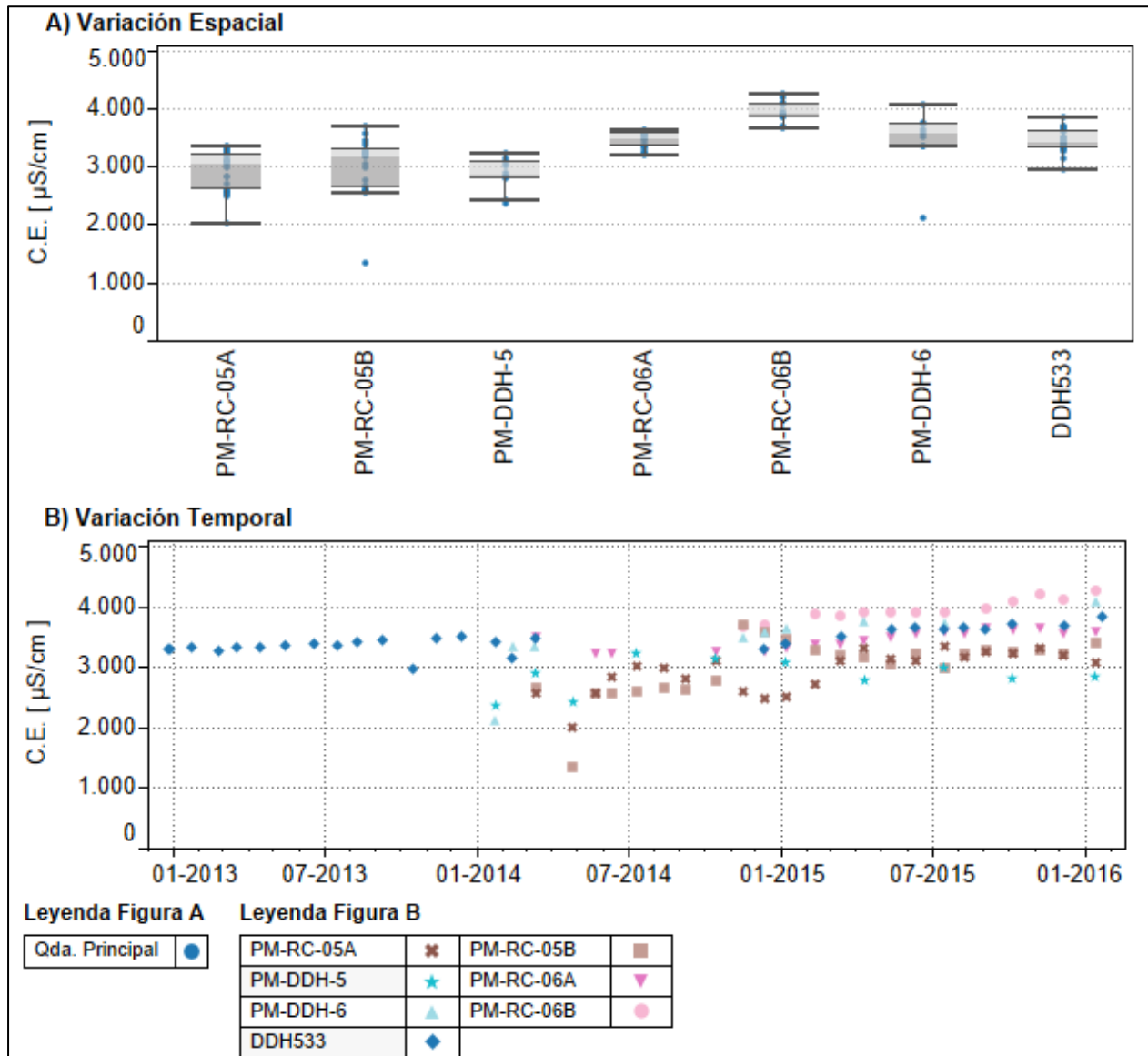
**Figura 3.2.9-54 Variación espacial y temporal del pH de las aguas subterráneas del Subsector Quebrada Blanca Bajo. En la figura A), las estaciones se encuentran ordenadas en el sentido del escurrimiento.**



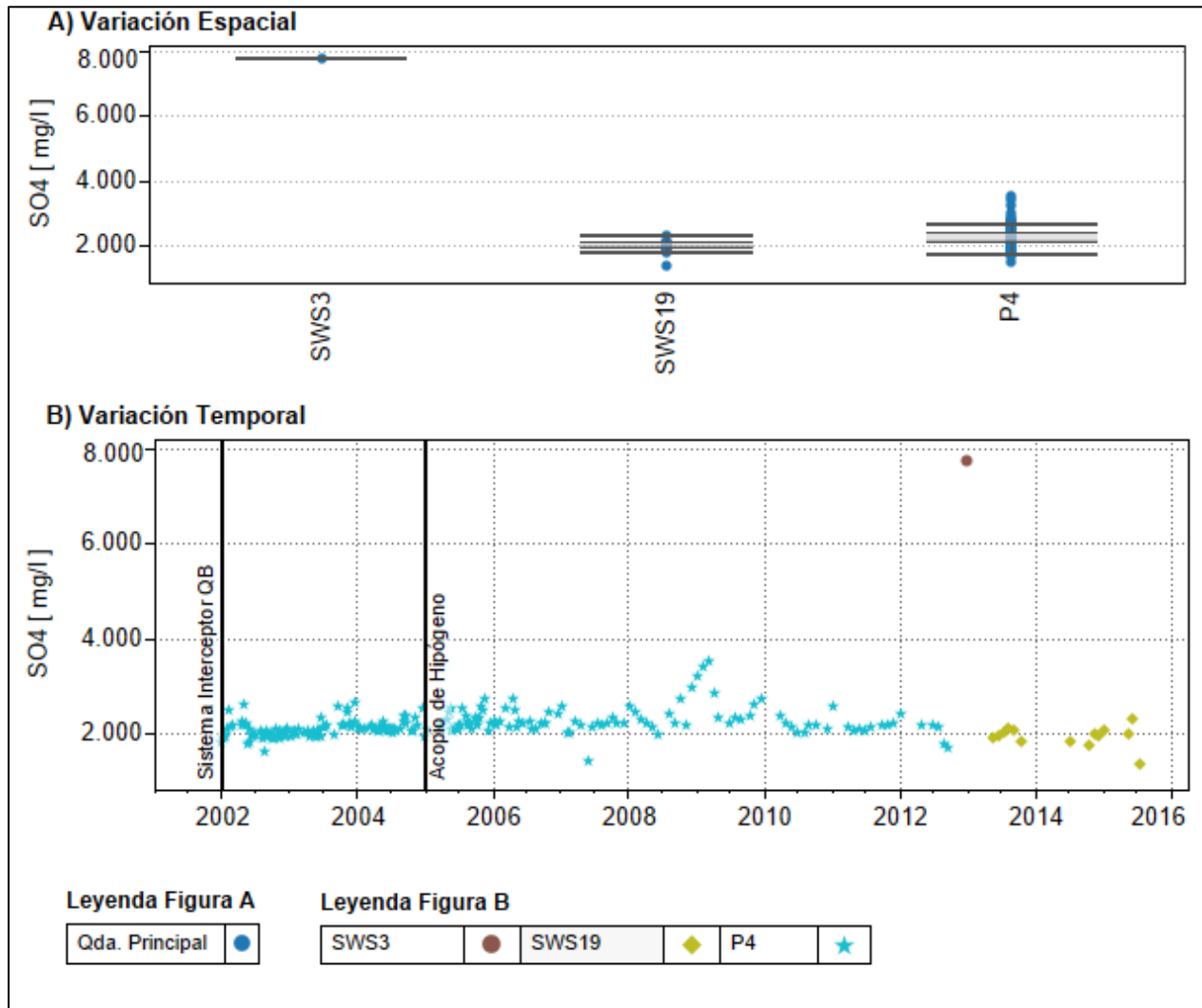
**Figura 3.2.9-55 Variación espacial y temporal de la CE de aguas superficiales del Subsector Quebrada Blanca Bajo. En la figura A), las estaciones se encuentran ordenadas en el sentido del escurrimiento.**



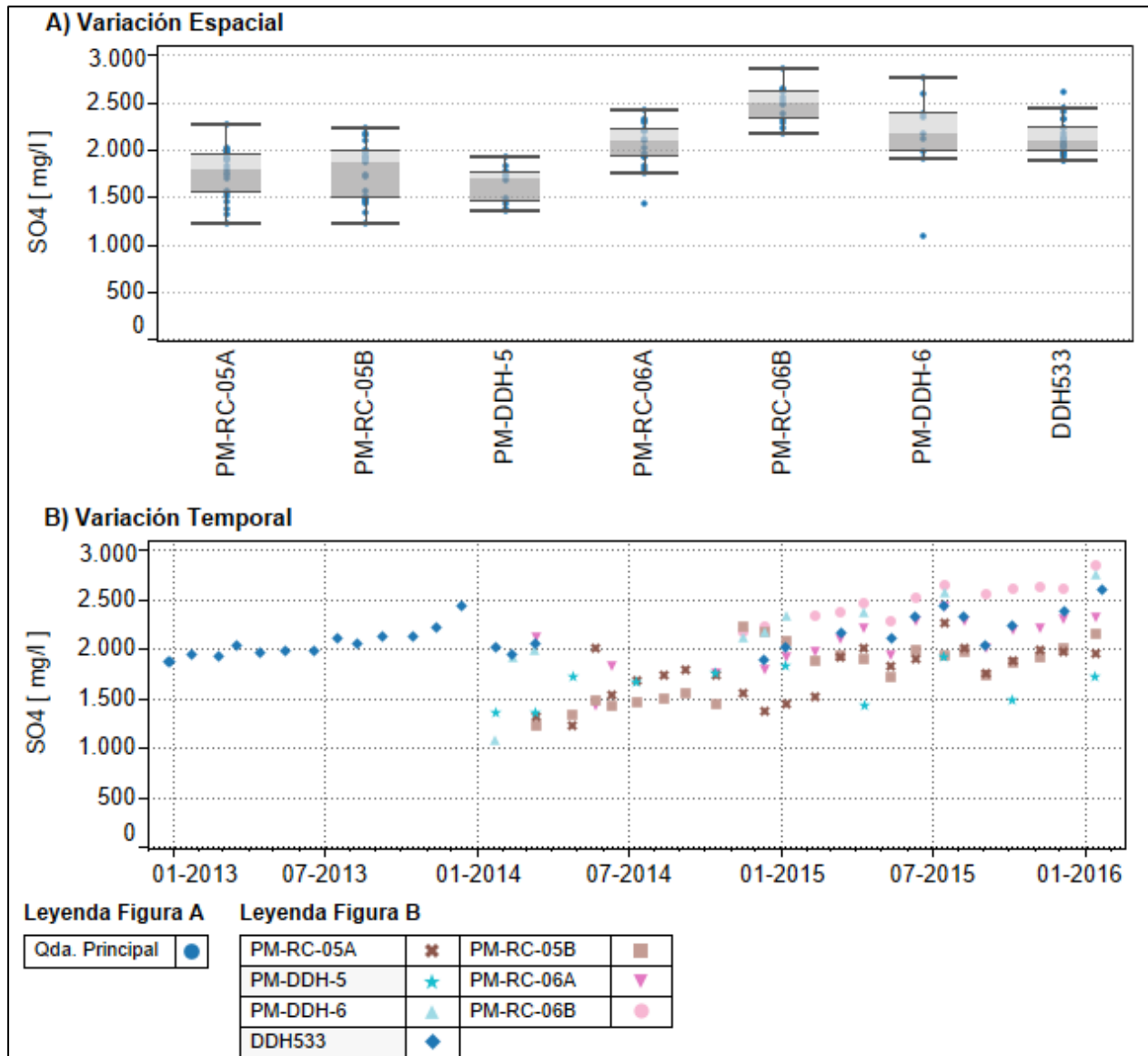
**Figura 3.2.9-56 Variación espacial y temporal de la CE de aguas subterráneas del Subsector Quebrada Blanca Bajo. En la figura A), las estaciones se encuentran ordenadas en el sentido del escurrimiento.**



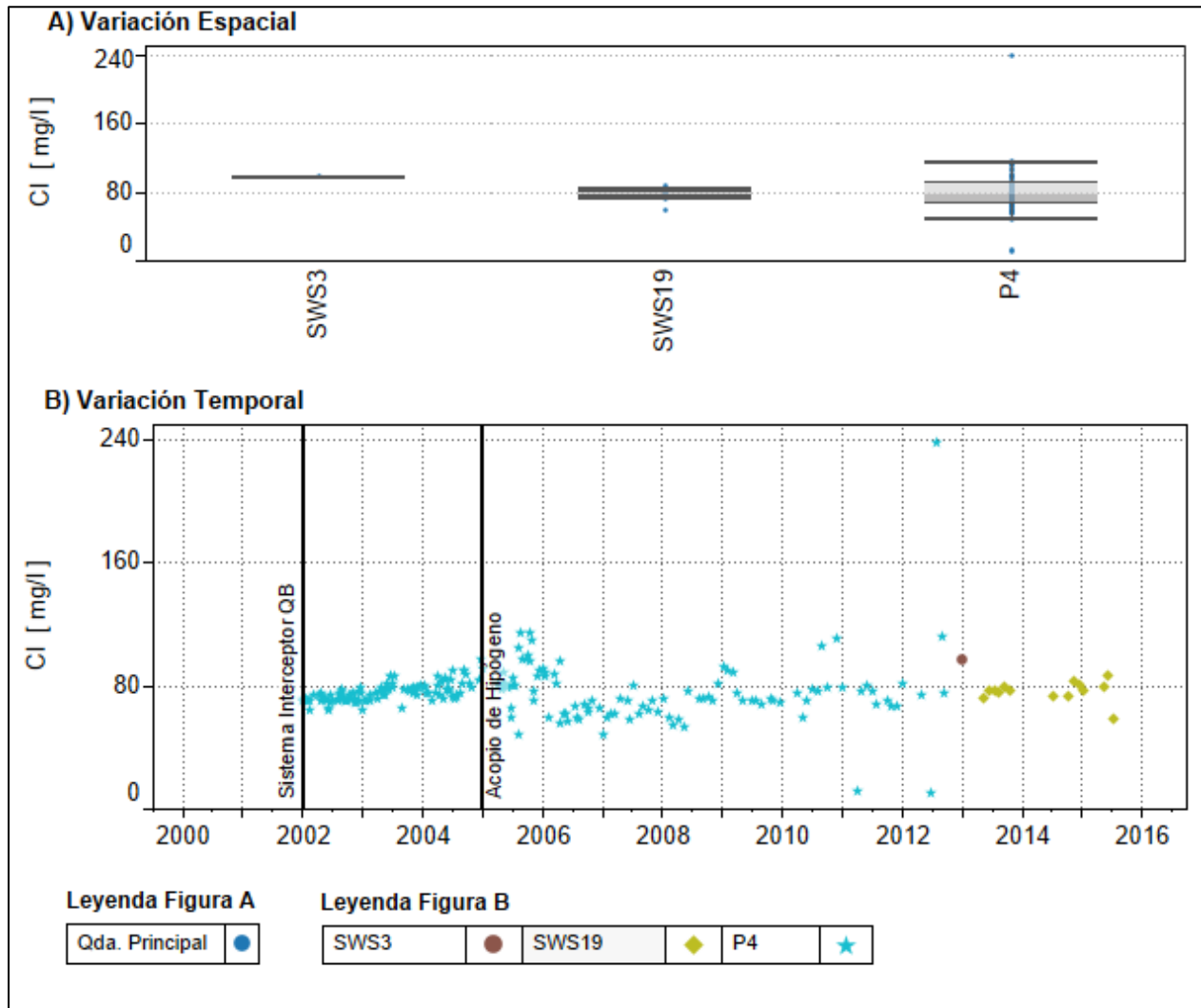
**Figura 3.2.9-57 Variación espacial y temporal de la concentración de sulfato en las aguas superficiales del Subsector Quebrada Blanca Bajo. En la figura A), las estaciones se encuentran ordenadas en el sentido del escurrimiento.**



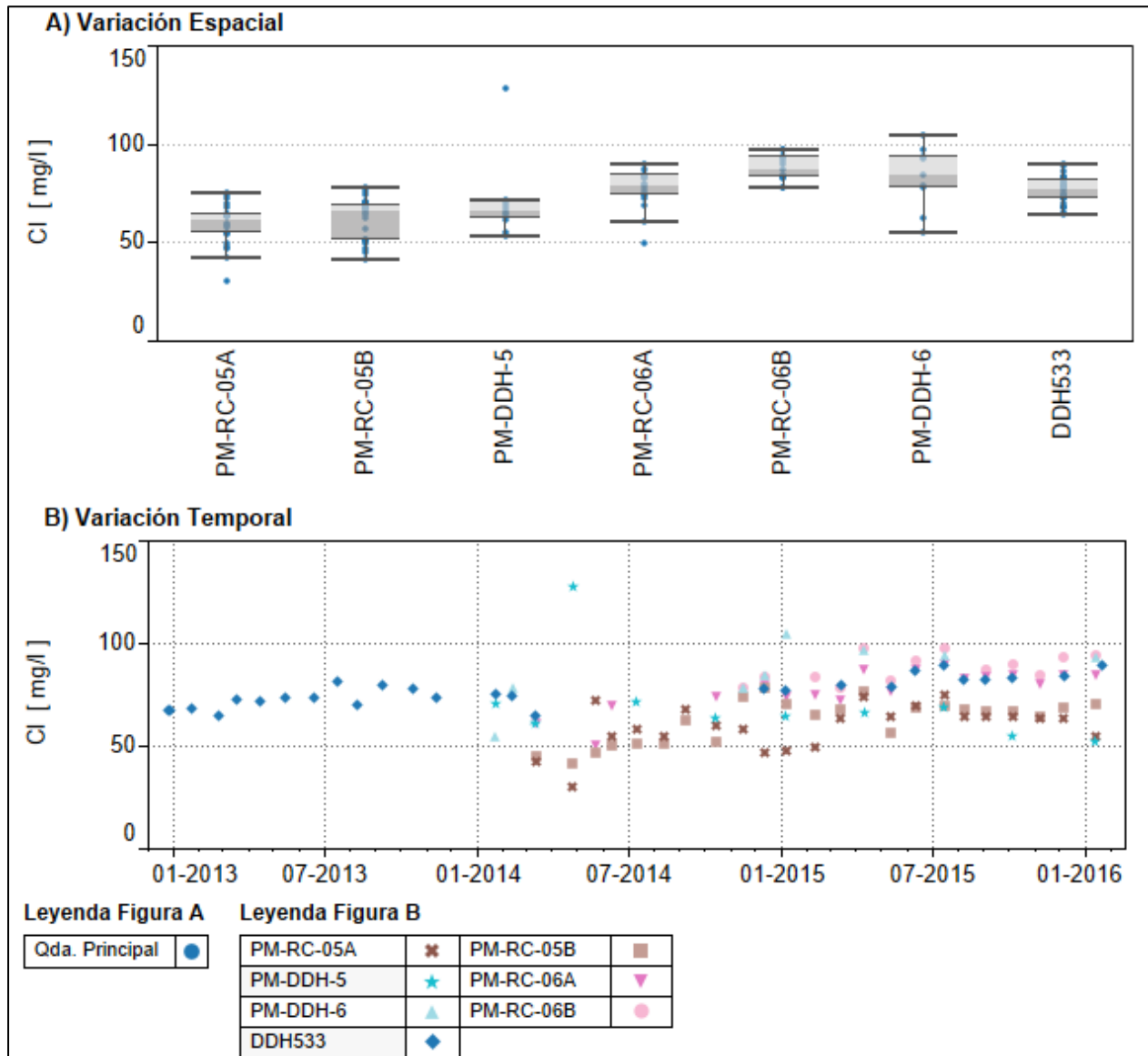
**Figura 3.2.9-58 Variación espacial y temporal de la concentración de sulfato en las aguas subterráneas del Subsector Quebrada Blanca Bajo. En la figura A), las estaciones se encuentran ordenadas en el sentido del escurrimiento.**



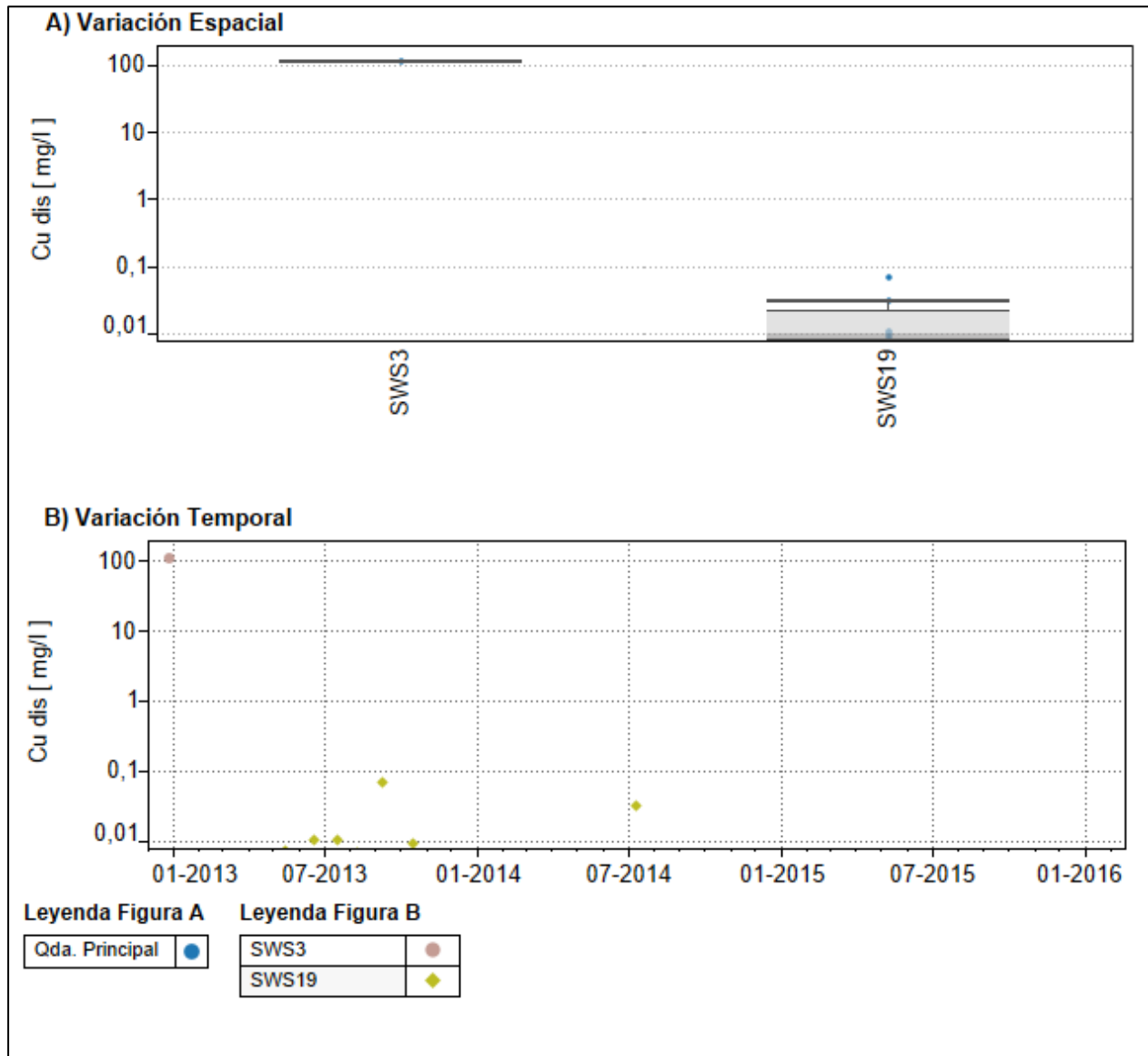
**Figura 3.2.9-59 Variación espacial y temporal de la concentración de cloruro en las aguas superficiales del Subsector Quebrada Blanca Bajo. En la figura A), las estaciones se encuentran ordenadas en el sentido del escurrimiento.**



**Figura 3.2.9-60 Variación espacial y temporal de la concentración de cloruro en las aguas subterráneas del Subsector Quebrada Blanca Bajo. En la figura A), las estaciones se encuentran ordenadas en el sentido del escurrimiento.**

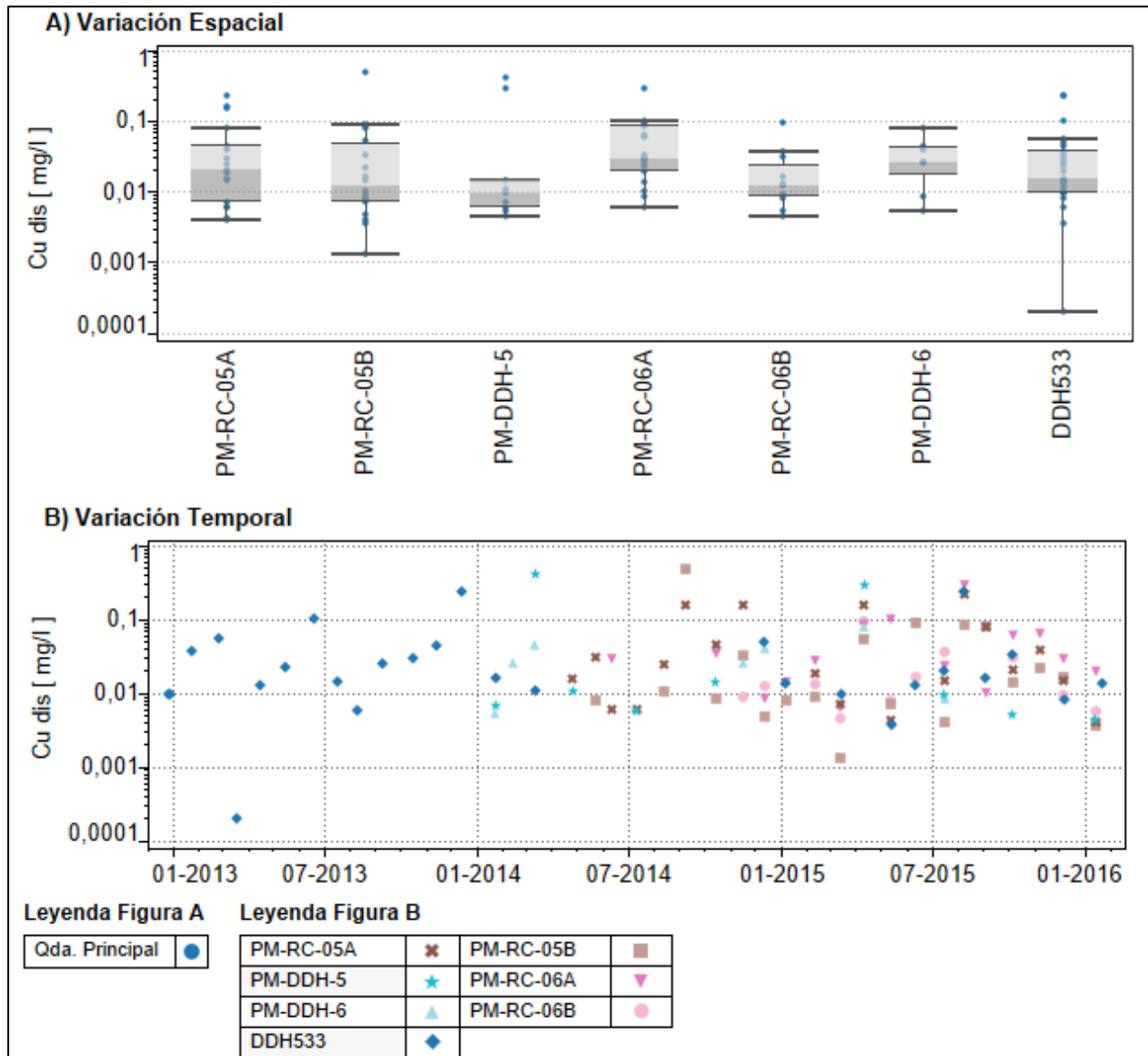


**Figura 3.2.9-61 Variación espacial y temporal de la concentración de cobre disuelto en las aguas superficiales del Subsector Quebrada Blanca Bajo. En la figura A), las estaciones se encuentran ordenadas en el sentido del escurrimiento.**

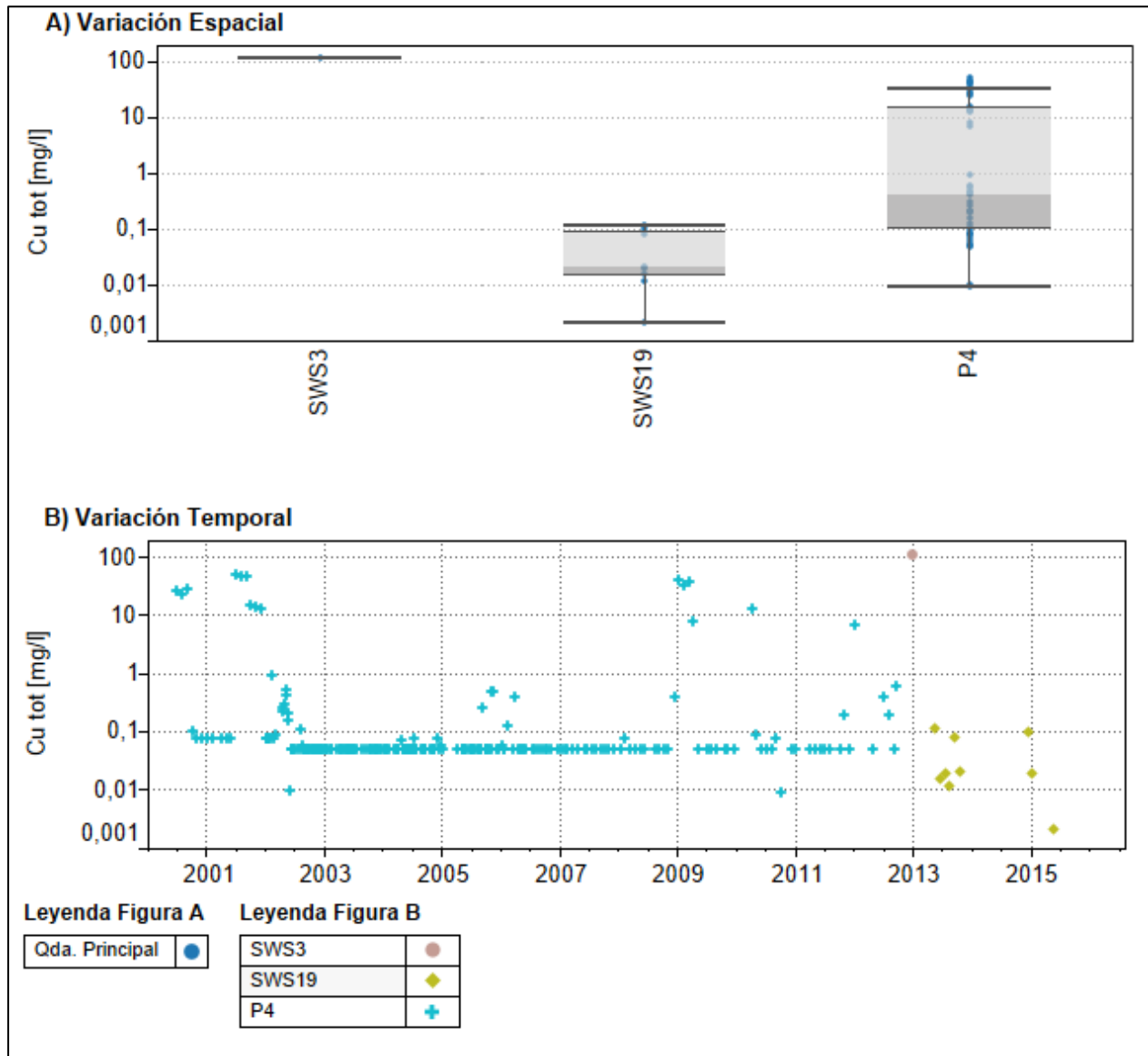




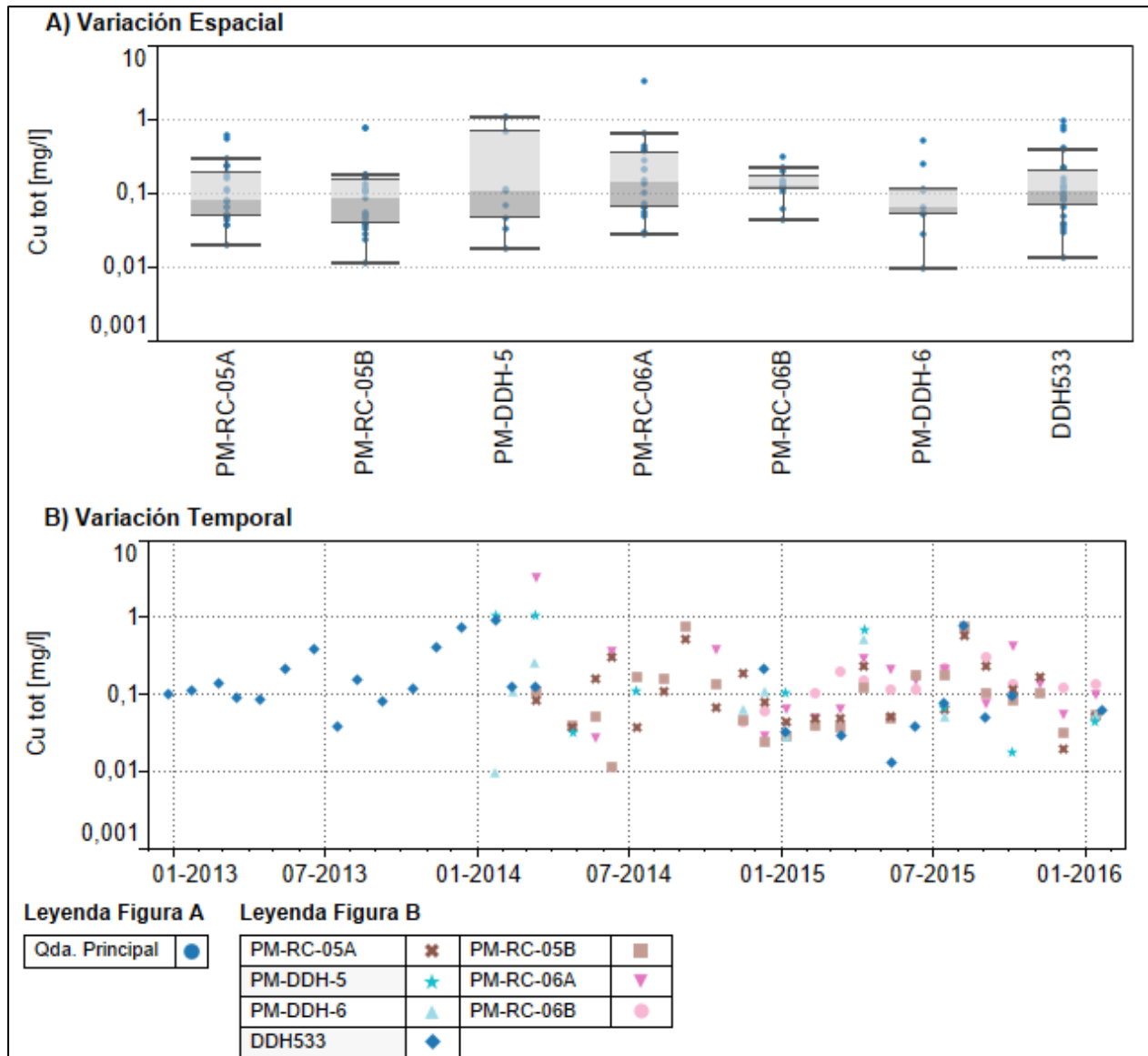
**Figura 3.2.9-62 Variación espacial y temporal de la concentración de cobre disuelto en las aguas subterráneas del Subsector Quebrada Blanca Bajo. En la figura A), las estaciones se encuentran ordenadas en el sentido del escurrimiento.**



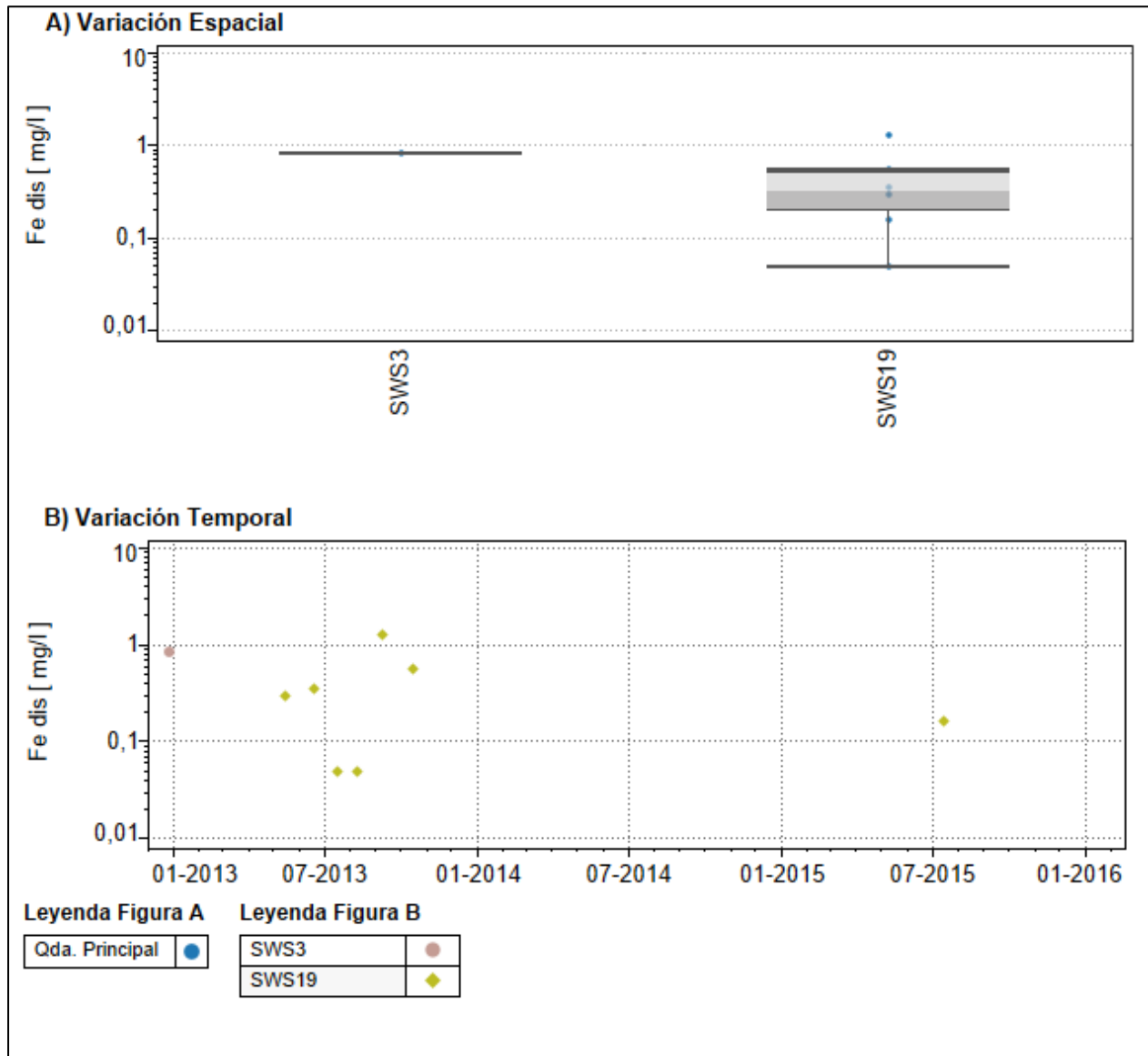
**Figura 3.2.9-63 Variación espacial y temporal de la concentración de cobre total en las aguas superficiales del Subsector Quebrada Blanca Bajo. En la figura A), las estaciones se encuentran ordenadas en el sentido del escurrimiento.**



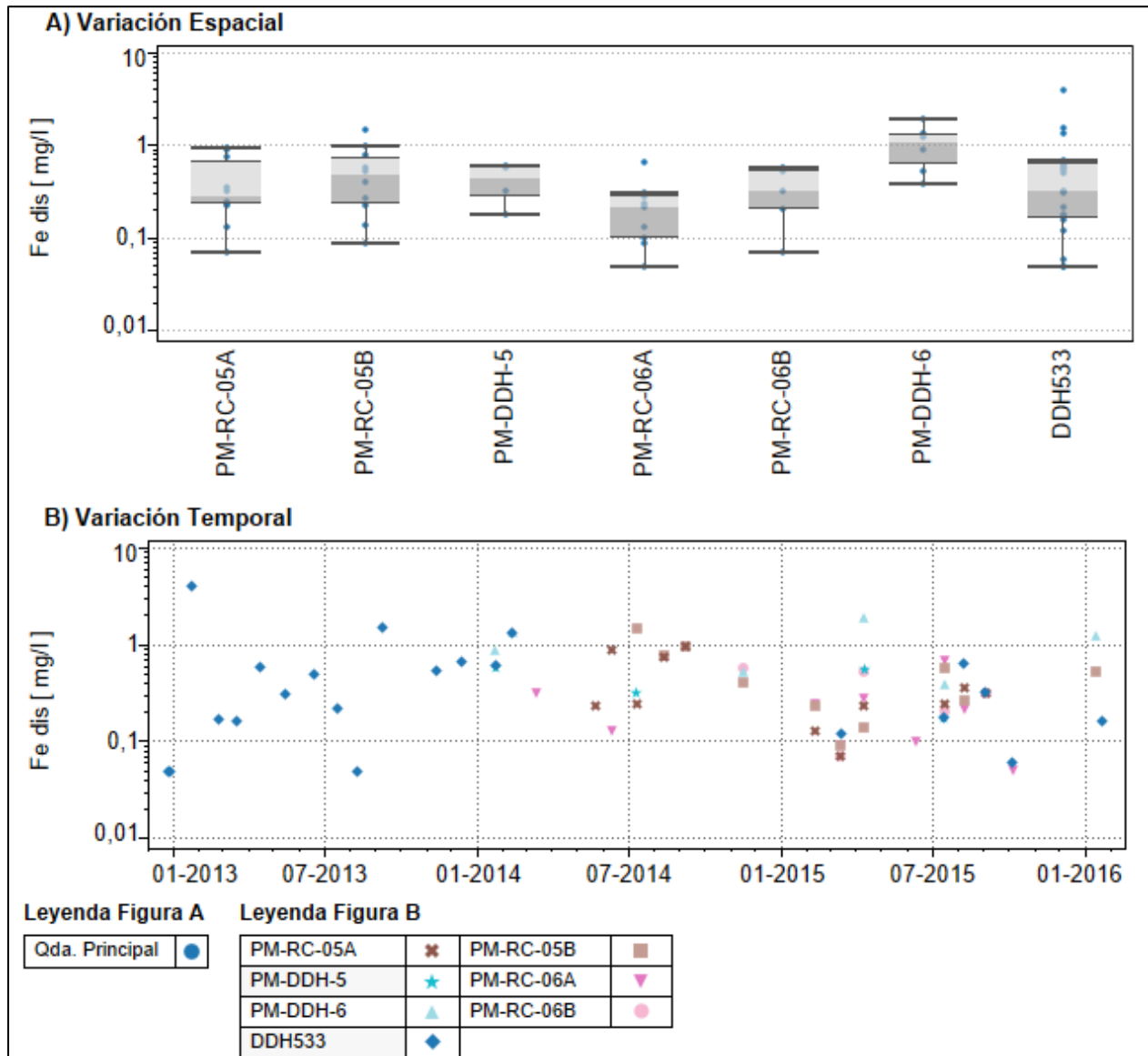
**Figura 3.2.9-64 Variación espacial y temporal de la concentración de cobre total en las aguas subterráneas del Subsector Quebrada Blanca Bajo. En la figura A), las estaciones se encuentran ordenadas en el sentido del escurrimiento.**



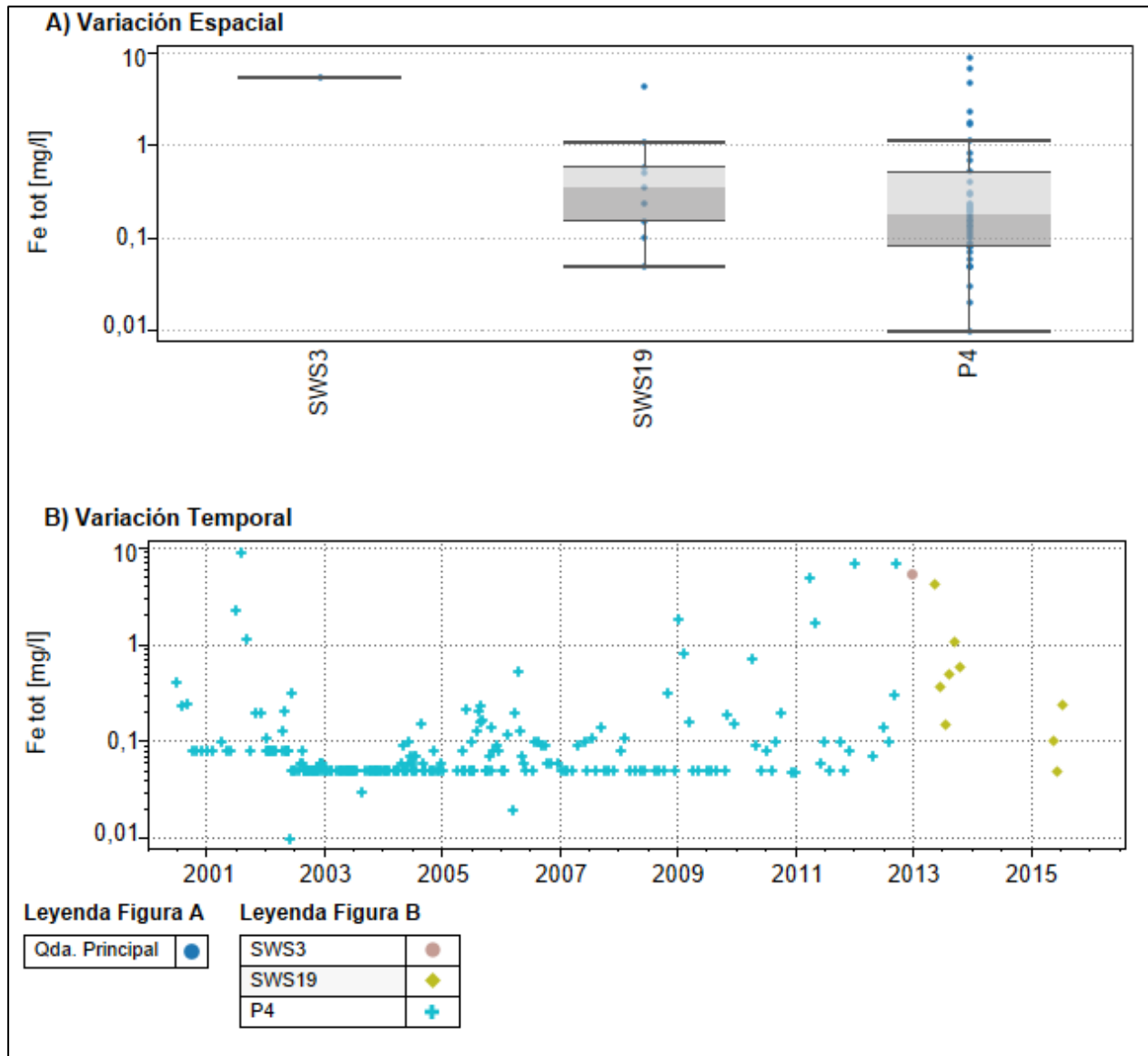
**Figura 3.2.9-65 Variación espacial y temporal de la concentración de hierro disuelto en las aguas superficiales del Subsector Quebrada Blanca Bajo. En la figura A), las estaciones se encuentran ordenadas en el sentido del escurrimiento.**



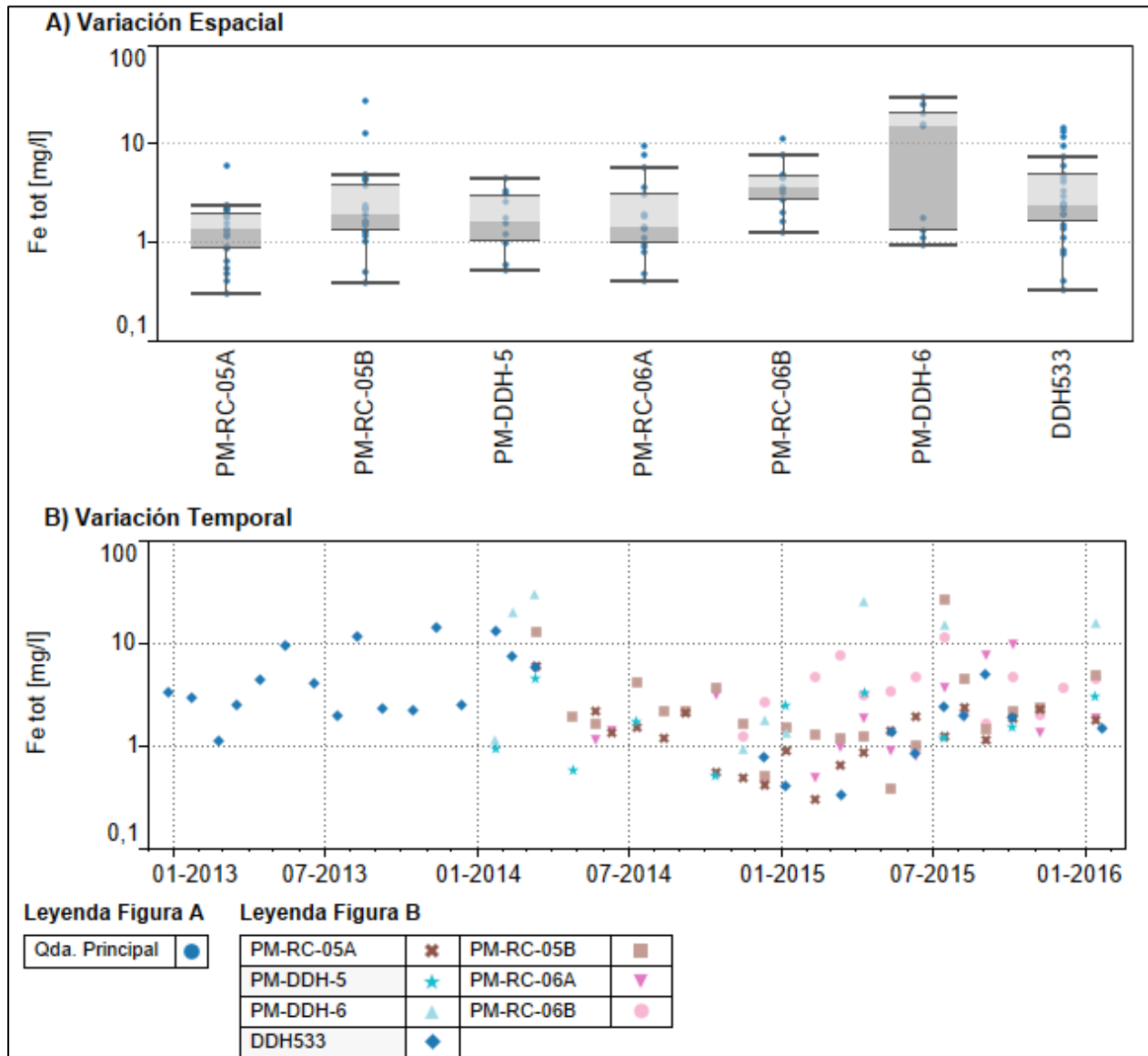
**Figura 3.2.9-66 Variación espacial y temporal de la concentración de hierro disuelto en las aguas subterráneas del Subsector Quebrada Blanca Bajo. En la figura A), las estaciones se encuentran ordenadas en el sentido del escurrimiento.**



**Figura 3.2.9-67 Variación espacial y temporal de la concentración de hierro total en las aguas superficiales del Subsector Quebrada Blanca Bajo. En la figura A), las estaciones se encuentran ordenadas en el sentido del escurrimiento.**



**Figura 3.2.9-68 Variación espacial y temporal de la concentración de hierro total en las aguas subterráneas del Subsector Quebrada Blanca Bajo. En la figura A), las estaciones se encuentran ordenadas en el sentido del escurrimiento.**



c) Sector Llareta

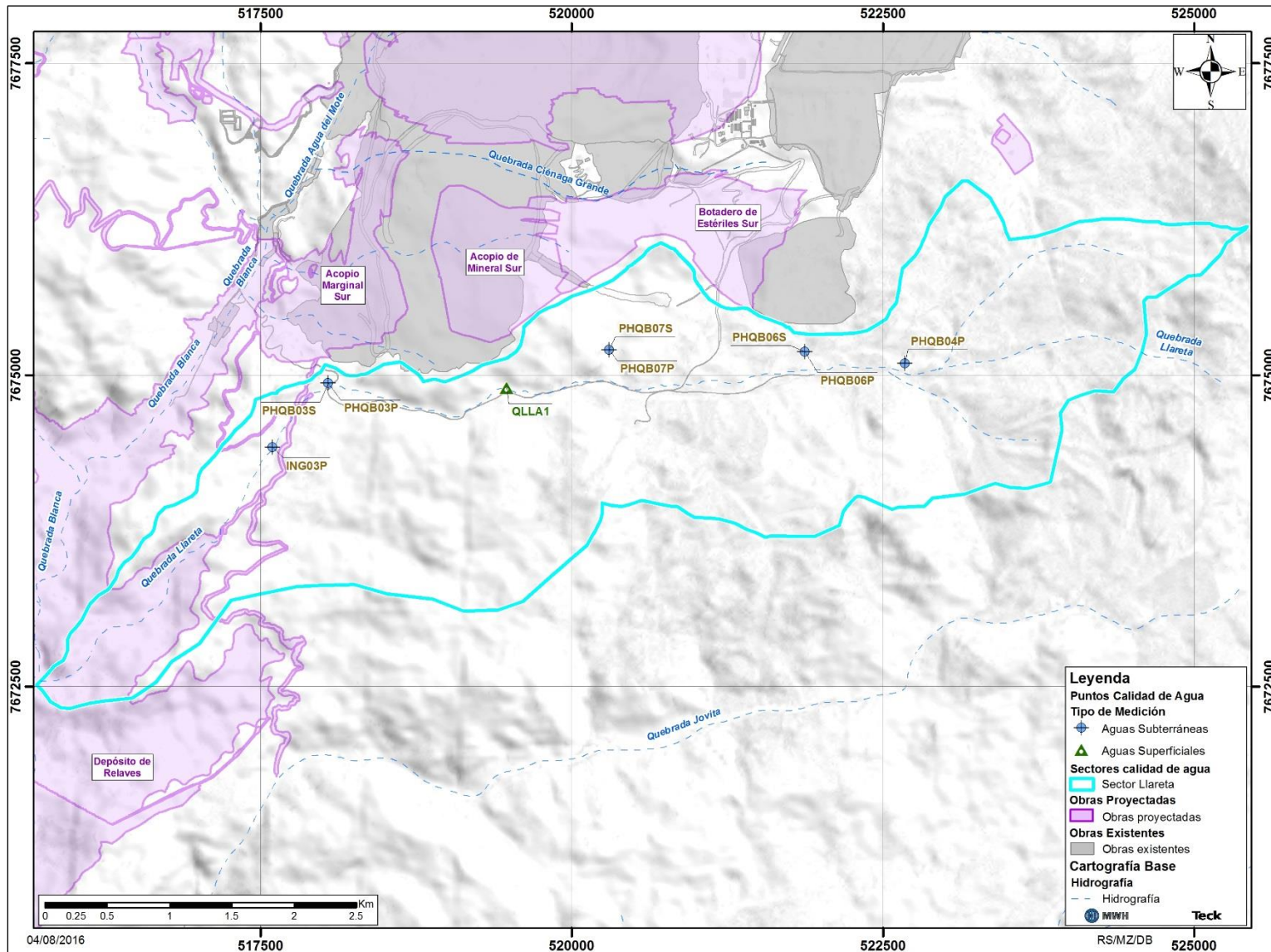
El detalle de las estaciones de calidad de agua existentes en el Sector Llareta se presenta en la Figura 3.2.9-69 y en la Tabla 3.2.9-13. En este Sector se cuenta con información de una estación de monitoreo de aguas superficiales y ocho estaciones de agua subterránea.

**Tabla 3.2.9-13. Estaciones de monitoreo en Sector Llareta.**

Nombre	DATUM WGS84, H19S			Tipo de Agua	Ubicación	Periodo con registros válidos
	Este (m)	Norte (m)	Elevación (m s.n.m.)			
PHQB04P	522.679	7.675.094	4.454	Subterránea	Qda. Llareta	2013 - 2015
PHQB06P	521.873	7.675.185	4.407	Subterránea	Qda. Tributaria	2013 – 2016
PHQB06S	521.873	7.675.185	4.407	Subterránea	Qda. Tributaria	2013 – 2016
PHQB07P	520.301	7.675.204	4.332	Subterránea	Qda. Tributaria	2013 – 2016
PHQB07S	520.301	7.675.204	4.332	Subterránea	Qda. Tributaria	2013 – 2015
QLLA1	519.478	7.674.898	4.262	Superficial	Qda. Llareta	2012 – 2014
PHQB03P	518.041	7.674.936	4.106	Subterránea		2013 – 2016
PHQB03S	518.041	7.674.936	4.106	Subterránea		2013 – 2016
ING03P	517.595	7.674.419	4.100	Subterránea		2011



Figura 3.2.9-69 Sector Llareta



Fuente: Elaboración propia.

## pH

En la Figura 3.2.9-70 y Figura 3.2.9-71 se presentan la variación espacial y temporal del pH de las aguas superficiales y subterráneas del Sector Llaretá, respectivamente.

En el Sector Llaretá se cuenta con mediciones de **aguas superficiales** para la estación de monitoreo QLLA1, la que concentró sus registros durante 2013 y se ha mantenido seco desde 2014 en adelante. El pH en dicha estación ha variado en rangos de aguas neutras y moderadamente alcalinas, con un valor mínimo igual a 6,8 UpH, un máximo correspondiente a 8,9 UpH y una mediana igual a 7,7 UpH. Se registró una tendencia de incremento del pH entre diciembre de 2012 y septiembre de 2013.

El pH de las **aguas subterráneas** en quebrada Llaretá ha presentado un rango de variación entre 4,7 UpH (pozo PHQB07P, septiembre de 2015) y 9,4 UpH (pozo PHQB06S, enero de 2015), aunque la mayoría de los registros ha sido superior a 6,5 UpH. Cabe señalar que la mediana de los pozos se encuentra en el rango de aguas neutras, con un mínimo igual a 6,9 UpH (pozo PHQB06P) y un máximo de 7,5 UpH (pozo PHQB03S).

En términos espaciales, el pH es uniforme en el eje de quebrada Llaretá, con un leve incremento hacia aguas abajo. No obstante, los mayores valores de pH fueron registrados en el pozo PHQB06S, ubicado en una quebrada afluyente a la quebrada Llaretá.

Se aprecia una variación temporal común del pH de las aguas subterráneas en este Sector, con diversos períodos de incremento (febrero 2014 – marzo 2014, octubre 2014 – abril 2015) y decremento (julio de 2013 – febrero 2014, marzo 2014 - octubre de 2014, abril 2015 - diciembre 2015). Durante estos períodos, el pH fue relativamente homogéneo en términos espaciales, salvo el pozo PHQB06S entre enero de 2015 y octubre de 2015. En este periodo su pH fue, en promedio, superior en más de una unidad de pH al de los pozos restantes. En forma previa y posterior a dicho período, los registros en el pozo PHQB06S fueron similares a los de los otros pozos.

## Conductividad eléctrica

En la Figura 3.2.9-72 y Figura 3.2.9-73 se presentan la variación espacial y temporal de las aguas superficiales y subterráneas del Sector Llaretá, respectivamente.

Las **aguas superficiales**, representadas por el punto de monitoreo QLLA1, están en el rango de aguas dulces, variando la CE entre 290  $\mu\text{S}/\text{cm}$  y 489  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Los registros se concentran durante el año 2013, presentando una tendencia decreciente entre febrero y octubre de dicho año.

Al igual que el agua superficial, las **aguas subterráneas** del Sector Llaretá corresponden fundamentalmente a aguas dulces. La CE presenta un leve incremento hacia aguas abajo en el eje de la quebrada Llaretá, desde el pozo PHQB04P (rango de variación igual a 103  $\mu\text{S}/\text{cm}$  – 181  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) hasta PHQB03P y PHQB03S (en rango 500  $\mu\text{S}/\text{cm}$  – 784  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , donde los mayores

registros corresponden al pozo somero). El pozo ING03P, ubicado aguas abajo de los anteriores, dispone de un registro, medido en 2011, correspondiente a 559  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Los pozos restantes han presentado valores normalmente inferiores a 600  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , aunque la CE máxima del Sector fue verificada en el pozo PHQB06P, en su tercer registro (1.020  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , septiembre de 2013), valor correspondiente a una situación particular.

En términos de su variabilidad temporal, la mayoría de los pozos han presentado registros estables, con algunos pozos presentando muy leves tendencias al alza (PHQB04P) y al descenso (PHQB03S). Se verificó una tendencia al descenso de la CE de mayor significancia entre julio de 2013 (correspondiente a la primera campaña de registros) y diciembre de 2013 en los pozos PHQB03P y PHQB04P, la que se relacionaría con el proceso de estabilización de ambos pozos.

### Sulfato

En la Figura 3.2.9-74 y Figura 3.2.9-75 se presentan la variación espacial y temporal de la concentración de sulfato en las aguas superficiales y subterráneas del Sector Llaretta, respectivamente.

Respecto a las **aguas superficiales**, la concentración de sulfato varió en el rango 19 mg/l – 60 mg/l desde diciembre de 2012 en adelante, presentando su valor máximo en el registro previo (138 mg/l, marzo de 2012). A diferencia de la tendencia decreciente de la CE, la concentración de sulfato se incrementó entre diciembre de 2012 y junio de 2013, decreciendo posteriormente hasta octubre de 2013. Lo anterior, es coherente con el hecho de que el anión dominante corresponde al bicarbonato (ver acápite 3.2.9.5.2c), que presenta la misma tendencia decreciente de la CE. Por otra parte, se destaca el hecho de que el cambio de tendencia desde junio de 2013 (cuando se presenta la concentración máxima de ese año) coincide con el caudal máximo registrado en QLLA1 (ver Anexo 3.2.9-1), también correspondiente al mes de junio.

En lo que respecta a las **aguas subterráneas**, la variación espacial de la concentración de sulfato es similar a la descrita para la CE. En la quebrada Llaretta se aprecia un leve incremento hacia aguas abajo, desde el pozo PHQB04P (variando en el rango 14 mg/l – 40 mg/l) a los pozos PHQB03P y PHQB03S (rango 62 mg/l – 207 mg/l). En estos últimos, aunque las mayores concentraciones han correspondido al pozo somero, el máximo estuvo asociado a una condición particular en el pozo PHQB03P. Los pozos restantes han presentado registros ubicados dentro del mismo rango. Al respecto, cabe destacar que el único registro del pozo ING03P, ubicado aguas abajo de los pozos PHQB03P y PHQB03S, presentó una concentración de sulfato igual a 93 mg/l.

La concentración de sulfato en los diferentes pozos ha presentado baja variabilidad temporal en la mayoría de los pozos. La principal tendencia verificada corresponde al descenso de la concentración entre julio de 2013 y diciembre de 2013 en los pozos PHQB06P y PHQB07P. Por otra parte, se debe destacar que durante el período julio de 2015 – octubre de 2015 se presentaron las concentraciones máximas en tres pozos (PHQB03S, PHQB03P y PHQB07P).

## Cloruro

En la Figura 3.2.9-76 y Figura 3.2.9-77 se presentan los resultados de las mediciones de concentración de cloruro en las aguas superficiales y subterráneas del Sector Llareta, respectivamente.

Respecto a las **aguas superficiales**, la concentración de cloruro en comparación con la de sulfato es baja. La estación QLLA1 presenta registros que han variado en un rango acotado (13 mg/l – 28 mg/l), sin tendencias temporales significativas.

Las **aguas subterráneas** del Sector Llareta presentan concentraciones de cloruro similares a la de la CE en términos de su variación espacial y temporal. En la quebrada Llareta existe un incremento hacia aguas abajo, desde el pozo PHQB04P, con un rango de variación igual a < 0,03 mg/l – 12 mg/l, a los pozos PHQB03P y PHQB03S, con una mediana igual a 30 mg/l y una concentración máxima correspondiente a 49 mg/l. La única medición del pozo ING03P se presentó en un rango similar (36 mg/l). En los pozos restantes, los registros regularmente han presentado valores intermedios, variando en torno a 10 mg/l – 15 mg/l, salvo el período julio de 2013 - diciembre de 2013 en los pozos PHQB06P y PHQB07P.

Los registros en general han sido estables en el tiempo, con tasas de variación anuales no superiores a 5 mg/l. Como excepción a lo anterior, se verificó un decremento en la concentración de cloruro en el período julio de 2013 - diciembre de 2013, en los pozos PHQB06P y PHQB07P, disminuyendo más de 40 mg/l en este último. Se estima que dicha variabilidad estaría asociada al proceso de estabilización de ambos pozos.

## Cobre disuelto

En la Figura 3.2.9-78 y Figura 3.2.9-79 se presentan los resultados de las mediciones de concentración de cobre disuelto en las aguas superficiales y subterráneas del Sector Llareta, respectivamente.

La concentración de cobre disuelto en las **aguas superficiales** presenta una alta dispersión, variando en 2 órdenes de magnitud, en el rango 0,003 mg/l – 0,4 mg/l. No se aprecian tendencias temporales en dichos registros.

Tal como en los restantes parámetros evaluados, la concentración de cobre disuelto se incrementa hacia aguas abajo en las **aguas subterráneas** de quebrada Llareta. La mediana de los registros de concentración de cobre disuelto en el pozo PHQB04P ha correspondido a 0,006 mg/l (rango de variación 0,001 mg/l – 0,08 mg/l), mientras que en los pozos PHQB03S y PHQB03P ha sido igual a 0,01 mg/l (rango de variación entre ambos igual a 0,002 mg/l – 0,8 mg/l). Las máximas concentraciones medidas han sido verificadas en el pozo PHQB07P, correspondiendo a 2,2 mg/l en septiembre de 2015 y 1 mg/l en diciembre de 2015. En ambos casos coincidieron con las máximas concentraciones de sulfato en el pozo.

En la mayoría de los pozos (por ejemplo, PHQB03P, PHQB06P y PHQB07P) se aprecia una tendencia al incremento, al menos hasta mediados de 2015, con concentraciones superiores durante 2015, respecto a las medidas en 2013. Mientras la mediana de los registros durante 2013 correspondió a 0,005 mg/l, en 2015 - 2016 aumentó a 0,05 mg/l, alcanzándose las máximas concentraciones en este período. Cabe señalar que en algunos pozos se verificó un descenso en las concentraciones medidas en las últimas campañas, en particular en la de enero de 2016 (por ejemplo, PHQB06P y PHQB07P). Por otra parte, es destacable que durante los tres años con registros se observan tendencias de incremento hasta alcanzar valores máximos durante la primavera (septiembre – octubre), para posteriormente volver a disminuir.

### Cobre total

En la Figura 3.2.9-80 y Figura 3.2.9-81 se presentan los resultados de las mediciones de concentración de cobre total en las aguas superficiales y subterráneas del Sector Llaretá, respectivamente.

La concentración de cobre total en las **aguas superficiales** ha variado en el rango 0,01 mg/l – 0,9 mg/l. Cabe señalar que los registros se concentraron fundamentalmente en 2013, no mostrando tendencias temporales.

Respecto a las **aguas subterráneas**, los pozos PHQB04P (0,02 mg/l) y PHQB03S y PHQB03P (0,03 mg/l) han presentado medianas similares, indicando cambios leves a lo largo del eje de la quebrada Llaretá. Las máximas concentraciones del Sector han sido verificadas en el pozo PHQB07P, correspondiendo a 2,7 mg/l en septiembre de 2015 y 1,3 mg/l en diciembre de 2015. Cabe destacar que la variación temporal del cobre total es similar la descrita para la concentración de cobre disuelto.

### Hierro disuelto

En la Figura 3.2.9-82 y Figura 3.2.9-83 se presentan los resultados de las mediciones de concentración de hierro disuelto en las aguas superficiales y subterráneas del Sector Llaretá, respectivamente.

Las **aguas superficiales** (estación QLLA1) presenta mediciones de hierro disuelto que han variado en 2 órdenes de magnitud, en el rango 0,04 mg/l – 1,9 mg/l, con una concentración máxima obtenida durante la campaña de septiembre de 2013.

En términos espaciales, la concentración de hierro disuelto en las **aguas subterráneas** del Sector Llaretá es similar en el eje de la quebrada al considerar los pozos profundos, siendo las medianas de los pozos PHQB04P y PHQB03P similares, iguales a 0,05 mg/l y 0,1 mg/l, respectivamente. El pozo somero ubicado hacia aguas abajo (PHQB03S) ha presentado registros superiores, con una mediana igual a 2,4 mg/l y una concentración máxima correspondiente a 5,5 mg/l, que además ha correspondido a la máxima del Sector. Los pozos restantes presentaron concentraciones medias similares e incluso inferiores a los registros del pozo PHQB04P. De

estos, los máximos registros correspondieron al pozo PHQB07P, con una mediana igual a 0,07 mg/l y un registro máximo igual a 0,8 mg/l.

En lo que respecta a la variación temporal, el pozo PHQB03S presenta continuidad en los registros durante 2014, que permite verificar una tendencia al descenso entre ese año y 2015. Las máximas concentraciones medidas en ese pozo se concentraron entre julio de 2013 y enero de 2014. Por otra parte, tal como en otros parámetros, la concentración máxima en el pozo PHQB07P se obtuvo durante la campaña de septiembre de 2015.

### Hierro total

En la Figura 3.2.9-84 y Figura 3.2.9-85 se presentan los resultados de las mediciones de concentración de hierro disuelto en las aguas superficiales y subterráneas del Sector Llaretta, respectivamente.

Las **aguas superficiales** (estación QLLA-1), presenta mediciones de hierro total uniforme en el tiempo, variando regularmente en el rango 1,1 mg/l – 2,0 mg/l.

En términos espaciales, la concentración de hierro total en las **aguas subterráneas** del Sector Llaretta es relativamente uniforme, con concentraciones máximas en el rango 1,1 mg/l – 3,8 mg/l, salvo en los pozos PHQB07S (6,6 mg/l) y PHQB03S (8,7 mg/l). Este último es el que ha presentado mayores concentraciones, con una mediana igual a 6,8 mg/l.

En lo que respecta a la variación temporal, la mayoría de los pozos presenta concentraciones relativamente uniformes, aunque PHQB03P y PHQB04P han presentado concentraciones desde 2014 en adelante levemente superiores a las verificadas en 2013.

### Resumen

A modo de síntesis de los resultados presentados, a continuación se resumen la descripción de la calidad de agua en el Sector Llaretta para los parámetros evaluados, por el medio del uso de diferentes estadísticos, considerando entre otro el registro mínimo, el máximo y el P50 o mediana. Los resultados se presentan en la Tabla 3.2.9-14 y Tabla 3.2.9-15, diferenciándose entre la serie histórica, que considera todos los registros, y las mediciones realizadas desde 2015 en adelante (situación actual). Cabe destacar que estas últimas incluyen registros de aguas subterráneas, ya que la estación de monitoreo superficial (QLLA1) se ha encontrado seca en este período.

