

SQM SALAR S.A.

**INFORME N°17 DEL PLAN DE SEGUIMIENTO AMBIENTAL
HIDROGEOLÓGICO PROYECTO CAMBIOS Y MEJORAS
DE LA OPERACIÓN MINERA EN EL SALAR DE ATACAMA**

N° 4425-1000-GH-INF-017_0

**“INFORME DE MONITOREO SEMESTRAL ACTUALIZADO A JUNIO
2015”**

Rev.		Ejecutor	Revisor	Aprobador	Descripción
B	Nombre Firma	A. Pucheu	C. Ortiz	C. Ortiz	Revisión Cliente
	Fecha	09.12.2015	10.12.2015	10.12.2015	
C	Nombre Firma	A. Pucheu	C. Ortiz	C. Ortiz	Revisión Cliente
	Fecha	31.12.2015	31.12.2015	31.12.2015	
D	Nombre Firma	A. Pucheu	F. Varas	C. Ortiz	Revisión Cliente
	Fecha	19.01.2016	22.02.2016	22.02.2016	
E	Nombre Firma	A. Pucheu	C. Ortiz	C. Ortiz	Revisión Cliente
	Fecha	31.03.2016	04.04.2016	05.04.2016	
0	Nombre Firma	A. Pucheu	C. Ortiz	C. Ortiz	Aprobado Cliente
	Fecha	13.04.2016	13.04.2016	13.04.2016	

INFORME N°17 DEL PLAN DE SEGUIMIENTO AMBIENTAL HIDROGEOLÓGICO PROYECTO CAMBIOS Y MEJORAS DE LA OPERACIÓN MINERA EN EL SALAR DE ATACAMA

“INFORME DE MONITOREO SEMESTRAL ACTUALIZADO A JUNIO 2015”

ÍNDICE

1	RESUMEN.....	19
1.1	SISTEMA SONCOR.....	25
1.1.1	Sistema Soncor: Sector norte, nacientes Canal Burro Muerto.....	26
1.1.2	Sistema Soncor: Zona Aluvial.....	27
1.1.3	Sistema Soncor: Zona Marginal.....	29
1.1.4	Sistema Soncor: Zona Salmuera	32
1.1.5	Sistema Soncor: Nivel Lacustre.....	32
1.2	SISTEMA AGUAS DE QUELANA	34
1.2.1	Sistema Aguas de Quelana: Zona aluvial.....	35
1.2.2	Sistema Aguas de Quelana: Zona marginal	37
1.2.3	Sistema Aguas de Quelana: Zona Salmuera.....	38
1.2.4	Sistema Aguas de Quelana: Cuerpos de agua superficial.....	39
1.3	SISTEMA PEINE	40
1.3.1	Sistema Peine: Zona Marginal.....	41
1.3.2	Sistema Peine: Zona Salmuera	43
1.3.3	Sistema Peine: Nivel Lacustre	44
1.4	SISTEMA CUÑA SALINA.....	46
1.5	SISTEMA VEGETACIÓN BORDE ESTE	48
1.6	SISTEMA VEGAS DE TILOPOZO	51
1.7	SISTEMA NÚCLEO DEL SALAR DE ATACAMA	53
2	INTRODUCCIÓN.....	57
3	OBJETIVOS DEL PLAN DE SEGUIMIENTO AMBIENTAL HIDROGEOLÓGICO	58
4	MATERIALES Y MÉTODOS	59
4.1	DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO E INFRAESTRUCTURA DE MONITOREO.....	59
4.2	PARÁMETROS PARA CARACTERIZAR LAS VARIABLES AMBIENTALES	66
4.2.1	Niveles de agua superficial y subterránea	66
4.2.2	Calidad físico-química del agua.....	66

4.2.3	Aforos de caudal superficial	67
4.2.4	Caudal Bombeado.....	67
4.2.5	Meteorología.....	67
4.2.6	Superficie lacustre.....	67
4.2.7	Resumen de parámetros registrados	67
4.3	METODOLOGÍAS.....	68
4.3.1	Monitoreo de nivel de pozos operativos y no operativos	68
4.3.2	Medición de parámetros físico-químicos en terreno y muestreo	69
4.3.3	Medición de superficies lacustres	69
4.3.4	Realización de aforos en cauces naturales.....	70
4.3.5	Medición Meteorología	70
4.4	MATERIALES Y EQUIPOS UTILIZADOS	71
4.4.1	Medición de niveles de agua.....	71
4.4.2	Parámetros físico-químicos medidos en terreno.....	71
4.4.3	Muestreo físico-químico	71
4.4.4	Estimación de superficies lacustres.....	72
4.4.5	Realización de aforos en cauces naturales.....	72
4.4.6	Medición Meteorología	72
4.5	INCERTIDUMBRES ASOCIADAS A LOS MÉTODOS UTILIZADOS	72
5	RESULTADOS.....	75
5.1	ESTADO DEL PLAN DE CONTINGENCIAS.....	75
5.2	REVISIÓN DEL PLAN DE CONTINGENCIA.....	78
5.2.1	Sistema Soncor	78
5.2.2	Sistema Aguas de Quelana	79
5.2.3	Sistema Vegetación Borde Este.....	81
5.2.4	Sistema Peine.....	86
5.3	MONITOREO DE VARIABLES DEL PLAN DE SEGUIMIENTO AMBIENTAL HIDROGEOLÓGICO.....	87
5.3.1	Sistema Soncor	87
5.3.2	Sistema Aguas de Quelana	181
5.3.3	Sistema Peine.....	231
5.3.4	Sistema Vegetación Borde Este.....	263
5.3.5	Sistema Vegas de Tilopozo	276
5.3.6	Sistema Núcleo del Salar de Atacama	279
5.3.7	Sistema Cuña Salina.....	297
6	DISCUSIÓN DE RESULTADOS	308
6.1	SISTEMA SONCOR.....	308
6.1.1	Niveles de agua subterránea.....	308
6.1.2	Niveles de agua superficial	310
6.1.3	Evolución del nivel y superficie lacustre.....	311

6.1.4	Meteorología.....	311
6.1.5	Nivel en pozos de bombeo de agua industrial y caudal bombeado	312
6.1.6	Calidad Química.....	312
6.1.7	Aforos	312
6.2	SISTEMA AGUAS DE QUELANA	313
6.2.1	Niveles de agua subterráneos.....	313
6.2.2	Niveles de agua superficial	315
6.2.3	Nivel en pozos de bombeo de agua industrial y caudal bombeado	316
6.2.4	Calidad química	316
6.3	SISTEMA PEINE	316
6.3.1	Niveles de agua subterráneos.....	316
6.3.2	Nivel de agua superficial en las lagunas y evolución de la superficie lacustre	317
6.3.3	Calidad química	318
6.3.4	Aforos	318
6.4	SISTEMA VEGETACIÓN BORDE ESTE	318
6.4.1	Niveles de agua subterráneos.....	318
6.5	SISTEMA VEGAS DE TILOPOZO	319
6.6	SISTEMA NÚCLEO DEL SALAR DE ATACAMA	320
6.7	SISTEMA CUÑA SALINA.....	321
7	CONCLUSIONES.....	321
8	REFERENCIAS	322
9	GLOSARIO Y ABREVIACIONES.....	323

LISTADO DE ANEXOS

- Anexo 1: Niveles de los pozos del plan de contingencia (msnm)
- Anexo 2: Niveles de los pozos del Plan de Seguimiento Ambiental Hidrogeológico (msnm)
- Anexo 3: Registro de volúmenes bombeados mensuales de los pozos de agua industrial
- Anexo 4: Informes de calidad química
- Anexo 5: Certificados de calibración
- Anexo 6: Metodologías de muestreo, medición, análisis y/o control de cada parámetro
- Anexo 7: Levantamiento topográfico de los puntos del PSAH en coordenadas UTM WGS 84 huso 19S
- Anexo 8: Informe de superficie lacustre por imágenes satelitales (Geobiota)
- Anexo 9: Informe de Topografía (INGEOSERV)

LISTADO DE FIGURAS

Figura 1-1. Sistemas del Salar de Atacama	20
Figura 1-2: Ubicación de todos los puntos de monitoreo del PSAH	21
Figura 1-3. Zonificación del Salar de Atacama.....	22
Figura 1-4: Ubicación puntos del Plan de Contingencia y pozos de bombeo de agua industrial	24
Figura 1-5: Ubicación puntos de monitoreo del sistema Soncor.....	25
Figura 1-6: Distribución geográfica del perfil L11 del sistema Soncor	26
Figura 1-7: Nivel mensual observado en la reglilla L11-G1	26
Figura 1-8. Nivel de agua en el pozo Mullay 1 (bombeo)	27
Figura 1-9. Nivel de agua en el pozo L1-1	28
Figura 1-10. Nivel de agua en el pozo L7-1	28
Figura 1-11. Registro de nivel en el pozo 1027	29
Figura 1-12. Registro de nivel en el pozo P1-6	30
Figura 1-13. Registro de nivel en el pozo L1-13.....	30
Figura 1-14. Registro de nivel en la reglilla puente San Luis.....	31
Figura 1-15. Registro de nivel en la reglilla L1-G4	31
Figura 1-16. Nivel histórico en el pozo SOPM-13.....	32
Figura 1-17: Nivel mensual observado en la reglilla Barros Negros	33
Figura 1-18: Nivel mensual observado en la reglilla Puilar	33
Figura 1-19: Nivel mensual observado en la reglilla Chaxa.....	34
Figura 1-20: Ubicación puntos de monitoreo del sistema Aguas de Quelana.....	35
Figura 1-21. Evolución del nivel en el pozo L5-1 (ac. libre)	36
Figura 1-22. Evolución del nivel en el pozo L4-3 (ac. confinado)	36
Figura 1-23. Evolución del nivel del pozo L13-5.....	37
Figura 1-24. Evolución del nivel del pozo L14-1.....	38
Figura 1-25. Evolución del nivel en el pozo L3-4.....	39
Figura 1-26: Nivel mensual observado en la reglilla L5-G3. (Línea azul: datos históricos; puntos rojos: medición manual en reglilla con registros de datos continuos – M.C.; línea magenta: datos continuos)	40
Figura 1-27: Ubicación puntos de monitoreo del sistema Peine.....	41
Figura 1-28. Evolución del nivel en el pozo L10-2.....	42
Figura 1-29. Evolución del nivel en el pozo L10-7.....	42
Figura 1-30. Registro de nivel en el pozo L10-17.....	43
Figura 1-31. Registro de nivel en el pozo 1028.....	44
Figura 1-32: Nivel mensual observado en la laguna Salada.....	44
Figura 1-33: Nivel mensual observado en la laguna Saladita.....	45

Figura 1-34: Nivel mensual observado en la laguna Interna.....	45
Figura 1-35: Perfil de conductividad eléctrica y representación gráfica de cuña salina para los pozos Cuña 5, Cuña 4 y L4-3 a Junio 2015	46
Figura 1-36: Ubicación puntos de monitoreo del sistema Cuña Salina.....	47
Figura 1-37: Nivel mensual observado en el pozo L3-15	48
Figura 1-38: Ubicación puntos de monitoreo del sistema Vegetación Borde Este.....	49
Figura 1-39: Nivel mensual observado en el pozo L3-3	50
Figura 1-40: Evolución de los niveles en el pozo L3-5.	50
Figura 1-41: Ubicación puntos de monitoreo del sistema Vegas de Tilopozo.....	51
Figura 1-42: Nivel mensual observado en la reglilla de Tilopozo.....	52
Figura 1-43: Nivel mensual observado en el pozo L12-3	52
Figura 1-44: Nivel mensual observado en el pozo L12-1	53
Figura 1-45: Ubicación puntos de monitoreo del sistema Núcleo del Salar de Atacama	54
Figura 1-46: Nivel mensual observado en el pozo SOPM-4.....	55
Figura 1-47: Nivel mensual observado en el pozo 2040.....	55
Figura 1-48: Nivel mensual observado en el pozo Zar-C-S.....	56
Figura 1-49: Nivel mensual observado en el pozo 1906.....	56
Figura 4-1. Ubicación general del proyecto.....	60
Figura 4-2. Zonificación del Salar de Atacama.....	61
Figura 4-3. Esquema del movimiento del agua en cuenca del Salar de Atacama	62
Figura 4-4. Sistemas a proteger en el Salar de Atacama	63
Figura 4-5: Ubicación de todos los puntos de monitoreo del PSAH	65
Figura 5-1: Ubicación puntos del Plan de Contingencia y pozos de bombeo de agua industrial	76
Figura 5-2: Perfil vertical esquemático del borde este del salar de Atacama.....	83
Figura 5-3: Perfil vertical esquemático del suelo en el límite oriental de la zona de conexión vegetación-acuífero	83
Figura 5-4: Distribución geográfica de puntos de monitoreo del sistema Soncor. Perfil L11 se presenta en Figura 5-5.....	88
Figura 5-5: Distribución geográfica del perfil L11 del sistema Soncor	89
Figura 5-6: Nivel mensual observado en el pozo L1-1	92
Figura 5-7: Nivel mensual observado en el pozo L1-2	92
Figura 5-8: Nivel mensual observado en el pozo L1-3	93
Figura 5-9: Nivel mensual observado en el pozo L2-2.	93
Figura 5-10: Nivel mensual observado en el pozo L2-3	94
Figura 5-11: Nivel mensual observado en el pozo L2-7	94
Figura 5-12: Nivel mensual observado en el pozo L7-1	95

Figura 5-13: Nivel mensual observado en el pozo L7-2	95
Figura 5-14: Nivel mensual observado en el pozo L7-6	96
Figura 5-15: Nivel mensual observado en el pozo de bombeo Mullay 1	96
Figura 5-16: Nivel mensual observado en el pozo de bombeo Allana	97
Figura 5-17: Nivel mensual observado en el pozo 1027	98
Figura 5-18: Nivel mensual observado en el pozo RC-1	98
Figura 5-19: Nivel mensual observado en el pozo RC-2	99
Figura 5-20: Nivel mensual observado en el pozo RC-3	99
Figura 5-21: Nivel mensual observado en el pozo RC-4	100
Figura 5-22: Nivel mensual observado en el pozo RC-5	100
Figura 5-23: Nivel mensual observado en el pozo RC-6	101
Figura 5-24: Nivel mensual observado en el pozo RC-7	101
Figura 5-25: Nivel mensual observado en el pozo GD-01	102
Figura 5-26: Nivel mensual observado en el pozo L1-4	102
Figura 5-27: Nivel mensual observado en el pozo L1-5	103
Figura 5-28: Nivel mensual observado en el pozo L1-6	103
Figura 5-29: Nivel mensual observado en el pozo L1-7	104
Figura 5-30: Nivel mensual observado en el pozo L1-8	104
Figura 5-31: Nivel mensual observado en el pozo L1-9	105
Figura 5-32: Nivel mensual observado en el pozo L1-10	105
Figura 5-33: Nivel mensual observado en el pozo L1-11	106
Figura 5-34: Nivel mensual observado en el pozo L1-12	106
Figura 5-35: Nivel mensual observado en el pozo L1-13	107
Figura 5-36: Nivel mensual observado en el pozo L1-14	107
Figura 5-37: Nivel mensual observado en el pozo L1-15	108
Figura 5-38: Nivel mensual observado en el pozo L1-16	108
Figura 5-39: Nivel mensual observado en el pozo L2-4	109
Figura 5-40: Nivel mensual observado en el pozo L2-5	109
Figura 5-41: Nivel mensual observado en el pozo L2-8	110
Figura 5-42: Nivel mensual observado en el pozo L2-10	110
Figura 5-43: Nivel mensual observado en el pozo L2-11	111
Figura 5-44: Nivel mensual observado en el pozo L2-12	111
Figura 5-45: Nivel mensual observado en el pozo L2-13	112
Figura 5-46: Nivel mensual observado en el pozo L2-15	112
Figura 5-47: Nivel mensual observado en el pozo L2-17	113
Figura 5-48: Nivel mensual observado en el pozo L2-18	113
Figura 5-49: Nivel mensual observado en el pozo L2-19	114

Figura 5-50: Nivel mensual observado en el pozo L2-21	114
Figura 5-51: Nivel mensual observado en el pozo L2-22	115
Figura 5-52: Nivel mensual observado en el pozo L2-24	115
Figura 5-53: Nivel mensual observado en el pozo L7-3	116
Figura 5-54: Nivel mensual observado en el pozo L7-4 (línea magenta: medición continua, puntos azules: mediciones manuales)	117
Figura 5-55: Nivel mensual observado en el pozo L7-4 desde el 13 de mayo de 2007, fecha de inicio de medición de pozos del PC (línea magenta: medición continua, puntos azules: mediciones manuales)	117
Figura 5-56: Nivel mensual observado en el pozo L7-5	118
Figura 5-57: Nivel mensual observado en el pozo L7-7	118
Figura 5-58: Nivel mensual observado en el pozo L7-10	119
Figura 5-59: Nivel mensual observado en el pozo L7-11	119
Figura 5-60: Nivel mensual observado en el pozo L7-12	120
Figura 5-61: Nivel mensual observado en el pozo L11-1	120
Figura 5-62: Nivel mensual observado en el pozo L11-2	121
Figura 5-63: Nivel observado en la reglilla L1-G4. (Línea magenta: medición continua; línea azul: medición manual en antigua reglilla; puntos celestes: medición manual en reglilla nueva con medición continua)	122
Figura 5-64: Nivel observado en la reglilla L1-G4 desde el 13 de mayo de 2007, fecha de inicio de medición de pozos del PC. (Línea magenta: medición continua; línea azul: medición manual en antigua reglilla; puntos celestes: medición manual en reglilla nueva con medición continua)	122
Figura 5-65: Nivel mensual observado en la reglilla L7-G1	123
Figura 5-66: Nivel mensual observado en la reglilla L7-G2. (Línea magenta: medición continua; línea azul: medición manual en antigua reglilla; puntos celeste: medición manual en reglilla nueva con medición continua)	124
Figura 5-67: Nivel mensual observado en la reglilla L7-G2 desde el 13 de mayo de 2007, fecha de inicio de medición de pozos del PC. (Línea burdeos: medición continua; línea azul: medición manual en antigua reglilla; puntos celeste: medición manual en reglilla nueva con medición continua).....	124
Figura 5-68: Representación gráfica de las reglillas instaladas en torno al puente San Luis	125
Figura 5-69: Nivel mensual observado en la reglilla Puente San Luis (“C.” medición continua, “M.C.” medición manual).....	126

Figura 5-70: Nivel mensual observado en la reglilla Puente San Luis desde el 13 de mayo de 2007, fecha de inicio de medición de pozos del PC (“C.” medición continua, “M.C.” medición manual)..... 126

Figura 5-71: Nivel mensual observado en la reglilla Burro Muerto “C.” medición continua, “M.C.” medición manual)..... 127

Figura 5-72: Nivel mensual observado en la reglilla Burro Muerto desde el 13 de mayo de 2007, fecha de inicio de medición de pozos del PC. (“C.” medición continua, “M.C.” medición manual)..... 128

Figura 5-73: Nivel mensual observado en la reglilla L11-G1 128

Figura 5-74: Nivel observado en el pozo P1-1, perfil D1 (línea magenta: medición continua, puntos azules: mediciones manuales) 129

Figura 5-75: Nivel observado en el pozo P1-2, perfil D1 (línea magenta: medición continua, puntos azules: mediciones manuales) 130

Figura 5-76: Nivel observado en el pozo P1-3, perfil D1 (línea magenta: medición continua, puntos azules: mediciones manuales) 130

Figura 5-77: Nivel observado en el pozo P1-4, perfil D1 (línea magenta: medición continua, puntos azules: mediciones manuales) 131

Figura 5-78: Nivel observado en el pozo P1-5, perfil D1 (línea magenta: medición continua, puntos azules: mediciones manuales) 131

Figura 5-79: Nivel observado en el pozo P1-6, perfil D1 (línea magenta: medición continua, puntos azules: mediciones manuales) 132

Figura 5-80: Nivel observado en el pozo P1-7, perfil D1 (línea magenta: medición continua, puntos azules: mediciones manuales) 132

Figura 5-81: Nivel observado en el pozo L2-9, perfil D2 (línea magenta: medición continua, puntos azules: mediciones manuales) 133

Figura 5-82: Nivel observado en el pozo P2-1, perfil D2 (línea magenta: medición continua, puntos azules: mediciones manuales) 133

Figura 5-83: Nivel observado en el pozo P2-2, perfil D2 (línea magenta: medición continua, puntos azules: mediciones manuales) 134

Figura 5-84: Nivel observado en el pozo P2-3, perfil D2 (línea magenta: medición continua, puntos azules: mediciones manuales) 134

Figura 5-85: Nivel observado en el pozo L2-16, perfil D2 (línea magenta: medición continua, puntos azules: mediciones manuales) 135

Figura 5-86: Nivel observado en el pozo P2-4, perfil D2 (línea magenta: medición continua, puntos azules: mediciones manuales) 135

Figura 5-87: Nivel observado en el pozo P2-5, perfil D2 (línea magenta: medición continua, puntos azules: mediciones manuales) 136

Figura 5-88: Nivel observado en el pozo L2-23, perfil D2 (línea magenta: medición continua, puntos azules: mediciones manuales)	136
Figura 5-89: Nivel mensual observado en el pozo 2021 (línea magenta: medición continua, puntos azules: mediciones manuales)	137
Figura 5-90: Nivel mensual observado en el pozo SOPM-07 (L2-6).....	138
Figura 5-91: Nivel mensual observado en el pozo SOPM-13	138
Figura 5-92: Nivel mensual observado en el pozo SOPM-14	139
Figura 5-93: Nivel mensual observado en el pozo L2-14	139
Figura 5-94: Nivel mensual observado en el pozo L2-20	140
Figura 5-95: Nivel mensual observado en la reglilla Barros Negros	141
Figura 5-96: Nivel mensual observado en la reglilla Barros Negros desde el 13 de mayo de 2007 (fecha de inicio de medición de pozos del PC).....	141
Figura 5-97: Nivel mensual observado en la reglilla Puilar	142
Figura 5-98: Nivel mensual observado en la reglilla Puilar desde 13 de mayo de 2007 (fecha de inicio de medición de pozos del PC)	142
Figura 5-99: Nivel mensual observado en la reglilla Chaxas	143
Figura 5-100: Nivel mensual observado en la reglilla Chaxas desde 13 de mayo de 2007 (fecha de inicio de medición de pozos del PC)	143
Figura 5-101: Precipitación diaria registrada en la estación Chaxa	144
Figura 5-102: Evaporación diaria registrada en la estación Chaxa.....	145
Figura 5-103: Velocidad del viento diaria registrada en la estación Chaxa.....	145
Figura 5-104: Temperatura media diaria registrada en la estación Chaxa	146
Figura 5-105: Caudal medio mensual bombeado desde el pozo Mullay	147
Figura 5-106: Caudal medio mensual bombeado desde el pozo Allana.....	147
Figura 5-107: Resultados de análisis físico-químico del pozo L1-4.....	149
Figura 5-108: Resultados de análisis físico-químico del pozo L1-5.....	150
Figura 5-109: Resultados de análisis físico-químico del pozo L1-6.....	151
Figura 5-110: Resultados de análisis físico-químico reglilla L1-G4	152
Figura 5-111: Resultados de análisis físico-químico del pozo L2-3.....	153
Figura 5-112: Resultados de análisis físico-químico del pozo L2-4.....	154
Figura 5-113: Resultados de análisis físico-químico del pozo L2-5.....	155
Figura 5-114: Resultados de análisis físico-químico del pozo L7-3.....	156
Figura 5-115: Resultados de análisis físico-químico reglilla L7-G1	157
Figura 5-116: Resultados de análisis físico-químico del pozo SOPM-07	158
Figura 5-117: Resultados de análisis físico-químico del pozo Mullay.....	159
Figura 5-118: Resultados de análisis físico-químico del pozo Mullay (continuación).....	160
Figura 5-119: Resultados de análisis físico-químico del pozo SOPM-14	161

Figura 5-120: Resultados de análisis físico-químico del pozo Allana	162
Figura 5-121: Resultados de análisis físico-químico del pozo Allana (continuación)	163
Figura 5-122: Resultados de análisis físico-químico laguna Chaxa.....	164
Figura 5-123: Resultados de análisis físico-químico laguna Barros Negros	165
Figura 5-124: Resultados de análisis físico-químico CONAF de la laguna Chaxa.....	167
Figura 5-125: Resultados de análisis físico-químico CONAF de la laguna Chaxa (continuación)	168
Figura 5-126: Resultados de análisis físico-químico CONAF Burro Muerto	169
Figura 5-127: Resultados de análisis físico-químico CONAF Burro Muerto (continuación)	170
Figura 5-128: Resultados de análisis físico-químico CONAF Barros Negros	171
Figura 5-129: Resultados de análisis físico-químico CONAF Barros Negros (continuación)	172
Figura 5-130: Resultados de análisis físico-químico CONAF laguna Puilar	173
Figura 5-131: Resultados de análisis físico-químico CONAF laguna Puilar (continuación)	174
Figura 5-132: Aforo Barros Negros. En barra roja caudal aforado por método manual, en azul velocidad (m/s) y en verde área mojada (m ²).....	175
Figura 5-133: Caudal promedio diario en puente San Luis	176
Figura 5-134: Evolución de Superficie lacustre sistema Soncor medida por CONAF (Medición a través de estacas perimetrales)	177
Figura 5-135: Evolución de la superficie lacustre sistema Soncor medida a través de imágenes satelitales.....	179
Figura 5-136: Evolución de la superficie lacustre sistema Soncor medida a través de imágenes satelitales.....	180
Figura 5-137: Distribución geográfica de puntos de monitoreo del sistema Aguas de Quelana. Nivel del agua subterránea y superficial.....	183
Figura 5-138: Nivel mensual observado en el pozo L3-2	184
Figura 5-139: Nivel mensual observado en el pozo L4-3	184
Figura 5-140: Nivel mensual observado en el pozo L4-4	185
Figura 5-141: Nivel mensual observado en el pozo L5-1	185
Figura 5-142: Nivel mensual observado en el pozo L5-2	186
Figura 5-143: Nivel mensual observado en el pozo GD-02	187
Figura 5-144: Nivel mensual observado en el pozo L3-3	187
Figura 5-145: Nivel mensual observado en el pozo L3-8	188
Figura 5-146: Nivel mensual observado en el pozo L3-11	188
Figura 5-147: Nivel mensual observado en el pozo L3-12	189
Figura 5-148: Nivel mensual observado en el pozo L3-14	189
Figura 5-149: Nivel mensual observado en el pozo L4-5	190

Figura 5-150: Nivel mensual observado en el pozo L4-11	190
Figura 5-151: Nivel mensual observado en el pozo L4-14	191
Figura 5-152: Nivel mensual observado en el pozo L4-15	191
Figura 5-153: Nivel mensual observado en el pozo L5-9	192
Figura 5-154: Nivel mensual observado en el pozo L5-11	192
Figura 5-155: Nivel mensual observado en el pozo L5-12	193
Figura 5-156: Nivel mensual observado en el pozo L5-13	193
Figura 5-157: Nivel mensual observado en el pozo L5-15	194
Figura 5-158: Nivel mensual observado en el pozo L13-5	194
Figura 5-159: Nivel mensual observado en el pozo L13-6	195
Figura 5-160: Nivel mensual observado en el pozo L13-7	195
Figura 5-161: Nivel mensual observado en el pozo L14-1	196
Figura 5-162: Nivel mensual observado en el pozo L14-2	196
Figura 5-163: Nivel mensual observado en el pozo L14-3	197
Figura 5-164: Nivel mensual observado en el pozo L14-5	197
Figura 5-165: Nivel mensual observado en el pozo L14-6	198
Figura 5-166: Nivel mensual observado en el pozo L14-7	198
Figura 5-167: Nivel mensual observado en la reglilla L5-G3. (Línea azul: datos históricos; puntos rojos: medición manual en reglilla con registros de datos continuos – M.C.; línea magenta: datos continuos).....	199
Figura 5-168: Nivel mensual observado en la reglilla L5-G3 desde 13 de mayo de 2007, fecha de inicio de medición de pozos del PC. (Línea azul: datos históricos; puntos rojos: medición manual en reglilla con registros de datos continuos – M.C.; línea magenta: datos continuos)	200
Figura 5-169: Nivel mensual observado en la reglilla L4-10	200
Figura 5-170: Nivel observado en el pozo L3-5 (línea magenta: medición continua, puntos azules: mediciones manuales).....	201
Figura 5-171: Nivel mensual observado en el pozo L3-6 (línea magenta: medición continua, puntos azules: mediciones manuales)	202
Figura 5-172: Nivel mensual observado en el pozo L3-7 (línea magenta: medición continua, puntos azules: mediciones manuales)	202
Figura 5-173: Nivel observado en el pozo L3-9 (línea magenta: medición continua, puntos azules: mediciones manuales).....	203
Figura 5-174: Nivel observado en el pozo L3-10 (línea magenta: medición continua, puntos azules: mediciones manuales).....	203
Figura 5-175: Nivel observado en el pozo L3-13 (línea magenta: medición continua, puntos azules: mediciones manuales).....	204

Figura 5-176: Nivel mensual observado en el pozo L4-7 (línea magenta: medición continua, puntos azules: mediciones manuales) 204

Figura 5-177: Nivel observado en el pozo L4-8 (línea magenta: medición continua, puntos azules: mediciones manuales)..... 205

Figura 5-178: Nivel observado en el pozo L4-9 (línea magenta: medición continua, puntos azules: mediciones manuales)..... 205

Figura 5-179: Nivel observado en el pozo L4-12 (línea magenta: medición continua, puntos azules: mediciones manuales)..... 206

Figura 5-180: Nivel observado en el pozo L4-13 (línea magenta: medición continua, puntos azules: mediciones manuales)..... 206

Figura 5-181: Nivel mensual observado en el pozo L5-3 (línea magenta: medición continua, puntos azules: mediciones manuales) 207

Figura 5-182: Nivel observado en el pozo L5-3 desde 13 de mayo del 2007, fecha de inicio de medición de pozos del PC (línea magenta: medición continua, puntos azules: mediciones manuales)..... 207

Figura 5-183: Nivel observado en el pozo L5-6 (línea magenta: medición continua, puntos azules: mediciones manuales)..... 208

Figura 5-184: Nivel mensual observado en el pozo L5-7 (línea magenta: medición continua, puntos azules: mediciones manuales) 208

Figura 5-185: Nivel observado en el pozo L5-8 (línea magenta: medición continua, puntos azules: mediciones manuales)..... 209

Figura 5-186: Nivel observado en el pozo L5-10 (línea magenta: medición continua, puntos azules: mediciones manuales)..... 209

Figura 5-187: Nivel mensual observado en el pozo L5-14 (línea magenta: medición continua, puntos azules: mediciones manuales) 210

Figura 5-188: Nivel mensual observado en el pozo L13-1 (línea magenta: medición continua, puntos azules: mediciones manuales) 210

Figura 5-189: Nivel mensual observado en el pozo L13-2 (línea magenta: medición continua, puntos azules: mediciones manuales) 211

Figura 5-190: Nivel mensual observado en el pozo L13-3 (línea magenta: medición continua, puntos azules: mediciones manuales) 211

Figura 5-191: Nivel mensual observado en el pozo L13-4 (línea magenta: medición continua, puntos azules: mediciones manuales) 212

Figura 5-192: Nivel mensual observado en el pozo L14-4 (línea magenta: medición continua, puntos azules: mediciones manuales) 212

Figura 5-193: Nivel mensual observado en el pozo D2 213

Figura 5-194: Nivel mensual observado en el pozo L3-4 (SOPM-8)..... 213

Figura 5-195: Nivel mensual observado en el pozo L4-6	214
Figura 5-196: Nivel mensual observado en el pozo L4-16	214
Figura 5-197: Nivel mensual observado en el pozo L5-4	215
Figura 5-198: Nivel mensual observado en el pozo SOPM-9	215
Figura 5-199: Nivel mensual observado en el pozo de bombeo Camar 2	216
Figura 5-200: Nivel mensual observado en el pozo de bombeo Socaire 5B.....	216
Figura 5-201: Caudal medio mensual bombeado desde el pozo Camar 2	217
Figura 5-202: Caudal medio mensual bombeado desde el pozo Socaire 5B	217
Figura 5-203: Resultados de análisis físico-químico del pozo L4-3.....	219
Figura 5-204: Resultados de análisis físico-químico del pozo L4-6.....	220
Figura 5-205: Resultados de análisis físico-químico del pozo L4-8.....	221
Figura 5-206: Resultados de análisis físico-químico del pozo L4-9.....	222
Figura 5-207: Resultados de análisis físico-químico del pozo L4-12.....	223
Figura 5-208: Resultados de análisis físico-químico del pozo L5-3.....	224
Figura 5-209: Resultados de análisis físico-químico del pozo Camar 2	225
Figura 5-210: Resultados de análisis físico-químico del pozo Camar 2 (continuación)	226
Figura 5-211: Resultados de análisis físico-químico del pozo Socaire 5B.....	227
Figura 5-212: Resultados de análisis físico-químico del pozo Socaire 5B (continuación)...	228
Figura 5-213: Resultados de análisis físico-químico del pozo L4-10.....	229
Figura 5-214: Resultados de análisis físico-químico del pozo L4-10 (continuación).....	230
Figura 5-215: Distribución geográfica de puntos de monitoreo del sistema Peine.....	232
Figura 5-216: Nivel mensual observado en el pozo GD-04	233
Figura 5-217: Nivel mensual observado en el pozo L10-1	234
Figura 5-218: Nivel mensual observado en el pozo L10-2	234
Figura 5-219: Nivel mensual observado en el pozo L10-3	235
Figura 5-220: Nivel mensual observado en el pozo L10-4	235
Figura 5-221: Nivel mensual observado en el pozo L10-5	236
Figura 5-222: Nivel mensual observado en el pozo L10-6	236
Figura 5-223: Nivel mensual observado en el pozo L10-7	237
Figura 5-224: Nivel mensual observado en el pozo L10-8	237
Figura 5-225: Nivel mensual observado en el pozo L10-9	238
Figura 5-226: Nivel mensual observado en el pozo L10-10.....	238
Figura 5-227: Nivel mensual observado en el pozo L10-15.....	239
Figura 5-228: Nivel mensual observado en el pozo 1024.....	240
Figura 5-229: Nivel mensual observado en el pozo 1028.....	240
Figura 5-230: Nivel mensual observado en el pozo 2018.....	241
Figura 5-231: Nivel mensual observado en el pozo 2037.....	241

Figura 5-232: Nivel mensual observado en el pozo GD-03	242
Figura 5-233: Nivel mensual observado en el pozo L10-11.....	242
Figura 5-234: Nivel mensual observado en el pozo L10-12.....	243
Figura 5-235: Nivel mensual observado en el pozo L10-13.....	243
Figura 5-236: Nivel mensual observado en el pozo L10-14.....	244
Figura 5-237: Nivel mensual observado en el pozo L10-16.....	244
Figura 5-238: Nivel mensual observado en el pozo L10-17.....	245
Figura 5-239: Nivel mensual observado en la laguna Salada.....	246
Figura 5-240: Nivel mensual observado en la laguna Saladita.....	246
Figura 5-241: Nivel mensual observado en la laguna Interna.....	247
Figura 5-242: Resultados de análisis físico-químico del pozo 1028	248
Figura 5-243: Resultados de análisis físico-químico del pozo L10-1	249
Figura 5-244: Resultados de análisis físico-químico del pozo L10-4.....	250
Figura 5-245: Resultados de análisis físico-químico CONAF de la laguna Interna.....	252
Figura 5-246: Resultados de análisis físico-químico CONAF de la laguna Interna (continuación).....	253
Figura 5-247: Resultados de análisis físico-químico CONAF de la laguna Salada.....	254
Figura 5-248: Resultados de análisis físico- químico CONAF de la laguna Salada (continuación).....	255
Figura 5-249: Resultados de análisis físico- químico CONAF de la laguna Saladita	256
Figura 5-250: Resultados de análisis físico- químico CONAF de la laguna Saladita (continuación).....	257
Figura 5-251: Aforo laguna Salada. En barra roja caudal aforado por método manual, en azul velocidad (m/s) y en verde área mojada (m ²).....	258
Figura 5-252: Aforo laguna Saladita. En barra roja caudal aforado por método manual, en azul velocidad (m/s) y en verde área mojada (m ²).....	259
Figura 5-253: Evolución de la superficie lacustre sistema Peine medida por CONAF	260
Figura 5-254: Evolución de la superficie lacustre sistema Peine medida a través de imágenes satelitales.....	262
Figura 5-255: Distribución geográfica de puntos de monitoreo del sistema Vegetación Borde Este	264
Figura 5-256: Nivel mensual observado en el pozo L3-16	265
Figura 5-257: Nivel mensual observado en el pozo L7-15	266
Figura 5-258: Nivel mensual observado en el pozo L1-17	266
Figura 5-259: Nivel mensual observado en el pozo L2-25	267
Figura 5-260: Nivel mensual observado en el pozo L2-26	267
Figura 5-261: Nivel mensual observado en el pozo L2-27	268

Figura 5-262: Nivel mensual observado en el pozo L2-28	268
Figura 5-263: Nivel mensual observado en el pozo L3-15	269
Figura 5-264: Nivel mensual observado en el pozo L4-17	269
Figura 5-265: Nivel mensual observado en el pozo L7-13	270
Figura 5-266: Nivel mensual observado en el pozo L7-14	270
Figura 5-267: Nivel mensual observado en el pozo L9-1	271
Figura 5-268: Nivel mensual observado en el pozo L9-2	271
Figura 5-269: Nivel mensual estático (línea magenta) y dinámico (línea azul) observado en el pozo de bombeo P2.....	272
Figura 5-270: Caudal medio mensual bombeado desde el pozo P2	273
Figura 5-271: Resultados de análisis físico-químico del pozo P2.....	274
Figura 5-272: Resultados de análisis físico-químico del pozo P2 (continuación).....	275
Figura 5-273: Distribución geográfica puntos de monitoreo Sistema Vegas de Tilopozo ...	276
Figura 5-274: Nivel mensual observado en la reglilla de Tilopozo.....	277
Figura 5-275: Nivel mensual observado en el pozo L12-1	277
Figura 5-276: Nivel mensual observado en el pozo L12-2	278
Figura 5-277: Nivel mensual observado en el pozo L12-3	278
Figura 5-278: Nivel mensual observado en el pozo L12-4	279
Figura 5-279: Distribución espacial puntos de monitoreo Núcleo del Salar de Atacama	280
Figura 5-280: Nivel mensual observado en el pozo 1001.....	281
Figura 5-281: Nivel mensual observado en el pozo 1906.....	282
Figura 5-282: Nivel mensual observado en el pozo 2028.....	282
Figura 5-283: Nivel mensual observado en el pozo 2040.....	283
Figura 5-284: Nivel mensual observado en el pozo C4-B	283
Figura 5-285: Nivel mensual observado en el pozo M1-C.....	284
Figura 5-286: Nivel mensual observado en el pozo M2-C.....	284
Figura 5-287: Nivel mensual observado en el pozo M7.....	285
Figura 5-288: Nivel mensual observado en el pozo E-101	285
Figura 5-289: Nivel mensual observado en el pozo E-324	286
Figura 5-290: Nivel mensual observado en el pozo EIA-5.....	286
Figura 5-291: Nivel mensual observado en el pozo Sample4.....	287
Figura 5-292: Nivel mensual observado en el pozo SOPE-6.....	287
Figura 5-293: Nivel mensual observado en el pozo SOPM-2	288
Figura 5-294: Nivel mensual observado en el pozo SOPM-4	288
Figura 5-295: Nivel mensual observado en el pozo SOPM-5	289
Figura 5-296: Nivel mensual observado en el pozo SOPM-10	289
Figura 5-297: Nivel mensual observado en el pozo SOPM-11	290

Figura 5-298: Nivel mensual observado en el pozo SOPM-12C	290
Figura 5-299: Nivel mensual observado en el pozo Zar-C-S	291
Figura 5-300: Precipitación diaria registrada en la estación Salar	292
Figura 5-301: Evaporación diaria registrada en la estación Salar.....	292
Figura 5-302: Velocidad del viento diaria registrada en la estación Salar.....	293
Figura 5-303: Temperatura media diaria registrada en la estación Salar	293
Figura 5-304: Resultados de análisis físico-químico pozo SOPM-12c	295
Figura 5-305: Resultados de análisis físico-químico pozo 1001	296
Figura 5-306: Relación empírica entre la CE del agua subterránea y la concentración de SDT para el salar de Atacama (línea negra: regresión lineal; línea roja: IC +/- 75%)	298
Figura 5-307. Distribución geográfica puntos de monitoreo del sistema Cuña Salina.	299
Figura 5-308: Nivel mensual observado en el pozo Cuña 1	300
Figura 5-309: Nivel mensual observado en el pozo Cuña 2	301
Figura 5-310: Nivel mensual observado en el pozo Cuña 3	301
Figura 5-311: Perfil de conductividad eléctrica y representación gráfica de cuña salina en los pozos Cuña 1, Cuña 2 y Cuña 3 a Junio 2015.....	302
Figura 5-312: Nivel mensual observado en el pozo Cuña 4 (surgente)	303
Figura 5-313: Nivel mensual observado en el pozo Cuña 5	303
Figura 5-314: Nivel mensual observado en el pozo L4-3	304
Figura 5-315. Perfil de conductividad eléctrica y representación gráfica de cuña salina para los pozos Cuña 5, Cuña 4 y L4-3 a Junio 2015.....	305
Figura 5-316. Nivel mensual observado en el pozo Cuña 6	306
Figura 5-317: Nivel mensual observado en el pozo Cuña 7	306
Figura 5-318. Perfil de conductividad eléctrica y representación gráfica de cuña salina para los pozos Cuña 7, L10-1 y Cuña 6 a Junio 2015.....	307

LISTADO DE TABLAS

Tabla 2-1: Instituciones y/o equipos de trabajo responsable de las actividades relacionadas para la elaboración del presente informe	58
Tabla 4-1: Listado de parámetros registrados en el monitoreo del Plan de Seguimiento Ambiental.....	67
Tabla 5-1: Puntos de monitoreo del PC con su posición y cota de activación (WGS 1984) .	77
Tabla 5-2: Mínimo histórico con registros actualizados a junio de 2015.....	79
Tabla 5-3: Estadígrafos con registros actualizados a junio de 2015.....	79
Tabla 5-4: Descensos máximos permitidos en el nivel de agua de los indicadores de estado del sistema aguas de Quelana en función del mes de inicio del monitoreo.....	80

Tabla 5-5: Valores de activación del pc en el sistema aguas de Quelana	81
Tabla 5-6: Valores de activación del PC en el subsistema vegetación Brea-Atriplex	84
Tabla 5-7. Valores de activación para vegetación hidromorfa expresados en msnm.	85
Tabla 5-8. Valores de activación Fase II para Borde Este.....	86
Tabla 5-9: Puntos de monitoreo del sistema Soncor	89
Tabla 5-10: Medición de superficies lacustres medidas desde abril de 2008 a abril de 2015	178
Tabla 5-11: Puntos de monitoreo del sistema Aguas de Quelana	181
Tabla 5-12: Puntos de monitoreo del sistema Peine	231
Tabla 5-13: Superficies lacustres medidas desde abril de 2008 hasta abril de 2014.....	261
Tabla 5-14: Superficies lacustres medidas en abril de 2015	261
Tabla 5-15: Puntos de monitoreo del sistema Vegetación Borde Este	263
Tabla 5-16: Puntos de monitoreo del sistema Vegas de Tilopozo.....	276
Tabla 5-17: Puntos monitoreo Sistema Núcleo del Salar de Atacama	279
Tabla 5-18: Puntos de monitoreo del sistema Cuña Salina	297
Tabla 5-19: Criterios de clasificación de agua de acuerdo a salinidad en unidad de SDT ..	298
Tabla 5-20: Criterios de clasificación de agua de acuerdo a salinidad en unidad de CE	298
Tabla 6.1. Principales precipitaciones (más de 5 mm) registradas en la Estación Meteorológica de Chaxa desde 2011 a la fecha	312

1 RESUMEN

El presente informe reporta y analiza la información del Seguimiento Ambiental Hidrogeológico que se realiza en el Salar de Atacama, según Resolución de Calificación Ambiental (RCA) N° 226/2006, presentando los registros actualizados a Junio de 2015 de los diferentes parámetros ambientales monitoreados dentro del componente hidrogeológico (nivel de agua subterránea y superficial, superficie lacustre, parámetros meteorológicos, calidad físico-química, caudal bombeado y caudal superficial).

Las mediciones consideradas en el PSAH se realizan en seis sistemas del Salar de Atacama (Figura 1-1), los que son representativos de la dinámica del núcleo, y de los sistemas lacustres emplazados en la periferia del salar (zona marginal), y de la napa de agua dulce que alimenta las formaciones vegetales del borde este (zona aluvial). Los sistemas son:

- Sistema Soncor
- Sistema Aguas de Quelana
- Sistema Vegetación Borde Este
- Sistema Peine
- Sector vegas de Tilopozo
- Núcleo del Salar de Atacama

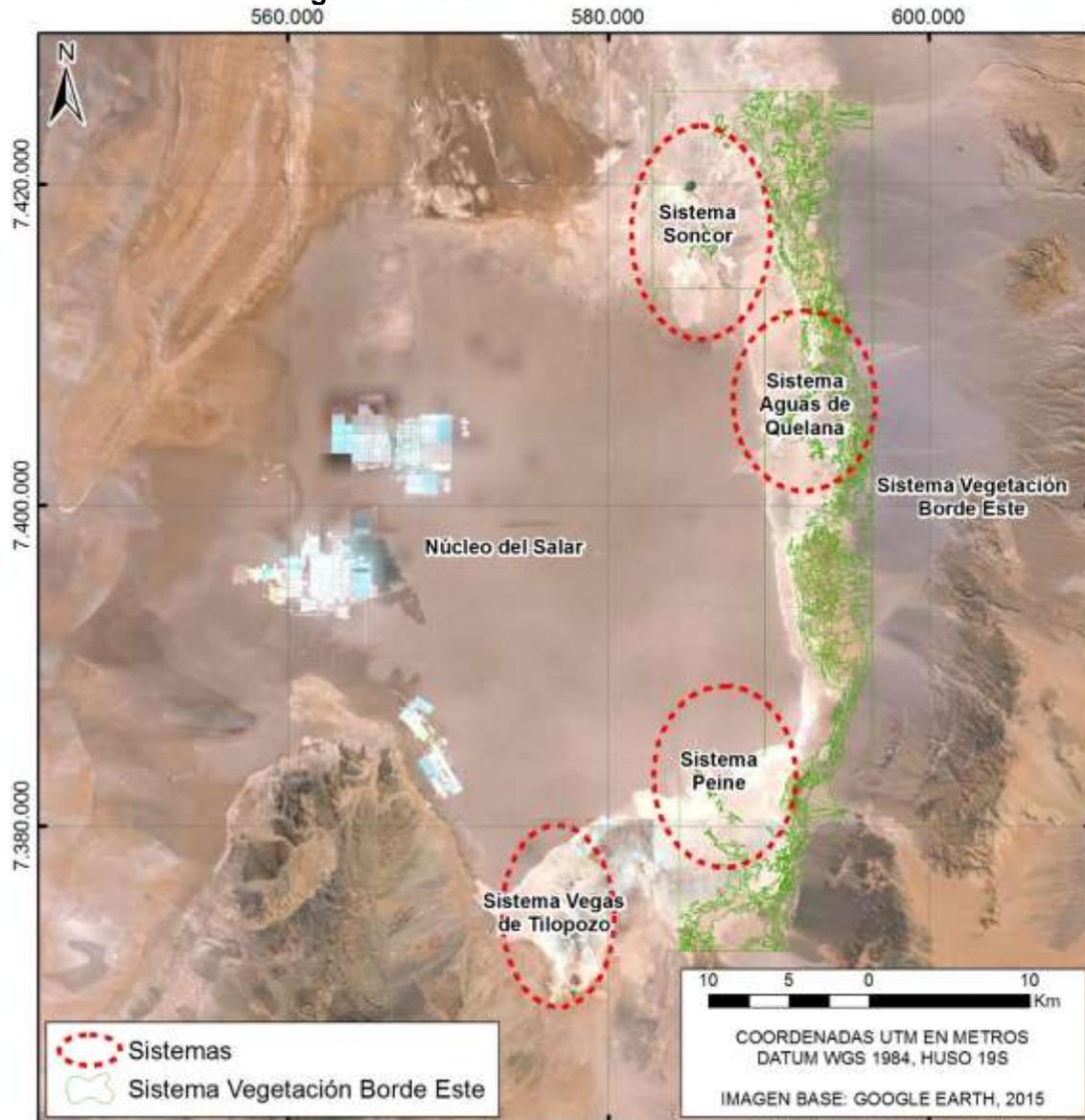
Las mediciones consideradas en el PSAH se fundamentan en:

- Proteger los sectores sensibles del Salar de Atacama, dentro de los que se tiene:
 - Sistema lacustre de Soncor compuesto por tres lagunas principales, dos de las cuales, Chaxa y Barros Negros, se encuentran conectadas superficialmente a través de un canal natural y la tercera, laguna Puilar, es de menor tamaño y se ubica al este de las dos anteriores
 - Sistema Aguas de Quelana, compuesto por una serie de cuerpos lacustres desperdigados y sin continuidad ubicados al este del núcleo del Salar de Atacama
 - Sistema Peine, donde se encuentran las Lagunas Interna, Salada y Saladita
 - Sistema Vegetación Borde Este se encuentra vegetación hidromorfa y arbustiva conectada al acuífero
- En proveer información para operar el Plan de Contingencia (PC)
- Caracterizar el comportamiento de la componente agua (subterránea y superficial) con el objetivo de entender su funcionamiento y evaluar si han existido desviaciones en los sistemas que se busca proteger, respecto de sus condiciones naturales históricamente observadas.

El PSAH se encuentra constituido por 225 puntos de monitoreo (47 de medición continua) que se desglosa de la siguiente manera (Figura 1-2):

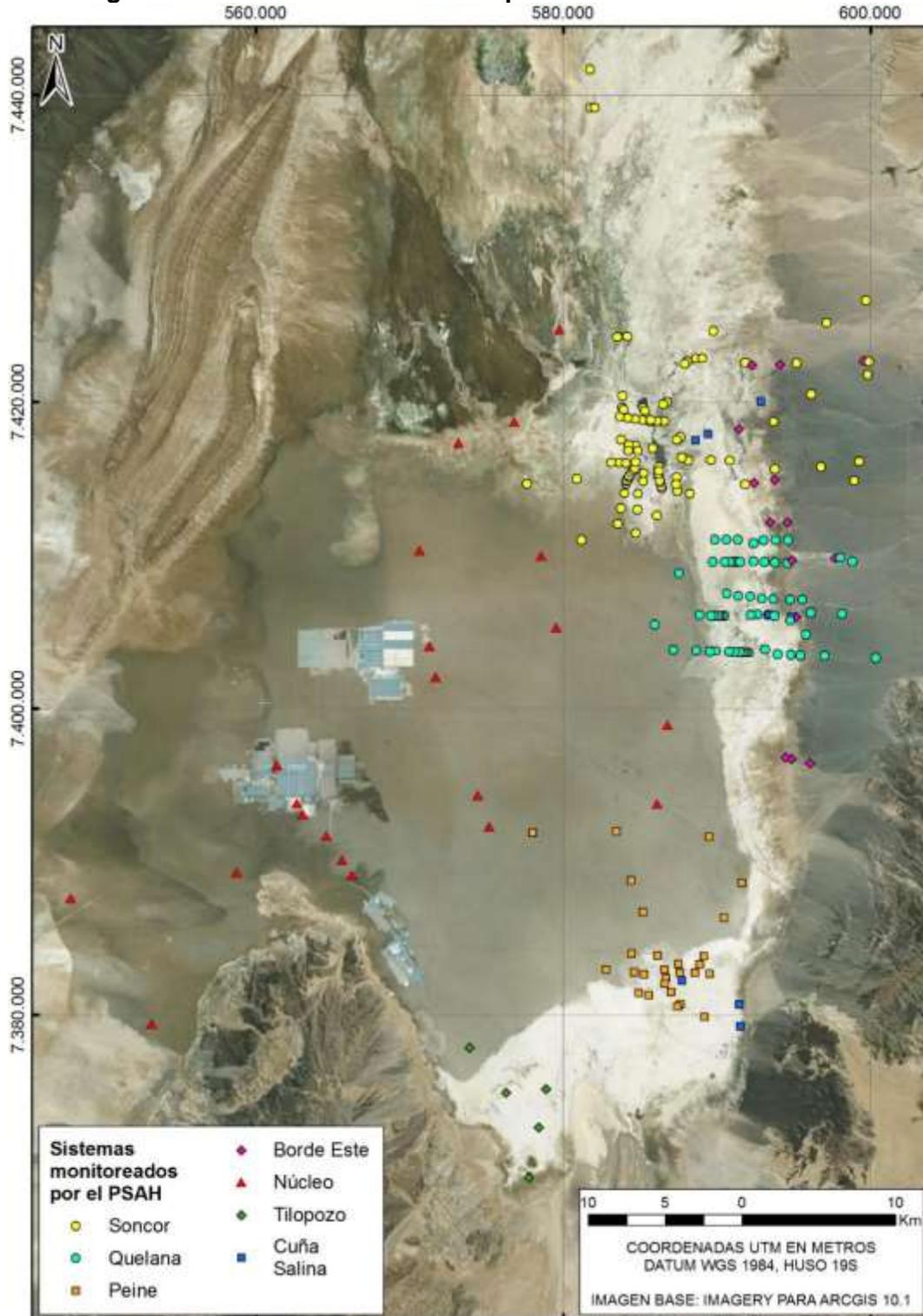
- 112 pozos someros;
- 84 pozos profundos;
- 5 pozos de bombeo de agua industrial;
- 18 reglillas para la medición del nivel de agua superficial;
- 4 estaciones de aforo de agua superficiales;
- 2 estaciones meteorológicas.

Figura 1-1. Sistemas del Salar de Atacama



Fuente: Elaboración propia

Figura 1-2: Ubicación de todos los puntos de monitoreo del PSAH

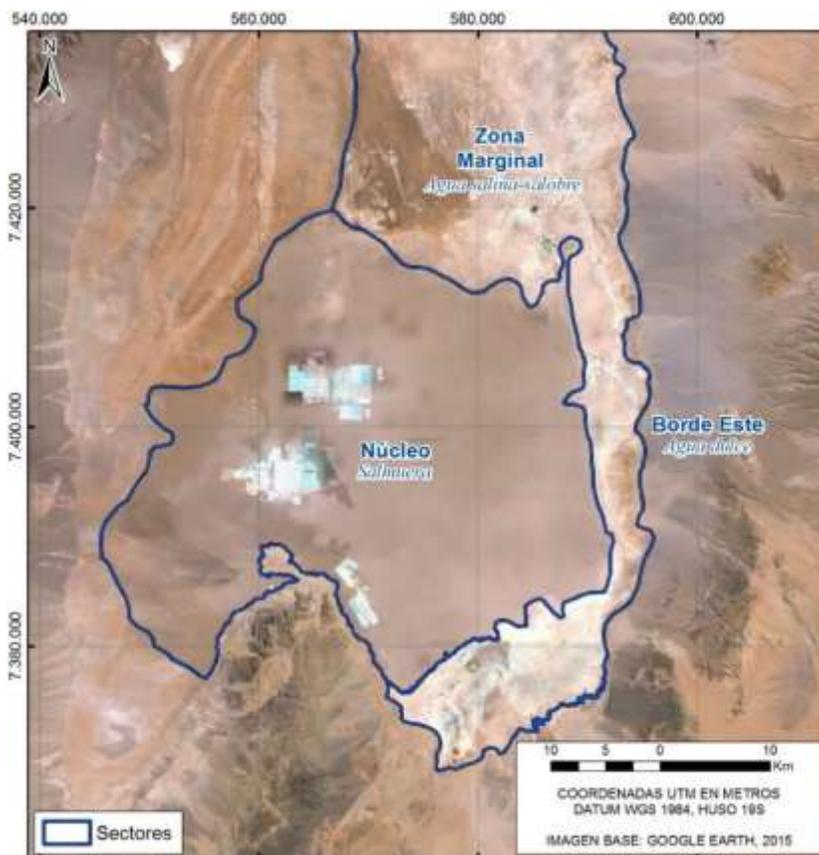


Fuente: Elaboración propia

La dinámica de los sistemas hidrogeológicos del Salar de Atacama depende del balance recarga-descarga, donde existen acuíferos de agua dulce (Borde Este), salada (Zona Marginal) y salmuera (Núcleo), que son recargados principalmente por precipitaciones que ocurren en la zona alta de la cuenca generando recarga subterránea desde los acuíferos del Borde Este. Cabe señalar que el sistema Soncor está controlado por la recarga de agua subterránea desde aguas arriba y por agua superficial proveniente de las nacientes ubicadas al norte del Salar y que el núcleo se recarga con salmuera proveniente de la zona marginal.

En la zona marginal ocurre la descarga producto de la evaporación, dado que es en este sector donde se ubican los sistemas lacustres y niveles someros de agua subterránea. Las lagunas se producen por el afloramiento de agua subterránea dada la presencia de una zona de baja permeabilidad, la presencia de la cuña salina y la canalización de aguas superficiales. Esta zona de baja permeabilidad presente en la zona marginal independiza los comportamientos del acuífero del núcleo (salmuera) del acuífero del Borde Este (agua dulce), y explica la diferencia en el comportamiento de los pozos de esta zona en relación a los pozos de bombeo de agua industrial, considerando su ubicación y cercanía. Cabe señalar que la mayoría de los puntos de medición se ubican en la zona marginal y en el borde este, justamente donde se encuentran los sistemas ambientales que son objeto de protección. Para mayor detalle revisar el capítulo 4, sección 4.1.

Figura 1-3. Zonificación del Salar de Atacama



Fuente: Elaboración propia

Tal como se señaló anteriormente, uno de los objetivos principales del PSAH es proveer información para operar el Plan de Contingencias (PC), el cual está orientado a dar respuesta oportuna frente a impactos no previstos en el EIA y, en este sentido, es una herramienta de gestión ambiental que permite alertar sobre los sistemas lacustres en el rango de su variación histórica. El PC fue elaborado el año 2005 con motivo del EIA del proyecto “Cambios y Mejoras de la Operación Minera en el Salar de Atacama”, y su diseño se sustentó en los resultados de 10 años de monitoreo de variables hidrogeológicas y bióticas, que indican que los sistemas a proteger toleran adecuadamente grandes variaciones hidrológicas estacionales e interanuales, situación que se ha corroborado desde el inicio del monitoreo del PSAH (mayo 2007) a la fecha. Por otra parte, y tal como fue debidamente fundamentado en el EIA, los caudales de bombeo de salmuera asociados al proyecto han sido calculados de manera tal de garantizar que las extracciones no afecten los sistemas protegidos, hasta la fecha se han realizado tres aumentos de escalones de extracción. El último aumento ocurrió el 13 de agosto 2013, es así como actualmente el proyecto se encuentra en el tercer escalón de extracción de salmuera.

El PC utiliza zonas de protección alrededor de las lagunas y en los sectores de vegetación y pozos de alerta ubicados lejos de éstos, asociado a una activación dos fases:

- a. **Fase I:** Alerta Temprana → aumento de la frecuencia de medición
- b. **Fase II:** Medidas de Contingencia → reducción extracción de agua/salmuera

Es importante mencionar que desde el inicio de la operación del PSAH (mayo 2007) todos los niveles de la napa subterránea en los puntos de control del PC (Figura 1-4) han permanecido sobre los umbrales de la Fase I, por lo que no se ha activado el PC. En la sección 5.2 se presenta en detalle en qué consiste el Plan de Contingencia para los sistemas que se busca proteger, sistemas lacustres de Soncor, Quelana y Peine y sistema de vegetación Borde Este.

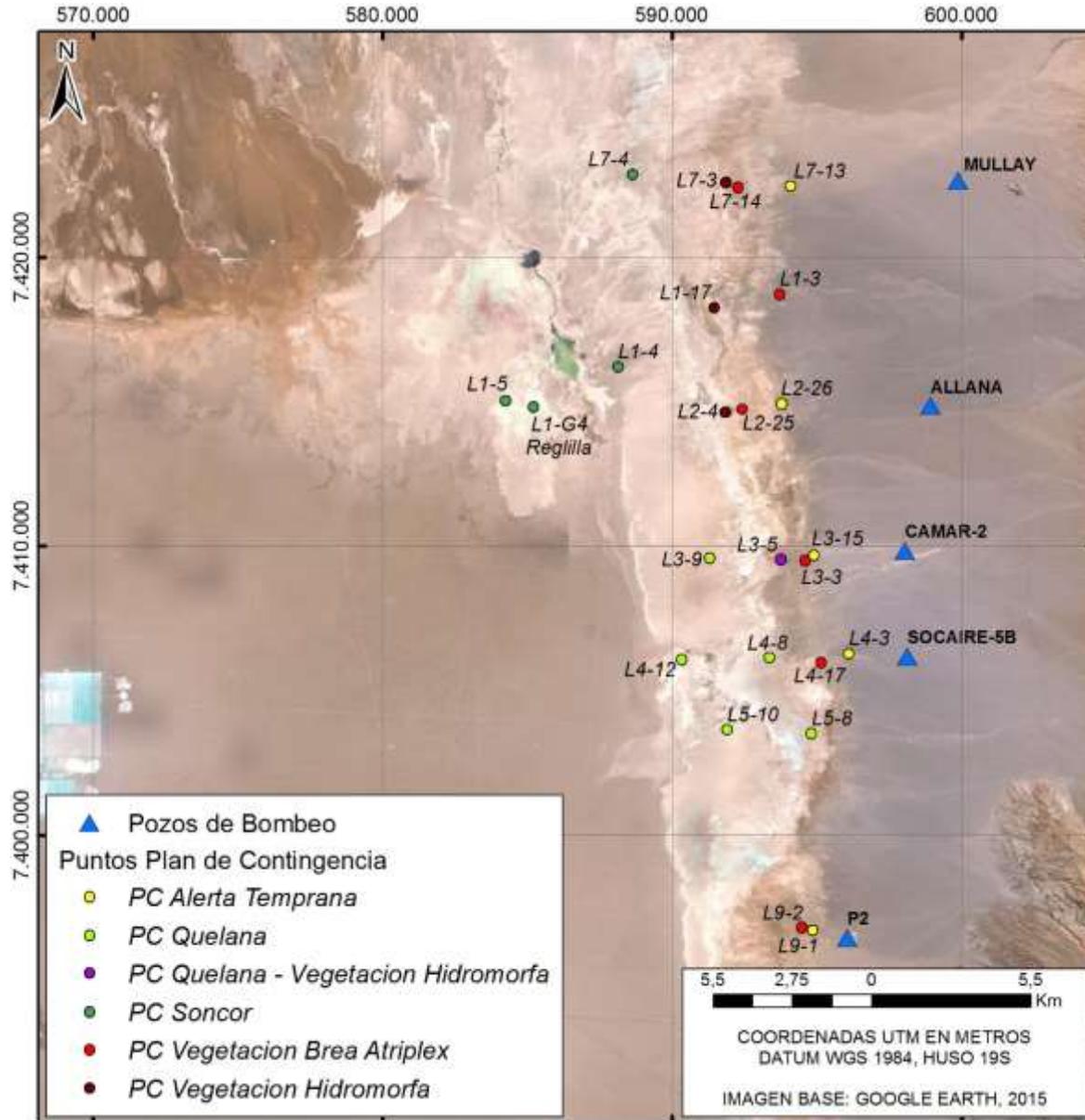
A modo de síntesis se realizó una breve descripción de los elementos a proteger, el tipo de seguimiento y el comportamiento para cada uno de los sistemas que conforman el PSAH. Se emplearon algunos puntos como ejemplo, a modo de mostrar el comportamiento general de cada sistema en base al registro de niveles y su ubicación espacial (núcleo, zona marginal y zona aluvial), presentando gráficos y figuras de ubicación con el objetivo de que el resumen sea un capítulo auto contenido. No obstante lo anterior, la meteorología y la calidad química se comentan a continuación de modo general, ya que su comportamiento es similar en toda el área de estudio.

La **meteorología** y en concreto las precipitaciones tienen una gran y casi inmediata influencia en los cuerpos de agua subterráneos y superficiales, los cuales tienen respuestas a las precipitaciones importantes con aumentos de nivel notorios. Las épocas de sequía importante como son las presentadas desde medianos de 2013 y todo el 2014 se manifiestan en las zonas donde el nivel freático no es muy superficial y la evaporación no es el ente regulador más importante.

El registro histórico de la **calidad química** del agua no presenta una variación marcada ni tendencia a cambio. Fuera de esperar que en los pozos cercanos a la interfaz con la cuña salina manifestaran el efecto de la explotación de agua con un cambio de tendencia en los

valores de calidad química, el hecho de que no sea así indica que a nivel químico no hay una afectación de las extracciones.

Figura 1-4: Ubicación puntos del Plan de Contingencia y pozos de bombeo de agua industrial

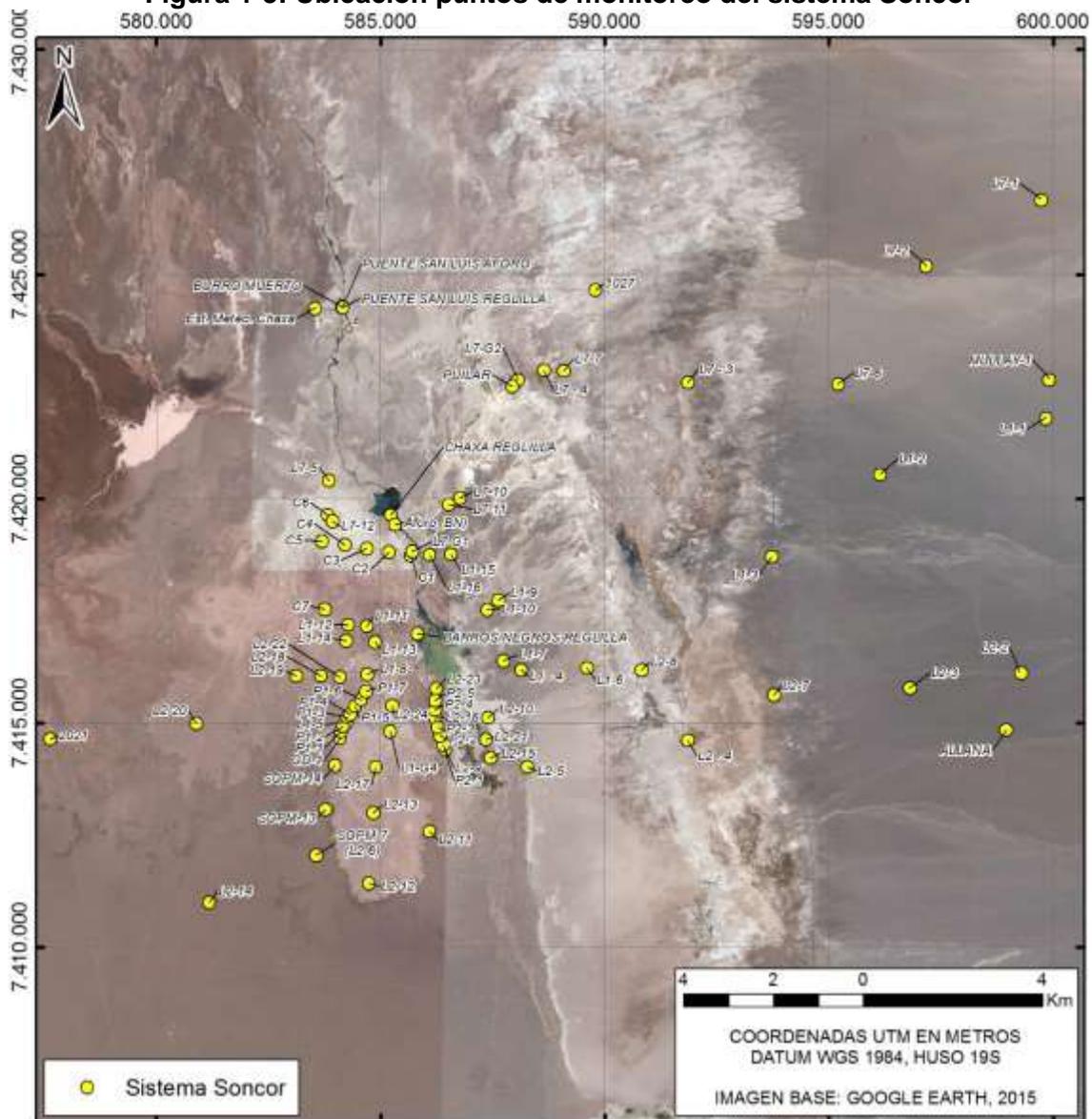


Fuente: Elaboración propia

1.1 SISTEMA SONCOR

Este sistema hídrico y biótico es el más complejo que abarca parte de la zona aluvial, zona marginal y zona del núcleo, está compuesto por las lagunas Chaxa, Barros Negros y Puilar (objetos de protección del PC) y el canal Burro Muerto. En este sistema se encuentran los pozos de bombeo de agua industrial Mullay y Allana que se ubican en la zona aluvial y extraen agua desde el acuífero del borde Este. Este sistema es recargado principalmente a través de agua superficial que conduce agua desde las nacientes ubicadas al norte de Salar por el canal Burro Muerto y por recarga subterránea proveniente del acuífero del borde este. Los puntos de monitoreo de este sistema se presentan en la Figura 1-5.

Figura 1-5: Ubicación puntos de monitoreo del sistema Soncor

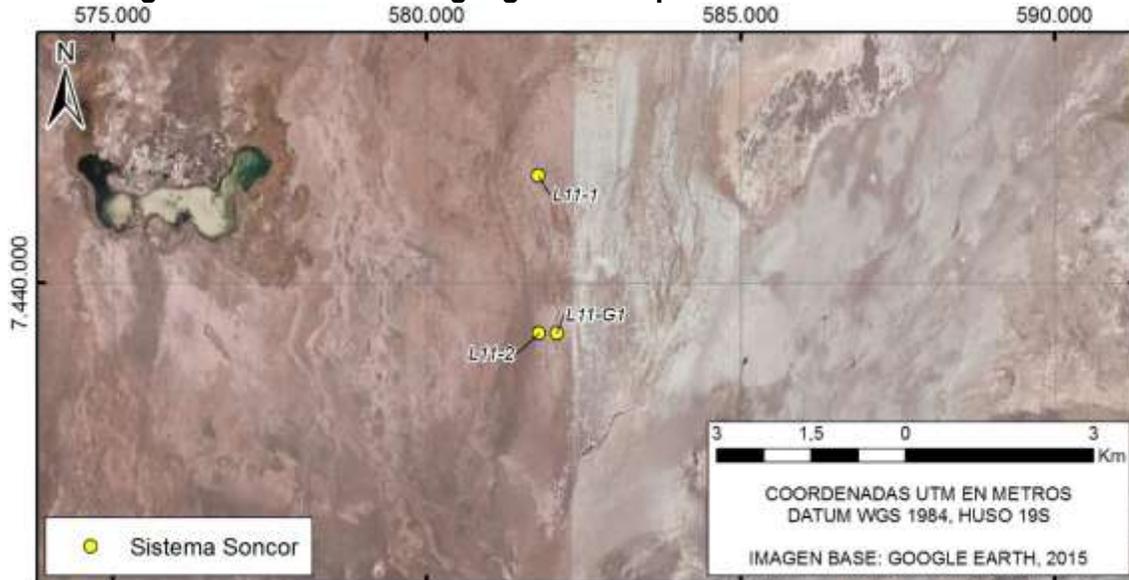


Fuente: Elaboración propia

1.1.1 Sistema Soncor: Sector norte, nacientes Canal Burro Muerto

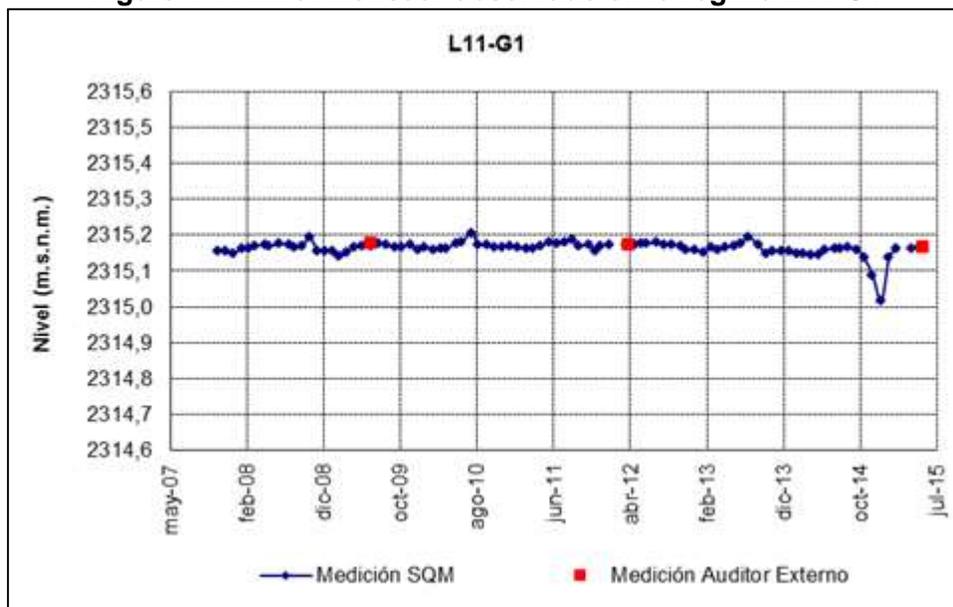
Tal como se señaló anteriormente el sistema Soncor es recargado por un flujo de agua superficial proveniente del sector de las nacientes, a modo de ejemplo se presenta el nivel en la reglilla L11-G1, el que se ha mantenido estable en el tiempo con un leve descenso a fines de 2014. Los puntos L11-1 y L11-2 presentan un comportamiento estacional estable.

Figura 1-6: Distribución geográfica del perfil L11 del sistema Soncor



Fuente: Elaboración propia

Figura 1-7: Nivel mensual observado en la reglilla L11-G1



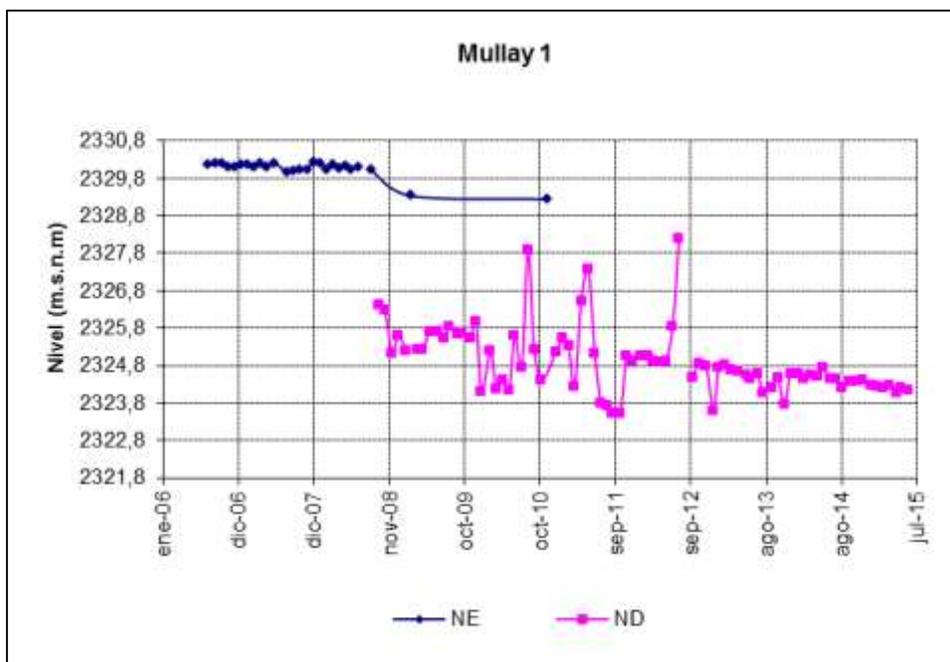
Fuente: Elaboración propia

1.1.2 Sistema Soncor: Zona Aluvial

Esta zona se ubica en la parte alta del acuífero de agua dulce (al Este de núcleo del Salar de Atacama) y su parámetro ambiental de mayor importancia monitoreado es el nivel de agua subterráneo. La tendencia general de este parámetro es de suave descenso a la estabilización en función de la cercanía al punto de extracción. El inicio de bombeo de los pozos de agua industrial en esta zona (pozos Allana y Mullay) fue en septiembre de 2008.

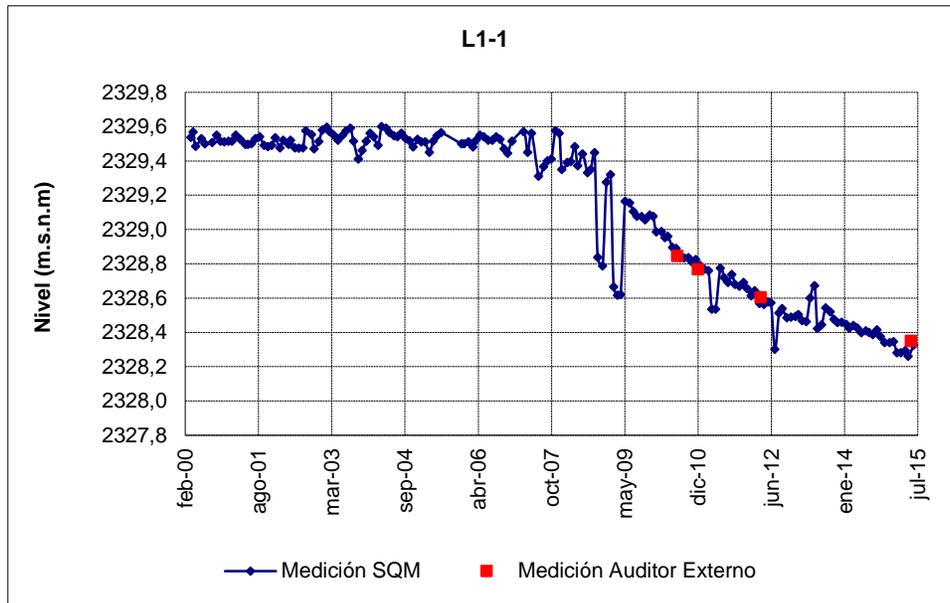
En la Figura 1-8, Figura 1-9 y Figura 1-10 se presentan los diagramas de nivel de los pozos Mullay 1, L1-1 y L7-1 respectivamente. En éstos se observan los niveles dinámicos del pozo de bombeo de agua industrial (Mullay 1) con una tendencia de leve descenso. En los pozos de monitoreo L1-1 y L7-1 se observa un comportamiento de descenso provocado por la extracción en el pozo de bombeo de agua industrial pero de mayor magnitud en L1-1 por su ubicación más próxima a Mullay 1.

Figura 1-8. Nivel de agua en el pozo Mullay 1 (bombeo)



Fuente: Elaboración propia

Figura 1-9. Nivel de agua en el pozo L1-1



Fuente: Elaboración propia

Figura 1-10. Nivel de agua en el pozo L7-1



Fuente: Elaboración propia

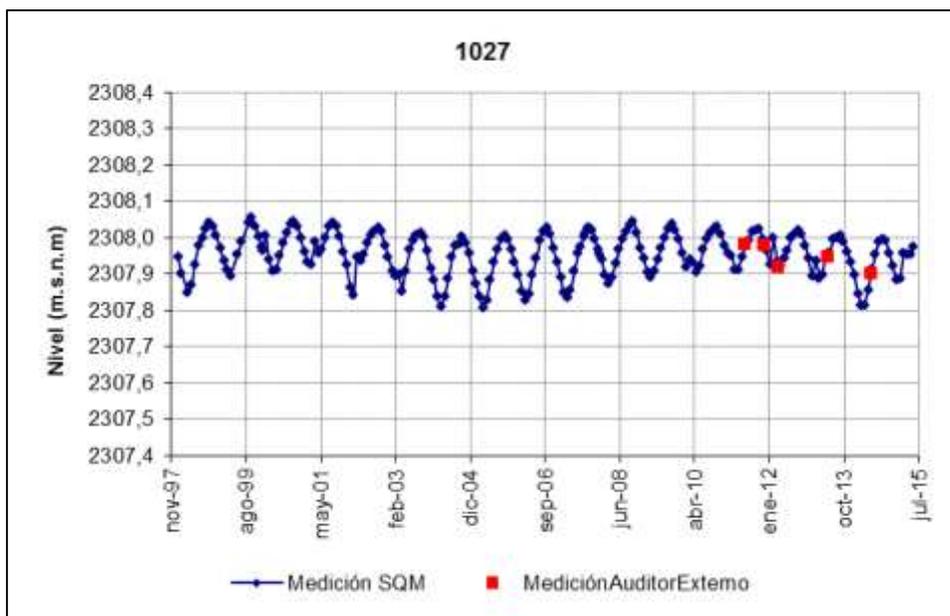
1.1.3 Sistema Soncor: Zona Marginal

Esta zona se ubica en la parte baja del acuífero antes de su llegada al núcleo, concretamente en la zona de transición entre el agua dulce y la salmuera. Es en esta parte del sistema donde se encuentran los elementos con mayor interés de protección, las lagunas.

En esta parte del Sistema Soncor el nivel se ha mantenido en general estable dentro de su rango de variación por su régimen estacional donde el proceso de control del nivel es la evaporación desde la superficie. Las precipitaciones del 2012, 2013 y 2015 producen un aumento significativo de los niveles contrarrestando los descensos debidos a la extracción y a las épocas más secas como la ocurrida durante el año 2014. En la Figura 1-11 se presenta el comportamiento del pozo 1027 y en la Figura 1-12 del pozo P1-6, a modo de ejemplo de la zona. Dentro de las variaciones estacionales observadas se pueden observar ciclos más húmedos y ciclos más secos, donde los eventos de recarga producen aumentos abruptos del nivel.

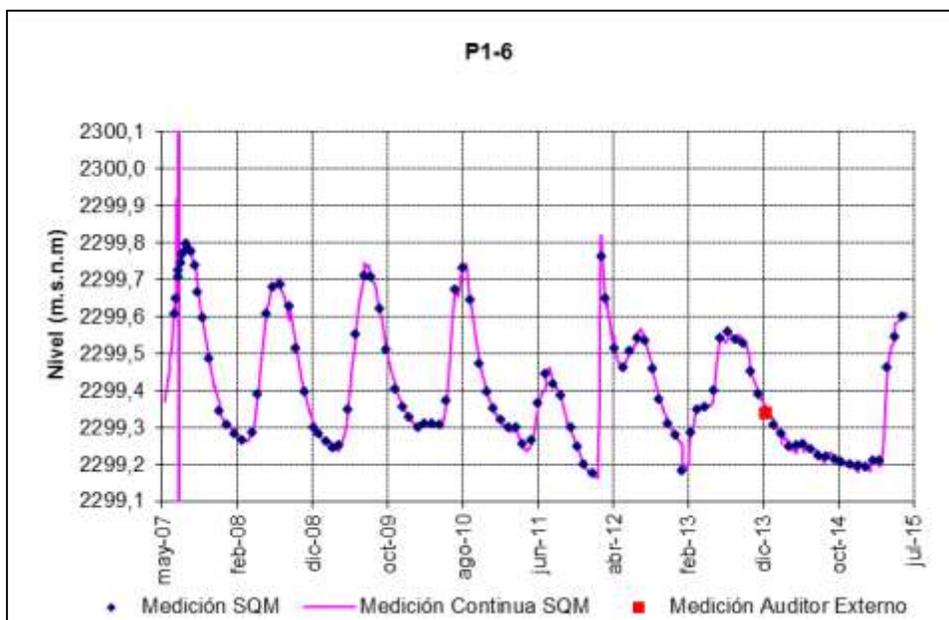
Adicionalmente se observa que los pozos cercanos a la laguna barros negros están influenciados por el comportamiento de la laguna (L1-13, Figura 1-13) y las reglillas que presentan el nivel de cuerpos de aguas superficial se han mantenido estables con cambios estacionales y efectos de la recarga (como ejemplo reglilla puente San Luis, Figura 1-14 y reglilla L1-G4, Figura 1-15).

Figura 1-11. Registro de nivel en el pozo 1027



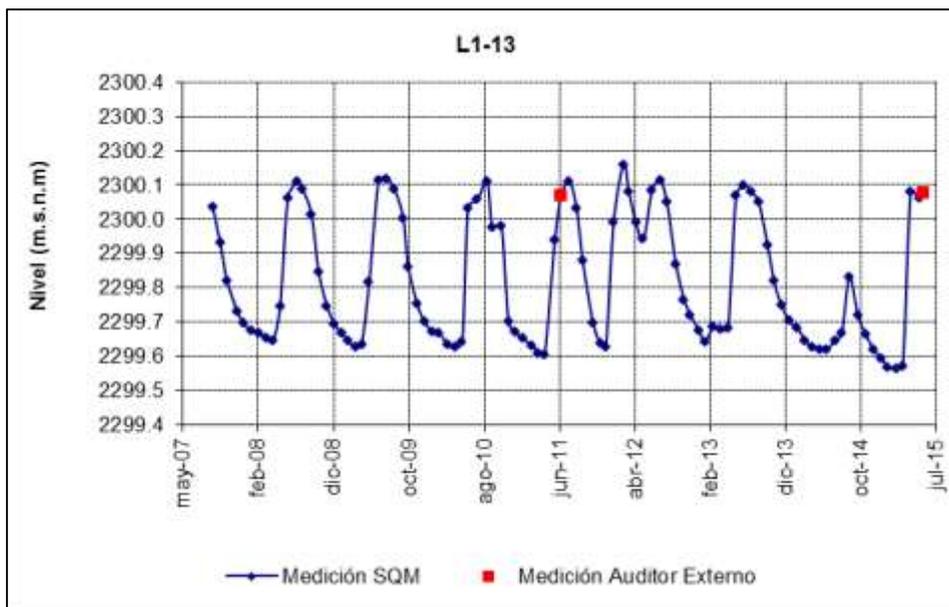
Fuente: Elaboración propia

Figura 1-12. Registro de nivel en el pozo P1-6



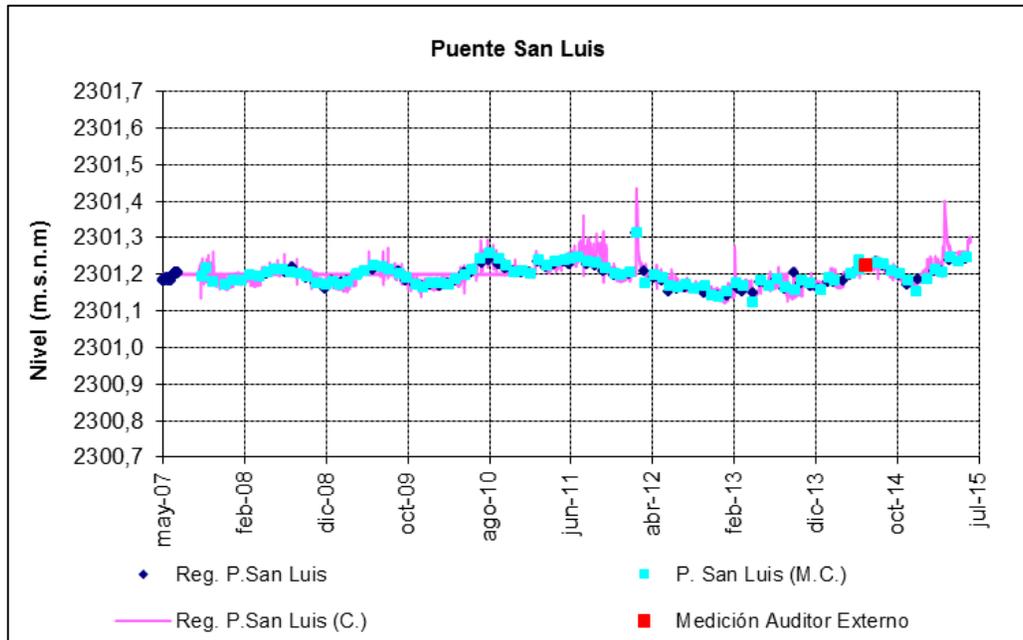
Fuente: Elaboración propia

Figura 1-13. Registro de nivel en el pozo L1-13



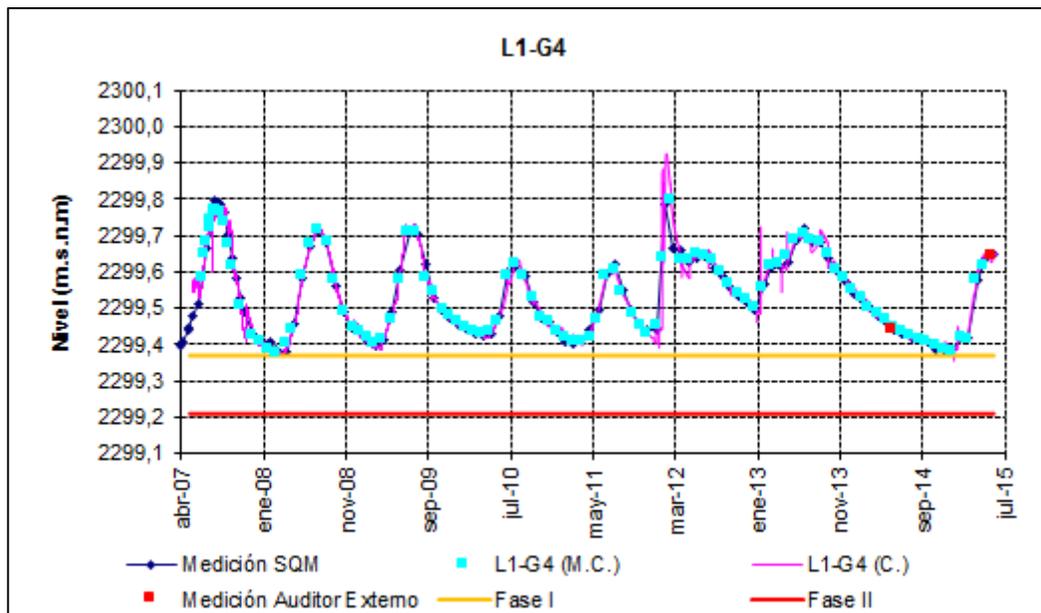
Fuente: Elaboración propia

Figura 1-14. Registro de nivel en la reglilla puente San Luis



Fuente: Elaboración propia

Figura 1-15. Registro de nivel en la reglilla L1-G4



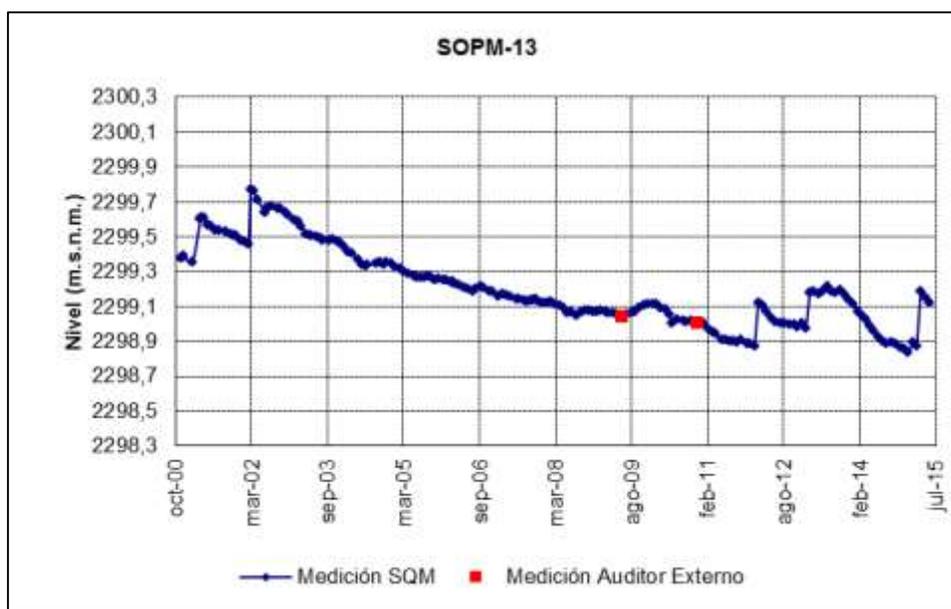
Fuente: Elaboración propia

1.1.4 Sistema Soncor: Zona Salmuera

Esta parte del sistema corresponde a la parte del núcleo del salar, acuífero del cual se realiza la extracción de salmuera. Los niveles en este sector del sistema tienen una tendencia al descenso como consecuencia del bombeo de salmuera y en menor medida por efectos de la recarga, los que presentan aumentos puntuales debido a la precipitación directa.

Como ejemplo se presenta el pozo SOPM-13 (Figura 1-16), en el que se pueden observar ciclos de aumento de los niveles por precipitación directa cada 10 años aprox., y descenso influenciado por bombeo de Salmuera, sin embargo este efecto no se transmite a las lagunas ubicadas en la zona marginal por zona de baja conductividad hidráulica y la presencia de la cuña salina.

Figura 1-16. Nivel histórico en el pozo SOPM-13

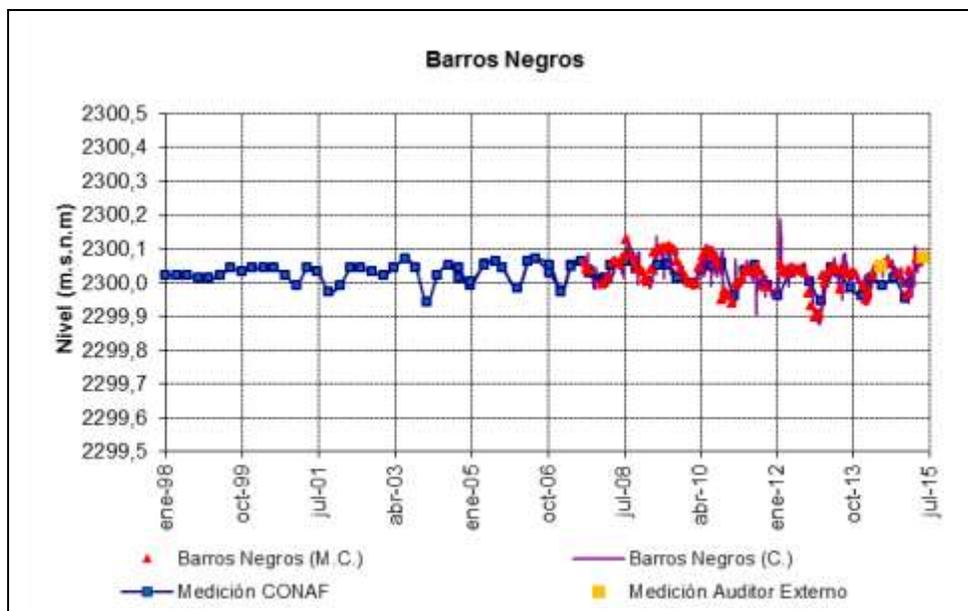


Fuente: Elaboración propia

1.1.5 Sistema Soncor: Nivel Lacustre

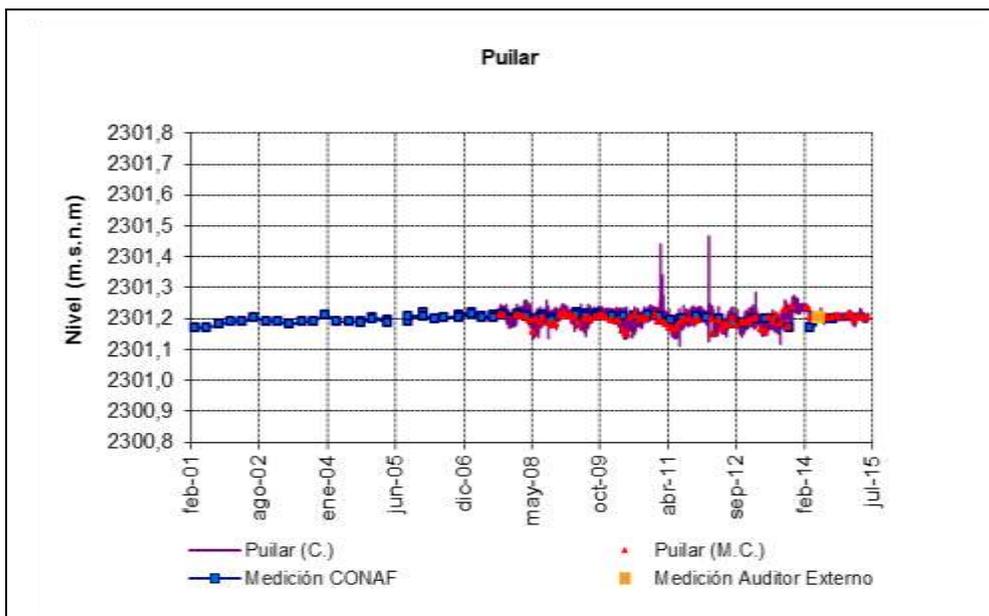
En este sistema se realizan mediciones directamente en los cuerpos de agua superficial que se busca proteger, las lagunas Barros Negros (Figura 1-17), Puilar (Figura 1-18) y Chaxa (Figura 1-19), los que se han mantenido estables con oscilaciones estacionales en torno a los 10 cm. Las mediciones de nivel se realizan de manera manual y continua por SQM y CONAF.

Figura 1-17: Nivel mensual observado en la reglilla Barros Negros



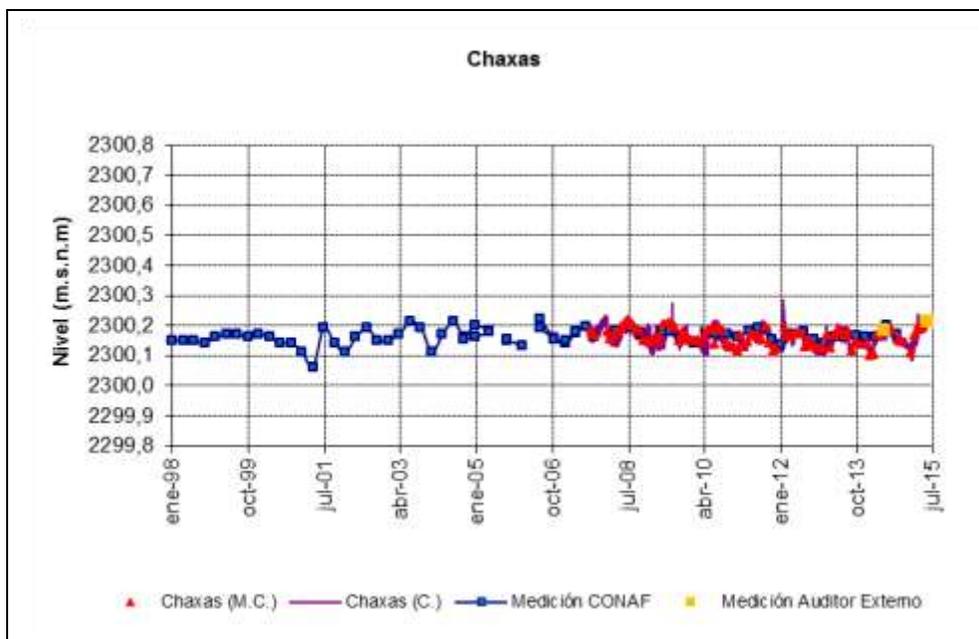
Fuente: Elaboración propia

Figura 1-18: Nivel mensual observado en la reglilla Puillar



Fuente: Elaboración propia

Figura 1-19: Nivel mensual observado en la reglilla Chaxa



Fuente: Elaboración propia

1.2 SISTEMA AGUAS DE QUELANA

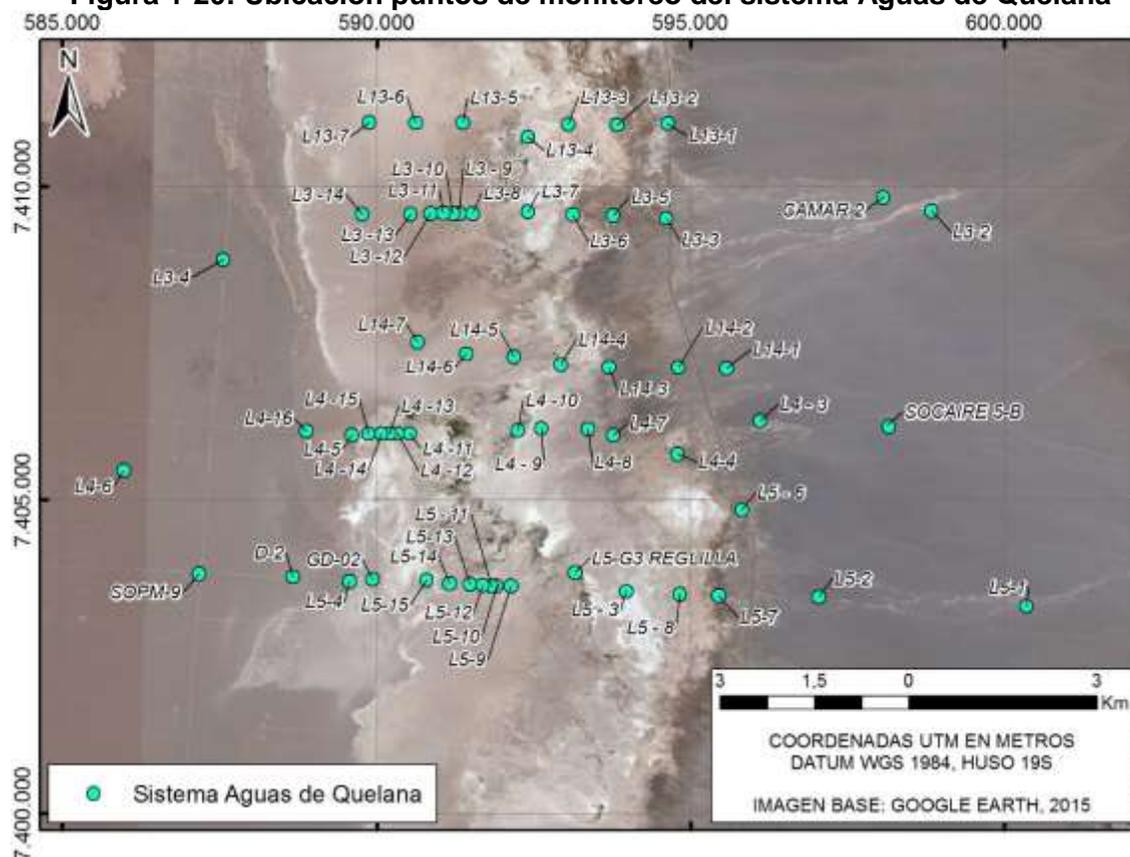
En este sistema hídrico en el que se encuentra una importante cantidad de biota contiene un acuífero de agua dulce que se va salinizando a medida que se acerca al núcleo del salar, teniendo parte del acuífero en régimen libre y otra parte en régimen confinado. El objeto de protección del Plan de Seguimiento y del Plan de Contingencia son los cuerpos de laguna dispersos en este sistema.

Este acuífero abastece el agua de extracción de los pozos Camar 2 y Socaire 5B, cuya explotación se inició en mayo de 2008 y enero de 2000 respectivamente. El efecto local del bombeo en el acuífero libre tiene una tendencia al descenso con una posterior estabilización mientras que los pozos situados en el acuífero confinado presentan una tendencia con niveles oscilatorios dependiendo de los eventos de recarga.

El Sistema Aguas de Quelana tiene tres zonas con comportamiento hidrogeológico distinto, la zona aluvial, la zona marginal y la zona con pozos de salmuera. A continuación se presenta la evolución histórica de pozos ejemplo de cada zona.

En la Figura 1-20 se presenta la ubicación de los puntos de monitoreo de este sistema.

Figura 1-20: Ubicación puntos de monitoreo del sistema Aguas de Quelana



Fuente: Elaboración propia

1.2.1 Sistema Aguas de Quelana: Zona aluvial

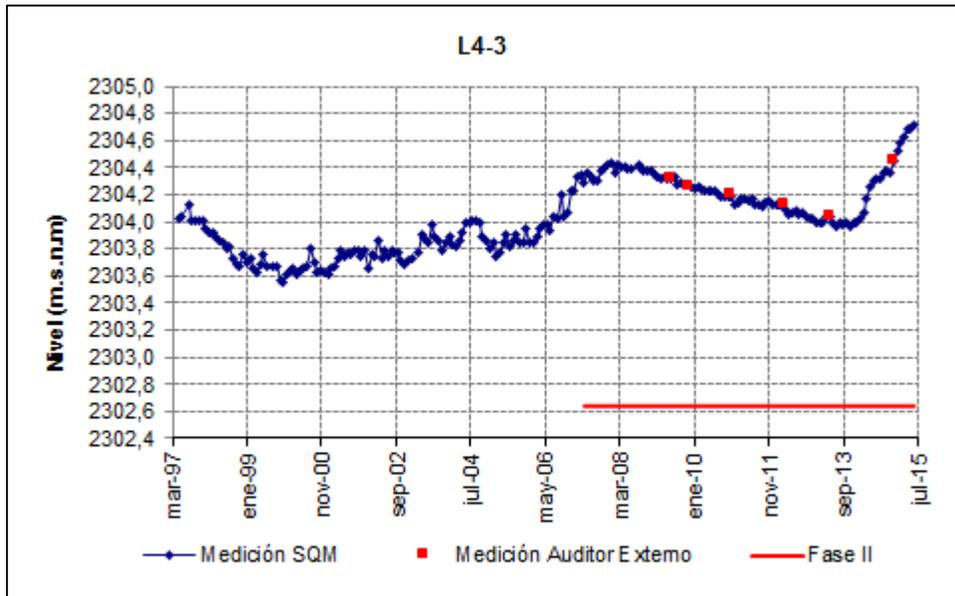
El efecto local del bombeo en el acuífero libre tiene una tendencia al descenso con una posterior estabilización mientras que los pozos situados en el acuífero confinado presentan una tendencia con niveles oscilatorios dependiendo de los eventos de recarga. A nivel regional no se observan disminuciones provocados por las extracciones de los pozos de bombeo de agua industrial. En la Figura 1-21 y Figura 1-22 se presentan los niveles de los pozos L5-1 y L4-3, que corresponden al acuífero libre y al acuífero confinado respectivamente.

Figura 1-21. Evolución del nivel en el pozo L5-1 (ac. libre)



Fuente: Elaboración propia

Figura 1-22. Evolución del nivel en el pozo L4-3 (ac. confinado)



Fuente: Elaboración propia

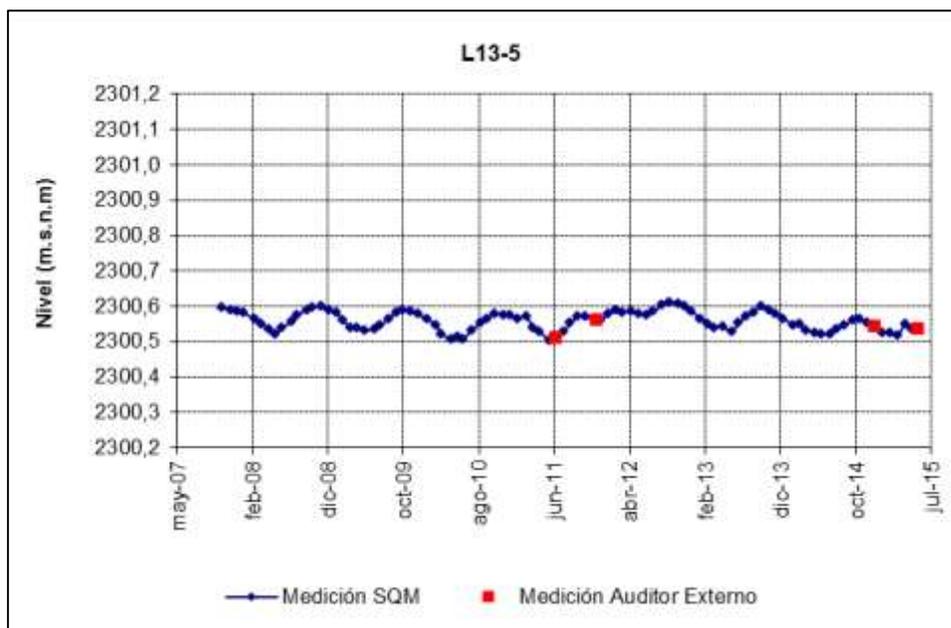
1.2.2 Sistema Aguas de Quelana: Zona marginal

En esta zona del sistema se produce la transición del agua dulce del acuífero hacia el agua salada/salmuera. El nivel de agua del acuífero está próximo a la superficie y este es controlado principalmente por la evaporación. En este sistema no ocurre como en la zona marginal de Soncor que el agua subterránea afloraba en cursos superficiales, aquí hay afloramientos de menor tamaño respecto a Soncor.

En esta zona los niveles tienen un comportamiento estacional excepto los pozos que se encuentran más cercanos a los puntos de bombeo de agua industrial. En la Figura 1-23 y Figura 1-24 se presentan dos pozos a modo de ejemplo del comportamiento de esta zona, el pozo L13-5 con un comportamiento estacional estable y el pozo L14-1 con un comportamiento estacional con tendencia al descenso, en este último punto se solapa el efecto del bombeo de los dos pozos de agua industrial existentes en el sistema.

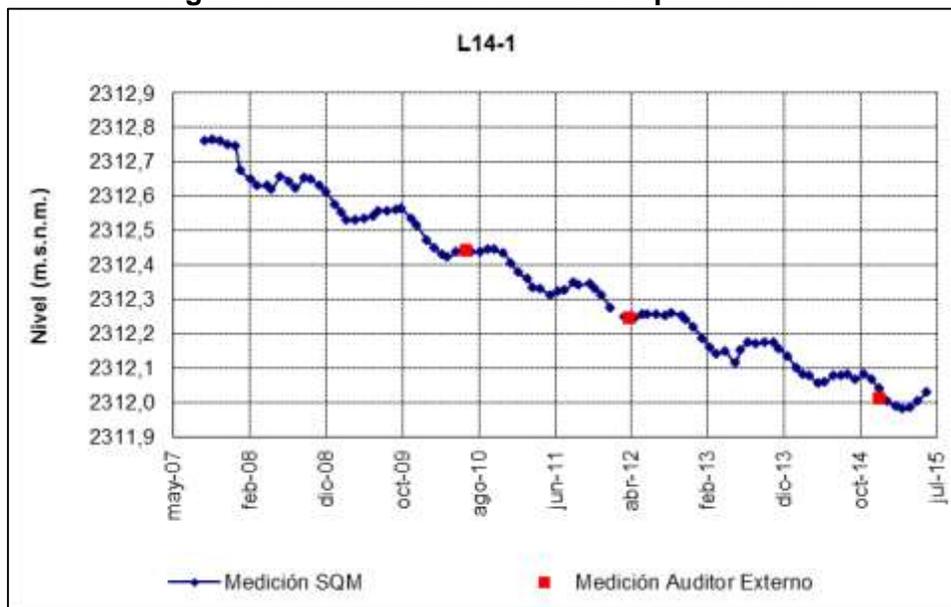
En general se observan niveles constantes en el tiempo como es de esperar en este sector.

Figura 1-23. Evolución del nivel del pozo L13-5



Fuente: Elaboración propia

Figura 1-24. Evolución del nivel del pozo L14-1.

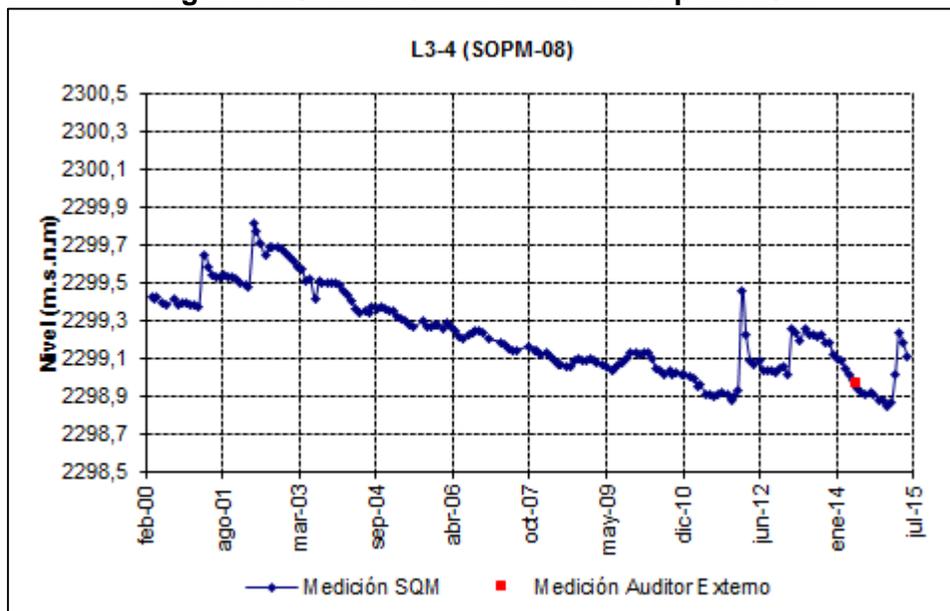


Fuente: Elaboración propia

1.2.3 Sistema Aguas de Quelana: Zona Salmuera

En esta parte el acuífero pertenece al núcleo del salar donde se observa una tendencia de los niveles al descenso por efecto del bombeo y eventualmente por variaciones en la recarga que se recuperan en los años con precipitaciones importantes como las ocurridas en los años 2012, 2013 y 2015. Se presenta como ejemplo el nivel en el pozo L3-4 (Figura 1-25).

Figura 1-25. Evolución del nivel en el pozo L3-4.



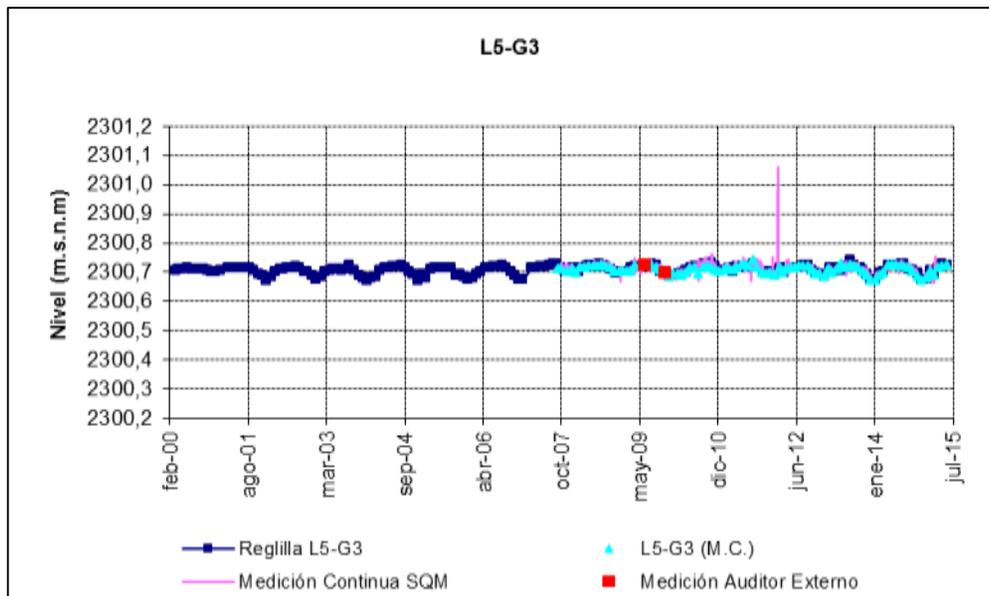
Fuente: Elaboración propia

1.2.4 Sistema Aguas de Quelana: Cuerpos de agua superficial

En este sistema se monitorean cuerpos de agua superficial mediante reglillas las que presentan un comportamiento estacional producto de la evaporación y presentan un comportamiento estable en el tiempo con una variación menor que en el acuífero.

A modo de ejemplo se presenta el nivel del agua superficial en la reglilla L5-G3 (Figura 1-26).

Figura 1-26: Nivel mensual observado en la reglilla L5-G3. (Línea azul: datos históricos; puntos rojos: medición manual en reglilla con registros de datos continuos – M.C.; línea magenta: datos continuos)

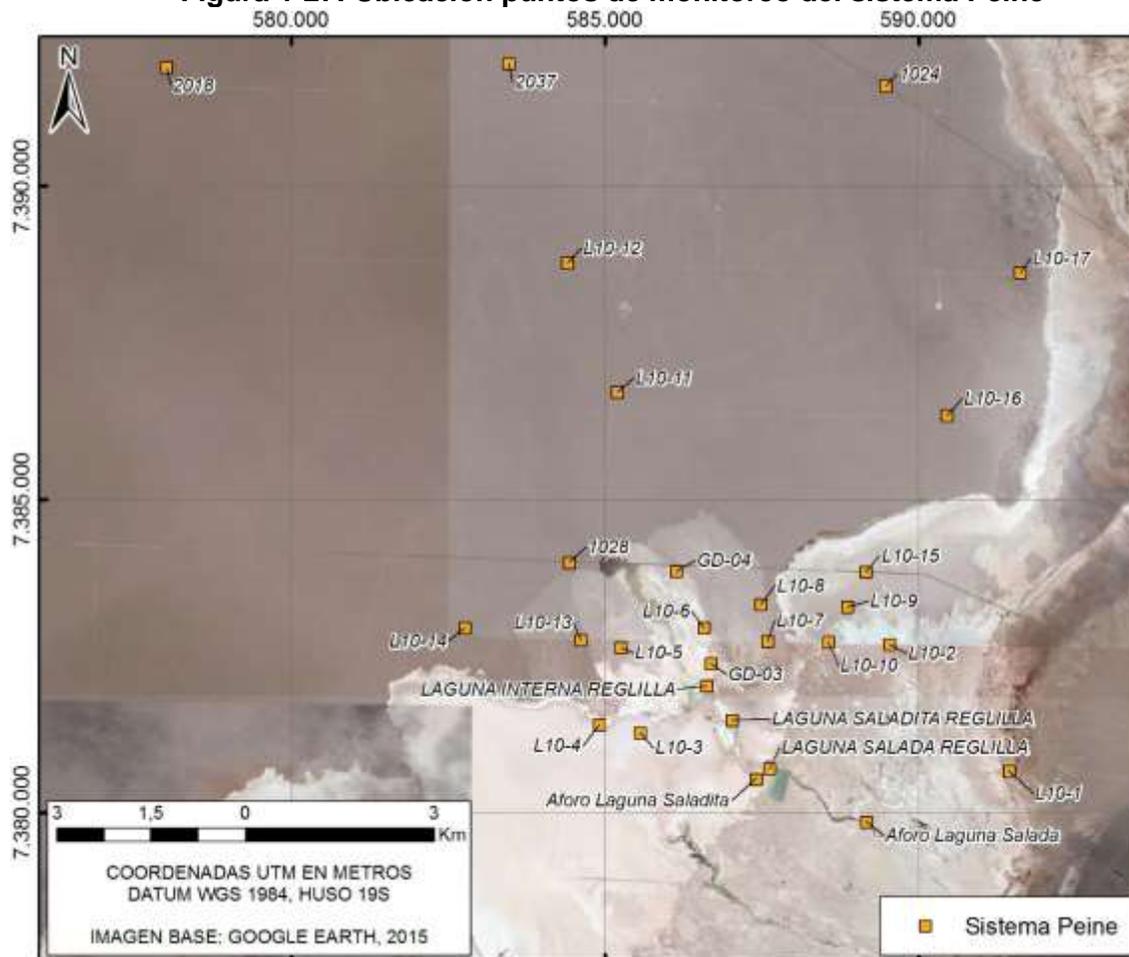


Fuente: Elaboración propia

1.3 SISTEMA PEINE

Este sistema se puede dividir en la zona marginal y en la zona de salmuera, en toda su área no hay pozos de agua industrial (Figura 1-27). En este sistema los elementos a proteger son las lagunas Salada, Saladita e Interna. En estas lagunas el nivel registrado es estable, el único descenso se produjo en la laguna Interna en el año 2005, el cual se estabilizó a contar de febrero de 2006 y se mantiene estable hasta la fecha.

Figura 1-27: Ubicación puntos de monitoreo del sistema Peine



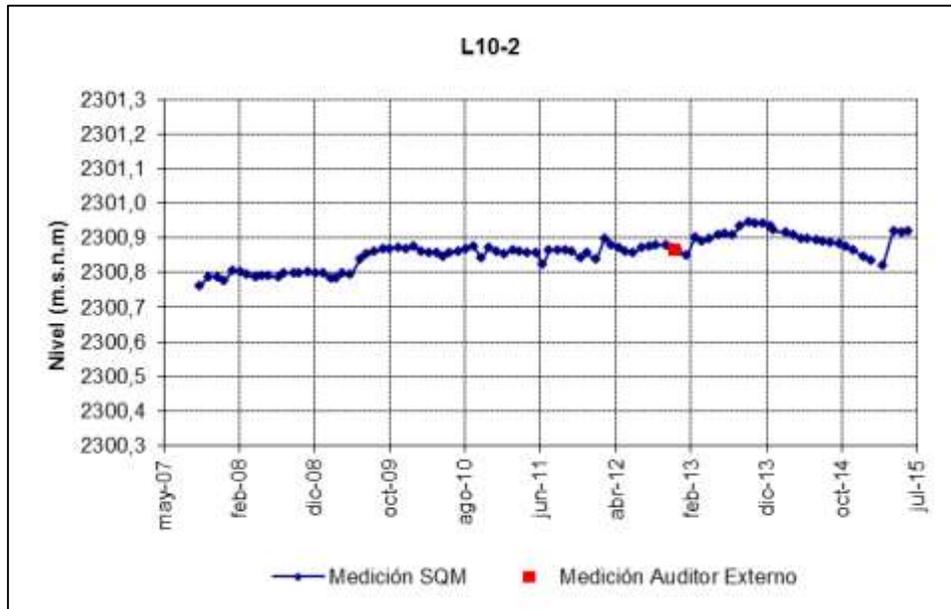
Fuente: Elaboración propia

1.3.1 Sistema Peine: Zona Marginal

A diferencia de otras zonas marginales estudiadas, este sistema no cuenta en su zona marginal con un control de los niveles por parte de la evaporación. Los puntos de monitoreo se encuentran alrededor de las lagunas objeto de protección.

En esta zona los niveles se han mantenido estables o con una ligera tendencia al descenso. Así mismo las precipitaciones en las partes bajas de la cuenca como las ocurridas en los veranos del 2012, 2013 y 2015 repercutieron en un aumento significativo de los niveles. A continuación se presentan los registros de niveles en los pozos L10-2 y L10-7 a modo de ejemplo del comportamiento de los niveles en esta zona (Figura 1-28 y Figura 1-29 respectivamente).

Figura 1-28. Evolución del nivel en el pozo L10-2



Fuente: Elaboración propia

Figura 1-29. Evolución del nivel en el pozo L10-7

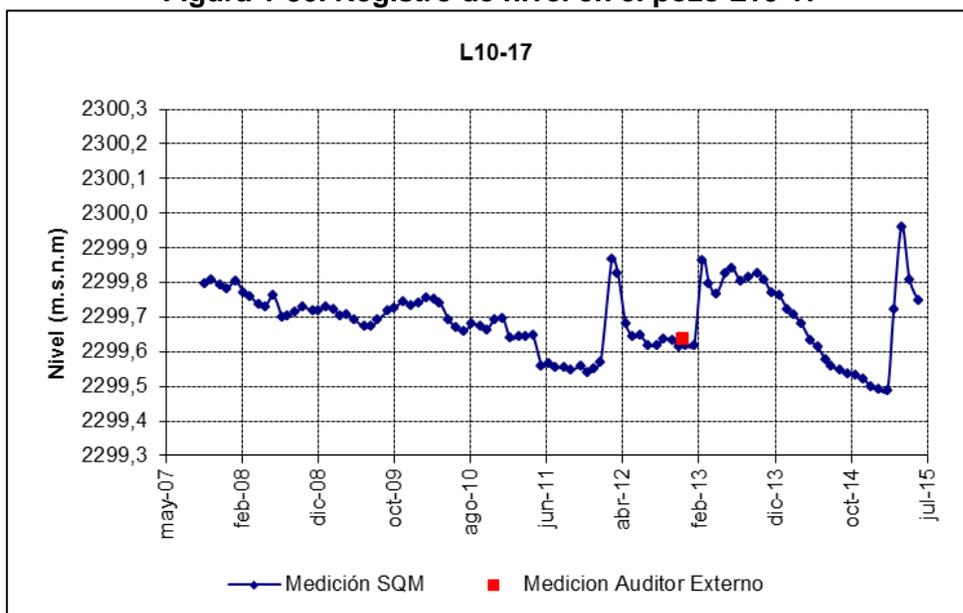


Fuente: Elaboración propia

1.3.2 Sistema Peine: Zona Salmuera

En esta parte del sistema se encuentra el núcleo del salar donde el agua subterránea es salmuera. El comportamiento general es el mismo observado en las zonas de salmuera de los otros sistemas con un descenso no muy fuerte debido a los bombeos de salmuera y aumentos de nivel en los veranos con precipitaciones en la parte baja de la cuenca. A modo de ejemplo del comportamiento de este sector, en la Figura 1-30 y Figura 1-31 se puede observar la evolución de los niveles en los pozos L10-17 y 1028 respectivamente.

