

SQM SALAR S.A.

**INFORME N° 20 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
DICIEMBRE 2016”**

INFORME N° 20 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 DICIEMBRE 2016”

ÍNDICE

1	RESUMEN	1
1.1	SISTEMA SONCOR	7
1.1.1	Sistema Soncor: Sector norte, nacientes del Canal Burro Muerto	9
1.1.2	Sistema Soncor: Zona Aluvial	9
1.1.3	Sistema Soncor: Zona Marginal	11
1.1.4	Sistema Soncor: Zona Salmuera.....	13
1.1.5	Sistema Soncor: Nivel Lacustre	14
1.2	SISTEMA AGUAS DE QUELANA	17
1.2.1	Sistema Aguas de Quelana: Zona aluvial.....	18
1.2.2	Sistema Aguas de Quelana: Zona marginal	18
1.2.3	Sistema Aguas de Quelana: Zona Salmuera.....	20
1.2.4	Sistema Aguas de Quelana: Cuerpos de agua superficial.....	20
1.3	SISTEMA PEINE	22
1.3.1	Sistema Peine: Zona Marginal	23
1.3.2	Sistema Peine: Zona Salmuera.....	24
1.3.3	Sistema Peine: Nivel Lacustre.....	25
1.4	SISTEMA CUÑA SALINA	27
1.5	SISTEMA VEGETACIÓN BORDE ESTE	30
1.6	SISTEMA VEGAS DE TILOPOZO	33
1.7	SISTEMA NÚCLEO DEL SALAR DE ATACAMA	36
2	INTRODUCCIÓN	39
3	OBJETIVOS DEL PLAN DE SEGUIMIENTO AMBIENTAL HIDROGEOLÓGICO	42
4	MATERIALES Y METODOS.....	43

4.1	DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO E INFRAESTRUCTURA DE MONITOREO	43
4.2	PARÁMETROS PARA CARACTERIZAR LAS VARIABLES AMBIENTALES	50
4.2.1	Niveles de agua superficial y subterránea	50
4.2.2	Calidad físico-química del agua	50
4.2.3	Aforos de caudal superficial	50
4.2.4	Caudal Bombeado de Pozos de Agua Industrial	50
4.2.5	Meteorología	50
4.2.6	Superficie lacustre	51
4.2.7	Resumen de parámetros registrados	51
4.3	METODOLOGÍAS	52
4.3.1	Monitoreo de nivel de pozos operativos y no operativos	52
4.3.2	Medición de parámetros físico-químicos en terreno y muestreo de aguas superficiales y subterráneas	52
4.3.3	Medición de superficies lacustres	53
4.3.4	Realización de aforos en cauces naturales	54
4.3.5	Medición Meteorología	54
4.4	MATERIALES Y EQUIPOS UTILIZADOS	54
4.4.1	Medición de niveles y configuración de equipos de medición continua	54
4.4.2	Parámetros físico-químicos medidos en terreno	55
4.4.3	Muestreo físico-químico	55
4.4.4	Estimación de superficies lacustres	55
4.4.5	Realización de aforos en cauces naturales	55
4.4.6	Medición Meteorología	55
4.4.7	Medición caudal de pozos de agua industrial	56
4.5	INCERTIDUMBRES ASOCIADAS A LOS MÉTODOS UTILIZADOS	56
5	RESULTADOS	58
5.1	ESTADO DEL PLAN DE CONTINGENCIAS	58
5.1.1	Sistema Soncor	64
5.1.2	Sistema Aguas de Quelana	66
5.1.3	Sistema Borde Este - Vegetación Hidromorfa	69
5.1.4	Sistema Borde Este - Vegetación Brea-Atriplex	72
5.1.5	Sistema Borde Este - Alerta Temprana	75

5.2	MONITOREO DE VARIABLES DEL PLAN DE SEGUIMIENTO AMBIENTAL HIDROGEOLÓGICO	81
5.2.1	Sistema Soncor.....	81
5.2.2	Sistema Aguas de Quelana.....	167
5.2.3	Sistema Peine.....	216
5.2.4	Sistema Vegetación Borde Este.....	250
5.2.5	Sistema Vegas de Tilopozo.....	263
5.2.6	Sistema Núcleo del Salar de Atacama	267
5.2.7	Sistema Cuña Salina.....	283
6	DISCUSIÓN DE RESULTADOS	291
6.1	SISTEMA SONCOR	291
6.1.1	Niveles de agua subterránea.....	291
6.1.2	Niveles de agua superficial	292
6.1.3	Evolución del nivel lacustre	292
6.1.4	Meteorología	293
6.1.5	Nivel en pozos de bombeo de agua industrial y caudal bombeado	293
6.1.6	Calidad Química.....	293
6.1.7	Aforos	293
6.1.8	Evolución de la superficie de los sistemas lacustres	293
6.2	SISTEMA AGUAS DE QUELANA	294
6.2.1	Niveles de agua subterráneos.....	294
6.2.2	Niveles de agua superficial	294
6.2.3	Nivel en pozos de bombeo de agua industrial y caudal bombeado	295
6.2.4	Calidad química	295
6.3	SISTEMA PEINE	295
6.3.1	Niveles de agua subterráneos.....	295
6.3.2	Nivel de agua superficial en las lagunas	295
6.3.3	Calidad química	296
6.3.4	Aforos	296
6.3.5	Evolución de la superficie de los sistemas lacustres	296
6.4	SISTEMA VEGETACIÓN BORDE ESTE	296
6.4.1	Niveles de agua subterráneos.....	296
6.4.2	Calidad química	297

6.4.3	Nivel en pozo de bombeo de agua industrial y caudal bombeado	297
6.5	SISTEMA VEGAS DE TILOPOZO	297
6.6	SISTEMA NÚCLEO DEL SALAR DE ATACAMA	297
6.6.1	Niveles de agua subterráneos	297
6.6.2	Meteorología	297
6.6.3	Calidad Química	297
6.7	SISTEMA CUÑA SALINA	297
7	CONCLUSIONES	298
8	REFERENCIAS	299
9	GLOSARIO Y ABREVIACIONES	300

LISTADO DE FIGURAS

Figura 1-1. Sistemas del Salar de Atacama	2
Figura 1-2: Ubicación de todos los puntos de monitoreo del PSAH	3
Figura 1-3. Zonificación del Salar de Atacama	4
Figura 1-4: Ubicación puntos del Plan de Contingencia y pozos de bombeo de agua industrial	6
Figura 1-5: Ubicación puntos de monitoreo del sistema Soncor	8
Figura 1-6: Nivel observado (m.s.n.m.) reglilla L11-1	9
Figura 1-7. Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo Mullay 1 (bombeo)	10
Figura 1-8. Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L1-1	10
Figura 1-9. Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L7-1	11
Figura 1-10. Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo 1027	12
Figura 1-11. Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo P1-6	12
Figura 1-12: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L1-7	13
Figura 1-13. Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo SOPM-13	14
Figura 1-14: Nivel observado (m.s.n.m.) de la superficie del agua reglilla Barros	15
Figura 1-15: Nivel observado (m.s.n.m.) de la superficie del agua en la reglilla Puilar.	15
Figura 1-16: Nivel observado (m.s.n.m.) de la superficie del agua en la reglilla Chaxa	16
Figura 1-17: Ubicación puntos de monitoreo del sistema Aguas de Quelana	17
Figura 1-18: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L5-1	18
Figura 1-19. Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L13-5	19
Figura 1-20. Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L14-1.	19
Figura 1-21. Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L3-4	20
Figura 1-22: Nivel observado (m.s.n.m.) de la superficie del agua en la reglilla L5-G3	21
Figura 1-23: Ubicación puntos de monitoreo del sistema Peine	22
Figura 1-24. Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L10-2	23
Figura 1-25. Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L10-7	23
Figura 1-26. Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L10-17	24
Figura 1-27: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo 1028	24
Figura 1-28: Nivel observado (m.s.n.m.) de la superficie del agua de la laguna Salada	25

Figura 1-29: Nivel observado (m.s.n.m.) de la superficie del agua de la laguna Saladita.	26
Figura 1-30: Nivel observado (m.s.n.m.) de la superficie del agua de la laguna Interna.....	26
Figura 1-31: Ubicación puntos de monitoreo del sistema Cuña Salina.....	28
Figura 1-32: Perfil de conductividad eléctrica en los pozos Cuña 5, Cuña 4 y L4-3	29
Figura 1-33: Ubicación puntos de monitoreo del sistema Vegetación Borde Este.....	30
Figura 1-34: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L3-15.....	31
Figura 1-35: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L3-3.....	31
Figura 1-36: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L3-5.....	32
Figura 1-37: Ubicación puntos de monitoreo del sistema Vegas de Tilopozo.....	33
Figura 1-38: Nivel observado (m.s.n.m.) en la reglilla de Tilopozo	34
Figura 1-39: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L12-3.....	34
Figura 1-40: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L12-1.....	35
Figura 1-41: Ubicación puntos de monitoreo del sistema Núcleo del Salar de Atacama	36
Figura 1-42: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo SOPM-04	37
Figura 1-43: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo 2040.	37
Figura 1-44: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo Zar-C-S	38
Figura 1-45: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo 1906	38
Figura 2-1: Relación empírica entre la CE y la concentración de SDT	41
Figura 4-1: Ubicación general del proyecto.....	44
Figura 4-2: Zonificación del Salar de Atacama.....	45
Figura 4-3: Modelo conceptual de flujo en la cuenca.	46
Figura 4-4: Sistemas a proteger en la zona marginal.....	47
Figura 4-5: Ubicación de todos los puntos de monitoreo del PSAH	49
Figura 5-1: Esquema conceptual de pozos de monitoreo	59
Figura 5-2: Ubicación puntos del Plan de Contingencia y pozos de bombeo de agua industrial.	61
Figura 5-3: Nivel observado (m.s.n.m.) desde mayo de 2007 en el pozo L7-4.....	64
Figura 5-4: Nivel observado (m.s.n.m.) desde mayo de 2007 en el pozo L1-4.....	64
Figura 5-5: Nivel observado (m.s.n.m.) desde mayo de 2007 en el pozo L1-5.....	65
Figura 5-6: Nivel observado (m.s.n.m.) desde mayo de 2007 en el pozo L1-G4	65
Figura 5-7: Descenso del nivel observado desde mayo de 2007 en el pozo L3-5.....	66
Figura 5-8: Descenso del nivel observado desde mayo de 2007 en el pozo L3-9.....	66
Figura 5-9: Descenso del nivel observado desde mayo de 2007 en el pozo L4-8.....	67
Figura 5-10: Descenso del nivel observado desde mayo de 2007 en el pozo L4-12	67
Figura 5-11: Descenso del nivel observado desde mayo de 2007 en el pozo L5-8	68
Figura 5-12: Descenso del nivel observado desde mayo de 2007 en el pozo L5-10	68
Figura 5-13: Descenso del nivel observado desde mayo de 2007 en el pozo L7-3	69
Figura 5-14: Descenso del nivel observado desde mayo de 2007 en el pozo L2-4	69
Figura 5-15: Descenso del nivel observado desde mayo de 2007 en el pozo L3-5.....	70
Figura 5-16: Descenso del nivel observado desde mayo de 2007 en el pozo L4-10.	70
Figura 5-17: Descenso del nivel observado desde mayo de 2007 en el pozo L1-17	71
Figura 5-18: Descenso del nivel observado desde mayo de 2007 en el pozo L2-27.	71
Figura 5-19: Descenso del nivel observado desde noviembre de 2007 en el pozo L7-6.	72
Figura 5-20: Descenso del nivel observado desde septiembre de 2007 en el pozo L2-7.	72
Figura 5-21: Descenso del nivel observado desde mayo de 2007 en el pozo L3-3.....	73
Figura 5-22: Descenso del nivel observado desde agosto de 2007 en el pozo L4-7.	73

Figura 5-23: Descenso del nivel observado desde mayo de 2007 en el pozo L9-1	74
Figura 5-24: Descenso del nivel observado desde mayo de 2007 en el pozo L1-3	74
Figura 5-25: Descenso del nivel observado desde mayo de 2007 en el pozo L2-28	75
Figura 5-26: Descenso del nivel observado desde mayo de 2007 en el pozo L7-13	75
Figura 5-27: Descenso del nivel observado desde mayo de 2007 en el pozo L2-25	76
Figura 5-28: Descenso del nivel observado desde mayo de 2007 en el pozo L3-11	76
Figura 5-29: Descenso del nivel observado desde mayo de 2007 en el pozo L4-3	77
Figura 5-30: Descenso del nivel observado desde mayo de 2007 en el pozo L9-1	77
Figura 5-31: Descenso del nivel observado desde mayo de 2007 en el pozo L7-14	78
Figura 5-32: Descenso del nivel observado desde mayo de 2007 en el pozo L4-17	78
Figura 5-33: Descenso del nivel observado desde mayo de 2007 en el pozo L9-2	79
Figura 5-34: Descenso del nivel observado desde mayo de 2007 en el pozo L2-25	79
Figura 5-35: Descenso del nivel observado desde mayo de 2007 en el pozo L2-26	80
Figura 5-36: Descenso del nivel observado desde mayo de 2007 en el pozo L3-15	80
Figura 5-37: Distribución geográfica de puntos de monitoreo del sistema Soncor.	82
Figura 5-38: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L1-1	86
Figura 5-39: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L1-2	86
Figura 5-40: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L1-3	87
Figura 5-41: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L2-2	87
Figura 5-42: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L2-3	88
Figura 5-43: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L2-7	88
Figura 5-44: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L7-1	89
Figura 5-45: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L7-2	89
Figura 5-46: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L7-6	90
Figura 5-47: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo de bombeo Mullay 1.	90
Figura 5-48: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo de bombeo Allana	91
Figura 5-49: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo 1027	91
Figura 5-50: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo RC-1	92
Figura 5-51: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo RC-2	92
Figura 5-52: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo RC-3	93
Figura 5-53: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo RC-4	93
Figura 5-54: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo RC-5	94
Figura 5-55: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo RC-6	94
Figura 5-56: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo RC-7	95
Figura 5-57: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo GD-01	95
Figura 5-58: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L1-4	96
Figura 5-59: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L1-5	96
Figura 5-60: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L1-6	97
Figura 5-61: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L1-7	97
Figura 5-62: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L1-8	98
Figura 5-63: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L1-9	98
Figura 5-64: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L1-10	99
Figura 5-65: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L1-11	99
Figura 5-66: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L1-12	100
Figura 5-67: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L1-13	100
Figura 5-68: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L1-14	101