**Tabla 3.2.9-14. Resumen calidad de agua en Sector Llareta, registros históricos.**

Tipo Agua	Valor	C.E.	Cl	Cu dis	Cu tot	Fe dis	Fe tot	pH	SO <sub>4</sub>
		µS/cm	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	UpH	mg/l
Aguas Superficiales	Mín.	290	13	0,003	0,01	0,04	0,2	6,8	19
	P(10)	330	15	0,005	0,02	0,05	1,0	7,3	27
	P(50)	405	17	0,02	0,06	0,1	1,6	7,7	38
	P(90)	480	21	0,2	0,4	1,5	2,0	8,5	56
	Máx.	489	28	0,4	0,9	1,9	2,0	8,9	138
Aguas Subterráneas	Mín.	103	0,03	0,0005	0,003	< 0,01	0,02	4,7	14
	P(10)	123	7	0,002	0,005	0,02	0,1	6,6	17
	P(50)	302	15	0,009	0,03	0,1	0,7	7,2	56
	P(90)	735	34	0,09	0,4	3,1	6,8	7,9	121
	Máx.	1.020	62	2,2	2,7	5,5	8,7	9,4	207

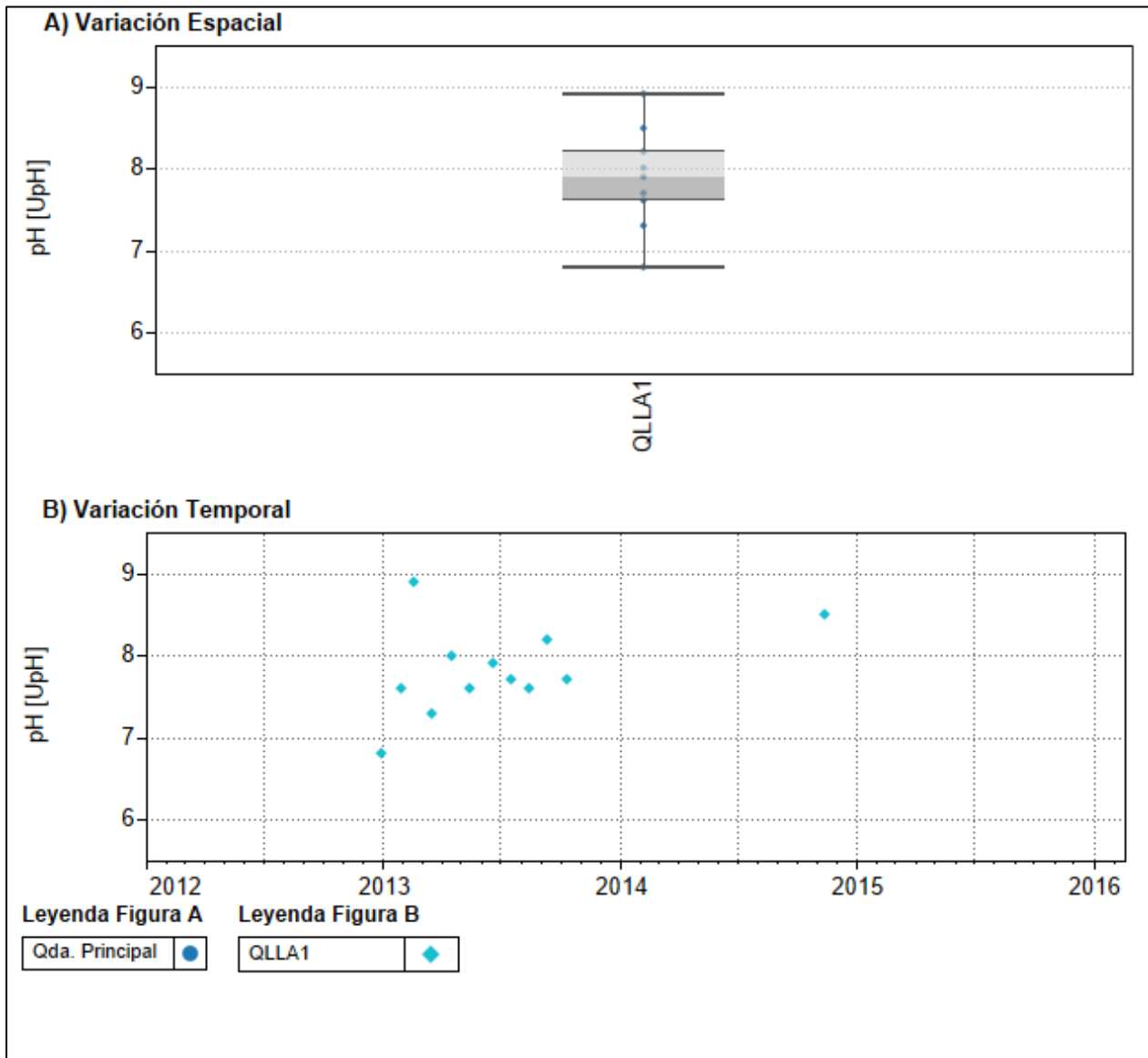
Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 3.2.9-15. Resumen calidad de agua en Sector Llareta, registros 2015-2016.**

Tipo Agua	Valor	C.E.	Cl	Cu dis	Cu tot	Fe dis	Fe tot	pH	SO <sub>4</sub>
		µS/cm	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	UpH	mg/l
Aguas Subterráneas	Mín.	121	6	0,0007	0,02	< 0,01	0,3	4,7	16
	P(10)	174	8	0,005	0,02	0,02	0,4	6,5	34
	P(50)	270	13	0,05	0,1	0,1	0,9	7,5	53
	P(90)	674	31	0,8	1,3	1,3	7,1	8,4	148
	Máx.	747	33	2,2	2,7	2,1	8,3	9,4	207

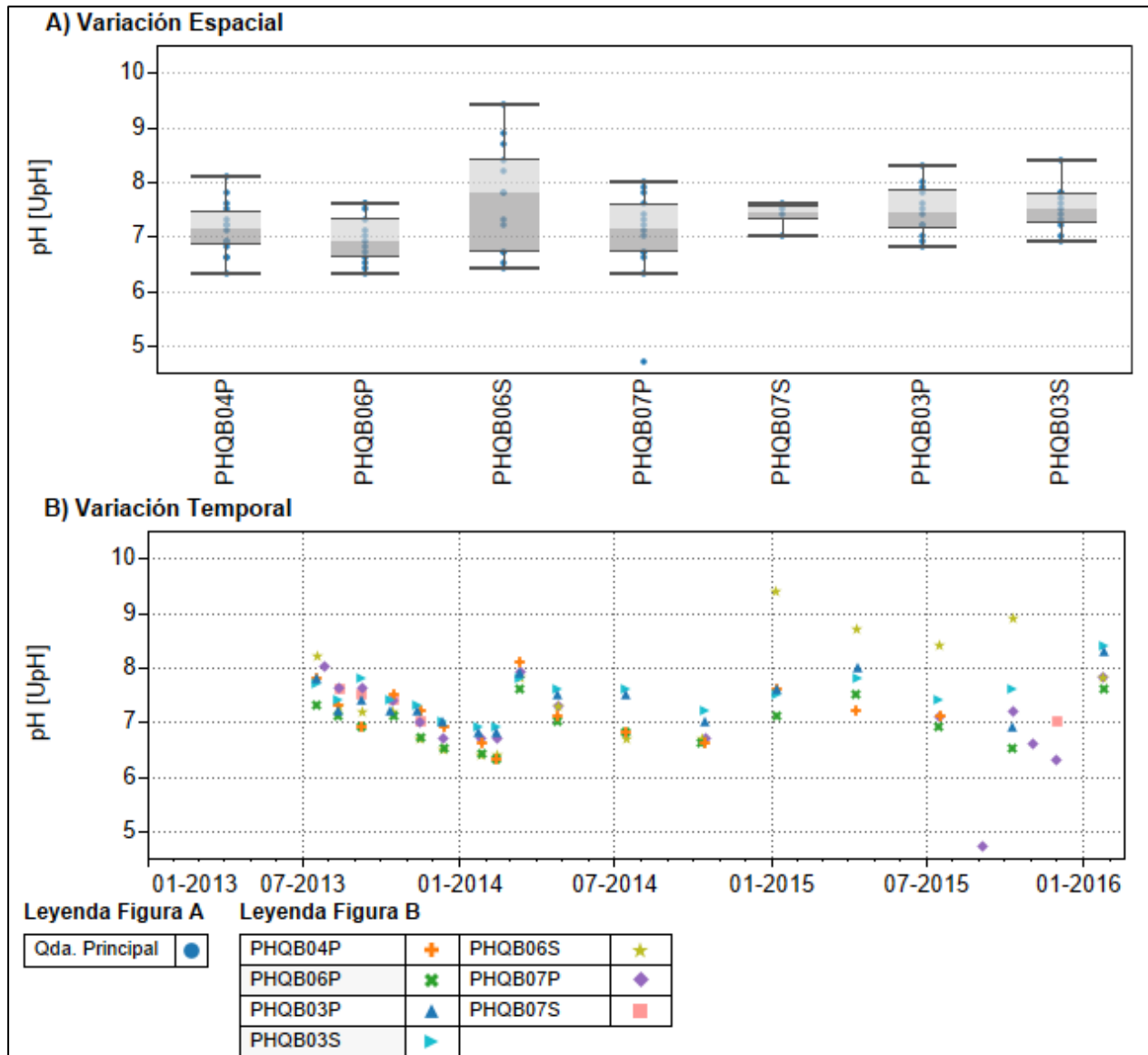
Fuente: Elaboración propia.

**Figura 3.2.9-70 Variación espacial y temporal del pH de las aguas superficiales del Sector Llaretá.**

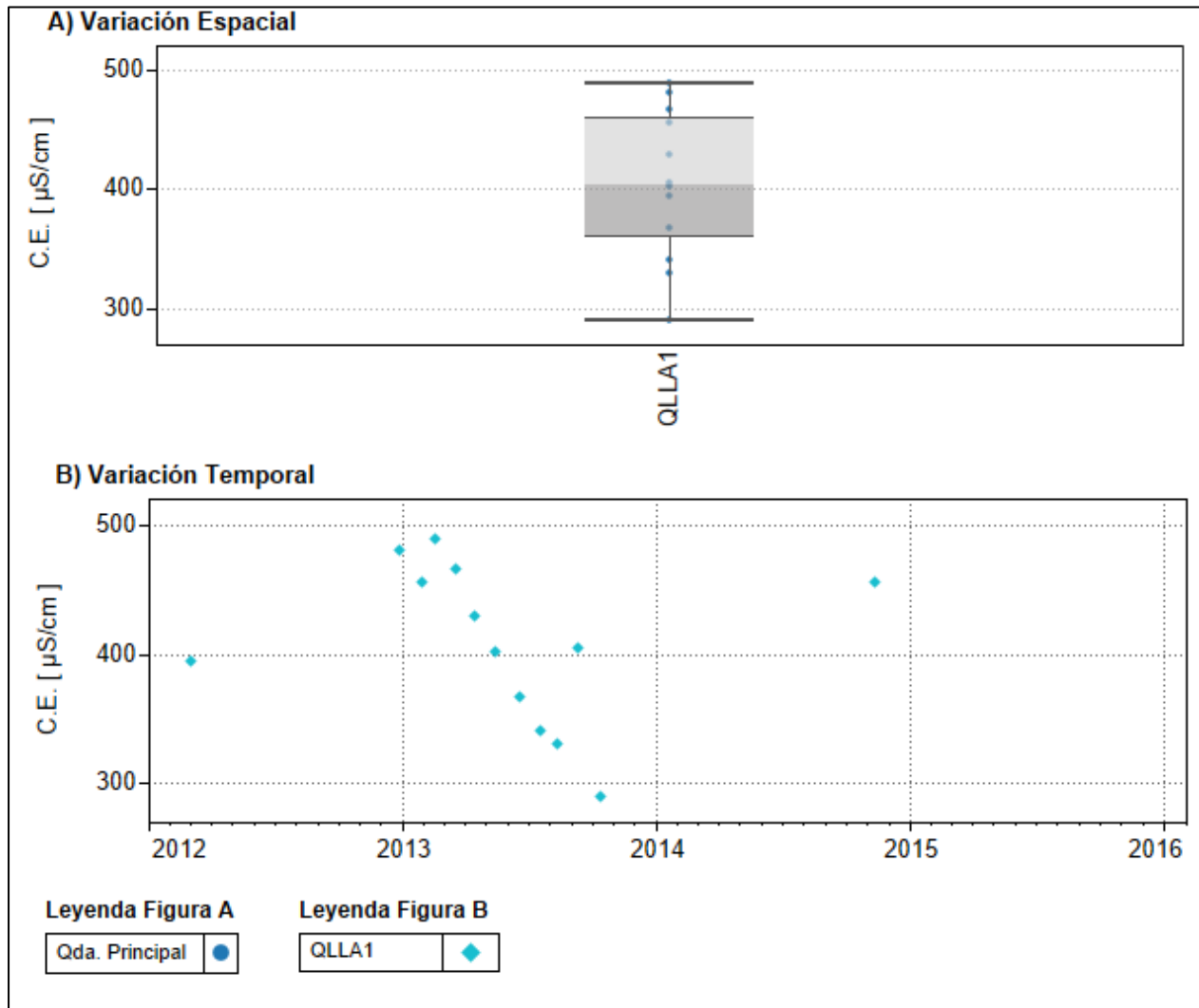




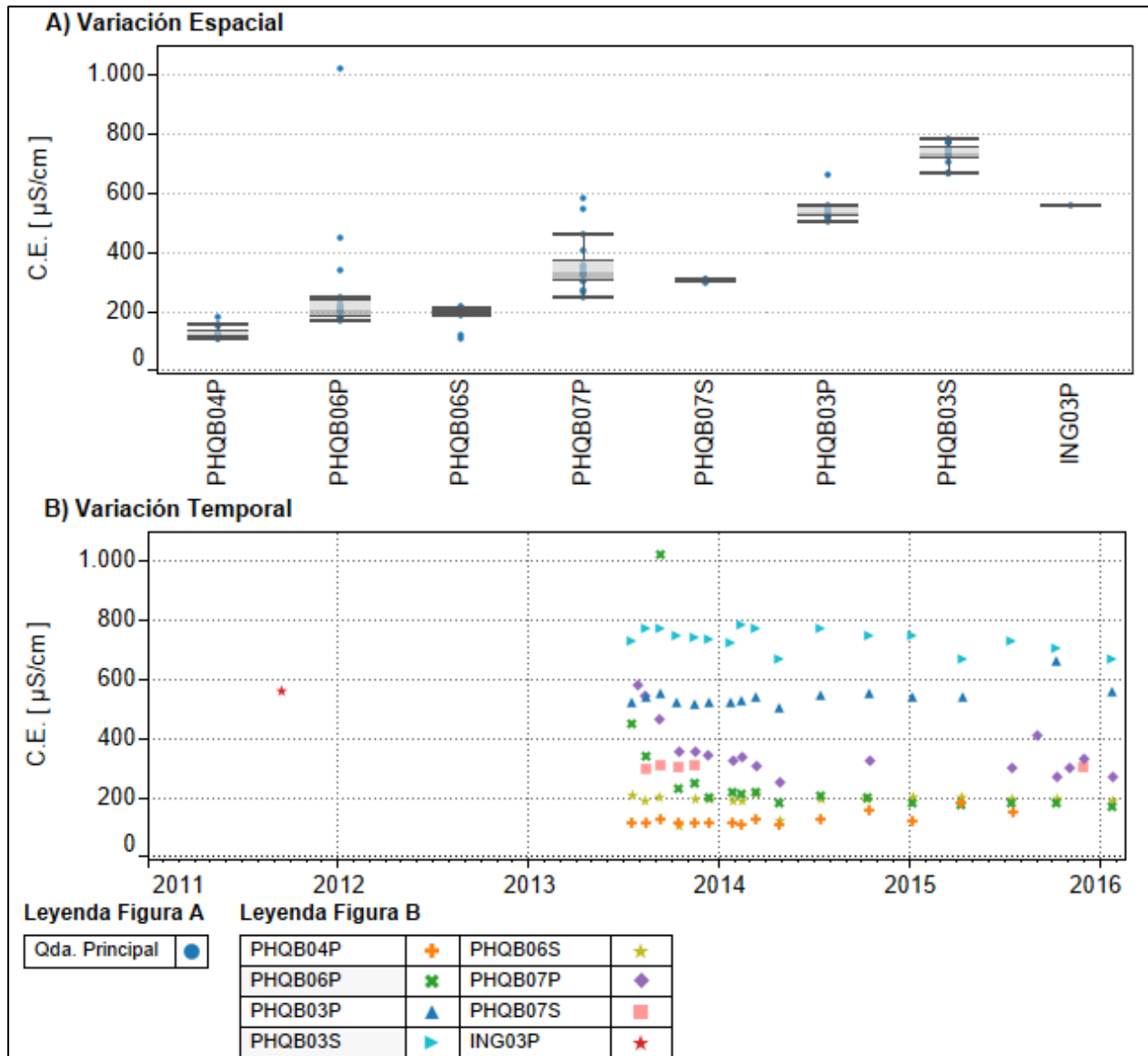
**Figura 3.2.9-71 Variación espacial y temporal del pH de las aguas subterráneas del Sector Llareta. En la figura A), las estaciones se encuentran ordenadas en el sentido del escurrimiento.**



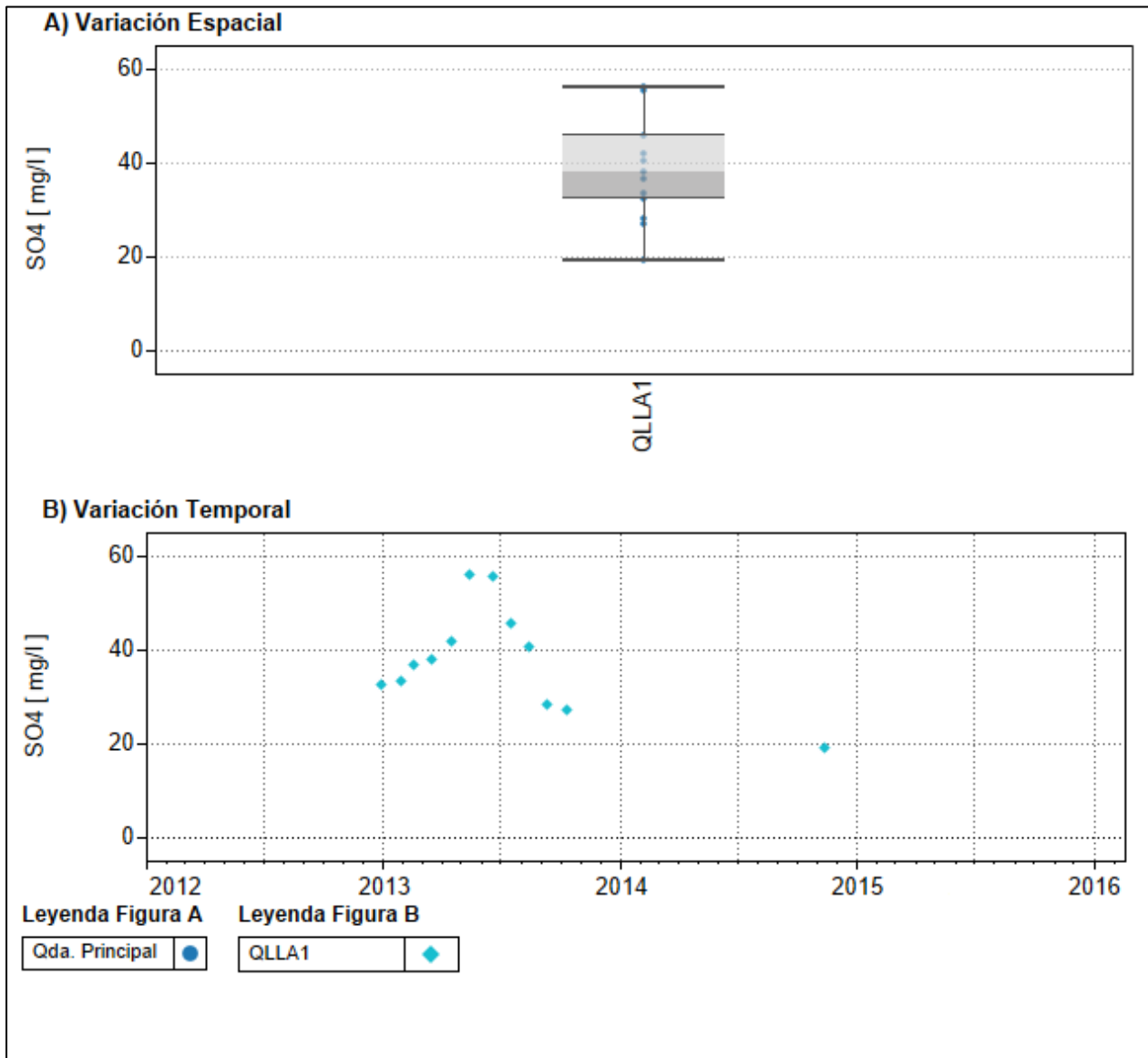
**Figura 3.2.9-72 Variación espacial y temporal de la CE de aguas superficiales del Sector Llareta.**



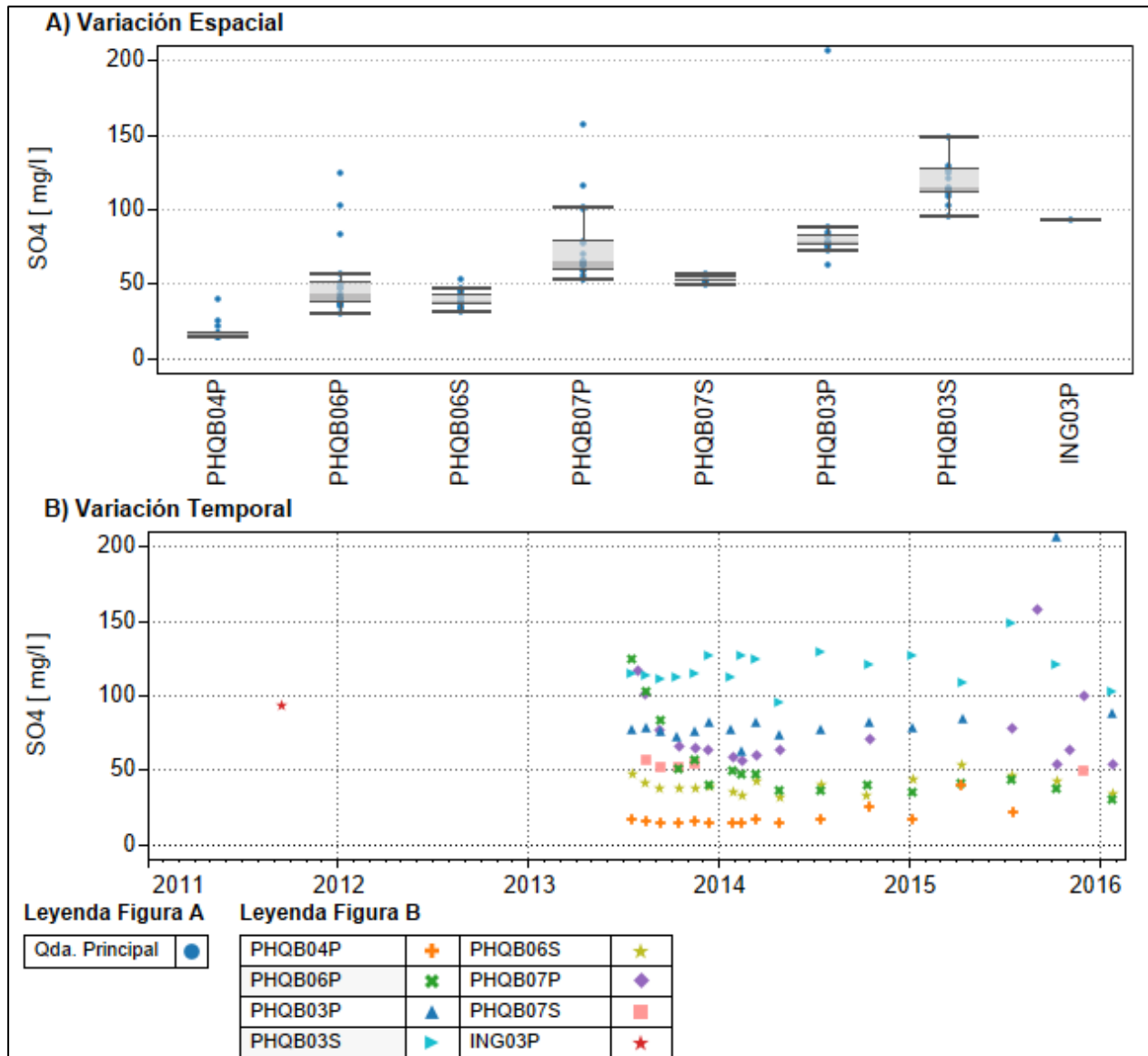
**Figura 3.2.9-73 Variación espacial y temporal de la CE de aguas subterráneas del Sector Llareta. En la figura A), las estaciones se encuentran ordenadas en el sentido del escurrimiento.**



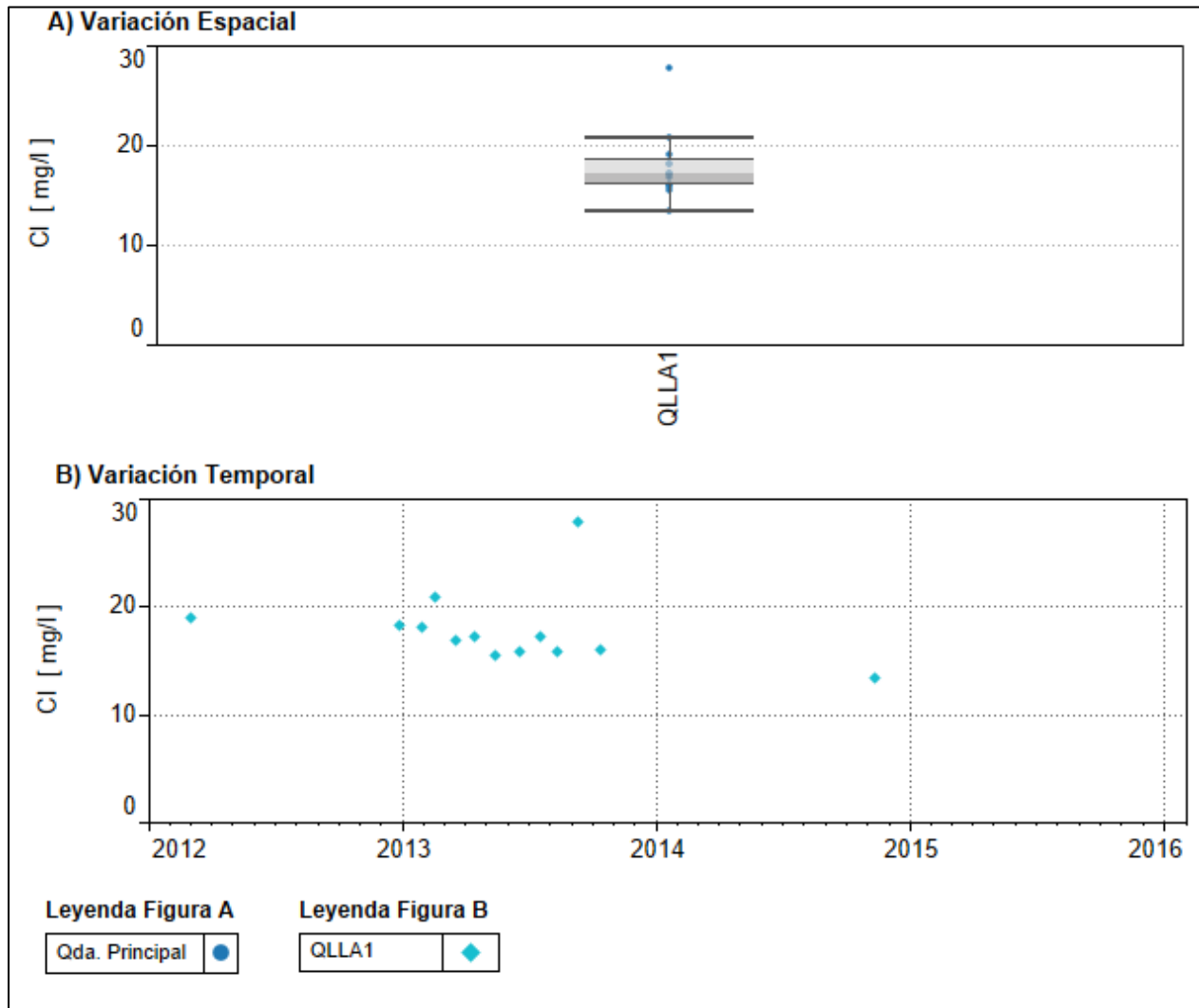
**Figura 3.2.9-74 Variación espacial y temporal de la concentración de sulfato en las aguas superficiales del Sector Llaleta.**



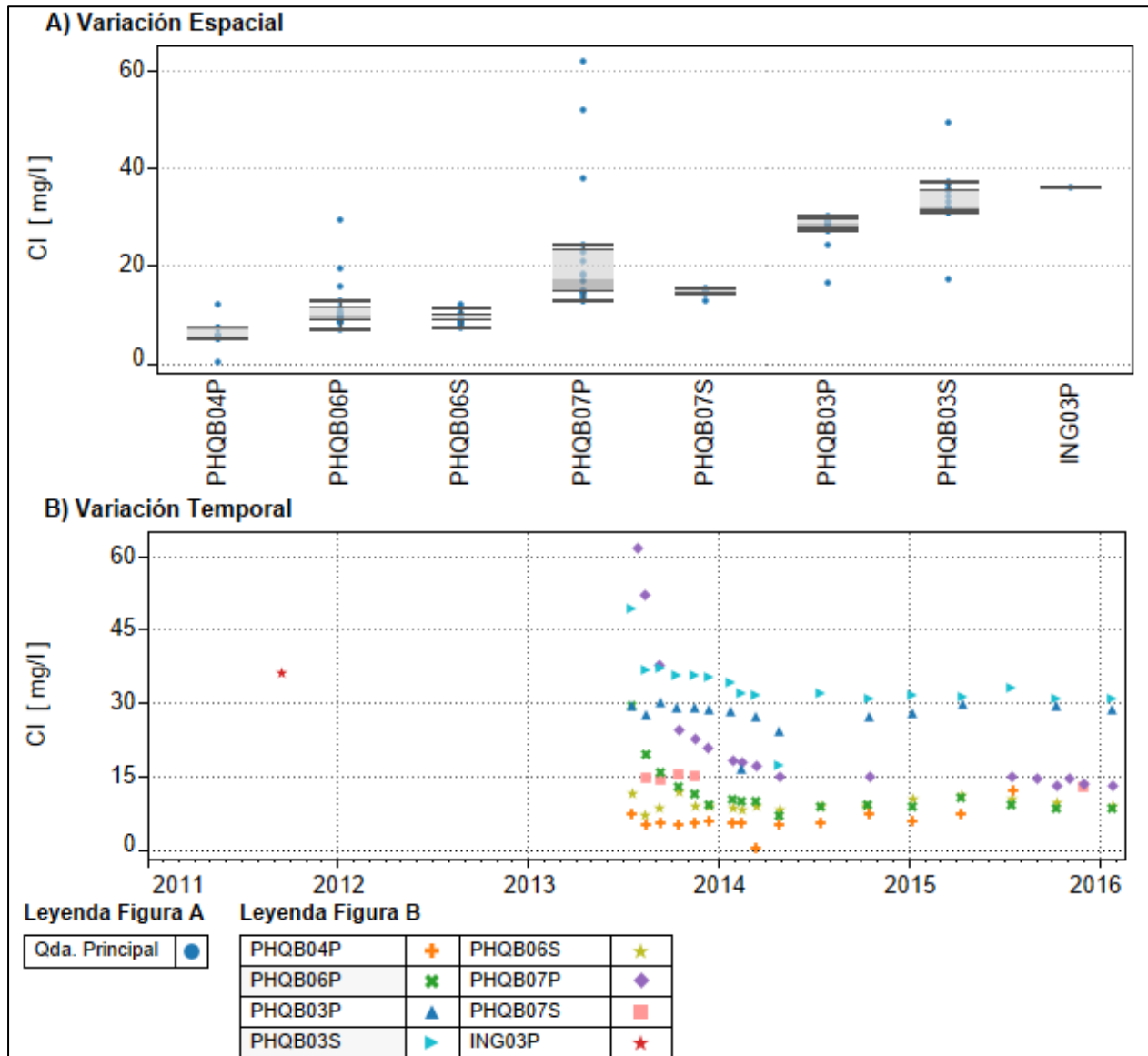
**Figura 3.2.9-75 Variación espacial y temporal de la concentración de sulfato en las aguas subterráneas del Sector Llaret. En la figura A), las estaciones se encuentran ordenadas en el sentido del escurrimiento.**



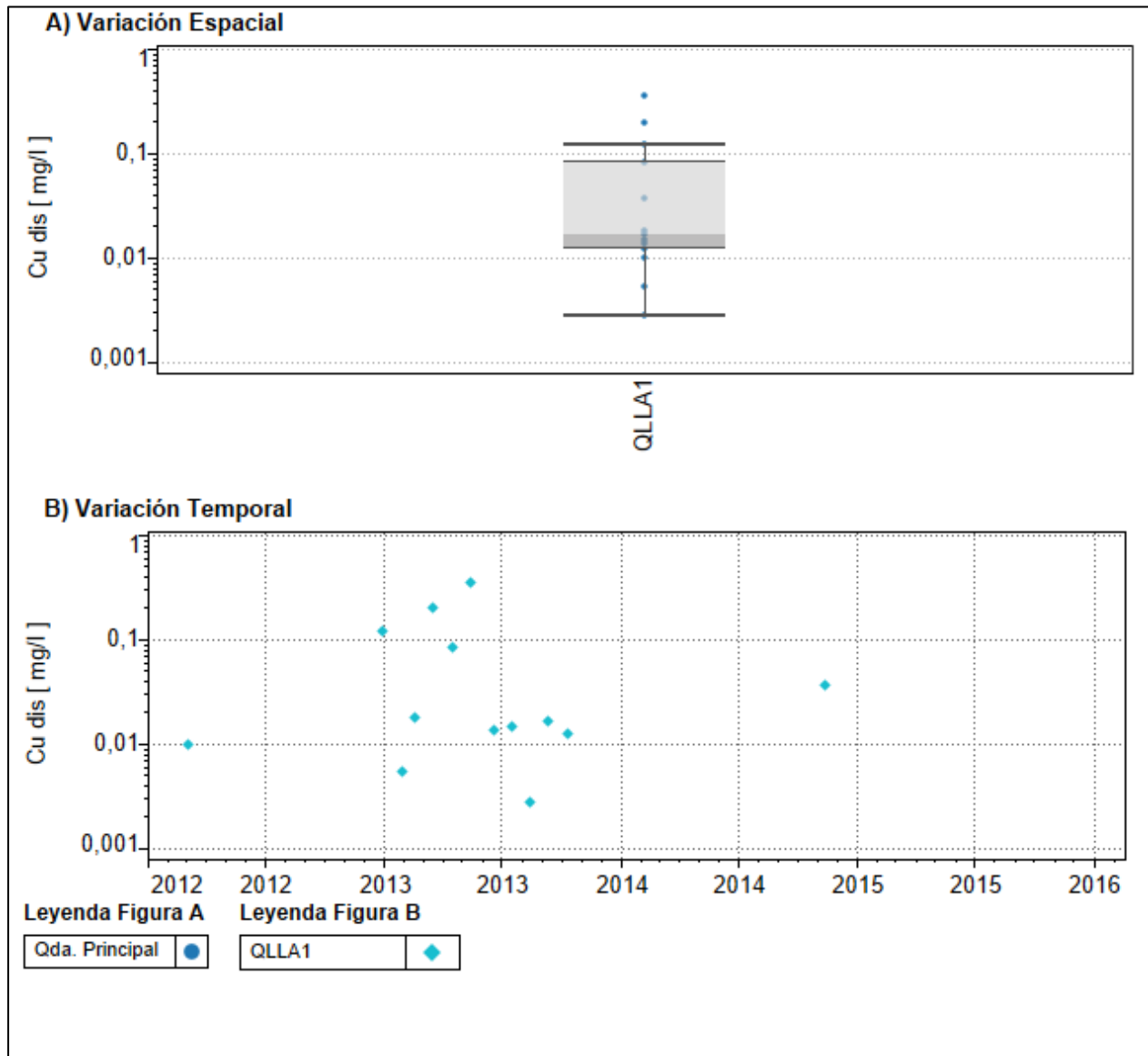
**Figura 3.2.9-76 Variación espacial y temporal de la concentración de cloruro en las aguas superficiales del Sector Llareta.**



**Figura 3.2.9-77 Variación espacial y temporal de la concentración de cloruro en las aguas subterráneas del Sector Llareta. En la figura A), las estaciones se encuentran ordenadas en el sentido del escurrimiento.**

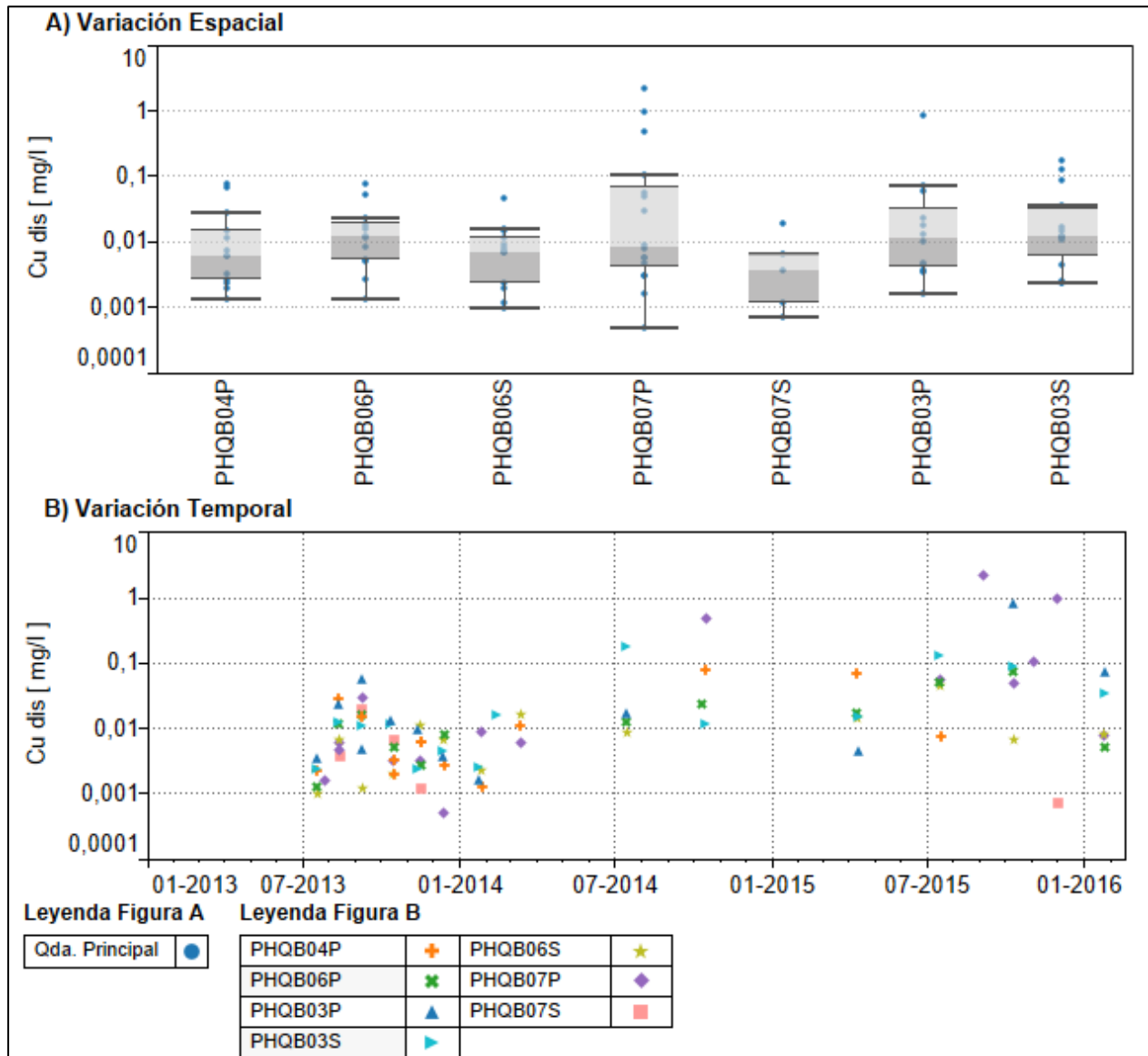


**Figura 3.2.9-78 Variación espacial y temporal de la concentración de cobre disuelto en las aguas superficiales del Sector Llaretá.**

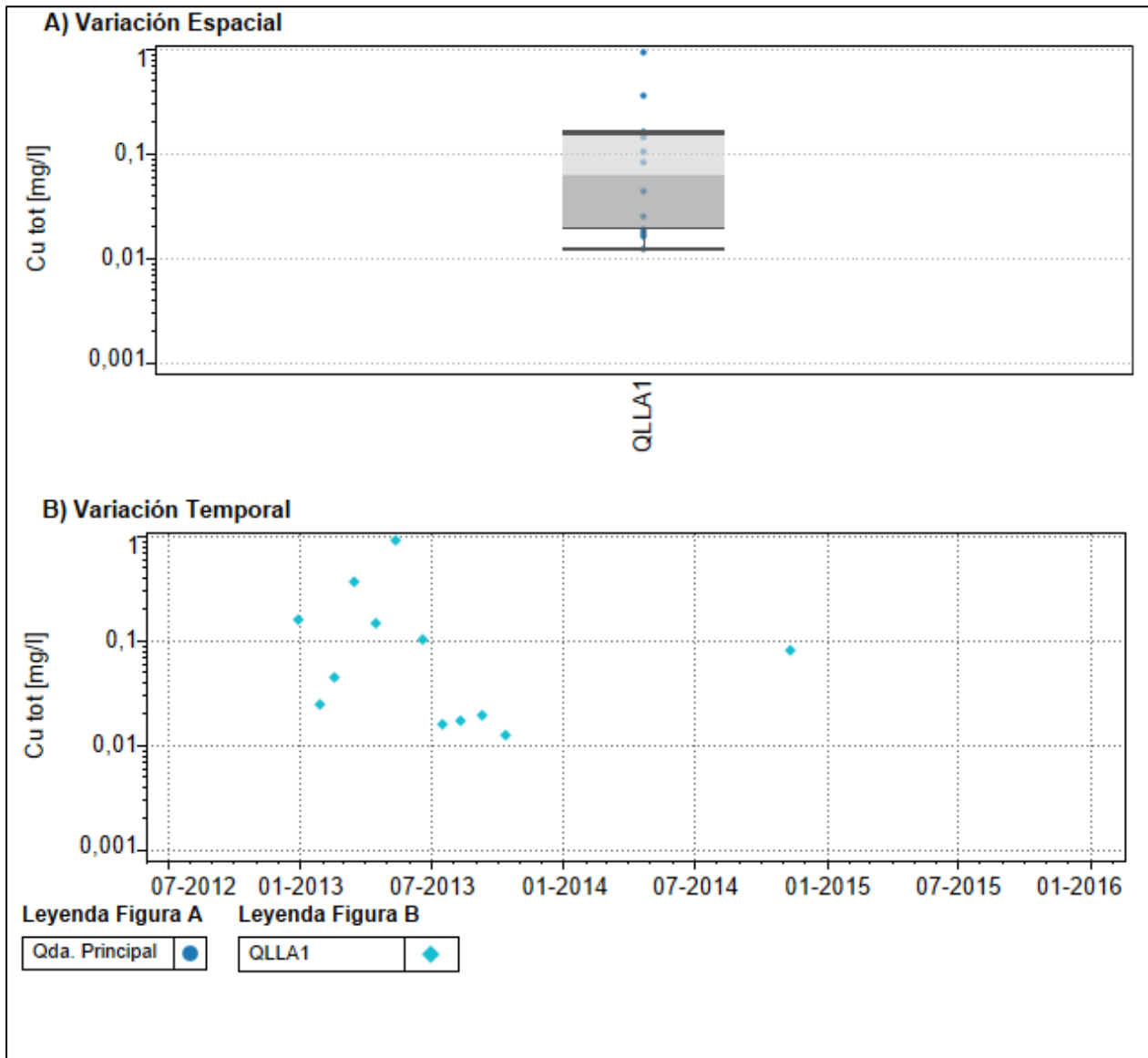




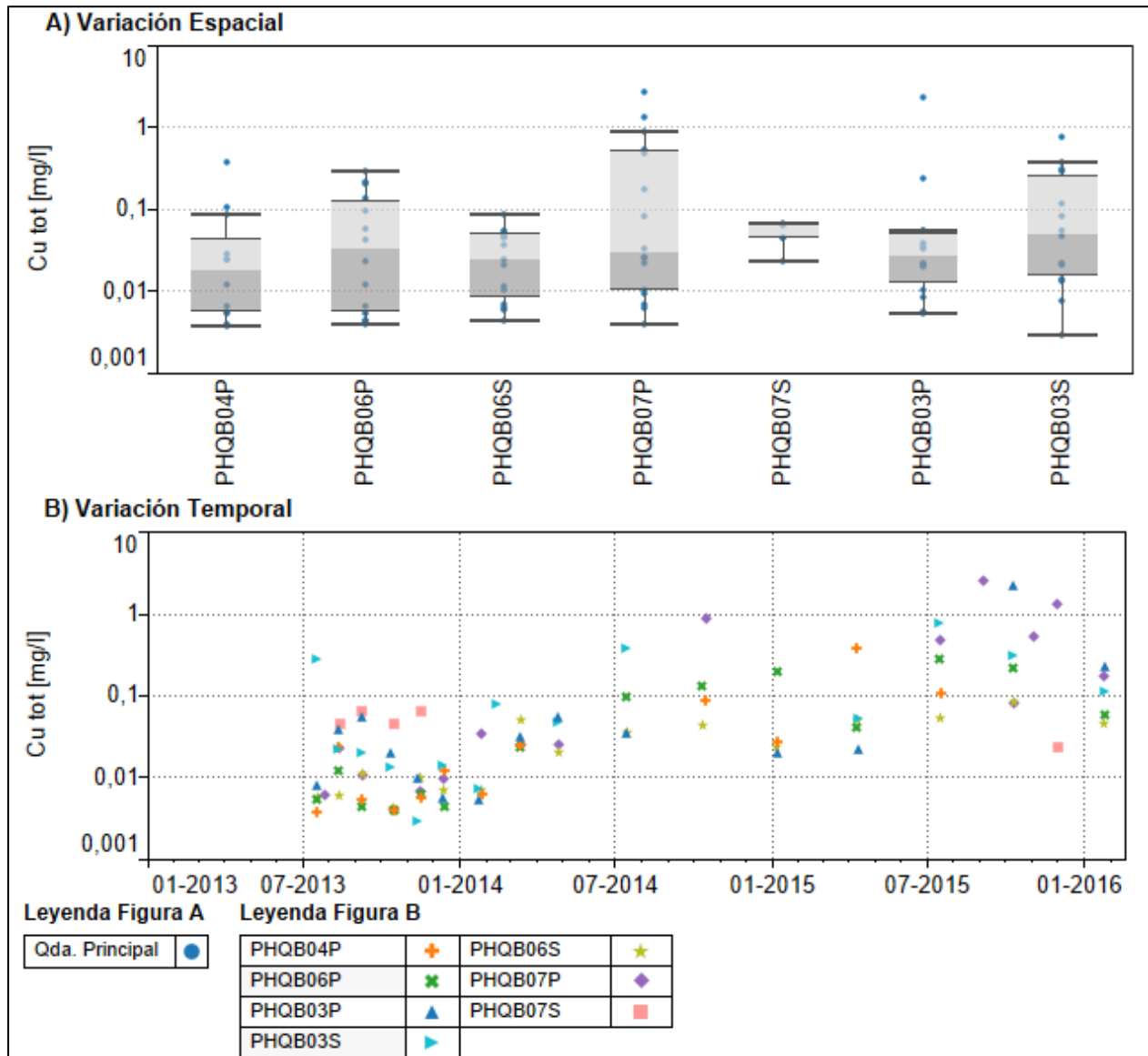
**Figura 3.2.9-79 Variación espacial y temporal de la concentración de cobre disuelto en las aguas subterráneas del Sector Llaretá. En la figura A), las estaciones se encuentran ordenadas en el sentido del escurrimiento.**



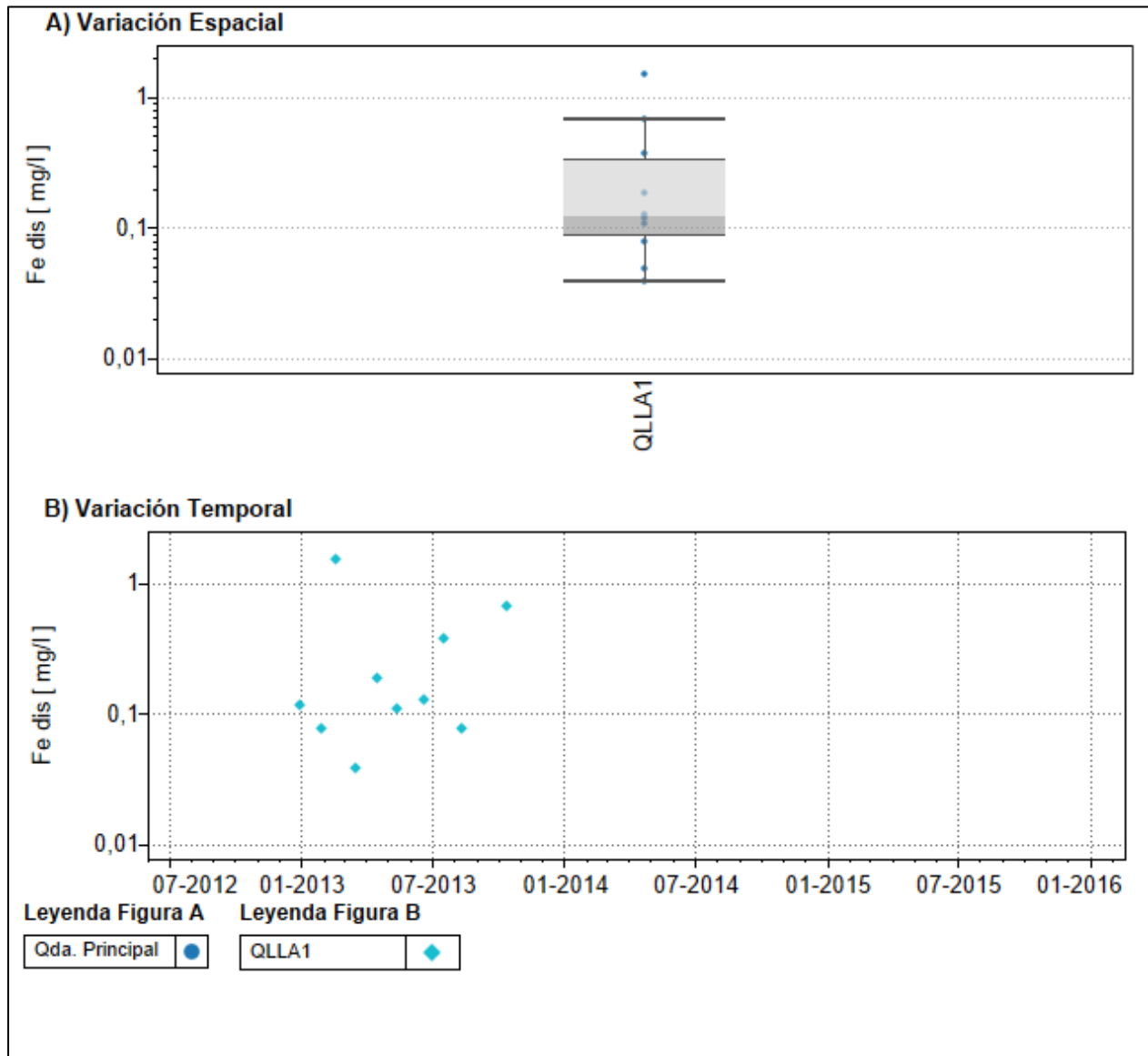
**Figura 3.2.9-80 Variación espacial y temporal de la concentración de cobre total en las aguas superficiales del Sector Llaretá. En la figura A), las estaciones se encuentran ordenadas en el sentido del escurrimiento.**



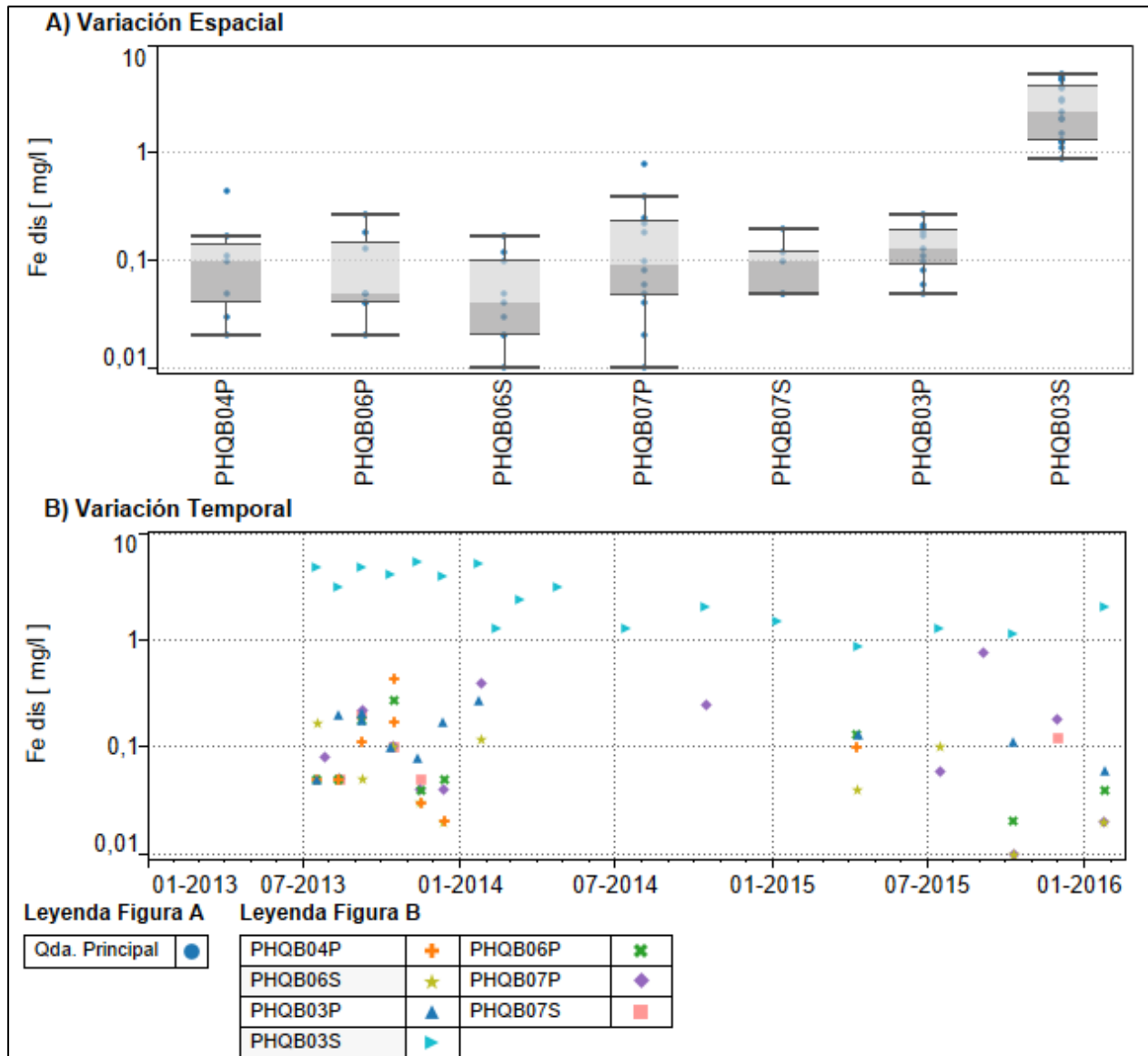
**Figura 3.2.9-81 Variación espacial y temporal de la concentración de cobre total en las aguas subterráneas del Sector Llaleta. En la figura A), las estaciones se encuentran ordenadas en el sentido del escurrimiento.**



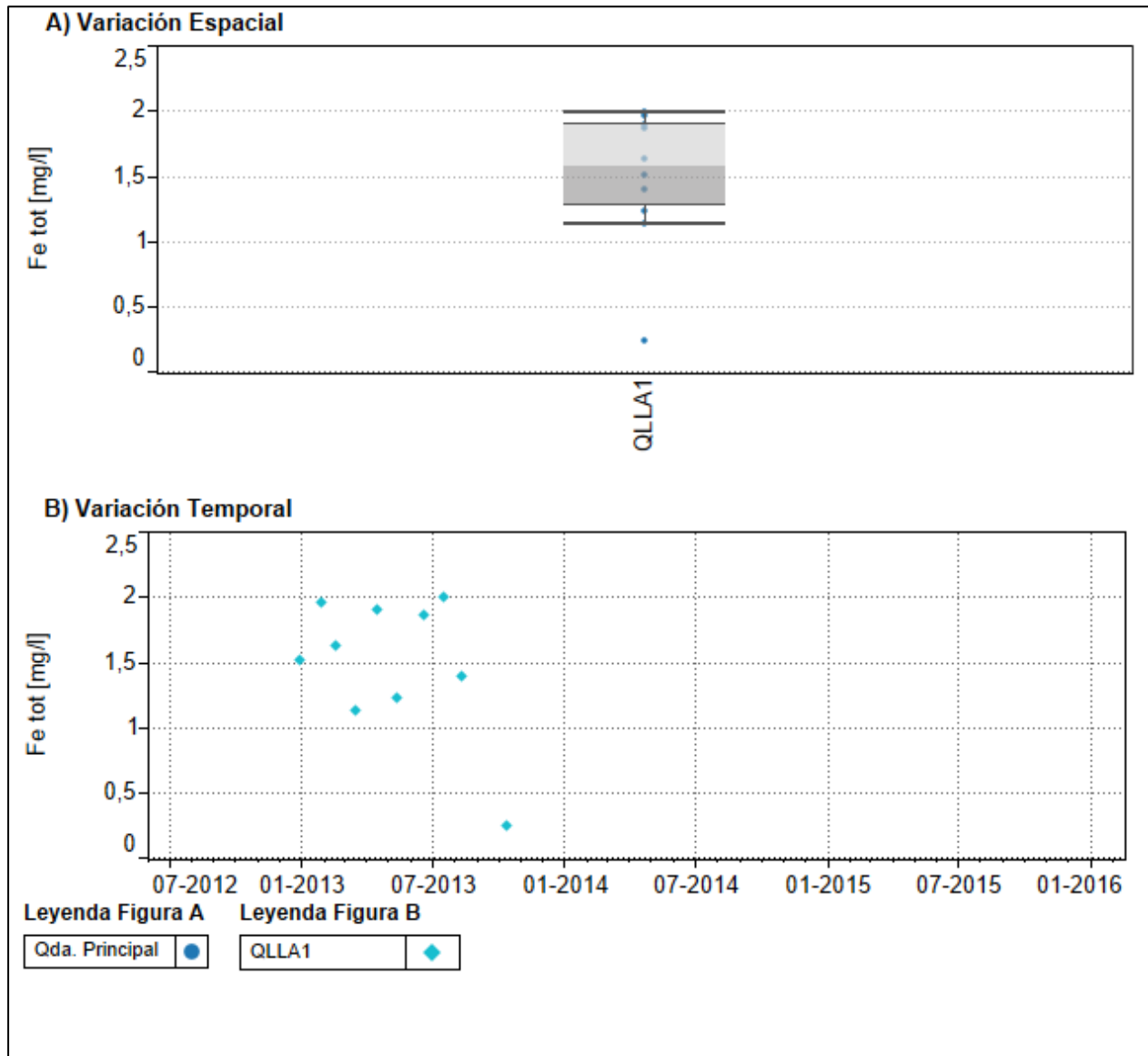
**Figura 3.2.9-82 Variación espacial y temporal de la concentración de hierro disuelto en las aguas superficiales del Sector Llaleta.**



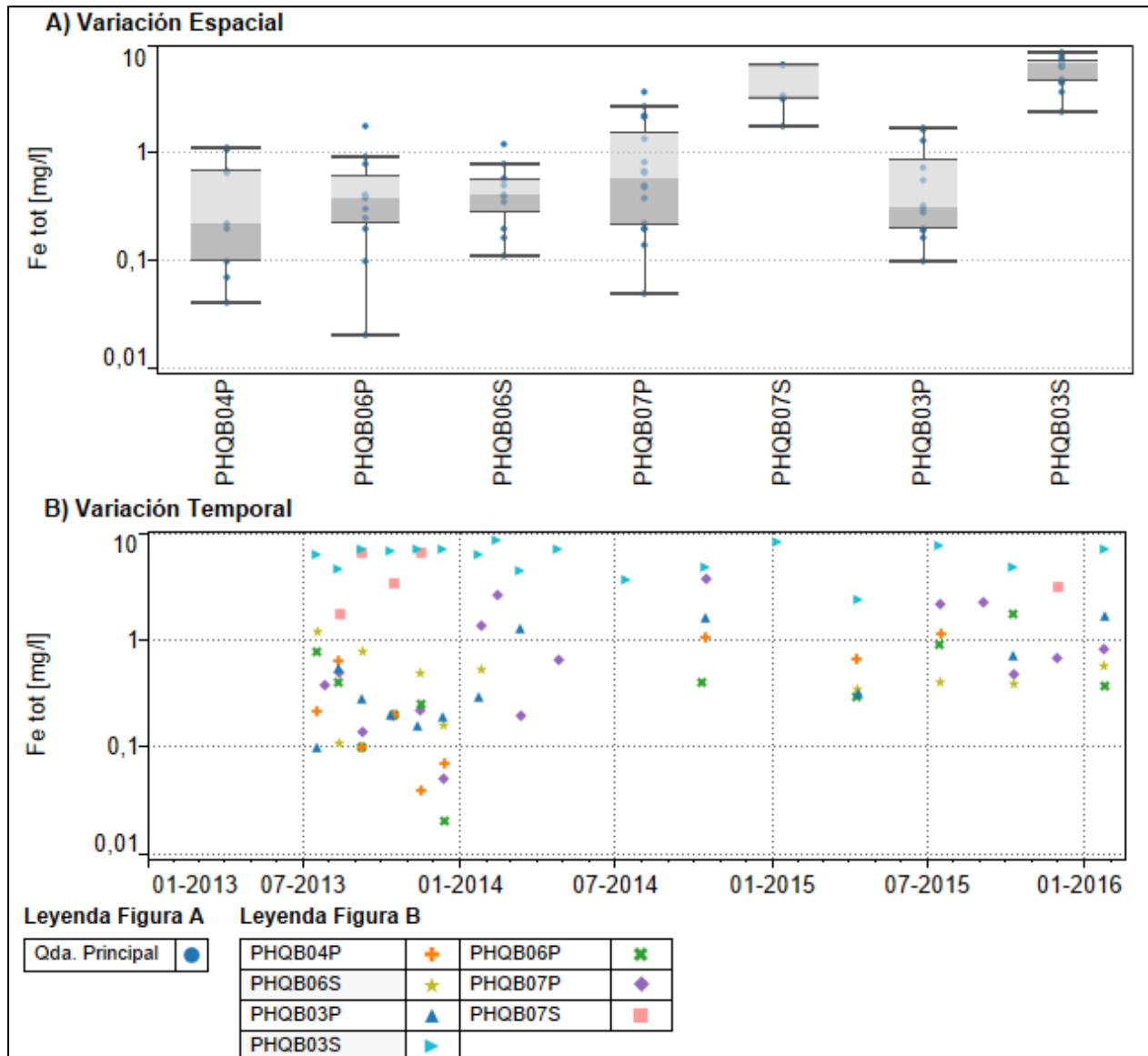
**Figura 3.2.9-83 Variación espacial y temporal de la concentración de hierro disuelto en las aguas subterráneas del Sector Llaretá. En la figura A), las estaciones se encuentran ordenadas en el sentido del escurrimiento.**



**Figura 3.2.9-84 Variación espacial y temporal de la concentración de hierro total en las aguas superficiales del Sector Llaretá. En la figura A), las estaciones se encuentran ordenadas en el sentido del escurrimiento.**



**Figura 3.2.9-85 Variación espacial y temporal de la concentración de hierro total en las aguas subterráneas del Sector Llaleta. En la figura A), las estaciones se encuentran ordenadas en el sentido del escurrimiento.**



## d) Sector Jovita

El detalle de las estaciones de calidad de agua existentes en el Sector Jovita se presenta en la Figura 3.2.9-86 y en la Tabla 3.2.9-16.

En el Sector Jovita se cuenta con información de quebrada Jovita y quebrada Chana, esta última afluente de la primera. Cabe destacar que todas las estaciones de agua superficial se ubican aguas arriba de la junta entre ambas quebradas, debido a que el cauce en las estaciones ubicadas aguas abajo se ha mantenido seco durante las campañas de monitoreo (noviembre y diciembre de 2015 en estación JOV-227. Ver Anexo 3.2.9-1).

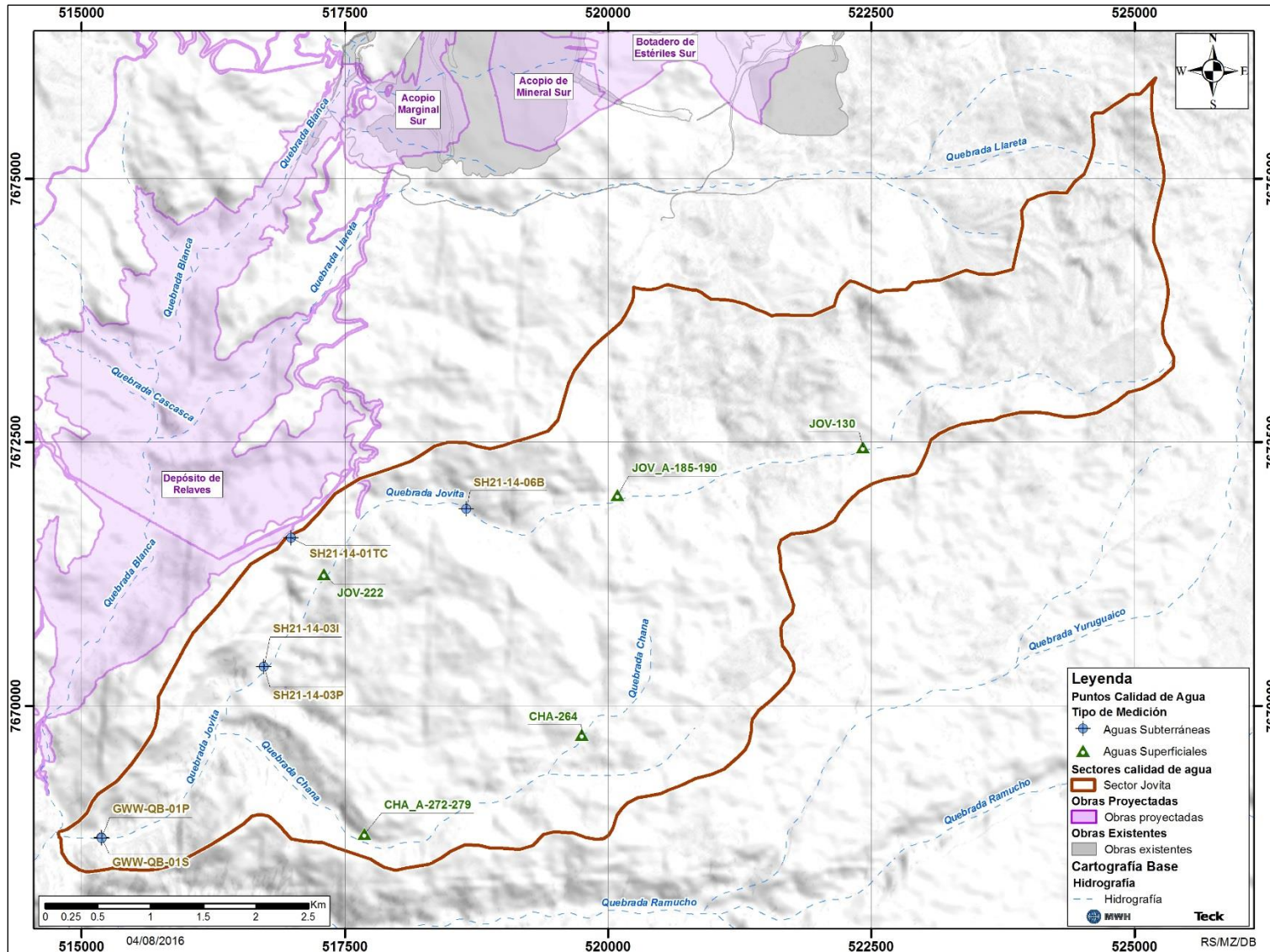
**Tabla 3.2.9-16. Estaciones de monitoreo en Sector Jovita.**

Nombre	DATUM WGS84, H19S			Tipo de Agua	Ubicación	Periodo con registros válidos
	Este (m)	Norte (m)	Elevación (m s.n.m.)			
JOV-130	522.422	7.672.452	4.351*	Superficial	Qda. Jovita	2015 - 2016
JOV_A-185-190	520.092	7.671.997	4.236*	Superficial		2016
SH21-14-06B	518.657	7.671.866	4.081	Subterránea		2015 - 2016
JOV-222	517.304	7.671.249	3.941*	Superficial		2016
SH21-14-01TC	516.991	7.671.592	4.040	Subterránea	Qda. Tributaria	2016
SH21-14-03I	516.730	7.670.367	3.752	Subterránea	Qda.	2015 – 2016
SH21-14-03P	516.730	7.670.367	3.752	Subterránea	Jovita	2015 – 2016
CHA-264	519.752	7.669.722	4.152*	Superficial	Qda.	2016
CHA_A-272-279	517.687	7.668.781	3.956*	Superficial	Chana	2016
GWW-QB-01P	515.186	7.668.747	3.566	Subterránea	Qda.	2015 – 2016
GWW-QB-01S	515.192	7.668.739	3.568	Subterránea	Jovita	2015

(\*) Cota estimada a partir de Google Earth.



Figura 3.2.9-86 Sector Jovita



Fuente: Elaboración propia.

## pH

En la Figura 3.2.9-87 y Figura 3.2.9-88 se presentan la variación espacial y temporal del pH de las aguas superficiales y subterráneas del Sector Jovita, respectivamente.

Respecto a las **aguas superficiales**, en quebrada Jovita el pH ha variado en el rango 6,7 UpH (JOV-130, noviembre de 2015) y 8,4 UpH (JOV-222, febrero y marzo de 2016), con una mediana de este tramo igual a 7,8 UpH, variando las aguas entre neutras y moderadamente alcalinas. Hubo un incremento promedio del pH igual a 0,7 UpH hacia aguas abajo en las tres campañas realizadas durante 2016, manifestado por las diferencias entre las estaciones JOV-130, ubicada en cabecera, y JOV-222, la que se encuentra unos 2 km aguas arriba de la junta con quebrada Chana. Además, se verificó la existencia de un incremento del pH en la estación JOV-130, entre las campañas de noviembre de 2015 y marzo de 2016.

En quebrada Chana se cuenta con un registro en las estaciones CHA\_A-272-279 y CHA-264, ambos de enero de 2016, correspondiendo el pH de ambas a 8,1 UpH y 7,8 UpH, respectivamente. Así, las aguas de quebrada Chana fueron moderadamente alcalinas durante la campaña de enero.

Las **aguas subterráneas** del Sector Jovita han presentado valores de pH que varían en rangos similares a los de las aguas superficiales (7,4 UpH – 8,6 UpH). A diferencia de estas últimas, los menores valores de pH se encuentran en el tramo de aguas abajo, en los pozos GWW-QB-01P y GWWW-QB-01S, mientras que el pH máximo corresponde al pozo SH21-14-01TC (campaña de enero de 2016), ubicado fuera del eje principal de la quebrada Jovita. Los pozos SH21-14-03P (profundo) y SH21-14-03I (somero), presentan valores similares al registro del pozo SH21-14-01TC, con una mediana igual a 8,4 UpH. Descontando el registro de diciembre de 2015 del pozo SH21-14-06B, todas las mediciones de pH de aguas subterráneas aguas arriba de la junta con quebrada Chana indican que las aguas son moderadamente alcalinas.

## Conductividad eléctrica

En la Figura 3.2.9-89 y Figura 3.2.9-90 se presentan la variación espacial y temporal de la CE de las aguas superficiales y subterráneas del Sector Jovita, respectivamente.

Respecto al **agua superficial**, las cinco estaciones con registros presentaron valores de la CE en rangos de agua dulce y levemente salinas, variando entre un mínimo igual a 125  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (JOV-130, diciembre de 2015) y un máximo correspondiente a 1.090  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (JOV-222, febrero de 2016). En las quebradas Jovita y Chana se apreciaron incrementos de CE hacia aguas abajo. En Jovita, la mediana varió entre 128  $\mu\text{S}/\text{cm}$  en la estación JOV-130 y 1.050  $\mu\text{S}/\text{cm}$  en la estación JOV-222, mientras que en quebrada Chana la CE presentó un leve aumento entre las estaciones CHA-264 y CHA\_A-272-279 (598  $\mu\text{S}/\text{cm}$  y 770  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ).

Respecto a la temporalidad de los registros disponibles, se aprecian valores uniformes en las estaciones JOV-130 y JOV-222, particularmente en la primera, con registros muy estables en el tiempo.

Las **aguas subterráneas** del Sector Jovita presentan salinidades superiores a las superficiales, alcanzando el rango de aguas moderadamente salinas en algunos pozos. Los registros han variado entre 307  $\mu\text{S/cm}$  (pozo SH21-14-06B) y 2.960  $\mu\text{S/cm}$  (pozo SH21-14-01TC). Cabe destacar que el pozo SH21-14-06B presenta registros de CE similares al medido en la estación superficial JOV\_A-185-190, ubicada poco más de 1 km hacia aguas arriba. La CE aumenta hacia aguas abajo, antes de la junta con quebrada Chana, alcanzando una mediana igual a 2.520  $\mu\text{S/cm}$  en los pozos SH21-14-03I y SH21-14-03P. Sin embargo, disminuye hacia aguas abajo de la junta indicada, correspondiendo la mediana del pozo GWW-QB-01P a 1.920  $\mu\text{S/cm}$ .

De acuerdo a la información disponible, se aprecian valores estables en el tiempo. A futuro, una mayor extensión de los datos permitirá evaluar potenciales tendencias temporales.

### Sulfato

En la Figura 3.2.9-91 y Figura 3.2.9-92 se presentan la variación espacial y temporal de la concentración de sulfato en las aguas superficiales y subterráneas del Sector Jovita, respectivamente.

La variación de la concentración de sulfato en las **aguas superficiales** es muy similar a la de la CE. Se verificó un incremento de la concentración de sulfato hacia aguas abajo en ambas quebradas (Jovita y Chana), presentándose las menores concentraciones en la estación JOV- 130 (mediana y máximo iguales a 17 mg/l y 19 mg/l) y las máximas en la estación JOV-222 (204 mg/l y 209 mg/l).

A diferencia de las aguas superficiales, en las **aguas subterráneas** la distribución espacial de la concentración de sulfato no ha sido similar a la de la CE. En el eje de la quebrada Jovita hay un incremento de la concentración hacia aguas abajo, presentándose los valores mínimos en el pozo SH21-14-06B, con registros que variaron entre 33 mg/l y 35 mg/l, valores intermedios en los pozos SH21-14-03P y SH21-14-03I, con concentraciones en el rango 143 mg/l – 223 mg/l (registros superiores siempre en el pozo somero) y valores máximos en los pozos ubicados aguas abajo, GWW-QB-01P y GWW-QB-01S, con mediciones variando entre 638 mg/l y 735 mg/l. El pozo SH21-14-01TC, ubicado fuera del eje de la quebrada, presentó un valor intermedio en su registro medido durante enero de 2016 (518 mg/l).

De acuerdo a la información disponible, se aprecian valores estables en el tiempo. A futuro, una mayor extensión de los datos permitirá evaluar potenciales tendencias temporales.