Figura 1-30. Registro de nivel en el pozo L10-17



Fuente: Elaboración propia

Figura 1-31. Registro de nivel en el pozo 1028

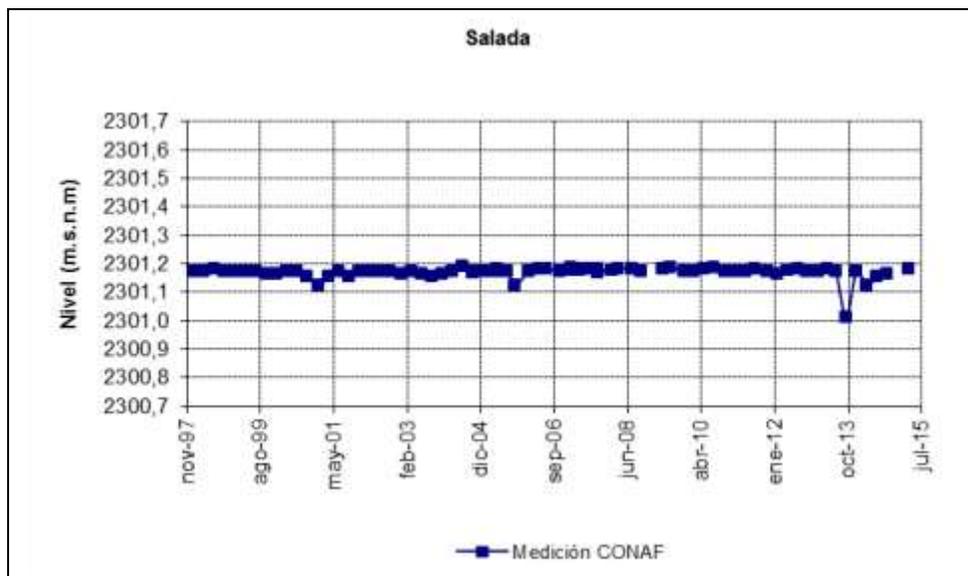


Fuente: Elaboración propia

1.3.3 Sistema Peine: Nivel Lacustre

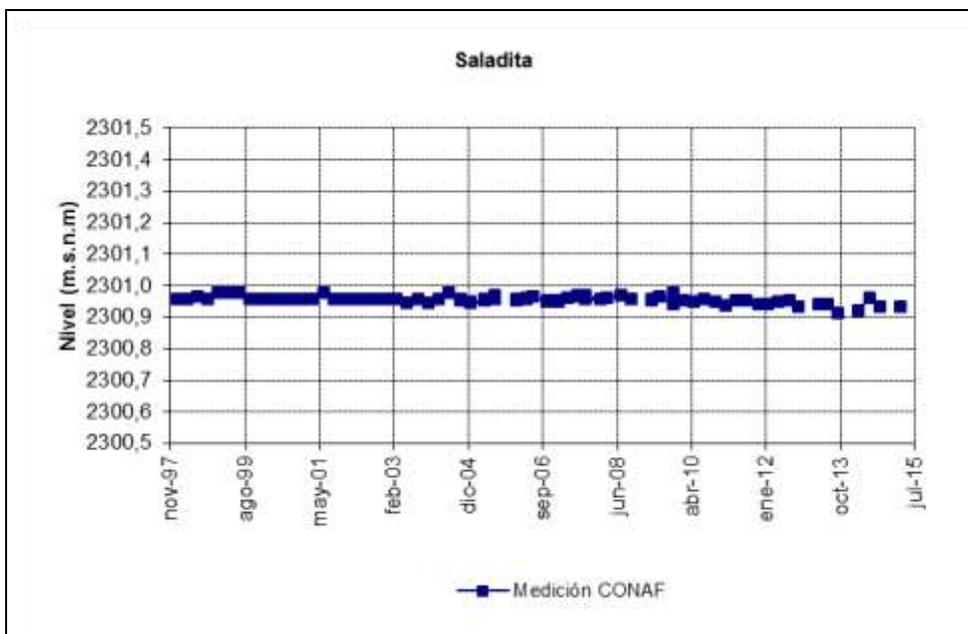
Tal como se señaló anteriormente en el sistema Peine, CONAF realiza medición de nivel lacustre en las lagunas Salada (Figura 1-32), Saladita (Figura 1-33) e Interna (Figura 1-34) las que se han mantenido estables.

Figura 1-32: Nivel mensual observado en la laguna Salada



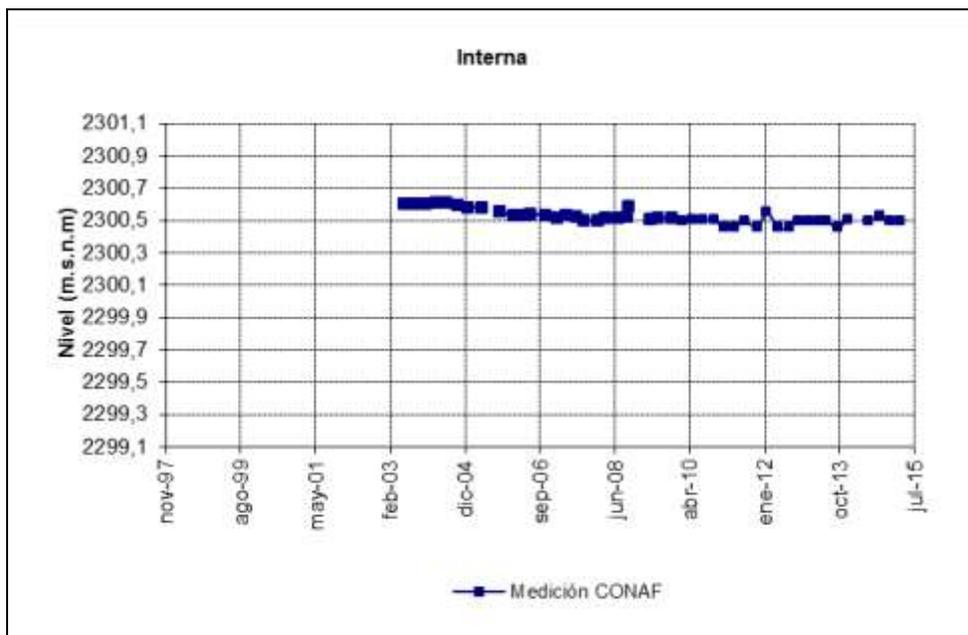
Fuente: Elaboración propia

Figura 1-33: Nivel mensual observado en la laguna Saladita



Fuente: Elaboración propia

Figura 1-34: Nivel mensual observado en la laguna Interna



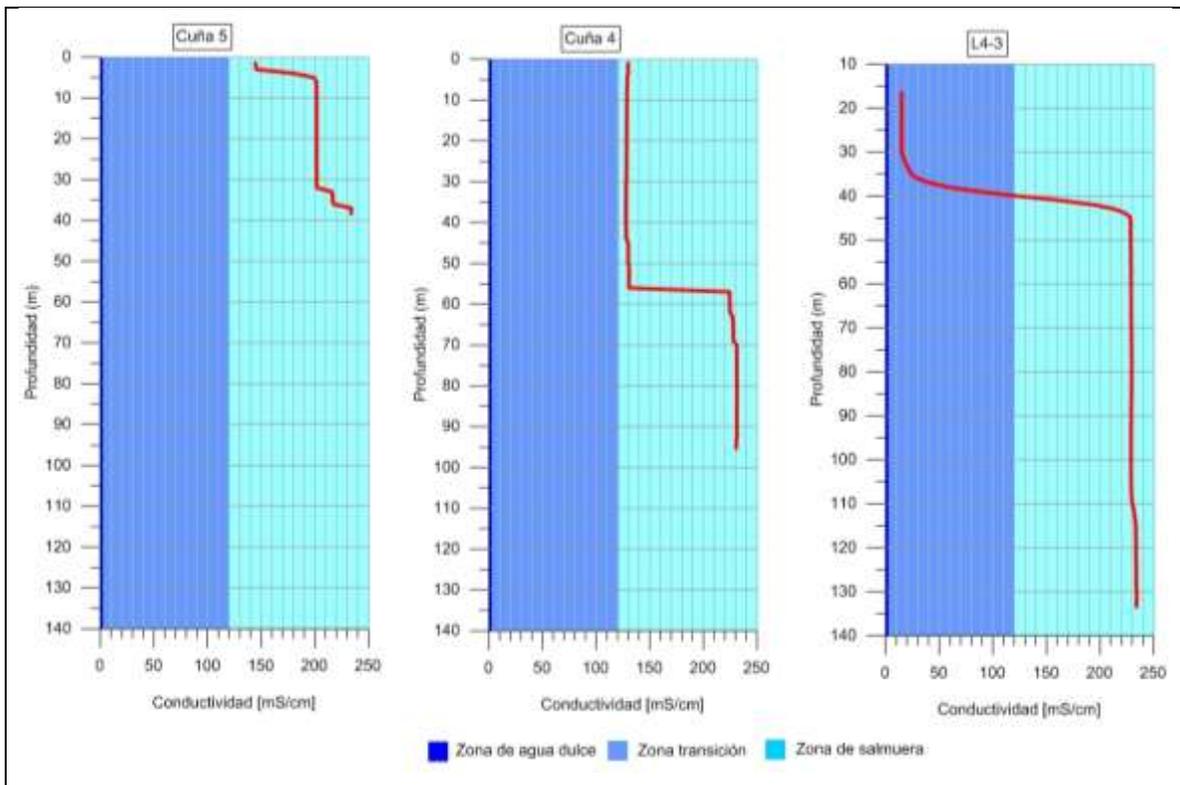
Fuente: Elaboración propia

1.4 SISTEMA CUÑA SALINA

En este sistema se pueden diferenciar dos acuíferos distintos, el acuífero libre de agua salobre más somero con aporte de agua de la recarga en las partes altas de la cuenca y por debajo el acuífero de salmuera. La separación de estos dos cuerpos de agua y su evolución se realiza mediante perfiles de Conductividad Eléctrica en los 9 pozos de monitoreo (Figura 1-36). La profundidad a la que se encuentra la cuña salina (acuífero subyacente) disminuye al aproximarse al núcleo del salar.

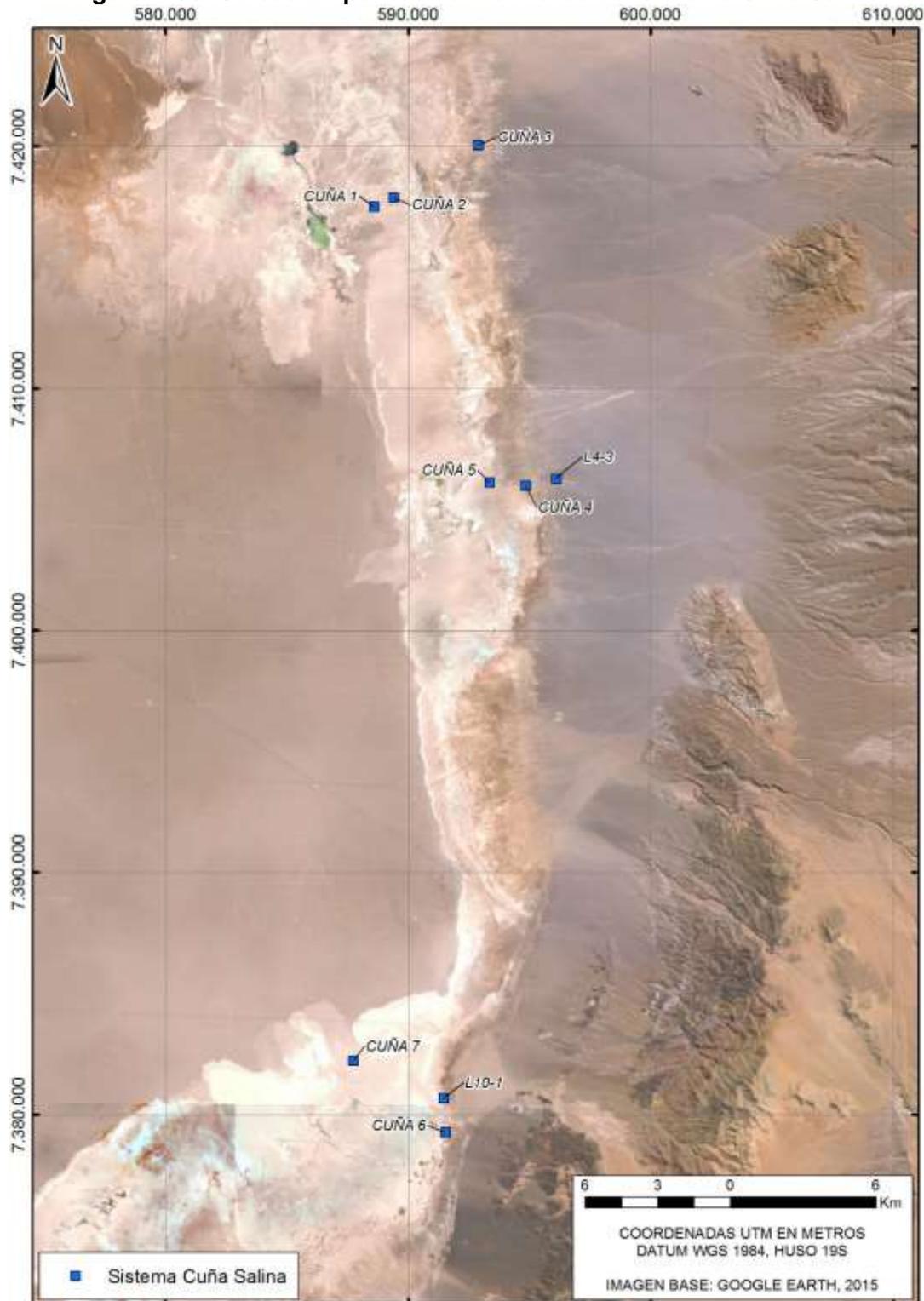
A modo de ejemplo en la Figura 1-35 se presentan tres perfiles de conductividad de la zona, en el pozo L4-3 la cuña salina se encuentra aproximadamente a los 39 m de profundidad, en el pozo Cuña 4 el cambio de salinidad se produce a los 55 m de profundidad aunque en la parte superior el agua contiene gran cantidad de sales disueltas ya que se ubica en la zona de salmuera, al igual que el pozo Cuña 5 donde todo el acuífero corresponde a la cuña salina.

Figura 1-35. Perfil de conductividad eléctrica y representación gráfica de cuña salina para los pozos Cuña 5, Cuña 4 y L4-3 a Junio 2015



Fuente: Elaboración propia

Figura 1-36: Ubicación puntos de monitoreo del sistema Cuña Salina



Fuente: Elaboración propia

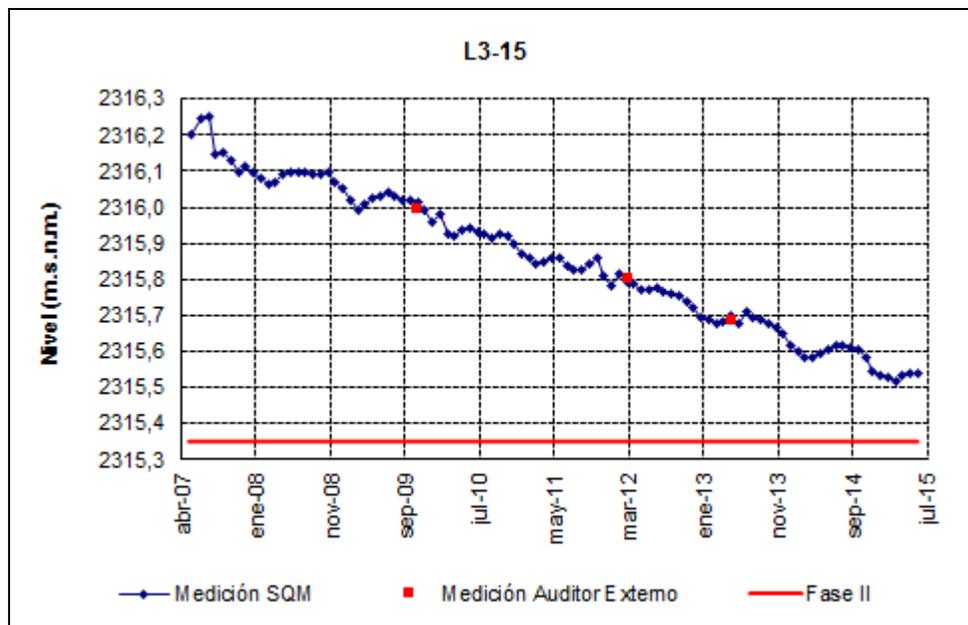
1.5 SISTEMA VEGETACIÓN BORDE ESTE

El monitoreo de este sistema tiene como objetivo proteger la vegetación hidromorfa y la formación Brea-Atriplex ligados a la existencia de la napa subterránea cerca de la superficie. Entre esta zona de protección y los bombeos se sitúan pozos de alerta temprana. A modo de ejemplo se presenta el registro de niveles del pozo L3-15 (Figura 1-37) que forma parte de la alerta temprana, L3-3 (Figura 1-39) que busca proteger la vegetación Brea Atriplex y L3-5 (Figura 1-40) la vegetación Hidromorfa. La ubicación de estos puntos se presenta en la Figura 1-38.

Se observa que el pozo L3-15 posee un descenso sostenido con un leve efecto de la evaporación, el pozo L3-3 posee un comportamiento estacional producto de la evaporación con un leve descenso en el último periodo y el pozo L3-5 un nivel estable, incluso se observa un aumento del nivel en el último periodo.

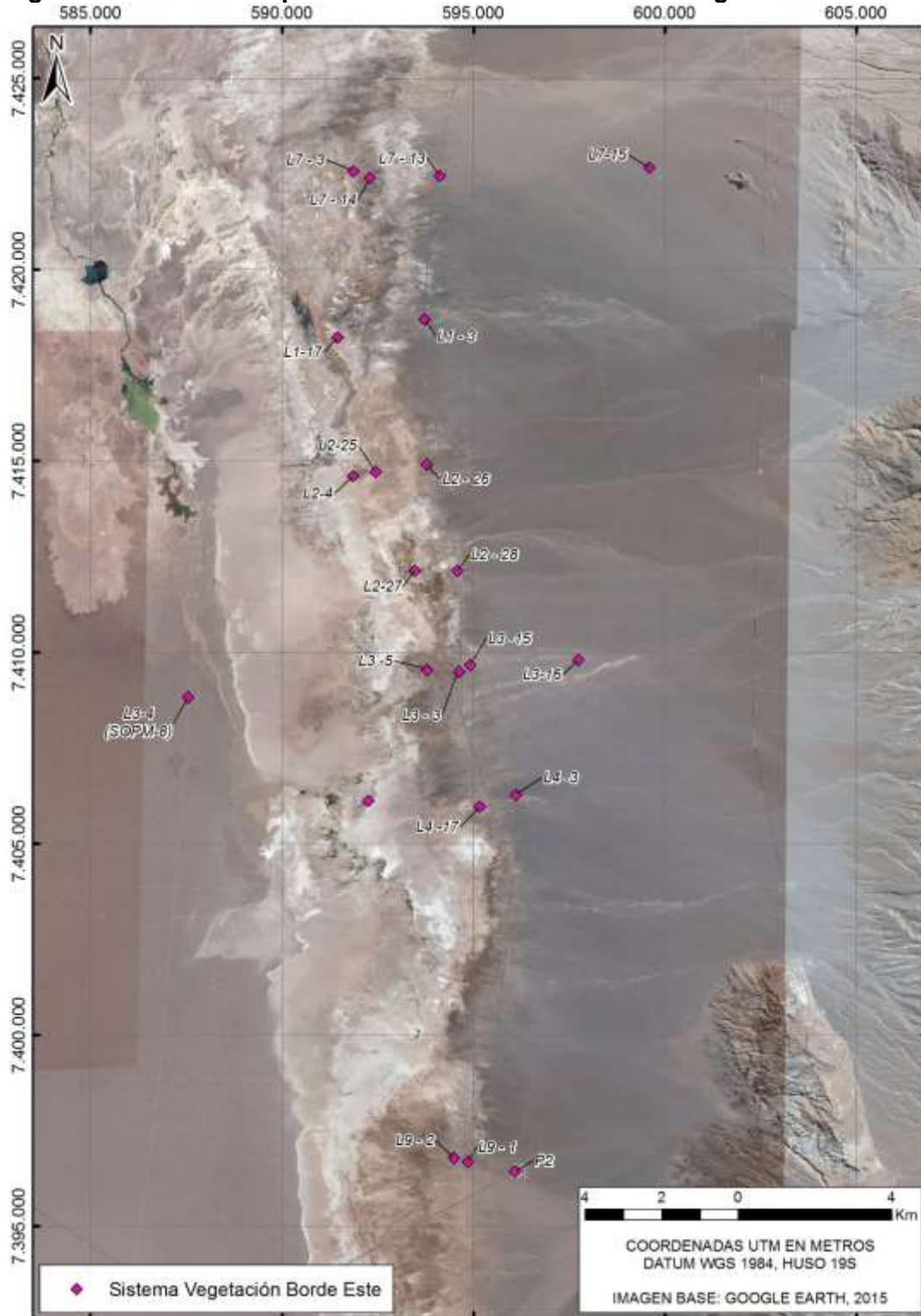
Este comportamiento es consistente con el diseño del PC de este sistema, la ubicación de los pozos de control y el comportamiento del acuífero acorde a los sectores de vegetación que se busca proteger.

Figura 1-37: Nivel mensual observado en el pozo L3-15



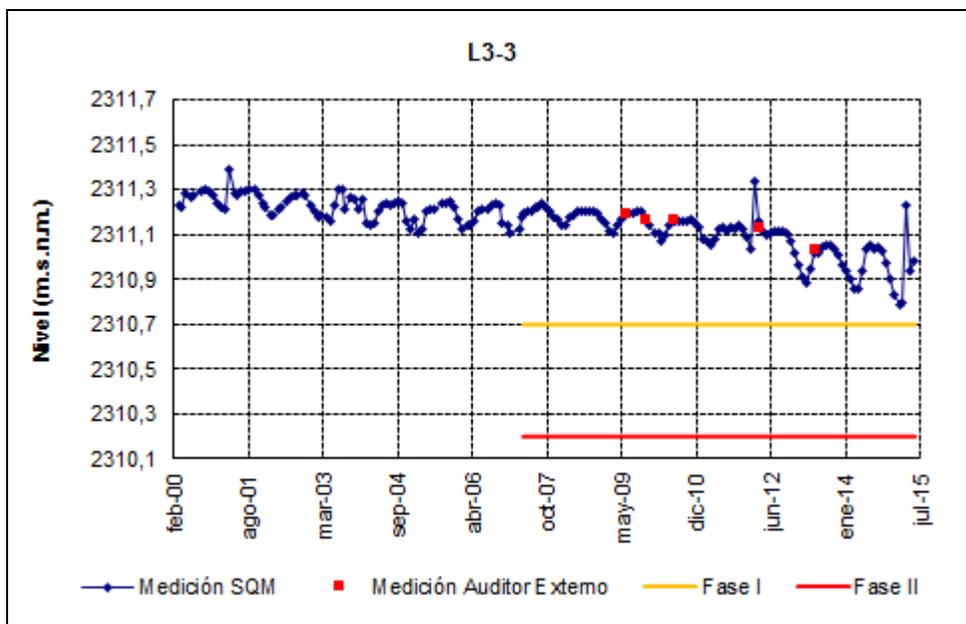
Fuente: Elaboración propia

Figura 1-38: Ubicación puntos de monitoreo del sistema Vegetación Borde Este



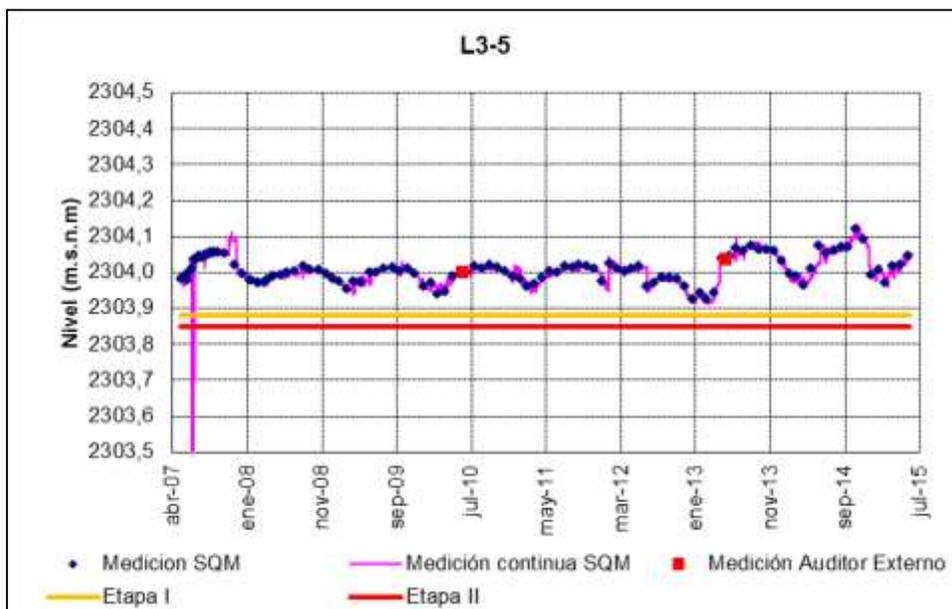
Fuente: Elaboración propia

Figura 1-39: Nivel mensual observado en el pozo L3-3



Fuente: Elaboración propia

Figura 1-40. Evolución de los niveles en el pozo L3-5.



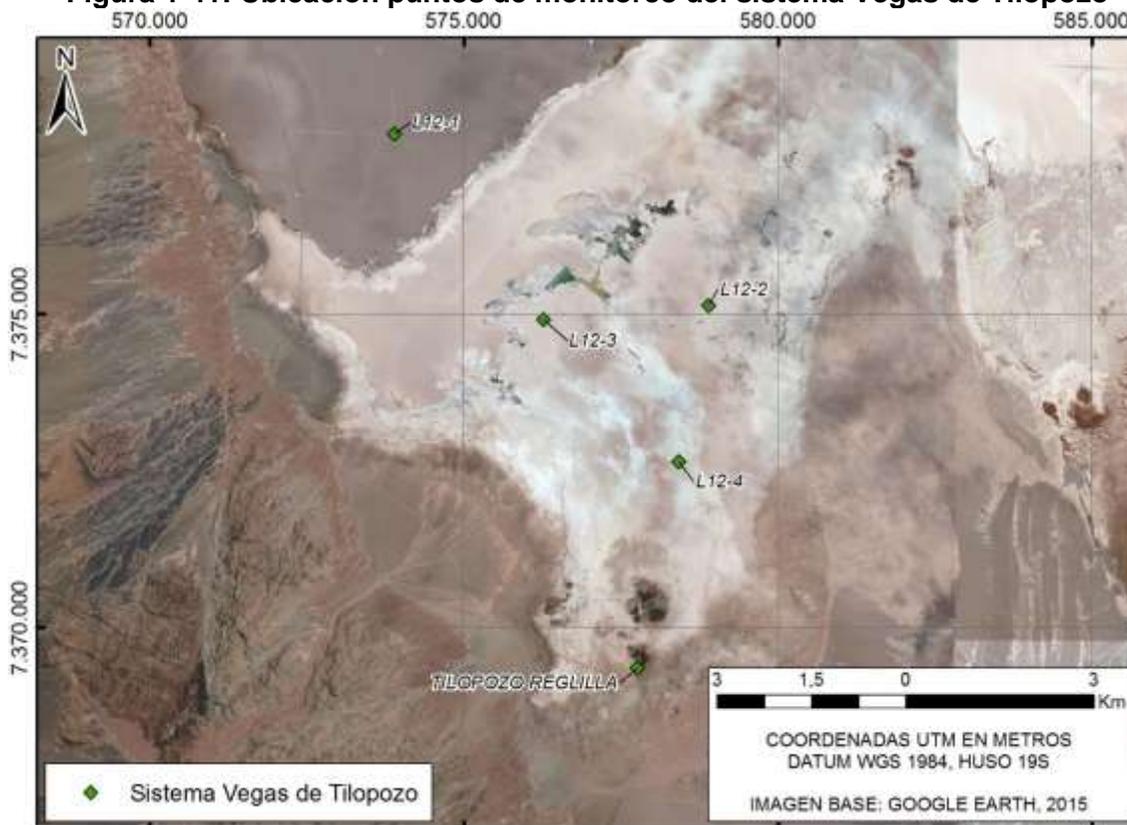
Fuente: Elaboración propia

1.6 SISTEMA VEGAS DE TILOPOZO

El objetivo del monitoreo (ver pozos en Figura 1-41) de esta zona es la determinación del efecto del bombeo de las explotaciones de terceros situadas más al sur del Salar de Atacama. Hasta el primer semestre de 2015 los niveles se han mantenido estables por lo que no se aprecia la afección de ningún bombeo en sus niveles de estos ubicados en la zona marginal y el caso del agua superficial que se mide en la reglilla Tilopozo. A modo de ejemplo se presenta el nivel en la reglilla Tilopozo (Figura 1-42) y en el pozo L12-3 (Figura 1-43).

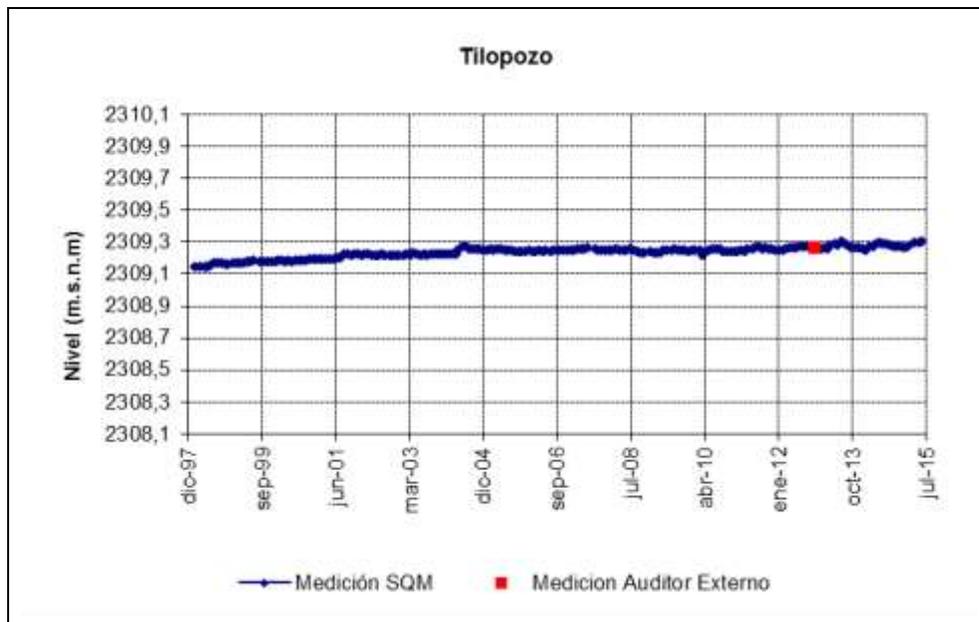
Cabe señalar que el pozos L12-1 (Figura 1-44) presenta un comportamiento similar al de los pozos clasificados como núcleo salino con una tendencia al descenso probablemente producto de su cercanía a campo de pozos de Rockwood Lithium que se ve interrumpida por los eventos de precipitación importantes.

Figura 1-41: Ubicación puntos de monitoreo del sistema Vegas de Tilopozo



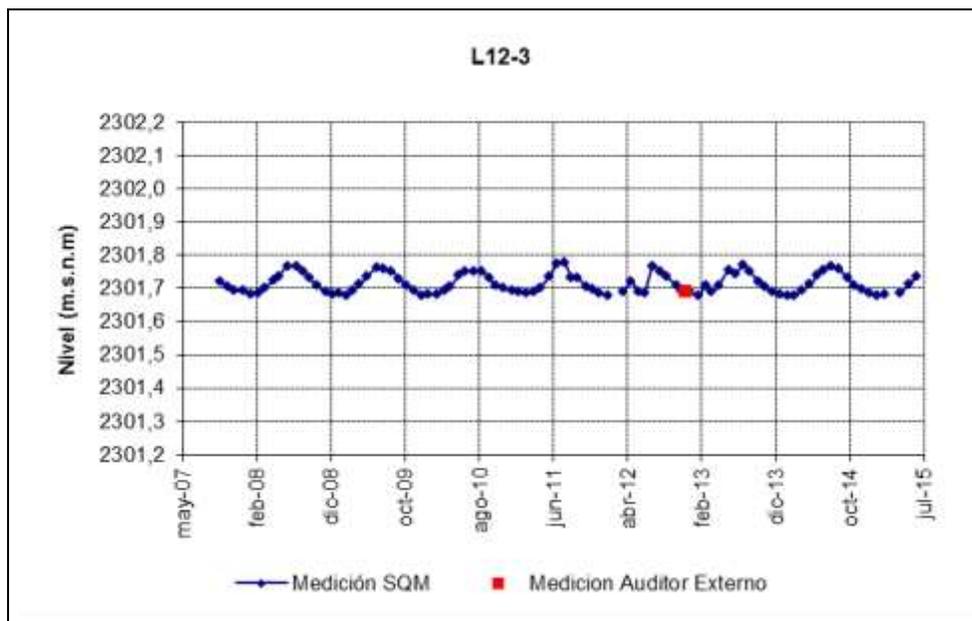
Fuente: Elaboración propia

Figura 1-42: Nivel mensual observado en la regilla de Tilopozo



Fuente: Elaboración propia

Figura 1-43: Nivel mensual observado en el pozo L12-3



Fuente: Elaboración propia

Figura 1-44: Nivel mensual observado en el pozo L12-1



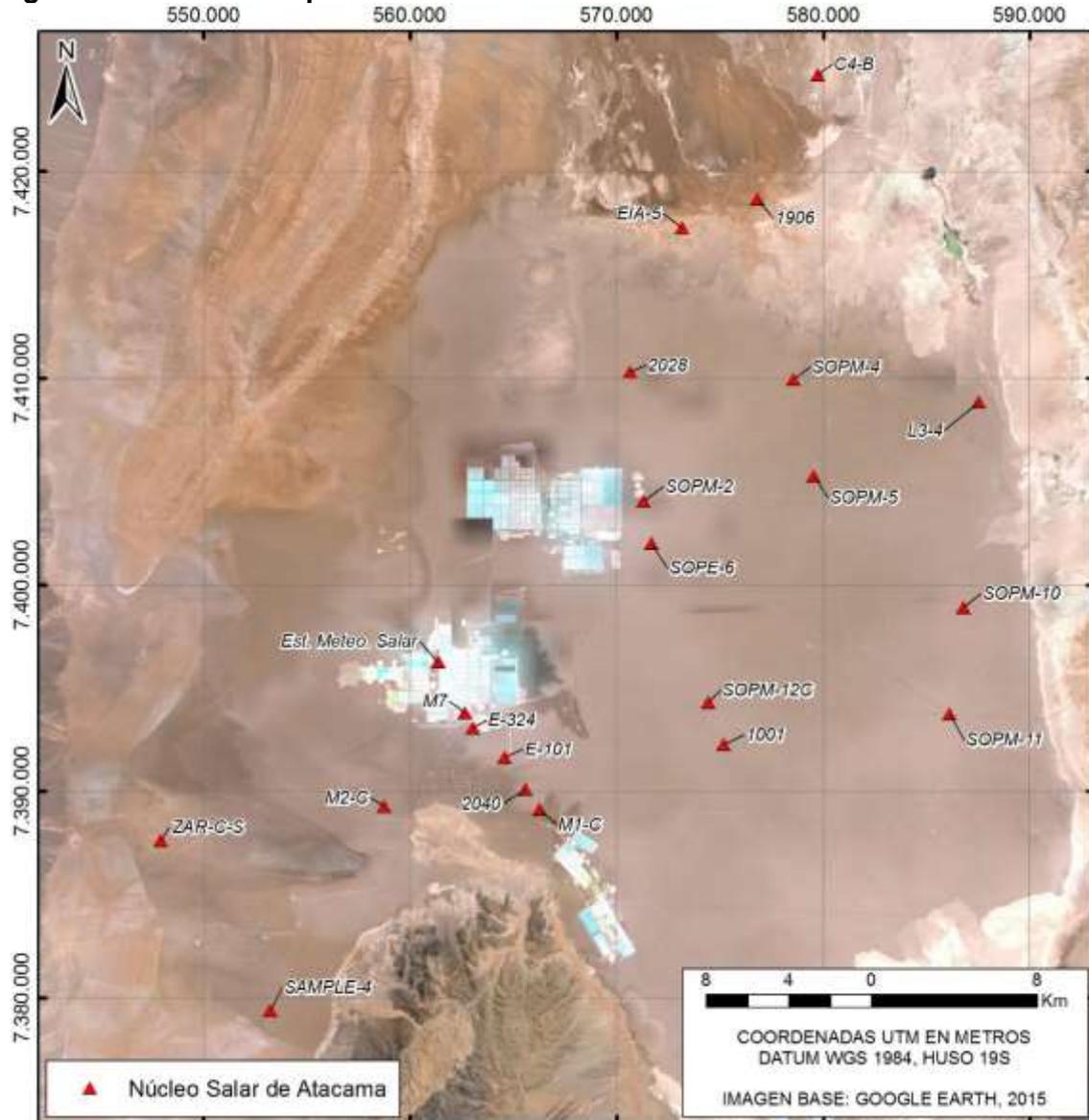
Fuente: Elaboración propia

1.7 SISTEMA NÚCLEO DEL SALAR DE ATACAMA

Este sistema corresponde a los pozos dentro del núcleo del Salar de Atacama, en los cuales se observa un comportamiento heterogéneo de los pozos, el que se determina principalmente por su ubicación (ver Figura 1-45). En los pozos SOPM que se encuentran más alejados del bombeo de salmuera se observa una leve tendencia al descenso, cuya tasa de descenso cambia con los episodios de lluvias ocurridos en verano. A modo de ejemplo se presenta el nivel en el pozo SOPM 4 (Figura 1-46).

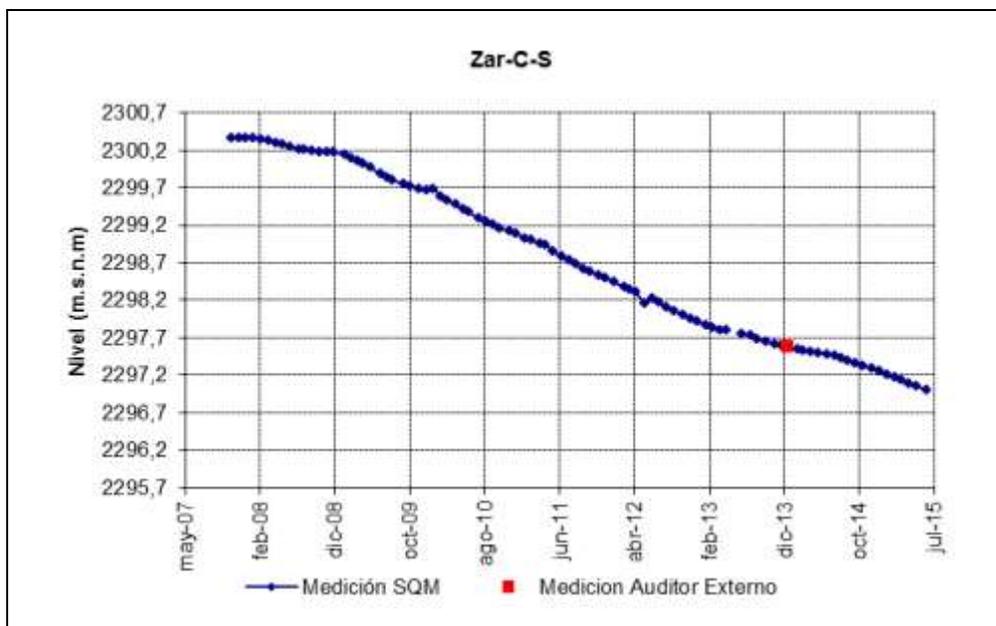
En los pozos más cercanos al sector de bombeo de salmuera el descenso es más notorio que en los pozos SOPM (como ejemplo se presenta el pozo 2040, Figura 1-47). Asimismo, en el sector suroeste (ZAR-C-S, Figura 1-48) la napa ha disminuido sin tendencia a la estabilización y en el sector norte el nivel de la napa se ha mantenido constante con una muy leve tendencia a la disminución (1906, Figura 1-49).

Figura 1-45: Ubicación puntos de monitoreo del sistema Núcleo del Salar de Atacama



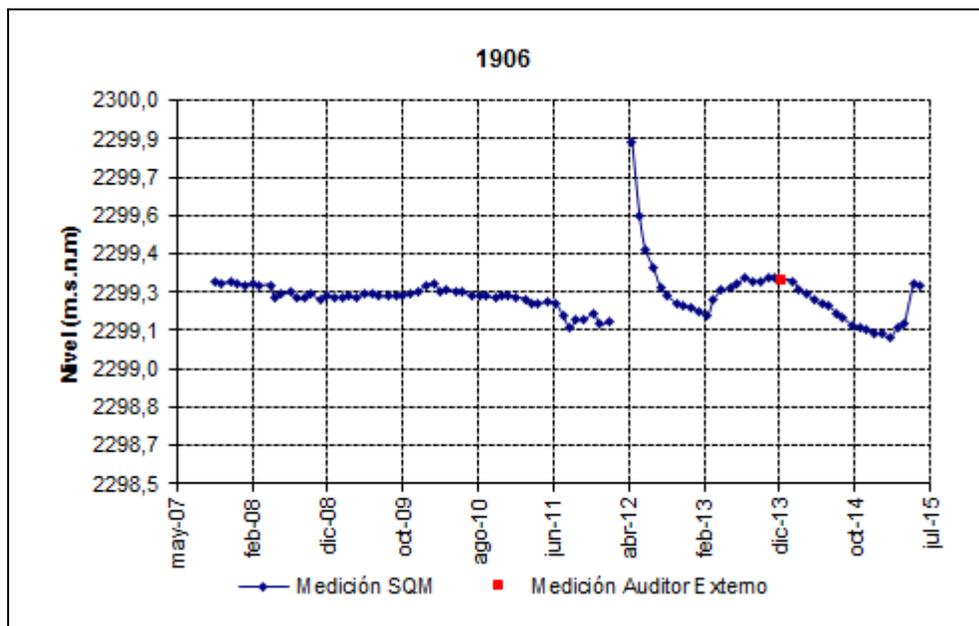
Fuente: Elaboración propia

Figura 1-48: Nivel mensual observado en el pozo Zar-C-S



Fuente: Elaboración propia

Figura 1-49: Nivel mensual observado en el pozo 1906



Fuente: Elaboración propia

2 INTRODUCCIÓN

El presente documento corresponde al Informe N°17 del Plan de Seguimiento Ambiental Hidrogeológico (PSAH), que forma parte de las obligaciones ambientales de SQM derivadas de la Resolución de Calificación Ambiental (RCA) N° 226/2006, que calificó favorablemente el proyecto Cambios y Mejoras de la Operación Minera en el Salar de Atacama, el cual se detalla en el numeral 10.2 de ésta y en el Anexo I de la Adenda III del EIA del proyecto. El presente informe incluye registros actualizados de monitoreo hasta junio de 2015.

Para la elaboración de este informe se toma en consideración las instrucciones generales sobre la elaboración de informes de seguimiento ambiental dictado por el Ministerio de Medio Ambiente en la Resolución Exenta N° 223/2015.

El PSAH considera la medición de todas las variables ambientales de monitoreo que reflejan el comportamiento hidrogeológico del sistema, es decir: meteorología, nivel del agua y salmuera subterránea, calidad química de los acuíferos, nivel de cuerpos de agua superficial, caudal de canales afluentes y/o efluentes de cuerpos de agua, superficies lacustres y caudales de bombeo de agua industrial. Esta información se presenta de manera ordenada para los siguientes sistemas o sectores ambientales:

- Soncor
- Agua de Quelana
- Peine
- Vegetación Borde Este
- Vegas de Tilopozo
- Núcleo del Salar de Atacama
- Cuña Salina.

Este informe ha sido realizado por Arcadis basado en la información proporcionada por SQM Salar, quienes son los responsables de obtener los datos en terreno o de gestionar la medición a través de terceros. Para ello Arcadis realizó el trabajo a dos niveles: (i) revisión en gabinete de documentos con la información y mediciones contenidas en él y (ii) una campaña de terreno para confirmar de manera aleatoria la información de monitoreo. En aquellos pozos monitoreados por el área GeoHidrología de Arcadis, se incorporó en los gráficos un punto rojo indicando la medición¹. Cabe señalar que campañas anteriores (previas al año 2015) fueron realizadas por DICTUC S.A. y por GeoHidrología Consultores Ltda.

ALS Patagonia S.A – Sucursal Antofagasta entrega los resultados de los análisis físico-químicos de las muestras de agua que toma SQM en terreno, la Universidad Católica del Norte realiza análisis físico-químico de las muestras de agua que realiza CONAF en el marco del convenio entre SQM y CONAF, la Consultora Geobiota realiza mediciones de las superficies lacustres a través de imagen satelital y CONAF a través de estacas perimetrales, adicionalmente durante 2015 correspondió realizar medición de superficie lacustre mediante

¹ En los gráficos de nivel se indica como “Medición Auditor Externo”

topografía, actividad realizada por la empresa Ingeniería, Asesoría y Servicios Limitada (INGEOSERV).

En resumen, la Tabla 2-1 muestra las instituciones y/o equipos de trabajo responsable de las actividades relacionadas para elaborar el presente informe.

Tabla 2-1: Instituciones y/o equipos de trabajo responsable de las actividades relacionadas para la elaboración del presente informe

Institución y/o Equipo de trabajo	Actividad realizada
SQM Salar Gerencia de Hidrogeología Salar	Mediciones de nivel freático, caudales y perfil de conductividad eléctrica.
	Muestreo y medición de parámetros de campo para análisis físico-químico
CONAF (UCN y SEARCH)	Medición de nivel freático, área de superficies lacustres, análisis físico-químico
SQM Gerencia de Sustentabilidad	Mantenimiento y descarga de datos de estaciones meteorológicas
ALS Patagonia S.A.	Análisis de parámetros físico-químico
Ingeniería, Asesoría y Servicios Limitada (INGEOSERV)	Medición (2015) en terreno de Superficie Lacustre mediante Topografía
Geobiota	Medición anual (abril) a través de imagen satelital de Superficie Lacustre
Arcadis	Visitas semestrales en terreno para validación de datos
	Elaboración de Informe de seguimiento del PSAH

Fuente: Elaboración propia

3 OBJETIVOS DEL PLAN DE SEGUIMIENTO AMBIENTAL HIDROGEOLÓGICO

Las mediciones consideradas en el PSAH tienen como propósito proteger los sectores sensibles del Salar de Atacama, proveer información para operar el Plan de Contingencia (PC) y caracterizar el comportamiento de la componente agua (subterránea y superficial) con el objetivo de entender su funcionamiento y evaluar si han existido desviaciones en los sistemas que se busca proteger, respecto de sus condiciones naturales históricamente observadas.

Para ello, se contemplan mediciones en seis sistemas del Salar de Atacama:

- Sistema Soncor
- Sistema Aguas de Quelana
- Sistema Vegetación Borde Este
- Sistema Peine
- Sector vegas de Tilopozo
- Núcleo del Salar de Atacama

Los informes semestrales del PSAH tienen como objetivo informar del estado hidrogeológico de los sistemas descritos anteriormente, mediante la presentación de toda la información de monitoreo comprometida en el plan, de manera ordenada y fácil de visualizar mediante gráficos, junto a un análisis del comportamiento de estos sistemas en el tiempo.

4 MATERIALES Y MÉTODOS

En el presente capítulo se presenta una descripción de la zona de estudio, la infraestructura de monitoreo, los parámetros que se miden, la metodología y materiales utilizados en la medición y las incertidumbres asociadas a éstas. Este capítulo permite contextualizar el PSAH y entender de manera conceptual el funcionamiento e interacción entre los diferentes sistemas y sus componentes hidrogeológicos posibilitando entender los resultados presentados y su posterior discusión.

4.1 DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO E INFRAESTRUCTURA DE MONITOREO

El proyecto Cambios y Mejoras de la Operación Minera en el Salar de Atacama, se ubica en la región de Antofagasta, en la cuenca endorreica del Salar de Atacama (Figura 4-1). El Salar de Atacama está situado a 55 km al sur de San Pedro de Atacama y 316 km al noreste de Antofagasta (capital regional) (ver Figura 4-1. Ubicación general del proyecto).

El proyecto considera la extracción de salmuera (recurso hidrogeológico) desde el núcleo del Salar de Atacama, las que contienen altas concentraciones de litio y potasio, además de sulfato y boro. A partir de este recurso natural se produce carbonato de litio, cloruro potásico, sulfato de potasio y cloruro magnésico.

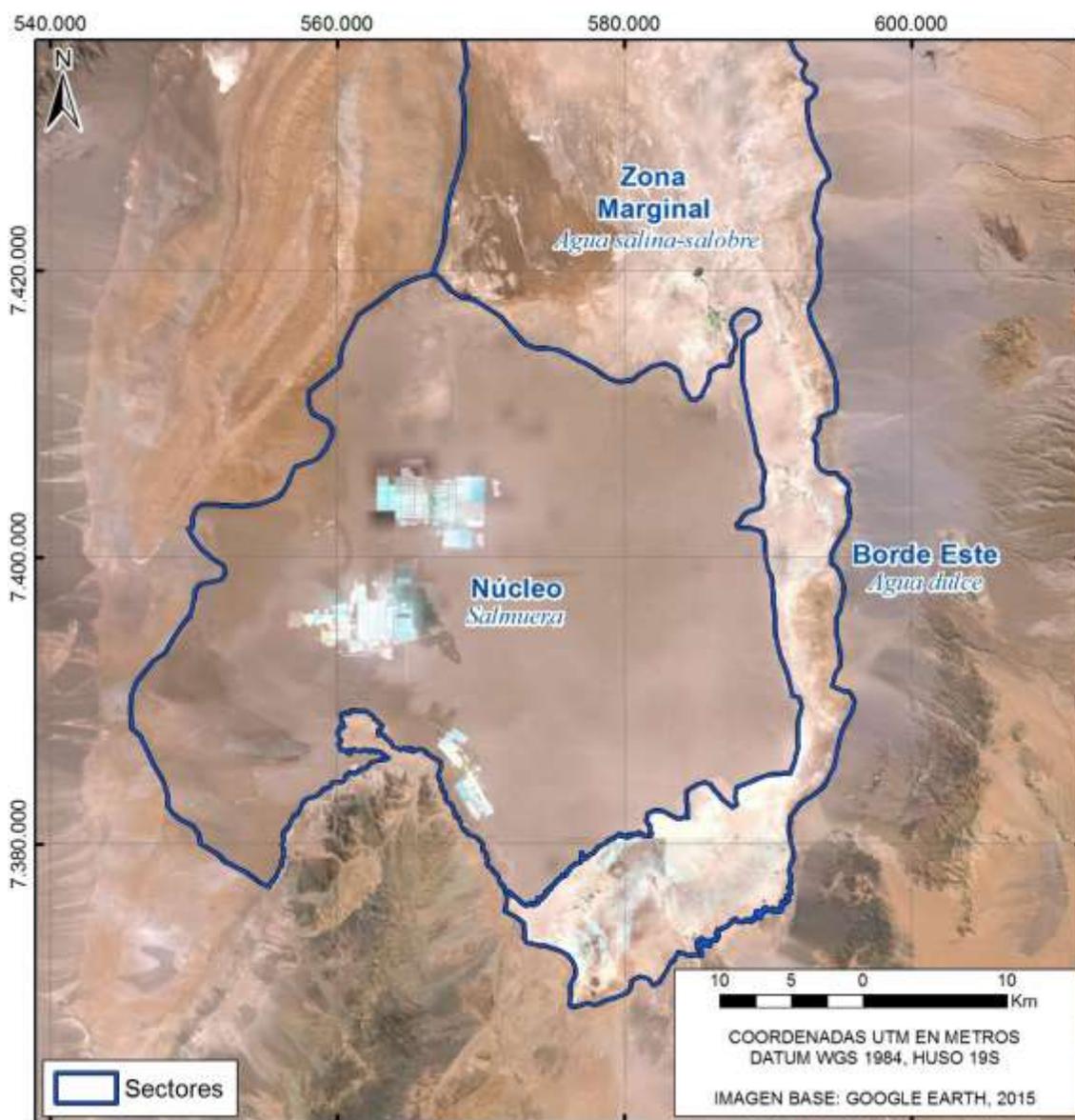
Figura 4-1. Ubicación general del proyecto



RL: Corresponde a Rockwood Lithium
Fuente: Elaboración propia

El Salar de Atacama se encuentra a una altura de 2.305 msnm aprox., posee 100 km de largo y 80 km de ancho aprox. abarcando un área de unos 3.100 km² conformada por el núcleo de sal (deposito minero) que posee una superficie aprox. de 1.100 km², rodeado por una zona marginal de limos salinos de unos 2.000 km² de extensión aprox., y la presencia de acuíferos de agua dulce en el borde este del salar. En la zona marginal se encuentran lagunas que albergan grandes cantidades de flamencos (Reserva Nacional Los Flamencos) y el Borde Este (zona aluvial) donde existe una gran cantidad de vegetación.

Figura 4-2. Zonificación del Salar de Atacama



Fuente: Elaboración propia

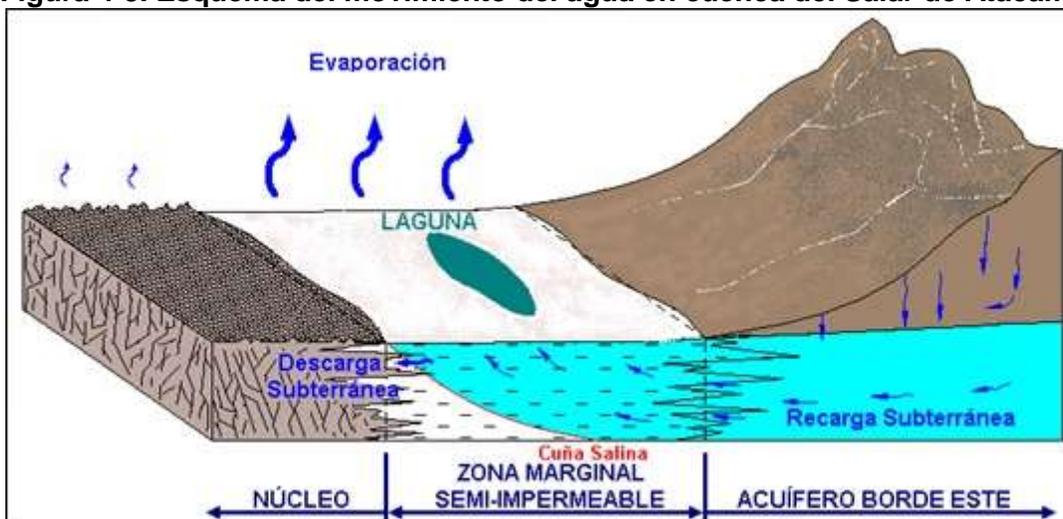
Esta zonificación tiene relación con el movimiento de agua (Figura 4-3) en el Salar de Atacama (recarga y descarga).

La recarga proviene de la infiltración por precipitaciones (lluvias y nieve) y de recarga subterránea desde los acuíferos del Borde Este, el que está compuesto principalmente por material aluvial y depósitos salinos, de granulometría variable, provenientes de la parte alta de la cuenca. El agua subterránea corresponde principalmente a agua fresca (poco salina) que tiende a salinizarse a medida que se acerca a la zona marginal, debido a la concentración de sales producto principalmente de la evaporación y de la disolución de la matriz por donde circula el agua entre otros procesos formativos.

En la zona marginal ocurre la descarga dada la gran evaporación producto del afloramiento de agua subterránea dada la presencia de una zona de arcillas y yeso con canalizaciones específicas que permiten el mantenimiento de los sistemas. Esta zona de baja conductividad hidráulica presente en la zona marginal independiza los comportamientos del acuífero del núcleo (salmuera) del acuífero del Borde Este (agua dulce) generando que este sector presente la particularidad de estar conformado por un acuífero de agua salada-salobre y un acuífero inferior denominado cuña salina que se adentra por debajo del acuífero de agua salobre, por lo que un pozo que esté ubicado en este sector puede atravesar ambas zonas (mayor detalle en la sección 5.3.3 y 6.3).

Cabe señalar que desde el norte del Salar de Atacama existe una recarga superficial proveniente del sector de las nacientes que alimenta el sistema de lagunas del norte del Salar de Atacama (Laguna Chaxa y Barros Negros) la que se monitorea mediante aforos. Esta recarga es importante ya que su variación puede afectar los sistemas lacustres sin tener una relación directa con la extracción realizada por SQM. Adicionalmente se debe señalar que el núcleo se recarga con salmuera proveniente de la zona marginal (Figura 4-3).

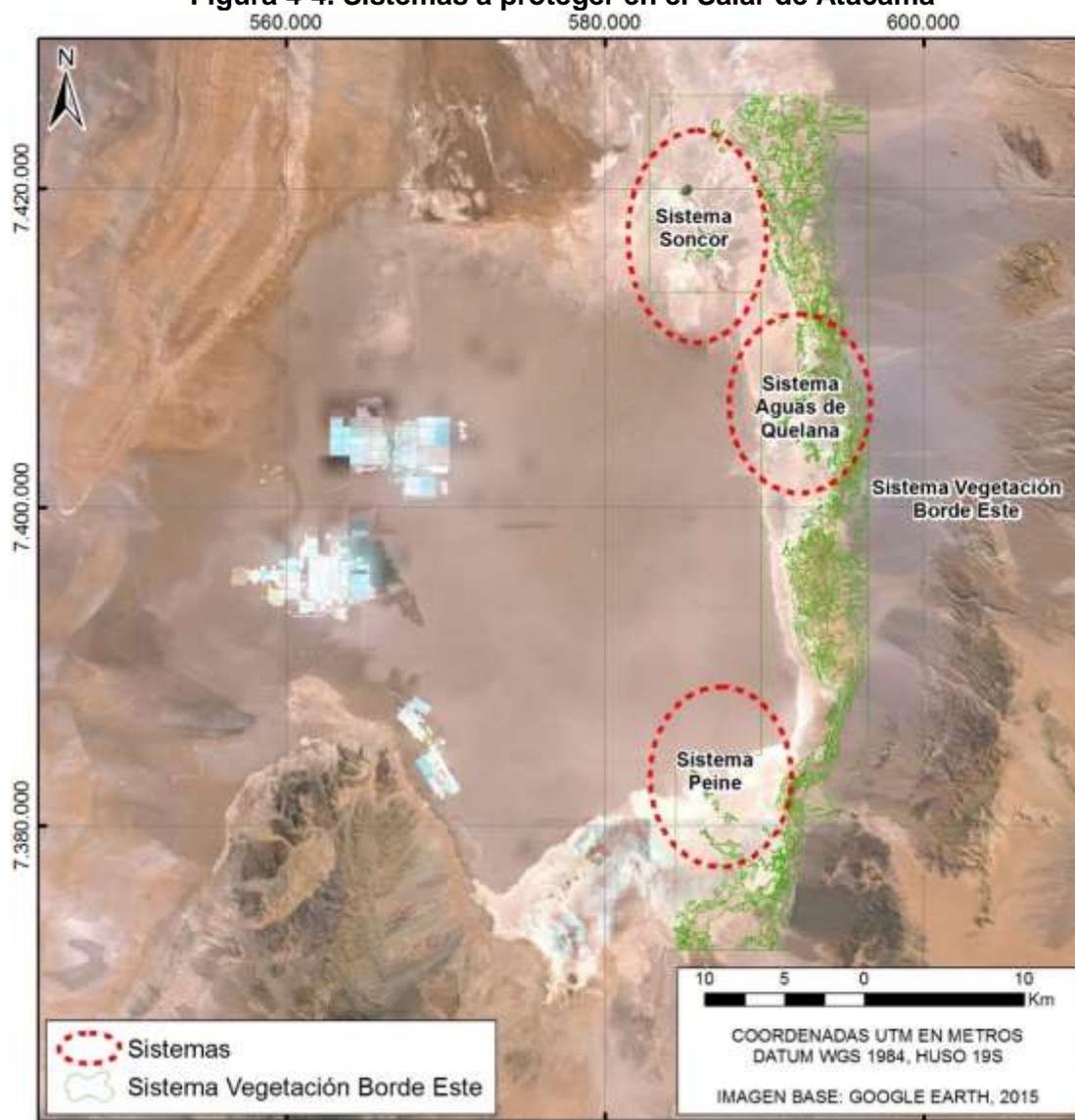
Figura 4-3. Esquema del movimiento del agua en cuenca del Salar de Atacama



Fuente: Elaboración propia

En la zona marginal se encuentran los sistemas que se busca proteger, es decir, los sistemas lacustres de Soncor, Quelana y Peine y el sistema Vegetación Borde Este (Figura 4-4), por lo anterior, el proyecto cuenta con un PSAH que mide variables hidrogeológicas y permite caracterizarlos. El sistema Soncor está compuesto por tres lagunas principales, dos de las cuales, Chaxa y Barros Negros, se encuentran conectadas superficialmente a través de un canal natural y la tercera, laguna Puilar, es de menor tamaño y se ubica al este de las dos anteriores, el sistema Aguas de Quelana está compuesto por una serie de cuerpos lacustres desperdigados y sin continuidad ubicados al este del núcleo del Salar de Atacama (zona marginal), en el sistema Peine se encuentran las Lagunas Interna, Salada y Saladita y en el Sistema Vegetación Borde Este se encuentra vegetación hidromorfa y arbustiva conectada al acuífero.

Figura 4-4. Sistemas a proteger en el Salar de Atacama



Fuente: Elaboración propia

El PSAH del proyecto Cambios y Mejoras de la Operación Minera en el Salar de Atacama se encuentra constituido por 225 puntos de monitoreo, de los cuales 74 corresponden a puntos de monitoreo antiguos y 151 corresponden a puntos de monitoreo construidos como parte del PSAH, los cuales se habilitaron en su totalidad el 31 de octubre de 2007.

Los 225 puntos de monitoreo que conforman el PSAH se pueden desglosar de la siguiente manera:

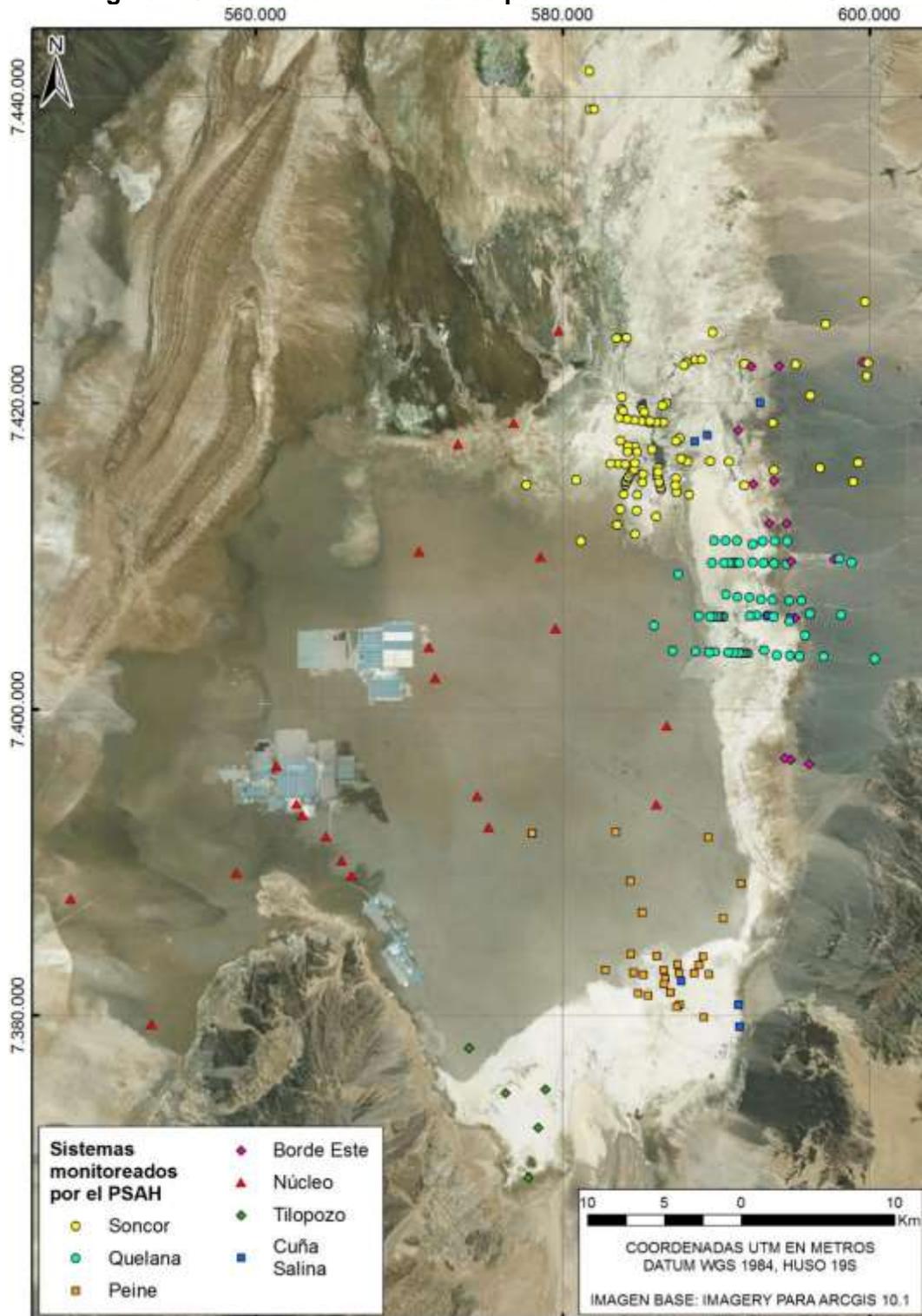
- 112 pozos someros;
- 84 pozos profundos;
- 5 pozos de bombeo de agua industrial;
- 18 reglillas para la medición del nivel de agua superficial;
- 4 estaciones de aforo de agua superficiales;
- 2 estaciones meteorológicas.

Del total de los puntos, 47 corresponden a puntos de medición continua exigidos en la RCA 226/2006 que aprueba el proyecto. Adicionalmente, se implementó una medición continua en la reglilla L7-G2, ya que se ubica en una zona con alto potencial de nidificación de flamencos, lo que imposibilita realizar un monitoreo adecuado durante el período reproductivo de los flamencos.

Los puntos de monitoreo hidrogeológicos que conforman el PSAH se encuentran distribuidos en el núcleo, en la zona marginal y en el borde este del Salar de Atacama (Figura 4-5). La gran mayoría de los puntos de medición se ubican en la zona marginal y en el borde este, justamente donde se encuentran emplazados los sistemas ambientales que son objeto de protección y en zonas que requieren un adecuado seguimiento.

En el Anexo 7 se presenta el levantamiento topográfico realizado a los puntos del PSAH en coordenadas UTM WGS 84 Huso 19S.

Figura 4-5: Ubicación de todos los puntos de monitoreo del PSAH



Fuente: Elaboración propia

4.2 PARÁMETROS PARA CARACTERIZAR LAS VARIABLES AMBIENTALES

Los parámetros utilizados para caracterizar las variables ambientales han sido agrupados en niveles de agua superficial y subterránea, calidad físico-química del agua, aforos de caudal, caudal bombeado, meteorología y superficie lacustre. A continuación se describen los parámetros utilizados pertenecientes a los grupos mencionados. En la Tabla 4-1, se muestra resumen de todos los parámetros que se toman en el Plan de Seguimiento Ambiental y las unidades en que se expresan.

4.2.1 Niveles de agua superficial y subterránea

El nivel del agua expresada en unidades de metros sobre nivel del mar (msnm) es un parámetro que indica la energía potencial gravitatoria del agua, a partir de este parámetro se establece la relación entre distintos cuerpos de agua y la dirección del flujo de agua tanto a escala local como regional en función de la separación de los puntos de medición en la red de monitoreo del área de estudio.

4.2.2 Calidad físico-química del agua

El agua en la naturaleza contiene gran cantidad de elementos y moléculas que pueden estar en diferentes estados como por ejemplo disueltos, sólidos o hidratados. En el ciclo hidrológico el agua entra en contacto con los materiales que componen la atmósfera y litosfera, debido a procesos como son la erosión, disolución, entre otros, y van incorporando elementos en su matriz formada por moléculas de agua. La calidad del agua depende de los elementos que contiene el agua, la forma en que se encuentran y la cantidad y proporción de éstos. Los parámetros que describen la composición del agua se pueden agrupar en parámetros físicos y en parámetros químicos.

Los parámetros físicos-químicos de la calidad del agua que se miden en terreno son la Temperatura en grados centígrados (°C), Densidad en g/L, el pH en unidades de pH, Oxígeno Disuelto en mg/L, Conductividad Eléctrica en mS/cm, y Sólidos Disueltos Totales en mg/L.

Los parámetros químicos que se monitorean son las concentraciones expresadas en mg/L (o múltiples como pueden ser los µg/L o g/L en función de su grado de concentración) de sodio, potasio, calcio, magnesio, dureza total, alcalinidad en mg/L de CaCO₃, sólidos suspendidos, carbonato, bicarbonato, sulfato, cloruro, arsénico, nitratos, fosfatos, hidrocarburos totales, detergentes aniónicos, nitrógeno amoniacal, hierro, manganeso y zinc.

Otro parámetro es la concentración de coliformes fecales que se expresan en número más probable por 100 mL, este parámetro indica la contaminación por aguas residuales de poblaciones o campamentos.

4.2.3 Aforos de caudal superficial

El caudal superficial de los cursos de agua es el parámetro que nos permite conocer la cantidad de agua que transita por un cauce superficial por unidad de tiempo. Para su correcta medición se instalan en los cursos superficiales estaciones de aforo (vertederos) que permiten conocer el caudal en L/s a partir de la altura de agua en la estación de aforo.

4.2.4 Caudal Bombeado

La medición y registro del caudal bombeado en L/s es un parámetro que permite cuantificar el volumen de agua industrial extraído en cada pozo durante un periodo de tiempo determinado.

4.2.5 Meteorología

Los parámetros meteorológicos registrados en las estaciones meteorológicas son la precipitación diaria en mm, la evaporación diaria en mm, la velocidad del viento en m/s y la temperatura del aire en °C. La medición de los parámetros meteorológicos más relevantes permite diferenciar la variabilidad estacional e interanual.

4.2.6 Superficie lacustre

La superficie lacustre es un parámetro importante para poder evaluar las variaciones en el área de una laguna, este parámetro se mide en m².

4.2.7 Resumen de parámetros registrados

En la Tabla 4-1 se presenta el listado de los parámetros registrados explicados en el capítulo 4.2, donde se indica la abreviatura más común utilizada, las unidades en que se expresan y el periodo de registro.

Tabla 4-1: Listado de parámetros registrados en el monitoreo del Plan de Seguimiento Ambiental.

Parámetro	Abreviatura Común	Unidades	Periodo de registro
Nivel de agua superficial		msnm	Continuo-Mensual
Nivel de agua subterránea		msnm	Continuo-Mensual
Temperatura del agua	T	°C	Trimestral
pH	pH	unidades de pH	Trimestral
Alcalinidad	Alc	mg CaCO ₃ /L	Trimestral
Oxígeno Disuelto	OD	mg/L	Trimestral
Conductividad Eléctrica	CE	mS/cm o µS/cm	Trimestral
Sólidos Suspendidos		mg/L	Trimestral

Parámetro	Abreviatura Común	Unidades	Periodo de registro
Sólidos Disueltos Totales	SDT	mg/L	Trimestral
Sodio	Na	mg/L	Trimestral
Potasio	K	mg/L	Trimestral
Calcio	Ca	mg/L	Trimestral
Magnesio	Mg	mg/L	Trimestral
Dureza Total		mg/L	Trimestral
Carbonato	CO ₃	mg/L	Trimestral
Bicarbonato	HCO ₃	mg/L	Trimestral
Sulfato	SO ₄	mg/L	Trimestral
Cloruro	Cl	mg/L	Trimestral
Arsénico	As	mg/L	Trimestral
Nitratos	NO ₃	mg/L	Trimestral
Fosfatos	PO ₄	mg/L	Trimestral
Hidrocarburos Totales		mg/L o µg/L	Trimestral
Detergentes Aniónicos		mg/L	Trimestral
Coliformes Fecales		NMP/100 mL	Trimestral
Nitrógeno Amoniacal	N-NH ₄ ⁺	mg/L	Trimestral
Hierro	Fe	mg/L	Trimestral
Manganeso	Mn	mg/L	Trimestral
Zinc	Zn	mg/L	Trimestral
Caudal Superficial	Qs	L/s	Continuo
Caudal de bombeo	Q	L/s	Continuo
Precipitación diaria	P	mm	Diario
Evaporación diaria	E	mm	Diario
Velocidad del viento	Vv	m/s	Diario
Temperatura del aire	Ta	°C	Diario
Superficie Lacustre		m ²	Trimestral-Anual

* En las muestras de agua para calidad química no se miden todos los parámetros en cada una de las muestras, sino que son distintos y dependen del objetivo de ésta, tal como se semana en el Anexo I de la Adenda III del EIA del proyecto

Fuente: Elaboración propia

4.3 METODOLOGÍAS

A continuación se expone un listado general de los pasos a realizar en los trabajos necesarios para la obtención de las variables ambientales requeridas, el detalle de la metodología se encuentra en el Anexo 6

4.3.1 Monitoreo de nivel de pozos operativos y no operativos

4.3.1.1 Secuencia para monitoreo de nivel de pozo de bombeo operativo

- Anotar fecha y hora de visita
- Medir nivel dinámico

- Realizar limpieza del pozómetro con agua destilada
- Medir altura de referencia (cuando corresponda)
- Anotar caudal instantáneo
- Anotar volumen acumulado
- Verificar y anotar apertura de válvula
- Anotar observaciones si corresponde

4.3.1.2 Secuencia para monitoreo de pozos de monitoreo

- Anotar fecha y hora de visita
- Medir nivel estático
- Realizar limpieza del pozómetro con agua destilada
- Medir altura de referencia (cuando corresponda)
- Anotar observaciones si corresponde

4.3.2 Medición de parámetros físico-químicos en terreno y muestreo

- Verificar stock de envases correspondientes
- Etiquetado de envases
- Calibración de equipos (multiparámetro)
- Purgado de pozos (cuando corresponda)
- Vaciar muestra en recipiente de 20 L
- Medición con multiparámetro y registro de datos
- Anotar profundidad de la bomba
- Registrar datos, condiciones ambientales y observaciones
- Limpieza del material utilizado con agua destilada

4.3.3 Medición de superficies lacustres

4.3.3.1 Medición mediante imágenes satelitales

- Obtener imágenes satelitales Quickbird-II, WorldView-II y Geoeye-I del mes de Abril
- Georreferenciación de las imágenes satelitales
- Fusión de imágenes
- Transformaciones multiespectrales (MNDWI y IHS)
- Digitalización de contornos
- Control de terreno
- Delimitación de la superficie lacustre
- Definición de límites de cada laguna según criterios CONAF
- Identificación de áreas de inundación
- Comparación con medición mediante estacas perimetrales de CONAF

4.3.3.2 Medición mediante topografía

Para las mediciones de los perímetros y áreas de las lagunas se realizó un levantamiento topográfico de las 6 lagunas con el GPS y con el método RTK. Donde la base quedó fija en el hito de cada base y posteriormente se desplaza el receptor móvil tomando puntos. Este desplazamiento se realiza a pie, caminando por el margen de las lagunas. Para mayor detalle ver Anexo 8.

4.3.3.3 Medición mediante estacas perimetrales

Para obtener los datos de área de superficie lacustre, se realizan mediciones en los puntos demarcados por estacas (que indican el perímetro de referencia) alrededor de cada laguna (Chaxa, Barros Negros, Puilar en el sistema Soncor y Salada y Saladita en el sistema Peine).

Desde cada estaca se mide la distancia hacia el borde del nivel de agua (pudiendo ser positivo o negativo, según el nivel del agua en relación a la estaca). Posteriormente los datos son ingresados al software ArcGis v10.1 donde se generan los nuevos polígonos de las lagunas y se calcula el área del espejo de agua.

Todos los datos y resultados obtenidos hasta octubre del 2013 son de exclusiva responsabilidad del cuerpo técnico de CONAF. SEARCH implementa su metodología de cálculo de área a partir de enero 2014.

4.3.4 Realización de aforos en cauces naturales

- Definición del número de secciones del canal/cauce a aforar
- Medición del ancho de cada sección
- Medir la altura de agua en el límite de cada sección
- Medir la velocidad del agua en el centro de cada sección (3 repeticiones)
- Calcular el área de cada sección
- Calcular y sumar el caudal de cada sección

4.3.5 Medición Meteorología

La medición se realiza cada 5 minutos para precipitación, evaporación, velocidad del viento y temperatura mediante los sensores que se encuentran en las estaciones KCL y Chaxa. Esta información es bajada por personal de SQM semanalmente en el caso de la estación KCL y mensualmente en el caso de la estación Chaxa. Asimismo, la mantención de los sensores se realiza mensualmente. Mayor detalle de los equipos se presenta en el punto 4.4.6 y en el Anexo 6.

4.4 MATERIALES Y EQUIPOS UTILIZADOS

En este apartado se listan los materiales utilizados en los trabajos de obtención de los parámetros ambientales requeridos, no obstante no se incluyen los materiales auxiliares como pudieran ser las camionetas u equipos de protección personal (EPP), estos están detallados en los procedimientos incluidos en el Anexo 6.

4.4.1 Medición de niveles de agua

- Palm Win Situ, cable conector, cargador para camioneta (según corresponda)
- Pozómetro
- Densímetros con rangos: 1.0-1.1; 1.1-1.2; 1.2-1.3; 1.3-1.4 (según corresponda)
- Probeta (según corresponda)
- Piseta con Agua Destilada.
- Flexómetro
- Tablet con planilla de pozos a monitorear

4.4.2 Parámetros físico-químicos medidos en terreno

- Medidor multiparámetro modelo pH_Conc 330-340i, Marca WTW.
- Manuales correspondientes de los medidores usados deben ser llevados a terreno y ser consultados en caso de dudas o manipulaciones no rutinarias.
- Soluciones de calibración para pH y conductividad eléctrica.
- Solución de mantención de electrodos, para el medidor de multiparámetro.
- Papel "tissue" u otros no abrasivos, paños de algodón de poca pelusa.
- Ficha de información de muestreo y parámetros de terreno
- Guantes desechables.(especialmente para medición de parámetros orgánicos)
- Agua destilada/desionizada
- Bomba para purgación y muestreo (si corresponde)

4.4.3 Muestreo físico-químico

Para llevar a cabo el proceso de muestreo físico-químico se deberá disponer de los equipos y de las herramientas de trabajo que se detallan a continuación además de los mencionados en el apartado anterior 4.4.1:

- Agua destilada
- Palm Win Situ, cable conector, cargador para camioneta.
- Pozómetro
- Densímetros (rangos: 1.0-1.1; 1.1-1.2; 1.2-1.3; 1.3-1.4).
- Probeta.
- Piseta con agua destilada.
- Flexómetro
- Tablet con planilla de pozos a monitorear

- Bailer con cuerda
- Envases plásticos de 1000, 500 y 250 mL para análisis químico externo y envases.
- Etiquetas autoadhesivas (si corresponde)
- Ficha de información de muestreo y parámetros de terreno

4.4.4 Estimación de superficies lacustres

- Imágenes captadas por los satélites Quickbird-II, WorldView-II y Geoeye-I (mes de Abril)
- GPS cartográfico Trimble® Nomad® 900G
- Sistema de información geográfico
- Mediciones topográficas de perímetro con estacas de CONAF
- GPS TOPCON HIPER + 521-2000. PG-AL 308-3735

4.4.5 Realización de aforos en cauces naturales

- Micromolinete
- Flexómetro
- Tablet Aforos PSA
- Planillas de terreno

4.4.6 Medición Meteorología

Para las estaciones de Chaxa y KCL se cuenta con los siguiente sensores que miden evaporación, precipitación, velocidad del viento y temperatura.

- Evaporímetro: NOVALYNX 255-100
- Pluviómetro: Texas Electronics 525 M
- Barómetro: PTB 110 Vaisala
- Monitoreo del viento: Young 05103-5 WS
- Temperatura: T° HR HMP45C Vaisala
- Piranómetro CMP3

4.5 INCERTIDUMBRES ASOCIADAS A LOS MÉTODOS UTILIZADOS

En la obtención de cualquier parámetro ambiental hay asociado un grado de incertidumbre ya sea por el factor humano de quién realice el muestreo, precisión de los equipos, representatividad de las muestras y calibración de equipos entre otros. El establecimiento de procedimientos pautados en la obtención de parámetros ambientales y su cumplimiento se realiza con el objetivo de minimizar y controlar las incertidumbres existentes.

En la obtención de niveles de agua con cota relativa al mar las incertidumbres se concentran en la precisión de los equipos de medición como son el pozómetro (1 mm), el flexómetro (1 mm) y la precisión con la que se haya medido la cota del punto de referencia, la que depende del tiempo de medición en el punto y la distancia a la base, pero en general es del orden de centímetro.

En la medición de parámetros físico-químicos en terreno y los parámetros medidos en laboratorios externos la incertidumbre recae en la representatividad de la muestra en la que se miden los parámetros, el estado de calibración y adecuación del rango de trabajo de los equipos de medición. En el caso de la necesidad de procesos de preparación de la muestra como diluciones u otras manipulaciones y procesos incrementan la incertidumbre. Seguir los procedimientos en el caso de la medición de parámetros “in situ”, muestreo y la seriedad en el cumplimiento de los estándares de calidad por parte de los laboratorios minimizan y controlan la incertidumbre de los parámetros.

En la medición de caudales en cauces naturales la incertidumbre recae en la medición del área de las secciones, la precisión de medición del molinete y el régimen del flujo de agua (laminar-turbulento).

Para el caso de las mediciones de precipitación, evaporación, temperatura y velocidad del viento, la incertidumbre asociada está ligada a la precisión de los equipos utilizados en las estaciones meteorológicas, los que se deben mantener limpios y realizar calibraciones de acuerdo a lo indicado por el fabricante (mayor detalle ver Anexo 6).

En la obtención de la superficie de lagunas de agua mediante el procesado de imágenes satelitales que se realiza en abril de cada año, la incertidumbre se asocia a la resolución de dichas imágenes, esta resolución se mide en función del tamaño del píxel de la imagen. A cada píxel de las imágenes se le asigna un valor, correspondiente a la longitud de onda registrada por el satélite que indirectamente aporta información del grado de humedad que hay en superficie, este valor integra toda la información del área del píxel, como consecuencia a mayor tamaño de píxel, menor precisión. Las imágenes satelitales utilizadas para la medición de superficies lacustres presentadas en este documento tienen alta resolución espacial (píxeles pequeños), que se presenta a continuación:

- Quickbird-II; 0,6x0,6 m
- Worldview-II; 0,5x0,5 m
- Geoeye-1; 0,4x0,4 m

Adicionalmente cada 5 años se mide topográficamente la superficie de las lagunas El resultado de la medición es una medición directa de la superficie de las lagunas. De este modo la medición del mes de abril se compara con los resultados de la medición a partir de las imágenes satelitales a modo de validación de éstas. La incertidumbre de este método depende de la cantidad de puntos que se tomen en el perímetro de la laguna y de los satélites que estén al alcance en el lugar de trabajo, el GPS utilizado (GPS TOPCON HIPER + 521-2000. PG-AL 308-3735) tiene un error de:

- Horizontal: 3 mm + 0,5 ppm (x longitud de línea de base)

- Vertical: 5 mm+ 0,5 ppm (x longitud de línea de base)
- Horizontal: 10 mm +1,0ppm
- Vertical: 15 mm + 1,0ppm

En lo relacionado a las mediciones topográficas que se usaron para determinar las alturas geográficas (cotas en msnm) y la posición de los pozos, las incertidumbres dependen de factores ambientales (temperatura, nubosidad, etc.) como físicos (equipos usados, distancia al punto base, etc.). Es posible disminuir la incertidumbre con calibraciones de los equipos usados. En particular para las mediciones realizadas para los pozos del PSAH la precisión en medición estática post calibración en la Horizontal fue de +- 5 mm + 0.5 ppm RMS y en la vertical de +- 0,5 mm + 1 ppm (x longitud de la línea base).

La implicancia de cambiar de un sistema de referencia a otro no aumenta o disminuye la incertidumbre, ya que son sistemas de referencia que dibuja o proyecta la superficie de la tierra en un plano, el Sistema PSAD-56 hacer referencia a un Datum Cartográfico y depende de una zona geográfica específica, mientras que el Sistema WGS-84 es un sistema Geodésico y que representa a toda la tierra.

CONAF mide mediante estacas perimetrales la superficie de las lagunas en los meses de enero, abril, julio y octubre. Este método es aproximado ya que utiliza la altura de agua en ciertos puntos para estimar superficie por lo que es menos exacto que el método de las imágenes satelitales y que la medición mediante topografía.

5 RESULTADOS

A continuación se presentan los resultados de las mediciones del PSAH para cada uno de los sistemas ambientales definidos. Previa a esto se presenta el estado del Plan de Contingencias con los límites considerados para cada parámetro según corresponde para la Fase I y Fase II.

5.1 ESTADO DEL PLAN DE CONTINGENCIAS

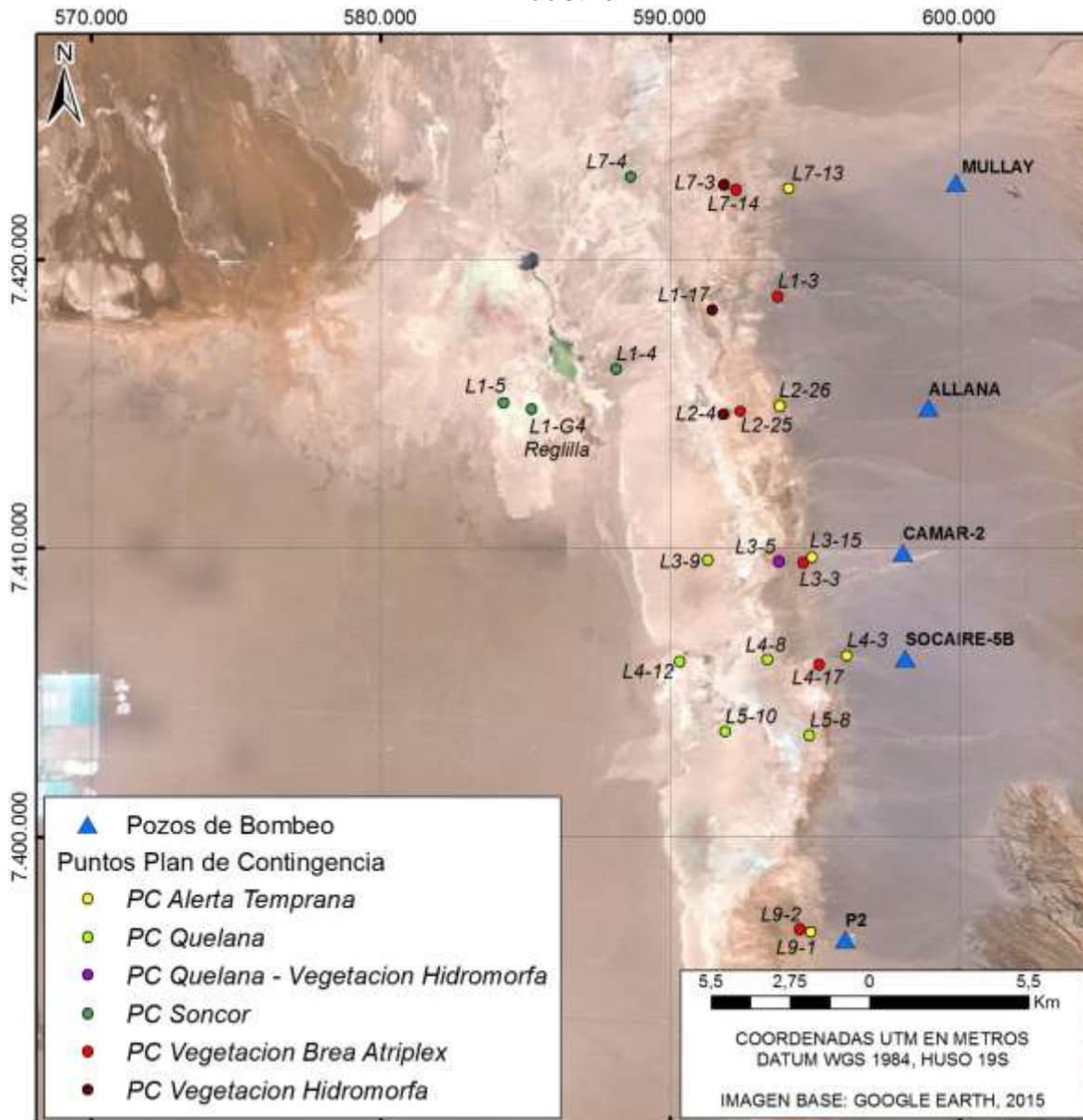
El Plan de Contingencias (PC) está orientado a dar respuesta oportuna frente a impactos no previstos en el EIA y, en este sentido, es una herramienta de gestión ambiental que permite alertar sobre los sistemas lacustres en el rango de su variación histórica. El PC fue elaborado el año 2005 con motivo del EIA del proyecto, y su diseño se sustentó en los resultados de 10 años de monitoreo de variables hidrogeológicas y bióticas, que indican que los sistemas a proteger toleran adecuadamente grandes variaciones hidrológicas estacionales e interanuales, situación que se ha corroborado desde el inicio del monitoreo del PSAH (mayo 2007) a la fecha. Por otra parte, y tal como fue debidamente fundamentado en el EIA, los caudales de bombeo de salmuera asociados al proyecto han sido calculados de manera tal de garantizar que las extracciones no afecten los sistemas protegidos, hasta la fecha se han realizado tres aumentos de escalones de extracción. El último aumento ocurrió el 13 de agosto 2013, es así como actualmente el proyecto se encuentra en el tercer escalón de extracción de salmuera.

Desde el inicio de la operación del PSAH (mayo 2007) todos los niveles de la napa subterránea en los puntos de control del PC han permanecido sobre los umbrales de la Fase I, por lo que no se ha activado el PC. En la Tabla 5-1 se presentan los umbrales de activación de las distintas fases en conjunto a las cotas del PC y en la Figura 5-1 su ubicación espacial.

De acuerdo a nuevos requerimiento de la Superintendencia de Medio Ambiente, mediante la Resolución N° 223/2015 “Instrucciones Generales sobre elaboración del plan de seguimiento de variables ambiental y la remisión de información al sistema electrónico de seguimiento ambiental”, de acuerdo al artículo décimo noveno, los informes de seguimiento ambiental deben indicar la ubicación de los puntos o sitios de muestreo, medición, análisis y/o control expresado en sistema de coordenadas UTM datum WGS 84, por lo que se calcularon los umbrales de PC utilizando la misma metodología del EIA con el nivel de la napa en coordenadas UTM WGS 84.

En el Anexo 1 se muestran en tablas, la cota de la napa en todos los pozos del PC, donde se puede corroborar que no se han sobrepasado los umbrales y por ende los objetos de protección en cada sistema no han sido afectados.

Figura 5-1: Ubicación puntos del Plan de Contingencia y pozos de bombeo de agua industrial



Fuente: Elaboración propia

Tabla 5-1: Puntos de monitoreo del PC con su posición y cota de activación² (WGS 1984)

Sistema	Pozo	UTM Este	UTM Norte	Medición May/07	Descenso Fase I	Descenso Fase II	Cota Fase I	Cota Fase II
SONCOR	L7-4	588.645,26	7.422.857,86	2.302,24	0,05	0,07	2.302,19	2.302,17
	L1-4	588.137,91	7.416.184,62	2.299,75	0,00	0,08	2.299,75	2.299,67
	L1-5	584.418,52	7.415.394,02	2.299,39	0,02	0,18	2.299,37	2.299,21
	L1-G4 Pozo	585.210,67	7.414.816,62	2.299,48	0,11	0,27	2.299,37	2.299,21
	L1-G4 Reglilla	585.209,91	7.414.816,88	2.299,48	0,11	0,27	2.299,37	2.299,21
AGUAS DE QUELANA	L3-5	593.776,02	7.409.547,43	2.303,98	0,10	0,13	2.303,88	2.303,85
	L3-9	591.314,03	740.9573,46	2.300,35	0,10	0,13	2.300,25	2.300,22
	L4-8	593.360,43	740.6127,78	2.301,28	0,10	0,13	2.301,18	2.301,15
	L4-12	590.333,97	7.406.056,63	2.299,73	0,10	0,13	2.299,63	2.299,60
	L5-8	594.827,12	7.403.503,25	2.303,66	0,10	0,13	2.303,56	2.303,53
	L5-10	591.910,90	7.403.629,28	2.300,07	0,10	0,13	2.299,97	2.299,94
VEGETACION HIDROMORFA	L7-3	591.858,28	7.422.583,15	2.313,66	0,28	0,33	2.313,38	2.313,33
	L1-17	591.453,18	7.418.238,88	2.306,58	0,28	0,33	2.306,30	2.306,25
	L2-4	591.850,74	7.414.608,96	2.303,48	0,28	0,33	2.303,20	2.303,15
	L3-5	593.776,02	7.409.547,43	2.303,98	0,28	0,33	2.303,70	2.303,65
VEGETACION BREA ATRIPLEX	L7-14	592.286,51	7.422.403,41	2.315,73	0,50	1,00	2.315,23	2.314,73
	L1-3	593.724,57	7.418.707,93	2320,42	0,50	1,00	2.319,92	2.319,42
	L2-25	592.439,51	7.414.726,68	2.308,77	0,50	1,00	2.308,27	2.307,77
	L3-3	594.614,77	7.409.496,34	2.311,20	0,50	1,00	2.310,70	2.310,20
	L4-17	595.169,37	7.405.962,95	2.306,45	0,50	1,00	2.305,95	2.305,45
	L9-2	594.486,72	7.396.786,42	2.308,93	0,50	1,00	2.308,43	2.307,93
ALERTA TEMPRANA	L7-13	594.116,42	7.422.455,20	2.323,67	-	1,42	-	2.322,25
	L2-26	593.786,54	7.414.918,14	2.318,80	-	0,78	-	2.318,02
	L3-15	594.922,47	7.409.664,06	2.316,20	-	0,85	-	2.315,35
	L4-3	596.113,20	7.406.265,01	2.303,56*	-	0,92	-	2302,64
	L9-1	594.862,35	7.396.682,17	2.309,75	-	0,87	-	2.308,88

* Corresponde al nivel mínimo histórico registrado en este pozo

² Información presentada en el Informe N°13 del PSAH del proyecto Cambios y Mejoras

5.2 REVISIÓN DEL PLAN DE CONTINGENCIA

Se contempla que el PC sea revisado cada dos años a fin de incorporar la información nueva que se obtenga de los puntos de control. Es así como en este informe se realiza la revisión del periodo con información actualizada del periodo julio 2013 a junio 2015. Las revisiones realizadas al PC anteriormente se encuentran en los informes N°1, N°5, N°11, N°13. Por lo anterior en este último informe (N°17) se presenta una revisión completa al PC y a cada uno de los sistemas ambientales que lo componen, conforme a lo señalado en el Anexo II de la Adenda III del EIA del proyecto y en la RCA 226/2006.

Se debe señalar que esta revisión no incluye posibles modificaciones producto de la acción de terceros en la cuenca (Rockwood Lithium), las que pueden generar un descenso en los niveles que no tienen relación con la operación de SQM.

La revisión del PC se realizó en los siguientes términos:

- Revisión de los valores de activación en función de la información histórica recopilada (promedios, desviación estándar, descensos máximos)
- Revisión de los indicadores de estado, de manera de evaluar la necesidad de incluir o excluir algunos indicadores de estado de acuerdo a su relación con el comportamiento lacustre.

A continuación se presenta la revisión realizada para cada uno de los sistemas ambientales que componen el PC. En base a la revisión realizada se concluyó que no se deben realizar modificaciones al PC ya que los umbrales e indicadores representan el comportamiento de los sistemas y son capaces de prever situaciones anómalas.

5.2.1 Sistema Soncor

Este sistema está compuesto por tres lagunas principales, dos de las cuales (Chaxa y Barros Negros), se encuentran conectadas superficialmente a través de un canal natural. La tercera laguna es de menor tamaño (Puilar) y se ubica al este de las dos anteriores. El PC diseñado para este sistema busca proteger estos tres cuerpos lacustres, tanto de potenciales efectos del bombeo de salmuera desde el núcleo, como del bombeo de agua fresca desde el acuífero del Borde Este.

Los indicadores de estado de este sistema están compuestos por los pozos L1-5, L1-4 y L7-4 y la reglilla L1-G4 (agua superficial). El PC está diseñado en dos fases de modo de proveer además de la alerta temprana espacial (ubicación de indicadores alejados de las laguna que se quiere proteger), de una alerta temprana temporal. La Fase I fue definida como el valor mínimo histórico que no ha provocado efectos sobre los sistemas que se quiere proteger. Para el cálculo de la Fase II se determina el promedio de la cota del agua para el mes en que más frecuentemente se produce el mínimo del año, menos dos veces su desviación estándar. Esta metodología se aplicó para los pozos que activan el PC y así actualizar los estadígrafos con los registros extendidos hasta Junio de 2015.

La Tabla 5-2 y la Tabla 5-3 presentan la actualización de estadígrafos del PC asociado al sistema Soncor (coordenadas UTM WGS 84 huso 19S)

Tabla 5-2: Mínimo histórico con registros actualizados a junio de 2015

Pozo o reglilla	Mínimo histórico pre-operacional (msnm)	Mínimo histórico con registros a Junio 2015
L7-4	2.302,19	2.302,19
L1-4	2.299,75	2.299,75
L1-5	2.299,37	2.299,37
L1-G4	2299,37	2299,37
L1-G4 Reglilla	2299,37	2299,37

Fuente: Elaboración propia

Tabla 5-3: Estadígrafos con registros actualizados a junio de 2015

Pozo	Mes mínimo	Promedio (msnm)	Desviación estándar
L7-4	Abril	2.302,24	0,03
L1-4	Marzo	2.299,85	0,09
L1-5	Abril	2.299,54	0,16
L1-G4	Marzo	2.299,51	0,16
L1-G4 Reglilla	Marzo	2.299,51	0,16

Fuente: Elaboración propia

Como es de esperar para la Fase I los mínimos históricos se mantienen con los registros actualizados ya que así se define el umbral. Para la Fase II, si utilizamos los nuevos estadígrafos para el cálculo de los umbrales (L7-4: 2302,18; L1-4: 2299,67; L1-5: 2299,22; L1-G4: 2299,19; L1-G4 Reglilla: 2299,19 msnm) se presentan variaciones del orden de 1 a 2 cm, siendo más restrictivos en el caso de los pozos L1-5 y L7-4 y menos restrictivos para el caso de los pozos L1-G4 y L1-G4 Reglilla. Estas variaciones de 1 a 2 cm no justifican una modificación en los umbrales del PC dado que implica que los niveles se han comportado dentro de lo esperado y el sistema no ha presentado anomalías en su funcionamiento tolerando adecuadamente grandes variaciones hidrológicas estacionales e interanuales, sin que ello haya significado efectos detrimentales para tales sistemas.

5.2.2 Sistema Aguas de Quelana

Este sistema está compuesto por una serie de cuerpos lacustres desperdigados y sin continuidad ubicados al este del núcleo del Salar de Atacama, los que se busca proteger mediante el PC.

Respecto del sistema Aguas de Quelana, en el Considerando 11.3.1 de la RCA se definieron los valores de activación del PC de la Fase I y Fase II en términos de descensos máximos permitidos de acuerdo al mes de inicio del monitoreo en cada uno de los pozos (y no en términos de cota del nivel de la napa como en el caso del sistema Soncor). La definición de los umbrales en términos de descenso se explica porque los pozos contemplados en el PC para el sistema Aguas de Quelana, no habían sido construidos al momento de la elaboración del EIA. La definición de los descensos permitidos se realizó utilizando la información histórica

disponible de los pozos L2-4, L3-3 y L5-3 que se ubican en la zona hidrogeológica de interés y a su variación estacional, la que se mantiene al analizar el registro de datos extendido a Junio de 2015.

La Tabla 5-4 reproduce la Tabla 21 contenida en el Considerando 11.3.1 de la RCA e indica el descenso máximo permitido para el sistema Aguas de Quelana según el mes en que se inicie el monitoreo en cada pozo. Dado que el monitoreo se inició en mayo de 2007 el descenso máximo permitido es de 10 cm, respecto de la profundidad de la napa o de su cota medida en mayo de 2007 para la Fase I. En el caso de Fase II el descenso máximo permitido es de 13 cm.

La Tabla 5-5 muestra los umbrales (descenso máximo en cm) y su equivalente en cotas (msnm en datum UTM WGS 84) calculados a partir de los niveles registrados el día 10 de mayo de 2007 (6 pozos del PC del sistema Aguas de Quelana).

Dado que en este caso la definición de umbrales no conlleva el cálculo de estadígrafos, no se requiere la revisión de los mismos. Al igual que para el Sistema Soncor, se considera que el PC está funcionando de manera adecuada por lo que no existen motivos para introducir modificaciones.

Tabla 5-4: Descensos máximos permitidos en el nivel de agua de los indicadores de estado del sistema aguas de Quelana en función del mes de inicio del monitoreo

Mes	Descenso máximo (cm)	
	Fase I	Fase II
Enero	2	3
Febrero	2	3
Marzo	3	4
Abril	6	8
Mayo	10	13
Junio	14	17
Julio	16	19
Agosto	16	19
Septiembre	13	16
Octubre	11	13
Noviembre	8	10
Diciembre	5	7

Fuente: Anexo II . Plan de Contingencia – Adenda III EIA del proyecto

Tabla 5-5: Valores de activación del pc en el sistema aguas de Quelana

Pozo	Nivel registrado el 10/mayo/2007 (msnm)	Descenso máximo (cm)		Valores de activación (msnm)	
		Fase I	Fase II	Fase I	Fase II
L5-8	2.303,66	10	13	2.303,56	2.303,53
L4-8	2.301,28	10	13	2.301,18	2.301,15
L3-5	2.303,98	10	13	2.303,88	2.303,85
L3-9	2.300,35	10	13	2.300,25	2.300,22
L5-10	2.300,07	10	13	2.299,97	2.299,94
L4-12	2.299,73	10	13	2.299,63	2.299,60

Fuente: Elaboración propia

5.2.3 Sistema Vegetación Borde Este

El PC diseñado para este sistema busca proteger la vegetación presente en el Borde Este del Salar de Atacama del bombeo de agua industrial, y especialmente la vegetación hidromorfa y la arbustiva conectada con el acuífero (Figura 5-3). Este sistema además considera la utilización de pozos de alerta temprana ubicados entre la zona de protección y los pozos de bombeo de agua industrial.

De acuerdo a lo indicado en el considerando 11.4.1 de la RCA, los valores de activación del PC del sistema Vegetación Borde Este se definieron en términos de descensos máximos permitidos respecto del mes de inicio del monitoreo del PSAH.

Luego de construida la infraestructura de monitoreo del proyecto (mayo de 2007), algunos puntos de control del PC contemplados en la RCA fueron modificados, en virtud de la posición definitiva de los pozos de observación. Estas modificaciones se realizaron ya que se constató que algunos pozos no se ubicaban en las zonas de vegetación a monitorear de acuerdo al subsistema del PC al que pertenecían, o bien se ubicaban en zonas sin vegetación, lo que fue presentado en el Informe N°1 del PSAH.

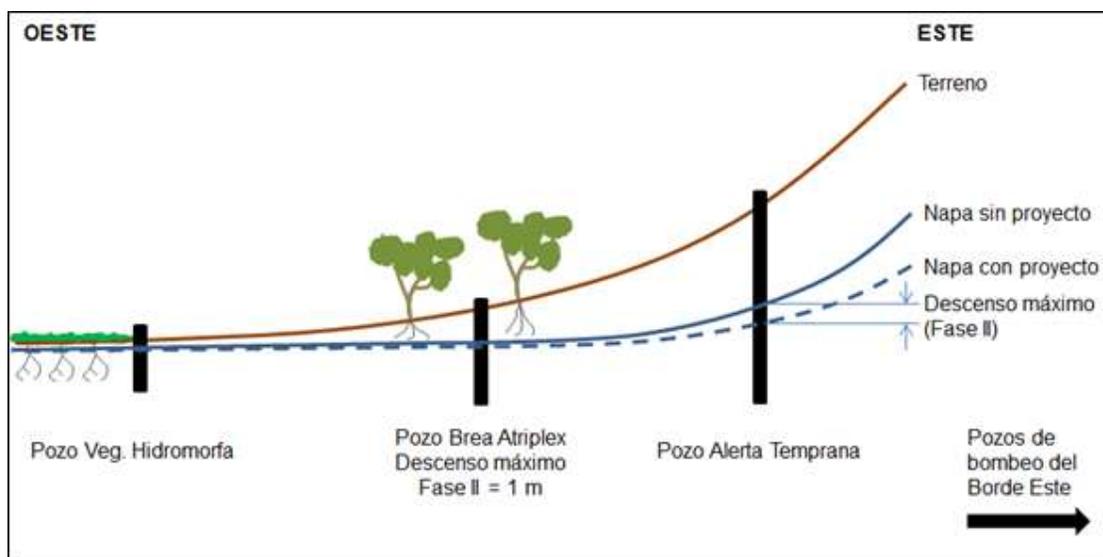
Estas modificaciones no son significativas desde una perspectiva hidrogeológica ya que se emplazan en el mismo acuífero del Borde Este y en un sector de comportamiento hidrogeológico similar (sustento conceptual de la definición de los umbrales del PC). Conforme a lo anterior, el PC actualizado posee 15 pozos que cubren parte importante del sector de vegetación del Borde Este y además se incluyen perfiles de pozos frente a cada uno de los pozos de bombeo de agua industrial.

En la Figura 5-2 (perfil esquemático del borde este del salar de Atacama) se puede observar hacia el oeste los pozos que alertan sobre potenciales efectos sobre la vegetación hidromorfa, posteriormente se encuentra ubicado el pozo que protege la vegetación Brea-Atriplex, donde el umbral de la Fase II es 1 m (para más detalle revisar la sección 5.2.3.1) y finalmente el lado más oriental, fuera de la vegetación y aguas abajo del pozos de bombeo de agua industrial, donde se ubica el pozo de alerta temprana.

Asimismo, la Figura 5-3 corresponde a la Figura II.5.1 del Anexo II de la Adenda III del EIA (Plan de Contingencia) y muestra un perfil vertical esquemático del suelo, donde se muestra la profundidad de las raíces (3 m), la profundidad máxima de la napa para la cual las especies pueden capturar la humedad proveniente del acuífero (6 m) y el espesor de la zona húmeda que representa el sector de suelo desde el cual las plantas obtienen el agua (recordar que las plantas no extienden sus raíces directamente en el acuífero, excepto la vegetación hidromorfa y/o freatófitas). El espesor de la zona húmeda fue determinado sobre la base de la textura del suelo descrita en el estudio de enraizamiento de la formación Brea-Atriplex (Anexo IV de la Adenda II del EIA). Esta zona presenta un espesor de 4 m, proyectándose desde el espejo de agua hacia la superficie del terreno (ver sección 2.3.1 del Anexo III de la Adenda III del EIA).

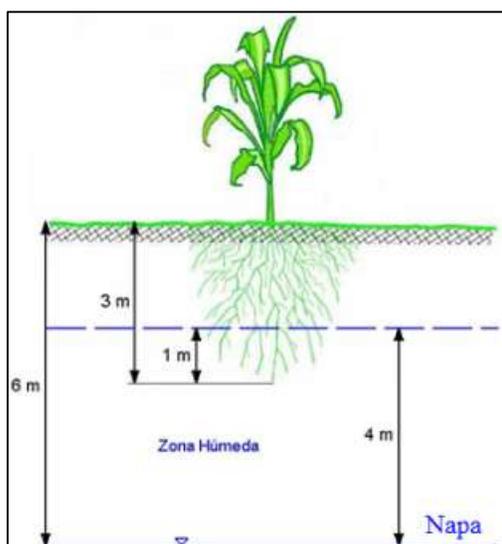
A continuación se presenta la revisión del PC de los 3 subsistemas que componen el sistema Vegetación Borde Este. En cada uno se indica cómo fueron definidos los umbrales y la revisión realizada de la que se concluye que no se realizan modificaciones al PC de este sistema.

Figura 5-2: Perfil vertical esquemático del borde este del salar de Atacama



Fuente: Elaboración propia

Figura 5-3: Perfil vertical esquemático del suelo en el límite oriental de la zona de conexión vegetación-acuífero



Fuente: Anexo II . Plan de Contingencia – Adenda III EIA del proyecto

5.2.3.1 Subsistema vegetación Brea-Atriplex

Para el caso del subsistema Vegetación Brea-Atriplex los descensos máximos permitidos fueron definidos en función de la profundidad de las raíces. De acuerdo al “*Estudio de profundidad de raíces en Tessaria absinthioides y Atriplex atacamensis, en sector oriental del Borde Este del Salar de Atacama*” (Anexo IV de la Adenda II del EIA), la profundidad de las raíces de estas especies varía entre 1 y 3 m (promedio de 2 m).

De acuerdo a este análisis y tal como se indicó anteriormente las plantas poseen 1 m de sus raíces en la zona húmeda del suelo y por lo tanto, si se disminuye el nivel del acuífero en 1 m, se puede suponer que la zona húmeda disminuirá de manera concomitante, dejando las raíces “colgadas” respecto de su fuente de agua (zona húmeda). De este modo se explica el umbral de 1 m, en términos de descenso, definido para la Fase II de este subsistema.

Dado que el PC se divide en dos fases, se consideró un descenso máximo para los pozos de este subsistema de 50 cm para la Fase I y de 100 cm para la Fase II. En ambos casos, los descensos fueron definidos independientemente del registro de niveles del agua subterránea y se basaron en la configuración reticular de la vegetación explicada en la Figura 5-2, la que es relativamente homogénea a lo largo del Borde Este del Salar de Atacama.

En la Tabla 5-6 se muestran los valores de activación (datum UTM WGS 84) para este subsistema los que no se modifican dado que fueron definidos en función de la profundidad de las raíces, tal como se señaló anteriormente.

Tabla 5-6: Valores de activación del PC en el subsistema vegetación Brea-Atriplex

Pozo	Nivel registrado el 10/mayo/2007 (msnm)	Descenso máximo (cm)		Valores de activación (msnm)	
		Fase I	Fase II	Fase I	Fase II
L7-14	2.315,73	0,50	1,00	2.315,23	2.314,73
L1-3	2320,42	0,50	1,00	2.319,92	2.319,42
L2-25	2.308,77	0,50	1,00	2.308,27	2.307,77
L3-3	2.311,20	0,50	1,00	2.310,70	2.310,20
L4-17	2.306,45	0,50	1,00	2.305,95	2.305,45
L9-2	2.308,93	0,50	1,00	2.308,43	2.307,93

Fuente: Elaboración propia

5.2.3.2 Subsistema vegetación Hidromorfa

Para el caso del subsistema Vegetación Hidromorfa, los descensos máximos permitidos fueron definidos en función de:

- la profundidad de las raíces, descrita en el Anexo IV de la Adenda III del EIA del proyecto, lo que define un descenso máximo independiente de la posición de los pozos de monitoreo y del caudal de bombeo de los pozos de agua industrial del proyecto, y

- la fluctuación estacional del acuífero que es homogénea a lo largo de todo el sistema Aguas de Quelana, lo que define un valor dependiendo del mes en que se inicia el monitoreo,

Estableciéndose un descenso máximo de 28 cm para la Fase I y 33 cm para la Fase II. Tal como se señaló los descensos dependen de la profundidad de las raíces por lo que no se modifican a menos que se pueda indicar lo contrario en base a un estudio de éstas.

Cabe señalar que el umbral de la Fase II quedó definido durante la evaluación ambiental del proyecto, mediante oficio Ord. N°693 del Servicio Agrícola y Ganadero (SAG), de fecha 4 de octubre de 2006, el cual se pronunció favorablemente respecto del EIA del proyecto “Cambios y Mejoras de la Operación Minera en el Salar de Atacama”, e indicó que su pronunciamiento favorable quedaría condicionado a la incorporación y estricto cumplimiento de varios puntos indicados en el oficio citado. Específicamente, en el quinto punto se solicitó *“Corregir los valores señalados en la Tabla II.5.1 (página 25 Anexo II – Plan de Contingencia – Adenda III) para la Fase II, ya que éstos solo deberían ser 5 cm más elevados que los valores correspondientes a la Fase I indicados en la misma Tabla”*.

En la Tabla 5-7 se presentan los valores de activación para vegetación hidromorfa expresados en msnm (datum UTM WGS 84).

Tabla 5-7. Valores de activación para vegetación hidromorfa expresados en msnm.

Pozo	Cota mayo 2007	Cota Fase I (msnm)	Cota Fase II (msnm)
L7-3	2.313,66	2.313,38	2.313,33
L1-17	2.306,58	2.306,30	2.306,25
L2-4	2.303,48	2.303,20	2.303,15
L3-5	2.303,98	2.303,70	2.303,65

Fuente: Elaboración propia

5.2.3.3 Subsistema Alerta Temprana

Los pozos de Alerta Temprana del sistema Vegetación Borde Este están ubicados entre la vegetación Brea-Atriplex y los pozos de bombeo de agua industrial del proyecto. Estos pozos tienen el propósito de anticipar los potenciales efectos del bombeo de agua sobre las formaciones vegetales que son objeto de protección. Tal como se indicó anteriormente, la Figura 5-2 muestra un perfil esquemático del subsuelo del Borde Este, donde se muestran los pozos de Alerta Temprana, los pozos de la Vegetación Brea-Atriplex y los pozos de la Vegetación Hidromorfa. Hacia el este del diagrama se ubican los pozos de bombeo de agua industrial del proyecto.

Como parte del diseño del PC presentado en el EIA, se confeccionaron 5 modelos numéricos locales del sector Borde Este del Salar de Atacama, uno para cada pozo de bombeo de agua industrial: Mullay, Allana, Camar 2, Socaire 5B y P2. Conceptualmente lo que se buscó con estos modelos fue determinar el máximo descenso permitido en los pozos de Alerta Temprana de modo de asegurar que el nivel de los pozos de la Vegetación Brea-Atriplex no descendiera más de 1 m (umbral Fase II) al final de la operación del proyecto.

En la Figura 5-2 se observa de manera esquemática el máximo descenso en el pozo de alerta temprana que asegura un descenso igual o inferior a un metro en el pozo de vegetación Brea-Atriplex. Cabe señalar que el valor del pozo de alerta temprana considera la activación del PC en su fase II, considerando una disminución del caudal de bombeo de agua industrial de un 50% en el pozo más cercano.

Dado que parte de los pozos contemplados en el PC del subsistema Alerta Temprana no estaban construidos al momento de diseñarse el PC y que su ubicación definitiva varía ligeramente respecto de las coordenadas indicadas en la RCA, los descensos de la Fase II del PC para los pozos de alerta temprana fueron actualizados en el Informe N°1 del PSAH a través de nuevas simulaciones utilizando estos modelos locales, esta vez considerando la posición definitiva de los pozos del PC.

En la Tabla 5-8 se presentan los valores de activación de la Fase II para Borde Este en msnm (datum UTM WGS 84).

Tabla 5-8. Valores de activación Fase II para Borde Este

Pozo	Cota Mayo 2007	Descenso para activación de la Fase II (m)	Cota Fase II
L7-13	2.323,67	1,42	2.322,25
L2-26	2.318,80	0,78	2.318,02
L3-15	2.316,20	0,85	2.315,35
L4-3	2.303,56*	0,92	2302,64
L9-1	2.309,75	0,87	2.308,88

* Corresponde al mínimo histórico

Fuente: Elaboración propia

Dado que los umbrales de este subsistema fueron calculados a través de modelación y que los niveles del acuífero se han comportado dentro de lo previsto, no se considera necesario realizar una actualización de los valores indicadores de estado y de los valores de activación, de este subsistema.

5.2.4 Sistema Peine

Acorde a la obligación señalada en la RCA 226/2006 sobre la realización de un plan de contingencia para el sistema Peine, en el Informe N°8 del PSAH se presentó el PC requerido para este sistema donde se establecieron medidas de monitoreo, factores de activación y medidas de contingencia a adoptar en caso que se presentara algún riesgo al sistema. Ello sin perjuicio de las precisiones realizadas con respecto a las particularidades del Sistema Peine y a la probable repercusión de actividades de terceros sobre las lagunas.

A pesar de estas consideraciones, el PC para el Sistema de Peine, remitido en el Informe N° 8 y vigente desde el año 2011, consiste en:

- i. Continuar con el monitoreo del Sistema Peine, utilizando para ello los puntos de control contemplados y operativos del PSAH.

- ii. En base a la información histórica recopilada, comunicar a la autoridad ambiental en caso de observar variaciones anómalas en el nivel de las lagunas.
- iii. En base a la información histórica que se disponga, comunicar a la autoridad ambiental en caso de observar variaciones anómalas en el tamaño de las lagunas.

La información recopilada hasta la fecha se ha reportado en los informes sucesivos del PSAH, se concluye que no se han registrado alteraciones en el Sistema de Peine.

5.3 MONITOREO DE VARIABLES DEL PLAN DE SEGUIMIENTO AMBIENTAL HIDROGEOLÓGICO

En este capítulo se presentan los registros de mediciones efectuadas hasta junio de 2015 en los puntos indicados en la Figura 4-5, agrupados según los siguientes sistemas:

- Soncor
- Aguas de Quelana
- Peine
- Vegetación Borde Este
- Vegas de Tilopozo
- Núcleo del Salar de Atacama y
- Cuña Salina

Las variables monitoreadas en cada uno de estos sistemas han sido agrupadas de la siguiente forma:

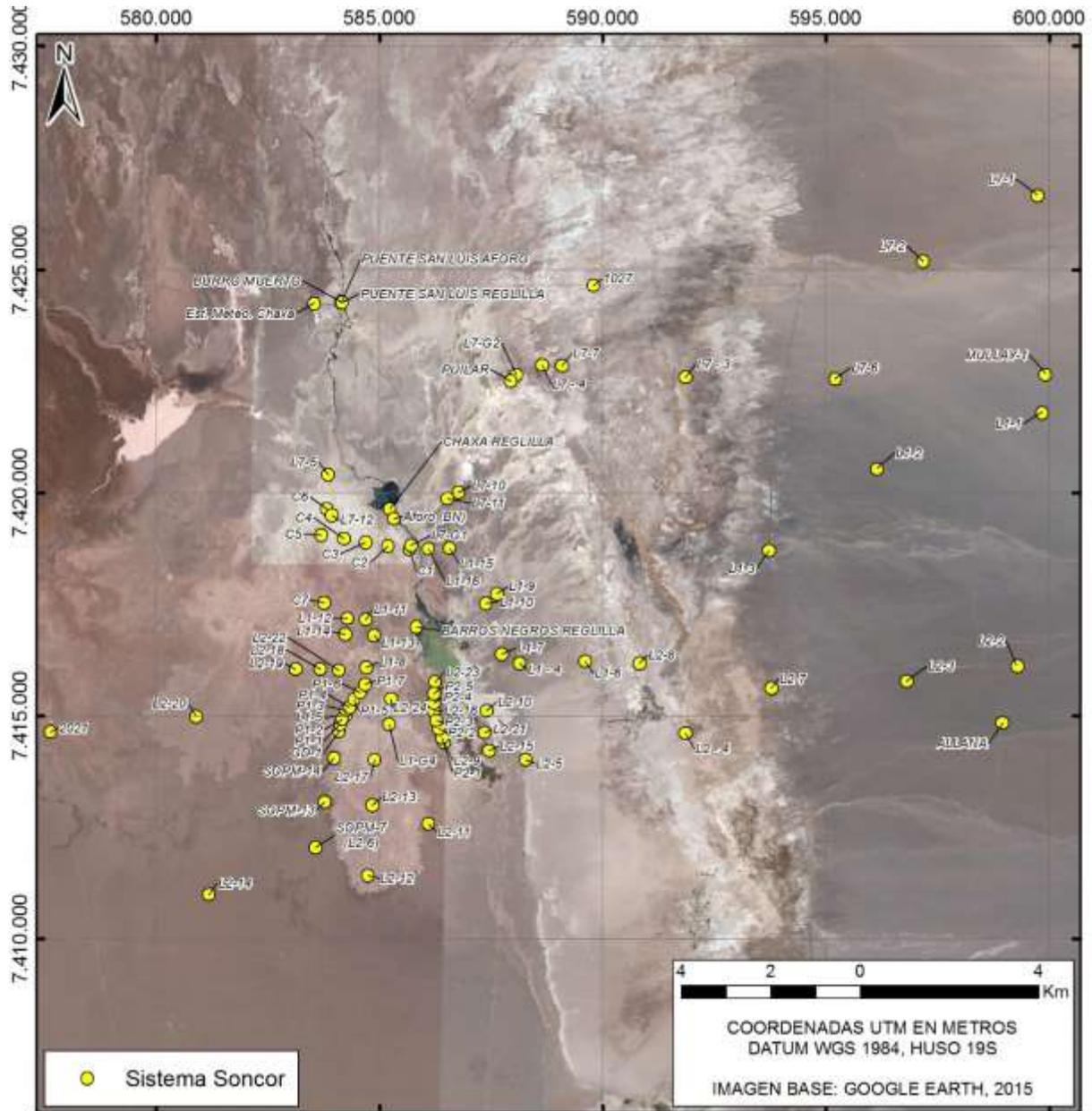
- nivel del agua (subterránea y superficial)
- meteorología
- caudal bombeado
- calidad química
- aforos de caudal y
- superficie lacustre

5.3.1 Sistema Soncor

Los puntos de control de este sistema se encuentran entre las coordenadas 7.445.000 a 7.410.000 norte y 575.000 a 600.000 este. En la Figura 5-4 y en la Figura 5-5 se muestra la distribución geográfica de los puntos de monitoreo de este sistema.

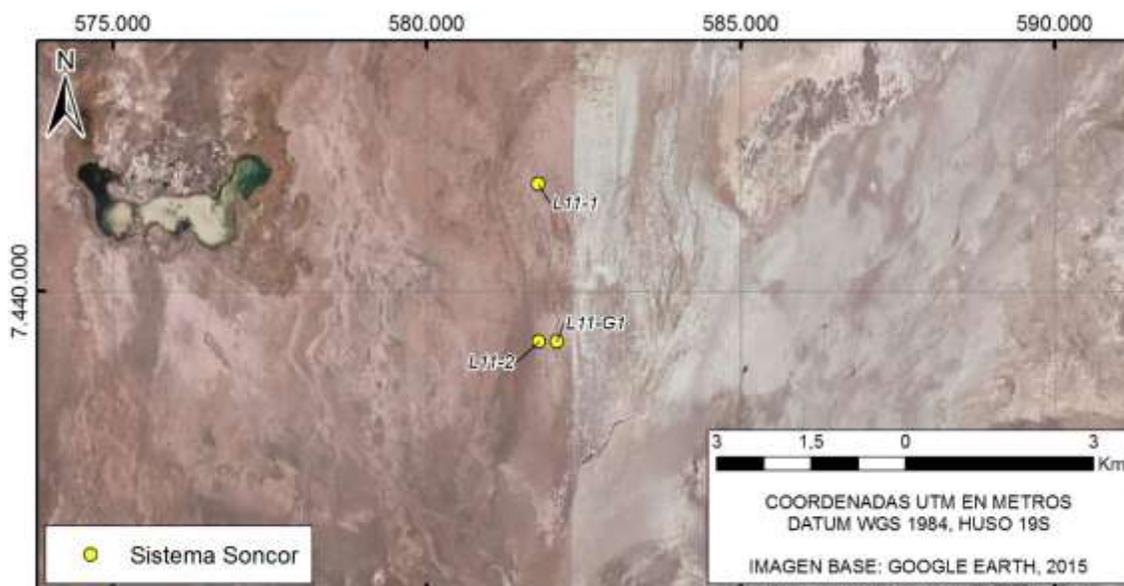
En la Tabla 5-9 se indica los puntos de monitoreo del sistema Soncor, clasificados de acuerdo a la zona donde están emplazados (zona marginal o aluvial y sector de salmuera) y a su tipología (pozo profundo, pozo somero, reglilla, medición continua y nivel lacustre). Adicionalmente, se indica el número de página donde se muestra el gráfico de registro de nivel.