Figura 5-69: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L1-15	101
Figura 5-70: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L1-16	102
Figura 5-71: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L2-4	102
Figura 5-72: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L2-5	103
Figura 5-73: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L2-8	103
Figura 5-74: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L2-10	104
Figura 5-75: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L2-11	104
Figura 5-76: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L2-12	105
Figura 5-77: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L2-13	105
Figura 5-78: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L2-15	106
Figura 5-79: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L2-17	106
Figura 5-80: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L2-18	107
Figura 5-81: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L2-19	107
Figura 5-82: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L2-21	108
Figura 5-83: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L2-22	108
Figura 5-84: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L2-24	109
Figura 5-85: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L7-3	109
Figura 5-86: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L7-4	110
Figura 5-87: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L7-5	110
Figura 5-88: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L7-7	111
Figura 5-89: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L7-10	111
Figura 5-90: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L7-11	112
Figura 5-91: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L7-12	112
Figura 5-92: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L11-1	113
Figura 5-93: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L11-2	113
Figura 5-94: Nivel observado (m.s.n.m.) en la reglilla L1-G4	115
Figura 5-95: Nivel observado (m.s.n.m.) en la reglilla L7-G1	115
Figura 5-96: Nivel observado (m.s.n.m.) en la reglilla L7-G2	116
Figura 5-97: Representación gráfica de las reglillas cercanas al puente San Luis	116
Figura 5-98: Nivel observado (m.s.n.m.) en la reglilla Puente San Luis	117
Figura 5-99: Nivel observado (m.s.n.m.) en la reglilla Burro Muerto	117
Figura 5-100: Nivel observado (m.s.n.m.) en la Reglilla L11-G1	118
Figura 5-101: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo P1-1, perfil D1	119
Figura 5-102: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo P1-2, perfil D1	119
Figura 5-103: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo P1-3, perfil D1	120
Figura 5-104: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo P1-4, perfil D1	120
Figura 5-105: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo P1-5, perfil D1	121
Figura 5-106: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo P1-6, perfil D1	121
Figura 5-107: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo P1-7, perfil D1	122
Figura 5-108: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L2-9, perfil D2	122
Figura 5-109: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo P2-1, perfil D2	123
Figura 5-110: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo P2-2, perfil D2	123
Figura 5-111: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo P2-3, perfil D2	124
Figura 5-112: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L2-16, perfil D2	124
Figura 5-113: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo P2-4, perfil D2	125
Figura 5-114: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo P2-5, perfil D2	125

Figura 5-115: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L2-23, perfil D2	126
Figura 5-116: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo 2021	126
Figura 5-117: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo SOPM-07 (L2-6)	127
Figura 5-118: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo SOPM-13	127
Figura 5-119: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo SOPM-14	128
Figura 5-120: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L2-14	128
Figura 5-121: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L2-20	129
Figura 5-122: Nivel observado (m.s.n.m.) de la superficie en la reglilla Barros Negros	130
Figura 5-123: Nivel observado (m.s.n.m.) de la superficie del agua en la reglilla Puilar.	131
Figura 5-124: Nivel observado (m.s.n.m.) de la superficie del agua en la reglilla Chaxa	131
Figura 5-125: Precipitación diaria registrada en la estación Chaxa	132
Figura 5-126: Velocidad del viento diaria registrada en la estación Chaxa	133
Figura 5-127: Temperatura media diaria registrada en la estación Chaxa	133
Figura 5-128: Evaporación diaria registrada en la estación Chaxa	134
Figura 5-129: Caudal medio mensual bombeado desde el pozo Mullay.	135
Figura 5-130: Caudal medio mensual bombeado desde el pozo Allana.	135
Figura 5-131: Resultados de análisis físico-químico del pozo L1-4	137
Figura 5-132: Resultados de análisis físico-químico del pozo L1-5	138
Figura 5-133: Resultados de análisis físico-químico del pozo L1-6	139
Figura 5-134: Resultados de análisis físico-químico reglilla L1-G4	140
Figura 5-135: Resultados de análisis físico-químico del pozo L2-3	141
Figura 5-136: Resultados de análisis físico-químico del pozo L2-4	142
Figura 5-137: Resultados de análisis físico-químico del pozo L2-5	143
Figura 5-138: Resultados de análisis físico-químico del pozo L7-3	144
Figura 5-139: Resultados de análisis físico-químico reglilla L7-G1	145
Figura 5-140: Resultados de análisis físico-químico del pozo SOPM-07	146
Figura 5-141: Resultados de análisis físico-químico del pozo Mullay	147
Figura 5-142: Resultados de análisis físico-químico del pozo Mullay (continuación)	148
Figura 5-143: Resultados de análisis físico-químico del pozo SOPM-14	149
Figura 5-144: Resultados de análisis físico-químico del pozo Allana	150
Figura 5-145: Resultados de análisis físico-químico del pozo Allana (continuación)	151
Figura 5-146: Resultados de análisis físico-químico Laguna Chaxa	152
Figura 5-147: Resultados de análisis físico-químico Laguna Barros Negros	153
Figura 5-148: Resultados análisis físico-químico CONAF de la Laguna Chaxa	154
Figura 5-149: Resultados análisis físico-químico CONAF Laguna Chaxa (continuación) ...	155
Figura 5-150: Resultados de análisis físico-químico CONAF Burro Muerto	156
Figura 5-151: Resultados de análisis físico-químico CONAF Burro Muerto (continuación) ..	157
Figura 5-152: Resultados de análisis físico-químico CONAF Barros Negros	158
Figura 5-153: Resultados análisis físico-químico CONAF Barros Negros (continuación) ...	159
Figura 5-154: Resultados de análisis físico-químico CONAF Laguna Puilar	160
Figura 5-155: Resultados de análisis físico-químico CONAF Laguna Puilar (continuación. ...	161
Figura 5-156: Aforo Barros Negros. En barra roja caudal aforado por método manual, en azul velocidad (m/s) y en verde área mojada (m ²)	162
Figura 5-157: Caudal promedio diario en puente San Luis	163
Figura 5-158: Evolución de Superficie lacustre sistema Soncor medida por CONAF	164

Figura 5-159: Evolución de la superficie lacustre sistema Soncor medida a través de imágenes satelitales.....	166
Figura 5-160: Distribución geográfica de puntos de monitoreo del sistema Aguas de Quelana. Nivel del agua subterránea y superficial.....	169
Figura 5-161: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L3-2.....	170
Figura 5-162: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L4-3.....	170
Figura 5-163: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L4-4.....	171
Figura 5-164: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L5-1.....	171
Figura 5-165: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L5-2.....	172
Figura 5-166: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo GD-02.....	172
Figura 5-167: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L3-3.....	173
Figura 5-168: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L3-8.....	173
Figura 5-169: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L3-11.....	174
Figura 5-170: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L3-12.....	174
Figura 5-171: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L3-14.....	175
Figura 5-172: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L4-5.....	175
Figura 5-173: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L4-11.....	176
Figura 5-174: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L4-14.....	176
Figura 5-175: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L4-15.....	177
Figura 5-176: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L5-9.....	177
Figura 5-177: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L5-11.....	178
Figura 5-178: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L5-12.....	178
Figura 5-179: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L5-13.....	179
Figura 5-180: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L5-15.....	179
Figura 5-181: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L13-5.....	180
Figura 5-182: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L13-6.....	180
Figura 5-183: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L13-7.....	181
Figura 5-184: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L14-1.....	181
Figura 5-185: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L14-2.....	182
Figura 5-186: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L14-3.....	182
Figura 5-187: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L14-5.....	183
Figura 5-188: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L14-6.....	183
Figura 5-189: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L14-7.....	184
Figura 5-190: Nivel observado (m.s.n.m.) en la reglilla L5-G3.....	185
Figura 5-191: Nivel observado (m.s.n.m.) en la reglilla L4-10.....	186
Figura 5-192: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L3-5.....	187
Figura 5-193: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L3-6.....	187
Figura 5-194: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L3-7.....	188
Figura 5-195: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L3-9.....	188
Figura 5-196: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L3-10.....	189
Figura 5-197: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L3-13.....	189
Figura 5-198: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L4-7.....	190
Figura 5-199: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L4-8.....	190
Figura 5-200: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L4-9.....	191
Figura 5-201: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L4-12.....	191
Figura 5-202: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L4-13.....	192

Figura 5-203: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L5-3	192
Figura 5-204: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L5-6	193
Figura 5-205: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L5-7	193
Figura 5-206: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L5-8	194
Figura 5-207: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L5-10	194
Figura 5-208: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L5-14	195
Figura 5-209: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L13-1	195
Figura 5-210: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L13-2	196
Figura 5-211: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L13-3	196
Figura 5-212: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L13-4	197
Figura 5-213: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L14-4	197
Figura 5-214: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo D-2	198
Figura 5-215: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L3-4 (SOPM-8)	198
Figura 5-216: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L4-6	199
Figura 5-217: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L4-16	199
Figura 5-218: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L5-4	200
Figura 5-219: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo SOPM-9	200
Figura 5-220: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo Camar 2	201
Figura 5-221: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo Socaire 5B	201
Figura 5-222: Caudal medio mensual bombeado desde el pozo Camar 2	202
Figura 5-223: Caudal medio mensual bombeado desde el pozo Socaire 5B	202
Figura 5-224: Resultados de análisis físico-químico del pozo L4-3	204
Figura 5-225: Resultados de análisis físico-químico del pozo L4-6	205
Figura 5-226: Resultados de análisis físico-químico del pozo L4-8	206
Figura 5-227: Resultados de análisis físico-químico del pozo L4-9	207
Figura 5-228: Resultados de análisis físico-químico del pozo L4-12	208
Figura 5-229: Resultados de análisis físico-químico del pozo L5-3	209
Figura 5-230: Resultados de análisis físico-químico del pozo Camar 2	210
Figura 5-231: Resultados de análisis físico-químico del pozo Camar 2 (continuación)	211
Figura 5-232: Resultados de análisis físico-químico del pozo Socaire 5B	212
Figura 5-233: Resultados de análisis físico-químico del pozo Socaire 5B (continuación)	213
Figura 5-234: Resultados de análisis físico-químico del pozo L4-10	214
Figura 5-235: Resultados de análisis físico-químico del pozo L4-10 (continuación)	215
Figura 5-236: Distribución geográfica de puntos de monitoreo del sistema Peine	217
Figura 5-237: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo GD-04	218
Figura 5-238: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L10-1	219
Figura 5-239: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L10-2	219
Figura 5-240: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L10-3	220
Figura 5-241: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L10-4	220
Figura 5-242: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L10-5	221
Figura 5-243: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L10-6	221
Figura 5-244: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L10-7	222
Figura 5-245: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L10-8	222
Figura 5-246: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L10-9	223
Figura 5-247: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L10-10	223
Figura 5-248: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L10-15	224

Figura 5-249: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo 1024	225
Figura 5-250: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo 1028	225
Figura 5-251: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo 2018.	226
Figura 5-252: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo 2037.	226
Figura 5-253: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo GD-03.....	227
Figura 5-254: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L10-11	227
Figura 5-255: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L10-12.	228
Figura 5-256: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L10-13.	228
Figura 5-257: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L10-14.	229
Figura 5-258: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L10-16.	229
Figura 5-259: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L10-17.	230
Figura 5-260: Nivel observado (m.s.n.m.) en Laguna Salada.....	230
Figura 5-261: Nivel observado (m.s.n.m.) en Laguna Saladita	231
Figura 5-262: Nivel observado (m.s.n.m.) en Laguna Interna.....	231
Figura 5-263: Resultados de análisis físico-químico del pozo 1028	233
Figura 5-264: Resultados de análisis físico-químico del pozo L10-1	234
Figura 5-265: Resultados de análisis físico-químico del pozo L10-4.	235
Figura 5-266: Resultados de análisis físico-químico CONAF de la laguna Interna.	236
Figura 5-267: Resultados de análisis físico-químico CONAF de la laguna Interna (continuación)	237
Figura 5-268: Resultados de análisis físico-químico CONAF de la laguna Salada	238
Figura 5-269: Resultados de análisis físico- químico CONAF de la laguna Salada (continuación).	239
Figura 5-270: Resultados de análisis físico- químico CONAF de la laguna Saladita.	240
Figura 5-271: Resultados de análisis físico- químico CONAF de la laguna Saladita (continuación).	241
Figura 5-272: Aforo laguna Salada. En barra roja caudal aforado por método manual, en azul velocidad (m/s) y en verde área mojada (m2)	243
Figura 5-273: Aforo laguna Saladita. En barra roja caudal aforado por método manual, en azul velocidad (m/s) y en verde área mojada (m2)	245
Figura 5-274: Evolución de la superficie lacustre sistema Peine medida por CONAF (Medición a través de estacas perimetrales)	246
Figura 5-275: Evolución de la superficie lacustre sistema Peine medida a través de imágenes satelitales.....	249
Figura 5-276: Distribución geográfica de puntos de monitoreo del sistema Vegetación Borde Este	251
Figura 5-277: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L3-16.	253
Figura 5-278: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L7-15.	253
Figura 5-279: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L1-17.	254
Figura 5-280: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L2-25	254
Figura 5-281: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L2-26	255
Figura 5-282: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L2-27	255
Figura 5-283: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L2-28	256
Figura 5-284: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L3-15	256
Figura 5-285: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L4-17	257
Figura 5-286: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L7-13	257

Figura 5-287: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L7-14	258
Figura 5-288: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L9-1	258
Figura 5-289: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L9-2	259
Figura 5-290: Nivel observado (m.s.n.m.) en régimen estático (línea magenta) y dinámico (línea azul) en el pozo de bombeo P2.....	259
Figura 5-291: Caudal medio mensual bombeado desde el pozo P2	260
Figura 5-292: Resultados de análisis físico-químico del pozo P2.....	261
Figura 5-293: Resultados de análisis físico-químico del pozo P2 (continuación).....	262
Figura 5-294: Distribución geográfica puntos de monitoreo Sistema Vegas de Tilopozo ...	263
Figura 5-295: Nivel observado (m.s.n.m.) en la reglilla de Tilopozo	264
Figura 5-296: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L12-1	264
Figura 5-297: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L12-2.....	265
Figura 5-298: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L12-3	265
Figura 5-299: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L12-4	266
Figura 5-300: Distribución espacial puntos de monitoreo Núcleo del Salar de Atacama	268
Figura 5-301: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo 1001	269
Figura 5-302: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo 1906	269
Figura 5-303: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo 2028	270
Figura 5-304: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo 2040	270
Figura 5-305: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo C4-B.....	271
Figura 5-306: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo M1-C.	271
Figura 5-307: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo M2-C	272
Figura 5-308: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo M7	272
Figura 5-309: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo E-101.....	273
Figura 5-310: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo E-324.....	273
Figura 5-311: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo EIA-5	274
Figura 5-312: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo Sample 4	274
Figura 5-313: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo SOPE-6.	275
Figura 5-314: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo SOPM-2.	275
Figura 5-315: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo SOPM-4	276
Figura 5-316: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo SOPM-5	276
Figura 5-317: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo SOPM-10	277
Figura 5-318: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo SOPM-11	277
Figura 5-319: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo SOPM-12C.....	278
Figura 5-320: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo Zar-C-S	278
Figura 5-321: Precipitación diaria registrada en la estación KCL	279
Figura 5-322: Evaporación diaria registrada en la estación KCL.....	279
Figura 5-323: Velocidad del viento diaria registrada en la estación KCL	280
Figura 5-324: Temperatura media diaria registrada en la estación KCL.....	280
Figura 5-325: Resultados de análisis físico-químico pozo SOPM-12c	281
Figura 5-326: Resultados de análisis físico-químico pozo 1001	282
Figura 5-327. Distribución geográfica puntos de monitoreo del sistema Cuña Salina.	284
Figura 5-328: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo Cuña 1.....	285
Figura 5-329: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo Cuña 2.....	285
Figura 5-330: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo Cuña 3.....	286