## Cloruro

En la Figura 3.2.9-93 y Figura 3.2.9-94 se presentan los resultados de las mediciones de concentración de cloruro en las aguas superficiales y subterráneas del Sector Jovita, respectivamente.

La concentración de cloruro en las **aguas superficiales** es baja en comparación con la de sulfato. No obstante lo anterior, presenta la misma tendencia descrita para la CE y la concentración de sulfato, correspondiente a incrementos hacia aguas abajo y uniformidad temporal de los registros. Las concentraciones mínimas se presentan en la estación JOV-130, con valores casi nulos (variación en el rango 6 mg/l – 7 mg/l), mientras que las máximas corresponden a la estación JOV-222 (61 mg/l – 65 mg/l).

Las **aguas subterráneas** presentan concentraciones de cloruro similares a las superficiales en el tramo común de evaluación en quebrada Jovita. En el eje principal de quebrada Jovita la distribución espacial ha sido similar a la de la concentración de sulfato, incrementándose hacia aguas abajo. En el pozo de cabecera (SH21-14-06B), los tres registros han sido iguales a 12 mg/l. Hacia aguas abajo (pozos SH21-14-03P y SH21-14-03I), han variado en el rango 26 mg/l – 46 mg/l, valores levemente inferiores a los de las aguas superficiales en ese tramo (estación JOV-222). La concentración máxima en el eje de la quebrada se presenta en los pozos GWW-QB-01P y GWW-QB-01S, con mediciones variando entre 76 mg/l – 189 mg/l (valores máximos han correspondido al pozo profundo). Cabe destacar que la estación SH21-14-01TC presenta la concentración de cloruro máxima del Sector Jovita (345 mg/l).

## Cobre disuelto

En la Figura 3.2.9-95 y Figura 3.2.9-96 se presentan la variación espacial y temporal de la concentración de cobre disuelto en las aguas superficiales y subterráneas del Sector Jovita, respectivamente.

La concentración de cobre disuelto en las **aguas superficiales** del Sector Jovita ha sido uniforme en términos espaciales y temporales, variando entre un mínimo igual a 0,001 mg/l (JOV-130, enero de 2016) y un máximo igual a 0,003 mg/l (JOV-222, enero de 2016). Los registros en las dos estaciones de quebrada Chana fueron iguales, correspondiendo a 0,001 mg/l.

La concentración de cobre disuelto de las **aguas subterráneas** en el Sector Jovita es superior a la concentración de las aguas superficiales, variando también en un rango más amplio. Las menores concentraciones de cobre disuelto se ubican en el tramo de aguas arriba (pozo SH21-14-06B), cuyos registros han variado entre 0,001 mg/l y 0,004 mg/l, mientras que las máximas se presentan en los pozos SH21-14-03P y SH21-14-03I, con un rango de variación igual a 0,007 mg/l - 0,2 mg/l. Los pozos restantes han presentado valores intermedios. Al respecto, cabe destacar el pozo GWW-QB-01P, ubicado en torno a la confluencia con quebrada Blanca, con una concentración de cobre disuelto que ha variado entre 0,02 mg/l y 0,05 mg/l.

### Cobre total

En la Figura 3.2.9-97 y Figura 3.2.9-98 se presentan la variación espacial y temporal de la concentración de cobre total en las aguas superficiales y subterráneas del Sector Jovita, respectivamente.

Exceptuando el registro máximo (0,01 mg/l, en estación CHA-264), todos los registros asociados a **aguas superficiales** han estado en el mismo orden de magnitud, variando entre 0,002 mg/l (JOV\_A-185-190) y 0,008 mg/l (CHA\_A-272-279). De acuerdo a lo señalado, las mayores concentraciones se han presentado en quebrada Chana.

La concentración de cobre total en las **aguas subterráneas**, la concentración ha sido superior a la de las superficiales. Los registros inferiores se ubican en el tramo de aguas arriba (pozo SH21-14-06B), variando entre 0,001 mg/l y 0,009 mg/l, mientras que los máximos se han presentado en los pozos SH21-14-03P y SH21-14-03I, con valores máximos iguales a 0,4 mg/l y 0,5 mg/l, respectivamente. La concentración de cobre total en los pozos restantes ha variado entre 0,06 mg/l y 0,16 mg/l.

### Hierro disuelto

En la Figura 3.2.9-99 y Figura 3.2.9-100, se presenta la variación espacial y temporal de la concentración de hierro disuelto en las aguas superficiales y subterráneas del Sector Jovita, respectivamente.

En lo que respecta a las **aguas superficiales**, la concentración de hierro disuelto ha variado en el rango 0,01 mg/l (diciembre de 2015) y 0,1 mg/l (febrero de 2016) en la estación JOV-130, mientras que el registro con el que se cuenta para la estación JOV-222 correspondió a 0,01 mg/l (marzo, 2016), indicando una disminución de la concentración de hierro disuelto hacia aguas abajo durante dicha campaña de medición. En las estaciones restantes no se cuenta con registros validados de acuerdo a los criterios QA/QC definidos para el uso de la información de calidad de agua (Acápites 3.2.9.4.2)

En cuanto a las **aguas subterráneas**, el pozo SH21-14-06B cuenta con información validada de hierro disuelto (enero y febrero de 2016), variando las concentraciones medidas entre 0,05 mg/l y 0,08 mg/l.

### Hierro total

En la Figura 3.2.9-101 y Figura 3.2.9-102, se presenta la variación espacial y temporal de la concentración de hierro total en las aguas superficiales y subterráneas del Sector Jovita, respectivamente.

La concentración de hierro total en las **aguas superficiales** ha presentado sus mayores concentraciones en quebrada Chana, correspondiendo a 1,0 mg/l y 0,8 mg/l (estaciones CHA\_A-

272-279 y CHA-264, respectivamente), mientras que las menores fueron medidas en la estación JOV-222, cuyos registros han variado en el rango 0,05 mg/l – 0,1 mg/l.

La concentración de hierro total de las **aguas subterráneas** ha sido significativamente superior a la de hierro total de las aguas superficiales. El valor máximo ha correspondido a 15 mg/l (pozo GWW-QB-01S, diciembre de 2015), mientras que la mediana ha sido superior a 1,7 mg/l. La menor concentración, en tanto, se verificó en el pozo SH21-14-06B, correspondiendo a 0,2 mg/.

### Resumen

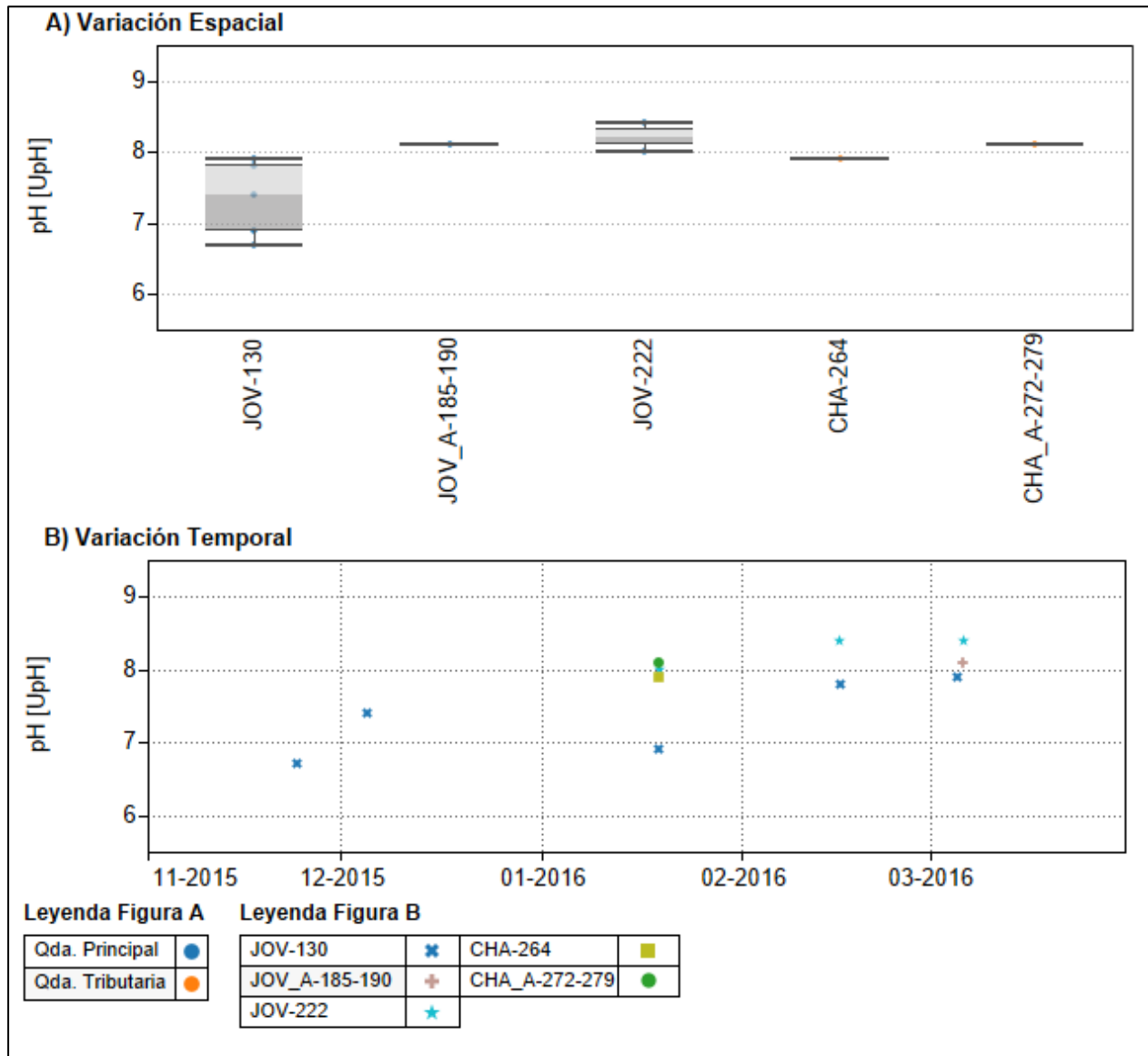
A modo de síntesis, a continuación se resume la descripción de la calidad de agua en el Sector Jovita para los parámetros evaluados, por medio del uso de diferentes estadísticos, considerando entre otros el registro mínimo, el máximo y el P50 o mediana. Los resultados se presentan en la Tabla 3.2.9-17. Cabe señalar que en este Sector se cuenta con información desde 2015 (situación actual).

**Tabla 3.2.9-17. Resumen calidad de agua en Sector Jovita, registros históricos (2015 – 2016).**

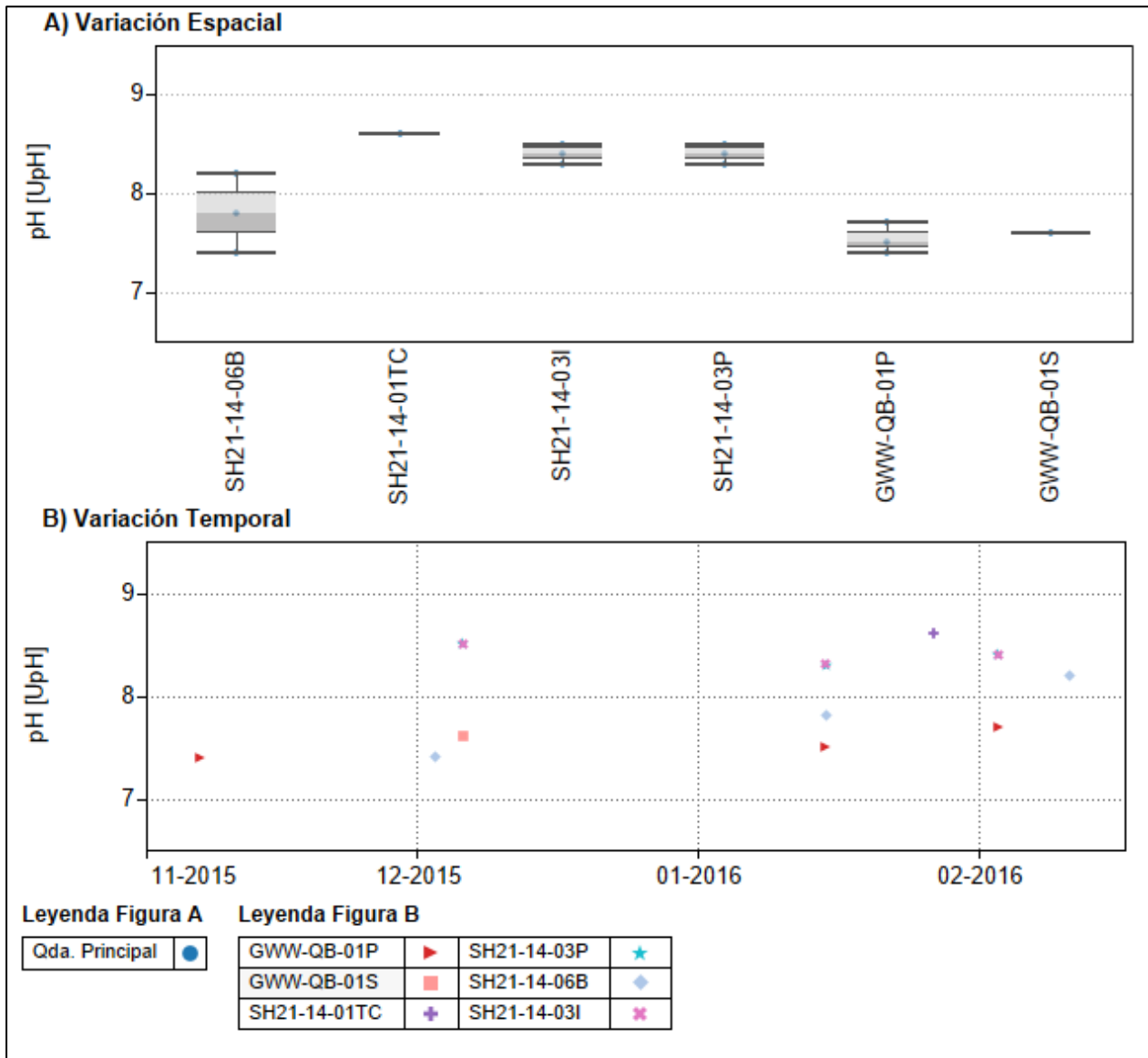
Tipo Agua	Valor	C.E.	Cl	Cu dis	Cu tot	Fe dis	Fe tot	pH	SO <sub>4</sub>
		μS/cm	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	UpH	mg/l
Aguas Superficiales	Mín.	125	6	0,001	0,002	0,01	0,05	6,7	17
	P(10)	126	6	0,001	0,002	0,01	0,07	6,8	17
	P(50)	139	7	0,001	0,004	0,03	0,2	7,9	18
	P(90)	1.050	62	0,002	0,01	0,1	1,0	8,4	204
	Máx.	1.090	65	0,003	0,01	0,1	1,0	8,4	209
Aguas Subterráneas	Mín.	307	12	0,001	0,001	0,05	0,2	7,4	33
	P(10)	310	12	0,002	0,003	0,05	0,3	7,4	34
	P(50)	1.980	40	0,02	0,09	0,07	1,8	8,2	199
	P(90)	2.690	189	0,1	0,4	0,08	6,2	8,5	718
	Máx.	2.960	345	0,2	0,5	0,08	15	8,6	735

Fuente: Elaboración propia.

**Figura 3.2.9-87 Variación espacial y temporal del pH de las aguas superficiales del Sector Jovita. En la figura A), las estaciones se encuentran ordenadas en el sentido del escurrimiento.**

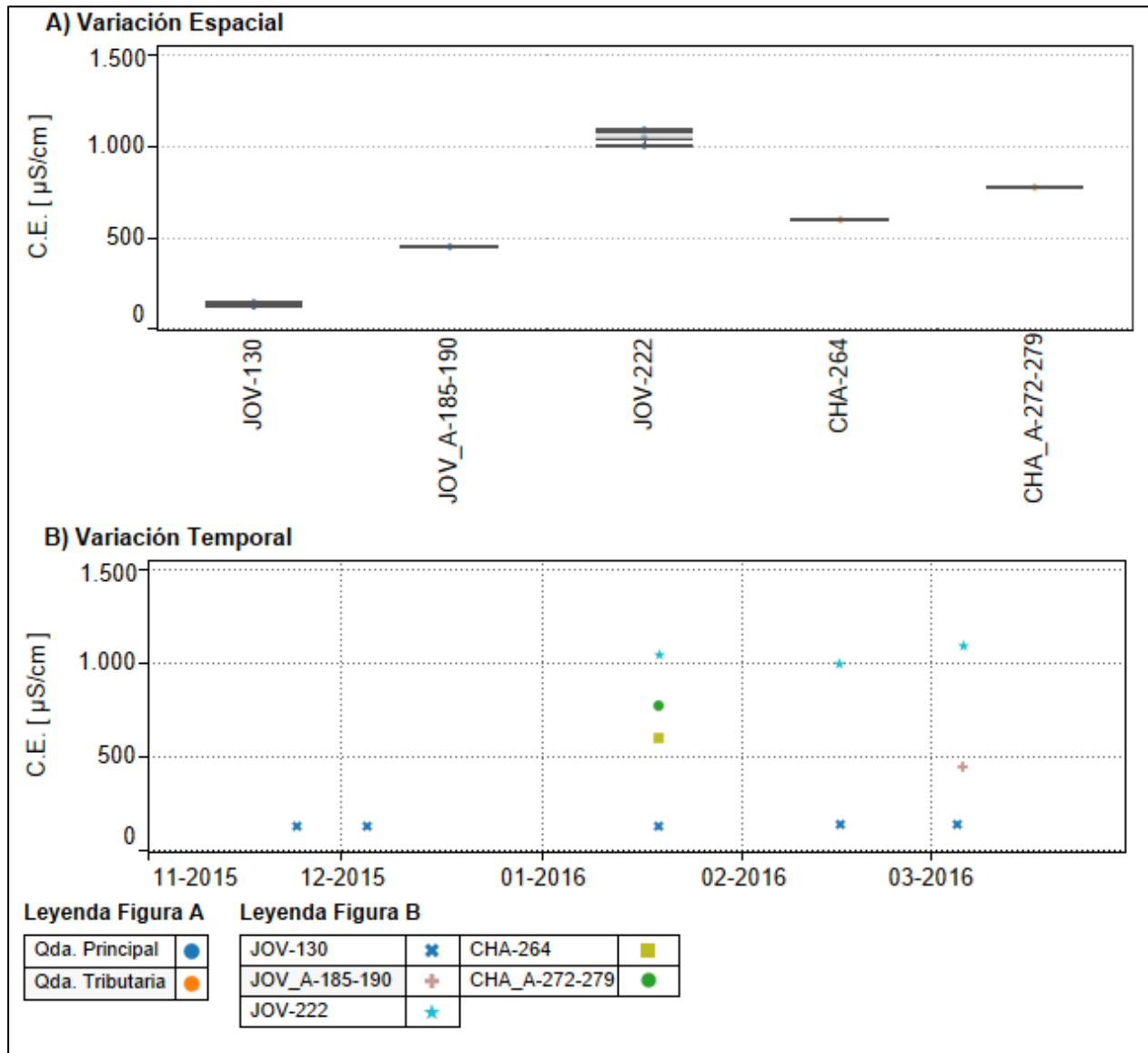


**Figura 3.2.9-88 Variación espacial y temporal del pH de las aguas subterráneas del Sector Jovita. En la figura A), las estaciones se encuentran ordenadas en el sentido del escurrimiento.**

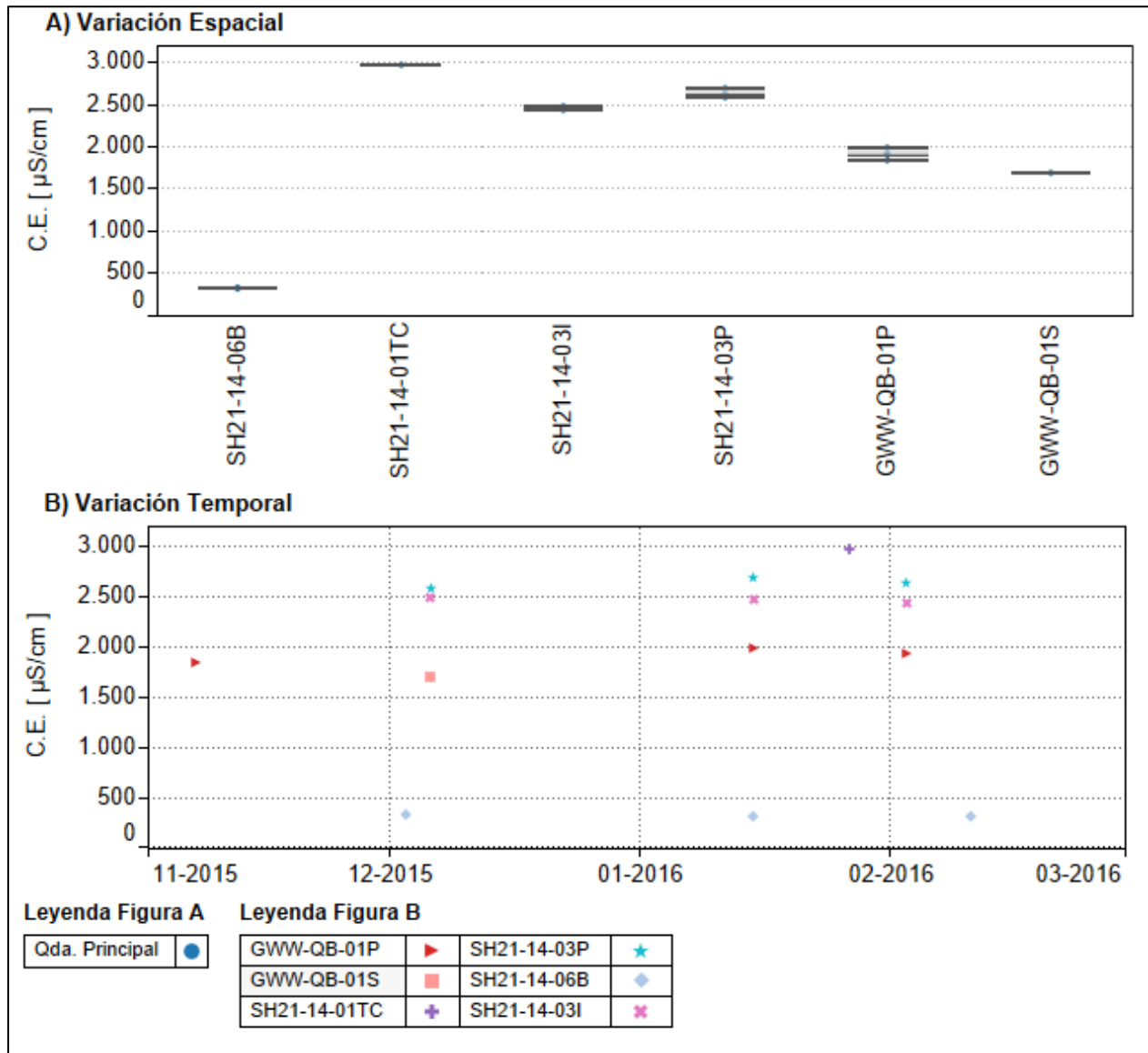




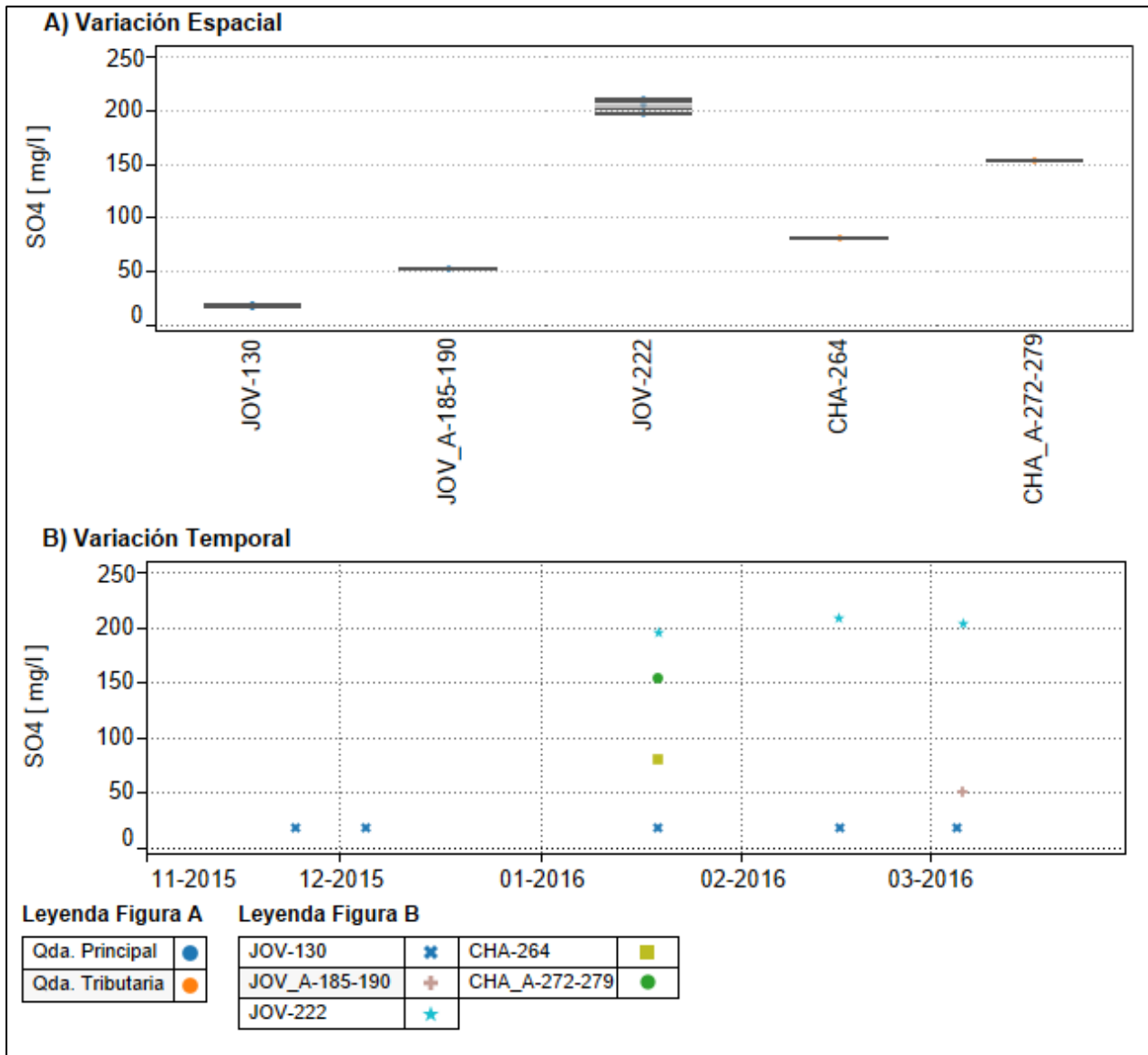
**Figura 3.2.9-89 Variación espacial y temporal de la CE de aguas superficiales del Sector Jovita. En la figura A), las estaciones se encuentran ordenadas en el sentido del escurrimiento.**



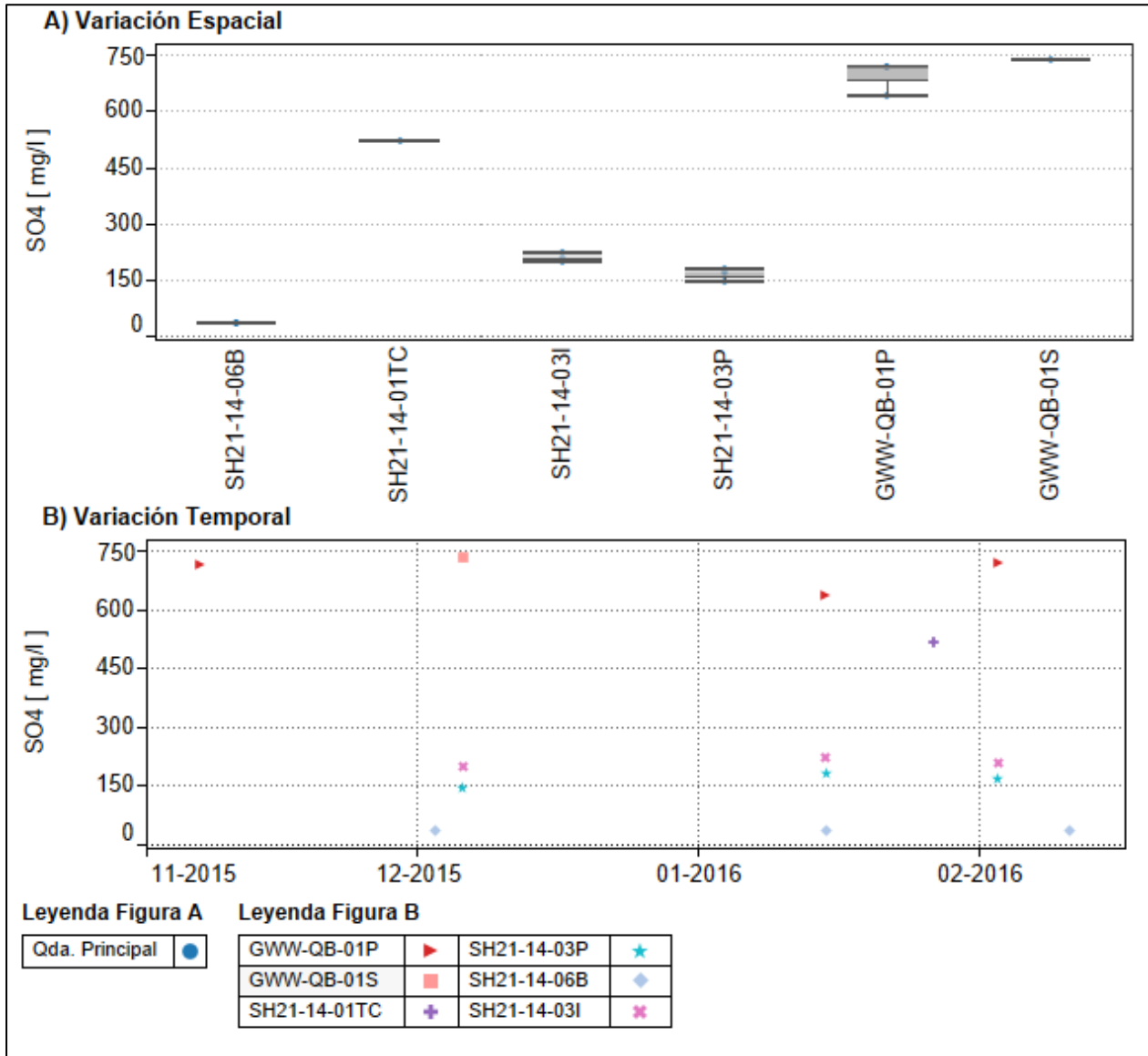
**Figura 3.2.9-90 Variación espacial y temporal de la CE de aguas subterráneas del Sector Jovita. En la figura A), las estaciones se encuentran ordenadas en el sentido del escurrimiento.**



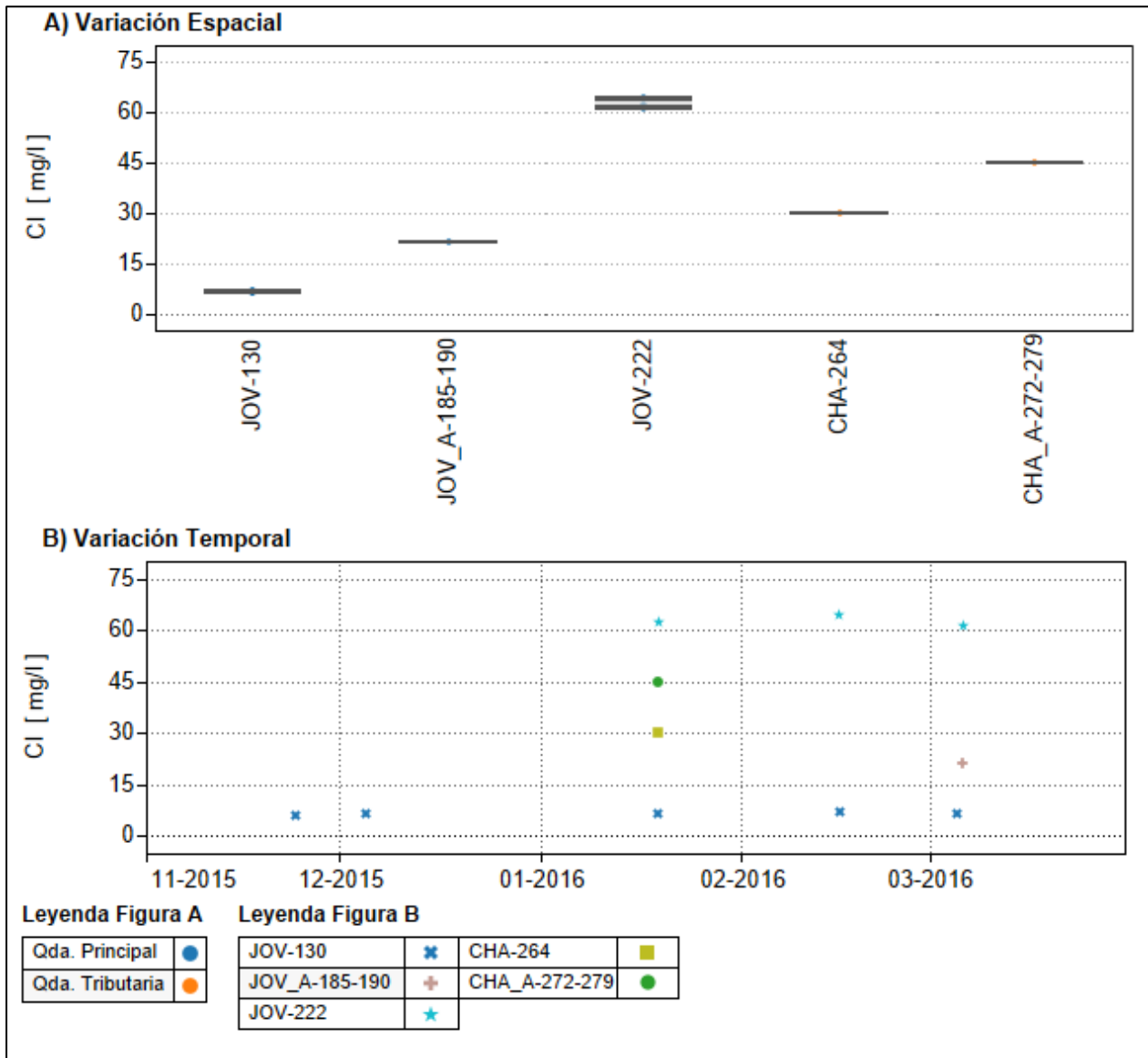
**Figura 3.2.9-91 Variación espacial y temporal de la concentración de sulfato en las aguas superficiales del Sector Jovita. En la figura A), las estaciones se encuentran ordenadas en el sentido del escurrimiento.**



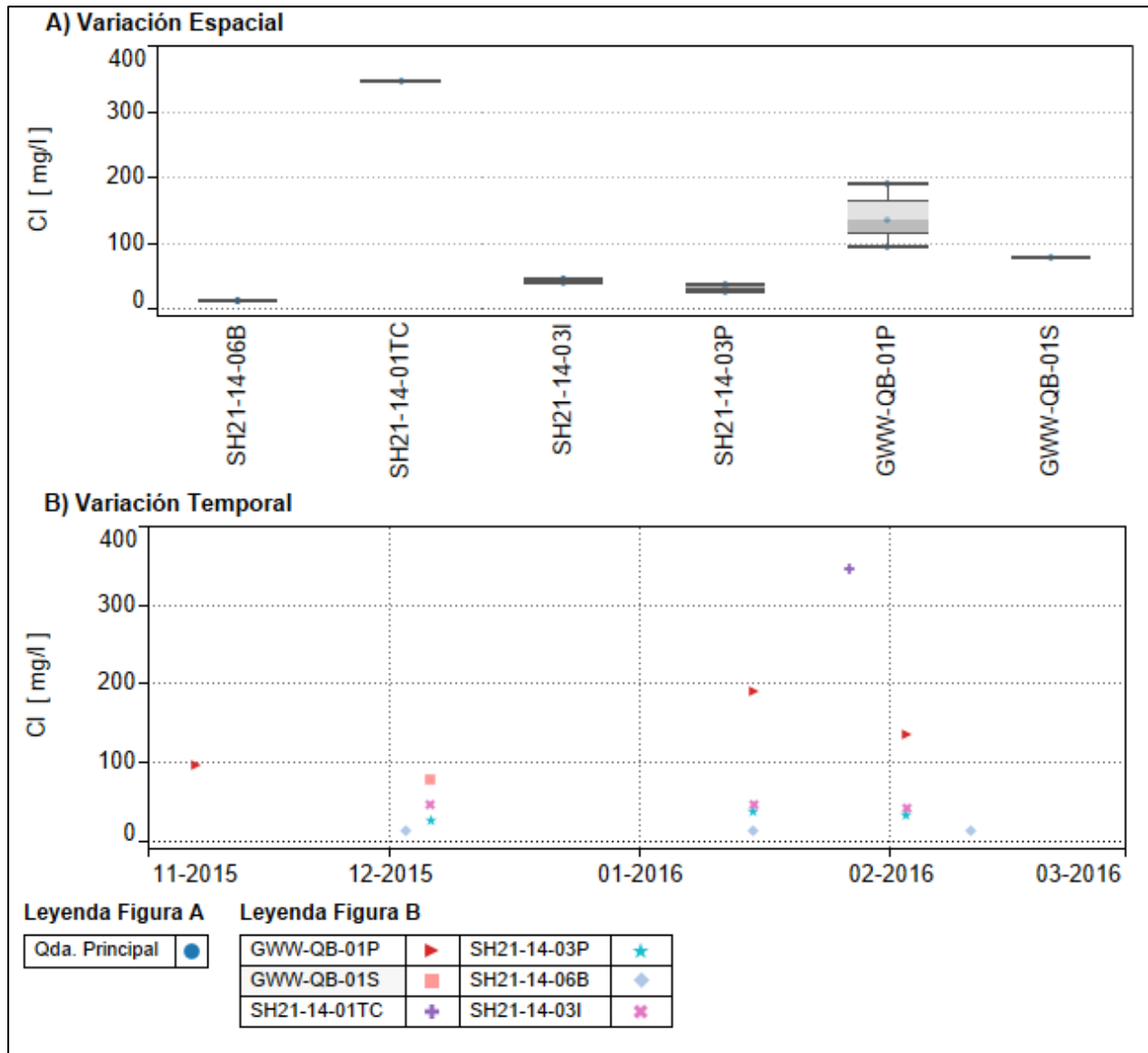
**Figura 3.2.9-92 Variación espacial y temporal de la concentración de sulfato en las aguas subterráneas del Sector Jovita. En la figura A), las estaciones se encuentran ordenadas en el sentido del escurrimiento.**



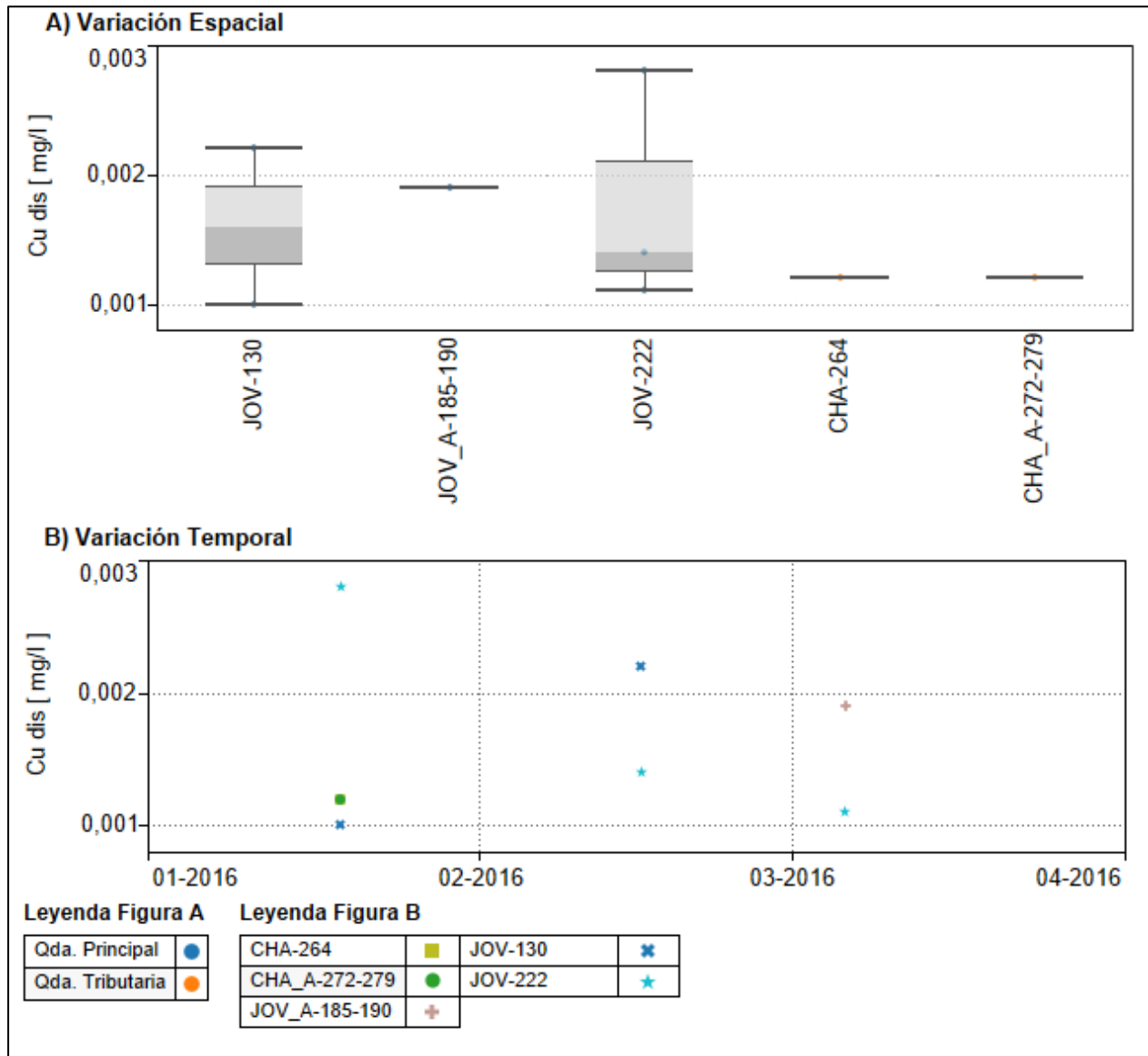
**Figura 3.2.9-93 Variación espacial y temporal de la concentración de cloruro en las aguas superficiales del Sector Jovita. En la figura A), las estaciones se encuentran ordenadas en el sentido del escurrimiento.**



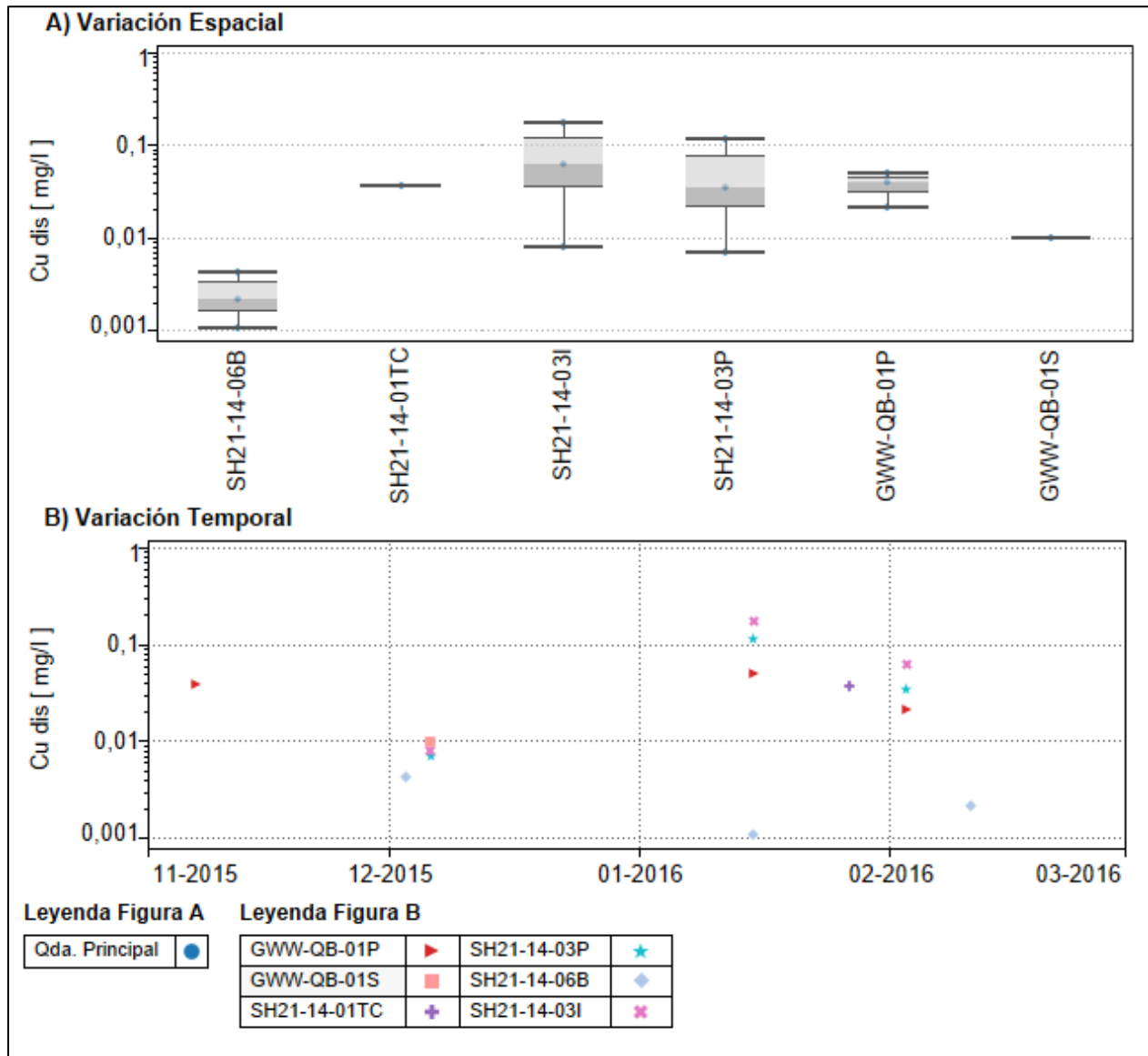
**Figura 3.2.9-94 Variación espacial y temporal de la concentración de cloruro en las aguas subterráneas del Sector Jovita. En la figura A), las estaciones se encuentran ordenadas en el sentido del escurrimiento.**



**Figura 3.2.9-95 Variación espacial y temporal de la concentración de cobre disuelto en las aguas superficiales del Sector Jovita. En la figura A), las estaciones se encuentran ordenadas en el sentido del escurrimiento.**

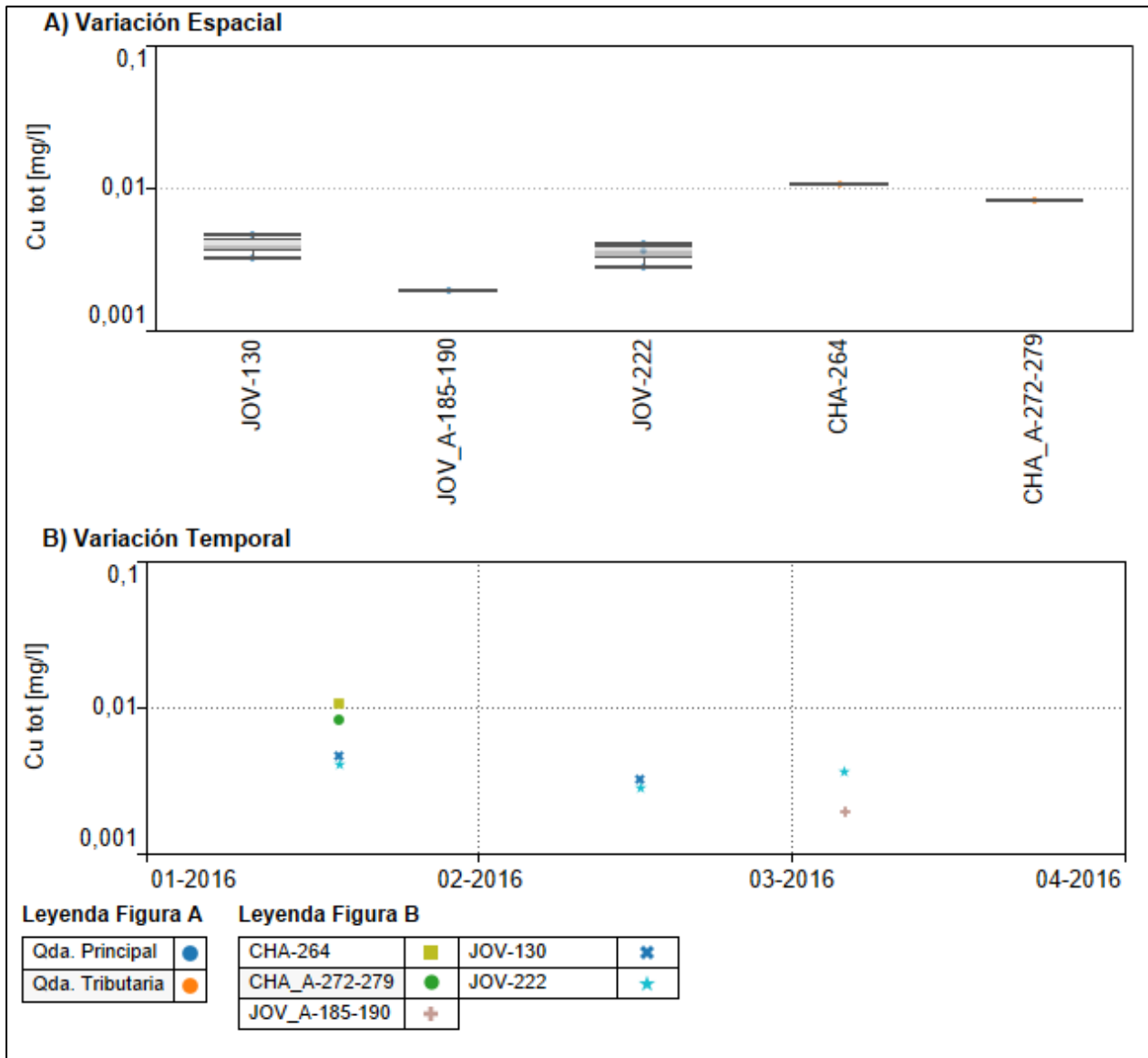


**Figura 3.2.9-96 Variación espacial y temporal de la concentración de cobre disuelto en las aguas subterráneas del Sector Jovita. En la figura A), las estaciones se encuentran ordenadas en el sentido del escurrimiento.**

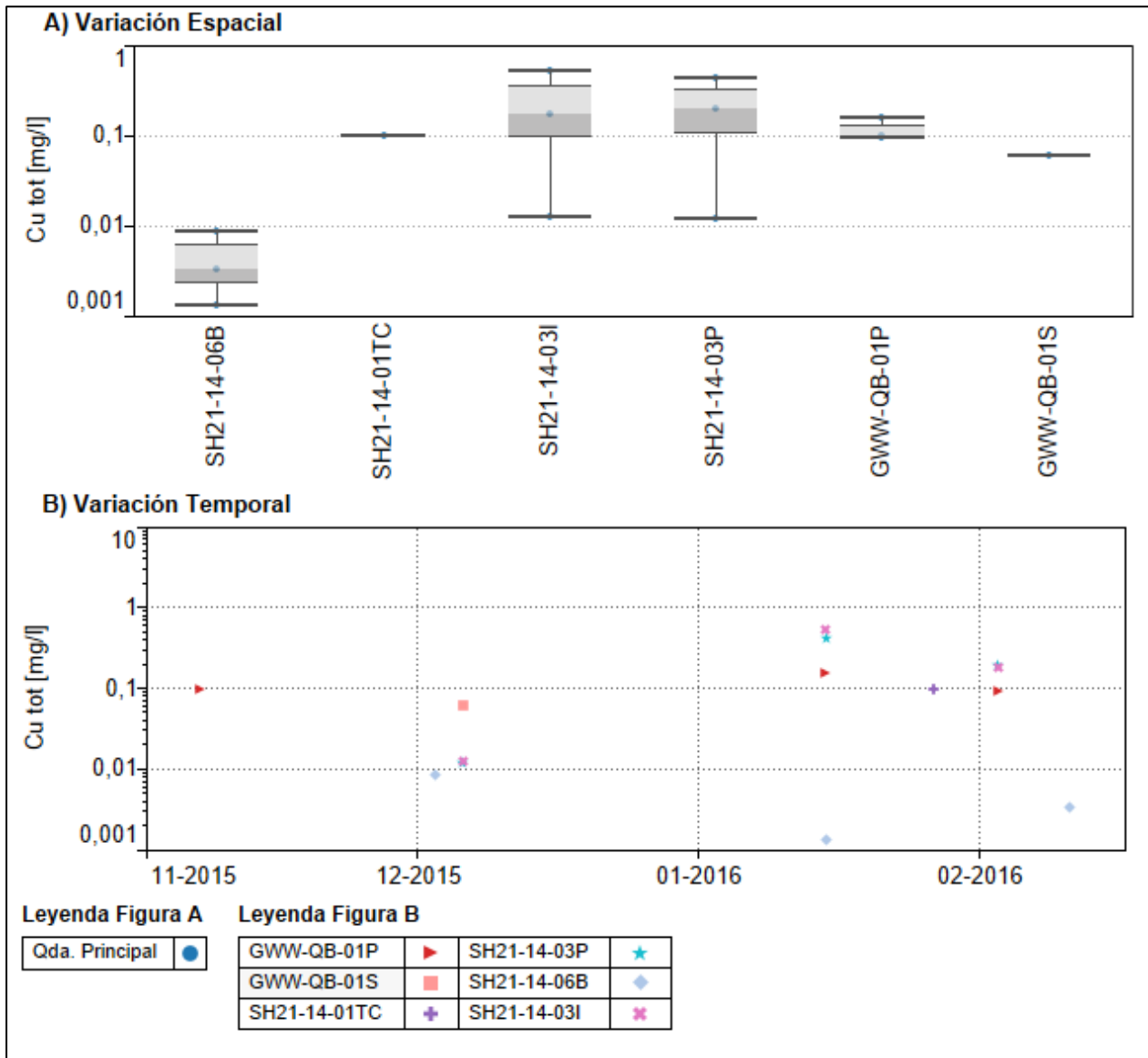




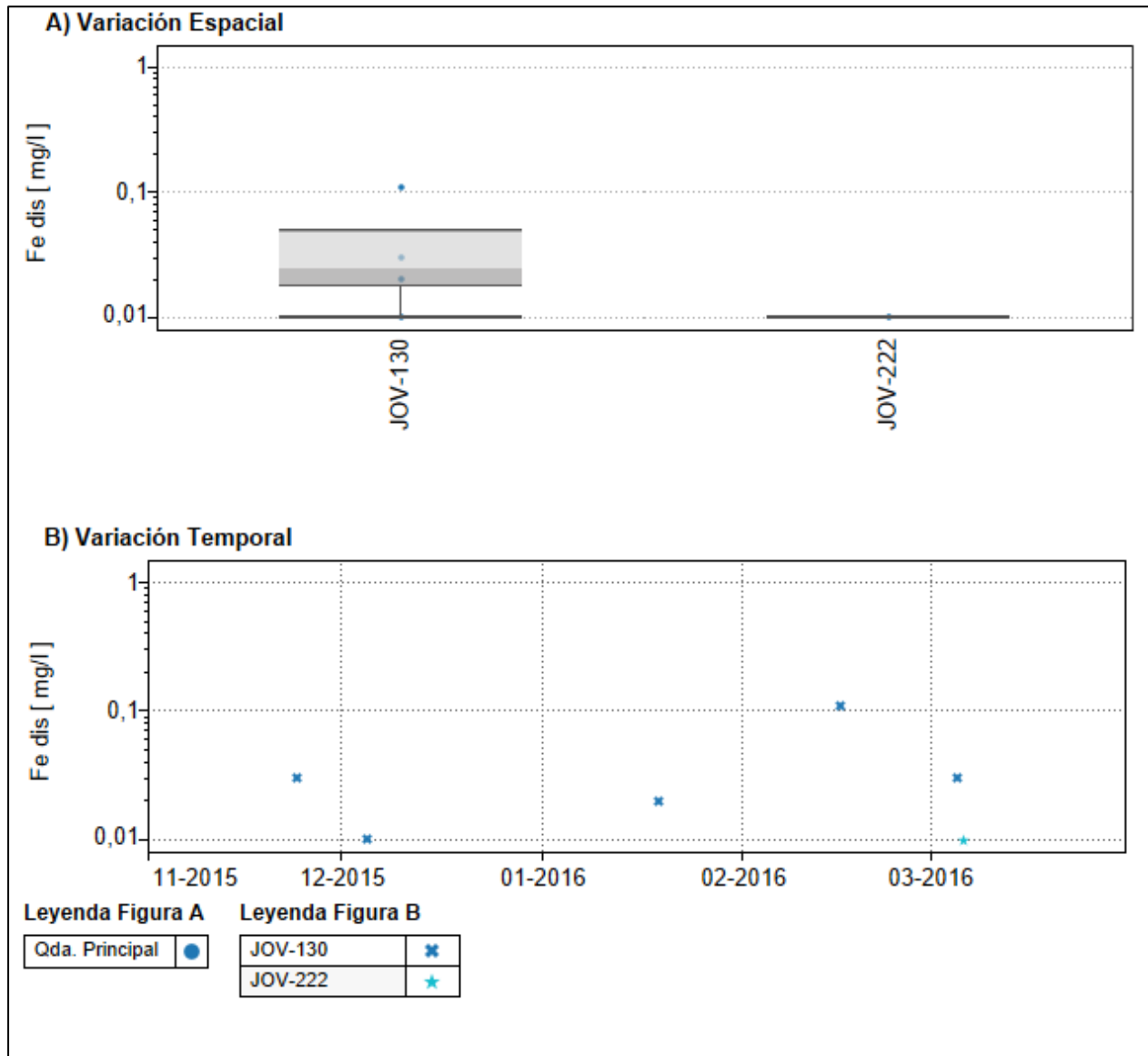
**Figura 3.2.9-97 Variación espacial y temporal de la concentración de cobre total en las aguas superficiales del Sector Jovita. En la figura A), las estaciones se encuentran ordenadas en el sentido del escurrimiento.**



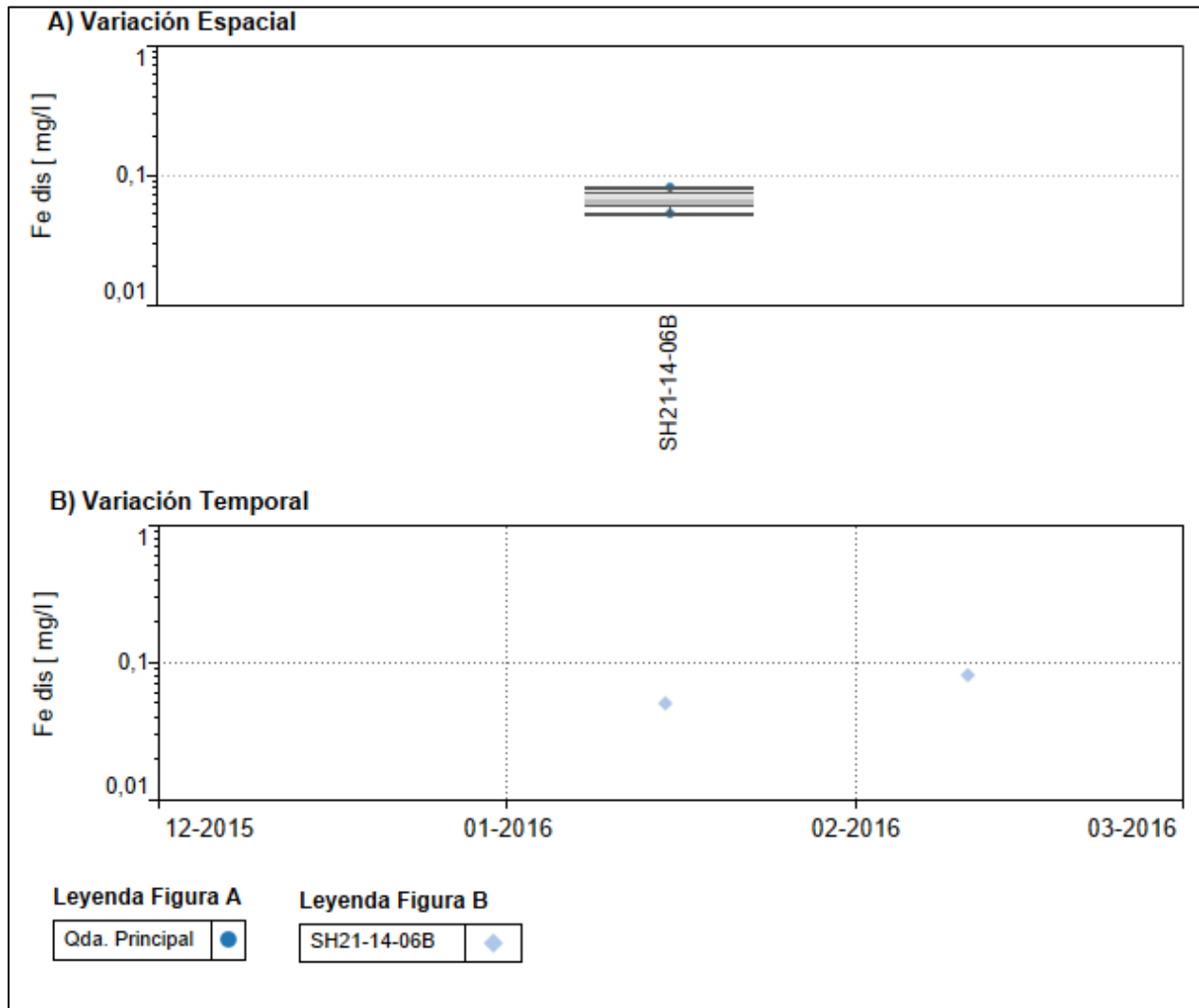
**Figura 3.2.9-98 Variación espacial y temporal de la concentración de cobre total en las aguas subterráneas del Sector Jovita. En la figura A), las estaciones se encuentran ordenadas en el sentido del escurrimiento.**



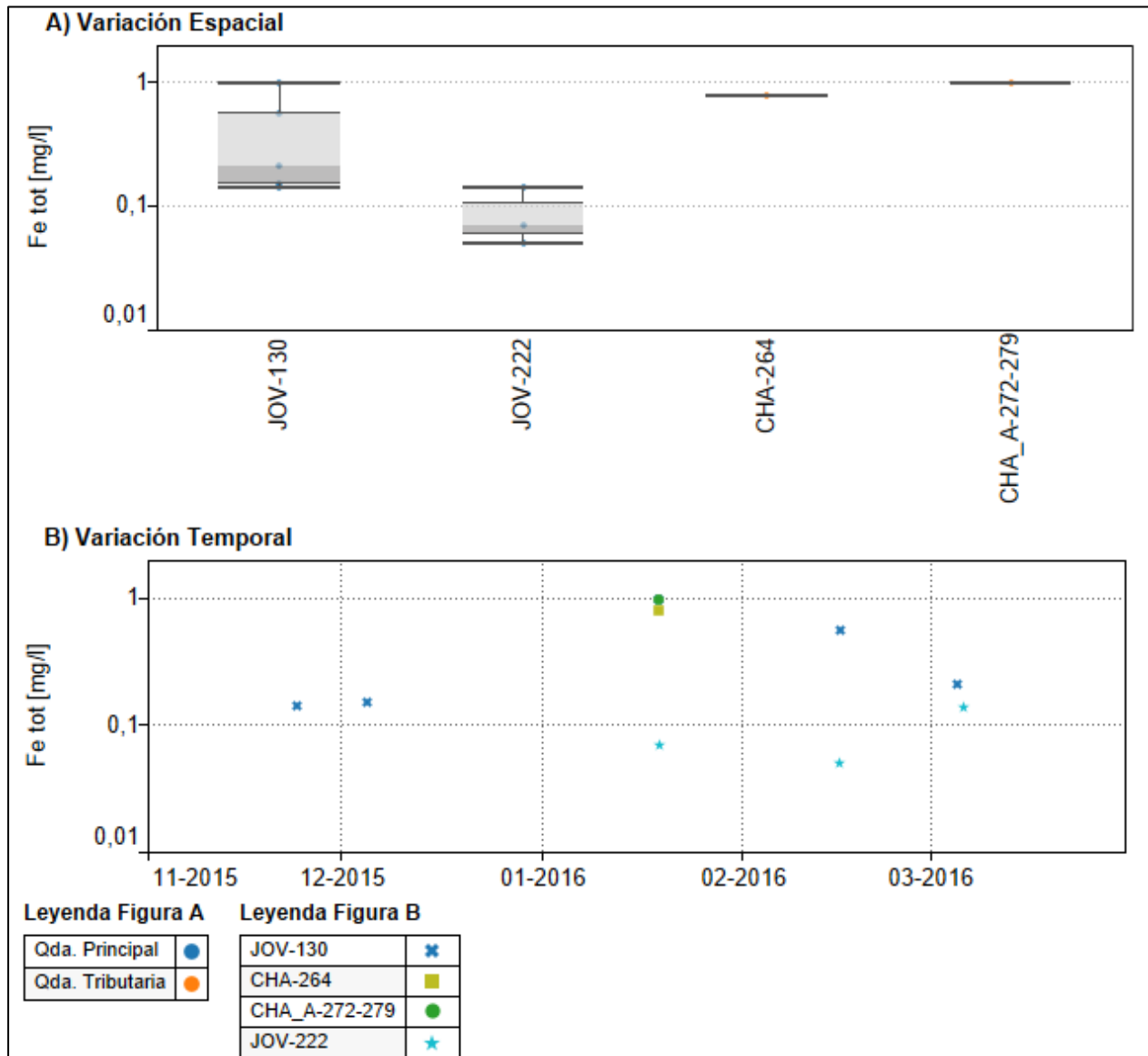
**Figura 3.2.9-99 Variación espacial y temporal de la concentración de hierro disuelto en las aguas superficiales del Sector Jovita. En la figura A), las estaciones se encuentran ordenadas en el sentido del escurrimiento.**



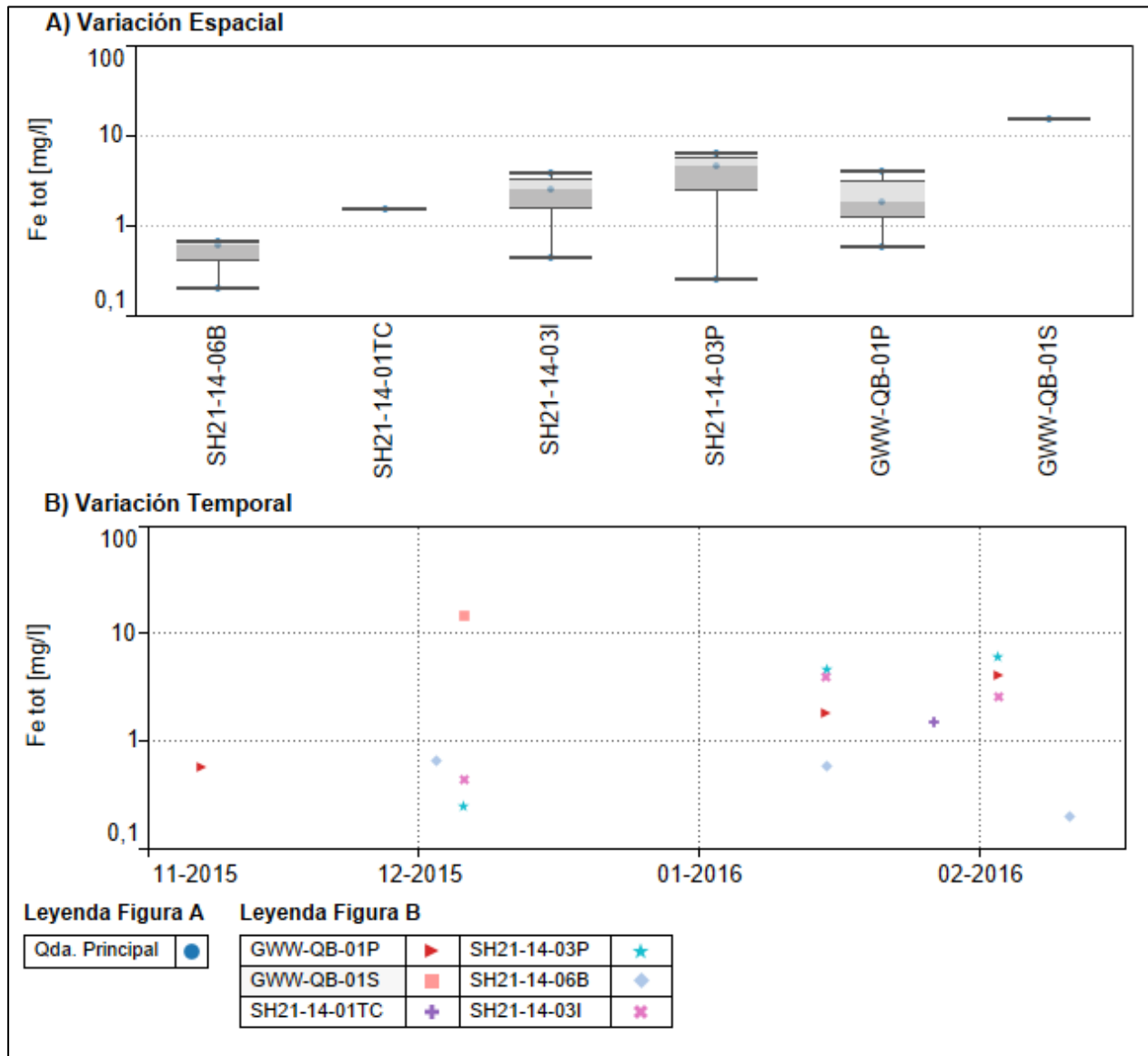
**Figura 3.2.9-100 Variación espacial y temporal de la concentración de hierro disuelto en las aguas subterráneas del Sector Jovita.**



**Figura 3.2.9-101 Variación espacial y temporal de la concentración de hierro total en las aguas superficiales del Sector Jovita.**



**Figura 3.2.9-102 Variación espacial y temporal de la concentración de hierro total en las aguas subterráneas del Sector Jovita.**



e) Sector Ramucho - Choja

El Sector Ramucho confluencia incluye puntos de monitoreo ubicados en la subcuenca de quebrada Ramucho y en quebrada Choja, aguas abajo de la confluencia con quebrada Blanca, hasta la estación CHO-103. Los puntos ubicados aguas arriba de la confluencia presentan información desde noviembre de 2015, con excepción de SWS4 con información desde 2012.

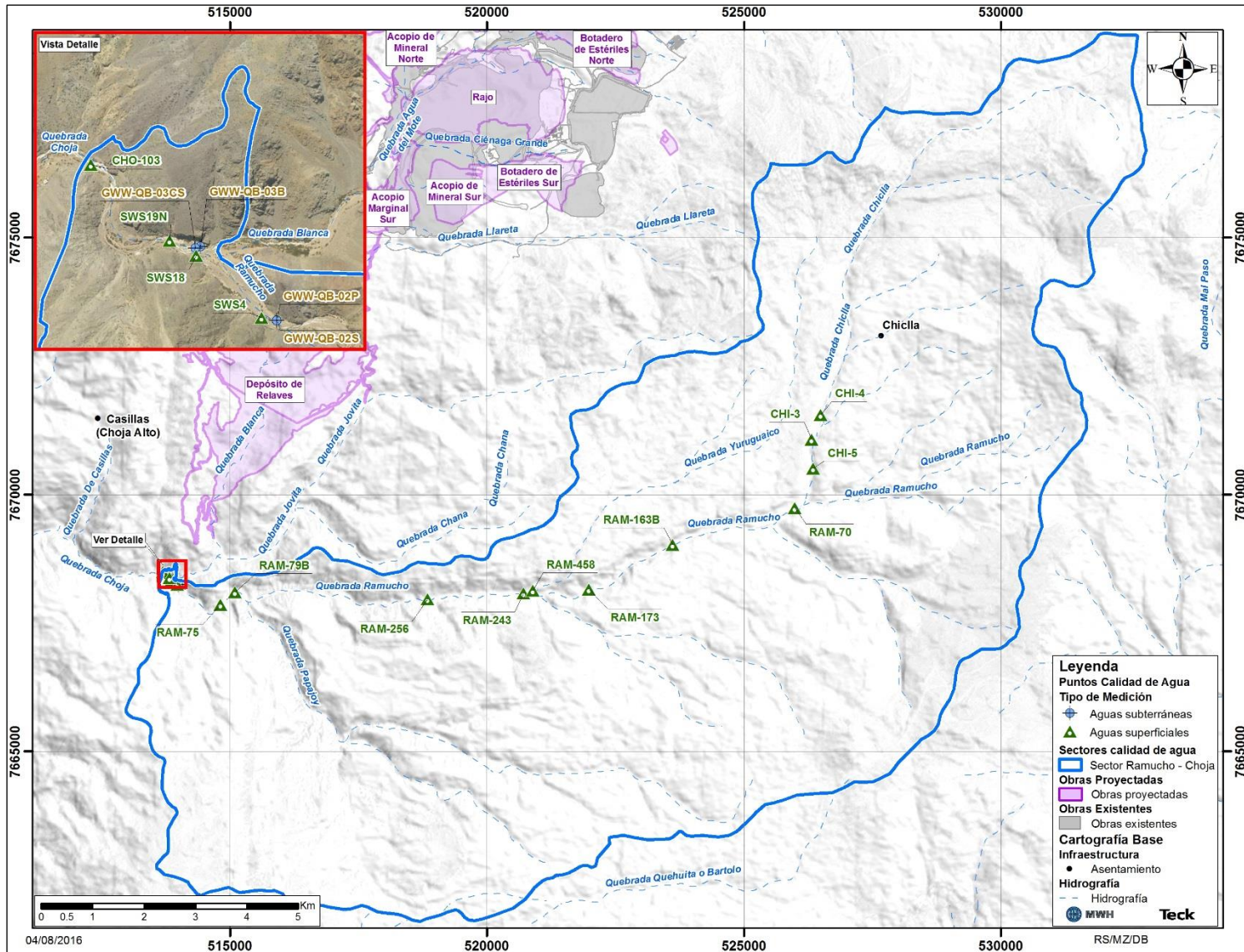
El detalle de las estaciones de calidad de agua existentes en el Sector Ramucho - Choja se presenta en la Figura 3.2.9-103 y en la Tabla 3.2.9-18.