Figura 5-4: Distribución geográfica de puntos de monitoreo del sistema Soncor. Perfil L11 se presenta en Figura 5-5



Fuente: Elaboración propia

Figura 5-5: Distribución geográfica del perfil L11 del sistema Soncor



Fuente: Elaboración propia

Tabla 5-9: Puntos de monitoreo del sistema Soncor

Punto de monitoreo	Clasificación	Tipología	Pág.	Punto de monitoreo	Clasificación	Tipología	Pág.
L1-1	Zona aluvial	Pozo profundo	92	1027	Zona marginal	Pozo somero	97
L1-2	Zona aluvial	Pozo profundo	92	RC-1	Zona marginal	Pozo somero	98
L1-3	Zona aluvial	Pozo somero	93	RC-2	Zona marginal	Pozo somero	99
L2-2	Zona aluvial	Pozo profundo	93	RC-3	Zona marginal	Pozo somero	99
L2-3	Zona aluvial	Pozo profundo	94	RC-4	Zona marginal	Pozo somero	100
L2-7	Zona aluvial	Pozo profundo	94	RC-5	Zona marginal	Pozo somero	100
L7-1	Zona aluvial	Pozo profundo	95	RC-6	Zona marginal	Pozo somero	101
L7-2	Zona aluvial	Pozo profundo	95	RC-7	Zona marginal	Pozos somero	101
L7-6	Zona marginal	Pozo profundo	95	GD-01	Zona marginal	Pozo profundo	102
Mullay-1	Zona aluvial	Pozo profundo	96	L1-4	Zona marginal	Pozo somero	102
Allana	Zona aluvial	Pozo profundo	97	L1-5	Zona marginal	Pozo profundo	103

Punto de monitoreo	Clasificación	Tipología	Pág.
L1-6	Zona marginal	Pozo somero	103
L1-7	Zona marginal	Pozo somero	104
L1-8	Zona marginal	Pozo somero	104
L1-9	Zona marginal	Pozo somero	105
L1-10	Zona marginal	Pozo somero	105
L1-11	Zona marginal	Pozo somero	106
L1-12	Zona marginal	Pozo somero	106
L1-13	Zona marginal	Pozo somero	107
L1-14	Zona marginal	Pozo somero	107
L1-15	Zona marginal	Pozo somero	108
L1-16	Zona marginal	Pozo somero	108
L2-4	Zona marginal	Pozo somero	109
L2-5	Zona marginal	Pozo profundo	109
L2-8	Zona marginal	Pozo somero	110
L2-10	Zona marginal	Pozo somero	110
L2-11	Zona marginal	Pozo somero	111
L2-12	Zona marginal	Pozo somero	111
L2-13	Zona marginal	Pozo somero	112
L2-15	Zona marginal	Pozo somero	112
L2-17	Zona marginal	Pozo somero	113
L2-18	Zona marginal	Pozo somero	113
L2-19	Zona marginal	Pozo somero	114
L2-21	Zona marginal	Pozo somero	114

Punto de monitoreo	Clasificación	Tipología	Pág.
L2-22	Zona marginal	Pozo somero	115
L2-24	Zona marginal	Pozo somero	115
L7-3	Zona marginal	Pozo somero	116
L7-4	Zona marginal	Pozo somero	116
L7-5	Zona marginal	Pozo somero	117
L7-7	Zona marginal	Pozo somero	118
L7-10	Zona marginal	Pozo somero	118
L7-11	Zona marginal	Pozo somero	119
L7-12	Zona marginal	Pozo somero	119
L11-1	Zona marginal	Pozo somero	120
L11-2	Zona marginal	Pozo somero	120
L1-G4	Zona marginal	Reglilla	122
L7-G1	Zona marginal	Reglilla	122
L7-G2	Zona marginal	Reglilla	124
Puente. San Luis	Zona marginal	Reglilla	124
Burro Muerto	Zona marginal	Reglilla	127
L11-G1	Zona marginal	Reglilla	128
P1-1	Zona marginal	Continuo	129
P1-2	Zona marginal	Continuo	129
P1-3	Zona marginal	Continuo	130
P1-4	Zona marginal	Continuo	131
P1-5	Zona marginal	Continuo	131
P1-6	Zona marginal	Continuo	132

Punto de monitoreo	Clasificación	Tipología	Pág.
P1-7	Zona marginal	Continuo	132
L2-9	Zona marginal	Continuo	133
P2-1	Zona marginal	Continuo	133
P2-2	Zona marginal	Continuo	134
P2-3	Zona marginal	Continuo	134
L2-16	Zona marginal	Continuo	135
P2-4	Zona marginal	Continuo	135
P2-5	Zona marginal	Continuo	136
L2-23	Zona marginal	Continuo	136
2021	Zona marginal	Continuo	137
SOPM-07	Salmuera	Pozo profundo	138
SOPM-13	Salmuera	Pozo somero	138
SOPM-14	Salmuera	Pozo somero	139
L2-14	Salmuera	Pozo somero	139

Punto de monitoreo	Clasificación	Tipología	Pág.
L2-20	Salmuera	Pozo somero	140
Barros Negros	Zona marginal	Lacustre	141
Puilar	Zona marginal	Lacustre	142
Chaxa	Zona marginal	Lacustre	143
Estación meteorológica Chaxa	Zona marginal	Estación Meteorológica	144
Mullay	Zona Aluvial	Pozo de bombeo	147
Allana	Zona Aluvial	Pozo de bombeo	147
Aforo Barros Negros	Zona Marginal	Aforo	175
Puente San Luis aforo	Zona marginal	Aforo	176

Fuente: Elaboración propia

5.3.1.1 Nivel del agua subterránea y superficial

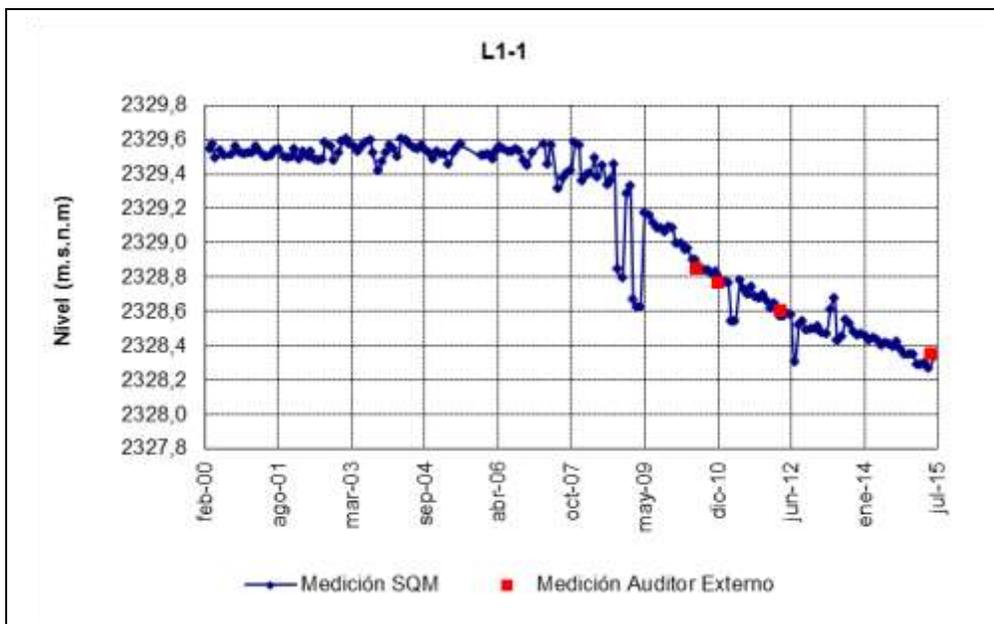
En esta sección se presentan los niveles de todos los pozos y reglillas que componen la red de monitoreo del PSAH para el sistema Soncor, niveles representados gráficamente desde la Figura 5-6 a la Figura 5-100. Los pozos L1-3, L2-4 y L7-3 (Figura 5-8, Figura 5-39 y Figura 5-53, respectivamente) forman parte del monitoreo de niveles de los sistemas Soncor y Vegetación Borde Este y serán presentados sólo en esta sección.

Dentro del periodo correspondiente al presente informe, Arcadis realizó mediciones (junio de 2015) en este sistema en los pozos L11-1, L11-2, L11-G1, L1-G4 (reglilla), reglilla Chaxa, reglilla Barros Negros, L1-1, L1-2, L7-1, L7-2, L7-6, L1-4, L1-5, L1-6, L1-7, L1-8, L1-9, L1-10, L1-11, L1-12, L1-13, L1-14, L1-15, L1-16, L2-23, L2-16, P1-1, P1-4, P1-7, P2-1, P2-3, P2-5.

5.3.1.1.1 Pozos en zona aluvial

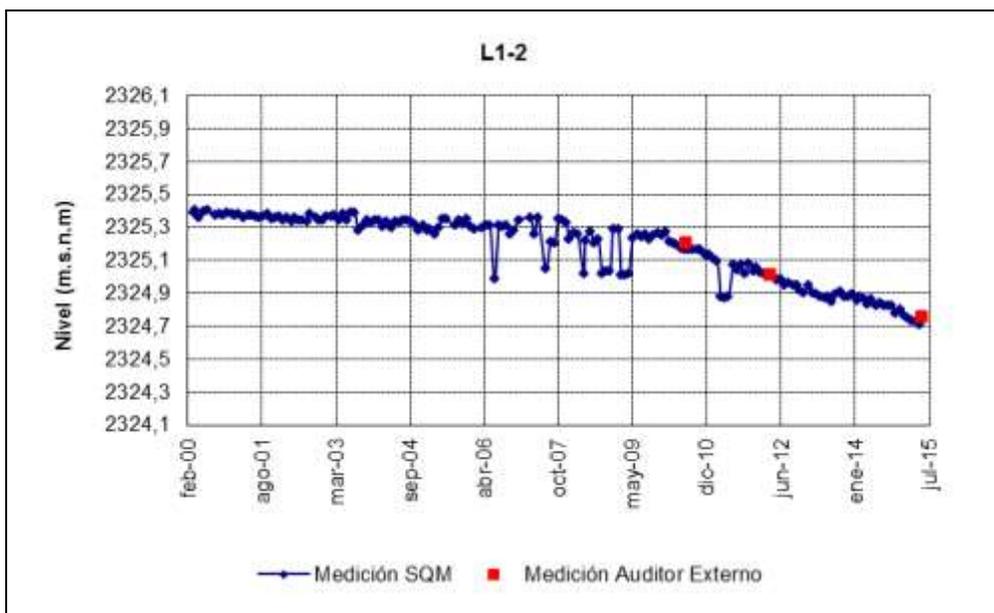
De la Figura 5-6 a la Figura 5-16 se presentan los pozos de la zona aluvial del Sistema Soncor.

Figura 5-6: Nivel mensual observado en el pozo L1-1



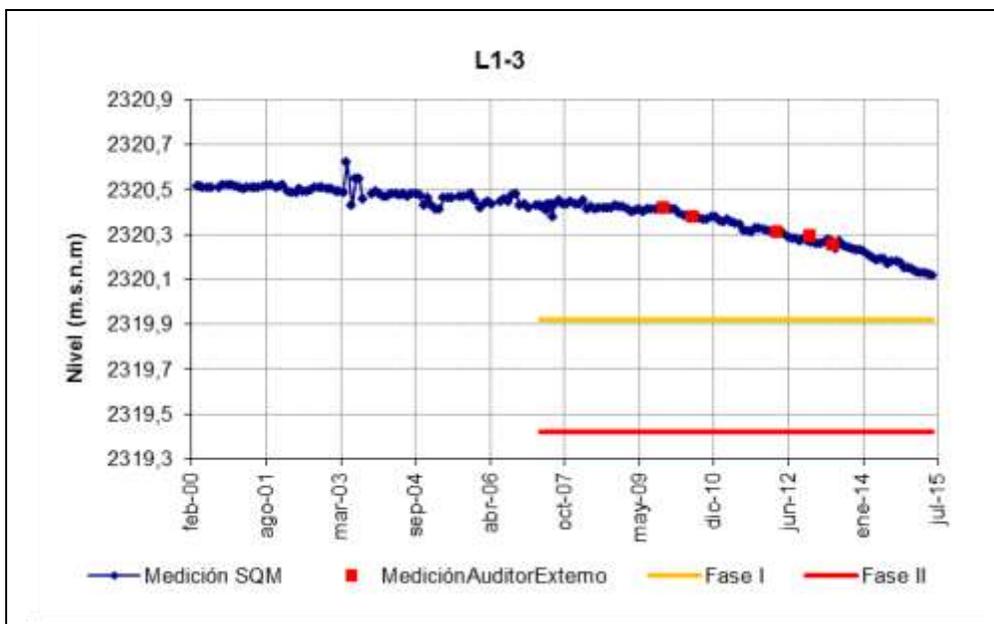
Fuente: Elaboración propia

Figura 5-7: Nivel mensual observado en el pozo L1-2



Fuente: Elaboración propia

Figura 5-8: Nivel mensual observado en el pozo L1-3



Fuente: Elaboración propia

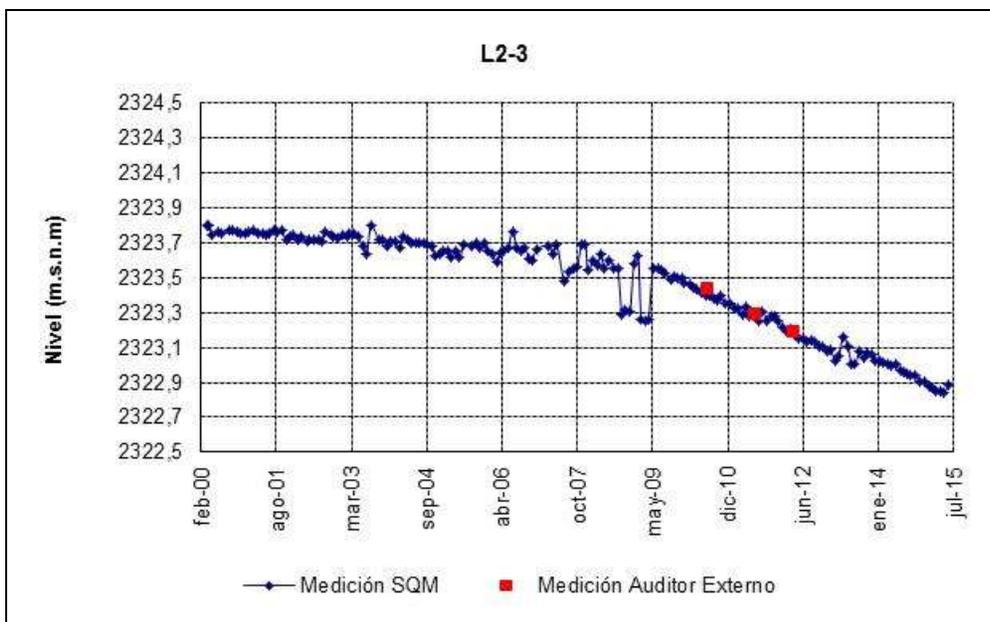
Figura 5-9: Nivel mensual observado en el pozo L2-2.³



Fuente: Elaboración propia

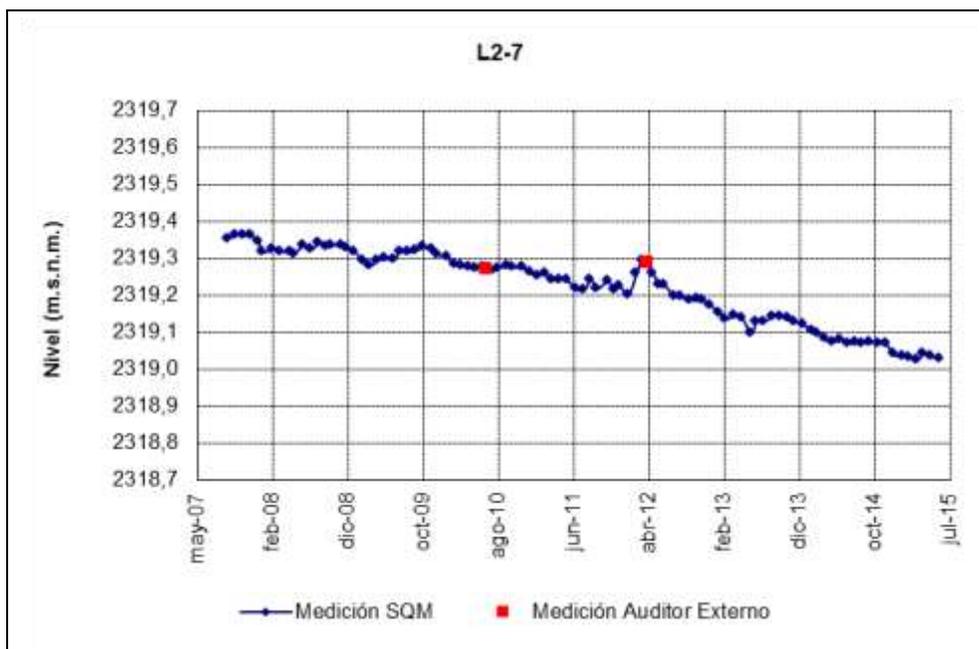
³ La diferencia observada entre la primera medición SQM y DICTUC S.A. se explica porque éstas fueron realizadas en diferentes fechas y es un pozo que posee gran variación por su cercanía a un pozo de bombeo de agua industrial.

Figura 5-10: Nivel mensual observado en el pozo L2-3



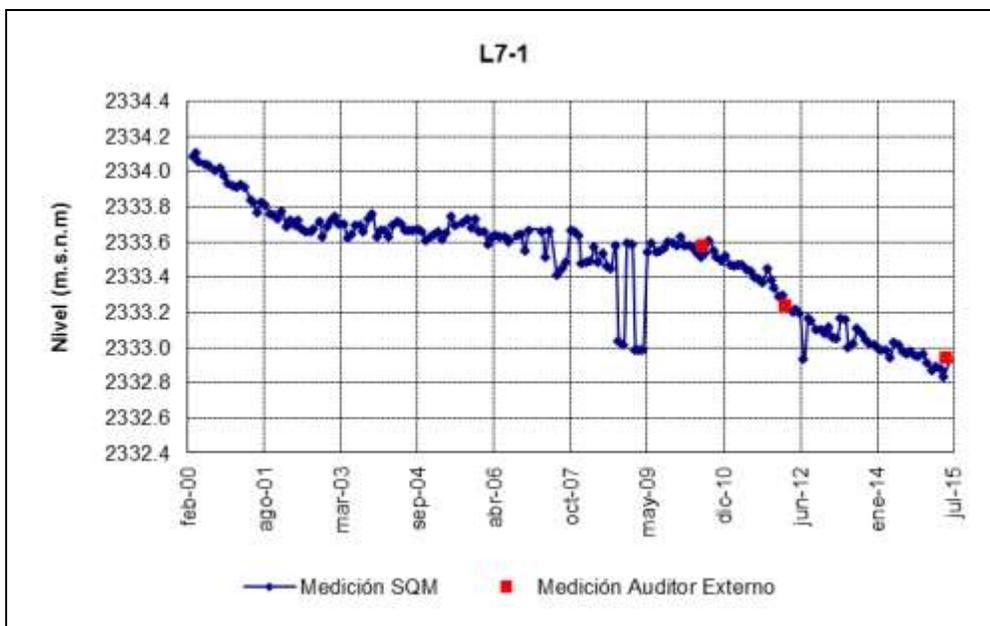
Fuente: Elaboración propia

Figura 5-11: Nivel mensual observado en el pozo L2-7



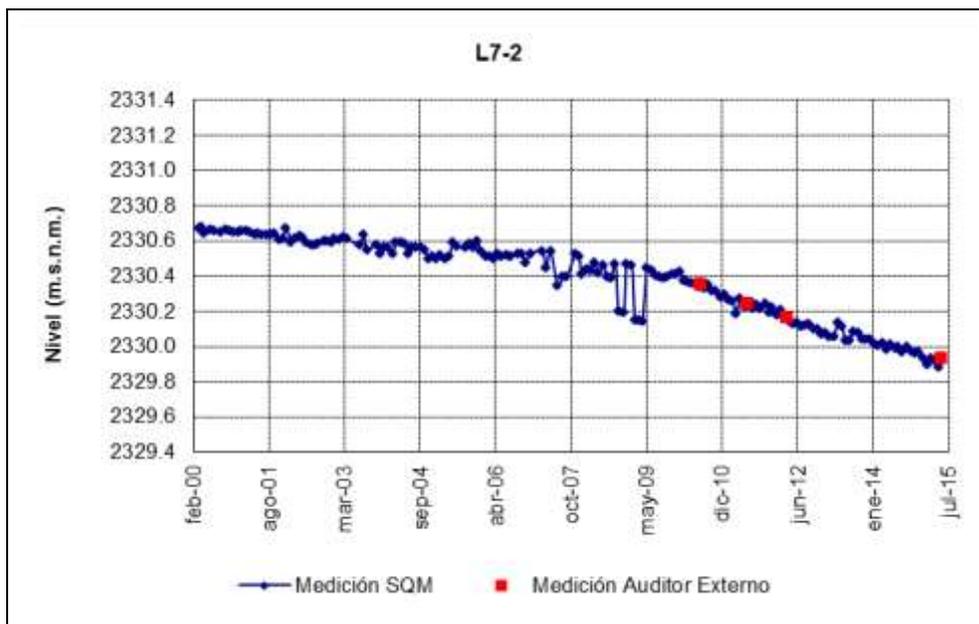
Fuente: Elaboración propia

Figura 5-12: Nivel mensual observado en el pozo L7-1



Fuente: Elaboración propia

Figura 5-13: Nivel mensual observado en el pozo L7-2



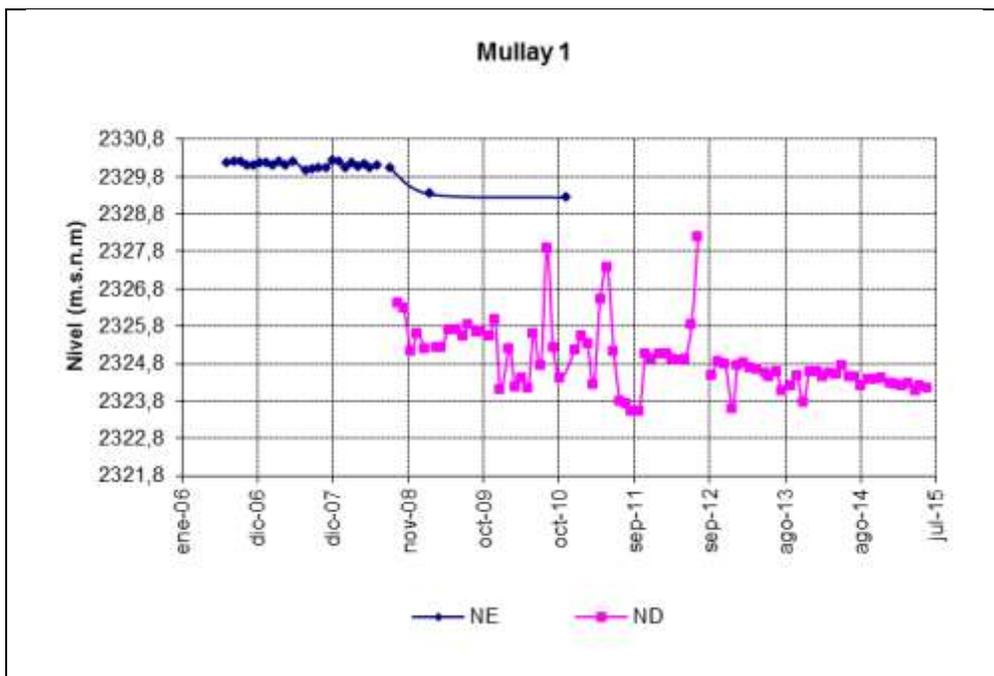
Fuente: Elaboración propia

Figura 5-14: Nivel mensual observado en el pozo L7-6



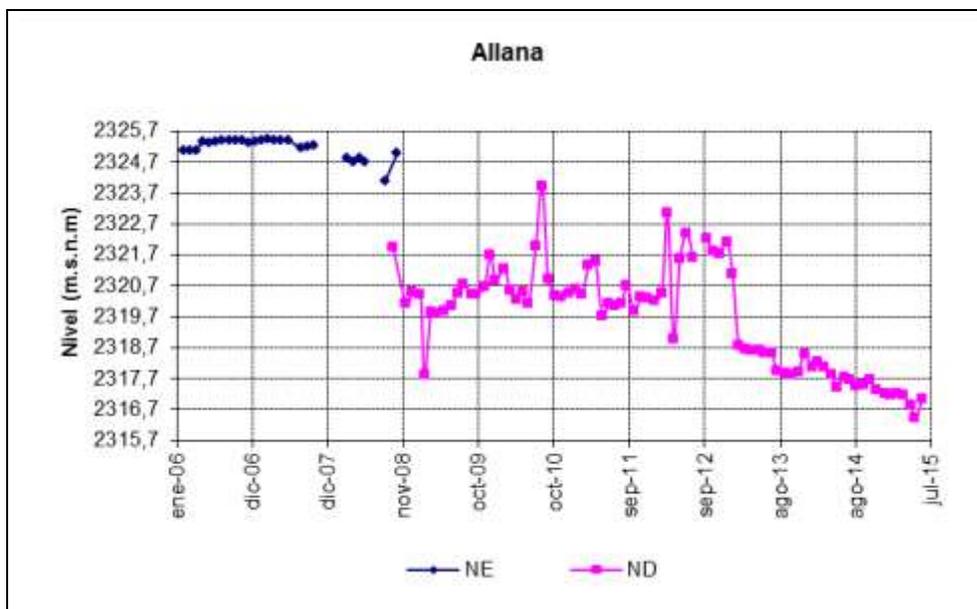
Fuente: Elaboración propia

Figura 5-15: Nivel mensual observado en el pozo de bombeo Mullay 1



Fuente: Elaboración propia

Figura 5-16: Nivel mensual observado en el pozo de bombeo Allana



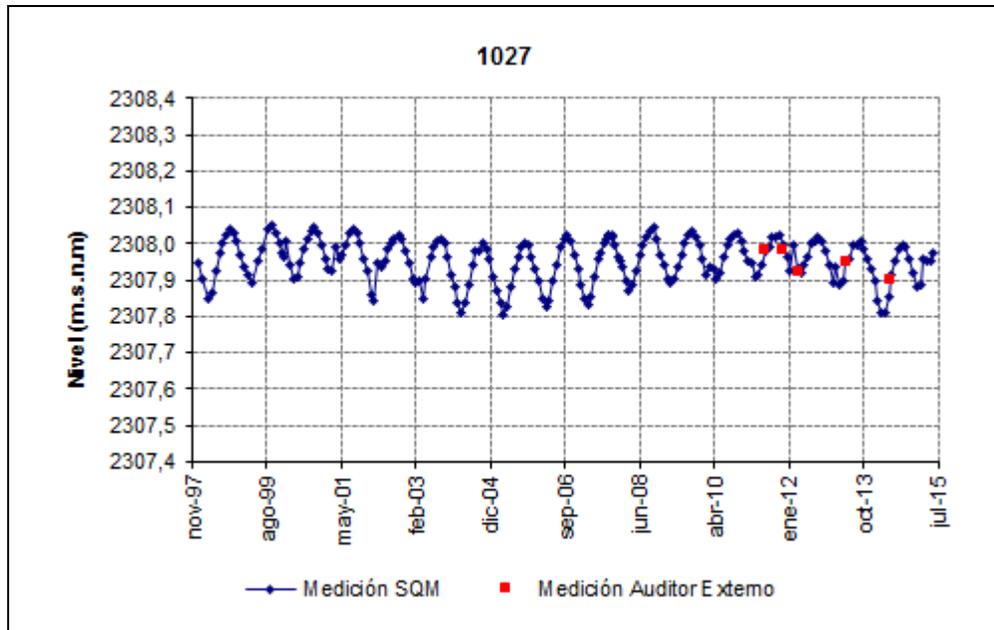
Fuente: Elaboración propia

5.3.1.1.2 Pozos en zona marginal

En marzo de 2015, no se pudo realizar mediciones en los pozos L11-1, L11-2 y L11-G1 como consecuencia de los daños producidos en el camino de acceso por la lluvias del verano.

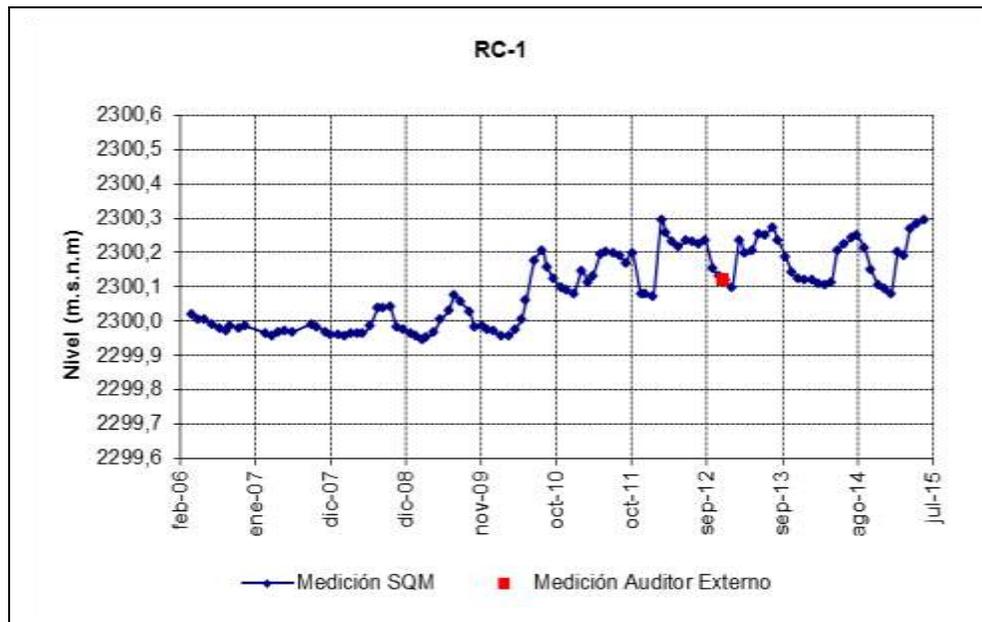
Los gráficos de tendencia de esta zona se presentan desde la Figura 5-17 a Figura 5-62.

Figura 5-17: Nivel mensual observado en el pozo 1027



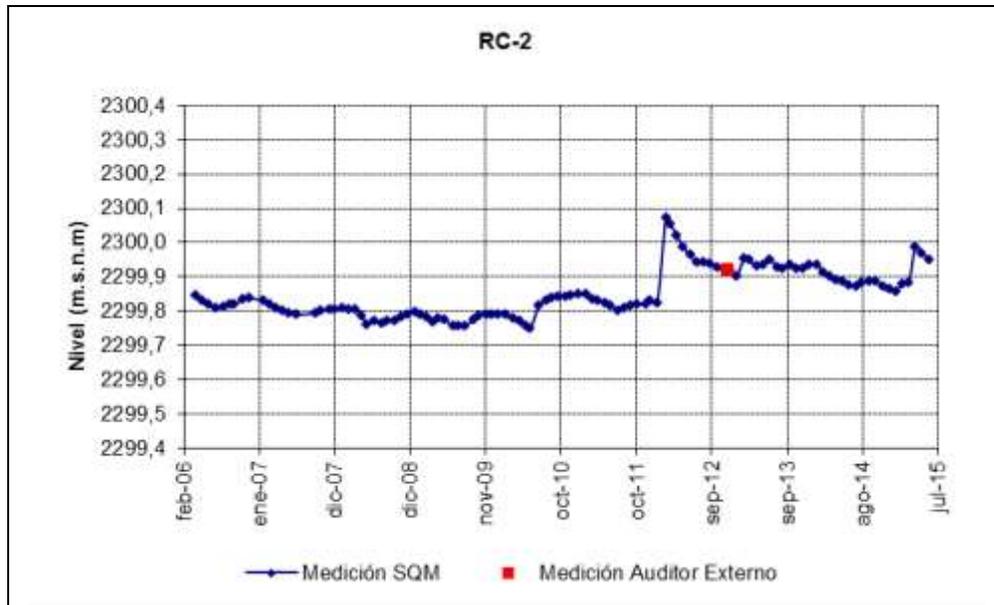
Fuente: Elaboración propia

Figura 5-18: Nivel mensual observado en el pozo RC-1



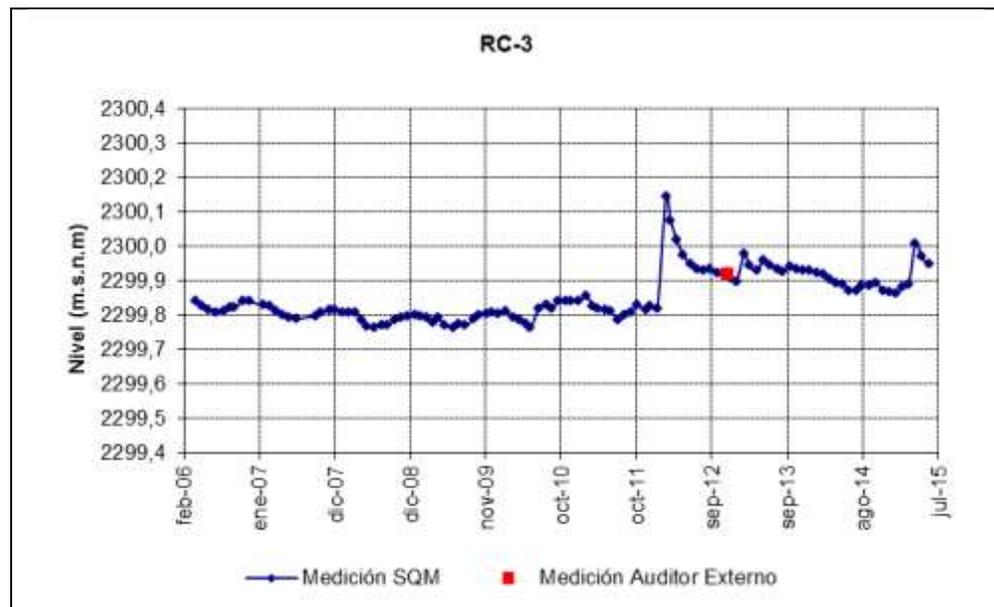
Fuente: Elaboración propia

Figura 5-19: Nivel mensual observado en el pozo RC-2



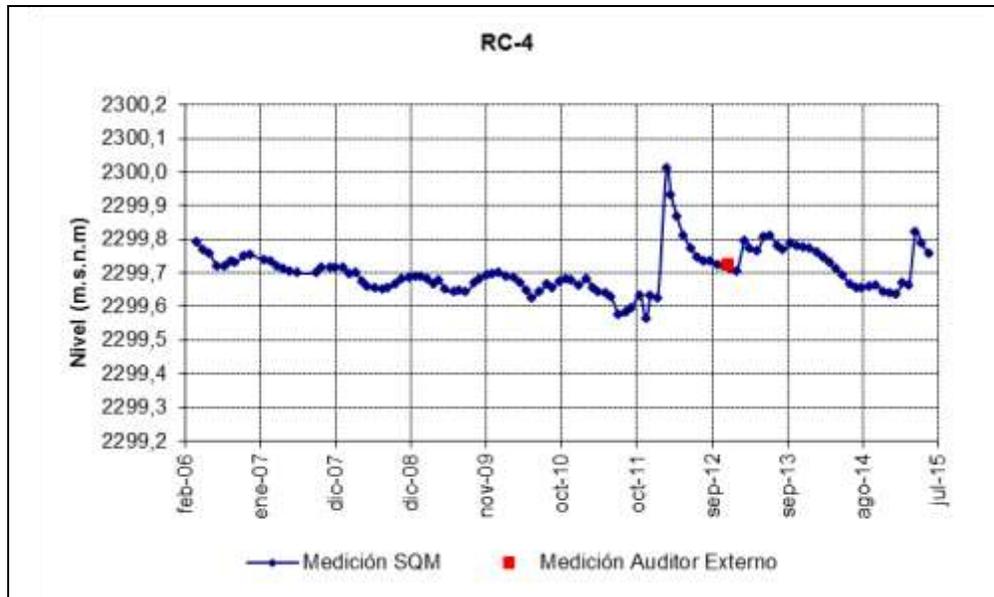
Fuente: Elaboración propia

Figura 5-20: Nivel mensual observado en el pozo RC-3



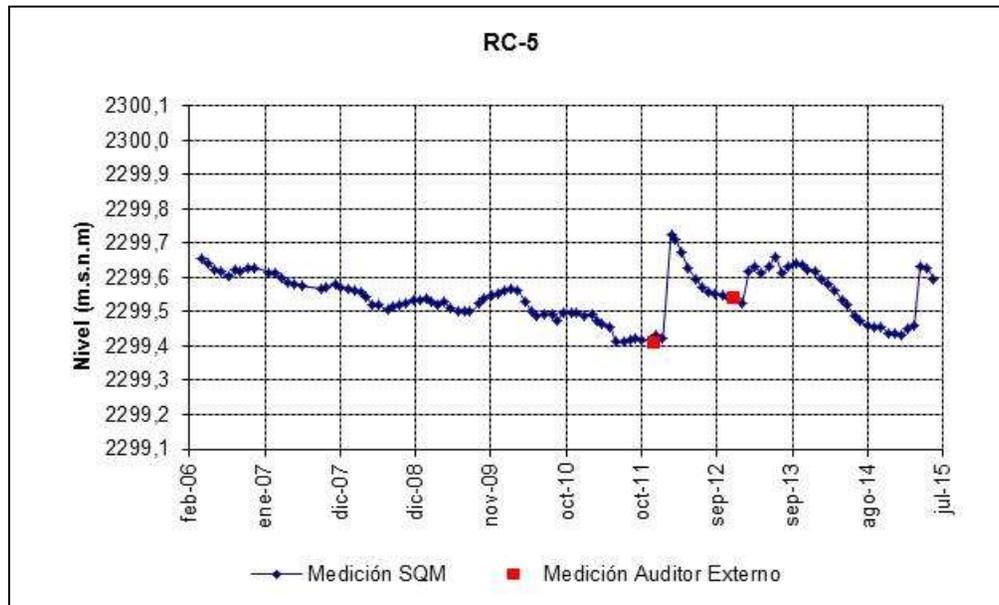
Fuente: Elaboración propia

Figura 5-21: Nivel mensual observado en el pozo RC-4



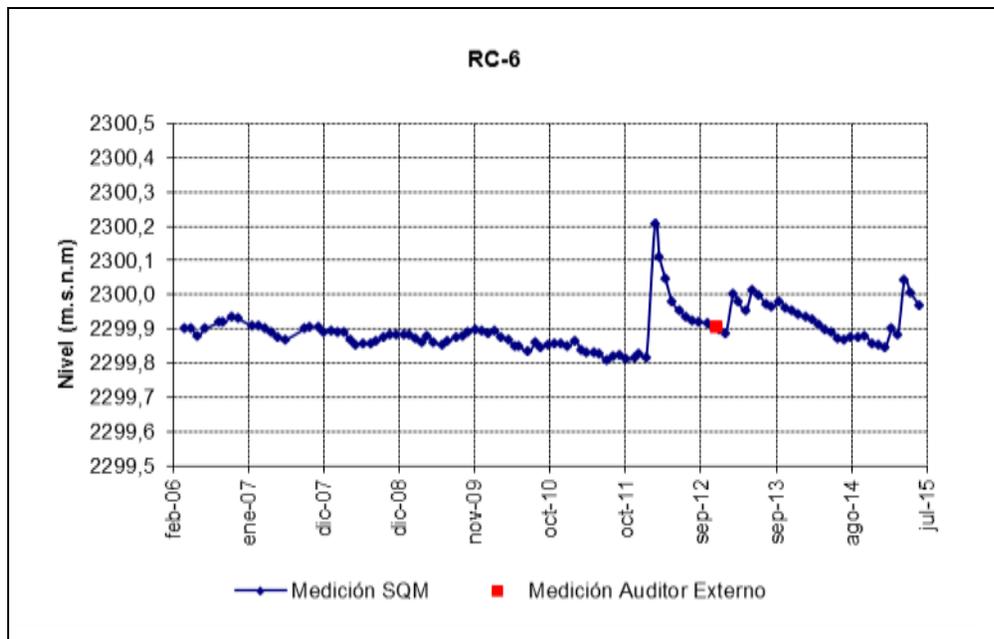
Fuente: Elaboración propia

Figura 5-22: Nivel mensual observado en el pozo RC-5



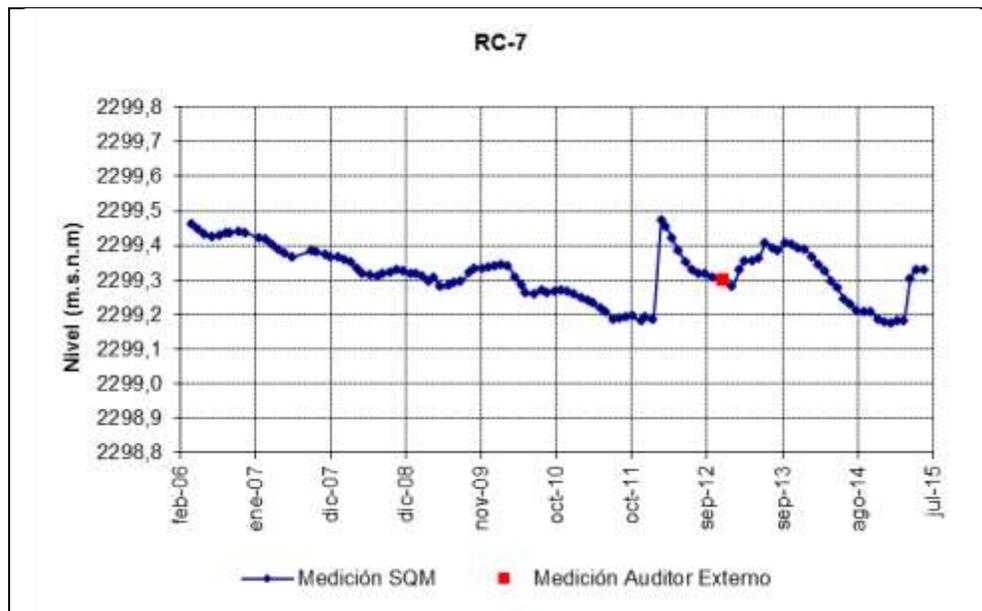
Fuente: Elaboración propia

Figura 5-23: Nivel mensual observado en el pozo RC-6



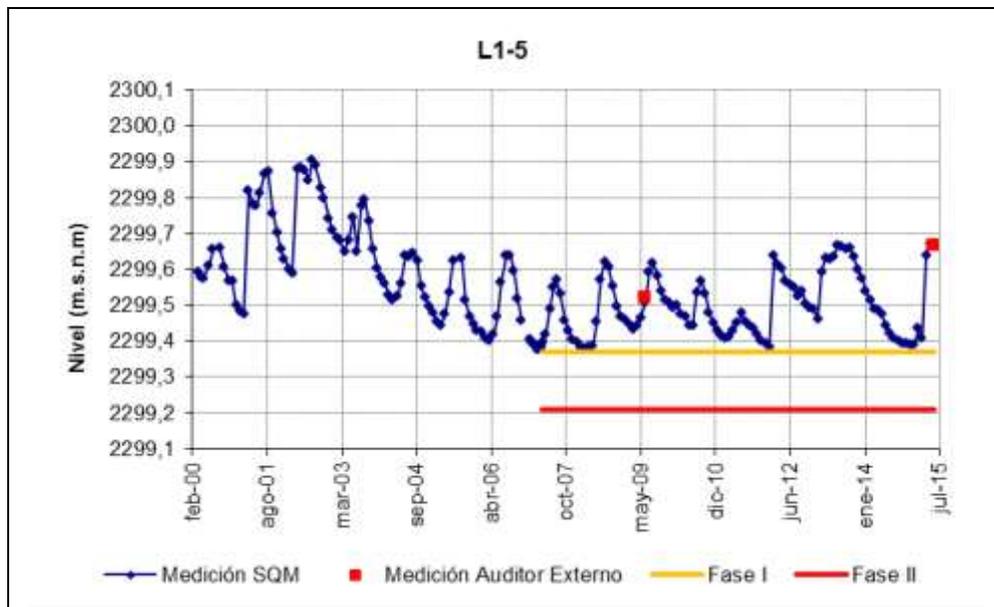
Fuente: Elaboración propia

Figura 5-24: Nivel mensual observado en el pozo RC-7



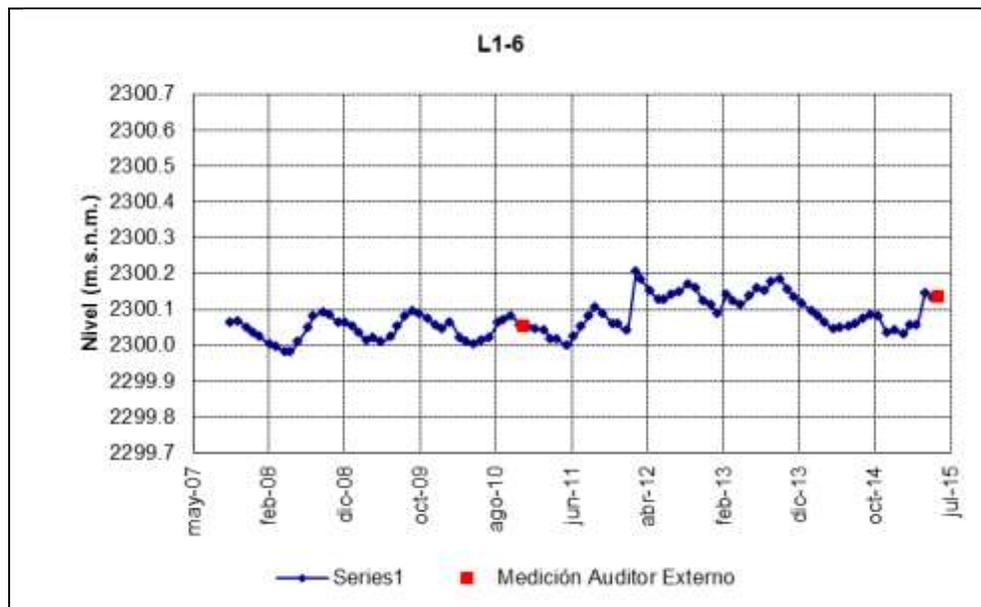
Fuente: Elaboración propia

Figura 5-27: Nivel mensual observado en el pozo L1-5



Fuente: Elaboración propia

Figura 5-28: Nivel mensual observado en el pozo L1-6



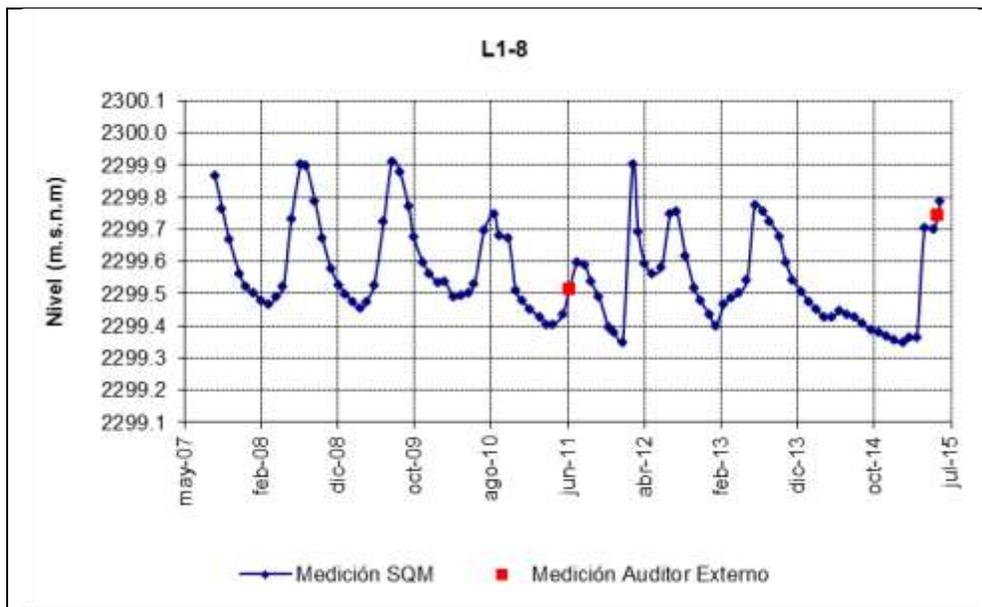
Fuente: Elaboración propia

Figura 5-29: Nivel mensual observado en el pozo L1-7



Fuente: Elaboración propia

Figura 5-30: Nivel mensual observado en el pozo L1-8



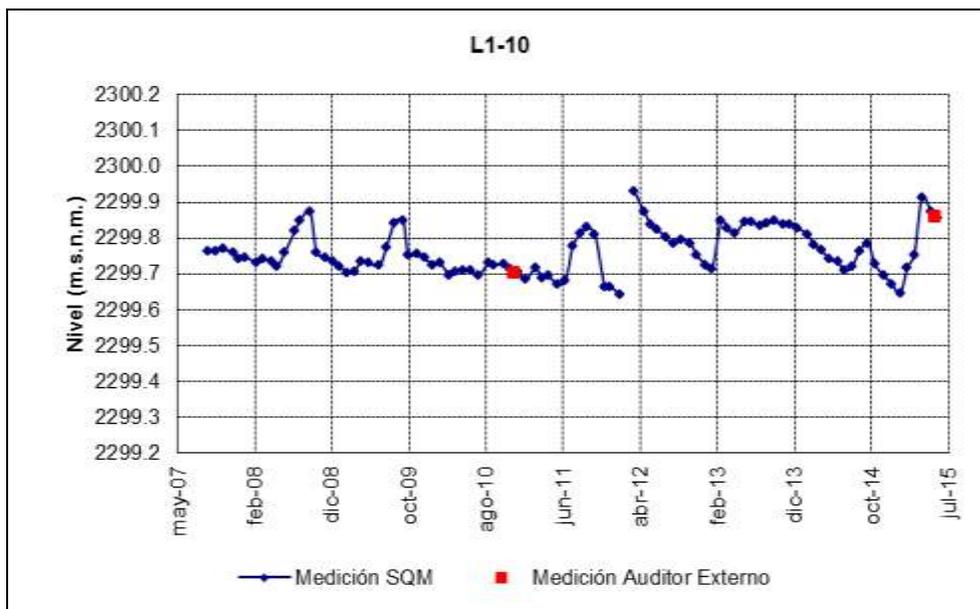
Fuente: Elaboración propia

Figura 5-31: Nivel mensual observado en el pozo L1-9



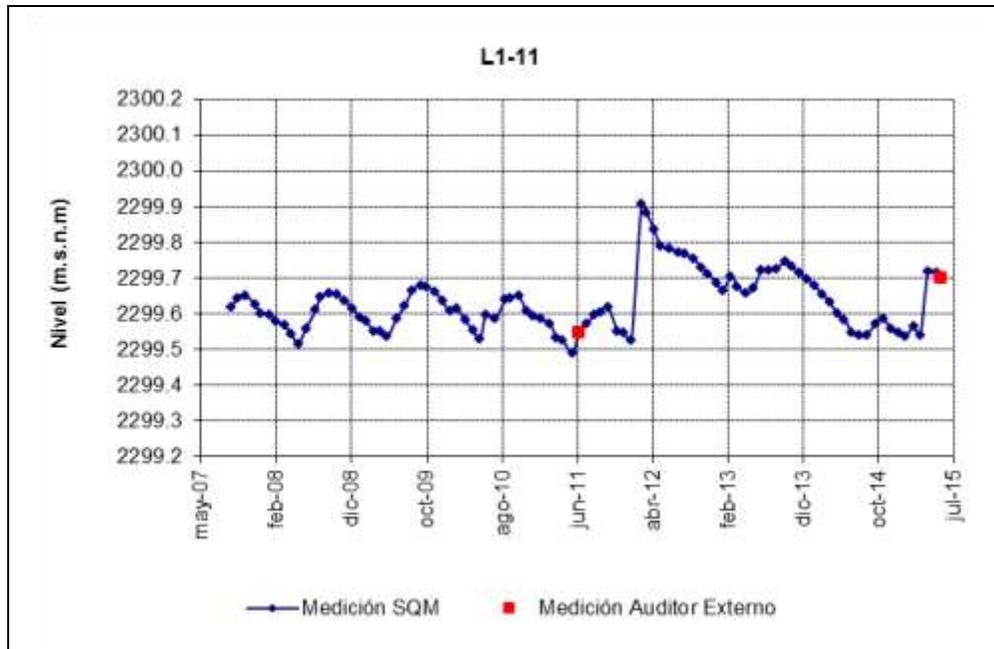
Fuente: Elaboración propia

Figura 5-32: Nivel mensual observado en el pozo L1-10



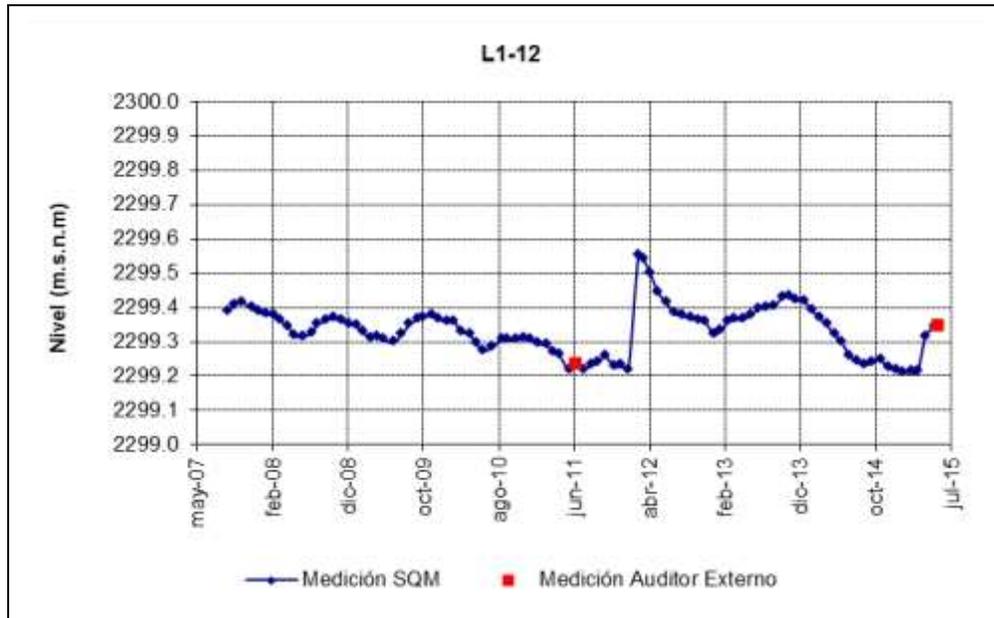
Fuente: Elaboración propia

Figura 5-33: Nivel mensual observado en el pozo L1-11



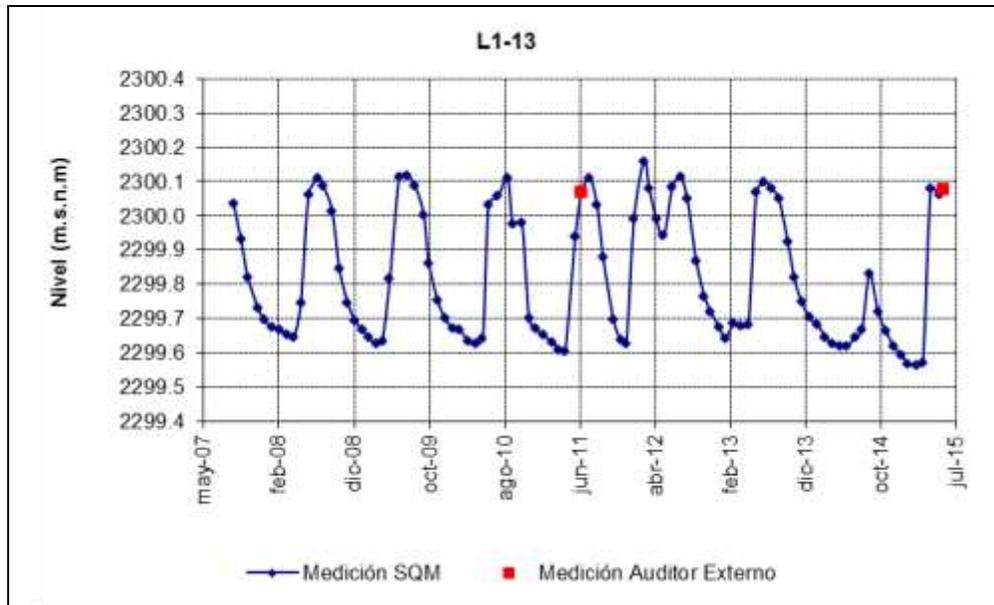
Fuente: Elaboración propia

Figura 5-34: Nivel mensual observado en el pozo L1-12



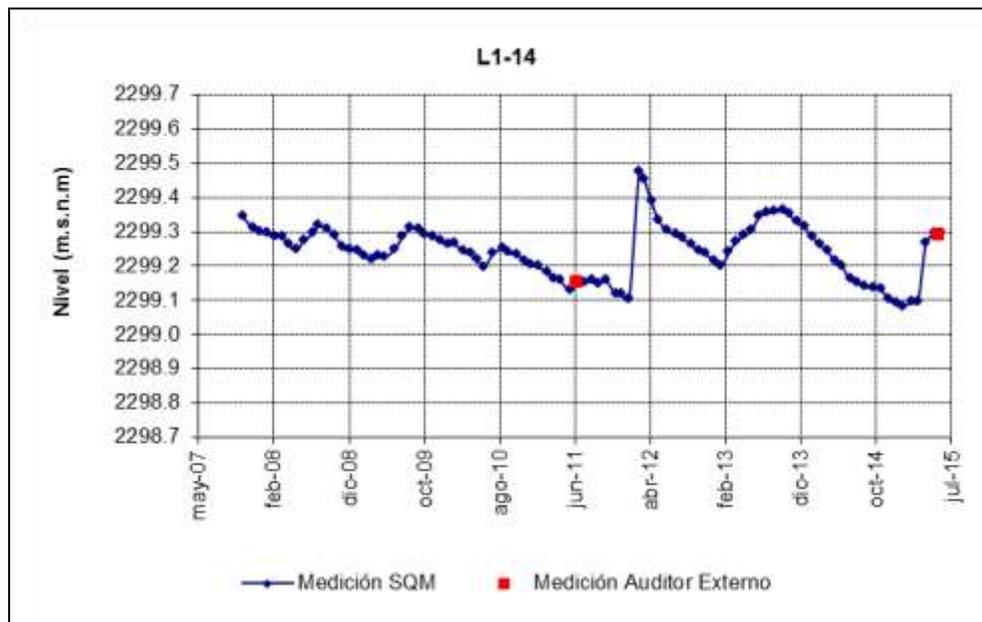
Fuente: Elaboración propia

Figura 5-35: Nivel mensual observado en el pozo L1-13



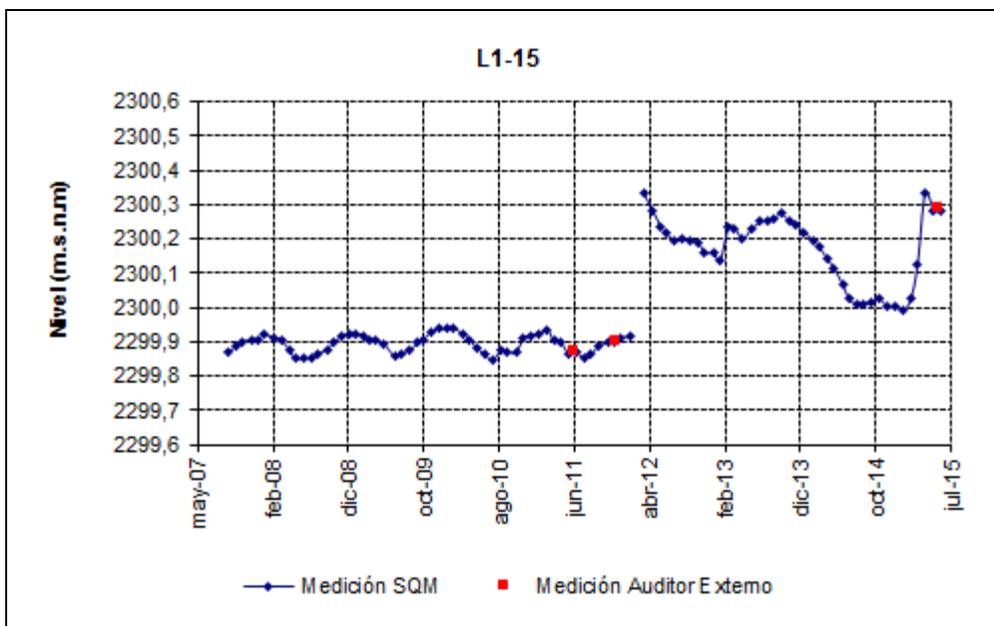
Fuente: Elaboración propia

Figura 5-36: Nivel mensual observado en el pozo L1-14



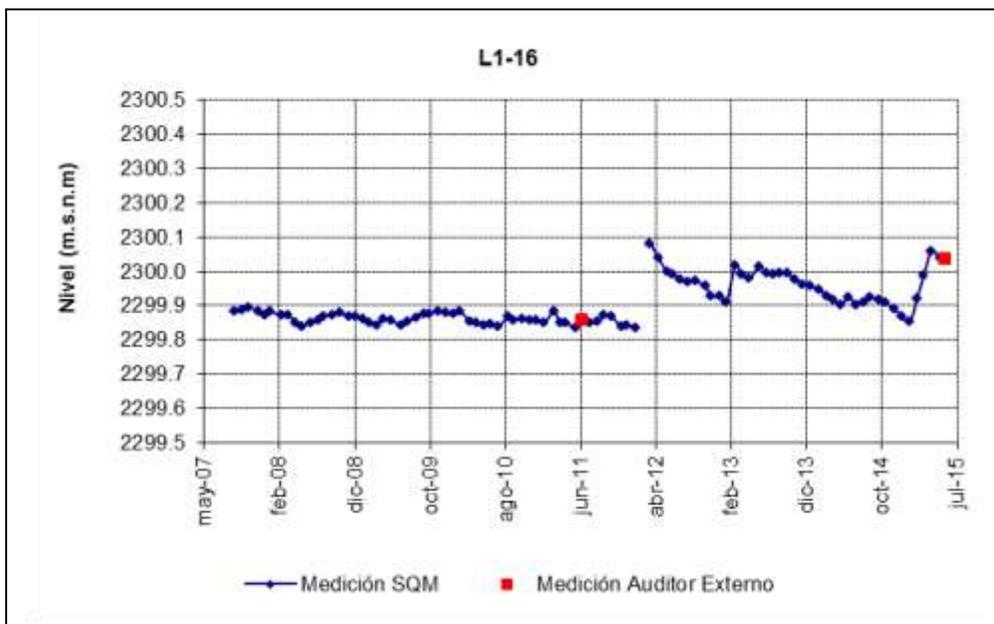
Fuente: Elaboración propia

Figura 5-37: Nivel mensual observado en el pozo L1-15



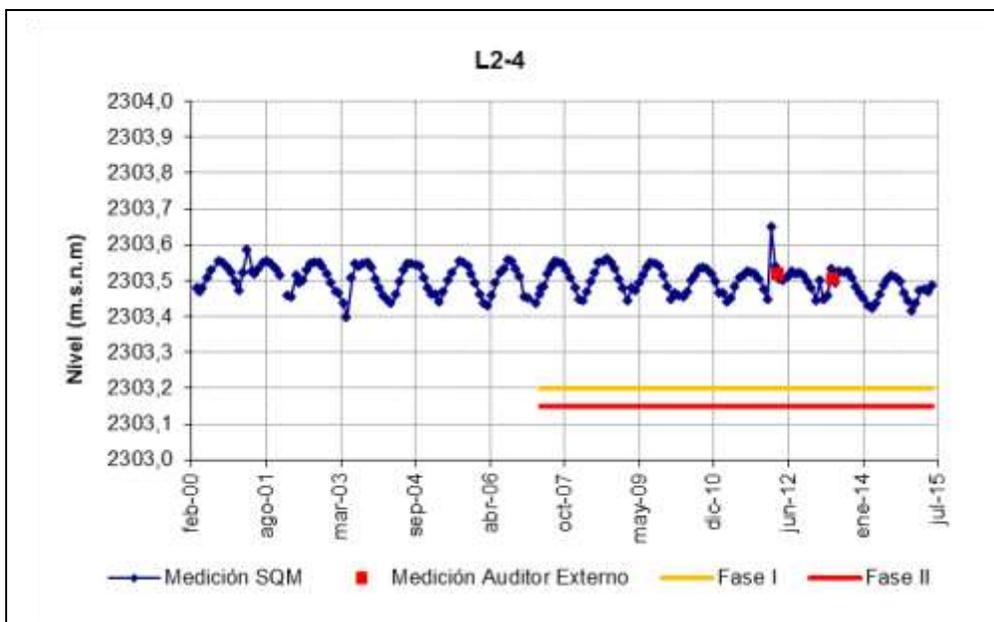
Fuente: Elaboración propia

Figura 5-38: Nivel mensual observado en el pozo L1-16



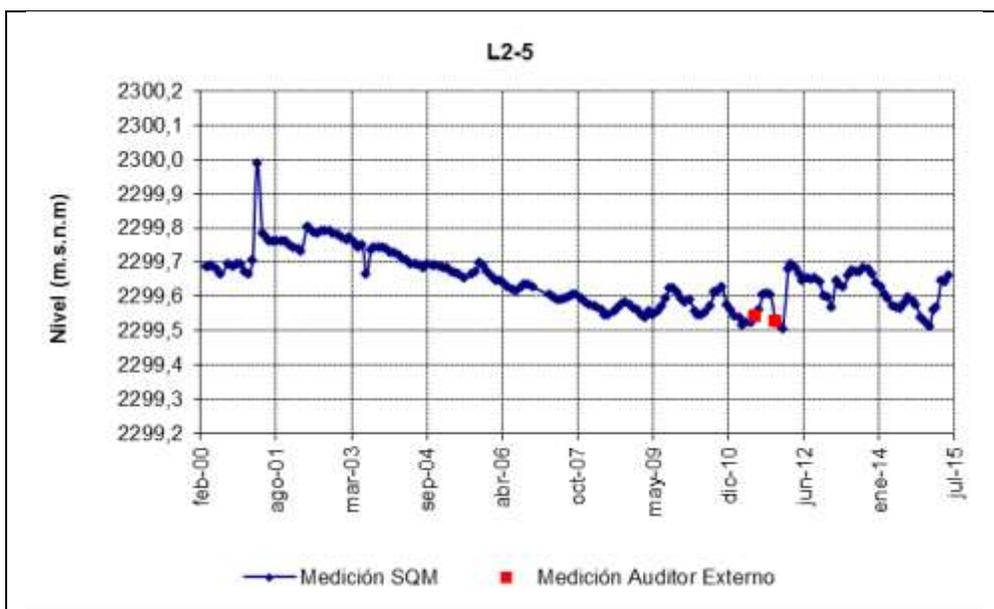
Fuente: Elaboración propia

Figura 5-39: Nivel mensual observado en el pozo L2-4



Fuente: Elaboración propia

Figura 5-40: Nivel mensual observado en el pozo L2-5



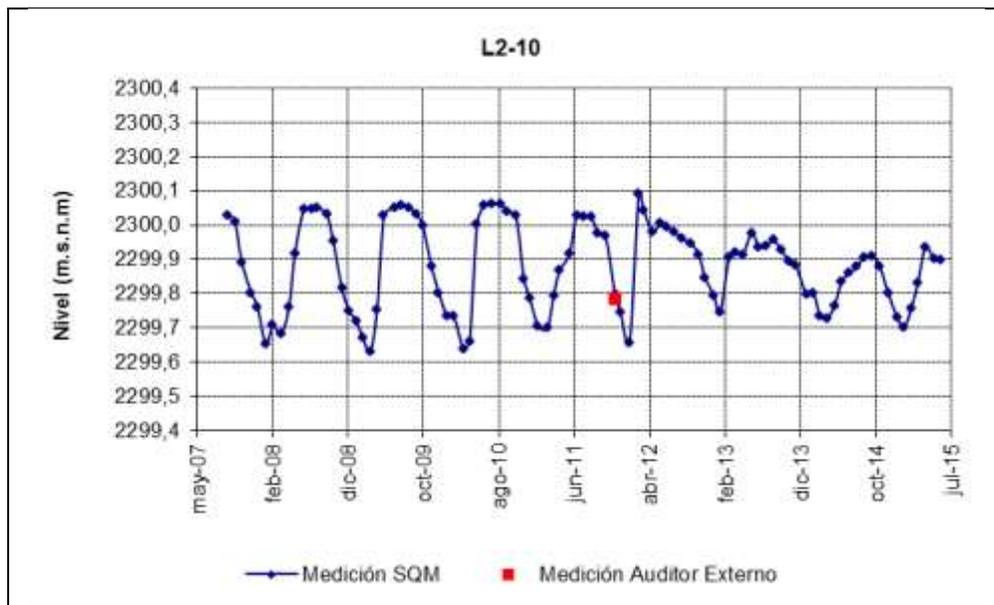
Fuente: Elaboración propia

Figura 5-41: Nivel mensual observado en el pozo L2-8



Fuente: Elaboración propia

Figura 5-42: Nivel mensual observado en el pozo L2-10



Fuente: Elaboración propia

Figura 5-43: Nivel mensual observado en el pozo L2-11



Fuente: Elaboración propia

Figura 5-44: Nivel mensual observado en el pozo L2-12



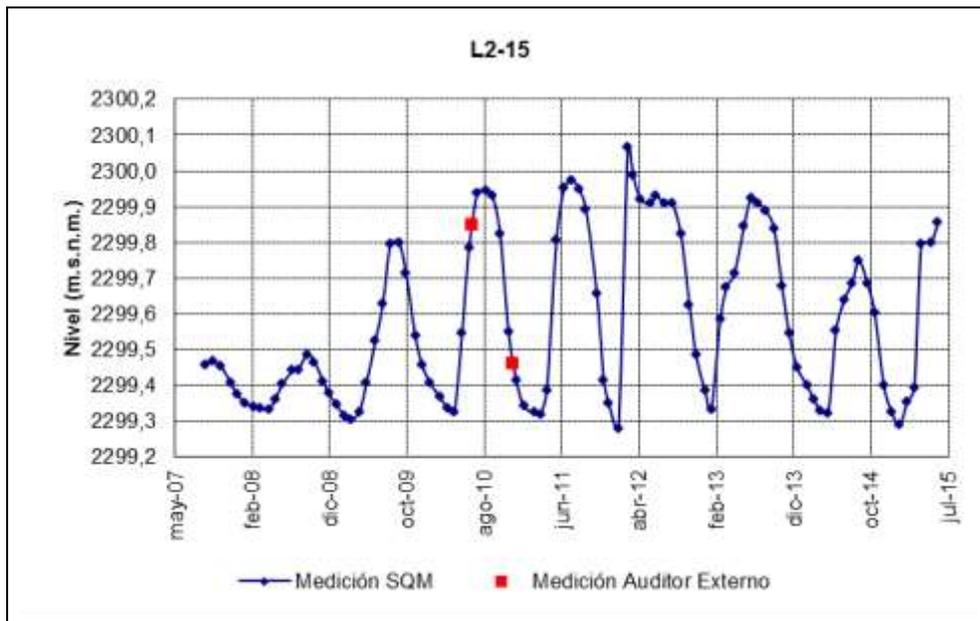
Fuente: Elaboración propia

Figura 5-45: Nivel mensual observado en el pozo L2-13



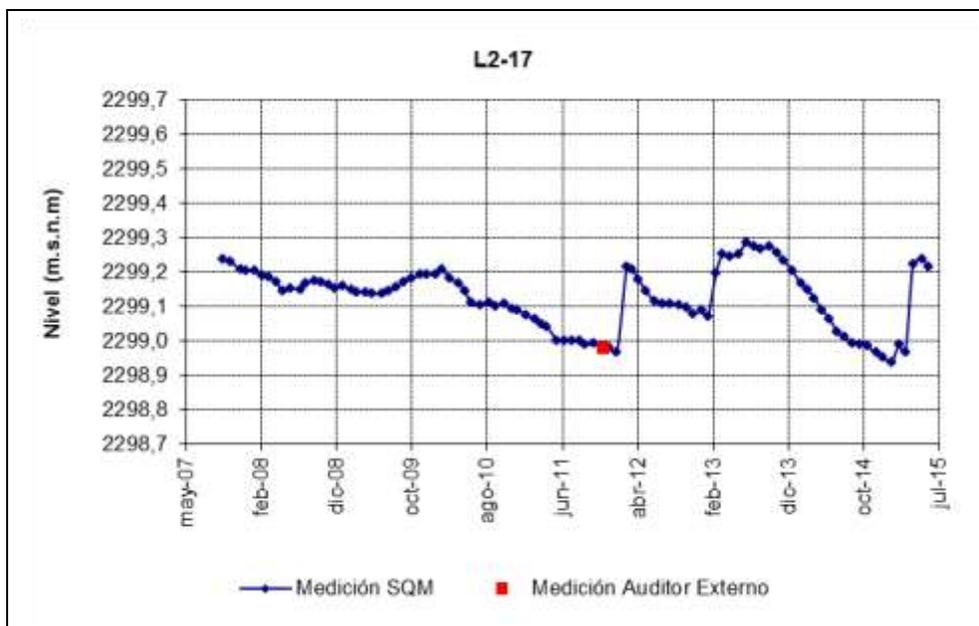
Fuente: Elaboración propia

Figura 5-46: Nivel mensual observado en el pozo L2-15



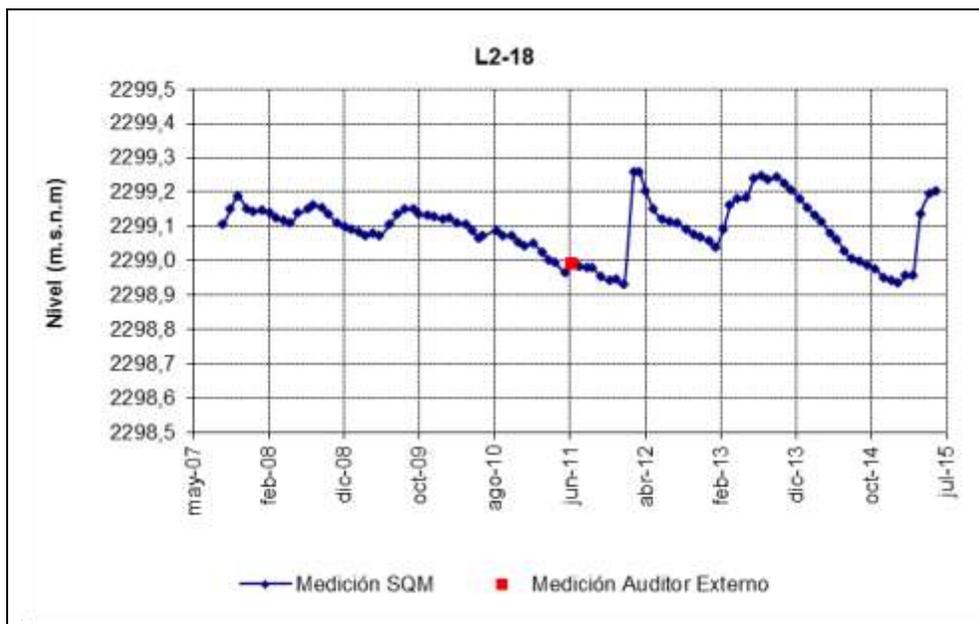
Fuente: Elaboración propia

Figura 5-47: Nivel mensual observado en el pozo L2-17



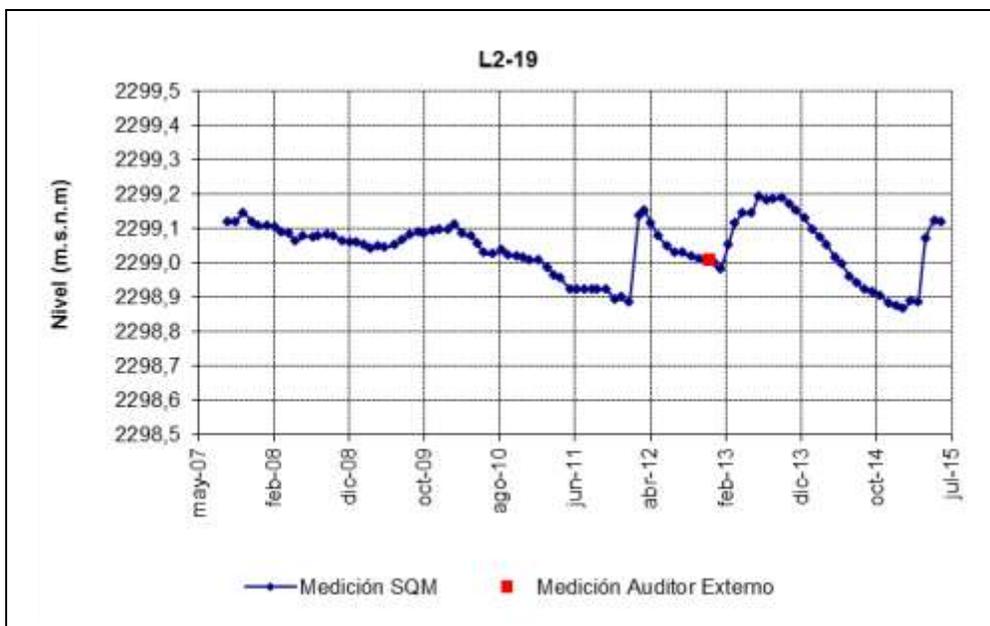
Fuente: Elaboración propia

Figura 5-48: Nivel mensual observado en el pozo L2-18



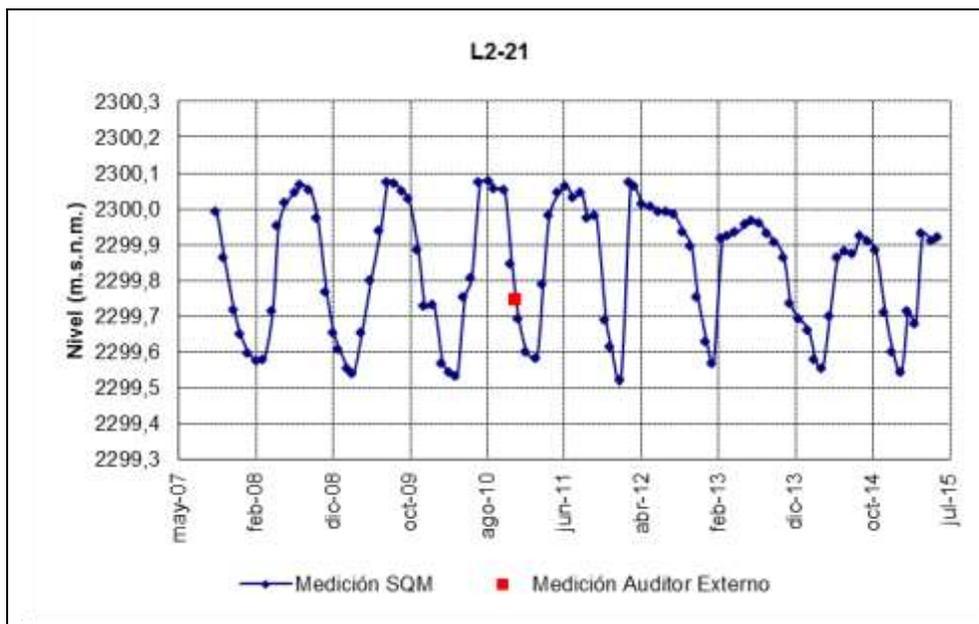
Fuente: Elaboración propia

Figura 5-49: Nivel mensual observado en el pozo L2-19



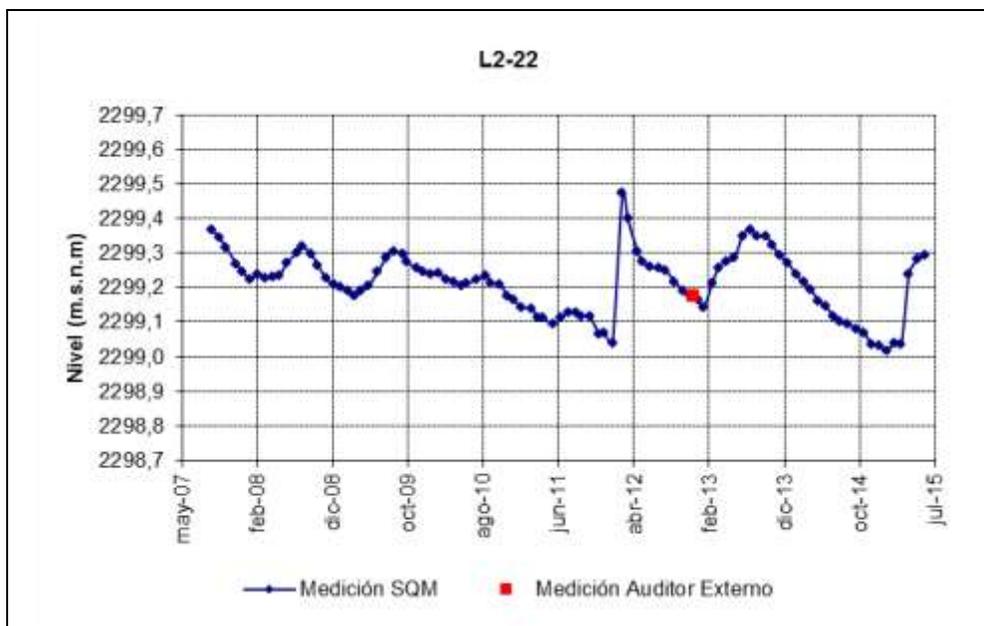
Fuente: Elaboración propia

Figura 5-50: Nivel mensual observado en el pozo L2-21



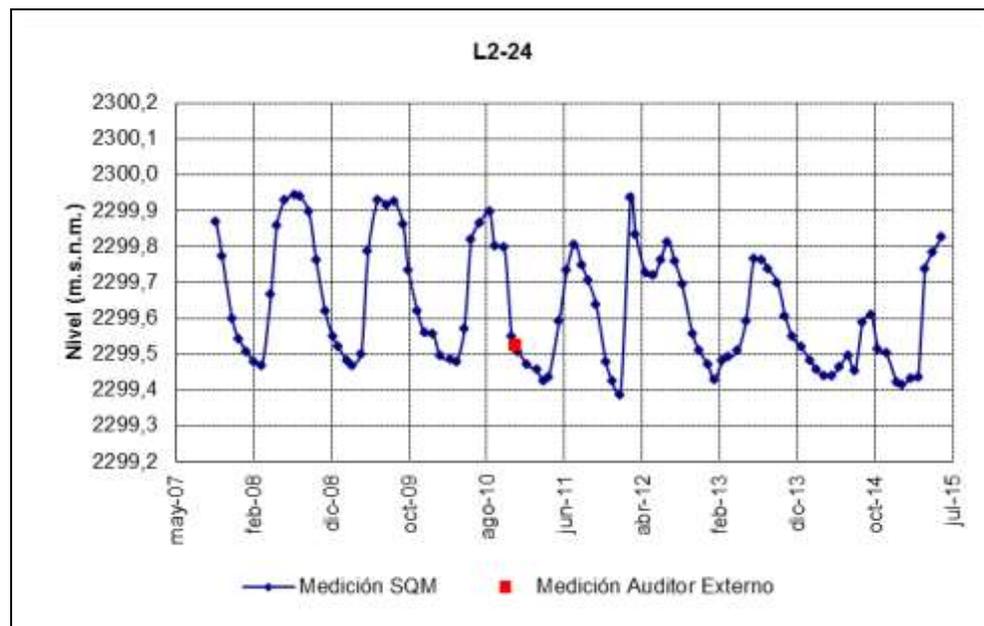
Fuente: Elaboración propia

Figura 5-51: Nivel mensual observado en el pozo L2-22



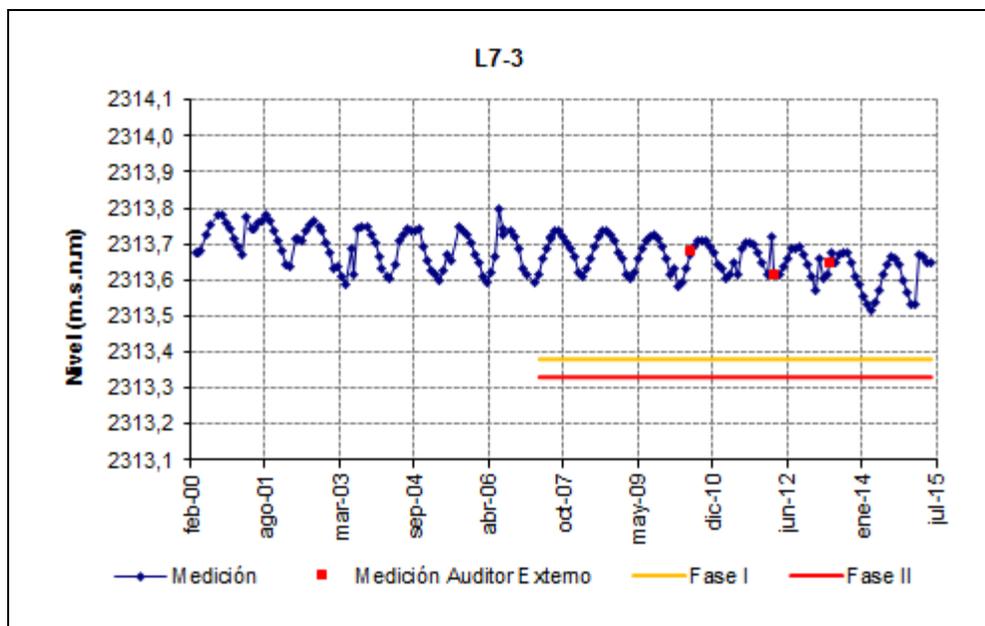
Fuente: Elaboración propia

Figura 5-52: Nivel mensual observado en el pozo L2-24



Fuente: Elaboración propia

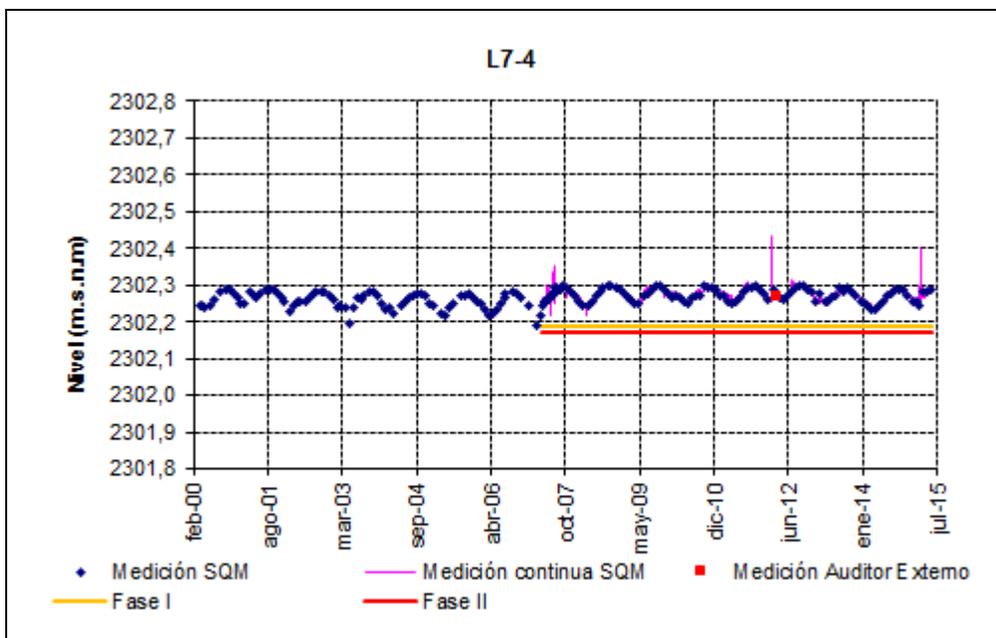
Figura 5-53: Nivel mensual observado en el pozo L7-3



Fuente: Elaboración propia

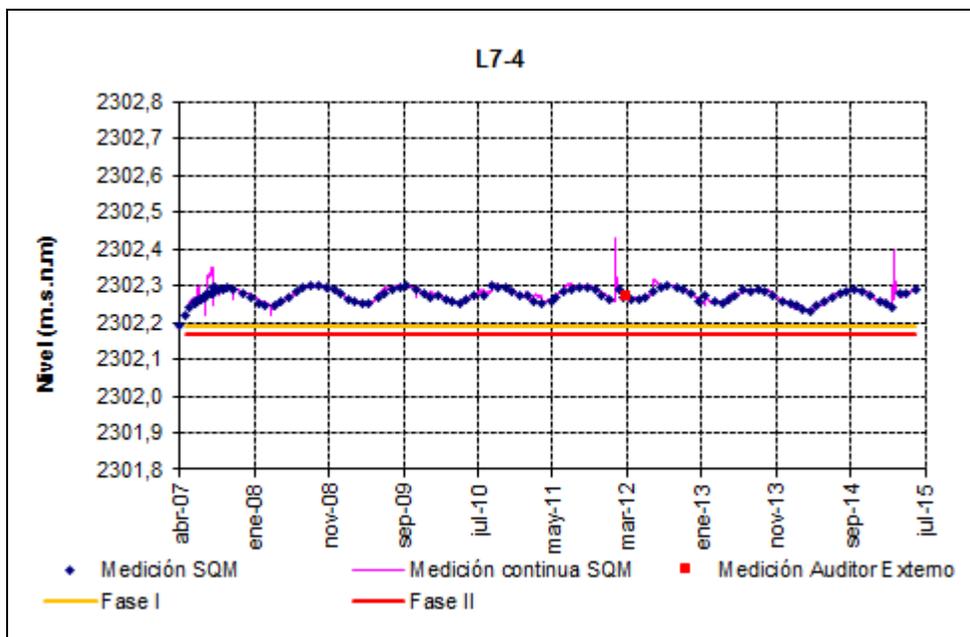
Dado que el pozo L7-4 tiene datos de medición continua desde mayo de 2007, es necesario presentar el seguimiento de este pozo en dos gráficos. El primero muestra la serie histórica (Figura 5-54) mientras que el segundo (Figura 5-55) muestra los datos a partir de mayo de 2007.

Figura 5-54: Nivel mensual observado en el pozo L7-4 (línea magenta: medición continua, puntos azules: mediciones manuales)



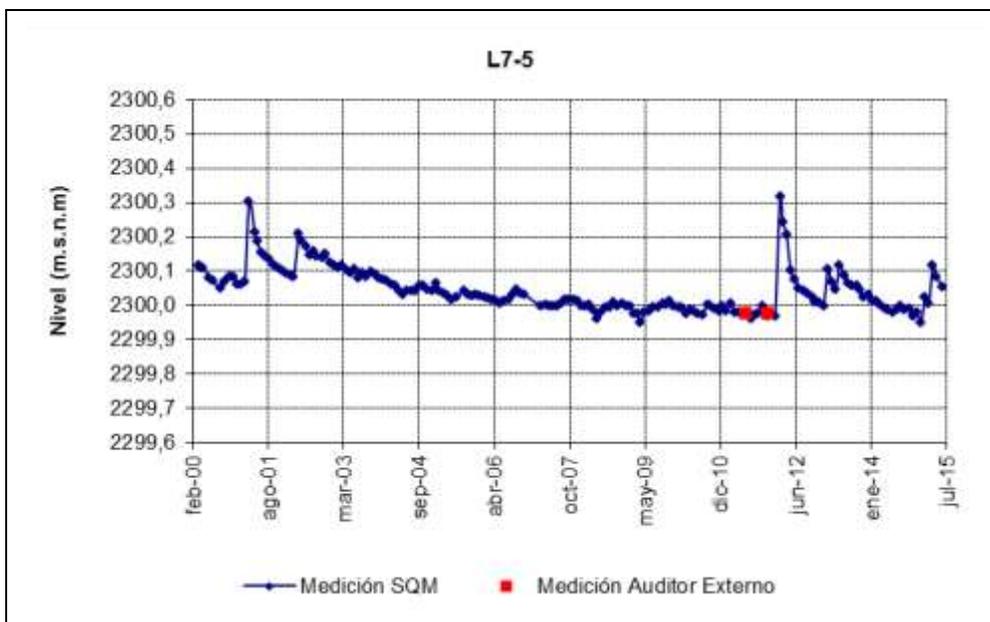
Fuente: Elaboración propia

Figura 5-55: Nivel mensual observado en el pozo L7-4 desde el 13 de mayo de 2007, fecha de inicio de medición de pozos del PC (línea magenta: medición continua, puntos azules: mediciones manuales)



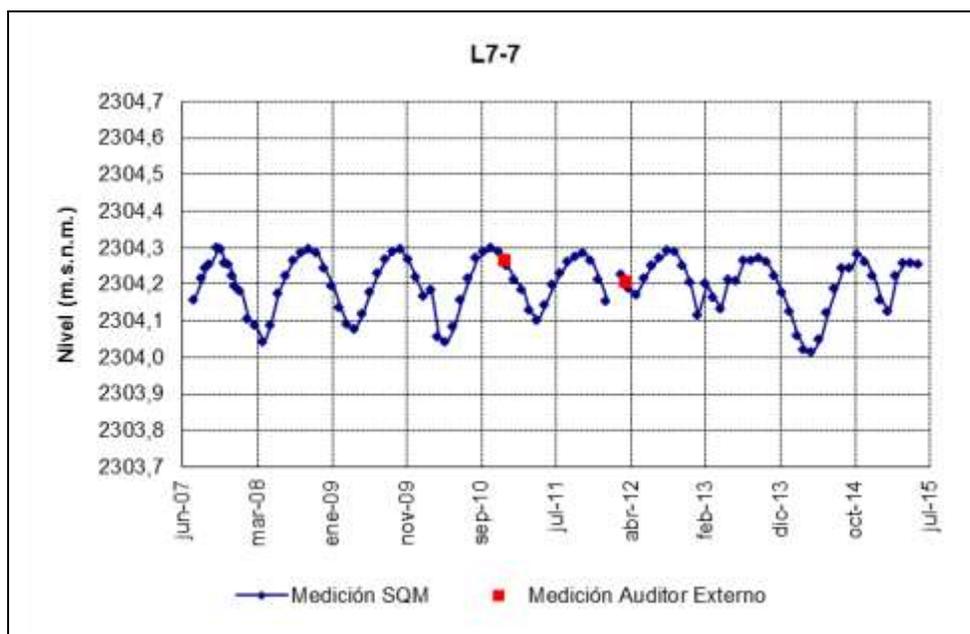
Fuente: Elaboración propia

Figura 5-56: Nivel mensual observado en el pozo L7-5



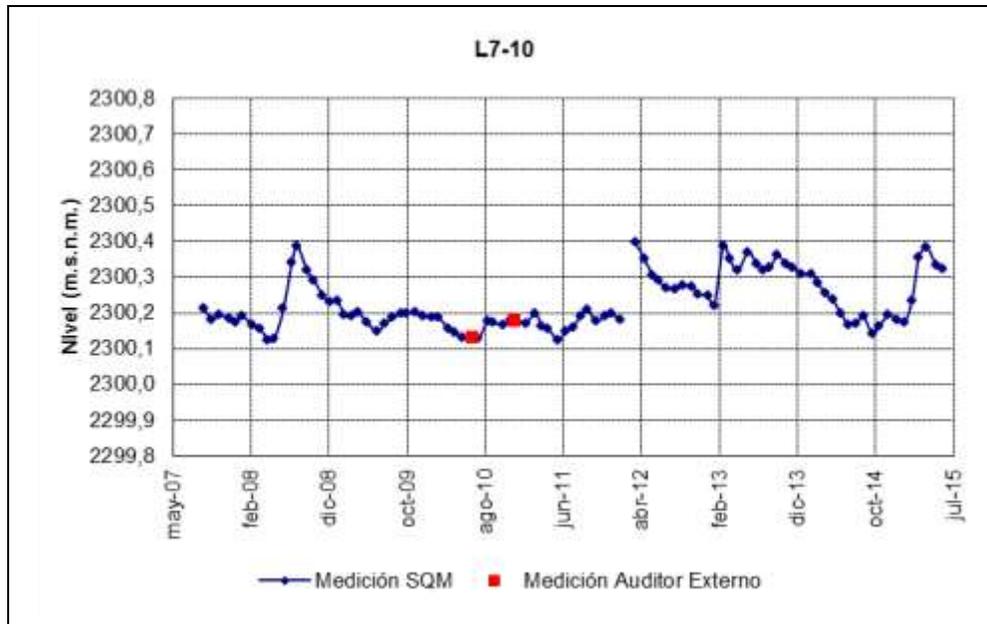
Fuente: Elaboración propia

Figura 5-57: Nivel mensual observado en el pozo L7-7



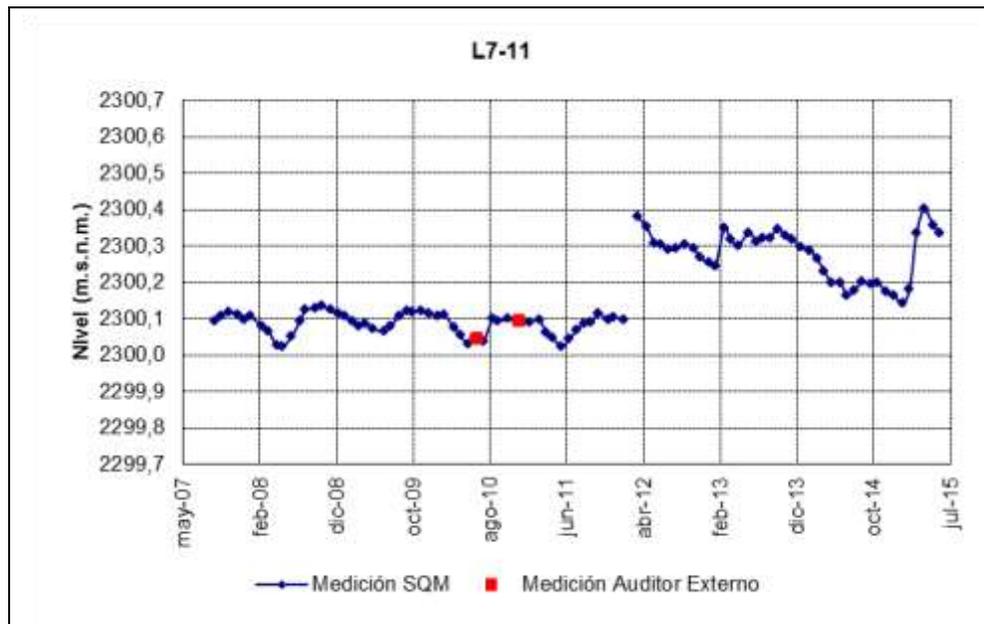
Fuente: Elaboración propia

Figura 5-58: Nivel mensual observado en el pozo L7-10



Fuente: Elaboración propia

Figura 5-59: Nivel mensual observado en el pozo L7-11



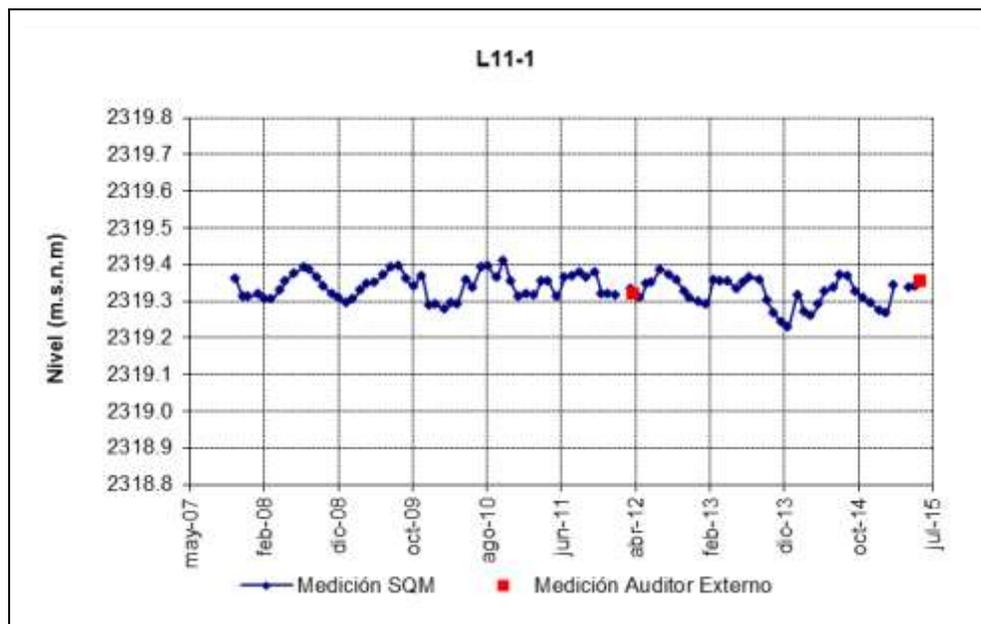
Fuente: Elaboración propia

Figura 5-60: Nivel mensual observado en el pozo L7-12



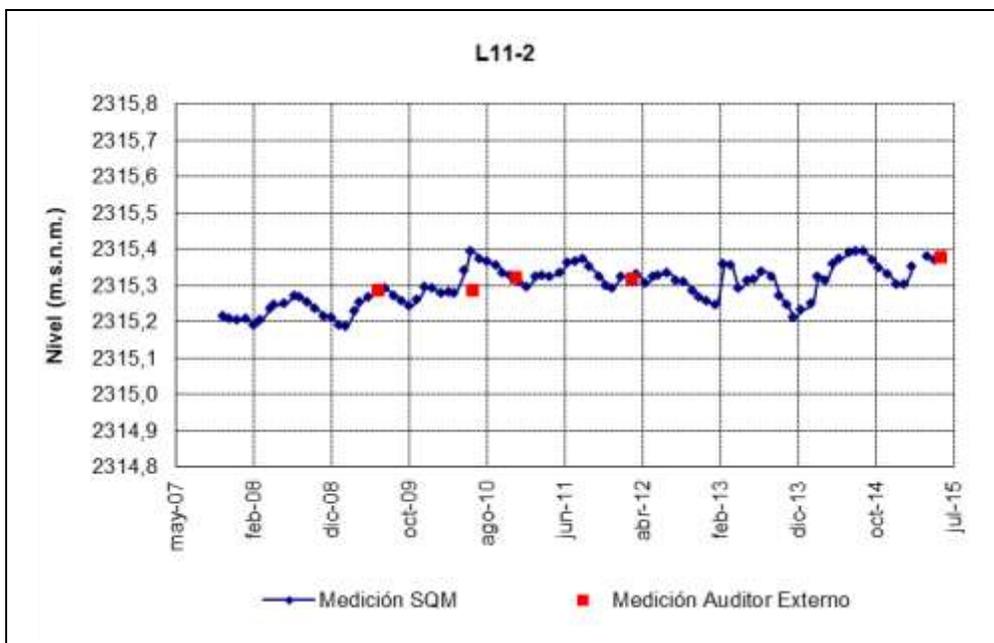
Fuente: Elaboración propia

Figura 5-61: Nivel mensual observado en el pozo L11-1



Fuente: Elaboración propia

Figura 5-62: Nivel mensual observado en el pozo L11-2



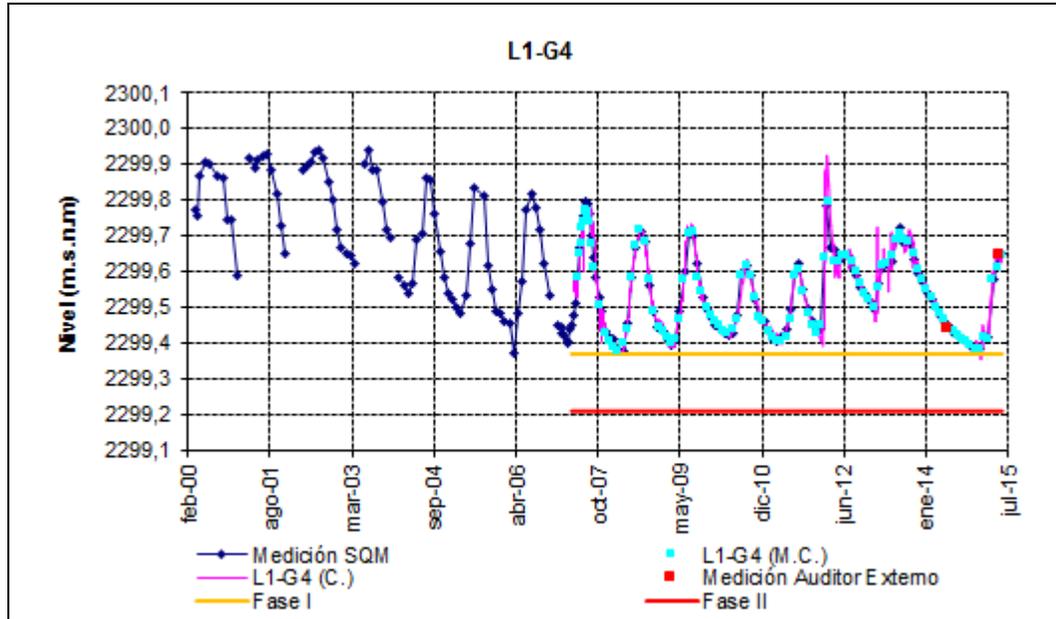
Fuente: Elaboración propia

5.3.1.2 Reglillas

Desde la Figura 5-63 a la Figura 5-73 se presentan los niveles de agua superficial de la reglilla L1-G4 (ubicada al sur de la laguna Barros Negros), la reglilla L7-G1 (ubicada al oeste del canal Burro Muerto), la reglilla L7-G2 (ubicada al este de la laguna Puilar), la reglilla Puente San Luis (ubicada aguas arriba del puente homónimo) y la reglilla L11-G1 (que se ubica en el sector de las nacientes al norte del salar, que alimentan las lagunas del sistema Soncor).

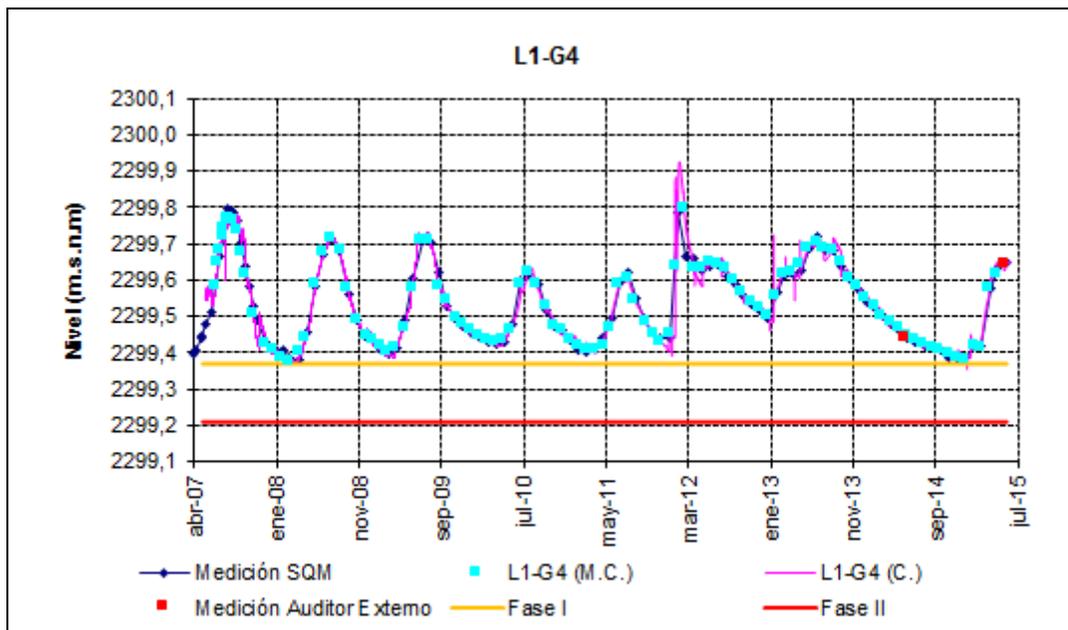
En el gráfico de la reglilla L1-G4 (Figura 5-63) se pueden observar los datos históricos en color azul (L1-G4), y se presentan en color celeste (L1-G4 M.C.) los niveles manuales medidos cada vez que se descargan datos desde el transductor de presión y en color lila (L1-G4 C) los niveles registrados por el instrumento.

Figura 5-63: Nivel observado en la reglilla L1-G4. (Línea magenta: medición continua; línea azul: medición manual en antigua reglilla; puntos celestes: medición manual en reglilla nueva con medición continua)



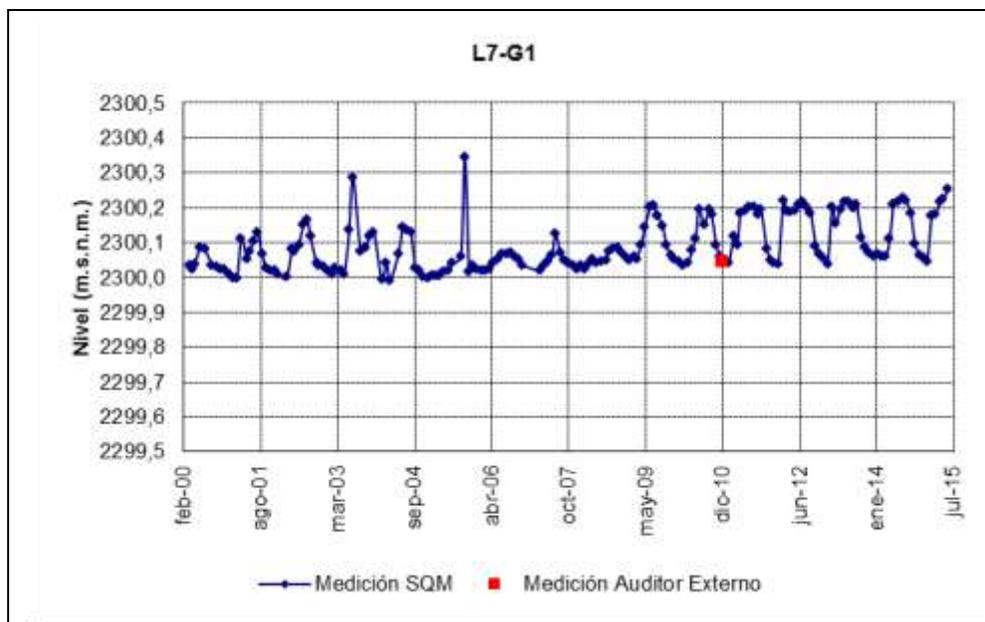
Fuente: Elaboración propia

Figura 5-64: Nivel observado en la reglilla L1-G4 desde el 13 de mayo de 2007, fecha de inicio de medición de pozos del PC. (Línea magenta: medición continua; línea azul: medición manual en antigua reglilla; puntos celestes: medición manual en reglilla nueva con medición continua)



Fuente: Elaboración propia

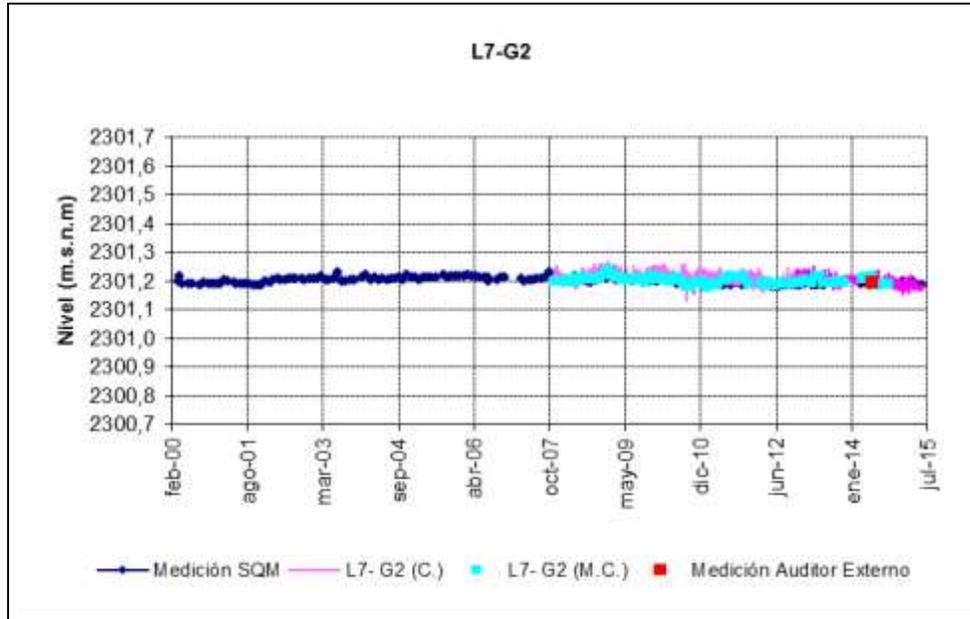
Figura 5-65: Nivel mensual observado en la reglilla L7-G1



Fuente: Elaboración propia

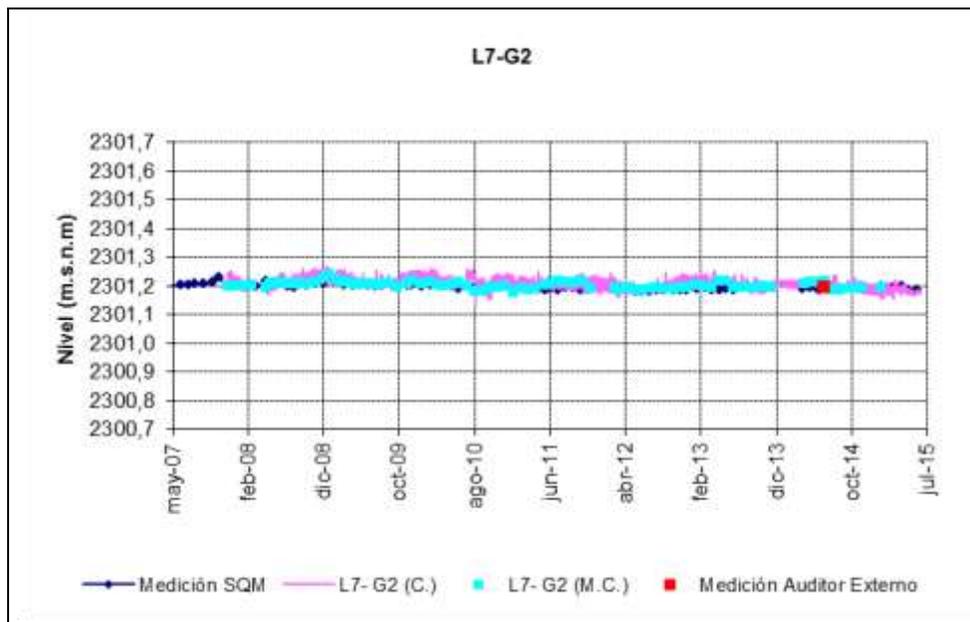
En la Figura 5-67 se puede contrastar la continuidad de datos registrados en el transductor de presión, en color burdeos (L7-G2 C), con los datos históricos registrados manualmente, en color azul (L7-G2).

Figura 5-66: Nivel mensual observado en la reglilla L7-G2. (Línea magenta: medición continua; línea azul: medición manual en antigua reglilla; puntos celeste: medición manual en reglilla nueva con medición continua)



Fuente: Elaboración propia

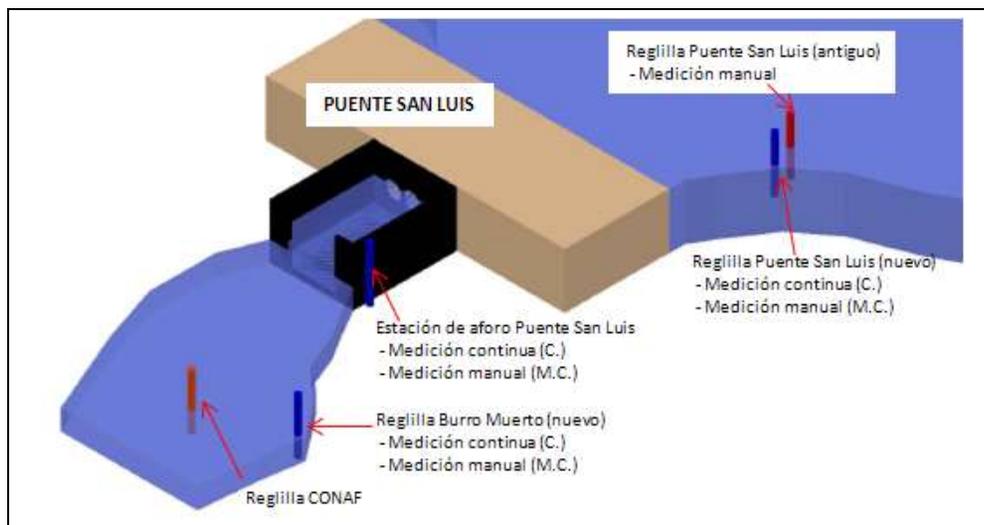
Figura 5-67: Nivel mensual observado en la reglilla L7-G2 desde el 13 de mayo de 2007, fecha de inicio de medición de pozos del PC. (Línea burdeos: medición continua; línea azul: medición manual en antigua reglilla; puntos celeste: medición manual en reglilla nueva con medición continua)



Fuente: Elaboración propia

En la Figura 5-68 se presentan especialmente las reglillas instaladas en torno al puente San Luis.

Figura 5-68: Representación gráfica de las reglillas instaladas en torno al puente San Luis

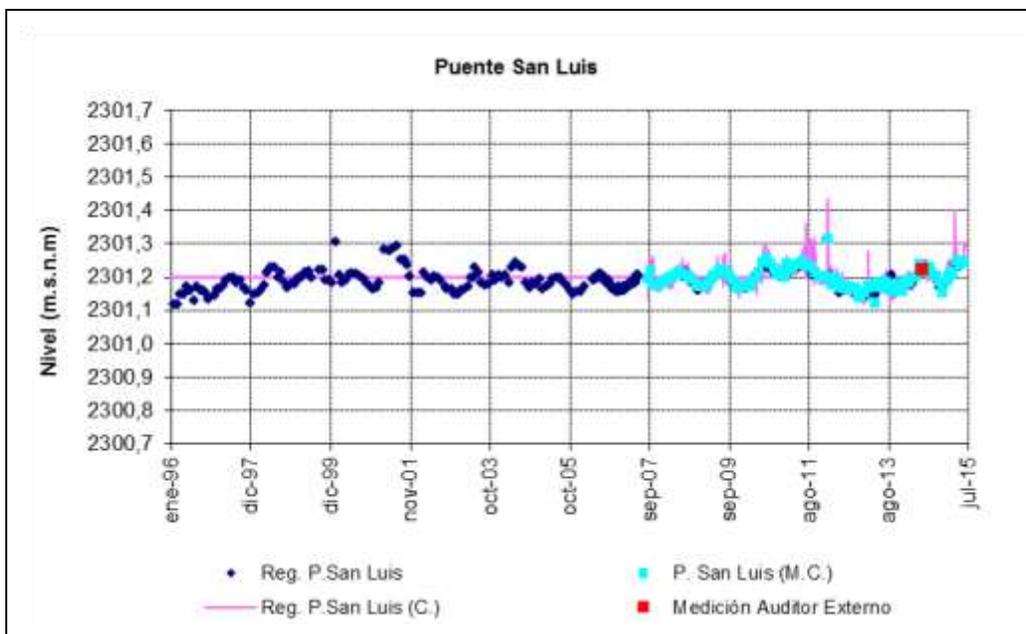


Fuente: Elaboración propia

En este sector se presentan tres grupos de puntos de medición: a) aguas arriba del puente San Luis, donde existen dos reglillas que han sido monitoreadas históricamente por SQM (reglilla Puente San Luis nueva y antigua). La reglilla nueva es usada actualmente para soportar el transductor de presión que registra niveles de manera continua (se realizan además mediciones manuales en este punto), los cuales se registran desde septiembre de 2007 hasta la actualidad; b) aforo puente San Luis, que corresponde a la medición que se realiza en la estación de aforo (estación de aforo Puente San Luis) y que presenta mediciones manuales y continuas; y, c) aguas abajo del puente San Luis, donde existen dos grupos de reglillas, unas medidas e instaladas por SQM (reglilla Burro Muerto), monitoreada desde septiembre de 2007, y otras que corresponden a reglillas instaladas por CONAF.

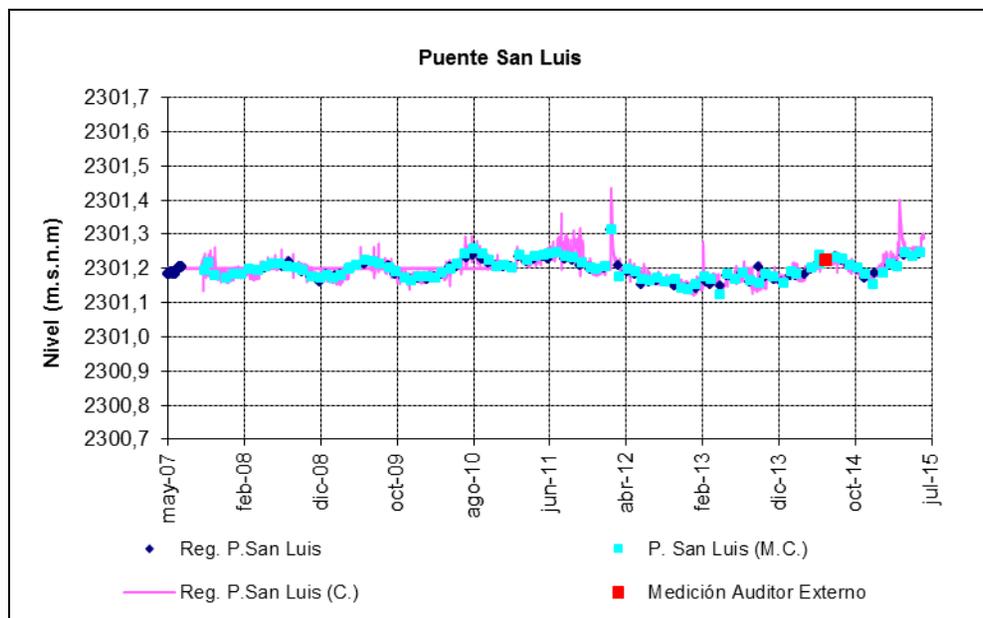
Para apreciar de mejor manera los datos registrados en la reglilla Puente San Luis (aguas arriba del puente) se presentan dos gráficos, el primero (Figura 5-69) corresponde a la serie histórica, mientras que el segundo (Figura 5-70) corresponde a los datos registrados a partir de mayo de 2007, mes en el cual se inició el monitoreo de los pozos del PC.

Figura 5-69: Nivel mensual observado en la reglilla Puente San Luis (“C.” medición continua, “M.C.” medición manual)



Fuente: Elaboración propia

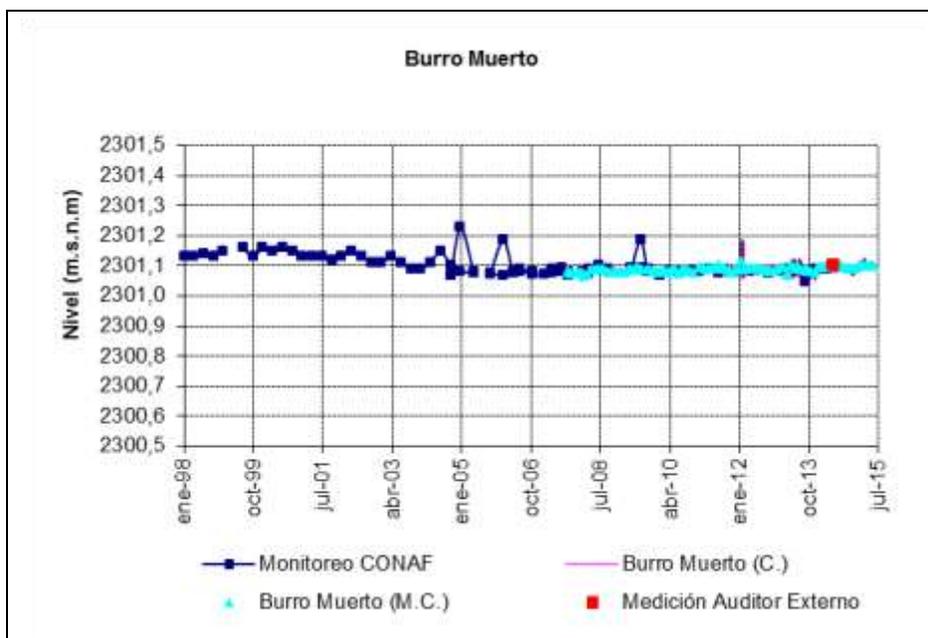
Figura 5-70: Nivel mensual observado en la reglilla Puente San Luis desde el 13 de mayo de 2007, fecha de inicio de medición de pozos del PC (“C.” medición continua, “M.C.” medición manual)



Fuente: Elaboración propia

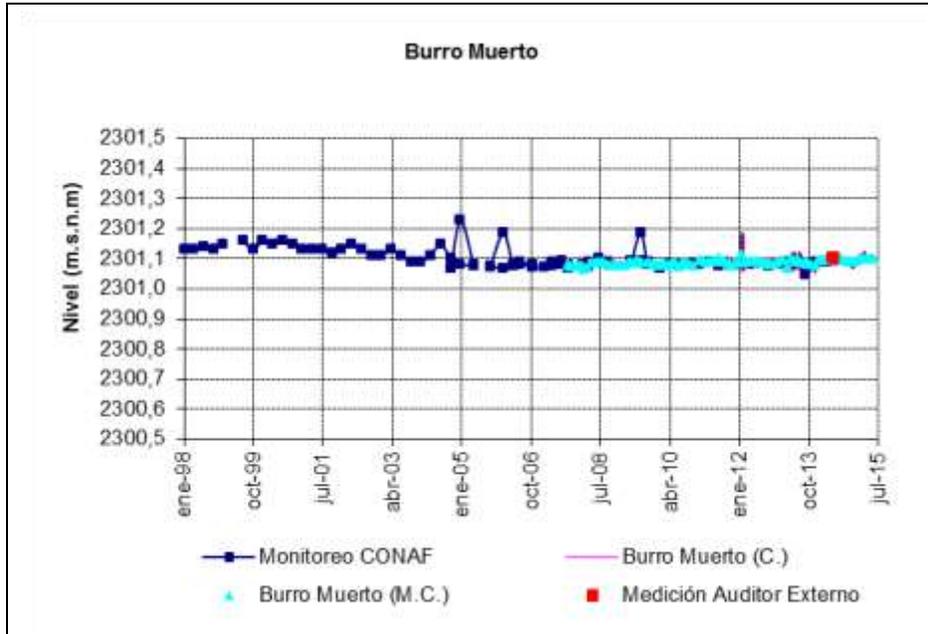
De igual modo que para las reglillas anteriores, para apreciar de mejor manera los datos registrados en la reglilla Burro Muerto se construyeron dos gráficos, el primero (Figura 5-71) corresponde a la serie histórica, mientras que el segundo (Figura 5-72) corresponde a los datos registrados a partir de mayo de 2007, mes de inicio del monitoreo de los pozos del PC.

Figura 5-71: Nivel mensual observado en la reglilla Burro Muerto “C.” medición continua, “M.C.” medición manual)



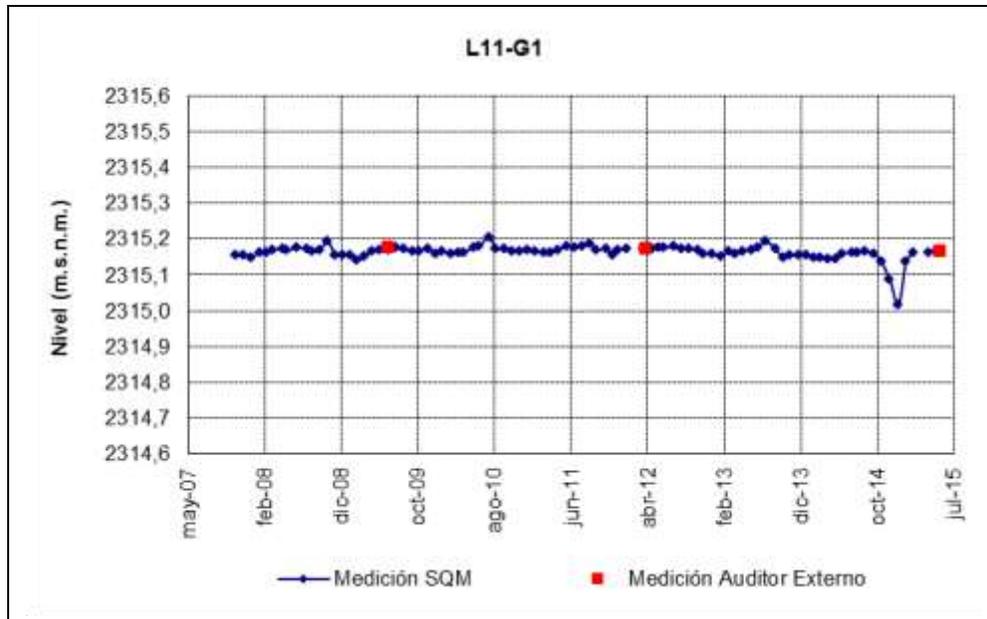
Fuente: Elaboración propia

Figura 5-72: Nivel mensual observado en la reglilla Burro Muerto desde el 13 de mayo de 2007, fecha de inicio de medición de pozos del PC. (“C.” medición continua, “M.C.” medición manual)



Fuente: Elaboración propia

Figura 5-73: Nivel mensual observado en la reglilla L11-G1



Fuente: Elaboración propia

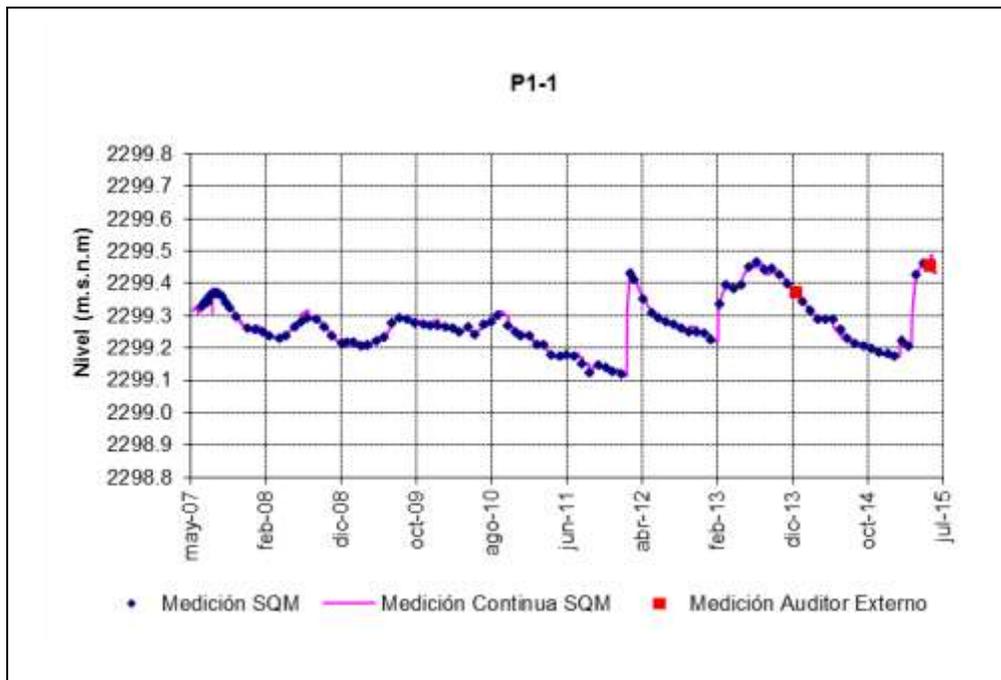
5.3.1.3 Pozos con medición continua de nivel

A continuación se muestran los niveles de todos los pozos del PSAH pertenecientes al sistema Soncor, que cuentan con medición continua de niveles. Es necesario mencionar que esta metodología de medición se ve alterada en aquellos pozos que poseen alta variabilidad en la densidad del agua subterránea, en cuyos casos se deben ajustar los transductores de presión constantemente; por lo que en un comienzo (jun-07 a sep-07) la medición continua del nivel se midió semanalmente en forma manual, para validar el registro entregado por el transductor de presión, lo que se realizó mientras duró la puesta en marcha de los equipos de medición continua. Actualmente, la medición manual se realiza mensualmente.