Figura 5-331: Perfil de conductividad eléctrica en los pozos Cuña 1, Cuña 2 y Cuña 3 a diciembre 2016.....	286
Figura 5-332: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo Cuña 4.....	287
Figura 5-333: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo Cuña 5.....	287
Figura 5-334: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L4-3.....	288
Figura 5-335: Perfil de conductividad eléctrica en los pozos Cuña 5, Cuña 4 y L4-3 a diciembre de 2016.....	288
Figura 5-336: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo Cuña 6.....	289
Figura 5-337: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo Cuña 7.....	289
Figura 5-338: Perfil de conductividad eléctrica en los pozos Cuña 7, L10-1 y Cuña 6 a diciembre 2016.....	290

LISTADO DE TABLAS

Tabla 2-1: Responsable y participantes de las actividades de muestreo, medición, análisis y/o control del presente informe.....	40
Tabla 2-2: Criterios de clasificación de agua de acuerdo a salinidad en unidad de SDT.....	41
Tabla 2-3: Criterios de clasificación de agua de acuerdo a salinidad.....	41
Tabla 4-1: Listado de parámetros registrados en el monitoreo del Plan de Seguimiento Ambiental.....	51
Tabla 5-1: Identificación de Indicadores de Estado.....	58
Tabla 5-2: Puntos de monitoreo del PC con su cota de activación, según RCA 226/2006 con levantamiento topográfico actualizada para el Sistema Soncor.....	62
Tabla 5-3: Puntos de monitoreo del PC con su descenso de activación.....	62
Tabla 5-4: Puntos de monitoreo adicionales al PC.....	63
Tabla 5-5: Cronograma de entrega de informes y revisiones del Plan de Contingencia.....	63
Tabla 5-6: Puntos de monitoreo del sistema Soncor.....	83
Tabla 5-7: Principales precipitaciones (más de 5 mm) registradas en la Estación Meteorológica de Chaxa desde 2011 a la fecha.....	132
Tabla 5-8: Medición de superficies lacustres medidas desde abril de 2008 a abril de 2016.....	165
Tabla 5-9: Puntos de monitoreo del sistema Aguas de Quelana.....	167
Tabla 5-10: Puntos de monitoreo del sistema Peine.....	216
Tabla 5-11: Superficies lacustres medidas desde abril de 2008 hasta abril de 2016.....	248
Tabla 5-12: Puntos de monitoreo del sistema Vegetación Borde Este.....	250
Tabla 5-13: Puntos de monitoreo del sistema Vegas de Tilopozo.....	263
Tabla 5-14: Puntos monitoreo Sistema Núcleo del Salar de Atacama.....	267
Tabla 5-15: Puntos de monitoreo del sistema Cuña Salina.....	283

ANEXOS

ANEXO 1: REPORTE ARCADIS DE VISITA A TERRENO DICIEMBRE 2016
ANEXO 2: MEDICIONES AUDITORES EXTERNOS Y AUTORIDADES
ANEXO 3: LISTADO DE PERSONAL INVOLUCRADO EN CADA ACTIVIDAD
RELACIONADO A ESTE INFORME
ANEXO 4: NIVELES DE LOS POZOS DEL PLAN DE SEGUIMIENTO AMBIENTAL
HIDROGEOLÓGICO (M.S.N.M. DATUM UTM WGS84 HUSO 19S)
ANEXO 5: METODOLOGÍAS DE MUESTREO, MEDICIÓN, ANÁLISIS Y/O CONTROL DE
CADA PARÁMETRO.
ANEXO 6: CERTIFICADOS DE CALIBRACIÓN
ANEXO 7: REGISTRO DE PUNTOS NO MONITOREADOS
ANEXO 8: LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO DE LOS PUNTOS DEL PSAH EN
COORDENADAS UTM WGS84 HUSO 19S
ANEXO 9: CARTAS DE AVISO A LA SUPERINTENDENCIA DE MEDIO AMBIENTE
ANEXO 10: NIVELES DE LOS POZOS DEL PLAN DE CONTINGENCIA – SECTOR
SONCOR
ANEXO 11: DESCENSOS DE LOS POZOS DEL PLAN DE CONTINGENCIA
ANEXO 12: FIGURAS NIVELES POZOS PC SONCOR (PSAD-56)
ANEXO 13: REGISTROS METEOROLÓGICOS
ANEXO 14: REGISTRO DE CAUDALES BOMBEADOS POR MES EN LOS POZOS DE
AGUA INDUSTRIAL (L/SEG)
ANEXO 15: INFORMES DE CALIDAD QUÍMICA
ANEXO 16: CERTIFICACIÓN ETFA LABORATORIO SGS
ANEXO 17: CARTAS DE AVISO A LA SUPERINTENDENCIA DE MEDIO AMBIENTE
ASOCIADA AL POZO L12-1

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 diciembre de 2016 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:

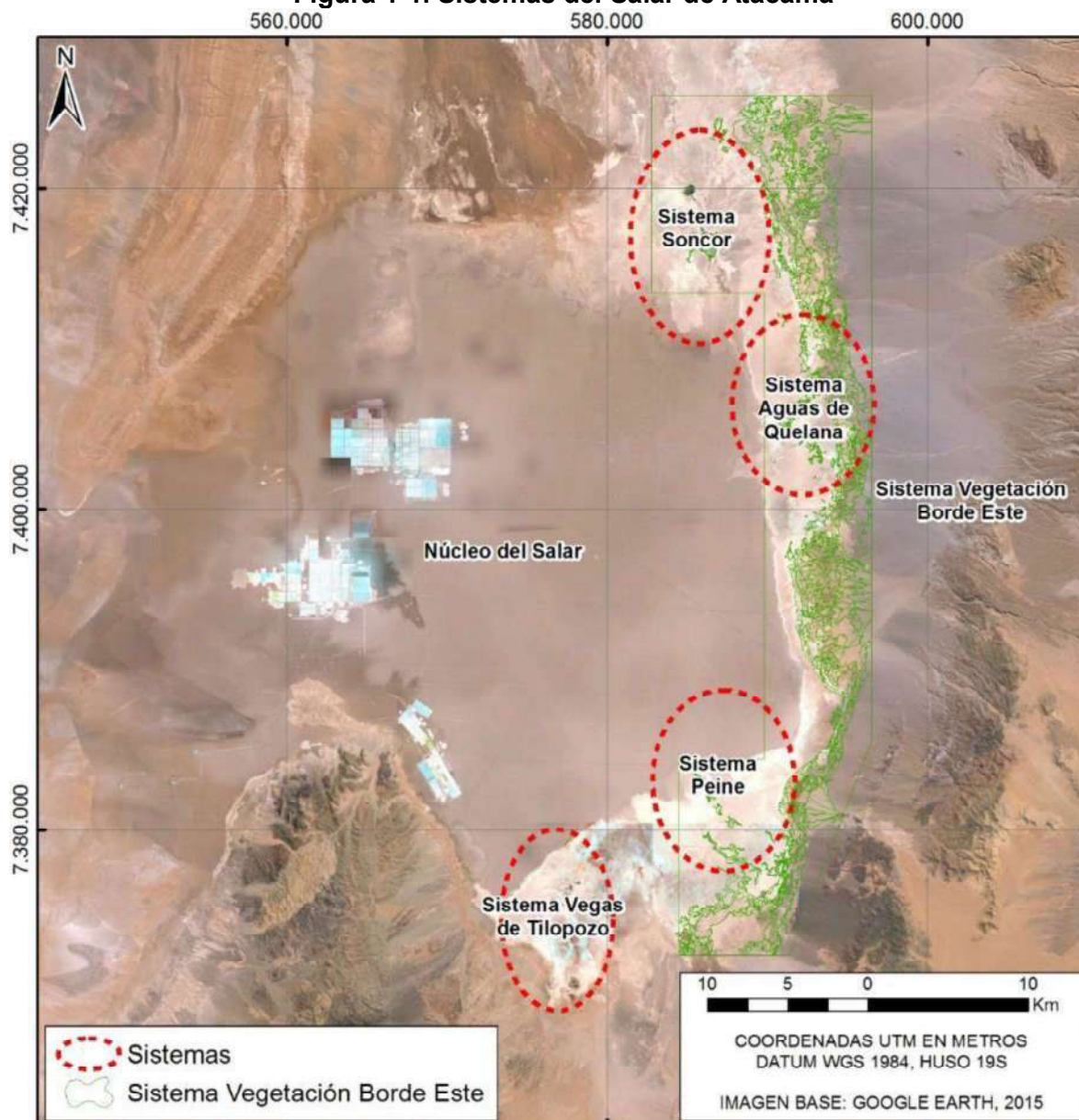
- Proteger los sectores sensibles del Salar de Atacama, dentro de los que se tiene (Figura 1-2):
 - Sistema lacustre de Soncor compuesto por tres lagunas principales, dos de las cuales, Chaxa y Barros Negros, se encuentran conectadas superficialmente a través de un canal natural y la tercera, laguna 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 Salada, Saladita e Interna.
 - Sistema Vegetación Borde Este donde se encuentra vegetación hidromorfa y arbustiva conectada al acuífero de agua subyacente.
- 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 se detectan desviaciones en los sistemas que se busca proteger, respecto de las condiciones naturales históricamente observadas.

El PSAH se encuentra constituido por 225 puntos de monitoreo (47 de medición continua) que se desglosan 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;

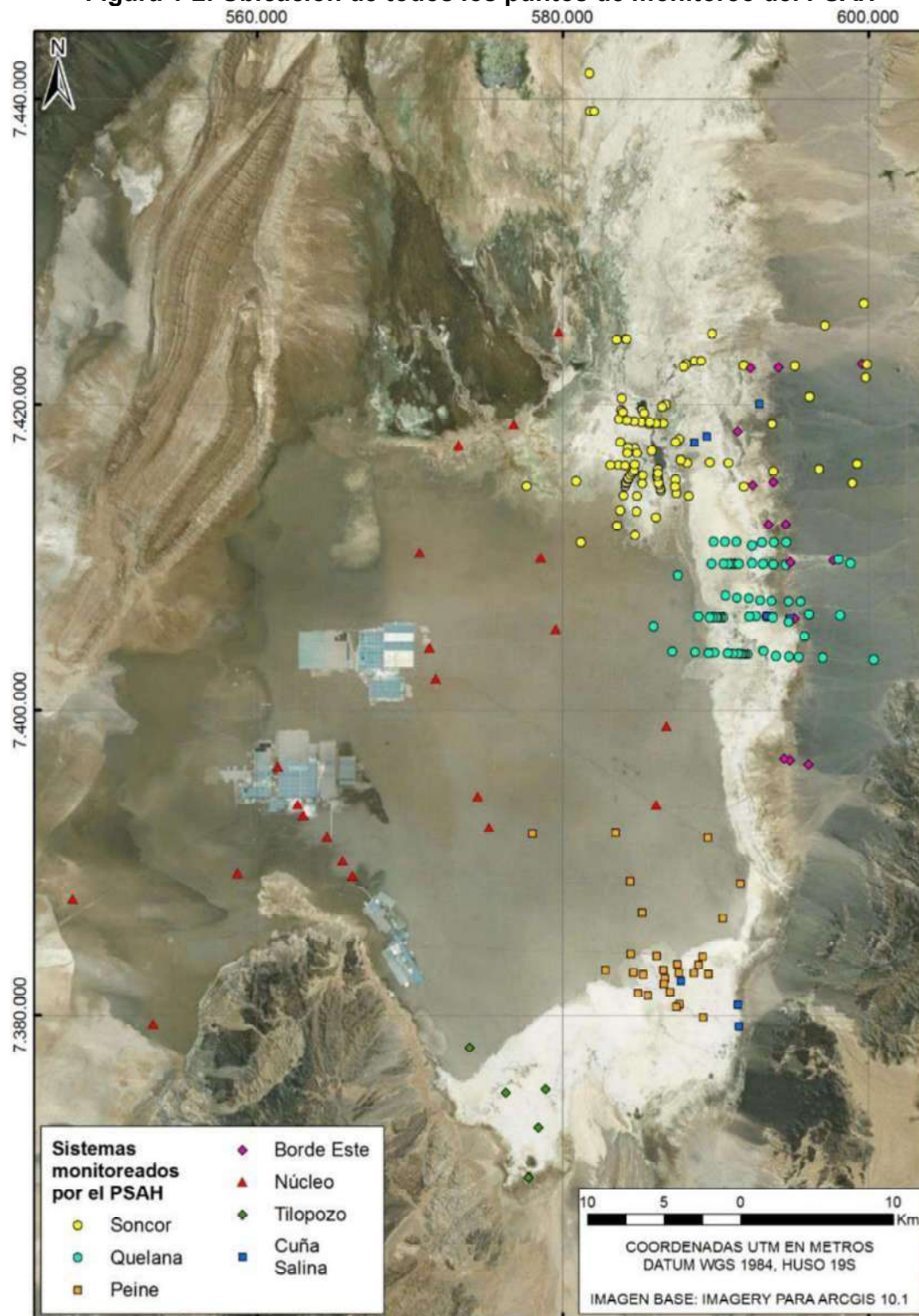
- 2 estaciones meteorológicas.

Figura 1-1. Sistemas del Salar de Atacama



Fuente: Elaboración propia.