**Tabla 3.2.9-18. Estaciones de monitoreo en Sector Ramucho - Choja.**

Nombre	DATUM WGS84, H19S			Tipo de Agua	Ubicación	Periodo con registros válidos
	Este (m)	Norte (m)	Elevación (m s.n.m.)			
<b>RAMUCHO</b>						
CHI-4	526.494	7.671.548	4.335*	Superficial	Qda. Chiclla	2016
CHI-3	526.321	7.671.071	4.317*	Superficial		2016
CHI-5	526.348	7.670.504	4.287*	Superficial		2016
RAM-70	525.994	7.669.736	4.220*	Superficial	Qda. Ramucho	2016
RAM-163B	523.618	7.669.022	4.147*	Superficial		2016
RAM-173	521.987	7.668.150	4.057*	Superficial		2015 – 2016
RAM-458	520.895	7.668.133	3.997*	Superficial	Qda. Yuruguaico	2015
RAM-243	520.711	7.668.073	3.978*	Superficial	Qda. Ramucho	2015 – 2016
RAM-256	518.842	7.667.963	3.906*	Superficial		2015 – 2016
RAM-79B	515.099	7.668.097	3.573*	Superficial		2016
RAM-75	514.815	7.667.858	3.565*	Superficial		2015 – 2016
GWW-QB-02P	513.997	7.668.240	3.486	Subterránea		2015 – 2016
GWW-QB-02S	513.997	7.668.240	3.486	Subterránea		2015 – 2016
SWS4	513.972	7.668.245	3.491	Subterránea		2012 – 2016
<b>CHOJA</b>						
SWS18	513.866	7.668.346	3.484	Superficial	Qda. Choja	2013 – 2015
SWS18N	513.779	7.668.352	3.512*	Superficial		2016
GWW-QB-03B	513.873	7.668.360	3.478	Subterránea		2015 – 2016
GWW-QB-03CS	513.865	7.668.358	3.478	Subterránea		2015 – 2016
SWS19N	513.823	7.668.370	3.511*	Superficial		2015 – 2016
CHO-103	513.695	7.668.493	3.497*	Superficial		2015

(\*) Cota estimada a partir de Google Earth.

Figura 3.2.9-103. Sector Ramucho - Choja.



Fuente: Elaboración propia.



Considerando la distribución espacial de la calidad de agua, en particular los parámetros asociados a la concentración de sales disueltas, para la caracterización se ha considerado una subdivisión en tres tramos:

- Ramucho alto: Quebrada Ramucho y afluentes, desde el sector de cabecera en quebrada Chiclla (estación de monitoreo CHI-3), hasta junta con quebrada Papajoy (estación RAM-256). Cuenta con registros de calidad de aguas superficiales desde 2015.
- Ramucho bajo: Quebrada Ramucho entre junta con quebrada Papajoy y quebrada Blanca (entre estaciones RAM-79B y SWS4, respectivamente).
- Choja: Quebrada Choja hasta estación CHO-103.

### pH

En la Figura 3.2.9-104 y Figura 3.2.9-105 se presentan la variación espacial y temporal del pH de las aguas superficiales y subterráneas del Sector Ramucho - Choja, respectivamente.

En el tramo Ramucho alto se cuenta con registros de **agua superficial** en 9 estaciones, para las que se cuenta con registros desde noviembre de 2015. En este grupo de estaciones no se aprecian diferencias significativas, presentando valores de pH en rangos de aguas neutras y moderadamente alcalinas, variando dichos valores entre 7,4 UpH (estación RAM-458, noviembre de 2015) y 8,3 UpH (estaciones RAM-173, RAM-243 y CHI-5), con una mediana igual a 8,0 UpH.

En el tramo Ramucho bajo, la mayor extensión temporal de los registros en la estación SWS4 genera que el rango de variación de pH esté asociado a la variabilidad en dicho punto de monitoreo, correspondiendo a 6,8 UpH – 8,3 UpH.

En quebrada Choja, el rango de variación del pH está dado por la variabilidad verificada en la estación SWS18, dada la mayor extensión de su data (las estaciones SWS18N, SWS19N y CHO-103 cuenta con información desde noviembre de 2015), correspondiendo a 6,8 UpH – 8,3 UpH.

Se cuenta con información de **aguas subterráneas** desde septiembre de 2015. El pH de los pozos someros aguas arriba y aguas abajo de la confluencia es similar, variando entre 7,5 UpH y 7,7 UpH. Estos valores son inferiores a los registrados en las estaciones de monitoreo de agua superficial ubicadas en el sector confluencia. Por otra parte, el pozo GWW-QB-02P (profundo), presenta un pH levemente inferior, que ha variado entre 6,6 UpH y 7,2 UpH.

### Conductividad eléctrica

En la Figura 3.2.9-106 y Figura 3.2.9-107 se presentan la variación espacial y temporal de la CE de las aguas superficiales y subterráneas del Sector Ramucho - Choja, respectivamente.

En lo que respecta a las **aguas superficiales**, en el tramo Ramucho alto la CE presenta una baja variabilidad hacia aguas abajo, incrementándose desde valores del orden de 250  $\mu$ S/cm en el

sector de cabecera, a valores en torno a 600  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (estación RAM-256), con una leve dilución en el tramo intermedio, por efecto de la junta con quebrada Yuruguaico (estación RAM-458).

Hacia aguas abajo, hasta la junta con quebrada Blanca (tramo Ramucho bajo), hay un aumento significativo en la CE, con valores en el rango 1.310  $\mu\text{S}/\text{cm}$  – 1.430  $\mu\text{S}/\text{cm}$  en las estaciones RAM-79B y RAM-75. Estos registros son superiores a los regularmente medidos en la estación SWS4, la que presenta una mediana igual a 989  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , aunque el máximo valor de CE registrado en esta fue igual a 1.750  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

En quebrada Choja se verifica un nuevo aumento de la CE. La estación SWS18 ha presentado valores superiores a los descritos en quebrada Ramucho, alcanzando una mediana igual a 1.550  $\mu\text{S}/\text{cm}$  y un máximo de 3.250  $\mu\text{S}/\text{cm}$  en diciembre de 2015. En las estaciones CHO-103, SWS19N y SWS18N los registros han sido similares a los de SWS18 (en el período común de mediciones), alcanzando un valor máximo igual a 3.450  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

Considerando la extensión de los registros, la evolución temporal de la CE puede ser evaluada en torno a la zona de confluencia, en las estaciones SWS4 y SWS18. Los registros muestran que la variación histórica de la CE ha sido diferente en quebrada Ramucho (SWS4), respecto a quebrada Choja (SWS18). En la estación SWS4, esta podría estar asociada al caudal. Durante 2013, la CE presentó una tendencia oscilante, con máximos en mayo y noviembre y mínimos en febrero y agosto, presentando además un valor fuera de rango (enero de 2013, 1.750  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), correspondiente al máximo histórico en dicho punto. Posteriormente, tanto los registros a partir de julio de 2014, como los de 2015, han sido estables en el tiempo, variando los primeros en torno a 1.200  $\mu\text{S}/\text{cm}$  y los últimos en torno a 1.000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Cabe destacar que el caudal medio de 2013 correspondió a 15,1 l/s, disminuyendo a 3,1 l/s en el período descrito para 2014 y a 1,7 l/s en 2015. La CE en la estación SWS18, en tanto, ha presentado un incremento interanual, donde los máximos anuales de los veranos 2013-2014, 2014-2015 y 2015-2016 han correspondido a 2.590  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , 2.950  $\mu\text{S}/\text{cm}$  y 3.250  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , respectivamente. Además, en todos los años se ha verificado un aumento de la CE durante el período primavera-verano, alcanzando valores máximos durante los meses de diciembre – enero.

En cuanto a las **aguas subterráneas**, el pozo GWW-QB-02S ha presentado valores similares de CE a los del punto de monitoreo SWS4, variando entre 1.070  $\mu\text{S}/\text{cm}$  – 1.090  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Los valores del pozo profundo (GWW-QB-02P) han sido superiores, con un máximo de 2.820  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Ambos pozos se ubican en el tramo Ramucho bajo. En quebrada Choja, el pozo GWW-QB-03CS cuenta con registros levemente superiores a los de la estación de monitoreo SWS18, presentando un valor máximo igual a 3.760  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

### Sulfato

En la Figura 3.2.9-108 y Figura 3.2.9-109 se presentan la variación espacial y temporal de la concentración de sulfato en las aguas superficiales y subterráneas del Sector Ramucho - Choja, respectivamente.

Respecto a las **aguas superficiales**, en el tramo alto de quebrada Ramucho hasta antes de la junta con quebrada Papajoy, los registros de sulfato han variado en el rango 19 mg/l – 66 mg/l.

Aguas abajo de quebrada Papajoy se ha verificado un incremento en las concentraciones de sulfato. En las estaciones RAM-79B y RAM-75 el rango de variación ha correspondido a 534 mg/l – 639 mg/l, mientras que en SWS4, descontando el máximo histórico (887 mg/l enero de 2013), las concentraciones mínima y máxima han correspondido a 177 mg/l y 460 mg/l, respectivamente.

La concentración de sulfato ha presentado un incremento en quebrada Choja, respecto a los registros verificados en quebrada Ramucho. Los registros en la estación SWS18, se han distribuido en el rango 227 mg/l – 1.990 mg/l, donde la concentración máxima fue registrada en diciembre de 2015. Las estaciones SWS18N, SWS19N y CHO-103, con concentraciones superiores a SWS18, han presentado un máximo igual a 2.230 mg/l.

La variación temporal de la concentración de sulfato es similar a la de la CE. La estación SWS4 presentó una concentración máxima en enero de 2013. Posteriormente, se aprecia una tendencia oscilante durante 2013 (máximos en abril y noviembre y mínimos en febrero y septiembre) y luego diferentes períodos con registros relativamente uniformes durante 2014 y 2015. En la estación SWS18, en tanto, se observan incrementos de la concentración durante la primavera – verano, alcanzando *peaks* durante los meses de diciembre – enero. Además, a escala interanual se aprecia un leve incremento de las concentraciones en el tiempo.

En cuanto a las **aguas subterráneas**, el pozo GWW-QB-02S presenta concentraciones de sulfato similares a las concentraciones del punto de monitoreo SWS4, variando entre 367 mg/l y 399 mg/l. Ésta aumentó de manera significativa en el pozo profundo (GWW-QB-02P), el que presenta un valor máximo igual a 1.620 mg/l. Ambos pozos se ubican en el tramo Ramucho bajo. En quebrada Choja, el pozo GWW-QB-03CS cuenta con valores levemente superiores a los de SWS18, presentando una concentración máxima igual a 2.520 mg/l.

### Cloruro

En la Figura 3.2.9-110 y Figura 3.2.9-111 se presentan la variación espacial y temporal de la concentración de cloruro en las aguas superficiales y subterráneas del Sector Ramucho - Choja, respectivamente.

La concentración de cloruro en las **aguas superficiales** es baja en comparación con la de sulfato. Las concentraciones registradas en quebrada Ramucho han variado entre 8 mg/l y 25 mg/l en la parte alta, con un leve incremento hacia aguas abajo, desde quebrada Chiclla, hasta la estación RAM-256. Aguas abajo de quebrada Papajoy (Ramucho bajo), las concentraciones han sido levemente superiores, presentándose un valor máximo igual a 40 mg/l en la estación RAM-79B. En quebrada Choja también se ha verificado un leve aumento de la concentración de cloruro, respecto a los registros de quebrada Ramucho, manifestado por el rango de variación de la estación SWS18, igual a 21 mg/l – 75 mg/l, y por los registros en las estaciones CHO-103, SWS18N y SWS19N, levemente superiores a los de SWS18, presentando una concentración

máxima igual a 80 mg/l.

La variación temporal de la concentración de cloruro en la estación SWS18 presenta incrementos durante la primavera – verano, alcanzando peaks durante los meses de diciembre – enero. Además, a escala interanual se verificó un leve incremento de las concentraciones en el tiempo, correspondiendo el máximo registro histórico a la campaña de diciembre de 2015. La estación SWS4, en tanto, ha presentado registros uniformes en el tiempo, con un incremento leve en la concentración media, del orden de 5 mg/l, a partir de julio de 2014.

Respecto a las **aguas subterráneas**, los pozos GWW-QB-02S y GWW-QB-02P (ambos ubicados en quebrada Ramucho), han presentado concentraciones similares a los registros de SWS4, con una concentración máxima igual a 30 mg/l. En quebrada Choja, el pozo GWW-QB-03CS cuenta con las máximas concentraciones del Sector Ramucho - Choja, con registros en el rango 84 mg/l – 89 mg/l.

### Cobre disuelto

En la Figura 3.2.9-112 y Figura 3.2.9-113 se presentan la variación espacial y temporal de la concentración de cobre disuelto en las aguas superficiales y subterráneas del Sector Ramucho - Choja, respectivamente.

Respecto a la concentración de cobre disuelto, en las **aguas superficiales** de quebrada Ramucho la variabilidad espacial de la concentración de cobre disuelto ha sido diferente a la descrita para la CE y el sulfato. Cabe destacar que, debido a la mayor dispersión de los registros respecto a otros parámetros, los puntos con mayor cantidad de datos (SWS4 y SWS18) han presentado un mayor rango de variación.

El rango de variación en quebrada Ramucho, en el tramo alto, ha correspondido a 0,001 mg/l – 0,009 mg/l, donde el máximo fue verificado en la estación RAM-173. En el tramo bajo, el rango de variación ha correspondido a 0,0008 mg/l – 0,2 mg/l, donde el máximo fue verificado en la estación SWS4, con una mayor extensión en sus registros. En este último se debe destacar la existencia de una disminución de los valores máximos a escala interanual, entre 2013 y 2015, habiendo sido verificados los tres más altos durante 2013.

Se debe destacar la tendencia decreciente de la concentración de cobre disuelto en quebrada Ramucho, entre las estaciones ubicadas en quebrada Chiclla (CHI-3 a CHI-5) y las que se encuentran aguas abajo de la junta con quebrada Papajoy (RAM-79B y RAM-75), durante la campaña de enero de 2016, tendencia opuesta a la de algunos parámetros descritos previamente.

En quebrada Choja, aparte de los registros medidos en la estación SWS18, se cuenta con un registro válido en CHO-103 (0,009 mg/l, en noviembre de 2015), el que fue levemente superior al medido en SWS18 en una campaña previa también de noviembre de 2015 (0,002 mg/l). El rango de variación en SWS18 ha correspondido a 0,002 mg/l – 0,03 mg/l. Cabe destacar que las

concentraciones medidas durante 2015 en esta estación han sido inferiores a las registradas en los años previos.

Las **aguas subterráneas** presentan las mayores concentraciones registradas en el Sector desde octubre de 2015, cuando comenzaron los registros en los pozos GWW-QB-02S y GWW-QB-02P. En ambos pozos la concentración de cobre disuelto ha variado en el rango 0,01 mg/l – 0,2 mg/l, registrándose la concentración máxima en el pozo profundo. En quebrada Choja, en tanto, la concentración del pozo GWW-QB-03CS varió entre 0,004 mg/l y 0,01 mg/l, presentando registros similares a los medidos en la estación SWS18. El pozo GWW-QB-03B, en tanto, presentó una concentración máxima igual a 0,05 mg/l.

### Cobre total

En la Figura 3.2.9-114 y Figura 3.2.9-115 se presentan la variación espacial y temporal de la concentración de cobre total en las aguas superficiales y subterráneas del Sector Ramucho - Choja, respectivamente.

En las **aguas superficiales** el rango de variación en quebrada Ramucho, en el tramo alto ha correspondido a 0,001 mg/l – 0,02 mg/l, donde el máximo fue verificado en la estación CHI-4. Al igual que en el cobre disuelto, se verificó una tendencia de decremento entre la sección alta de la subcuenca y la baja en la campaña de enero de 2016.

En el tramo bajo, el rango de variación de la estación SWS4 ha correspondido a 0,001 mg/l – 0,56 mg/l, presentando los registros mínimo y máximo del tramo. El máximo registro estuvo fuera del rango normal de variación, correspondiendo el siguiente a 0,07 mg/l.

En quebrada Choja, en tanto, el rango de variación ha estado dado por los registros de la estación SWS18, con un mínimo igual a 0,003 mg/l y un valor máximo correspondiente a 0,07 mg/l. Las estaciones restantes han presentado valores en el rango 0,005 mg/l y 0,01 mg/l.

Respecto a las **aguas subterráneas**, estas han presentado concentraciones que regularmente han sido superiores a las de las aguas superficiales. En el tramo Ramucho bajo, los registros extremos han sido verificados en el pozo GWW-QB-02P (asociado a aguas profundas), correspondiendo a 0,01 mg/l el mínimo y a 0,3 mg/l el máximo. En quebrada Choja en tanto, los registros extremos han correspondido al pozo asociado a aguas someras (GWW-QB-03CS), variando entre 0,01 mg/l y 0,2 mg/l.

Cabe destacar que, descontando los valores mínimos asociados a cada tramo (0,01 mg/l), todas las mediciones restantes fueron superiores a las asociadas a aguas superficiales registradas en las mismas campañas de monitoreo.

### Hierro disuelto

En la Figura 3.2.9-116 se presenta la variación espacial y temporal de la concentración de hierro disuelto en las aguas superficiales del Sector Ramucho – Choja.

En lo que respecta a las **aguas superficiales**, en el tramo Ramucho alto, la máxima concentración ha sido medida en RAM-70, alcanzando 0,4 mg/l. La mínima, en tanto, ha correspondido a las estaciones RAM-458 y CHI-5, con registros menores al L.D. (0,01 mg/l).

En Ramucho bajo se cuenta con un registro válido en la estación RAM79B (0,1 mg/l), además de las mediciones en la estación SWS4, presentando esta última una mediana y una concentración máxima iguales a 0,1 mg/l y 5,7 mg/l (marzo de 2013), respectivamente. Cabe destacar que en la estación SWS4 se aprecia un descenso en torno a un orden de magnitud en las dos concentraciones medidas durante 2015, respecto a la mayoría de las registradas en 2013.

En lo que respecta a quebrada Choja, además de los registros en la estación SWS18, se cuenta con una medición validada en el punto SWS19N, la que correspondió a 0,3 mg/l. La estación SWS18, en tanto, presentó un registro máximo igual a 0,6 mg/l (febrero de 2014) y una mediana igual a la de SWS4 (0,1 mg/l).

De acuerdo a los criterios QA/QC definidos para el uso de la información de calidad de agua (Acápites 3.2.9.4.2), no se cuenta con registros validados de concentración de hierro disuelto en **aguas subterráneas** ubicadas en el Sector Ramucho - Choja.

### Hierro total

En la Figura 3.2.9-117 y Figura 3.2.9-118, se presenta la variación espacial y temporal de la concentración de hierro total en las aguas superficiales y subterráneas del Sector Ramucho – Choja.

Respecto a las **aguas superficiales**, en el tramo Ramucho alto se cuenta con registros de tres campañas realizadas entre noviembre de 2015 y enero de 2016. El rango de variación de la concentración de hierro total ha correspondido a 0,06 mg/l – 0,85 mg/l, verificándose el mínimo en las estaciones CHI-3 y RAM-458 y el máximo en la estación RAM-70. En el tramo Ramucho bajo, en tanto, las concentraciones mínima y máxima han sido verificadas en la estación SWS4, correspondiendo respectivamente a 0,02 mg/l – 0,7 mg/l, contándose también con un registro en la estación RAM-79B, igual a 0,2 mg/l (enero 2016).

En quebrada Choja el rango de variación ha estado dado por los registros de la estación SWS18 (0,02 mg/l – 6,9 mg/l), contándose también con un dato validado de acuerdo al QC/QC en el punto SWS19N, el que correspondió a 0,6 mg/l.

Respecto a las **aguas subterráneas**, en el tramo bajo de quebrada Ramucho (sector bajo), los registros mínimo y máximo se han verificado en el pozo GWW-QB-02S (0,5 mg/l y 12,5 mg/l, respectivamente), presentando una tendencia creciente en el tiempo. Respecto a quebrada

Choja, las concentraciones extremas medidas han correspondido al pozo GWW-QB-03CS (0,3 mg/l – 27,3 mg/l).

### Resumen

A modo de síntesis de los resultados presentados, a continuación se resume la descripción de la calidad de agua en el Sector Ramucho – Choja para los parámetros evaluados, por medio del uso de diferentes estadísticos, considerando entre otros el registro mínimo, el máximo y el P50 o mediana. Los resultados se presentan en la Tabla 3.2.9-19 y Tabla 3.2.9-20, diferenciándose entre la serie histórica, que considera todos los registros, y las mediciones realizadas desde 2015 en adelante (situación actual). Cabe señalar que de acuerdo a lo verificado en la caracterización de la calidad de agua en este Sector, para los resultados se ha diferenciado en los tres tramos descritos previamente: Ramucho alto, Ramucho bajo y Choja.

**Tabla 3.2.9-19. Resumen calidad de agua en Sector Ramucho – Choja, registros históricos.**

Tipo Agua	Valor	C.E.	Cl	Cu dis	Cu tot	Fe dis	Fe tot	pH	SO <sub>4</sub>
		µS/cm	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	UpH	mg/l
<b>Ramucho alto</b>									
Aguas Superficiales	Mín.	253	8	0,001	0,001	< 0,01	0,06	7,4	19
	P(10)	273	11	0,001	0,001	0,01	0,06	7,6	23
	P(50)	452	21	0,003	0,005	0,03	0,1	8,0	50
	P(90)	578	23	0,007	0,01	0,4	0,9	8,3	63
	Máx.	598	25	0,009	0,02	0,4	0,9	8,3	66
<b>Ramucho bajo</b>									
Aguas Superficiales	Mín.	677	17	0,0008	0,001	< 0,01	0,02	6,8	177
	P(10)	739	21	0,001	0,002	0,02	0,02	7,2	202
	P(50)	996	24	0,006	0,01	0,1	0,1	8,0	344
	P(90)	1.200	28	0,09	0,05	0,9	0,3	8,2	451
	Máx.	1.750	40	0,2	0,6	5,7	0,7	8,3	887
Aguas Subterráneas	Mín.	1.070	19	0,01	0,01	s/i	0,5	6,6	367
	P(10)	1.070	19	0,01	0,01	s/i	0,5	6,6	367
	P(50)	1.815	28	0,01	0,06	s/i	0,8	7,4	920
	P(90)	2.820	30	0,2	0,3	s/i	12,4	7,7	1.620
	Máx.	2.820	30	0,2	0,3	s/i	12,4	7,7	1.620
<b>Choja</b>									
Aguas Superficiales	Mín.	822	21	0,002	0,003	0,01	0,02	6,8	227
	P(10)	1.040	24	0,002	0,005	0,02	0,03	7,2	407
	P(50)	1.620	38	0,006	0,01	0,1	0,2	7,9	668
	P(90)	2.860	61	0,02	0,06	0,5	0,6	8,1	1.570
	Máx.	3.450	80	0,03	0,07	0,6	6,9	8,3	2.230
Aguas Subterráneas	Mín.	3.150	66	0,004	0,01	s/i	0,3	7,4	1.820
	P(10)	3.150	66	0,004	0,01	s/i	0,3	7,4	1.820
	P(50)	3.265	79	0,020	0,08	s/i	0,6	7,5	1.955
	P(90)	3.760	89	0,05	0,2	s/i	27	7,6	2.520
	Máx.	3.760	89	0,05	0,2	s/i	27	7,6	2.520

s/i: sin información validada por los criterios QA/QC definidos en Acápites 3.2.9.4.2

Fuente: Elaboración propia.



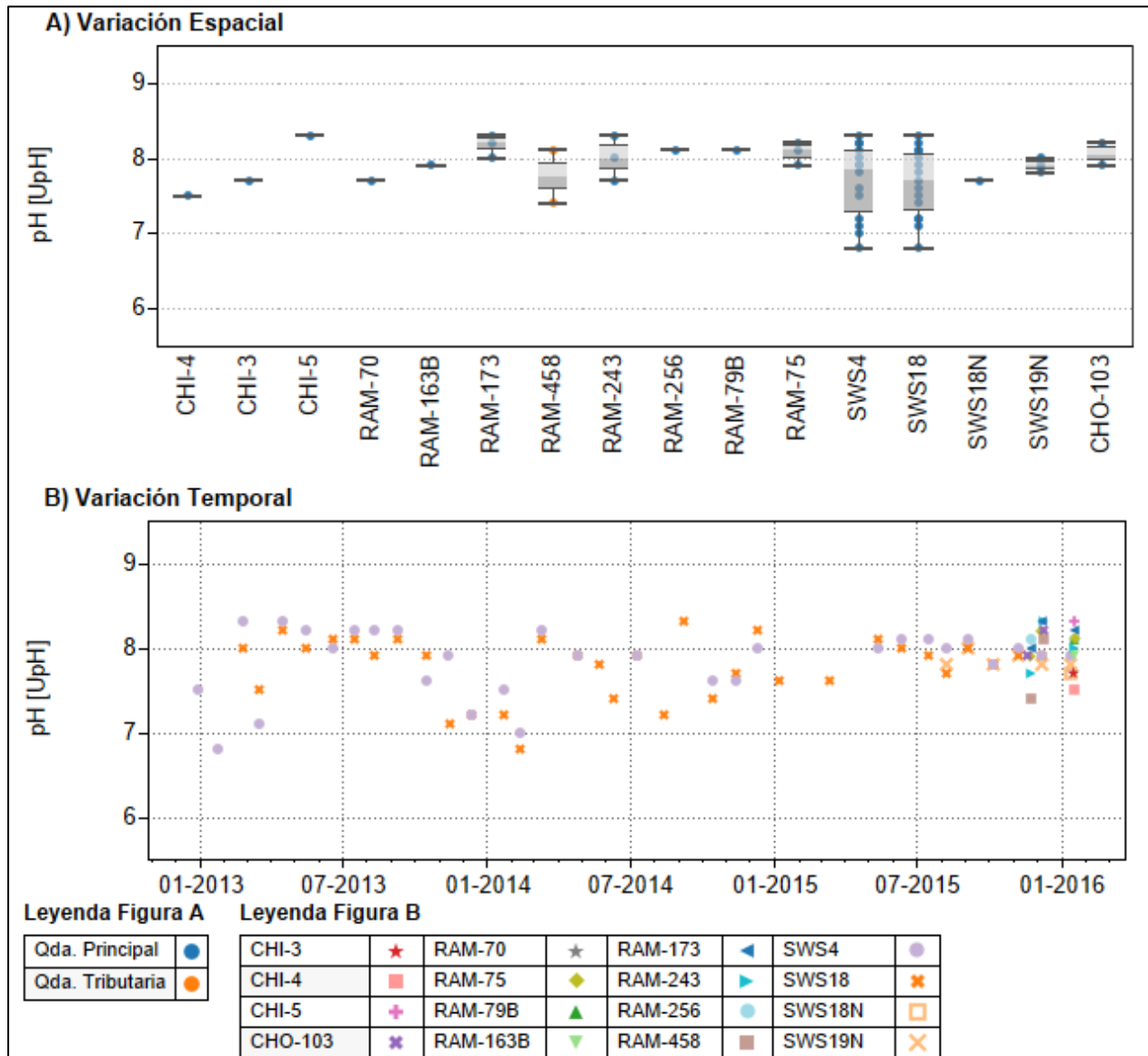
**Tabla 3.2.9-20. Resumen calidad de agua en Sector Ramucho - Choja, registros 2015-2016.**

Tipo Agua	Valor	C.E.	Cl	Cu dis	Cu tot	Fe dis	Fe tot	pH	SO <sub>4</sub>
		µS/cm	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	UpH	mg/l
<b>Ramucho alto</b>									
Aguas Superficiales	Mín.	253	8	0,001	0,001	< 0,01	0,06	7,4	19
	P(10)	273	11	0,001	0,001	0,01	0,06	7,6	23
	P(50)	452	21	0,003	0,005	0,03	0,1	8,0	50
	P(90)	578	23	0,007	0,01	0,4	0,9	8,3	63
	Máx.	598	25	0,009	0,02	0,4	0,9	8,3	66
<b>Ramucho bajo</b>									
Aguas Superficiales	Mín.	996	26	0,001	0,002	0,02	0,04	7,8	317
	P(10)	996	26	0,001	0,002	0,02	0,04	7,8	317
	P(50)	1.040	27	0,002	0,004	0,02	0,07	8,0	360
	P(90)	1.070	29	0,006	0,01	0,02	0,1	8,1	396
	Máx.	1.430	40	0,006	0,01	0,1	0,2	8,2	629
Aguas Subterráneas	Mín.	1.070	19	0,01	0,01	s/i	0,5	6,6	367
	P(10)	1.070	19	0,01	0,01	s/i	0,5	6,6	367
	P(50)	1.815	28	0,02	0,06	s/i	0,8	7,4	920
	P(90)	2.820	30	0,2	0,3	s/i	12,4	7,7	1.620
	Máx.	2.820	30	0,2	0,3	s/i	12,4	7,7	1.620
<b>Choja</b>									
Aguas Superficiales	Mín.	1.330	32	0,002	0,005	0,01	0,03	7,6	488
	P(10)	1.350	34	0,002	0,005	0,01	0,03	7,6	545
	P(50)	1.650	39	0,003	0,009	0,02	0,1	7,9	723
	P(90)	3.250	75	0,007	0,07	0,05	0,5	8,0	1.990
	Máx.	3.450	80	0,009	0,07	0,3	0,6	8,2	2.230
Aguas Subterráneas	Mín.	3.150	66	0,004	0,01	s/i	0,3	7,4	1.820
	P(10)	3.150	66	0,004	0,01	s/i	0,3	7,4	1.820
	P(50)	3.265	79	0,02	0,08	s/i	0,6	7,5	1.955
	P(90)	3.760	89	0,05	0,2	s/i	27	7,6	2.520
	Máx.	3.760	89	0,05	0,2	s/i	27	7,6	2.520

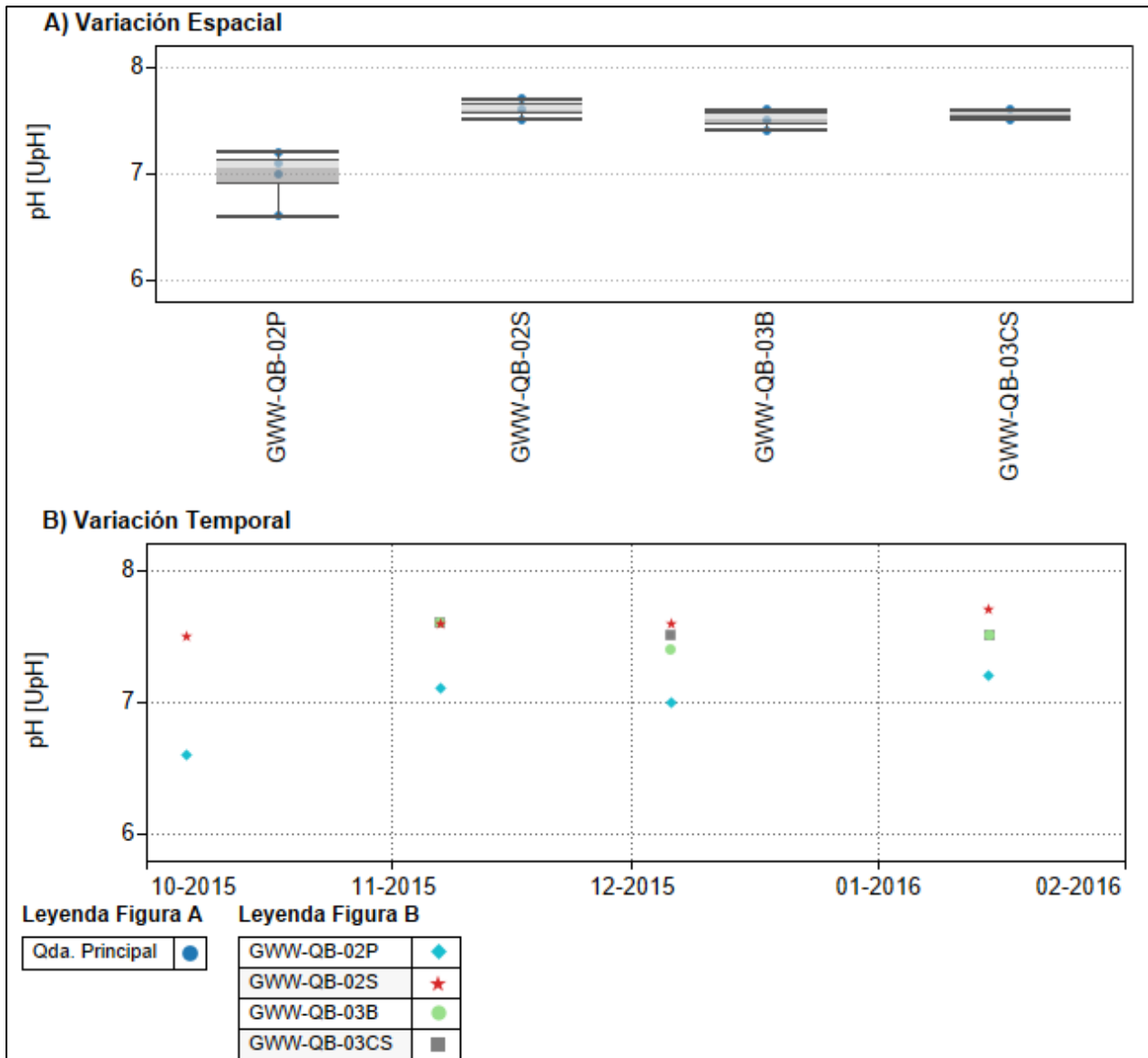
s/i: sin información validada por los criterios QA/QC definidos en Acápite 3.2.9.4.2.

Fuente: Elaboración propia.

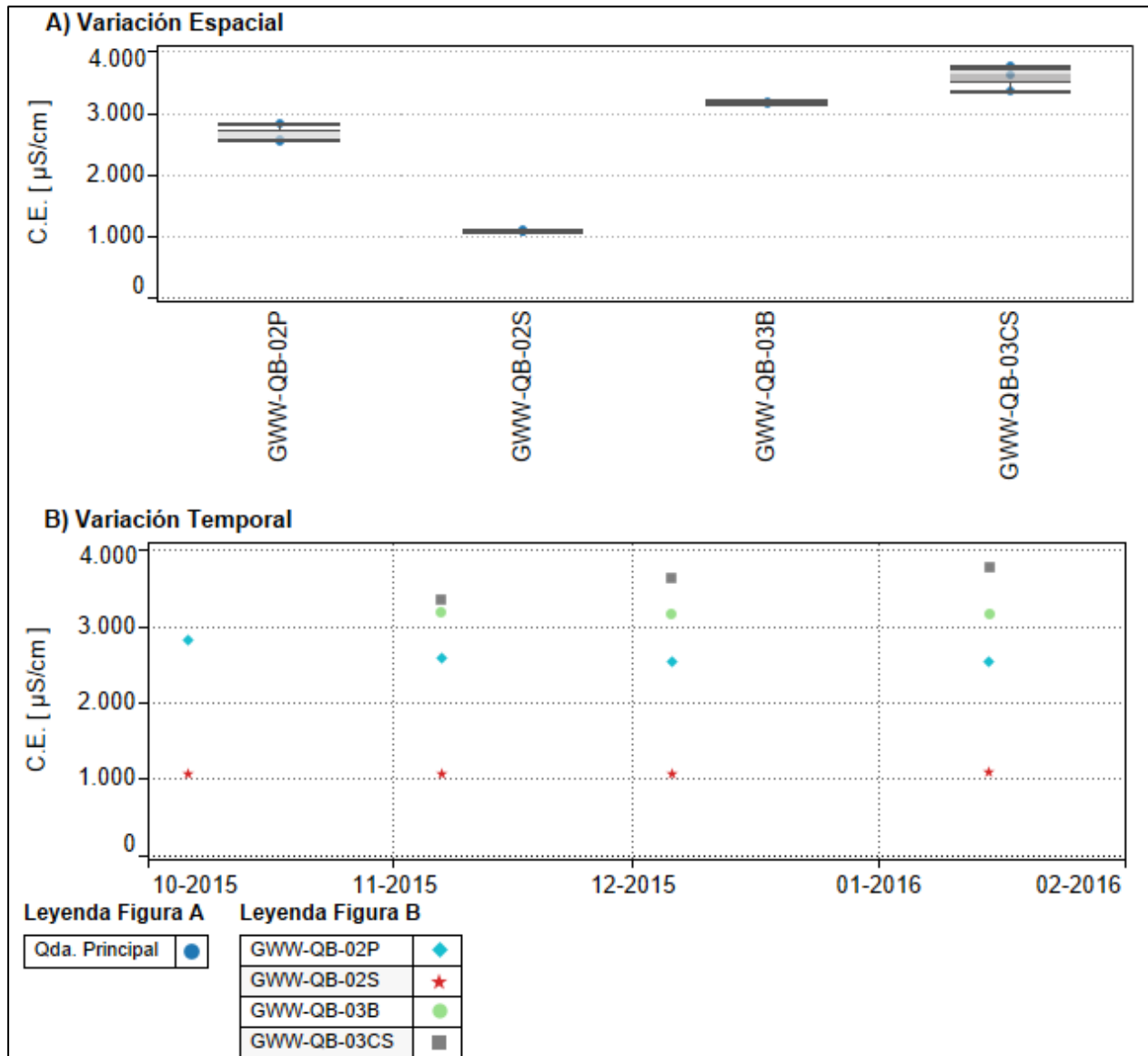
**Figura 3.2.9-104 Variación espacial y temporal del pH de las aguas superficiales del Sector Ramucho - Choja. En la figura A), las estaciones se encuentran ordenadas en el sentido del escurrimiento.**



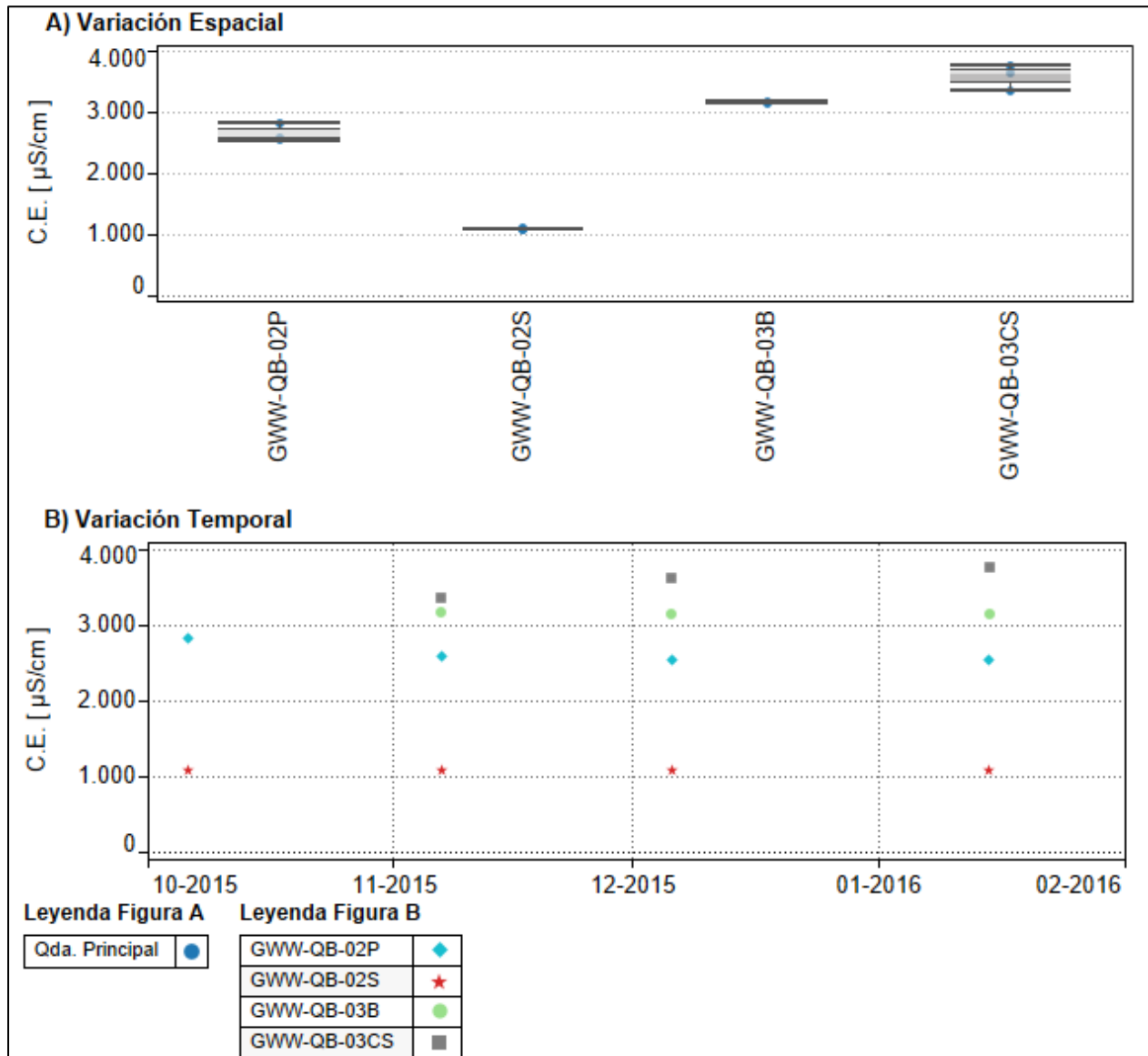
**Figura 3.2.9-105 Variación espacial y temporal del pH de las aguas subterráneas del Sector Ramucho - Choja. En la figura A), las estaciones se encuentran ordenadas en el sentido del escurrimiento.**



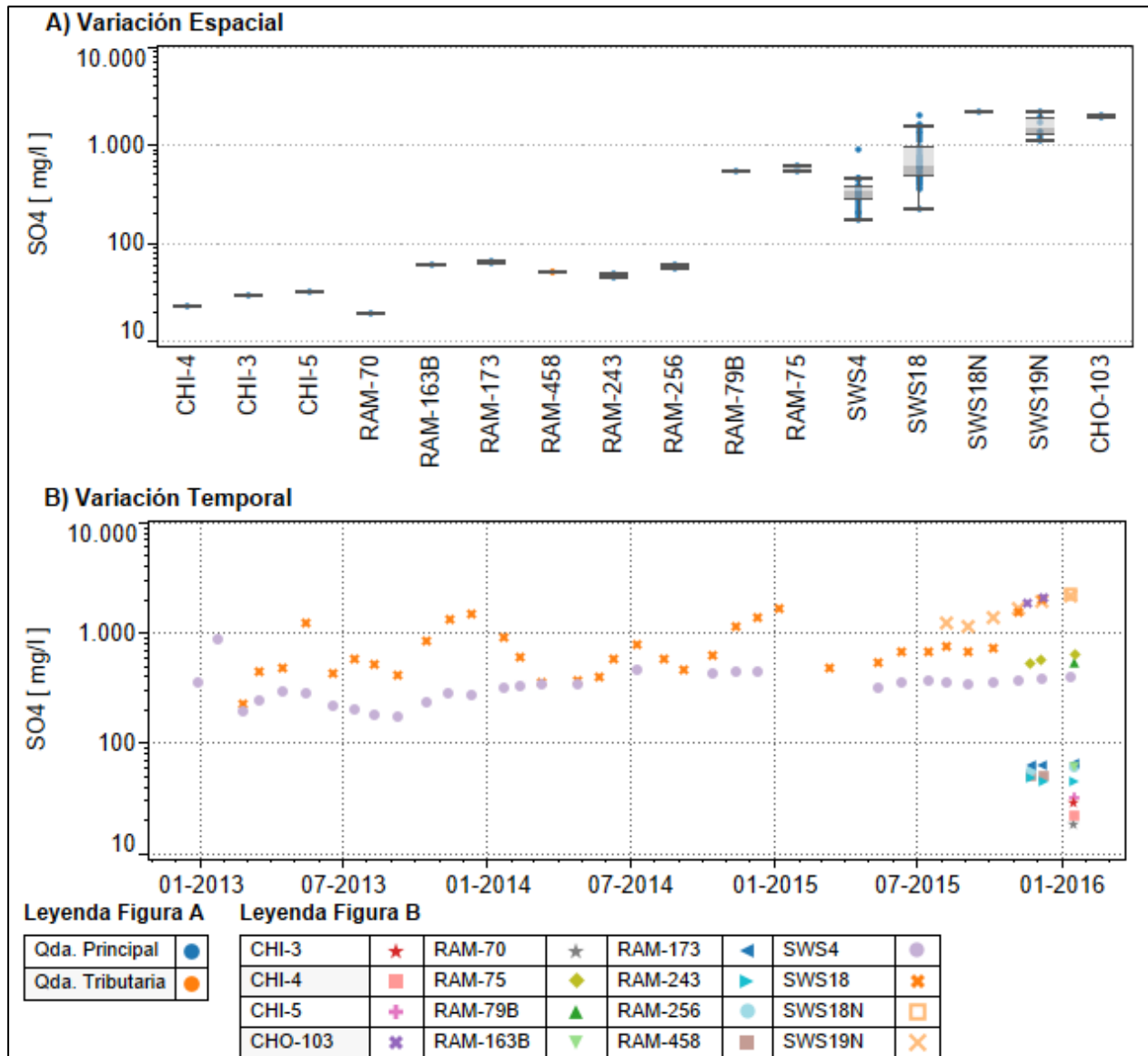
**Figura 3.2.9-106 Variación espacial y temporal de la CE de aguas superficiales del Sector Ramucho - Choja. En la figura A), las estaciones se encuentran ordenadas en el sentido del escurrimiento.**



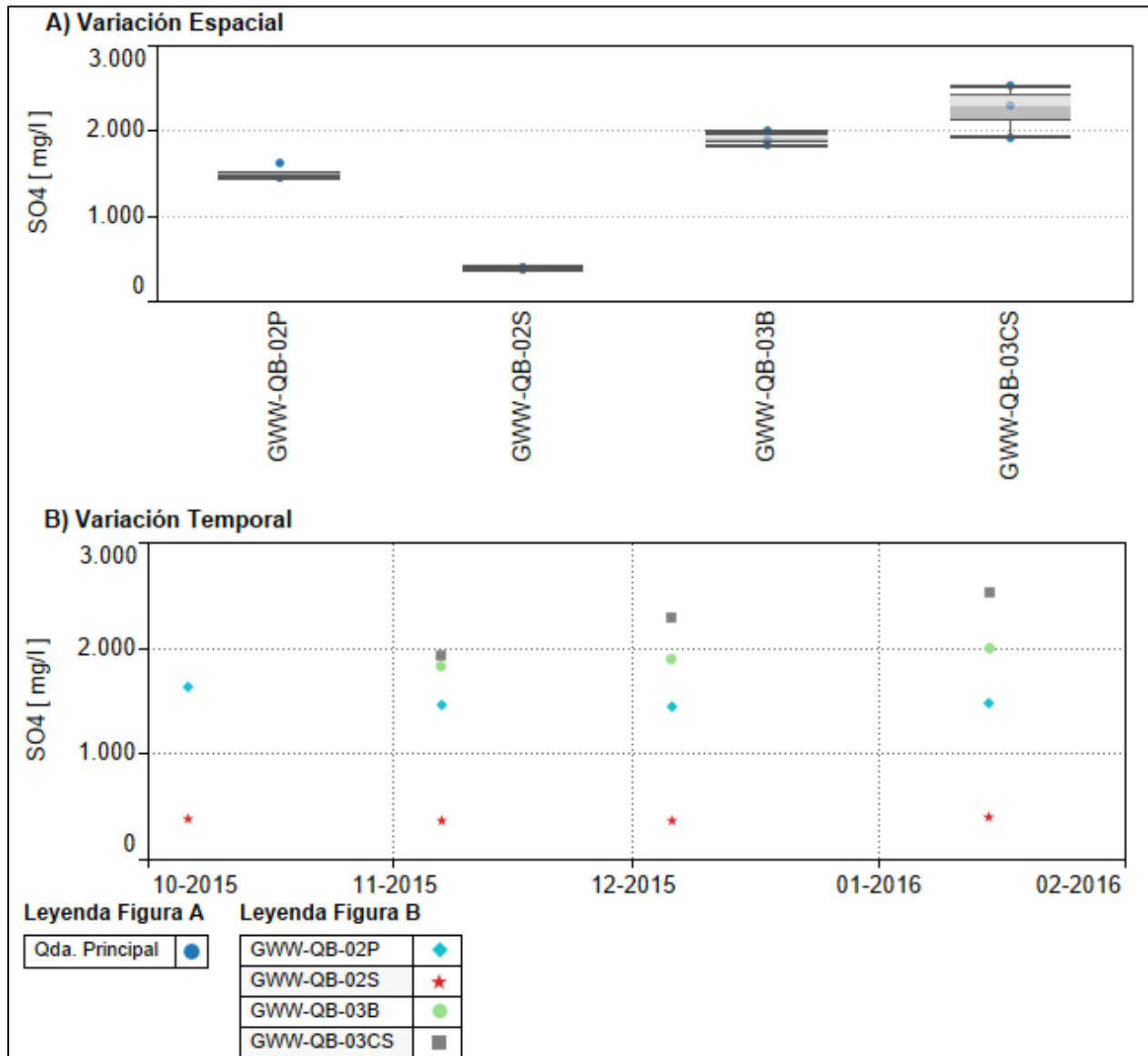
**Figura 3.2.9-107 Variación espacial y temporal de la CE de aguas subterráneas del Sector Ramucho - Choja. En la figura A), las estaciones se encuentran ordenadas en el sentido del escurrimiento.**



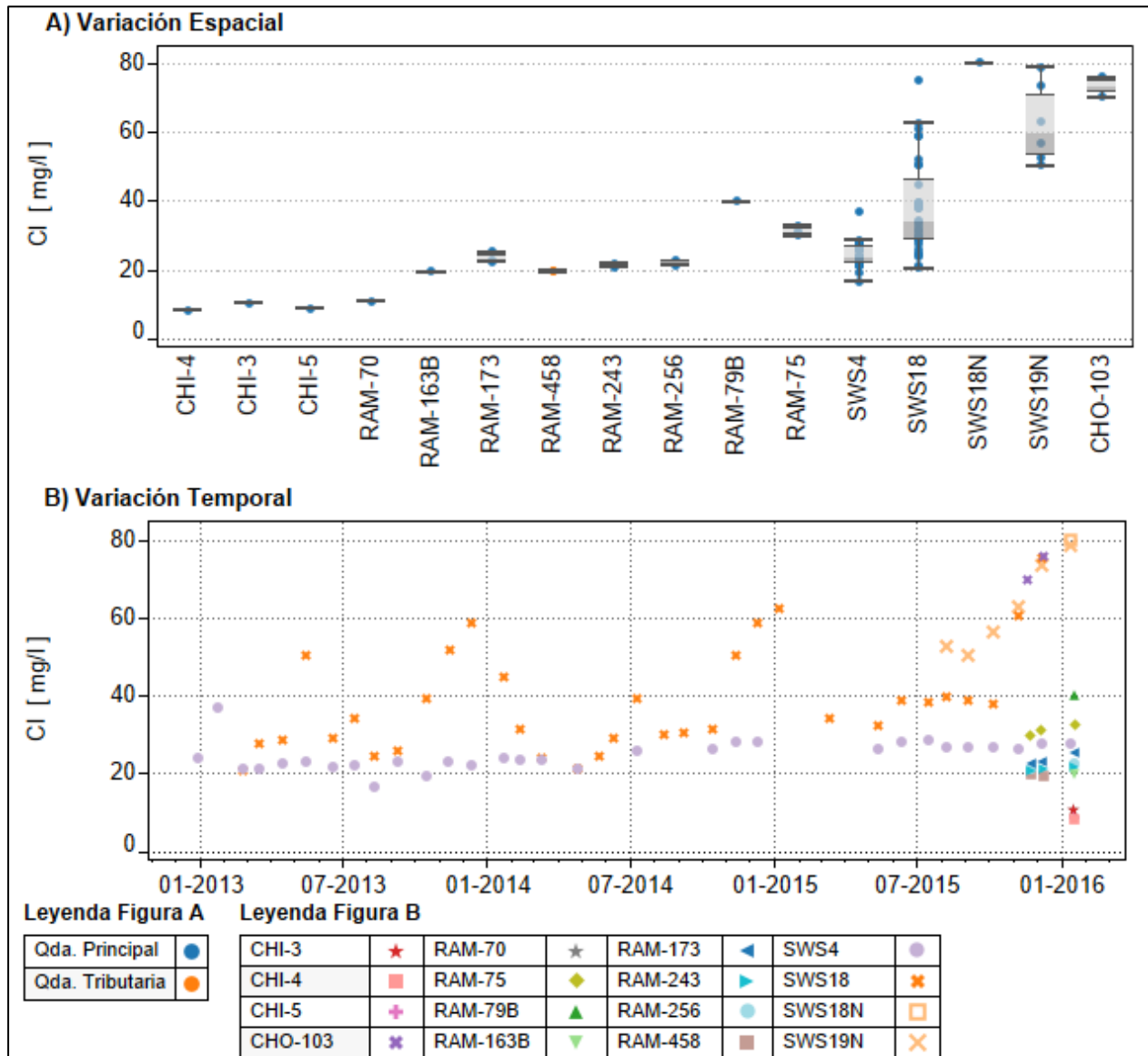
**Figura 3.2.9-108 Variación espacial y temporal de la concentración de sulfato en las aguas superficiales del Sector Ramucho - Choja. En la figura A), las estaciones se encuentran ordenadas en el sentido del escurrimiento.**



**Figura 3.2.9-109 Variación espacial y temporal de la concentración de sulfato en las aguas subterráneas del Sector Ramucho - Choja. En la figura A), las estaciones se encuentran ordenadas en el sentido del escurrimiento.**

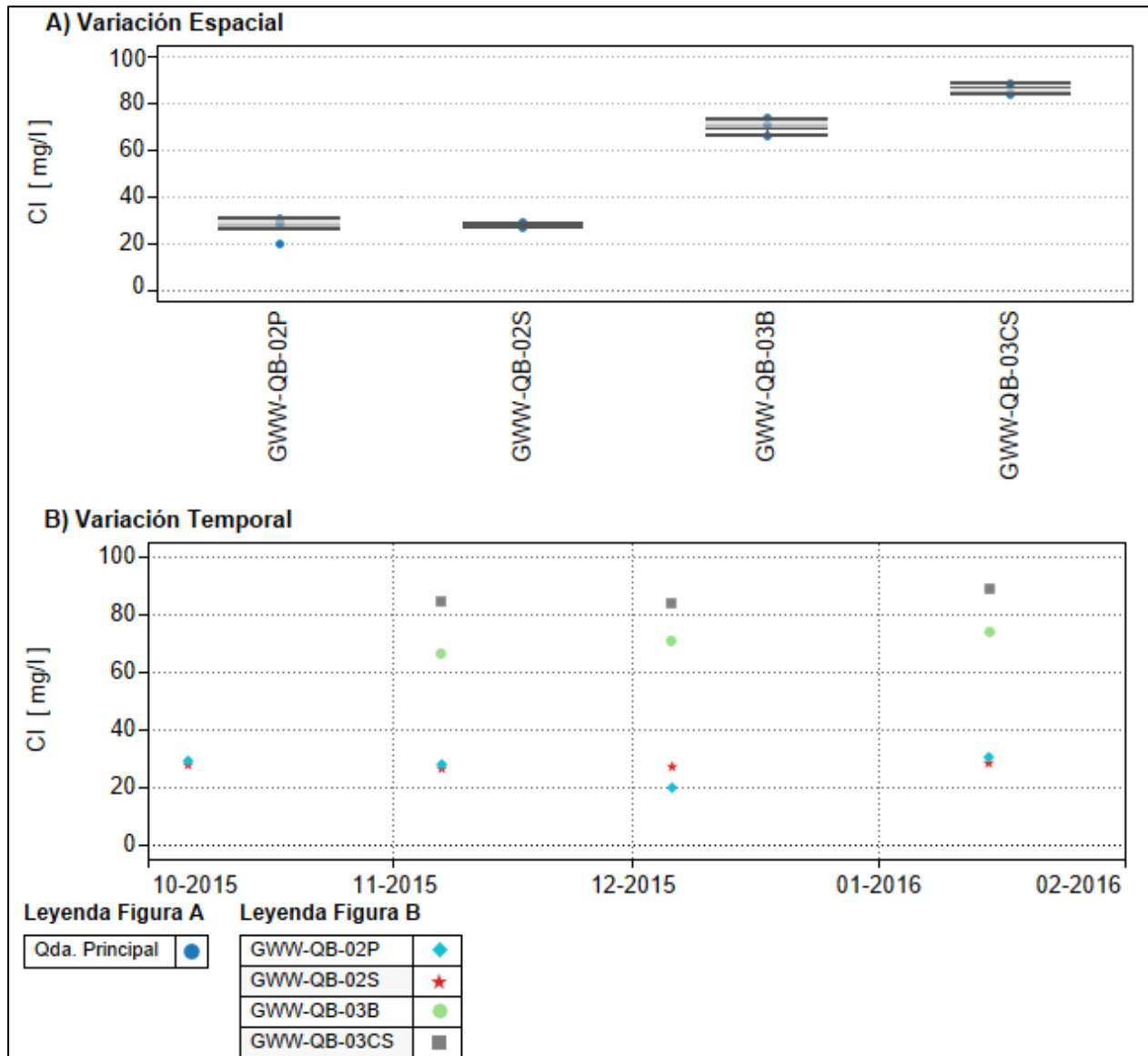


**Figura 3.2.9-110 Variación espacial y temporal de la concentración de cloruro en las aguas superficiales del Sector Ramucho - Choja. En la figura A), las estaciones se encuentran ordenadas en el sentido del escurrimiento.**

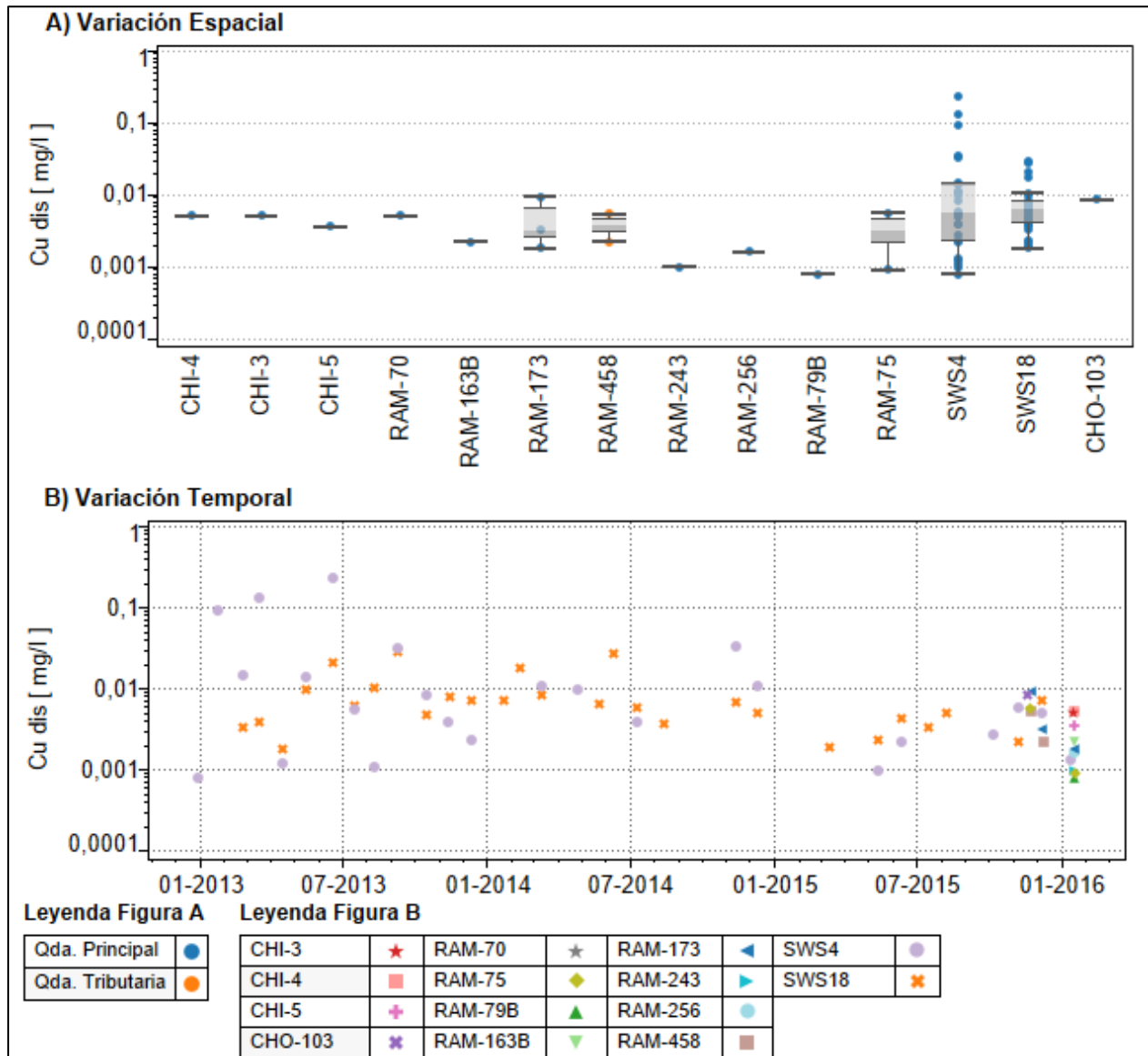




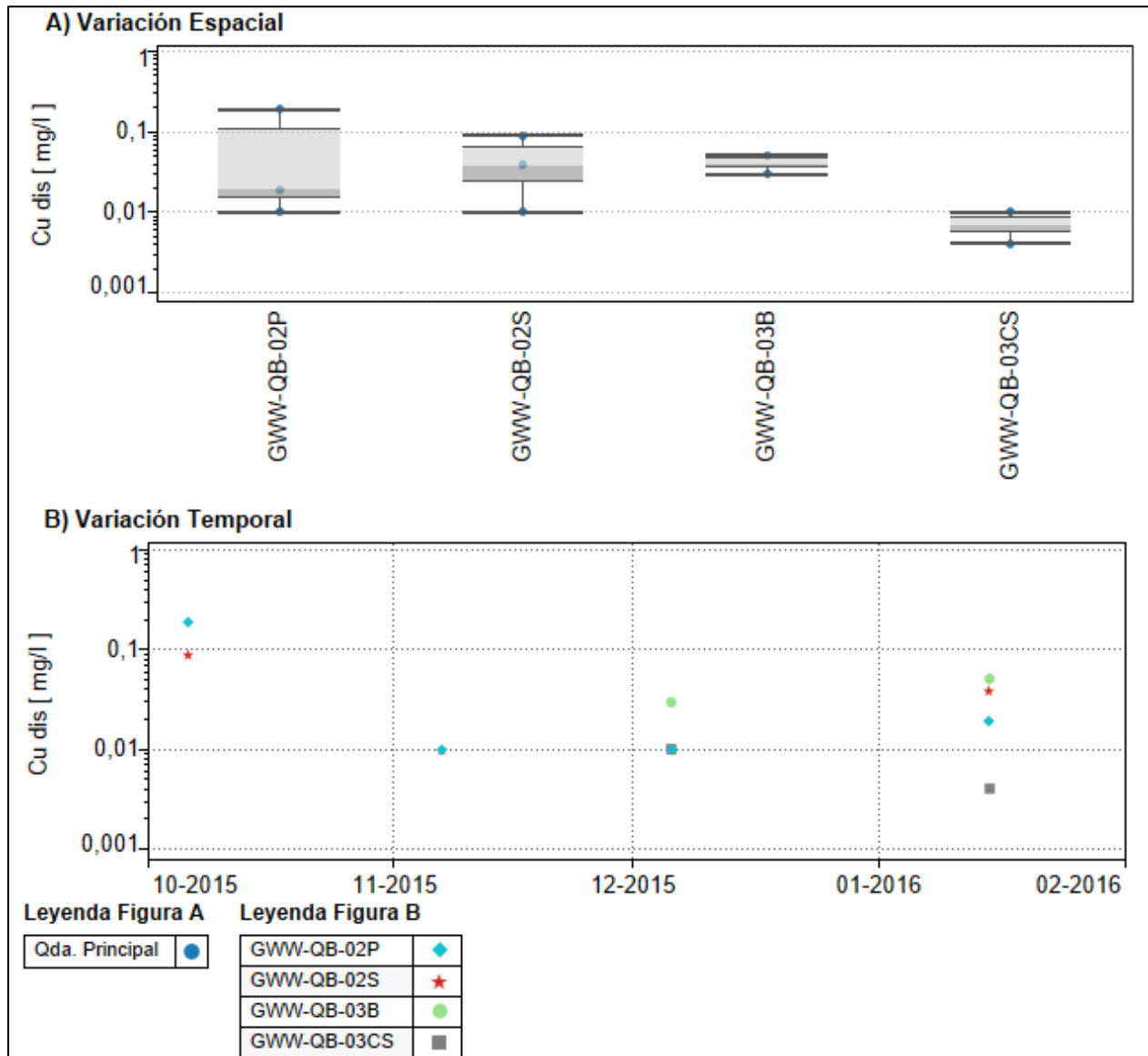
**Figura 3.2.9-111 Variación espacial y temporal de la concentración de cloruro en las aguas subterráneas del Sector Ramucho - Choja. En la figura A), las estaciones se encuentran ordenadas en el sentido del escurrimiento.**



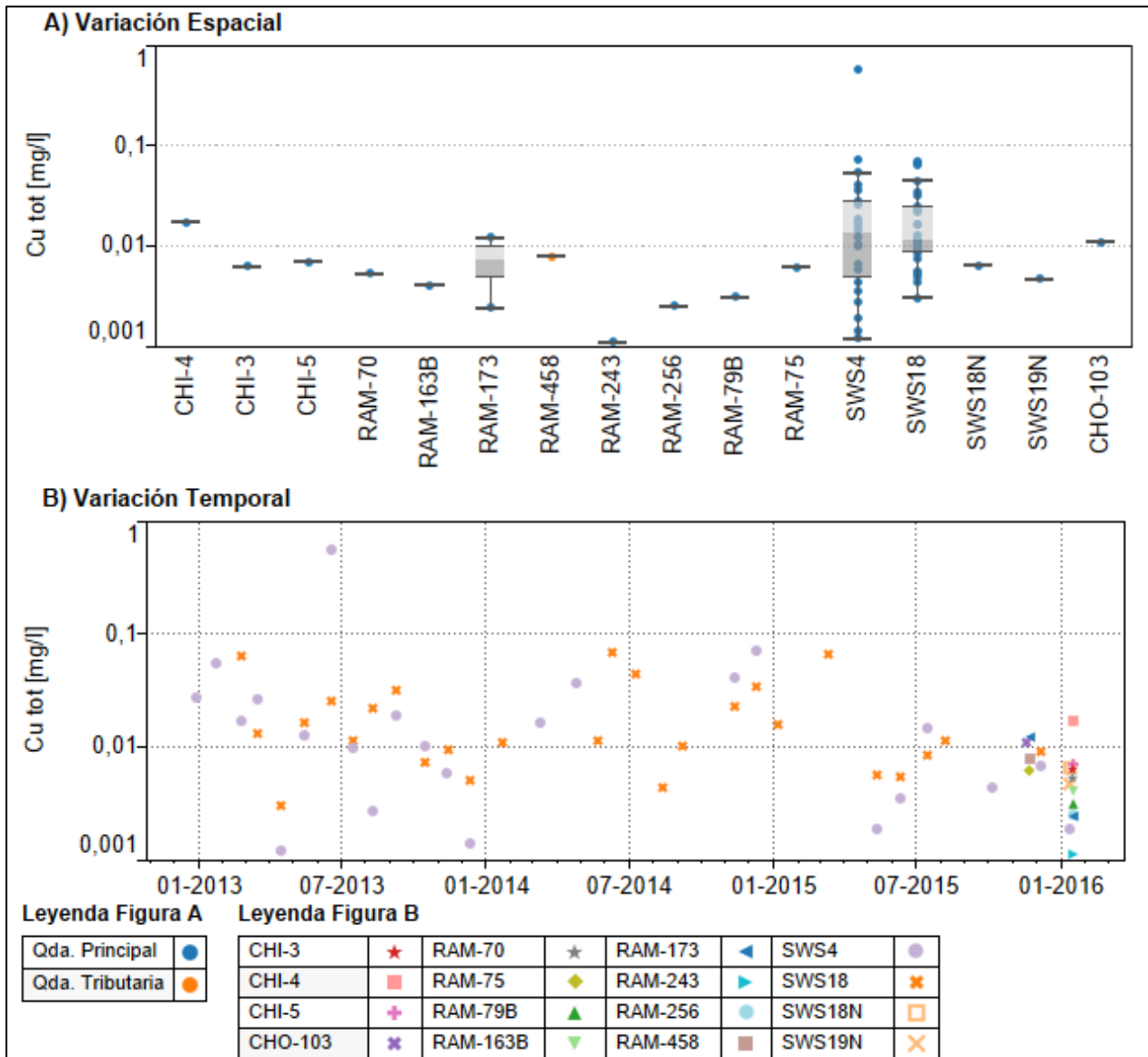
**Figura 3.2.9-112 Variación espacial y temporal de la concentración de cobre disuelto en las aguas superficiales del Sector Ramucho - Choja. En la figura A), las estaciones se encuentran ordenadas en el sentido del escurrimiento.**



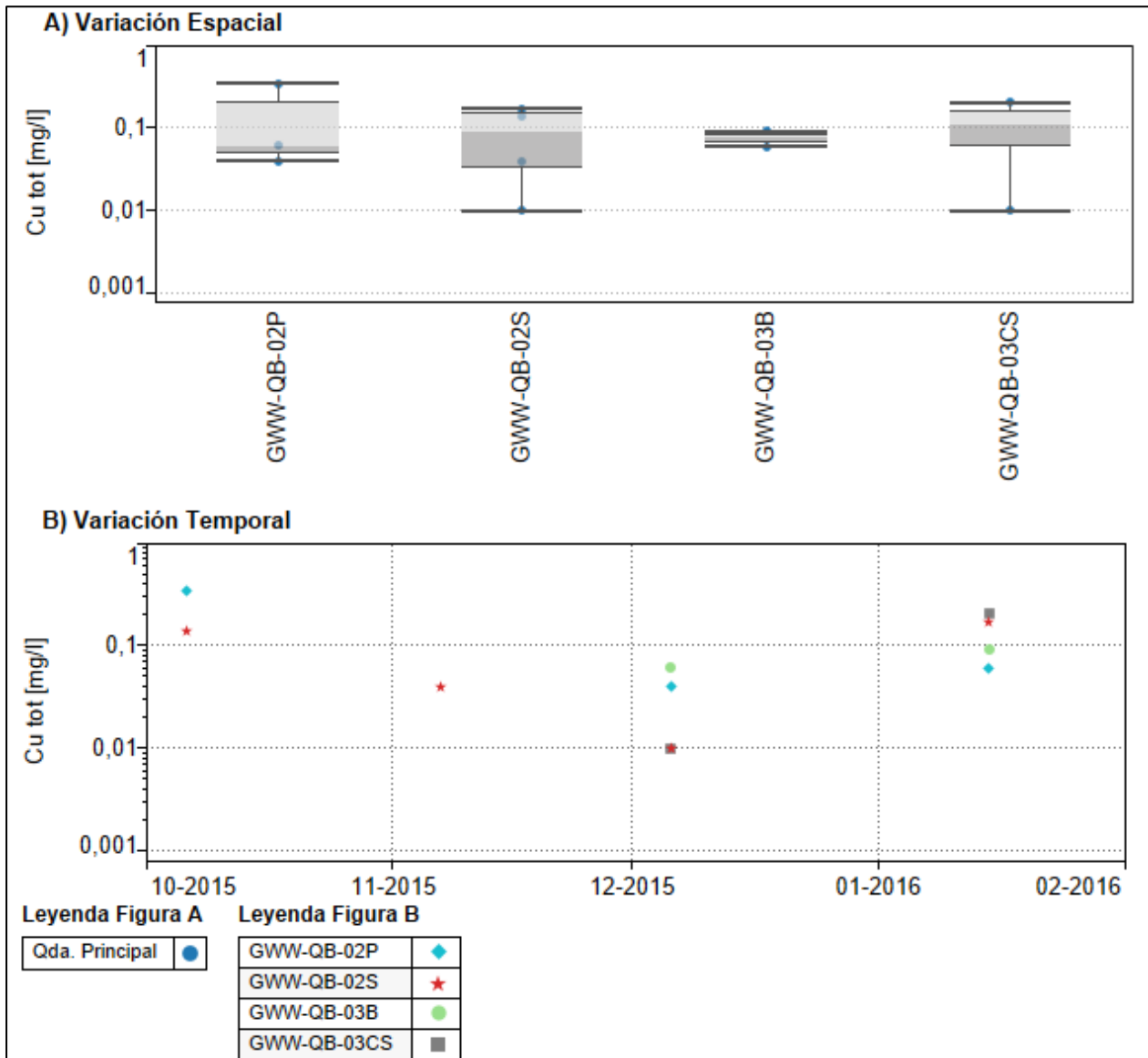
**Figura 3.2.9-113 Variación espacial y temporal de la concentración de cobre disuelto en las aguas subterráneas del Sector Ramucho - Choja. En la figura A), las estaciones se encuentran ordenadas en el sentido del escurrimiento.**