De la Figura 5-74 a la Figura 5-80 se presentan los niveles continuos medidos en el perfil D1, ubicado al suroeste de la laguna Barros Negros, ordenados de sur a norte desde el P1-1 al P1-7. En tanto, desde la Figura 5-81 a la Figura 5-88 se presentan los niveles continuos medidos en el perfil D2, ubicado al sur de la laguna Barros Negros, ordenados de sur a norte desde el L2-9 al L2-23. Finalmente, en la Figura 5-89 se aprecian los niveles del pozo 2021.

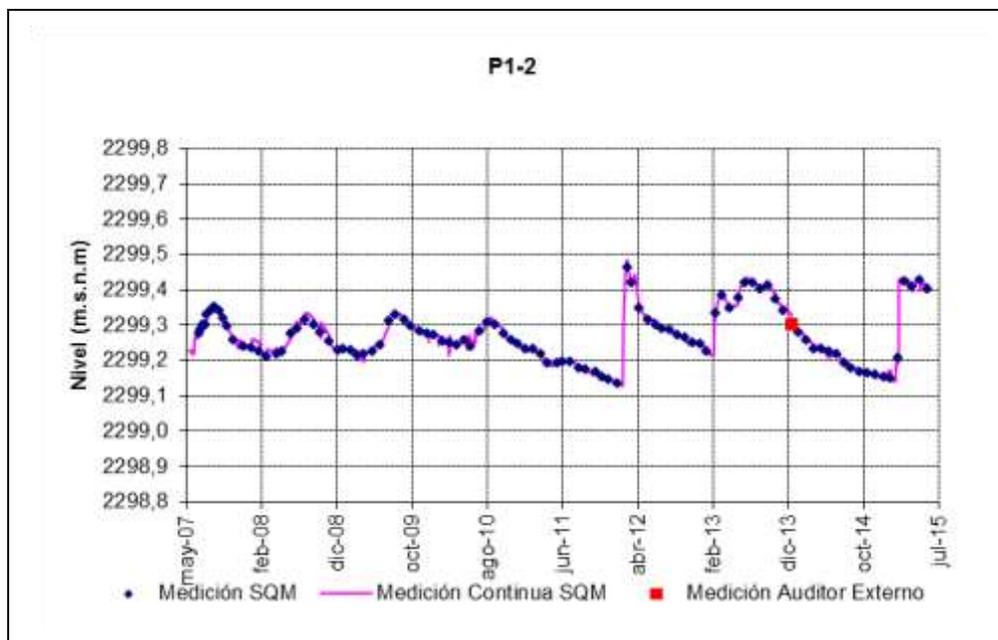
En los meses de enero y febrero de 2015 no se pudieron medir los niveles del pozo P2-2 por problemas en la línea de aire.

Figura 5-74: Nivel observado en el pozo P1-1, perfil D1 (línea magenta: medición continua, puntos azules: mediciones manuales)



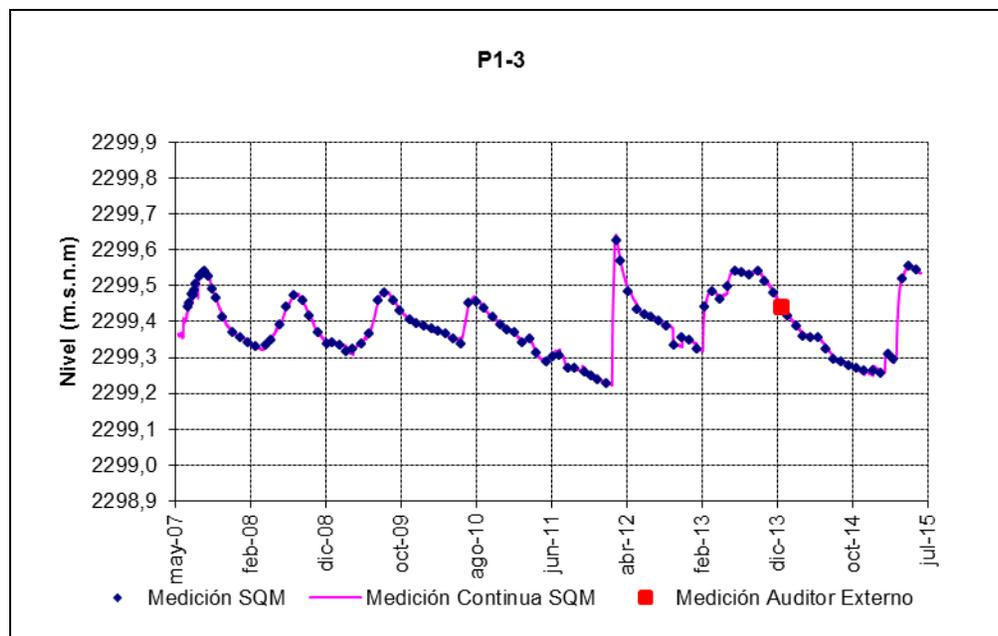
Fuente: Elaboración propia

Figura 5-75: Nivel observado en el pozo P1-2, perfil D1 (línea magenta: medición continua, puntos azules: mediciones manuales)



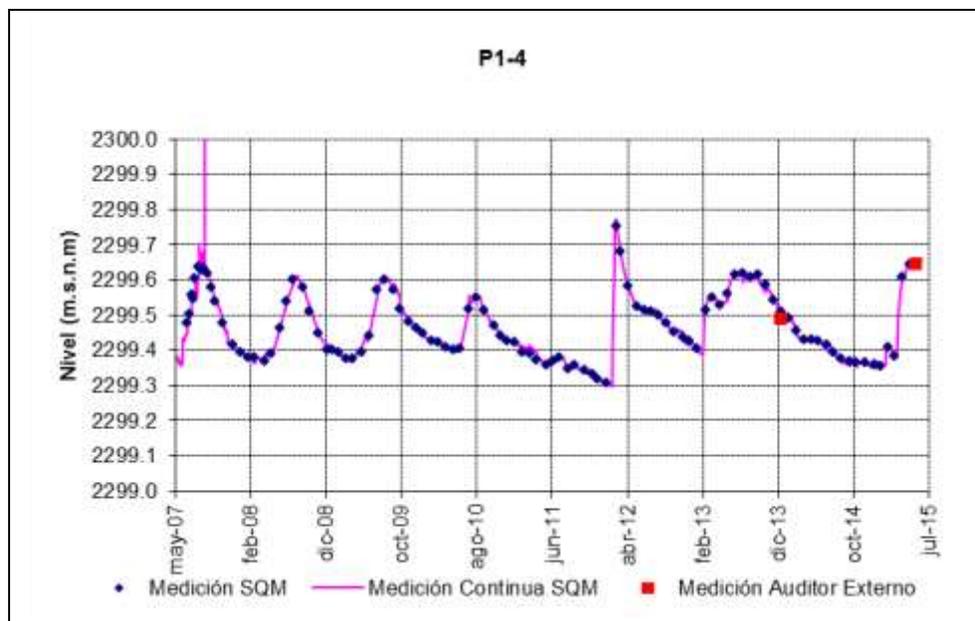
Fuente: Elaboración propia

Figura 5-76: Nivel observado en el pozo P1-3, perfil D1 (línea magenta: medición continua, puntos azules: mediciones manuales)



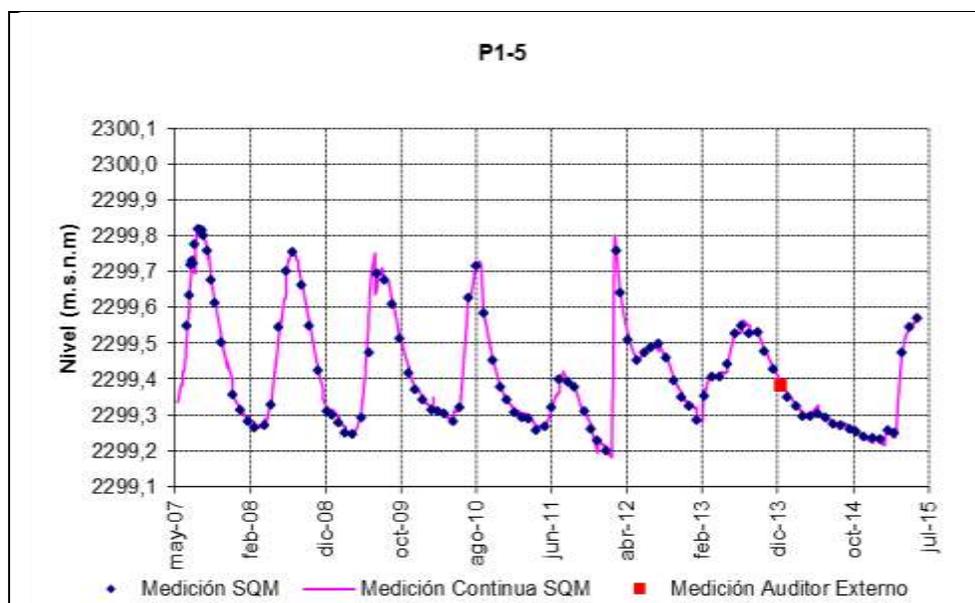
Fuente: Elaboración propia

Figura 5-77: Nivel observado en el pozo P1-4, perfil D1 (línea magenta: medición continua, puntos azules: mediciones manuales)



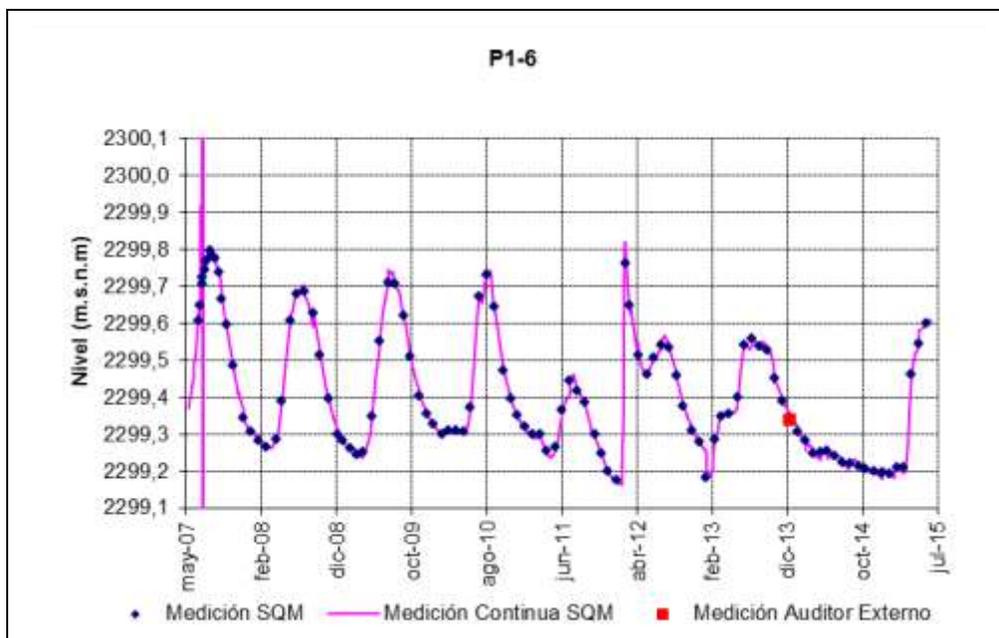
Fuente: Elaboración propia

Figura 5-78: Nivel observado en el pozo P1-5, perfil D1 (línea magenta: medición continua, puntos azules: mediciones manuales)



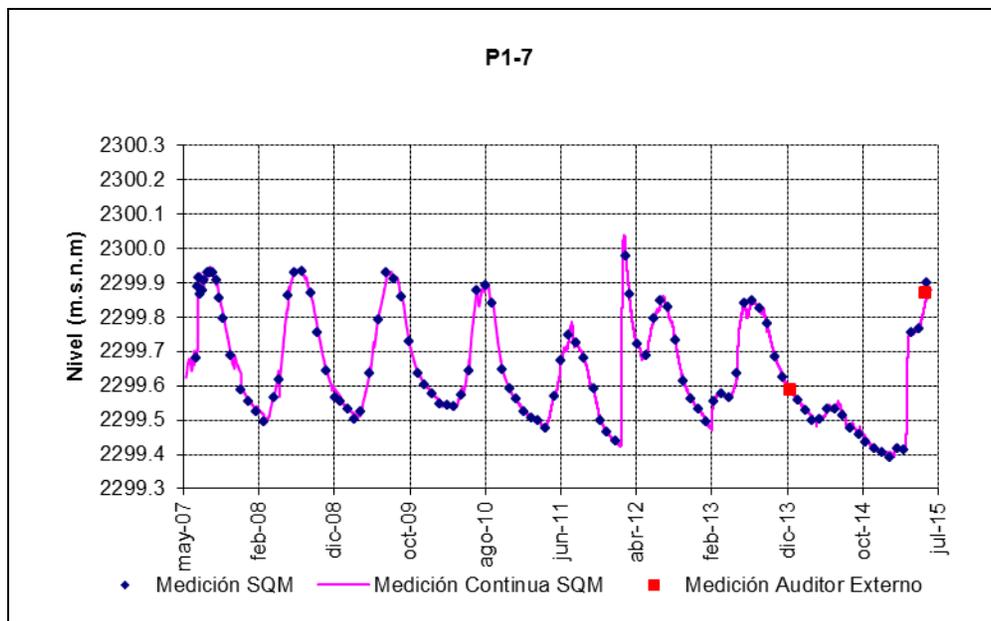
Fuente: Elaboración propia

Figura 5-79: Nivel observado en el pozo P1-6, perfil D1 (línea magenta: medición continua, puntos azules: mediciones manuales)



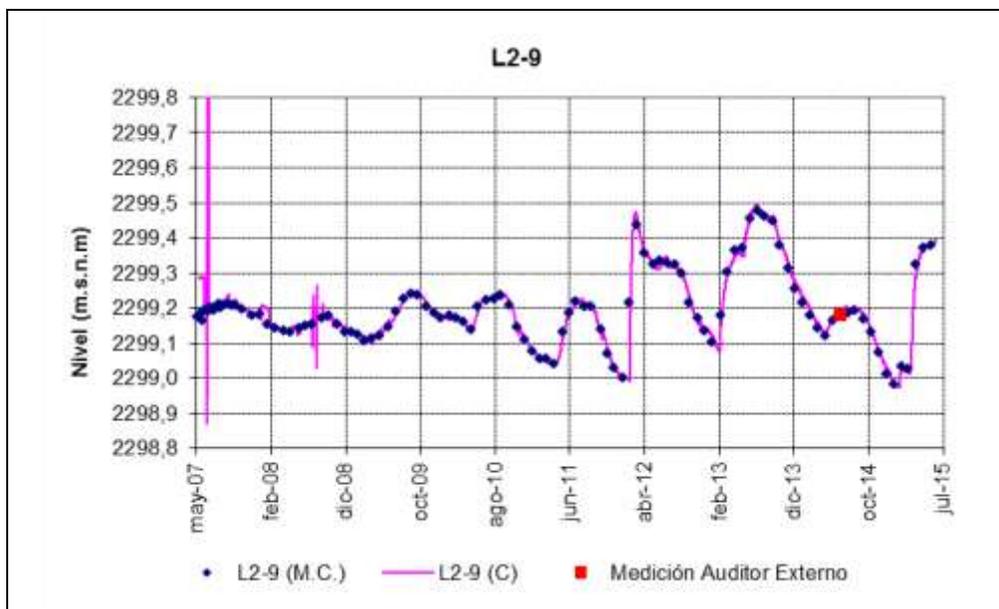
Fuente: Elaboración propia

Figura 5-80: Nivel observado en el pozo P1-7, perfil D1 (línea magenta: medición continua, puntos azules: mediciones manuales)



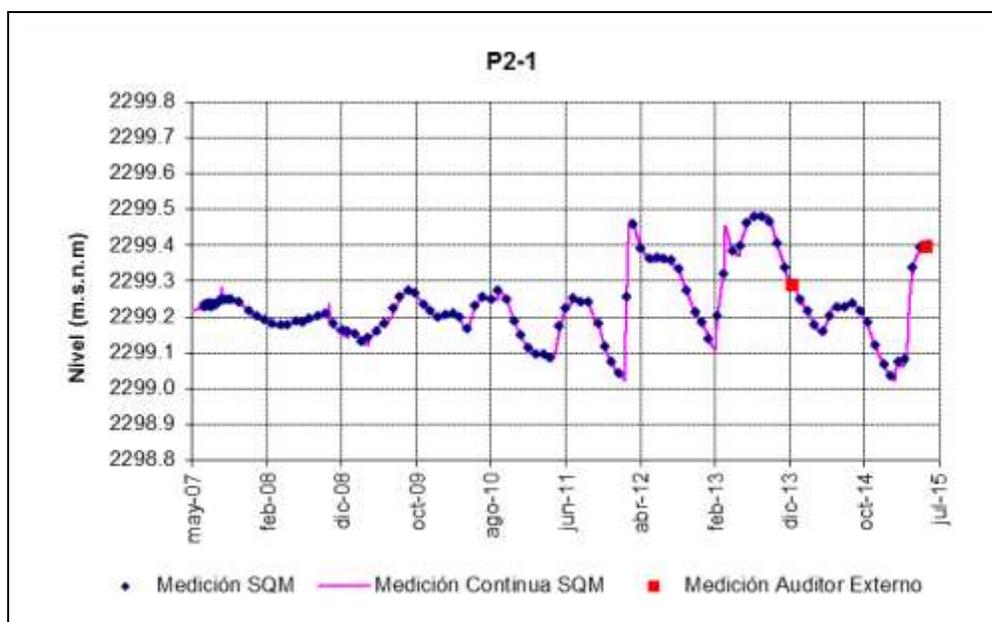
Fuente: Elaboración propia

Figura 5-81: Nivel observado en el pozo L2-9, perfil D2 (línea magenta: medición continua, puntos azules: mediciones manuales)



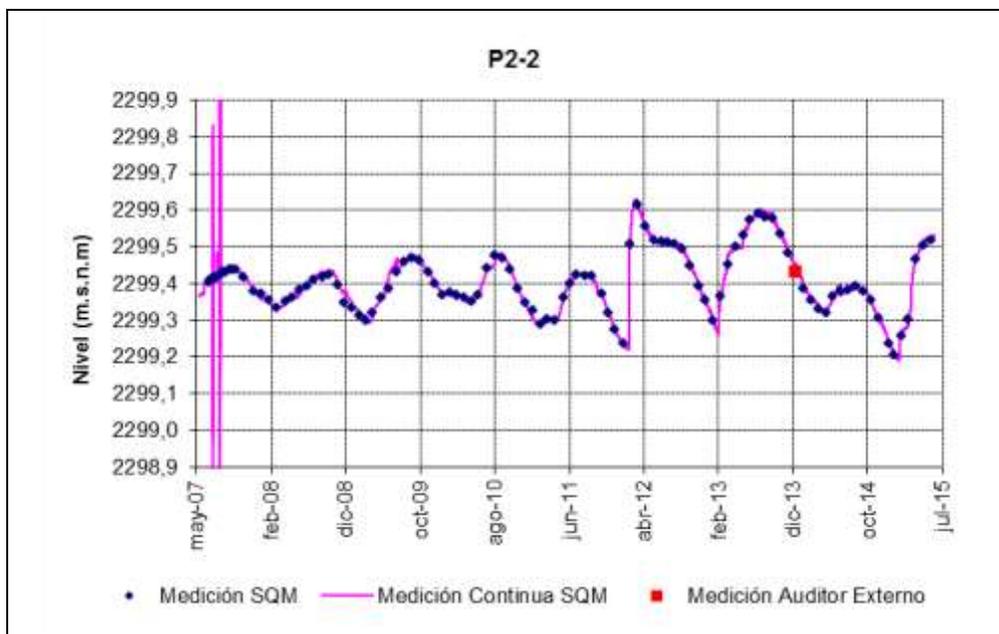
Fuente: Elaboración propia

Figura 5-82: Nivel observado en el pozo P2-1, perfil D2 (línea magenta: medición continua, puntos azules: mediciones manuales)



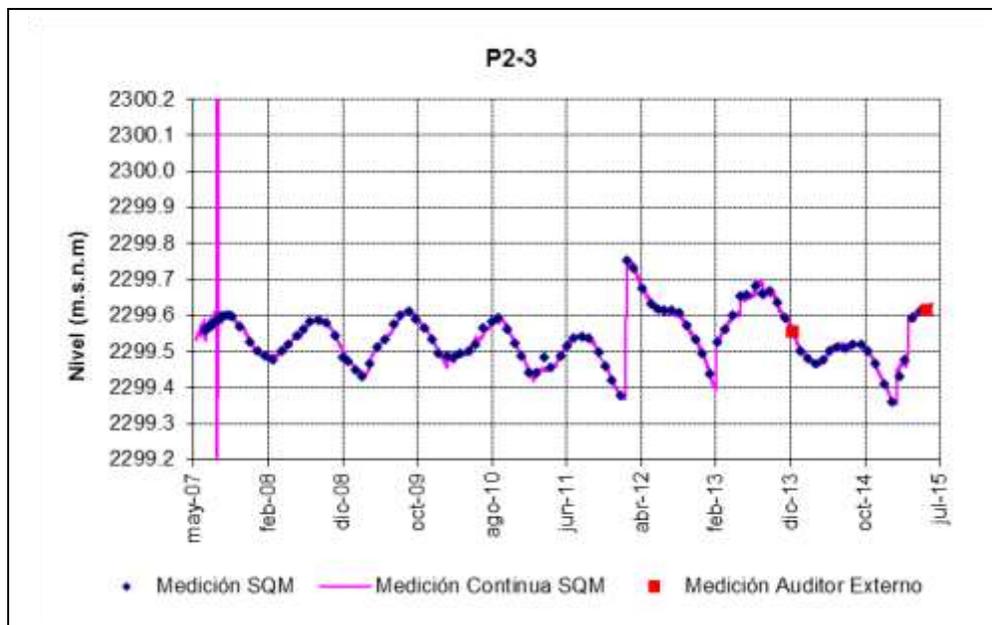
Fuente: Elaboración propia

Figura 5-83: Nivel observado en el pozo P2-2, perfil D2 (línea magenta: medición continua, puntos azules: mediciones manuales)



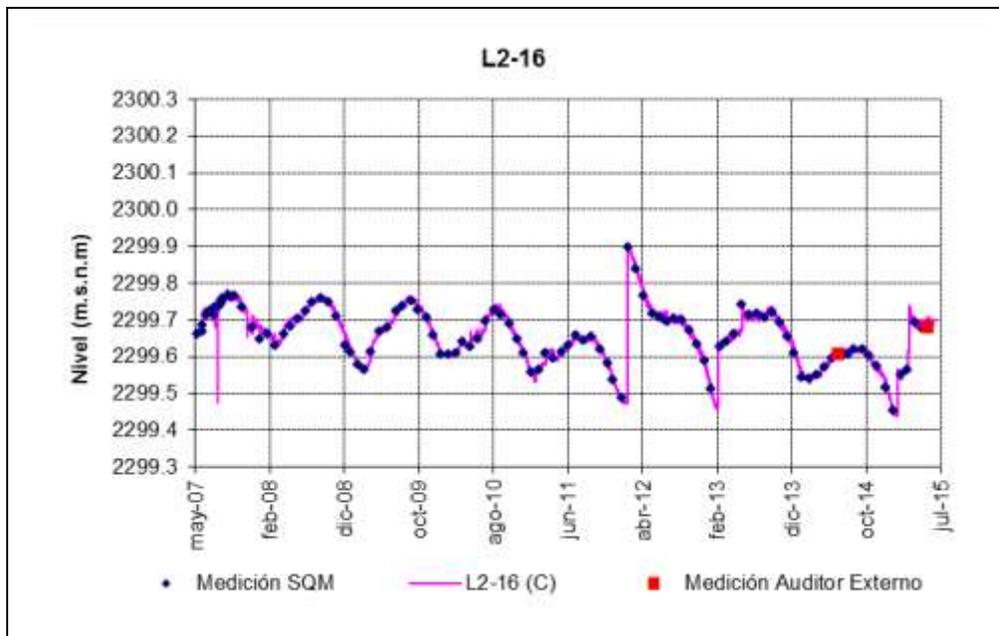
Fuente: Elaboración propia

Figura 5-84: Nivel observado en el pozo P2-3, perfil D2 (línea magenta: medición continua, puntos azules: mediciones manuales)



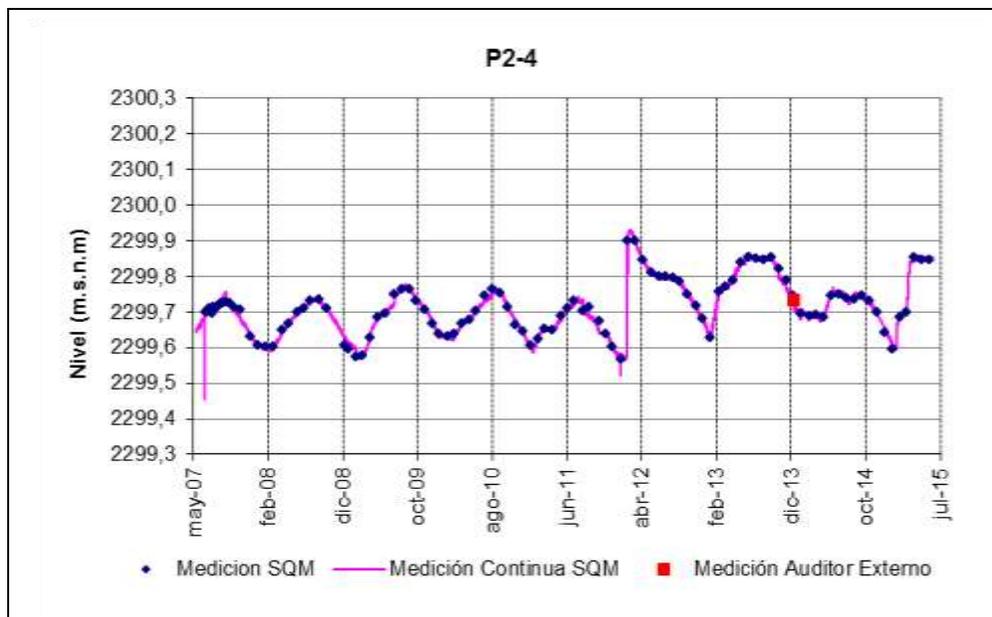
Fuente: Elaboración propia

Figura 5-85: Nivel observado en el pozo L2-16, perfil D2 (línea magenta: medición continua, puntos azules: mediciones manuales)



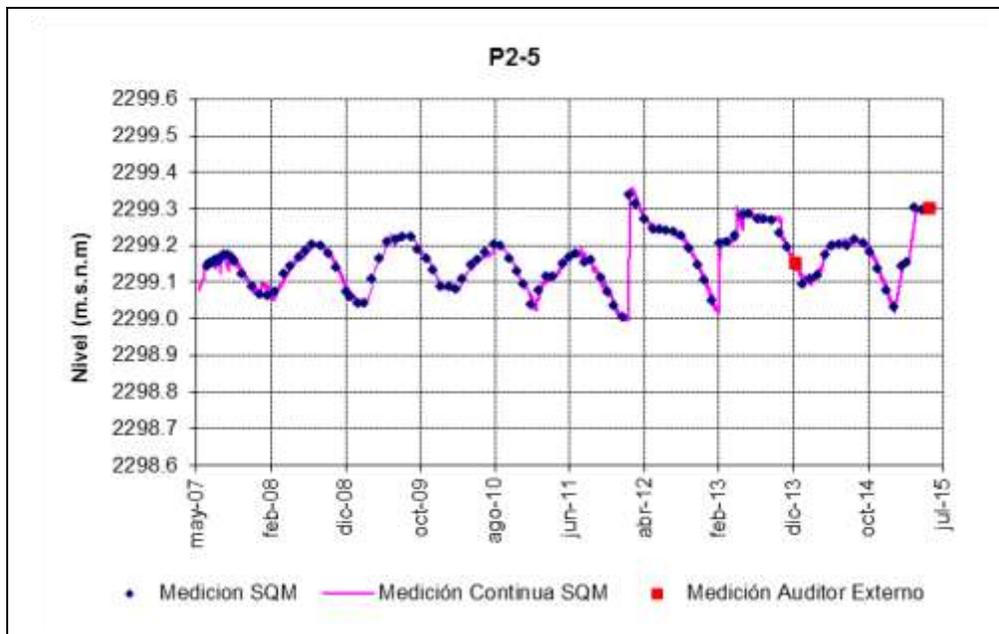
Fuente: Elaboración propia

Figura 5-86: Nivel observado en el pozo P2-4, perfil D2 (línea magenta: medición continua, puntos azules: mediciones manuales)



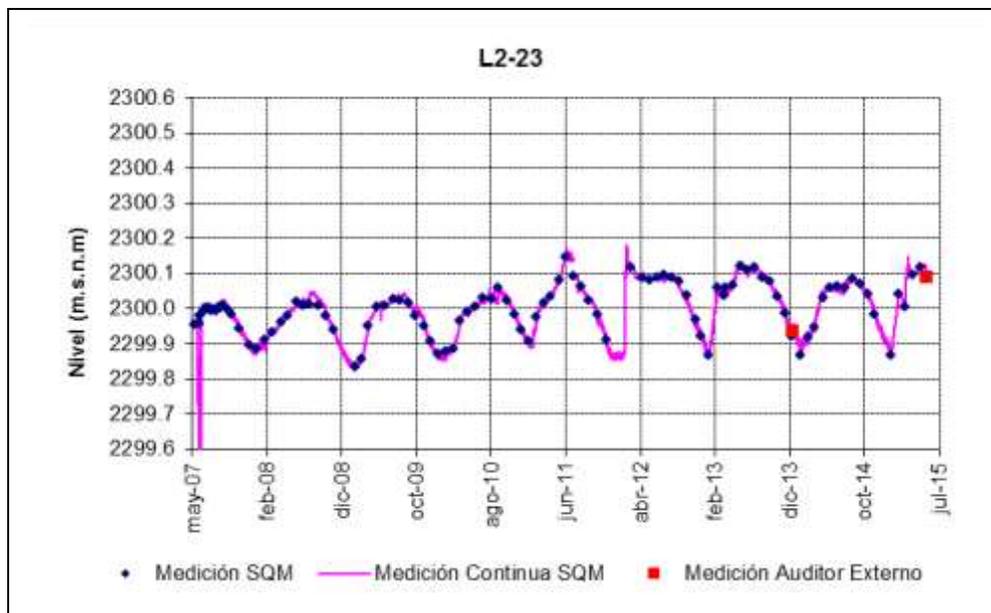
Fuente: Elaboración propia

Figura 5-87: Nivel observado en el pozo P2-5, perfil D2 (línea magenta: medición continua, puntos azules: mediciones manuales)



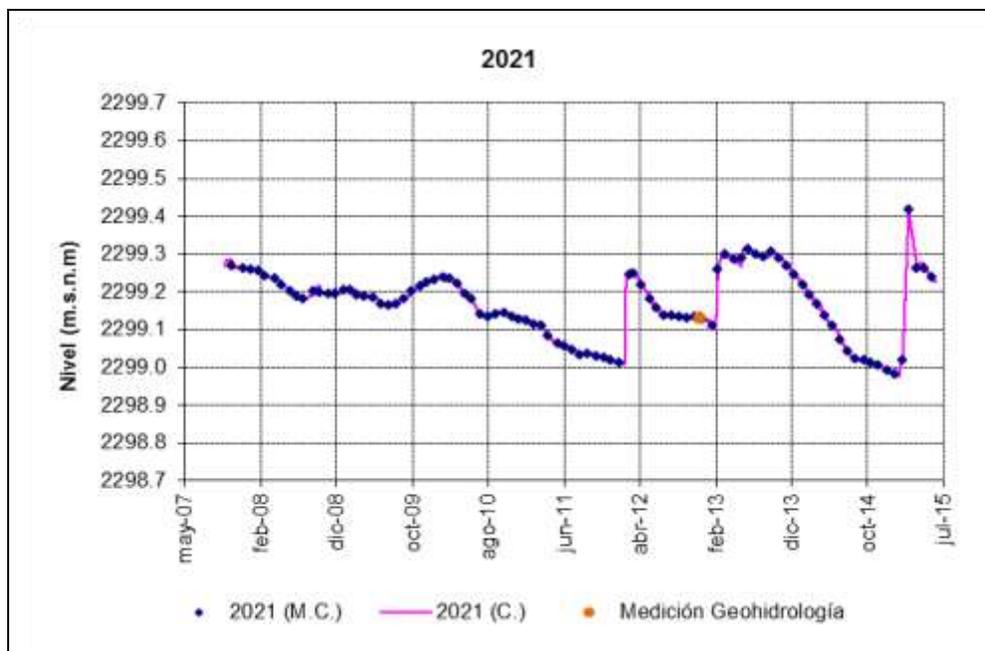
Fuente: Elaboración propia

Figura 5-88: Nivel observado en el pozo L2-23, perfil D2 (línea magenta: medición continua, puntos azules: mediciones manuales)



Fuente: Elaboración propia

Figura 5-89: Nivel mensual observado en el pozo 2021 (línea magenta: medición continua, puntos azules: mediciones manuales)

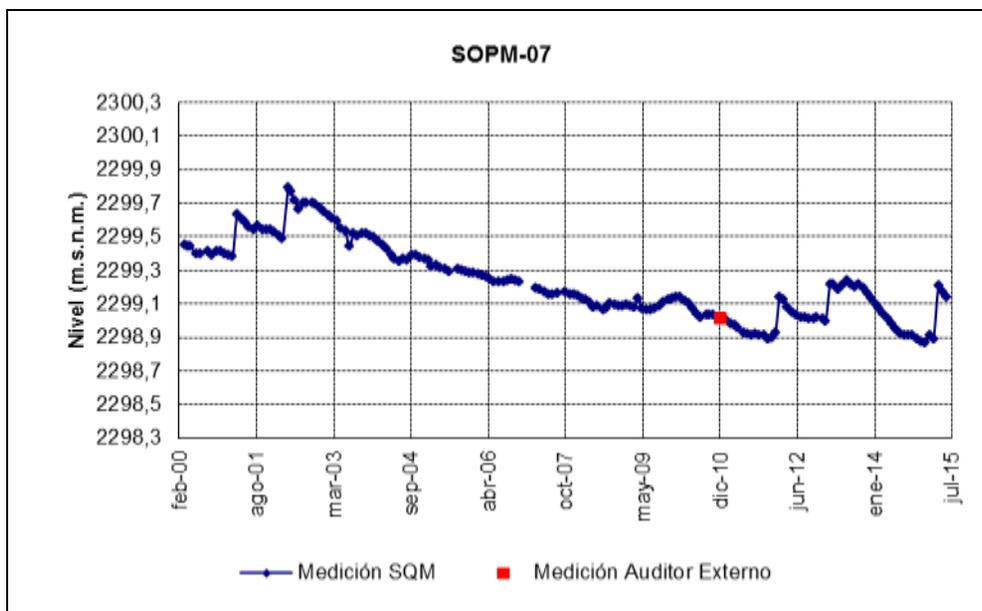


Fuente: Elaboración propia

5.3.1.4 Pozos de salmuera

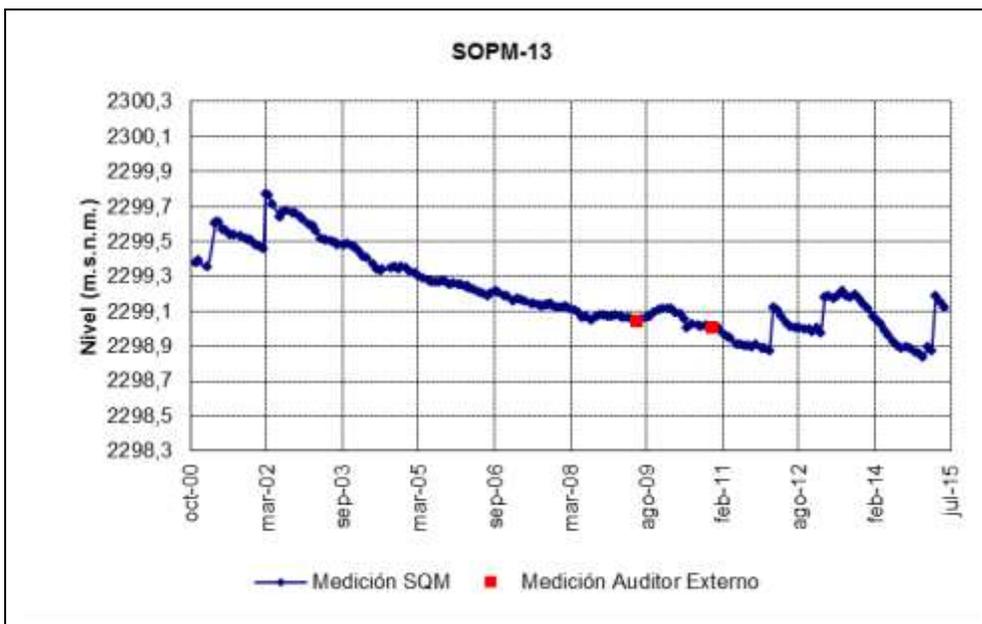
De la Figura 5-90 a la Figura 5-94 se presentan los pozos pertenecientes al sistema Soncor que están ubicados en el sector del núcleo del Salar de Atacama.

Figura 5-90: Nivel mensual observado en el pozo SOPM-07 (L2-6)



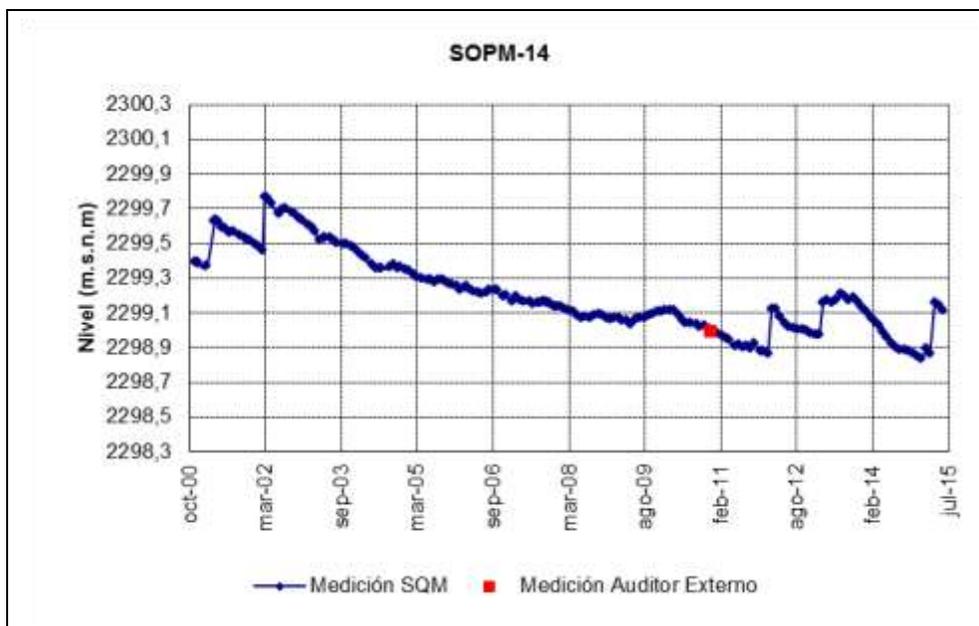
Fuente: Elaboración propia

Figura 5-91: Nivel mensual observado en el pozo SOPM-13



Fuente: Elaboración propia

Figura 5-92: Nivel mensual observado en el pozo SOPM-14



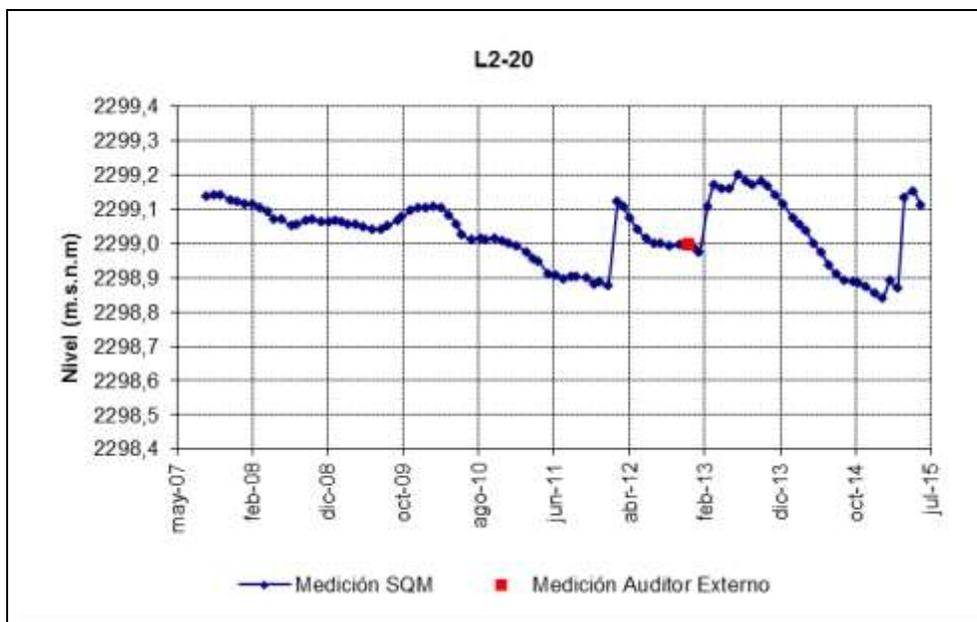
Fuente: Elaboración propia

Figura 5-93: Nivel mensual observado en el pozo L2-14



Fuente: Elaboración propia

Figura 5-94: Nivel mensual observado en el pozo L2-20



Fuente: Elaboración propia

5.3.1.5 Nivel lacustre

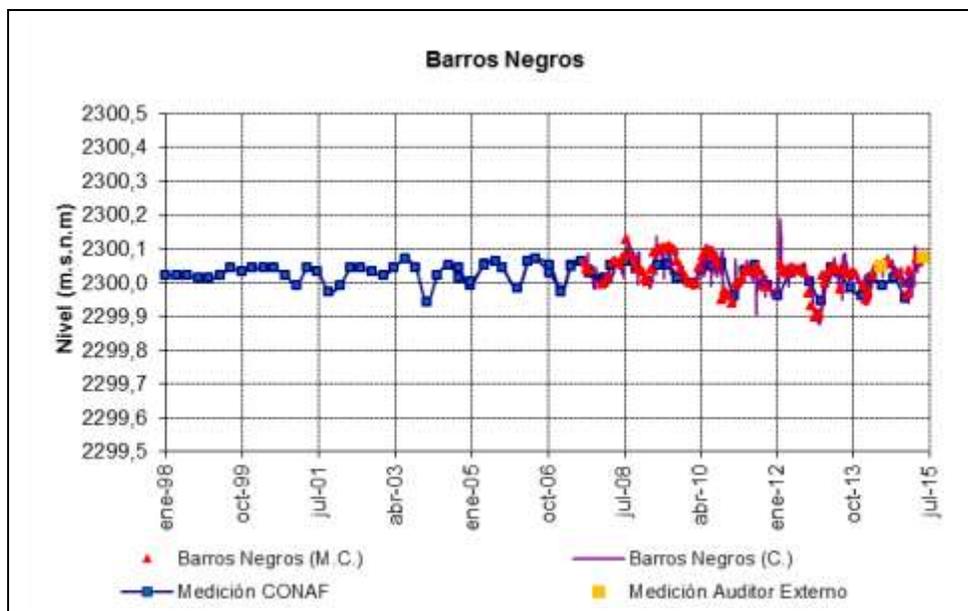
A continuación se presentan los niveles continuos medidos en las lagunas del sistema Soncor, Barros Negros, Chaxa y Puilar. Además, se presentan las mediciones trimestrales que realizó CONAF en el marco del convenio específico CONAF – SQM Salar S.A. vigente para el periodo 2014-2019, relativo al “Plan de Monitoreo Ambiental Hábitat y Avifauna del Salar de Atacama”.

Cada una de las lagunas cuenta con tres mediciones de nivel:

- mediciones continuas en las reglillas de SQM
- mediciones manuales en las reglillas de SQM
- mediciones manuales en las reglillas de CONAF

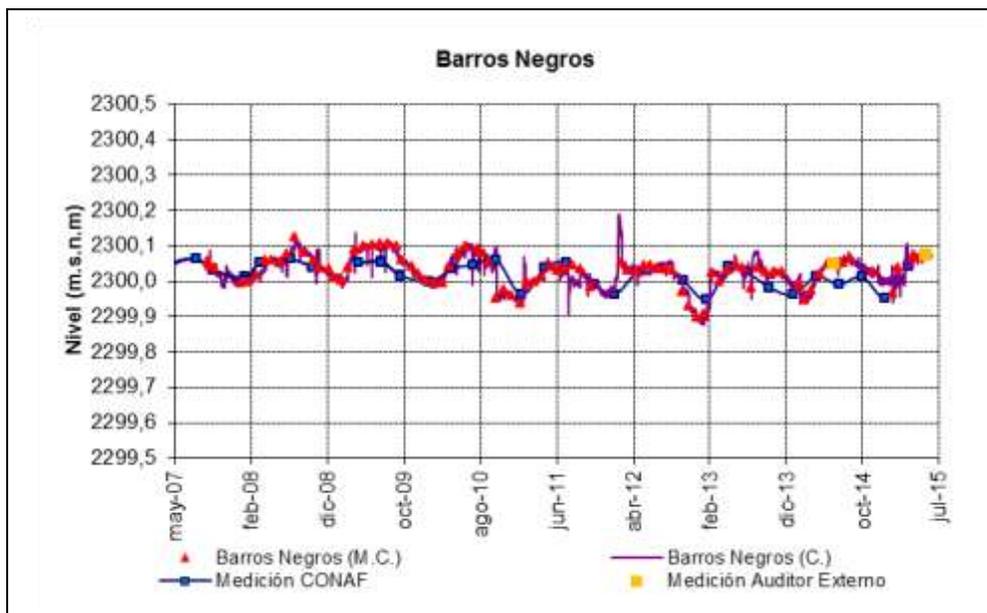
Como se indicó en informes anteriores, CONAF unificó las mediciones realizadas tanto de la reglilla como del limnómetro, de manera que de ahora en adelante se llamará simplemente “Monitoreo CONAF”, entendiéndose que este monitoreo corresponde a la reglilla metálica.

Figura 5-95: Nivel mensual observado en la reglilla Barros Negros



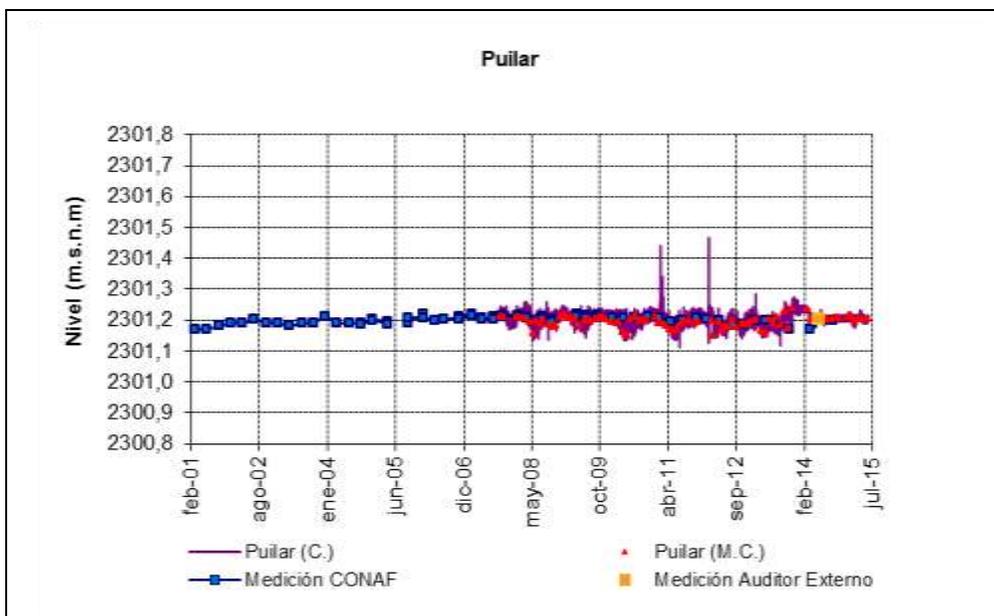
Fuente: Elaboración propia

Figura 5-96: Nivel mensual observado en la reglilla Barros Negros desde el 13 de mayo de 2007 (fecha de inicio de medición de pozos del PC)



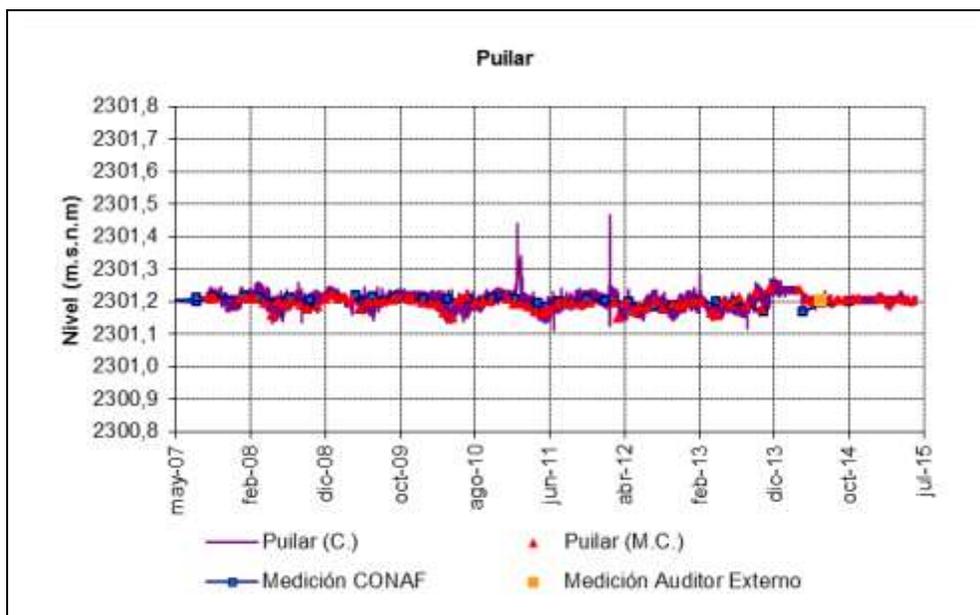
Fuente: Elaboración propia

Figura 5-97: Nivel mensual observado en la reglilla Puilar



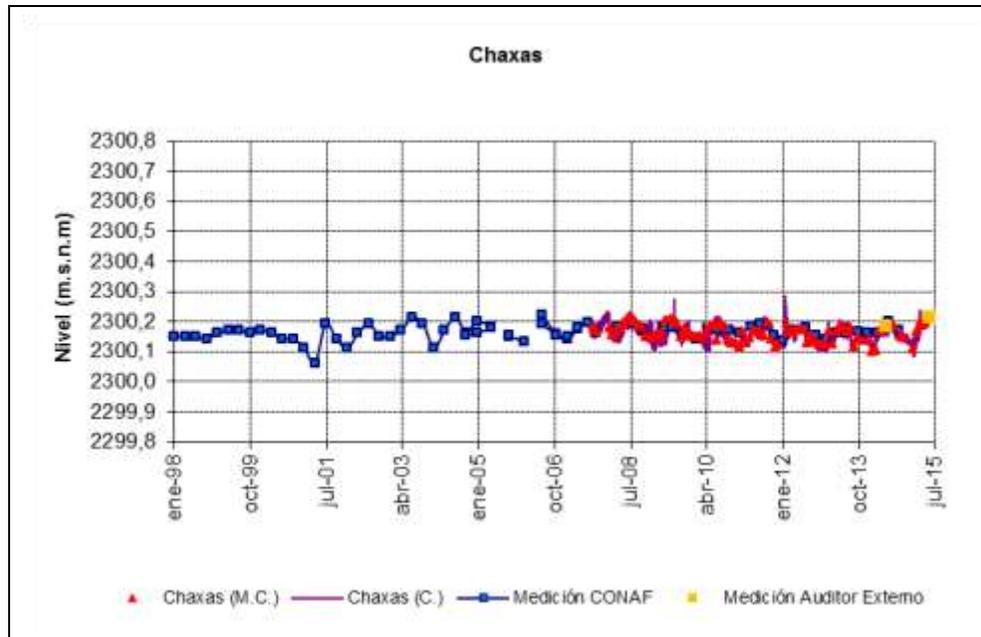
Fuente: Elaboración propia

Figura 5-98: Nivel mensual observado en la reglilla Puilar desde 13 de mayo de 2007 (fecha de inicio de medición de pozos del PC)



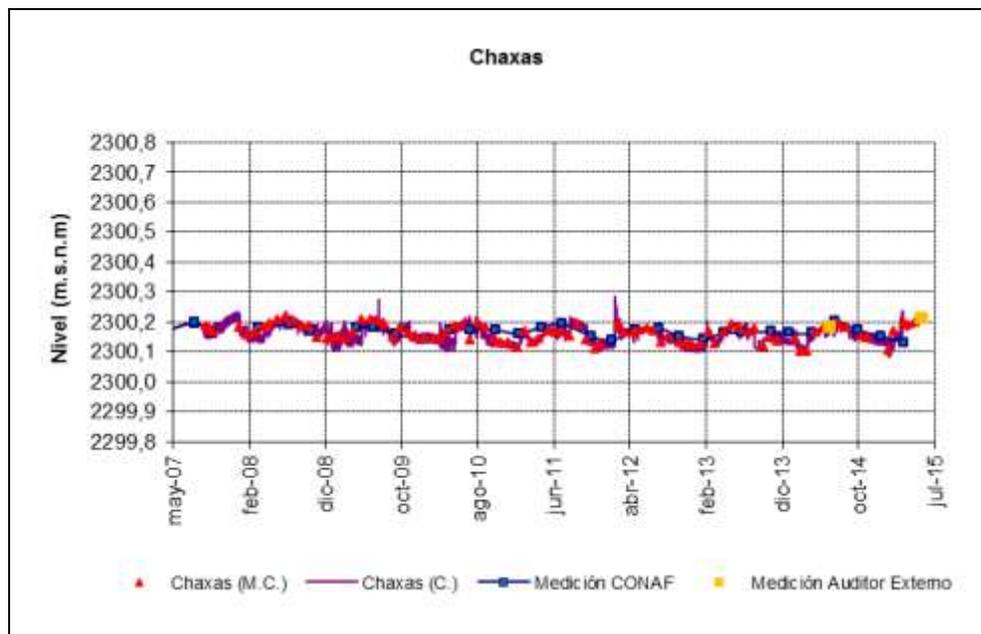
Fuente: Elaboración propia

Figura 5-99: Nivel mensual observado en la reglilla Chaxas



Fuente: Elaboración propia

Figura 5-100: Nivel mensual observado en la reglilla Chaxas desde 13 de mayo de 2007 (fecha de inicio de medición de pozos del PC)



Fuente: Elaboración propia

5.3.1.6 Meteorología

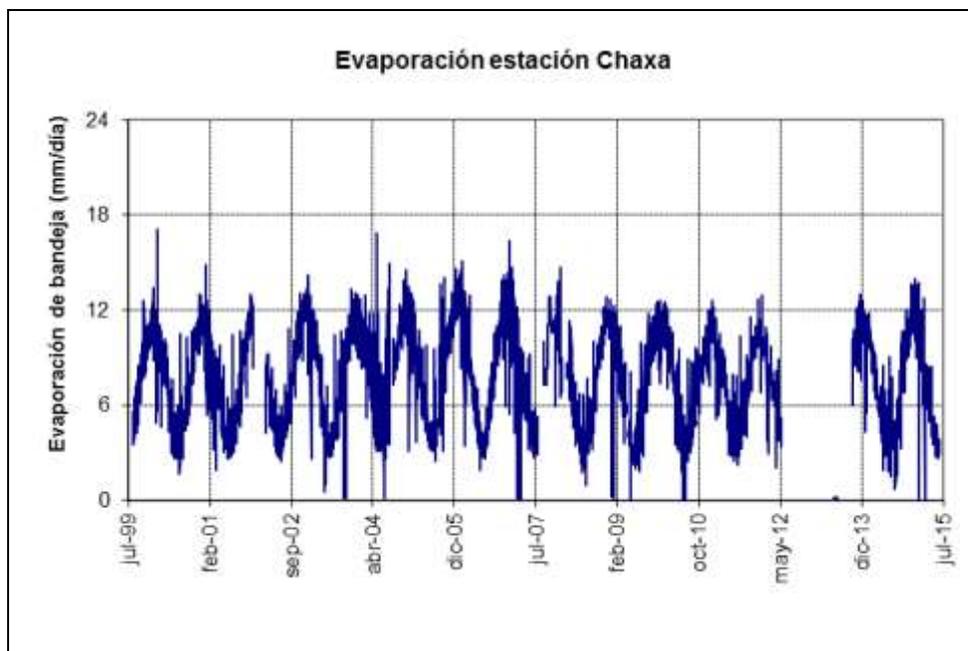
Desde la Figura 5-101 a la Figura 5-104 se presentan las variables registradas por la estación meteorológica Chaxa que forman parte del PSAH, precipitación, evaporación, velocidad y temperatura diaria.

Figura 5-101: Precipitación diaria registrada en la estación Chaxa



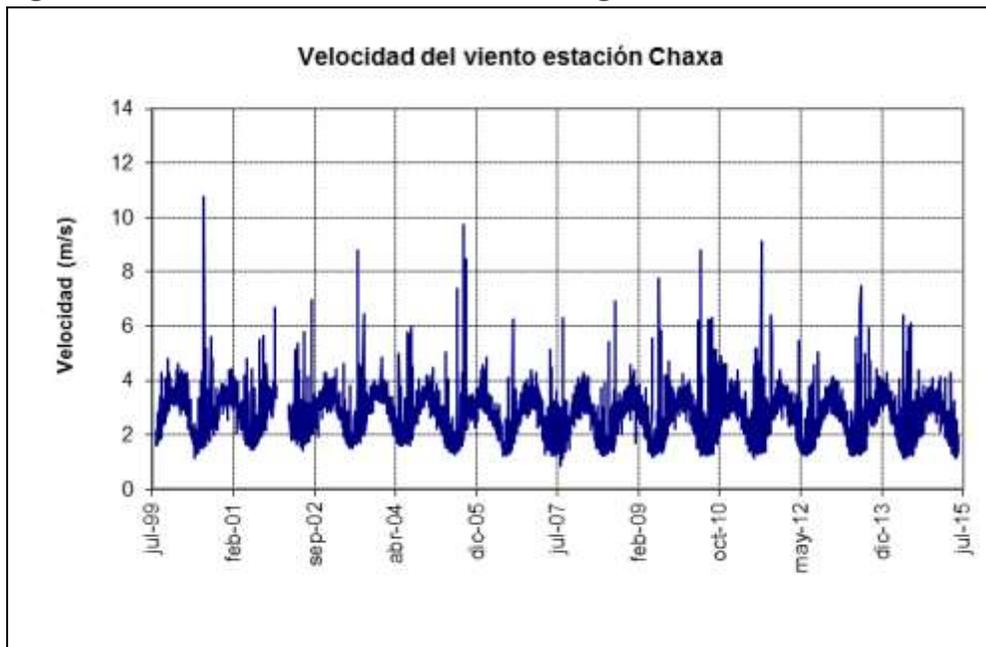
Fuente: Elaboración propia

Figura 5-102: Evaporación diaria registrada en la estación Chaxa⁴



Fuente: Elaboración propia

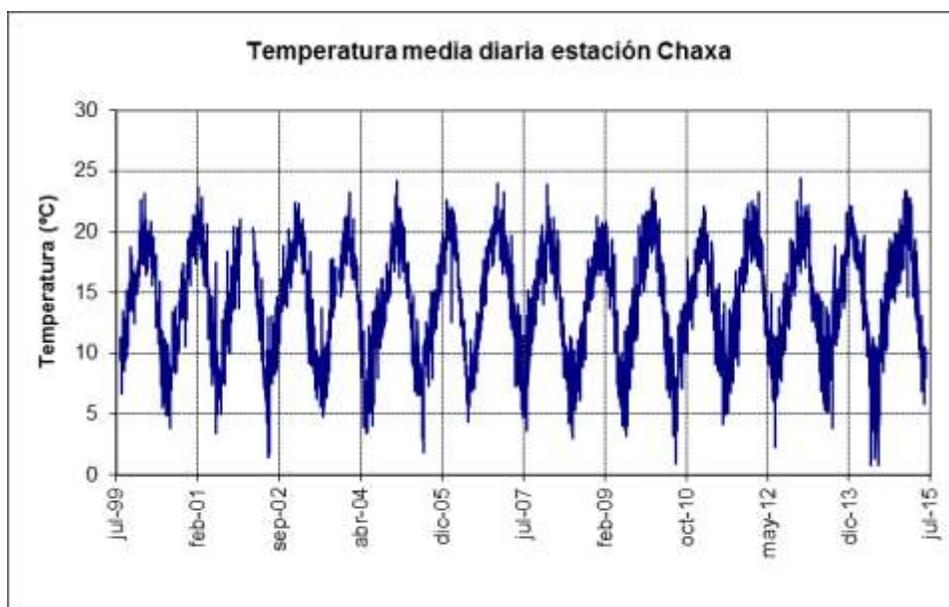
Figura 5-103: Velocidad del viento diaria registrada en la estación Chaxa



Fuente: Elaboración propia

⁴ Es importante mencionar que la falta de datos entre mediados de mayo 2012 hasta octubre 2013 se debe al corte de camino producido por las lluvias, lo que imposibilitó el transporte del agua necesaria para el tanque evaporímetro. El detalle de esta situación se presenta en los informes anteriores.

Figura 5-104: Temperatura media diaria registrada en la estación Chaxa

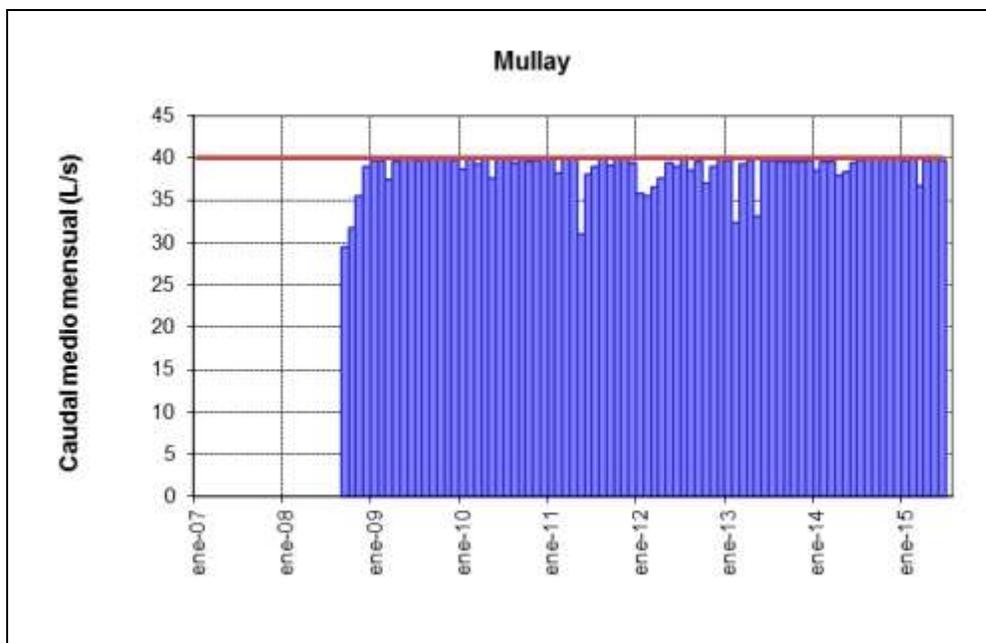


Fuente: Elaboración propia

5.3.1.7 Caudal bombeado

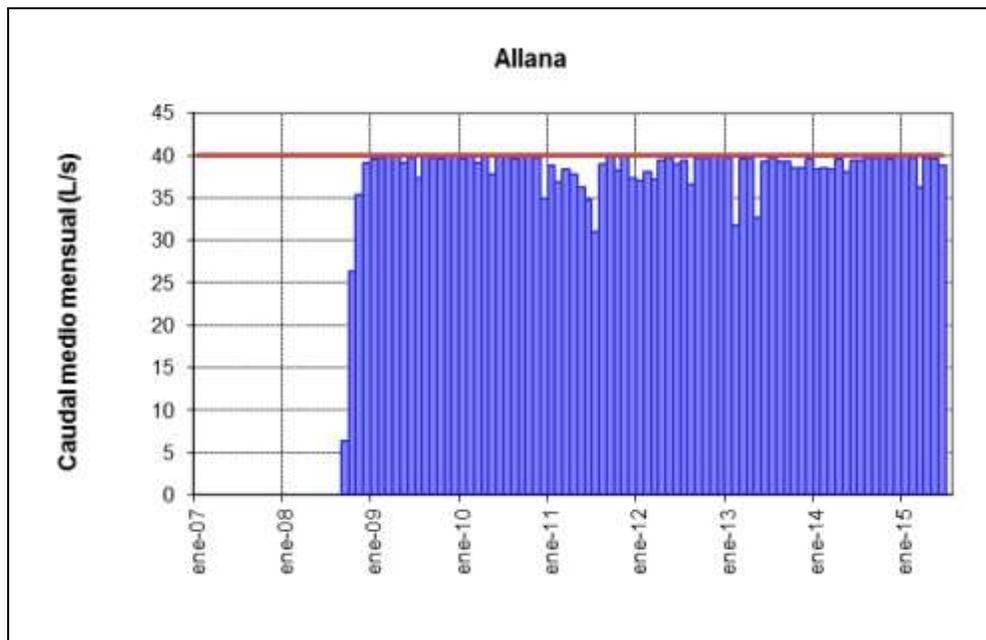
En la Figura 5-105 y Figura 5-106 se muestran los caudales medios mensuales bombeados de los pozos Mullay 1 y Allana respectivamente.

Figura 5-105: Caudal medio mensual bombeado desde el pozo Mully



Fuente: Elaboración propia

Figura 5-106: Caudal medio mensual bombeado desde el pozo Allana



Fuente: Elaboración propia

5.3.1.8 Calidad química

Los pozos que forman parte del monitoreo de la calidad química del agua subterránea en el sistema Soncor son: L1-4, L1-5, L1-6, L1-G4, L2-3, L2-4, L2-5, L7-3, L7-G1, SOPM-07, SOPM-14, Mullay 1 y Allana. Si bien los pozos L2-4 y L7-3 son parte del monitoreo de la calidad del agua tanto para el sistema Soncor como para el sector Vegetación Borde Este, los resultados son presentados sólo en esta sección. Desde la Figura 5-107 a Figura 5-121 se presentan los datos recogidos en terreno y los resultados de los análisis químicos realizados por el laboratorio ALS Environmental para cada uno de los pozos previamente señalados. En el Anexo 3 se presentan los informes de los análisis químicos reportados por ALS Environmental para dichas muestras y en el Anexo 4 el certificado de acreditación de este laboratorio.

Respecto del análisis químico de las lagunas, personal de SQM tomó muestras de agua desde las lagunas Chaxa y Barros Negros. En estas muestras se midieron coliformes fecales, nitrógeno amoniacal, hidrocarburos totales y detergentes en ambas lagunas. Los resultados entregados por ALS Environmental se presentan de la Figura 5-122 a la Figura 5-123.

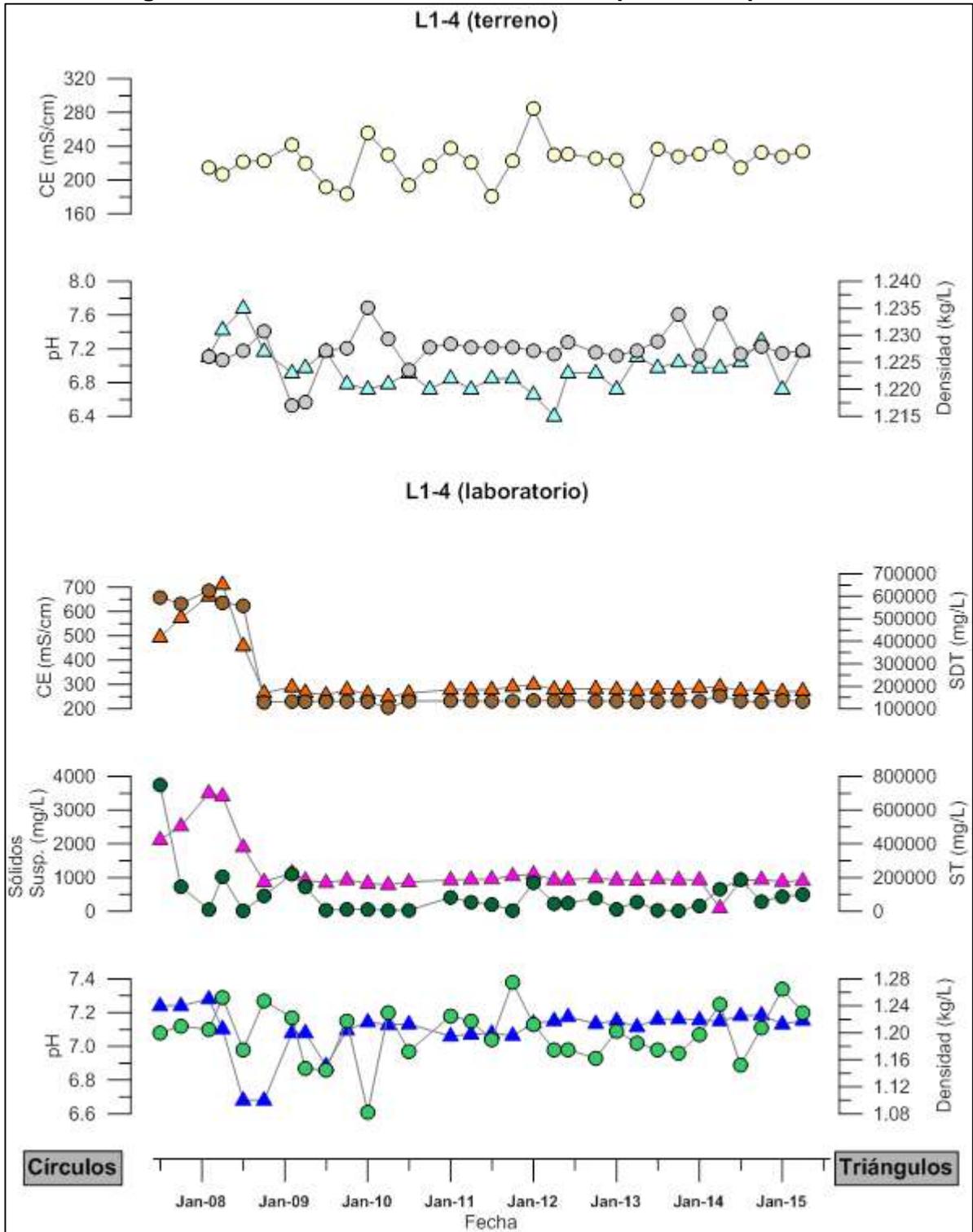
CONAF, como parte del convenio de monitoreo que posee actualmente con SQM, mide sólidos totales, sólidos suspendidos, sólidos disueltos, sodio, potasio, calcio, magnesio, dureza total, carbonato, bicarbonato, sulfato, cloruro, arsénico, nitrato, fosfato, pH, temperatura y oxígeno disuelto en los cuatro cuerpos de agua del Sistema Soncor, las mediciones se realizan en forma trimestral. Los resultados de estos análisis se presentan de la Figura 5-124 a la Figura 5-131.

Es importante notar que en los gráficos de hidroquímica, las series representadas con un círculo están asociadas a los ejes del lado izquierdo y las que se encuentran representadas por un triángulo están asociadas a los ejes del lado derecho.

5.3.1.8.1 Muestreo de aguas realizado por SQM

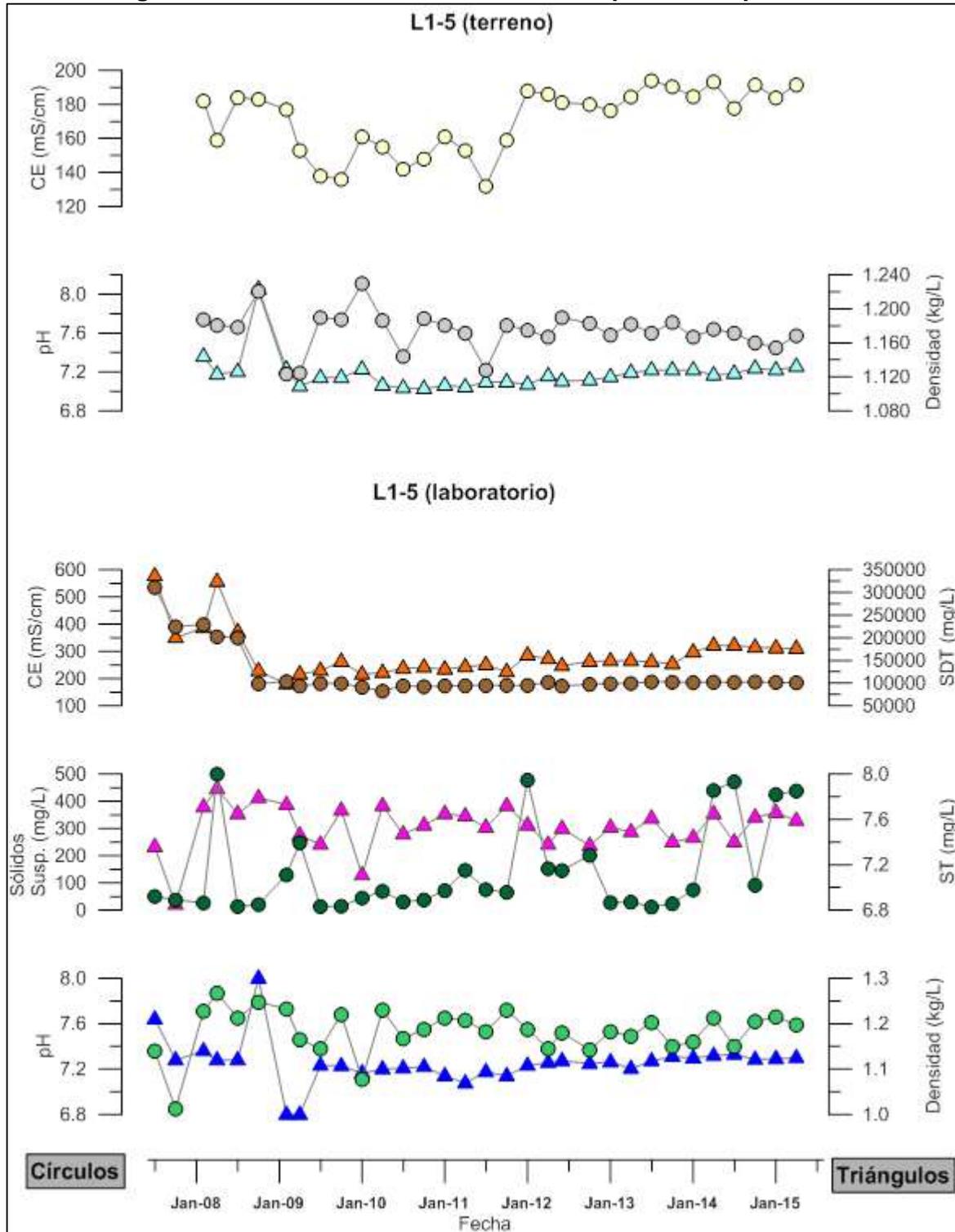
A continuación se presentan los resultados de análisis físico-químico de muestras de agua tomadas en terreno por SQM y analizadas por el laboratorio ALS Environmental.

Figura 5-107: Resultados de análisis físico-químico del pozo L1-4



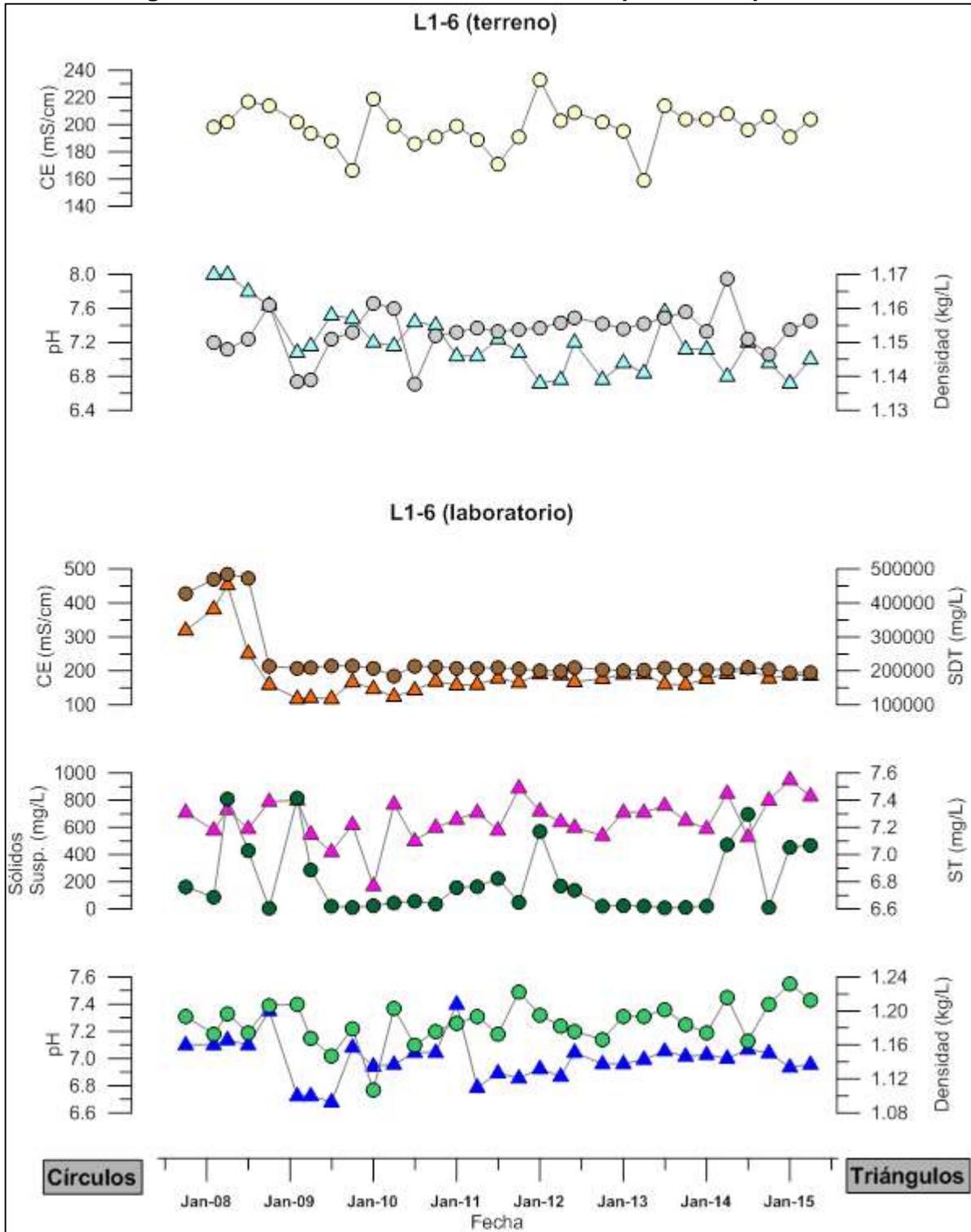
Fuente: Elaboración propia

Figura 5-108: Resultados de análisis físico-químico del pozo L1-5



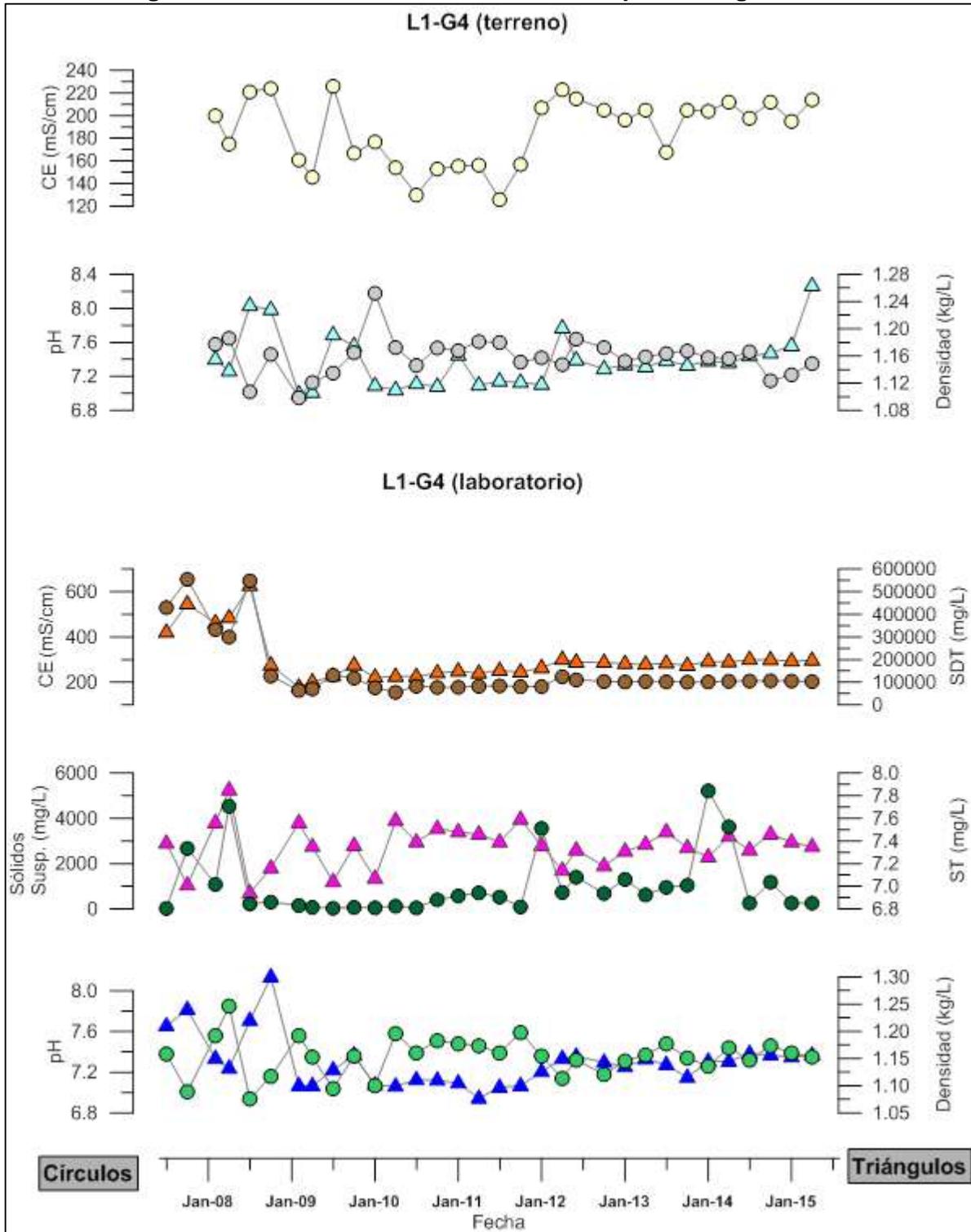
Fuente: Elaboración propia

Figura 5-109: Resultados de análisis físico-químico del pozo L1-6



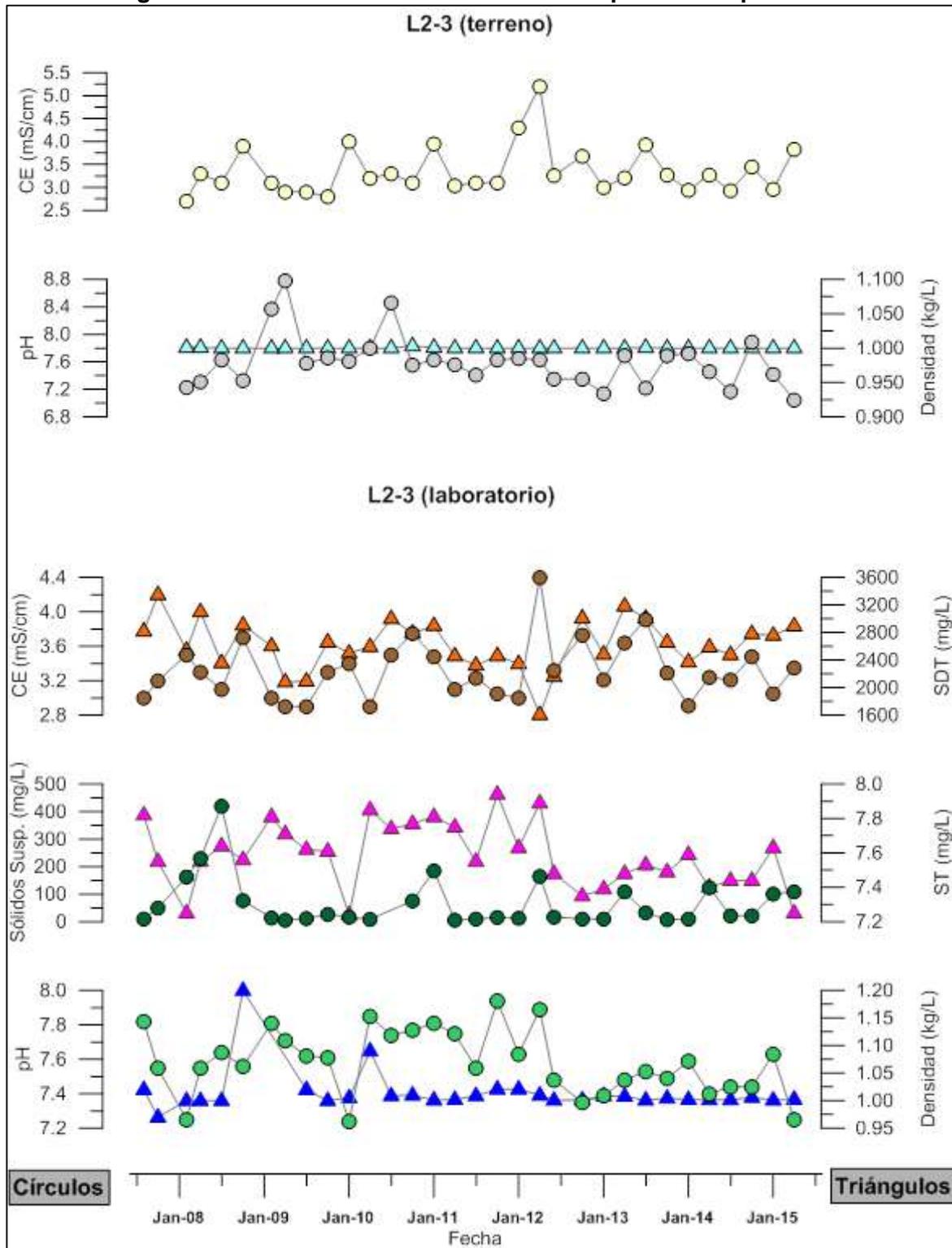
Fuente: Elaboración propia

Figura 5-110: Resultados de análisis físico-químico regilla L1-G4



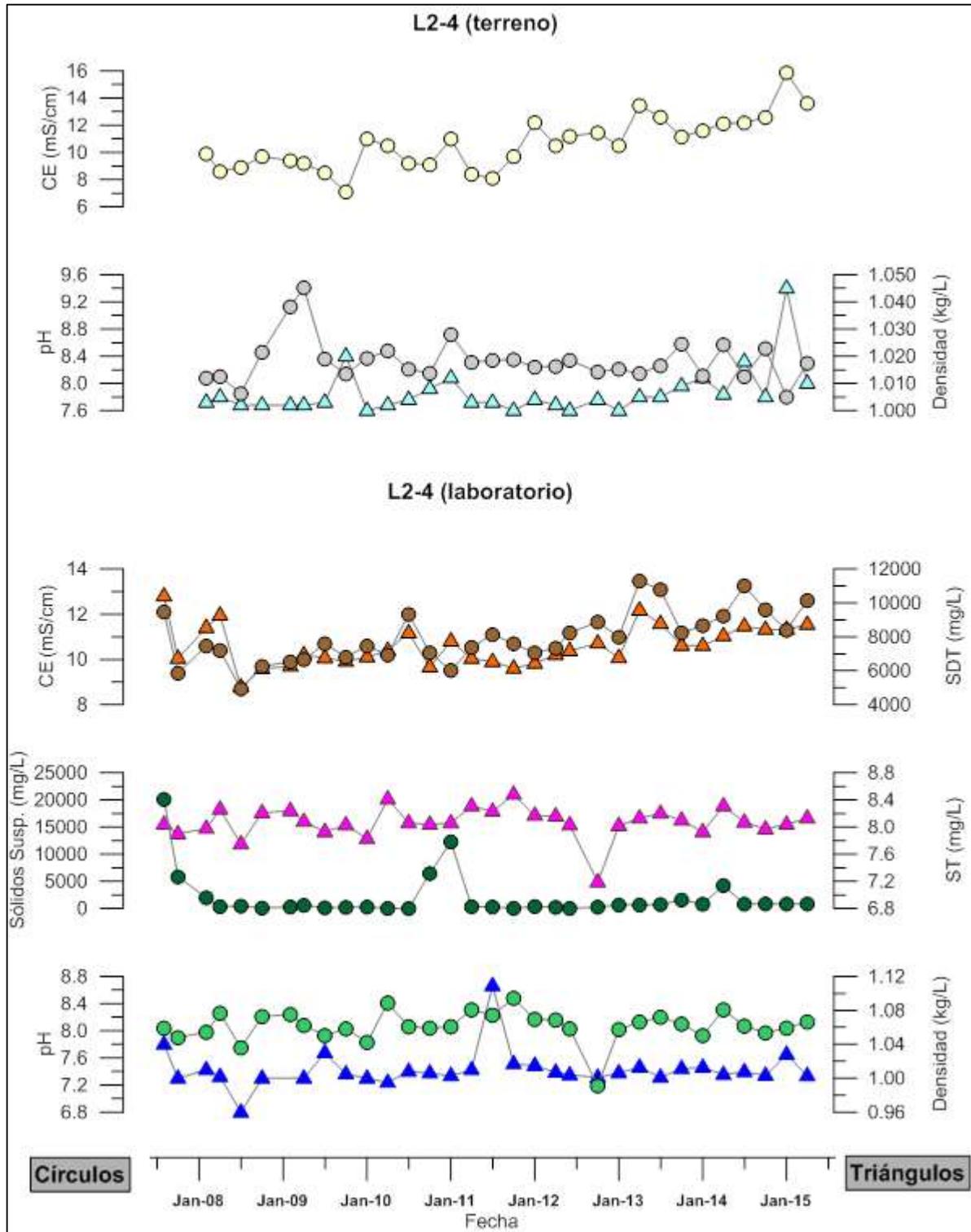
Fuente: Elaboración propia

Figura 5-111: Resultados de análisis físico-químico del pozo L2-3



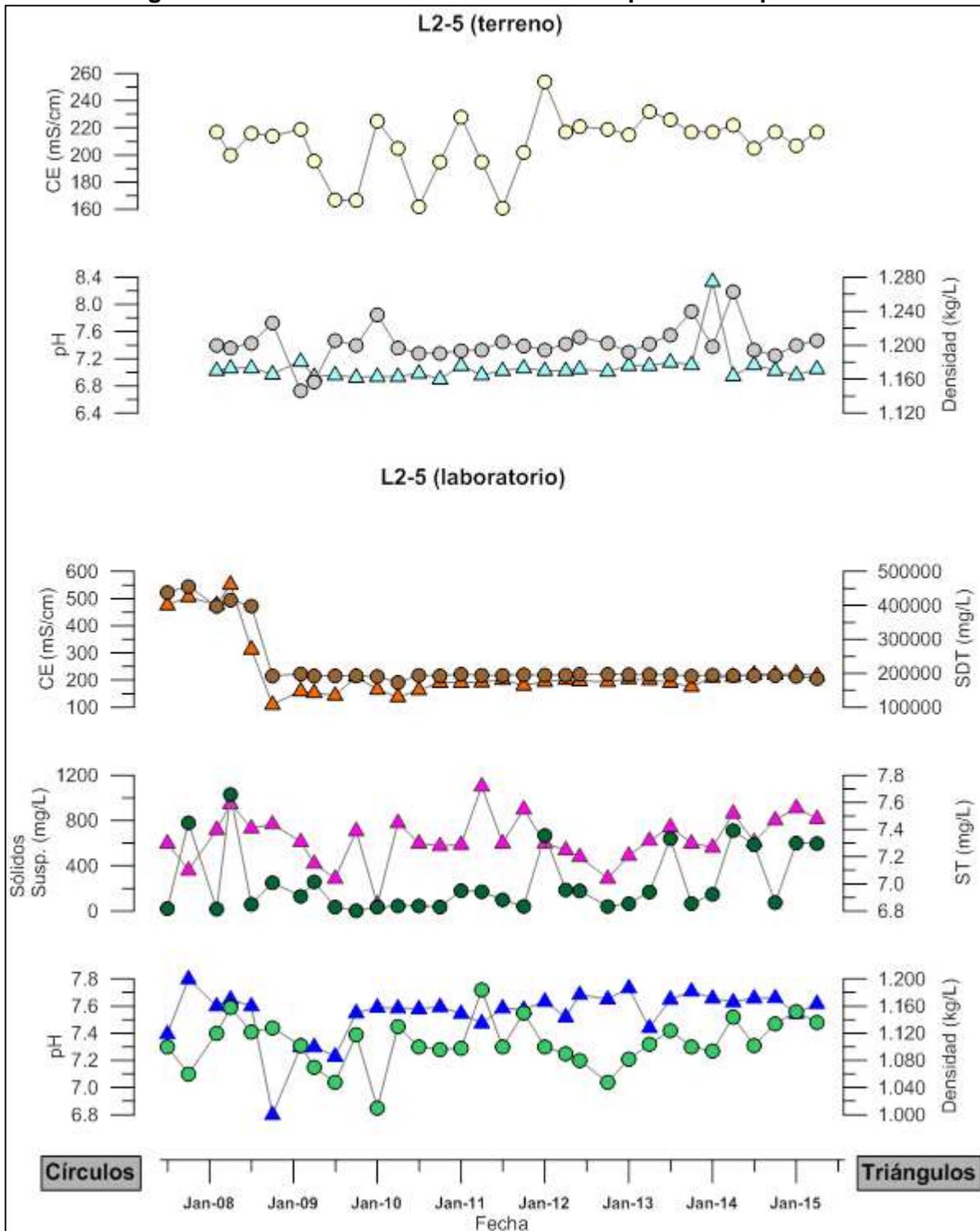
Fuente: Elaboración propia

Figura 5-112: Resultados de análisis físico-químico del pozo L2-4



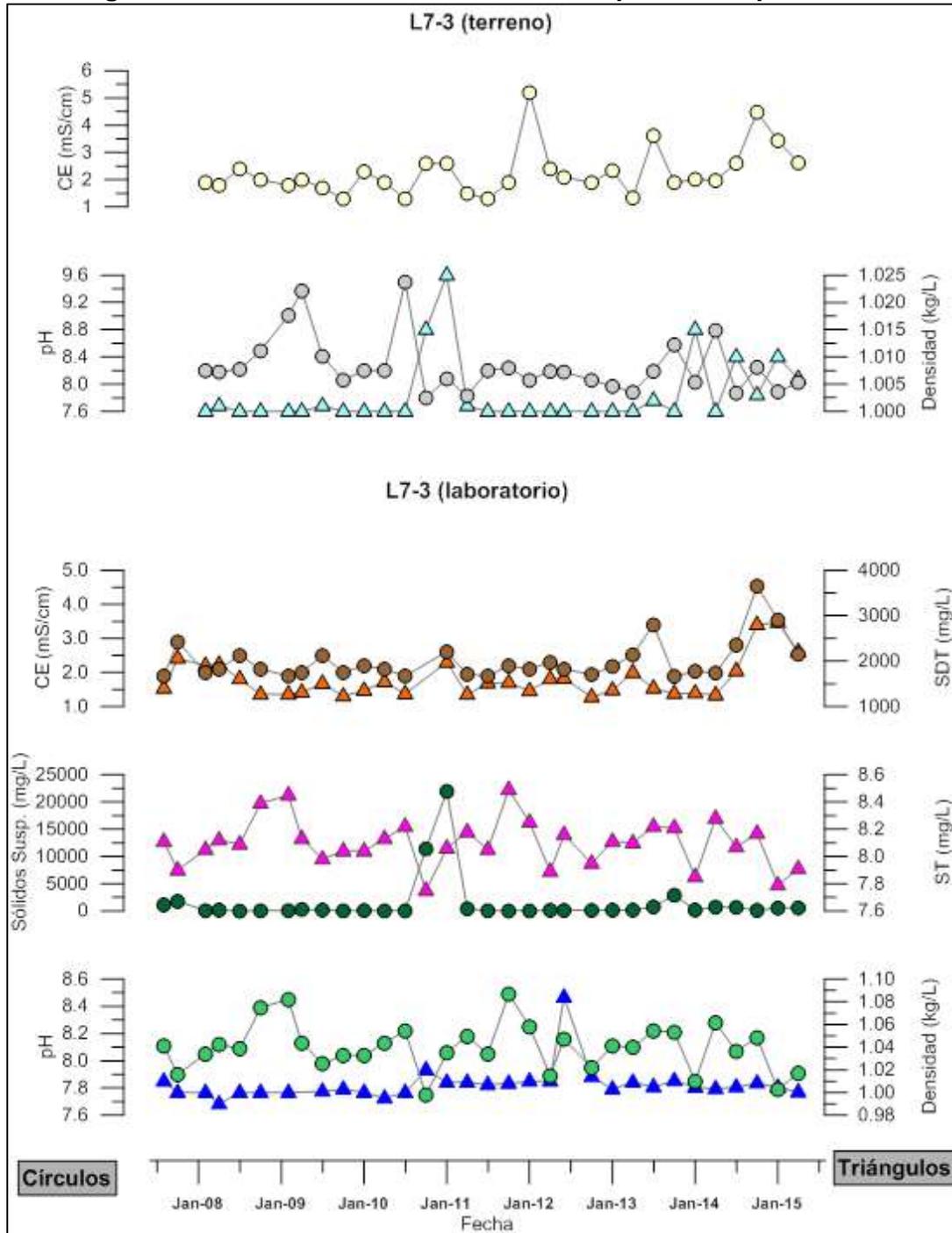
Fuente: Elaboración propia

Figura 5-113: Resultados de análisis físico-químico del pozo L2-5



Fuente: Elaboración propia

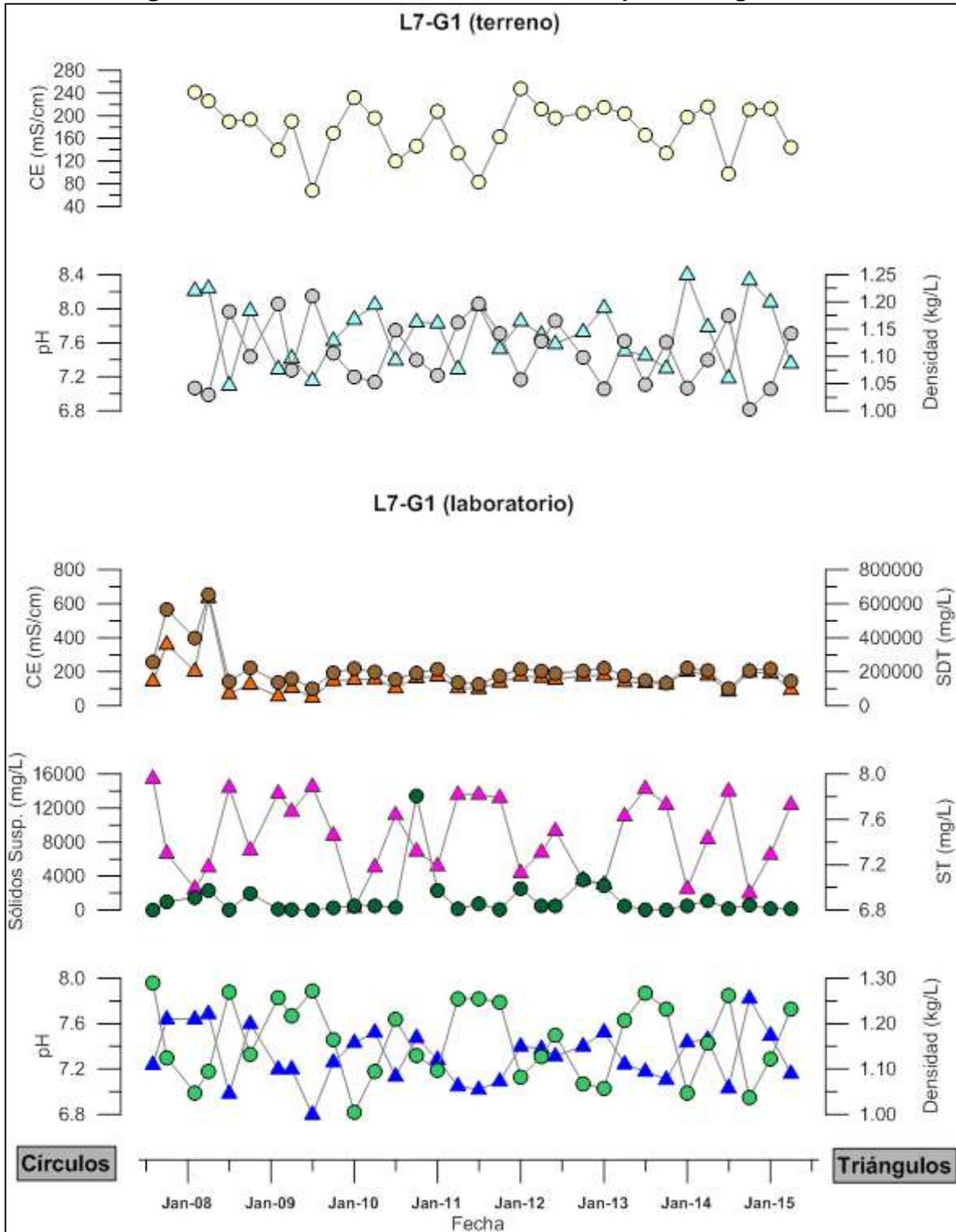
Figura 5-114: Resultados de análisis físico-químico del pozo L7-3⁵



Fuente: Elaboración propia

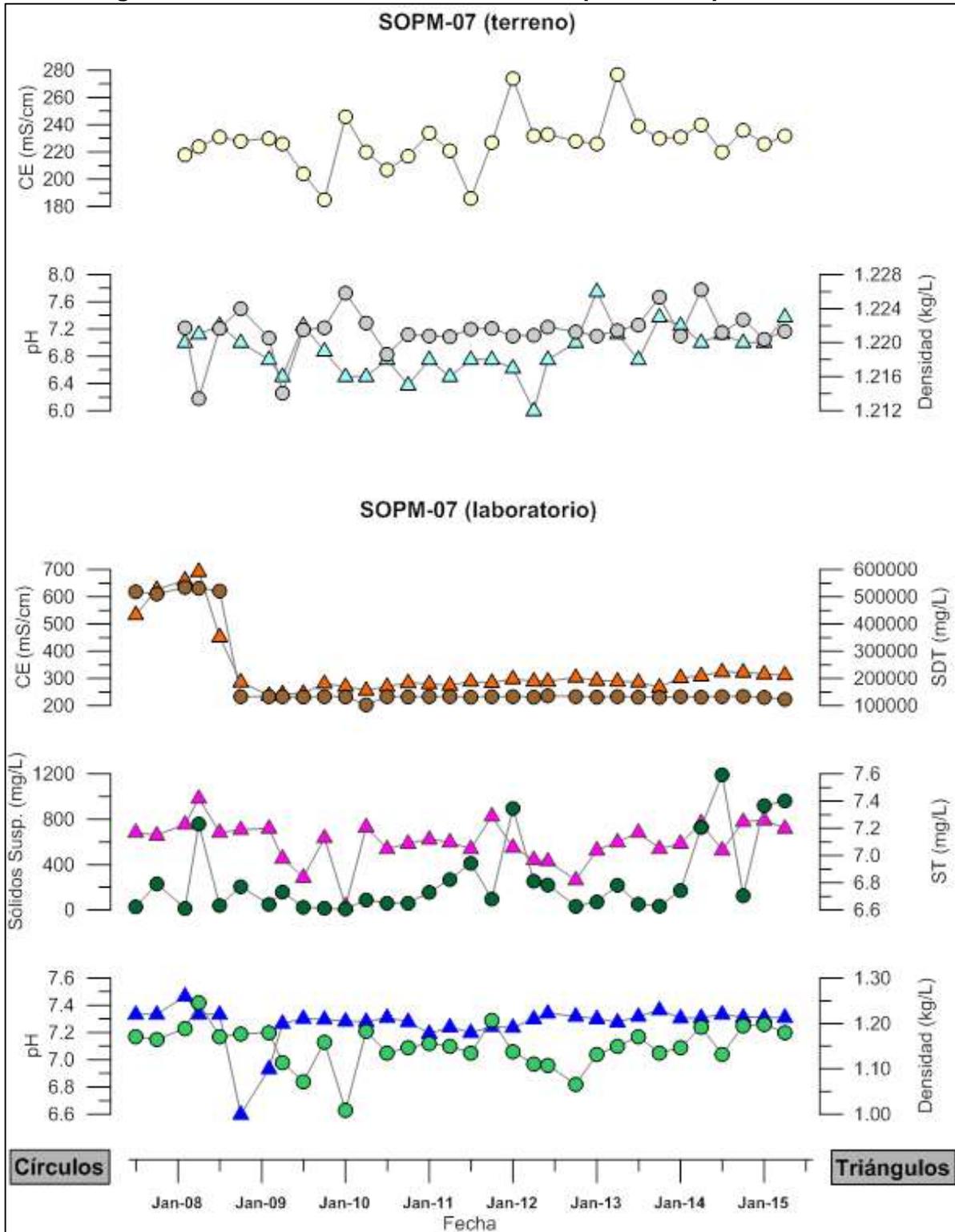
⁵ Para evitar problemas de escala, en la serie de SDT se sacó el dato de octubre de 2010, correspondiente a 6.990 mg/L, y en la serie de Sólidos Suspendidos se sacaron los datos de octubre de 2010 y enero de 2011, correspondientes a 11.409 mg/L y 21.965 mg/L.

Figura 5-115: Resultados de análisis físico-químico regilla L7-G1



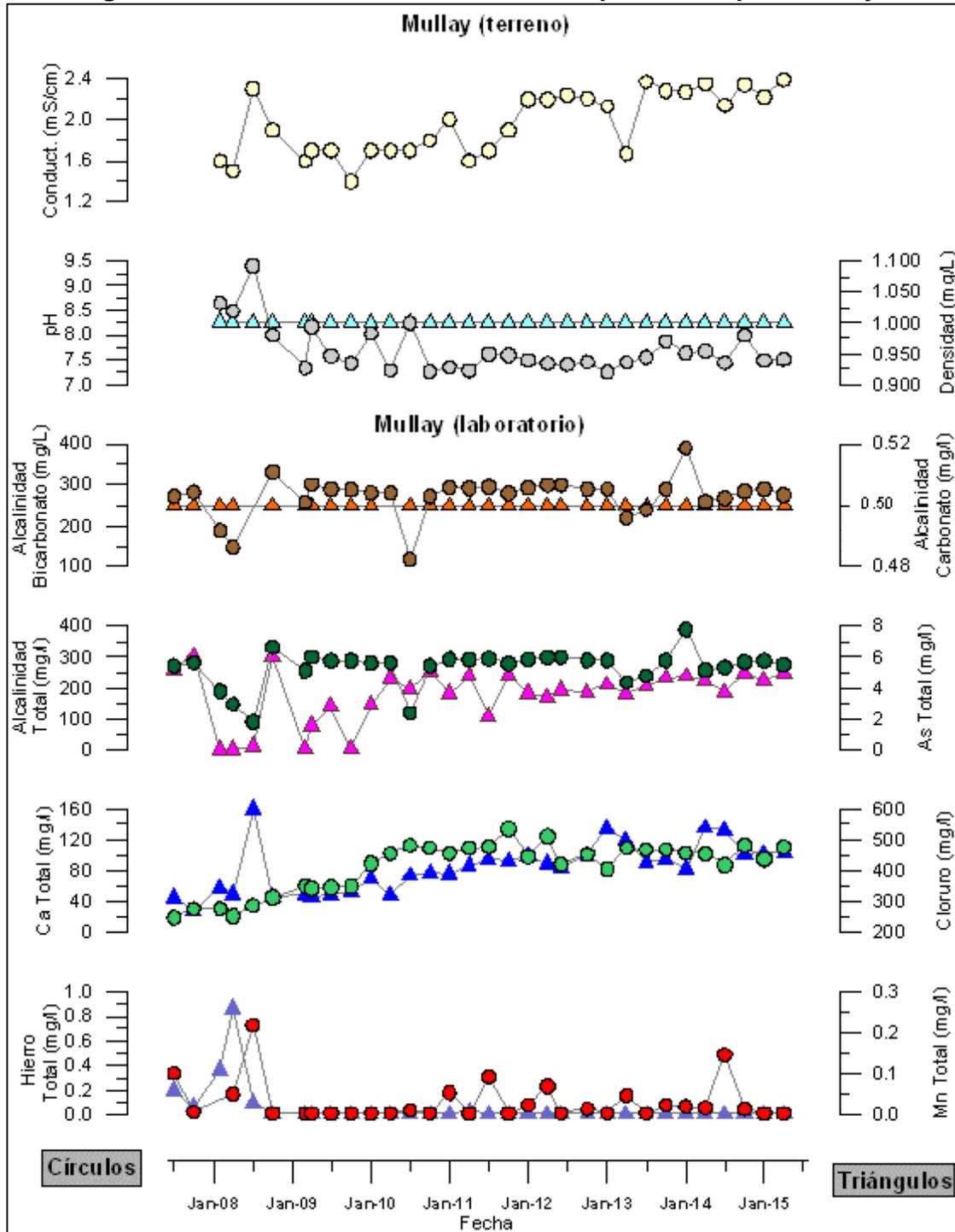
Fuente: Elaboración propia

Figura 5-116: Resultados de análisis físico-químico del pozo SOPM-07



Fuente: Elaboración propia

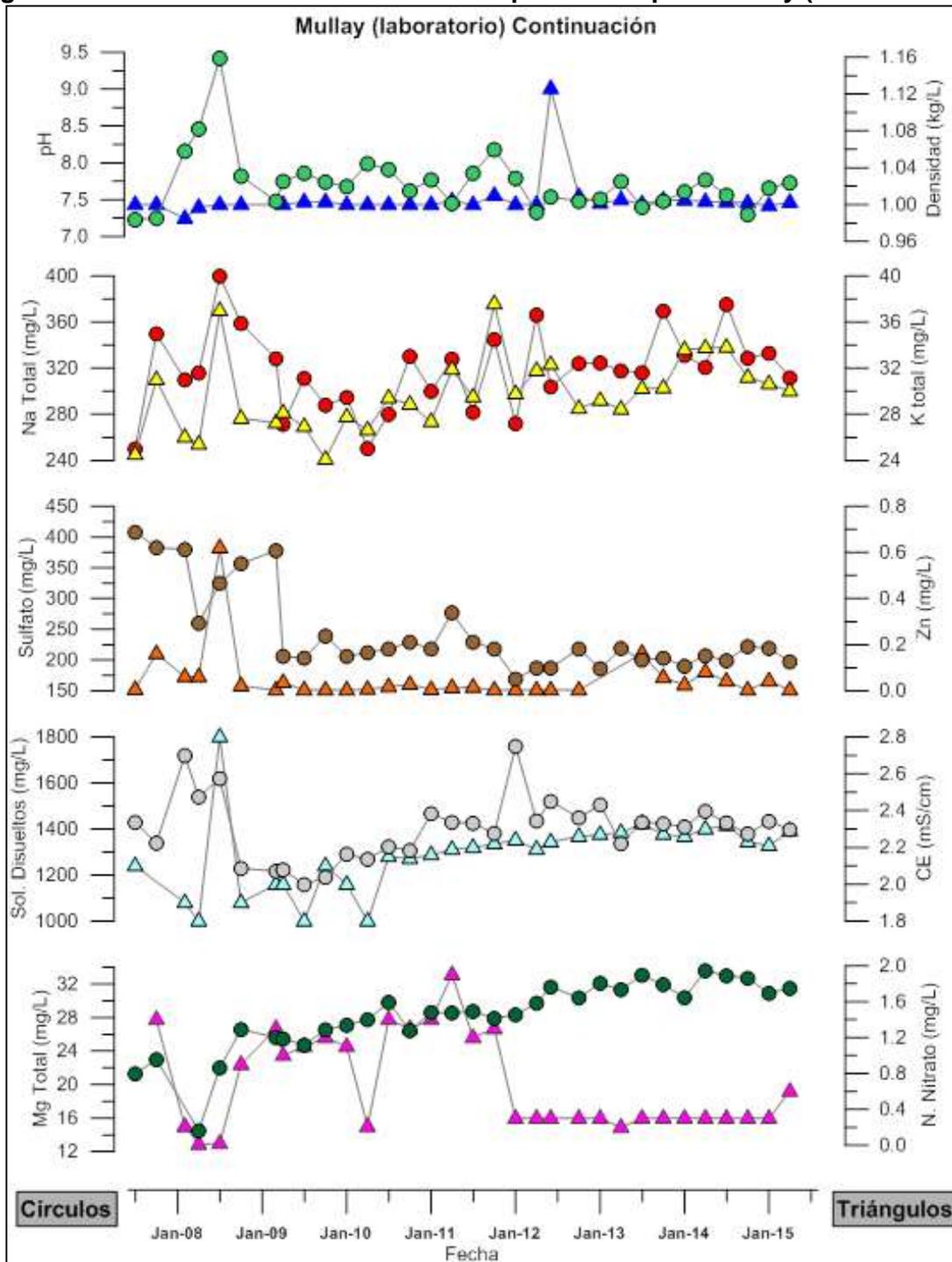
Figura 5-117: Resultados de análisis físico-químico del pozo Mullay⁶



Fuente: Elaboración propia

⁶ Para evitar problemas de escala a la serie del Hierro Total se le sacó el dato de febrero de 2008 correspondiente a un valor de 88.2 mg/L.

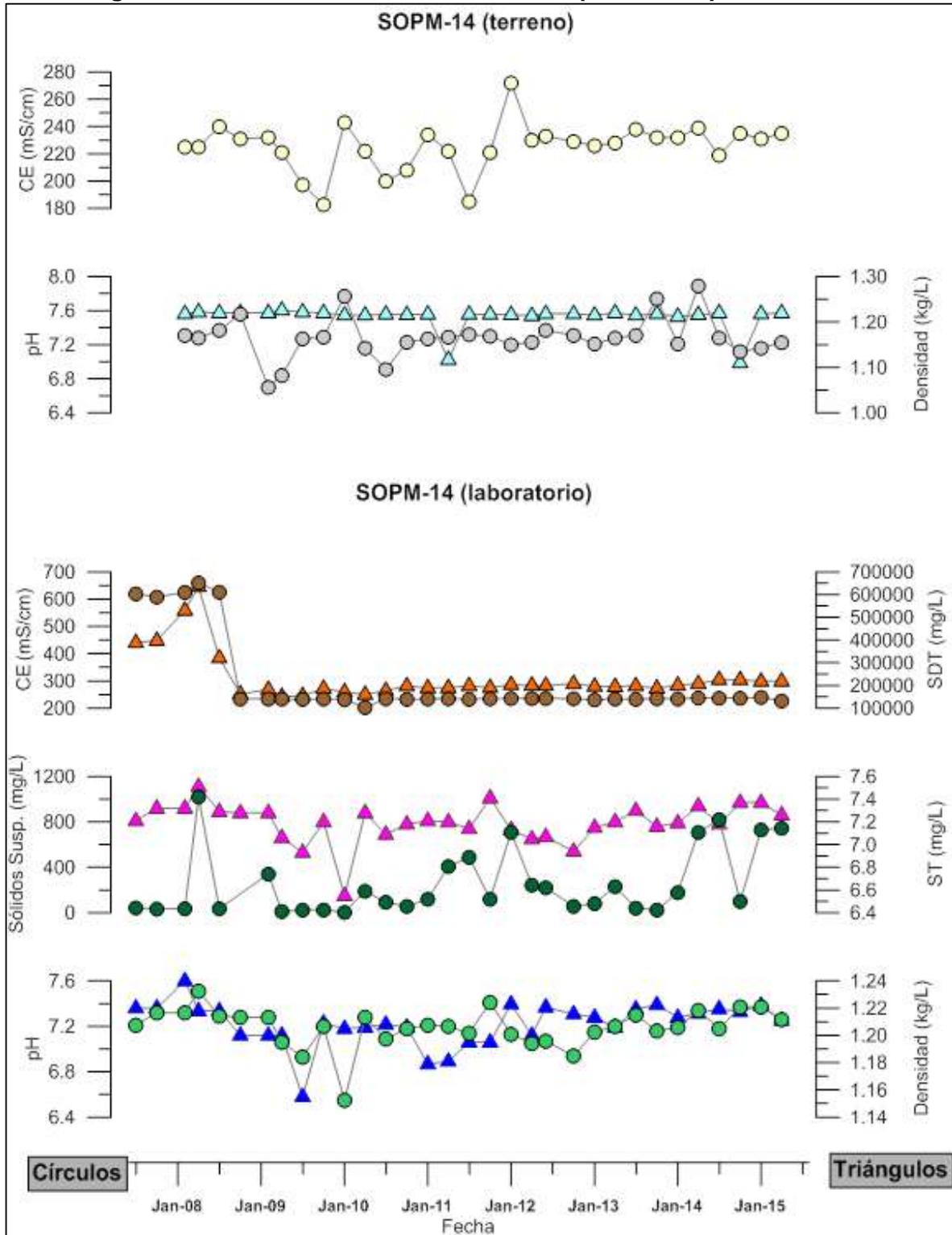
Figura 5-118: Resultados de análisis físico-químico del pozo Mullay (continuación)⁷



Fuente: Elaboración propia

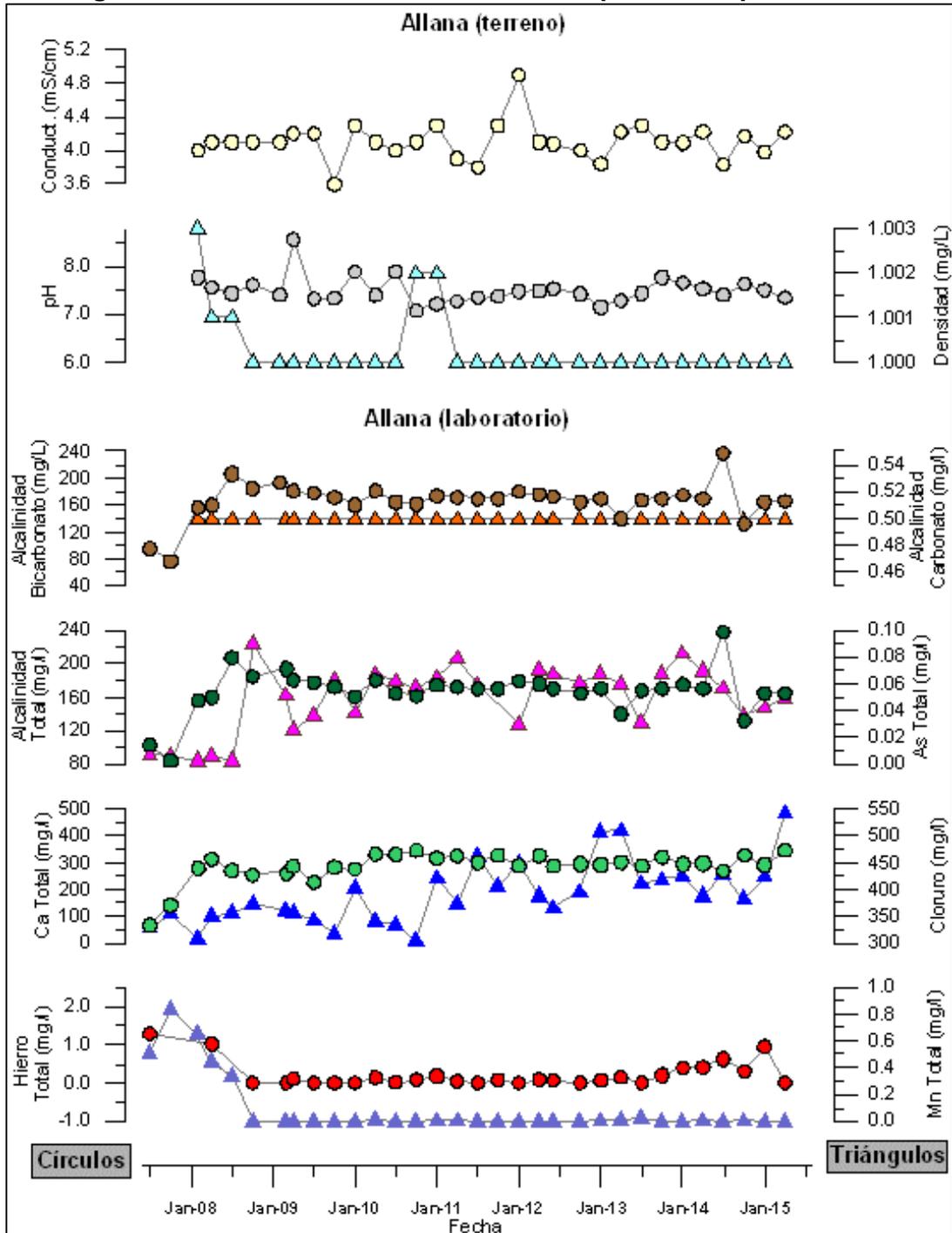
⁷ Para evitar problemas de escala a la serie de Magnesio Total se le sacó el dato de febrero de 2008 correspondientes a 95 mg/L y a la serie del Nitrógeno Nitrato se le sacó el dato de julio de 2007 correspondientes a 134 mg/L.

Figura 5-119: Resultados de análisis físico-químico del pozo SOPM-14



Fuente: Elaboración propia

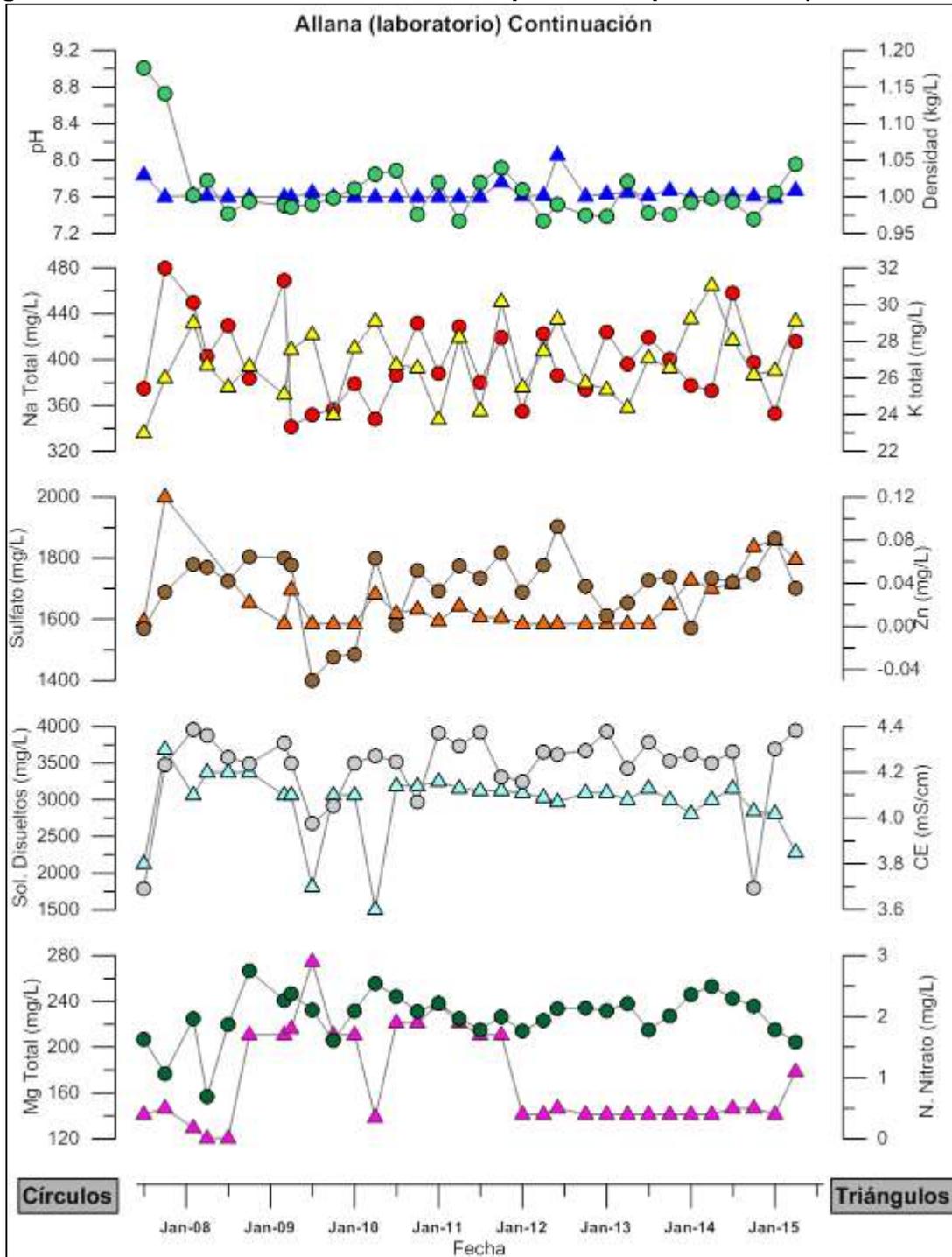
Figura 5-120: Resultados de análisis físico-químico del pozo Allana⁸



Fuente: Elaboración propia

⁸ Para evitar problemas de escala a la serie de alcalinidad carbonato se le sacó el dato de julio y octubre de 2007 correspondientes a un valor de 8 y 9 mg/L respectivamente, a la serie de Hierro Total se le sacó el dato de octubre de 2007, y febrero y julio de 2008 correspondientes a un valor de 4; 24,5 y 4,4 mg/L respectivamente.