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



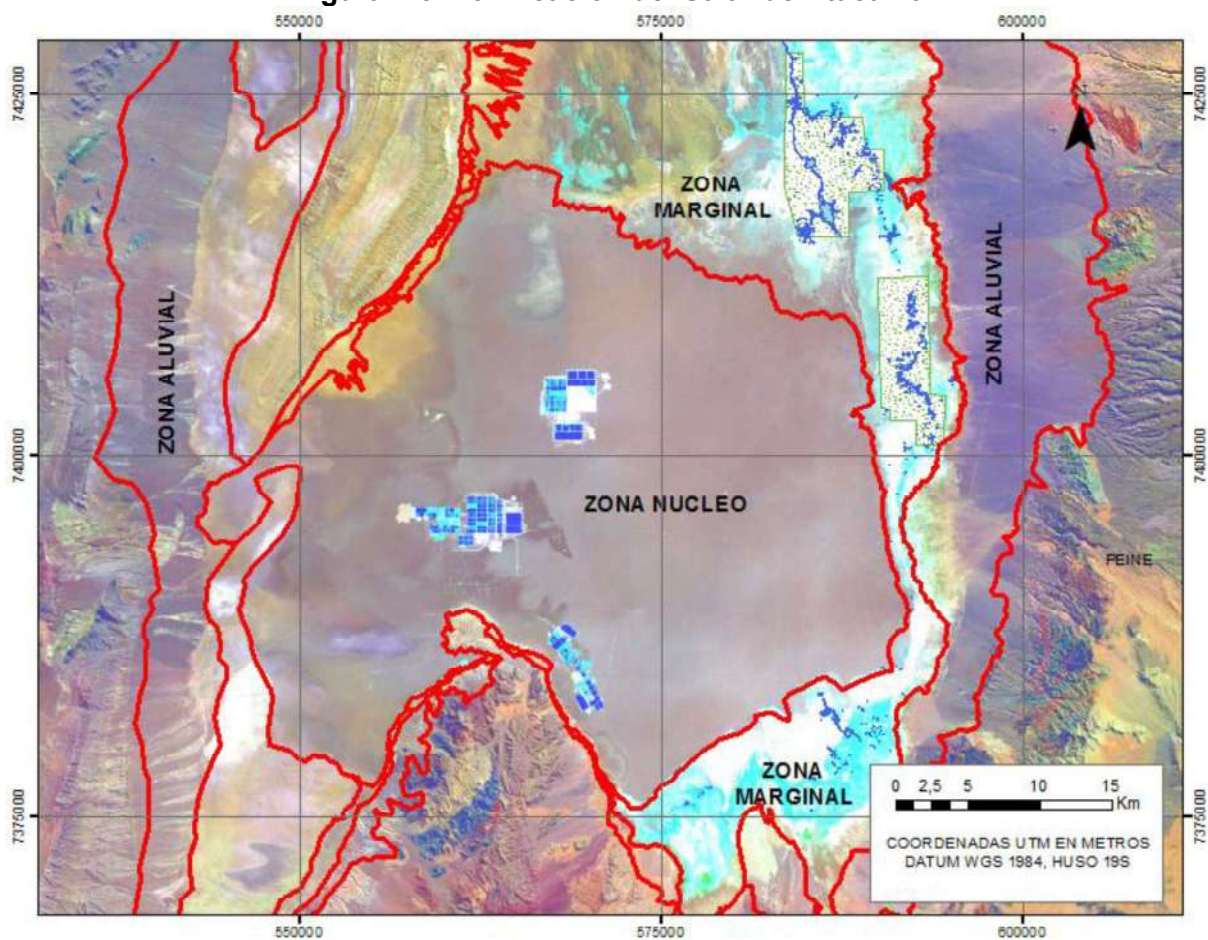
Fuente: Elaboración propia.

La dinámica de los sistemas hidrogeológicos del Salar de Atacama depende del balance recarga-descarga, donde existen acuíferos de agua dulce (Borde Este), agua 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, del sector Sur (Tilopozo) y del sector Norte.

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, a veces en forma de canalización de los mismos afloramientos, en la zona donde se encuentra la cuña salina que marca la zona de equilibrio entre el sistema de agua dulce (aluvial) y el sistema de salmuera del núcleo. 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 2, sección 4.1.

La zonificación del Salar de Atacama se presenta en la Figura 1-3, en ella se observa la ubicación de la zona marginal y el Borde Este dentro del Salar.

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. 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 para que las extracciones no afecten los sistemas a proteger. Hasta la fecha se han realizado tres aumentos de extracción de salmuera acorde a los escalones de extracción definidos en la RCA. 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 se basa en zonas de protección definidas alrededor de los sistemas de lagunas y en sectores de vegetación en el Borde Este, contando con pozos de alerta temprana ubicados relativamente lejos de estos sistemas (Figura 1-4). Estos indicadores tienen asociada la activación del PC en dos fases:

Fase I: Alerta Temprana → aumento de la frecuencia de medición

Fase II: Medidas de Contingencia → reducción extracción de agua/salmuera

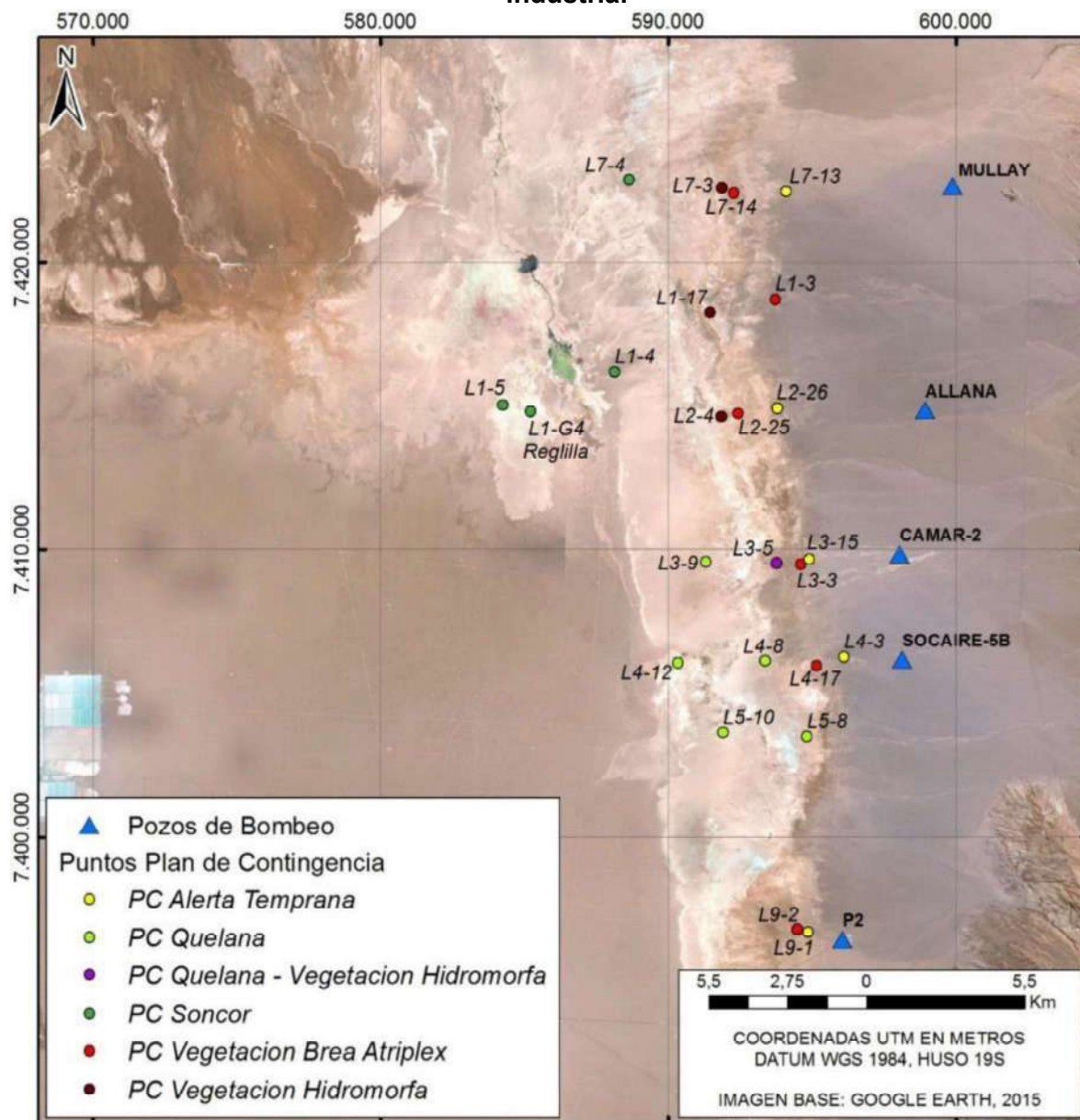
En la sección 5.1 se presenta en detalle en qué consiste el Plan de Contingencia para los sistemas que se busca proteger: sistemas lacustres de Soncor, Quelana y Peine y sistema de vegetación Borde Este.

En dicha sección se incluye 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. A modo de ejemplo, se muestran algunos indicadores, para 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 muestran respuestas a las precipitaciones importantes con aumentos de nivel notorios.

El registro histórico de la calidad química del agua no presenta una variación marcada ni una tendencia determinada.

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



Fuente: Elaboración propia.

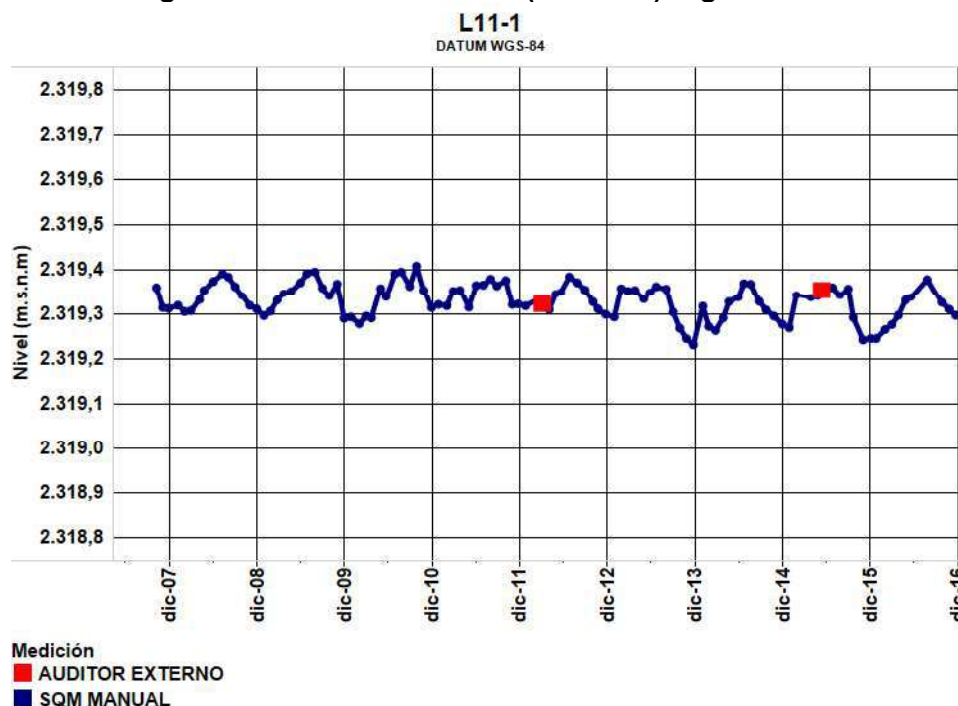
1.1 SISTEMA SONCOR

Este sistema hídrico abarca parte de la zona aluvial, zona marginal y zona del núcleo. En la zona marginal existen las lagunas Chaxa, Barros Negros y Puilar (objetos de protección del PC) y el canal Burro Muerto. Las lagunas son recargadas principalmente a través de agua superficial que proviene desde las nacientes ubicadas al norte del Salar de Atacama y fluyen por el canal Burro Muerto, y además por recarga subterránea proveniente del acuífero del borde Este. En la zona aluvial del sistema Soncor se encuentran los pozos de bombeo de agua industrial Mullay y Allana que extraen agua desde el acuífero del Borde Este. Los puntos de monitoreo de este sistema se presentan en la Figura 1-5.

1.1.1 Sistema Soncor: Sector norte, nacientes del Canal Burro Muerto

Tal como se señaló anteriormente, las lagunas del sistema Soncor son recargadas principalmente por un flujo de agua superficial a través del canal Burro Muerto, proveniente del sector de las nacientes, las que se encuentran a 20 Km aproximadamente al norte de la laguna Chaxa. Para ilustrar el comportamiento de los niveles de la napa en este sector, se presenta el nivel de la reglilla L11-1, el que se ha mantenido estable en el tiempo. Los puntos de monitoreo emplazados en este sector fueron definidos para detectar cambios en la recarga ya sea por acción de terceros aguas arriba o efectos naturales. Cabe destacar que un cambio en el comportamiento de este sistema no se relaciona con las actividades productivas que SQM desarrolla en la cuenca.

Figura 1-6: Nivel observado (m.s.n.m.) reglilla L11-1

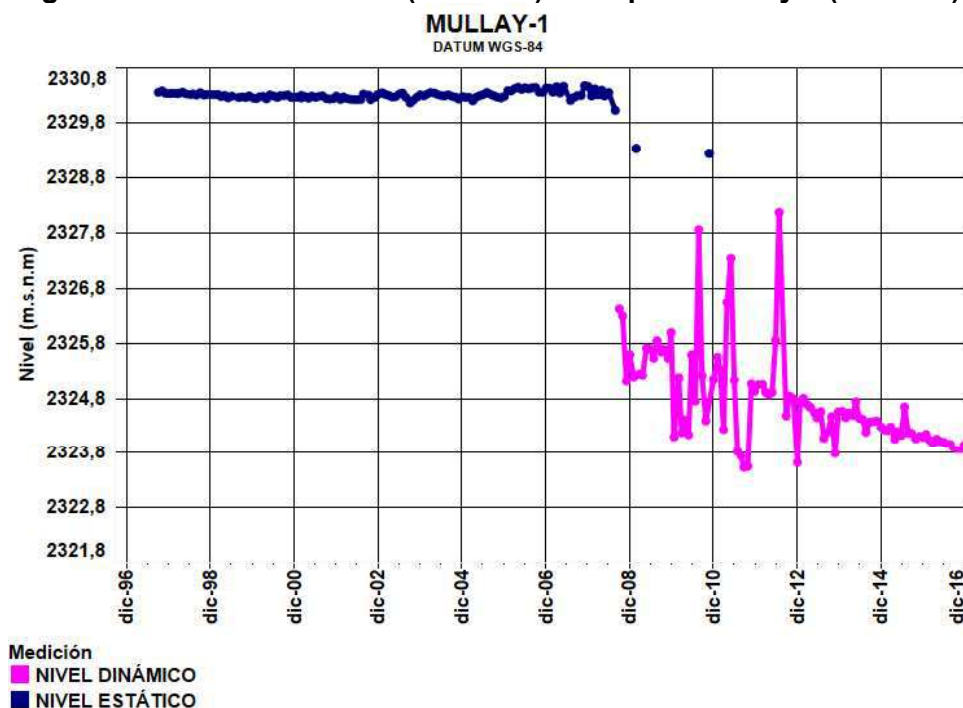


Fuente: Elaboración propia.

1.1.2 Sistema Soncor: Zona Aluvial

Esta zona se ubica en la parte alta del acuífero Borde Este (al Este del núcleo del Salar de Atacama) y su parámetro ambiental de mayor importancia monitoreado es el nivel de agua subterránea. La tendencia general de este parámetro es de suave descenso hacia la estabilización. El inicio del bombeo de los pozos de agua industrial en esta zona (pozos Allana y Mullay) fue en septiembre de 2008. En la Figura 1-7, Figura 1-8 y Figura 1-9 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.