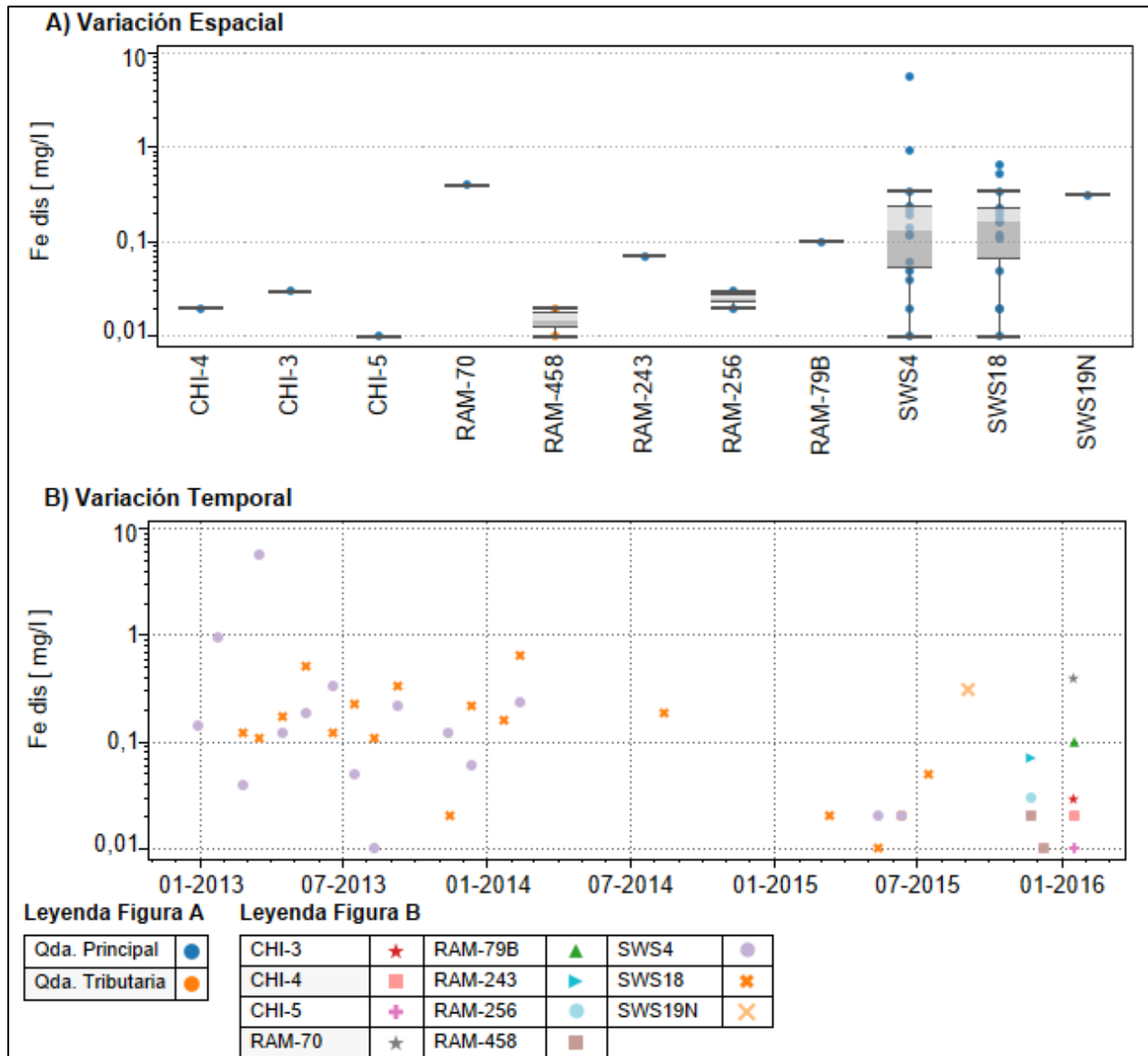
**Figura 3.2.9-114 Variación espacial y temporal de la concentración de cobre total en las aguas superficiales del Sector Ramucho - Choja. En la figura A), las estaciones se encuentran ordenadas en el sentido del escurrimiento.**



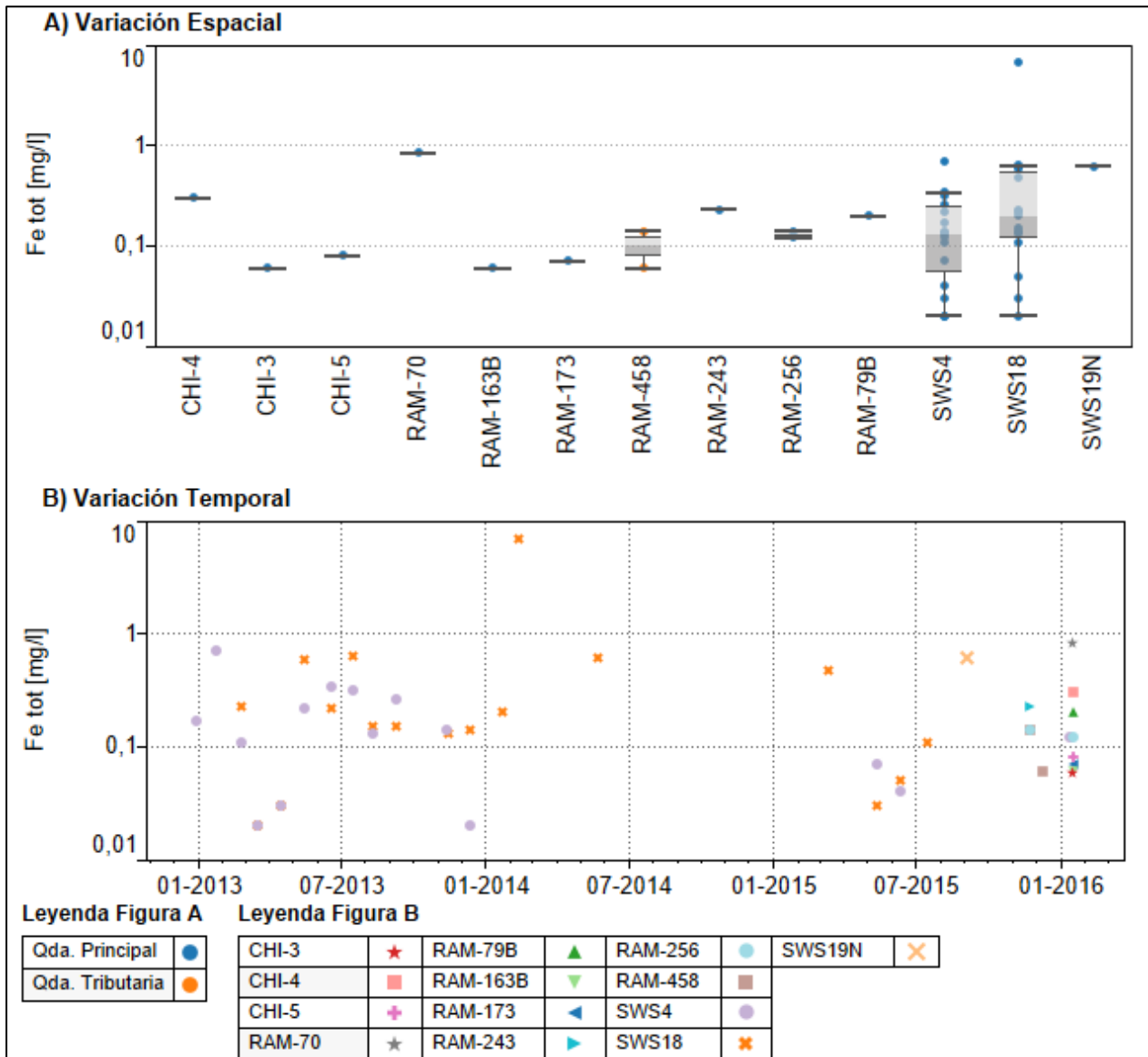
**Figura 3.2.9-115 Variación espacial y temporal de la concentración de cobre total en las aguas subterráneas del Sector Ramucho - Choja. En la figura A), las estaciones se encuentran ordenadas en el sentido del escurrimiento.**



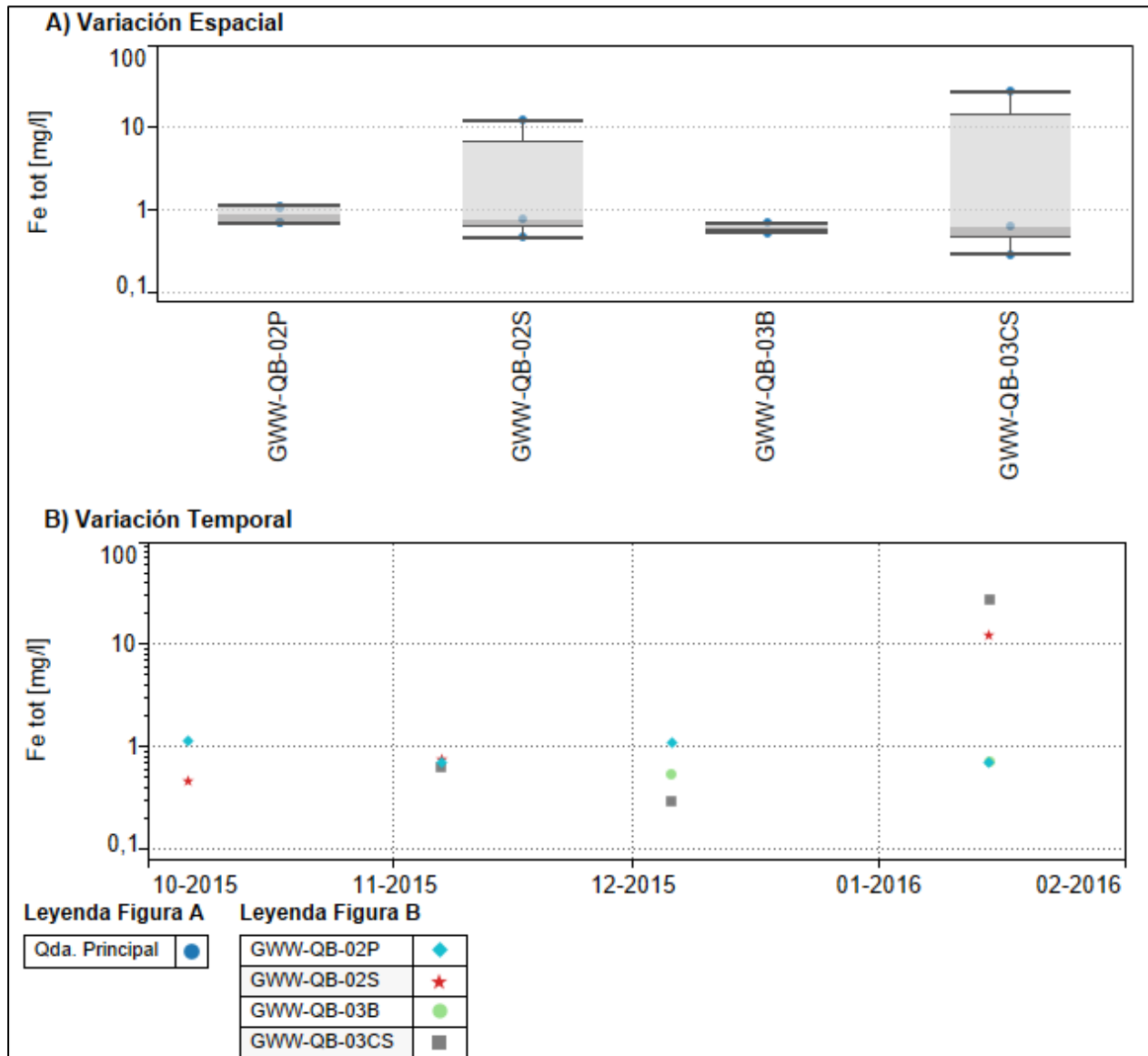
**Figura 3.2.9-116 Variación espacial y temporal de la concentración de hierro disuelto en las aguas superficiales del Sector Ramucho - Choja. En la figura A), las estaciones se encuentran ordenadas en el sentido del escurrimiento.**



**Figura 3.2.9-117 Variación espacial y temporal de la concentración de hierro total en las aguas superficiales del Sector Ramucho - Choja. En la figura A), las estaciones se encuentran ordenadas en el sentido del escurrimiento.**



**Figura 3.2.9-118 Variación espacial y temporal de la concentración de hierro total en las aguas subterráneas del Sector Ramucho - Choja. En la figura A), las estaciones se encuentran ordenadas en el sentido del escurrimiento.**





## f) Sector Huinquantipa - Ornajuno

El detalle de las estaciones de calidad de agua existentes en el Sector Huinquantipa – Ornajuno se presenta en la Figura 3.2.9-119 y en la Tabla 3.2.9-21. Cabe destacar que la información considera registros de la estación fluviométrica río Guatacondo en Copaquire (en adelante, estación DGA) y de puntos de monitoreo pertenecientes a CMDIC, además de los monitoreos realizados por CMTQB. Se debe mencionar que de acuerdo a la información existente para las coordenadas del punto MAH-01 (perteneciente a CMDIC), éste se ubica en una ladera del borde norte de quebrada Huinquantipa, a unos 200 m del eje central de la quebrada. Sin embargo, de acuerdo a CMDIC<sup>1</sup> (2016) dicho punto se encuentra emplazado en la quebrada Huinquantipa, por lo que así fue considerado en la descripción de la calidad de agua presentada en esta sección.

En lo que respecta a la información de la estación DGA, se ha considerado la utilización de la información existente a partir de 1994, debido a que la previa (se cuenta con registros desde 1977) presenta poca continuidad y algunas inconsistencias, de acuerdo a la evolución histórica de las concentraciones medidas en diferentes parámetros.

En la subcuenca de la quebrada Huinquantipa, aguas arriba del Sector Huinquantipa – Ornajuno se encuentran dos yacimientos mineros (Rosario y Huinquantipa), ambos propiedad de CMDIC. Cabe señalar que entre 1997 y comienzos de 1999 se desarrolló la etapa de construcción del Proyecto Collahuasi, comenzando su operación comercial en abril de 1999 (Sitio web CMDIC). Adicionalmente, se debe destacar que existe un compromiso por parte de CMDIC de mantener los caudales de la quebrada Huinquantipa dentro de su rango normal, mediante la descarga de un flujo de restitución aguas arriba de la estación QDH-2, de 9 l/s entre diciembre y marzo, y 1 l/s el resto del año (ver acápite 3.2.7).

Por otra parte, la presencia de la Formación Tolar Miembro 2 (de ahora en más, Formación Tolar) coincide e influenciaría la existencia de diferencias en la calidad de las aguas superficiales y subterráneas en este Sector. Esto se aprecia en la calidad del agua de quebrada Ornajuno (desde la estación TUB-HG) y en quebrada El Chilcar, a partir del pozo RAC-GWQ-HG-03P hacia aguas abajo, fundamentalmente en la concentración de sulfato. Considerando lo anterior, los resultados fueron diferenciados en dos tramos, dentro de cada uno de los cuales la calidad del agua presenta características relativamente uniformes. Cabe destacar que en este Sector, la quebrada principal cambia de nombre en tres puntos (ver Figura 3.2.9-119). En el tramo ubicado aguas arriba de la Formación Tolar se denomina Huinquantipa, pero aguas abajo es reconocida como El Chilcar, Copaquire y Guatacondo. Por ende, para facilitar el desarrollo del texto, en la descripción del tramo de aguas abajo se la refirió como quebrada principal, salvo que se requiriera mencionar la ubicación de alguna estación particular, para lo que se utilizó el nombre de la quebrada en ese punto en específico.

---

<sup>1</sup> [http://www.collahuasi.cl/espanol2/monitoreo\\_ambiental/rosario-MAH.cu.asp](http://www.collahuasi.cl/espanol2/monitoreo_ambiental/rosario-MAH.cu.asp)

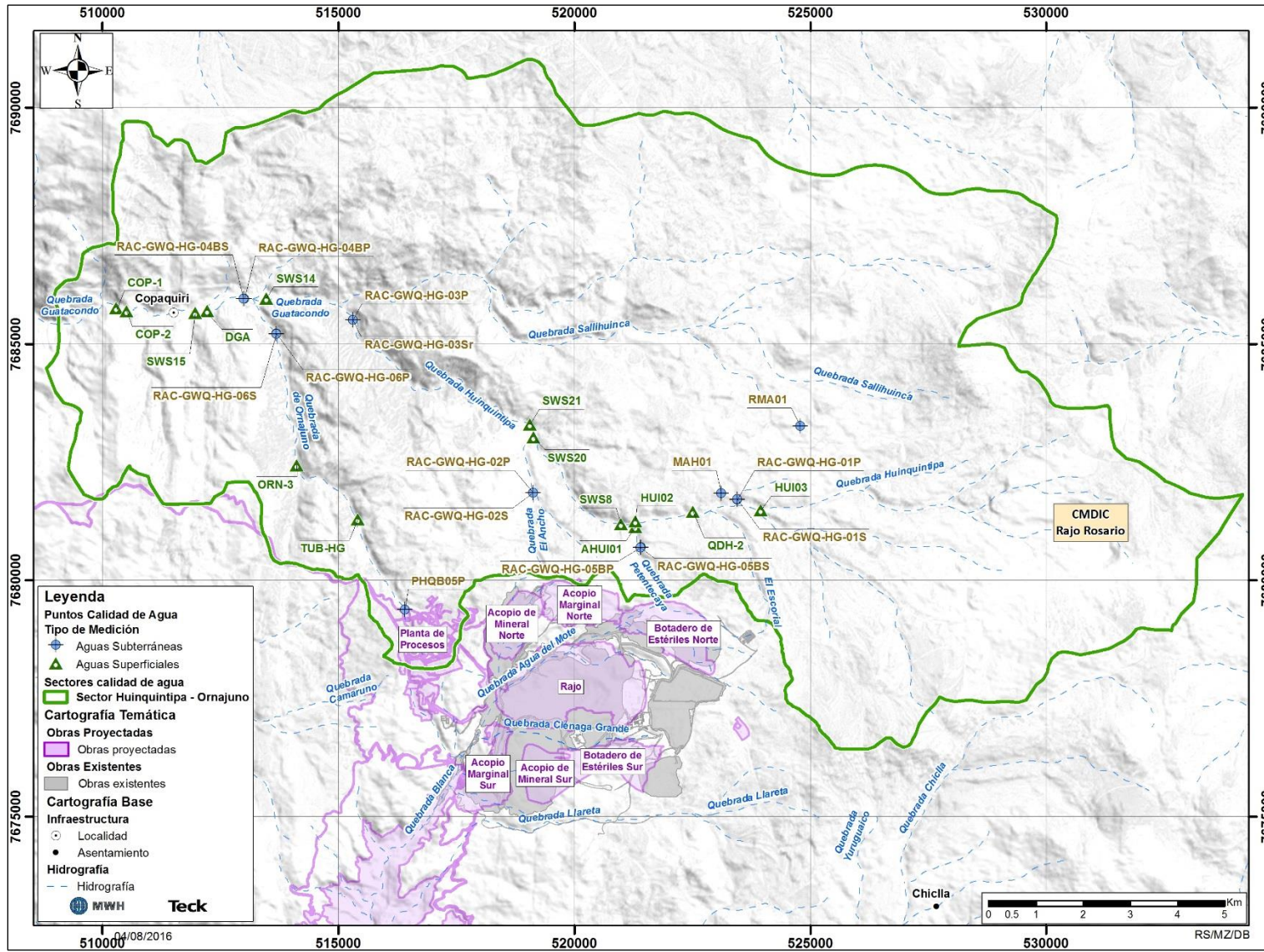
La ubicación de la Formación Tolar es indicada en la Figura 3.2.9-156. La distribución de los puntos de monitoreo es especificada en la Tabla 3.2.9-21.

**Tabla 3.2.9-21. Estaciones de monitoreo en Sector Huinquentipa - Ornajuno.**

Nombre	DATUM WGS84, H19S			Tipo de Agua	Ubicación	Periodo con registros válidos
	Este (m)	Norte (m)	Elevación (m s.n.m.)			
HUI03	523.955	7.681.481	4.325	Superficial	Qda. Huinquentipa	2011 - 2015
RAC-GWQ-HG-01P	523.453	7.681.706	4.304	Subterránea		2014 - 2015
RAC-GWQ-HG-01S	523.452	7.681.710	4.306	Subterránea		2015
MAH01*	523.115	7.681.838	4.307	Subterránea		2003 - 2015
QDH-2*	522.515	7.681.453	4.289***	Superficial		1997 - 2012
HUI02	521.293	7.681.248	4.220	Superficial		2012 - 2015
RAC-GWQ-HG-05BP	521.412	7.680.698	4.286	Subterránea	Qda. Petentecaya	2015
RAC-GWQ-HG-05BS	521.405	7.680.685	4.283	Subterránea		2015
AHUI01	521.298	7.681.129	4.236	Superficial		2012 - 2013
SWS8	520.990	7.681.189	4.218	Superficial	Qda. Huinquentipa	2012 - 2015
SWS20	519.133	7.683.028	4.082	Superficial		2013
RAC-GWQ-HG-02P	519.125	7.681.848	4.172	Subterránea	Qda. el Ancho	2015
RAC-GWQ-HG-02S	519.126	7.681.843	4.175	Subterránea		2015
SWS21	519.060	7.683.296	4.080	Superficial	Qda. Huinquentipa	2013
RAC-GWQ-HG-03P	515.307	7.685.505	3.650	Subterránea	Qda. el Chilcar	2015
RAC-GWQ-HG-03Sr	515.306	7.685.503	3.652	Subterránea		2015
RMA01*	524.795	7.683.261	4.398	Subterránea	Qda. Sallihuinca	2006 - 2015
SWS14	513.471	7.685.963	3.553	Superficial	Qda. Copaquire	2013 - 2015
PHQB05P	516.411	7.679.374	4.243	Subterránea	Qda. Ornajuno	2013 - 2015
TUB-HG	515.414	7.681.292	4.073***	Superficial		2015
ORN-3	514.119	7.682.432	3.897***	Superficial		2016
RAC-GWQ-HG-06P	513.682	7.685.220	3.616	Subterránea		2015
RAC-GWQ-HG-06S	513.684	7.685.205	3.616	Subterránea		2015
RAC-GWQ-HG-04BP	513.007	7.685.954	3.059	Subterránea		Qda. Copaquire
RAC-GWQ-HG-04BS	512.990	7.685.956	3.059	Subterránea	2015	
DGA**	512.130	7.685.196	3.540	Superficial	Qda. Guatacondo	1977 - 2015
SWS15	511.965	7.685.658	3.538	Superficial		2013 - 2015
COP-2	510.507	7.685.696	3.478***	Superficial		2016
COP-1	510.286	7.685.756	3.462***	Superficial		2016

\* Información procedente de CMDIC. \*\* Información de DGA. \*\*\* Cota estimada a partir de Google Earth.

Figura 3.2.9-119 Sector Huinquentipa – Ornajuno.



Fuente: Elaboración propia.

## pH

En la Figura 3.2.9-120 y Figura 3.2.9-121 se presentan la variación espacial y temporal del pH de las aguas superficiales y subterráneas del Sector Huiniquintipa-Ornajuno, respectivamente. Cabe destacar que debido a la extensión de los nombres de los pozos, han sido considerados nombres resumidos en las figuras. Así, por ejemplo, el pozo RAC-GWQ-HG-04BS ha sido denominado como HG-04BS.

En lo que respecta a las **aguas superficiales**, el pH es relativamente uniforme a lo largo del Sector Huiniquintipa-Ornajuno. En el tramo ubicado aguas arriba de la Formación Tolar, la mediana varía entre 7,9 UpH y 8,1 UpH entre las estaciones HUI03 y SWS8 (considerando los registros de QDH-2 a partir de 2005), aumentando levemente en las estaciones SWS20 y SWS21, con medianas iguales a 8,4 UpH y 8,3 UpH, respectivamente, aunque ambas tienen solamente tres registros (dado que han estado principalmente secos). El rango de variación del pH ha correspondido a 4,6 UpH – 8,5 UpH, aunque la mayoría de los registros han sido superiores a 6,9 UpH.

En el tramo influenciado por la presencia de la Formación Tolar, el pH también ha presentado valores medios en el límite de aguas moderadamente alcalinas y aguas neutras, con una mediana igual a 8 UpH en la quebrada principal (desde la estación SWS14, hacia aguas abajo) y a 8,1 UpH en los dos registros disponibles en quebrada Ornajuno. El rango de variación en este tramo ha correspondido a 3,3 UpH – 9,4 UpH. Sin embargo, descontando los valores puntuales fuera de rango, los registros generalmente varían en torno a 7,2 UpH – 8,9 UpH.

Las estaciones QDH-2 y DGA presentan registros previos a 2012. En la primera, se aprecia la existencia de un aumento del pH medio entre 1997-2004 (7,4 UpH) y 2005-2012 (7,9 UpH), con registros mínimos enero y abril de 2004 del orden de 5,3 UpH. La serie de registros de la estación DGA también muestra un leve incremento entre el período previo a 2005 (1995-2004, pH igual a 8,0 UpH) y el posterior (2005-2015, pH igual a 8,3 UpH), aunque no existe una tendencia marcada de largo plazo, verificándose algunos períodos acotados de incremento paulatino del pH (por ejemplo, abril 2000 – abril 2004). No se aprecian coincidencias con la estación QDH-2 en cuanto a bajas importantes del pH durante 2004.

En la zona alta, la evolución del pH, fue similar (ver Figura 3.2.9-120) en el período 2012 – 2015, con periodos acotados con tendencias leves al alza (diciembre de 2012 a mayo de 2013, por ejemplo) y a la baja (septiembre de 2015 a diciembre de 2015) en la mayoría de las estaciones. La información disponible indica que dichas variaciones aparentemente no corresponderían a cambios estacionales. Respecto al tramo influenciado por la Formación Tolar, se aprecia en la estación SWS15 una mayor estabilidad en los registros de pH que en las estaciones descritas anteriormente, principalmente a partir de marzo de 2015.

Respecto a las **aguas subterráneas**, en el tramo aguas arriba de la Formación Tolar se cuenta con estaciones en cuatro quebradas diferentes (ver Tabla 3.2.9-21). Descontando a los pozos

con mayor extensión de registros (MAH01 y RMA01), el pH es uniforme, con registros mayoritariamente en rangos de aguas neutras y medianas del pH para cada pozo variando entre 7,2 UpH y 7,6 UpH. Los registros extremos correspondieron a 4,4 UpH y 10 UpH, ambos medidos en el pozo RAC-GWQ-HG-05BS. Cabe destacar que en ambos casos los valores están fuera del rango común de variación del pH en dicho pozo y que podrían estar asociados al proceso de estabilización del mismo. En los pozos restantes, MAH01 ha presentado, en términos medios, aguas moderadamente alcalinas, variando normalmente en el rango 8 UpH – 9 UpH, mientras que RMA01 ha presentado valores relativamente uniformes variando en torno a 7 UpH, aunque su máximo registro está fuera de la tendencia regular del pozo, alcanzando 12,2 UpH (registro coincidente con la máxima CE en diciembre de 2008).

En el tramo influenciado por la Formación Tolar, el pH es similar al de los pozos ubicados aguas arriba. Las medianas de los pozos ubicados en este subsector varían en el rango 7,3 UpH – 7,8 UpH, con un rango de variación de los registros correspondiente a 6,2 UpH – 8,0 UpH. Los registros asociados a los pozos ubicados en quebrada Ornajuno son levemente superiores a los de los pozos restantes.

La variación temporal del pH en quebrada Huinquentipa (pozo MAH01) muestra registros durante 2003 y 2004 menores a la tendencia histórica, variando en torno a 6 UpH – 8 UpH. A partir de 2004 el pH fue relativamente uniforme, aunque su variación presentó una aparente componente estacional, con valores medios mensuales máximos durante junio (8,5 UpH) y mínimos entre septiembre y diciembre (8,0 UpH – 8,1 UpH). En la campaña de monitoreo común con los pozos restantes (marzo, 2015), el pozo MAH01 presentó un pH superior entre 0,8 y 1,5 unidades de pH. En quebrada Ornajuno (pozo PHQB05P) hubo una disminución abrupta del pH entre agosto de 2013 (pH máximo, igual a 9,8 UpH) y diciembre de 2013 (pH igual a 7,5 UpH), que podría relacionarse con el proceso de estabilización del pozo. Desde enero de 2014 en adelante el pH ha variado en un rango similar al pH de los pozos restantes (6,6 UpH – 8,0 UpH).

El párrafo anterior hace referencia a la variación histórica en pozos con información previa a 2015. Respecto a los pozos restantes, que cuentan con mediciones a partir de diciembre de 2014, se observa inestabilidad en los registros durante los primeros meses en que los pozos se encontraron operativos, lo que podría deberse a que se encontraban en proceso de estabilización. En este período se verificaron los valores mínimo y máximo registrados.

### Conductividad eléctrica

En la Figura 3.2.9-122 y Figura 3.2.9-123 se presenta la variación espacial y temporal de la CE de las aguas superficiales y subterráneas del Sector Huinquentipa - Ornajuno, respectivamente.

Con la excepción de los puntos ubicados en quebrada Guatacondo (COP-1 y COP-2), las **aguas superficiales** del Sector Huinquentipa - Ornajuno presentan características de agua dulce y levemente salina, no superando ningún registro de CE de la serie histórica los 1.700  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

En el tramo ubicado aguas arriba de la Formación Tolar, la mediana de la conductividad eléctrica ha variado en el rango 600  $\mu\text{S/cm}$  – 800  $\mu\text{S/cm}$ , con una tendencia creciente hacia aguas abajo. Los máximos registros del período común de mediciones (desde 2013 en adelante) fueron iguales a 1.210  $\mu\text{S/cm}$  y 1.140  $\mu\text{S/cm}$  (estaciones HUI02 y SWS8, respectivamente, durante campaña de enero de 2014), aunque la máxima CE medida corresponde a 1.630  $\mu\text{S/cm}$ , siendo registrado en la estación QDH-2 en 2004. Los registros mínimos se verificaron en quebrada Petentecaya (estación AHUI01), presentando una mediana igual a 551  $\mu\text{S/cm}$ .

En el tramo bajo, donde se ubica la Formación Tolar, la CE se incrementa respecto a los registros de aguas arriba. Considerando hasta la estación DGA, las medianas han variado en el rango 1.060  $\mu\text{S/cm}$  – 1.120  $\mu\text{S/cm}$ , habiendo sido medido en la estación DGA el valor máximo, durante 2012. Hacia aguas abajo existe un incremento significativo de la CE, correspondiendo el registro disponible de la estación COP-2 a 3.180  $\mu\text{S/cm}$ .

Respecto a la variación temporal, la estación QDH-2 presenta períodos con diferentes evoluciones de la CE, posiblemente relacionados con la restitución de aguas ahí existente. Dentro de las características principales de dicha evolución, se destacan que entre 1997 y 1998 varió en el rango 389  $\mu\text{S/cm}$  – 879  $\mu\text{S/cm}$ , enero de 2004 presentó su valor máximo (1.680  $\mu\text{S/cm}$ ) y posteriormente, desde octubre de 2004, hasta 2012, tuvo una tendencia creciente, desde valores en torno a 300  $\mu\text{S/cm}$ , a registros del orden de 1.000  $\mu\text{S/cm}$ . Cabe señalar que los valores máximos en los períodos en los que se concentra la información existente, se han sucedido durante el período de verano (enero – marzo). Los registros de la estación DGA también presentaron valores irregulares hasta 1998, variando en torno a 1.300  $\mu\text{S/cm}$ . Posteriormente, hubo un decremento de la concentración entre 2000 y 2001, manteniéndose en forma posterior en valores relativamente uniformes, con una leve tendencia al incremento, desde valores en torno a 1.000  $\mu\text{S/cm}$  (2001), hasta registros del orden de 1.200  $\mu\text{S/cm}$  (2015). No se verificaron registros particularmente altos de la CE durante 2004.

En cuanto al período 2012-2015, la CE ha presentado una aparente tendencia estacional en el tramo alto, con valores máximos durante la época de verano (diciembre – marzo), correspondiendo los máximos del período a enero de 2014. En el tramo ubicado en torno a la Formación Tolar las concentraciones han sido uniformes en el tiempo.

Por otra parte, las **aguas subterráneas**, en el tramo alto (aguas arriba de la Formación Tolar) la conductividad máxima registrada correspondió a 6.640  $\mu\text{S/cm}$  (pozo RMA01, diciembre de 2008), valor fuera de la tendencia regular del pozo (300  $\mu\text{S/cm}$  – 400  $\mu\text{S/cm}$ ) y que respondería a condiciones particulares de la campaña de monitoreo. Descontando este valor, todos los registros de CE en este tramo han correspondido a aguas dulces y levemente salinas, con un rango de variación igual a 193  $\mu\text{S/cm}$  - 1.922  $\mu\text{S/cm}$ , donde el valor mínimo fue medido en quebrada Petentecaya (pozo RAC-GWQ-HG-05BS), mientras que el máximo correspondió a quebrada Huiquintipa (pozo MAH01). Cabe señalar que los mayores registros promedios se presentan en quebrada Huiquintipa, siendo del orden de 800  $\mu\text{S/cm}$  (pozo RAC-GWQ-HG-01S), valor similar al verificado en las aguas superficiales.

En el tramo ubicado hacia aguas abajo se aprecia un incremento en la concentración de sales disueltas. En los pozos ubicados en la quebrada principal, la CE ha variado en el rango 950  $\mu\text{S/cm}$  – 1.050  $\mu\text{S/cm}$ , valores levemente inferiores a los registrados en la estación de monitoreo superficial SWS15 (mediana igual a 1.120  $\mu\text{S/cm}$ ), ubicada en torno a los pozos RAC-GWQ-HG-04BP y RAC-GWQ-HG-04BS. Los máximos valores de CE se presentan en quebrada Ornajuno: medianas iguales a 1.855  $\mu\text{S/cm}$  en el pozo somero (RAC-GWQ-HG-06S) y 3.160  $\mu\text{S/cm}$  en el profundo (RAC-GWQ-HG-06P). En este último se verificaron, además, los registros máximos puntuales (4.740  $\mu\text{S/cm}$  y 4.800  $\mu\text{S/cm}$ ), correspondiendo ambos a condiciones particulares verificadas en las campañas de septiembre y noviembre de 2015, en las que hubo un incremento de la CE en torno a 1.500  $\mu\text{S/cm}$  respecto a los registros previos.

Los pozos con registros previos a 2015, ubicados en diferentes subcuencas, presentan una variación histórica diferente: El pozo MAH01 presentó una tendencia decreciente entre 2003 y 2005, variando posteriormente, hasta la actualidad, en el rango 600  $\mu\text{S/cm}$  – 1.000  $\mu\text{S/cm}$ , con una leve tendencia creciente hasta 2012. El máximo registro se verificó durante abril de 2013; el pozo RMA01 ha presentado registros uniformes en el tiempo, variando en el rango 200  $\mu\text{S/cm}$  – 400  $\mu\text{S/cm}$ , con la excepción del período diciembre 2008 – marzo 2009, en el que se produjo un incremento alcanzando el valor máximo de la CE, superior a 6.000  $\mu\text{S/cm}$ . El pozo PHQB05P presentó un leve incremento entre 2013 y los primeros meses de 2014, manteniéndose posteriormente la mayoría de los registros variando en torno a 350  $\mu\text{S/cm}$ .

En algunos pozos con registros desde 2014 se observan algunas tendencias crecientes o decrecientes en los primeros meses de operación de los pozos, posiblemente por su proceso de estabilización (por ejemplo, pozos RAC-GWQ-HG-01S y RAC-GWQ-HG-01P). Por otra parte, se destaca un significativo incremento de la CE durante las campañas de septiembre y noviembre de 2015 en el pozo RAC-GWQ-HG-06P, el que es coincidente con un incremento en la concentración de macroelementos tales como el sulfato y el cloruro.

### Sulfato

En la Figura 3.2.9-124 y Figura 3.2.9-125 se presentan la variación espacial y temporal de la concentración de sulfato en las aguas superficiales y subterráneas del Sector Huiniquintipa-Ornajuno, respectivamente.

Respecto a las **aguas superficiales**, en el tramo de aguas arriba de la Formación Tolar la concentración de sulfato es relativamente uniforme variando la mediana de las diferentes estaciones de monitoreo 60 mg/l – 90 mg/l, salvo en la estación QDH-2, que presenta concentraciones superiores (mediana igual a 124 mg/l). El rango de los registros puntuales ha correspondido a 25 mg/l (estación HUI-02) - 1.020 mg/l (QDH-2). Considerando exclusivamente el período común de mediciones, las máximas concentraciones se alcanzaron en forma simultánea en las estaciones HUI03, HUI02 y SWS8 durante la campaña de diciembre de 2015, estando todas en torno a 200 mg/l.

En el tramo de aguas abajo de la Formación Tolar se verificó un incremento en la concentración de sulfato, respecto a los valores descritos en el párrafo previo. Hasta la estación DGA, las medianas de los registros varían en el rango 300 mg/l – 400 mg/l. Sin embargo, en las estaciones COP-1 y COP-2 se verificó un incremento mayor, alcanzando este último una concentración igual a 1.760 mg/l.

En cuanto a la evolución temporal de la concentración de sulfato en la estación QDH-2, ésta fue similar a la de la CE, destacando una variación irregular entre 1997 y 1998 (rango igual a 55 mg/l - 288 mg/l), la obtención del máximo histórico enero de 2004 (1.020 mg/l) y una aparente tendencia creciente a partir de octubre de 2004. La estación DGA presenta una concentración de sulfato que entre 1995 y 1998 varió en el rango 380 mg/l – 700 mg/l. A partir de 1999 se acotó su rango de variación (300 mg/l – 450 mg/l). Cabe destacar que el mínimo histórico (198 mg/l) se presentó en agosto de 2015, el que no se vio reflejado en estaciones cercanas.

Entre 2012 y 2015, el agua superficial en quebrada Huinquentipa (entre puntos HUI03 y SWS8) presentó una aparente tendencia estacional, con valores máximos durante el verano (diciembre – marzo) y mínimos en invierno (julio – agosto), siendo esto más patente en HUI03, con mayor continuidad en sus registros. También es apreciable un leve descenso en la concentración de sulfato entre 2012 y 2014. Hacia aguas abajo, en SWS14 se verificó un leve aumento durante 2013, mientras que la estación SWS15, con mayor continuidad en la información, ha presentado concentraciones relativamente uniformes en el tiempo, variando en el rango 300 mg/l – 400 mg/l.

Las **aguas subterráneas** también presentan una distribución espacial de la concentración de sulfato similar a la de la CE. En el tramo ubicado aguas arriba de la Formación Tolar fue medida la concentración máxima, correspondiente a 360 mg/l en el pozo MAH01. En quebrada Huinquentipa fueron medidas además los máximos valores medios, en los pozos RAC-GWQ-HG-01S (mediana igual a 290 mg/l) y MAH01 (110 mg/l), superiores a los registros de sulfato de las aguas superficiales en torno a dichos pozos. Por otra parte, se destaca que los pozos profundos ubicados en las quebradas afluentes presentan concentraciones similares entre sí, del orden de 60 mg/l.

Hacia aguas abajo hay un incremento de la concentración de sulfato. En la quebrada Principal, desde el pozo RAC-GWQ-HG-03P, los valores medios varían en el rango 300 mg/l – 450 mg/l, siendo similares los registros de los pozos RAC-GWQ-HG-04S y RAC-GWQ-HG-04P y los de la estación superficial SWS15. Las concentraciones máximas fueron medidas en quebrada Ornajuno, con un valor máximo igual a 2.170 mg/l (pozo RAC-GWQ-HG-06P). Tal como fue descrito con la CE, hay diferencias en la calidad de las aguas subterráneas someras y profundas en quebrada Ornajuno.

Respecto a la variación temporal de la concentración de sulfato, el pozo MAH01 presentó un descenso durante el primer período con registros (2003-2005), similar al verificado para la CE, en el que se alcanzó la concentración máxima (360 mg/l, abril 2003). Posteriormente, los registros han sido relativamente uniformes, variando regularmente en el rango 70 mg/l – 150 mg/l. El pozo RMA01, en tanto, ha presentado una tendencia levemente creciente entre 2006 y 2014, con una



concentración máxima igual a 168 mg/l (marzo 2009). El pozo PHQB05P presenta una muy leve tendencia creciente en el tiempo, aunque regularmente las concentraciones han variado en el rango 50 mg/l – 100 mg/l. Cabe destacar que durante 2015 se verificaron tres registros superiores a 100 mg/l.

En lo que respecta a la variación en la concentración de sulfato en los pozos con registros durante 2015, descontando las variaciones durante los primeros meses con registros, las mayores variaciones se han verificado en el pozo RAC-GWQ-HG-06P, en el que hubo un aumento desde valores en torno a 1.350 mg/l previos a junio, a 1.700 mg/l a partir de julio, con registros máximos en las campañas de septiembre y noviembre (superiores a 2.000 mg/l), coincidentes con los máximos verificados para la CE.

### Cloruro

En la Figura 3.2.9-126 y Figura 3.2.9-127 se presentan la variación espacial y temporal de la concentración de cloruro en las aguas superficiales y subterráneas del Sector Huinquentipa - Ornajuno, respectivamente.

En lo que respecta a las **aguas superficiales**, en el tramo de aguas arriba la concentración de cloruro presenta un incremento leve hacia aguas abajo en quebrada Huinquentipa, considerando los registros desde 2012 en adelante. Las máximas concentraciones de cloruro en este tramo han sido cercanas a 200 mg/l (QDH-2, HUI02 y SWS8), mientras que las menores corresponden a quebrada Petentencaya, siendo la mediana en la estación AHUI01 igual a 25 mg/l.

A diferencia de lo verificado con la concentración de sulfato y la CE, la concentración de cloruro disminuye aguas abajo de la quebrada Sallihuinca, variando en el rango 50 mg/l – 70 mg/l en quebrada Ornajuno y hacia aguas abajo en la quebrada principal. La estación DGA presenta registros históricos superiores (máximo igual a 92 mg/l, en agosto de 2007), aunque su mediana corresponde a 51 mg/l.

Respecto a la variación histórica, la concentración de cloruro varió en el rango 10 mg/l – 61 mg/l en QDH-2 (mediana igual a 37 mg/l) en el período 1997-1998. Dicho rango es levemente superior al rango de la estación DGA durante 1994-1998 (40 mg/l – 62 mg/l, con una mediana igual a 43 mg/l). Durante 2000, la estación QDH-2 tuvo un período decreciente y a partir de 2004 presenta un incremento sostenido desde 5 mg/l (enero 2004), hasta 159 mg/l (diciembre 2012). La estación DGA, en tanto, presenta registros variando en el rango 50 mg/l – 70 mg/l a partir de 1999, destacando una leve tendencia creciente ente 2009 y 2012.

Existe una aparente variación estacional de la concentración de cloruro en el período 2012-2015 en quebrada Huinquentipa, con máximos que regularmente se alcanzan durante los meses de verano (con la excepción de la concentración medida durante junio de 2013 en la estación HUI03, igual a 79 mg/l, que correspondió a la máxima anual) y mínimos que, al menos en HUI03, normalmente se alcanzan durante los meses de otoño e invierno. Hacia aguas abajo, en el tramo

de quebrada Copaquire (estación SWS14) hubo una tendencia creciente durante 2013, mientras que en quebrada Guatacondo (SWS15) no se aprecia la existencia de tendencias temporales.

En lo que respecta a las **aguas subterráneas**, las máximas concentraciones de cloruro del tramo ubicado aguas arriba de la Formación Tolar corresponden al pozo MAH01. En dicho pozo, la concentración mínima registrada (80 mg/l) es superior a la máxima de todos los restantes pozos, salvo RMA01 (121 mg/l, marzo de 2009). La máxima concentración de cloruro en MAH01 ha correspondido a 501 mg/l, presentando una mediana de 119 mg/l. Las medianas en los otros pozos ubicados en este subsector han variado en el rango 10 mg/l – 60 mg/l.

En el tramo influenciado por la Formación Tolar, en la quebrada principal la concentración de cloruro aumenta en forma leve aguas abajo de la junta con quebrada Ornajuno, con registros que varían en el rango 50 mg/l – 70 mg/l en los pozos RAC-GWQ-HG-04BS y RAC-GWQ-HG-04BP, valores similares a los de las aguas superficiales. En quebrada Ornajuno, la concentración de cloruro del pozo profundo es superior a la concentración del somero, presentando una mediana igual a 99 mg/l y registros máximos en torno a 350 mg/l (asociados a condiciones particulares en las campañas de septiembre y noviembre de 2015, en la estación RAC-GWQ-HG-06P).

Respecto a la variación temporal de la concentración de cloruro, en el pozo MAH01 ésta ha sido similar a la descrita para el sulfato, con un descenso entre 2003 y 2004 y leves cambios posteriores, con un rango de variación regular de 100 mg/l – 150 mg/l y una concentración máxima, igual a 501 mg/l, alcanzada durante abril de 2013, coincidente con la fecha de la máxima CE. La concentración de cloruro en el pozo RMA01 ha variado regularmente entre 20 mg/l y 60 mg/l. El valor máximo (121 mg/l, marzo de 2009) coincidió con el máximo sulfato y se presentó en la campaña de monitoreo posterior a la máxima CE. El pozo PHQB05P, en tanto, no ha mostrado tendencias temporales.

La variación temporal de la concentración de cloruro en los pozos con registros desde 2015 en general es poco significativa, dados los acotados rangos en que éste se ha presentado. Así, los principales cambios verificados corresponden a los incrementos en las campañas de septiembre y noviembre en el pozo HG-06P (incrementos desde valores en torno a 100 mg/l a registros del orden de 350 mg/l), coincidentes con incrementos ya descritos para la CE y el sulfato.

### Cobre disuelto

En la Figura 3.2.9-128 y Figura 3.2.9-129 se presentan la variación espacial y temporal de la concentración de cobre disuelto en las aguas superficiales y subterráneas del Sector Huiniquinta - Ornajuno, respectivamente.

Respecto a las **aguas superficiales**, en el tramo de aguas arriba de la Formación Tolar, las máximas concentraciones se presentaron en las estaciones HUI03 y QDH-2 (medianas en torno a 0,1 mg/l), decreciendo en un orden de magnitud hacia aguas abajo (medianas en el rango 0,01 mg/l – 0,02 mg/l entre las estaciones HUI02 y SWS20). La concentración máxima correspondió a 96 mg/l (registro puntual en estación QDH-2), aunque si se considera el período común de

registros, 2012-2015, ésta fue igual a 0,5 mg/l (estación HUI03). La estación AHUI01 presentó las menores concentraciones en este tramo, variando los registros en el rango 0,0002 mg/l – 0,01 mg/l.

Hacia aguas abajo se produce un descenso en la concentración de cobre disuelto en la quebrada principal, variando la mediana de la concentración en torno a 0,005 mg/l, aunque los máximos registros en SWS14 y SWS15 correspondieron a 0,6 mg/l y 0,3 mg/l, respectivamente. No se cuenta con registros de cobre disuelto validados en quebrada Ornajuno, ni en las estaciones COP-1 y COP-2, de acuerdo a los criterios QA/QC señalados en Acápite 3.2.9.4.2.

La concentración de cobre disuelto en la estación QDH-2 presentó una evolución similar a la evolución de la CE entre 1998 y 2004. Dentro de ésta se destacan el rango de variación de 1998, correspondiente a 0,09 mg/l – 0,2 mg/l, y los máximos de febrero de 2000 (1,1 mg/l) y enero de 2004 (96 mg/l). En esta última campaña también se verificó la máxima concentración de sulfato. Posteriormente, se cuenta con cuatro registros, el último del año 2006.

Considerando el período 2012-2015, aunque no hay una tendencia estacional, se destaca que los valores máximos anuales en la estación HUI03 se han producido durante el período de verano, mientras que las concentraciones mínimas se produjeron en las últimas campañas con registros, entre octubre y diciembre de 2015. Además, se observa una aparente tendencia decreciente en el tiempo, a escala interanual. En las estaciones restantes no se aprecia la existencia de una tendencia temporal de los registros, aunque en HUI02, desde el verano 2013-2014, las máximas concentraciones se han producido también durante el período de verano.

En cuanto a las **aguas subterráneas**, en el tramo aguas arriba de la Formación Tolar, ha existido un amplio rango de variación en la concentración de cobre disuelto, en 5 órdenes de magnitud, entre <0,0002 mg/l – 1,3 mg/l, habiendo sido las máximas concentraciones medidas en los pozos RAC-GWQ-HG-05BS y PHQB05P. Las medianas máxima y mínima corresponden a los pozos RAC-GWQ-HG-01S (0,02 mg/l) y RAC-GWQ-HG-01P (0,002 mg/l), respectivamente.

Hacia aguas abajo, la concentración de cobre disuelto presenta mayor homogeneidad, variando los registros en el rango 0,001 mg/l (RAC-GWQ-HG-04BS) – 0,6 mg/l (RAC-GWQ-HG-03P), mientras que las medianas presentan una gran similitud, estando entre 0,011 mg/l y 0,012 mg/l. Estos valores implican un descenso en la concentración de cobre disuelto de las aguas subterráneas, respecto al pozo RAC-GWQ-HG-01S. Por otra parte, cabe destacar que dichas concentraciones son superiores a las de las estaciones superficiales SWS14 y SWS15.

Respecto a la tendencia temporal de los registros previos a 2015, en los pozos MAH01 y RMA01 no se cuenta con información actualizada, estando distribuidos los registros de los dos pozos entre 2003 y 2009 y en 2006, respectivamente. Ambos presentan mediciones que normalmente se mantuvieron en torno al límite de detección (0,01 mg/l). El pozo PHQB05P, en tanto, ha presentado aumentos significativos de la concentración de cobre disuelto a escala interanual: durante 2013 las concentraciones se concentraron en torno a 0,003 mg/l; en 2014 los valores medios fueron del orden de 0,03 mg/l; en 2015, en tanto, tuvieron un amplio rango de variación

(0,004 mg/l – 1,3 mg/l), con más del 30% de las concentraciones medidas en torno a 0,3 mg/l o superior.

En cuanto a la variación temporal de la concentración de cobre disuelto en los pozos con registros desde diciembre de 2014, la mayoría de estos presenta registros dispersos, sin tendencias temporales y con amplios rangos de variación. Por ejemplo, en el pozo RAC-GWQ-HG-01P la concentración de cobre disuelto disminuyó en 2 órdenes de magnitud entre diciembre de 2014 y mayo de 2015 y luego se recuperó. Por otra parte, se destaca que durante junio de 2015, considerando dos campañas diferentes de monitoreo, se presentaron las máximas concentraciones en cuatro pozos (entre ellas, el máximo del Sector Huiniquitipa - Ornajuno, en el pozo RAC-GWQ-HG-05BS).

### Cobre total

En la Figura 3.2.9-130 y Figura 3.2.9-131 se presentan la variación espacial y temporal de la concentración de cobre total en las aguas superficiales y subterráneas del Sector Huiniquitipa - Ornajuno, respectivamente.

Respecto a las **aguas superficiales**, en el tramo de aguas arriba de la Formación Tolar, las máximas concentraciones se presentaron en la estación QDH-2, con registros en el rango 0,05 mg/l – 4,7 mg/l y un valor puntual igual a 130 mg/l (enero de 2004), seguidos por los verificados en la estación HUI03, con un rango de variación más acotado (0,02 mg/l – 0,9 mg/l). Las restantes estaciones ubicadas en este tramo presentan registros un orden de magnitud menor, con valores medios en torno a 0,01 mg/l – 0,03 mg/l y una concentración máxima igual a 0,1 mg/l (estación SWS8).

En el tramo ubicado en torno a la Formación Tolar se han verificado concentraciones similares, aunque levemente inferiores, a las medidas en las estaciones ubicadas aguas abajo de QDH-2 y HUI03, con medianas en torno a 0,01 mg/l en las estaciones SWS14 y SWS15, aunque con registros máximos superiores (0,9 mg/l en SWS14 y 0,3 mg/l en SWS15).

En cuanto a las **aguas subterráneas**, en el tramo aguas arriba de la Formación Tolar ha existido un amplio rango de variación en la concentración de cobre total, en 4 órdenes de magnitud, entre 0,001 mg/l – 2,6 mg/l, habiendo sido las máximas concentraciones medidas en los pozos RAC-GWQ-HG-05BS y PHQB05P. Cabe destacar que los pozos profundos han presentado registros inferiores a los someros.

Hacia aguas abajo, en los pozos ubicados en torno a la Formación Tolar, también se han diferencias significativas entre los registros máximo y mínimo (1,5 mg/l en pozo RAC-GWQ-03P y 0,004 mg/l en pozo RAC-GWQ-04BS, respectivamente), aunque hay mayor homogeneidad en los registros, variando las medianas de los pozos entre 0,02 mg/l y 0,06 mg/l, correspondiendo el máximo al pozo RAC-GWQ-03P.

Respecto a la variación temporal, el pozo PHQB05P ha presentado aumentos significativos de la concentración de cobre total a escala interanual, tal como fue descrito para la concentración de cobre disuelto. Además, se destaca que las máximas concentraciones anuales normalmente se han producido en el período otoño – invierno, lo que se ha verificado en el pozo PHQB05P, en MAH01 y los pozos en operación desde diciembre de 2014.

### Hierro disuelto

En la Figura 3.2.9-132 y Figura 3.2.9-133 se presentan la variación espacial y temporal de la concentración de hierro disuelto en las aguas superficiales y subterráneas del Sector Huiniquintipa – Ornajuno, respectivamente.

En el tramo de aguas arriba de la Formación Tolar, la concentración máxima de hierro disuelto ha correspondido a 0,6 mg/l (estación HUI03). En este tramo la concentración media de hierro disuelto ha sido relativamente uniforme, variando en torno a 0,1 mg/l en quebrada Huiniquintipa, correspondiendo la mediana máxima a 0,14 mg/l (estación HUI03) y la mediana mínima a 0,04 mg/l, en quebrada Petentecaya. Cabe señalar que la estación QDH-2 no cuenta con registros de hierro disuelto.

En el sector ubicado en torno a la Formación Tolar las concentraciones medias han sido del orden de 0,2 mg/l, correspondiendo el máximo a 0,5 mg/l en la estación SWS15 (julio de 2013). La estación DGA, no cuenta con registros de hierro disuelto. Por otra parte, no existen registros válidos en quebrada Ornajuno, ni en las estaciones COP-1 y COP-2, de acuerdo a los criterios de validación QA/QC (Acápites 3.2.9.4.2).

Respecto a la variación temporal de la concentración de hierro disuelto, aunque las concentraciones máximas anuales en la estación HUI03 se han concentrado en los meses de verano, hay valores relativamente altos en otros períodos. Además, existe una leve tendencia creciente en la concentración de hierro disuelto en dicha estación. Lo anterior, no se replica hacia aguas abajo (estaciones HUI02 y SWS8), donde los registros de 2015 son menores a los medidos en 2013. En la quebrada principal hubo una tendencia levemente creciente durante 2013 en SWS14, mientras que en la estación SWS15 no se apreciaron tendencias temporales.

Respecto a las **aguas subterráneas**, en el tramo de aguas arriba de la Formación Tolar se han presentado las concentraciones máximas de hierro disuelto. El máximo registro fue verificado en el pozo RAC-GWQ-HG-01S, correspondiendo a 5,1 mg/l, mientras que la mayor mediana es la del pozo RAC-GWQ-HG-01P, igual a 0,09 mg/l (a modo de referencia, el L.D. corresponde a 0,01 mg/l). En comparación con las aguas superficiales, las aguas subterráneas en Huiniquintipa han presentado concentraciones menores que la estación HUI03, aunque han sido similares a las de la estación HUI02. Los pozos MAH01 y RMA01 no cuentan con información de concentración de hierro disuelto.

En el sector donde se ubica la Formación Tolar, también se han verificado rangos de variación de varios órdenes de magnitud. A modo de ejemplo, el pozo RAC-GWQ-HG-06P ha presentado

registros que han variado entre  $< 0,01$  mg/l y 3,5 mg/l, correspondiendo este último registro a la máxima concentración de este tramo. En este pozo también se verificó la máxima mediana de la concentración en el Sector Huinquintipa – Ornajuno (0,5 mg/l). Cabe señalar que los pozos ubicados en las quebradas Guatacondo y Copaquire presentan registros similares, levemente inferiores, a los de quebrada Huinquintipa (pozos RAC-GWQ-HG-01P y RAC-GWQ-HG-01S).

El pozo PHQB05P presenta registros previos a diciembre de 2014. No se aprecian tendencias temporales, presentando los registros una alta dispersión. La máxima concentración fue alcanzada durante agosto de 2015 (0,5 mg/l).

Respecto a la variación temporal de los registros a partir de diciembre de 2014, en el pozo RAC-GWQ-HG-01S existe una aparente tendencia de aumento de la concentración de hierro disuelto, aunque hay una discontinuidad en los registros que no permite verificar dicha tendencia. El pozo RAC-GWQ-HG-06P, en tanto, presenta un incremento en las campañas de octubre a diciembre de 2015, respecto al período marzo – mayo de 2015, lo que podría deberse a que los primeros datos se registraron durante su proceso de estabilización. Por otra parte, se destaca que hay cinco pozos con registros en la campaña del 27-28 de junio, de los cuales cuatro presentaron sus concentraciones máximas y el restante su segunda máxima concentración durante dicha campaña.

### Hierro total

En la Figura 3.2.9-134 y Figura 3.2.9-135 se presentan la variación espacial y temporal de la concentración de hierro total en las aguas superficiales y subterráneas del Sector Huinquintipa – Ornajuno, respectivamente.

En el tramo de aguas arriba de la Formación Tolar, la concentración máxima de hierro total ha correspondido a 5,0 mg/l (estación QDH-2). En este tramo los registros medios en las diferentes estaciones han sido relativamente uniformes, correspondiendo la mediana máxima a 0,8 mg/l (estaciones QDH-2 y HUI03) y la mínima a 0,2 mg/l (AHUI01, entre otras).

En el sector ubicado en torno a la Formación Tolar, el máximo registro fue medido en la estación DGA en agosto de 2009, correspondiendo a 12,4 mg/l. Cabe señalar que las concentraciones medias en las diferentes estaciones han uniformes y similares a las del tramo alto, variando en torno a 0,5 mg/l, con un máximo igual a 0,6 mg/l en la estación SWS15.

Respecto a la variación temporal, en general los registros han sido relativamente uniforme, destacándose tendencias de decremento en la estación QDH-2 entre 2010 y 2012 y en SWS15 durante 2015 (en este caso, tendencia leve).

Respecto a las **aguas subterráneas**, en el tramo de aguas arriba de la Formación Tolar los máximos registros han sido verificados en el pozo MAH01 (máximo y mediana iguales a 33 mg/l y 4,8 mg/l, respectivamente), mientras que el mínimo, medido en el pozo RAC-GWQ-HG-02S,

fue igual a  $< 0,01$  mg/l. No obstante, los menores valores fueron medidos normalmente en los pozos profundos, correspondiendo la menor mediana al pozo RAC-GWQ-HG-01P (0,1 mg/l).

En el sector donde se ubica la Formación Tolar, las máximas concentraciones han sido verificadas en el pozo RAC-GWQ-HG-06S, con un registro máximo y mediana iguales a 60 mg/l y 18 mg/l, respectivamente. En los pozos restantes las concentraciones han sido inferiores, con medianas que han variado entre 1,2 mg/l (RAC-GWQ-HG-04P) y 0,2 mg/l (RAC-GWQ-HG-04S).

Respecto a la variación temporal, la tendencia general en las últimas campañas desarrolladas es la existencia de una condición relativamente uniforme. La variación principal ha sido verificada en el pozo RAC-GWQ-HG-06S, que entre marzo y mayo de 2015 presentó cuatro registros que variaron en torno a 10 mg/l – 60 mg/l, mientras que en noviembre y diciembre del mismo año las mediciones fueron inferiores a 1 mg/l.

### Manganeso disuelto

En la Figura 3.2.9-136 y Figura 3.2.9-137 se presentan la variación espacial y temporal de la concentración de manganeso disuelto en las aguas superficiales y subterráneas del Sector Huinquentipa – Ornajuno, respectivamente.

En lo que respecta a las **aguas superficiales**, en el tramo de aguas arriba de la Formación Tolar, las mayores concentraciones de manganeso disuelto corresponden a la estación HUI03, con un registro máximo igual a 4,1 mg/l y una mediana igual a 0,9 mg/l. Esta última ha sido un orden de magnitud superior a la mediana de los puntos de monitoreo restantes (entre 0,01 mg/l y 0,02 mg/l). La concentración mínima, en tanto, correspondió a 0,008 mg/l, siendo medida en la estación SWS8. Cabe señalar que las estaciones QDH-2 y DGA no cuentan con registros de concentración de manganeso disuelto.

En el tramo influenciado por la Formación Tolar, se aprecia un aumento en la concentración de manganeso disuelto en la quebrada principal, respecto a los registros de los pozos HUI02 y SWS8, ubicado en el tramo de aguas arriba. La concentración máxima registrada en este tramo ha sido igual a 1,1 mg/l (estación SWS15), variando las medianas entre 0,1 mg/l y 0,3 mg/l. En quebrada Ornajuno se cuenta con un registro disponible (estación ORN-3), igual a 0,007 mg/l.

Respecto a la variación temporal de la concentración de manganeso disuelto, se destaca que las concentraciones máximas anuales en la estación HUI03 se han presentado durante los meses de febrero y marzo, correspondiendo el máximo medido al mes de febrero de 2015. Cabe destacar que existen dos estaciones de monitoreo adicionales con información válida en aquella campaña (HUI02 y SWS8). En los dos casos las concentraciones medidas estuvieron entre las más altas registradas en ambos puntos de monitoreo.

Respecto a las **aguas subterráneas**, en el tramo aguas arriba de la Formación Tolar, los registros han variado en el rango 0,0002 mg/l – 0,7 mg/l, correspondiendo la mayor concentración medida a la quebrada Petentecaya (pozo RAC-GWQ-HG-05BS). Salvo el pozo ubicado en quebrada

Ornajuno (PHQB05P), las medianas de los registros han variado dentro del mismo orden de magnitud, entre 0,01 mg/l – 0,06 mg/l, correspondiendo los valores mínimo y máximo a los pozos RAC-GWQ-HG-05BP y RAC-GWQ-HG-05BS, respectivamente.

En el sector donde se ubica la Formación Tolar, la máxima concentración fue medida en el pozo RAC-GWQ-HG-04BS, correspondiendo a 1,4 mg/l. Dicho valor estuvo fuera del rango regular de variación del pozo. Descontando dicho registro, las concentraciones de los pozos ubicados en este tramo han variado en el rango 0,0006 mg/l – 0,3 mg/l, correspondiendo el máximo a quebrada Ornajuno (pozo RAC-GWQ-HG-06P), donde también se verificó la máxima mediana de los registros, igual a 0,2 mg/l. En la quebrada principal la mediana de los registros ha variado en el rango 0,01 mg/l – 0,02 mg/l, siendo levemente inferior a la medida en quebrada Huinquintipa (pozos RAC-GWQ-HG-01P y RAC-GWQ-HG-01S).

El pozo PHQB05P presenta registros previos a diciembre de 2014. No se aprecian tendencias temporales, siendo regularmente las concentraciones medidas menores a 0,1 mg/l, salvo un período entre junio y octubre de 2015, en el que se incrementó por sobre dicho umbral.

En los pozos que cuentan con registros a partir de diciembre de 2014 no se aprecian tendencias temporales, salvo algunos que presentan registros estables en el tiempo. La máxima concentración medida, correspondiente al pozo RAC-GWQ-HG-04BS, se verificó en la campaña de marzo de 2015. En ésta no hubo otros pozos con incrementos significativos en sus concentraciones.

### Resumen

A modo de síntesis de los resultados presentados, a continuación se presenta la descripción de la calidad de agua en el Sector Huinquintipa – Ornajuno para los parámetros evaluados, por medio del uso de diferentes estadísticos, considerando entre otros el registro mínimo, el máximo y el P50 o mediana. Los resultados se presentan en la Tabla 3.2.9-22 y Tabla 3.2.9-23, diferenciándose entre la serie histórica, que considera todos los registros, y las mediciones realizadas desde 2015 en adelante (situación actual). Cabe señalar que de acuerdo a lo verificado en la caracterización de la calidad de agua en este Sector, para los resultados se ha diferenciado en dos tramos.

- Huinquintipa-Ornajuno / Alto: Incluye todas las estaciones y pozos de monitoreo ubicados aguas arriba de la Formación Tolar.
- Huinquintipa-Ornajuno / Bajo: Incluye todas las estaciones y pozos de monitoreo ubicados aguas abajo de la Formación Tolar, hasta la estación DGA. Así, no incorpora las estaciones COP-1 y COP-2.

Respecto a las estaciones COP-1 y COP-2, la concentración de sulfato y la magnitud de la CE fueron superiores a las de las aguas superficiales del tramo Huinquintipa – Ornajuno / Bajo, por



lo que no fueron incluidas en dicho tramo. Se requeriría verificar la mantención de los valores medidos en el tiempo, de modo de definir un tramo particular para estas.

**Tabla 3.2.9-22. Resumen calidad de agua en Sector Huiniquintipa – Ornajuno, registros históricos.**

Tipo Agua	Valor	C.E.	Cl	Cu dis	Cu tot	Fe dis	Fe tot	Mn dis	pH	SO <sub>4</sub>
		µS/cm	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	UpH	mg/l
<b>Huiniquintipa-Ornajuno / Alto</b>										
Aguas Superficiales	Mín.	209	5	< 0,0002	0,003	< 0,01	0,05	0,008	4,6	25
	P(10)	389	24	0,01	0,02	0,02	0,2	0,02	7,3	49
	P(50)	684	59	0,05	0,2	0,1	0,6	0,1	7,8	94
	P(90)	959	107	0,4	0,8	0,3	1,4	1,4	8,2	207
	Máx.	1.630	197	96	130	0,6	5,0	4,1	8,5	1.020
Aguas Subterráneas	Mín.	175	12	< 0,0002	0,001	< 0,01	0,01	0,0002	4,4	6
	P(10)	297	17	0,002	0,005	0,01	0,1	0,003	6,7	31
	P(50)	361	20	0,009	0,07	0,05	0,7	0,03	7,4	62
	P(90)	706	60	0,2	0,6	0,3	3,7	0,1	8,1	145
	Máx.	6.640	501	1,3	2,6	5,1	33	0,7	12,2	360
<b>Huiniquintipa-Ornajuno / Bajo</b>										
Aguas Superficiales	Mín.	372	0,03	< 0,0002	0,002	< 0,01	0,06	0,007	3,3	198
	P(10)	1.040	55	0,001	0,005	0,05	0,3	0,08	7,4	276
	P(50)	1.120	61	0,005	0,01	0,2	0,6	0,2	7,9	337
	P(90)	1.170	65	0,01	0,04	0,5	0,9	0,4	8,1	363
	Máx.	1.645	92	0,6	0,9	0,5	12,4	1,1	9,4	689
Aguas Subterráneas	Mín.	853	12	0,0009	0,004	< 0,01	0,09	0,0006	6,2	265
	P(10)	929	15	0,002	0,01	0,02	0,1	0,003	7,1	291
	P(50)	1.050	60	0,01	0,05	0,06	1,0	0,03	7,6	471
	P(90)	3.360	103	0,1	0,5	1,0	18	0,3	7,9	1.710
	Máx.	4.800	349	0,6	1,5	3,5	60	1,4	8,0	2.170

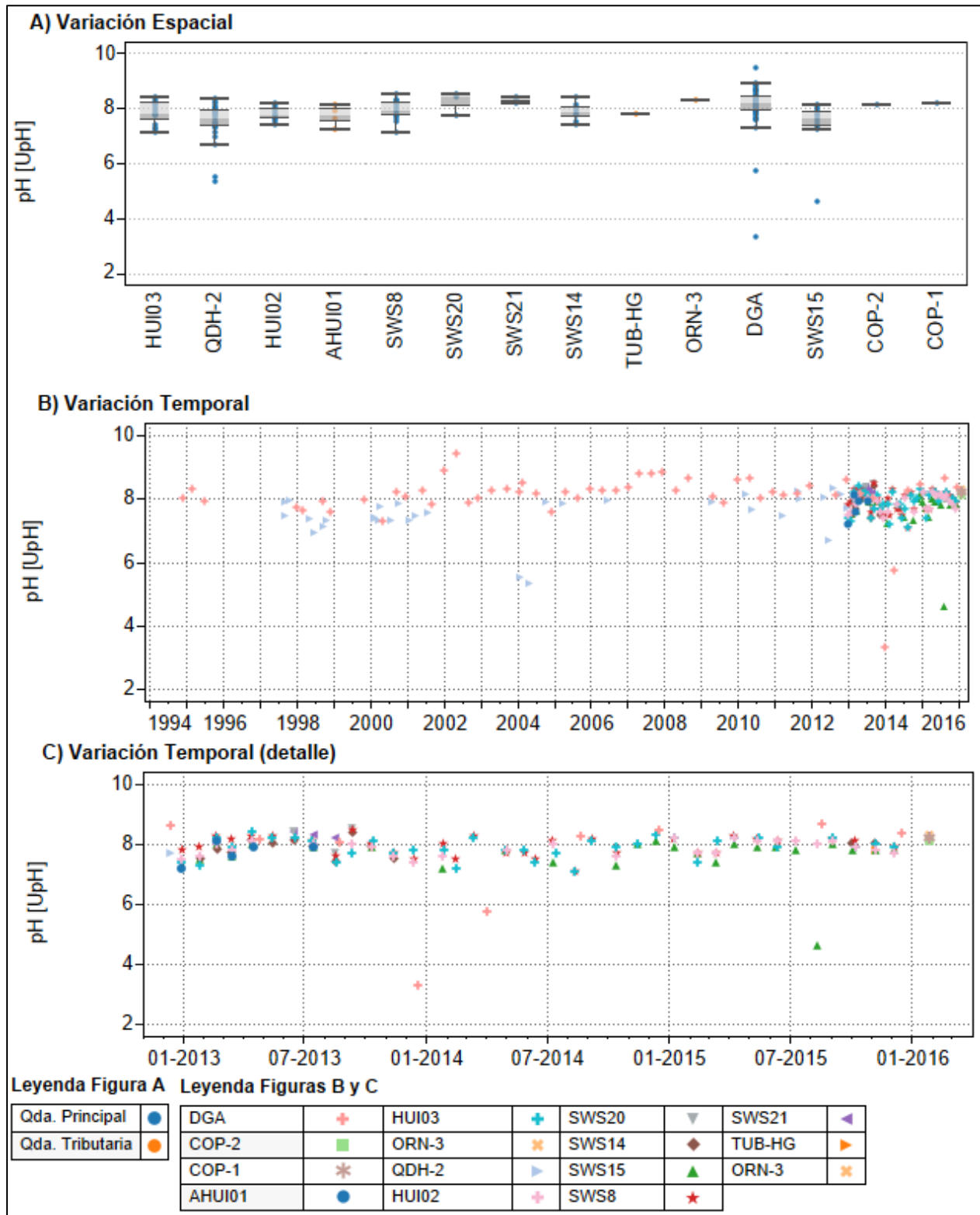
Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 3.2.9-23. Resumen calidad de agua en Sector Huiniquintipa – Ornajuno, registros 2015 – 2016.**

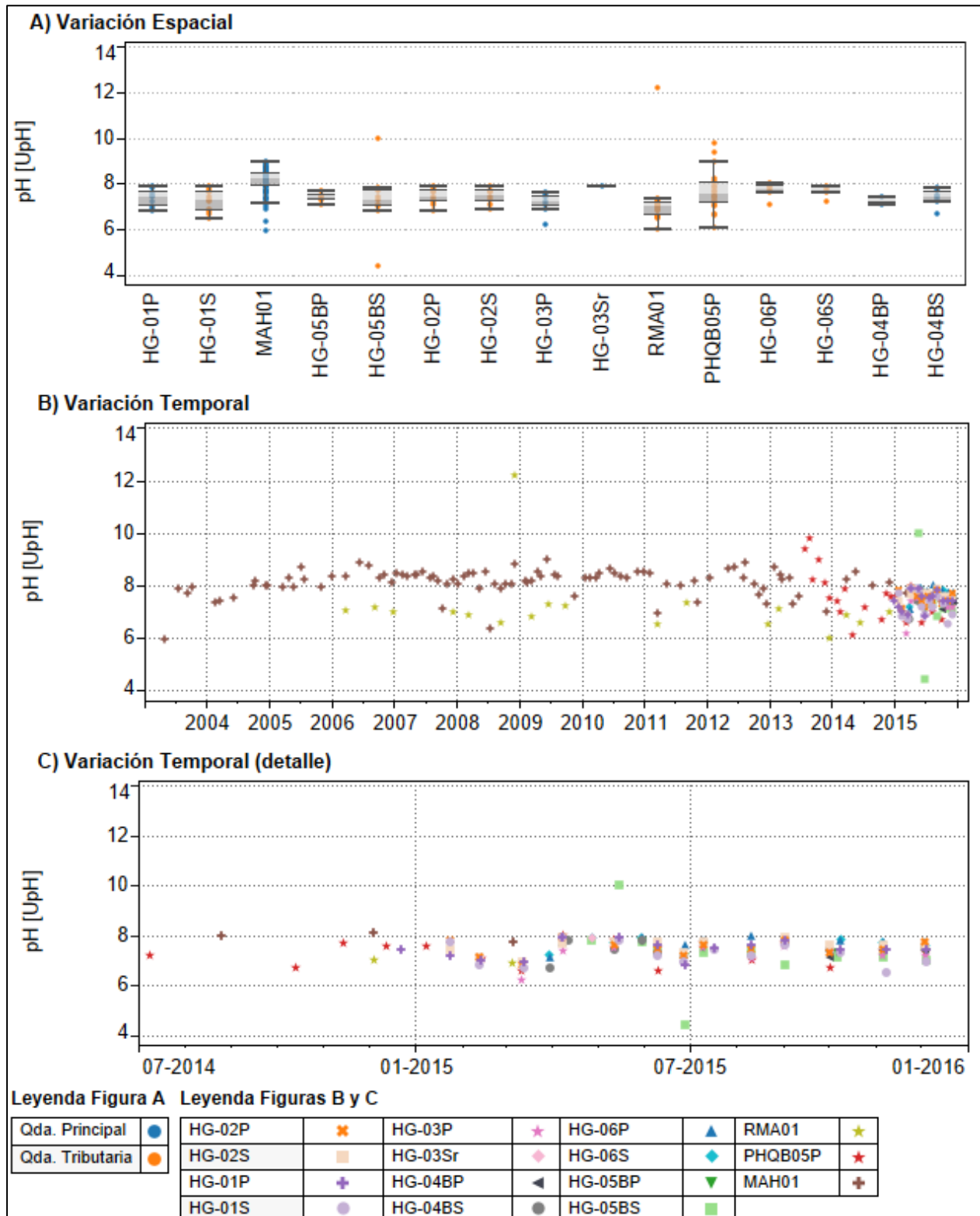
Tipo Agua	Valor	C.E.	Cl	Cu dis	Cu tot	Fe dis	Fe tot	Mn dis	pH	SO <sub>4</sub>
		µS/cm	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	UpH	mg/l
<b>Huiniquintipa-Ornajuno / Alto</b>										
Aguas Superficiales	Mín.	506	35	0,008	0,01	0,02	0,09	0,010	7,4	25
	P(10)	639	50	0,009	0,02	0,02	0,1	0,01	7,7	33
	P(50)	690	69	0,02	0,03	0,04	0,5	0,08	8,1	58
	P(90)	961	106	0,2	0,5	0,2	1,2	1,8	8,2	134
	Máx.	967	113	0,2	0,9	0,3	1,4	3,9	8,3	208
Aguas Subterráneas	Mín.	193	12	< 0,0002	0,001	< 0,01	0,01	0,002	4,4	6
	P(10)	323	17	0,002	0,006	0,01	0,09	0,006	6,8	27
	P(50)	372	23	0,01	0,08	0,04	0,5	0,04	7,4	63
	P(90)	708	59	0,2	1,4	0,5	2,9	0,2	7,8	226
	Máx.	899	136	1,3	2,6	5,1	11,5	0,7	10	323
<b>Huiniquintipa-Ornajuno / Bajo</b>										
Aguas Superficiales	Mín.	1.080	0,03	0,001	0,01	0,07	0,1	0,007	4,6	198
	P(10)	1.080	59	0,001	0,01	0,1	0,3	0,06	7,4	308
	P(50)	1.120	62	0,006	0,1	0,1	0,4	0,2	7,8	344
	P(90)	1.170	66	0,3	0,3	0,4	0,6	0,7	8,0	388
	Máx.	1.480	68	0,3	0,3	0,5	0,8	1,1	8,7	395
Aguas Subterráneas	Mín.	853	12	0,001	0,004	< 0,01	0,1	0,001	6,2	265
	P(10)	929	15	0,002	0,01	0,02	0,1	0,003	7,1	291
	P(50)	1.050	60	0,01	0,05	0,06	1,0	0,03	7,6	471
	P(90)	3.360	103	0,1	0,5	1,0	18	0,3	7,9	1.710
	Máx.	4.800	349	0,6	1,5	3,5	60	1,4	8,0	2.170

Fuente: Elaboración propia.