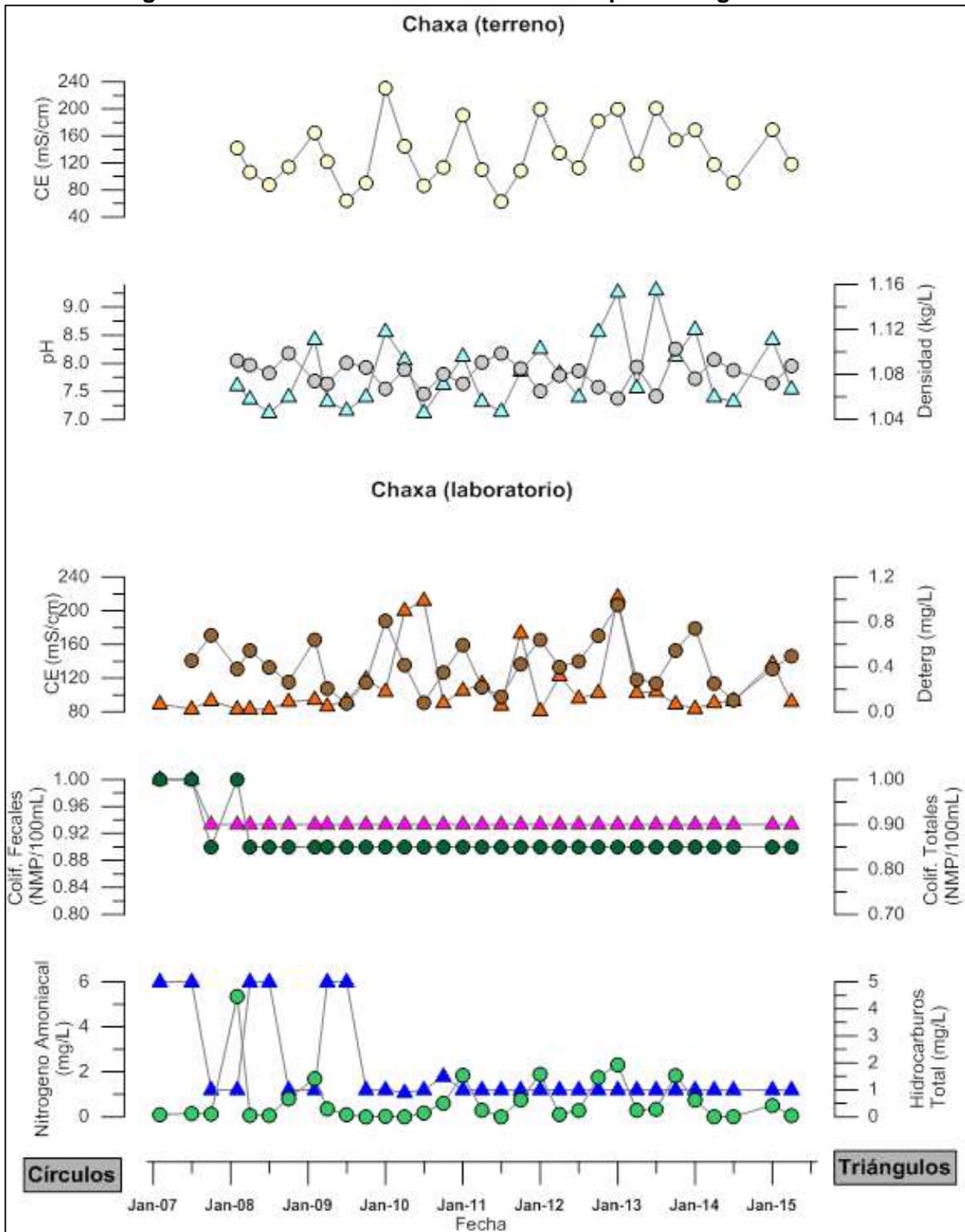
Figura 5-121: Resultados de análisis físico-químico del pozo Allana (continuación)⁹



Fuente: Elaboración propia

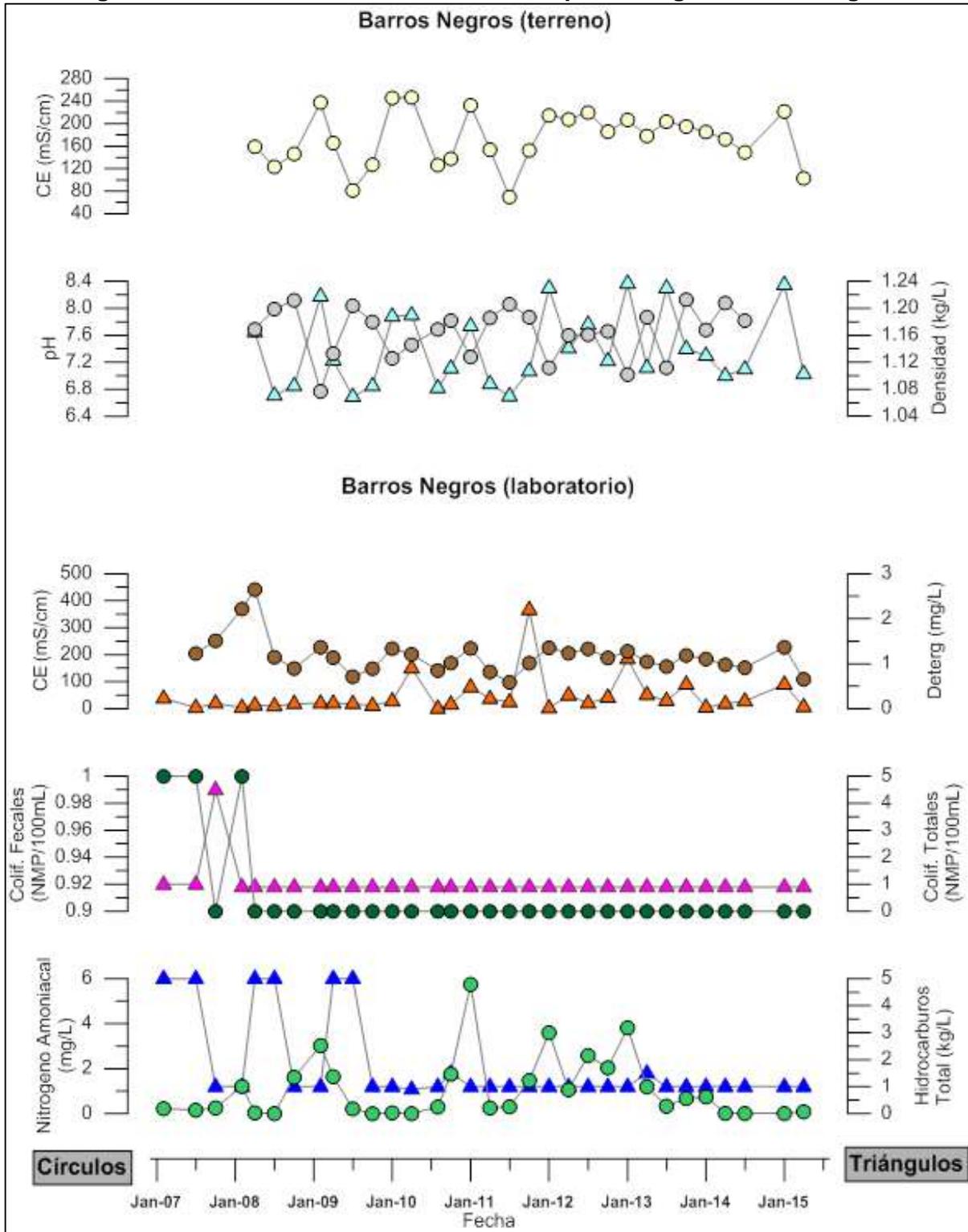
⁹ Para evitar problemas de escala, a la serie de Zinc Total se le sacó el dato de febrero, abril y julio de 2008 correspondientes a 6,96; 4,4 y 11,3 mg/L respectivamente.

Figura 5-122: Resultados de análisis físico-químico laguna Chaxa



Fuente: Elaboración propia

Figura 5-123: Resultados de análisis físico-químico laguna Barros Negros

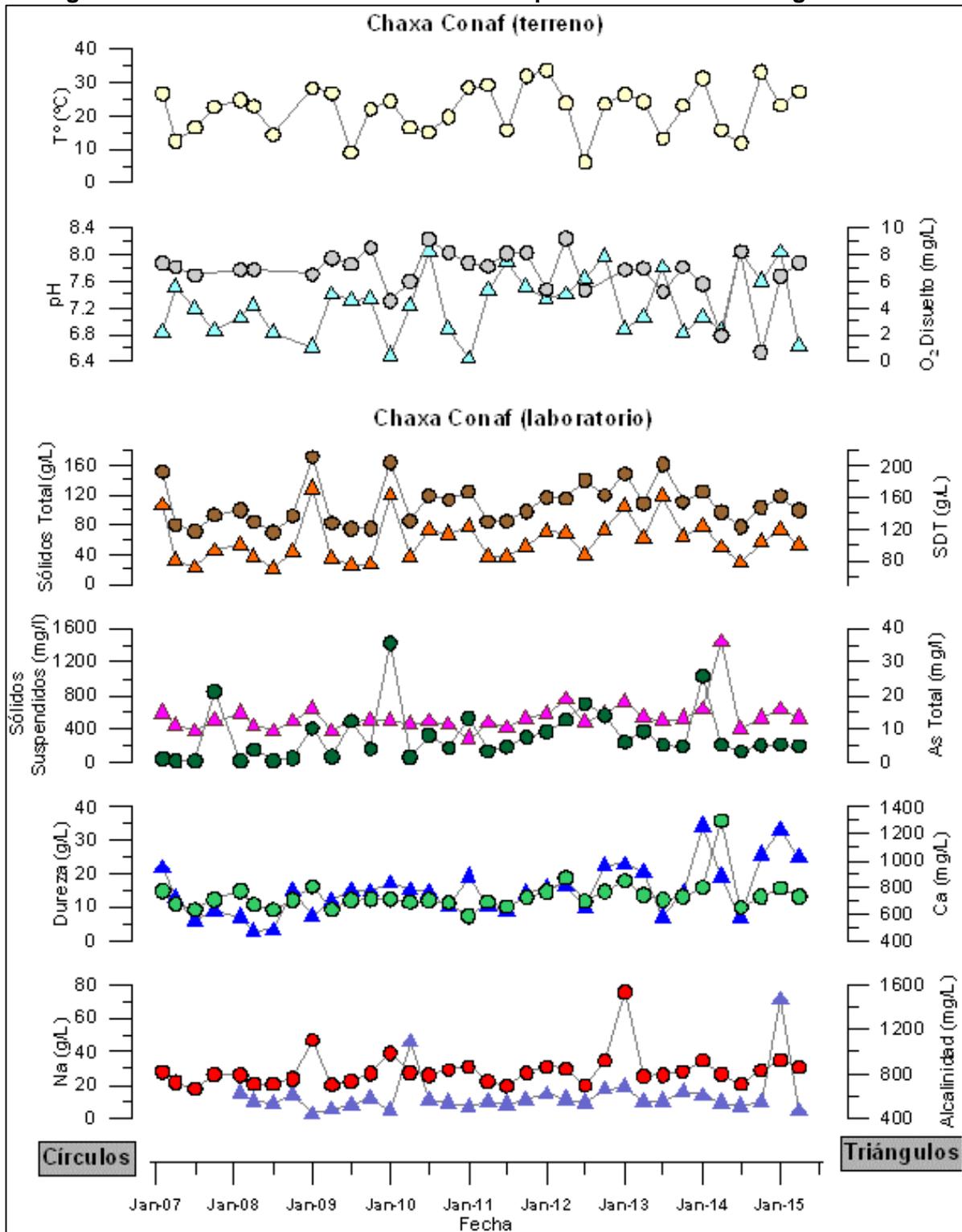


Fuente: Elaboración propia

5.3.1.8.2 Muestreo de agua realizado por CONAF

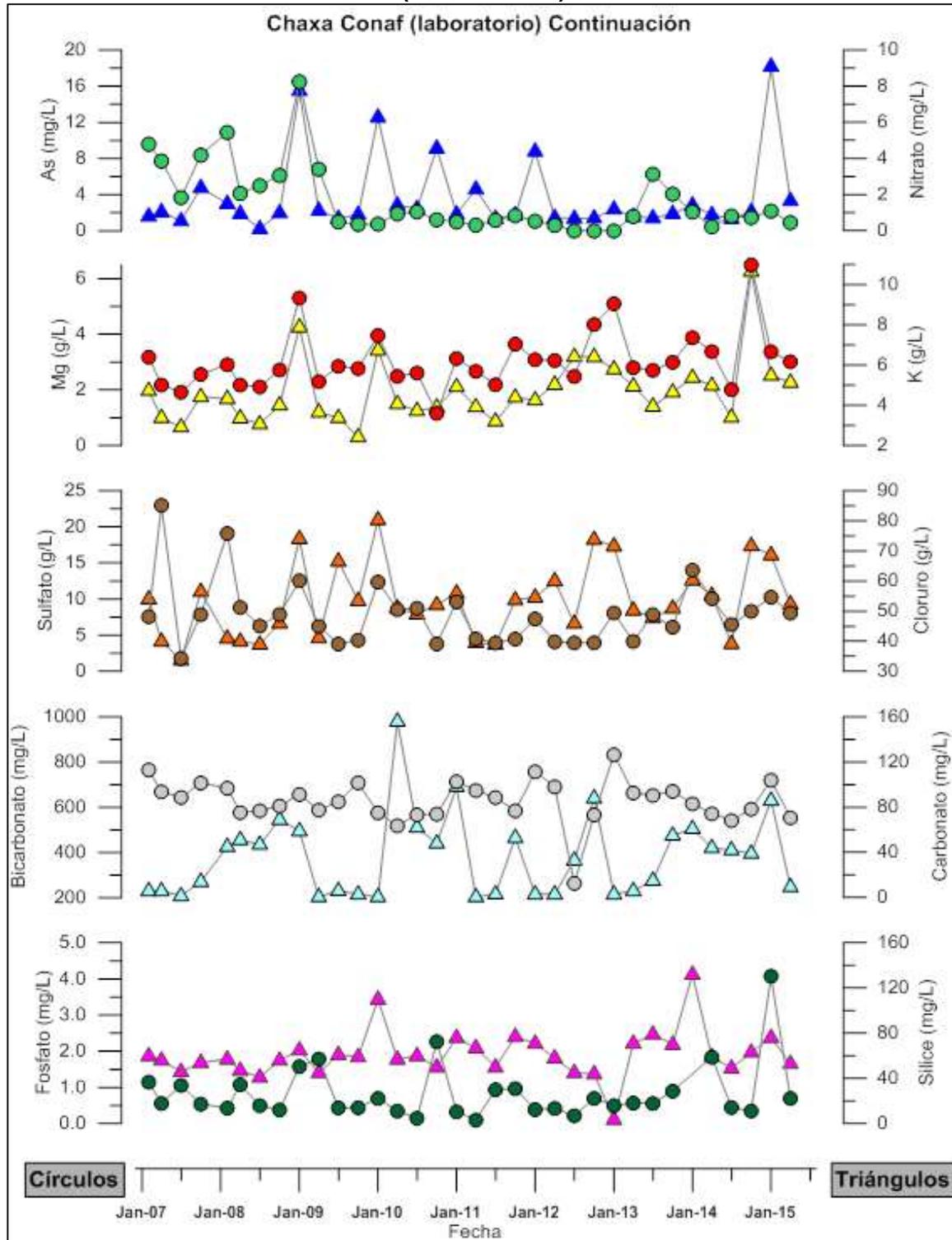
A continuación se presentan los resultados de análisis físico-químico de muestras de agua tomadas en terreno por CONAF.

Figura 5-124: Resultados de análisis físico-químico CONAF de la laguna Chaxa



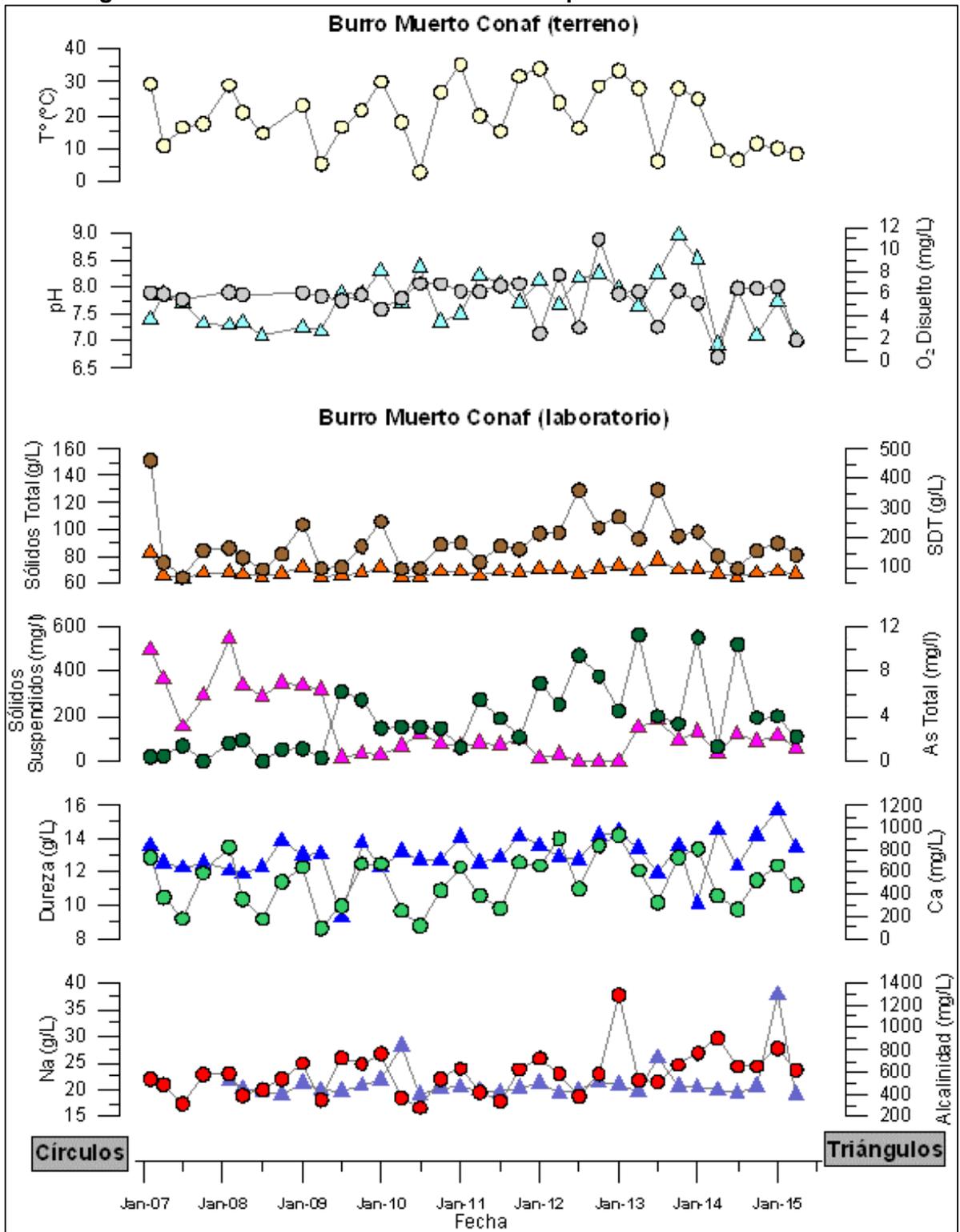
Fuente: Elaboración propia

Figura 5-125: Resultados de análisis físico-químico CONAF de la laguna Chaxa (continuación)



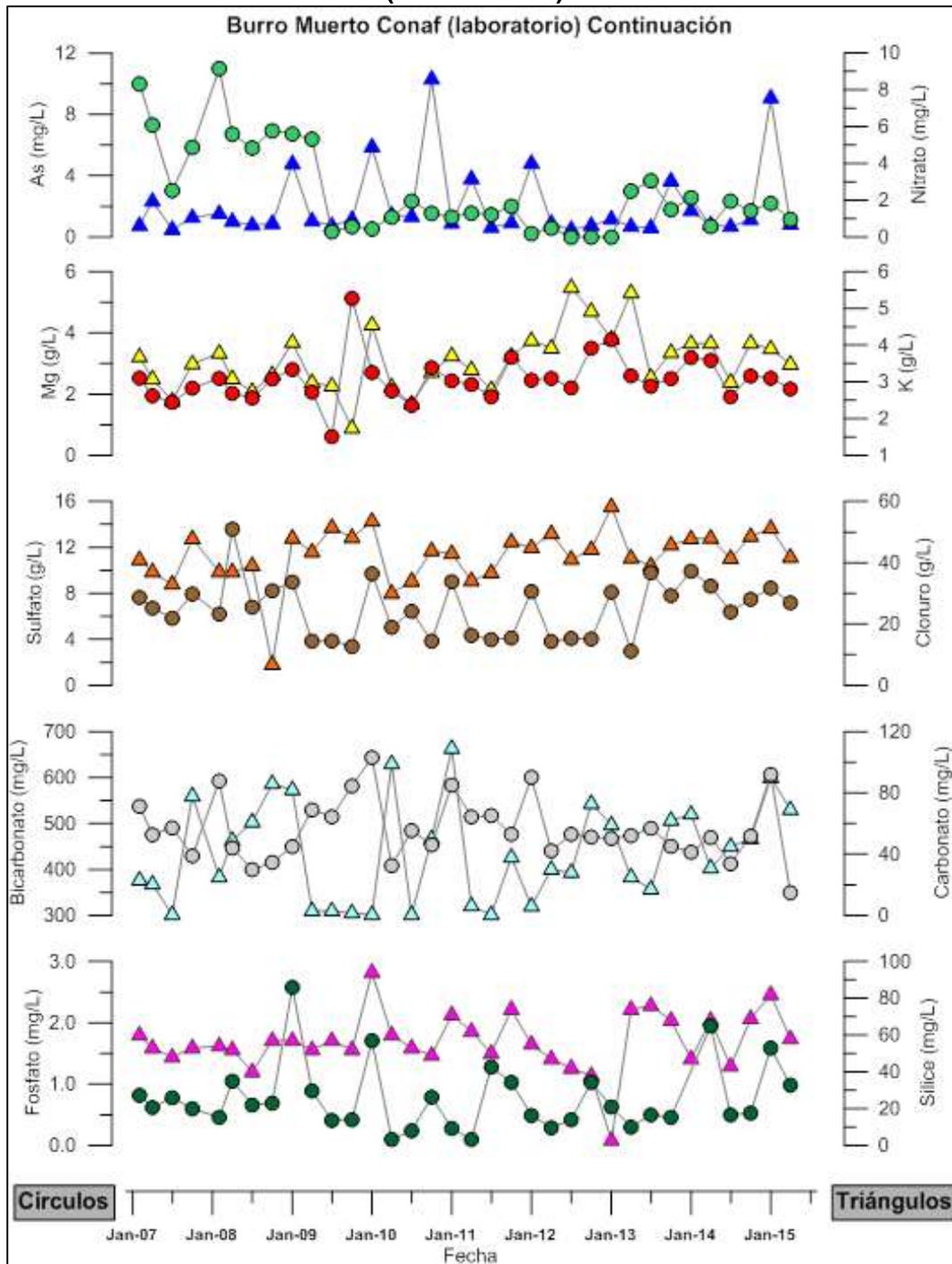
Fuente: Elaboración propia

Figura 5-126: Resultados de análisis físico-químico CONAF Burro Muerto



Fuente: Elaboración propia

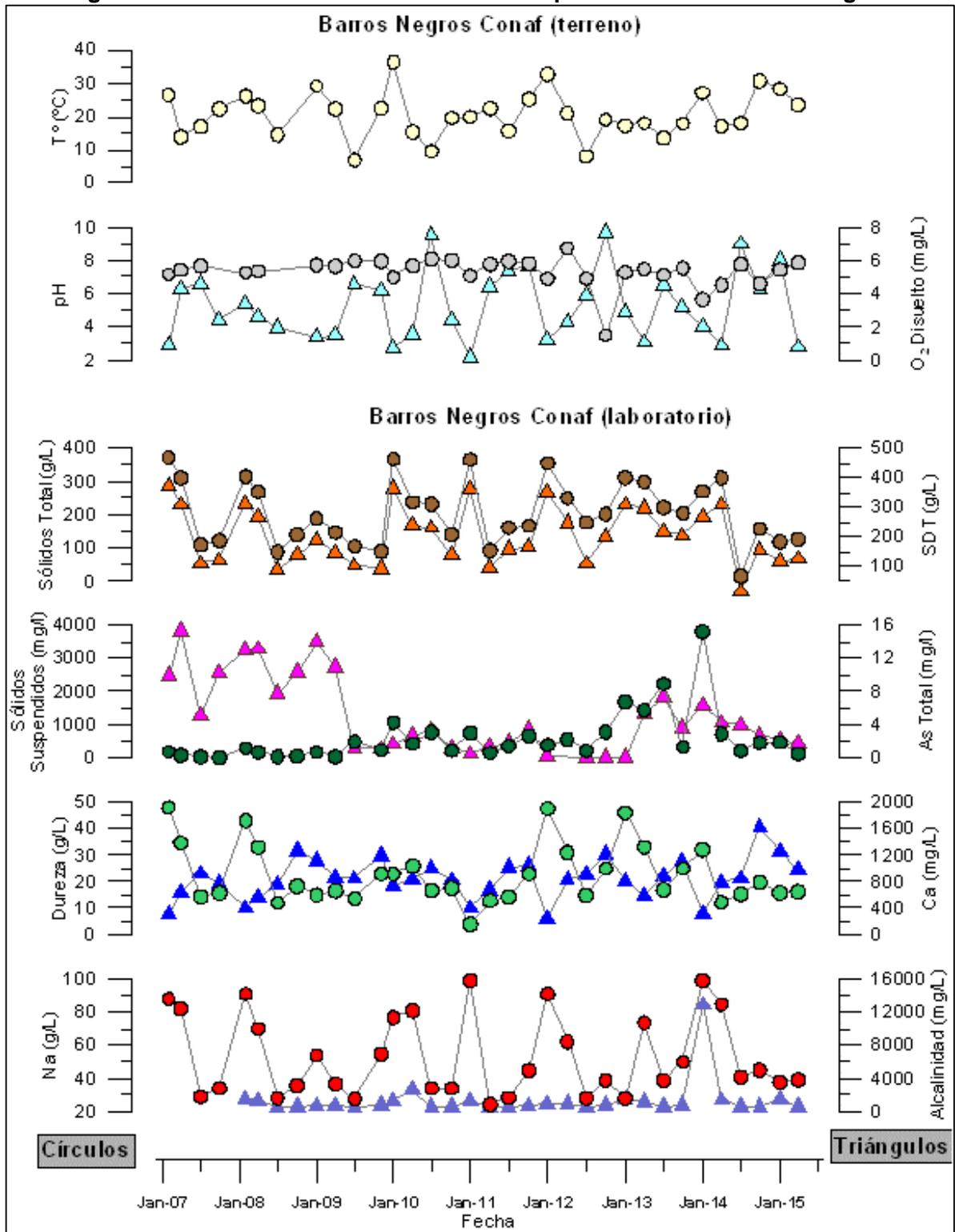
Figura 5-127: Resultados de análisis físico-químico CONAF Burro Muerto (continuación)¹⁰



Fuente: Elaboración propia

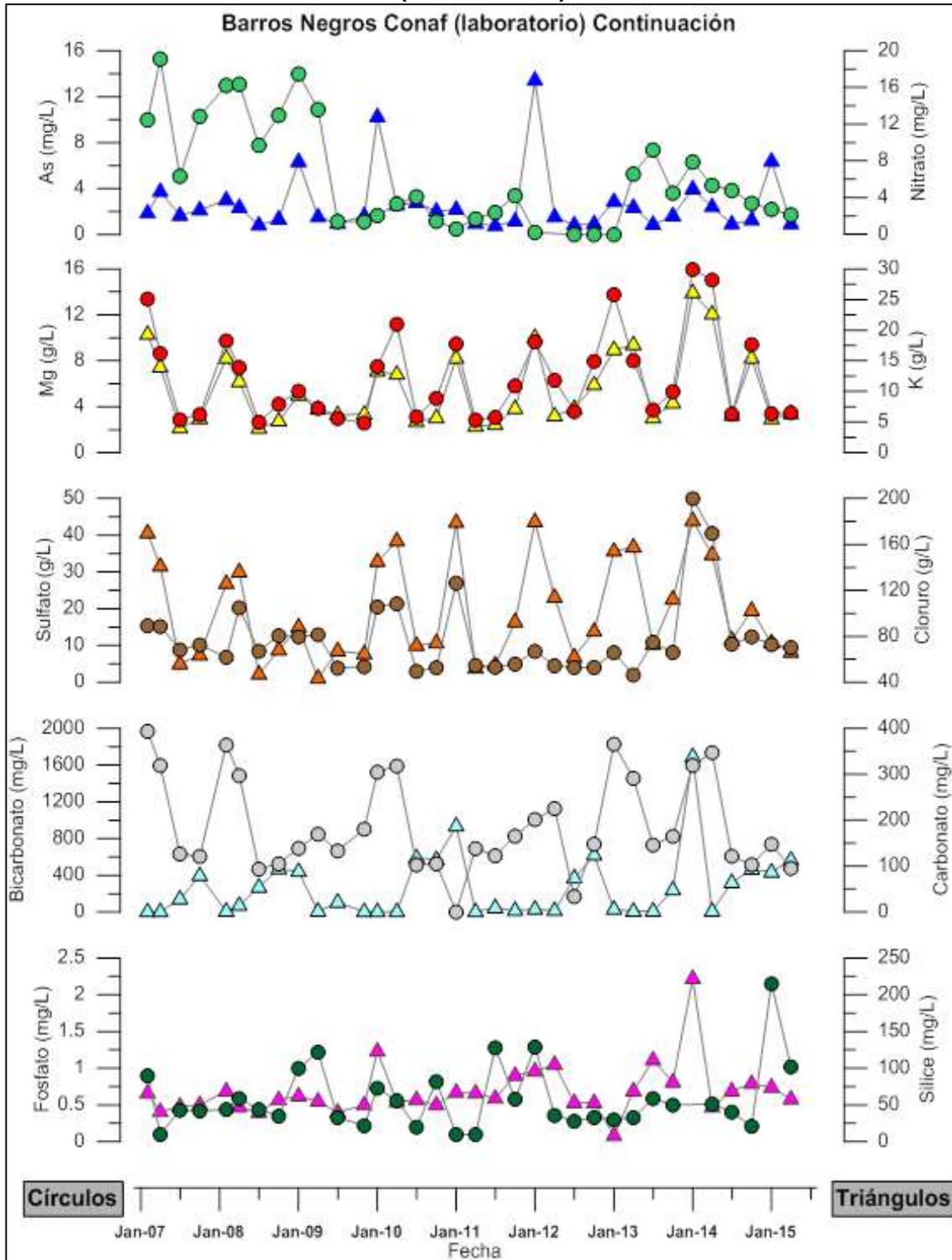
¹⁰ El Magnesio correspondiente a una medición de 2.520 g/L en abril de 2012 fue sacado del gráfico para evitar problemas de escala.

Figura 5-128: Resultados de análisis físico-químico CONAF Barros Negros



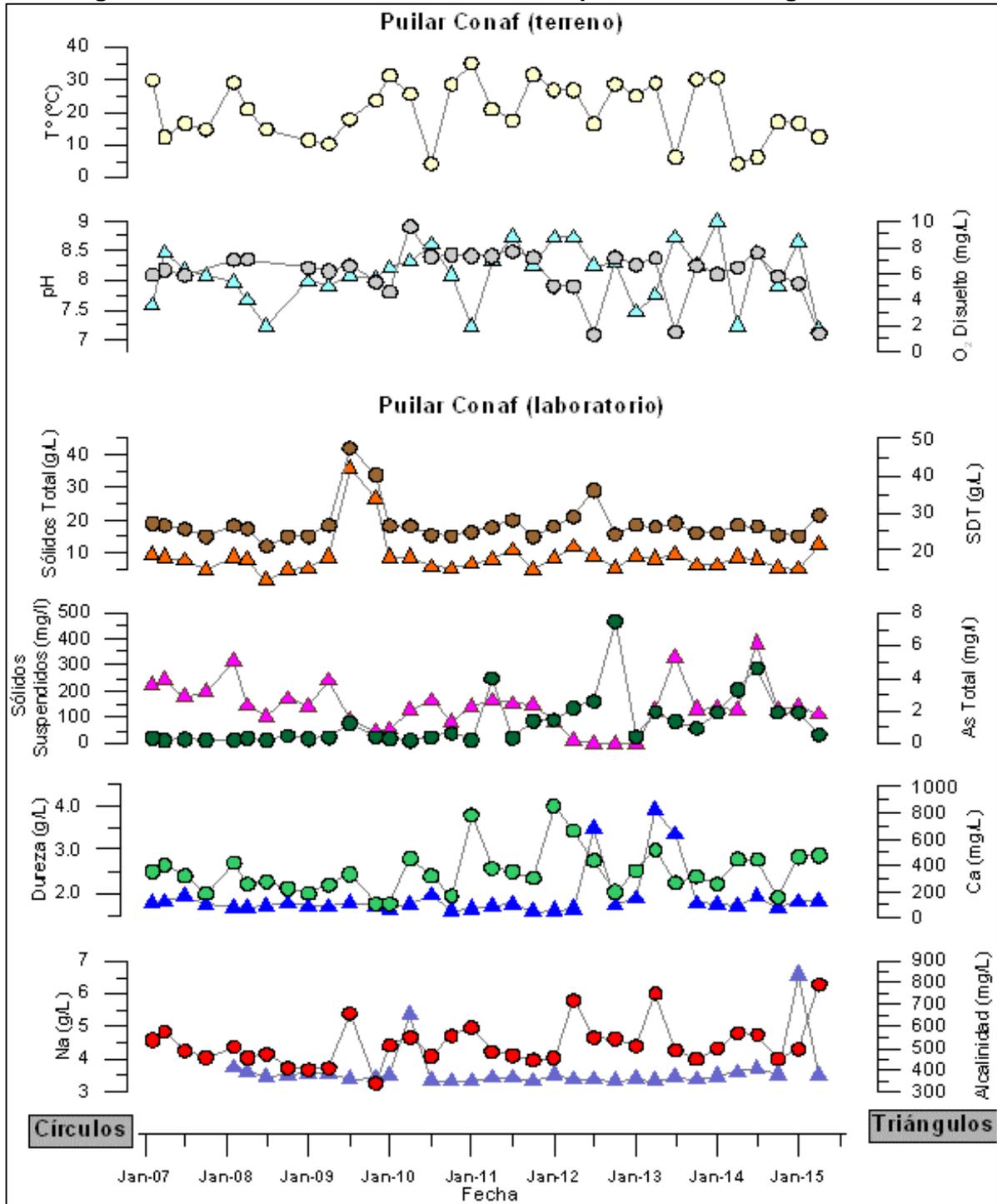
Fuente: Elaboración propia

Figura 5-129: Resultados de análisis físico-químico CONAF Barros Negros (continuación)



Fuente: Elaboración propia

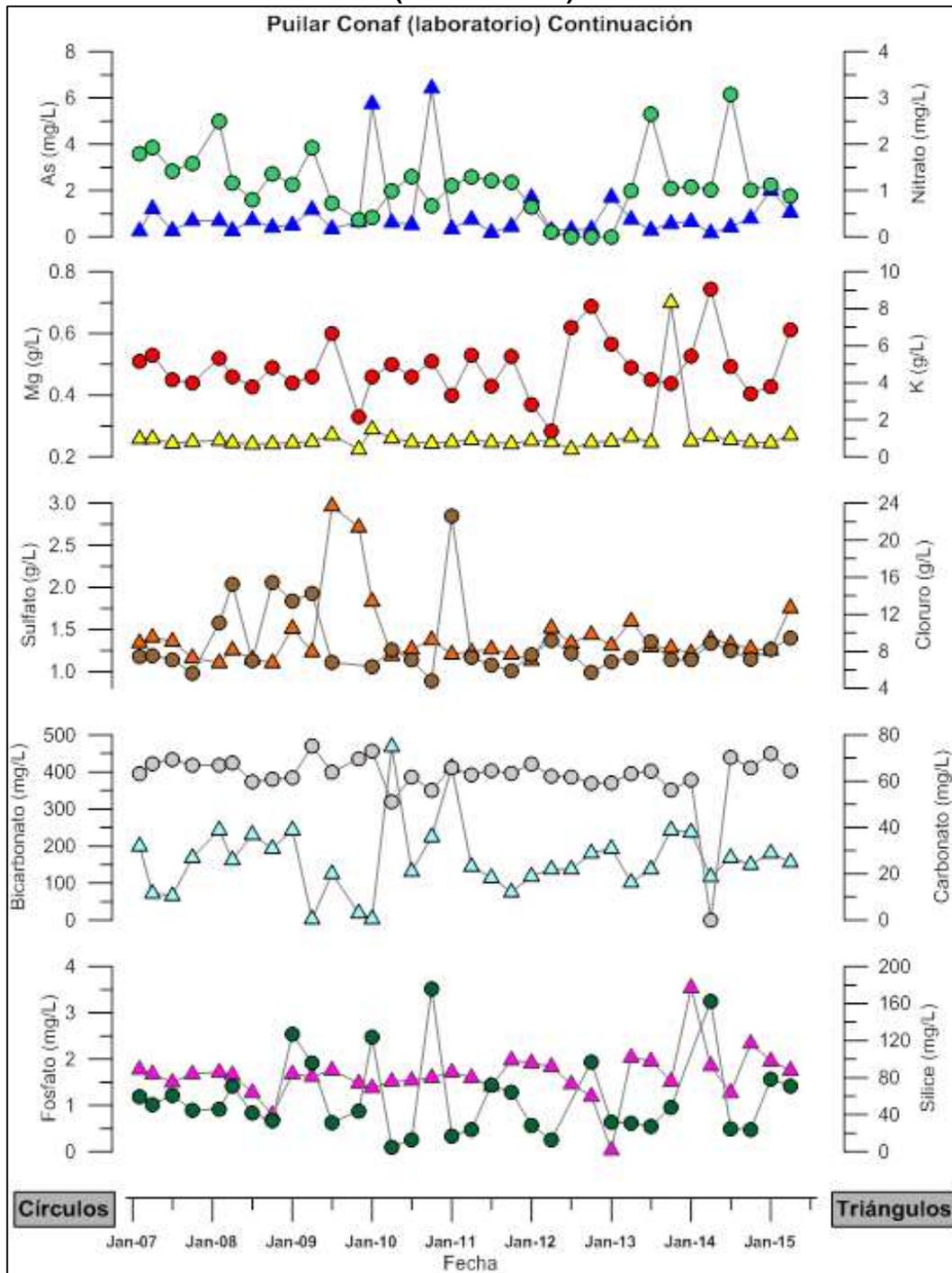
Figura 5-130: Resultados de análisis físico-químico CONAF laguna Puilar¹¹



Fuente: Elaboración propia

¹¹ Para evitar problemas de escala a la serie de dureza se le sacó el dato de enero de 2009 correspondiente a un valor de 38 g/L.

Figura 5-131: Resultados de análisis físico-químico CONAF laguna Puilar¹² (continuación)



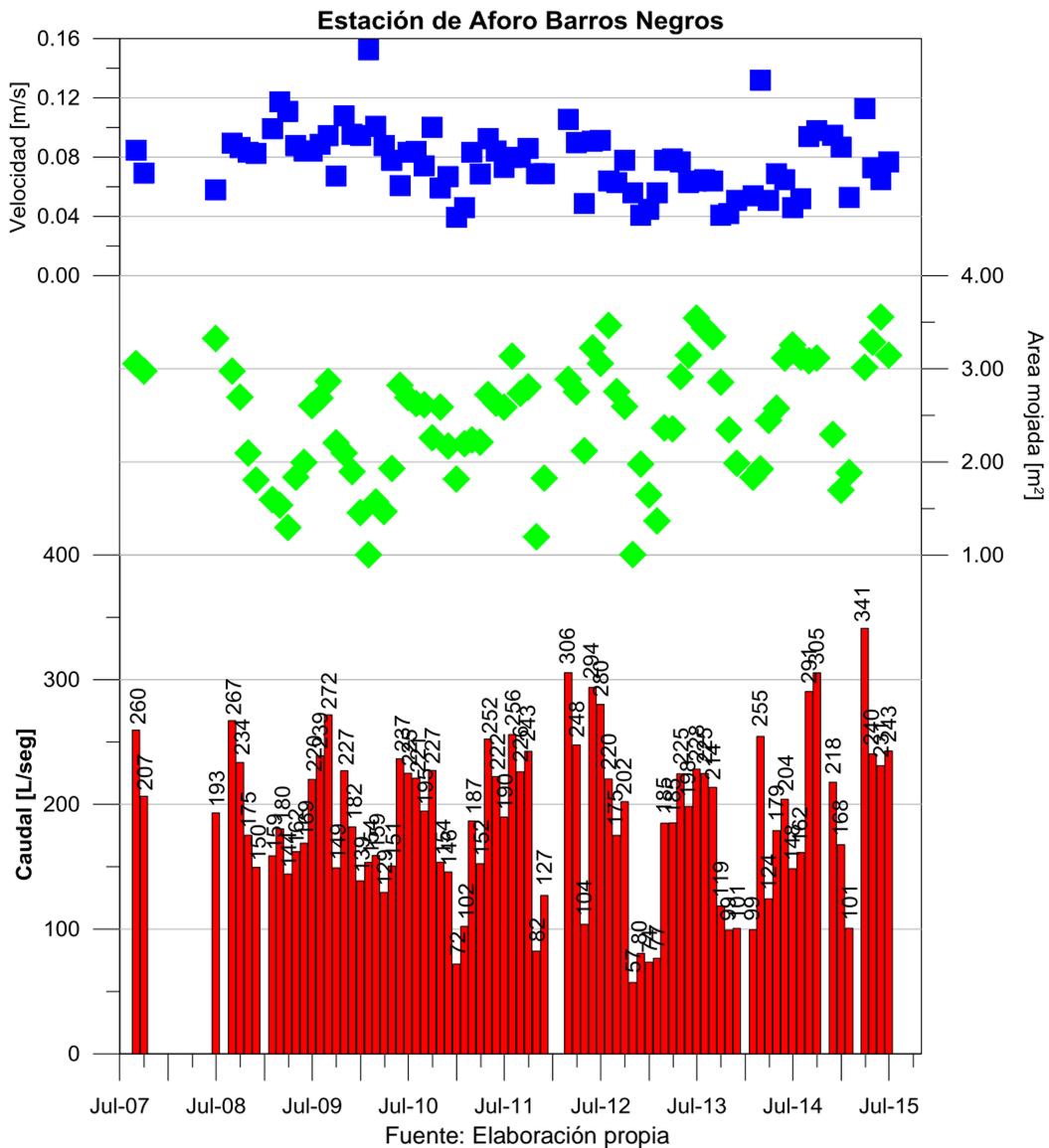
Fuente: Elaboración propia

¹² Para evitar problemas de escala a la serie de magnesio se le sacó el dato de julio de 2008 correspondiente a un valor de 4,27 g/L; a la serie de sulfato se le sacó el dato de noviembre de 2009 correspondiente a un valor de 827 g/L.

5.3.1.9 Aforos

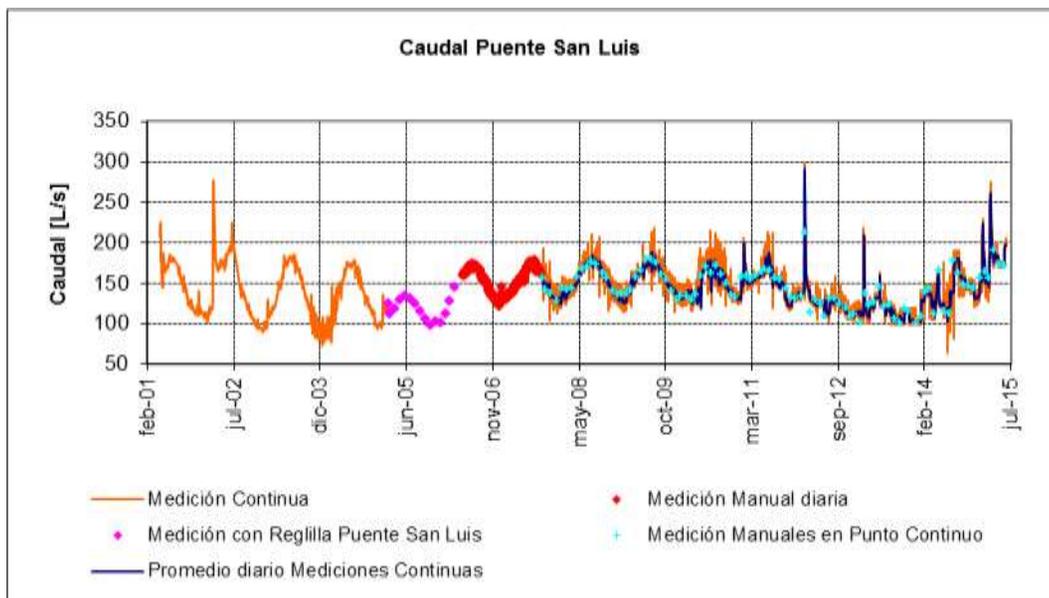
En esta sección se presentan las mediciones de caudal en el aforo de la laguna Barros Negros (Figura 5-132) y el aforo en el puente San Luis (Figura 5-133). En el primero se realizan mediciones manuales a través del método de estimación de caudal como el producto entre la velocidad por el área de la sección pasante, para lo cual el ancho total de la sección se divide en subsecciones donde se mide la profundidad y la velocidad. Para el segundo, se obtienen los caudales en base a mediciones en la reglilla puente San Luis de manera manual y continua. En este punto no se pudo acceder durante el mes de febrero de 2015 por la restricción debida a la nidificación de flamencos.

Figura 5-132: Aforo Barros Negros. En barra roja caudal aforado por método manual, en azul velocidad (m/s) y en verde área mojada (m²)



La Figura 5-133 presenta el caudal monitoreado en el puente San Luis. En ella se observan los registros continuos (línea naranja), promedio diario de mediciones continuas (línea azul), mediciones manuales en punto continuo (punto celeste), mediciones manuales diarias (punto rojo) y cálculo de caudales según la reglilla Puente San Luis (punto magenta). Esta estación se encuentra ubicada aguas arriba de la laguna Chaxa.

Figura 5-133: Caudal promedio diario en puente San Luis



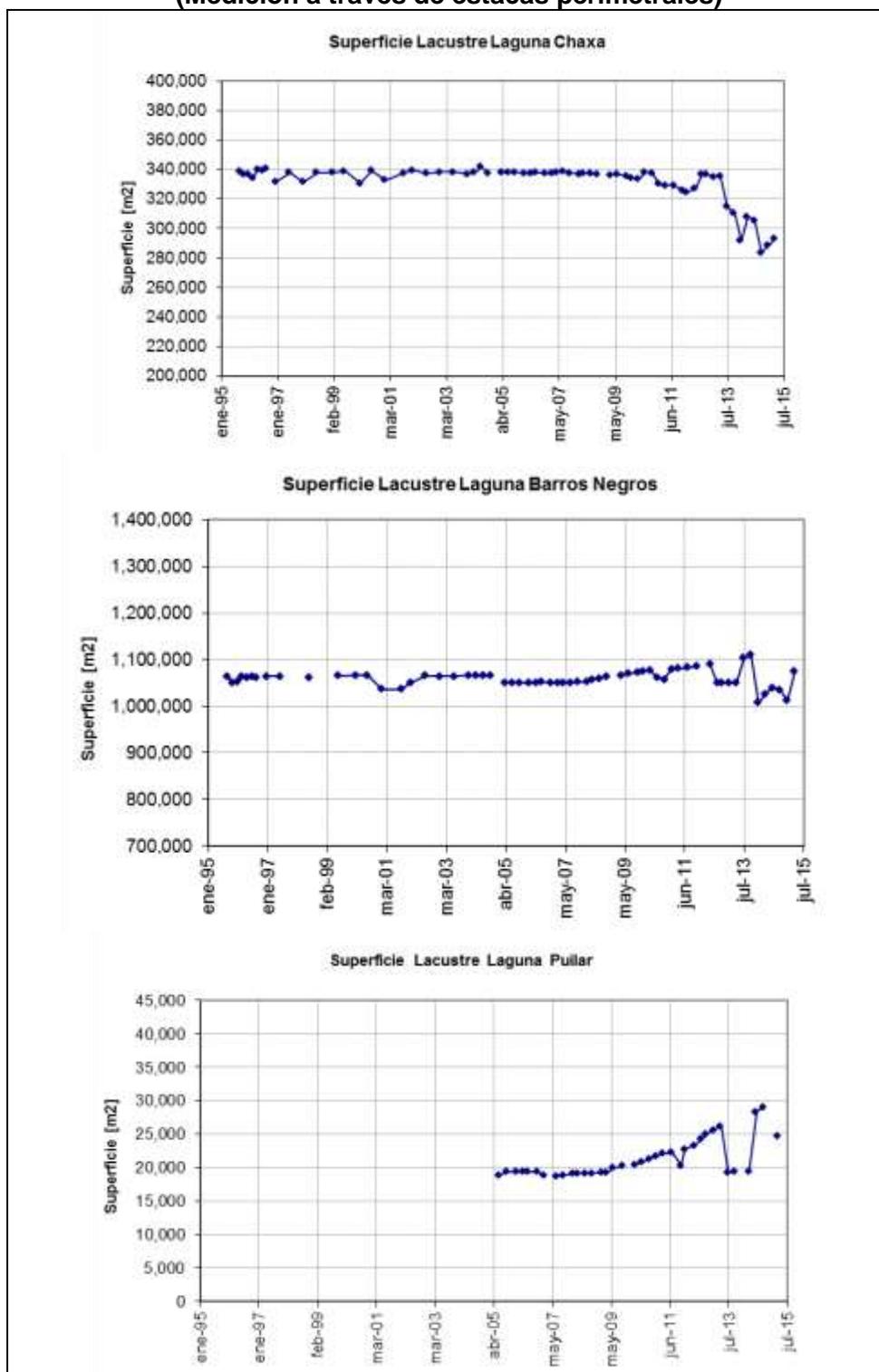
Fuente: Elaboración propia

5.3.1.10 Superficie Lacustre

En la Figura 5-134 se presenta la evolución de la superficie lacustre de los cuerpos de agua del sistema Soncor medidos por CONAF en forma trimestral. Las mediciones realizadas por CONAF son el resultado de las mediciones a través de estacas perimetrales. Con respecto a las mediciones realizadas en el sector de la laguna Puilar, ésta sólo corresponde a la superficie del canal de aporte y no al de la laguna como tal, debido que fue incorporado inicialmente como un seguimiento experimental durante el año 2004.

En la Tabla 5-10 se presentan las mediciones realizadas a través de topografía y del método de imágenes satelitales, las mediciones de topografía sólo se realizaron hasta el año 2010, ya que a través de la Resolución Exenta 244/2010, se estableció que las mediciones de topografía se realizarán cada 5 años, y que la metodología para realizar la medición es a través de imagen satelital, la que se realiza anualmente en abril. En la Figura 5-135 y Figura 5-136 se grafican los resultados obtenidos a través del método de imágenes satelitales para cada una de las lagunas en un periodo de 6 años (2008 a 2015).

Figura 5-134: Evolución de Superficie lacustre sistema Soncor medida por CONAF (Medición a través de estacas perimetrales)



Fuente: Elaboración propia

Tabla 5-10: Medición de superficies lacustres medidas desde abril de 2008 a abril de 2015

SISTEMA LACUSTRE	LAGUNA	Superficie (m ²) – 2008			Superficie (m ²) -2009			Superficie (m ²) - 2010			Superficie (m ²)-2011	Superficie (m ²) -2012	Superficie (m ²)-2013	Superficie (m ²)-2014	Superficie (m ²) - 2015		
		Topografía	Imagen satelital	Dif. (%)	Topografía	Imagen satelital	Dif. (%)	Topografía	Imagen satelital	Dif. (%)	Imagen satelital	Imagen satelital	Imagen Satelital	Imagen Satelital	Topografía	Imagen Satelital	Dif. (%)
Soncor	Barros Negros (cuerpo principal)	1.055.856	1.093.625	3,6	1.130.213	1.152.803	2	1.073.413	1.048.924 ¹	2,3	1.083.311	1.085.391	1.063.325	1.064.767	1.128.655	1.116.891	1,0
	Barros Negros (áreas aledañas)	-	-	-	-	-	-	173.986	154.737 ²	12,4	242.137	241.942	192.643	193.848	389.896	263.359	32,5
	Chaxa	313.750	329.224	5	310.739	336.644	8	309.365	308.357	0,3	305.433	300.248	295.786	296.162	311.239	297.955	4,3
	Puilar ³	65.854	63.154	4	76.857	65.439	17	71.311	69.267	3,0	70.003	68.280	68.264	68.419	80.941	68.940	90,4

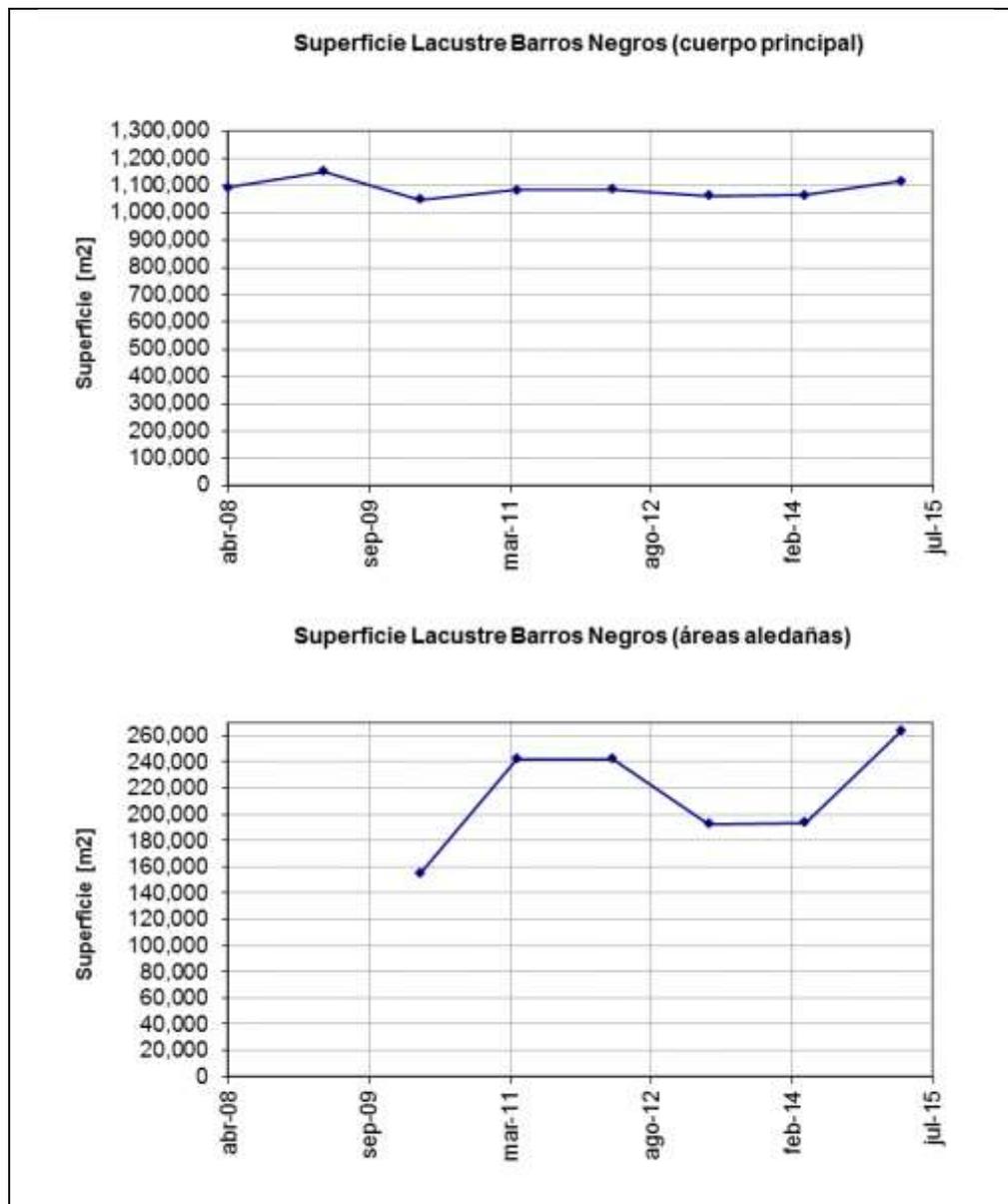
¹ En años anteriores se incorporó dentro de la superficie de esta laguna lo que ahora se definió como área de inundación sector este, la que ahora fue incluida en las áreas de inundación o aledañas. Para efectos de comparación con años anteriores habría que sumar la superficie de este sector (40.084 m²) a la superficie indicada, quedando en 1.089.008 m²

² El monitoreo 2010 incluye dos áreas de inundación más que los monitoreos anteriores (2008-2009), esto se debe que así quedó establecido en la metodología aprobada a través de la resolución exenta 244/2010. La superficie de áreas de inundación (154.737 m²) corresponde al Sector conocido como Cola de Pez (104.729 m²), Sector este (40.084 m²) y sector Sur (9.924 m²).

³ En el monitoreo 2010, las superficies fueron calculados mediante límites adicionales propuestos. Conforme a lo anterior, a fin de comparar los resultados con los monitoreos pasados, los resultados según análisis satelital y topografía, considerando limites históricos, corresponderían a 68.977 m² y 70.236 m² respectivamente. La variación entre metodología sería a 1.8%

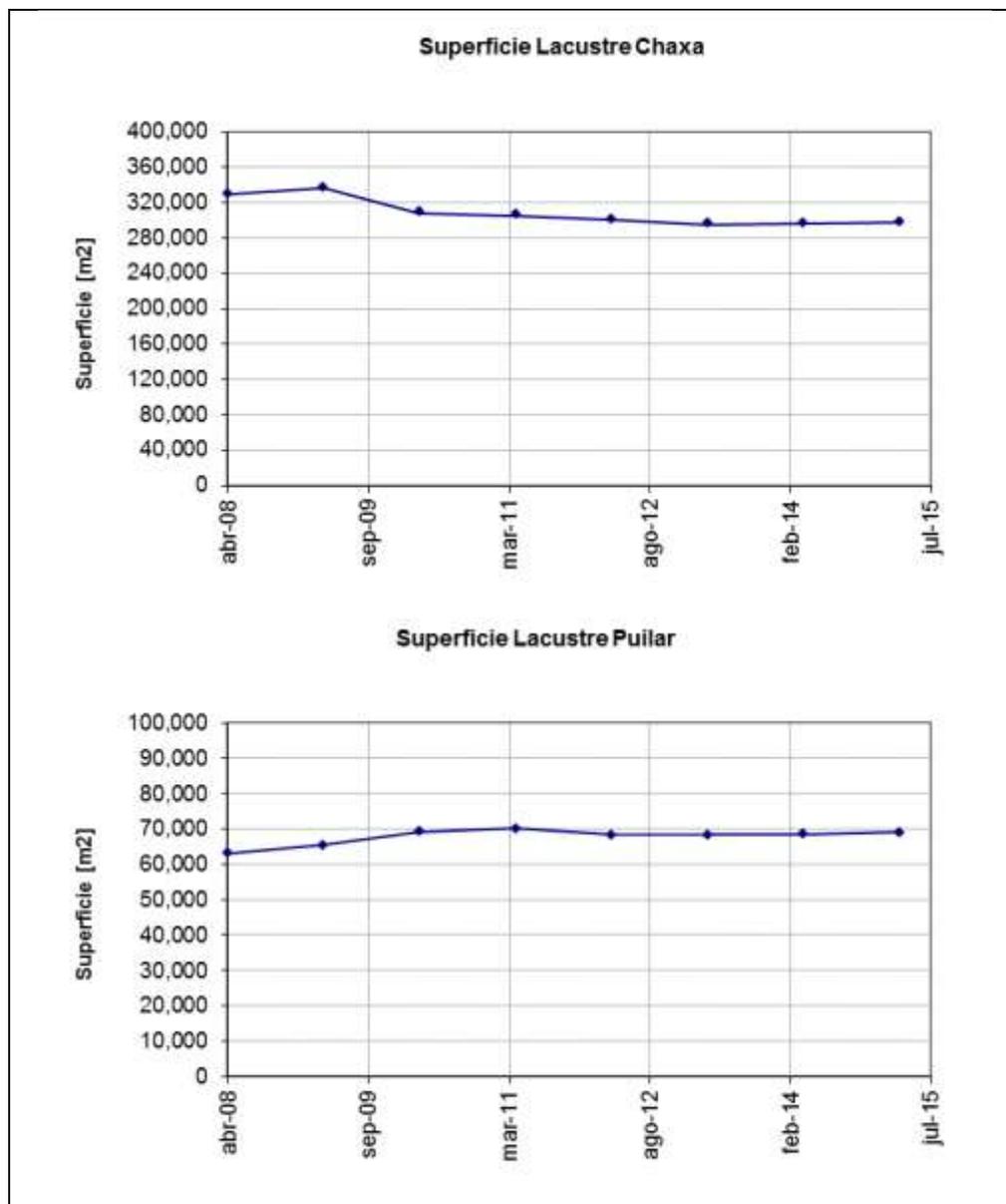
Fuente: Elaboración propia

Figura 5-135: Evolución de la superficie lacustre sistema Soncor medida a través de imágenes satelitales



Fuente: Elaboración propia

Figura 5-136: Evolución de la superficie lacustre sistema Soncor medida a través de imágenes satelitales



Fuente: Elaboración propia

5.3.2 Sistema Aguas de Quelana

Los puntos de monitoreo en el sistema Aguas de Quelana se ubican al este del Salar de Atacama, entre las coordenadas 7.415.000 a 7.400.000 norte y 585.000 a 602.000 este.

En la Figura 5-137 se muestra la distribución geográfica de los puntos de monitoreo y en la Tabla 5-11 su clasificación de acuerdo a la zona donde se encuentran emplazados (zona marginal o aluvial y sector de salmuera), y a su tipología (pozo profundo, pozo somero, reglilla y medición continua). Adicionalmente, se indica el número de página donde se muestra el registro de nivel de manera gráfica.

Tabla 5-11: Puntos de monitoreo del sistema Aguas de Quelana

Punto de Monitoreo	Clasificación	Tipología	Pág.
L3-2	Zona aluvial	Pozo profundo	184
L4-3	Zona aluvial	Pozo somero	184
L4-4	Zona aluvial	Pozo somero	184
L5-1	Zona aluvial	Pozo profundo	185
L5-2	Zona aluvial	Pozo profundo	186
GD-02	Zona marginal	Pozo profundo	187
L3-3	Zona marginal	Pozo somero	187
L3-8	Zona marginal	Pozo somero	188
L3-11	Zona marginal	Pozo somero	188
L3-12	Zona marginal	Pozo somero	189
L3-14	Zona marginal	Pozo somero	189
L4-5	Zona marginal	Pozo somero	190
L4-11	Zona marginal	Pozo somero	190
L4-14	Zona marginal	Pozo somero	191
L4-15	Zona marginal	Pozo somero	191
L5-9	Zona marginal	Pozo somero	192
L5-11	Zona marginal	Pozo somero	192
L5-12	Zona marginal	Pozo somero	193
L5-13	Zona marginal	Pozo somero	193
L5-15	Zona marginal	Pozo somero	194
L13-5	Zona marginal	Pozo somero	194
L13-6	Zona marginal	Pozo somero	195
L13-7	Zona marginal	Pozo somero	195
L14-1	Zona marginal	Pozo somero	196
L14-2	Zona marginal	Pozo somero	196
L14-3	Zona marginal	Pozo somero	197
L14-5	Zona marginal	Pozo somero	197
L14-6	Zona marginal	Pozo somero	198

Punto de Monitoreo	Clasificación	Tipología	Pág.
L14-7	Zona marginal	Pozo somero	198
L5-G3	Zona marginal	Reglilla	199
L4-10	Zona marginal	Reglilla	200
L3-5	Zona marginal	Continuo	201
L3-6	Zona marginal	Continuo	202
L3-7	Zona marginal	Continuo	202
L3-9	Zona marginal	Continuo	202
L3-10	Zona marginal	Continuo	203
L3-13	Zona marginal	Continuo	204
L4-7	Zona marginal	Continuo	204
L4-8	Zona marginal	Continuo	205
L4-9	Zona marginal	Continuo	205
L4-12	Zona marginal	Continuo	206
L4-13	Zona marginal	Continuo	206
L5-3	Zona marginal	Continuo	207
L5-6	Zona marginal	Continuo	208
L5-7	Zona marginal	Continuo	208
L5-8	Zona marginal	Continuo	209
L5-10	Zona marginal	Continuo	209
L5-14	Zona marginal	Continuo	210
L13-1	Zona marginal	Continuo	210
L13-2	Zona marginal	Continuo	211
L13-3	Zona marginal	Continuo	211
L13-4	Zona marginal	Continuo	212
L14-4	Zona marginal	Continuo	212
D-2	Salmuera	Pozo profundo	213
L3-4 (SOPM - 08)	Salmuera	Pozo profundo	213
L4-6	Salmuera	Pozo profundo	214

Punto de Monitoreo	Clasificación	Tipología	Pág.
L4-16	Salmuera	Pozo somero	214
L5-4	Salmuera	Pozo profundo	215
SOPM -09	Salmuera	Pozo profundo	215
Camar 2	Zona aluvial	Pozo profundo	216

Punto de Monitoreo	Clasificación	Tipología	Pág.
Socaire 5B	Zona aluvial	Pozo profundo	216
Camar 2	Zona Aluvial	Pozo de bombeo	217
Socaire 5B	Zona Aluvial	Pozo de Bombeo	217

Fuente: Elaboración propia

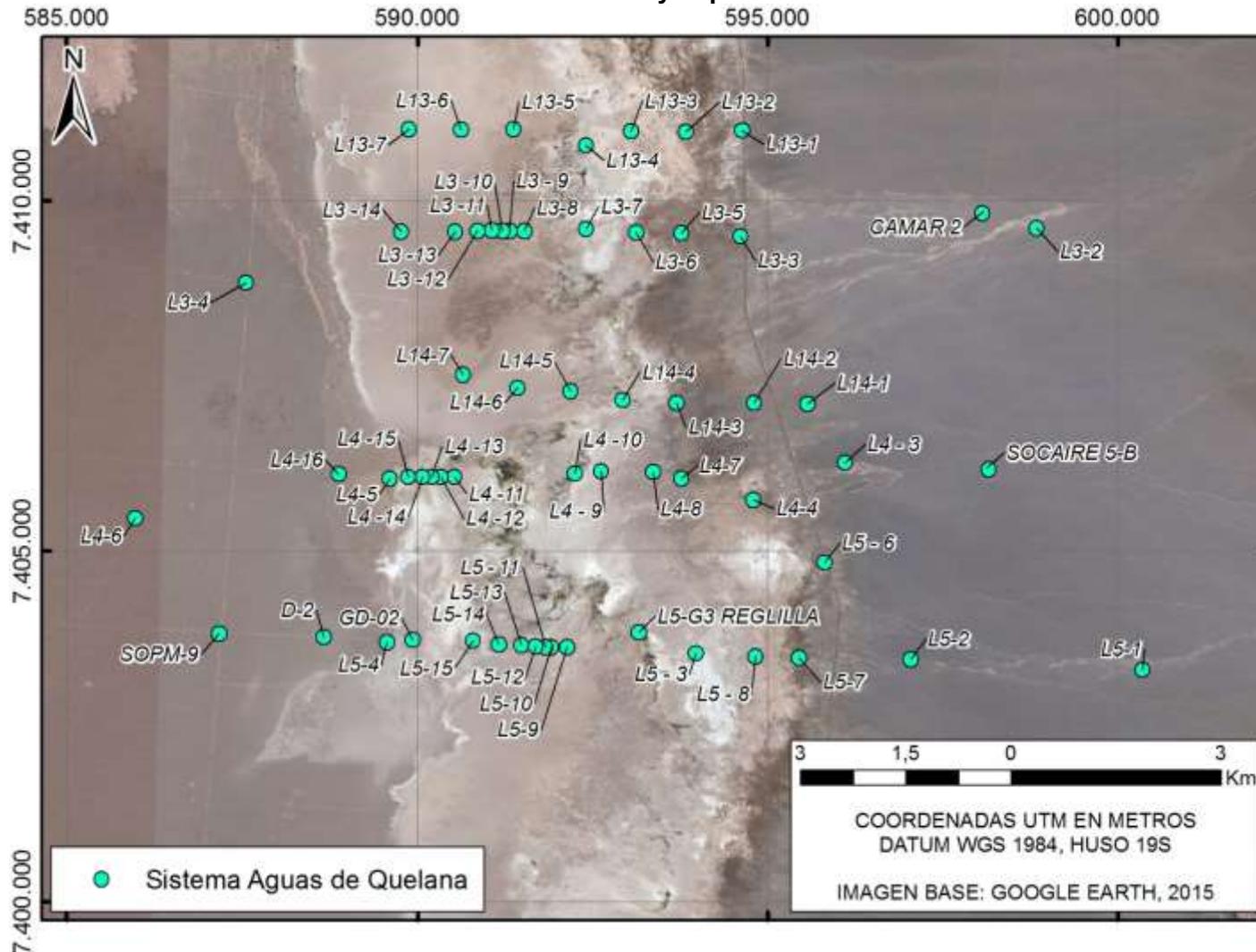
5.3.2.1 Nivel del agua subterránea y superficial

En esta sección se presentan los niveles de todos los pozos y reglillas que componen la red de monitoreo del PSAH para el sistema Aguas de Quelana.

Los pozos L4-3, L3-3 y L3-5 junto a la reglilla L4-10 (Figura 5-139, Figura 5-144, Figura 5-170, Figura 5-169 respectivamente) son parte del monitoreo de niveles de los sistemas Aguas de Quelana y Vegetación Borde Este, pero serán presentados sólo en esta sección. El pozo L3-4, también denominado SOPM-8 (Figura 5-194), es parte del monitoreo de niveles de los sistemas Aguas de Quelana y Núcleo del Salar de Atacama y será presentado sólo en esta sección.

Dentro del periodo correspondiente al presente informe, Arcadis realizó mediciones (junio 2015) en este sistema en los pozos L13-5, L13-6, L13-7.

Figura 5-137: Distribución geográfica de puntos de monitoreo del sistema Aguas de Quelana. Nivel del agua subterránea y superficial

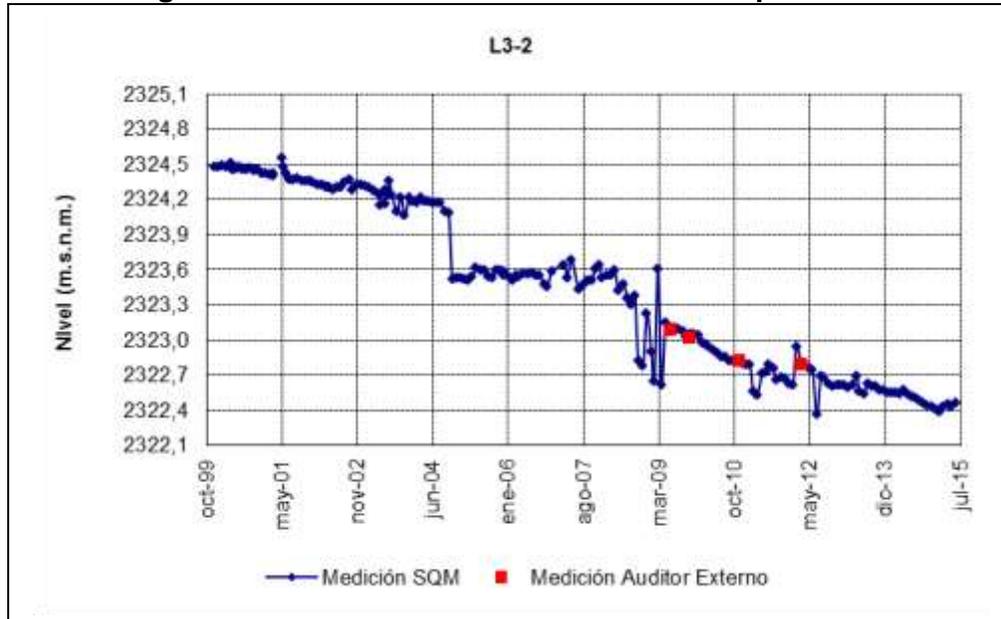


Fuente: Elaboración propia

5.3.2.1.1 Pozos en zona aluvial

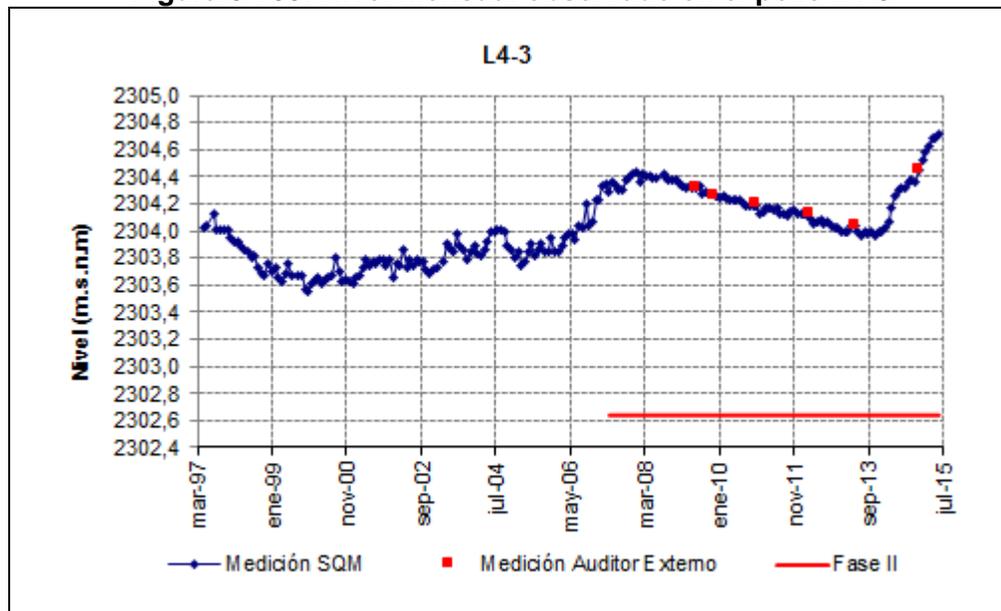
Los pozos L3-2, L4-3, L4-4, L5-1 y L5-2 presentados de la Figura 5-138 a la Figura 5-142 corresponden a pozos de la zona aluvial que se encuentran en un acuífero de agua dulce.

Figura 5-138: Nivel mensual observado en el pozo L3-2



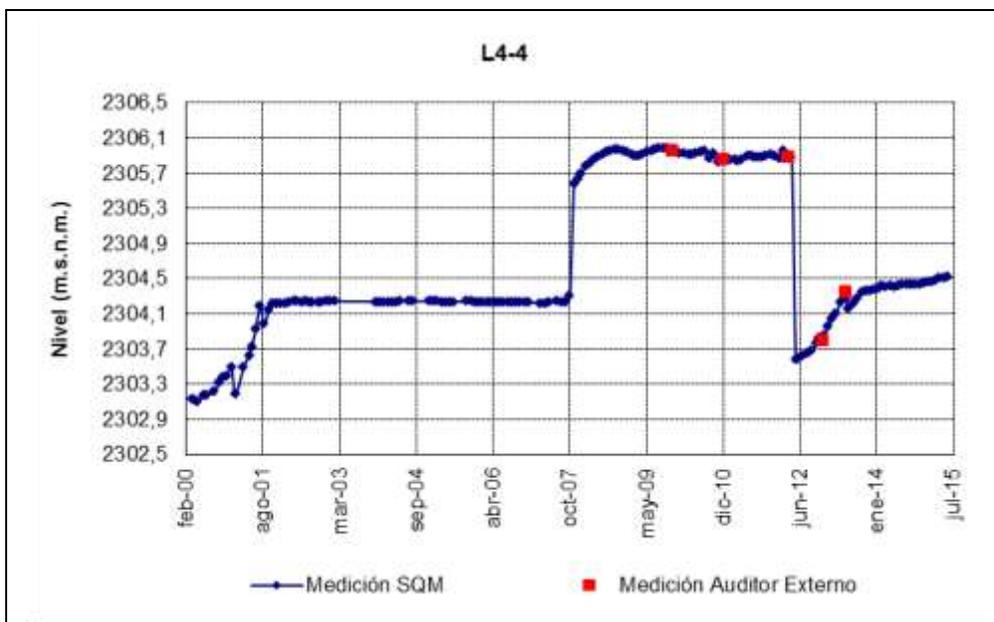
Fuente: Elaboración propia

Figura 5-139: Nivel mensual observado en el pozo L4-3



Fuente: Elaboración propia

Figura 5-140: Nivel mensual observado en el pozo L4-4



Fuente: Elaboración propia

Figura 5-141: Nivel mensual observado en el pozo L5-1

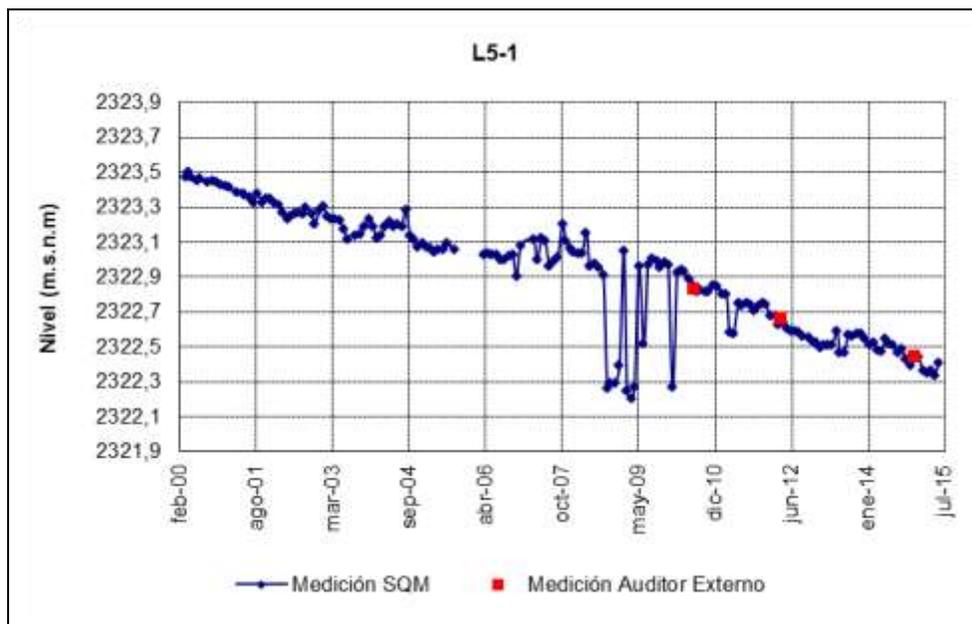
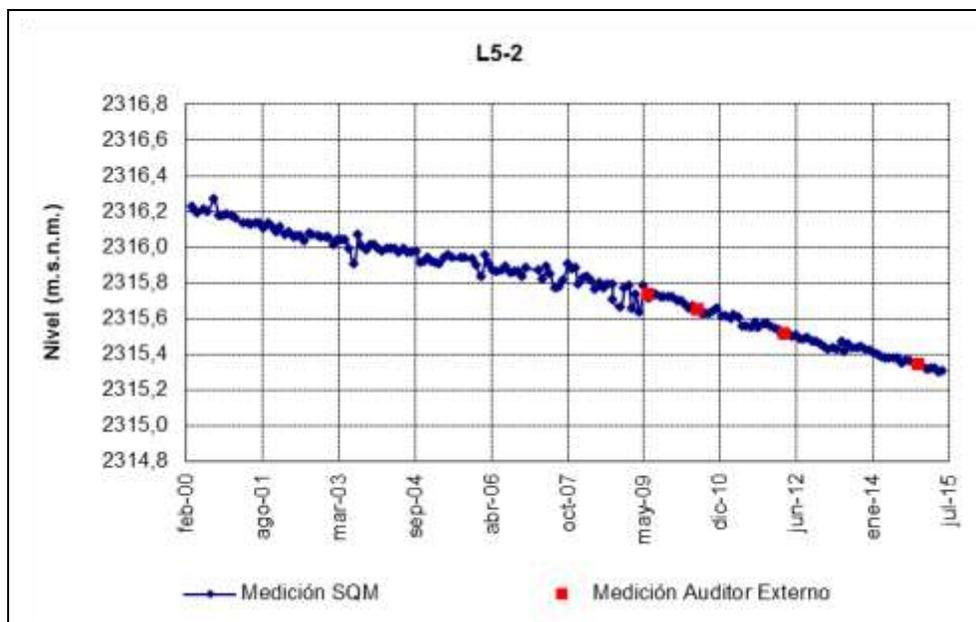


Figura 5-142: Nivel mensual observado en el pozo L5-2

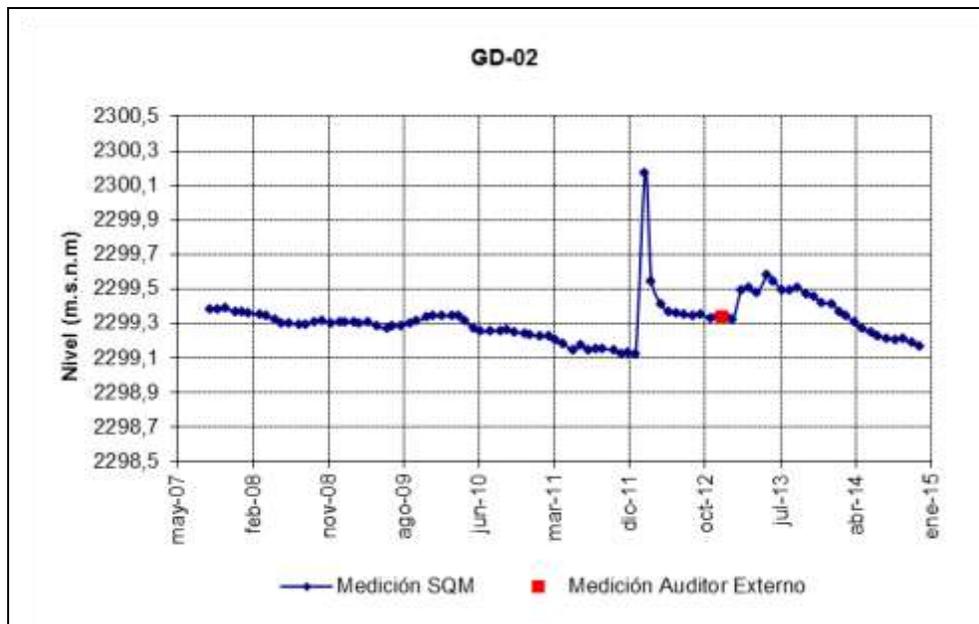


Fuente: Elaboración propia

5.3.2.1.2 Pozos en zona marginal

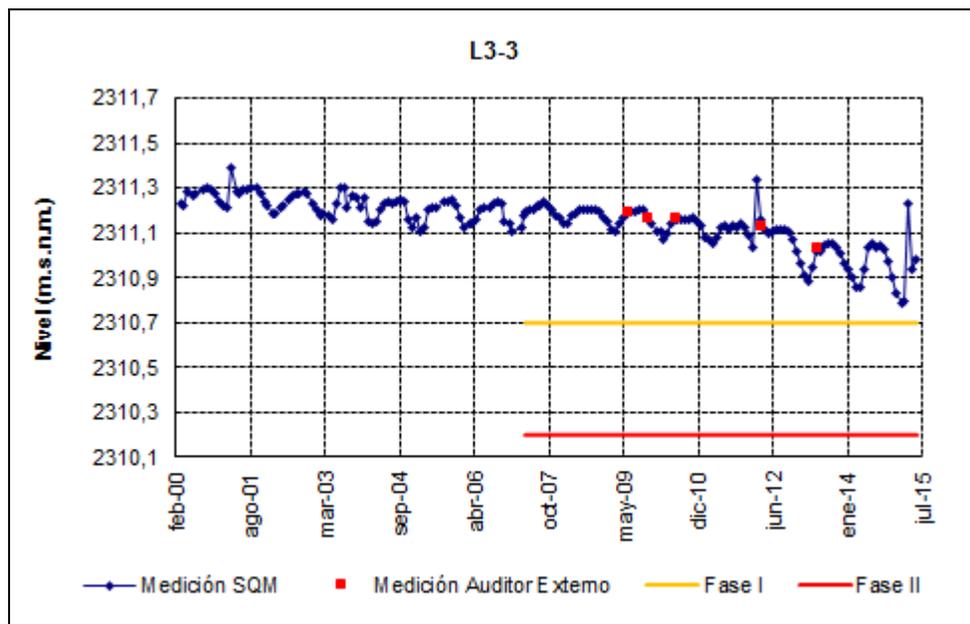
Desde la Figura 5-143 a la Figura 5-166 se presentan los pozos del Sistema Soncor ubicados en la zona marginal. Cabe destacar los pozos L3-3 y L4-5 son los únicos pozos en la zona marginal con datos anteriores a 2007.

Figura 5-143: Nivel mensual observado en el pozo GD-02



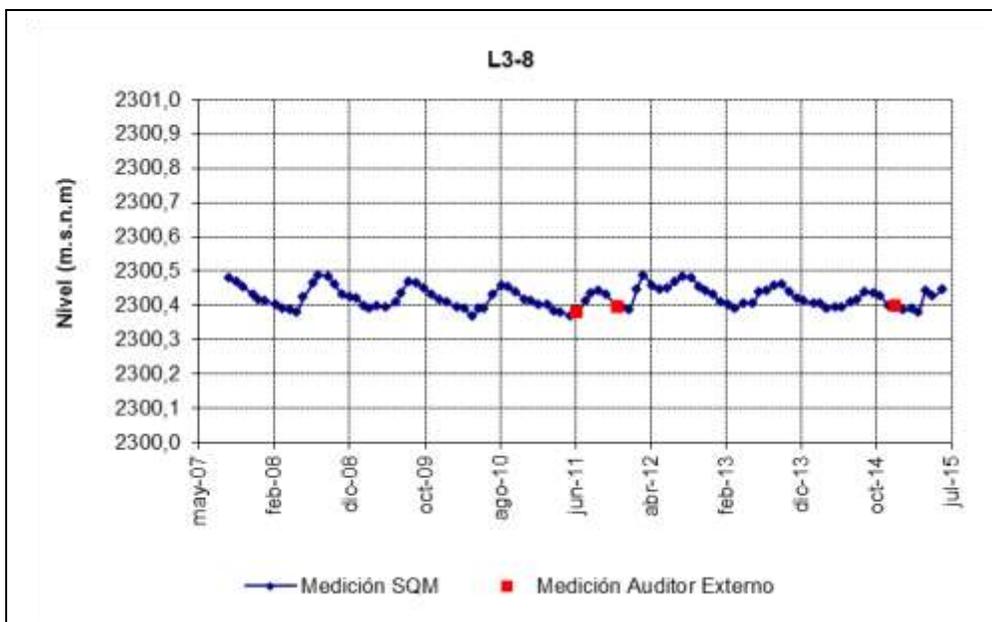
Fuente: Elaboración propia

Figura 5-144: Nivel mensual observado en el pozo L3-3



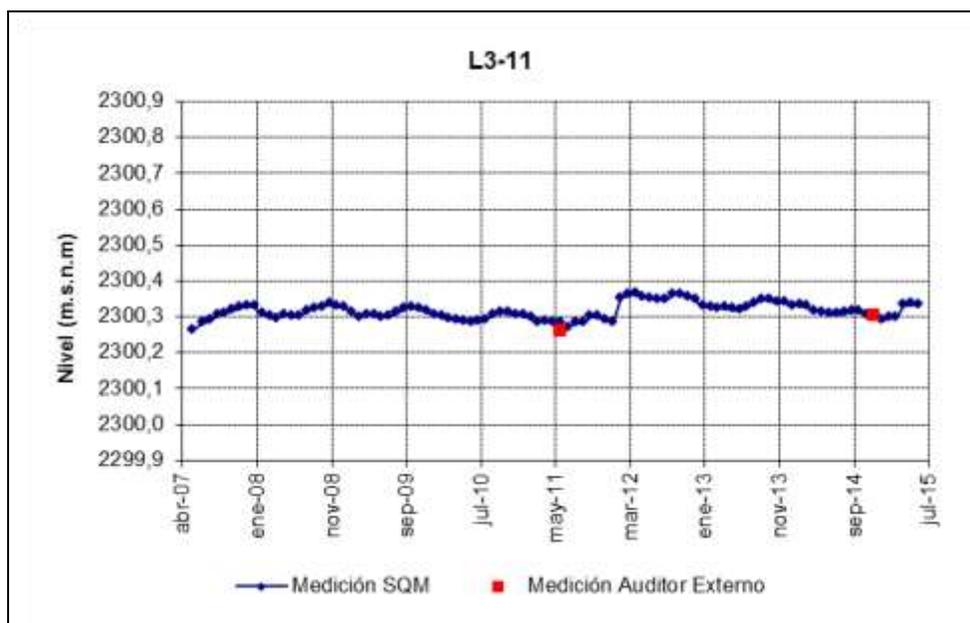
Fuente: Elaboración propia

Figura 5-145: Nivel mensual observado en el pozo L3-8



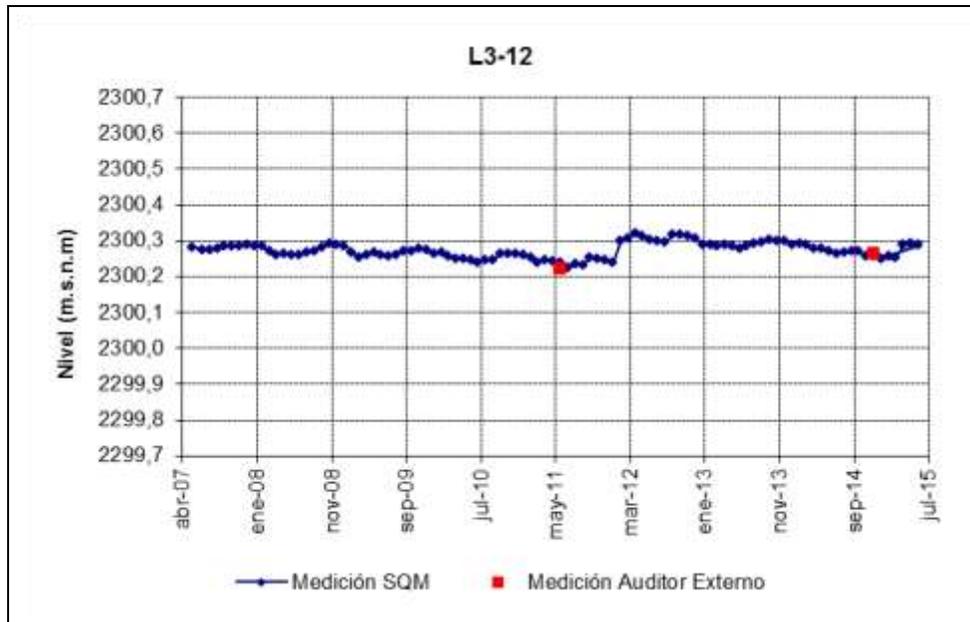
Fuente: Elaboración propia

Figura 5-146: Nivel mensual observado en el pozo L3-11



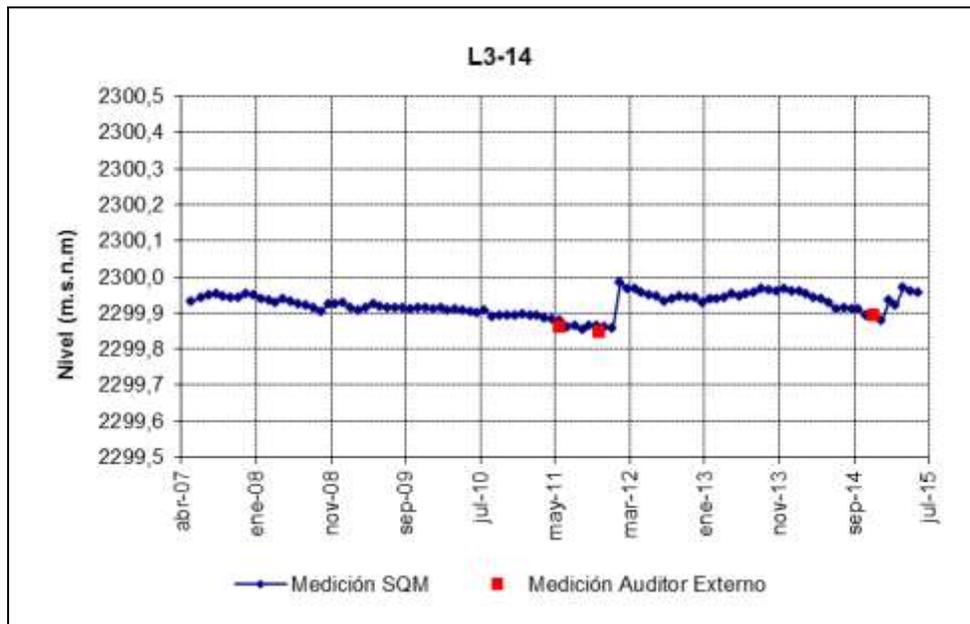
Fuente: Elaboración propia

Figura 5-147: Nivel mensual observado en el pozo L3-12



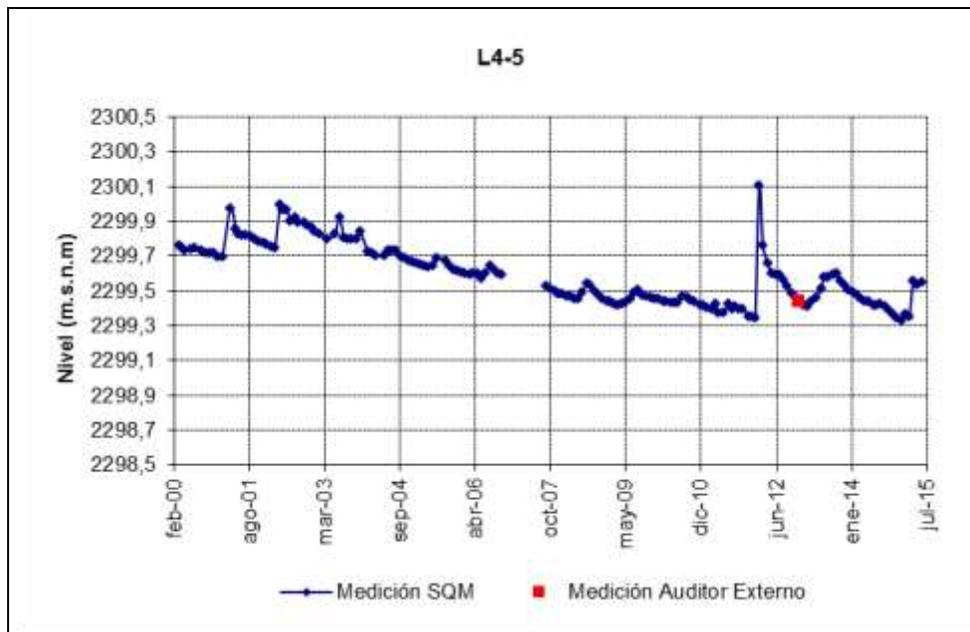
Fuente: Elaboración propia

Figura 5-148: Nivel mensual observado en el pozo L3-14



Fuente: Elaboración propia

Figura 5-149: Nivel mensual observado en el pozo L4-5



Fuente: Elaboración propia

Figura 5-150: Nivel mensual observado en el pozo L4-11

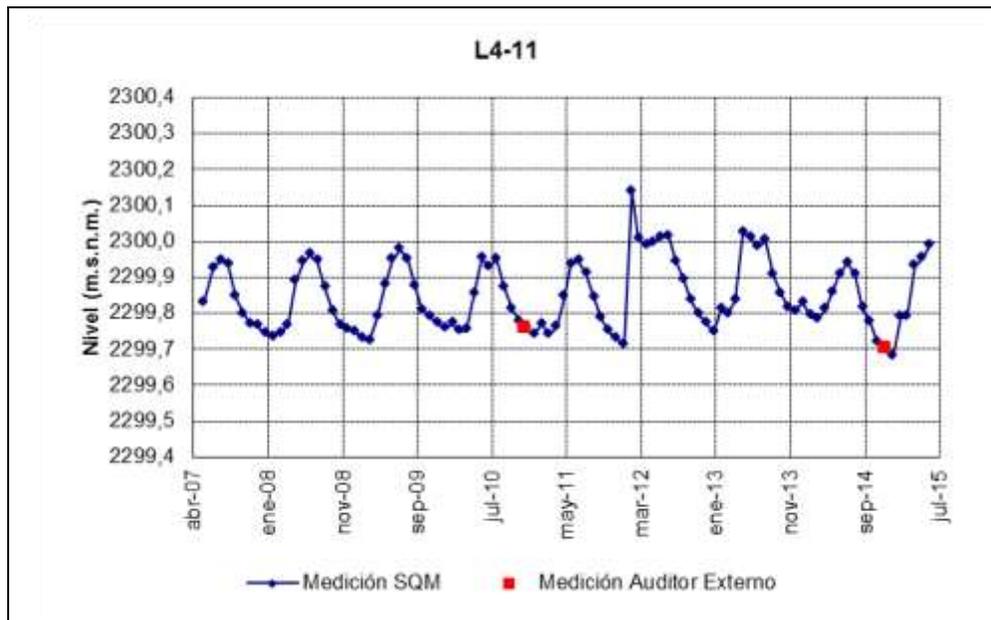
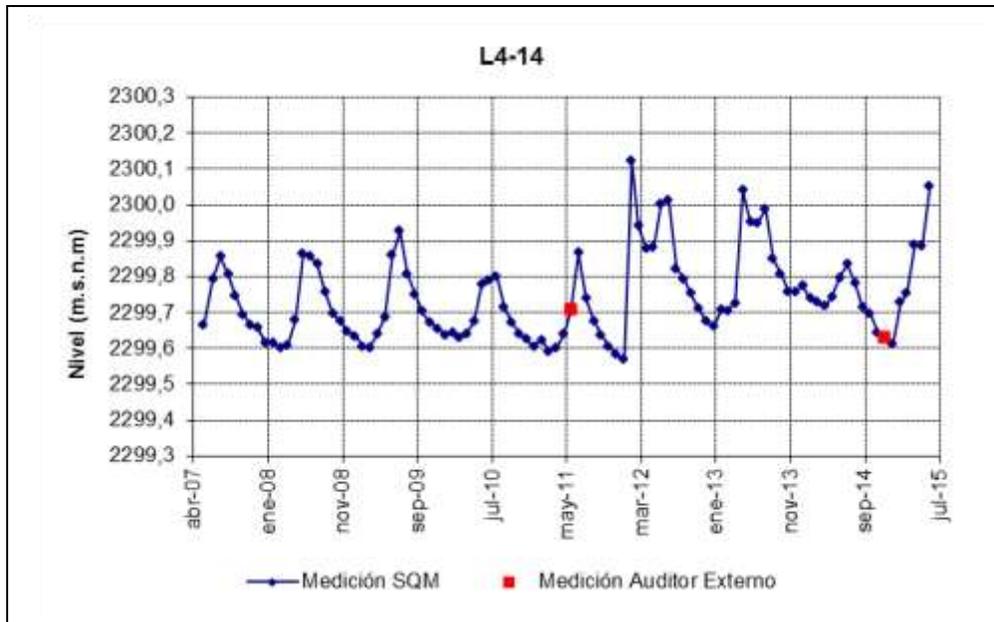


Figura 5-151: Nivel mensual observado en el pozo L4-14



Fuente: Elaboración propia

Figura 5-152: Nivel mensual observado en el pozo L4-15

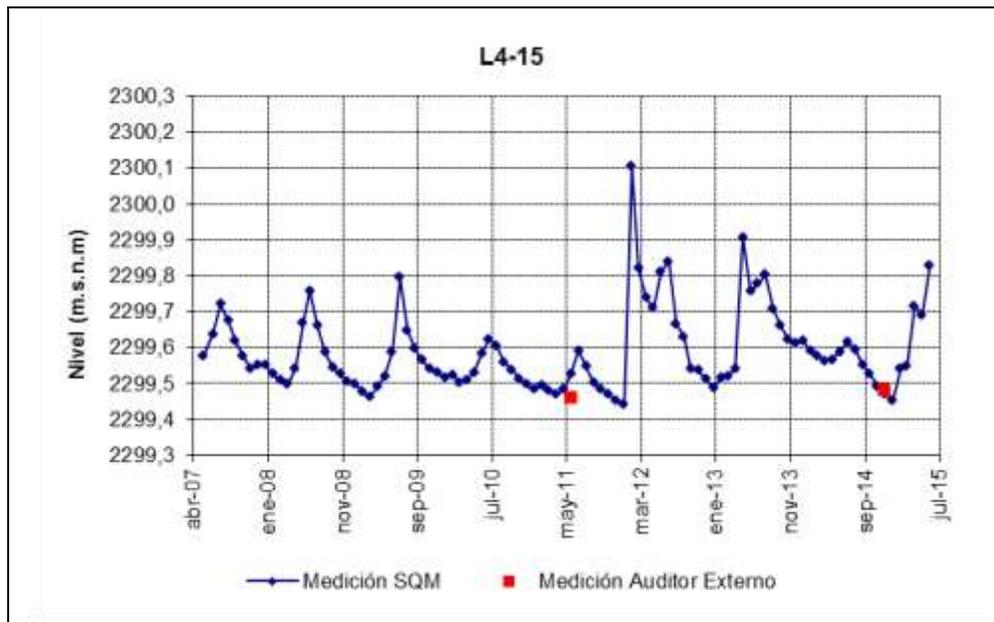
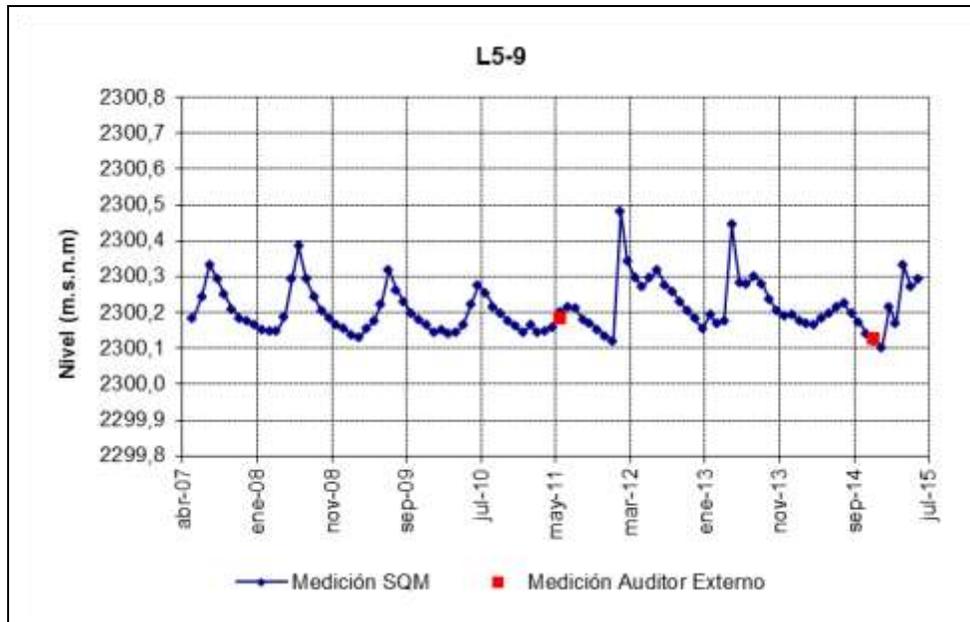
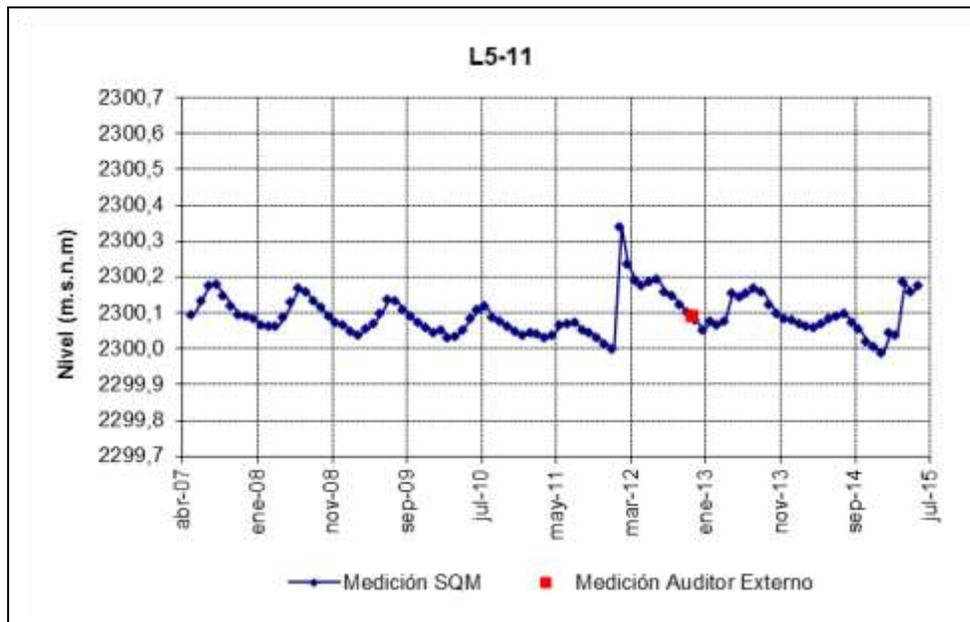


Figura 5-153: Nivel mensual observado en el pozo L5-9



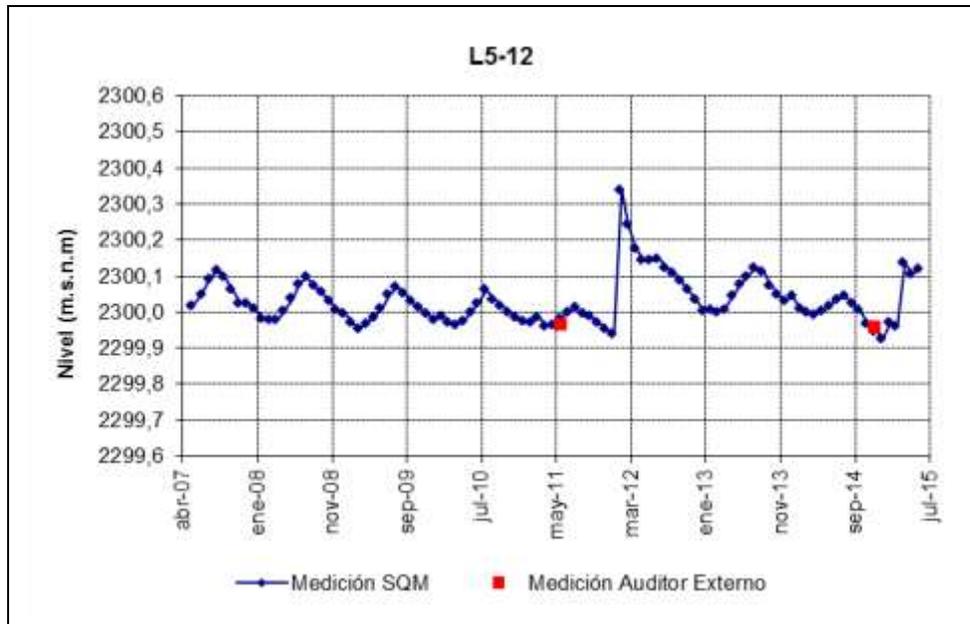
Fuente: Elaboración propia

Figura 5-154: Nivel mensual observado en el pozo L5-11



Fuente: Elaboración propia

Figura 5-155: Nivel mensual observado en el pozo L5-12



Fuente: Elaboración propia

Figura 5-156: Nivel mensual observado en el pozo L5-13

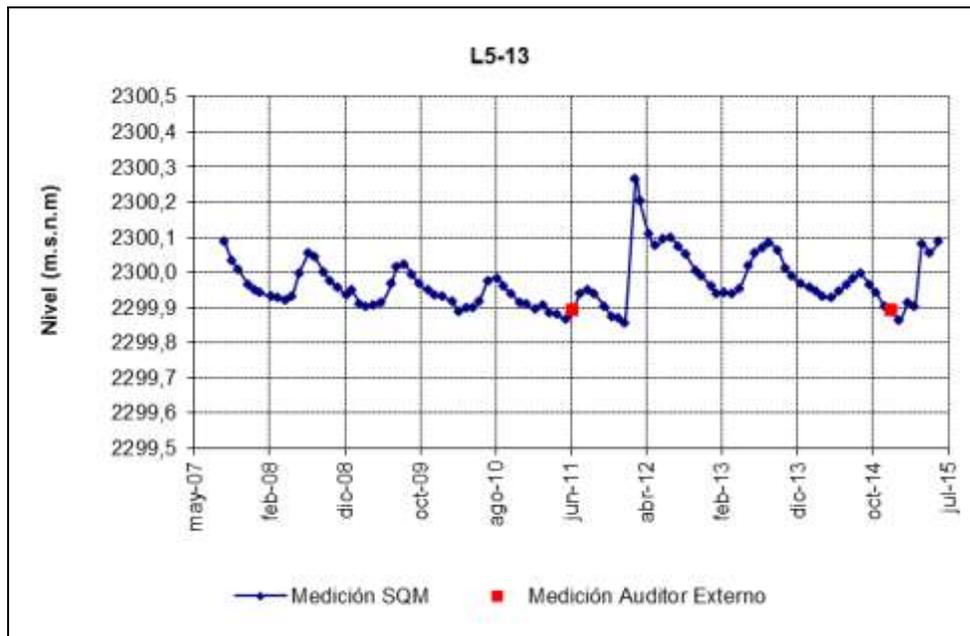
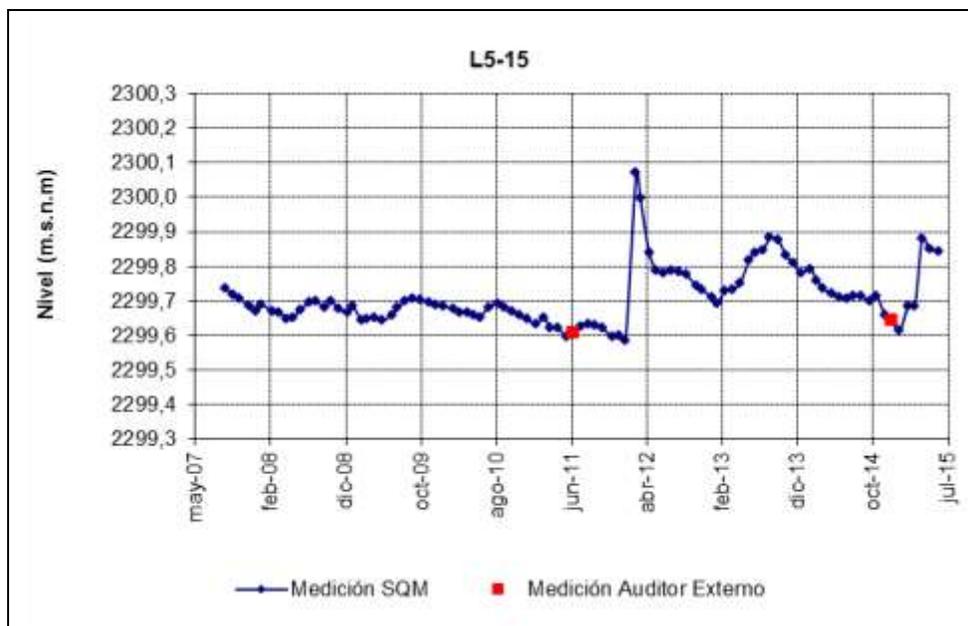
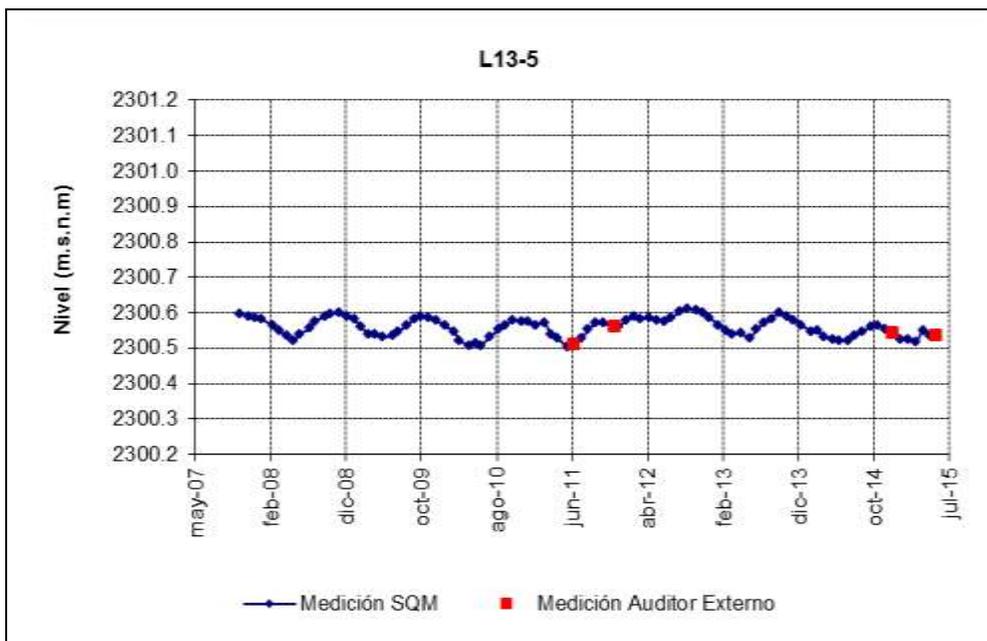


Figura 5-157: Nivel mensual observado en el pozo L5-15



Fuente: Elaboración propia

Figura 5-158: Nivel mensual observado en el pozo L13-5



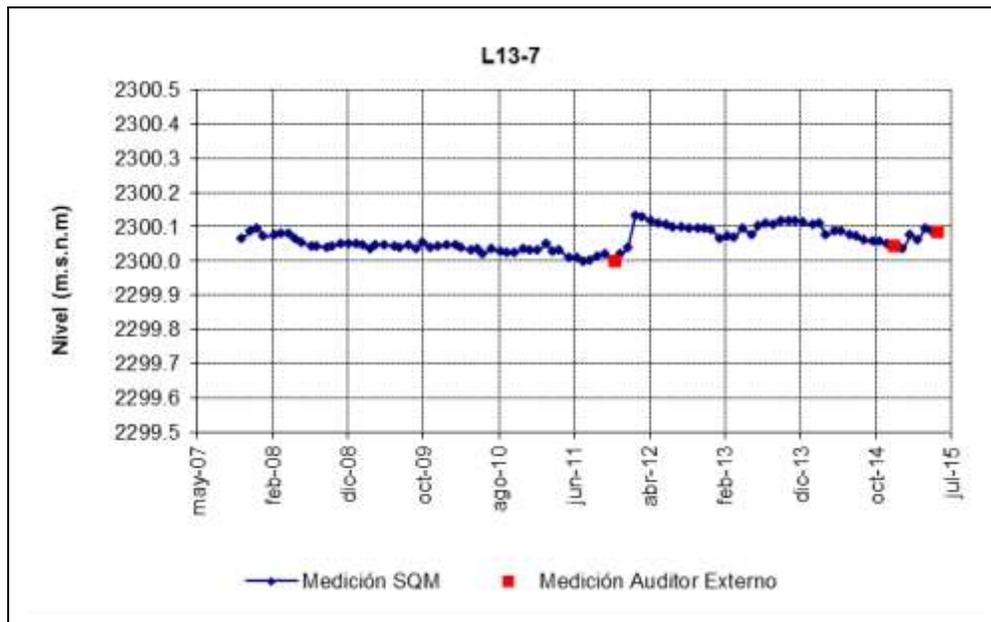
Fuente: Elaboración propia

Figura 5-159: Nivel mensual observado en el pozo L13-6



Fuente: Elaboración propia

Figura 5-160: Nivel mensual observado en el pozo L13-7



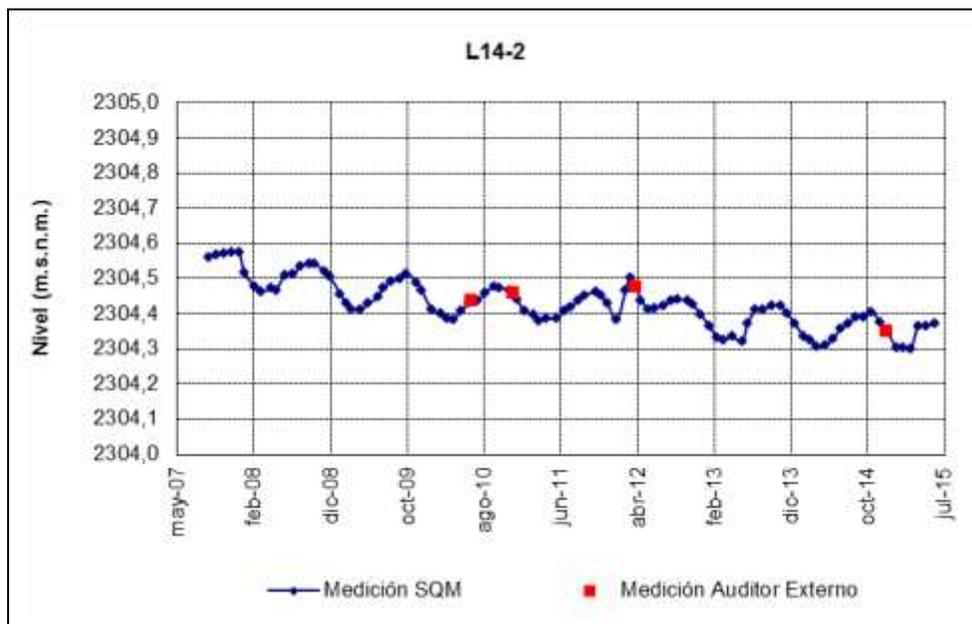
Fuente: Elaboración propia

Figura 5-161: Nivel mensual observado en el pozo L14-1



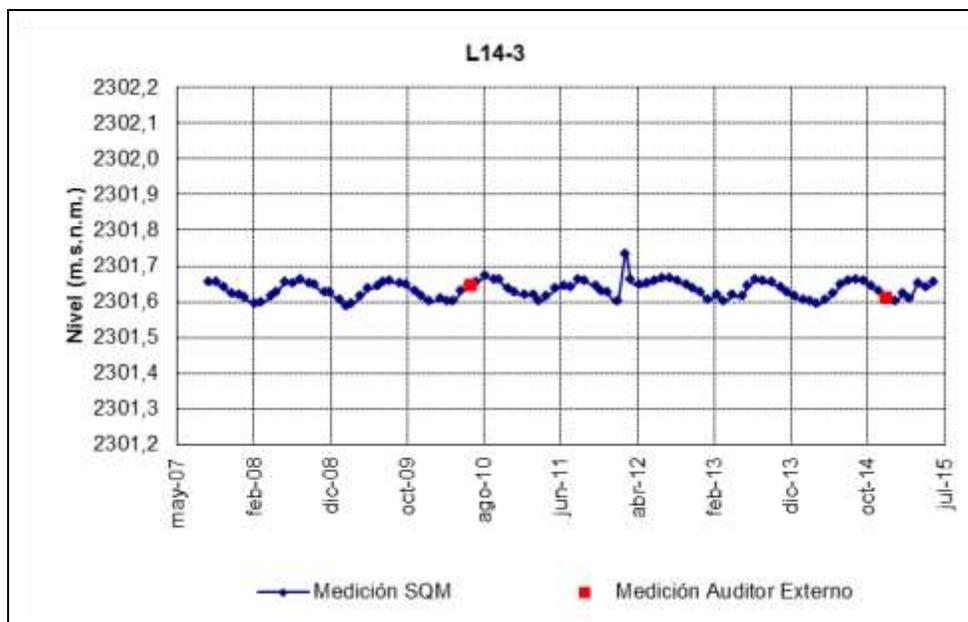
Fuente: Elaboración propia

Figura 5-162: Nivel mensual observado en el pozo L14-2



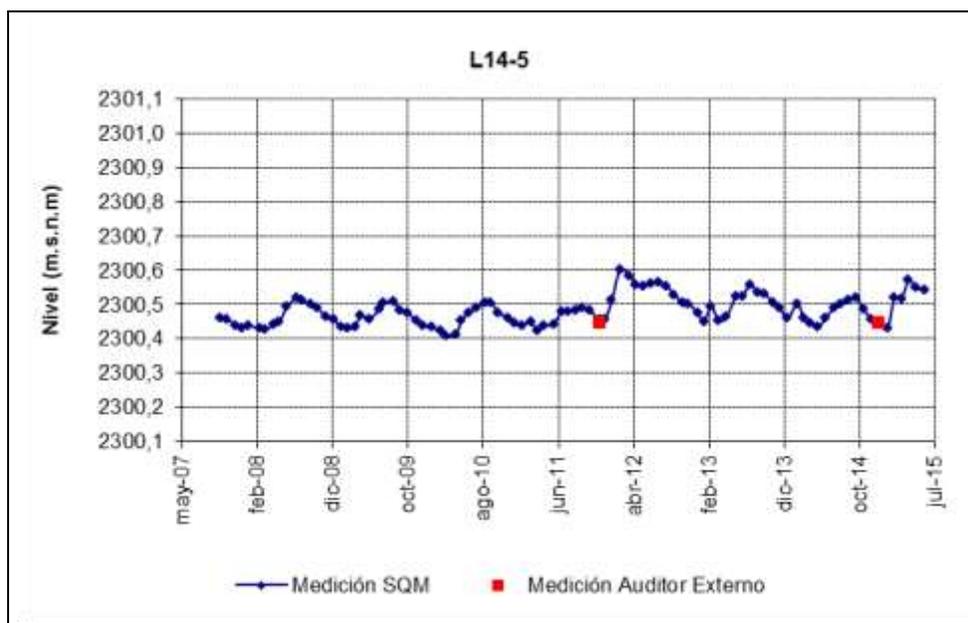
Fuente: Elaboración propia

Figura 5-163: Nivel mensual observado en el pozo L14-3



Fuente: Elaboración propia

Figura 5-164: Nivel mensual observado en el pozo L14-5



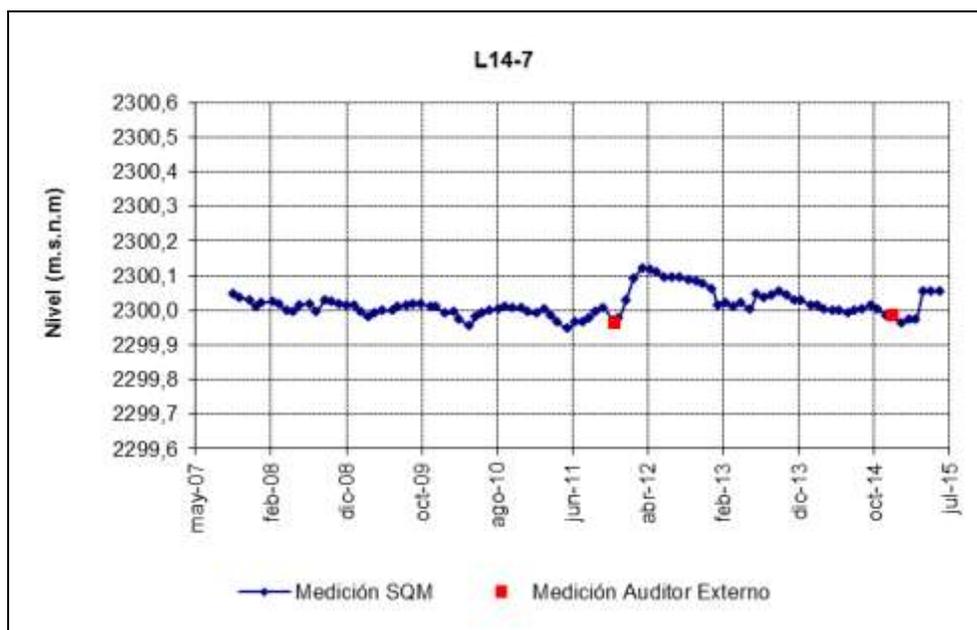
Fuente: Elaboración propia

Figura 5-165: Nivel mensual observado en el pozo L14-6



Fuente: Elaboración propia

Figura 5-166: Nivel mensual observado en el pozo L14-7



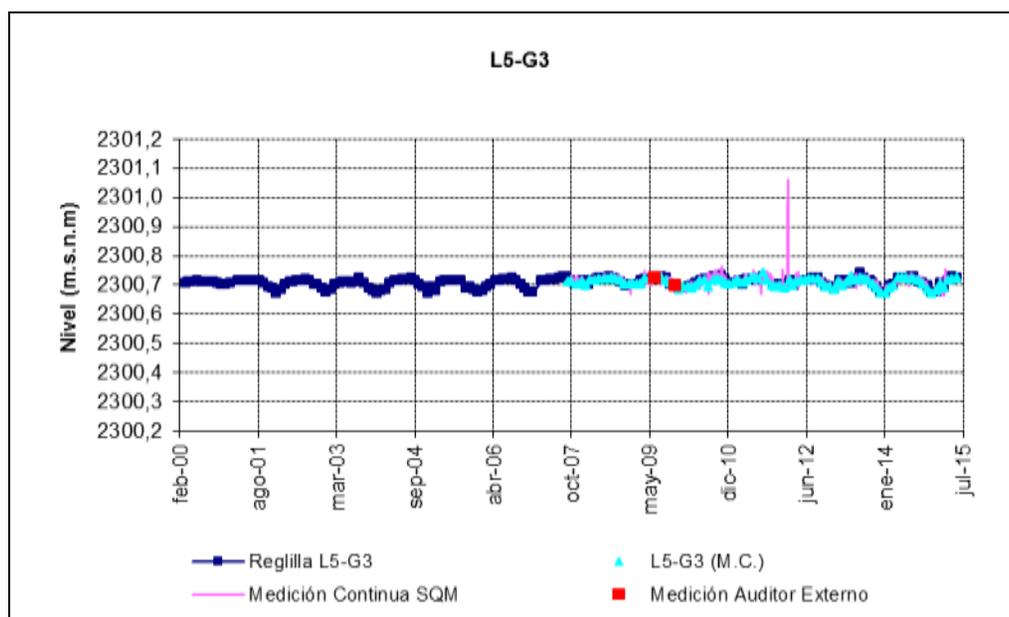
Fuente: Elaboración propia

5.3.2.1.3 Reglillas

Desde la Figura 5-167 a la Figura 5-170 se muestra los niveles mensuales observados en las reglillas ubicadas en el sector Aguas de Quelana.