Figura 1-7. Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo Mullay 1 (bombeo)



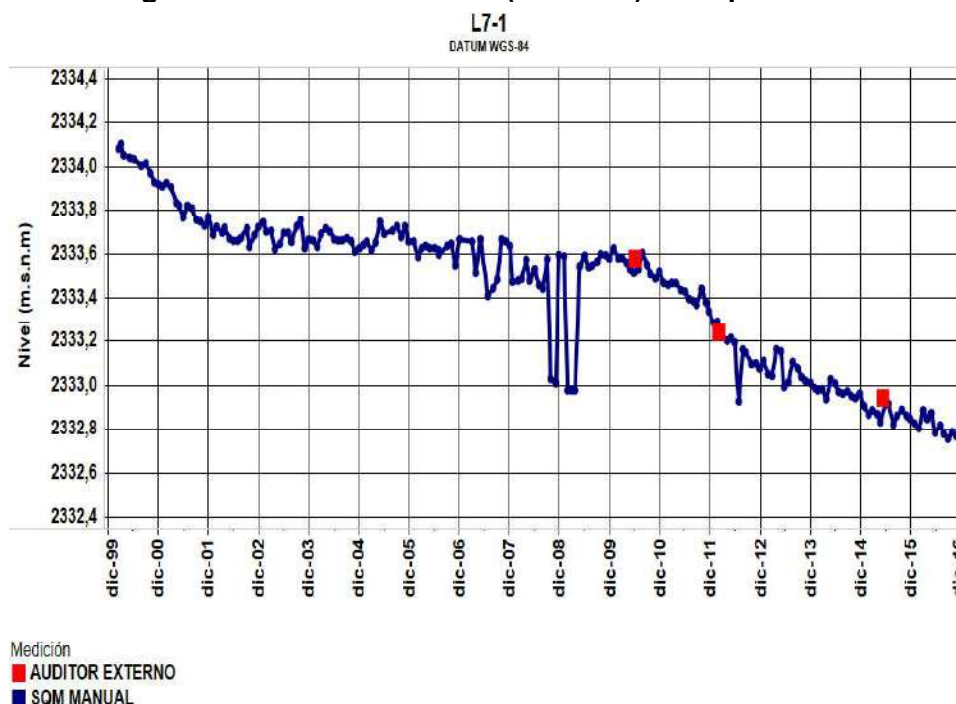
Fuente: Elaboración propia.

Figura 1-8. Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L1-1



Fuente: Elaboración propia.

Figura 1-9. Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L7-1



Fuente: Elaboración propia.

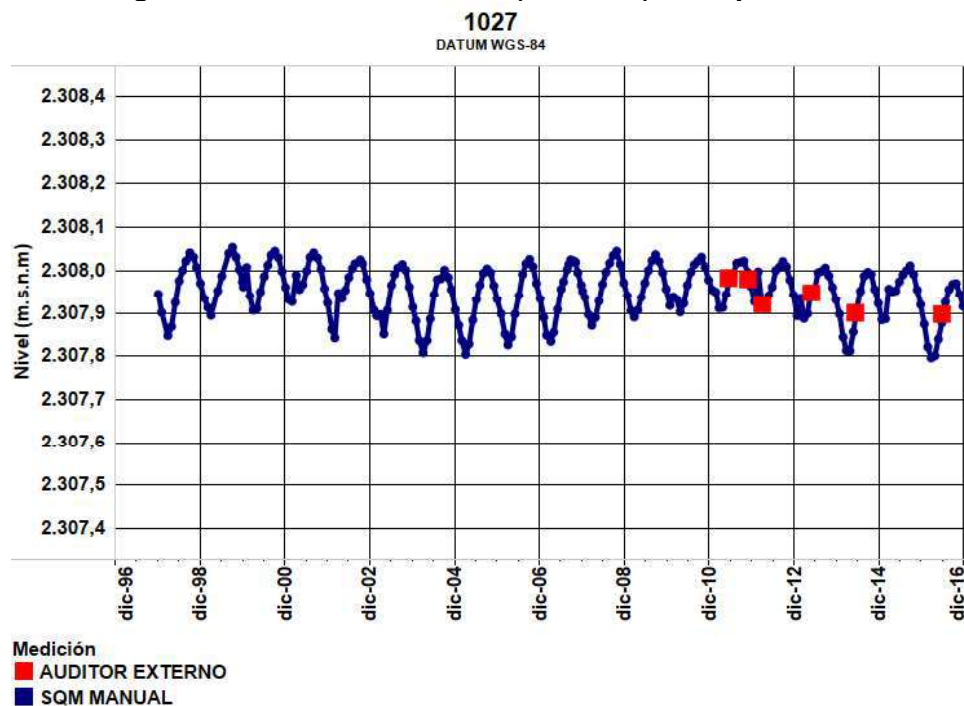
1.1.3 Sistema Soncor: Zona Marginal

Corresponde a la zona de transición entre el agua y la salmuera del Salar. Es en esta parte del sistema se encuentran los elementos objeto de protección, las lagunas Chaxa, Barros Negros y Puilar.

Los niveles se han mantenido en general estables dentro de su rango de variación estacional donde el proceso de control del nivel es la evaporación desde la superficie. Las precipitaciones registradas el 2012, 2013 y 2015 producen un aumento significativo de los niveles. Para ilustrar el comportamiento de los niveles de la napa en esta zona, en la Figura 1-10 se presenta el comportamiento del pozo 1027 y en la Figura 1-11 del pozo P1-6, a modo de ilustración del comportamiento de los niveles de la napa en esta zona.

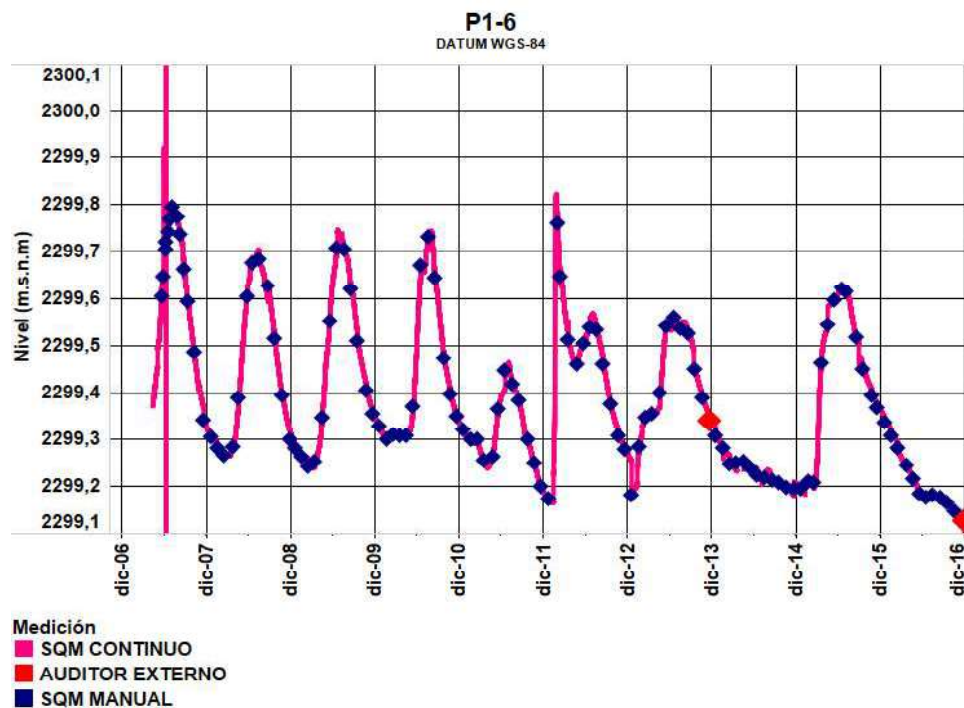
Otra variación natural que se observa es que existen zonas de ascenso de nivel piezométricos (L1-7, Figura 1-12).

Figura 1-10. Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo 1027



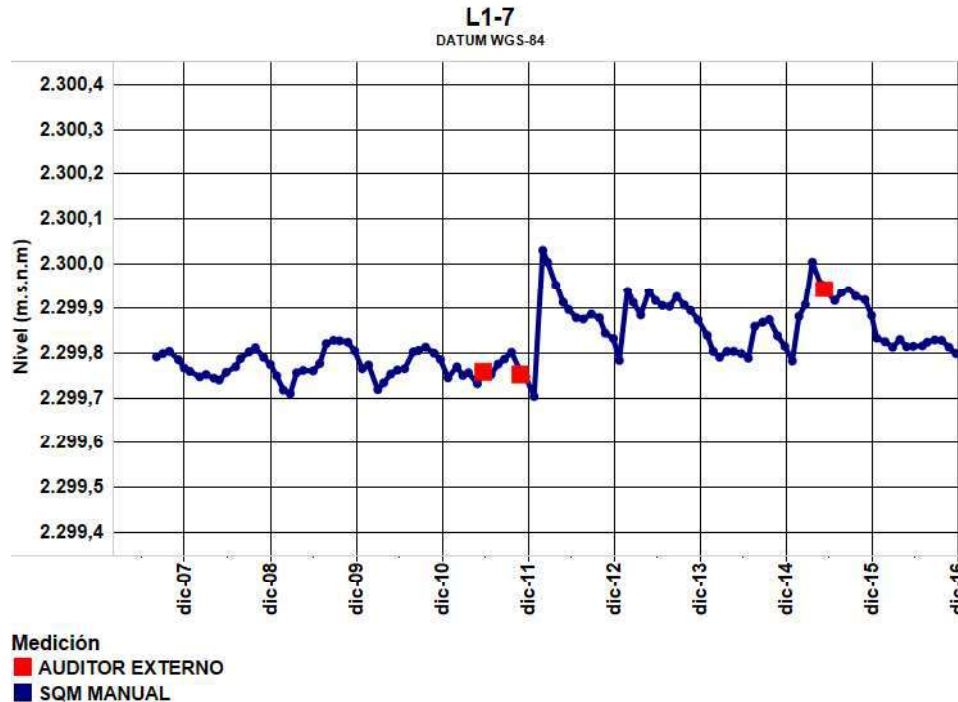
Fuente: Elaboración propia.

Figura 1-11. Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo P1-6



Fuente: Elaboración propia.

Figura 1-12: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L1-7



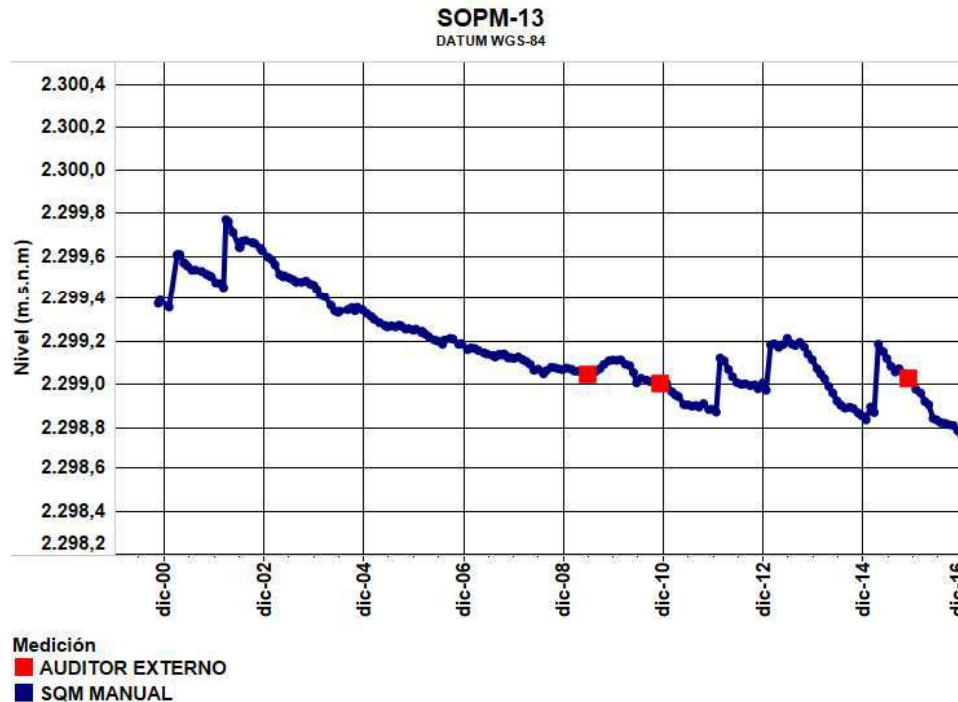
Fuente: Elaboración propia.

1.1.4 Sistema Soncor: Zona Salmuera

Corresponde a la parte del núcleo del salar, acuífero del cual se realiza la extracción de salmuera. Los niveles en este sector tienen una tendencia al descenso como consecuencia fundamentalmente del bombeo de salmuera, los que presentan aumentos puntuales debido a la precipitación directa. En los últimos años, se observa una tendencia a la estabilización, con incrementos estacionales asociados a eventos de precipitaciones.

Como ejemplo se presenta el pozo SOPM-13 (Figura 1-13).

Figura 1-13. Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo SOPM-13

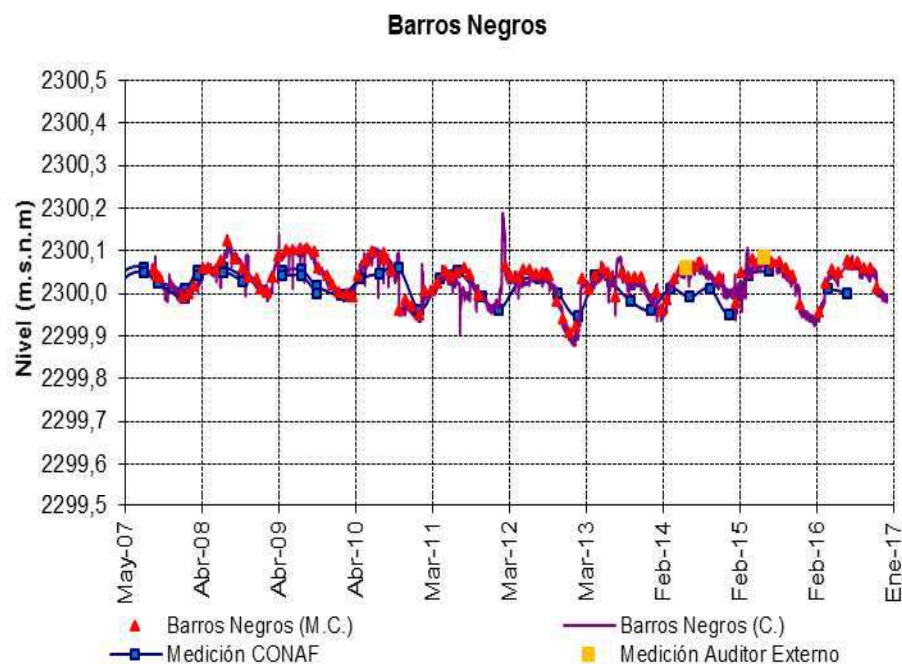


Fuente: Elaboración propia.