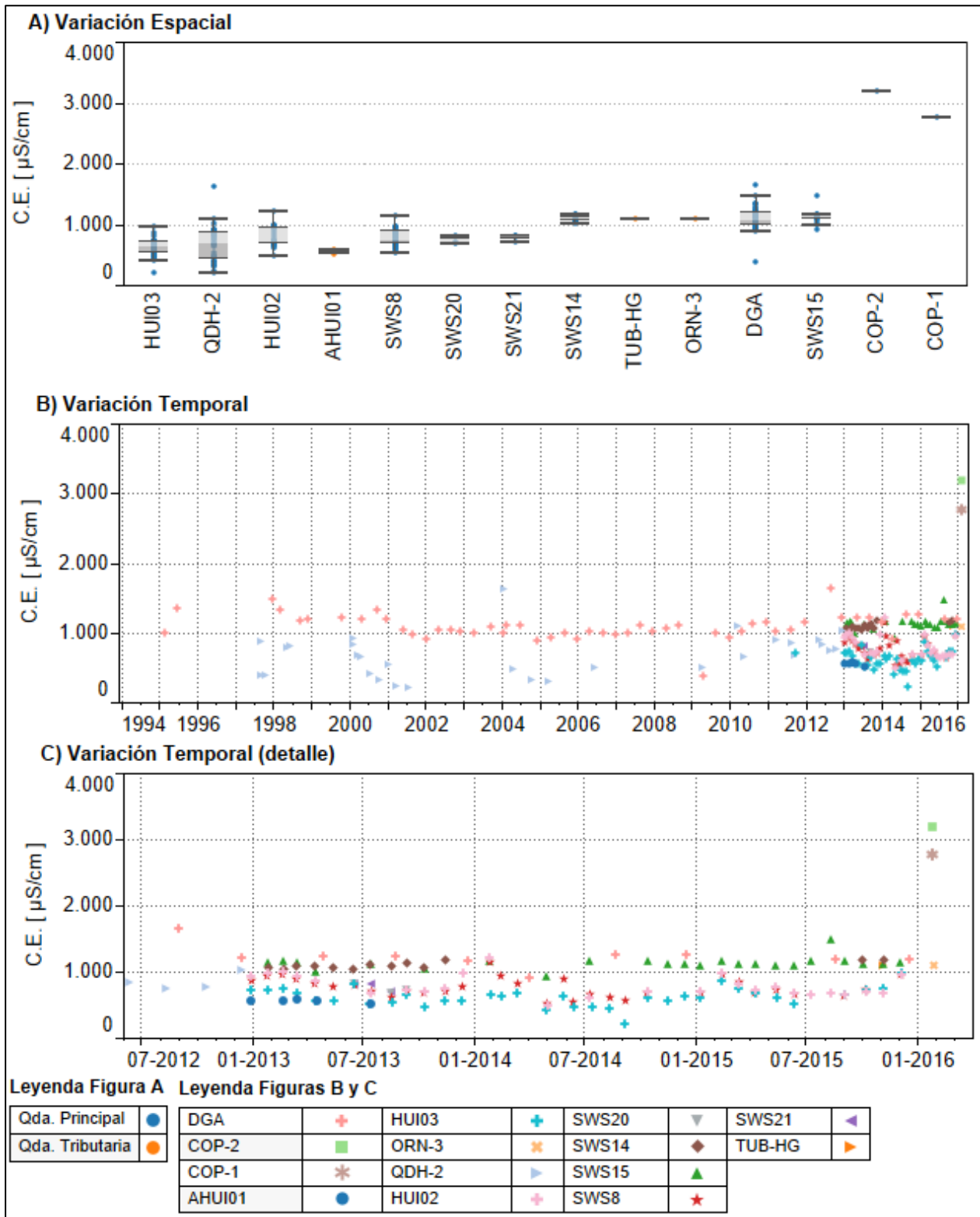
**Figura 3.2.9-120 Variación espacial y temporal del pH de las aguas superficiales del Sector Huiniquinta – Ornajuno. En la figura A), las estaciones se encuentran ordenadas en el sentido del escurrimiento.**



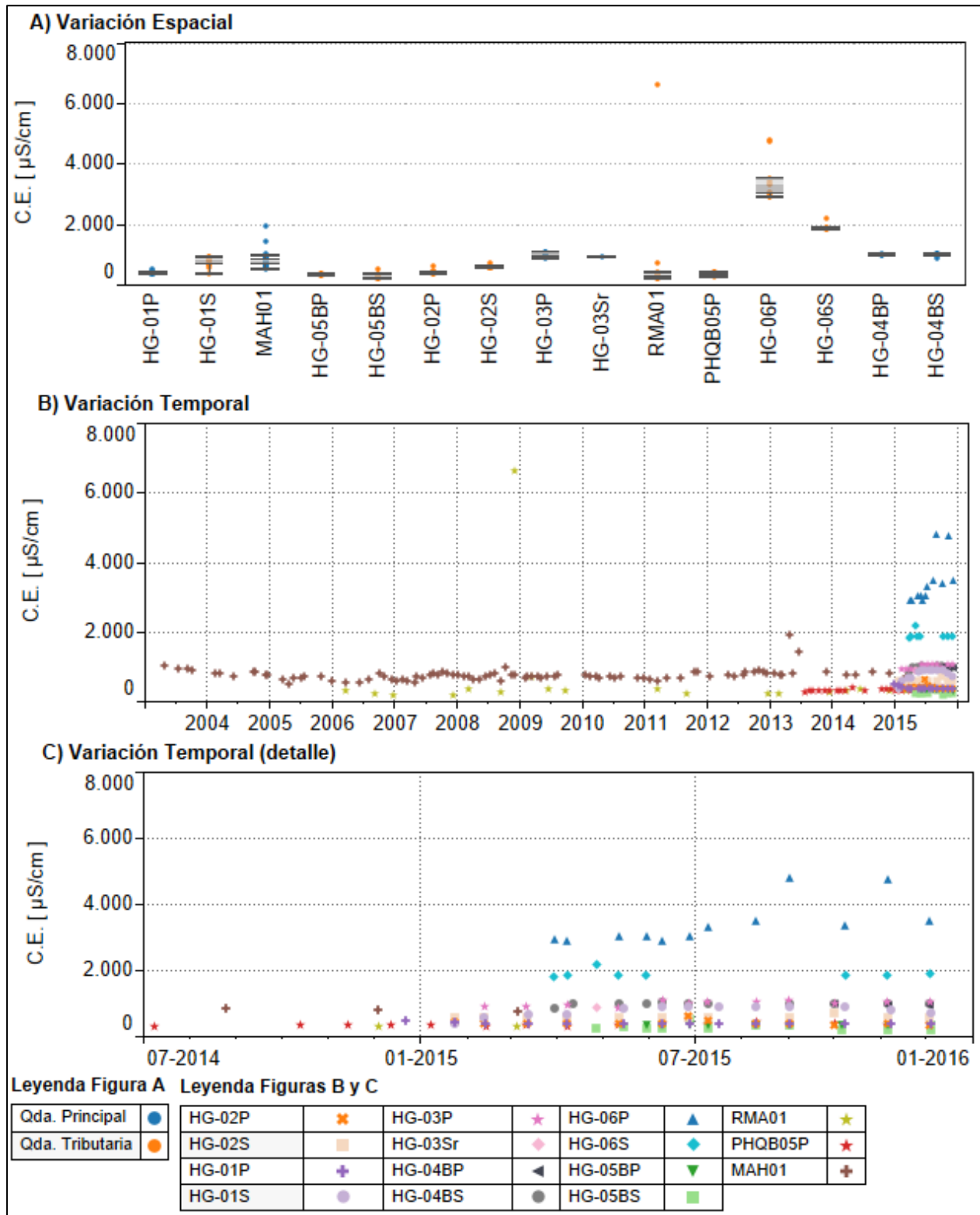
**Figura 3.2.9-121 Variación espacial y temporal del pH de las aguas subterráneas del Sector Huiniquinta – Ornajuno. En la figura A), las estaciones se encuentran ordenadas en el sentido del escurrimiento.**



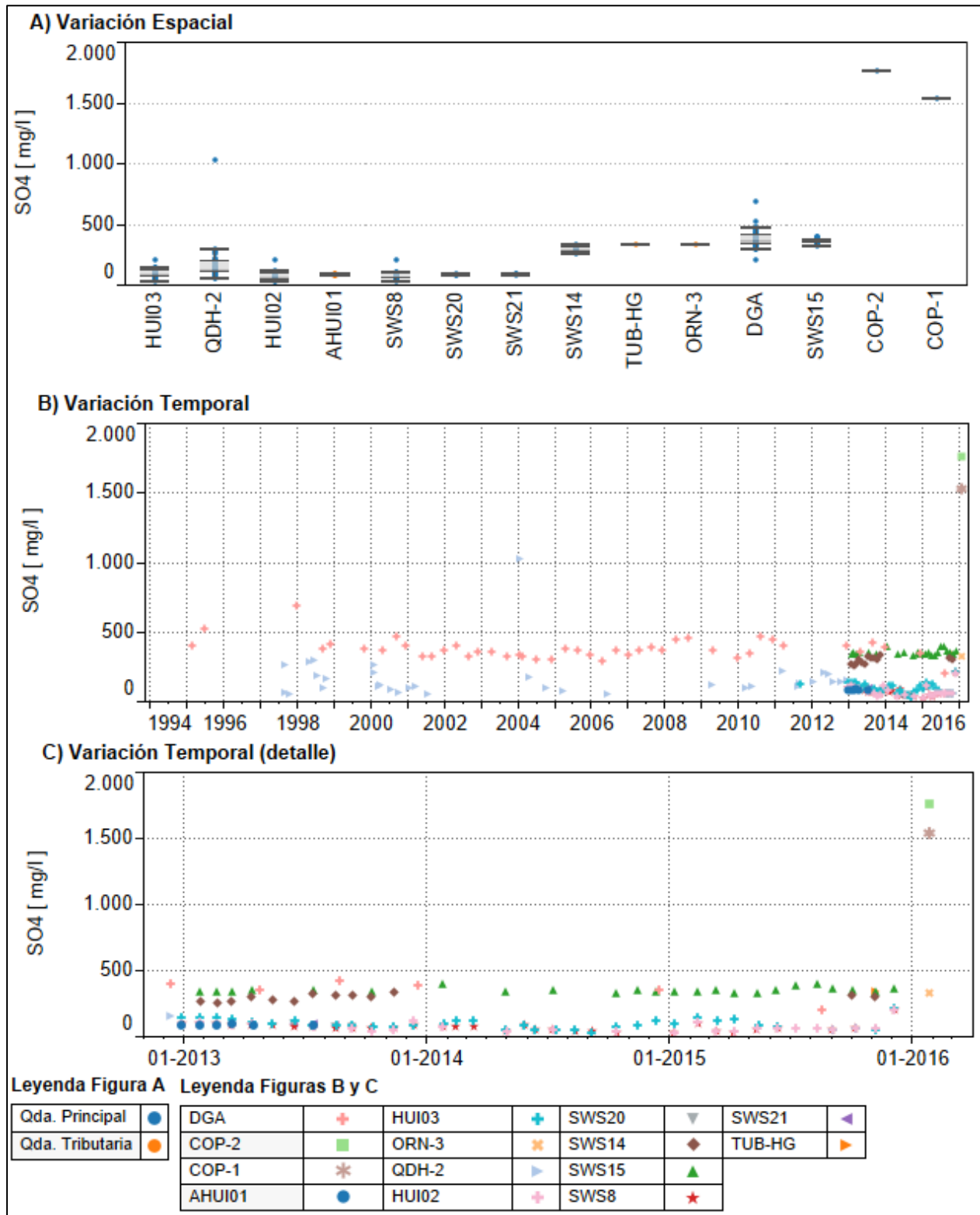
**Figura 3.2.9-122 Variación espacial y temporal de la CE de las aguas superficiales del Sector Huiniquinta – Ornajuno. En la figura A), las estaciones se encuentran ordenadas en el sentido del escurrimiento.**



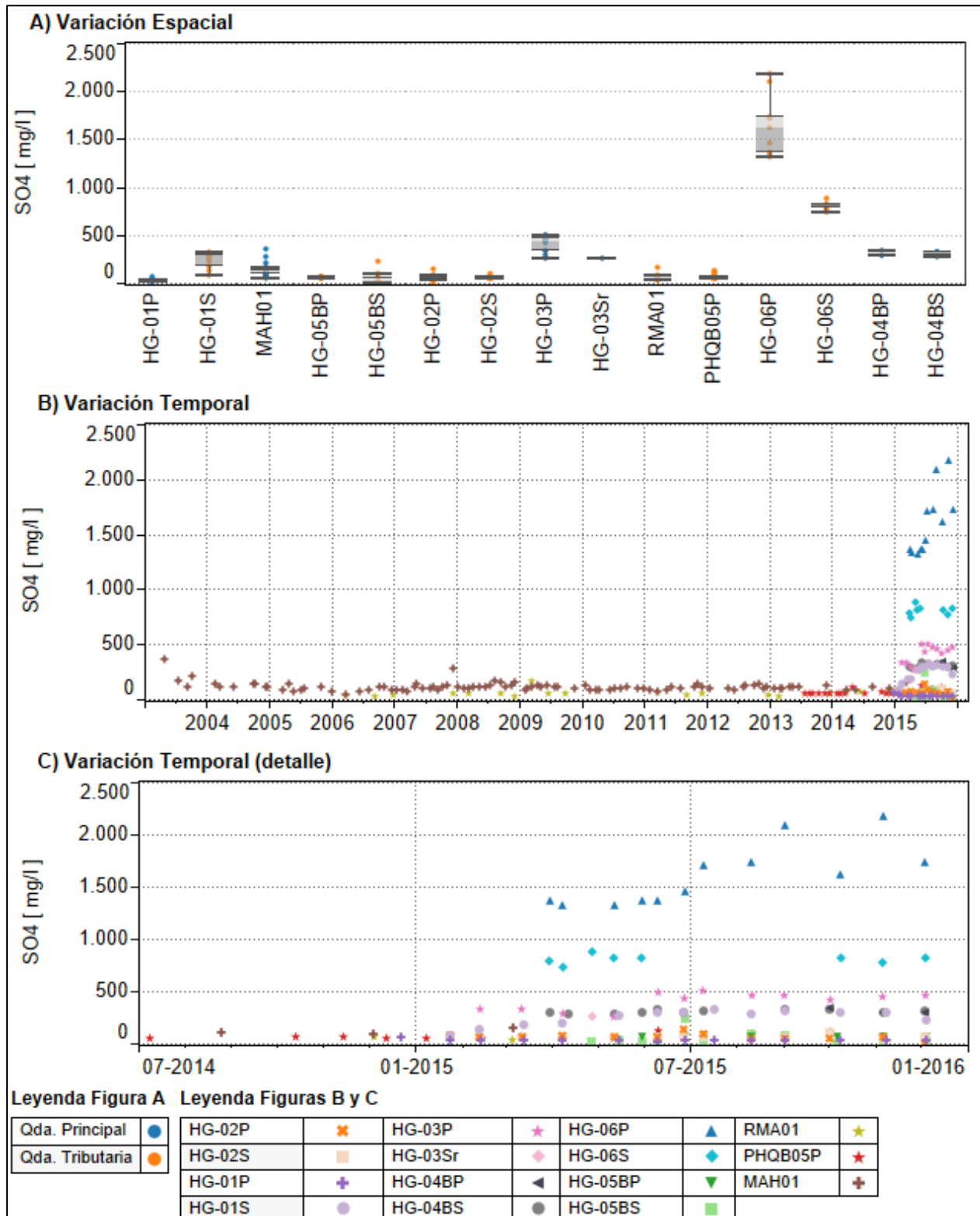
**Figura 3.2.9-123 Variación espacial y temporal de la CE de las aguas subterráneas del Sector Huiniquinta – Ornajuno. En la figura A), las estaciones se encuentran ordenadas en el sentido del escurrimiento.**



**Figura 3.2.9-124 Variación espacial y temporal de la concentración de sulfato en las aguas superficiales del Sector Huiniquinta – Ornajuno. En la figura A), las estaciones se encuentran ordenadas en el sentido del escurrimiento.**

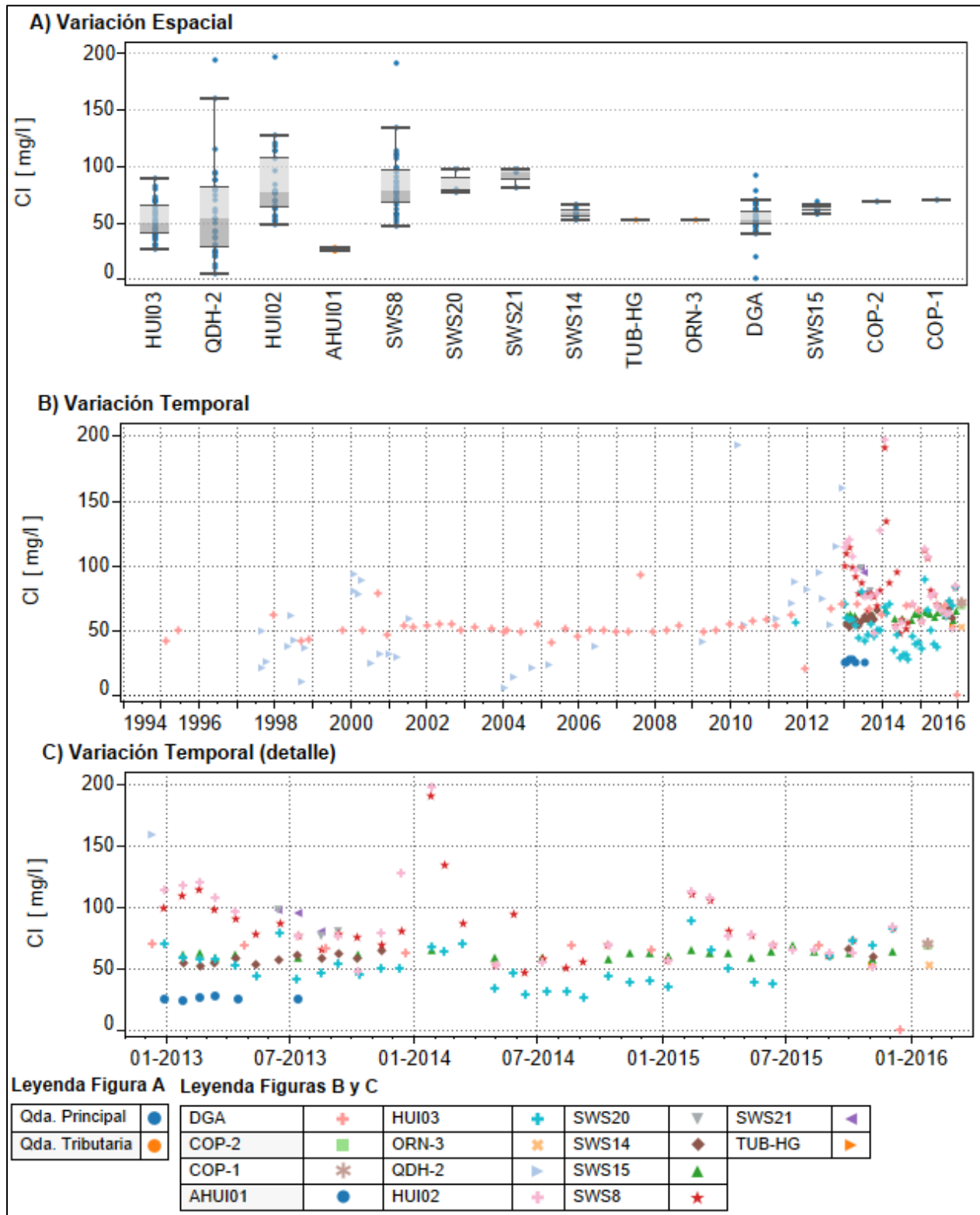


**Figura 3.2.9-125 Variación espacial y temporal de la concentración de sulfato en las aguas subterráneas del Sector Huiniquitipa – Ornajuno. En la figura A), las estaciones se encuentran ordenadas en el sentido del escurrimiento.**

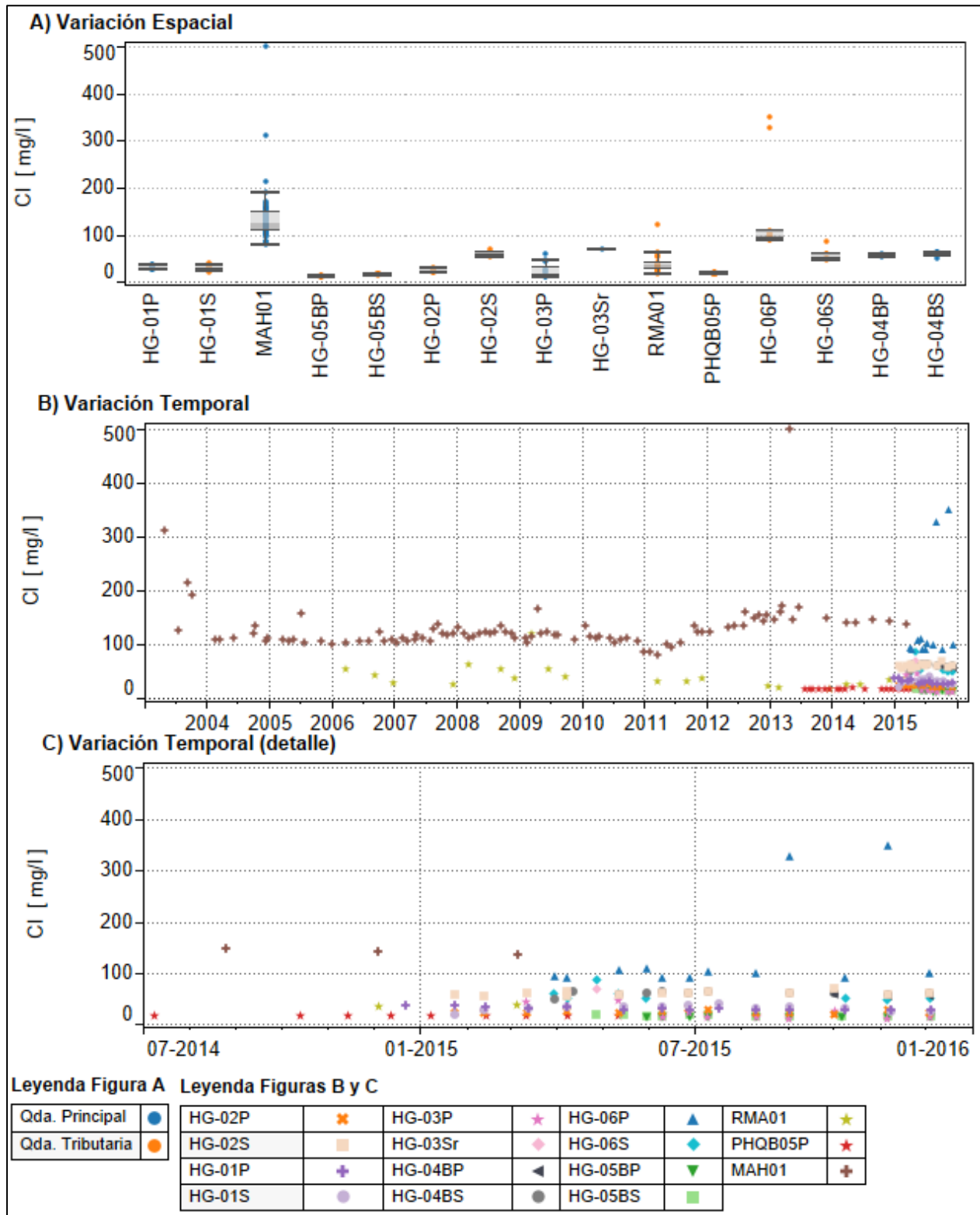




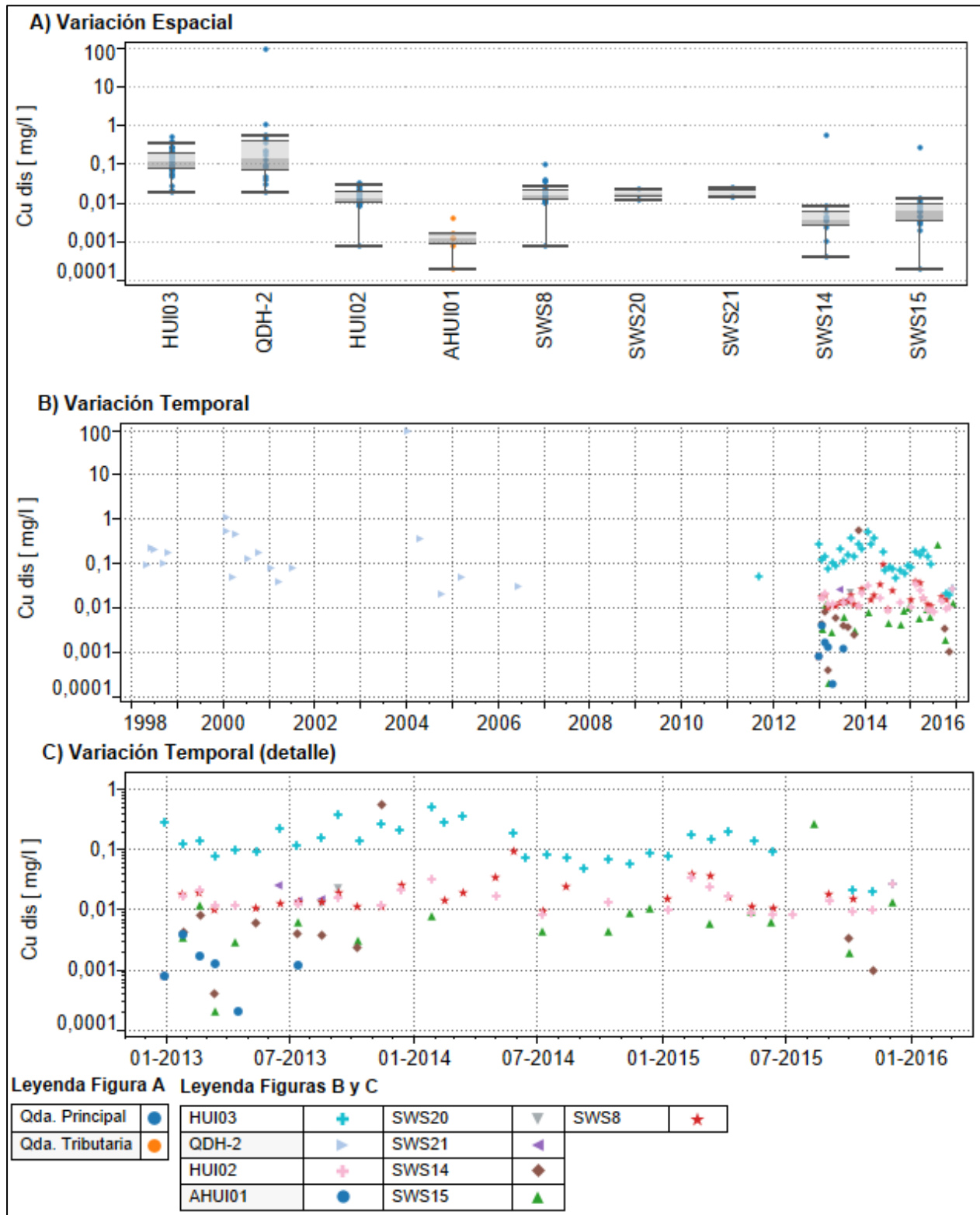
**Figura 3.2.9-126 Variación espacial y temporal de la concentración de cloruro en las aguas superficiales del Sector Huiniquinta – Ornajuno. En la figura A), las estaciones se encuentran ordenadas en el sentido del escurrimiento.**



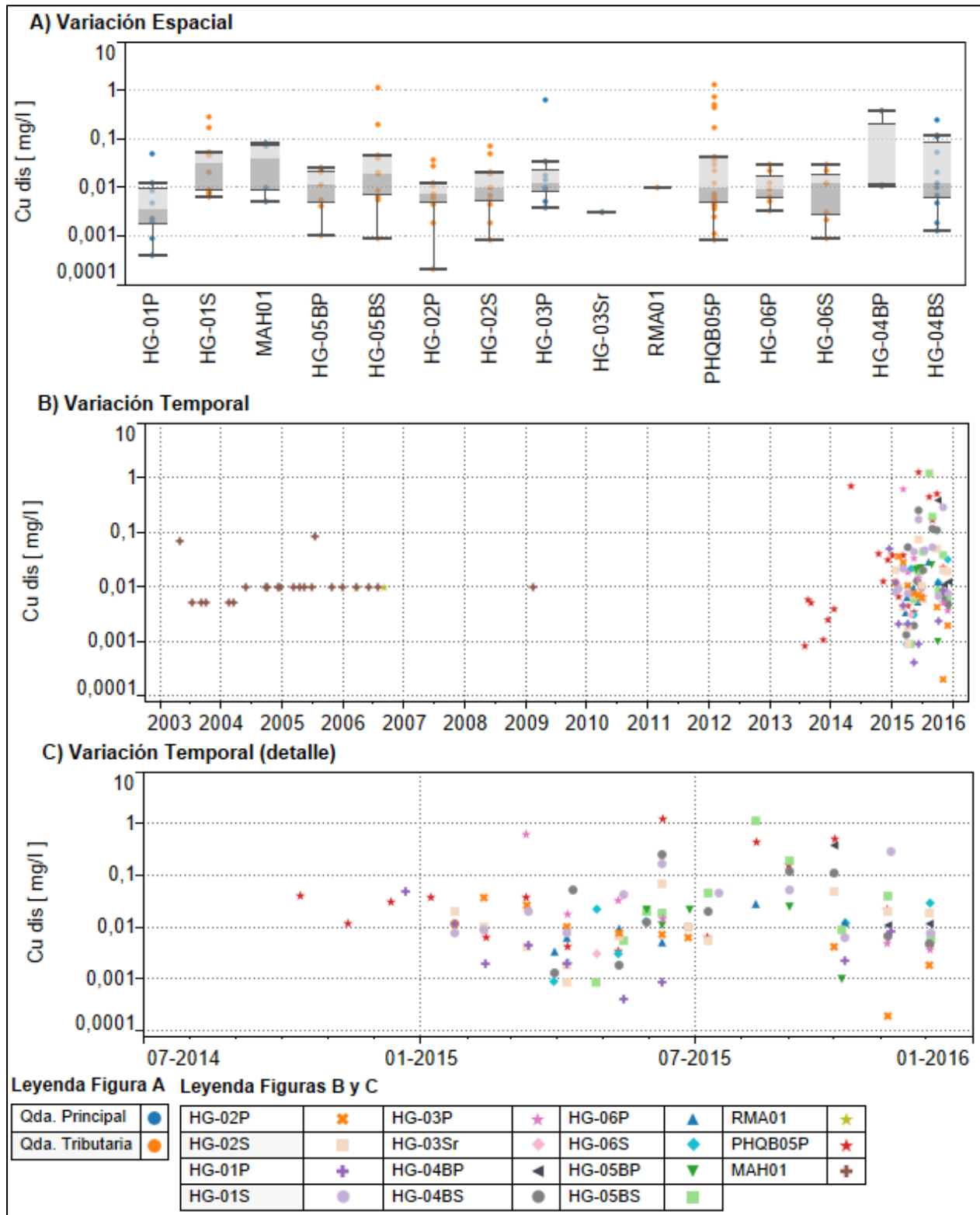
**Figura 3.2.9-127 Variación espacial y temporal de la concentración de cloruro en las aguas subterráneas del Sector Huiniquitipa – Ornajuno. En la figura A), las estaciones se encuentran ordenadas en el sentido del escurrimiento.**



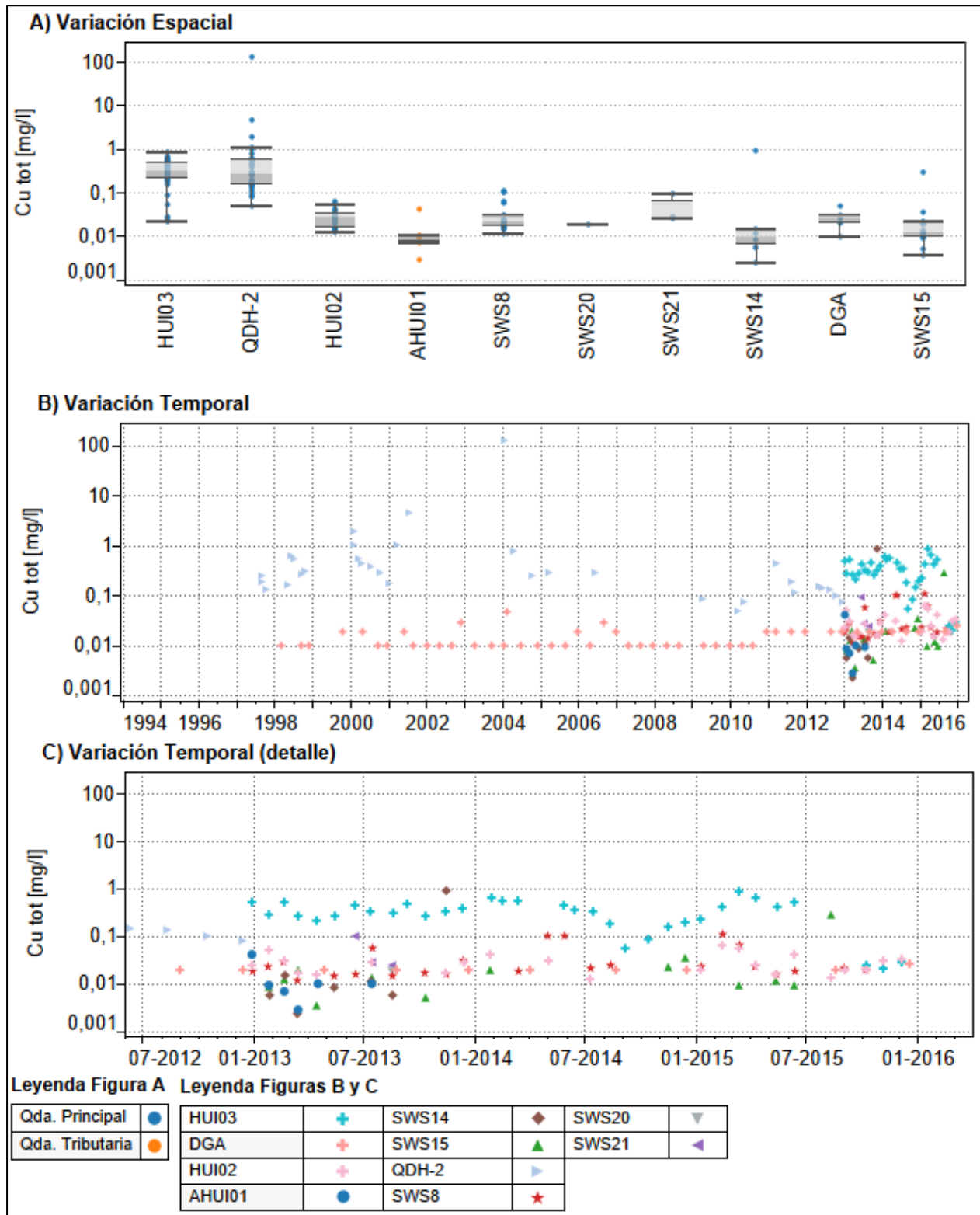
**Figura 3.2.9-128 Variación espacial y temporal de la concentración de cobre disuelto en las aguas superficiales del Sector Huiniquinta – Ornajuno. En la figura A), las estaciones se encuentran ordenadas en el sentido del escurrimiento.**



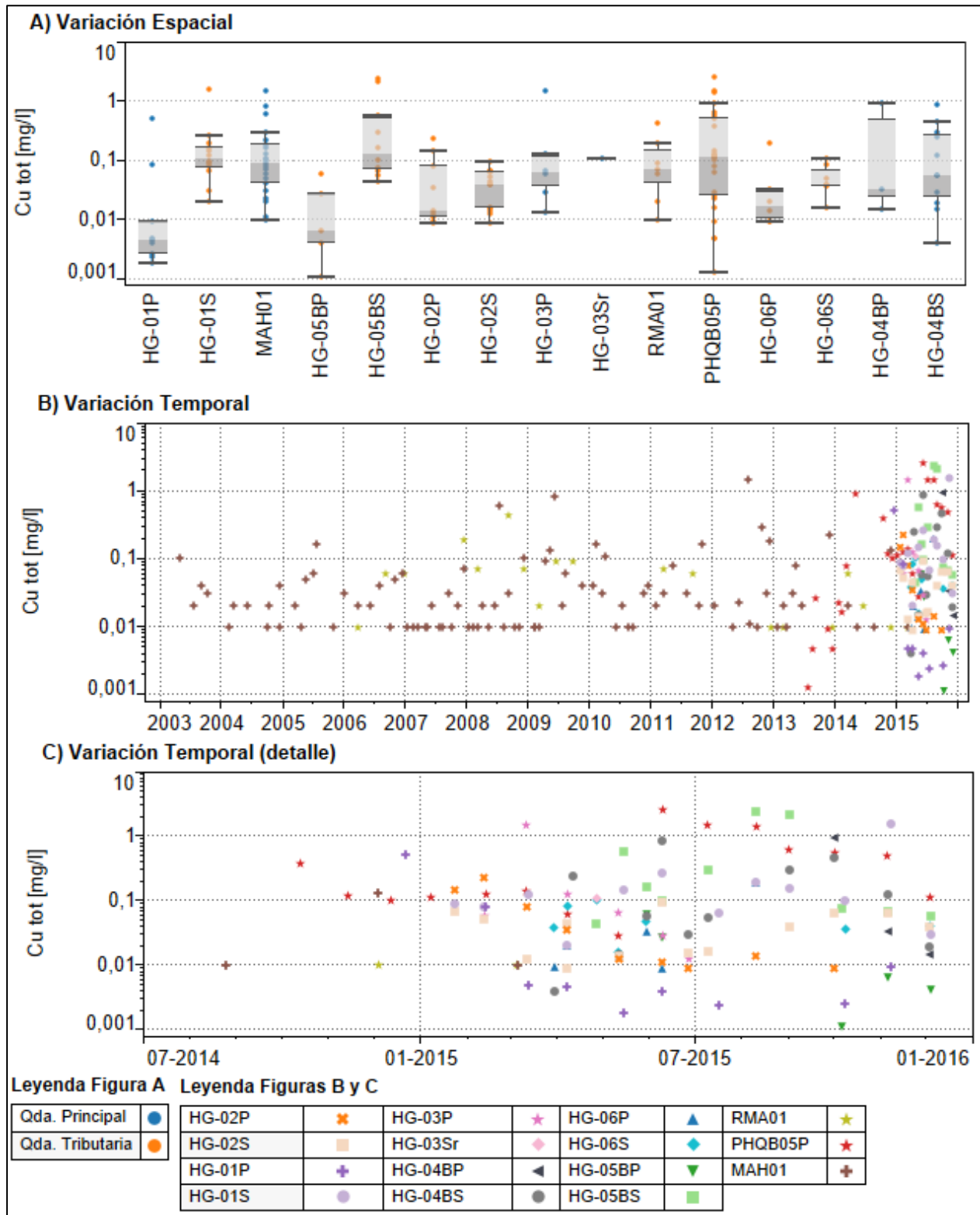
**Figura 3.2.9-129 Variación espacial y temporal de la concentración de cobre disuelto en las aguas subterráneas del Sector Huiniquinta – Ornajuno. En la figura A), las estaciones se encuentran ordenadas en el sentido del escurrimiento.**



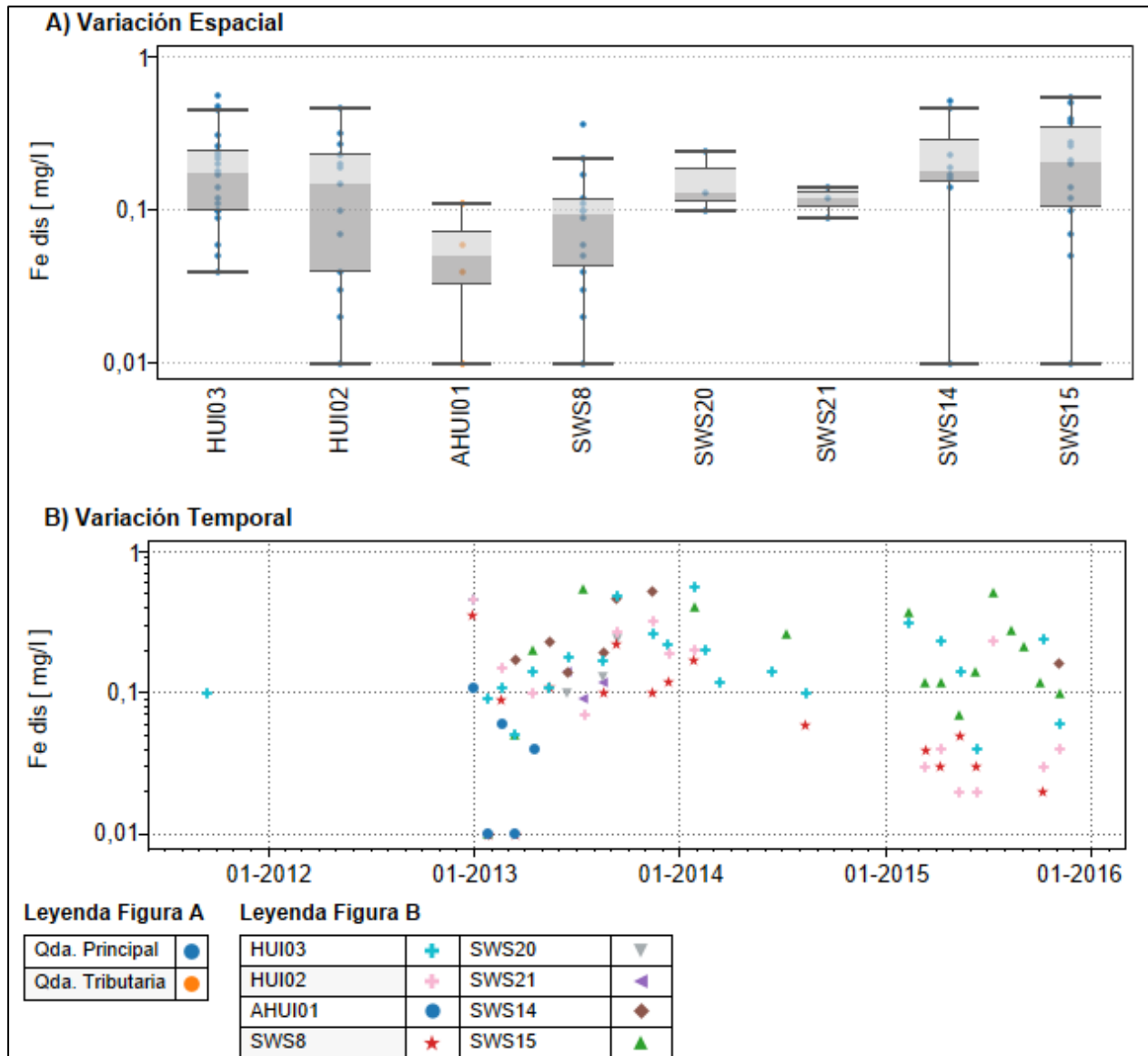
**Figura 3.2.9-130 Variación espacial y temporal de la concentración de cobre total en las aguas superficiales del Sector Huiniquintipa – Ornajuno. En la figura A), las estaciones se encuentran ordenadas en el sentido del escurrimiento.**



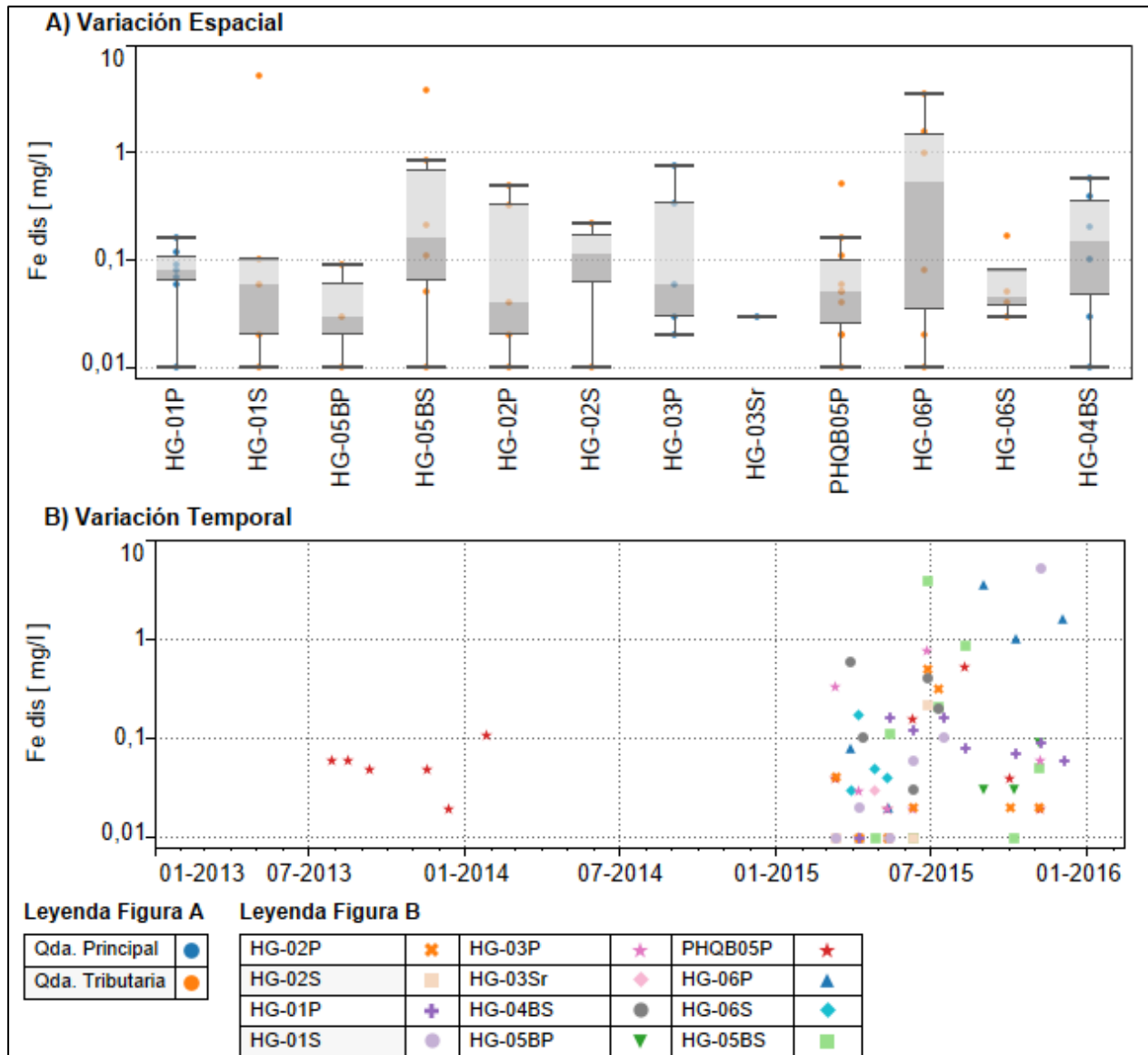
**Figura 3.2.9-131 Variación espacial y temporal de la concentración de cobre total en las aguas subterráneas del Sector Huiniquinta – Ornajuno. En la figura A), las estaciones se encuentran ordenadas en el sentido del escurrimiento.**



**Figura 3.2.9-132 Variación espacial y temporal de la concentración de hierro disuelto en las aguas superficiales del Sector Huiniquintipa – Ornajuno. En la figura A), las estaciones se encuentran ordenadas en el sentido del escurrimiento.**

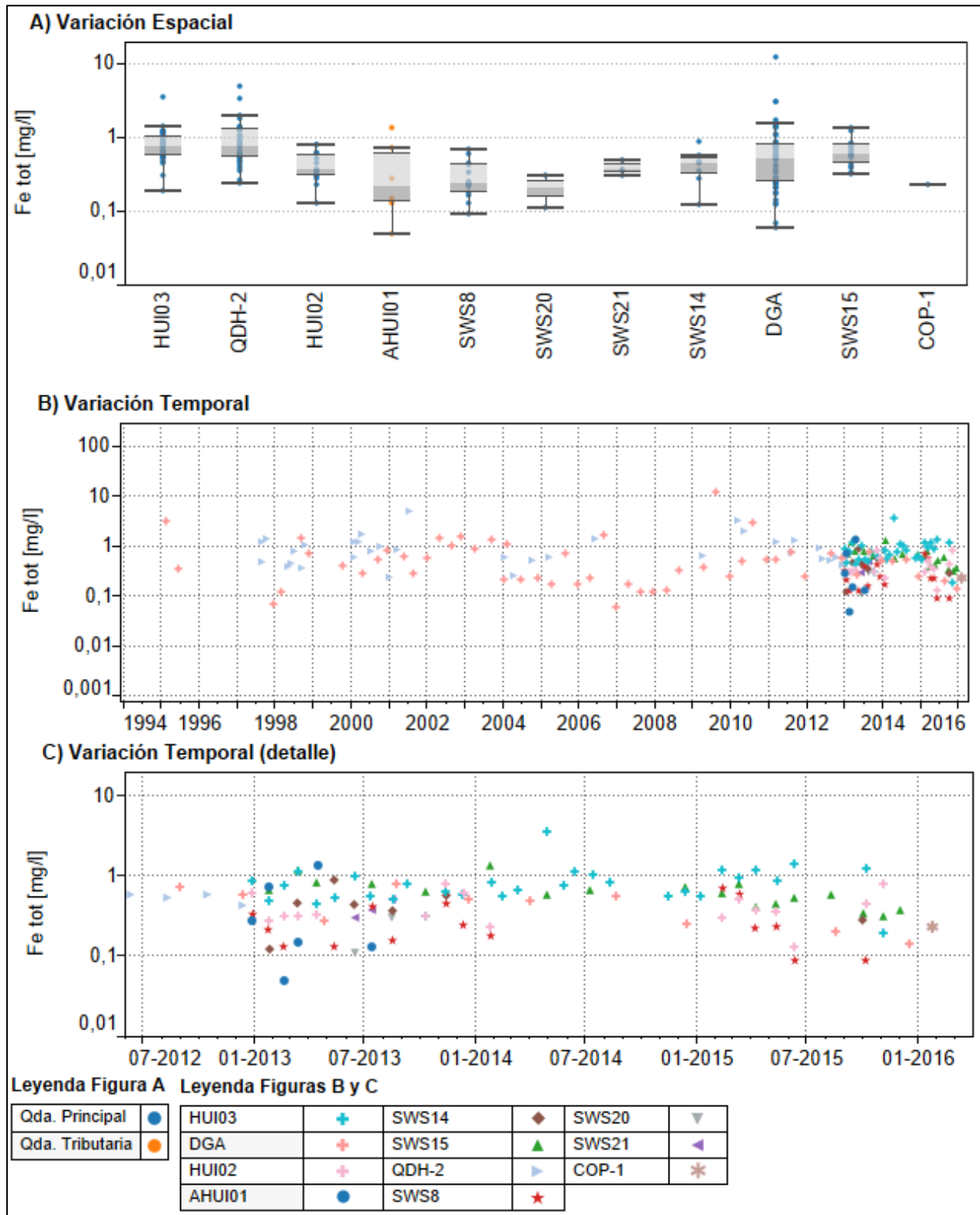


**Figura 3.2.9-133 Variación espacial y temporal de la concentración de hierro disuelto en las aguas subterráneas del Sector Huiniquitipa – Ornajuno. En la figura A), las estaciones se encuentran ordenadas en el sentido del escurrimiento.**

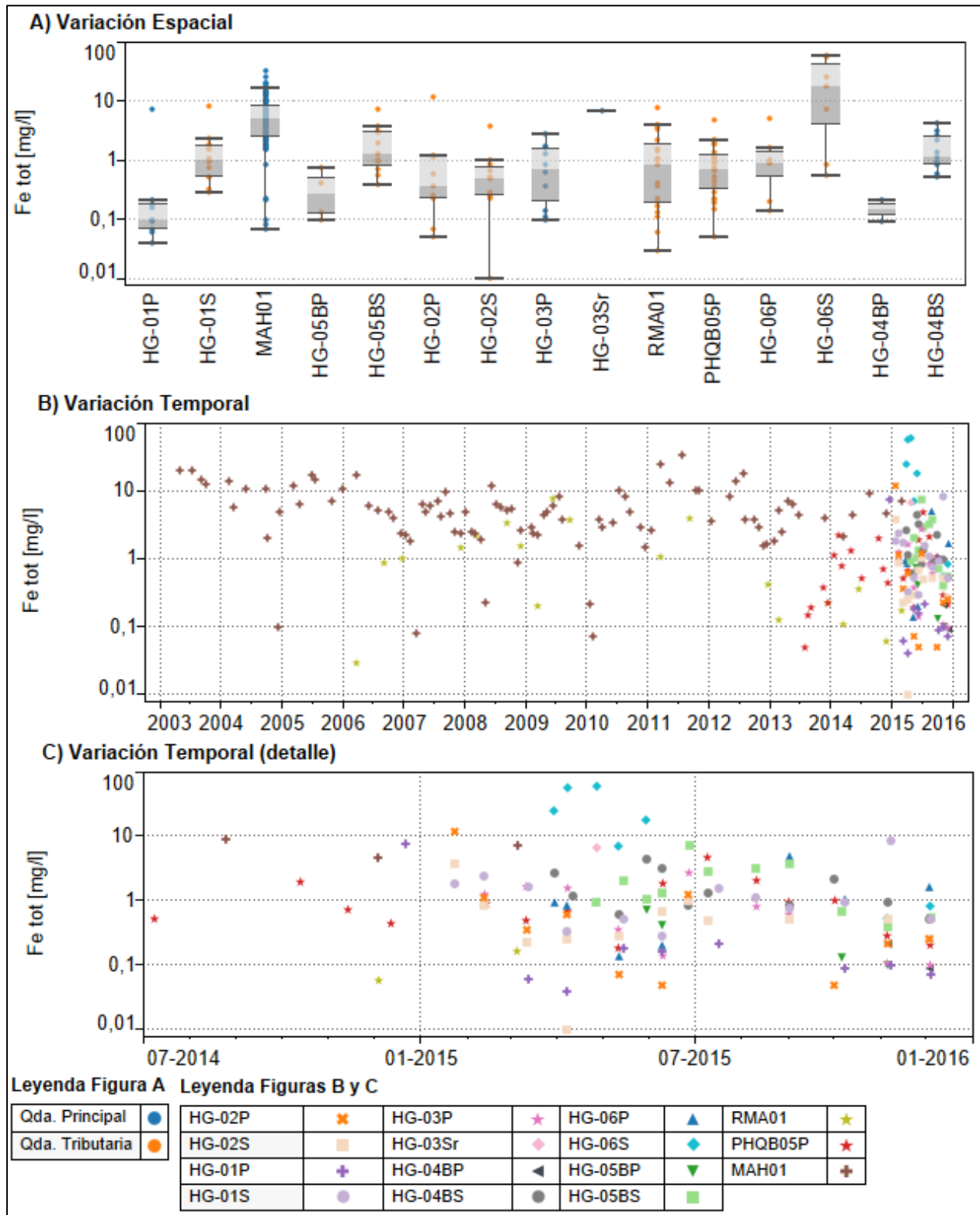




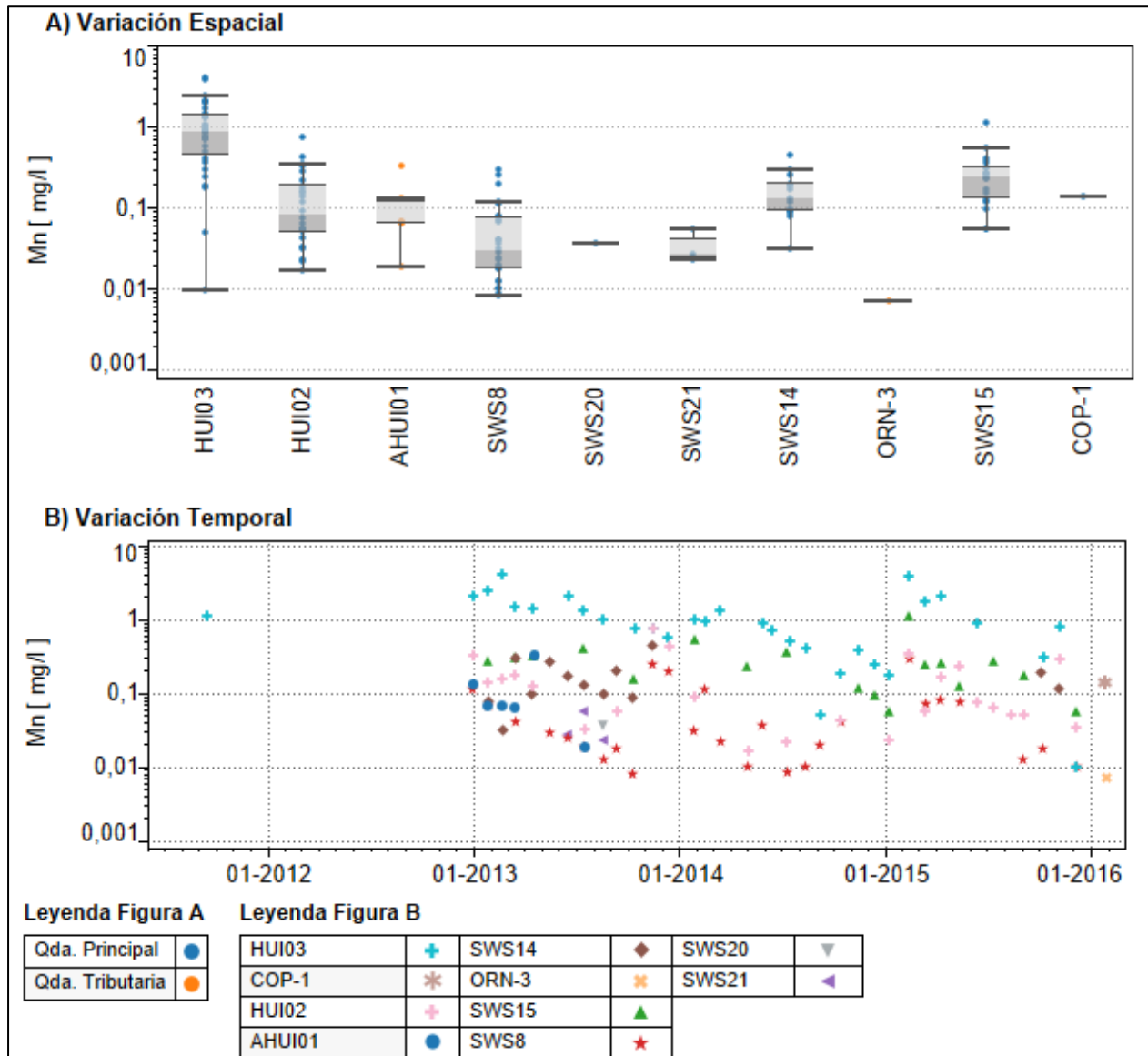
**Figura 3.2.9-134 Variación espacial y temporal de la concentración de hierro total en las aguas superficiales del Sector Huiniquintipa – Ornajuno. En la figura A), las estaciones se encuentran ordenadas en el sentido del escurrimiento.**



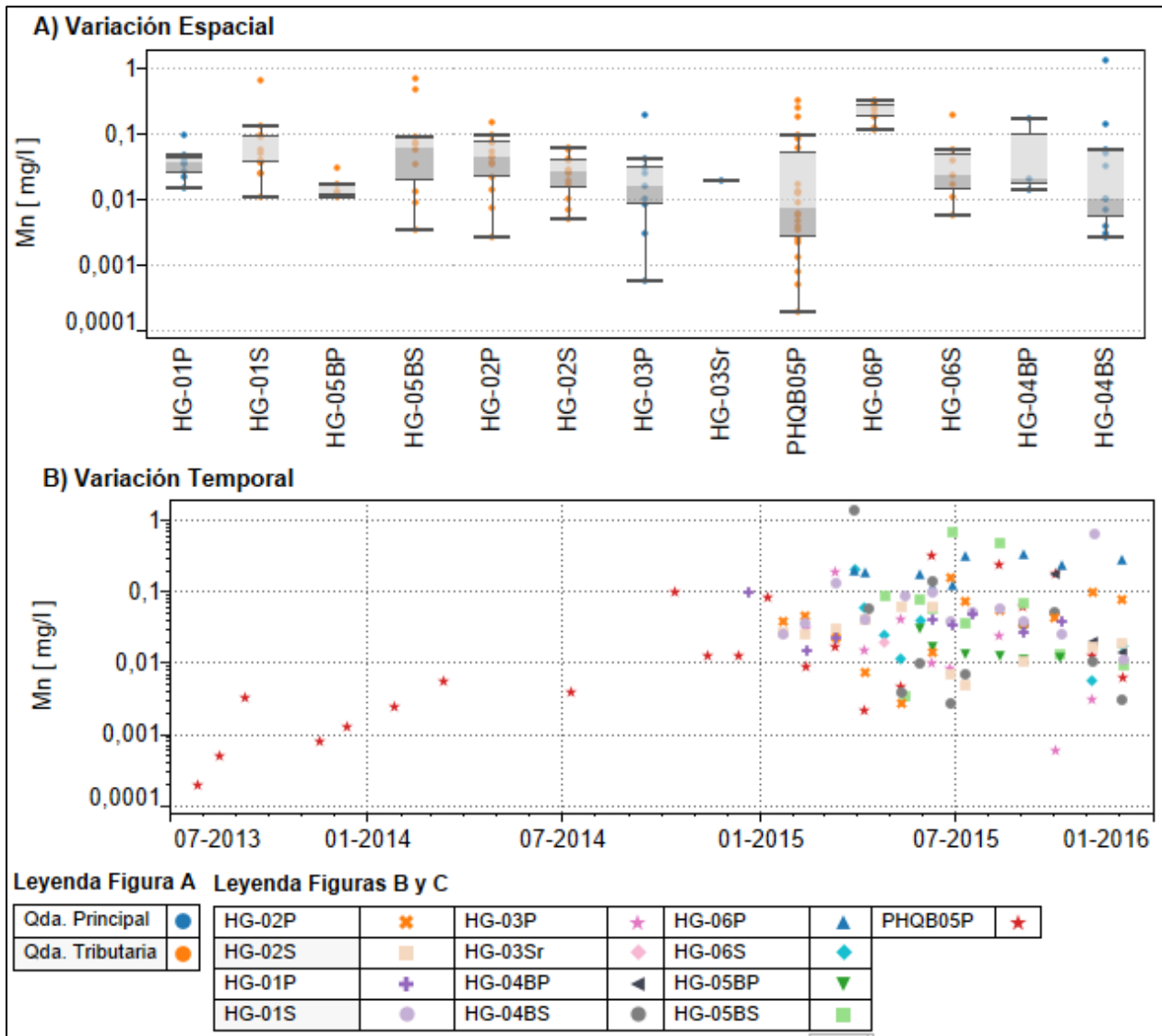
**Figura 3.2.9-135 Variación espacial y temporal de la concentración de hierro total en las aguas subterráneas del Sector Huiniquintipa – Ornajuno. En la figura A), las estaciones se encuentran ordenadas en el sentido del escurrimiento.**



**Figura 3.2.9-136 Variación espacial y temporal de la concentración de manganeso disuelto en las aguas superficiales del Sector Huiniquinta – Ornajuno. En la figura A), las estaciones se encuentran ordenadas en el sentido del escurrimiento.**



**Figura 3.2.9-137 Variación espacial y temporal de la concentración de manganeso disuelto en las aguas subterráneas del Sector Huinquentipa – Ornajuno. En la figura A), las estaciones se encuentran ordenadas en el sentido del escurrimiento.**



## g) Sector Paguana

En el Sector Paguana se cuenta información de calidad de aguas desde noviembre de 2015, habiendo un total de cinco estaciones con registros, todas de agua superficial. De las anteriores, dos estaciones presentan información en al menos dos campañas de monitoreo, ambas ubicadas en el cauce de la quebrada Paguana. Las estaciones restantes presentan un flujo intermitente y muy bajo, lo que ha limitado su caracterización, al permanecer principalmente secas.

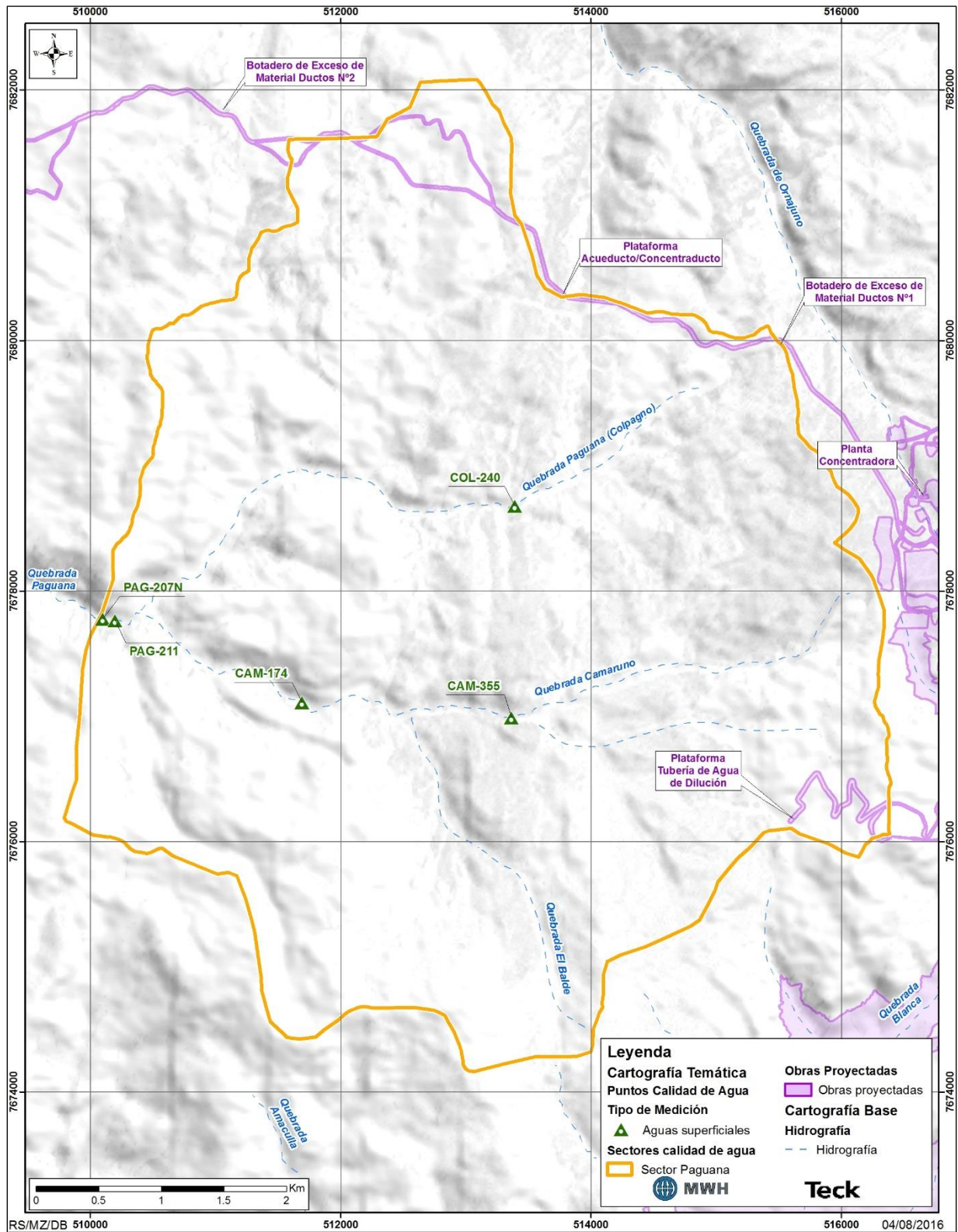
El detalle de las estaciones de calidad de agua existentes en el Sector Paguana se presenta en la Figura 3.2.9-138 y en la Tabla 3.2.9-24.

**Tabla 3.2.9-24. Estaciones de monitoreo en Sector Paguana.**

Nombre	DATUM WGS84, H19S			Tipo de Agua	Ubicación	Periodo con registros válidos
	Este (m)	Norte (m)	Elevación (m s.n.m.)			
COL-240	513.394	7.678.680	4.080*	Superficial	Qda. Colpagno	2016
CAM-355	513.365	7.676.989	4.099*	Superficial	Qda. Camaruno	2016
CAM-174	511.692	7.677.111	3.976*	Superficial	Qda. Camaruno	2016
PAG-211	510.199	7.677.764	3.835*	Superficial	Qda. Paguana	2016
PAG-207N	510.100	7.677.778	3.835*	Superficial	Qda. Paguana	2015 – 2016

(\*) Cota estimada a partir de Google Earth.

Figura 3.2.9-138 Sector Paguana.



Fuente: Elaboración propia.

## pH

En la Figura 3.2.9-139 se presentan la variación espacial y temporal del pH en el Sector Paguana.

El pH es homogéneo en este sector, variando en el rango de aguas moderadamente alcalinas, con registro extremos iguales a 7,8 UpH y 8,4 UpH, correspondiendo ambos valores a estaciones ubicadas en quebrada Paguana (estaciones PAG-207N y PAG-211, respectivamente). La estación PAG-207N presenta un valor máximo y una mediana iguales a 8,3 UpH y 8,2 UpH, respectivamente.

## Conductividad eléctrica

En la Figura 3.2.9-140 se presenta la variación espacial y temporal de la CE en el Sector Paguana.

La CE es relativamente homogénea en el Sector, estando en el rango de aguas levemente salinas, variando entre 989  $\mu\text{S/cm}$  (estación CAM-174) y 2.000  $\mu\text{S/cm}$  (estación COL-240). Se aprecia que los puntos más altos (estaciones COL-240 y CAM-355) presentan aguas con una mayor concentración de sales disueltas, las que disminuyen hacia aguas abajo, aunque en magnitudes menores a 1.000  $\mu\text{S/cm}$ . La CE aguas abajo de la junta con quebrada Camaruno muestra valores uniformes en quebrada Paguana, los que varían en torno a 1.300  $\mu\text{S/cm}$ .