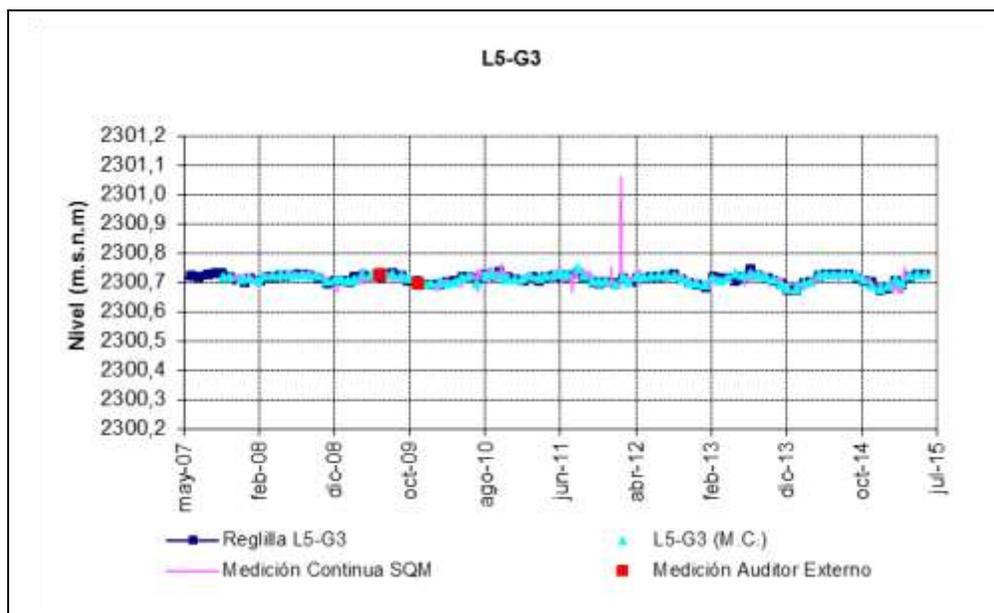
Dado que la reglilla L5-G3 tiene datos de medición continua desde septiembre de 2007, para una mejor visualización se presenta el seguimiento de esta reglilla en dos gráficos. El primero muestra la serie histórica (Figura 5-167), mientras que el segundo (Figura 5-168) muestra los datos a partir de mayo del 2007.

Figura 5-167: Nivel mensual observado en la reglilla L5-G3. (Línea azul: datos históricos; puntos rojos: medición manual en reglilla con registros de datos continuos – M.C.; línea magenta: datos continuos)



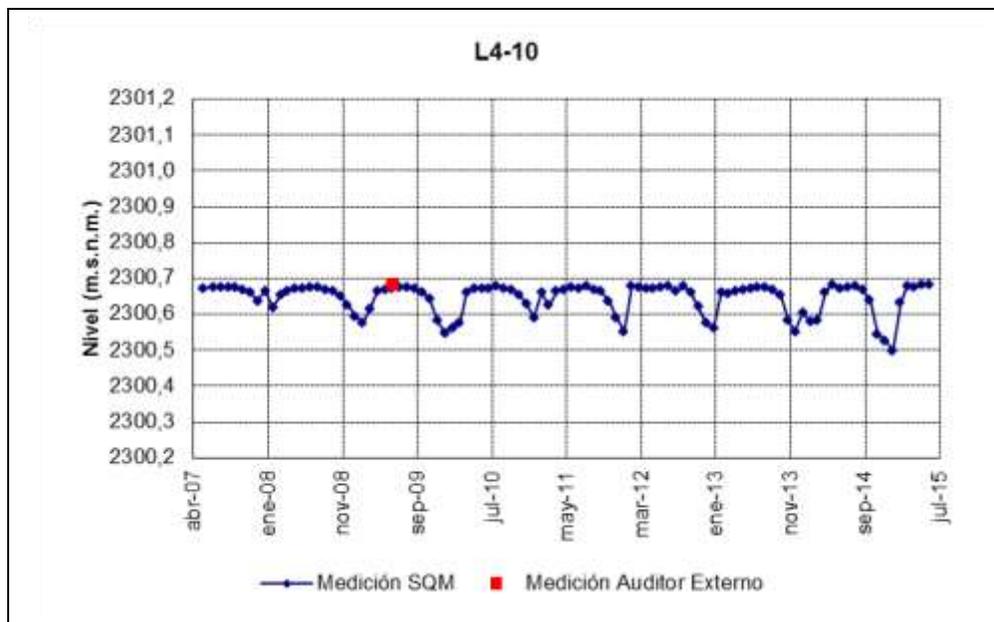
Fuente: Elaboración propia

Figura 5-168: Nivel mensual observado en la reglilla L5-G3 desde 13 de mayo de 2007, fecha de inicio de medición de pozos del PC. (Línea azul: datos históricos; puntos rojos: medición manual en reglilla con registros de datos continuos – M.C.; línea magenta: datos continuos)



Fuente: Elaboración propia

Figura 5-169: Nivel mensual observado en la reglilla L4-10

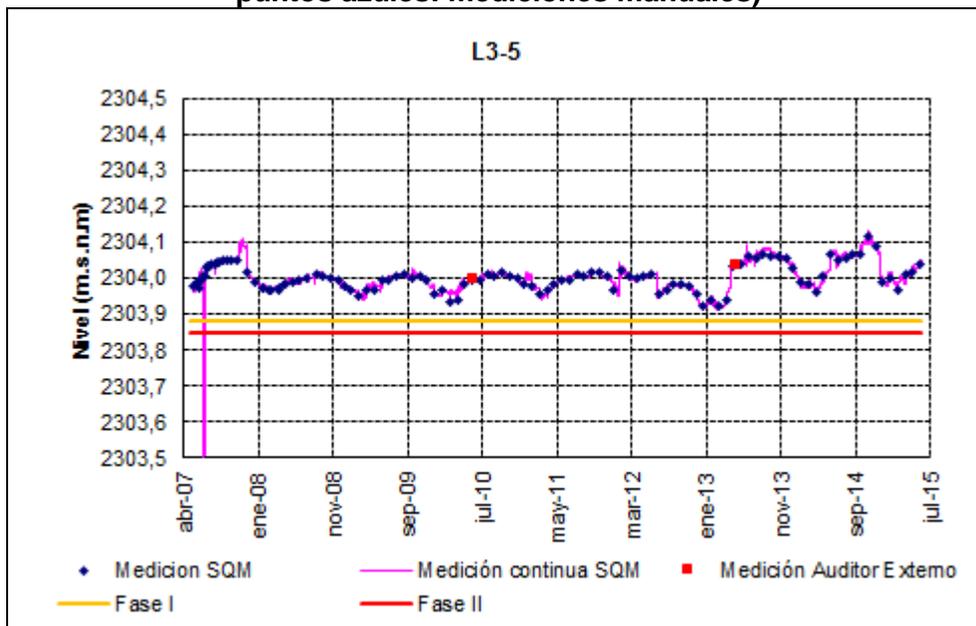


Fuente: Elaboración propia

5.3.2.1.4 Pozos con medición continua

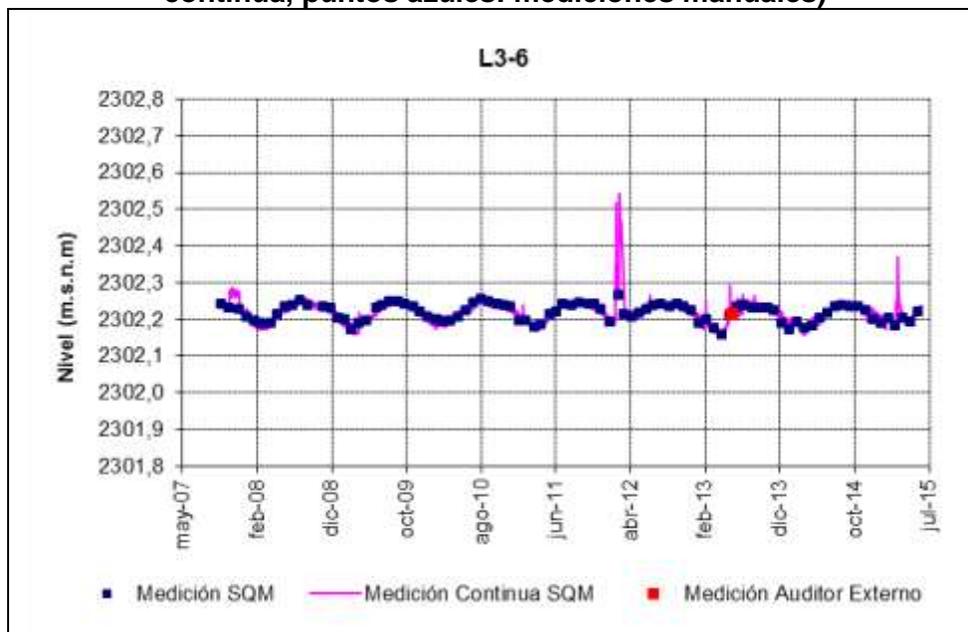
En Aguas de Quelana se implementaron 22 pozos con medición continua de nivel, los cuales se presentan desde la Figura 5-170 a la Figura 5-192. Es importante recordar que aquellos pozos ubicados en sectores con densidad del agua variable deben ser recalibrados permanentemente. Los puntos mostrados en las figuras (color azul) corresponden a mediciones manuales realizadas en el pozo correspondiente.

Figura 5-170: Nivel observado en el pozo L3-5 (línea magenta: medición continua, puntos azules: mediciones manuales)



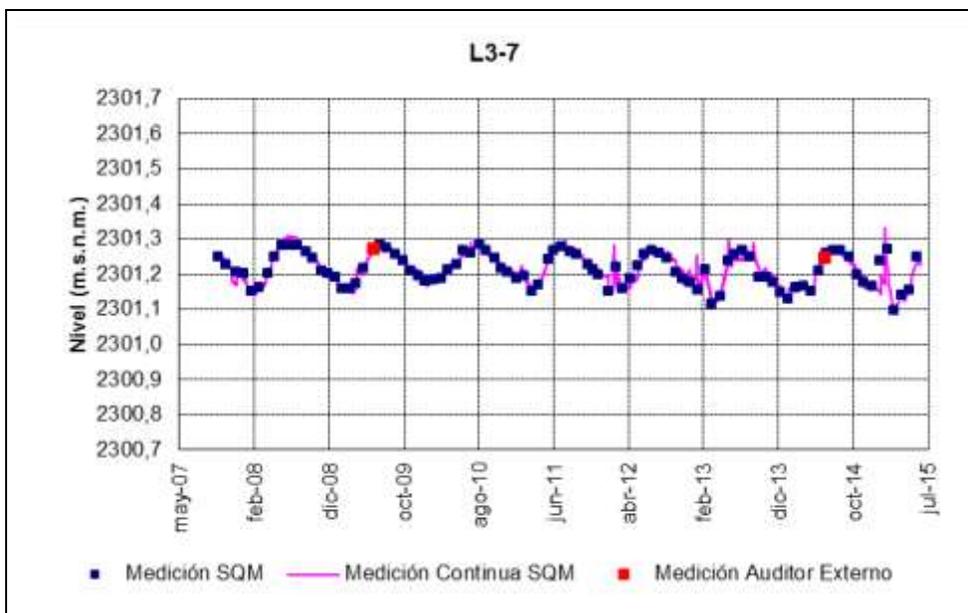
Fuente: Elaboración propia

Figura 5-171: Nivel mensual observado en el pozo L3-6 (línea magenta: medición continua, puntos azules: mediciones manuales)



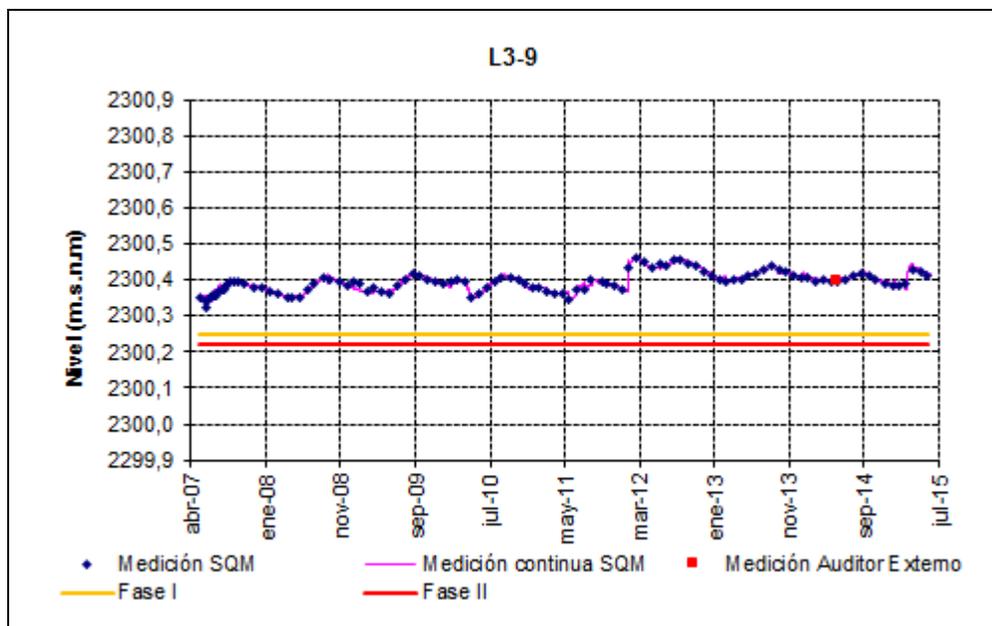
Fuente: Elaboración propia

Figura 5-172: Nivel mensual observado en el pozo L3-7 (línea magenta: medición continua, puntos azules: mediciones manuales)



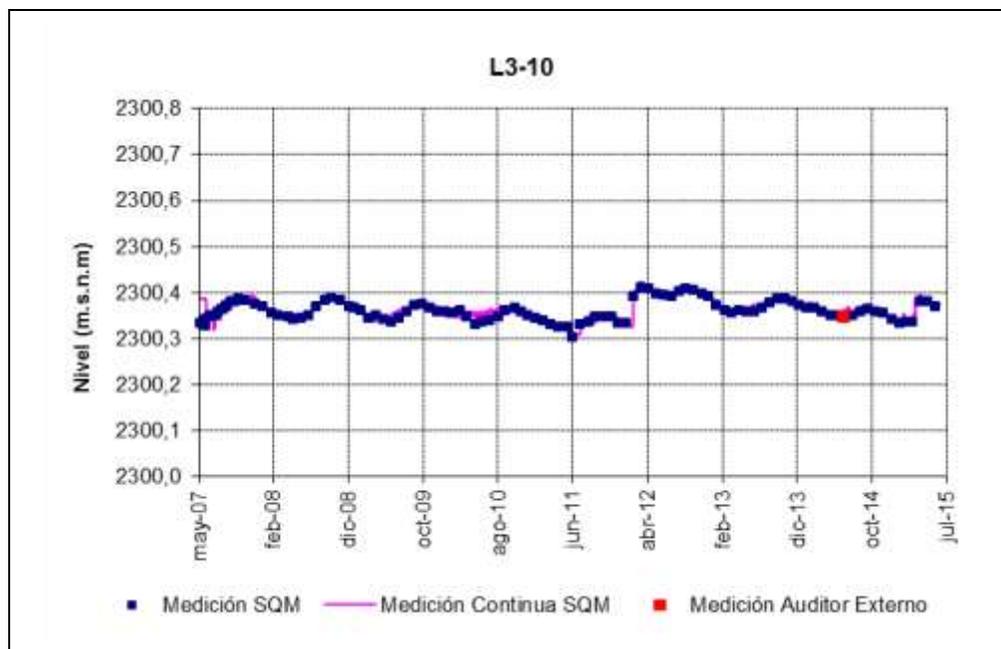
Fuente: Elaboración propia

Figura 5-173: Nivel observado en el pozo L3-9 (línea magenta: medición continua, puntos azules: mediciones manuales)



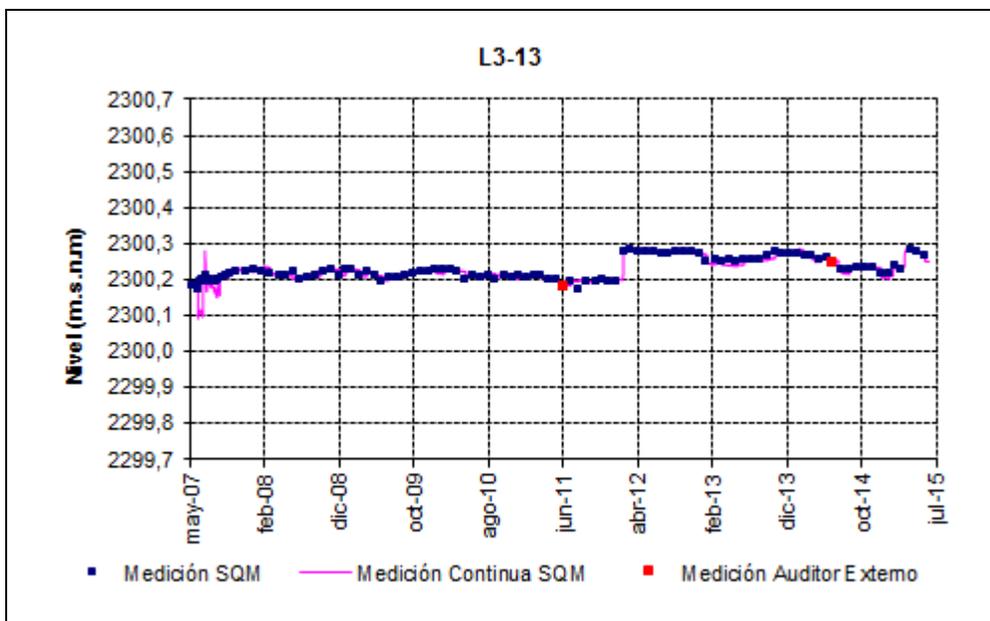
Fuente: Elaboración propia

Figura 5-174: Nivel observado en el pozo L3-10 (línea magenta: medición continua, puntos azules: mediciones manuales)



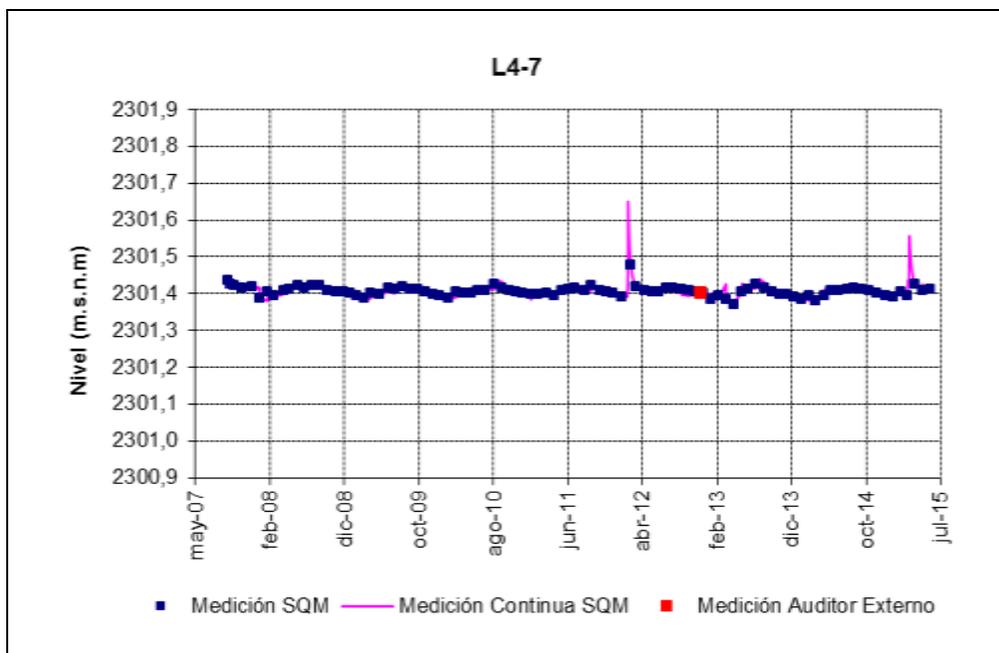
Fuente: Elaboración propia

Figura 5-175: Nivel observado en el pozo L3-13 (línea magenta: medición continua, puntos azules: mediciones manuales)



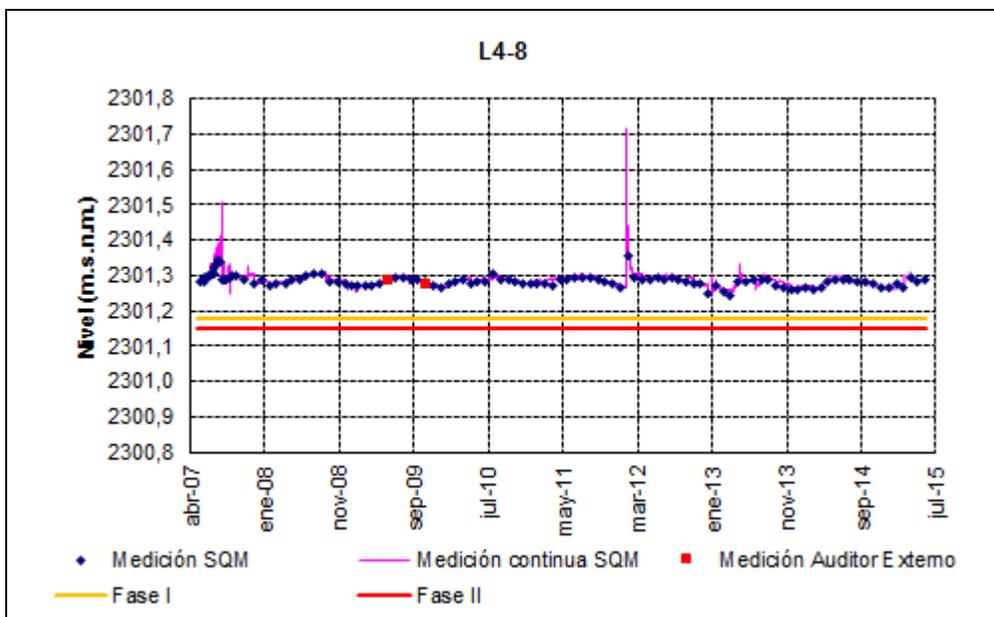
Fuente: Elaboración propia

Figura 5-176: Nivel mensual observado en el pozo L4-7 (línea magenta: medición continua, puntos azules: mediciones manuales)



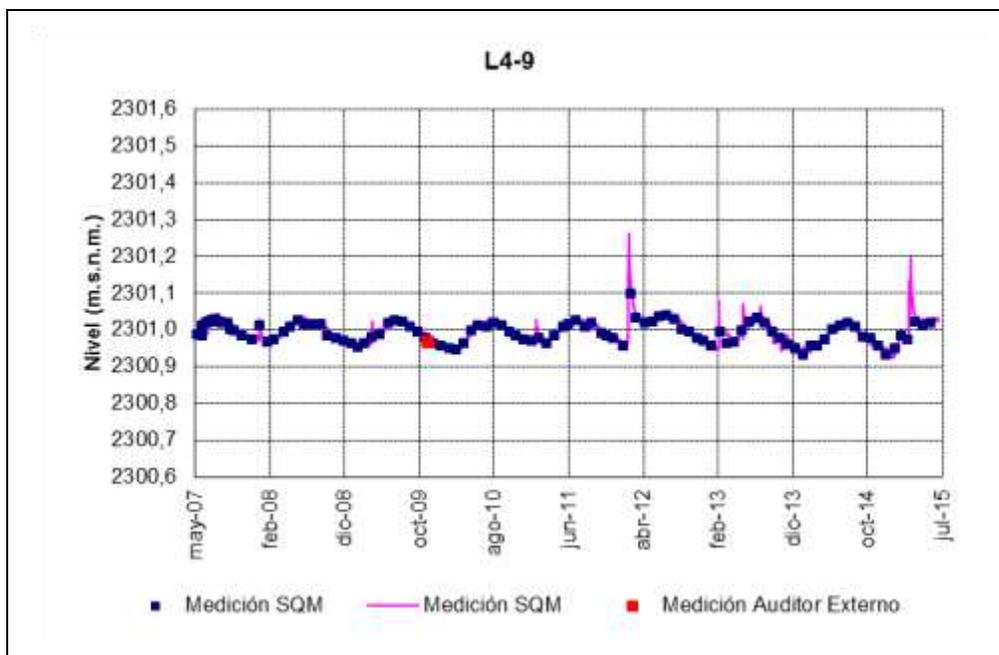
Fuente: Elaboración propia

Figura 5-177: Nivel observado en el pozo L4-8 (línea magenta: medición continua, puntos azules: mediciones manuales)



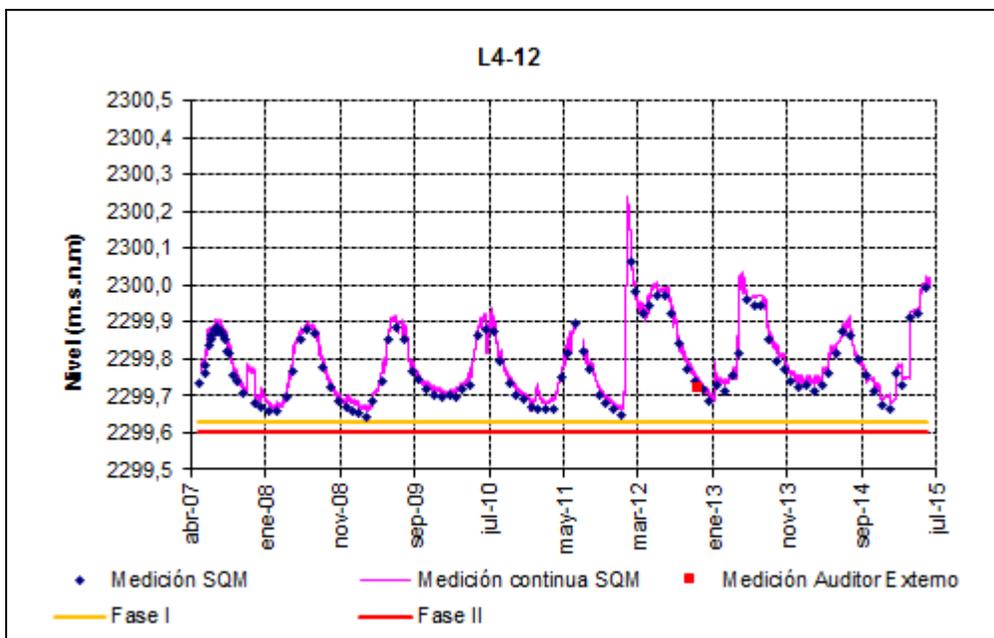
Fuente: Elaboración propia

Figura 5-178: Nivel observado en el pozo L4-9 (línea magenta: medición continua, puntos azules: mediciones manuales)



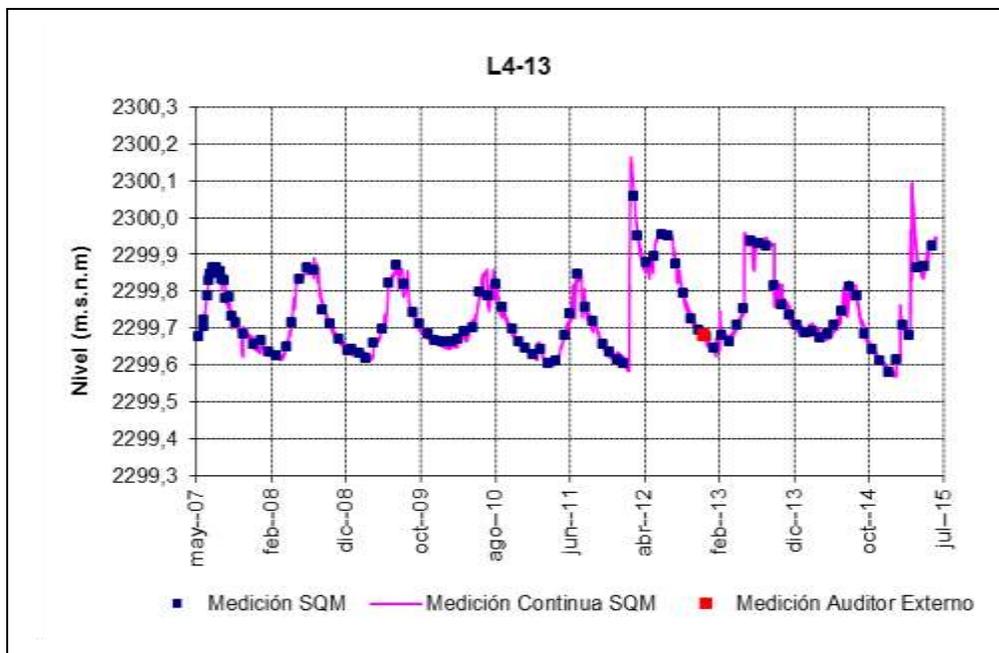
Fuente: Elaboración propia

Figura 5-179: Nivel observado en el pozo L4-12 (línea magenta: medición continua, puntos azules: mediciones manuales)



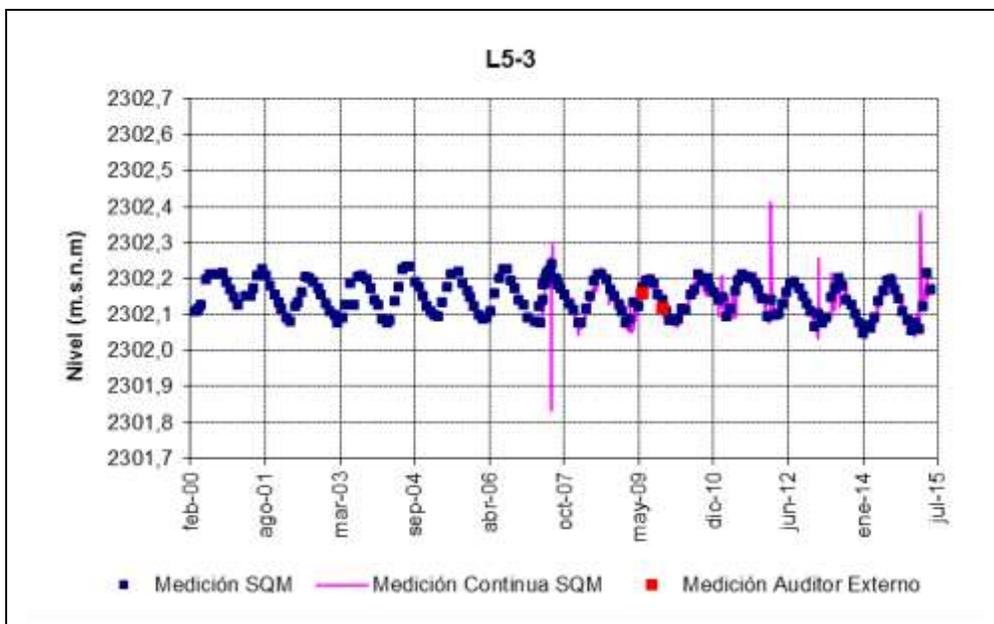
Fuente: Elaboración propia

Figura 5-180: Nivel observado en el pozo L4-13 (línea magenta: medición continua, puntos azules: mediciones manuales)



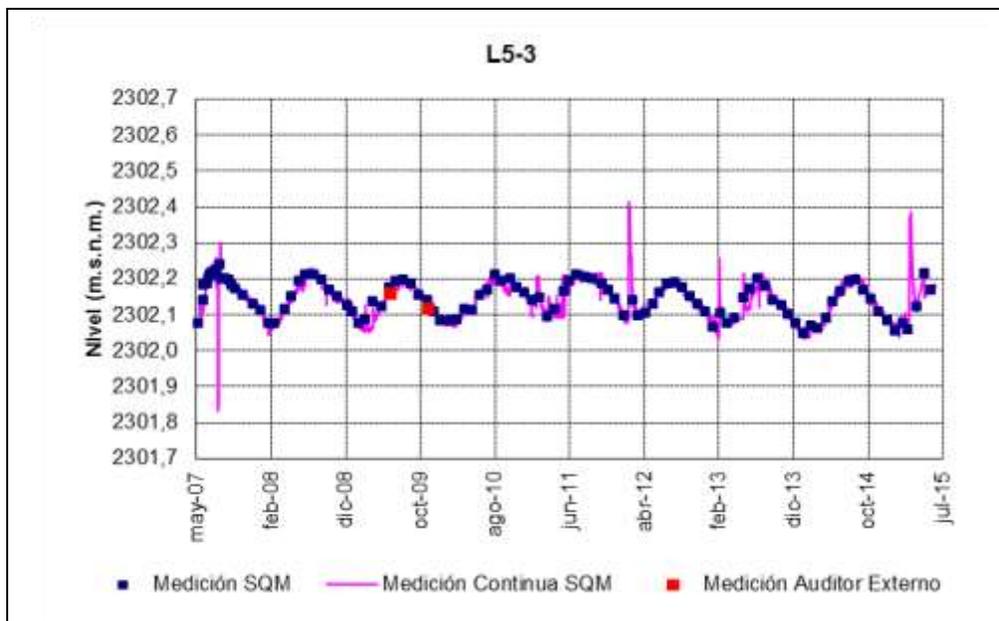
Fuente: Elaboración propia

Figura 5-181: Nivel mensual observado en el pozo L5-3 (línea magenta: medición continua, puntos azules: mediciones manuales)



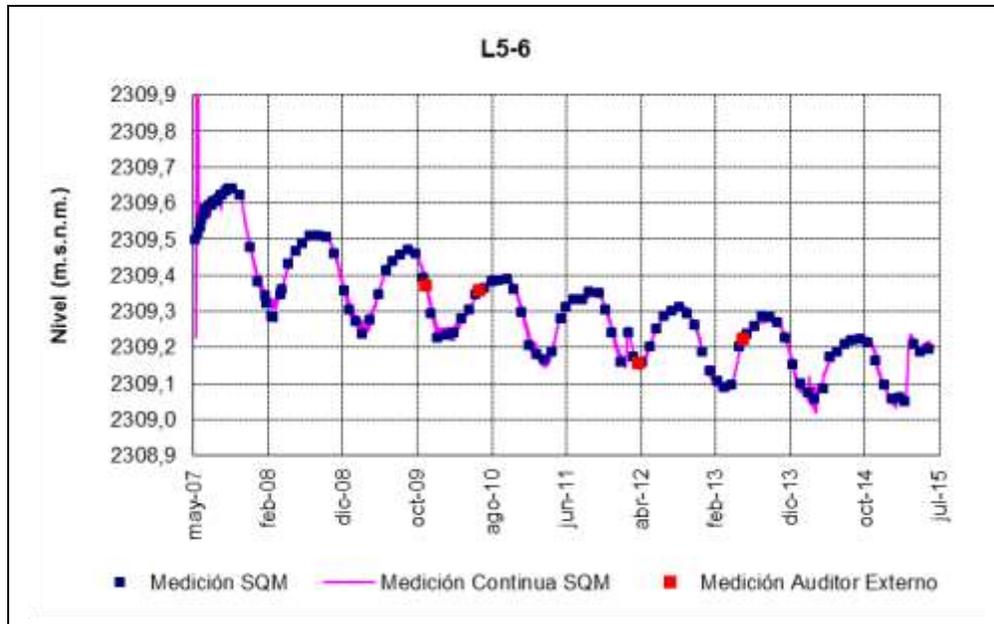
Fuente: Elaboración propia

Figura 5-182: Nivel observado en el pozo L5-3 desde 13 de mayo del 2007, fecha de inicio de medición de pozos del PC (línea magenta: medición continua, puntos azules: mediciones manuales)



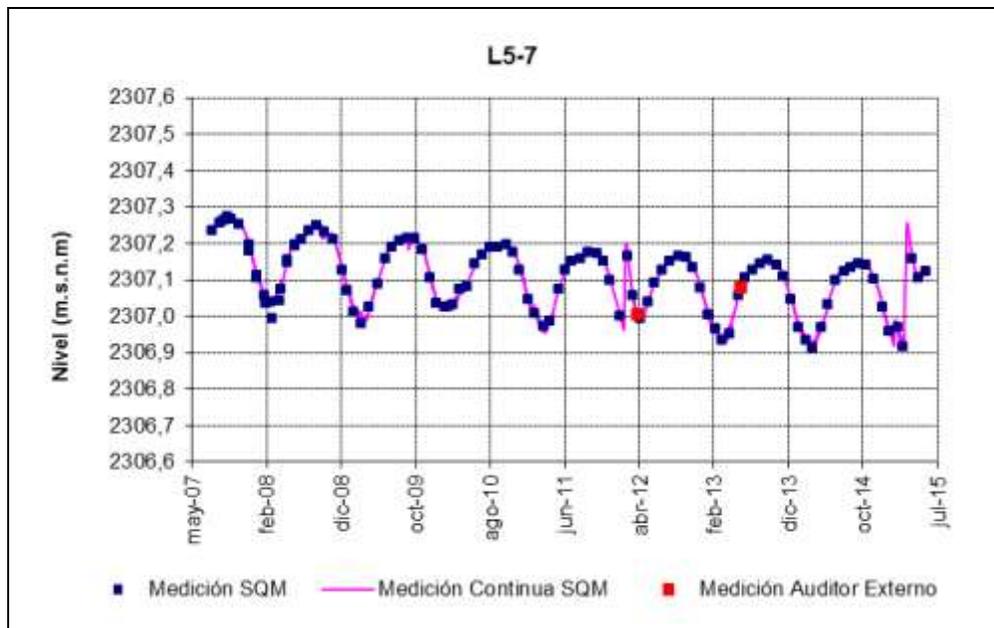
Fuente: Elaboración propia

Figura 5-183: Nivel observado en el pozo L5-6 (línea magenta: medición continua, puntos azules: mediciones manuales)



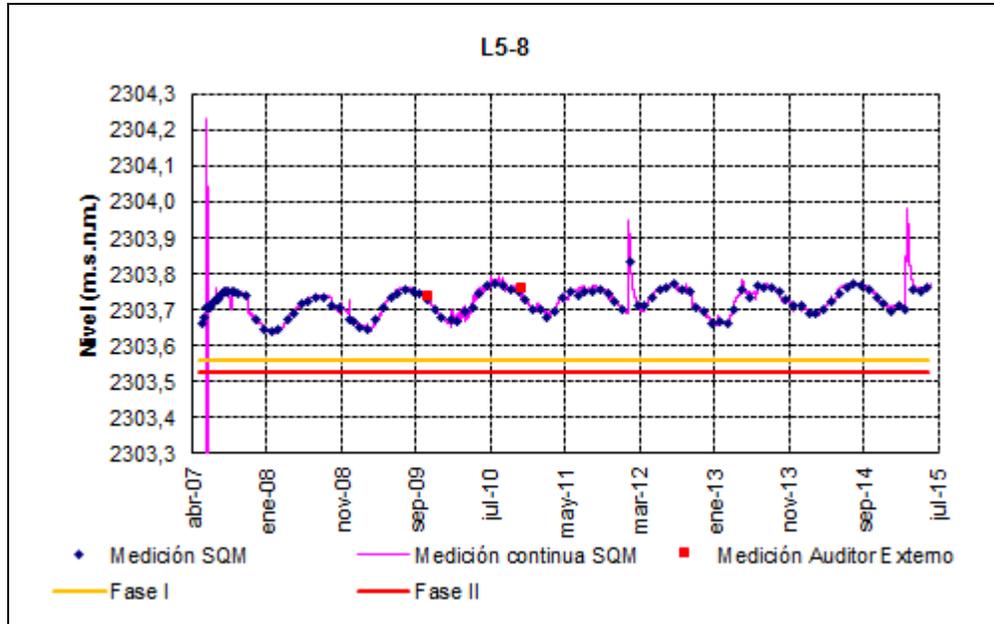
Fuente: Elaboración propia

Figura 5-184: Nivel mensual observado en el pozo L5-7 (línea magenta: medición continua, puntos azules: mediciones manuales)



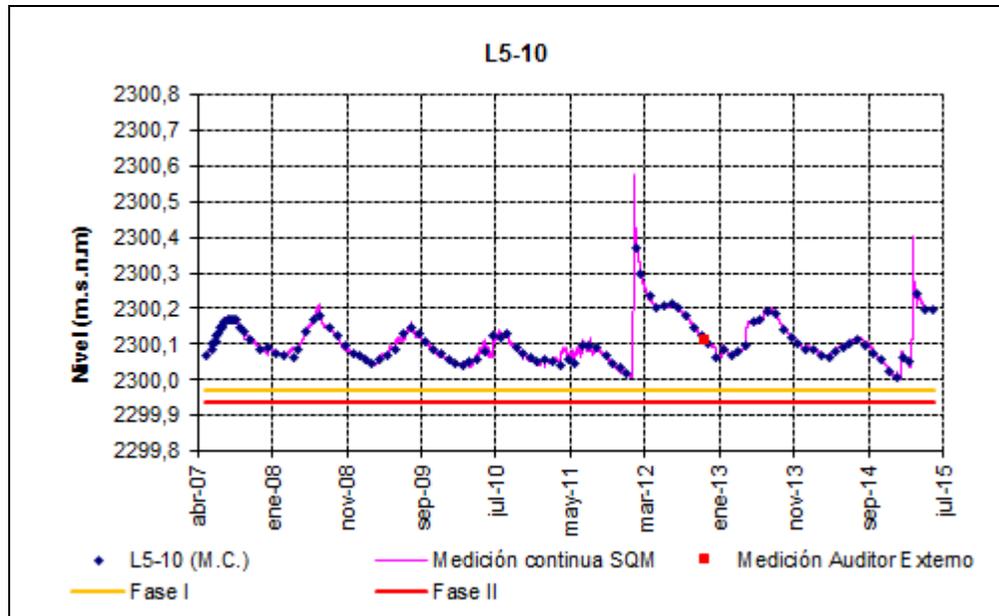
Fuente: Elaboración propia

Figura 5-185: Nivel observado en el pozo L5-8 (línea magenta: medición continua, puntos azules: mediciones manuales)



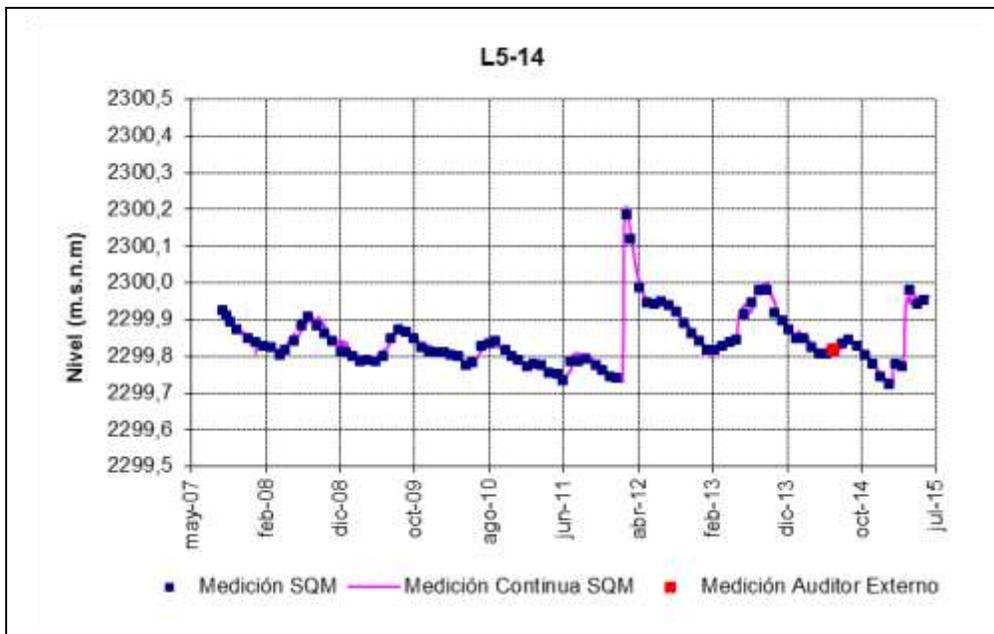
Fuente: Elaboración propia

Figura 5-186: Nivel observado en el pozo L5-10 (línea magenta: medición continua, puntos azules: mediciones manuales)



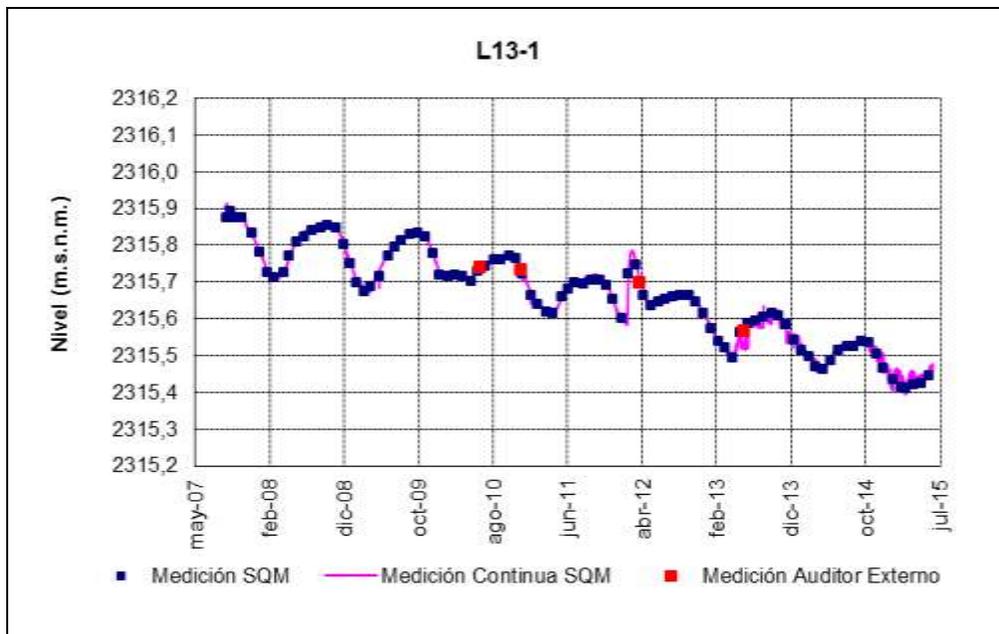
Fuente: Elaboración propia

Figura 5-187: Nivel mensual observado en el pozo L5-14 (línea magenta: medición continua, puntos azules: mediciones manuales)



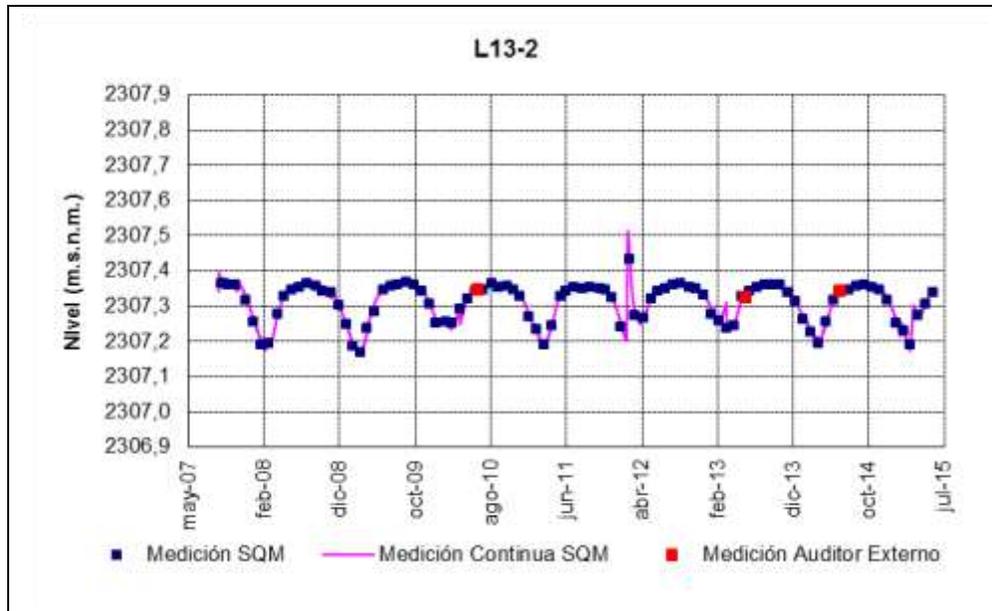
Fuente: Elaboración propia

Figura 5-188: Nivel mensual observado en el pozo L13-1 (línea magenta: medición continua, puntos azules: mediciones manuales)



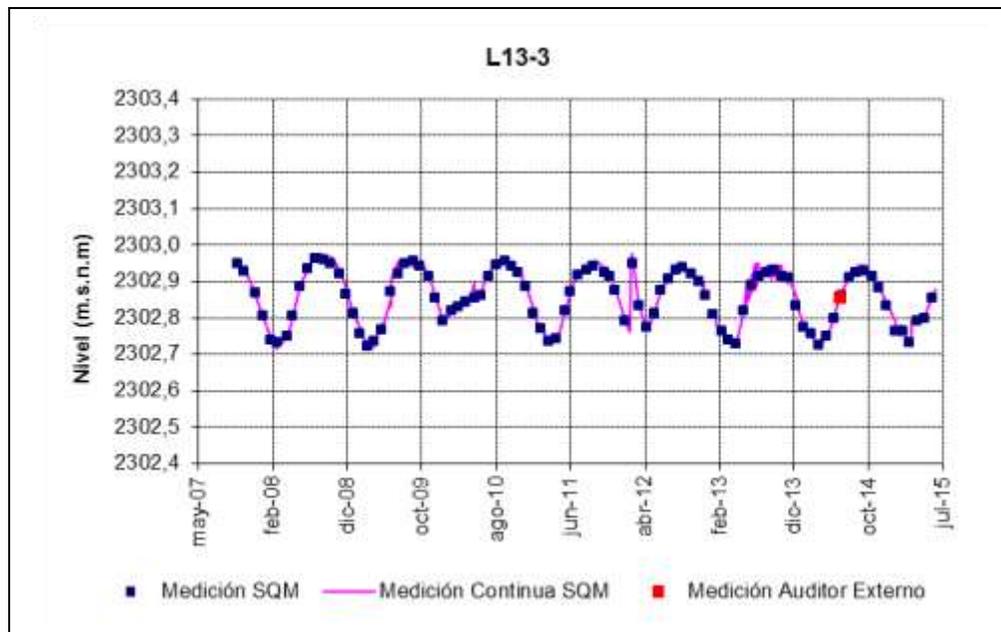
Fuente: Elaboración propia

Figura 5-189: Nivel mensual observado en el pozo L13-2 (línea magenta: medición continua, puntos azules: mediciones manuales)



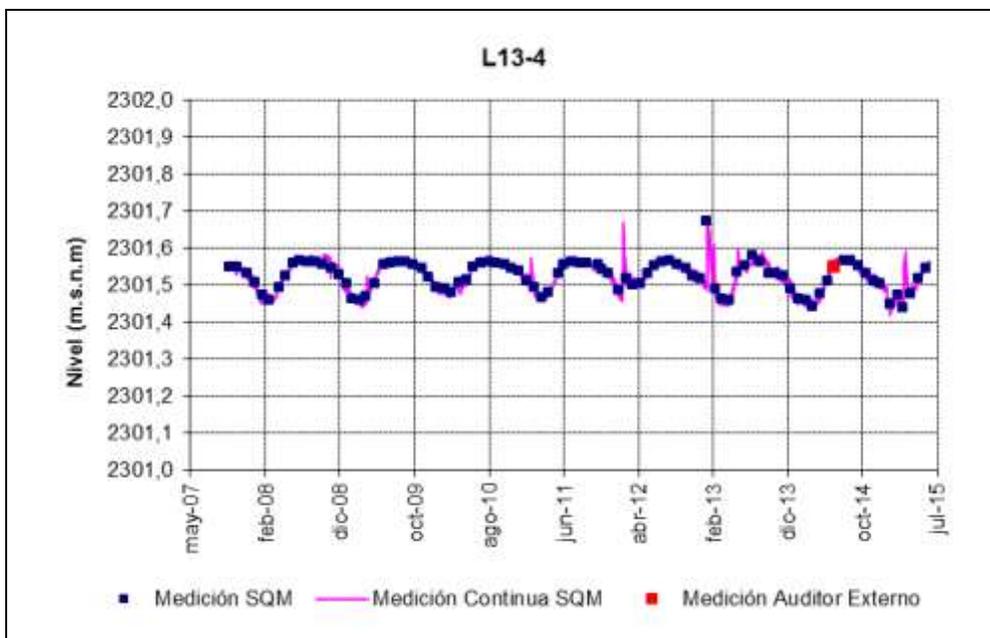
Fuente: Elaboración propia

Figura 5-190: Nivel mensual observado en el pozo L13-3 (línea magenta: medición continua, puntos azules: mediciones manuales)



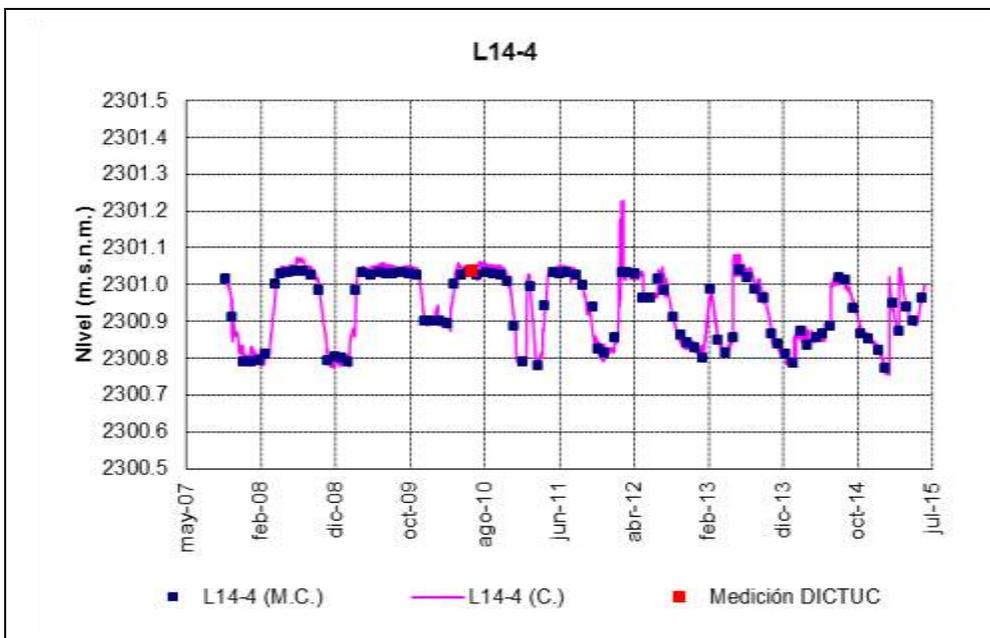
Fuente: Elaboración propia

Figura 5-191: Nivel mensual observado en el pozo L13-4 (línea magenta: medición continua, puntos azules: mediciones manuales)



Fuente: Elaboración propia

Figura 5-192: Nivel mensual observado en el pozo L14-4 (línea magenta: medición continua, puntos azules: mediciones manuales)



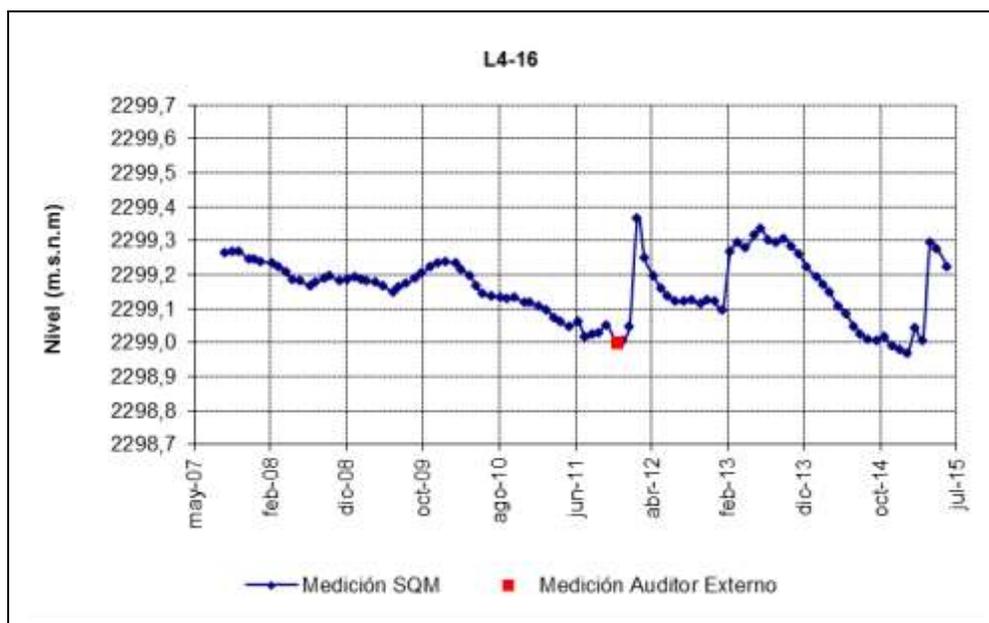
Fuente: Elaboración propia

Figura 5-195: Nivel mensual observado en el pozo L4-6



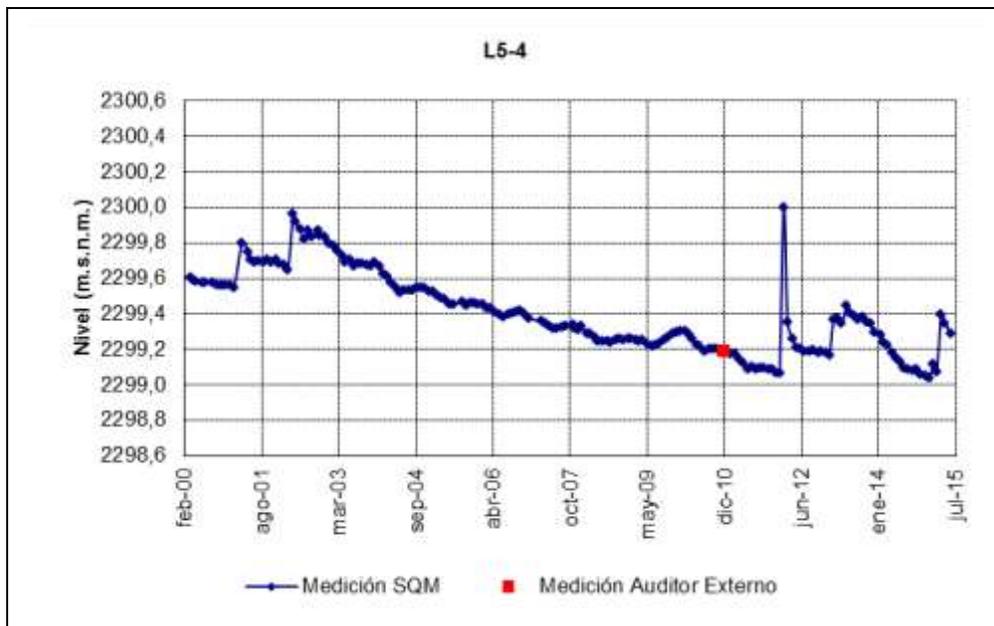
Fuente: Elaboración propia

Figura 5-196: Nivel mensual observado en el pozo L4-16



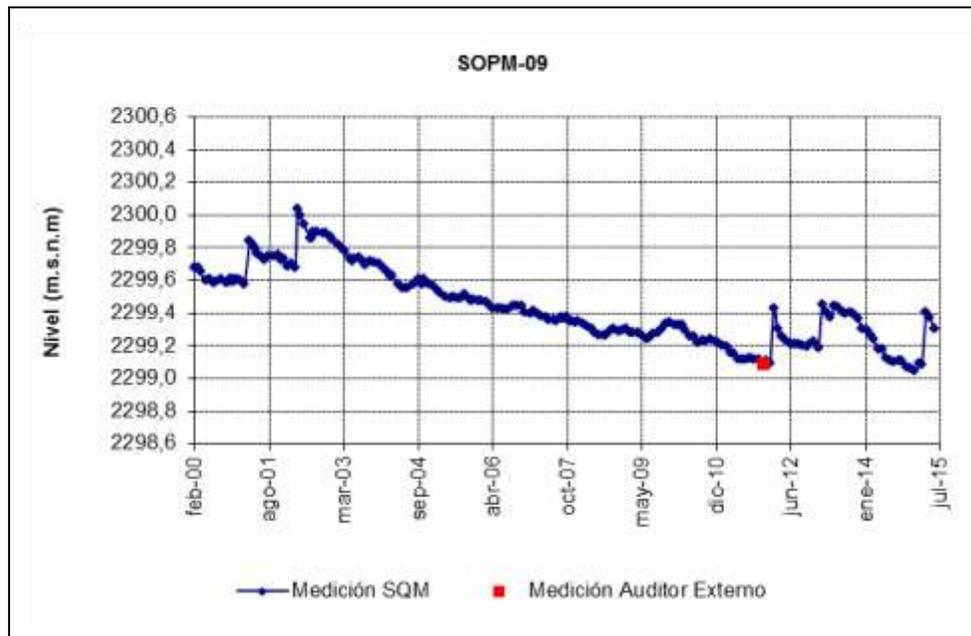
Fuente: Elaboración propia

Figura 5-197: Nivel mensual observado en el pozo L5-4



Fuente: Elaboración propia

Figura 5-198: Nivel mensual observado en el pozo SOPM-9

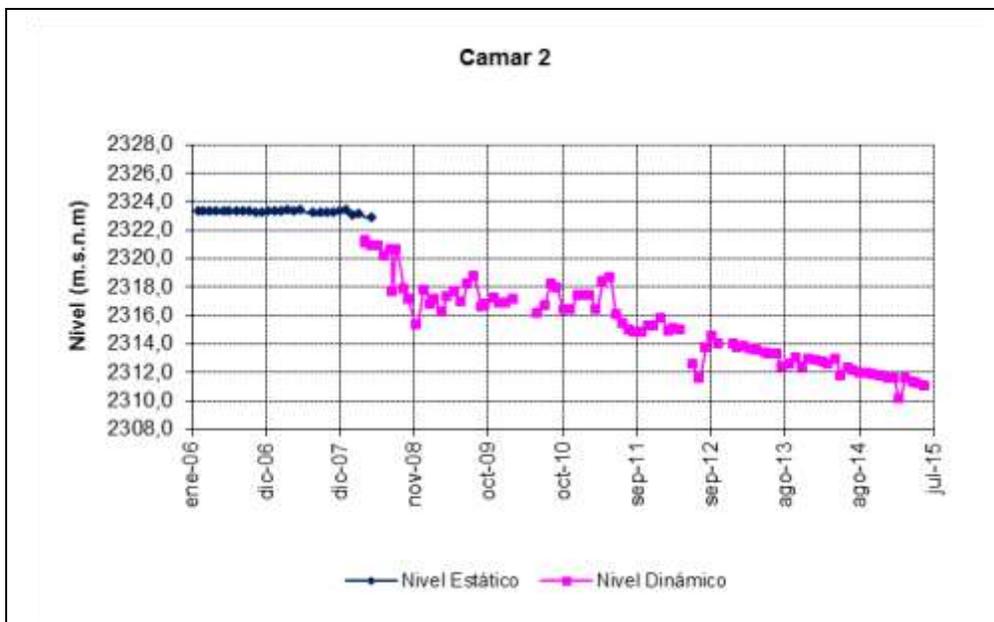


Fuente: Elaboración propia

5.3.2.1.6 Pozos de bombeo

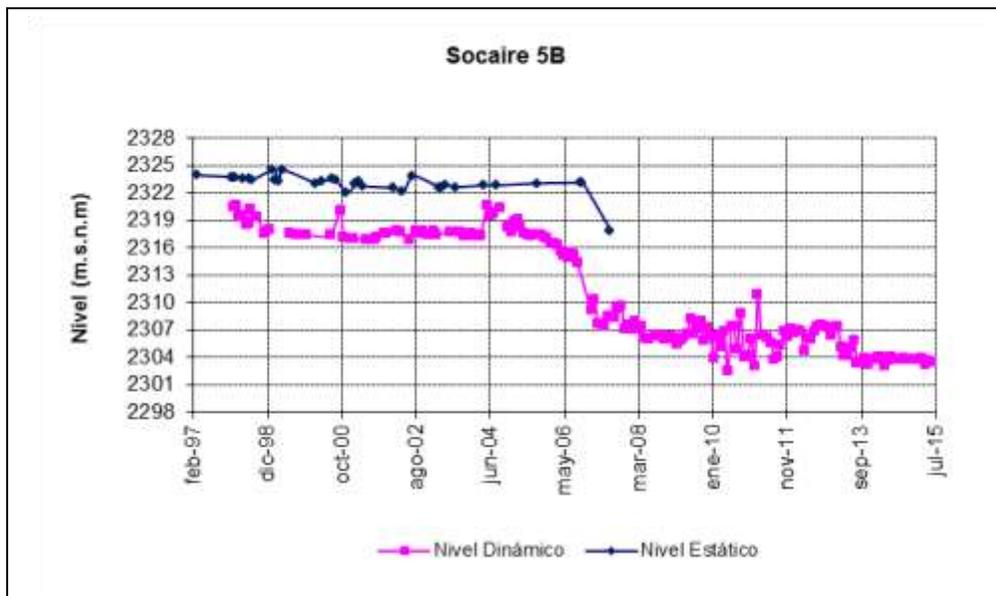
En la Figura 5-199 y Figura 5-200 se presentan los niveles observados en los pozos de bombeo de agua industrial Camar 2 y Socaire 5B, respectivamente.

Figura 5-199: Nivel mensual observado en el pozo de bombeo Camar 2



Fuente: Elaboración propia

Figura 5-200: Nivel mensual observado en el pozo de bombeo Socaire 5B

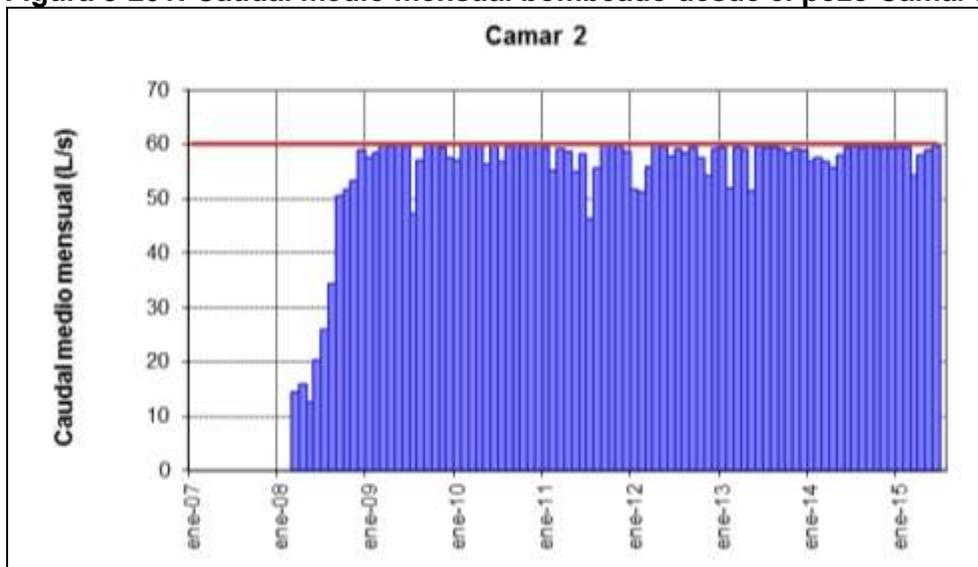


Fuente: Elaboración propia

5.3.2.2 Caudal bombeado

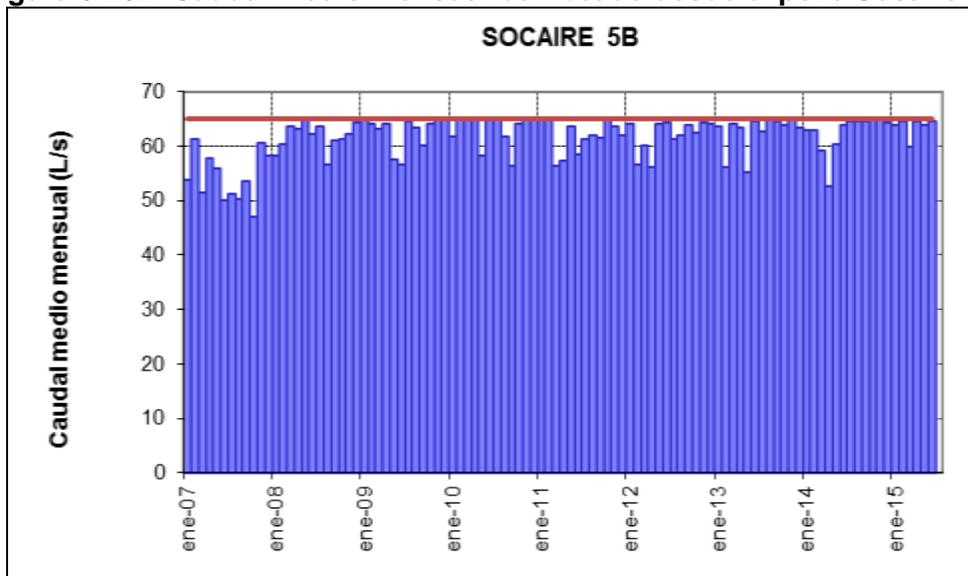
En el sector aguas arriba del sistema Aguas de Quelana se explota agua industrial desde los pozos Camar 2 y Socaire 5B, cuyos caudales medios mensuales extraídos se presentan en la Figura 5-201 y Figura 5-202 respectivamente. Cabe indicar que el pozo Camar 2 comenzó a operar el 13 de marzo de 2008.

Figura 5-201: Caudal medio mensual bombeado desde el pozo Camar 2



Fuente: Elaboración propia

Figura 5-202: Caudal medio mensual bombeado desde el pozo Socaire 5B



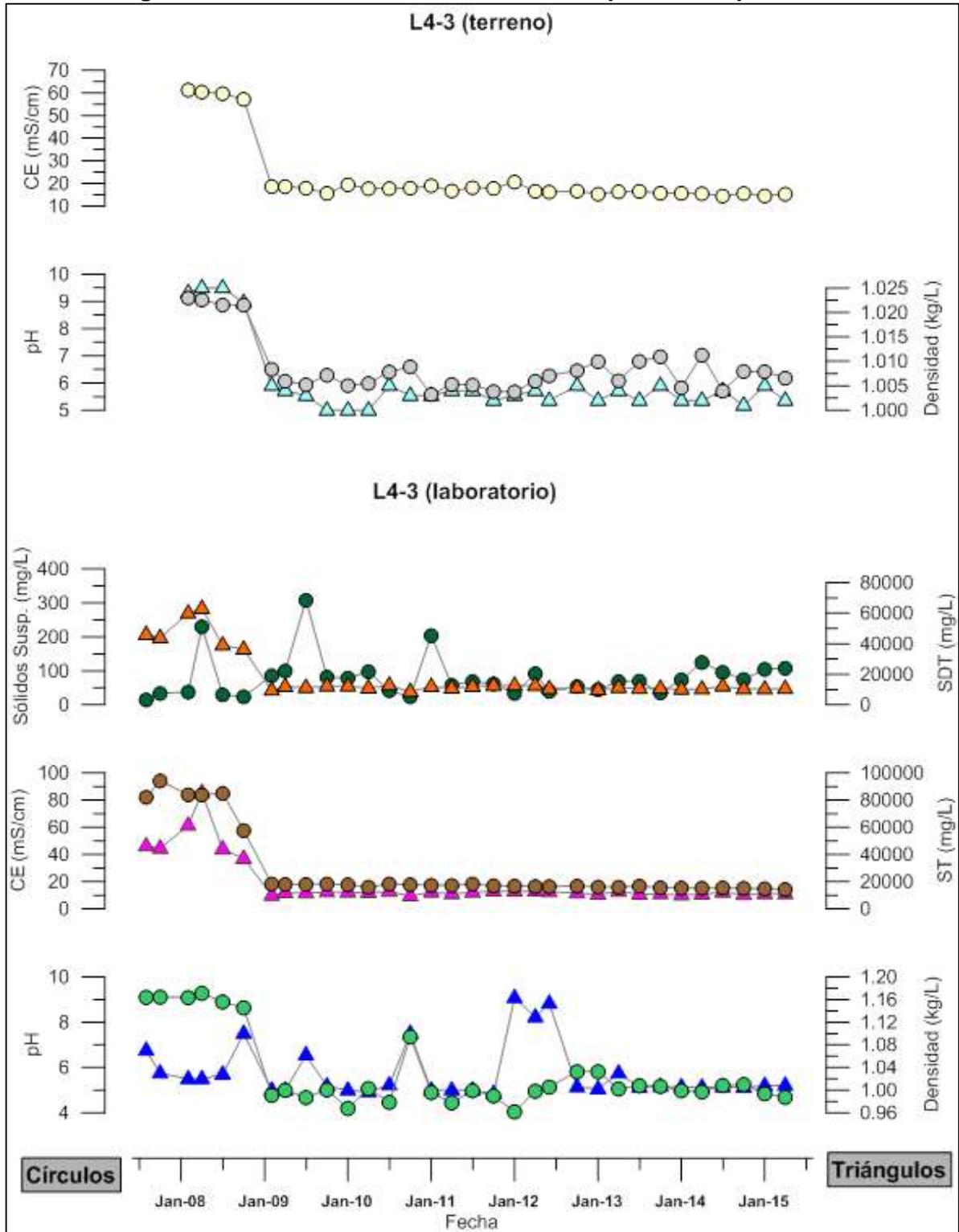
Fuente: Elaboración propia

5.3.2.3 Calidad química

Los pozos en que se monitorea la calidad química del agua subterránea en el sistema Aguas de Quelana son: L4-3, L4-6, L4-8, L4-9, L4-12, L5-3, Camar 2 y Socaire-5B además de la reglilla L4-10, los cuales se muestran desde la Figura 5-203 a Figura 5-214. Los análisis fueron realizados por el laboratorio ALS Environmental, cuyos certificados se adjuntan en el Anexo 3. Si bien el pozo L4-3 es parte del monitoreo de la calidad del agua de los sistemas Aguas de Quelana, Borde Este y Cuña Salina, será presentado sólo en esta sección.

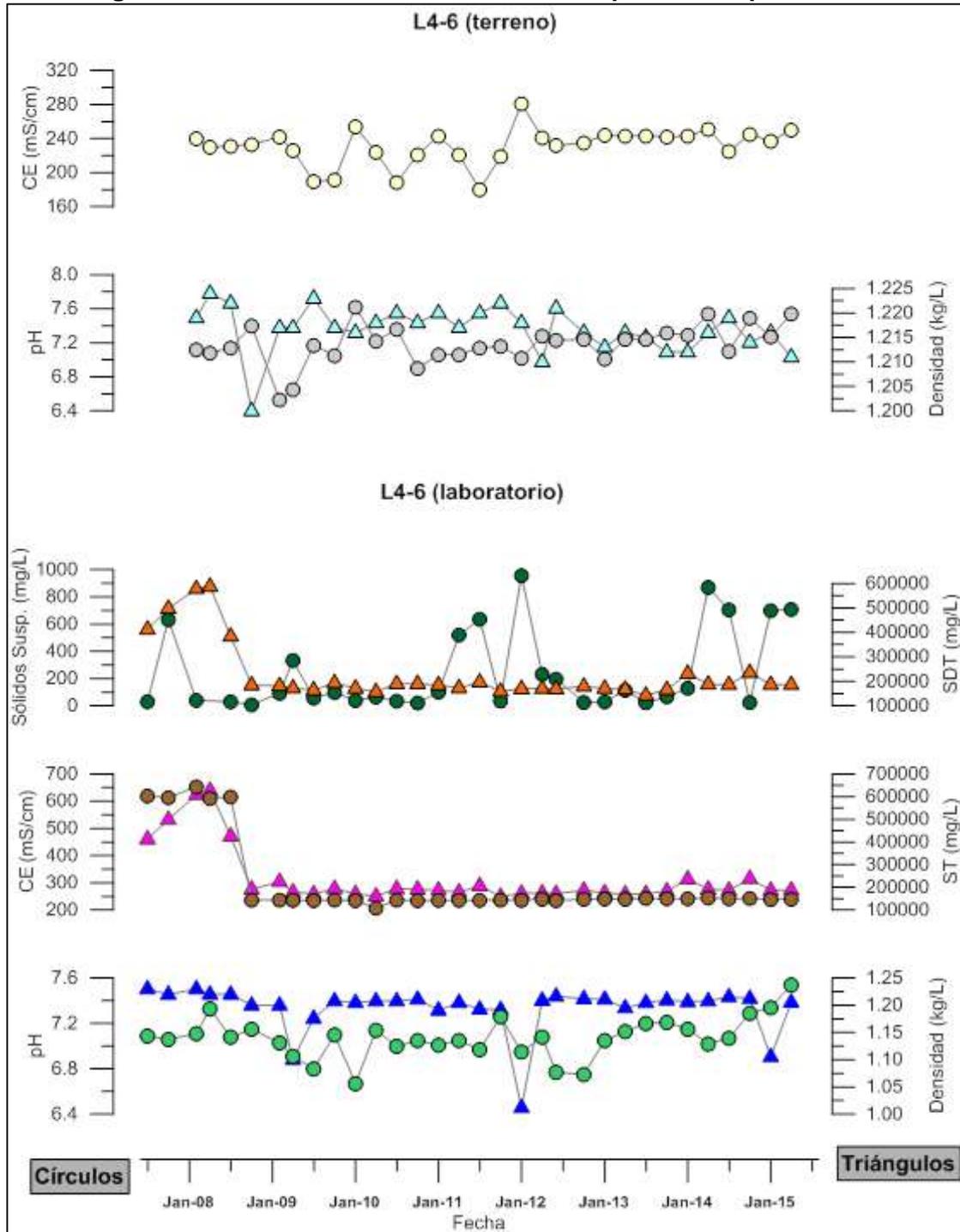
Es importante mencionar que en los gráficos de hidroquímica, las series representadas con un círculo están asociadas a los ejes del lado izquierdo y las que se encuentran representadas por un triángulo están asociadas a los ejes del lado derecho.

Figura 5-203: Resultados de análisis físico-químico del pozo L4-3



Fuente: Elaboración propia

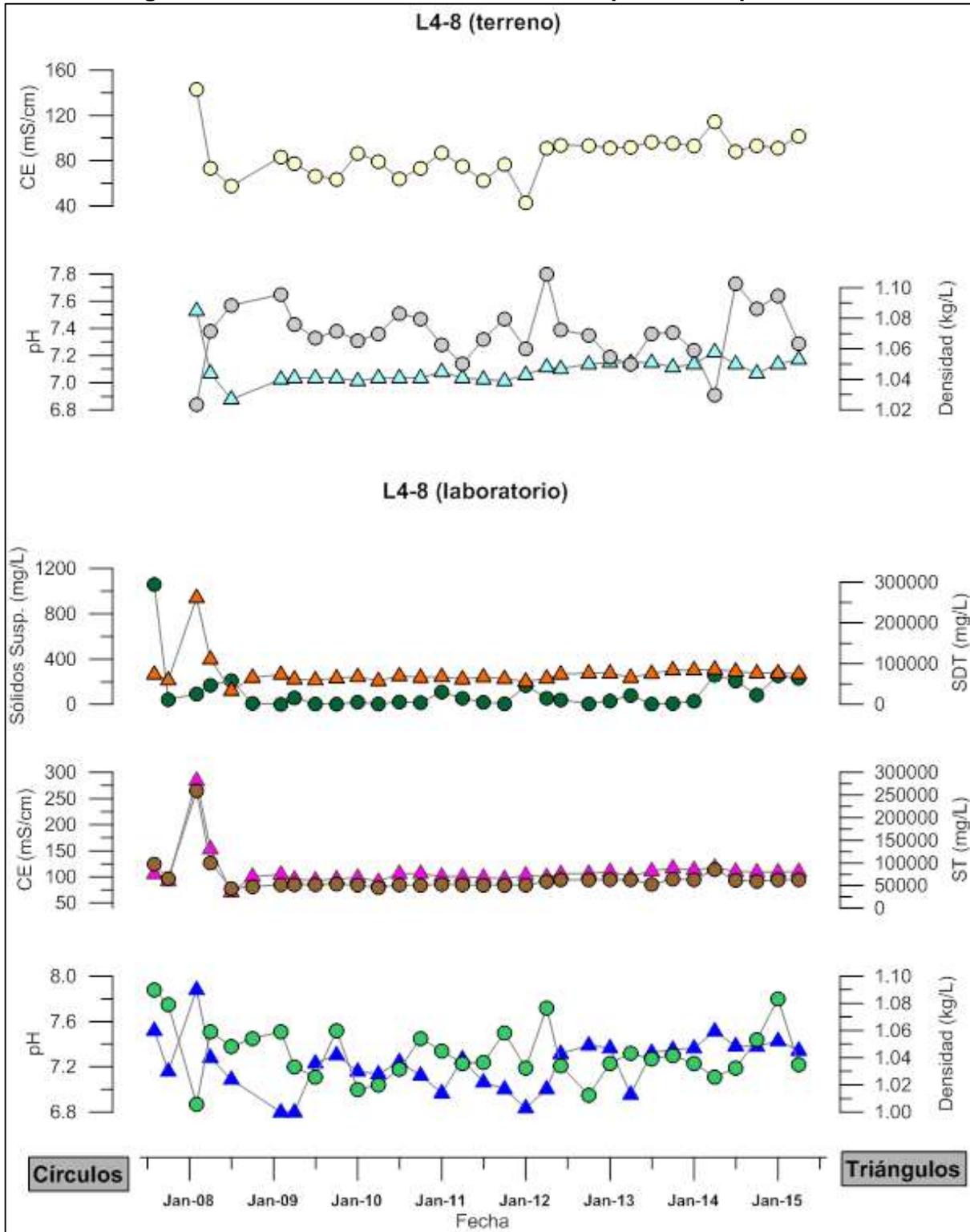
Figura 5-204: Resultados de análisis físico-químico del pozo L4-6¹³



Fuente: Elaboración propia

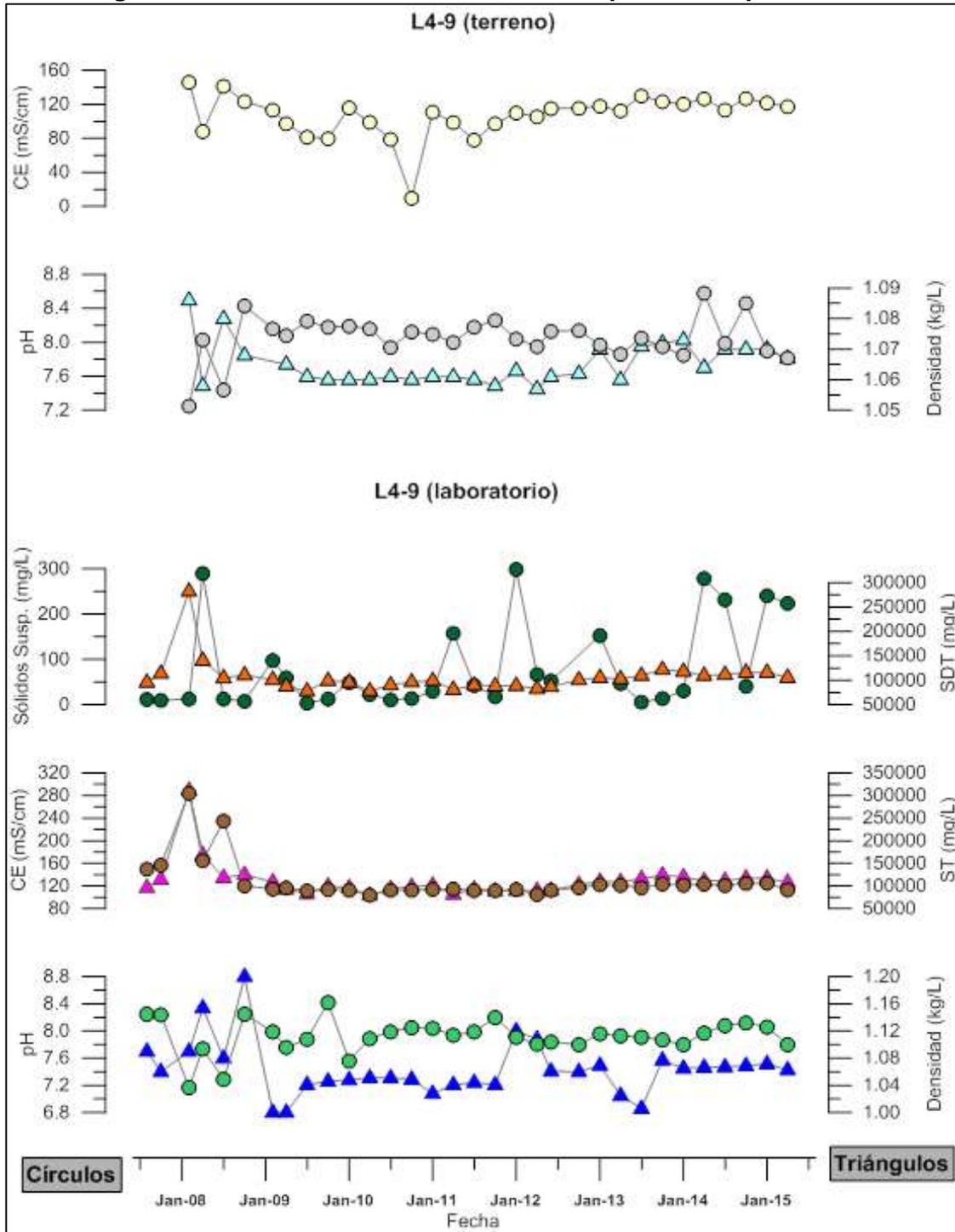
¹³ Los Sólidos Suspendedos correspondiente a una medición de 2030 mg/L en abril de 2008 fue sacado del gráfico para evitar problemas de escala.

Figura 5-205: Resultados de análisis físico-químico del pozo L4-8



Fuente: Elaboración propia

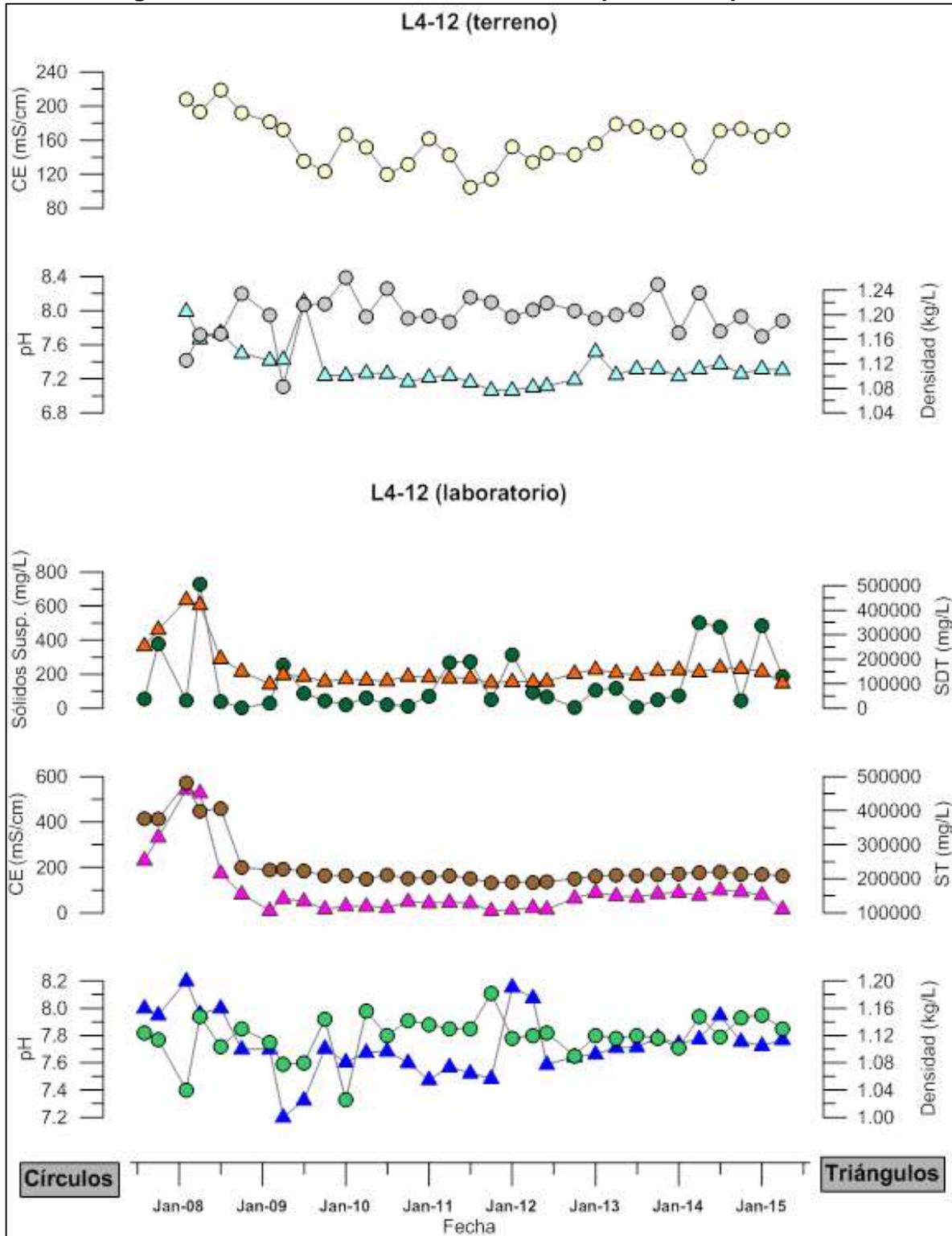
Figura 5-206: Resultados de análisis físico-químico del pozo L4-9¹⁴



Fuente: Elaboración propia

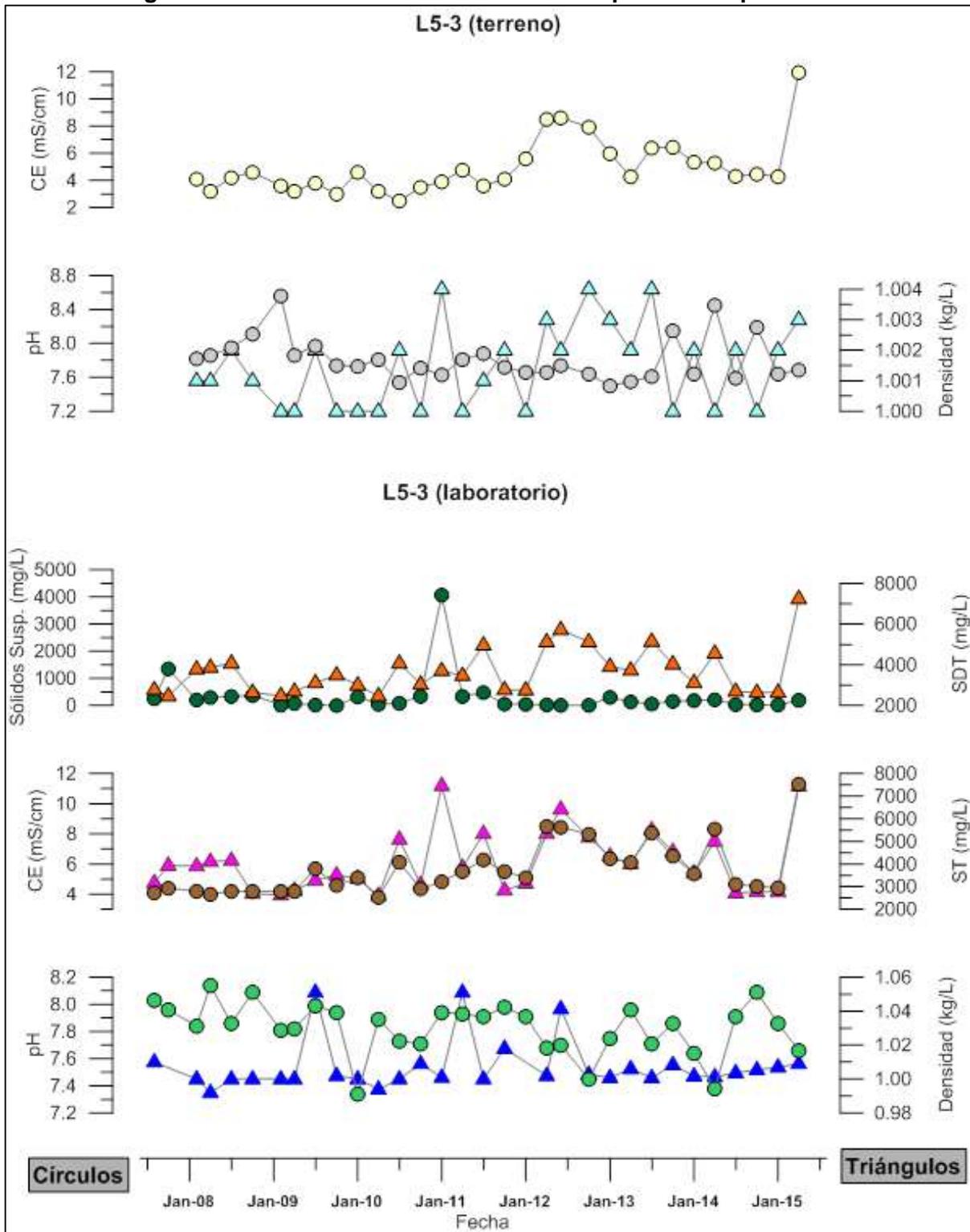
¹⁴ Para evitar problemas de escala a la serie de densidad se le sacó el dato de febrero de 2009 correspondiente a un valor de 1,59 g/L.

Figura 5-207: Resultados de análisis físico-químico del pozo L4-12



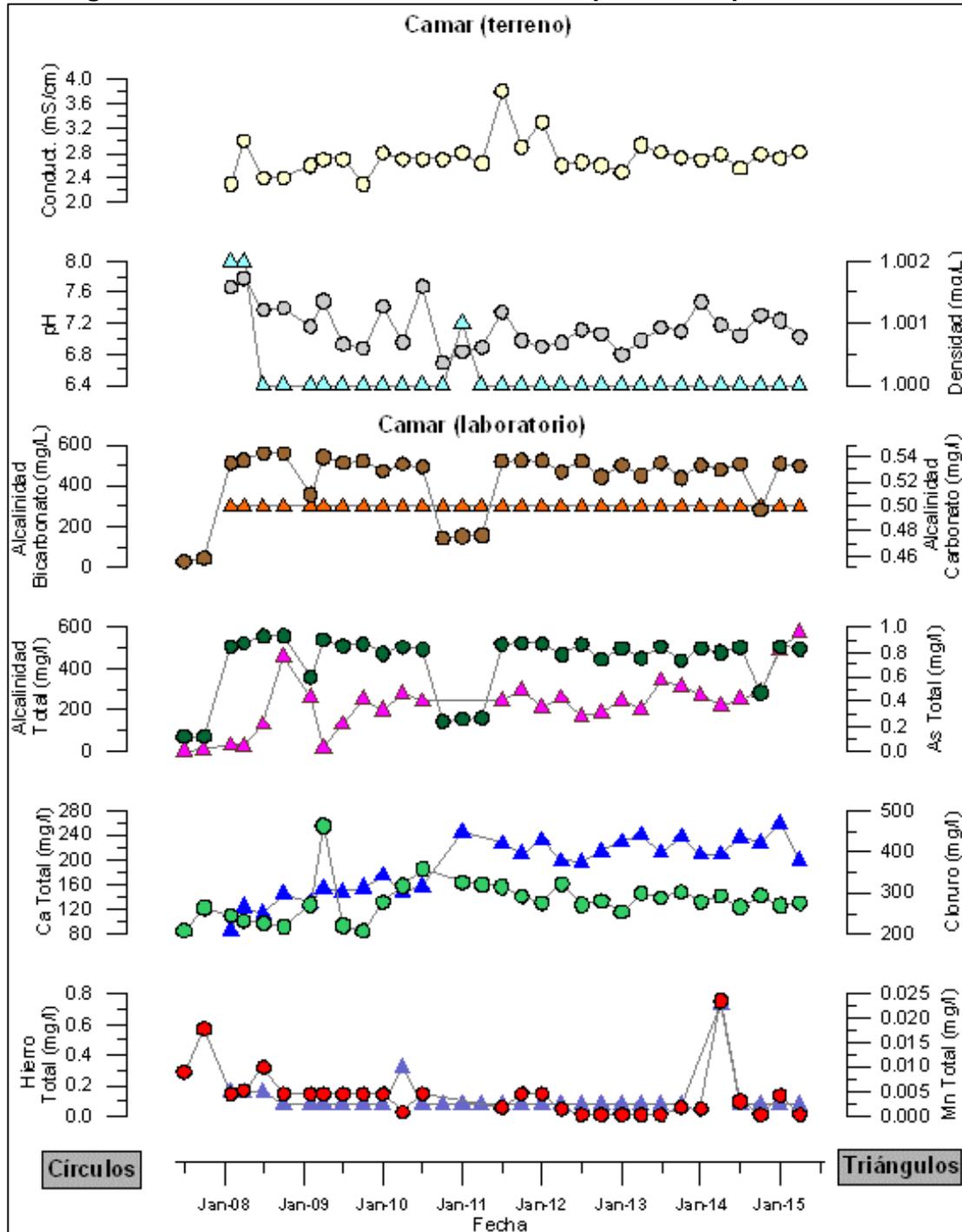
Fuente: Elaboración propia

Figura 5-208: Resultados de análisis físico-químico del pozo L5-3



Fuente: Elaboración propia

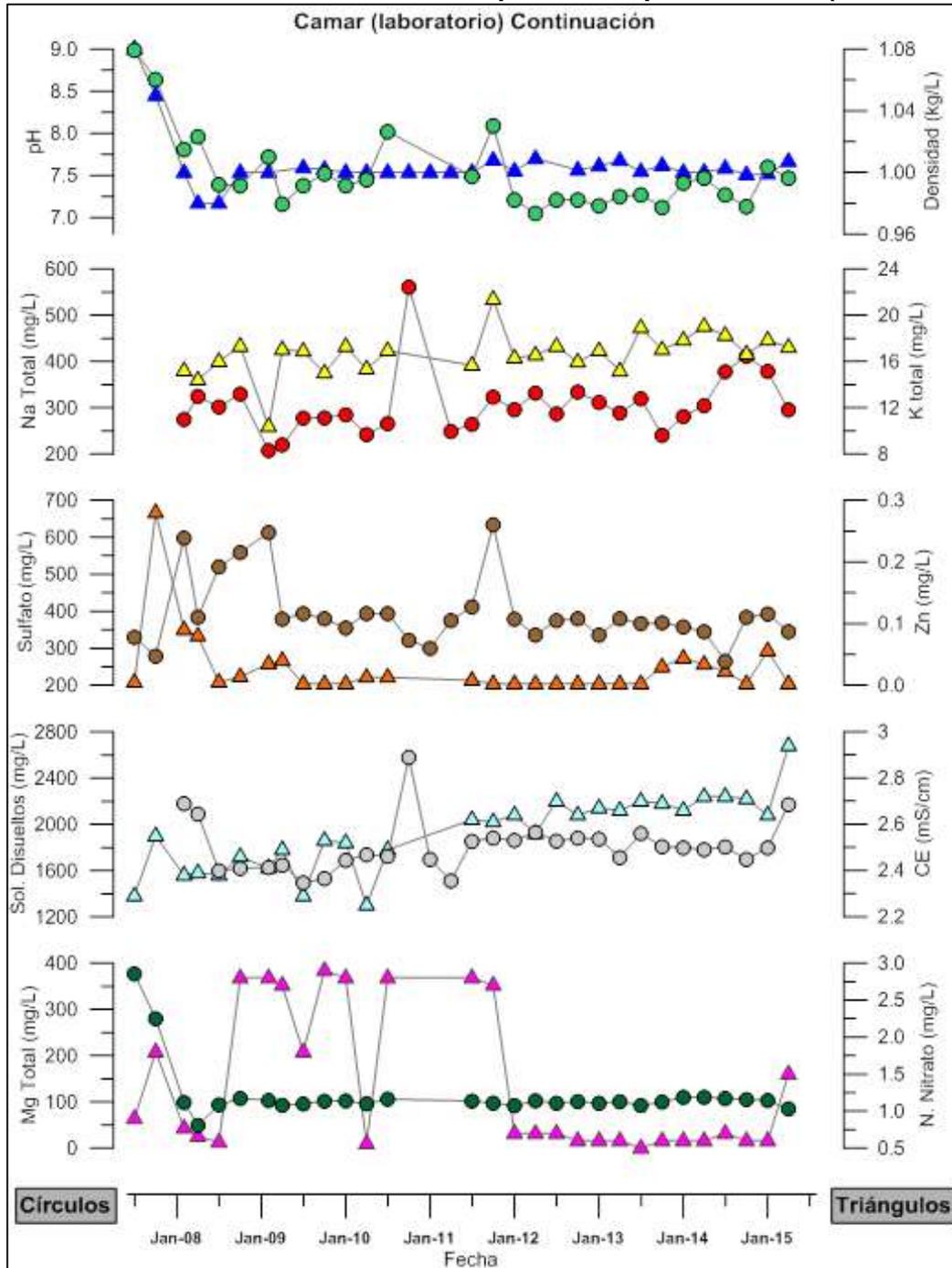
Figura 5-209: Resultados de análisis físico-químico del pozo Camar 2¹⁵



Fuente: Elaboración propia

¹⁵ Para evitar problemas de escala a la serie de alcalinidad carbonato se le sacó el dato de julio y octubre de 2007 correspondientes a un valor de 40 y 24 mg/L respectivamente; a la serie del Cloruro se le sacó el dato de julio y octubre de 2007 correspondiente a un valor de 7.420 y 6.570 mg/L respectivamente.

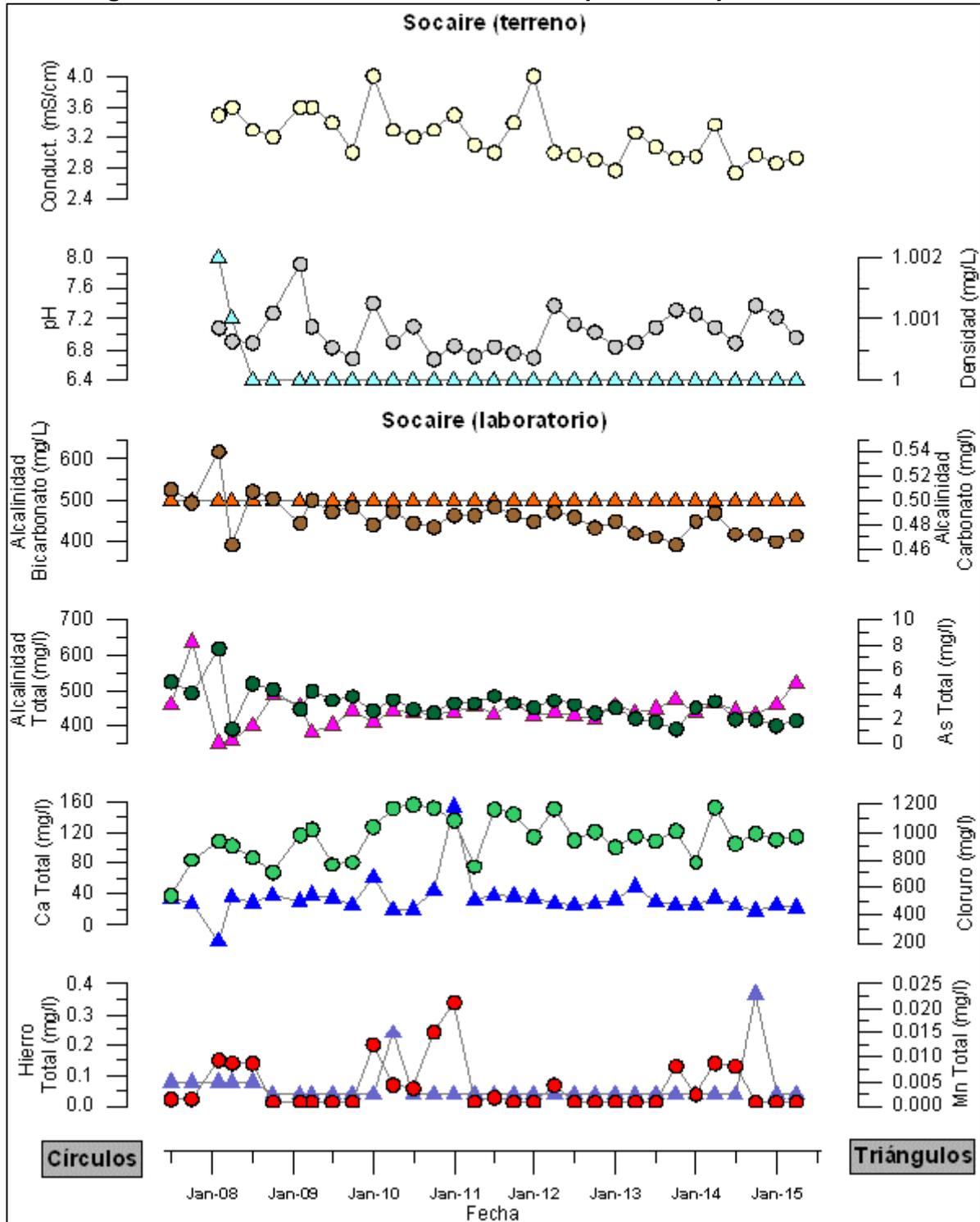
Figura 5-210: Resultados de análisis físico-químico del pozo Camar 2 (continuación)¹⁶



Fuente: Elaboración propia

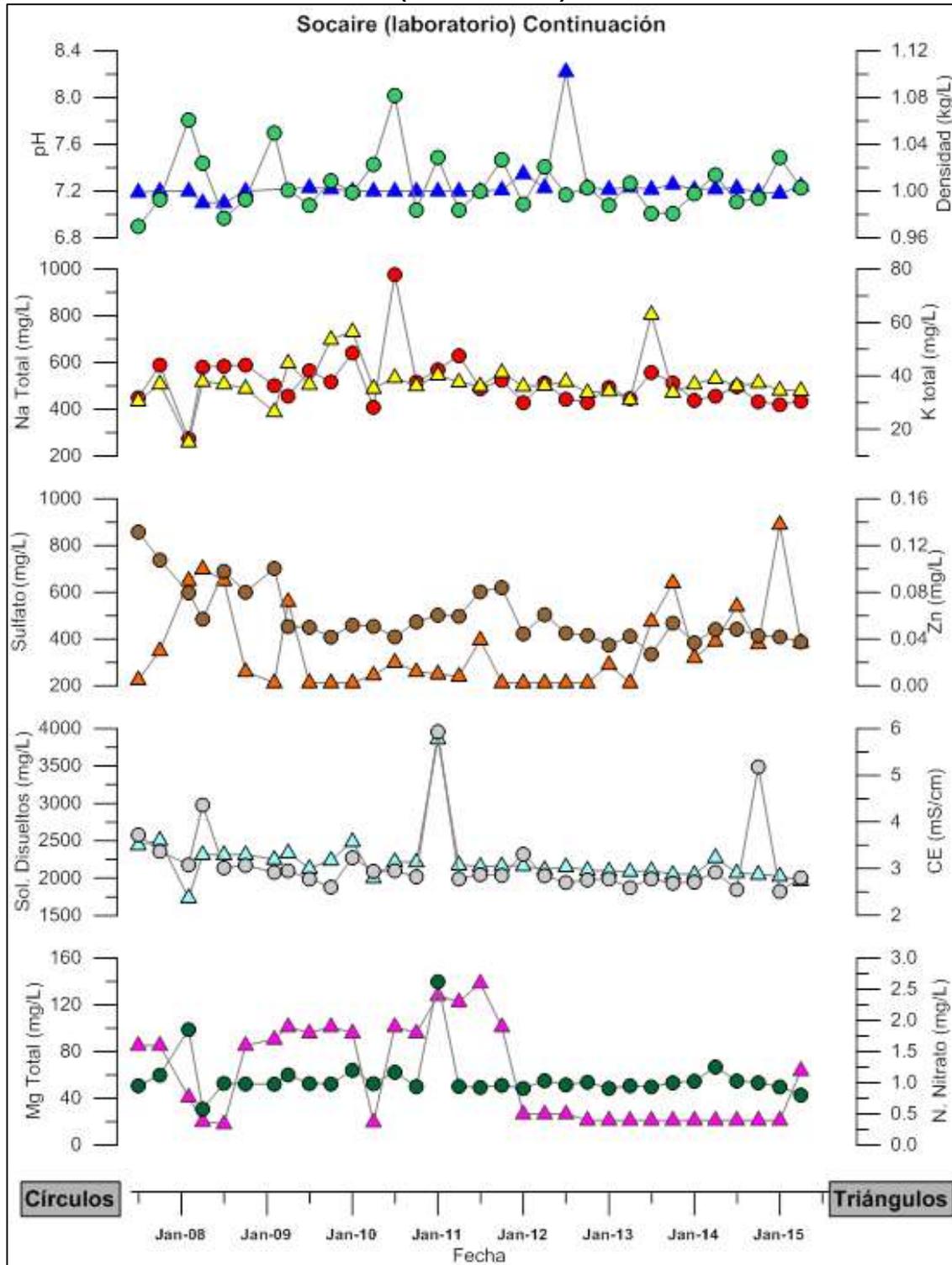
¹⁶ Para evitar problemas de escala a la serie del magnesio total se le sacó el dato de julio y octubre de 2007 correspondiente a un valor de 377 y 280 mg/L respectivamente; a la serie de SDT se le sacó el dato de julio y octubre de 2007 correspondiente a un valor de 19.500 y 15.600 mg/L respectivamente; a la serie de potasio total se le sacó el dato de julio y octubre de 2007 correspondiente a una medición de 350 y 420 mg/L respectivamente.

Figura 5-211: Resultados de análisis físico-químico del pozo Socaire 5B



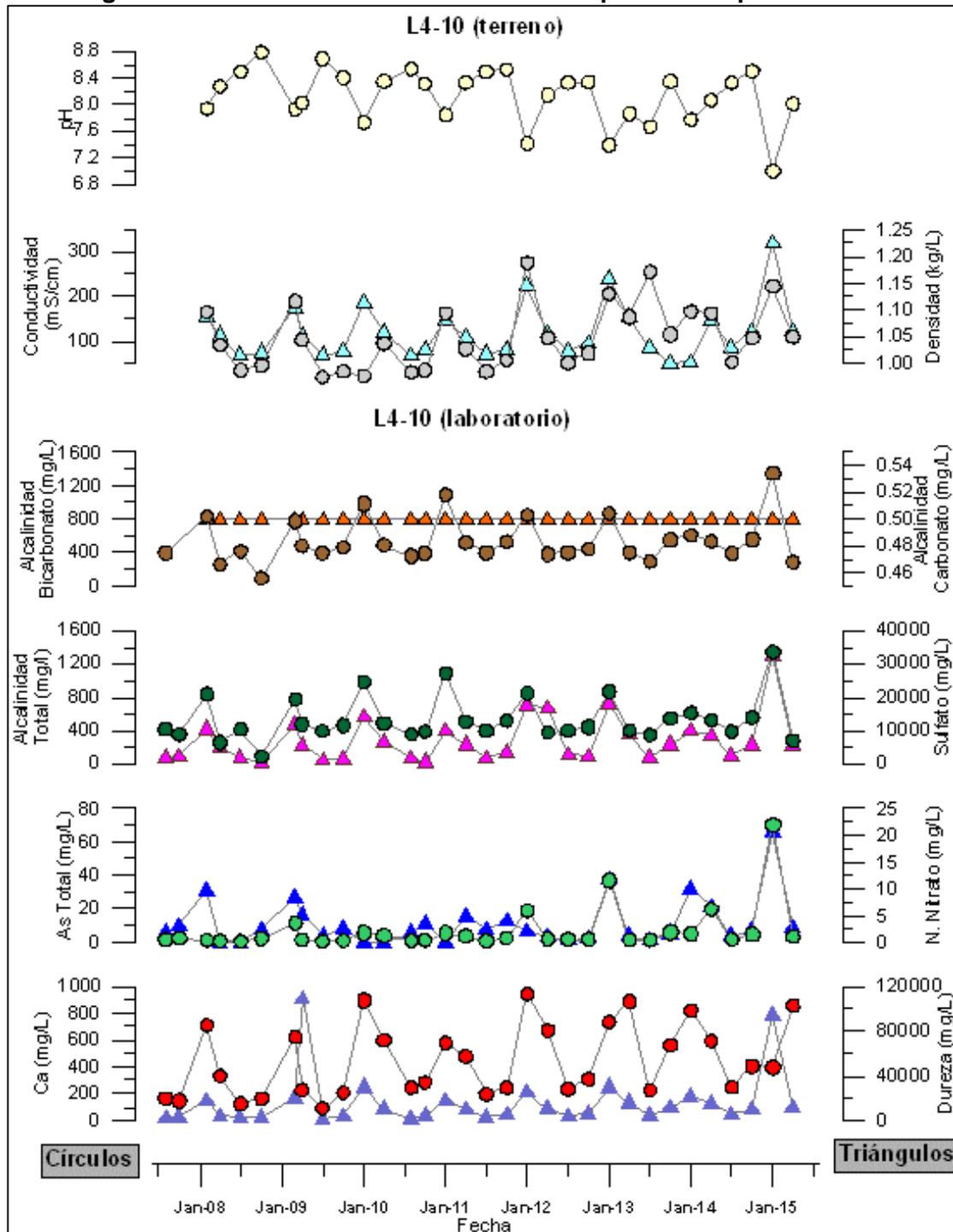
Fuente: Elaboración propia

Figura 5-212: Resultados de análisis físico-químico del pozo Socaire 5B (continuación)



Fuente: Elaboración propia

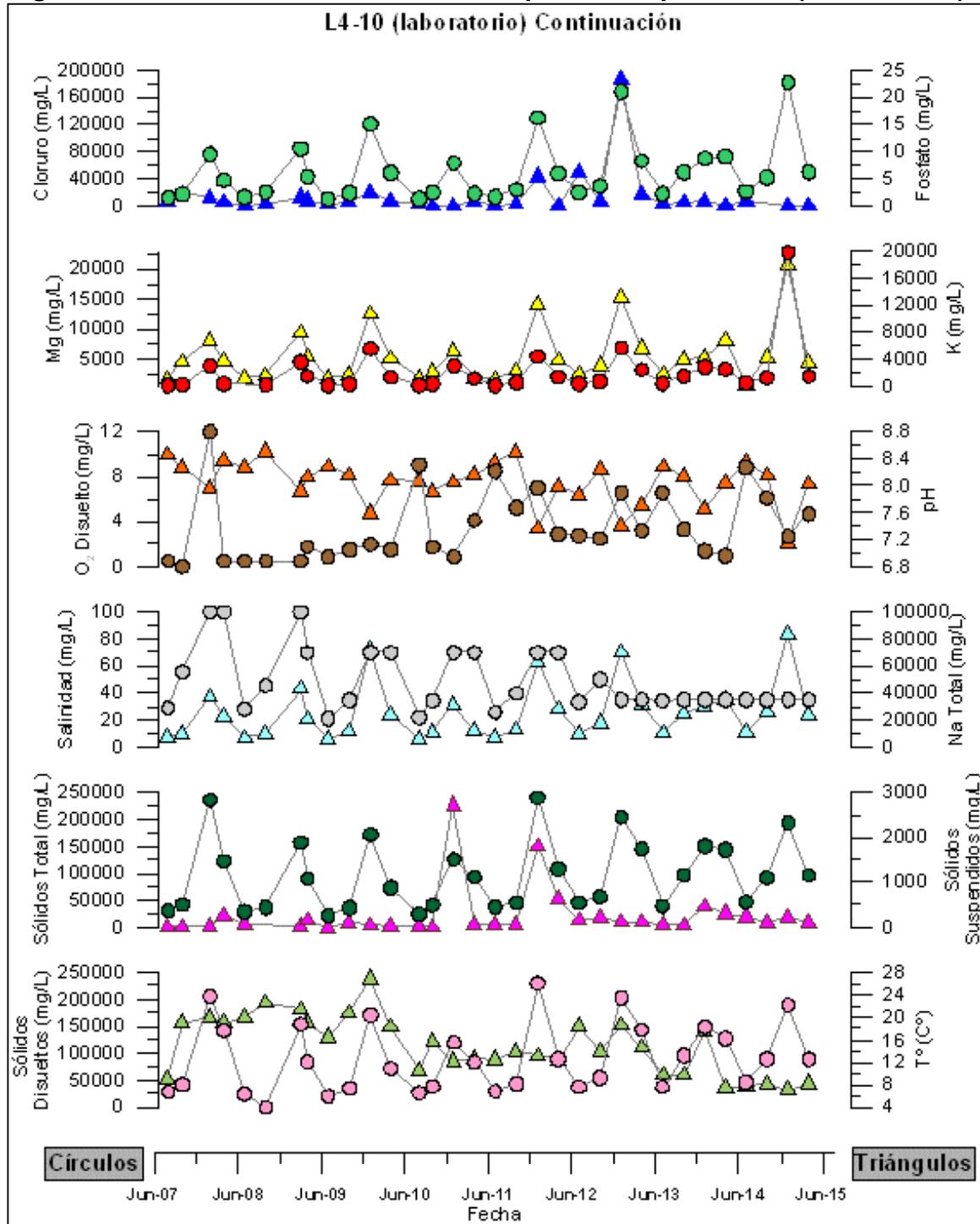
Figura 5-213: Resultados de análisis físico-químico del pozo L4-10¹⁷



Fuente: Elaboración propia

¹⁷ Para evitar problemas de escala a la serie de alcalinidad carbonato se le sacó el dato de agosto de 2007 correspondiente a un valor de 22 mg/L.

Figura 5-214: Resultados de análisis físico-químico del pozo L4-10 (continuación)¹⁸



¹⁸ Para evitar problemas de escala a la serie de sólidos suspendidos se le sacó el dato de octubre de 2008, enero 2011 y enero 2012 correspondientes a un valor de 28.000, 2.714 y 1.805 mg/L respectivamente.

5.3.3 Sistema Peine

Los puntos de monitoreo del sistema Peine se encuentran ubicados al sureste del Salar de Atacama, entre las coordenadas 7.393.000 a 7.379.000 norte y 577.000 a 592.000 este. En la Figura 5-215 se muestra la distribución geográfica de los puntos.

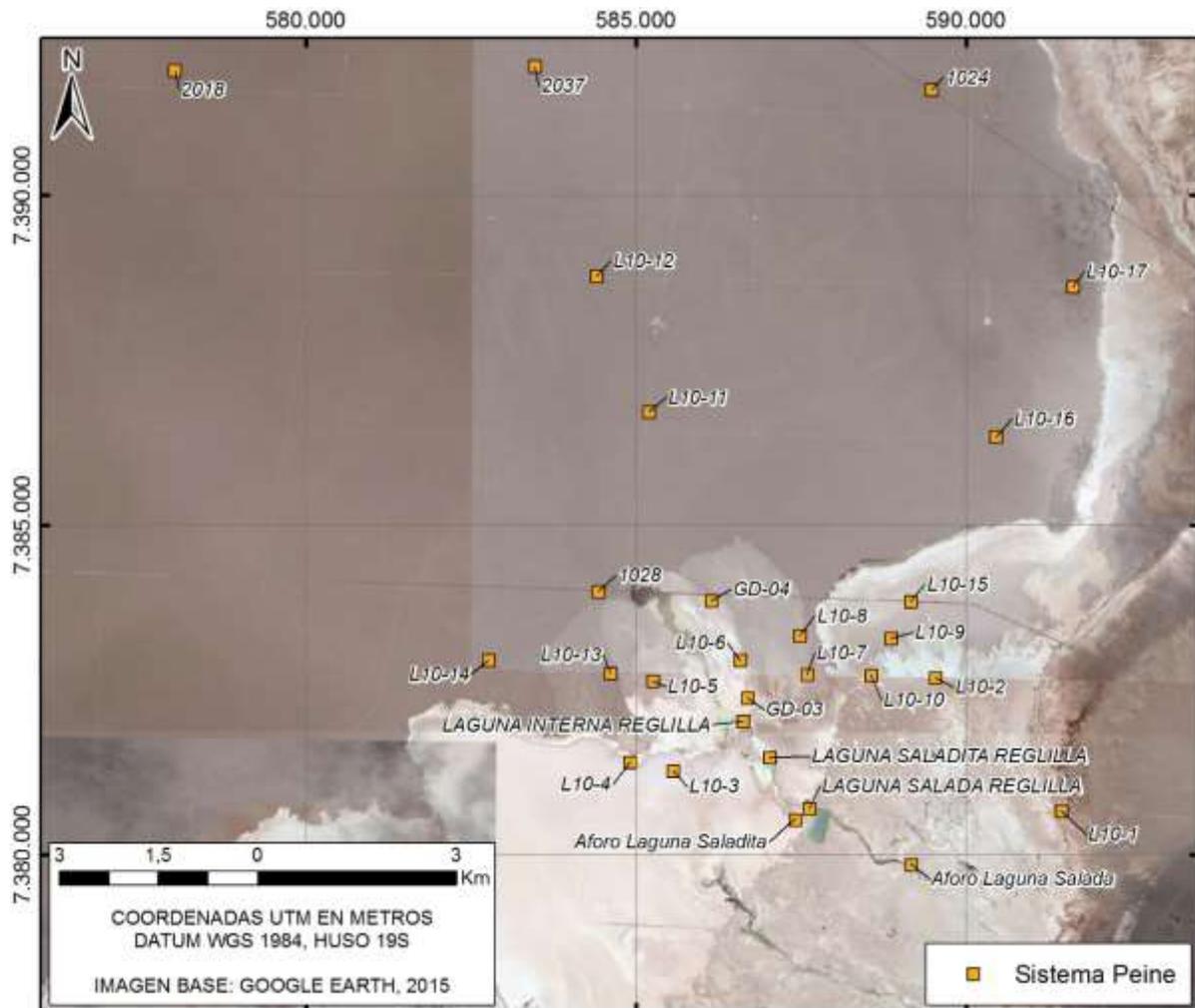
En la Tabla 5-12 se indican los puntos de monitoreo del sistema Peine, clasificándolos de acuerdo a la zona donde se encuentran emplazados (zona marginal y sector de salmuera), y a su tipología (pozo profundo, pozo somero y nivel lacustre). Adicionalmente, se indica el número de página donde se muestra el registro gráfico.

Tabla 5-12: Puntos de monitoreo del sistema Peine

Punto de Monitoreo	Clasificación	Tipología	Pág.
GD-04	Zona marginal	Pozo profundo	233
L10-1	Zona marginal	Pozo profundo	234
L10-2	Zona marginal	Pozo somero	234
L10-3	Zona marginal	Pozo somero	234
L10-4	Zona marginal	Pozo somero	235
L10-5	Zona marginal	Pozo somero	236
L10-6	Zona marginal	Pozo somero	236
L10-7	Zona marginal	Pozo somero	237
L10-8	Zona marginal	Pozo somero	237
L10-9	Zona marginal	Pozo somero	238
L10-10	Zona marginal	Pozo somero	238
L10-15	Zona marginal	Pozo somero	239
1024	Salmuera	Pozo somero	240
1028	Salmuera	Pozo profundo	240
2018	Salmuera		241
2037	Salmuera	Pozo somero	241
GD-03	Salmuera	Pozo profundo	242
L10-11	Salmuera	Pozo somero	242
L10-12	Salmuera	Pozo somero	243
L10-13	Salmuera	Pozo somero	243
L10-14	Salmuera	Pozo somero	244
L10-16	Salmuera	Pozo somero	244
L10-17	Salmuera	Pozo somero	245
Laguna Salada Reglilla	Zona marginal	Lacustre	246
Laguna Saladita Reglilla	Zona marginal	Lacustre	246
Laguna Interna Reglilla	Zona marginal	Lacustre	247
Aforo Salada	Zona marginal	Aforo	258
Aforo Saladita	Zona marginal	Aforo	259

Fuente: Elaboración propia

Figura 5-215: Distribución geográfica de puntos de monitoreo del sistema Peine



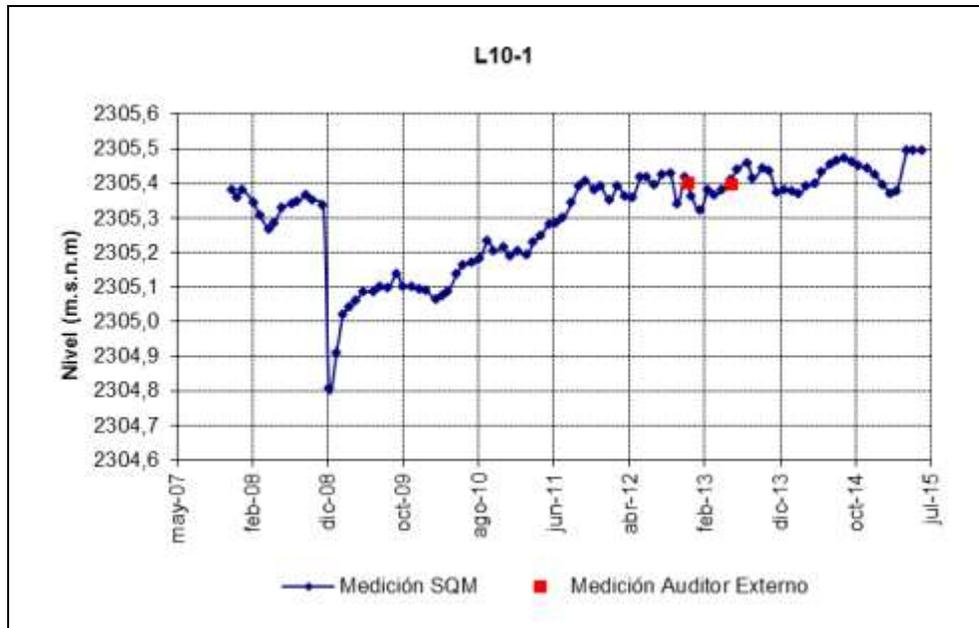
Fuente: Elaboración propia

5.3.3.1 Nivel del agua subterránea y superficial

En esta sección se presenta los niveles de todos los pozos y reglillas construidos como parte de la red de monitoreo del PSAH para el sistema Peine.