1.1.5 Sistema Soncor: Nivel Lacustre

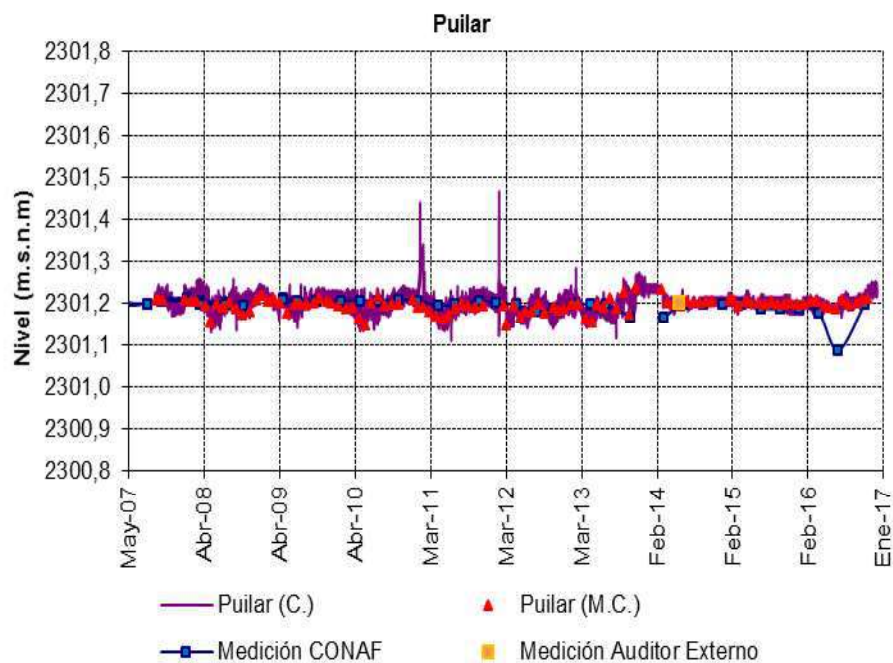
En este sistema se realizan mediciones de nivel de los cuerpos de agua superficial, lagunas Barros Negros (Figura 1-14), Puilar (Figura 1-15) y Chaxa (Figura 1-16), las que se han mantenido estables con oscilaciones estacionales en torno a los 10 cm. Las mediciones de nivel se realizan de manera manual tanto por SQM (M.C.) como por parte de CONAF. Adicionalmente SQM tiene instalados transductores de presión para registrar el comportamiento de niveles de manera continua (C).

Figura 1-14: Nivel observado (m.s.n.m.) de la superficie del agua reglilla Barros



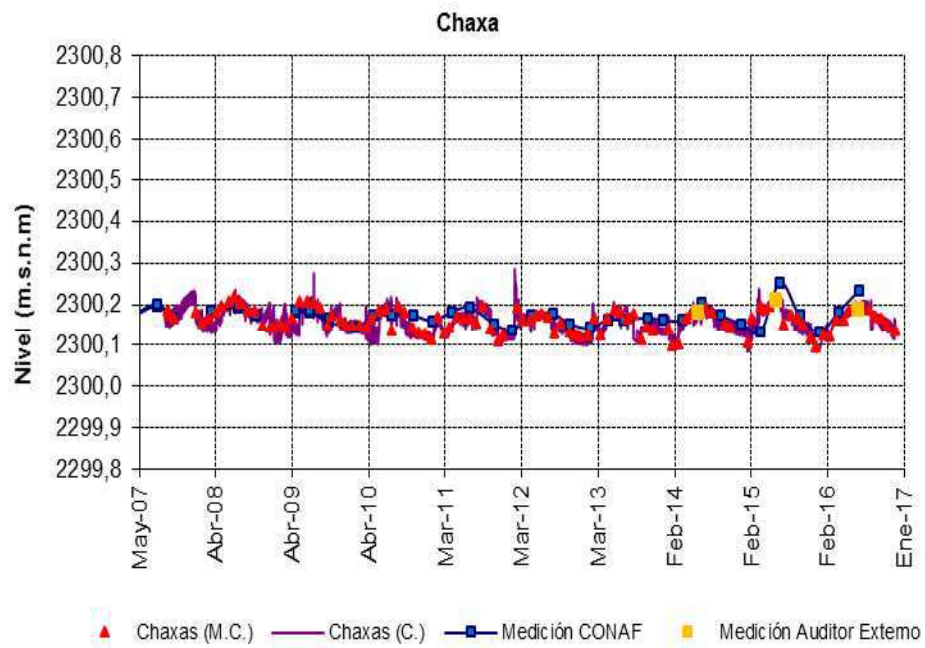
Fuente: Elaboración propia.

Figura 1-15: Nivel observado (m.s.n.m.) de la superficie del agua en la reglilla Puilar.



Fuente: Elaboración propia

Figura 1-16: Nivel observado (m.s.n.m.) de la superficie del agua en la reglilla Chaxa



Fuente: Elaboración propia.

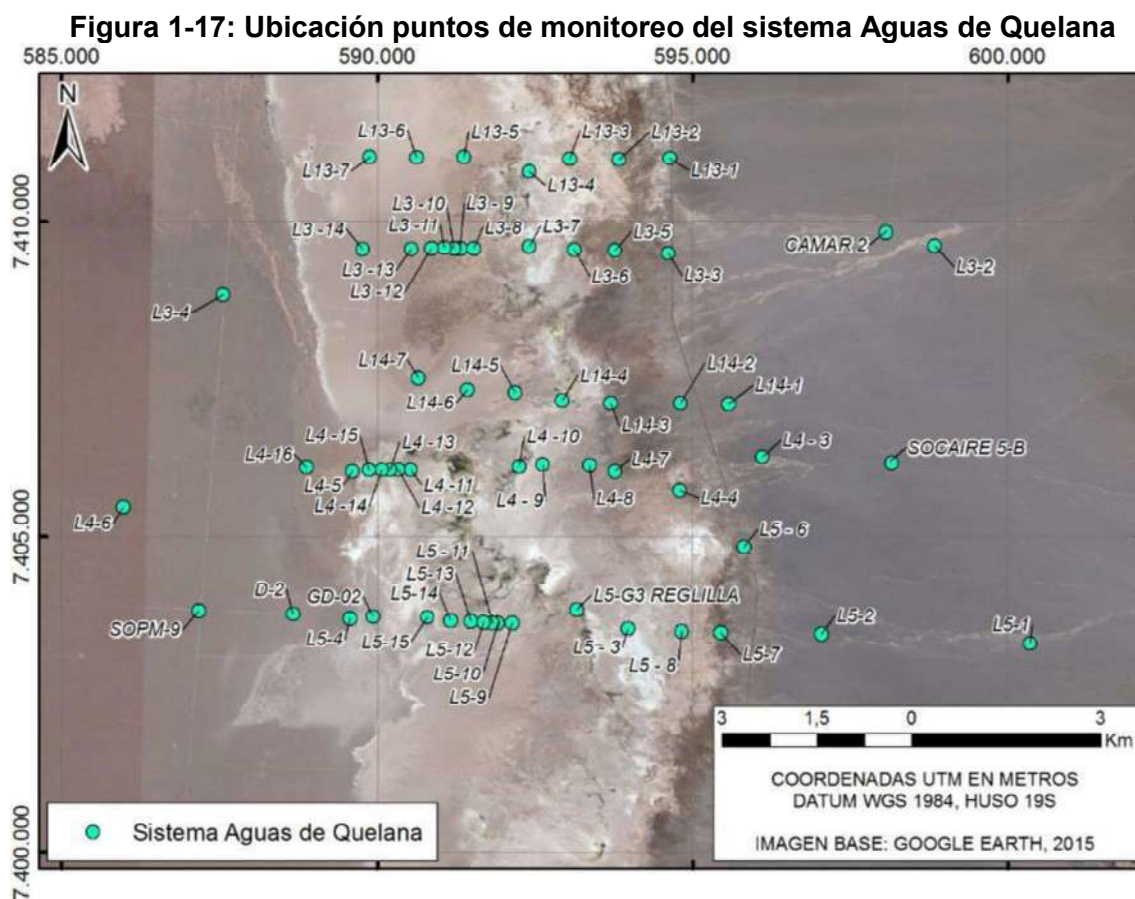
1.2 SISTEMA AGUAS DE QUELANA

En el Sistema Aguas de Quelana se identifican tres zonas: la zona aluvial, la zona marginal y la zona núcleo.

El objeto de protección del Plan de Seguimiento Ambiental Hidrogeológico son los cuerpos de agua superficial correspondientes a pequeñas lagunas dispersas en la zona marginal de este sistema.

Los pozos Camar 2 y Socaire 5B, ubicados en la zona aluvial de este sistema, cuya explotación se inició en marzo de 2008 y enero de 2000, respectivamente, aportan al abastecimiento de agua industrial del proyecto.

En la Figura 1-17 se presenta la ubicación de los puntos de monitoreo de este sistema.

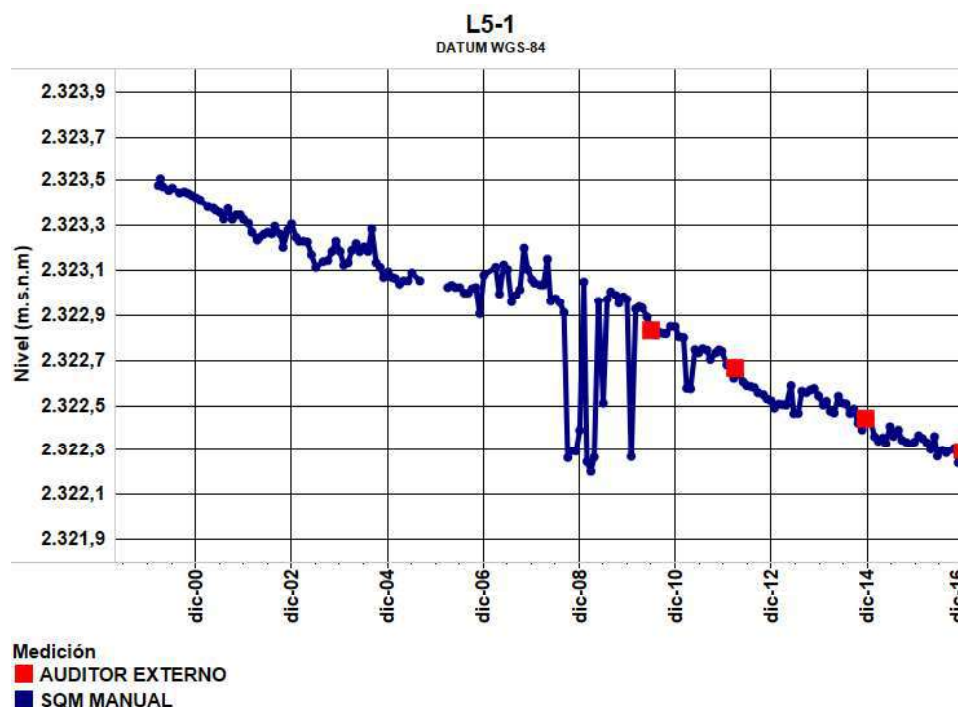


Fuente: Elaboración propia.

1.2.1 Sistema Aguas de Quelana: Zona aluvial

En la Figura 1-18 se presenta los niveles del pozo L5-1.

Figura 1-18: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L5-1



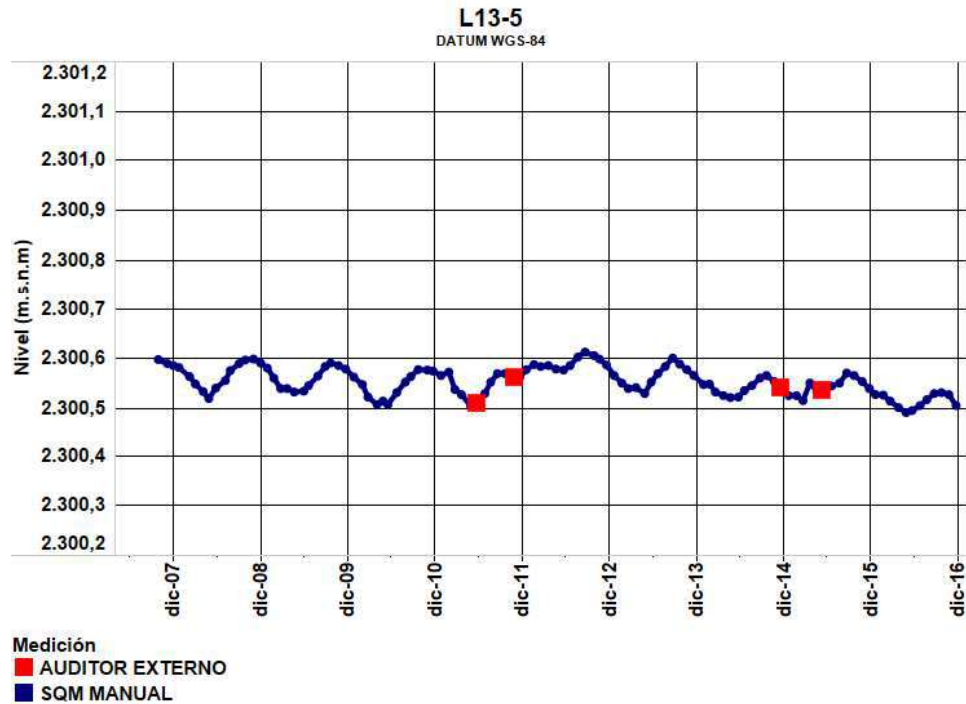
Fuente: Elaboración propia.

1.2.2 Sistema Aguas de Quelana: Zona marginal

En esta zona del sistema se produce la transición entre agua y salmuera. El nivel freático se ubica próximo a la superficie y es controlado principalmente por la evaporación.

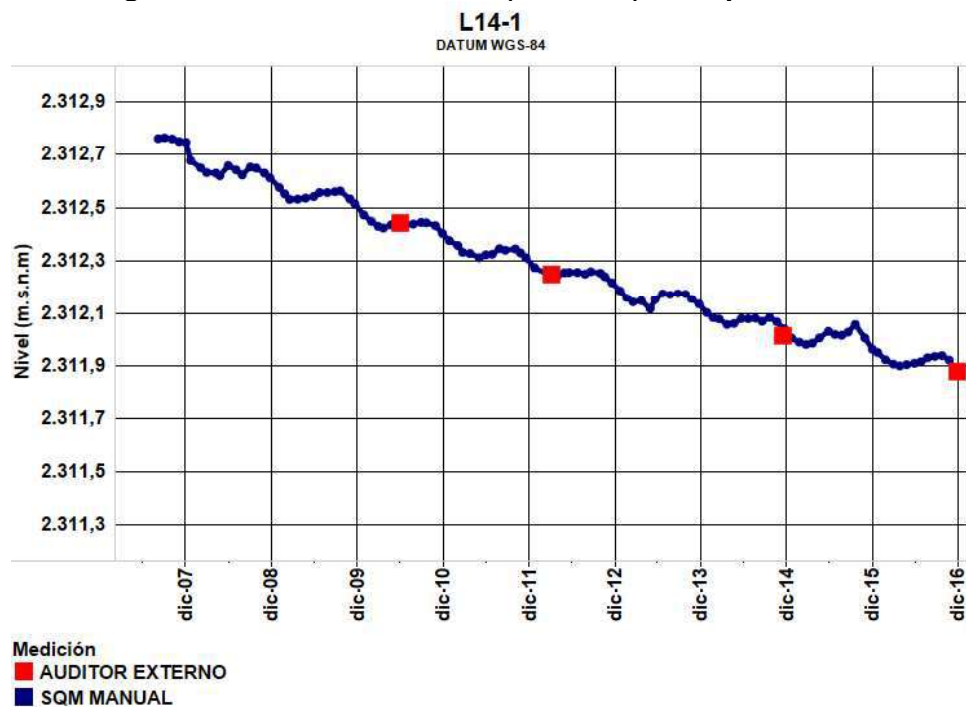
En esta zona los niveles tienen un comportamiento influenciado por la evaporación, excepto los pozos que se encuentran más hacia el este, en el margen con la zona aluvial. En la Figura 1-19 y Figura 1-20 se presentan dos pozos a modo de ejemplo del comportamiento de esta zona, el pozo L13-5 con un comportamiento oscilatorio estable y el pozo L14-1 con tendencia al descenso por efecto del bombeo de los dos pozos de agua industrial existentes en la zona aluvial.