## Sulfato

En la Figura 3.2.9-141 se presentan los resultados de las mediciones de concentración de sulfato en el Sector Paguana.

La variación espacial de la concentración de sulfato es similar a la de la CE, con valores máximos en las estaciones ubicadas aguas arriba (COL-240 y CAM-355), alcanzando 1.050 mg/l y 963 mg/l, respectivamente. Hacia aguas abajo se verifica una disminución en la concentración, la que en quebrada Paguana, aguas abajo de la junta con quebrada Camaruno, es relativamente uniforme, variando en torno a 550 mg/l.

## Cloruro

En la Figura 3.2.9-142 se presentan los resultados de las mediciones de concentración de cloruro en el Sector Paguana.

La concentración de cloruro es baja respecto a la de sulfato. Así como en dicho parámetro, la concentración máxima corresponde a la estación COL-240 (61 mg/l), existiendo en las dos quebradas evaluadas una disminución de la concentración hacia aguas abajo. La concentración mínima, tal como con la CE y el sulfato, corresponde a la estación CAM-174 (26 mg/l). En quebrada Paguana, aguas abajo de la junta con quebrada Camaruno, se presentan valores uniformes, variando en torno a 32 mg/l.

### Cobre disuelto

En la Figura 3.2.9-143 se presentan los resultados de las mediciones de concentración de cobre disuelto en el Sector Paguana.

Las concentraciones extremas fueron verificadas en quebrada Paguana, aguas abajo de la junta con quebrada Camaruno. El valor mínimo correspondió a la estación PAG-211 (0,001 mg/l, febrero de 2016), mientras que el máximo se midió en la estación PAG-207N (0,007 mg/l, noviembre de 2015). Las estaciones restantes han presentado registros intermedios en el rango dado por los valores indicados.

### Cobre total

En la Figura 3.2.9-144 se presentan los resultados de las mediciones de concentración de cobre total en el Sector Paguana.

Los resultados son similares a los del cobre disuelto, con concentraciones máxima y mínima en la estación PAG-207N (0,01 mg/l y 0,003 mg/l, respectivamente). Además de dicha estación, se cuenta con información validada de acuerdo a los criterios QA/QC (Acápites 3.2.9.4.2) en las estaciones PAG-211 (0,004 mg/l) y CAM-174 (0,006 mg/l).

### Hierro total

En la Figura 3.2.9-145 se presentan los resultados de las mediciones de concentración de hierro total en el Sector Paguana.

La concentración de hierro total ha sido relativamente uniforme en términos espaciales, variando en el rango 0,08 mg/l (estación PAG-211, febrero de 2016) y 0,5 mg/l (estación PAG-207N, enero de 2016).

Cabe señalar que no se cuenta con registros válidos de acuerdo a los criterios QA/QC para la concentración de hierro disuelto en las estaciones existentes en el sector Paguana.

### Resumen

A modo de síntesis de los resultados presentados, a continuación se resume la descripción de la calidad de agua en el Sector Paguana para los parámetros evaluados, por medio del uso de diferentes estadísticos, considerando entre otro el registro mínimo, el máximo y el P50 o mediana. Los resultados se presentan en la Tabla 3.2.9-25. Cabe señalar que en este Sector se cuenta con información desde 2015 y que todos los registros corresponden a aguas superficiales.



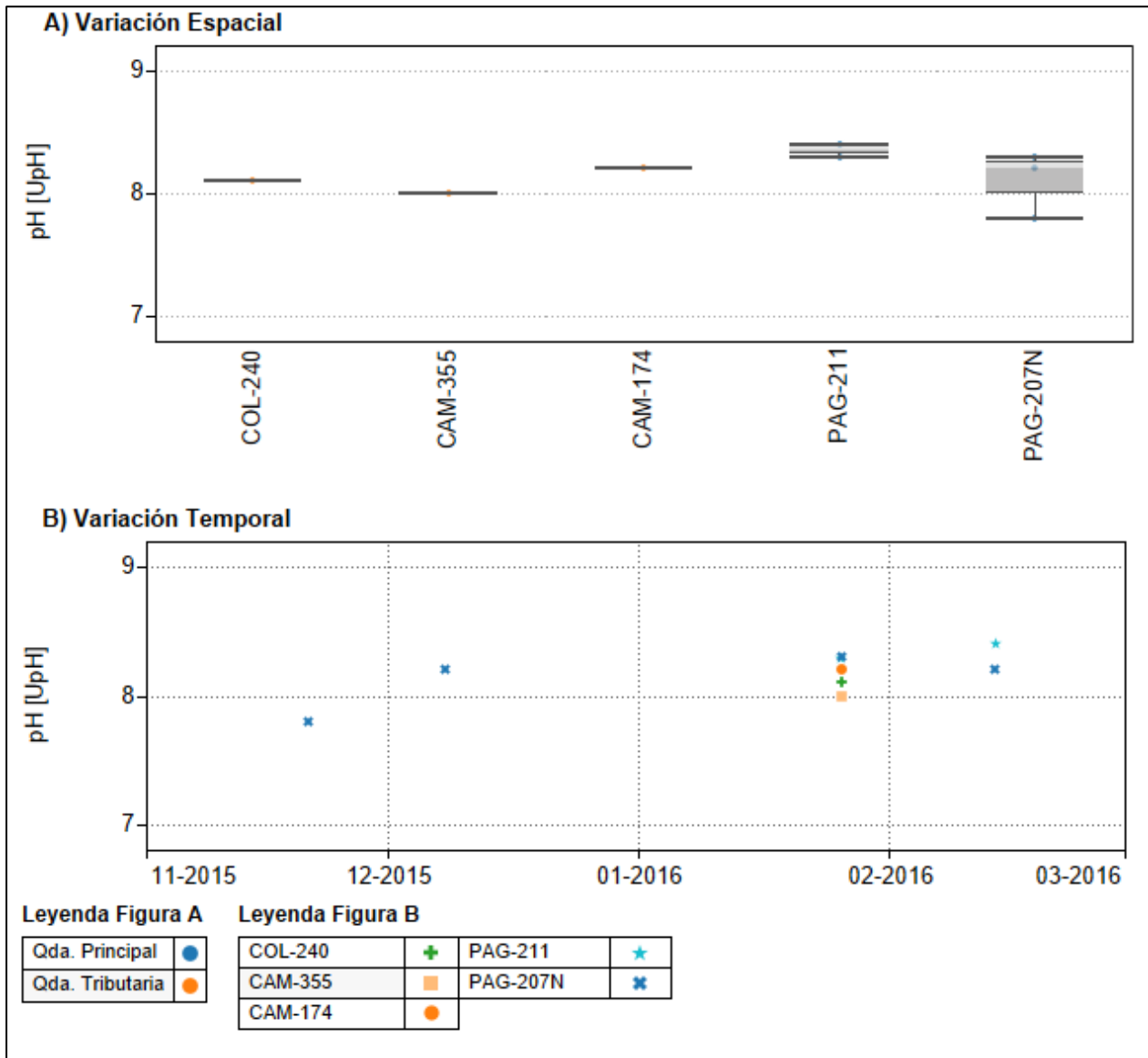
**Tabla 3.2.9-25. Resumen calidad de agua en Sector Paguana, registros históricos (2015 – 2016).**

Tipo Agua	Valor	C.E.	Cl	Cu dis	Cu tot	Fe dis	Fe tot	pH	SO <sub>4</sub>
		µS/cm	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	UpH	mg/l
Aguas Superficiales	Mín.	989	26	0,001	0,003	s/i	0,08	7,8	322
	P(10)	1.125	28	0,001	0,003	s/i	0,08	7,9	426
	P(50)	1.310	32	0,004	0,006	s/i	0,2	8,2	541
	P(90)	1.915	53	0,007	0,01	s/i	0,5	8,4	1.007
	Máx.	2.000	61	0,007	0,01	s/i	0,5	8,4	1.050

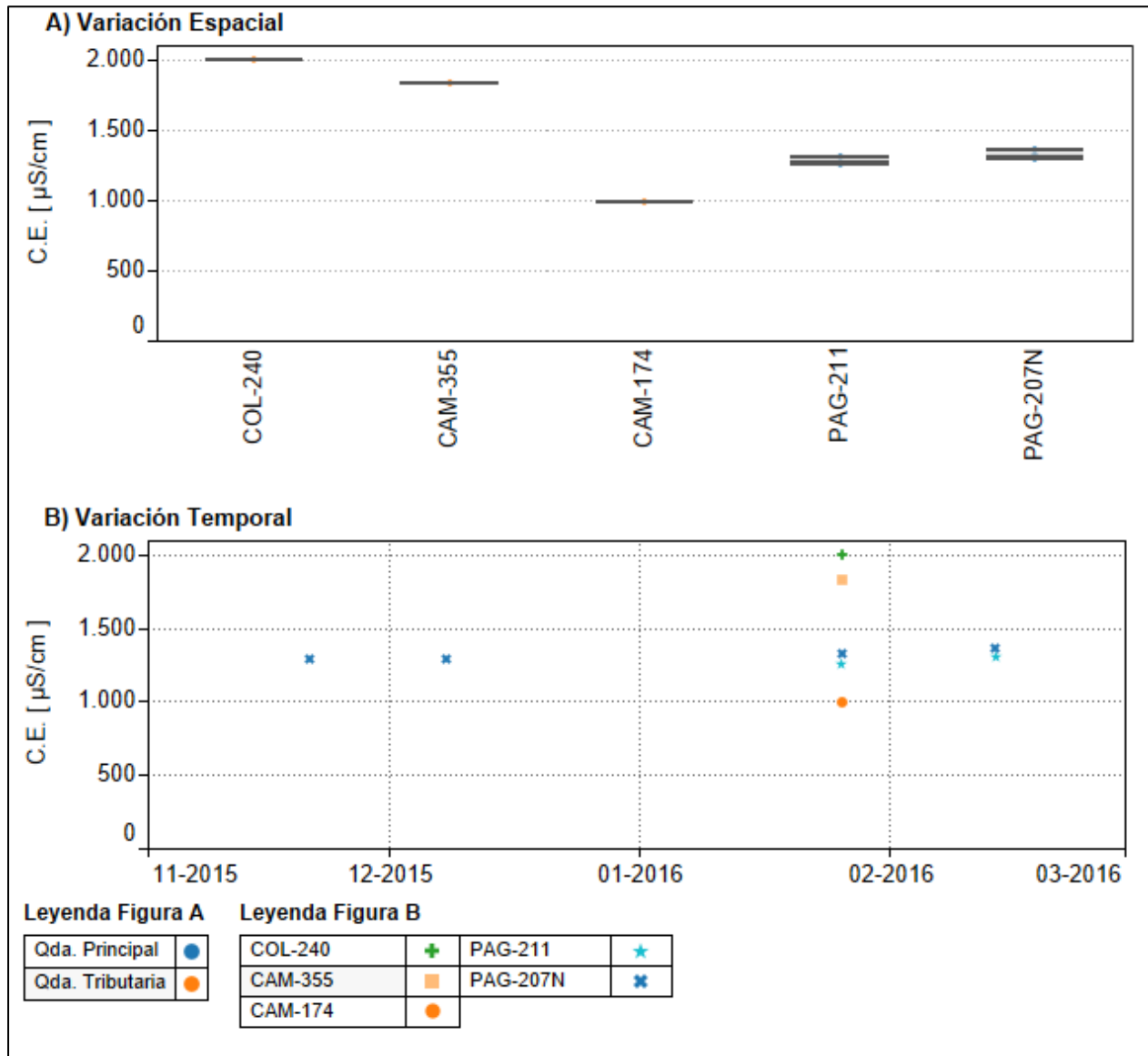
s/i: sin información validada por los criterios QA/QC definidos en Acápite 3.2.9.4.2

Fuente: Elaboración propia.

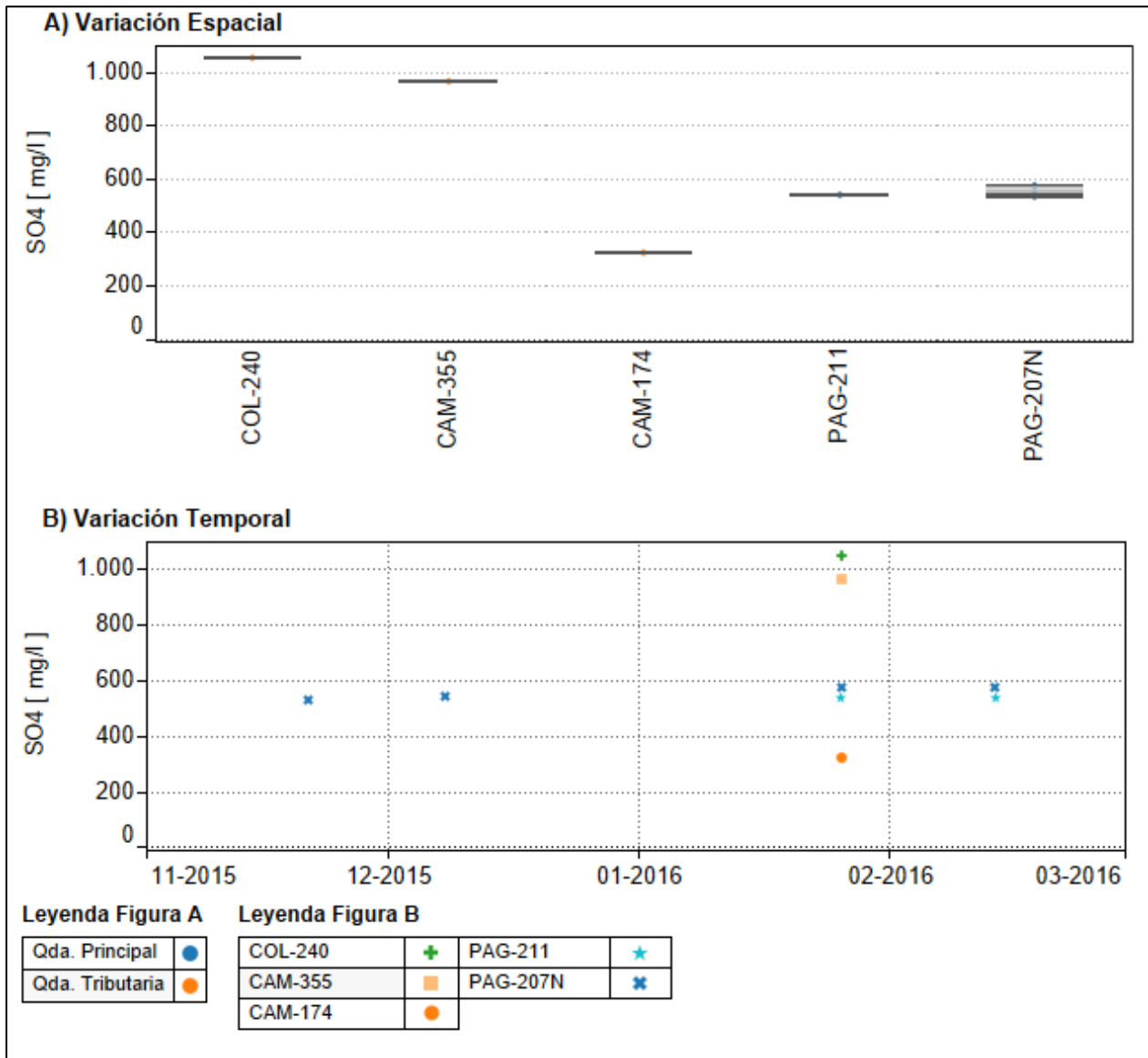
**Figura 3.2.9-139 Variación espacial y temporal de pH de las aguas superficiales del Sector Paguana. En la figura A), las estaciones se encuentran ordenadas en el sentido del escurrimiento.**



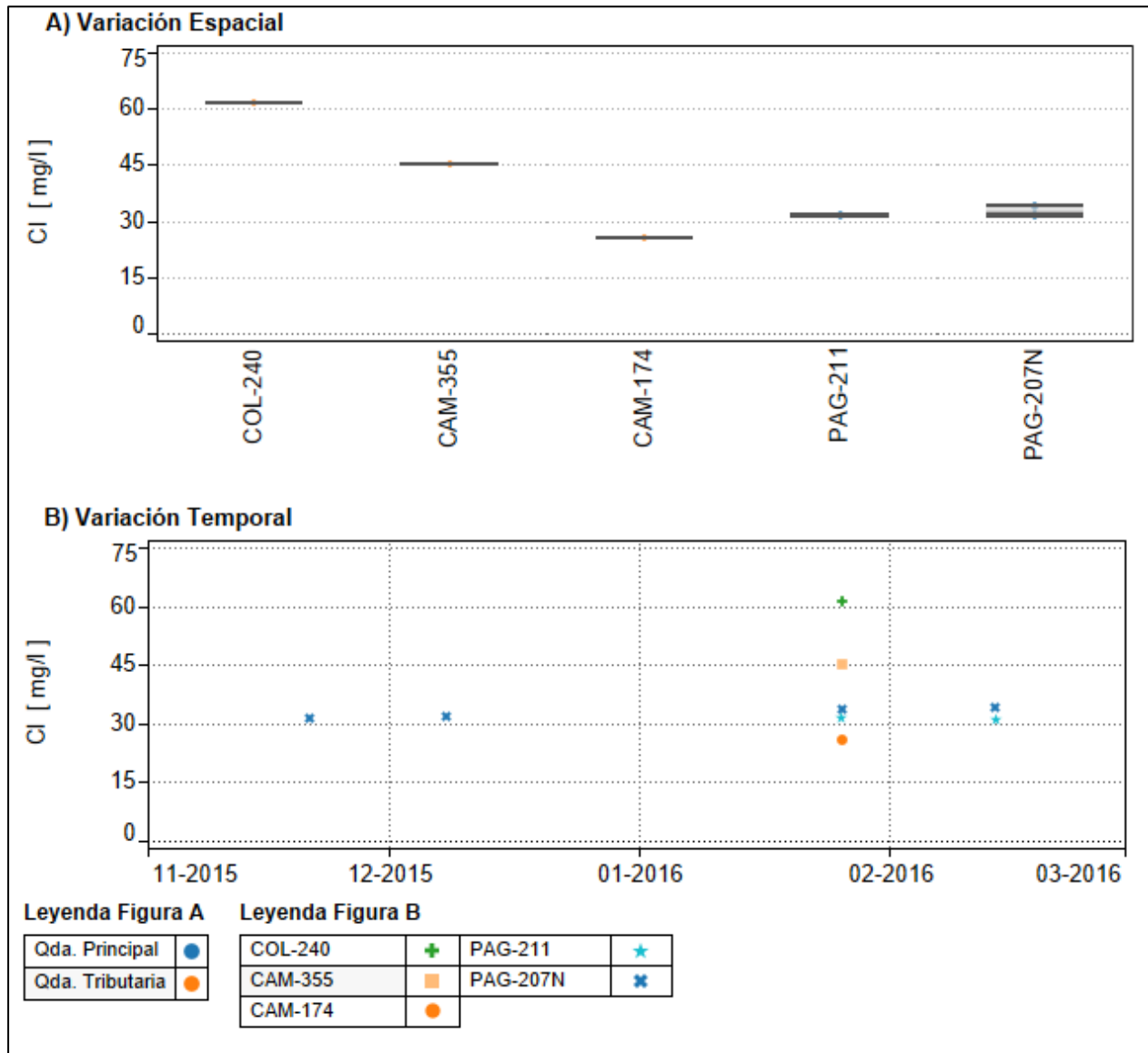
**Figura 3.2.9-140 Variación espacial y temporal de CE de las aguas superficiales del Sector Paguana. En la figura A), las estaciones se encuentran ordenadas en el sentido del escurrimiento.**



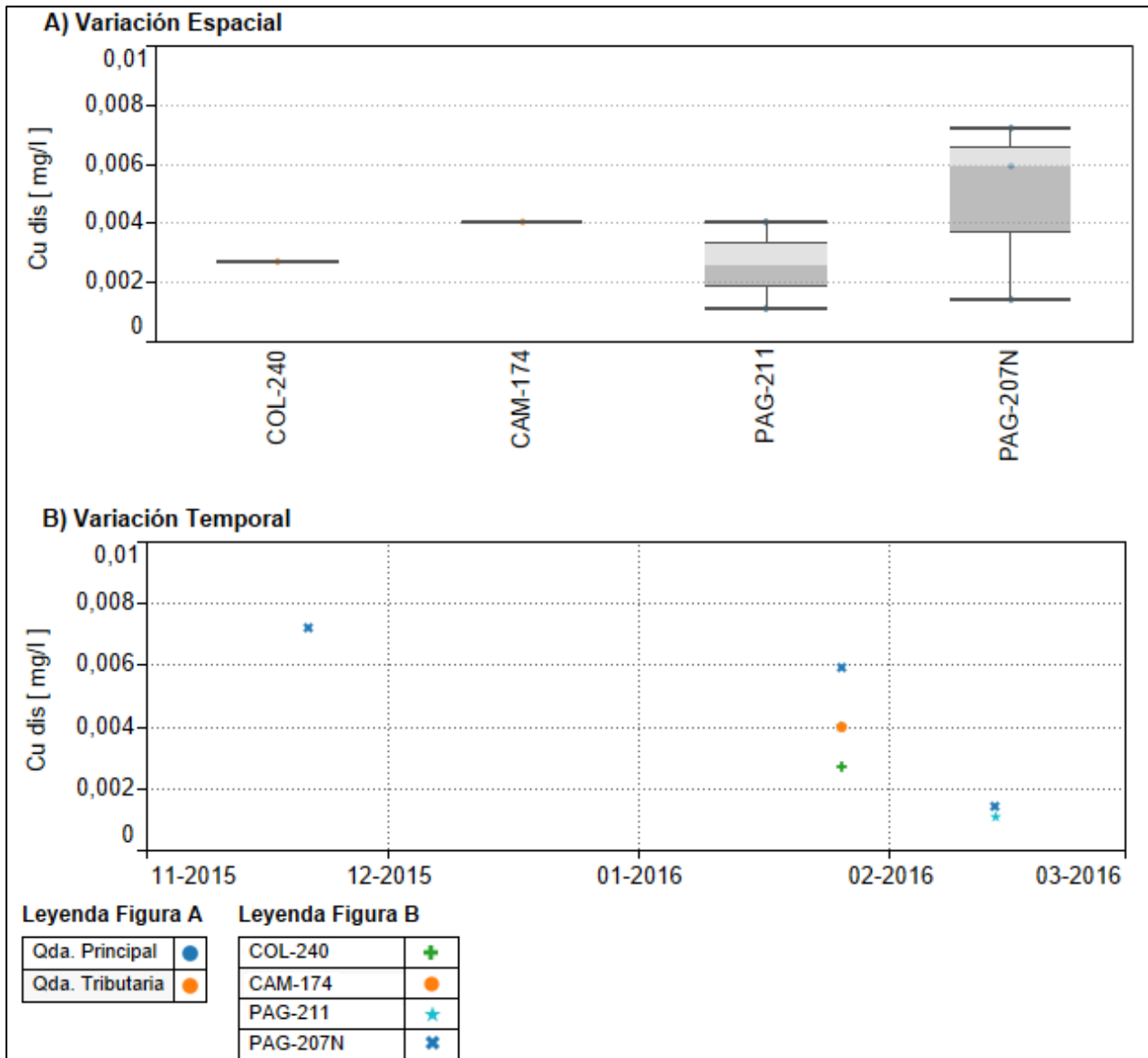
**Figura 3.2.9-141 Variación espacial y temporal de la concentración de sulfato en las aguas superficiales del Sector Paguana. En la figura A), las estaciones se encuentran ordenadas en el sentido del escurrimiento.**



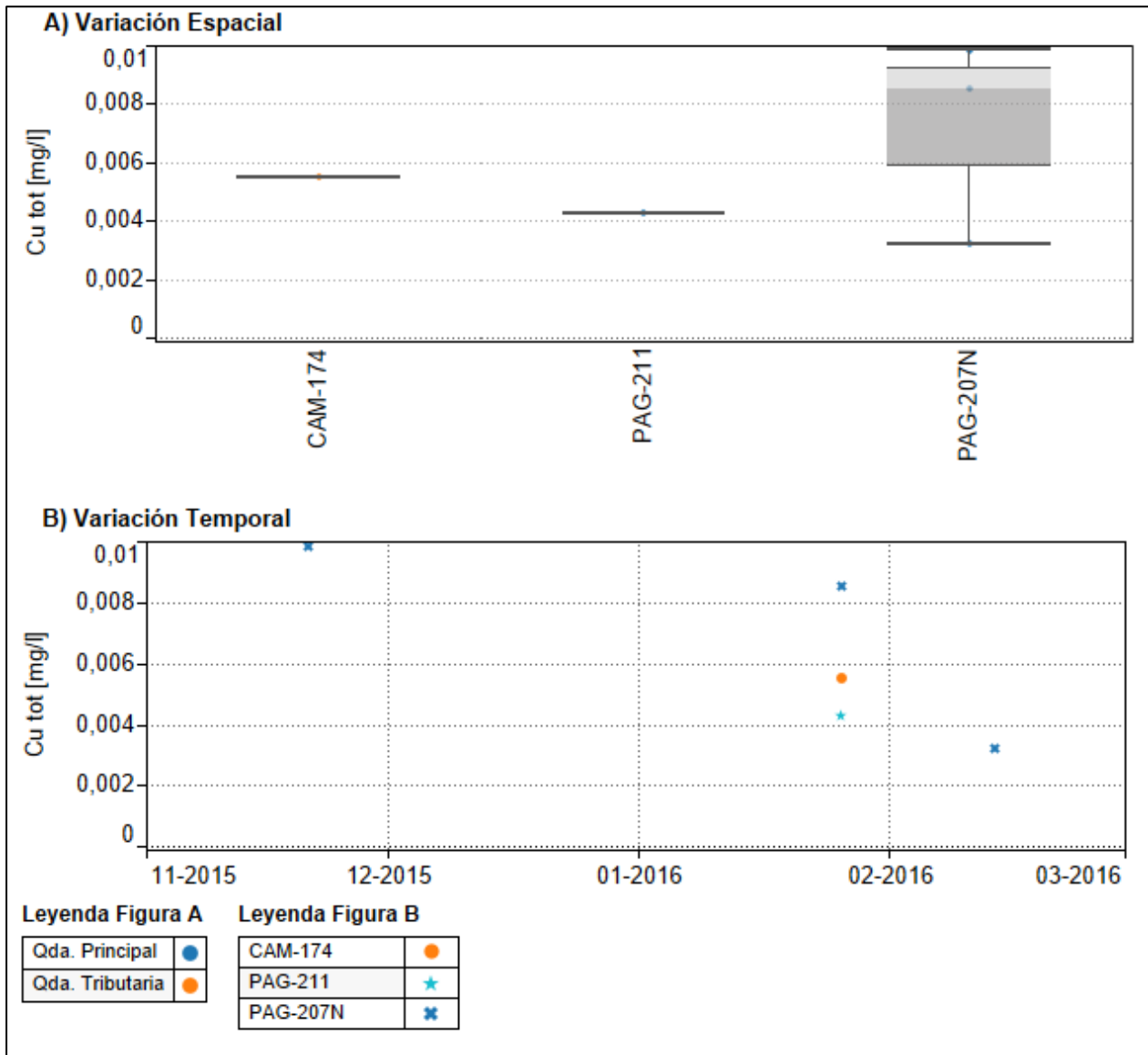
**Figura 3.2.9-142 Variación espacial y temporal de la concentración de cloruro en las aguas superficiales del Sector Paguana. En la figura A), las estaciones se encuentran ordenadas en el sentido del escurrimiento.**



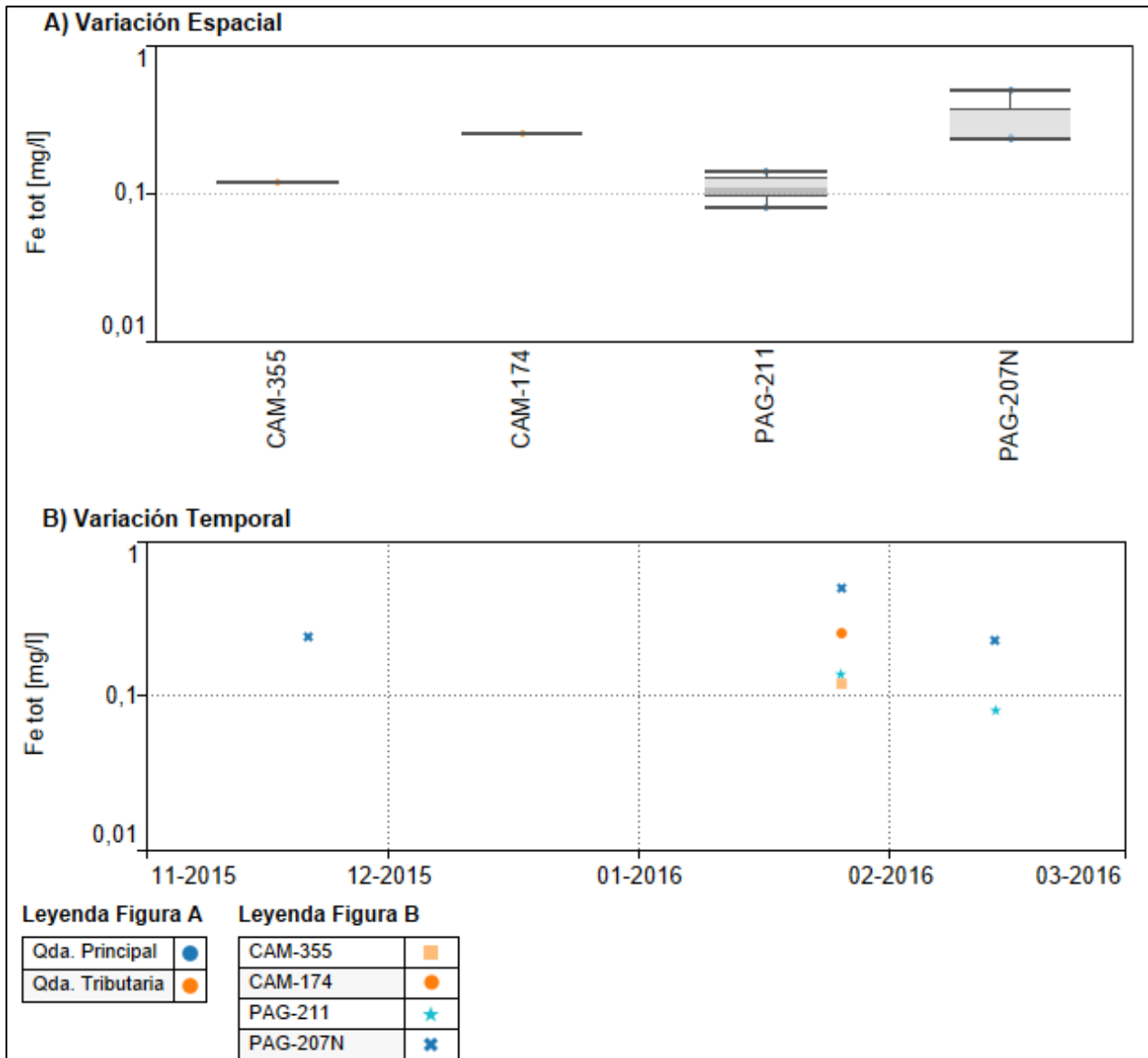
**Figura 3.2.9-143 Variación espacial y temporal de la concentración de cobre disuelto en las aguas superficiales del Sector Paguana. En la figura A), las estaciones se encuentran ordenadas en el sentido del escurrimiento.**



**Figura 3.2.9-144 Variación espacial y temporal de la concentración de cobre total en las aguas superficiales del Sector Paguana. En la figura A), las estaciones se encuentran ordenadas en el sentido del escurrimiento.**



**Figura 3.2.9-145 Variación espacial y temporal de la concentración de hierro total en las aguas superficiales del Sector Paguana. En la figura A), las estaciones se encuentran ordenadas en el sentido del escurrimiento.**





### 3.2.9.5.2 Carácter iónico de las aguas

#### a) Sector Mina

A continuación se presentan los diagramas de Piper del Sector Mina, separados para cada Subsector, definido en función del sentido de escurrimiento de las aguas subterráneas: Subsector Mina-Rajo y Subsector Mina-Qda. Blanca.

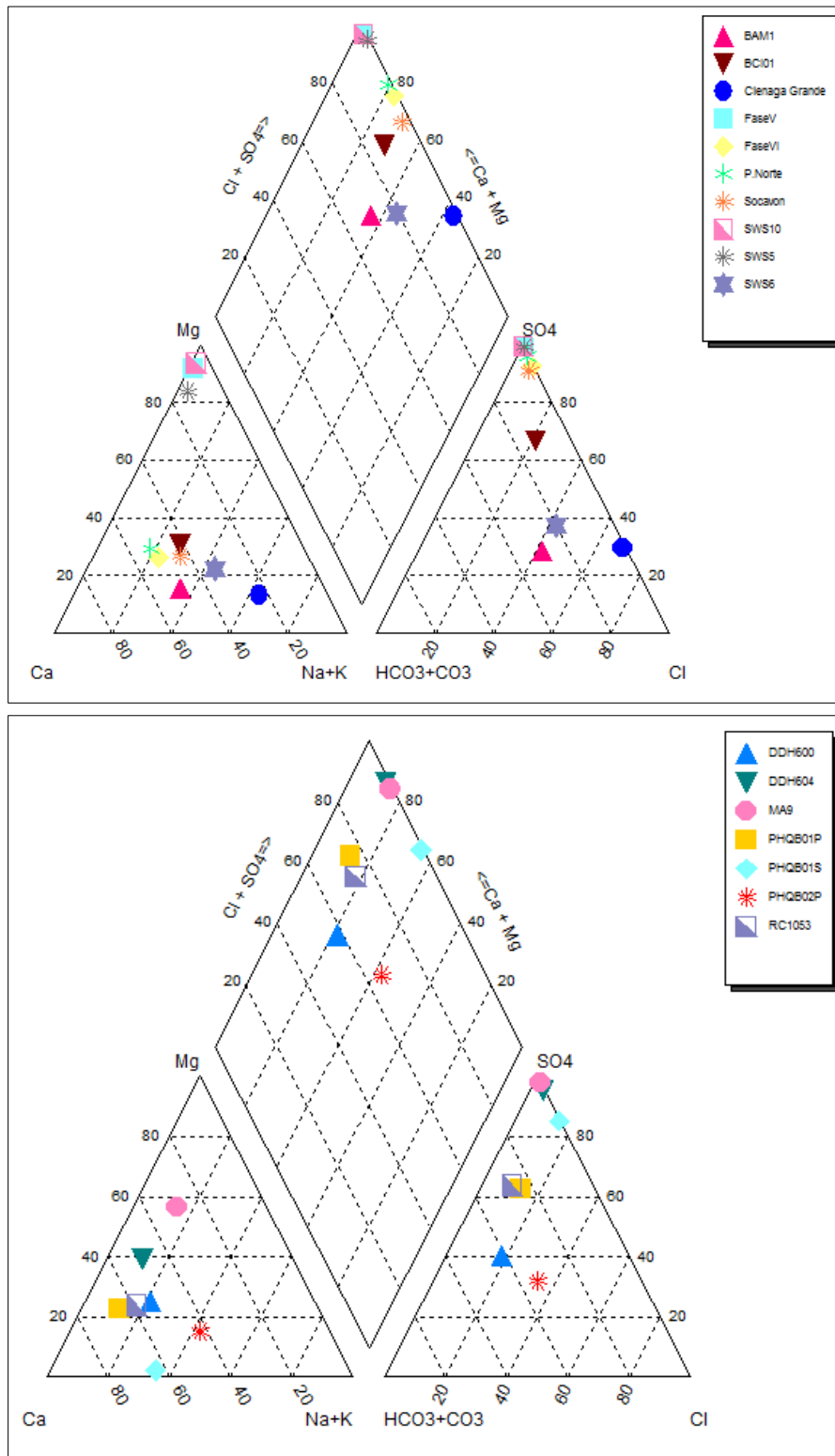
##### a.1) Subsector Mina-Rajo

El diagrama de Piper para las **aguas superficiales** del Subsector Mina-Rajo (Figura 3.2.9-146), muestra la existencia de dos tipos de aguas. El primer tipo de aguas muestra predominancia de  $\text{SO}_4$  y Mg, encontrándose asociadas a estaciones ubicadas cercanas a instalaciones mineras, como SWS5, SWS10 y Fase V. El segundo tipo de aguas es mixto, con presencia predominante de los cationes Ca, Na+K y de los aniones Cl y  $\text{HCO}_3$ . Este segundo tipo de aguas está asociado a las estaciones Ciénaga Grande (estación pre-mina, dato 1991), BAM1 (parte alta de la quebrada Agua del Mote) y SWS6 (ubicado en quebrada del Carmen).

El diagrama de Piper para las **aguas subterráneas** del Subsector Mina-Rajo (Figura 3.2.9-146), muestra la existencia de distintos tipos de aguas. Sin embargo, de manera general se identifican aguas con dominancia de sulfato, calcio y magnesio. En el caso de aguas de no contacto, como las registradas en los pozos DDH600 y RC1053, ambos ubicados en las partes altas de las quebradas Agua del Mote y del Carmen respectivamente, el diagrama de Piper indica una presencia importante de bicarbonato, siendo las aguas del tipo sulfatadas/bicarbonatadas cálcicas. En el caso de aguas subterráneas medidas cerca de las instalaciones mineras, se observa una dominancia clara del sulfato, como es el caso de los pozos DDH604, MA9 y PHQB01S.

En cuanto a la variabilidad estacional del carácter iónico de las aguas, no se observan cambios importantes para las aguas superficiales y subterráneas del Subsector Mina-Rajo, entre verano e invierno. No obstante lo anterior, los diagramas de Piper para ambas situaciones se presentan en el Anexo 3.2.9-3.

**Figura 3.2.9-146 Diagrama de Piper Subsector Mina-Rajo, aguas superficiales (figura superior) y aguas subterráneas (figura inferior).**



Fuente: Elaboración Propia.

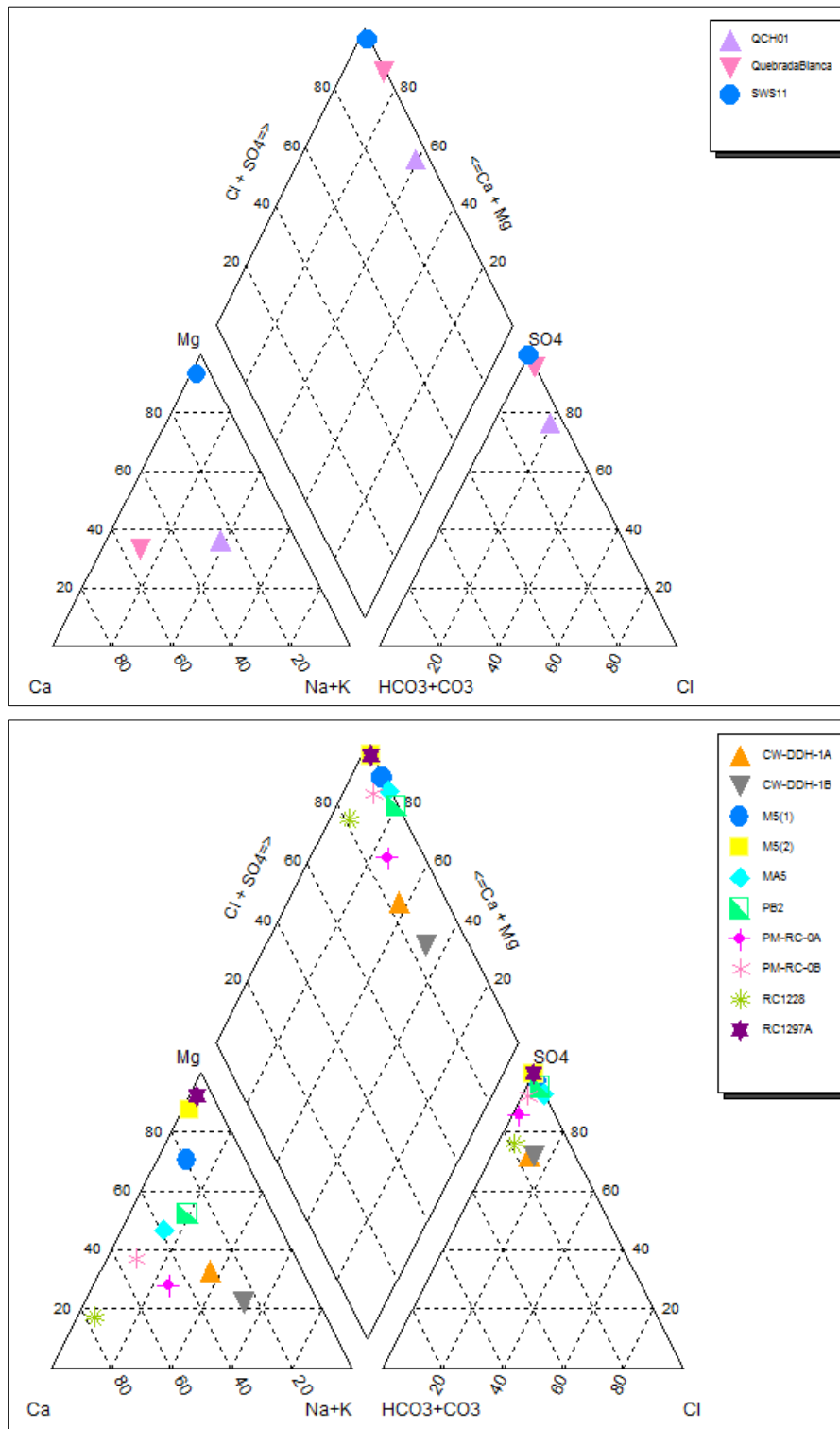
## a.2) Subsector Mina-Qda.Blanca

El diagrama de Piper para las **aguas superficiales** del Subsector Mina-Qda.Blanca (Figura 3.2.9-147), muestra una clara dominancia del anión sulfato, sin embargo la presencia de cationes principales es variable dependiendo de la estación de muestreo. Cabe destacar dentro de este Subsector a la estación Quebrada Blanca (QB 1991), la cual permite caracterizar a las aguas de pre-mina. El carácter iónico de estas aguas es sulfatado cálcico, con presencia de magnesio subordinado.

El diagrama de Piper para las **aguas subterráneas** del Subsector Mina-Qda.Blanca (Figura 3.2.9-147), muestra una dominancia del sulfato por sobre el resto de los aniones, mientras que desde el punto de vista de los cationes principales, todos ellos se encuentran formando parte importante de las aguas de este Subsector, dependiendo de la estación considerada. La predominancia del sulfato se explica por la ubicación de estas estaciones, todas ellas distribuidas en el entorno del Botadero de Lixiviación de Sulfuros y Cortina Hidráulica N°1. A medida que las estaciones se alejan de estas instalaciones por el eje de la quebrada Blanca, se observa presencia de bicarbonato y cloruro, aunque el sulfato sigue siendo el anión principal. Esto se observa en las estaciones CW-DDH-1A y CW-DDH-1B, ubicadas aproximadamente 700 m aguas abajo de la Cortina Hidráulica N°1.

En cuanto a la variabilidad estacional del carácter iónico de las aguas, no se observan cambios importantes para las aguas superficiales y subterráneas del Subsector Mina-Q. Blanca, entre verano e invierno. No obstante lo anterior, los diagramas de Piper para ambas situaciones se presentan en el Anexo 3.2.9-3.

**Figura 3.2.9-147 Diagrama de Piper Subsector Mina-Q.Blanca, aguas superficiales (figura superior) y aguas subterráneas (figura inferior).**



Fuente: Elaboración Propia.

**b) Sector Quebrada Blanca**

A continuación se presentan los diagramas de Piper del Sector Quebrada Blanca, separados para cada Subsector, definidos en función de los cambios identificados en la calidad de agua de quebrada Blanca.

**b.1) Subsector Q.Blanca-Alto**

Respecto al carácter iónico de las **aguas superficiales** de este Subsector (Figura 3.2.9-148), se cuenta con información para la estación SWS7, cuyas aguas son sulfatadas magnésicas.

El diagrama de Piper para las **aguas subterráneas** del Subsector Q.Blanca-Alto (Figura 3.2.9-148) muestra al menos dos tipos de aguas, todas ellas con predominancia de sulfato, pero con distinta composición de cationes principales. De este modo, al comienzo del Subsector, hay una predominancia de los cationes sodio+potasio (estaciones PM-RC-01A y PM-RC-01B), luego se observa una dominancia del magnesio (estaciones M6(2) y PQB1), aguas abajo vuelve a aparecer el sodio+potasio como dominante (estaciones PM-DDH-2 y PM-RC-03A) y finalmente, vuelve a predominar el magnesio (estaciones PM-DDH-4, PM-RC-04A, PM-RC-04B y RAC- GWQ-QB-01BS).

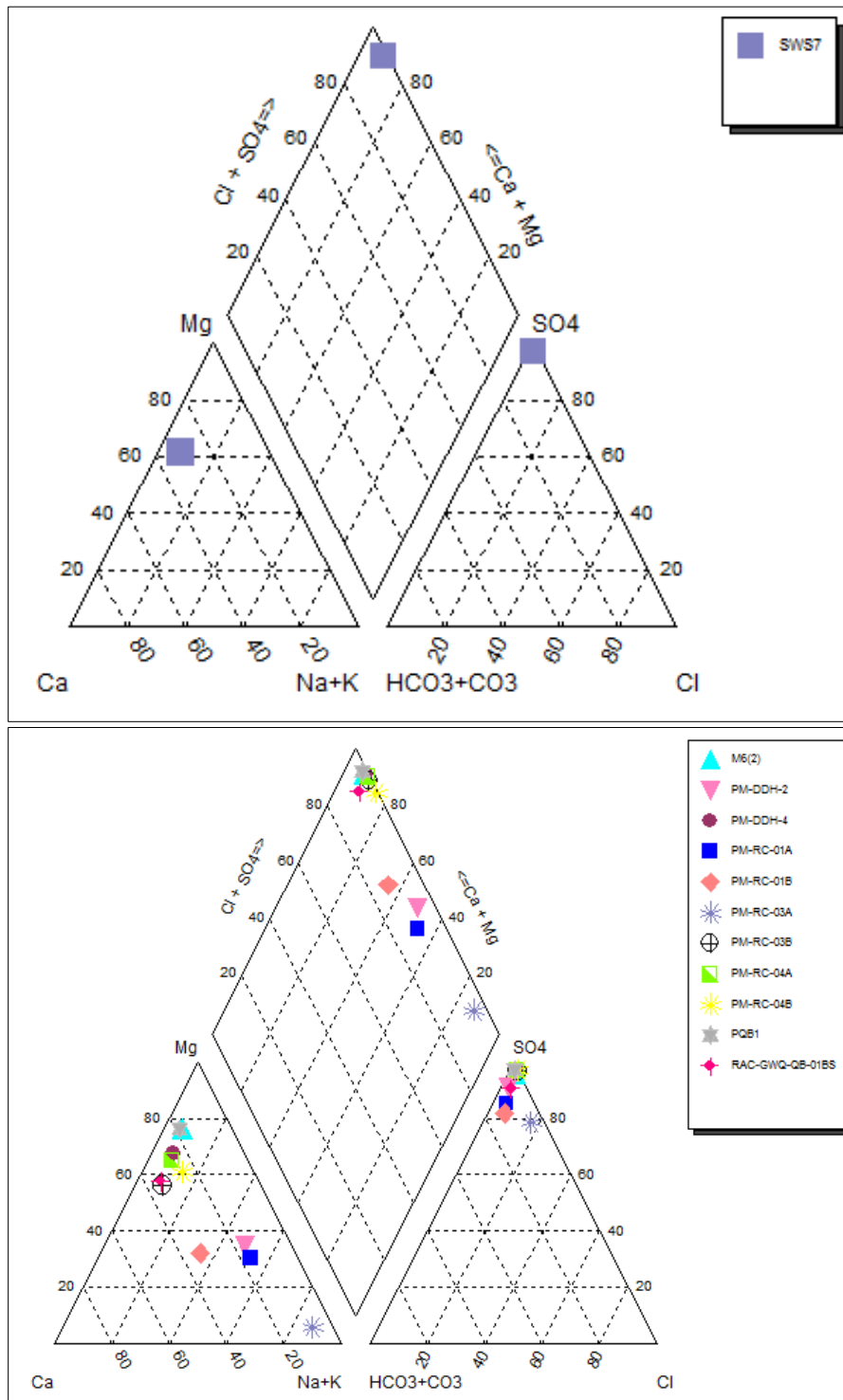
En cuanto a la variabilidad estacional del carácter iónico de las aguas, no se observan cambios importantes para las aguas superficiales y subterráneas del Subsector Q. Blanca-Alto, entre verano e invierno. No obstante lo anterior, los diagramas de Piper para ambas situaciones se presentan en el Anexo 3.2.9-3.

**b.2) Subsector Q.Blanca-Bajo**

El diagrama de Piper para las **aguas superficiales** (Figura 3.2.9-149) y para las **aguas subterráneas** (Figura 3.2.9-149) del Subsector Q.Blanca-Bajo, muestra que todas las aguas representadas para este Subsector son del tipo sulfatadas cálcicas, con presencia de magnesio subordinado.

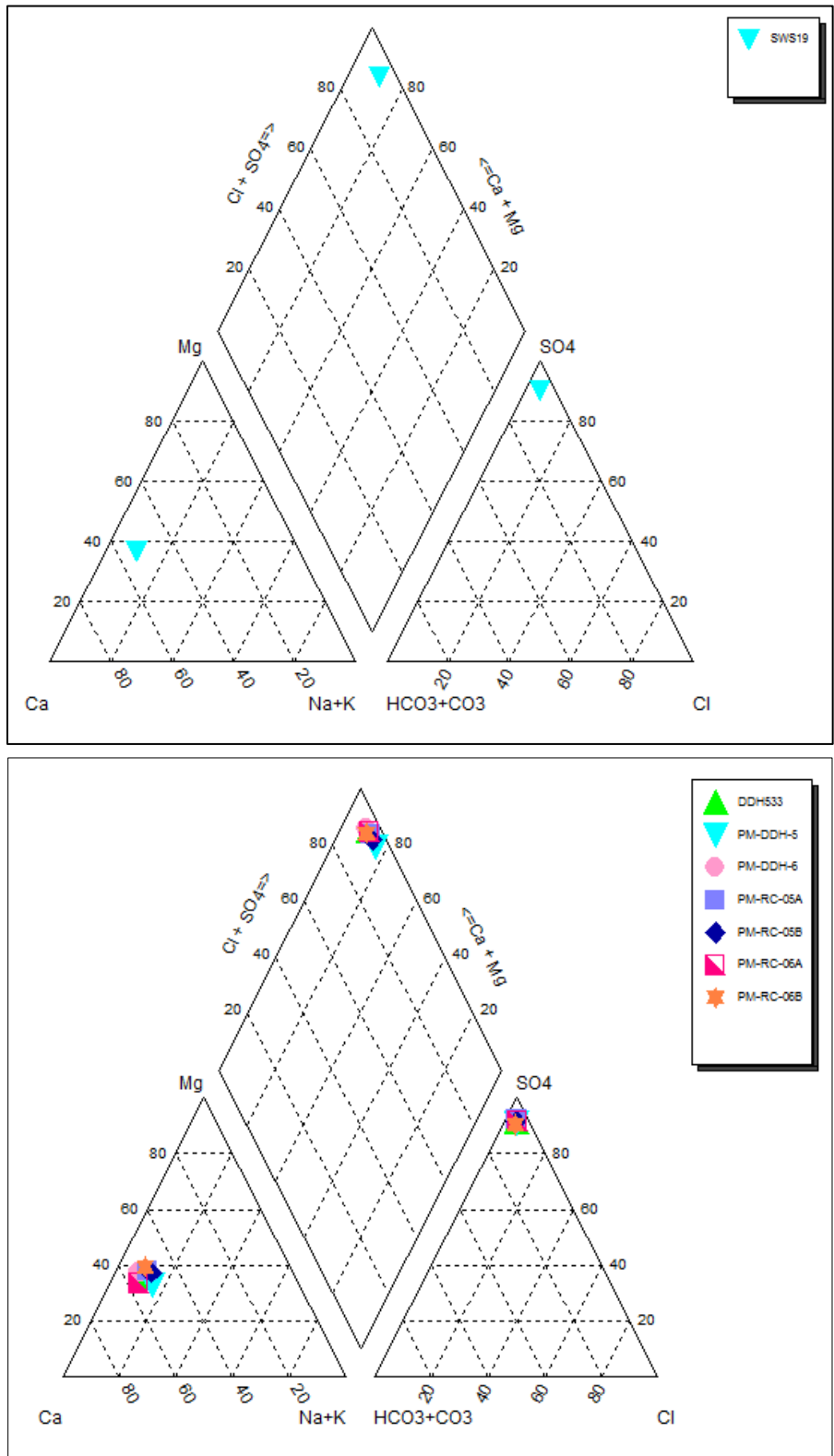
En cuanto a la variabilidad estacional del carácter iónico de las aguas, no se observan cambios importantes para las aguas superficiales y subterráneas del Subsector Q. Blanca-Bajo, entre verano e invierno. No obstante lo anterior, los diagramas de Piper para ambas situaciones se presentan en el Anexo 3.2.9-3.

**Figura 3.2.9-148. Diagrama de Piper Q.Blanca-Alto, aguas superficiales (figura superior) y aguas subterráneas (figura inferior).**



Fuente: Elaboración Propia.

**Figura 3.2.9-149. Diagrama de Piper Q.Blanca-Bajo, aguas superficiales (figura superior) y aguas subterráneas (figura inferior).**



Fuente: Elaboración Propia.

## c) Sector Llareta

El diagrama de Piper para las **aguas superficiales** del Sector Llareta (Figura 3.2.9-150), muestra que la estación QLLA1 tiene aguas del tipo bicarbonatadas cálcicas, asemejándose a las aguas de los pozos someros del mismo Sector.

El diagrama de Piper para las **aguas subterráneas** del Sector Llareta (Figura 3.2.9-150) muestra que todas las aguas a lo largo de quebrada Llareta tienen un carácter iónico similar, donde domina el catión calcio y hay una dominancia mixta de los aniones sulfato y bicarbonato.

En cuanto a la variabilidad estacional del carácter iónico de las aguas, se observan diferencias entre invierno y verano, dadas por el aumento en la presencia del bicarbonato por sobre el sulfato en verano con respecto a invierno en algunos puntos de monitoreo, incluyendo tanto pozos (por ejemplo, PHQB07S, PHQB07P), como la estación de aguas superficiales QLLA1. Los diagramas de Piper para ambas situaciones se presentan en el Anexo 3.2.9-3.

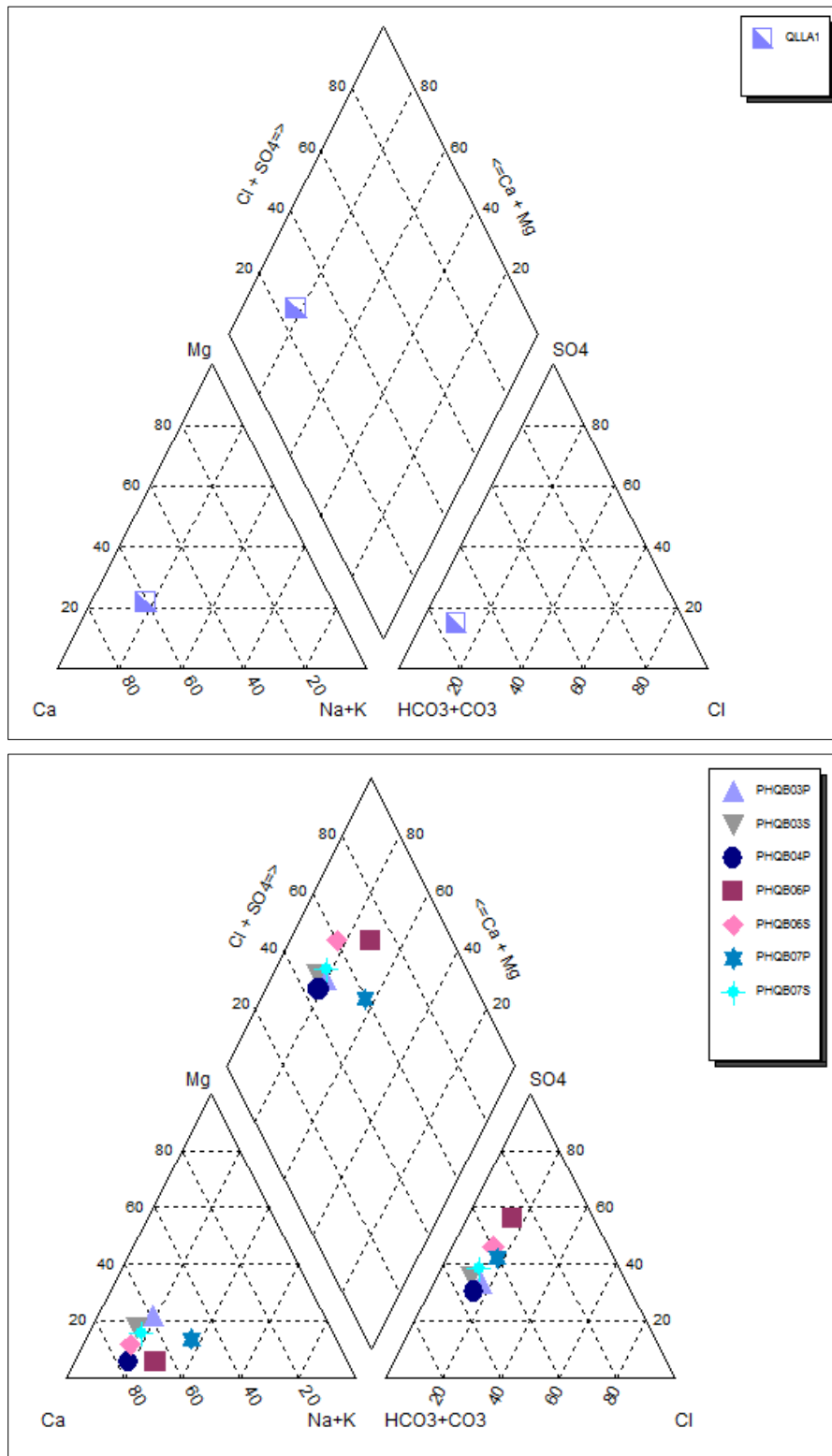
## d) Sector Jovita

El diagrama de Piper para las **aguas superficiales** del Sector Jovita (Figura 3.2.9-151), muestran una dominancia del catión calcio y una dominancia mixta de los aniones bicarbonato y sulfato. En cuanto a la espacialidad, hay una leve predominancia del bicarbonato por sobre el sulfato en la parte alta de la cuenca, estación JOV-130, mientras que en la parte baja predomina levemente el sulfato por sobre el bicarbonato, estación JOV-222. Lo anterior, concuerda con lo observado en las aguas subterráneas, aunque en este último caso las diferencias son más significativas.

El diagrama de Piper para las **aguas subterráneas** del Sector Jovita (Figura 3.2.9-151), muestra que existen distintos tipos de aguas, observándose una transición desde aguas arriba hacia aguas abajo. En la parte alta de la cuenca, estación SH21-14-06B, las aguas son bicarbonatadas cálcicas; aguas abajo, estaciones SH21-14-03I y SH21-1403P, las aguas pasan a ser bicarbonatadas sódicas. Por último, en la parte baja de la cuenca, estaciones GWW-QB-01S y GWW-QB-01P, las aguas pasan a ser sulfatadas con dominancia de calcio y sodio.

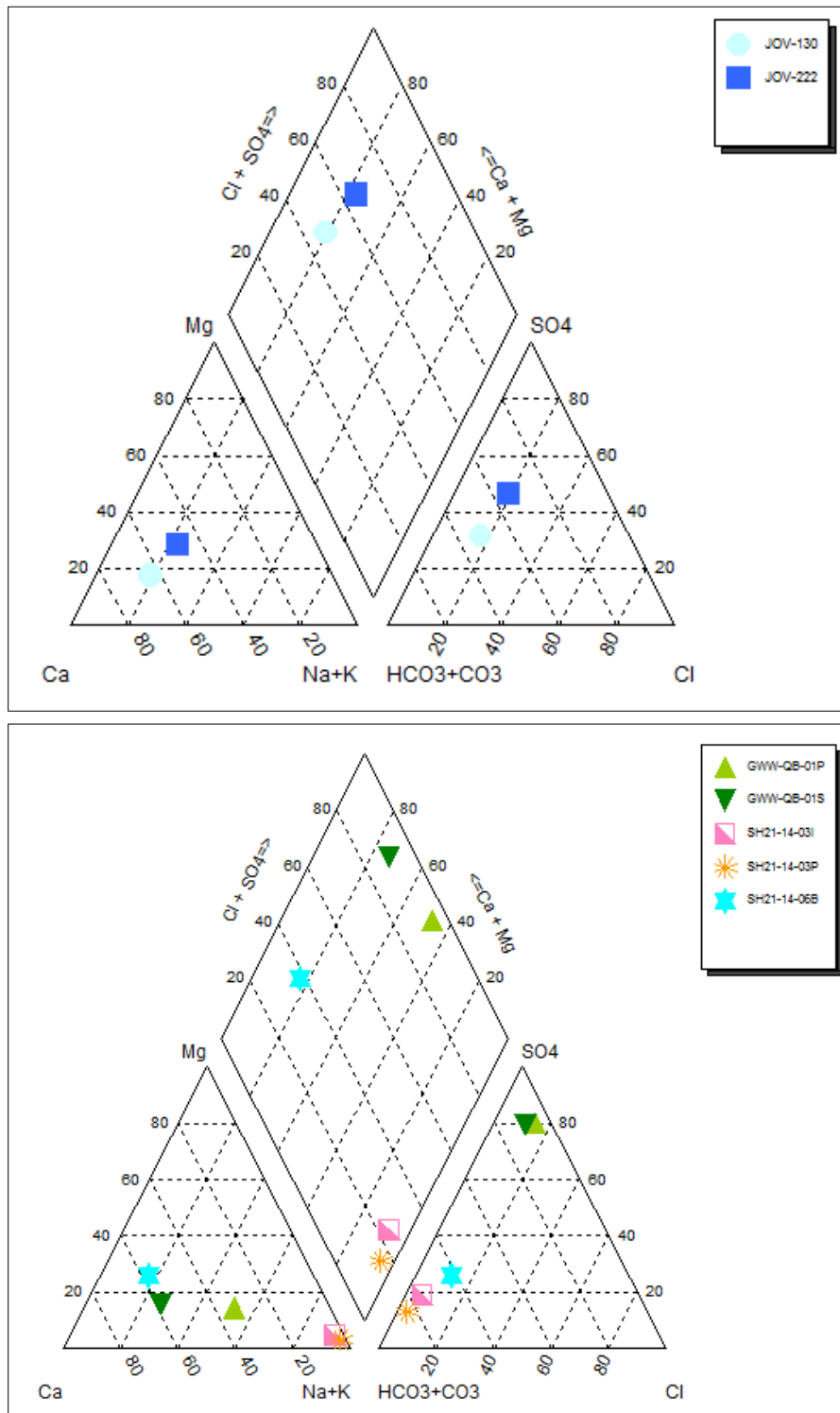


**Figura 3.2.9-150. Diagrama de Piper Sector Llreta, aguas superficiales (figura superior) y aguas subterráneas (figura inferior).**



Fuente: Elaboración Propia.

**Figura 3.2.9-151. Diagrama de Piper Sector Jovita, aguas superficiales (figura superior) y aguas subterráneas (figura inferior).**



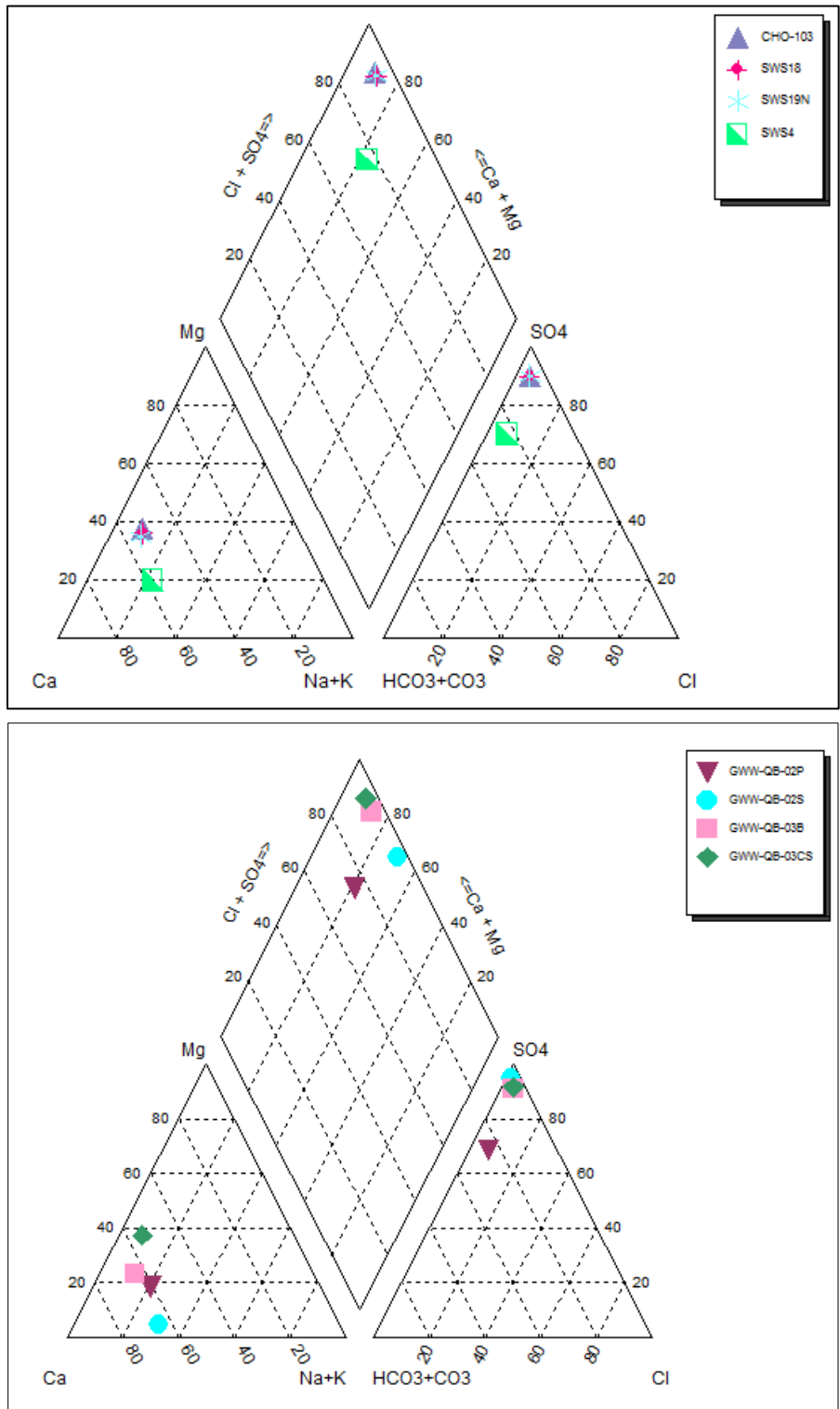
Fuente: Elaboración Propia.

## e) Sector Ramucho-Choja

El diagrama de Piper para las aguas superficiales del Sector Ramucho-Choja (Figura 3.2.9-152), muestra que en general las aguas del Sector son sulfatadas cálcicas. En detalle, es posible observar el efecto de la mezcla de aguas de quebrada Ramucho con quebrada Blanca. De esta forma, las aguas en la parte alta de quebrada Choja (estaciones CHO-104 y SWS18) se encuentran más enriquecidas en sulfato y magnesio respecto a las aguas de la quebrada Ramucho (estación SWS4), las cuales muestran un contenido significativo de bicarbonato acompañando al sulfato.

El diagrama de Piper para las aguas subterráneas del Sector Ramucho-Choja (Figura 3.2.9-152), muestra que en general las aguas del Sector son sulfatadas cálcicas. En detalle, se observa el mismo efecto descrito para las aguas superficiales, producto de la confluencia entre quebrada Blanca y quebrada Ramucho. De esta forma, las aguas de quebrada Choja (pozos GWW-QB-03B y GWW-QB-03CS) se encuentran más enriquecidas en sulfato y magnesio respecto a las aguas de la quebrada Ramucho (pozos GWW-QB-02P y GWW-QB-02S), las cuales muestran un contenido significativo de bicarbonato acompañando al sulfato.

**Figura 3.2.9-152. Diagrama de Piper Sector Ramucho-Choja, aguas superficiales (figura superior) y aguas subterráneas (figura inferior).**



Fuente: Elaboración Propia.

## f) Sector Huinquentipa-Ornajuno

El diagrama de Piper para las **aguas superficiales** del Sector Huinquentipa-Ornajuno (Figura 3.2.9-153), muestra la existencia de distintos tipos de agua, con una presencia importante de los iones principales. En términos generales, los aniones de mayor dominancia son sulfato y bicarbonato, mientras que para los cationes la mayor presencia es de calcio.

Espacialmente, se observa una transición de los tipos de agua en el sentido del escurrimiento. De esta forma, en la parte alta de la cuenca Huinquentipa (estaciones HUI03 y QDH-2), las aguas son sulfatadas/bicarbonatadas cálcicas. Aguas abajo, en la confluencia de la quebrada Petentecaya con la quebrada Huinquentipa (estaciones AHUI01 y HUI2) las aguas son bicarbonatadas cálcicas. Finalmente, en la parte baja de la cuenca, luego de la confluencia de las quebradas Ornajuno y Huinquentipa (estaciones SWS15 y DGA) las aguas son sulfatadas cálcicas.

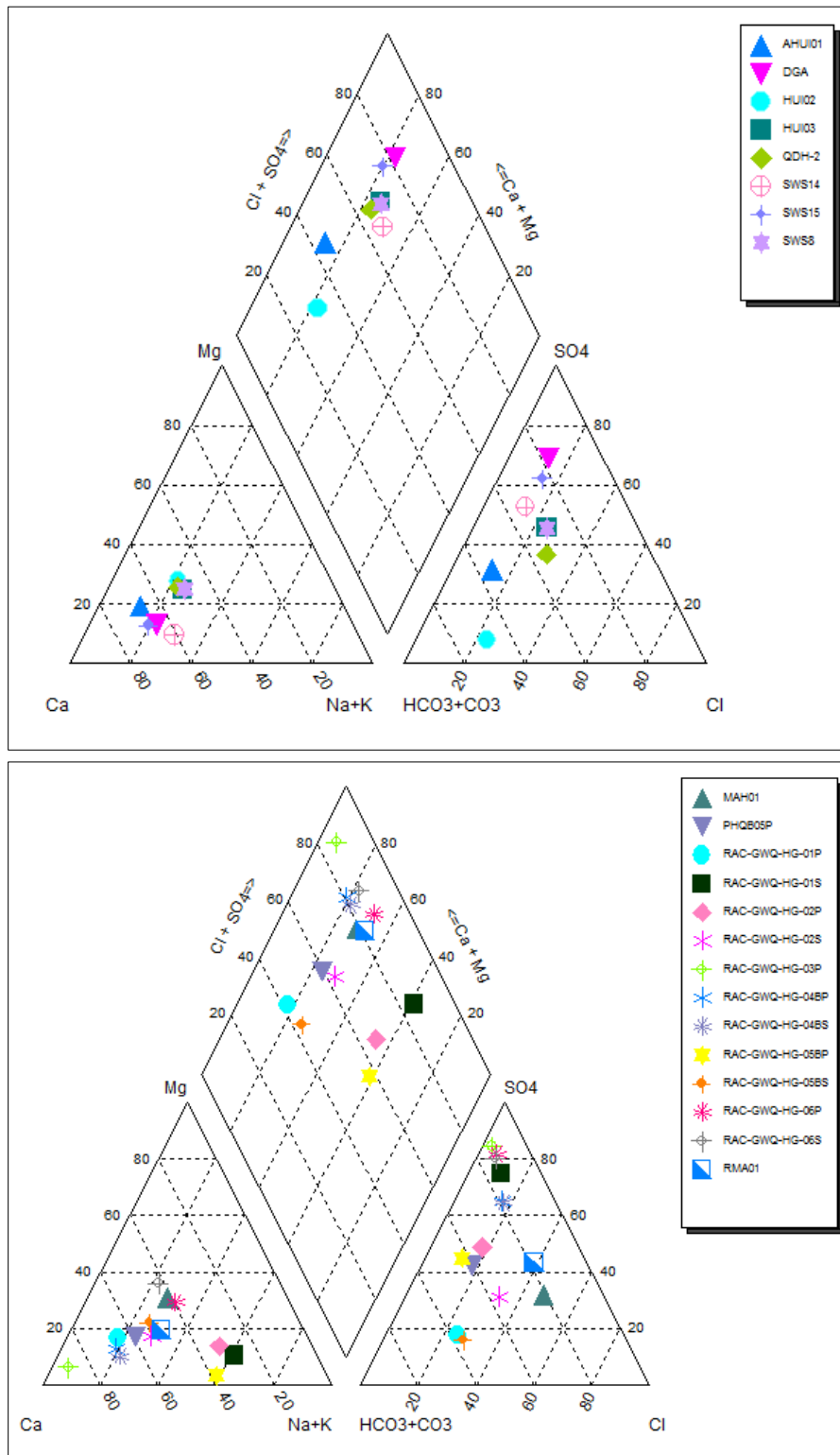
El diagrama de Piper para las **aguas subterráneas** del Sector Huinquentipa-Ornajuno (Figura 3.2.9-153), muestra la existencia de distintos tipos de aguas. Sin embargo, de manera general las aguas se caracterizan por una dominancia de los aniones sulfato/bicarbonato y de los cationes calcio/sodio+potasio. La heterogeneidad de los tipos de agua es dependiente de la ubicación de los pozos, además de la profundidad de donde se obtenga la muestra.