El pozo L10-1 (Figura 5-217) es parte del monitoreo de los sistemas Peine y Cuña Salina y será presentado sólo en esta sección.

Figura 5-217: Nivel mensual observado en el pozo L10-1



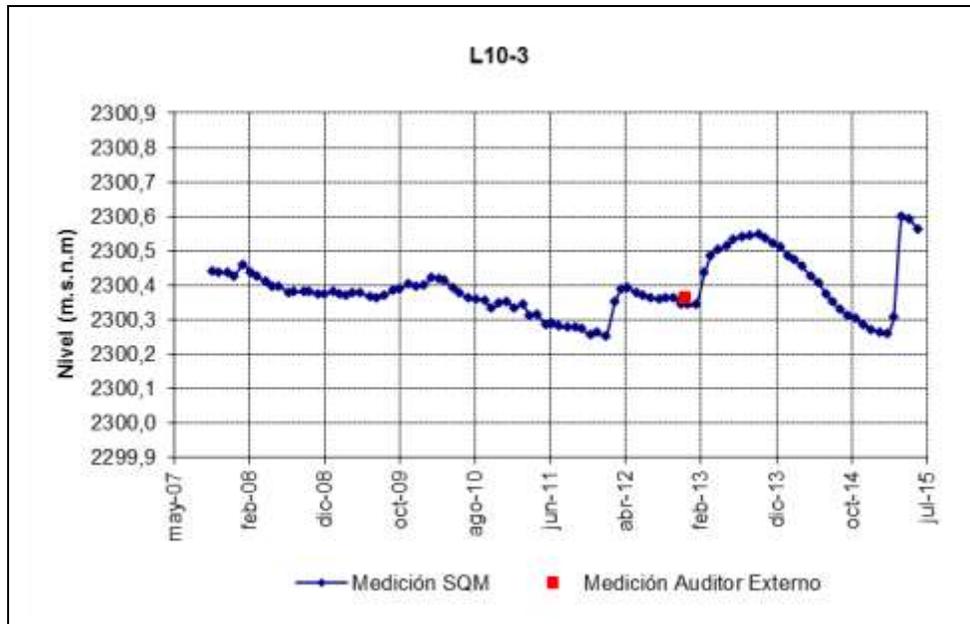
Fuente: Elaboración propia

Figura 5-218: Nivel mensual observado en el pozo L10-2



Fuente: Elaboración propia

Figura 5-219: Nivel mensual observado en el pozo L10-3



Fuente: Elaboración propia

Figura 5-220: Nivel mensual observado en el pozo L10-4



Fuente: Elaboración propia

Figura 5-221: Nivel mensual observado en el pozo L10-5



Fuente: Elaboración propia

Figura 5-222: Nivel mensual observado en el pozo L10-6



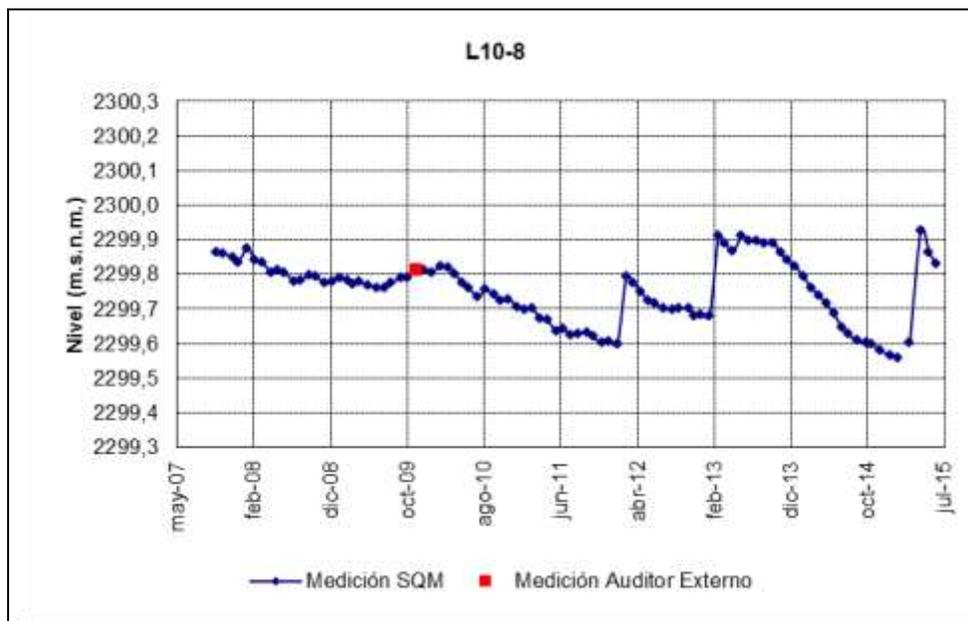
Fuente: Elaboración propia

Figura 5-223: Nivel mensual observado en el pozo L10-7



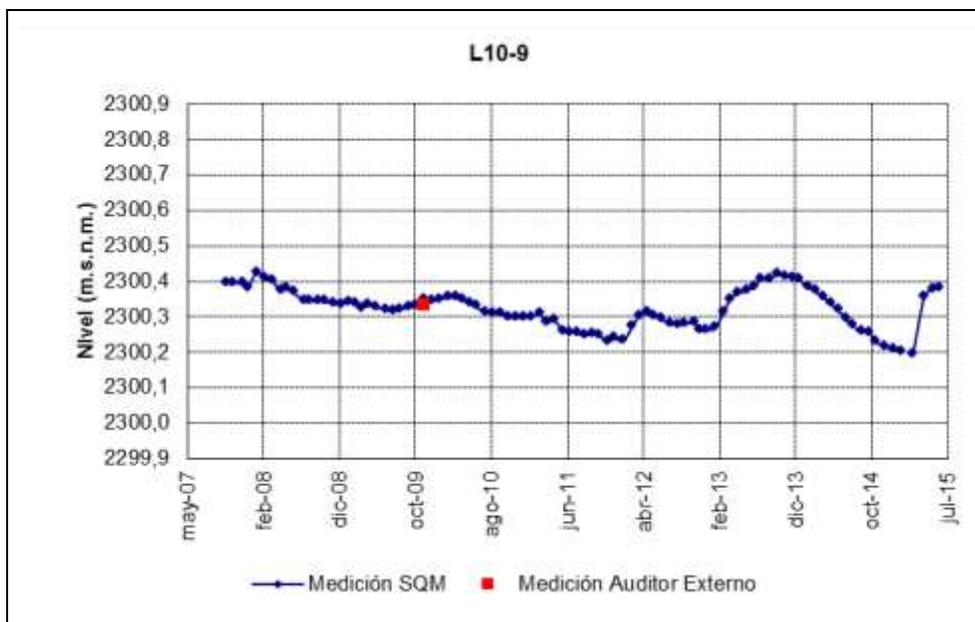
Fuente: Elaboración propia

Figura 5-224: Nivel mensual observado en el pozo L10-8



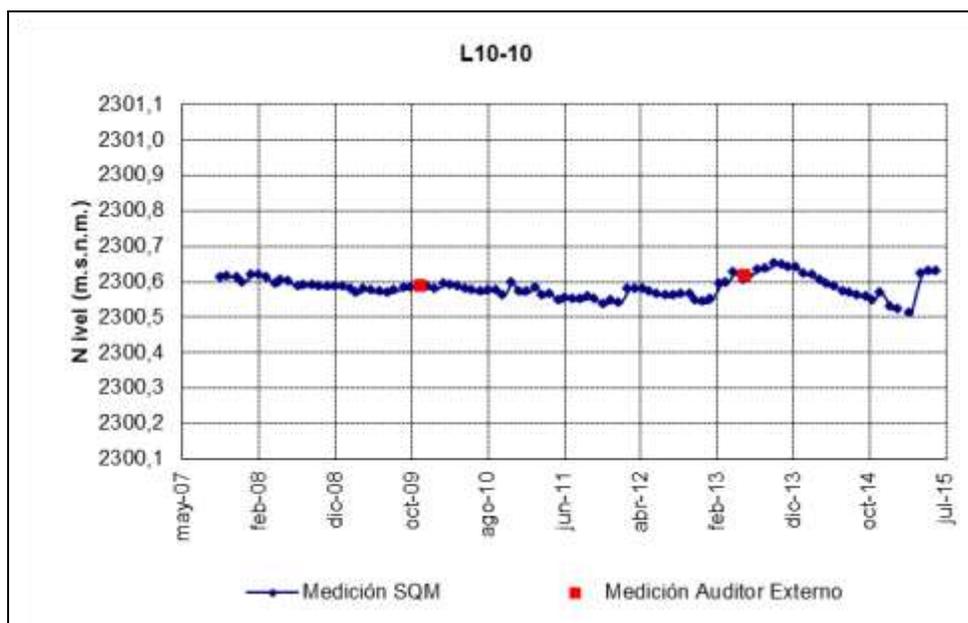
Fuente: Elaboración propia

Figura 5-225: Nivel mensual observado en el pozo L10-9



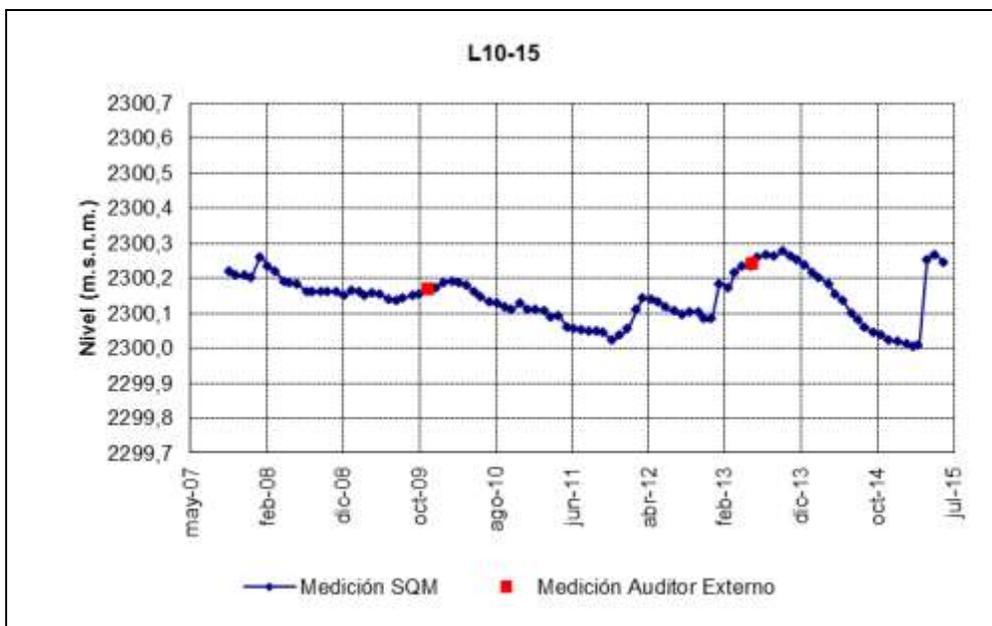
Fuente: Elaboración propia

Figura 5-226: Nivel mensual observado en el pozo L10-10



Fuente: Elaboración propia

Figura 5-227: Nivel mensual observado en el pozo L10-15

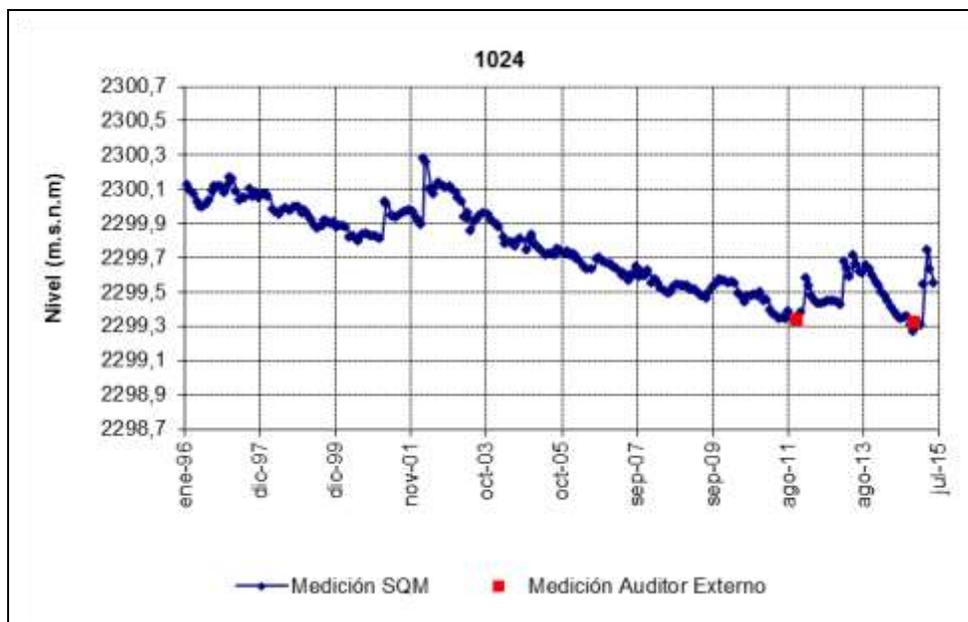


Fuente: Elaboración propia

5.3.3.1.2 Pozos de salmuera

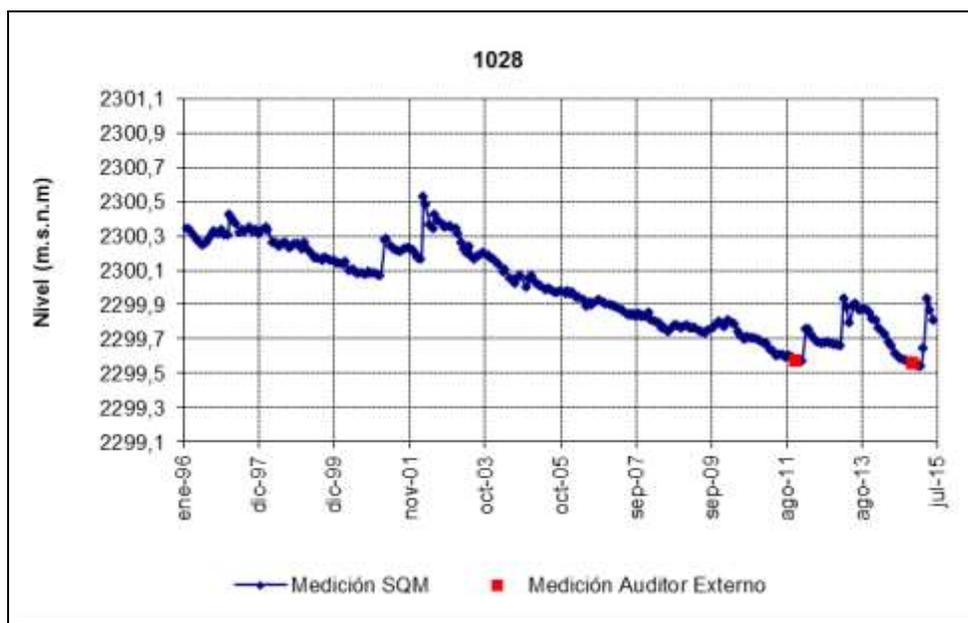
De la Figura 5-228 a la Figura 5-238 se presentan los pozos ubicados en el sector del núcleo del Salar que pertenecen al Sistema Peine.

Figura 5-228: Nivel mensual observado en el pozo 1024



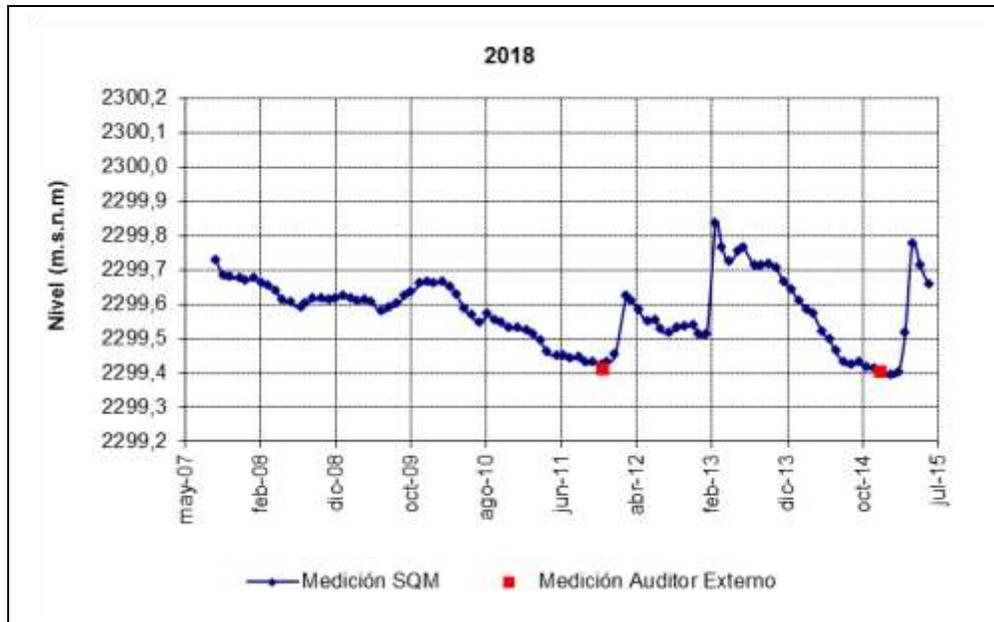
Fuente: Elaboración propia

Figura 5-229: Nivel mensual observado en el pozo 1028



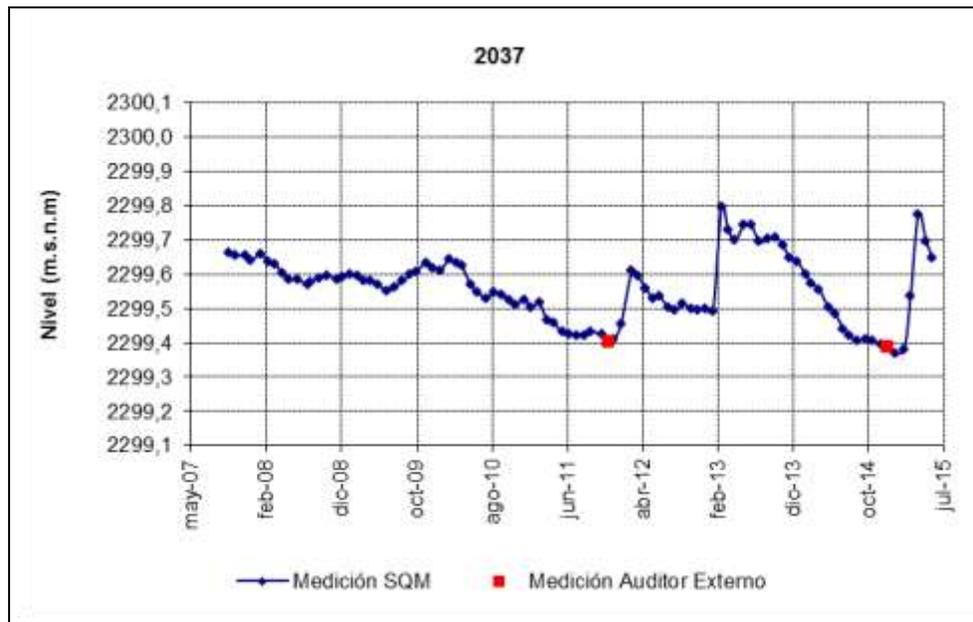
Fuente: Elaboración propia

Figura 5-230: Nivel mensual observado en el pozo 2018



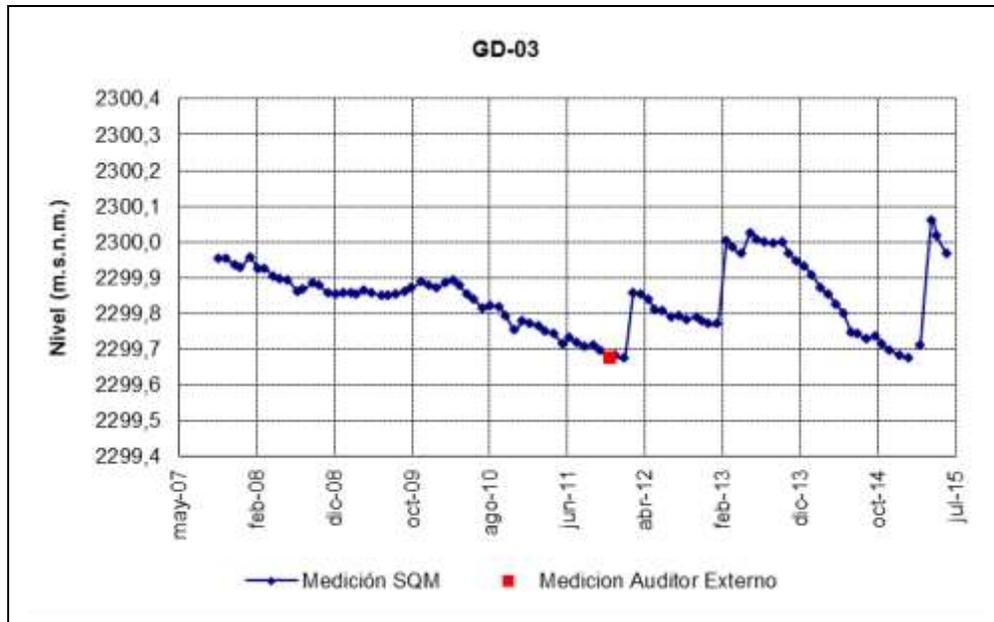
Fuente: Elaboración propia

Figura 5-231: Nivel mensual observado en el pozo 2037



Fuente: Elaboración propia

Figura 5-232: Nivel mensual observado en el pozo GD-03



Fuente: Elaboración propia

Figura 5-233: Nivel mensual observado en el pozo L10-11



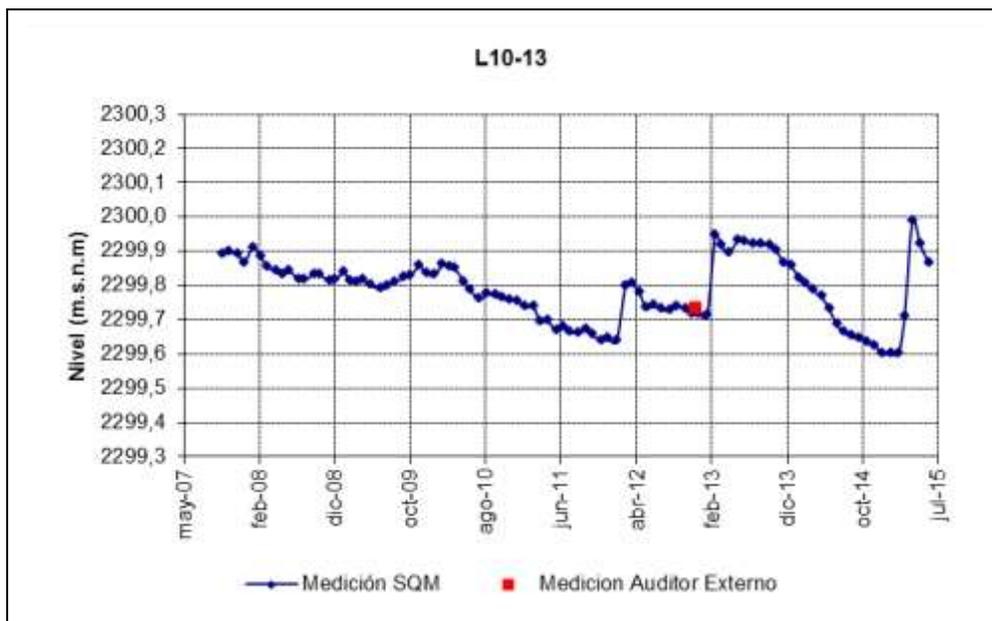
Fuente: Elaboración propia

Figura 5-234: Nivel mensual observado en el pozo L10-12



Fuente: Elaboración propia

Figura 5-235: Nivel mensual observado en el pozo L10-13



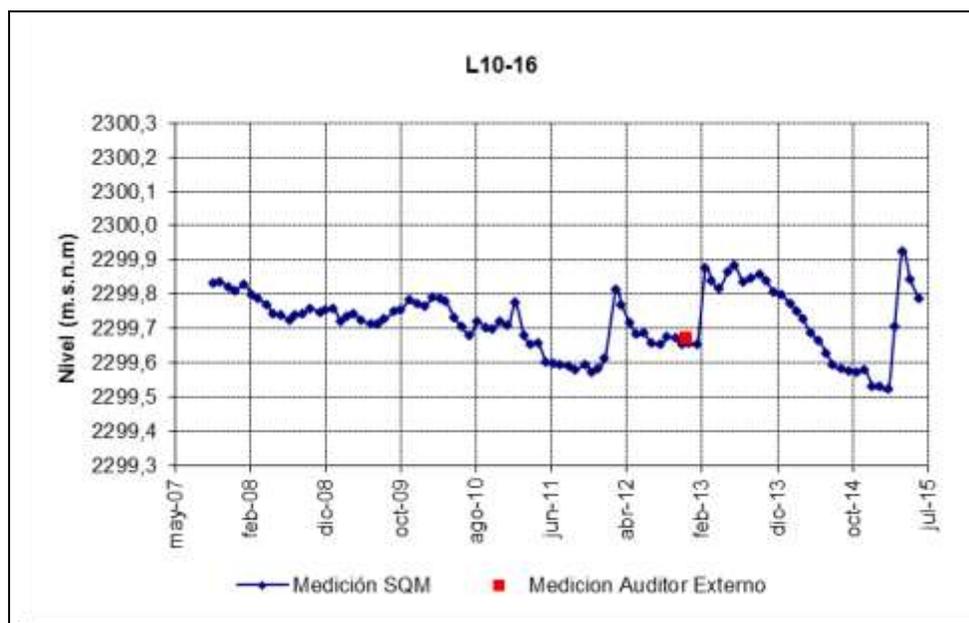
Fuente: Elaboración propia

Figura 5-236: Nivel mensual observado en el pozo L10-14



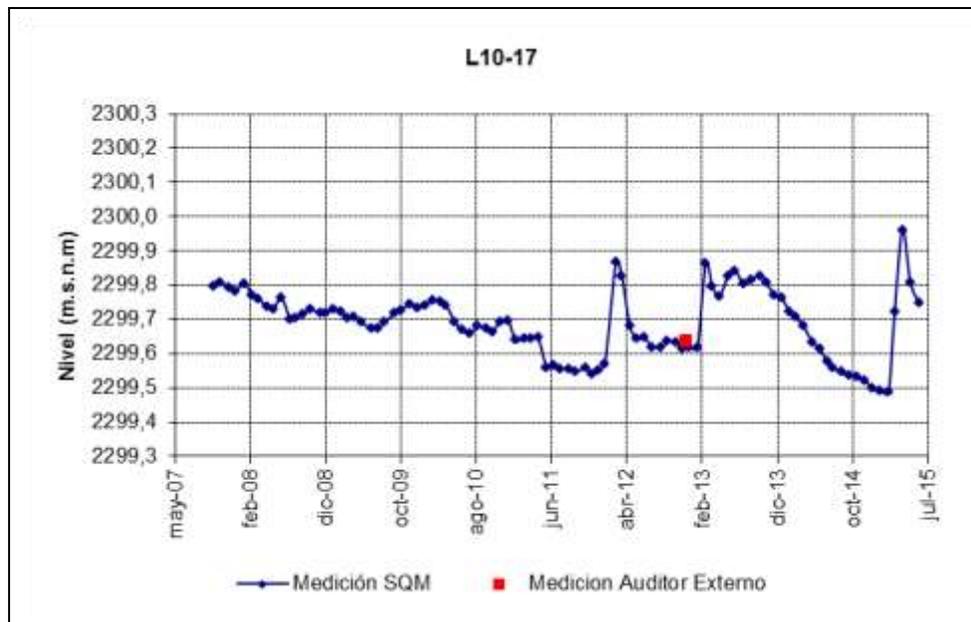
Fuente: Elaboración propia

Figura 5-237: Nivel mensual observado en el pozo L10-16



Fuente: Elaboración propia

Figura 5-238: Nivel mensual observado en el pozo L10-17

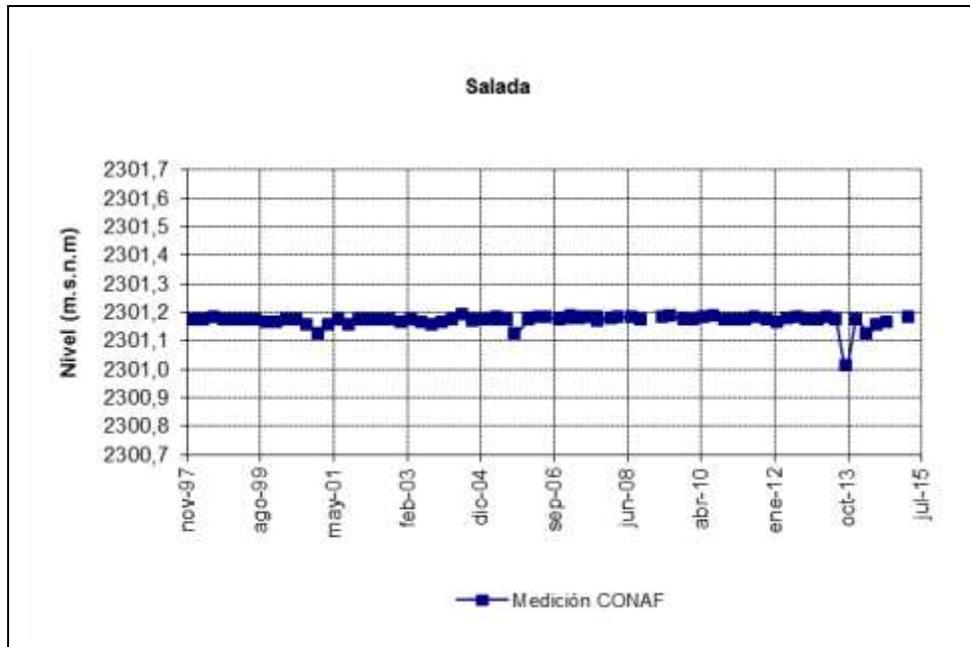


Fuente: Elaboración propia

5.3.3.1.3 Nivel lacustre

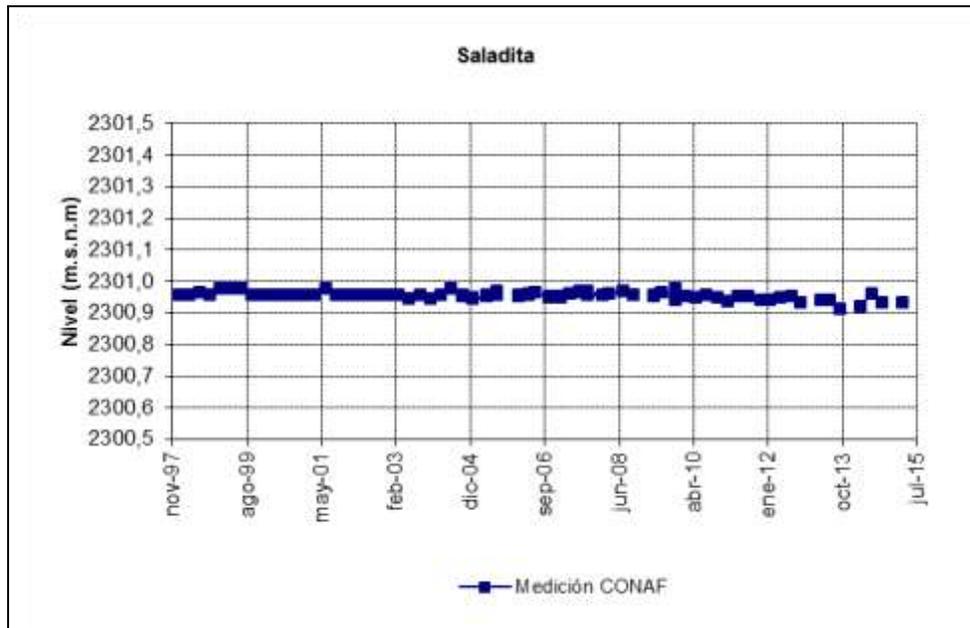
Las mediciones del nivel lacustre para el sistema Peine son realizadas directamente por CONAF y se incluyen en esta sección en virtud del convenio entre CONAF y SQM.

Figura 5-239: Nivel mensual observado en la laguna Salada



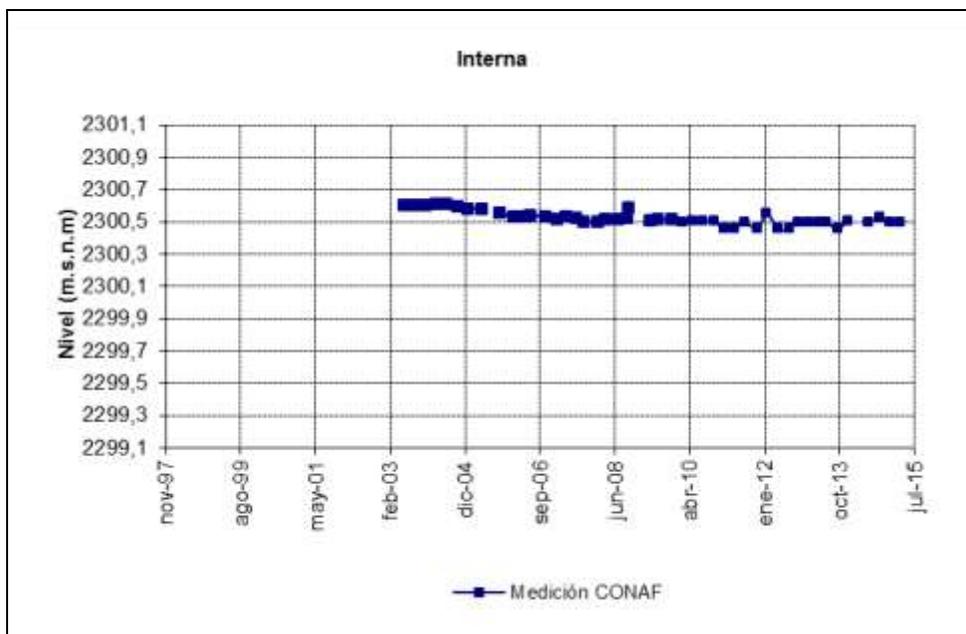
Fuente: Elaboración propia

Figura 5-240: Nivel mensual observado en la laguna Saladita



Fuente: Elaboración propia

Figura 5-241: Nivel mensual observado en la laguna Interna



Fuente: Elaboración propia

5.3.3.2 Calidad química

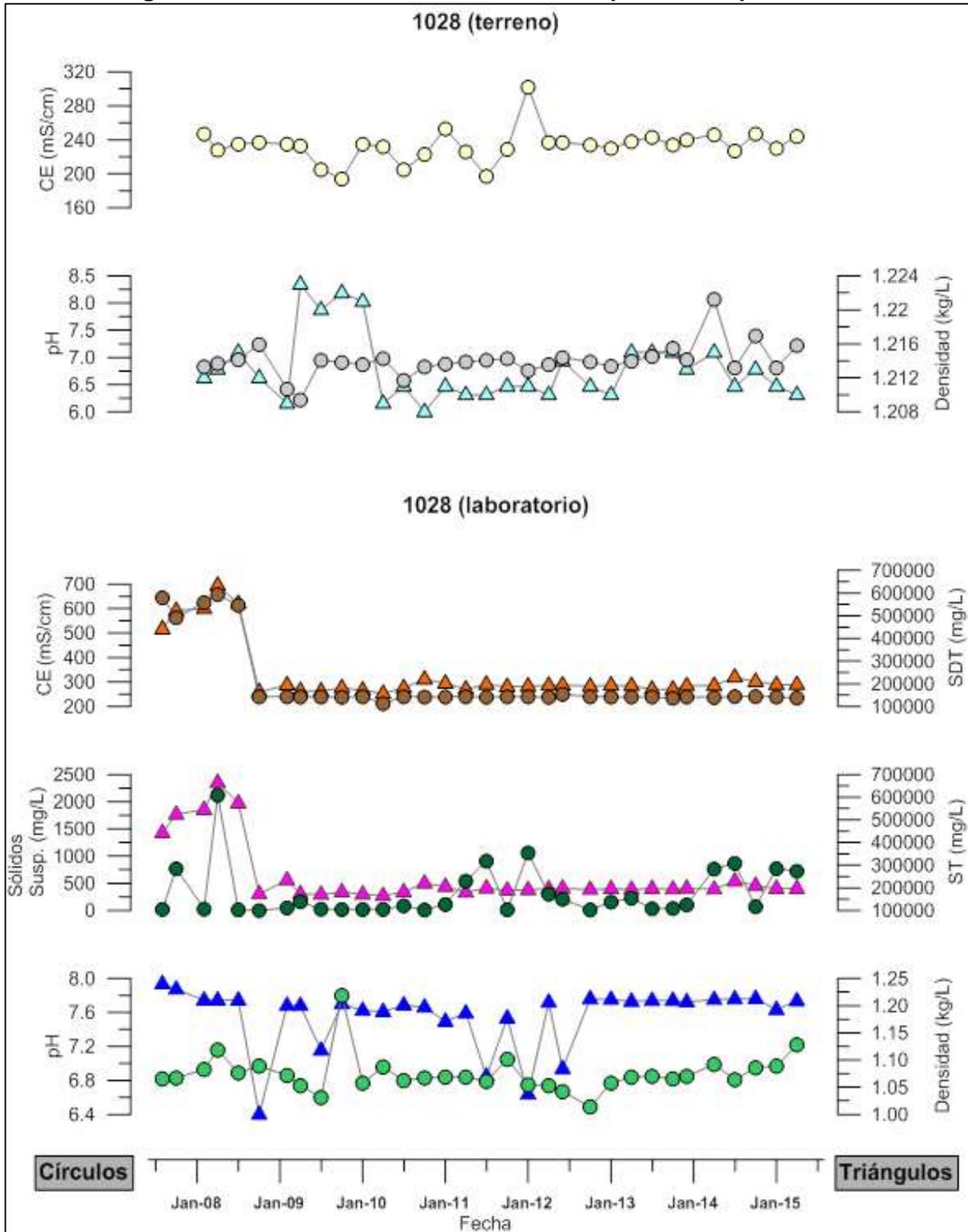
Los pozos del sistema Peine en que se monitorea calidad química del agua subterránea son: 1028, L10-1 y L10-4. Desde la Figura 5-242 a la Figura 5-244 se presenta las mediciones efectuadas en terreno por SQM y los resultados de los análisis químicos realizados por el laboratorio ALS Environmental. En el Anexo 3 se presenta los informes de análisis químicos.

Respecto a los parámetros de calidad del agua de las lagunas del sistema Peine, CONAF realiza el muestreo en el marco del convenio que actualmente posee con SQM. Los parámetros que se miden son sólidos totales, sólidos suspendidos, sólidos disueltos, sodio, potasio, calcio, magnesio, dureza total, carbonato, bicarbonato, sulfato, cloruro, arsénico, nitrato, fosfato, pH, temperatura y oxígeno disuelto. Desde la Figura 5-245 a la Figura 5-250 se muestran los resultados para las lagunas Interna, Salada y Saladita. El pozo L10-1 es parte del monitoreo de la calidad del agua de los sistemas Peine y Cuña Salina y se presenta sólo en esta sección. Es importante notar que en los gráficos de hidroquímica, las series representadas con un círculo están asociadas a los ejes del lado izquierdo y las que se encuentran representadas por un triángulo están asociadas a los ejes del lado derecho.

5.3.3.2.1 Muestreo realizado por SQM

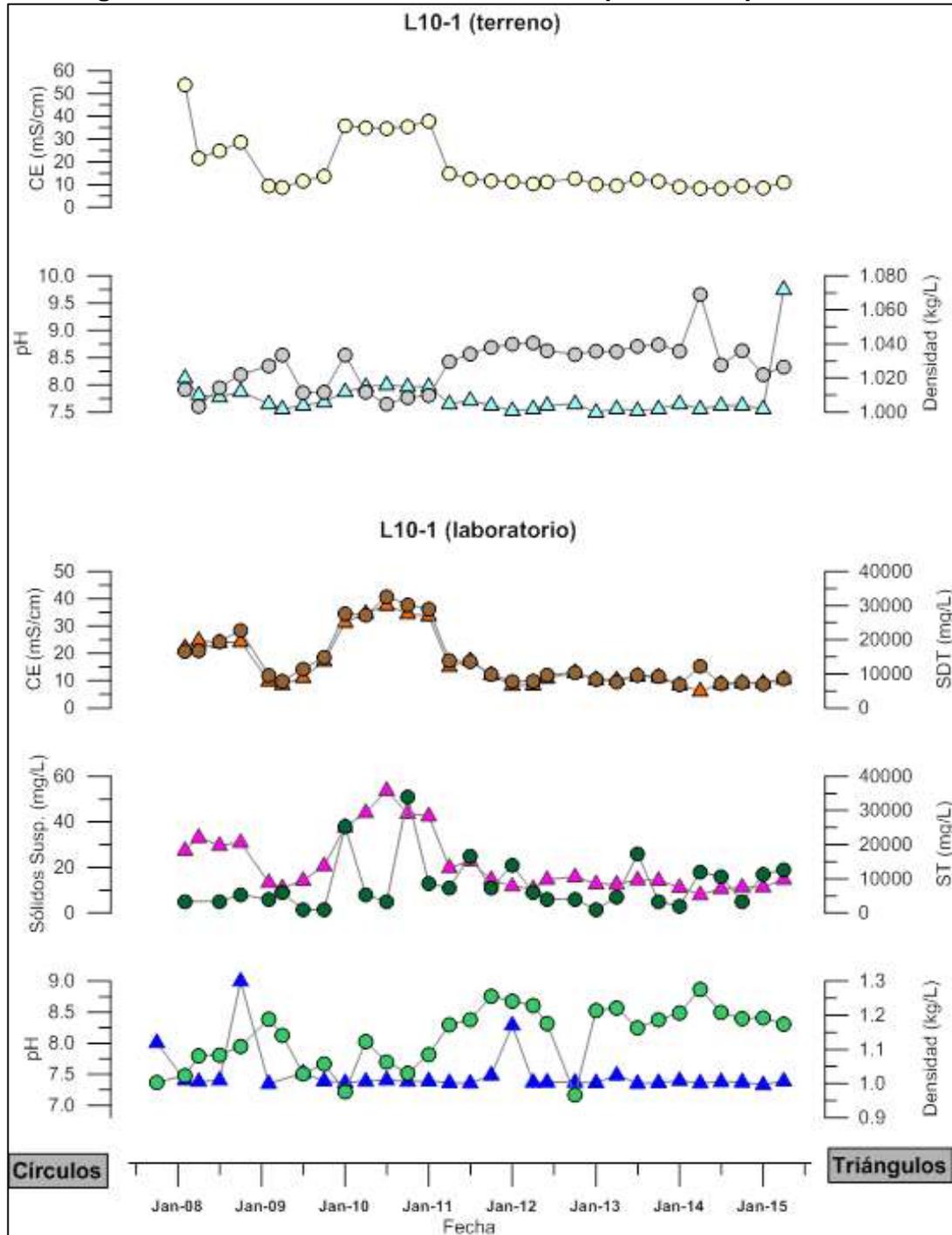
A continuación se presentan los resultados de análisis físico-químico de muestras de agua tomadas en terreno por SQM y analizadas por el laboratorio ALS Environmental.

Figura 5-242: Resultados de análisis físico-químico del pozo 1028



Fuente: Elaboración propia

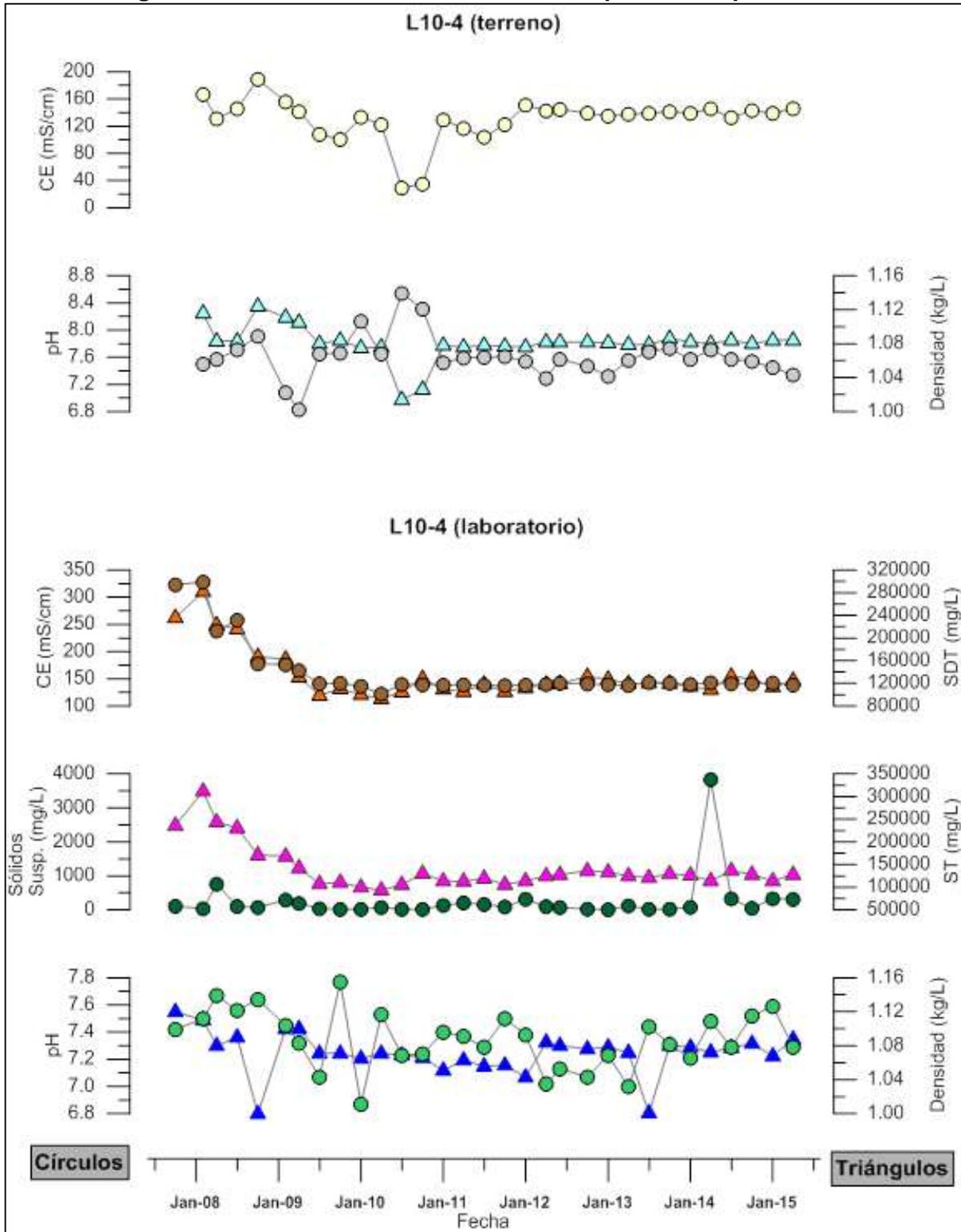
Figura 5-243: Resultados de análisis físico-químico del pozo L10-1¹⁹



Fuente: Elaboración propia

¹⁹ Para evitar problemas de escala, se sacaron los datos de octubre de 2007, a las series de: conductividad correspondiente a un valor de 313 mS/cm; sólidos disueltos totales correspondiente a un valor de 244.000 mg/L; sólidos suspendidos correspondiente a un valor de 442 mg/L; sólidos totales correspondiente a un valor de 244.800 mg/L.

Figura 5-244: Resultados de análisis físico-químico del pozo L10-4

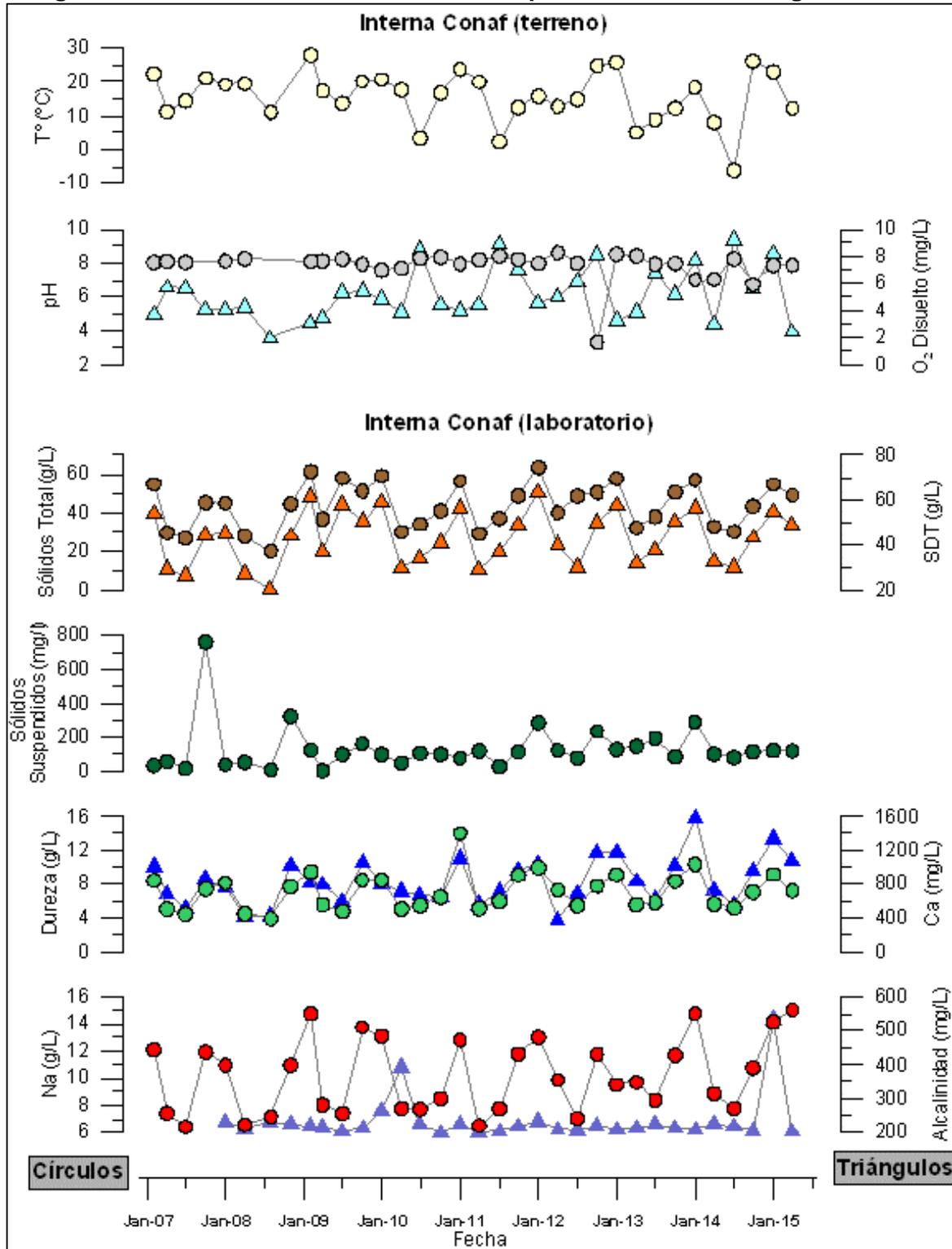


Fuente: Elaboración propia

5.3.3.2.2 Muestreo realizado por CONAF

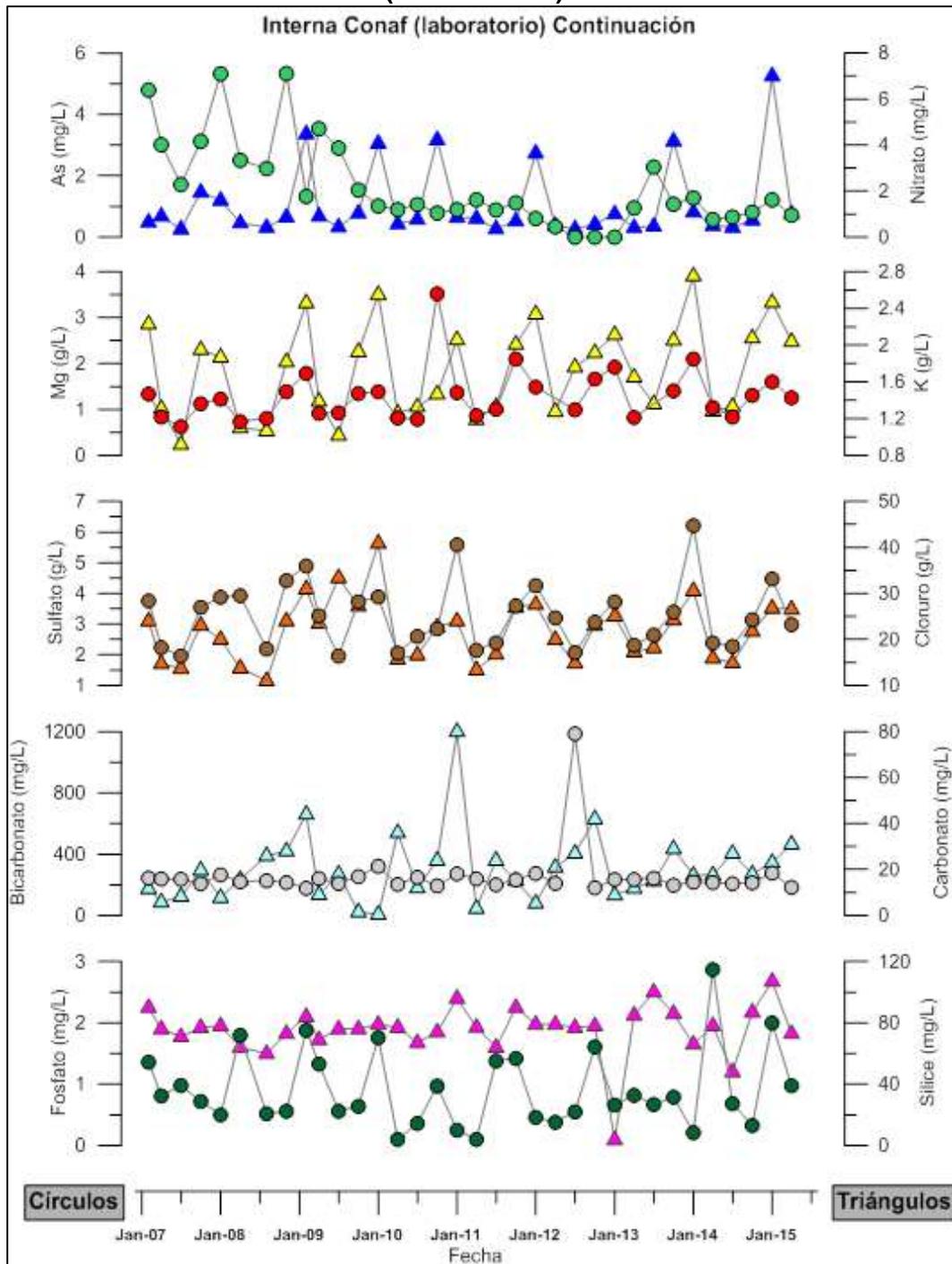
A continuación se presentan los resultados de análisis físico-químico de muestras de agua tomadas en terreno por CONAF.

Figura 5-245: Resultados de análisis físico-químico CONAF de la laguna Interna



Fuente: Elaboración propia

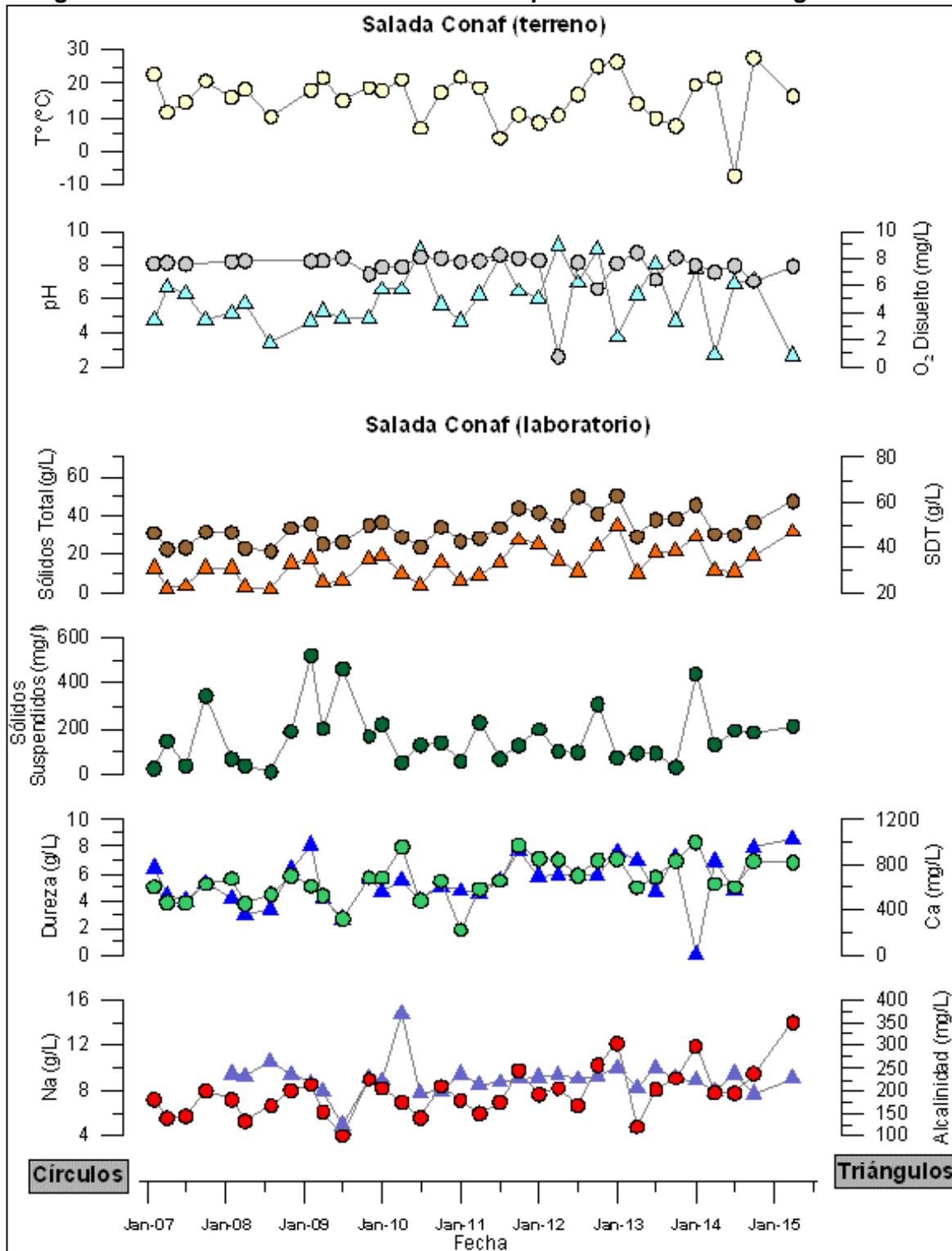
Figura 5-246: Resultados de análisis físico-químico CONAF de la laguna Interna (continuación)²⁰



Fuente: Elaboración propia

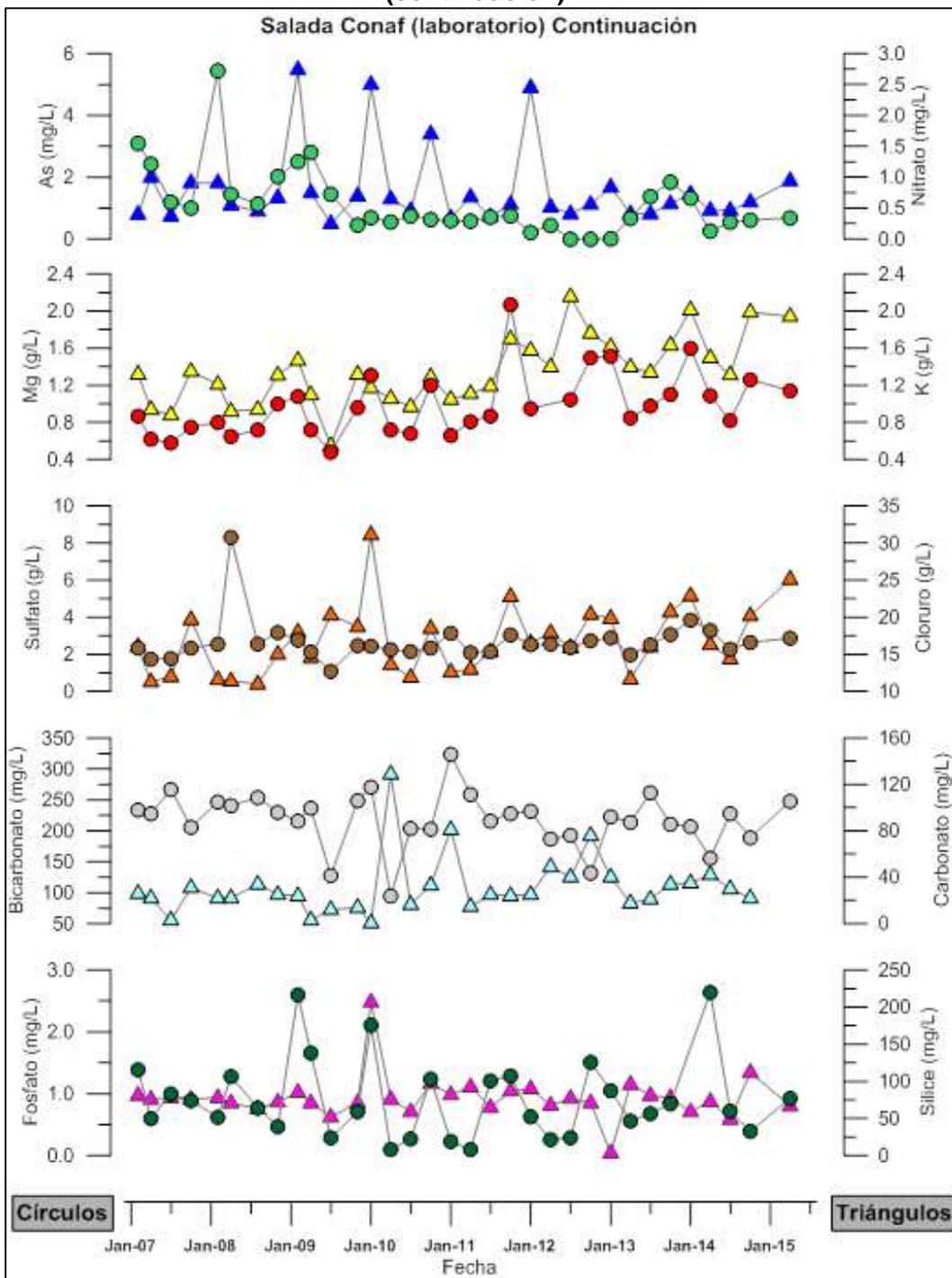
²⁰ Para evitar problemas de escala a la serie de magnesio se le sacó el dato de abril de 2012 correspondiente a un valor de 501 g/L.

Figura 5-247: Resultados de análisis físico-químico CONAF de la laguna Salada



Fuente: Elaboración propia

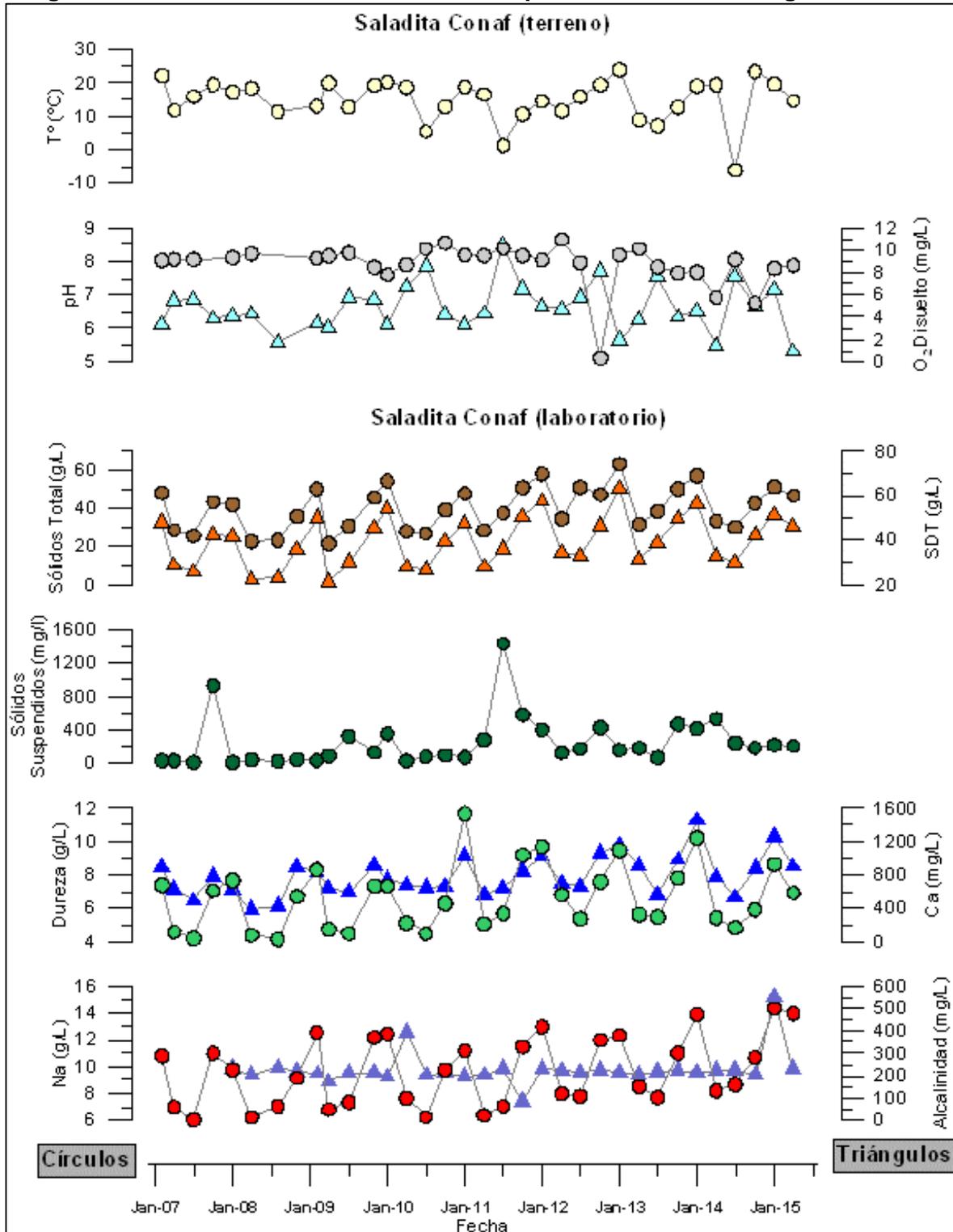
Figura 5-248: Resultados de análisis físico- químico CONAF de la laguna Salada (continuación)²¹



Fuente: Elaboración propia

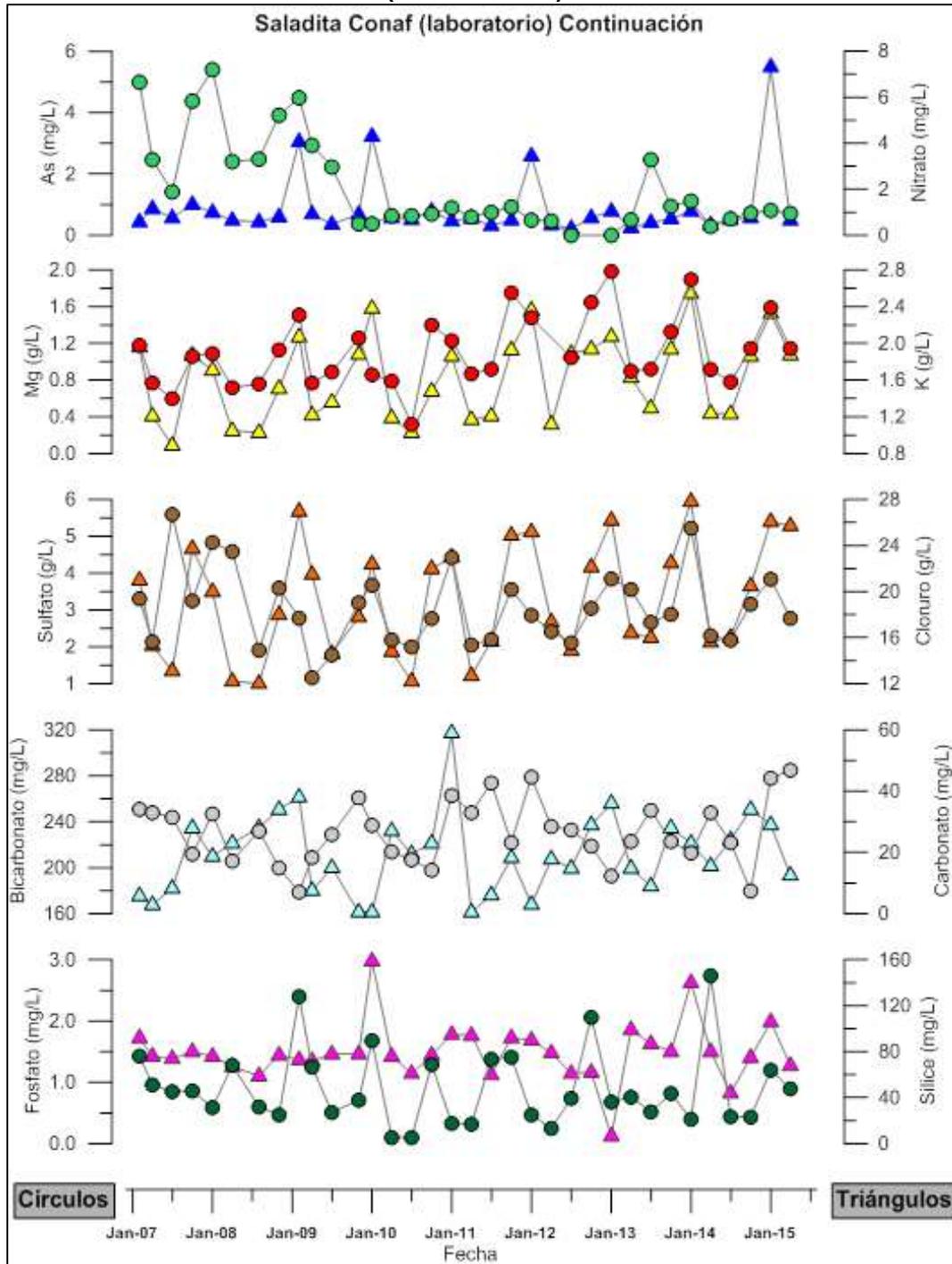
²¹ Para evitar problemas de escala a la serie de magnesio se le sacó el dato de abril de 2012 correspondiente a un valor de 990 g/L.

Figura 5-249: Resultados de análisis físico- químico CONAF de la laguna Saladita



Fuente: Elaboración propia

Figura 5-250: Resultados de análisis físico- químico CONAF de la laguna Saladita (continuación)²²



Fuente: Elaboración propia

²² Para evitar problemas de escala a la serie de magnesio se le sacó el dato de abril de 2012 correspondiente a un valor de 978 g/L.

5.3.3.3 Aforos

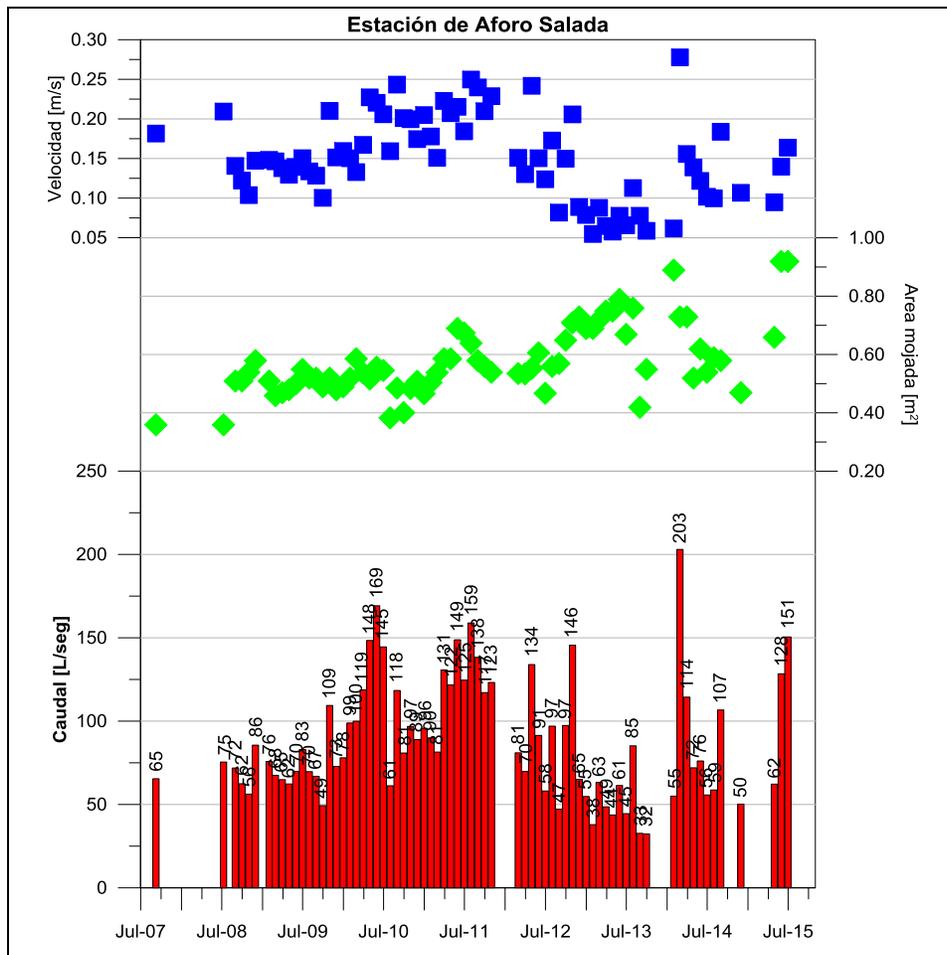
A continuación se presentan los aforos del Sistema Peine, correspondiente a la estación de aforo de las lagunas Salada y Saladita.

5.3.3.3.1 Laguna Salada

Las mediciones en Laguna Salada son realizadas a través de un sistema manual con frecuencia mensual que consiste en medir la velocidad y sección en el punto de aforo. Los caudales calculados son presentados en la Figura 5-251.

En enero y febrero de 2015 no se pudo realizar las mediciones en el aforo Salada por restricción de acceso debido a la nidificación de flamencos.

Figura 5-251: Aforo laguna Salada. En barra roja caudal aforado por método manual, en azul velocidad (m/s) y en verde área mojada (m²)

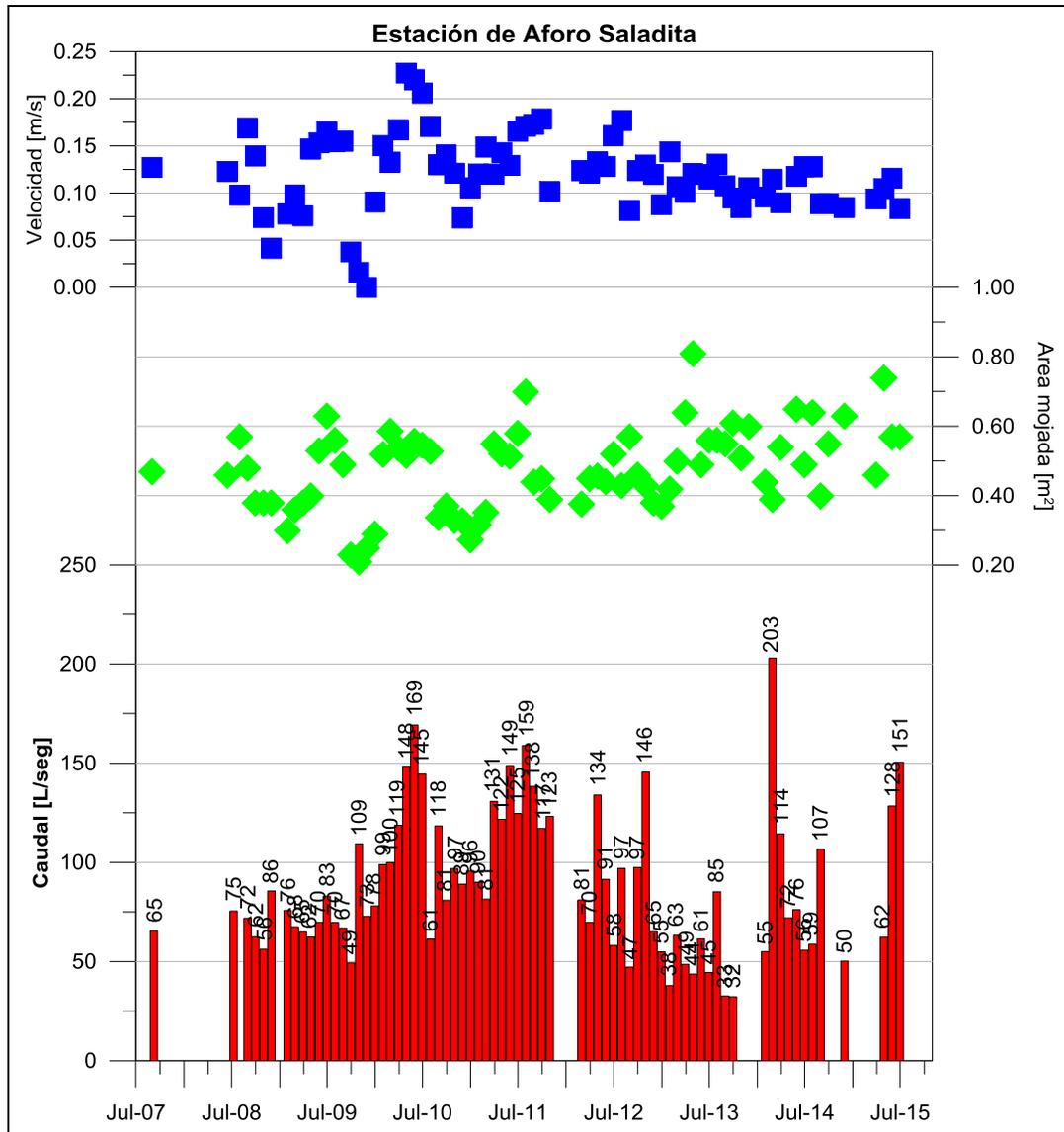


5.3.3.3.2 Laguna Saladita

Los registros manuales de caudal con que cuenta SQM para esta estación de aforo se presentan en la Figura 5-252.

En enero y febrero de 2015 no se pudo realizar las mediciones en el aforo Saladita por restricción de acceso debido a la nidificación de flamencos.

Figura 5-252: Aforo laguna Saladita. En barra roja caudal aforado por método manual, en azul velocidad (m/s) y en verde área mojada (m²)

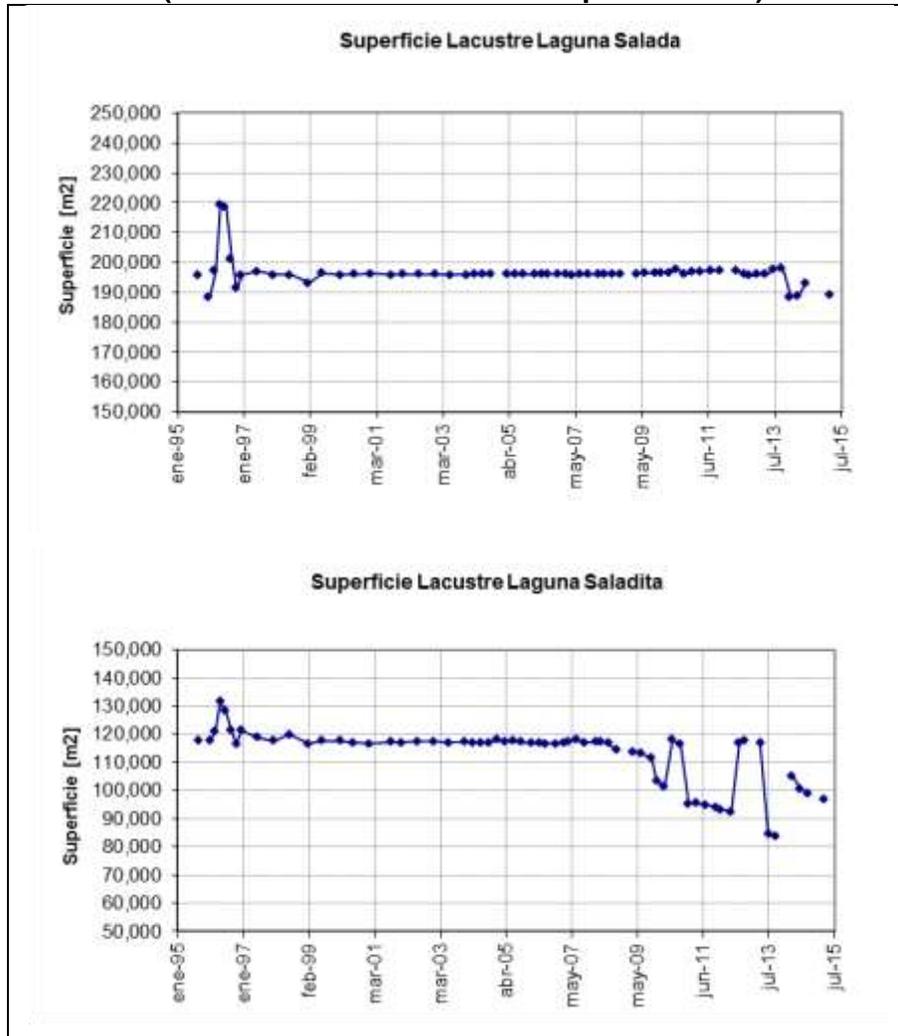


Fuente: Elaboración propia

5.3.3.4 Superficie lacustre

En el marco del convenio CONAF – SQM Salar S.A, a continuación se presentan los resultados de las mediciones de perfiles de las lagunas, efectuadas con estacas perimetrales.

Figura 5-253: Evolución de la superficie lacustre sistema Peine medida por CONAF (Medición a través de estacas perimetrales)



Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 5-13 se presenta las mediciones realizadas a través de topografía y del método de imágenes satelitales; las mediciones de topografía sólo se realizaron hasta el año 2010, ya que a través de la Resolución Exenta 244/2010, queda establecido que las mediciones de topografía sólo se realizarán cada 5 años y por otro lado en la misma resolución se establece la metodología para realizar la medición a través de imagen satelital, actividad que se realiza en el mes de abril de cada año. En la Figura 5-254 se grafican los resultados obtenidos a través del método de imágenes satelitales para cada una de las lagunas en un periodo de 6 años y medio (2008 a 2015).

Tabla 5-13: Superficies lacustres medidas desde abril de 2008 hasta abril de 2014

SISTEMA LACUSTRE	LAGUNA	Superficie (m ²) – 2008			Superficie (m ²) -2009			Superficie (m ²) - 2010			Superficie (m ²) - 2011	Superficie (m ²) - 2012	Superficie (m ²) - 2013	Superficie (m ²) - 2014
		Topografía	Imagen satelital	DIF. SUP. (%)	Topografía	Imagen satelital	DIF. SUP. (%)	Topografía	Imagen satelital	DIF. SUP. (%)	Imagen satelital	Imagen satelital	Imagen satelital	Imagen satelital
Peine	Salada	147.500	176.126	19,4	199.394	196.616	2	199.067	198.178	0,4	199.521	196.398	197.314	197.427
	Saladita	118.284	99.665	18,7	110.502	105.274	5	107.149	108.022	0,8	110.394	116.315	110.227	105.522
	Interna	-	-	-	246.295	199.968	23	231.590	198.838	16,5	182.616	246.828	331.075	261.763

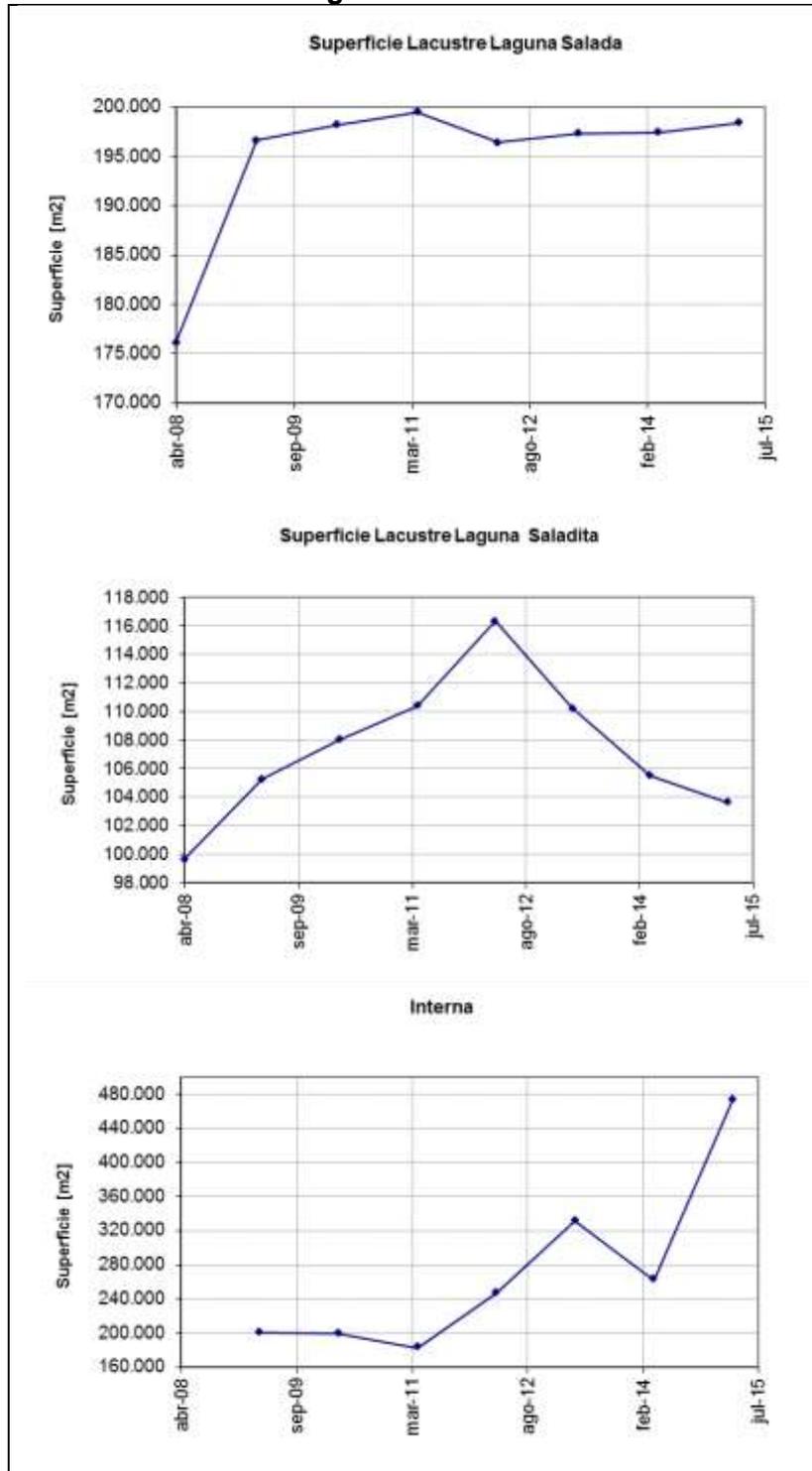
Fuente: Elaboración propia

Tabla 5-14: Superficies lacustres medidas en abril de 2015

SISTEMA LACUSTRE	LAGUNA	Superficie (m ²) – 2015		
		Topografía	Imagen satelital	DIF. SUP. (%)
Peine	Salada	172.725	198.429	13,0
	Saladita	84.177	103.638	18,8
	Interna	85.846	472.172	81,8

Fuente: Elaboración propia

Figura 5-254: Evolución de la superficie lacustre sistema Peine medida a través de imágenes satelitales



Fuente: Elaboración propia

5.3.4 Sistema Vegetación Borde Este

Los puntos de monitoreo del sistema Vegetación Borde Este se encuentran al este del Salar de Atacama entre las coordenadas 7.425.000 a 7.395.000 norte y 590.000 a 600.000 este. En la Figura 5-255 se muestra la distribución geográfica de los puntos.

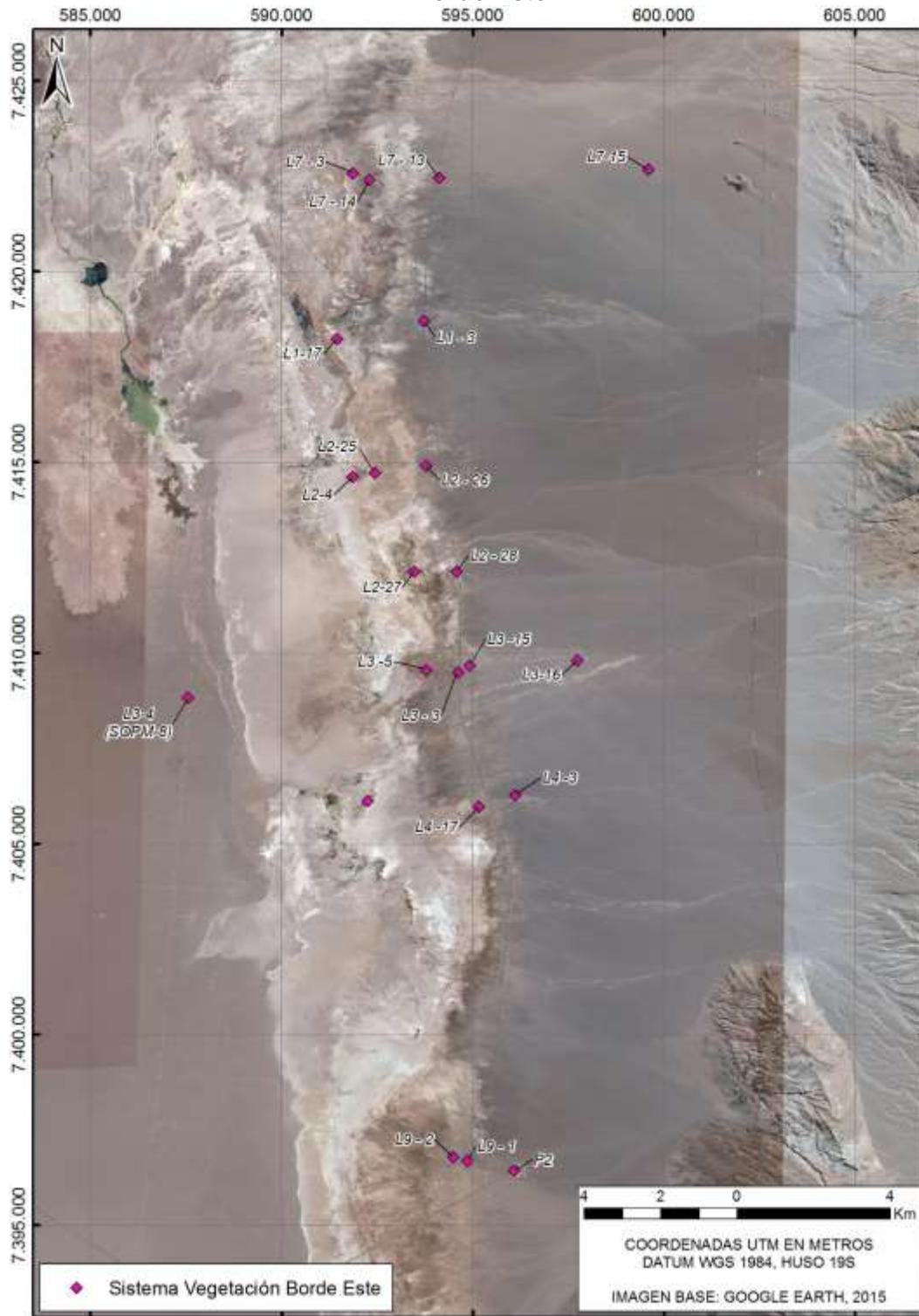
En la Tabla 5-15 se presenta los puntos de monitoreo del sistema Vegetación Borde Este clasificando de acuerdo a la zona donde se encuentran emplazados (zona marginal o aluvial y sector de salmuera) y su tipología (pozo profundo y pozo somero). Adicionalmente, se indica el número de página donde se muestra de manera gráfica el registro de nivel.

Tabla 5-15: Puntos de monitoreo del sistema Vegetación Borde Este

Punto de monitoreo	Clasificación	Tipología	Página
P2	Zona Aluvial	Pozo profundo	272
L1-17	Zona marginal	Pozo somero	266
L2-25	Zona marginal	Pozo somero	267
L2-26	Zona marginal	Pozo profundo	267
L2-27	Zona marginal	Pozo somero	268
L2-28	Zona marginal	Pozo profundo	268
L3-15	Zona marginal	Pozo profundo	269
L3-16	Zona aluvial	Pozo profundo	265
L4-17	Zona marginal	Pozo somero	269
L7-13	Zona marginal	Pozo profundo	270
L7-14	Zona marginal	Pozo somero	270
L7-15	Zona aluvial	Pozo profundo	266
L9-1	Zona marginal	Pozo profundo	271
L9-2	Zona marginal	Pozo profundo	271
P2	Zona aluvial	Pozo de bombeo	273

Fuente: Elaboración propia

Figura 5-255: Distribución geográfica de puntos de monitoreo del sistema Vegetación Borde Este



Fuente: Elaboración propia

5.3.4.1 Nivel del agua subterránea

En esta sección se presenta los niveles de los pozos que componen la red de monitoreo del PSAH para el sistema Vegetación Borde Este. Los pozos L1-3, L2-4 y L7-3 pertenecen a la red de monitoreo del sistema Soncor y del sistema Vegetación Borde Este, siendo presentados en la sección 5.3.1.1 (sistema Soncor).

Los pozos L4-3, L3-3 y L3-5 junto a la regilla L4-10 son parte del monitoreo de los sistemas Aguas de Quelana y Vegetación Borde Este, presentándose en el subcapítulo de Aguas de Quelana. Sus gráficos pueden ser consultados en la sección 5.3.2.1.

El pozo L3-4 (SOPM-8) es parte del monitoreo de los sistemas Vegetación Borde Este y Núcleo del salar de Atacama y será presentado sólo en esta sección.

Dentro del periodo correspondiente al presente informe, Arcadis realizó mediciones (junio 2015) en este sistema en los pozos L2-27, L2-28, L7-15.

5.3.4.1.1 Pozos en zona aluvial

En la Figura 5-256 y Figura 5-257 se presenta el nivel del agua subterránea en los pozos L3-16 y L7-15 pertenecientes a la zona aluvial del sistema Borde Este. Como se mencionó anteriormente el pozo L1-3 que también pertenece a esta zona se presenta en la Figura 5-8.

Figura 5-256: Nivel mensual observado en el pozo L3-16



Fuente: Elaboración propia

Figura 5-257: Nivel mensual observado en el pozo L7-15

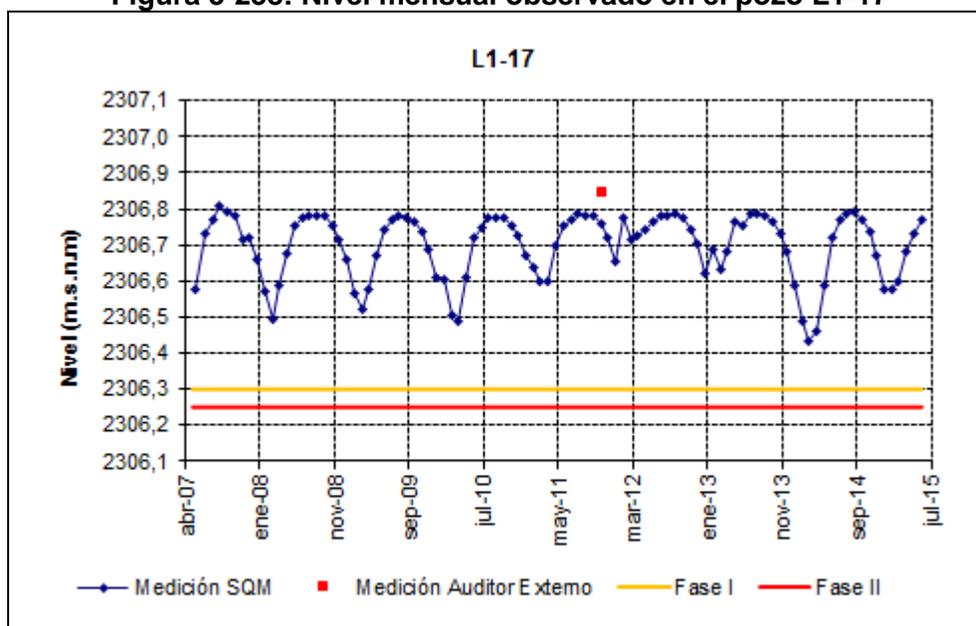


Fuente: Elaboración propia

5.3.4.1.2 Pozos en zona marginal

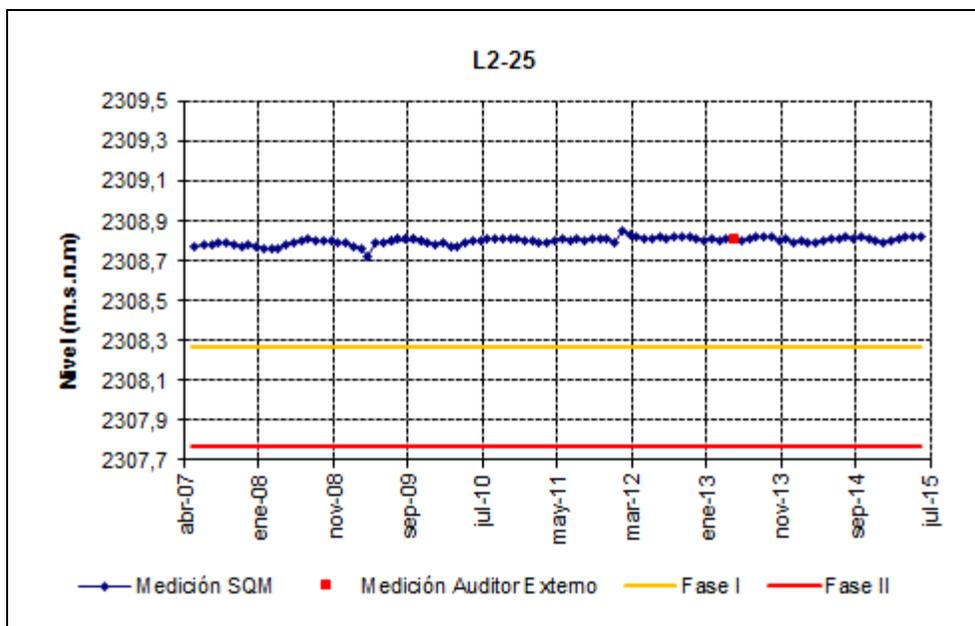
De la Figura 5-258 a la Figura 5-268 se presentan los pozos dentro de la zona marginal.

Figura 5-258: Nivel mensual observado en el pozo L1-17



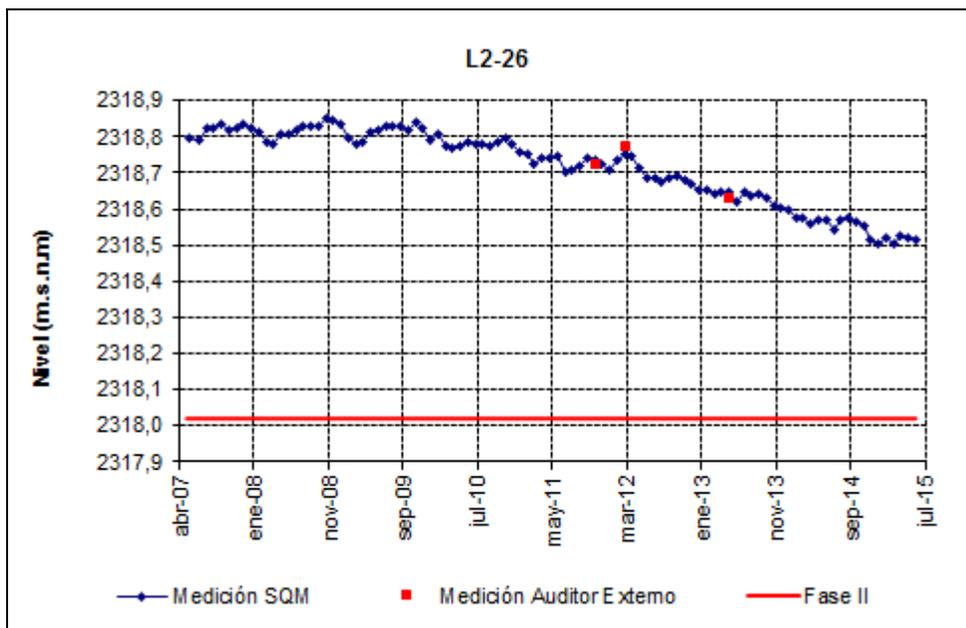
Fuente: Elaboración propia

Figura 5-259: Nivel mensual observado en el pozo L2-25



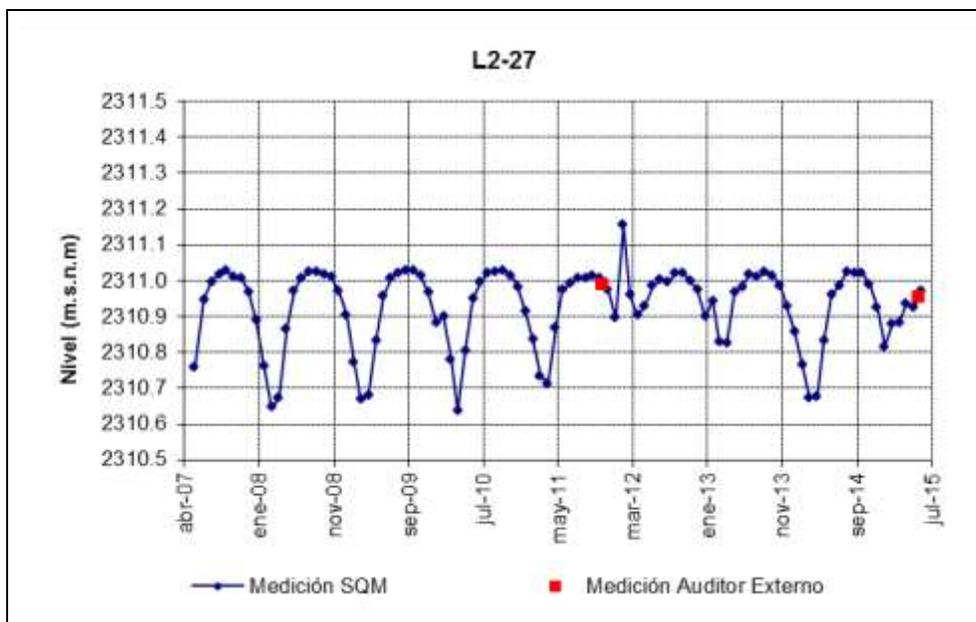
Fuente: Elaboración propia

Figura 5-260: Nivel mensual observado en el pozo L2-26



Fuente: Elaboración propia

Figura 5-261: Nivel mensual observado en el pozo L2-27



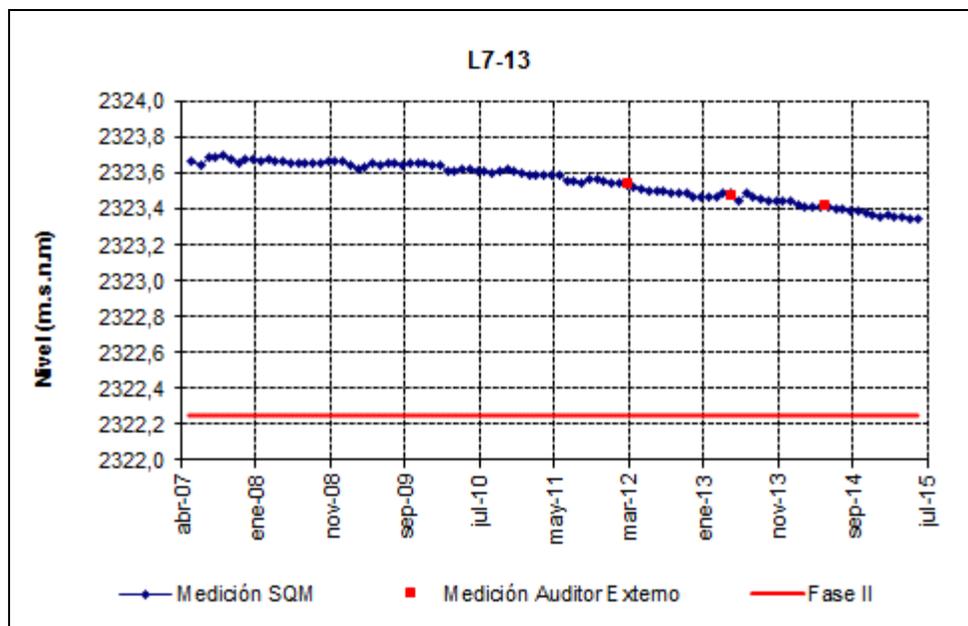
Fuente: Elaboración propia

Figura 5-262: Nivel mensual observado en el pozo L2-28



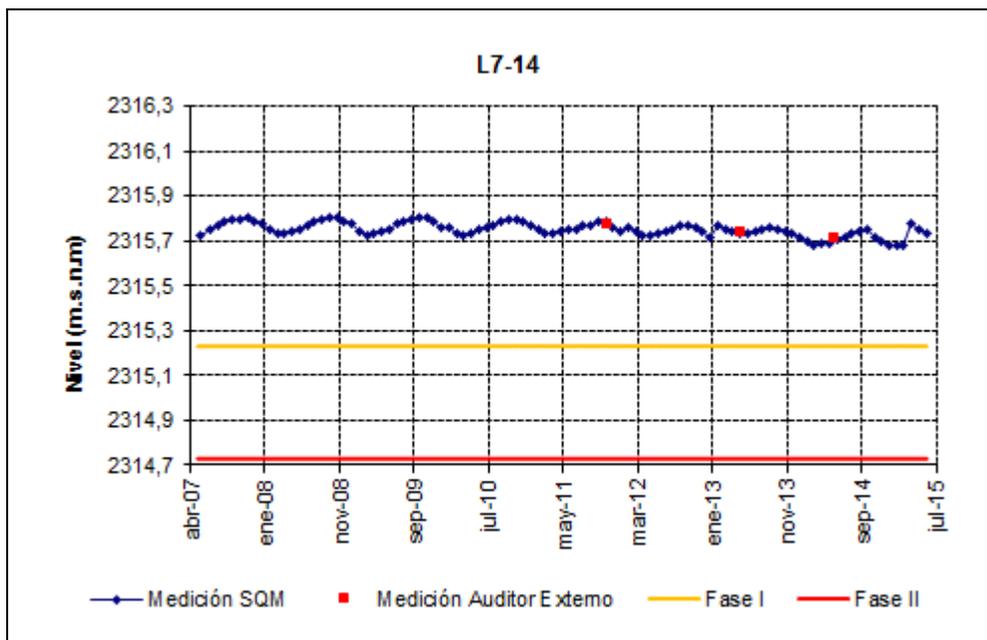
Fuente: Elaboración propia

Figura 5-265: Nivel mensual observado en el pozo L7-13



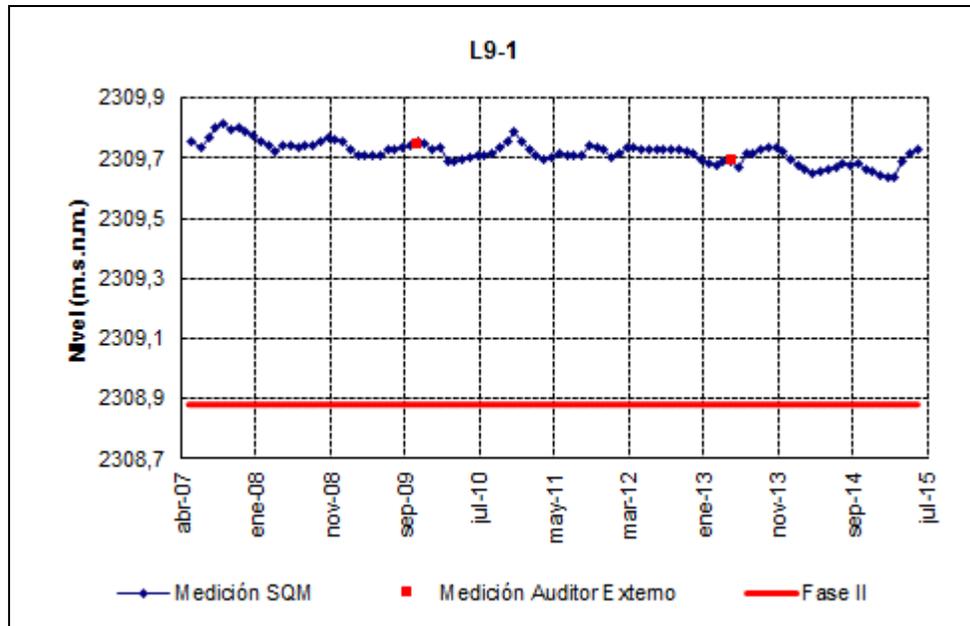
Fuente: Elaboración propia

Figura 5-266: Nivel mensual observado en el pozo L7-14



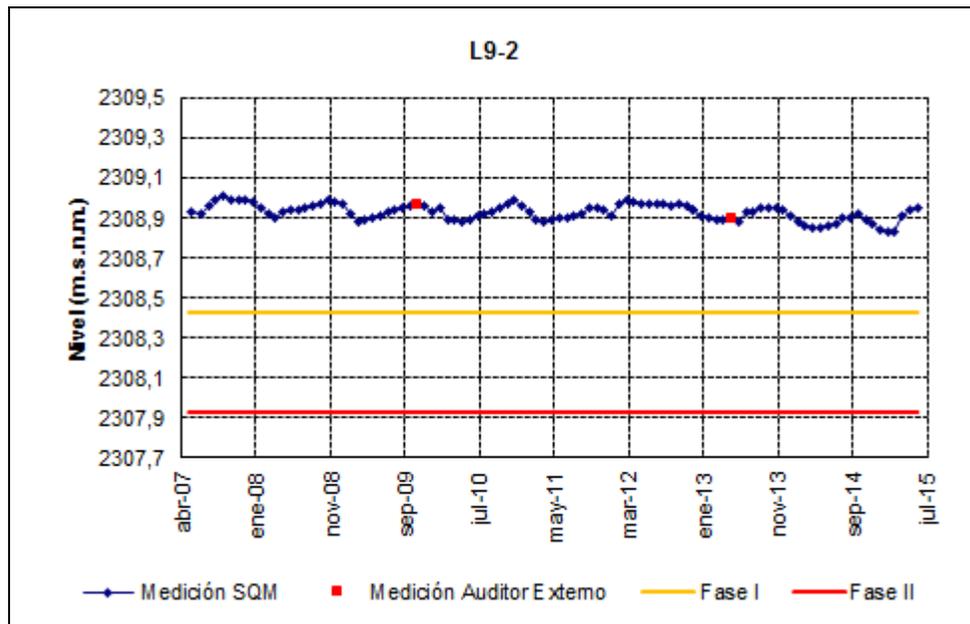
Fuente: Elaboración propia

Figura 5-267: Nivel mensual observado en el pozo L9-1



Fuente: Elaboración propia

Figura 5-268: Nivel mensual observado en el pozo L9-2

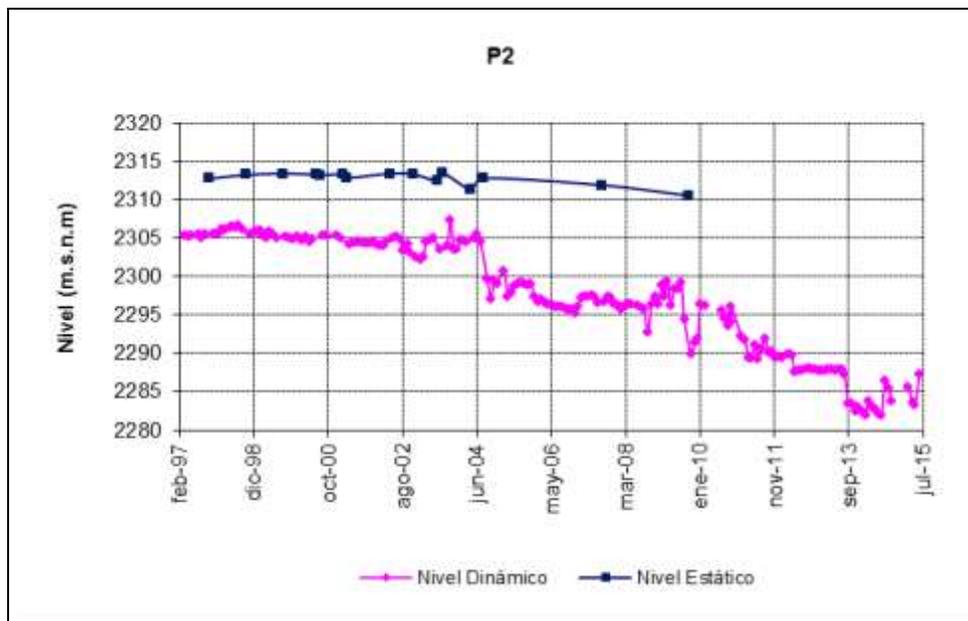


Fuente: Elaboración propia

5.3.4.1.3 Pozos de bombeo

En la Figura 5-269 se presenta el nivel estático y dinámico observado en el pozo de bombeo de agua industrial P2.

Figura 5-269: Nivel mensual estático (línea magenta) y dinámico (línea azul) observado en el pozo de bombeo P2

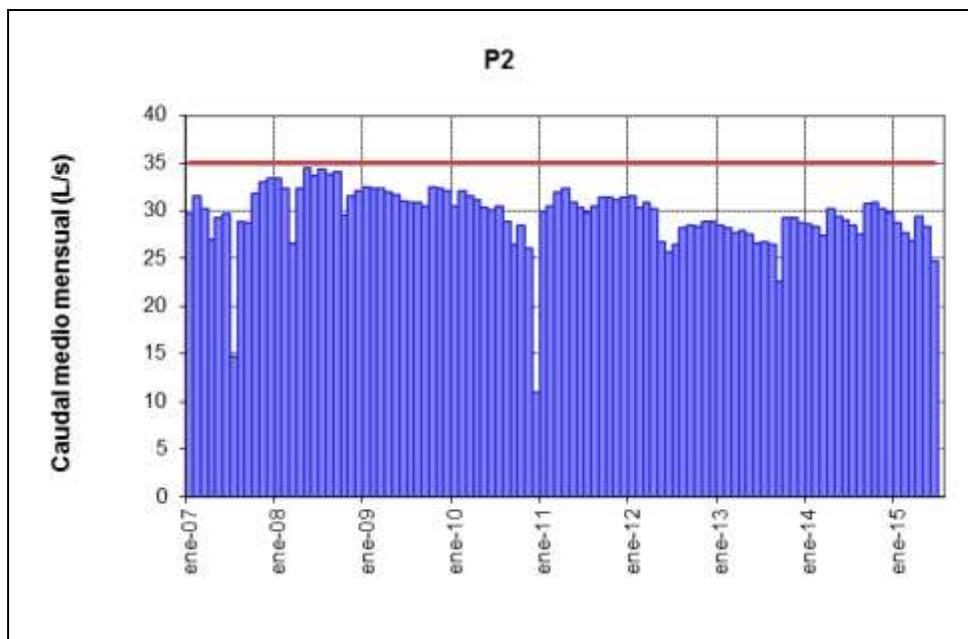


Fuente: Elaboración propia

5.3.4.2 Caudal bombeado

En el sistema Vegetación Borde Este del PSAH, el único pozo ubicado en el sector es el pozo P2, cuyo caudal medio mensual extraído se presenta en la Figura 5-270. Los caudales extraídos no han superado los derechos otorgados a partir del inicio del PSAH (35 L/s). Se observa una disminución gradual de los caudales entre mayo 2012 y marzo 2014, los que aumentaron a contar de abril 2014 a la fecha.

Figura 5-270: Caudal medio mensual bombeado desde el pozo P2



Fuente: Elaboración propia

5.3.4.3 Calidad química

Los pozos existentes para monitorear la calidad del agua subterránea en el sistema Vegetación Borde Este son: L2-4, L4-3, L7-3 y el pozo de bombeo de agua industrial P2. Los análisis fueron realizados por ALS Environmental, cuyos informes se adjuntan en el Anexo 3.

Los resultados de los análisis químicos de los pozos L2-4 y L7-3 se presentan en la sección 5.3.1.8, mientras que los resultados del pozo L4-3 se presentan en la sección 5.3.2.3. En la Figura 5-271 y Figura 5-272 se muestra los resultados de los análisis químicos realizados en el pozo de bombeo de agua industrial P2.

Figura 5-271: Resultados de análisis físico-químico del pozo P2

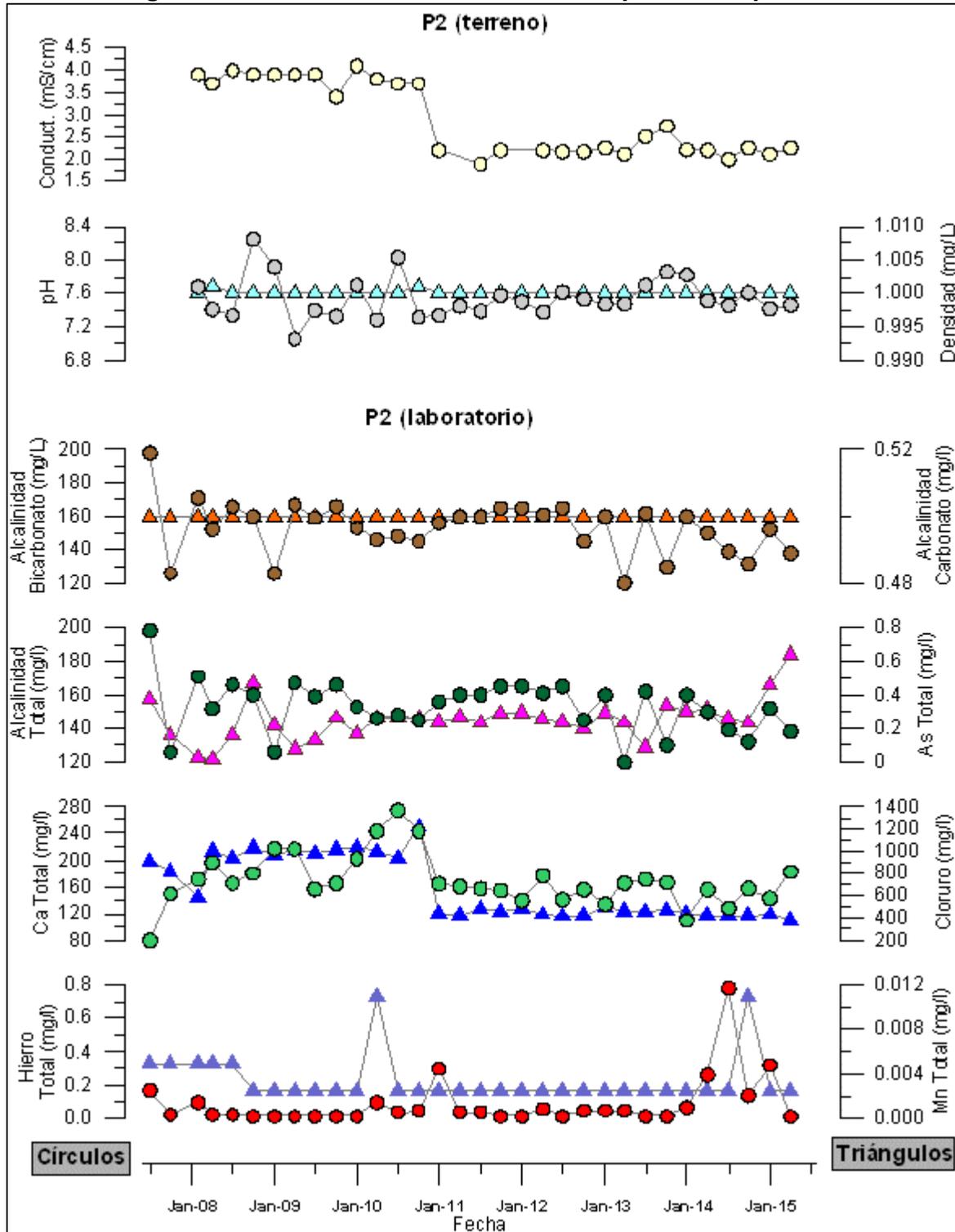
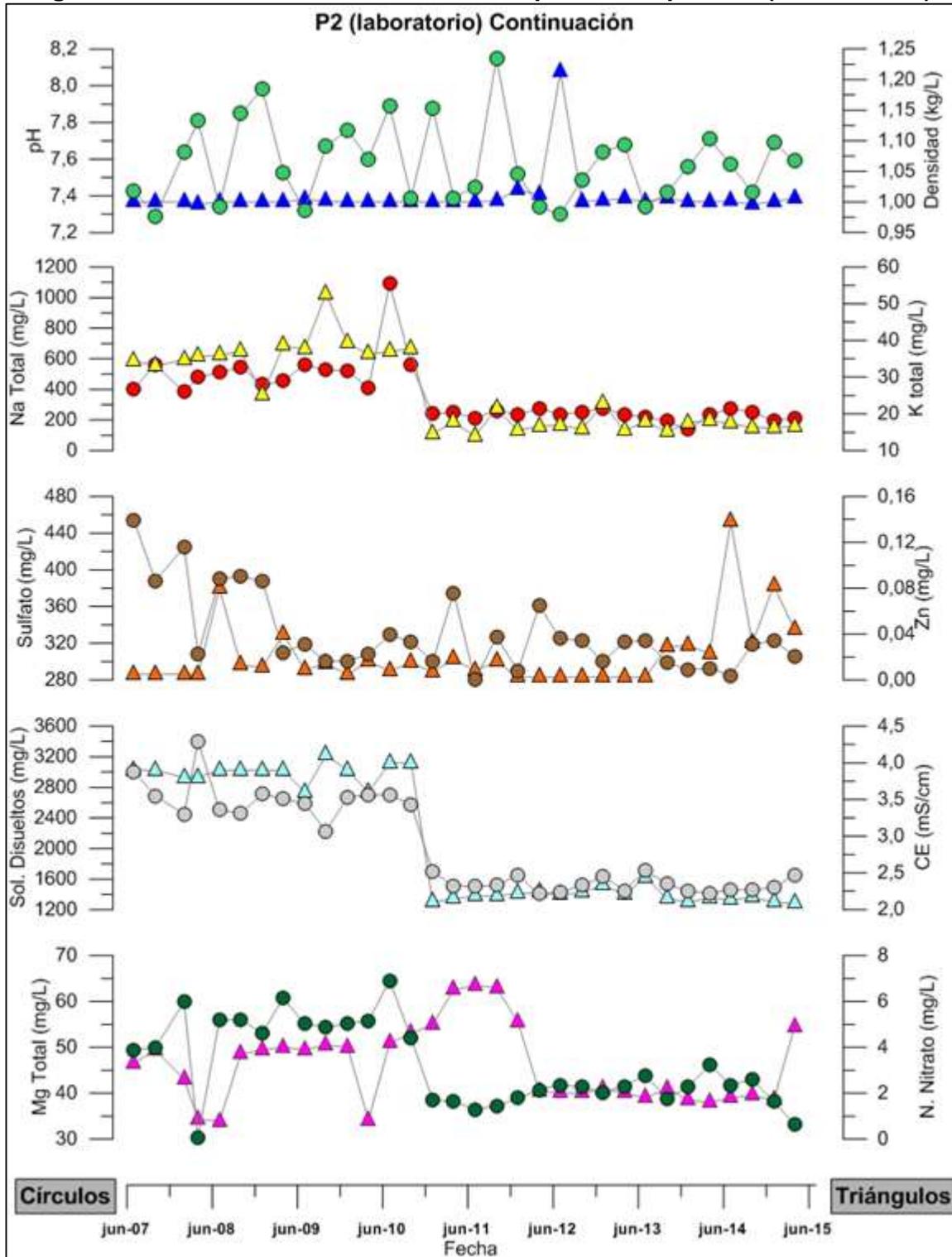


Figura 5-272: Resultados de análisis físico-químico del pozo P2 (continuación)



Fuente: Elaboración propia

5.3.5 Sistema Vegas de Tilopozo

Los puntos de monitoreo del sistema Vegas de Tilopozo se encuentran al sureste del Salar de Atacama, entre las coordenadas 7.378.000 a 7.370.000 norte y 573.000 a 580.000 este. En la Figura 5-273 se muestra la distribución geográfica de los puntos.