Figura 1-19. Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L13-5



Fuente: Elaboración propia.

Figura 1-20. Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L14-1.

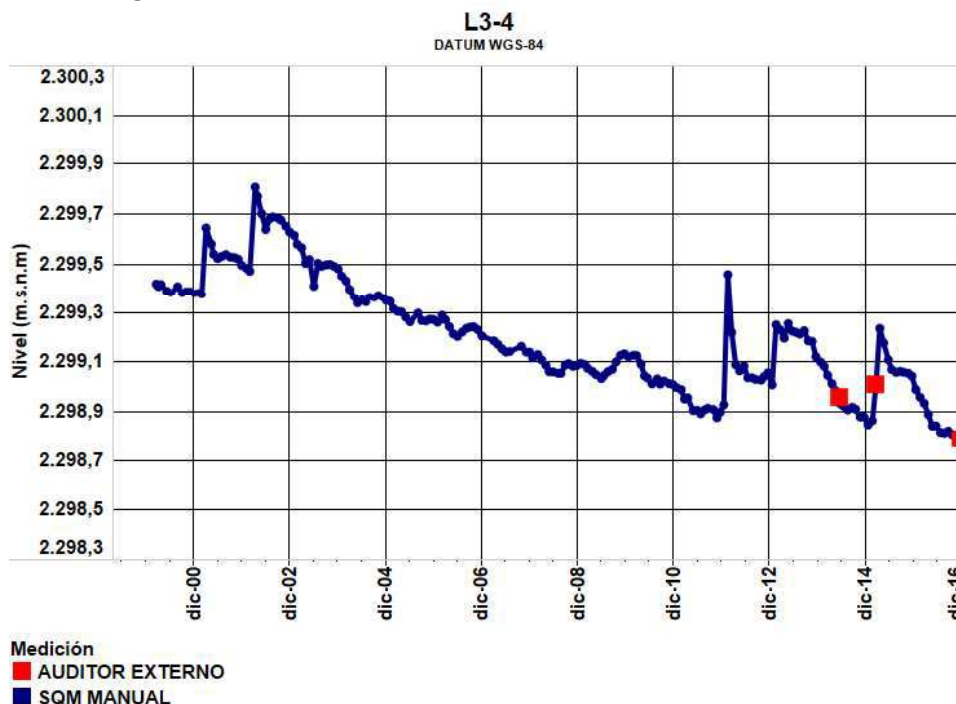


Fuente: Elaboración propia.

1.2.3 Sistema Aguas de Quelana: Zona Salmuera

En esta zona se observa una tendencia de los niveles al descenso por efecto del bombeo de salmuera, con efectos puntuales de ascenso brusco producto de las precipitaciones como las ocurridas en los años 2012, 2013 y 2015. Se presenta como ejemplo el nivel en el pozo L3-4 (Figura 1-21).

Figura 1-21. Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L3-4.

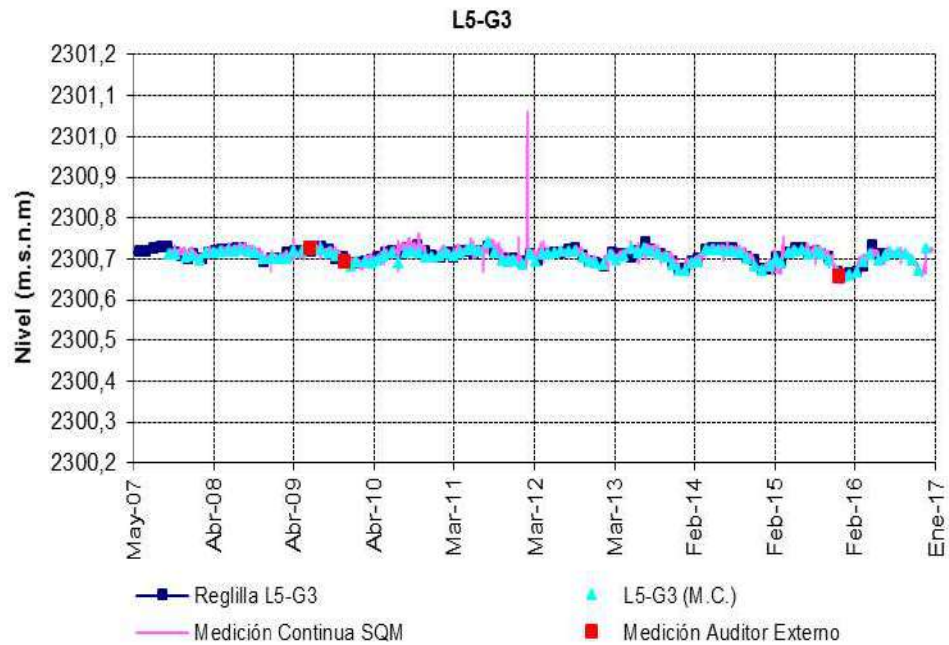


Fuente: Elaboración propia.

1.2.4 Sistema Aguas de Quelana: Cuerpos de agua superficial

En este sistema se monitorean los niveles en cuerpos de agua superficial mediante reglillas, los que muestran un comportamiento estacional controlado por la evaporación. A modo de ejemplo se presenta el nivel del agua superficial en la reglilla L5-G3 (Figura 1-22).

Figura 1-22: Nivel observado (m.s.n.m.) de la superficie del agua 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)



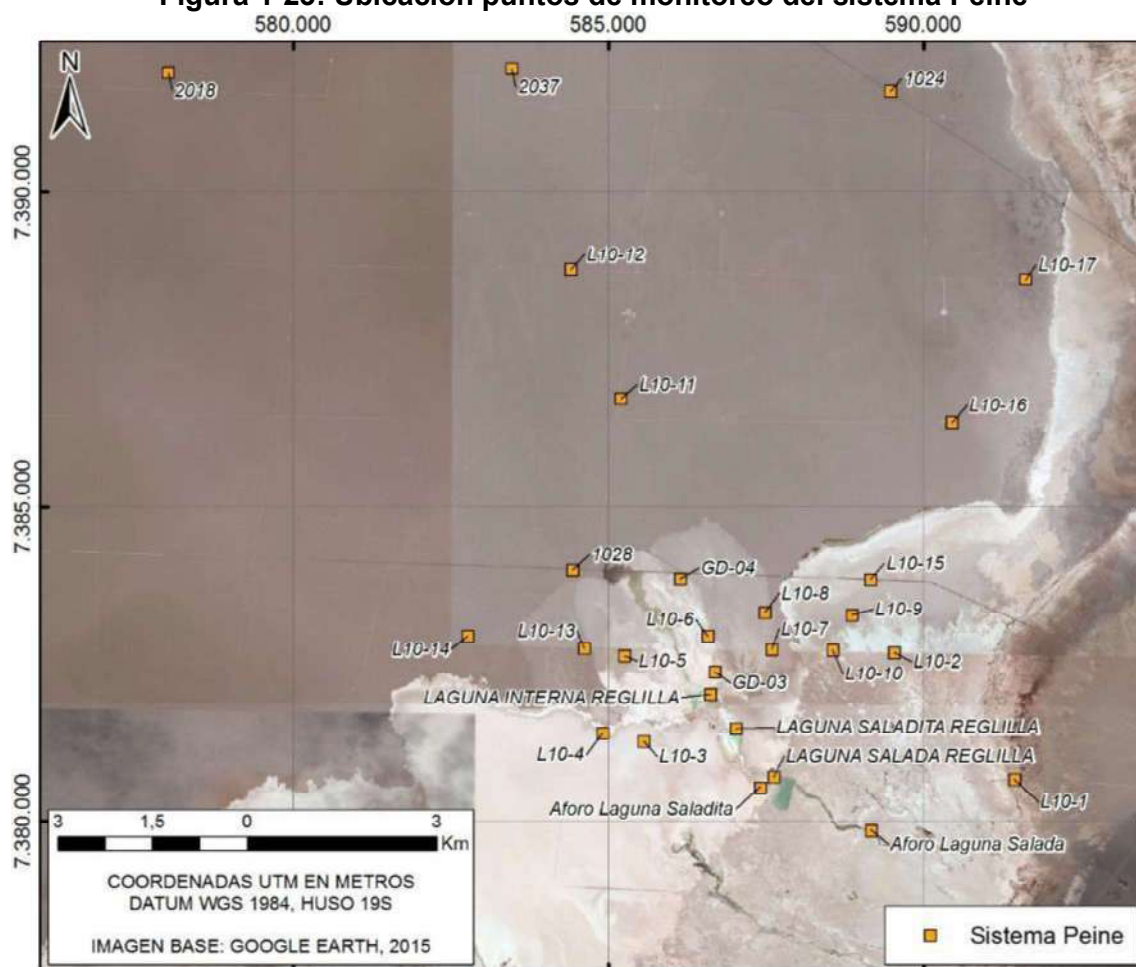
Fuente: Elaboración propia.

1.3 SISTEMA PEINE

Este sistema comprende una zona marginal y una zona de salmuera (Figura 1-23). No existen pozos de agua industrial de SQM ubicados en el acuífero aluvial aledaño a estas zonas.

En este sistema los elementos a proteger son las lagunas Salada, Saladita e Interna, donde se observa que los niveles registrados se mantienen estables.

Figura 1-23: Ubicación puntos de monitoreo del sistema Peine



Fuente: Elaboración propia.

1.3.1 Sistema Peine: Zona Marginal

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 1-24 y Figura 1-25).

Figura 1-24. Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L10-2



Fuente: Elaboración propia.

Figura 1-25. Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L10-7



Fuente: Elaboración propia.

1.3.2 Sistema Peine: Zona Salmuera

El comportamiento general es similar al observado en las zonas de salmuera de los otros sistemas. A modo de ejemplo del comportamiento de este sector, en la Figura 1-26 y Figura 1-27 se puede observar la evolución de los niveles en los pozos L10-17 y 1028 respectivamente.

Figura 1-26. Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L10-17



Fuente: Elaboración propia.

Figura 1-27: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo 1028



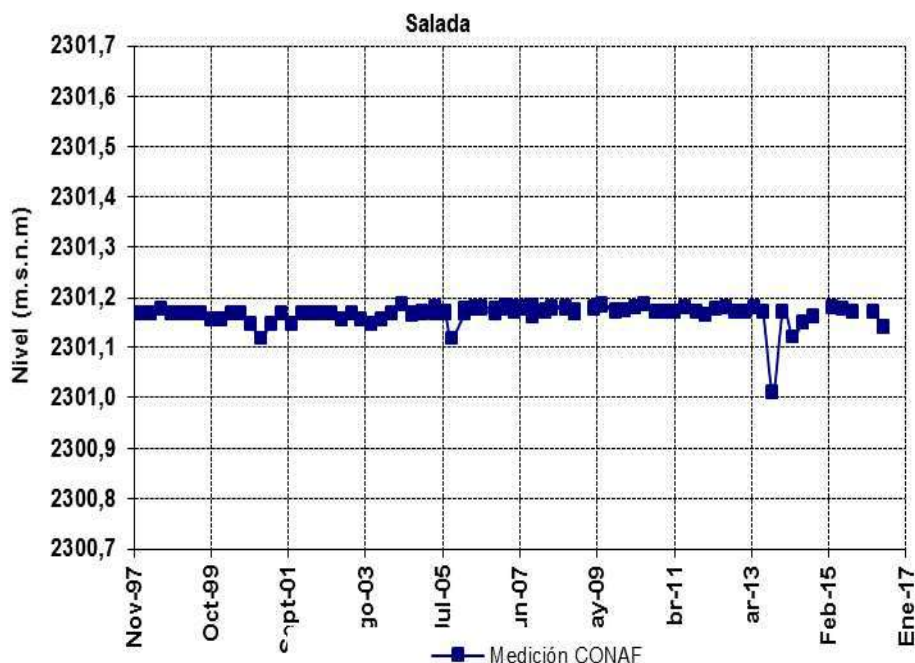
Fuente: Elaboración propia.

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 1-28), Saladita (Figura 1-29) e Interna (Figura 1-30).

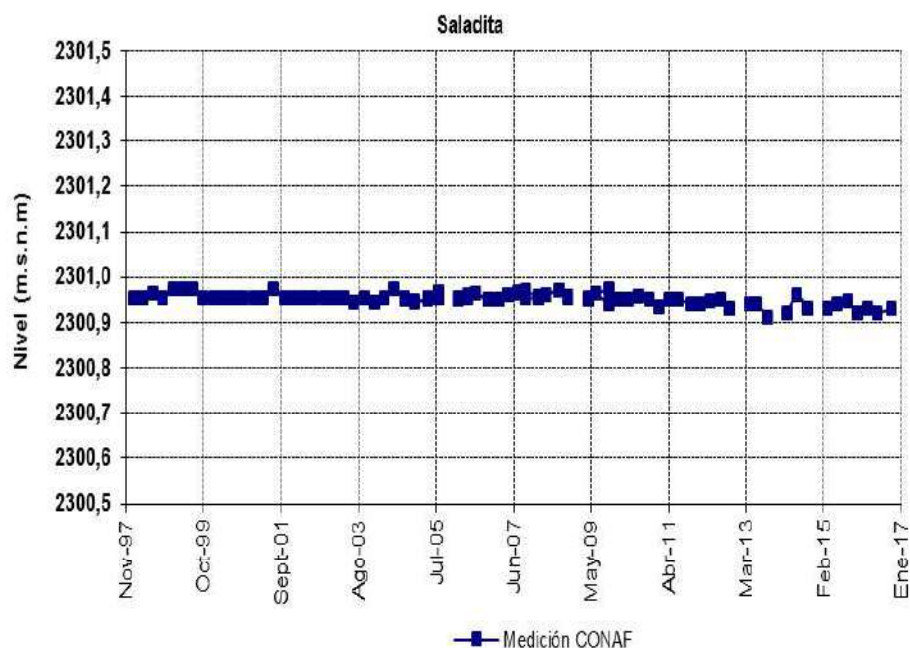
Respecto de Laguna Interna, CONAF ha informado que entre abril 2015 y 2016 no se ha logrado tomar mediciones de nivel en la reglilla por encontrarse el punto de medición seco, probablemente a consecuencia de la dinámica de los límites del cuerpo lacustre.