En la parte alta de la cuenca, las aguas varían entre sulfatadas/bicarbonatadas cálcicas/sódicas, existiendo muestras más bicarbonatadas como los pozos RAC-GWQ-HG-01P y RAC-GWQ-HG-05BS, y otras más sulfatadas, como el pozo RAC-GWQ-HG-01S. Hacia aguas abajo, a partir del pozo RAC-GWQ-HG-03P, las aguas tiene una mayor dominancia de sulfato y calcio (pozos RAC-GWQ-HG-04BP y RAC-GWQ-HG-04BS).

En cuanto a la quebrada Ornajuno, en la parte alta las aguas son sulfatadas/bicarbonatadas cálcicas (pozo PHQB05P), mientras que en la parte baja existe una mayor dominancia del sulfato y del calcio (pozos RAC-GWQ-HG-06P y RAC-GWQ-HG-06S).

En cuanto a la variabilidad estacional del carácter iónico de las aguas, se observan leves diferencias entre invierno y verano en las estaciones superficiales SWS8 y HUI03, dadas por el aumento en la presencia del bicarbonato en invierno. Los diagramas de Piper para ambas situaciones se presentan en el Anexo 3.2.9-3.

**Figura 3.2.9-153. Diagrama de Piper Sector Huinquentipa-Ornajuño, aguas superficiales (figura superior) y aguas subterráneas (figura inferior)**

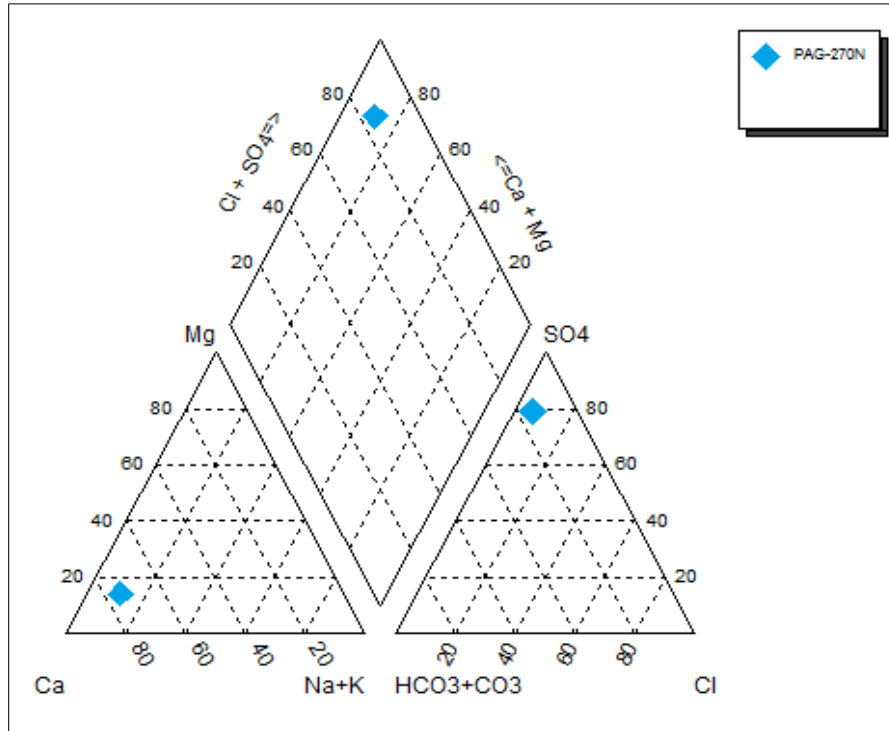


Fuente: Elaboración Propia.

g) Sector Paguana

El diagrama de Piper para las aguas **superficiales** (Figura 3.2.9-154) indica que éstas son sulfatadas cálcicas, y quedan definidas por la estación PAG-270N.

**Figura 3.2.9-154. Diagrama de Piper Sector Paguana, Aguas Superficiales**



Fuente: Elaboración Propia.

### 3.2.9.5.3 Determinación de la Línea Base

En la presente sección, se presenta la determinación de la Línea Base del Proyecto Quebrada Blanca en su Fase 2.

A modo de antecedente, se debe destacar que existe una Línea Base en algunos de los cuerpos de agua que componen el Área de Influencia, definida para el Proyecto QB1 (Anexo 1.4 de Adenda N° 3 del EIA QB1). Esta fue definida para diferentes quebradas ubicadas en los Sectores Mina, Q.Blanca y Llareta, de acuerdo a la subdivisión espacial determinada en el presente reporte. Los parámetros para los cuales fue definida la Línea Base correspondieron a CE, pH y la concentración de sulfato, cloruro, cobre total y hierro total. Los valores de Línea Base definidos para el Proyecto QB1 (Anexo 1.4 de la Adenda N° 3 del EIA) consideraron una condición de aguas “no alteradas”, para cuya definición se utilizó información recopilada en un periodo previo a las instalaciones mineras, o bien que hubiese sido medida aguas arriba de dichas instalaciones.

Las quebradas y los puntos de monitoreo considerados para la definición de la Línea Base para el EIA QB1 fueron los siguientes:

**Quebrada Agua del Mote:** Se ubica en el Subsector Mina – Rajo. Incluyó las estaciones CA-1, Socavón, BAM-01 y DDH600. Cabe señalar que las tres primeras corresponden a aguas superficiales, mientras que DDH600 está asociado a aguas subterráneas.

**Quebrada del Carmen:** Se ubica en el Subsector Mina – Rajo. En ésta se consideraron como representativos de las aguas pre-mina las estaciones CA-1 y BAM-01.

**Quebrada Ciénaga Grande:** Se ubica en el Subsector Mina – Rajo. Incluyó las estaciones PIS-1, Ciénaga Grande y RC1053. Cabe señalar que los dos primeros corresponden a puntos de monitoreo de aguas superficiales, mientras que el pozo RC1053 mide aguas subterráneas.

**Quebrada Blanca:** Las estaciones de monitoreo utilizadas para la definición de la Línea Base fueron PIS-3 y Quebrada Blanca, ambas correspondientes a agua superficial.

**Quebrada Llareta:** Ubicada en Sector Llareta. Consideró la estación de agua superficial QLLA1 y los pozos ING03P, PHQB03S, PHQB03P, PHQB04P, PHQB06S, PHQB06P, PHQB07S y PHQB07P.

Respecto a los puntos de monitoreo ubicados en el Sector Mina, cabe destacar que DDH600, BAM-01 y RC1053 se ubican aguas arriba de las instalaciones mineras y actualmente siguen siendo monitoreadas. En el Sector Llareta, en tanto, todas las estaciones siguen siendo monitoreadas, con excepción del pozo ING03P, que cuenta con un único monitoreo del año 2011. Se debe destacar que para la definición de la Línea Base del proyecto QB1, fueron considerados registros hasta diciembre 2013.

Los valores máximo y mínimo de Línea Base del proyecto QB1, para cada una de las quebradas señaladas se presentan en la Tabla 3.2.9-26.



**Tabla 3.2.9-26. Valores máximo y mínimo de Línea Base Actualización Proyecto Minero Quebrada Blanca.**

Sector	Rango de Línea Base	pH Lab.	CE Lab.	SO <sub>4</sub>	Cl	Cu tot	Fe tot
		UpH	µS/cm	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
Sector Quebrada Agua del Mote	Valor mínimo	5,5	194	20	5	0,004	0,1
	Valor máximo	9,6	1.511	128	396	16	6,5
Sector Quebrada del Carmen	Valor mínimo	6,4	194	20	10	0,004	0,1
	Valor máximo	9,6	1.511	101	396	0,08	1,2
Sector Quebrada Ciénaga Grande	Valor mínimo	6,4	243	23	10	0,006	0,02
	Valor máximo	8,5	1.378	111	116	0,9	125
Sector Quebrada Llaretá	Valor mínimo	6,5	104	15	5	0,003	0,02
	Valor máximo	8,9	1.020	138	62	0,9	7,3
Sector Quebrada Blanca	Valor mínimo	4,4	1.043	942	3	0,2	0,09
	Valor máximo	8,6	1.780	1.020	89	49	11

Fuente: Anexo 1.4 de la Adenda N° 3 del EIA QB1

La Línea Base Proyecto Minero Quebrada Blanca Fase 2 fue determinada en cada uno de los Sectores definidos en el presente reporte. En el caso de quebrada Blanca, se generó una definición particular que no necesariamente coincide con la sectorización utilizada en este reporte para la caracterización de la calidad de agua (Acápites 3.2.9.5.1), pero que es consistente con la Línea Base definida en el Proyecto QB1, descrita en los párrafos precedentes.

Para la definición de la Línea Base han sido considerados los valores mínimo y máximo, junto con los percentiles 10 y 90 de cada uno de los parámetros descritos en el Acápites 3.2.9.5.1.

#### a) Sector Mina

Debido a la existencia de una serie de instalaciones mineras en este Subsector, para la determinación de la Línea Base solamente fueron utilizadas las estaciones asociadas a aguas "no alteradas", manteniendo el criterio definido en el Proyecto QB1, aprobado mediante RCA N° 72/2016. Tal como se describió en el Acápites 3.2.9.5.1a), los puntos de monitoreo que cumplen con dicha condición corresponden a CA-1, Socavón, PIS-1, Ciénaga Grande y BAM-1, además de los pozos DDH-600 y RC1053, todos los cuales fueron utilizados en la definición de la Línea Base del Proyecto QB1. Al respecto, cabe destacar que los pozos DDH-600 y RC1053 y la estación de monitoreo superficial BAM-1 presentan información actualizada, por lo que los umbrales definidos por la Línea Base del presente Proyecto (QB2), pueden diferir de los determinados para el Proyecto QB1.

En el caso de este Subsector, y en consecuencia con la Línea Base del Proyecto QB1, se ha definido una Línea Base para la quebrada Agua del Mote, quebrada Ciénaga Grande y quebrada del Carmen. Los resultados se presentan en la Tabla 3.2.9-27.

**Tabla 3.2.9-27. Línea Base de calidad de agua Proyecto Quebrada Blanca Fase 2. Sector Mina.**

Valor	C.E.	Cl	Cu dis	Cu tot	Fe dis	Fe tot	pH	SO <sub>4</sub>
	[µS/cm]	[ mg/l ]	[mg/l]	[mg/l]	[ mg/l ]	[mg/l]	[UpH ]	[mg/l]
<b>Qda. Agua del Mote</b>								
Mín.	194	5	0,0002	0,003	0,01	0,09	5,5	20
P10	251	16	0,0002	0,01	0,01	0,4	6,8	27
P90	365	33	0,02	0,2	0,2	6,4	8,3	64
Máx.	1.511	396	16	16	0,3	7,0	9,6	128
Estación mínimo	CA-1	Socavón	BAM-1	BAM-1	DDH600*	BAM-1	Socavón	CA-1
Estación máximo	BAM-1	BAM-1	Socavón	Socavón	BAM-1	DDH600	BAM-1	Socavón
<b>Qda. Del Carmen</b>								
Mín.	194	10	0,0002	0,003	0,05	0,09	6,4	20
P10	205	25	0,002	0,004	0,06	0,2	6,6	22
P90	458	92	0,04	0,1	0,2	0,6	8,8	38
Máx.	1.511	396	0,3	1,0	0,3	1,2	9,6	101
Estación mínimo	CA-1	CA-1	BAM-1	BAM-1	BAM-1	BAM-1	BAM-1	CA-1
Estación máximo	BAM-1	BAM-1	BAM-1	BAM-1	BAM-1	CA-1	BAM-1	BAM-1
<b>Qda. Ciénaga Grande</b>								
Mín.	134	7,5	0,0002	0,006	0,01	0,02	6,4	23
P10	137	7,6	0,0008	0,006	0,01	0,5	6,4	26
P90	346	12	0,2	0,4	0,3	3,6	7,4	109
Máx.	1.378	114	0,2	0,9	1,6	125	8,5	111
Estación mínimo	RC1053	RC1053	RC1053	RC1053	RC1053	PIS-1	RC1053	C.Grande
Estación máximo	PIS-1	PIS-1	RC1053	C.Grande	C.Grande	C.Grande	PIS-1	RC1053

\* Otras estaciones de monitoreo presentaron el mismo valor.

Respecto al Subsector Mina – Q.Blanca, los resultados de Línea Base han sido incluidos dentro del sector quebrada Blanca y se presentan a continuación, considerando una sectorización levemente diferente a la utilizada para la caracterización y descripción de la calidad de aguas (ver Acápites 3.2.9.5.1). Lo anterior, de modo de ser consistente con la definición de Línea Base del Proyecto QB1.

**b) Sector Quebrada Blanca**

Se cuenta con registros de pre – mina en las estaciones de monitoreo Quebrada Blanca y PIS-3, ambas ubicadas en el tramo alto de quebrada Blanca, en lo que en la caracterización ha sido categorizado como Subsector Mina – Q.Blanca. Hacia aguas abajo de dichas estaciones no existen registros pre – mina, toda vez que todas las estaciones de monitoreo presentan información desde el año 2000 en adelante.

Ante la ausencia de datos en condición pre – mina aguas abajo de la estación PIS-3, para la presente Línea Base se ha asumido el escenario más conservador, el que corresponde a la Línea de Base determinada para el Proyecto QB1, según la RCA N° 72/2016. Este consiste en considerar los registros de las estaciones Quebrada Blanca y PIS-3 para toda la extensión de quebrada Blanca hacia aguas abajo, hasta la junta con quebrada Ramucho.

De forma complementaria a lo anterior, en el proyecto QB1 se identificó el impacto CDA-1 (alteración de la calidad del agua en quebrada Blanca), frente al cual se propusieron medidas para revertir dicha condición. La ejecución de dichas medidas logrará una mejora paulatina de la calidad del agua en quebrada Blanca a lo largo del tiempo, hasta alcanzar la calidad de Línea de Base del sistema definida en el Proyecto QB1 en un plazo no superior a 28 años (Anexo 1.4 de la Adenda N° 3 del EIA QB1).

El presente Proyecto (QB2) mantiene los compromisos adquiridos para revertir el impacto CDA- 1, incluyendo las medidas propuestas para remediar la alteración de la calidad del agua en quebrada Blanca y su seguimiento, lo cual se detalla en el Plan de Seguimiento de Recursos Hídricos del presente EIA (Anexo 9.2.2.4).

Adicionalmente, según lo establecido en la RCA N°72/2016, del proyecto Quebrada Blanca en su Fase 1, se evaluará en forma anual los resultados del modelo hidroquímico requerido en el numeral 11.2 de la RCA, versus los monitoreos realizados para detectar potenciales desviaciones.

En función de los resultados que se vayan generando en el proceso de verificación se evaluará si la calidad objetivo en los sectores DDH-5 y DDH-6 (umbrales de calidad) debe mantenerse igual a la establecida en la línea base legal adoptada para el proyecto Actualización Proyecto Minero Quebrada Blanca, o si debe corresponder a la calidad que se declaró como “no alterada” en los sectores DDH-5 y DDH-6 durante el mismo proceso de evaluación ambiental que culminó con la RCA N°72/2016.

Tal como se indica en el numeral 11.5 de la RCA N°72/2016, esta evaluación y redefinición de los umbrales en los sectores DDH-5 y DDH-6 podrá ser realizada previa visación de la autoridad competente, con base en la información del monitoreo y de los resultados de la modelación hidroquímica.

La Línea Base del Proyecto Minero Quebrada Blanca Fase 2 para la quebrada Blanca, se resume en la Tabla 3.2.9-28.

**Tabla 3.2.9-28. Línea Base de calidad de agua Proyecto Quebrada Blanca Fase 2. Sector Quebrada Blanca.**

Valor	C.E.	Cl	Cu dis	Cu tot	Fe dis	Fe tot	pH	SO <sub>4</sub>
	[µS/cm]	[ mg/l ]	[mg/l]	[mg/l]	[ mg/l ]	[mg/l]	[UpH ]	[mg/l]
Mín.	1.043	3	0,2 *	0,2	0,03	0,09	4,4	942
P10	1.218	31	8,6	0,8	0,03	0,1	5,4	950
P90	1.740	92	11	10,4	0,07	1,3	7,9	1.012
Máx.	1.780	94*	11,2	49	0,07	11,4	8,6	1.020
Estación mínimo	PIS-3	Q. Blanca	Q. Blanca		Q. Blanca		Q. Blanca	Q. Blanca
Estación máximo	Q. Blanca	PIS-3	Q. Blanca		Q. Blanca		PIS-3	Q. Blanca

(\*): valor actualizado respecto a Línea de Base de QB1. (\*\*): En la estación PIS-3 no existen registros de concentración de cobre disuelto. Sin embargo, la concentración de cobre total mínima registrada en dicha estación correspondió a 0,2 mg/l. Así, el valor mínimo de la componente disuelta correspondió al menos a 0,2 mg/l en PIS-3. En la estación Quebrada Blanca la concentración mínima medida correspondió a 8,3 mg/l. Se mantiene concentración de cobre disuelto de 0,2 mg/l, para mantener coherencia con concentración de cobre total.

c) Sector Llaretá

Tal como con los Sectores Mina y Quebrada Blanca, en el Sector Llaretá fue definida una Línea Base en el Proyecto QB1 (ver Tabla 3.2.9-26). Con la excepción del pozo ING03P, todos los puntos de monitoreo considerados para la definición de dicha Línea Base presentan registros posteriores a 2013. Por este motivo, la Línea Base de la Fase 2 del Proyecto puede presentar variación en los valores umbrales para los distintos parámetros evaluados. Los resultados se presentan en la Tabla 3.2.9-29.

**Tabla 3.2.9-29. Línea Base de calidad de agua Proyecto Quebrada Blanca Fase 2. Sector Llaretá.**

Valor	C.E.	Cl	Cu dis	Cu tot	Fe dis	Fe tot	pH	SO <sub>4</sub>
	[µS/cm]	[ mg/l ]	[mg/l]	[mg/l]	[ mg/l ]	[mg/l]	[UpH ]	[mg/l]
<b>Quebrada Llaretá</b>								
Mín.	103	0,03	0,0005	0,003	0,01	0,02	4,7	14
P10	123	7	0,002	0,005	0,03	0,2	6,6	19
P90	726	32	0,1	0,4	2,4	6,6	8,0	121
Máx.	1.020	62	2,2	2,7	5,5	8,7	9,4	207
Estación mínimo	PHQB04P	PHQB04P	PHQB07P	PHQB03S	PHQB07P*	PHQB06P	PHQB07P	PHQB04P
Estación máximo	PHQB06P	PHQB07P	PHQB07P	PHQB07P	PHQB03S	PHQB03S	PHQB06S	PHQB03P

\* Otras estaciones de monitoreo presentaron el mismo valor.

d) Sector Jovita

Al no existir instalaciones de Minera Teck Quebrada Blanca en quebrada Jovita y sus principales afluentes, la condición actual de la calidad de agua equivale a la condición base. Por este motivo, fueron consideradas todas las estaciones de monitoreo en la definición de la Línea Base. Los resultados se presentan en la Tabla 3.2.9-30.

**Tabla 3.2.9-30. Línea Base de calidad de agua Proyecto Quebrada Blanca Fase 2. Sector Jovita.**

Valor	C.E.	Cl	Cu dis	Cu tot	Fe dis	Fe tot	pH	SO <sub>4</sub>
	[µS/cm]	[ mg/l ]	[mg/l]	[mg/l]	[ mg/l ]	[mg/l]	[UpH ]	[mg/l]
<b>Sector Jovita</b>								
Mín.	125	6	0,001	0,001	0,01	0,05	6,7	17
P10	307	12	0,001	0,003	0,02	0,2	7,4	33
P90	2.690	189	0,1	0,4	0,08	6,2	8,5	718
Máx.	2.960	345	0,2	0,5	0,1	15	8,6	735
Estación mínimo	JOV-130	JOV-130	JOV-130*	SH21-14-06B	JOV-130	JOV-222	JOV-130	JOV-130
Estación máximo	SH21-14-01TC	SH21-14-01TC	SH21-14-03I	SH21-14-03I	JOV-130	GWW-QB-01S	SH21-14-01TC	GWW-QB-01S

\* Otras estaciones de monitoreo presentaron el mismo valor.

e) Sector Ramucho - Choja

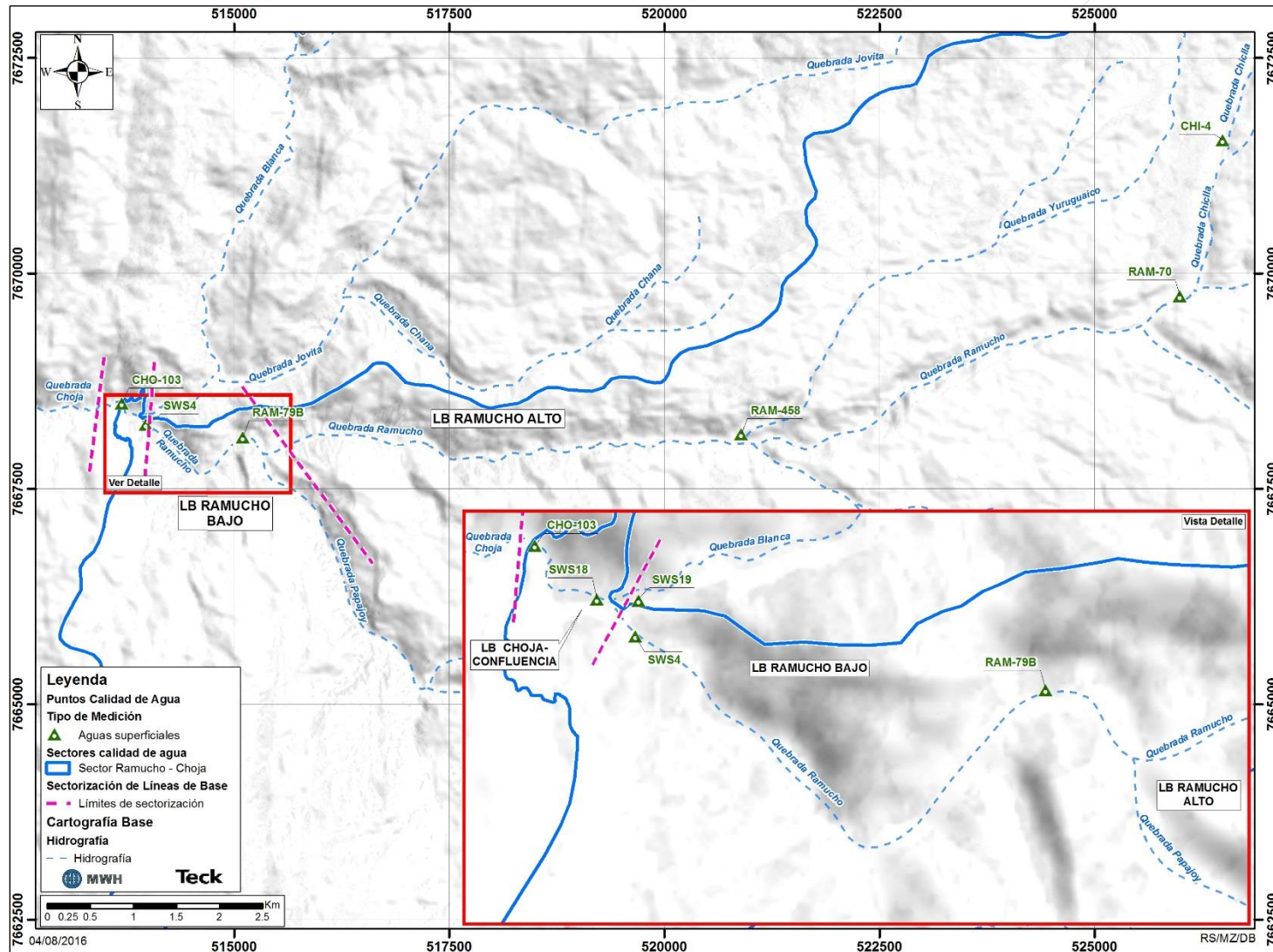
Al no existir instalaciones de Minera Teck Quebrada Blanca en las quebradas Ramucho y Choja, la condición actual de la calidad de agua equivale a la condición base. Por este motivo, fueron consideradas todas las estaciones de monitoreo en la definición de la Línea Base. Cabe destacar que los resultados se diferenciaron en tres tramos. Estos corresponden a los indicados en la caracterización y descripción de la calidad de agua del Sector (ver Acápite 3.2.9.5.1e), y se muestran en la Figura 3.2.9-155. Los resultados se presentan en la Tabla 3.2.9-31.

**Tabla 3.2.9-31. Línea Base de calidad de agua Proyecto Quebrada Blanca Fase 2. Sector Ramucho - Choja.**

Valor	C.E.	Cl	Cu dis	Cu tot	Fe dis	Fe tot	pH	SO <sub>4</sub>
	[µS/cm]	[ mg/l ]	[mg/l]	[mg/l]	[ mg/l ]	[mg/l]	[UpH ]	[mg/l]
<b>Ramucho – Alto</b>								
Mín.	253	8	0,001	0,001	0,01	0,06	7,4	19
P10	273	11	0,001	0,001	0,01	0,06	7,6	23
P90	578	23	0,007	0,01	0,4	0,9	8,3	63
Máx.	598	25	0,009	0,02	0,4	0,9	8,3	66
Estación mínimo	CHI-4	CHI-4	RAM-243	RAM-243	CHI-5	CHI-3*	RAM-458	RAM-70
Estación máximo	RAM-256	RAM-173	RAM-173	CHI-4	RAM-70	RAM-70	CHI-5*	RAM-173
<b>Ramucho – Bajo</b>								
Mín.	677	17	0,001	0,001	0,01	0,02	6,6	177
P10	739	21	0,001	0,002	0,02	0,03	7,1	202
P90	1.750	29	0,09	0,1	0,9	1,1	8,2	887
Máx.	2.820	40	0,2	0,6	5,7	12,4	8,3	1.620
Estación mínimo	SWS4	SWS4	SWS4	SWS4	SWS4	SWS4	GWW-QB-02P	SWS4
Estación máximo	GWW-QB-02P	RAM-79B	SWS4	SWS4	SWS4	GWW-QB-02S	SWS4	GWW-QB-02P
<b>Choja – confluencia</b>								
Mín.	822	21	0,002	0,003	0,01	0,02	6,8	227
P10	1.040	24	0,002	0,005	0,02	0,03	7,2	407
P90	3.200	74	0,03	0,07	0,5	0,7	8,1	1.930
Máx.	3.760	89	0,05	0,2	0,6	27	8,3	2.520
Estación mínimo	SWS18	SWS18	SWS18	SWS18	SWS18	SWS18	SWS18	SWS18
Estación máximo	GWW-QB-03CS	GWW-QB-03CS	GWW-QB-03B	GWW-QB-03CS	SWS18	GWW-QB-03CS	SWS18	GWW-QB-03CS

\* Otras estaciones de monitoreo presentaron el mismo valor.

**Figura 3.2.9-155. Sectorización de Línea Base de Sector Ramucho - Choja. Se incluyen, de modo referencial, algunas de las estaciones de monitoreo.**



Fuente: Elaboración propia.

## f) Sector Huinquintipa - Ornajuno

Al no existir instalaciones de Minera Teck Quebrada Blanca en el Sector Huinquintipa - Ornajuno, la condición actual de la calidad de agua equivale a la condición base. Por este motivo, fueron consideradas todas las estaciones de monitoreo en la definición de la Línea Base. Cabe destacar que los resultados se diferenciaron en dos tramos, de acuerdo a la relación entre la calidad de agua y la geología del Sector (Formación Tolar), correspondiendo estos a los mismos determinados en la caracterización y descripción de la calidad de agua del Sector (ver Acápite 3.2.9.5.1f) y Figura 3.2.9-156). Los resultados se presentan en la Tabla 3.2.9-32.

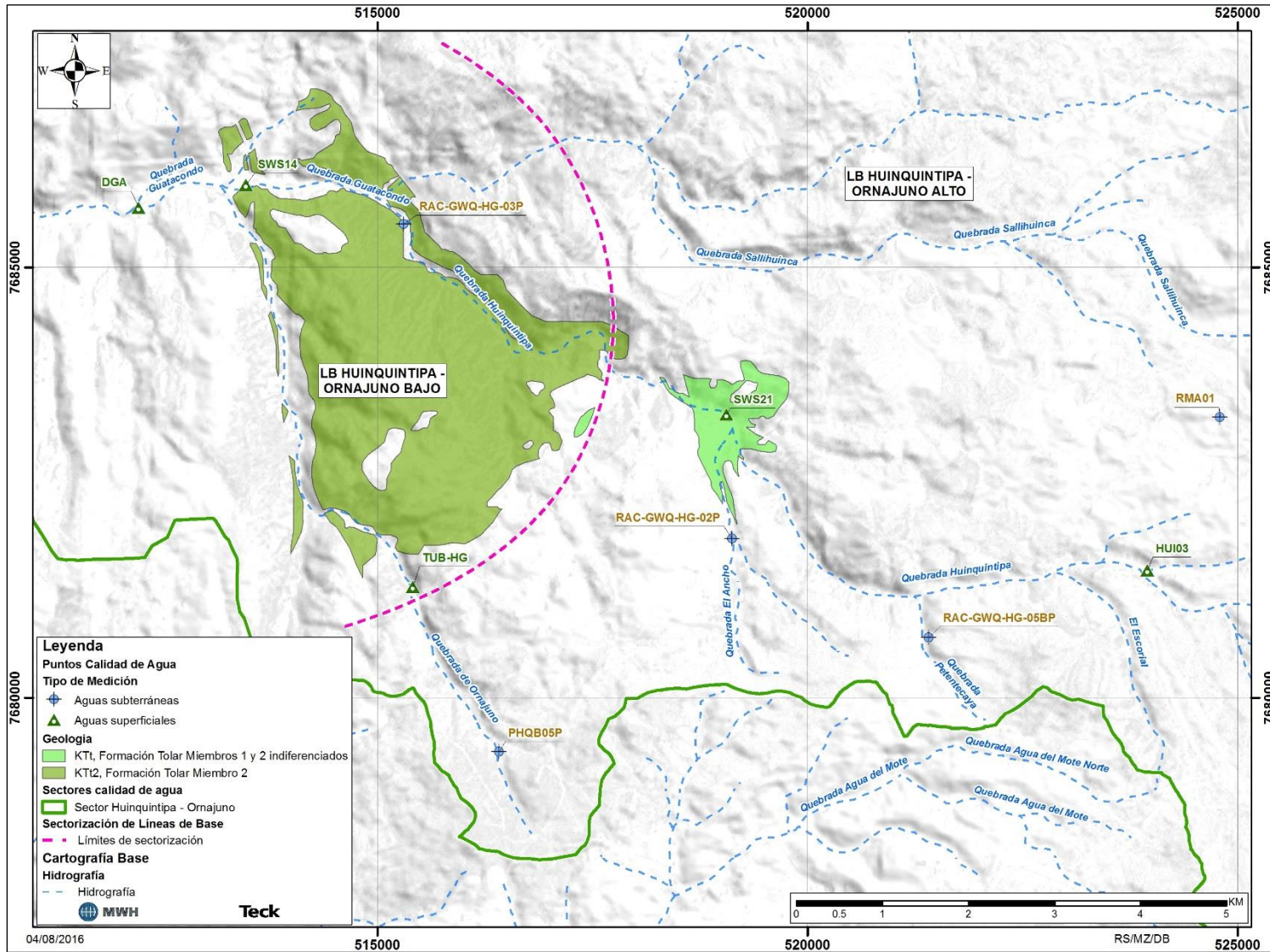


**Tabla 3.2.9-32. Línea Base de calidad de agua Proyecto Quebrada Blanca Fase 2. Sector Huinquentipa - Ornajuno.**

Valor	C.E.	Cl	Cu dis	Cu tot	Fe dis	Fe tot	Mn dis	pH	SO <sub>4</sub>
	[µS/cm]	[ mg/l ]	[mg/l]	[mg/l]	[ mg/l ]	[mg/l]	[ mg/l ]	[UpH ]	[mg/l]
<b>Huinquentipa – Ornajuno / Alto</b>									
Mín.	175	5,0	0,0002	0,001	0,01	0,01	0,0002	4,4	6,2
P10	323	18	0,006	0,02	0,01	0,2	0,01	7,1	47
P90	907	99	0,4	0,8	0,3	1,8	1,0	8,2	203
Máx.	6.640	501	96	130	5,1	33	4,1	12,2	1.020
Estación mínimo	RMA01	QDH-2	AHUI01*	RMA01*	SWS18*	AHUI01*	PHQB05P	HG-05BS	HG-02P
Estación máximo	RMA01	MAH01	QDH-2	QDH-2	HG-01S**	MAH01	HUI03	RMA01	QDH-2
<b>Huinquentipa - Ornajuno / Bajo</b>									
Mín.	372	0,03	0,0002	0,002	0,01	0,06	0,0006	3,3	198
P10	979	49	0,002	0,006	0,02	0,3	0,01	7,2	285
P90	1.860	68	0,05	0,3	0,5	2,7	0,4	8,0	819
Máx.	4.800	349	0,6	1,5	3,5	60	1,4	9,4	2.170
Estación mínimo	DGA	DGA	SWS15	SWS14	SWS14*	DGA	HG-03P	DGA	DGA
Estación máximo	HG-06P**	HG-06P	HG-03P**	HG-03P	HG-06P	HG-06S	HG-04BS**	DGA	HG-06P

\* Otras estaciones de monitoreo presentaron el mismo valor. \*\* Se han considerado los nombres resumidos de los pozos.

**Figura 3.2.9-156. Sectorización de Línea Base de Sector Huiniquintipa – Ornajuno. Se incluyen, de modo referencial, algunas de las estaciones de monitoreo.**



Fuente: Elaboración propia.

## g) Sector Paguana

Al no existir instalaciones de Minera Teck Quebrada Blanca en quebrada Paguana y sus principales afluentes, la condición actual de la calidad de agua equivale a la condición base. Por este motivo, fueron consideradas todas las estaciones de monitoreo en la definición de la Línea Base. Los resultados se presentan en la Tabla 3.2.9-33.

**Tabla 3.2.9-33. Línea Base de calidad de agua Proyecto Quebrada Blanca Fase 2. Sector Paguana**

Valor	C.E.	Cl	Cu dis	Cu tot	Fe tot	pH	SO <sub>4</sub>
	[μS/cm]	[ mg/l ]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[UpH ]	[mg/l]
Mín.	989	26	0,001	0,003	0,08	7,8	322
P10	1.125	28	0,001	0,003	0,08	7,9	426
P90	1.915	53	0,007	0,01	0,5	8,4	1.007
Máx.	2.000	61	0,007	0,01	0,5	8,4	1.050
Estación mínimo	CAM-174	CAM-174	PAG-211	PAG-270N	PAG-211	PAG-270N	CAM-174
Estación máximo	COL-240	COL-240	PAG-270N	PAG-270N	PAG-270N	PAG-211	COL-240

### 3.2.9.6 Síntesis

En el presente documento ha sido determinada la Línea Base de Calidad de Agua del Proyecto Quebrada Blanca Fase 2, definida para diferentes Sectores asociados a las principales quebradas existentes en el Área de Influencia.

Los Sectores considerados correspondieron a Mina, Quebrada Blanca, Llareta, Jovita, Ramucho – Choja, Huinquentipa – Ornajuno y Paguana. Para cada uno de estos fue definida una Línea Base de calidad de agua para los parámetros pH, CE, y concentración de sulfato, cloruro, cobre total y disuelto y hierro total y disuelto. Además, en el Sector Huinquentipa – Ornajuno se consideró la concentración de manganeso, por efecto de la existencia de un yacimiento exótico de óxidos, caracterizados por la presencia de crisocola, copper pitch y copper wad, los que se caracterizan por presentar manganeso como elemento mayoritario.

En los casos de los Sectores Mina, Quebrada Blanca y Llareta, se cuenta actualmente con la Línea Base del Proyecto QB1. Cabe destacar que los valores definidos en ésta para los parámetros pH, CE, concentración de sulfato, cloruro, cobre total y hierro total han sido actualizados en algunos casos, en función de la existencia de nuevos registros en estaciones utilizadas para definir la Línea Base en cada uno de estos Sectores.

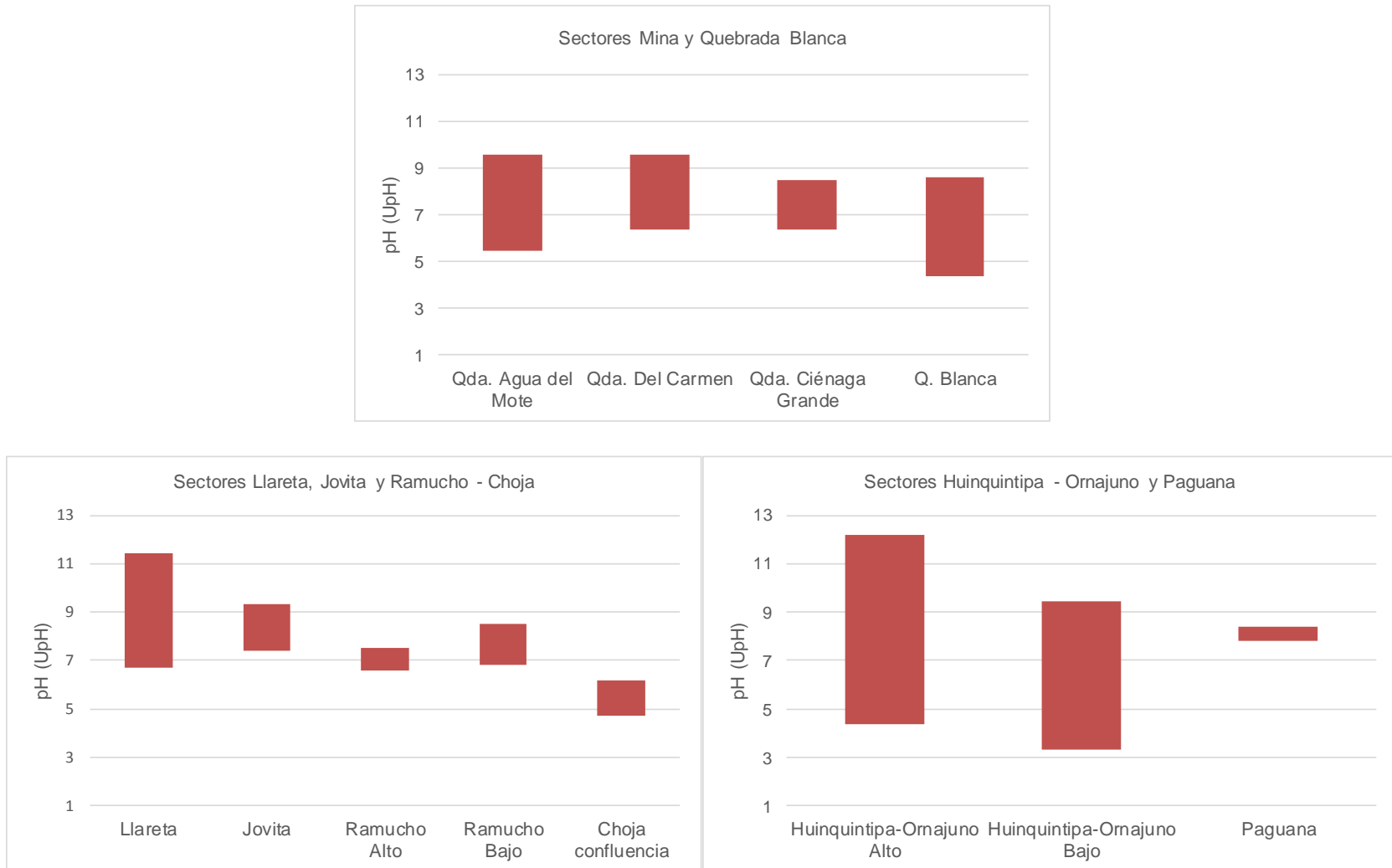
La Línea Base para los diferentes Sectores, fue definida de acuerdo a las siguientes consideraciones:

- Sector Mina: En coherencia con la Línea Base del Proyecto QB1, para la definición de Línea Base del Proyecto en Fase 2 se diferenció entre quebrada Agua del Mote, quebrada del Carmen y quebrada Ciénaga Grande. La Línea Base fue definida a partir de la información existente en los puntos de monitoreo Socavón, DDH600, CA-1 y BAM-1 (q. Agua del Mote) y RC-1053, PIS-1 y Ciénaga Grande (q. Ciénaga Grande). En el caso de quebrada del Carmen, las estaciones CA-1 y BAM-1 fueron consideradas representativas para caracterizar su calidad de agua en condiciones no alteradas (Anexo 1.4 de Adenda N° 3 del EIA QB1). Se debe destacar que estos puntos de monitoreo presentan condiciones de aguas no alteradas, al presentar información previa al inicio de las operaciones mineras o al ubicarse aguas arriba de sus instalaciones.
- Quebrada Blanca: La línea base en quebrada Blanca fue definida a partir de la información existente para las condiciones pre – mina, dada por las estaciones Quebrada Blanca y PIS-3. Dicha definición corresponde a un escenario conservador y coincide con la Línea Base del Proyecto QB1 (Anexo 1.4 de Adenda N° 3 del EIA QB1).
- Llareta: Se actualizaron valores presentados en la Línea Base del Proyecto QB1. Todas las estaciones de monitoreo fueron consideradas para la definición de la Línea Base, dada la inexistencia de instalaciones en dicha quebrada.

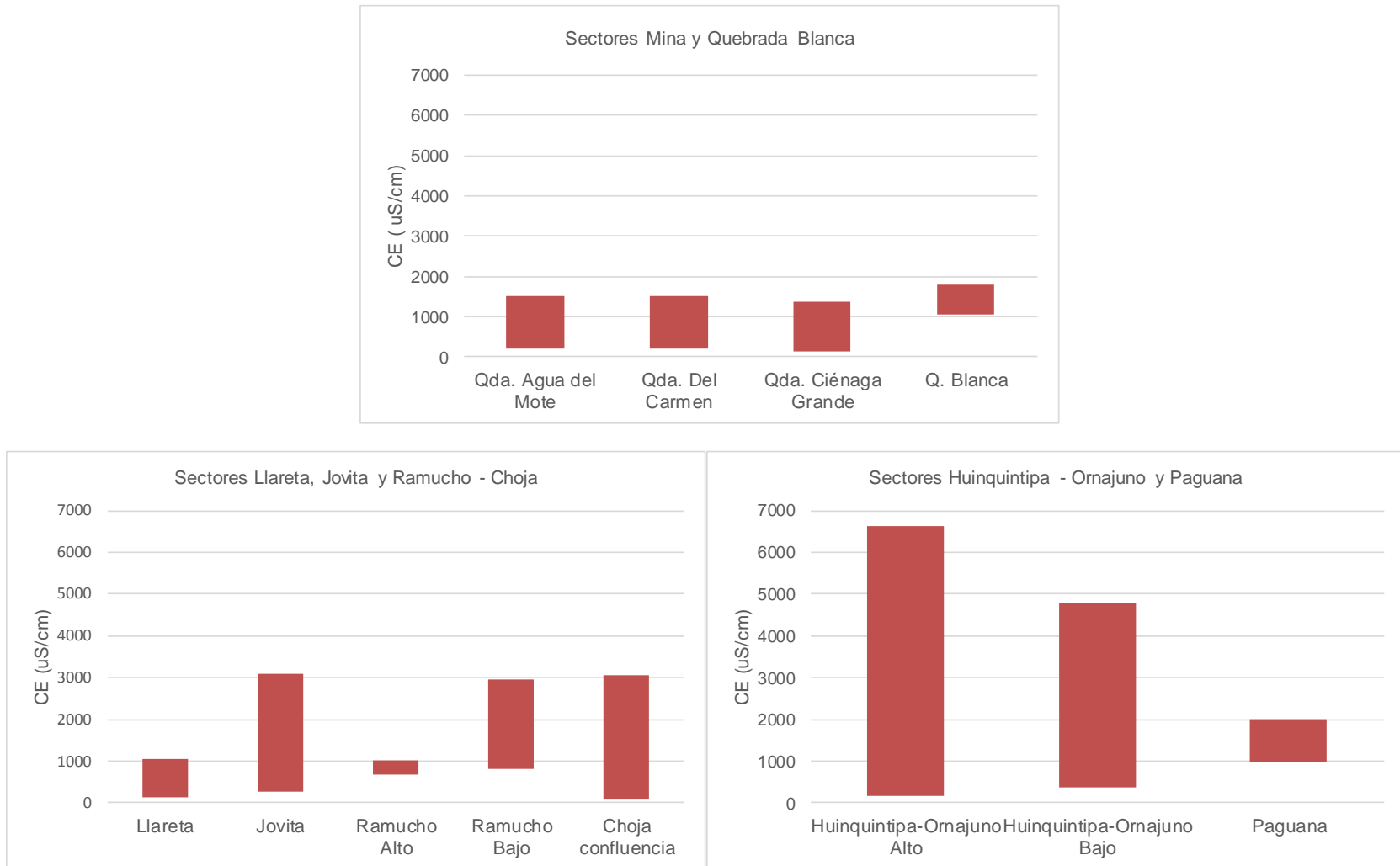
- Jovita: Se cuenta con registros desde 2015. Todas las estaciones de monitoreo fueron consideradas para la definición de la Línea Base.
- Ramucho – Choja: La Línea Base se diferenció en tres tramos, de acuerdo a la caracterización de la calidad de agua: Ramucho Alto consideró el tramo ubicado aguas arriba de la quebrada Papajoy; Ramucho Bajo corresponde al tramo que va desde la junta con quebrada Papajoy, hasta la confluencia de quebrada Ramucho y quebrada Blanca; Choja – confluencia representa a la quebrada Choja en el sector de confluencia, hasta la estación CHO-103 (ver Figura 3.2.9-155). En la definición de la Línea Base de calidad de agua de cada uno de estos tramos fueron consideradas todas las estaciones de monitoreo de calidad de agua existentes con registros válidos.
- Huinquantipa – Ornajuno: Se identificó una variación espacial significativa en la calidad de agua, la que coincide con la presencia de la Formación Tolar en el tramo bajo del Sector. Por este motivo, se diferenció entre un tramo Alto, ubicado aguas arriba de la Formación Tolar, y uno Bajo, que considera las aguas influenciadas por ésta (ver Figura 3.2.9-156). Fueron consideradas todas las estaciones de monitoreo de calidad de agua existentes, toda vez que no existen instalaciones de Minera Teck Quebrada Blanca en este Sector. Al respecto, cabe destacar que fueron realizadas dos excepciones, en las estaciones de agua superficial COP-1 y COP-2, ubicadas al final del Sector, hacia aguas abajo. Éstas presentaron una calidad de agua diferente a la de los puntos de monitoreo superficial ubicados aguas arriba (concentraciones de sulfato y registros de CE superiores en forma significativa), pero se dispone de un registro en cada una, requiriéndose verificar si deben ser incluidas en el tramo Bajo o si será necesario definir un nuevo tramo, aguas abajo de éste.
- Paguana: Se cuenta con registros desde 2015. Todas las estaciones de monitoreo fueron consideradas para la definición de la Línea Base. La Línea Base para el hierro disuelto será definida una vez que se cuente con registros validados para este parámetro.

La Línea Base en cada uno de los Sectores descritos se presenta en la Tabla 3.2.9-27 a Tabla 3.2.9-33, considerando los valores mínimo, P10, P90 y máximo de cada parámetro. A continuación, en la Figura 3.2.9-157 a Figura 3.2.9-165 se presenta a modo de resumen, los valores máximo y mínimo de Línea Base para cada parámetro, en los distintos Sectores definidos.

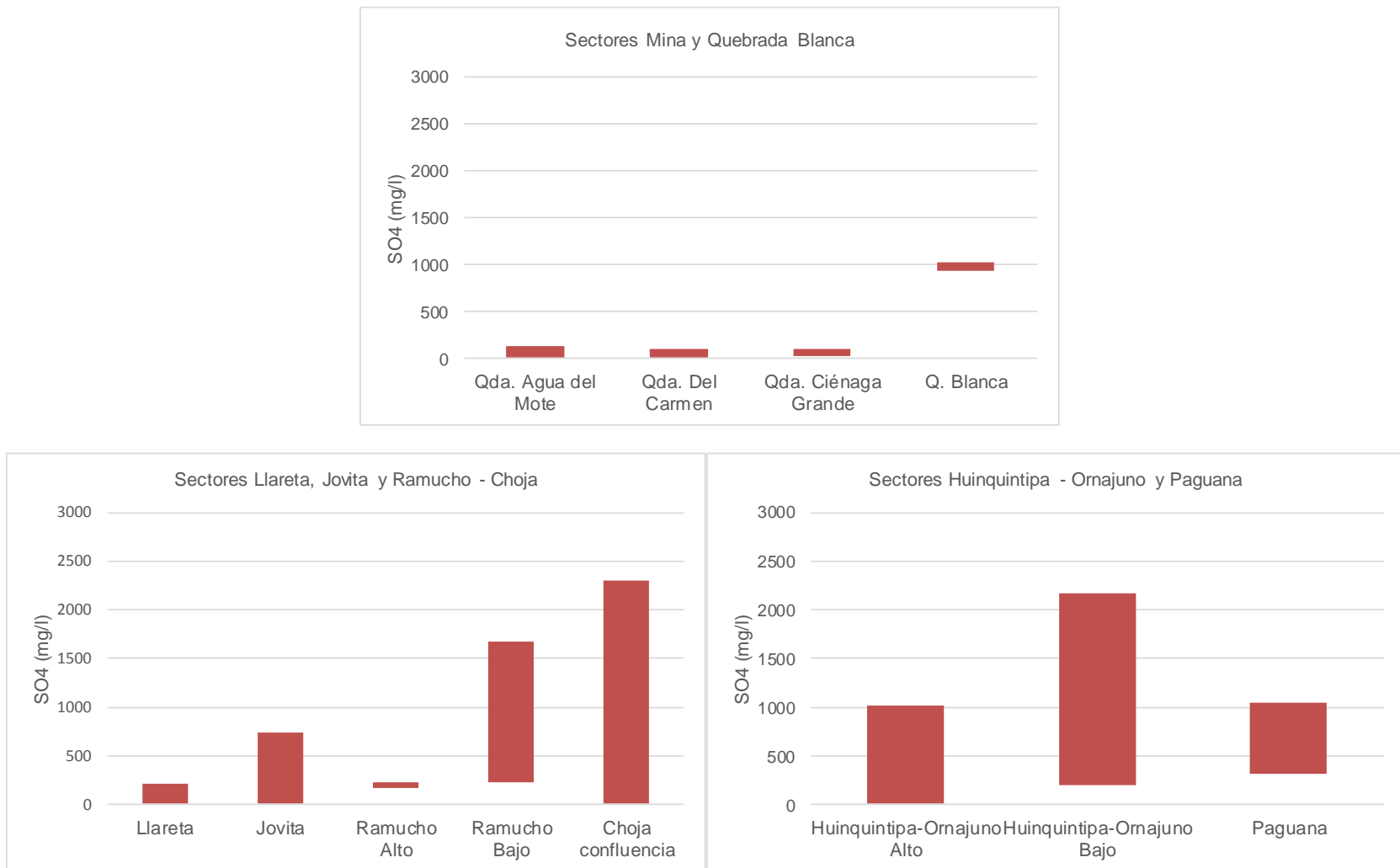
**Figura 3.2.9-157. Línea Base Proyecto Quebrada Blanca Fase 2. Rango de variación de pH.**



**Figura 3.2.9-158. Línea Base Proyecto Quebrada Blanca Fase 2. Rango de variación CE.**

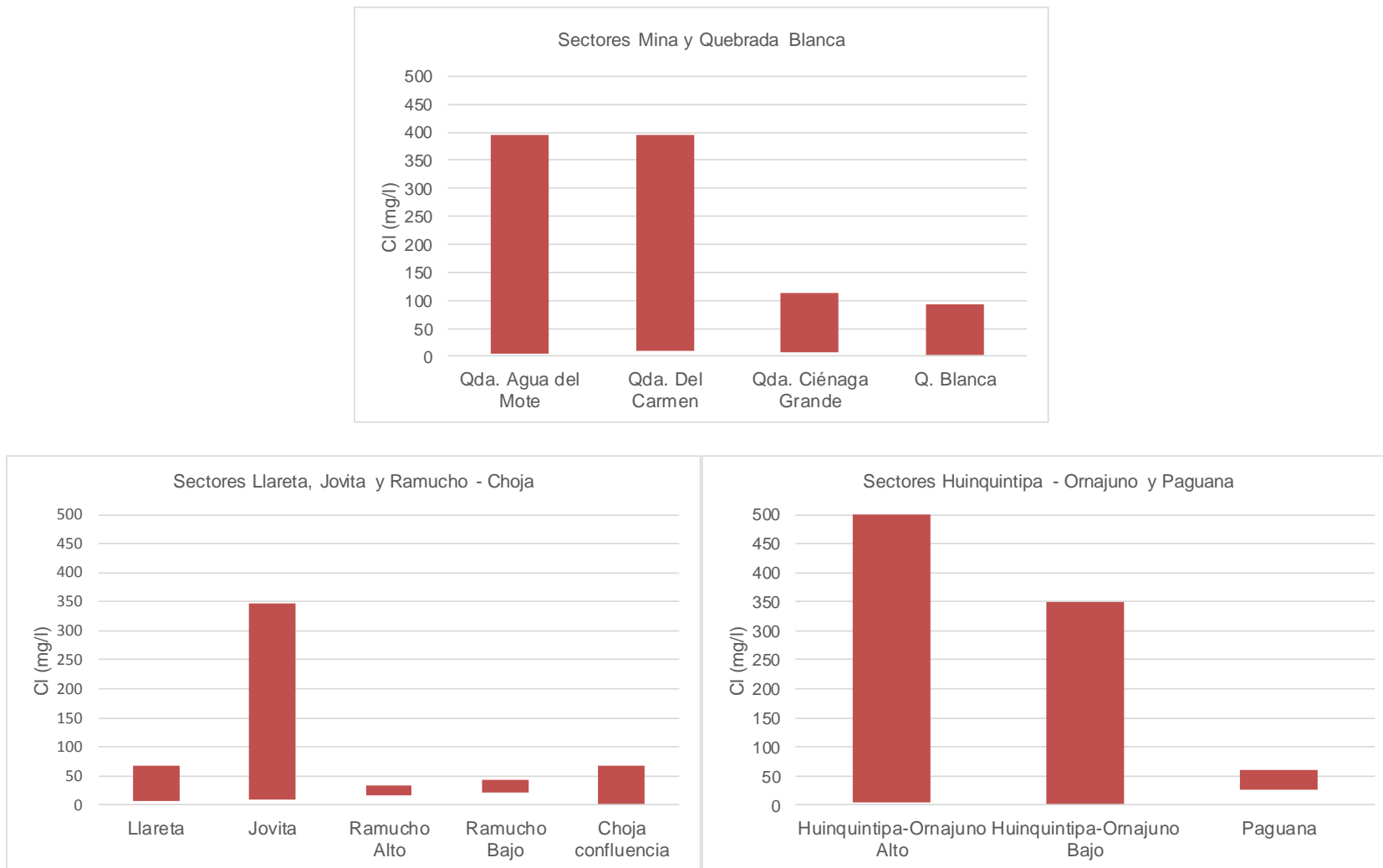


**Figura 3.2.9-159. Línea Base Proyecto Quebrada Blanca Fase 2. Rango de variación concentración de sulfato.**

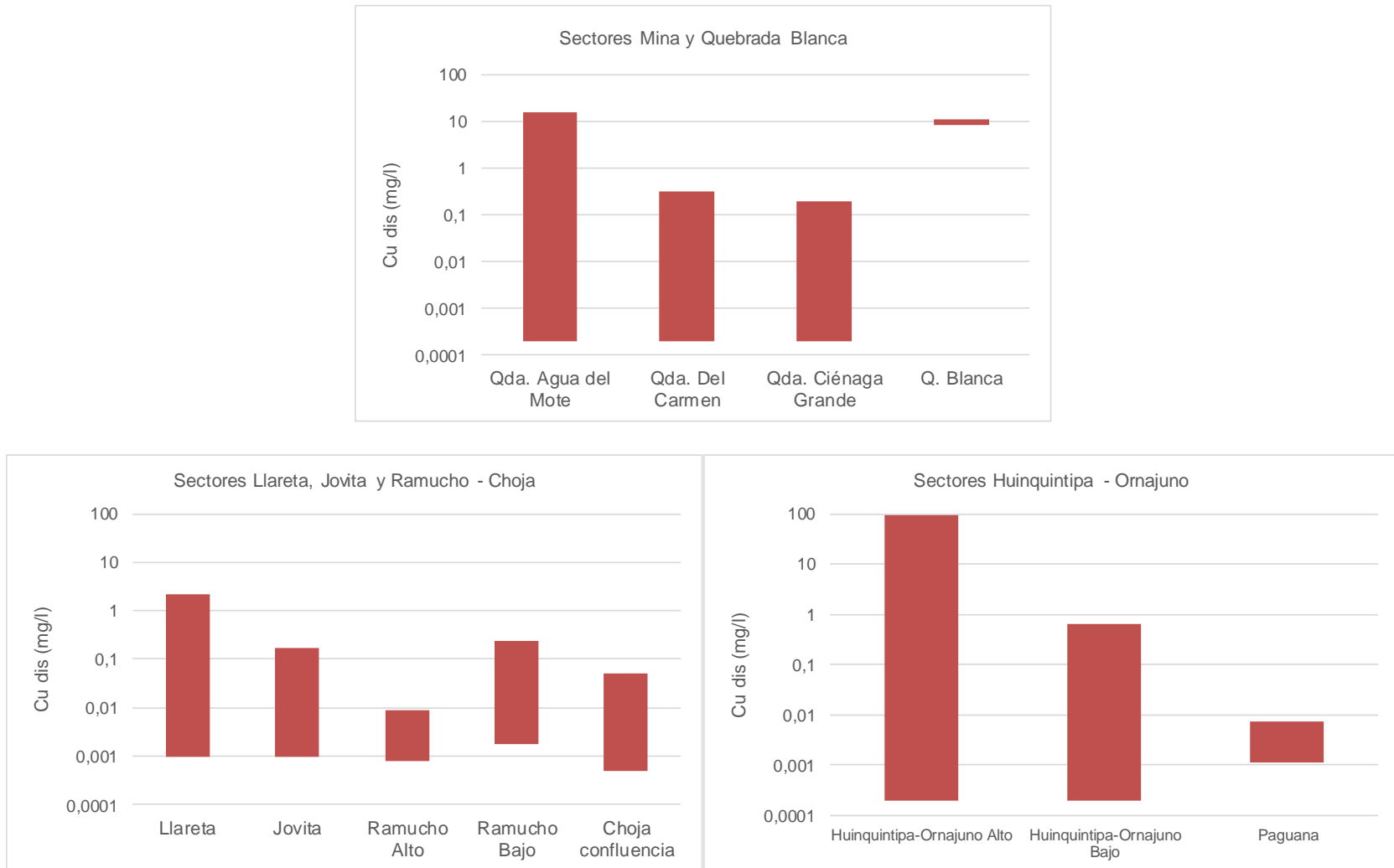




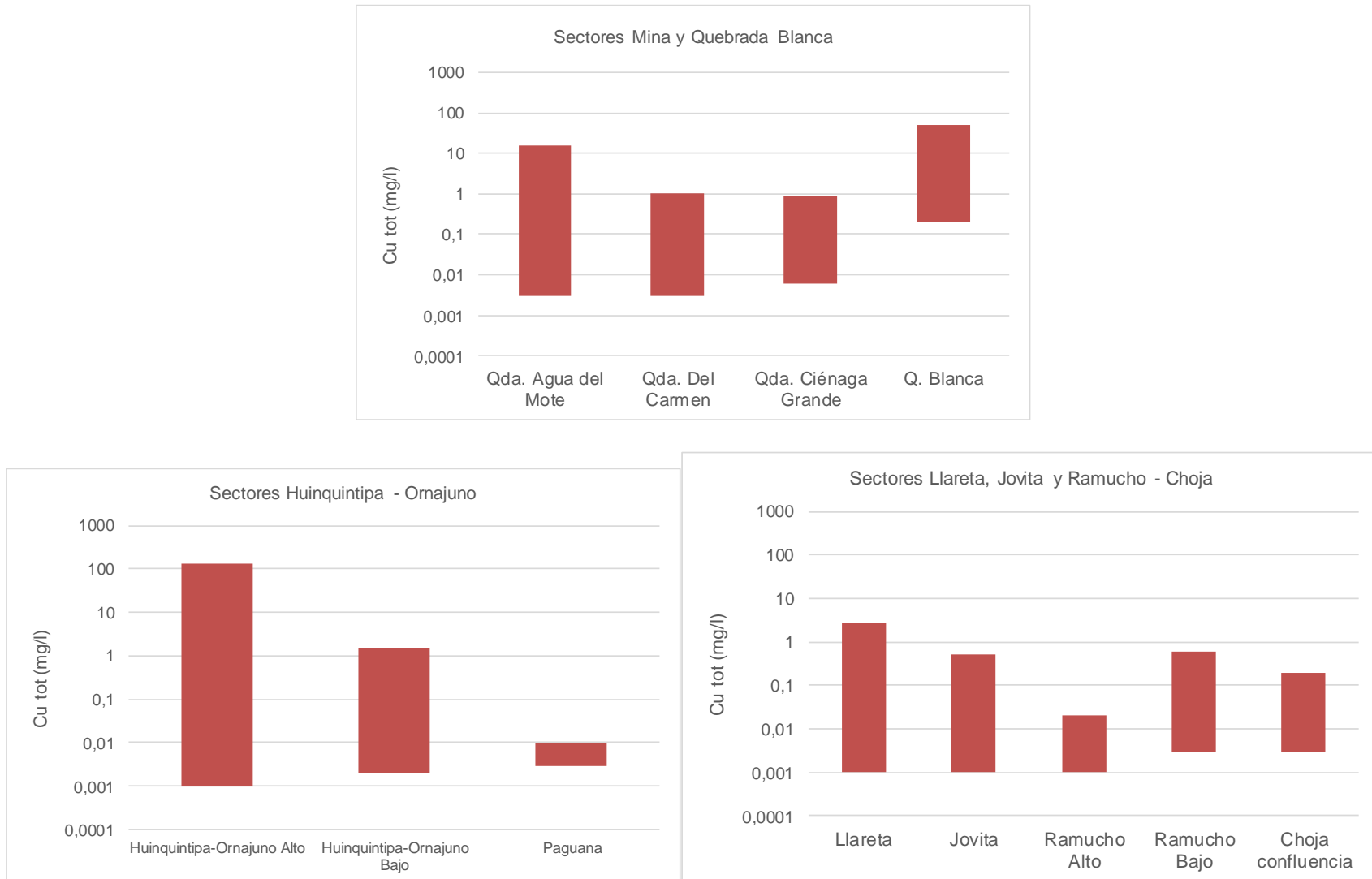
**Figura 3.2.9-160. Línea Base Proyecto Quebrada Blanca Fase 2. Rango de variación concentración de cloruro.**



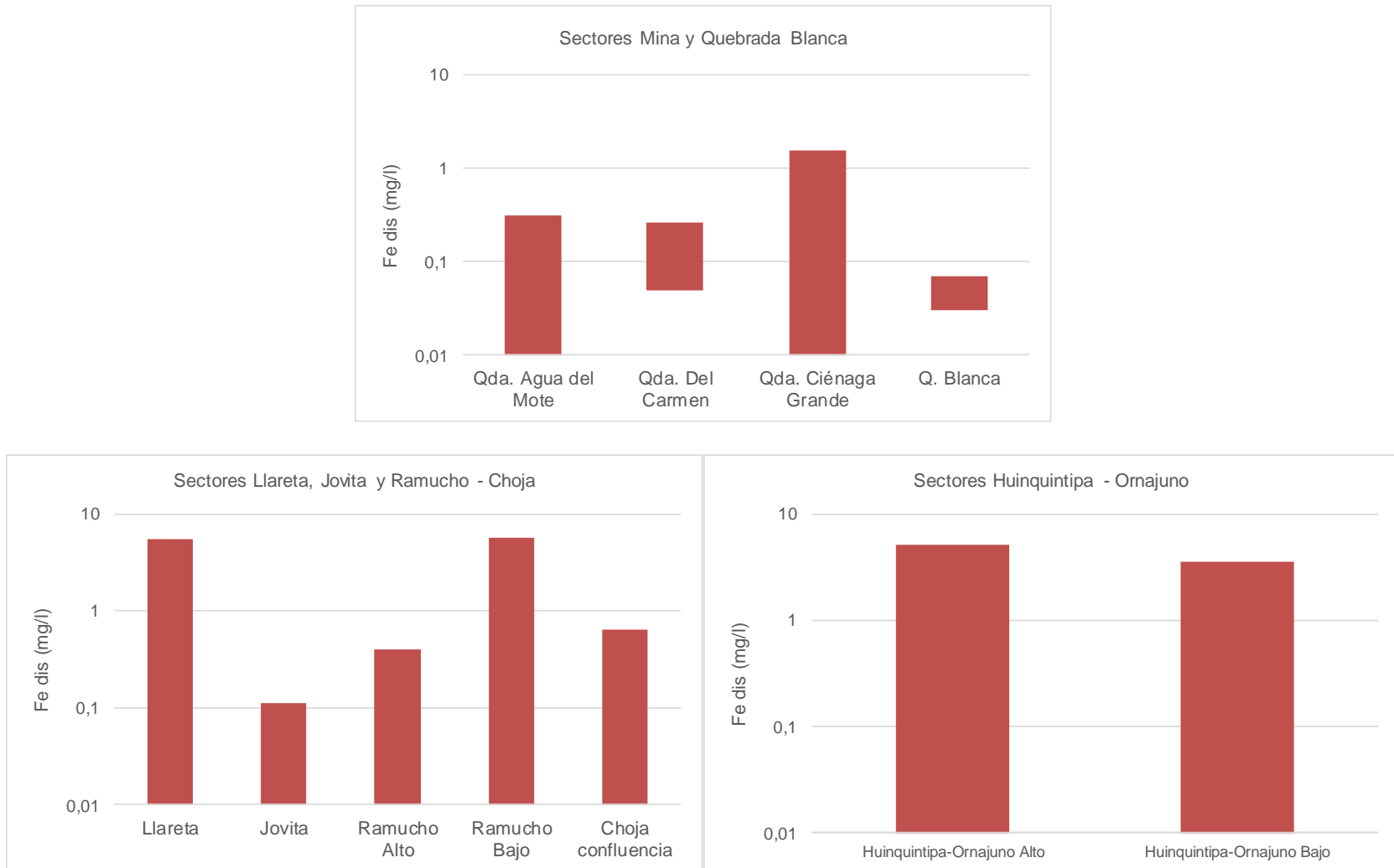
**Figura 3.2.9-161. Línea Base Proyecto Quebrada Blanca Fase 2. Rango de variación concentración de cobre disuelto.**



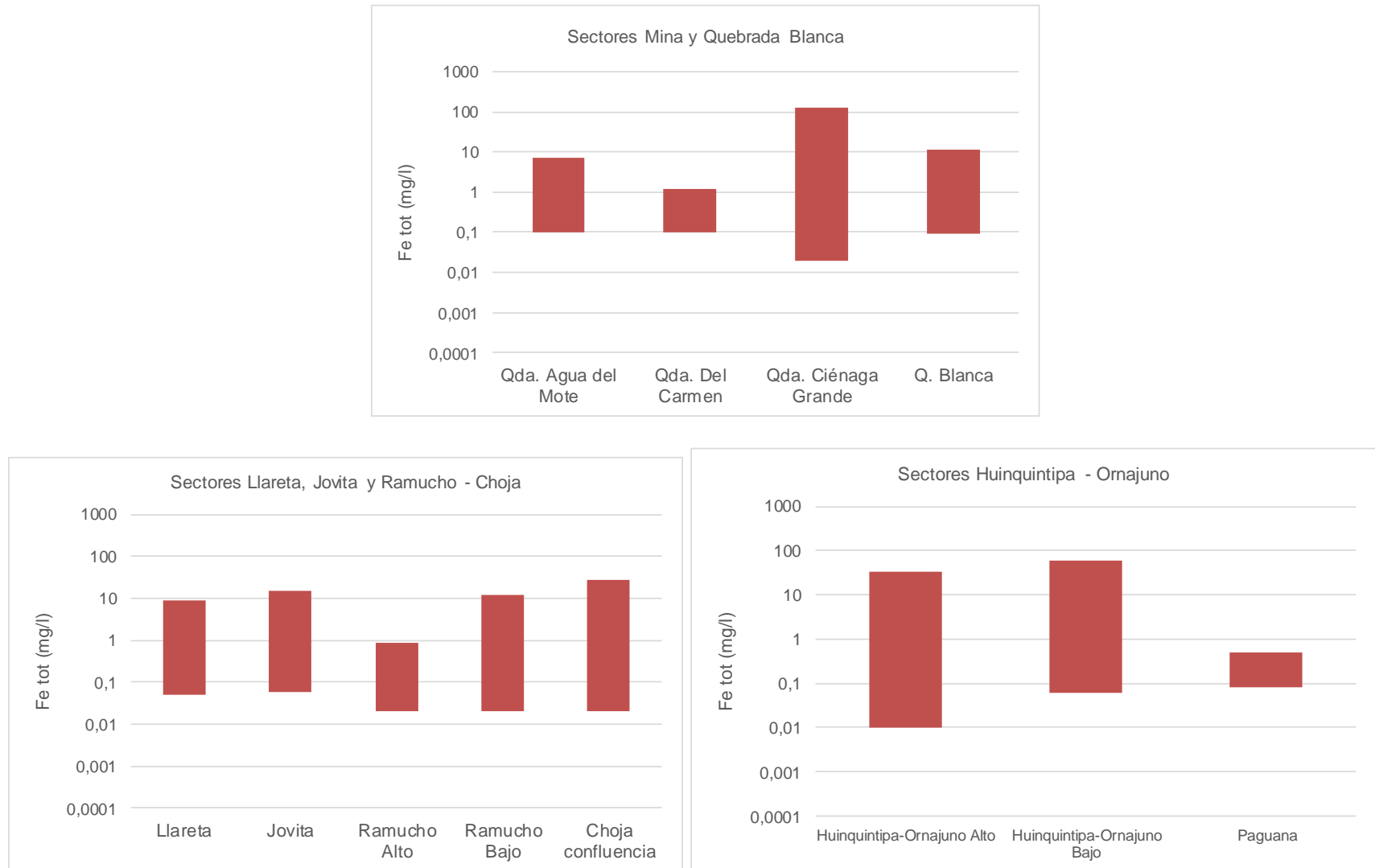
**Figura 3.2.9-162. Línea Base Proyecto Quebrada Blanca Fase 2. Rango de variación concentración de cobre total.**



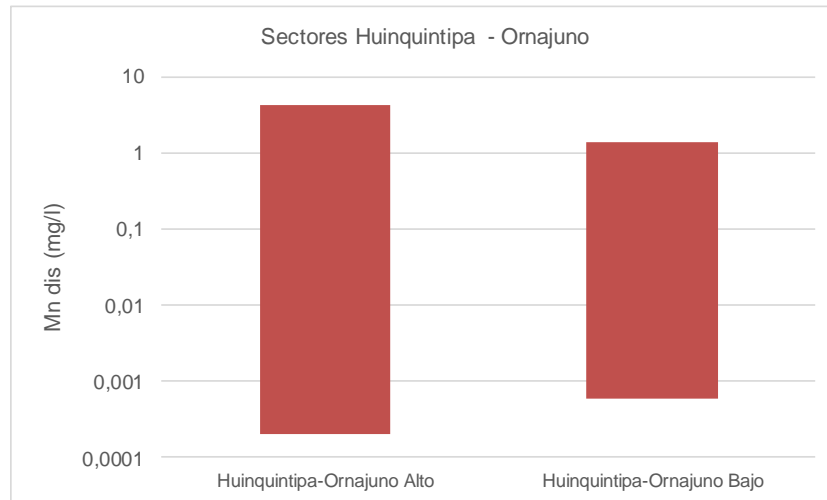
**Figura 3.2.9-163. Línea Base Proyecto Quebrada Blanca Fase 2. Rango de variación concentración de hierro disuelto.**



**Figura 3.2.9-164. Línea Base Proyecto Quebrada Blanca Fase 2. Rango de variación concentración de hierro total.**



**Figura 3.2.9-165. Línea Base Proyecto Quebrada Blanca Fase 2. Rango de variación concentración de manganeso disuelto.**



### 3.2.9.7 Bibliografía

APHA (2005). Standard Methods for the examination of water and wastewaters, 21 th edition, American Public Health Association, Washington.

CMDIC (2016). Sitio web. <http://www.collahuasi.cl>

CMDIC (2006). Declaración de Impacto Ambiental, Proyecto de explotación depósitos Huinquentipa Este, Fases II y III. Compañía Minera Doña Inés de Collahuasi. Diciembre de 2006.

FAO, sitio web. [www.fao.org/docrep/t0667e/t0667e05.htm](http://www.fao.org/docrep/t0667e/t0667e05.htm). Revisado en 2016.

Hounslow (1995). Water Quality Data. Analysis and Interpretation. Arthur W. Hounslow. Lewis Publishers, CRC Press. 1995.

John, D. y Leventhal, J. (1996). Bioavailability of Metals. En USGS. Preliminary Compilation of Descriptive Geoenvironmental Mineral Deposit Models. En línea en <http://pubs.usgs.gov/of/1995/ofr-95-0831/CHAP2.pdf>

Teck (2014). Estudio de Impacto Ambiental Actualización Proyecto Minero Quebrada Blanca.

Post, Ryan (2013). Percentile Groundwater Indicator Literature Review. Nottawasaga Valley Conservation Authority.

SWS (2016). Base de Datos Hidroquímica, niveles, caudales y criterios de validación para su uso. Proyecto Minero Quebrada Blanca Fase 2. Schlumberger Water Services.

USGS (2016). Sitio web. <http://water.usgs.gov/edu/earthgwquality.html>

Wendland, F., Hannappel, S., Kunkel, R., Schenk, R., Voigt, H.J., Wolter, R. 2003. A procedure to define natural groundwater conditions of groundwater bodies in Germany. Diffuse Pollution Conference Dublin 2003.