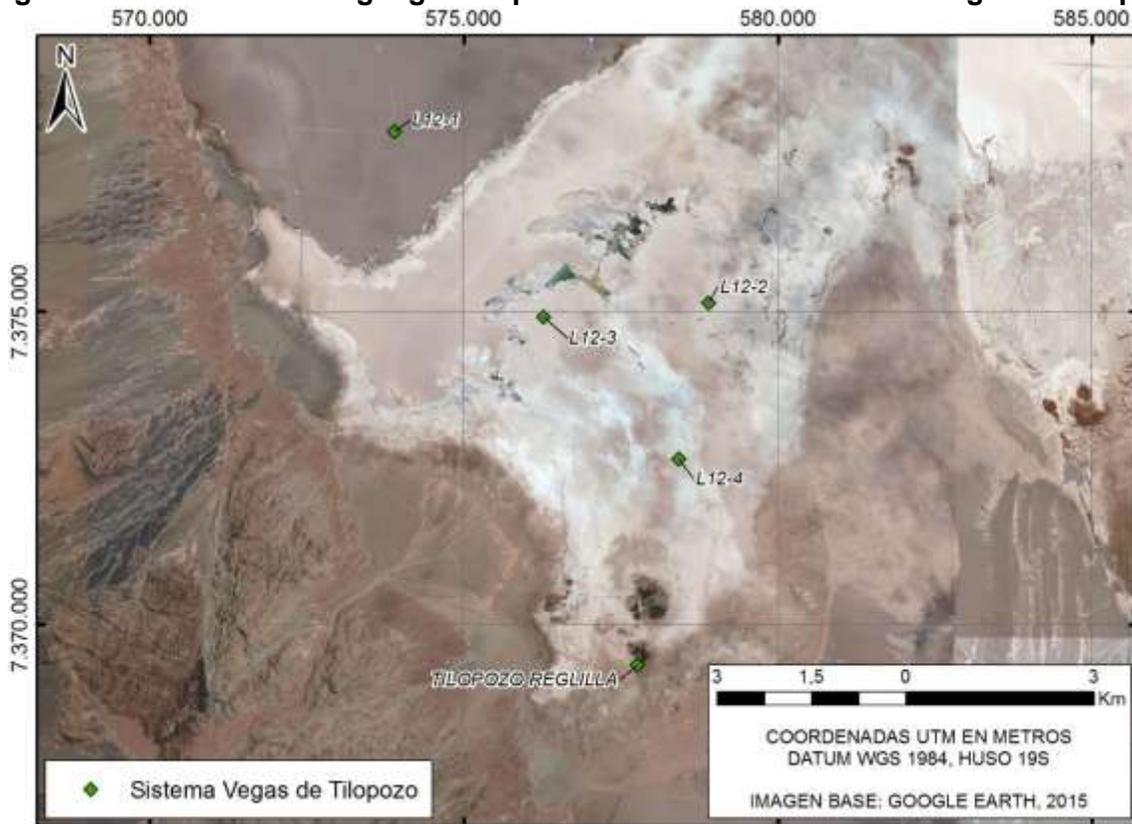
En la Tabla 5-16 se indica los puntos de monitoreo del sistema Vegas de Tilopozo, clasificándolos de acuerdo a la zona donde se encuentran emplazados (zona marginal o aluvial y sector de salmuera) y a su tipología (pozo somero y reglilla). Adicionalmente, se indica el número de página donde se muestra el registro de nivel en formato gráfico.

Tabla 5-16: Puntos de monitoreo del sistema Vegas de Tilopozo.

Nombre Punto de Monitoreo	Clasificación	Tipología	Página
Tilopozo Reglilla	Zona marginal	Reglilla	277
L12-1	Zona marginal	Pozo somero	277
L12-2	Zona marginal	Pozo somero	278
L12-3	Zona marginal	Pozo somero	278
L12-4	Zona marginal	Pozo somero	279

Fuente: Elaboración propia

Figura 5-273: Distribución geográfica puntos de monitoreo Sistema Vegas de Tilopozo

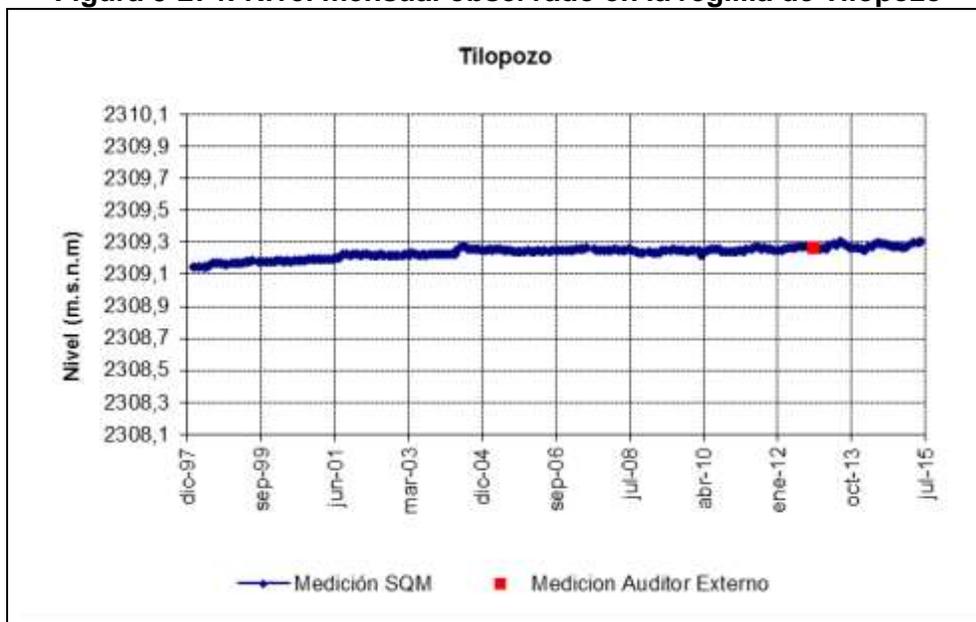


Fuente: Elaboración propia

5.3.5.1 Nivel del agua subterránea y superficial

En esta sección se presenta el nivel de los pozos construidos en la red de monitoreo del PSAH para el sistema Vegas de Tilopozo. En marzo de 2015 no se pudo acceder a los puntos L12-1, L12-2, L12-3 y L12-4 por estar el camino de acceso en malas condiciones por las lluvias.

Figura 5-274: Nivel mensual observado en la reglilla de Tilopozo



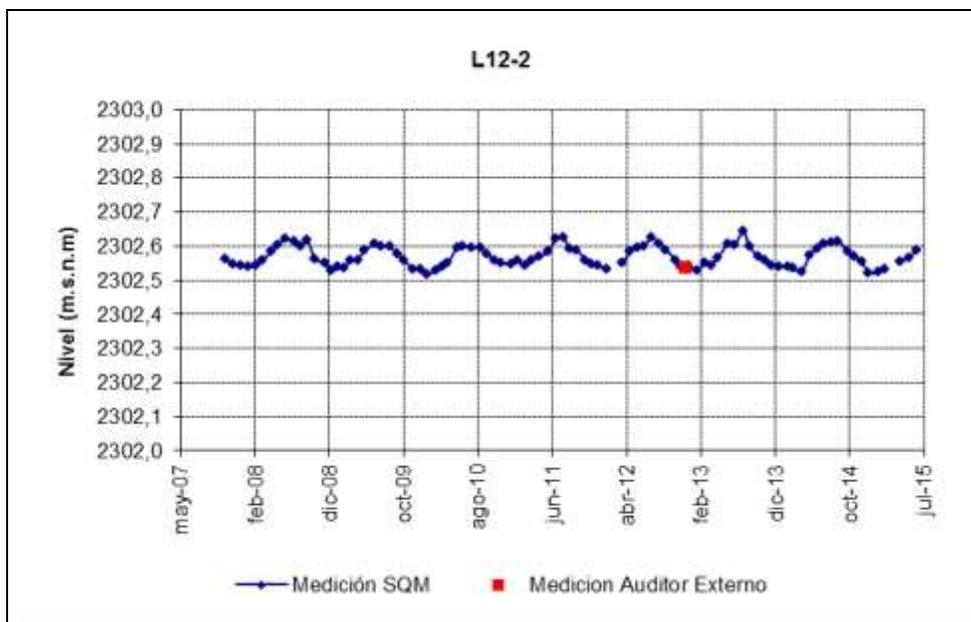
Fuente: Elaboración propia

Figura 5-275: Nivel mensual observado en el pozo L12-1



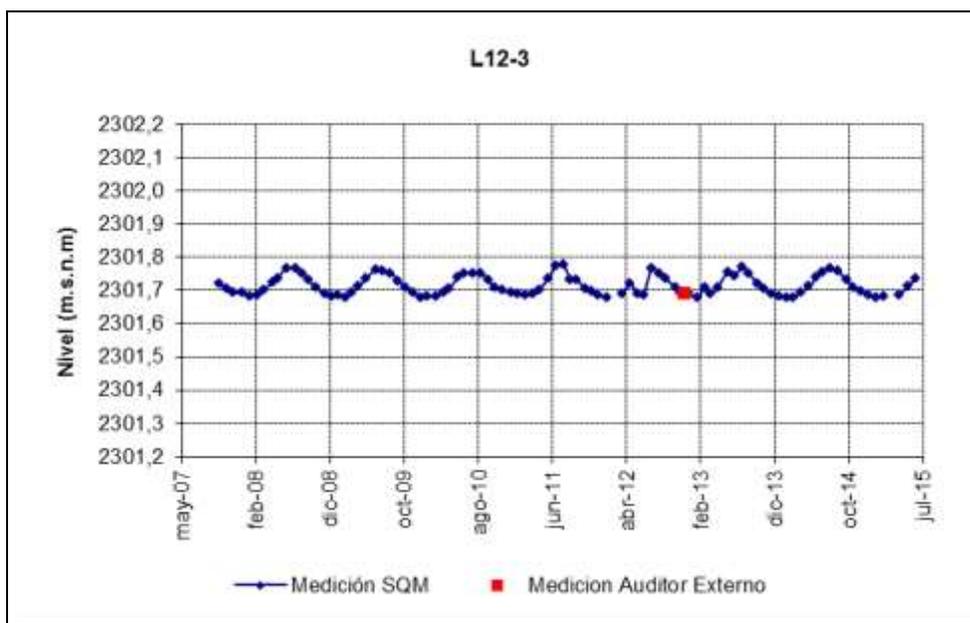
Fuente: Elaboración propia

Figura 5-276: Nivel mensual observado en el pozo L12-2



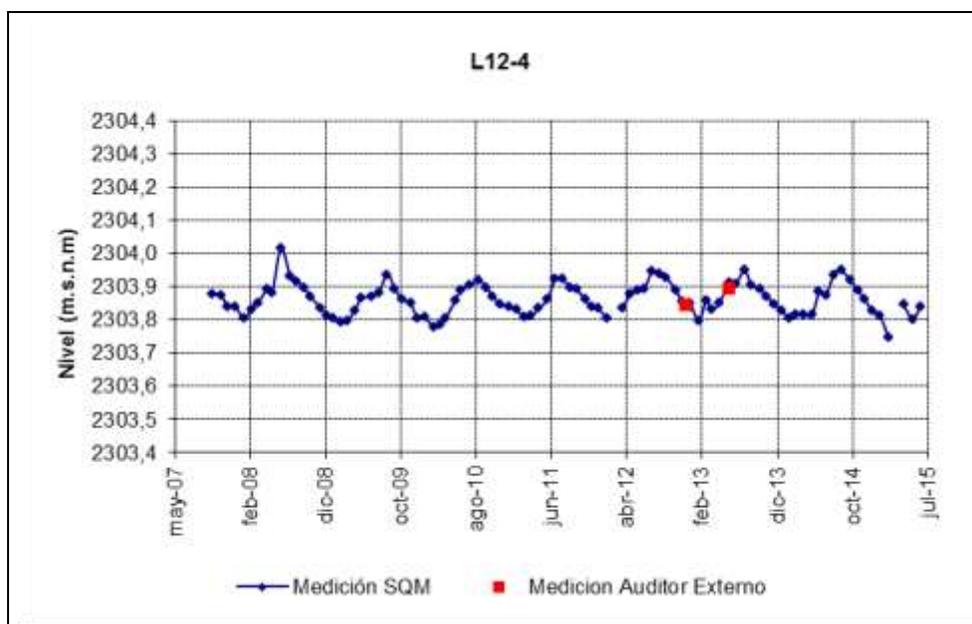
Fuente: Elaboración propia

Figura 5-277: Nivel mensual observado en el pozo L12-3



Fuente: Elaboración propia

Figura 5-278: Nivel mensual observado en el pozo L12-4



Fuente: Elaboración propia

5.3.6 Sistema Núcleo del Salar de Atacama

Los puntos de monitoreo del sistema Núcleo del Salar de Atacama se encuentran entre las coordenadas 7.425.000 a 7.379.000 norte y 547.000 a 588.000 este. En la Figura 5-279 se muestra la distribución geográfica de dichos puntos. En la Tabla 5-17 se indican los puntos de monitoreo del sistema Núcleo del Salar de Atacama, siendo todos clasificados como salmuera. Adicionalmente, se indica el número de página donde se muestra el registro de nivel en formato gráfico.

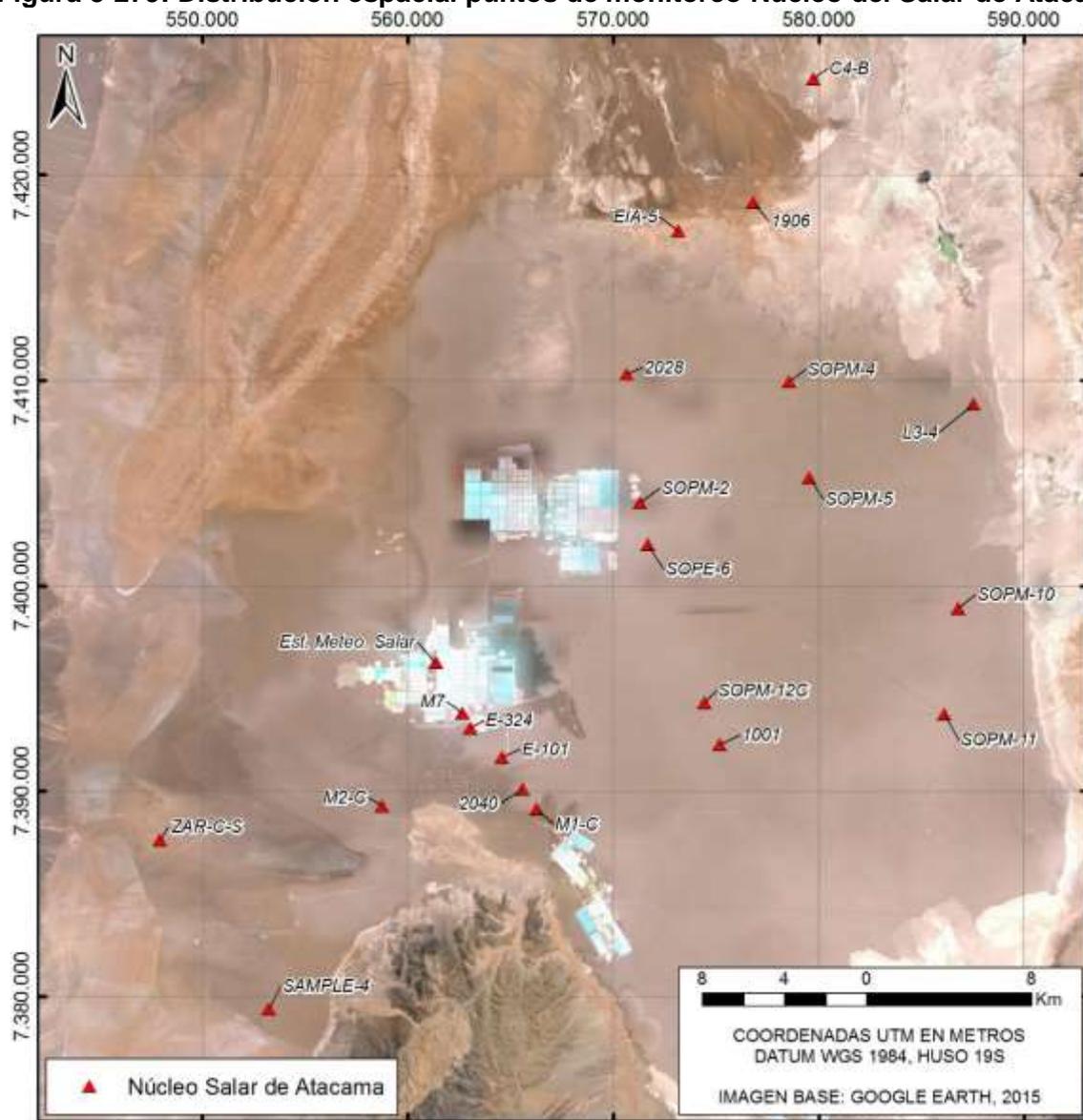
Tabla 5-17: Puntos monitoreo Sistema Núcleo del Salar de Atacama

Punto de Monitoreo	Clasificación	Tipología	Página
1001	Salmuera	Pozo profundo	281
1906	Salmuera	Pozo profundo	281
2028	Salmuera	Pozo profundo	282
2040	Salmuera	Pozo profundo	283
C4-B	Salmuera	Pozo somero	283
M1-C	Salmuera	Pozo profundo	284
M2-C	Salmuera	Pozo profundo	284
M7	Salmuera	Pozo profundo	285
E-101	Salmuera	Pozo profundo	285
E-324	Salmuera	Pozo profundo	286
EIA-5	Salmuera	Pozo profundo	286
Sample-4	Salmuera	Pozo somero	287
SOPE-6	Salmuera	Pozo profundo	287

Punto de Monitoreo	Clasificación	Tipología	Página
SOPM -02	Salmuera	Pozo profundo	288
SOPM -04	Salmuera	Pozo profundo	288
SOPM -05	Salmuera	Pozo profundo	289
SOPM-10	Salmuera	Pozo profundo	289
SOPM -11	Salmuera	Pozo somero	290
SOPM -12C	Salmuera	Pozo profundo	290
Zar-C-S	Salmuera	Pozo somero	291
Estación meteorológica Salar	Salmuera	Estación meteorológica	292

Fuente: Elaboración propia

Figura 5-279: Distribución espacial puntos de monitoreo Núcleo del Salar de Atacama



Fuente: Elaboración propia

5.3.6.1 Nivel de la salmuera subterránea

En esta sección se presenta los niveles de todos los pozos que componen la red de monitoreo del PSAH para el sistema Núcleo del Salar de Atacama.

El pozo SOPM-8 (L3-4) pertenece a la red de monitoreo de los sistemas Aguas de Quelana y Núcleo del Salar de Atacama, por lo cual no se presenta en este subcapítulo, presentándose en el subcapítulo sistema Aguas de Quelana. Su gráfico puede ser consultado en la sección 5.3.2.1.

No se pudo medir los niveles en los pozos SOPM-2 y M-7 en marzo y mayo de 2015 respectivamente. El primero por el mal estado del acceso y el segundo por encontrarse seco. Cabe señalar que las fuertes variaciones de nivel del pozo M7, es producto de que se encuentra dentro del cono de depresión del pozo de bombeo de producción WM-7, el cual se encuentra a 1,5 metros de distancia, lo que genera que el pozo pueda secarse dada su profundidad y el cono de depresión que genera la extracción de salmuera.

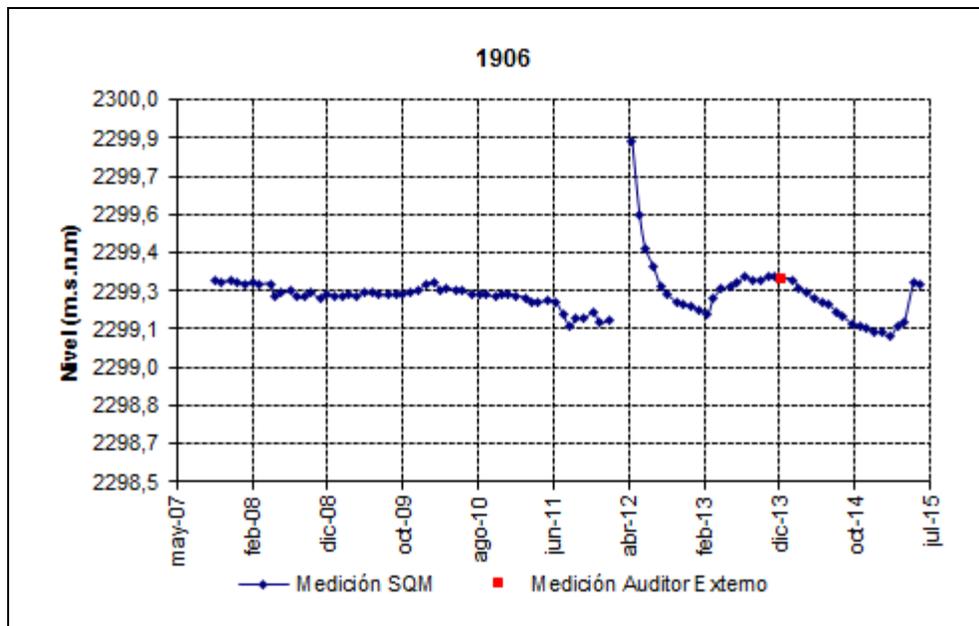
Dentro del periodo correspondiente al presente informe, Arcadis realizó mediciones (junio 2015) en este sistema en los pozos SOPM-10 y SOPM-11.

Figura 5-280: Nivel mensual observado en el pozo 1001



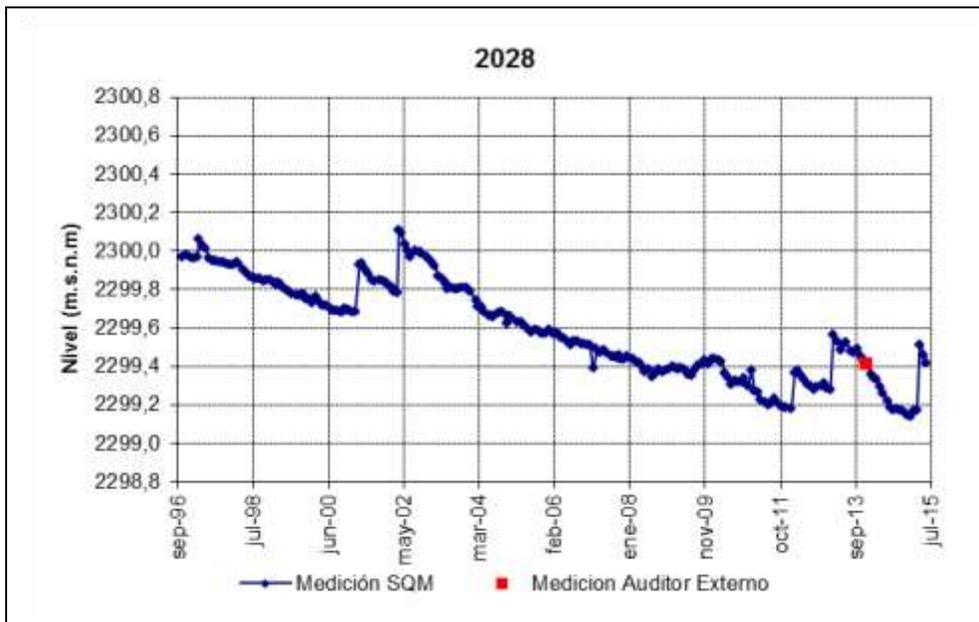
Fuente: Elaboración propia

Figura 5-281: Nivel mensual observado en el pozo 1906



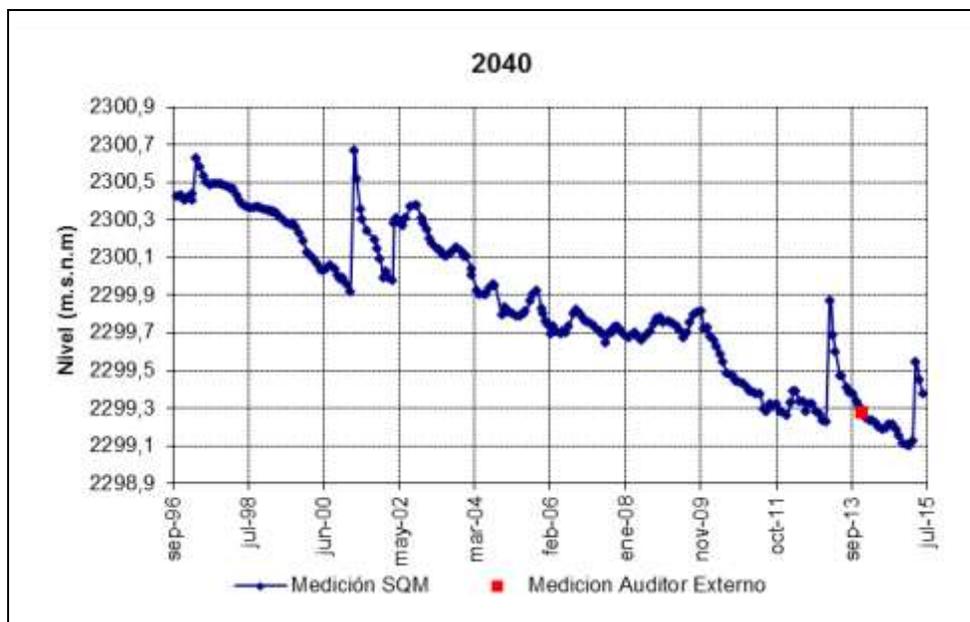
Fuente: Elaboración propia

Figura 5-282: Nivel mensual observado en el pozo 2028



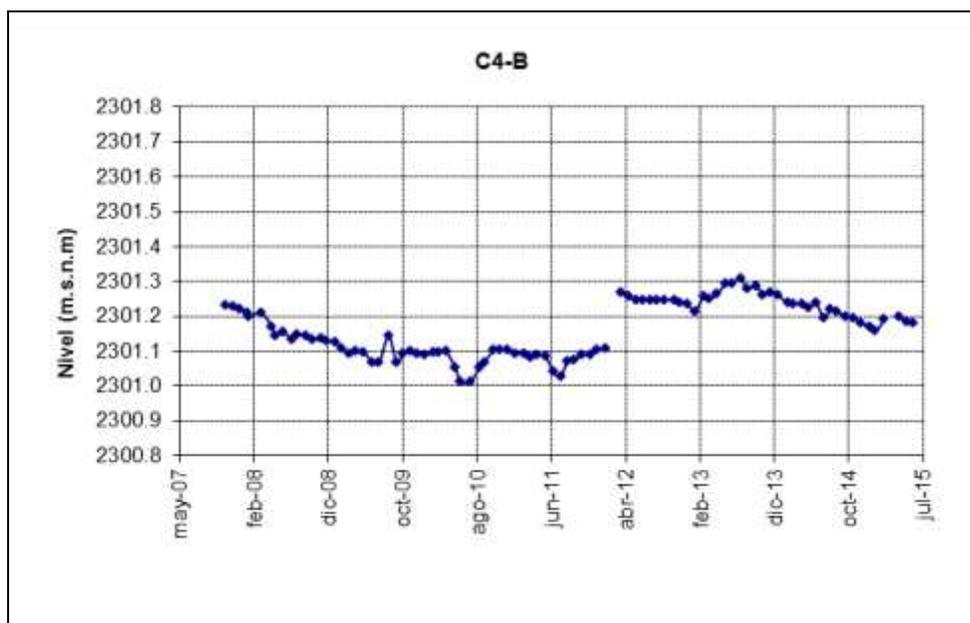
Fuente: Elaboración propia

Figura 5-283: Nivel mensual observado en el pozo 2040



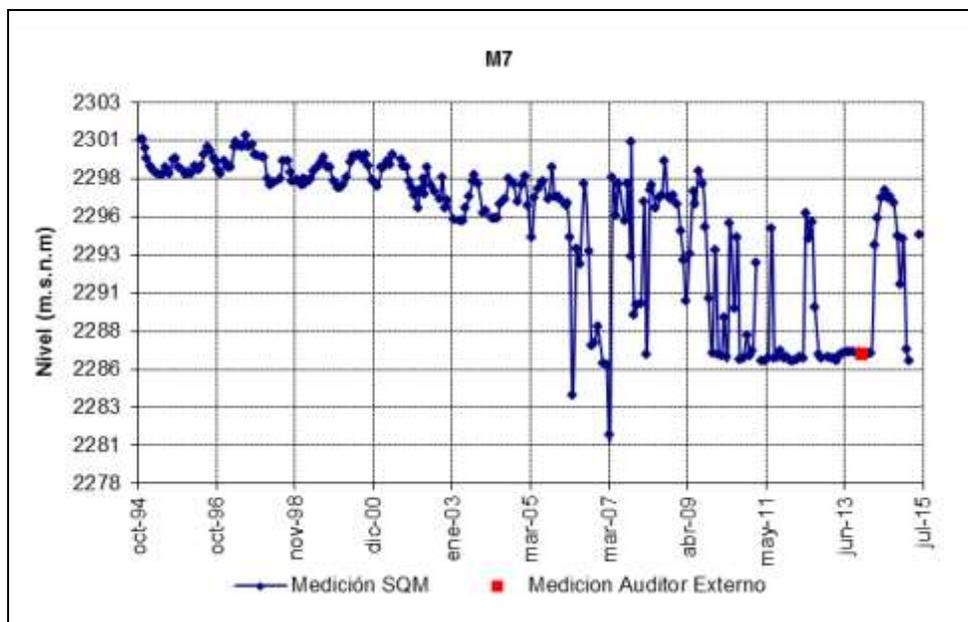
Fuente: Elaboración propia

Figura 5-284: Nivel mensual observado en el pozo C4-B



Fuente: Elaboración propia

Figura 5-287: Nivel mensual observado en el pozo M7



Fuente: Elaboración propia

Figura 5-288: Nivel mensual observado en el pozo E-101

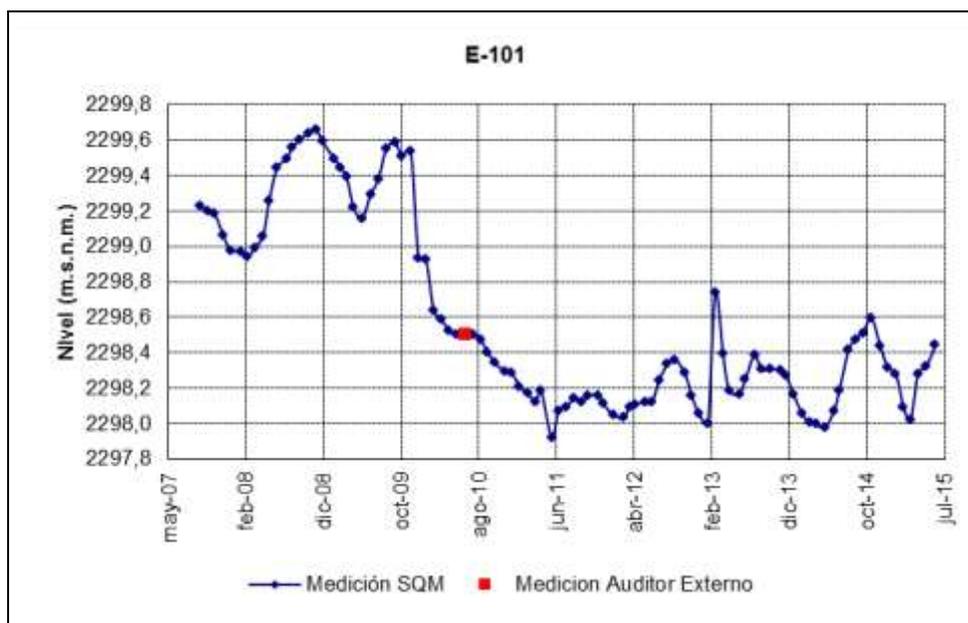
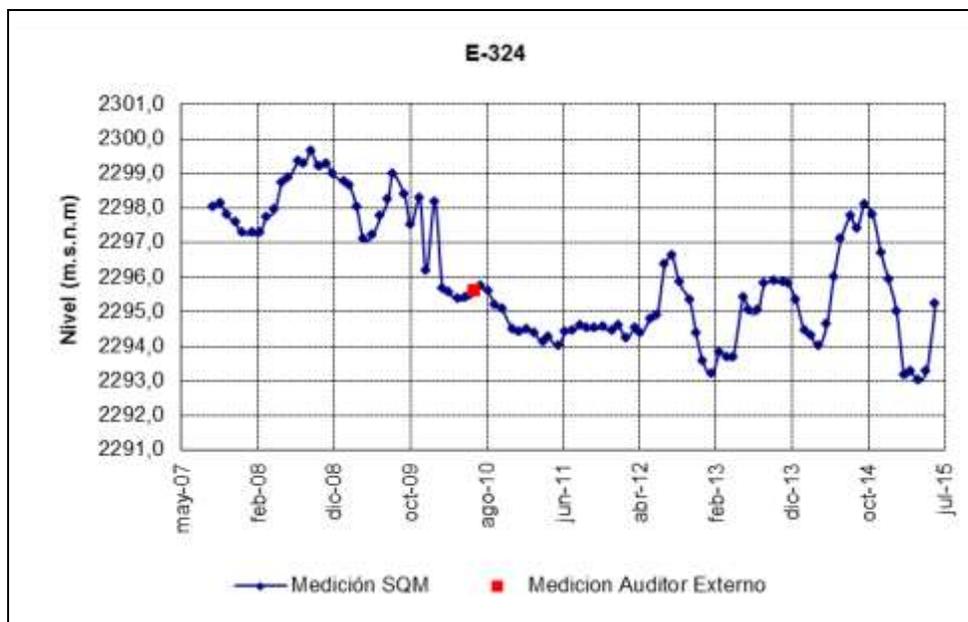


Figura 5-289: Nivel mensual observado en el pozo E-324



Fuente: Elaboración propia

Figura 5-290: Nivel mensual observado en el pozo EIA-5

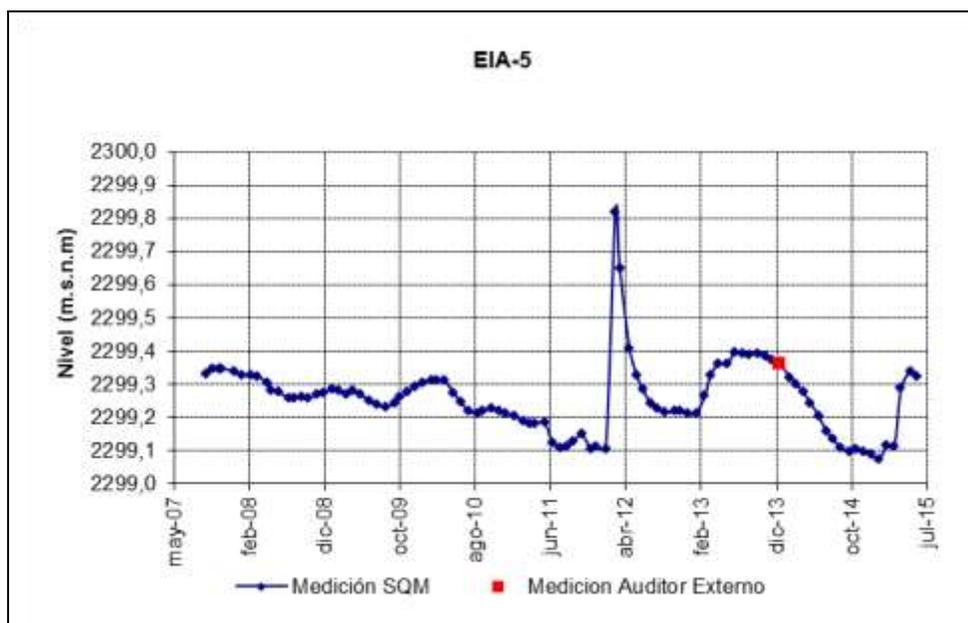
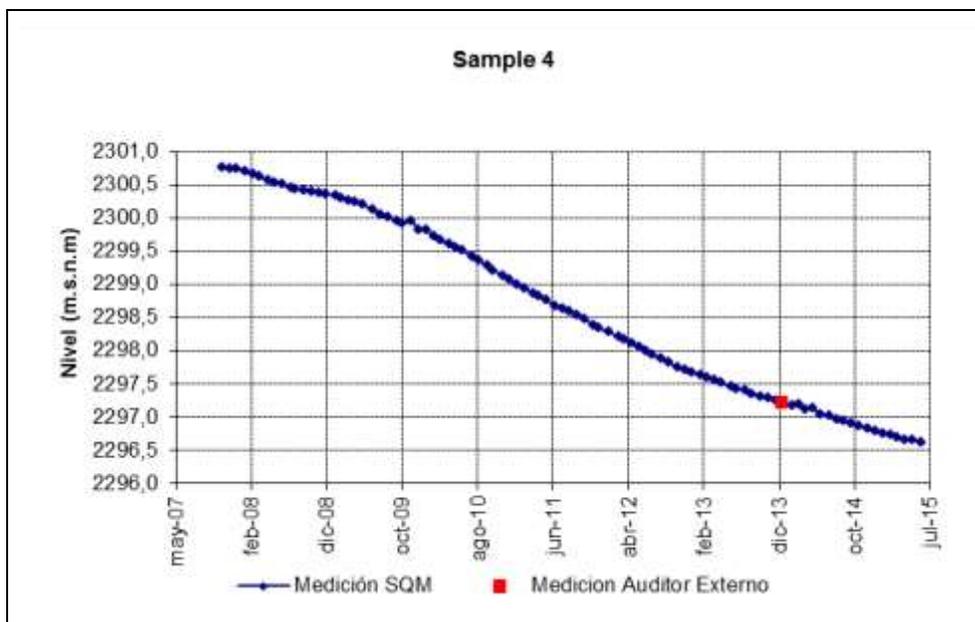
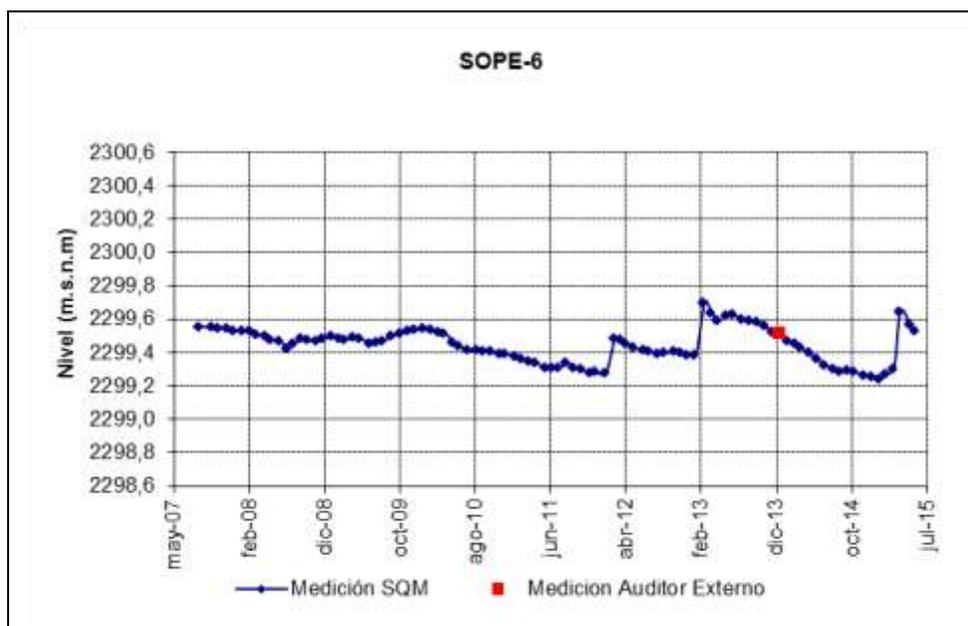


Figura 5-291: Nivel mensual observado en el pozo Sample4



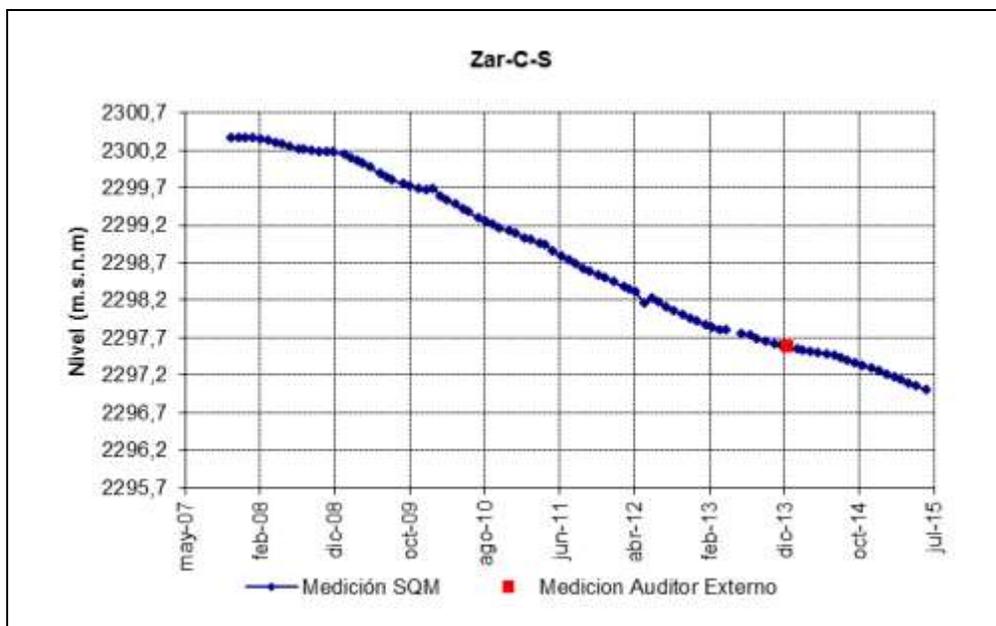
Fuente: Elaboración propia

Figura 5-292: Nivel mensual observado en el pozo SOPE-6



Fuente: Elaboración propia

Figura 5-299: Nivel mensual observado en el pozo Zar-C-S

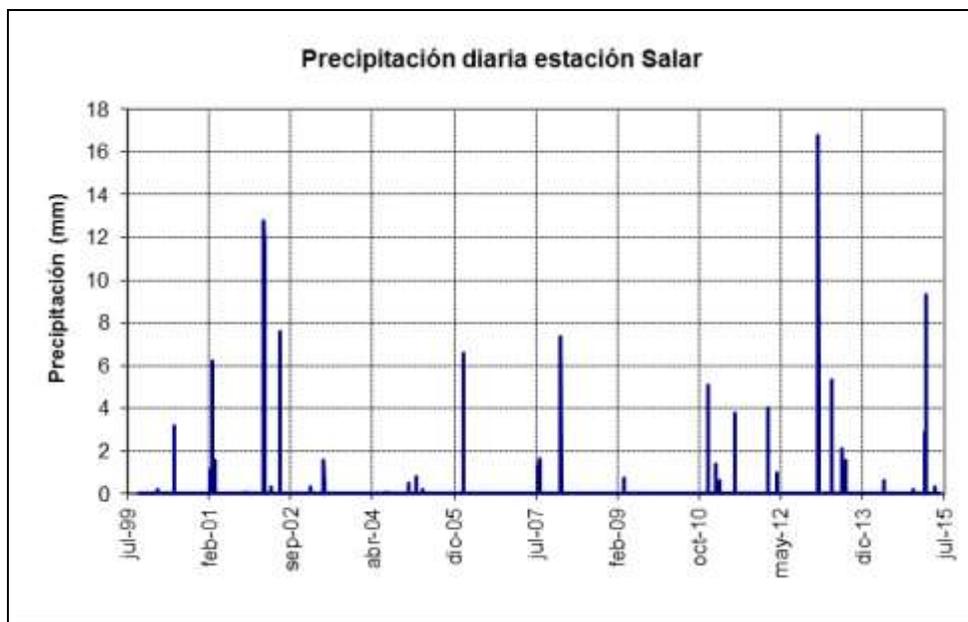


Fuente: Elaboración propia

5.3.6.2 Meteorología

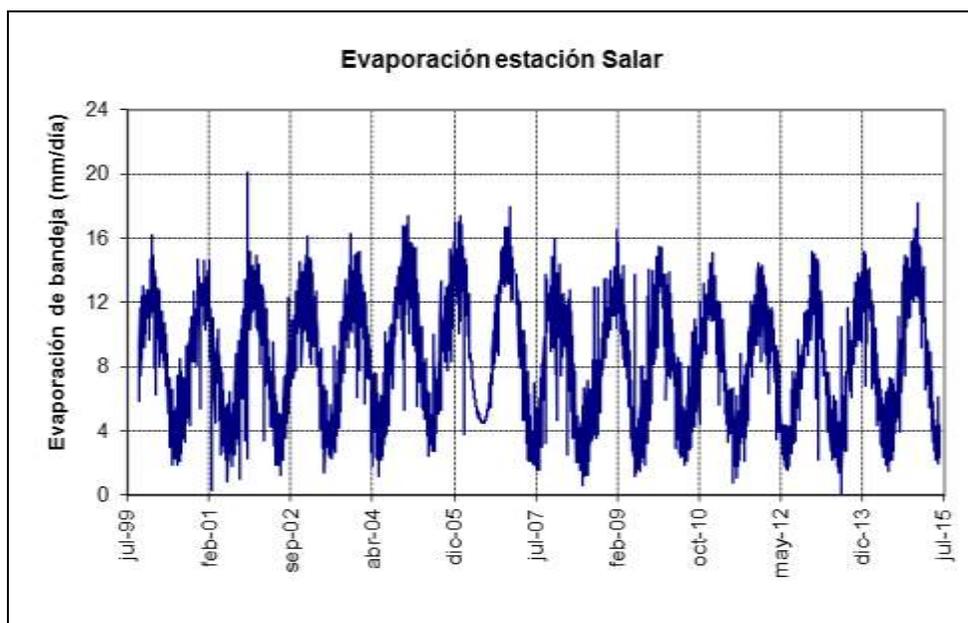
Entre la Figura 5-300 y la Figura 5-303 se presenta las variables registradas por la estación meteorológica Salar.

Figura 5-300: Precipitación diaria registrada en la estación Salar



Fuente: Elaboración propia

Figura 5-301: Evaporación diaria registrada en la estación Salar



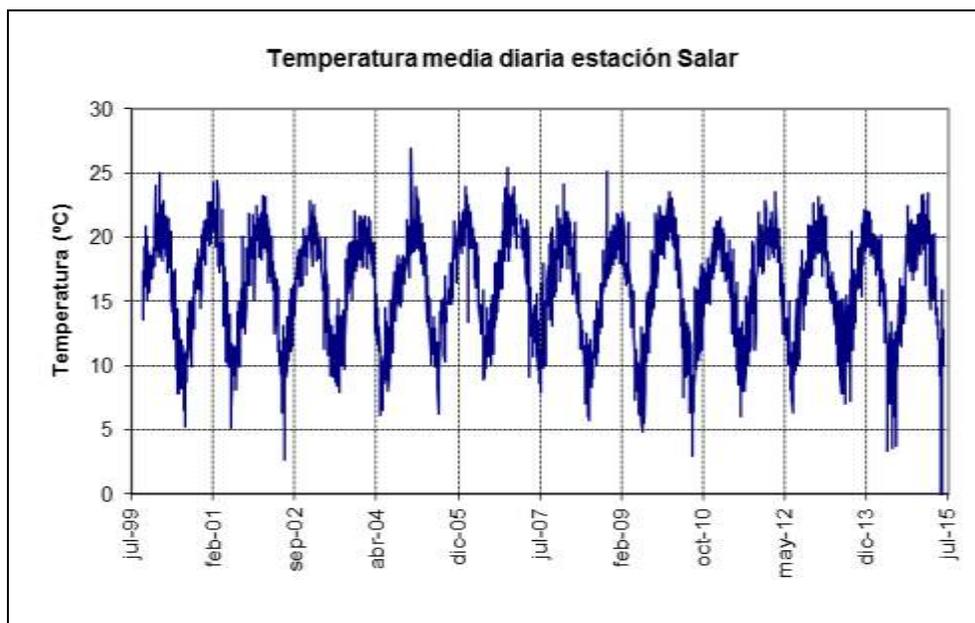
Fuente: Elaboración propia

Figura 5-302: Velocidad del viento diaria registrada en la estación Salar



Fuente: Elaboración propia

Figura 5-303: Temperatura media diaria registrada en la estación Salar

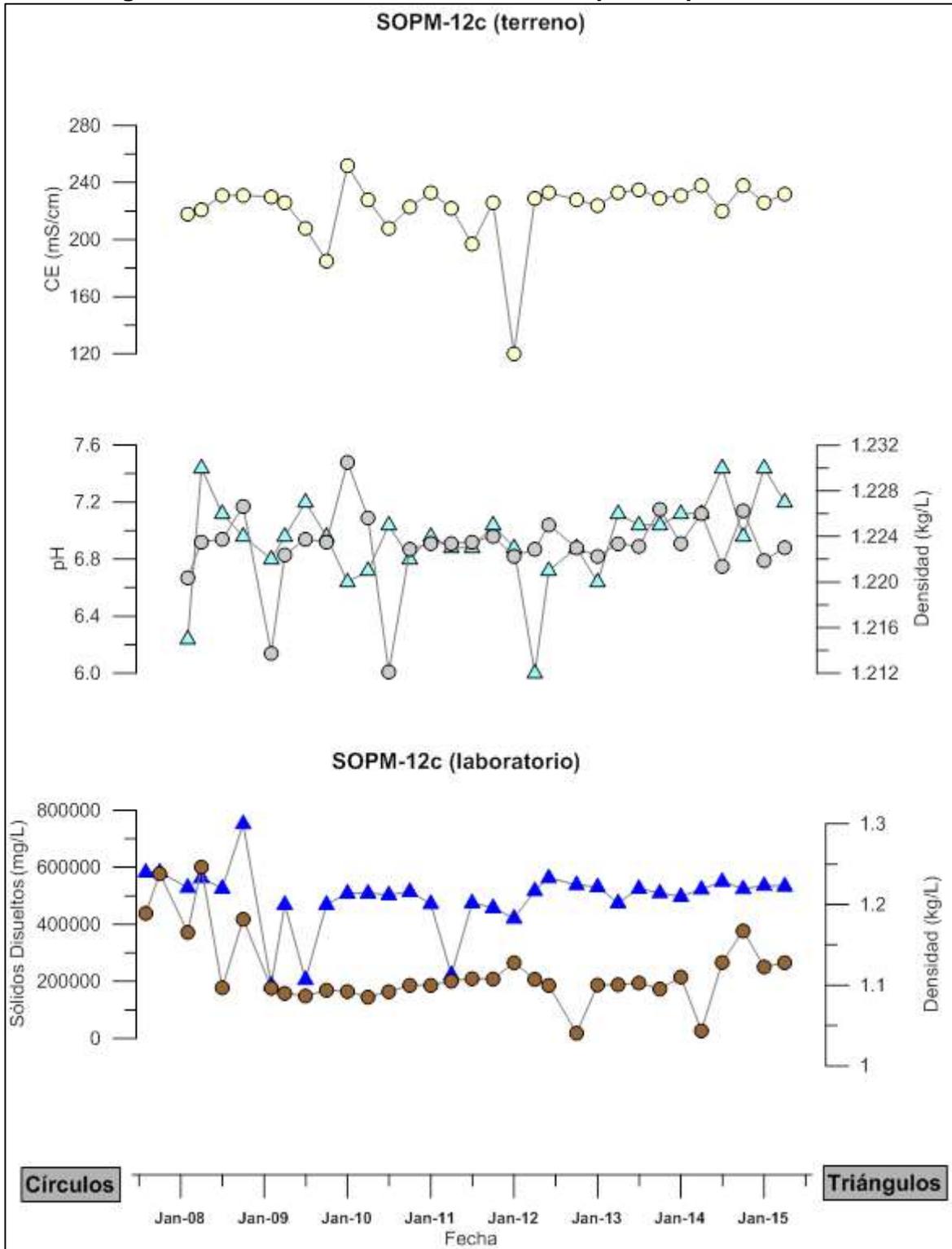


Fuente: Elaboración propia

5.3.6.3 *Calidad química*

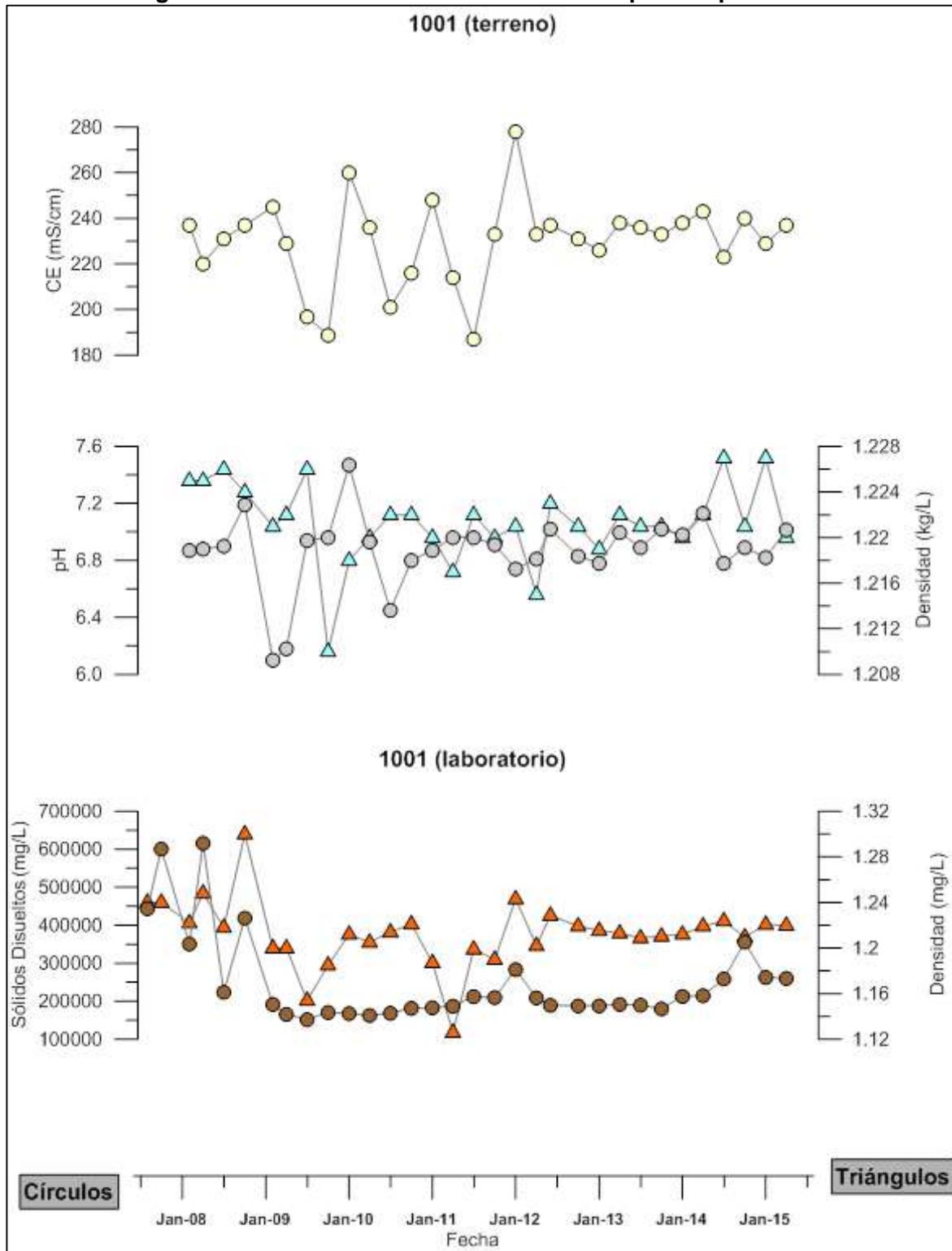
Los pozos existentes que monitorean la calidad del agua subterránea en el sistema Núcleo del Salar de Atacama son SOPM-12C y 1001, las cuales fueron analizadas por el laboratorio ALS Environmental. En el Anexo 3 se adjuntan los informes de los análisis químicos de estos pozos. Los resultados se presentan desde la Figura 5-304 a la Figura 5-305.

Figura 5-304: Resultados de análisis físico-químico pozo SOPM-12c



Fuente: Elaboración propia

Figura 5-305: Resultados de análisis físico-químico pozo 1001



Fuente: Elaboración propia

5.3.7 Sistema Cuña Salina

Los puntos de monitoreo del sistema Cuña Salina se encuentran al este del Salar de Atacama, entre las coordenadas 7.420.000 a 7.381.000 norte y 587.000 a 597.000 este. En la Figura 5-307 se aprecia la distribución geográfica de dichos puntos.

Los pozos que monitorean el sistema Cuña Salina son: L4-3, Cuña 1, Cuña 2, Cuña 3, Cuña 4, Cuña 5, Cuña 6, Cuña 7 y L10-1, cuya profundidad, zona en la que se encuentran y página donde se encuentra el gráfico de nivel se muestran en la Tabla 5-18. El pozo L10-1 es parte del monitoreo de nivel del sistema Peine, razón por la cual sus niveles no se presentan en este subcapítulo, y su gráfico puede ser consultado en la sección 5.3.3.1. Los pozos clasificados como cuña están emplazados íntegramente en la zona marginal.

No fue posible medir el pozo Cuña 7 en febrero de 2015 por restricción de acceso.

Tabla 5-18: Puntos de monitoreo del sistema Cuña Salina

Punto de Monitoreo	Clasificación	Tipología	Profundidad (m)	Página
Cuña 1	Zona marginal	Pozo cuña	22	300 y 302
Cuña 2	Zona marginal	Pozo cuña	24	300 y 302
Cuña 3	Zona marginal	Pozo cuña	140	301 y 302
Cuña 4	Zona marginal	Pozo cuña	95	302y 305
Cuña 5	Zona marginal	Pozo cuña	38	303 y 305
L4-3	Zona marginal	Pozo cuña	95	304 y 305
Cuña 6	Zona marginal	Pozo cuña	122	305 y 307
Cuña 7	Zona marginal	Pozo cuña	42	306y 307
L10-1	Zona marginal	Pozo cuña	162	234 y 307

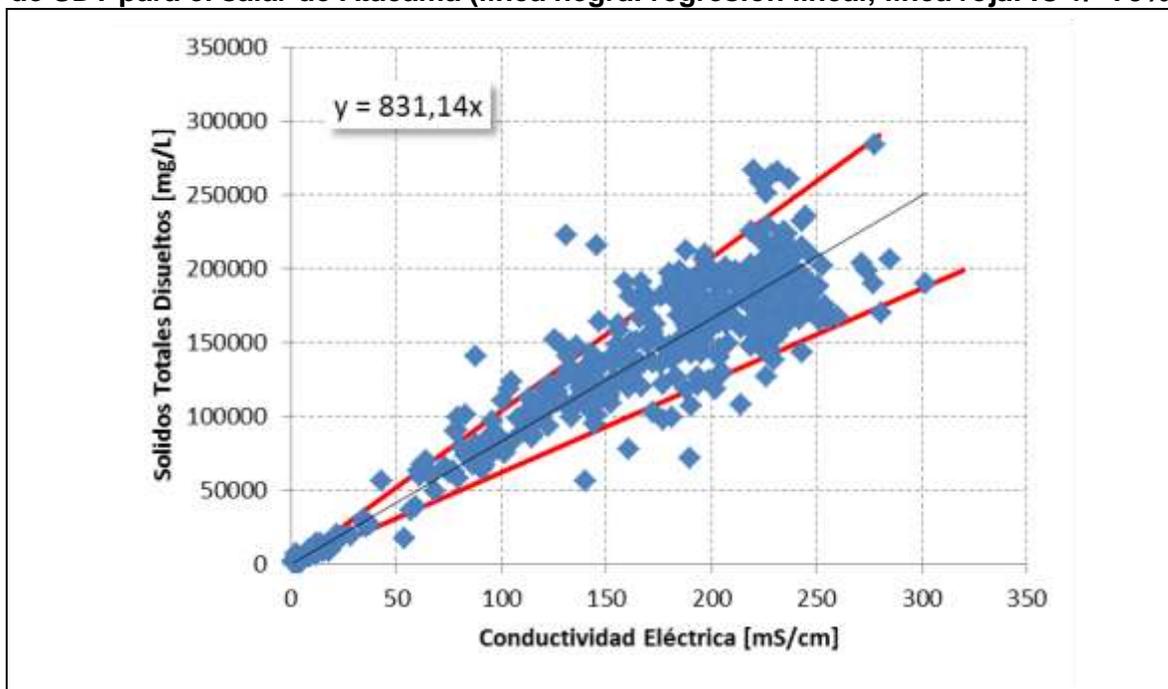
Fuente: Elaboración propia

Tal como se señaló en el capítulo de descripción de la zona de estudio, el sistema Cuña Salina presenta la particularidad de estar conformado por un acuífero superior de agua dulce proveniente de las zonas de recarga ubicadas al oriente del salar y un acuífero inferior denominado cuña salina que se adentra por debajo del acuífero de agua dulce, por lo que un pozo que esté ubicado en este sector puede atravesar ambas zonas.

Para efectos de simplificar el análisis y definir los límites de ambos sectores se ha utilizado el criterio presentado por Fetter (2001) para clasificar aguas de acuerdo a su salinidad. Cabe señalar que para la primera categoría (agua dulce), se modificó la clasificación propuesta por Fetter, de modo de adoptar la recomendación propuesta para zonas áridas, que considera como límite superior 3.000 mg/L de sólidos disueltos totales (SDT) para dicha categoría (Tabla 5-19). Adicionalmente, para efectos de mejorar la presentación de los resultados en los gráficos, se unieron las categorías intermedias entre agua fresca y salmuera, de manera de generar una zona de transición (Tabla 5-20). Los valores utilizados se presentan además expresados en unidades de conductividad eléctrica en la Tabla 5-20, en base a la relación empírica de la Figura 5-306.

El monitoreo del sistema Cuña Salina se realiza a través de la medición de la conductividad eléctrica del agua subterránea. Para expresar estas mediciones en términos de sólidos disueltos totales, se utilizó una curva construida en base a mediciones realizadas en el salar de Atacama y que se aprecia en la Figura 5-306.

Figura 5-306: Relación empírica entre la CE del agua subterránea y la concentración de SDT para el salar de Atacama (línea negra: regresión lineal; línea roja: IC +/- 75%)



Fuente: Elaboración propia

Tabla 5-19: Criterios de clasificación de agua de acuerdo a salinidad en unidad de SDT

Fetter		Fetter Modificado	
Categoría	Rango SDT [mg/L]	Categoría	Rango SDT [mg/L]
Agua fresca	0-1.000	Agua fresca	0-3.000
Aguas salobres	1.000-10.000	Zona de transición	3.000-100.000
Aguas saladas	10.000-100.000		
Salmuera	>100.000	Salmuera	>100.000

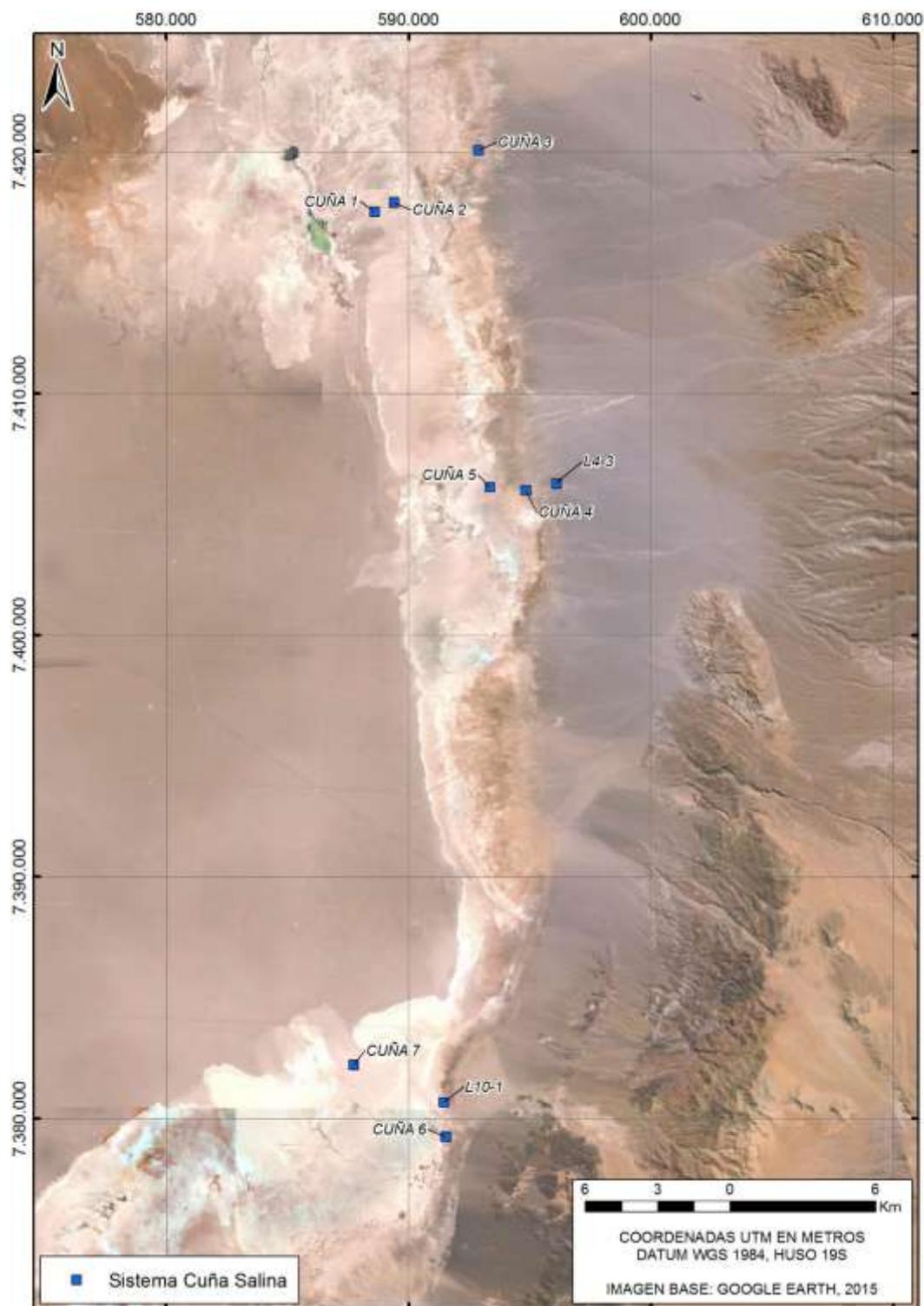
Fuente: Fetter, C.W. 2001 *Applied Hydrogeology 4th Edition*. Prentice Hall

Tabla 5-20: Criterios de clasificación de agua de acuerdo a salinidad en unidad de CE

Categoría	Rango [mS/cm]
Agua fresca	0 – 3,6
Zona de transición	3,6 – 120,3
Salmuera	> 120,3

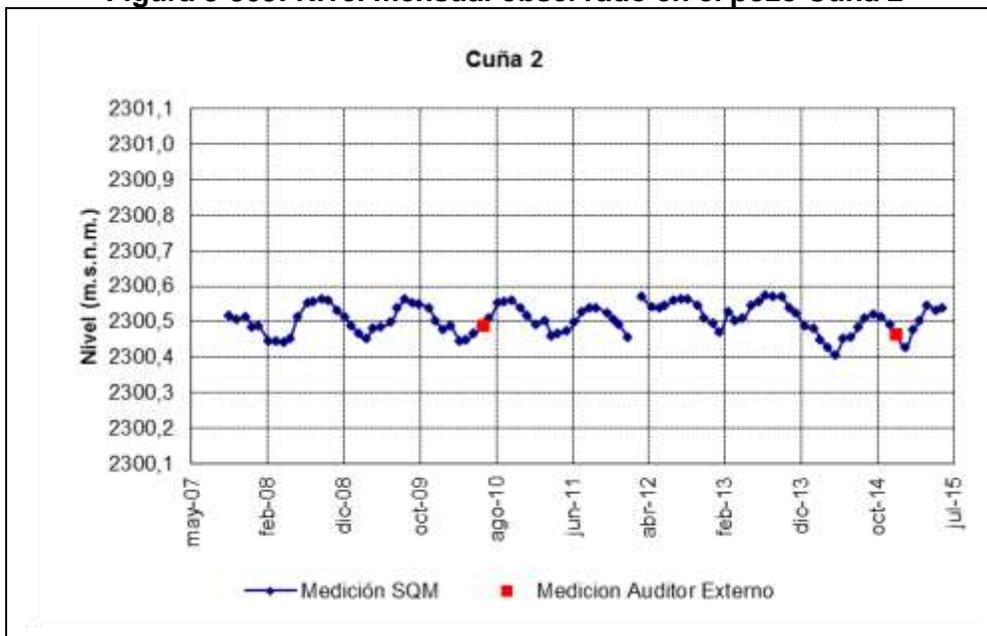
Fuente: Elaboración propia

Figura 5-307. Distribución geográfica puntos de monitoreo del sistema Cuña Salina.



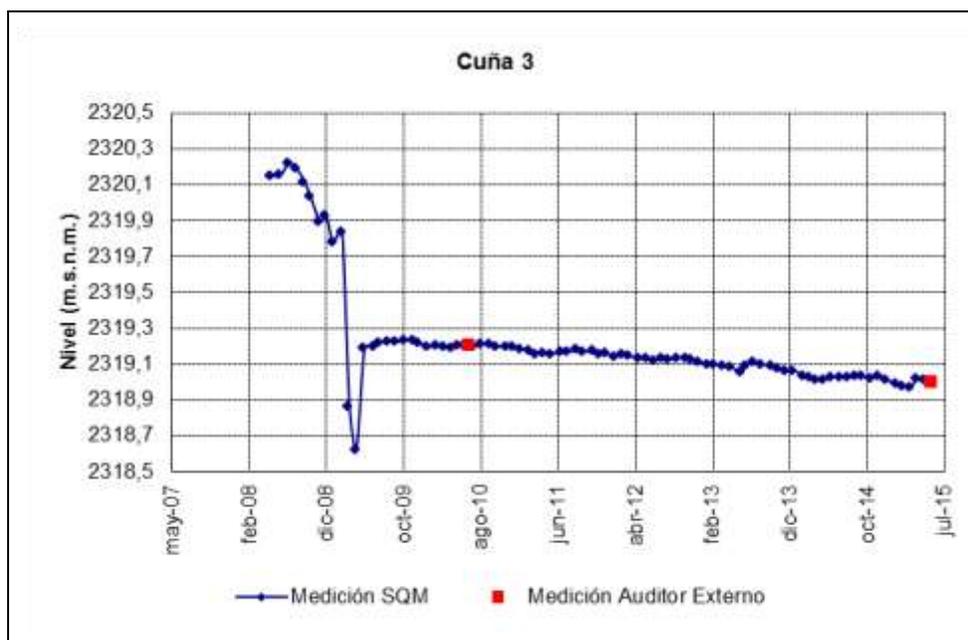
Fuente: Elaboración propia

Figura 5-309: Nivel mensual observado en el pozo Cuña 2



Fuente: Elaboración propia

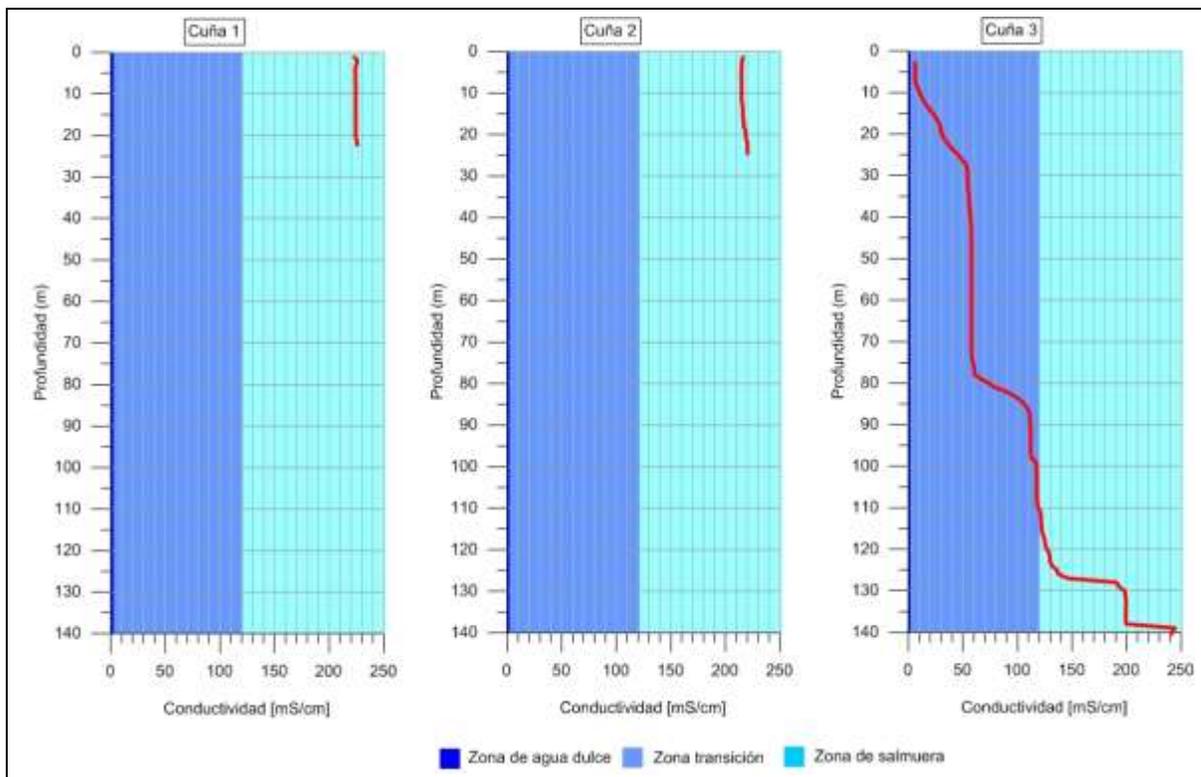
Figura 5-310: Nivel mensual observado en el pozo Cuña 3



Fuente: Elaboración propia

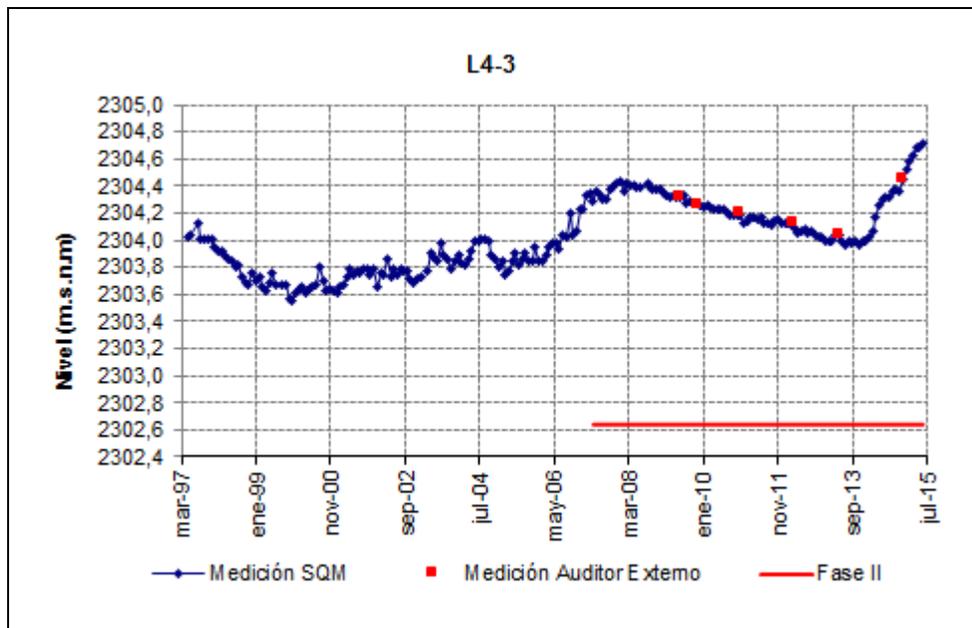
La Figura 5-311 presenta los perfiles de conductividad eléctrica para los pozos Cuña 1, Cuña 2 y Cuña 3. Se aprecia que el pozo Cuña 1 y Cuña 2 se ubican totalmente dentro de la zona de salmuera y el pozo Cuña 3 inicialmente se encuentra en la zona de transición (hasta los 110 m de profundidad aprox.) para luego ubicarse dentro de la zona de salmuera.

Figura 5-311: Perfil de conductividad eléctrica y representación gráfica de cuña salina en los pozos Cuña 1, Cuña 2 y Cuña 3 a Junio 2015



Fuente: Elaboración propia

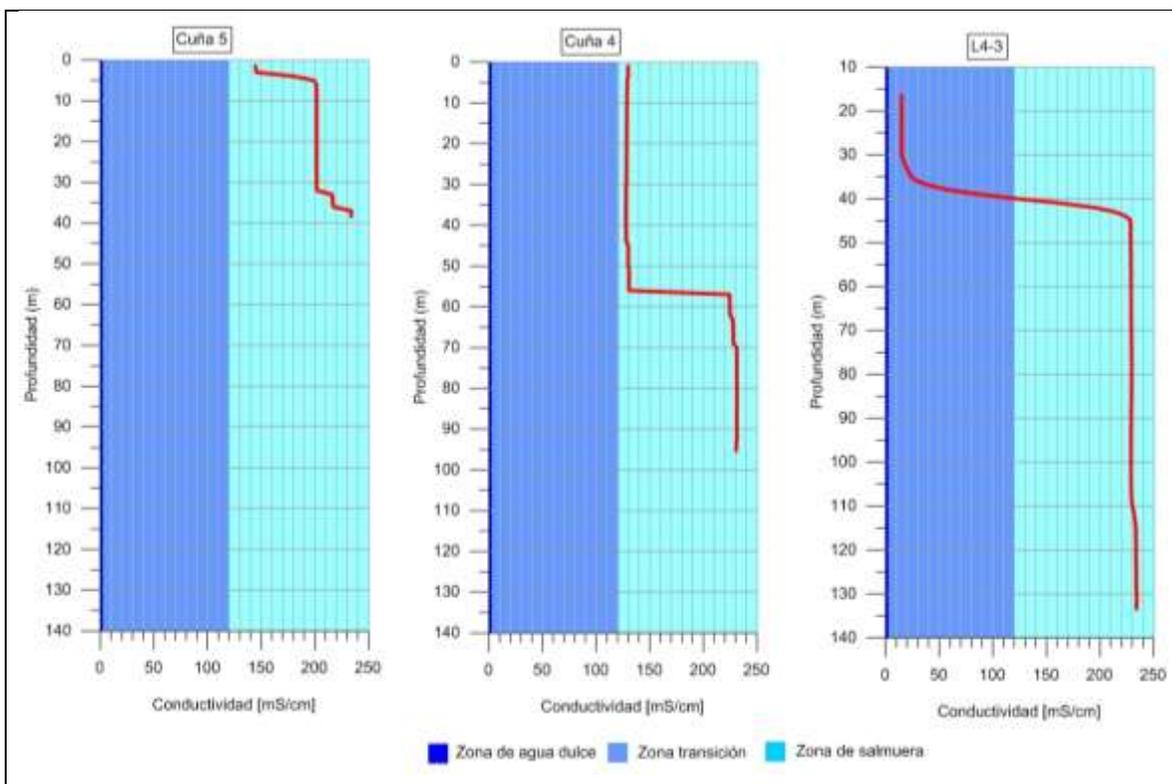
Figura 5-314: Nivel mensual observado en el pozo L4-3



bFuente: Elaboración propia

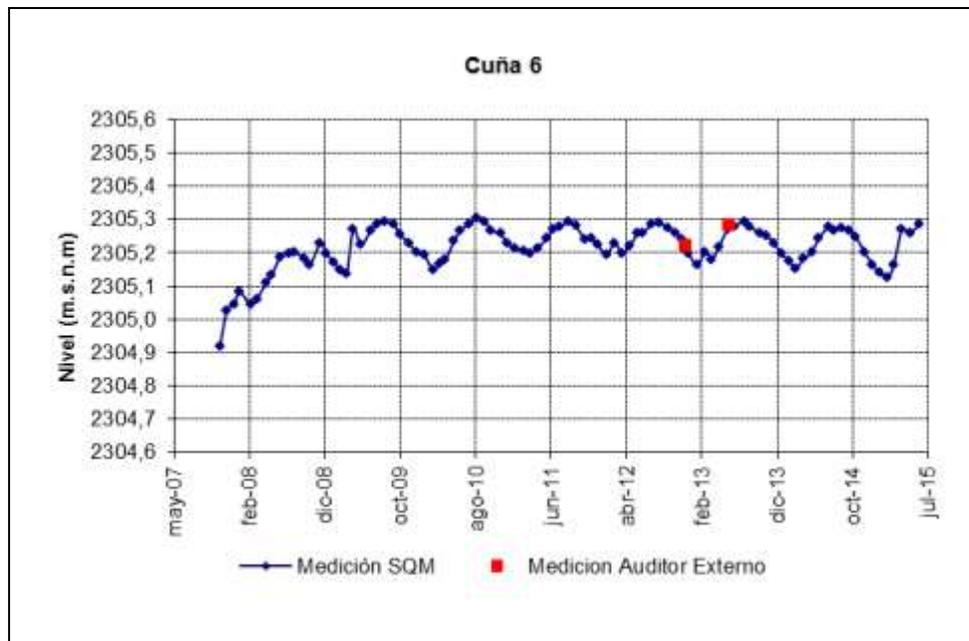
La Figura 5-315 presenta los perfiles de conductividad eléctrica para los pozos Cuña 4, Cuña 5 y L4-3. Se aprecia que el pozo Cuña 4 y Cuña 5 se ubican totalmente dentro de la zona de salmuera y el pozo L4-3 inicialmente se encuentra en la zona de transición (hasta los 39 m de profundidad aprox.) para luego ubicarse dentro de la zona de salmuera.

Figura 5-315. Perfil de conductividad eléctrica y representación gráfica de cuña salina para los pozos Cuña 5, Cuña 4 y L4-3 a Junio 2015



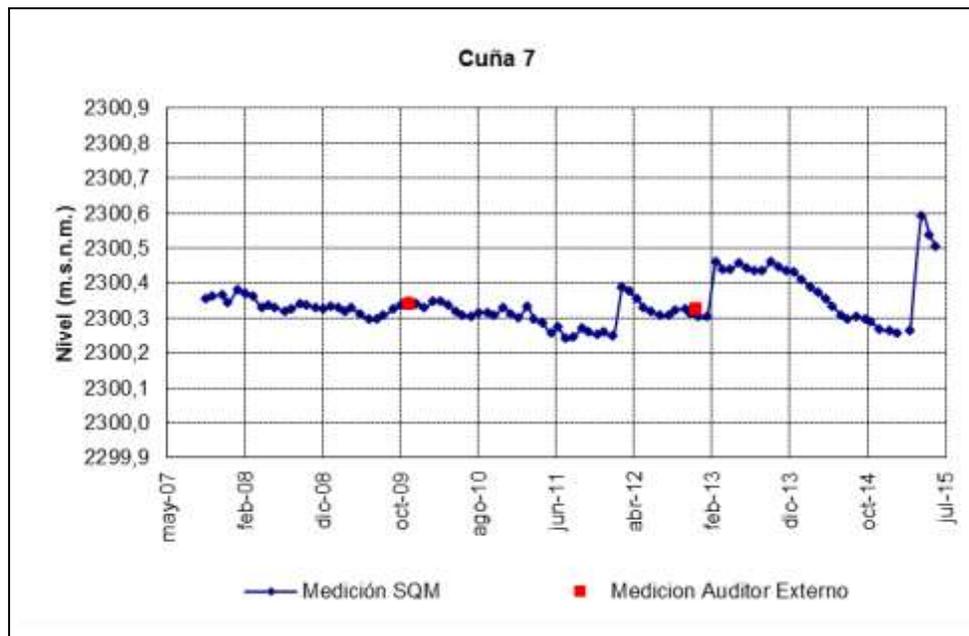
Fuente: Elaboración propia

Figura 5-316. Nivel mensual observado en el pozo Cuña 6



Fuente: Elaboración propia

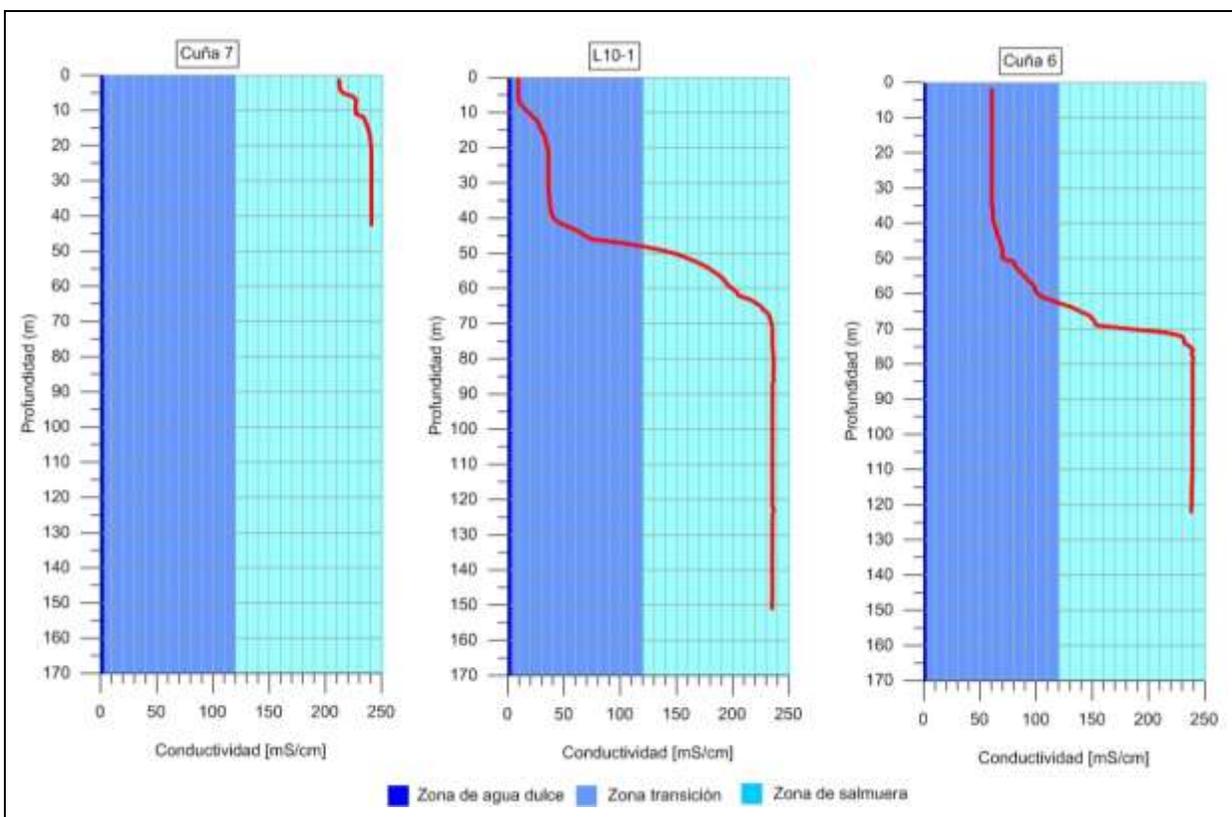
Figura 5-317: Nivel mensual observado en el pozo Cuña 7



Fuente: Elaboración propia

La Figura 5-318 presenta los perfiles de conductividad eléctrica de los pozos Cuña 6, Cuña 7 y L10-1. El pozo Cuña 7 se encuentra ubicado en la zona de salmuera a lo largo de toda su extensión, mientras que el pozo Cuña L10-1 se extiende por la zona de transición hasta los 48 m, luego de lo cual se supera el umbral de 120,3 mS/cm que define la zona de salmuera por los 103 metros restantes. En el pozo Cuña 6 la zona de transición se extiende hasta los 62 metros aproximadamente, mientras que en profundidades mayores se detectó la zona de salmuera, llegando a una profundidad de 122 m.

Figura 5-318. Perfil de conductividad eléctrica y representación gráfica de cuña salina para los pozos Cuña 7, L10-1 y Cuña 6 a Junio 2015



Fuente: Elaboración propia

6 DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En este apartado de discusión se comenta el comportamiento de los parámetros ambientales presentados en el capítulo anterior y se ponen en contexto con el medio en que se sitúan los cuerpos de agua a los que representan, lo que se realiza de forma separada para cada sistema.

6.1 SISTEMA SONCOR

6.1.1 Niveles de agua subterránea

6.1.1.1 Pozos en zona aluvial

En Septiembre de 2008, los pozos Mullay 1 y Allana comenzaron la extracción de agua industrial, lo que produjo un cambio en el comportamiento histórico de algunos pozos de la zona aluvial. Los pozos L1-1, L1-2, L2-2 y L2-3 muestran un descenso que concuerda con el inicio del bombeo de los pozos de extracción de esta zona. En aquellos pozos más cercanos a las zonas de bombeo de agua industrial (L1-1, L2-2), el descenso es claro, sin embargo aquellos pozos más lejanos de la zona de bombeo de agua industrial muestran un efecto mínimo como son el caso de los pozos L1-3 y L2-7. Para aquellos que están aguas abajo de los pozos de bombeo de agua industrial la afección es nula (L7-14, L2-25, pertenecientes al monitoreo del sistema Vegetación Borde Este). Los pozos L7-1 y L7-2 ubicados al norte del pozo Mullay, presentan efectos del bombeo con un desfase aproximado de 15 meses.

Durante el primer semestre de 2015 se observa cómo los niveles continúan con una tendencia de leve descenso, en los pozos de observación L1-1, L1-2, L2-2, L2-3, L2-7, L7-1, L7-2 y L7-6. De forma general se observa cómo en la última medición del primer semestre de 2015 hay un ascenso de los niveles que se hace más notorio en los pozos L1-1, L2-2, L2-3 y L7-1. En los pozos de bombeo de agua industrial Mullay 1 y Allana el nivel dinámico presenta una tendencia a la estabilización durante el primer semestre de 2015.

Los efectos del bombeo se observan con tasas de descenso mayores en los pozos más cercanos a la extracción, estos descensos se detienen e incluso se recuperan en los eventos de precipitación importantes registrados en los veranos de los años 2012, 2013 y 2015. Los episodios de precipitación y el rápido efecto de recuperación de los pozos pone de manifiesto un rápido efecto de la recarga por infiltración de la lluvia. Asimismo a medida que el monitoreo se acerca hacia la zona marginal el efecto es prácticamente nulo y se observa una tendencia estable, lo que es un comportamiento esperado dado el efecto de la cuña salina que independiza el comportamiento del acuífero del borde este con los acuíferos que se encuentran en la zona marginal.

6.1.1.2 Pozos en zona marginal

De igual forma que en la zona aluvial los pozos más cercanos a los pozos de bombeo de agua industrial tienen como respuesta una tasa de descenso mayor en cuanto aumenta su proximidad con la zona de extracción. Este descenso se paraliza e incluso se recupera cuando ocurren precipitaciones importantes como en los veranos de los años 2012, 2013 y 2015. Por el contrario durante el año 2014, la ausencia de precipitaciones significativas se traduce en una disminución continua de los niveles. En los pozos 1027, L1-13, L2-4, L2-10, L1-11, L7-3, L7-4 y L7-7 no presentan una afectación directa en sus niveles a consecuencia de los bombeos, el comportamiento de éstos es estacional. Aunque la falta de precipitaciones de 2014 también muestra un leve descenso en alguno de ellos en su registro.

Se observa que durante el primer y segundo semestre del año 2014 los niveles recuperaron la tendencia observada previo al aumento observado en los veranos de 2012 y 2013, los que disminuyen de acuerdo a una tasa de descenso similar a la observada previo a estos periodos. Este comportamiento se observa claramente en los pozos GD-01, RC-5, RC-7, L1-12, L1-14, L2-11, L2-12, L2-13, L2-17, L2-18, L2-19 y L2-22.

Los pozos ubicados al noreste y cercanos al límite con el sistema borde este (1027, L7-3, L7-4 y L7-7) sólo presentan un comportamiento estacional propio de este sistema, sin variaciones similares a los comentados anteriormente en el inicio de los años 2012 y 2013. Sin embargo, se observa un leve descenso de los niveles a nivel histórico, el cual se mantiene durante el segundo semestre 2014. De manera particular, se observa en los pozos 1027 y L7-7 durante abril de 2014 el nivel observado es el más bajo del registro histórico, con niveles que alcanzan los 2.306,97 y 2.303,17 msnm (datum WGS 84), respectivamente, los cuales descienden en alrededor de 14 cm para el pozo 1027 y 4 cm para el pozo L7-7, respecto del promedio histórico observado, sin embargo su valor estacional máximo, se mantiene conforme al registro histórico.

En el primer semestre del año 2015 se observa un incremento general de los niveles, aumentando la cota de éstos como mínimo hasta valores registrados el año anterior.

Para el caso de los pozos con medición continua que se ubican en la zona marginal, de manera general se aprecia que durante el segundo semestre de 2014 los niveles comienzan a recuperar los valores previos a los registrados en los aumentos de los años 2012 y 2013. En los pozos P1-5, P1-6 y P1-7 el comportamiento estacional característico de comienzos del año 2007 a 2013, no se observa claramente durante 2014. Sin embargo, los pozos ubicados al sur de la zona lagunar y más cercanos al borde este (L2-9, P2-1, P2-23, P2-3, P2-16, P2-4, P2-5 y L2-23), presentan el comportamiento oscilatorio característico de estos pozos desde el 2007 a 2014.

En el primer semestre de 2015 los niveles de agua de los pozos con medición continua de nivel presentan un aumento de la cota a partir de febrero-marzo de 2015. El nivel de agua recupera los valores próximos a los máximos de las oscilaciones históricas.

6.1.1.3 Pozos en zona del núcleo

El registro histórico de los pozos de salmuera muestra un comportamiento en que se presentan aumentos de nivel abruptos entremedio tendencias de descenso constantes. Entre 2002 y 2011 hay una tendencia continua descendente que finaliza a principio del 2012, a partir de este año se recupera la tendencia anterior oscilatoria pero con un rango de variación situado a menor cota.

6.1.2 Niveles de agua superficial

La cota de agua de los niveles superficiales registrados en las reglillas presentan una variación con un comportamiento similar al comentado en los pozos de la zona aluvial y marginal. El comportamiento de estos niveles de agua superficial tiene una clara componente estacional con una tendencia general al descenso producto de la extracción mediante bombeo. De igual forma este descenso se frena y/o retrocede con los eventos de precipitación importantes.

La sintonía entre el nivel del agua subterránea observada en los pozos con los niveles de agua superficial confirman la íntima relación entre estos dos cuerpos de agua.

Durante el año 2014 no se observa el efecto estacional en la reglilla L1-G4 observado en la época invernal desde el año 2007 al 2013. Se aprecia un descenso continuado de los niveles, sin embargo, a partir de marzo de 2015 el nivel aumenta hasta máximos observados en los años anteriores.

En el primer semestre de 2015 el nivel de agua en la reglilla L1-G4 aumenta el nivel recuperando la oscilación de estacionalidad observada en el registro histórico.

En la reglilla L7-G1 (Figura 5-65) se observa un comportamiento oscilatorio estacional desde el invierno del año 2009, el cual se mantiene al segundo semestre del año 2014. Los niveles, en términos generales, se mantienen constantes sin observarse incrementos y descensos importantes que sobresalgan respecto de la situación a nivel regional.

En el primer semestre de 2015 se observa en la reglilla L7-G1 un aumento del nivel de agua con valores superiores a los últimos 9 años.

Los niveles observados en esta reglilla L7-G2 han permanecido prácticamente constantes desde el año 2001 hasta el primer semestre de 2015.

En la reglilla del Puente San Luis, se aprecia que los niveles durante el año 2014 y primer semestre de 2015 vuelven a tener la tendencia oscilatoria previa al episodio de febrero 2012, en donde los niveles disminuyeron producto de la rotura del muro de represamiento de la estación de aforo del mismo nombre provocado por las lluvias. Para mayor detalle, esto se encuentra mencionado en informes N°11, N°12, N°13 y N°14 del PSAH.

En la reglilla Burro Muerto se observa que los niveles permanecen constantes desde el segundo semestre del año 2007 al primer semestre de 2015.

De la misma manera se observa en la reglilla L11-G1 que los niveles se mantienen constantes desde comienzo de las mediciones (noviembre 2007) hasta el primer semestre del año 2014. A fines del 2014 (noviembre y diciembre) se observa un descenso de los niveles respecto del comportamiento general. A diciembre 2014 se observó un descenso de 13,4 cm, respecto de lo observado en el mismo mes del año anterior. Durante el primer semestre de 2015 los niveles en la reglilla L11-G1 muestran un incremento recuperando valores anteriores al descenso de finales de 2014 y con una tendencia a la estabilización en los últimos registros.

6.1.3 Evolución del nivel y superficie lacustre

En las reglillas se observa un comportamiento estacional claro que es más leve en la reglilla Puilar, donde los máximos y mínimos de la sinusoide son menos pronunciados. Se observa además, que las mediciones continuas no son tan concordantes con las mediciones manuales realizadas por SQM y CONAF, esto debido a que las mediciones manuales pueden verse afectadas por el viento en el momento de la medición, no obstante lo anterior, la medición realizada por el auditor externo es coincidente con la de SQM.

Las lagunas monitoreadas de este sector presenta una evolución en su superficie estable, la laguna Chaxa presenta a partir del 2013 una reducción en la superficie medida por CONAF que llega a una máximo del 15%. Este hecho se contradice con los valores de nivel registrados en la reglilla situada en la misma laguna y el área obtenida de la imagen satelital y topografía poniendo de manifiesto que la metodología utilizada por CONAF, estacas perimetrales, debe ser revisada a la luz de los antecedentes que se tienen, ya que la medición de imagen satelital y por topografía son más exactas. Es probable que se haya modificado la metodología de CONAF para realizar mediciones que fueran consistentes con la medición de imágenes satelitales ya que los resultados de ambas metodologías son consistentes a contar del año 2014.

Para el caso de la laguna Barros Negros, las mediciones se encuentran dentro de valores similares ente la imagen satelital y las estacas perimetrales, sin embargo existe variabilidad en las mediciones de las áreas aledañas. Para el caso de laguna Puilar el valor medido con imágenes satelitales es 2 veces lo medido mediante estacas perimetrales, ya que como se señaló anteriormente la medición que realiza CONAF sólo corresponde a la superficie del canal de aporte.

Durante el primer semestre de 2015 correspondió realizar la medición de la superficie lacustre utilizando el método de topografía, obteniéndose resultados consistentes con el método de imágenes satelitales, lo que valida esta última medición.

6.1.4 Meteorología

Como se aprecia en los resultados de las mediciones presentados en la Figura 5-101, desde enero de 2005 no se habían registrado precipitaciones que sobrepasaran los 5 mm, sin embargo, a partir del 2011 se han incrementado las precipitaciones. Cabe señalar que durante el segundo semestre de 2013 se produjeron precipitaciones en el Salar de Atacama los días

26 de julio y 25 de agosto registrándose 1,5 y 2,3 mm respectivamente, durante el año 2014 los días con mayor lluvia fueron el 16 de enero, 13 de abril y 18 de julio con 0,9; 2,2 y 1,1 mm de agua caída, respectivamente. Durante el primer semestre de 2015 la estación Chaxa ha registrado 3 eventos de lluvia superiores a los 5 mm correspondientes a los días 6 de febrero, 18 y 25 de marzo con valores de 22, 6,5 y 11,9 mm respectivamente.

Tabla 6.1. Principales precipitaciones (más de 5 mm) registradas en la Estación Meteorológica de Chaxa desde 2011 a la fecha

Fecha	Precipitación (mm)
2-Feb-2011	9,4
10-Feb-2012	27,9
11-Feb-2012	10,9
08-Feb-2013	25,2
17-May-2013	10,9
06-Feb-2015	22,0
18-Mar-2015	6,5
25-Mar-2015	11,9

Para la evaporación, velocidad del viento y temperatura se observa un comportamiento oscilatorio característico dado por la estacionalidad.

6.1.5 Nivel en pozos de bombeo de agua industrial y caudal bombeado

Los pozos de bombeo de agua industrial ubicados frente al sistema Soncor (Mullay 1 y Allana) iniciaron sus operaciones el día 15 de septiembre de 2008. Ambos pozos han bombeado caudales iguales o menores a los derechos otorgados (40 L/s en cada uno) desde el inicio de la operación y sus niveles se han comportado de acuerdo a lo esperado y conforme a la operación de los pozos.

6.1.6 Calidad Química

Respecto de la calidad química, se observan valores relativamente estables en los parámetros analizados, es decir sin cambios bruscos respecto de los valores históricos.

6.1.7 Aforos

Los caudales obtenidos para el aforo Barros Negros y Puente San Luis son consistentes con los valores históricos, sin embargo en el verano de 2015 se observa un aumento de los caudales, probablemente asociado a las precipitaciones que ocurrieron en este periodo.

6.2 SISTEMA AGUAS DE QUELANA

6.2.1 Niveles de agua subterráneos

6.2.1.1 Pozos en zona aluvial

Como es de esperar, en este sector existe un efecto local del bombeo en el acuífero libre de la zona aluvial. En los pozos L3-2, L5-1 y L5-2 se observa un claro descenso producido por el bombeo del pozo Camar 2. En los pozos ranurados en el acuífero confinado, L4-4 y L4-3 no se aprecia el efecto del bombeo, solamente las variaciones consecuencia de los eventos de recarga producidos por precipitaciones relevantes.

Con la excepción del pozo L5-2, los pozos de este sector frenan o recuperan el descenso en los periodos de precipitación como los ocurridos en veranos de los años 2012 y 2015.

De manera particular, se observa que:

- En el pozo L3-2, ubicado al suroeste del pozo de bombeo de agua industrial Camar 2 (a unos 850 metros aprox.), se observa un descenso gradual de los niveles.
- El comportamiento del pozo L4-3 tiene un comportamiento oscilatorio observándose ciclos de aproximadamente de 10 años. En la Figura 5-139 se aprecia que los niveles en el pozo L4-3 aumentaron a partir de noviembre 2013 a junio de 2015 en aproximadamente 60 cm.
- En el pozo L5-1 se observa una tasa de descenso constante en términos generales, la cual cambió la pendiente de este descenso incrementándose levemente desde agosto 2013 a diciembre 2014, en el primer semestre de 2015 se observa una tendencia a la estabilización. Comportamiento similar presenta el pozo L5-2, con un descenso sostenido en el tiempo y una pendiente que no varía en los 14 años de registro.
- El pozo L4-4 corresponde a un pozo artesiano cuyos niveles varían de acuerdo a diversas intervenciones que se han realizado en el pozo. Se tiene información que en el año 2007 se aumentó la cota del tubo que registraba la cota piezométrica para observar el real comportamiento del acuífero, lo que explica el aumento brusco de 80 cm aprox. de los niveles. Por otra parte, en mayo 2012 al parecer el pozo fue golpeado por alguna máquina o camión, lo que hizo que el pozo perdiera su surgencia y disminuyeran los niveles. En el primer semestre de 2015 continua la tendencia en el aumento de nivel pero con una pendiente menor.

6.2.1.2 Pozos en zona marginal

En el sistema Aguas de Quelana se observa una transición entre agua dulce y salmuera en donde el nivel del acuífero presenta una oscilación estacional, que es más notoria en aquellos pozos donde la napa se ubica más somera (similar a lo que ocurre en Soncor).

Los pozos L14-1, L14-2, L5-6 y L13-1 son los que se sitúan más cercanos al área de extracción y por consiguiente presentan una tendencia descendente en sus niveles, el resto de pozos tiene un comportamiento estacional con niveles estables en el tiempo, como por ejemplo el pozo L14-3.

Los pozos L14-1, L14-2 y L14-3 son los que se encuentran más próximos a los pozos de bombeo de agua industrial Camar 2 y Socaire 5B. El pozo L14-1 es el que presenta el mayor descenso de los tres. En particular, en este pozo se observa que el comportamiento de los niveles ha disminuido de manera gradual desde comienzo de las mediciones (septiembre 2007) a junio 2015 con un descenso aprox. de 70 cm (más cercano a los pozos de bombeo de agua industrial), lo que equivale a una tasa de disminución de aprox. 10 cm por año. En tanto que el pozo L14-2 sólo se aprecia un descenso total de 10 cm aprox. para todo el periodo 2009-2015 (ubicado entre los pozos L14-1 y L14-3). Finalmente en el pozo L14-3 ya no se ven los efectos del bombeo de agua industrial, el que se encuentra más lejano de los pozos de bombeo de agua industrial a una distancia de 4,6 km del pozo Socaire-5B.

En términos generales, los pozos de este sistema se vieron influenciados por los episodios de lluvias de los meses de febrero 2012, 2013 y 2015. Esto se aprecia principalmente en los pozos GD-02, L3-3, L3-11, L3-12, L3-14, L4-5, L4-11, L4-14, L4-15, L5-9, L5-11, L5-12, L5-13, L5-15, L13-7, L14-2, L14-3 y L14-5, en donde el incremento en los niveles en estos periodos destaca por sobre los otros niveles.

En los pozos L3-4, L4-6, L5-4 y SOMP-09 se aprecia un descenso de nivel durante el año 2014 por falta de eventos de recarga por precipitación, al contrario sucede en los veranos de 2012, 2013 y 2015 donde se observan crecidas en la cota de agua como consecuencia de las relevantes precipitaciones registradas.

En la Figura 5-144 se aprecia que los niveles del pozo L3-3 se comportan siguiendo una tendencia estacional, cuya tasa de descenso corresponde a 1 mm por mes de disminución desde el comienzo de las mediciones (marzo 2000) a enero 2012. En febrero 2012 se observa un incremento de nivel de aprox. 30 cm. En agosto 2012 se observa que los niveles vuelven a estabilizarse y siguen la tendencia similar a la observada previo a los veranos de 2012 y 2013. En abril de 2015 presenta un aumento puntual que en las mediciones siguientes recupera la tendencia anterior.

Para el pozo GD-02 se observan más levemente las oscilaciones estacionales y los niveles tienden a descender con una tasa de descenso de 5 mm por mes aprox. desde que se tiene registro hasta enero 2012. Luego se aprecia un incremento en los niveles de aprox. 63 cm, los que disminuyen para nuevamente aumentar en febrero 2013 para volver después a la tendencia de disminución observada previamente. En el primer semestre de 2015 hay un aumento debido entre febrero y marzo que es seguido por una nueva tendencia al descenso.

En los pozos L3-11, L3-12 y L3-14 se observa una estabilización en los niveles para todo el registro histórico, sólo en los meses de febrero y marzo de los años 2012, 2013 y 2015 se distingue un leve incremento de los niveles que disminuye a continuación.

Los niveles del pozo L3-8 se mantienen casi inalterables en el tiempo, sólo se aprecian las oscilaciones estacionales con máximos de 2.299,6 msnm y mínimos de 2.299,5 msnm.

En los pozos L3-5, L3-9, L3-10, L-49, L4-12, L4-13, L5-10, L13-2, L13-3, L13-4 y L14-4 se aprecia el comportamiento característico oscilatorio propio de la estacionalidad donde los

niveles se mantienen constantes a lo largo de todo el registro histórico con incrementos notables del nivel en verano de 2012 y 2015.

La zona lagunar difusa no presenta descenso y se mantiene estable en el tiempo, sin embargo, cabe destacar el ascenso temporal de niveles en aquellos pozos más someros y cercanos a la zona lagunar difusa ocurrida en el mes de febrero de 2012, mayo 2013 y febrero - marzo 2015, similar a lo que se observó en el sector de Soncor. El ascenso en los niveles en los pozos de este sector fue en torno a los 10 cm, en particular en los pozos L4-13, L5-14, considerando como periodo de análisis enero 2012 y diciembre 2013, los que han mantenido un comportamiento estacional similar al observado históricamente a junio de 2015.

Cabe destacar el comportamiento del pozo L5-8, si bien, a nivel general sus niveles se mantienen constantes a lo largo de todo el registro histórico, se observa un ascenso de estos de aprox. 5 cm considerando un periodo de 7 años (diciembre 2007 a junio 2015).

A modo de conclusión, se observa que los pozos emplazados en este sector presentan un claro comportamiento estacional y sin grandes variaciones en sus niveles, siendo más marcado en aquellos pozos que presentan una menor profundidad de la napa, comportamiento que se ha mantenido estable en el tiempo. No se observan descensos importantes salvo en los pozos L5-6, L5-7 y L13-1, con disminuciones en sus niveles de 38, 15 y 37 cm, respectivamente, considerando un periodo desde diciembre 2007 a junio de 2015, lo es un comportamiento esperado dada la cercanía de estos pozos a los pozos de bombeo de agua industrial Camar 2 y Socaire 5-B. Para el caso de los pozos L5-6 y L13-1 se identifica un comportamiento aluvial-marginal, ya que se puede observar el efecto de la evaporación y el descenso sostenido provocados por la cercanía a los pozos de bombeo de agua industrial.

6.2.1.3 Pozos en el sector del núcleo

En general, todos los pozos de este sector tienden a la disminución gradual de sus niveles, asociado al caudal de bombeo de salmuera de los pozos del sector norte (SOP), comportamiento que se considera normal dada su ubicación, con la excepción de los incrementos de nivel en los meses de verano de los años 2012, 2013 y 2015 en los cuáles ocurrieron precipitaciones por sobre los 20 mm. En particular, se observan ascensos superiores a los 20 cm, alcanzando incluso niveles de más de 50 cm (D2, L3-4 y L5-4) producto de las lluvias en febrero 2012. De manera general, se observa que durante el 2014 ha habido una tendencia de los niveles a volver a valores similares a aquellos previos a los veranos de 2012 y 2013 y durante el primer semestre de 2015 los niveles han aumentado como respuesta a las precipitaciones en los meses de febrero y marzo.

6.2.2 Niveles de agua superficial

En las reglillas de medición de nivel de agua superficial de este sector se aprecia un comportamiento estacional con poca o ninguna influencia de la extracción de agua.

Los gráficos muestran un comportamiento estable desde inicio de las mediciones a comienzos del año 2000. Se observa un aumento puntual de nivel en febrero de 2012.

6.2.3 Nivel en pozos de bombeo de agua industrial y caudal bombeado

Se puede observar la estabilización de los niveles dinámicos después de puesta en marcha de estos pozos para luego mantenerse sin mayores variaciones más que las relacionadas a la operación de los pozos.

Los caudales bombeados no han sobrepasado los derechos otorgados desde el inicio de la operación que son 60 y 65 L/s para el pozo Camar 2 y Socaire 5B respectivamente.

6.2.4 Calidad química

Se observan valores relativamente estables en los parámetros analizados, es decir sin cambios bruscos entre las diferentes campañas de monitoreo.

6.3 SISTEMA PEINE

6.3.1 Niveles de agua subterráneos

6.3.1.1 Pozos en zona marginal

La información recopilada en los primeros años de monitoreo muestra un comportamiento distinto al observado en los sistemas Soncor y Aguas de Quelana, ya que no se observa un comportamiento oscilatorio (claramente estacional) en el nivel del acuífero medido en estos pozos. Lo anterior indica que en este sector a pesar que la napa es relativamente somera (1 a 1,5 m de profundidad) la evaporación parece no ser importante, lo que está relacionado con la salinidad del agua y el tipo de costra salina del sector.

El comportamiento de los pozos L10-1 y L10-2, los que han aumentado sus niveles, es consecuencia de la dinámica de interacción entre la zona marginal y el núcleo de salmuera que se observa especialmente activa en esta zona, tal y como lo demuestra el avance hacia el núcleo que ha presentado la laguna Interna y el aumento de recarga asociado a la precipitación.

Las precipitaciones de veranos de 2012, 2013 y 2015 se tradujeron en eventos de recarga manifestados en el aumento de los niveles subterráneos como se puede observar en los gráficos de nivel de este sector.

En términos generales, los pozos de este sector poseen niveles relativamente estables con una leve tendencia a la disminución en la mayoría de los pozos, lo que se aprecia para todo el registro histórico con descensos que se encuentran entre los 15 y 31 cm (pozos GD-04, L10-3, L10-4, L10-5, L10-6, L10-7, L10-8, L10-9 y L10-15) considerando un periodo de más

de 7 años (diciembre 2007 a junio de 2015). Cabe destacar el comportamiento de los pozos L10-1 y L10-2, los que han aumentado sus niveles. Los ascensos observados en estos pozos en 7 años y medio (diciembre 2007 a junio 2015) corresponden a 7 cm. En los meses de febrero y marzo de 2015 los niveles aumentaron de forma general, meses en los cuales se registraron precipitaciones en la zona.

6.3.1.2 Pozos en el sector del núcleo

Los pozos de este sistema se encuentran en el acuífero del núcleo y no presentan un comportamiento claramente estacional, lo cual está asociado a la salinidad del agua y el tipo de suelo del área. Se aprecia un comportamiento similar al observado en otros sistemas con un descenso gradual de los niveles y ascensos bruscos de nivel producto de las precipitaciones ocurridas en los veranos de 2012, 2013 y 2015 donde la mayoría de estos niveles son mayores a los observados al inicio del proyecto (2007). Al igual que los otros pozos de este sistema se observa una recuperación de los niveles y de la pendiente de descenso previa a los periodos estivales de 2012, 2013 y 2015 lo que se aprecia principalmente en los pozos L10-17, L10-12, L10-11, 2037, 2017 y 1028.

El comportamiento de este sector es esperable dada la extracción de salmuera que se realiza en el núcleo del salar de Atacama y a los eventos de precipitación registrados en la zona.

6.3.2 Nivel de agua superficial en las lagunas y evolución de la superficie lacustre

Los niveles registrados en las lagunas de este sector presentan una tendencia estable, sólo se observan pequeños descensos y aumentos en función de la duración de los periodos secos y los periodos con precipitaciones importantes.

Los resultados de las mediciones realizadas por CONAF que resaltan la reducción de tamaño en la laguna Saladita durante 2009 no es coincidente con la observada evolución a través de imágenes satelitales presentadas en los informes anteriores y una disminución y aumento en 2011 y 2013, por lo que se debe recordar que las mediciones de CONAF son trimestrales, y es probable que las diferencias pueden deberse al efecto de la evaporación, ya que al recorrer en terreno el sector se observa que esta laguna presenta una dinámica de sectores que se inundan y luego se vacían, lo que puede alterar bastante la precisión de las mediciones por el método de estacas.

Adicionalmente, cabe destacar la variabilidad en la superficie lacustre de la laguna Interna, en donde se observa que en los años 2009, 2010 y 2011 la superficie se mantuvo constante no así para los años 2012 y 2013, donde se aprecia un aumento de hasta un 70% alcanzado en el 2013 respecto del promedio observado en los años previos. A destacar es el incremento de la laguna Interna de 2014 a 2015 que corresponde a un 180 %.

Para las mediciones realizadas en 2015, donde se tienen mediciones realizadas por topografía, imágenes satelitales y estacas perimetrales, se observa que los resultados de superficie lacustre son consistentes para todas las lagunas.

6.3.3 Calidad química

Respecto de la calidad química, en términos generales se observan valores relativamente estables en los parámetros analizados, en algunos puntos se observa un comportamiento estacional, con aumentos en la concentración en verano y disminución en invierno, ratificando el efecto que tiene la evaporación sobre estos cuerpos de agua de este sistema (lagunas Salada, Saladita e Interna).

6.3.4 Aforos

Los aforos realizados en la laguna Salada y Saladita presentan valores consistentes con los resultados de informes anteriores.

6.4 SISTEMA VEGETACIÓN BORDE ESTE

6.4.1 Niveles de agua subterráneos

6.4.1.1 Pozos en zona aluvial

Este sistema tiene el mismo comportamiento que el sistema Aguas de Quelana ya que comparten pozos de monitoreo. Los pozos más cercanos a los puntos de extracción manifiestan un descenso constante solo frenado y recuperado por los eventos de precipitación importante ocurridos.

En los pozos L3-16 y L7-15 se observan descensos de 1,8 y 1,5 m, respectivamente en el periodo, esto debido a que se encuentran más cercanos a dichos pozos de bombeo de agua industrial. En particular, estos pozos muestran un descenso que concuerda con el inicio del bombeo de los pozos de agua industrial que se encuentran cercanos, sin embargo a partir de 2010 se puede apreciar un cambio de pendiente en los pozos, la que tiende a la estabilización hasta el primer semestre de 2015. En estos sectores el acuífero aún está buscando su equilibrio y se aprecia durante el último periodo una tendencia a la estabilización.

6.4.1.2 Pozos en zona marginal

En esta zona se observa un comportamiento bastante heterogéneo de los pozos, existen algunos que presentan una clara estacionalidad controlada por la evaporación, es decir, menor nivel en verano y mayor en invierno, con una leve tendencia al descenso (L4-17, L7-14 y L9-2) y otros con mayores descensos (L2-28) alcanzando los 30 cm aprox. La magnitud de las oscilaciones estacionales dependen de la profundidad del agua subterránea. Se aprecia además, que existen niveles en donde no existe estacionalidad, pero sí descensos importantes, los que fluctúan entre los 30 y 60 cm (L2-26, L3-15 y L7-13) entre diciembre 2007 y diciembre 2014, los que están asociados a la proximidad de los pozos de bombeo de agua industrial Mullay y Camar 2.

Existen pozos con un comportamiento mixto, donde se mezclan los dos comportamientos anteriormente descritos, es decir, estacional y leve tendencia al descenso (L2-28, L3-15 y L4-17). En estos pozos la tasa de descenso depende de su cercanía al pozo de bombeo.

Los eventos de precipitación de los veranos de 2012, 2013 y 2015 se manifiestan en forma de frenado de descensos y/o recuperación de niveles.

En febrero de 2012 y 2013, se observa un aumento en los niveles de estos pozos con una variación en la tendencia observada en años anteriores. Durante el año 2014 se observa que los niveles se recuperan siguiendo la tendencia observada previo a los meses de verano de los años 2012 y 2013. En particular durante marzo 2014 en el pozo L1-17 se observa un descenso significativo de alrededor de 26 cm respecto del histórico, recuperándose nuevamente durante el segundo semestre. Cabe señalar que en los pozos L3-15, L3-16 y L2-26 no se observa este aumento, ya que la pendiente de descenso no sufre cambios.

Entre febrero y marzo de 2015 la tendencia general de los niveles es al alza o a la estabilización de los niveles en los pozos con una tendencia previa al descenso, con la excepción de los pozos L2-28, L3-15 y L7-13 que mantienen una tendencia con descenso sin reflejar los aumentos observados en otros en el año 2015.

6.5 SISTEMA VEGAS DE TILOPOZO

Los niveles de agua de este sistema tienen dos componentes diferenciadas, una la marcada por el pozo L12-1 el cual se encuentra ubicado al interior del salar con una tendencia al descenso probablemente producto de su cercanía a campo de pozos de Rockwood Lithium²³, que se ve interrumpida por los eventos de precipitación importantes. Este pozo posee un comportamiento similar al de los pozos clasificados como núcleo salino con un ascenso comprendido entre los 10 y 20 cm en los meses de verano de los años 2012 y 2013. Luego de este episodio el pozo fue recuperando los niveles previos durante 2014 y luego se produce un incremento de nivel entre febrero y marzo de 2015, el cual llega hasta los 40 cm.

La otra tendencia corresponde al resto de pozos que tienen una tendencia estacional con un rango de variación estable producto del control del nivel de agua por parte de la evaporación de las vegas (L12-2, L12-3 y L12-4).

Se observa en la reglilla de Tilopozo un comportamiento estable con una leve tendencia al ascenso en el último periodo.

Este comportamiento está de acuerdo a lo esperado en función de la ubicación de los pozos de monitoreo en la zona del núcleo y zona marginal sin observarse un efecto en los pozos de esta última zona ni el nivel del agua superficial.

²³ Cambio de nombre, corresponde a ex Sociedad Chilena del Litio (SCL)

6.6 SISTEMA NÚCLEO DEL SALAR DE ATACAMA

En términos generales, se observa un comportamiento heterogéneo de los pozos, el que se determina principalmente por su ubicación. En los pozos SOPM que se encuentran más alejados del bombeo se observa una leve tendencia al descenso, cuya tasa de descenso cambia con los episodios de lluvias ocurridos en verano en los años 2012, 2013 y 2015. Este comportamiento contrasta con el ocurrido durante el año 2014 en donde se aprecia que los niveles han descendido de forma más brusca por la sequía ocurrida. En los pozos 2040, M1-C y M2-C el descenso es más notorio que en los pozos SOPM, asimismo, en el sector suroeste (Sample-4 y Zar-C-S) la napa ha disminuido sin tendencia a la estabilización y en el sector norte el nivel de la napa se ha mantenido constante con una muy leve tendencia a la disminución, sin embargo hay puntos en que se observa un aumento de hasta 70 cm de los niveles en febrero de 2012 y 2013, concretamente en los pozos EIA-5, C4-B y 1906.

Durante el primer semestre de 2015 los pozos 1001, 1906, 2028, 2040 y M1-C incrementan el nivel de agua entre 20 y 40 cm. Este efecto no se refleja en los pozos C4-B, M2-C, Sample4 y Zar-C-S que continúan su tendencia descendente excepto C4-B que se mantiene estable.

Respecto de la meteorología se puede observar que las precipitaciones ocurridas durante el año 2011 se dieron los días 2 de febrero, 25 de febrero y 18 de junio, registrándose en este último día 3,8 mm de lluvia siendo la de mayor magnitud en 2011. Durante el primer semestre de 2012 ocurrieron lluvias los días 11 de febrero y 13 de abril con 4 y 1 mm de agua caída respectivamente y durante el primer semestre de 2013 los días 7 de febrero, 8 de febrero y 17 de mayo, con 16,8; 3,3 y 5,3 mm respectivamente. Durante el segundo semestre de 2013 se produjeron precipitaciones menores los días 26 de julio y 25 de agosto con 2,1 y 1,6 mm de agua caída. Se observa que las lluvias registradas en la estación Salar, son sistemáticamente menores en magnitud que las registradas en la estación Chaxa para la misma fecha, donde se observaron precipitaciones de 1,5 y 2,3 mm, respectivamente.

En la estación meteorológica Salar sólo se registraron lluvias los días 23 y 24 de mayo, además del día 20 de diciembre, con 0,6; 0,4 y 0,2 mm de agua caída, respectivamente, situación similar a lo registrado en los años previos. En cambio, en la estación meteorológica Chaxa fueron observadas precipitaciones los días 16 de enero con 0,9 mm, 17 de enero con 0,3 mm, 13 de abril con 2,2 mm, 23 de mayo con 0,3 mm y 18 de julio con 1,1 mm.

Durante el primer semestre de 2015 se registraron 6 días con precipitación en la estación meteorológica Salar, correspondientes al 17, 18, 24, 25 y 26 de marzo con 2,9, 0,7, 7,7, 9,3 y 0,3 mm respectivamente y al 26 de mayo con 0,3 mm. En cambio en la estación Chaxa se acumularon 22,7 mm en febrero y 22,6 mm en marzo, un precipitación sensiblemente mayor para este mismo periodo.

Respecto de la calidad química, en términos generales se observa que los parámetros medidos se mantienen dentro de los rangos observados en el tiempo sin saltos bruscos en la magnitud de éstos.

6.7 SISTEMA CUÑA SALINA

En general, el nivel de la napa medido en los pozos utilizados para realizar el seguimiento del sistema Cuña Salina presenta un comportamiento estable, con algún comportamiento estacional dependiendo de la profundidad de la napa, durante marzo de 2012 se observa el efecto de las precipitaciones en el aumento de los niveles. La excepción son los pozos Cuña 3 y Cuña 4 cuyos niveles se ven influenciados por la toma de muestras para análisis químico (nótese que estos 2 pozos presentan un comportamiento artesiano). Cabe destacar el comportamiento del pozo L4-3, en donde se observa que los niveles han aumentado en aprox. 50 cm a partir de noviembre 2013 a diciembre 2014.

Los registros de nivel de los pozos Cuña 1, Cuña 2, Cuña 3 y Cuña 5 muestran un aumento de nivel en febrero 2012. En febrero-marzo de 2015 se observa un aumento en los pozos Cuña 1, Cuña 5 y Cuña 7, probablemente asociado a las precipitaciones de este periodo.

7 CONCLUSIONES

El Plan de Seguimiento Ambiental Hidrogeológico del proyecto es robusto: abarca una gran extensión espacial, con 225 puntos de monitoreo en los que se llegan a registrar 35 parámetros ambientales con diferentes frecuencias de medición en función del punto y parámetro monitoreado (desde medición continua a frecuencia trimestral), permitiendo caracterizar el comportamiento hidrogeológico de los sistemas del Salar de Atacama y proteger los sistemas lacustres y de vegetación, generándose un reporte completo y oportuno a la autoridad ambiental.

El **bombeo de salmuera** desde mayo de 2007 en el núcleo del Salar de Atacama no ha dado lugar a la activación del Plan de Contingencia: de acuerdo a los datos levantados por el Plan de Seguimiento Ambiental Hidrogeológico, todos los umbrales establecidos a partir de la caracterización de los sistemas hídricos que integran el área de estudio y protección no han sido traspasados.

Los efectos del **bombeo de agua industrial** se observan básicamente en el acuífero del borde este, no así en la zona de las lagunas dado que los comportamientos son independientes producto, por un lado, de una zona de baja permeabilidad y la presencia de la cuña salina, que fuerza al agua a elevarse en el margen del salar, y por otro lado, el efecto amortiguador de la evaporación, que suaviza cualquier descenso proveniente desde el borde este.

La **meteorología** y en concreto las precipitaciones tienen una gran y casi inmediata influencia en los cuerpos de agua subterráneos y superficiales, los cuales tienen respuestas a las precipitaciones importantes con aumentos de nivel notorios. Las épocas de sequía importante como las ocurridas desde mediados de 2013 y todo el 2014 se manifiestan en las zonas donde el nivel freático no es muy superficial y la evaporación no es el ente regulador más importante.

El registro histórico de la **calidad química** del agua no presenta una variación marcada ni tendencia a cambio. Fuera de esperar que en los pozos cercanos a la interfaz con la cuña salina manifestaran el efecto de la explotación de agua con un cambio de tendencia en los

valores de calidad química, el hecho de que no sea así indica que a nivel químico no hay una afectación de las extracciones.

Las **superficies lacustres** de los sistemas se han comportado de acuerdo a los patrones históricos observados, los que son altamente dependientes de los pulsos de recargas, la evaporación y la dinámica misma de la costra salina que sustenta a las lagunas, especialmente en el caso de las lagunas del sistema Peine.

8 REFERENCIAS

Chuvieco, E., 2002. Teledetección Ambiental. La observación de la tierra desde el espacio. Ediciones Ariel. 578p.

Siddiqui, Y. 2003. The modified IHS method for fusing satellite imagery. ASPRS 2003 Annual Conference Proceedings, May 5-9, 2003.

Fetter, C.W. 2001 Applied Hydrogeology 4th Edition. Prentice Hall

9 GLOSARIO Y ABREVIACIONES

Antepozo: Tubería metálica o de PVC que protege a un pozo.

Georreferenciación: Proceso que consiste en ligar o relacionar una información geográfica a uno o varios puntos en común

Limnómetro: Reglilla graduada para medición de nivel.

Salmuera: Solución altamente concentrada en sales, puede estar presente de manera superficial o subterránea con concentraciones de sólidos totales disueltos mayores a 100.000 mg/L. o análogamente de acuerdo a lo definido en este informe para el Salar de Atacama, con conductividades mayores a 142,9 mS/cm.

Zona de transición: Agua superficial o subterránea con concentraciones de sólidos totales disueltos entre 3.000 y 100.000 mg/L. o análogamente, aguas con conductividades entre 2,2 y 142,9 mS/cm.

C.: Registros Continuos de nivel.

M.C.: Mediciones manuales en pozos con registro Continuo.

m.s.n.m.: Metros sobre nivel medio del mar

PC: Plan de Contingencia.

PSA: Plan de Seguimiento Ambiental.

PSAH: Plan de Seguimiento Ambiental Hidrogeológico.

PSAD56: Datum geodésico o sistema de referencia geodésico provisional sudamericano del año 1956 (Provisional Sudamericano datum 1956).

WGS84: sistema de coordenadas geográficas mundial que permite localizar cualquier punto de la Tierra (sin necesitar otro de referencia) por medio de tres unidades dadas. WGS84 son las siglas en inglés de World Geodetic System 84 (que significa Sistema Geodésico Mundial 1984)