Figura 1-28: Nivel observado (m.s.n.m.) de la superficie del agua de la laguna Salada



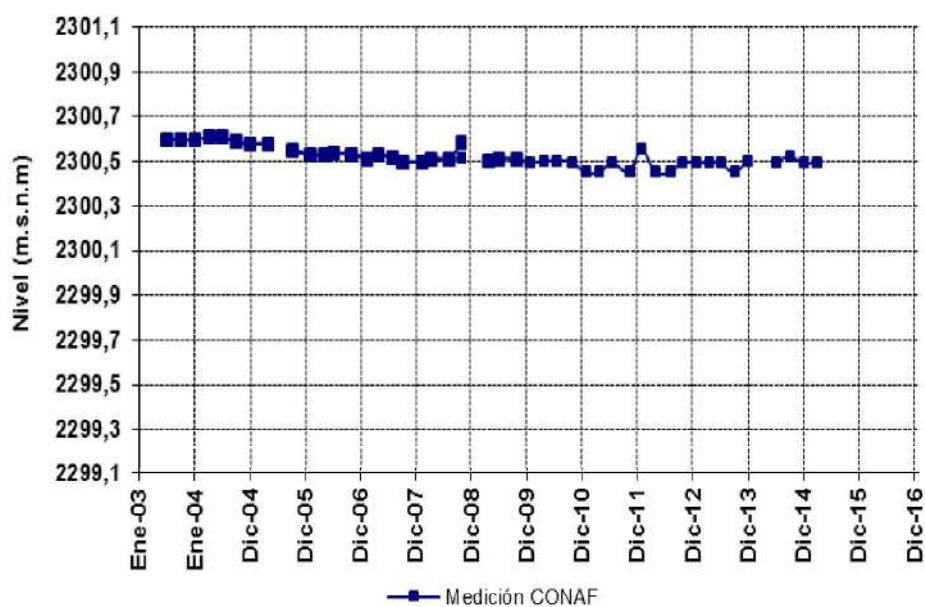
Fuente: Elaboración propia.

Figura 1-29: Nivel observado (m.s.n.m.) de la superficie del agua de la laguna Saladita.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 1-30: Nivel observado (m.s.n.m.) de la superficie del agua de la laguna Interna Interna



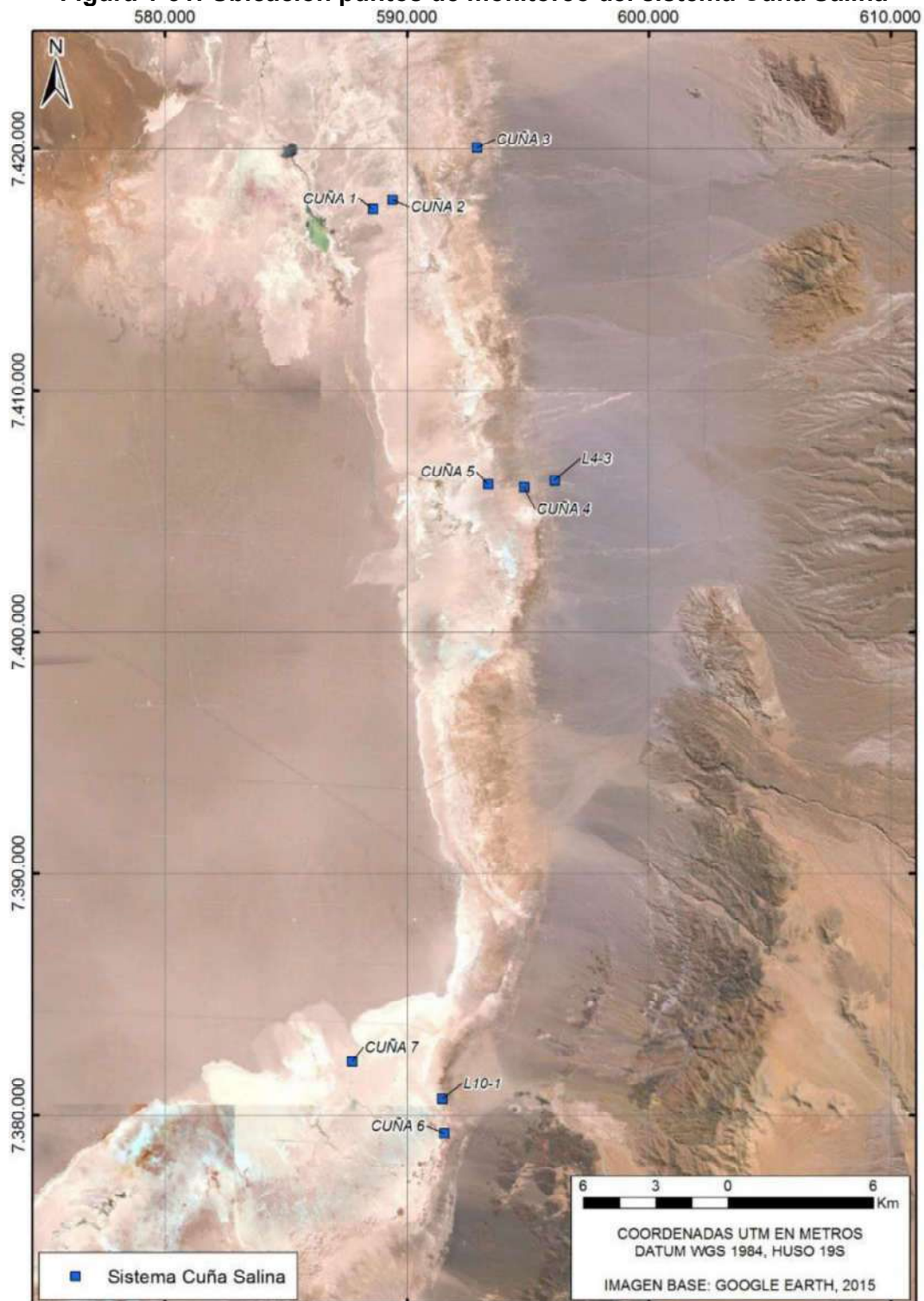
Fuente: Elaboración propia.

1.4 SISTEMA CUÑA SALINA

La cuña salina corresponde a la zona de equilibrio entre el acuífero de agua dulce presente en la zona sur y el acuífero de salmuera del núcleo. El seguimiento del sistema cuña se realiza mediante perfiles de Conductividad Eléctrica en los 9 pozos de monitoreo tipo cuña (Figura 1-31). La profundidad a la que se encuentra la cuña salina (acuífero subyacente) disminuye al aproximarse al núcleo del salar.

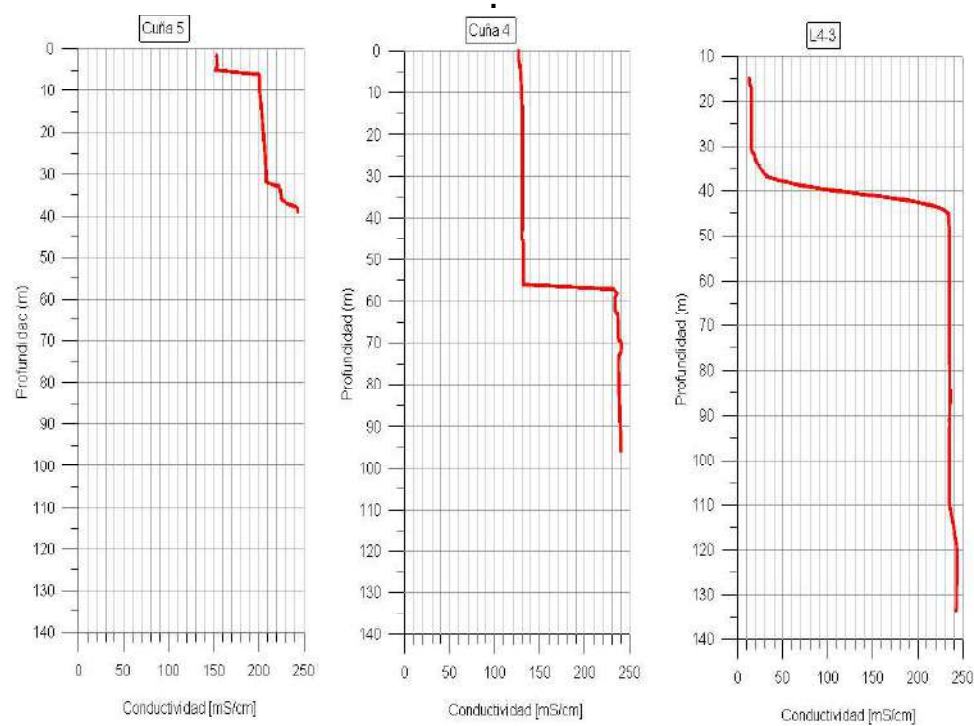
A modo de ejemplo en la Figura 1-32 se presentan tres perfiles de conductividad de la zona.

Figura 1-31: Ubicación puntos de monitoreo del sistema Cuña Salina



Fuente: Elaboración propia.

Figura 1-32. Perfil de conductividad eléctrica en los pozos Cuña 5, Cuña 4 y L4-3 a diciembre 2016.

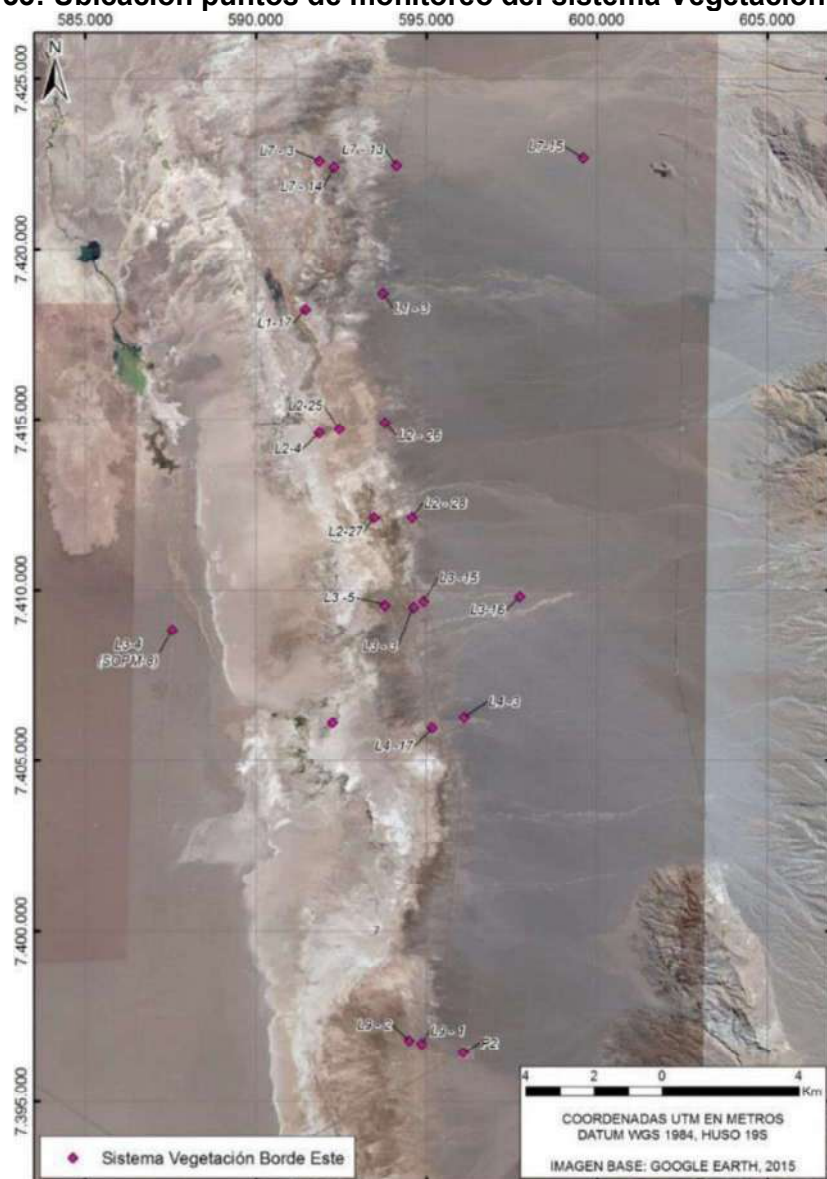


Fuente: Elaboración propia.

1.5 SISTEMA VEGETACIÓN BORDE ESTE

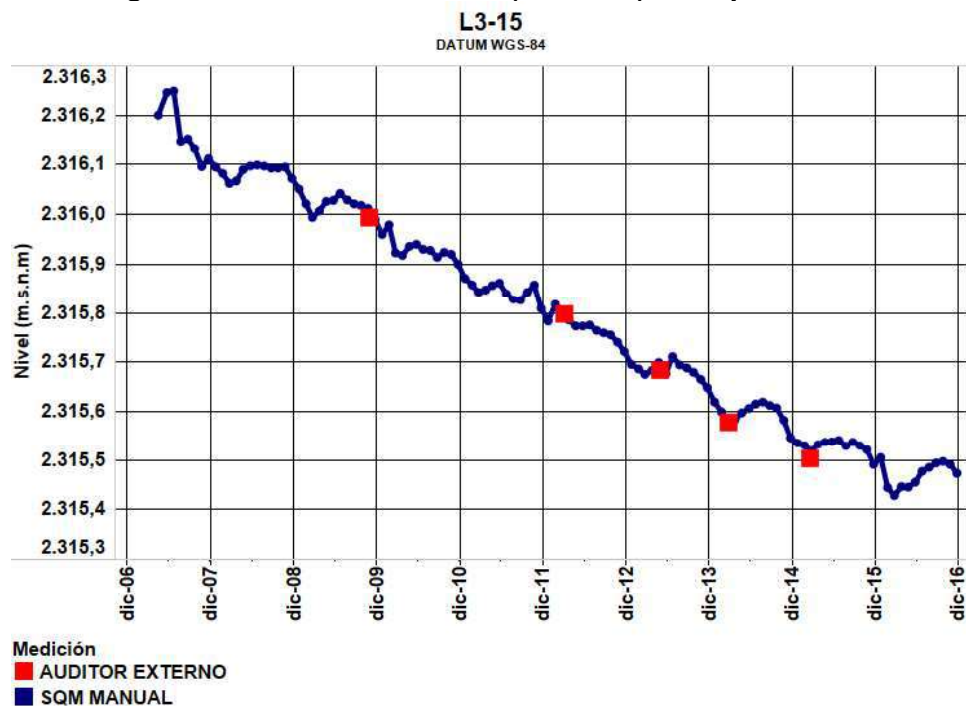
El monitoreo de este sistema tiene como objetivo proteger la vegetación Hidromorfa y la formación Brea-Atriplex. Entre esta zona y los pozos de bombeo de agua industrial, se sitúan pozos de monitoreo denominados de alerta temprana. A modo de ejemplo del comportamiento del nivel en esta zona, se presenta el registro de niveles del pozo L3-15 (Figura 1-34, alerta temprana), del pozo L3-3 (Figura 1-35, vegetación Brea Atriplex) y del pozo L3-5 (Figura 1-36, vegetación Hidromorfa). En la Figura 1-33 se presenta la ubicación de los puntos de monitoreo de este sistema.

Figura 1-33: Ubicación puntos de monitoreo del sistema Vegetación Borde Este



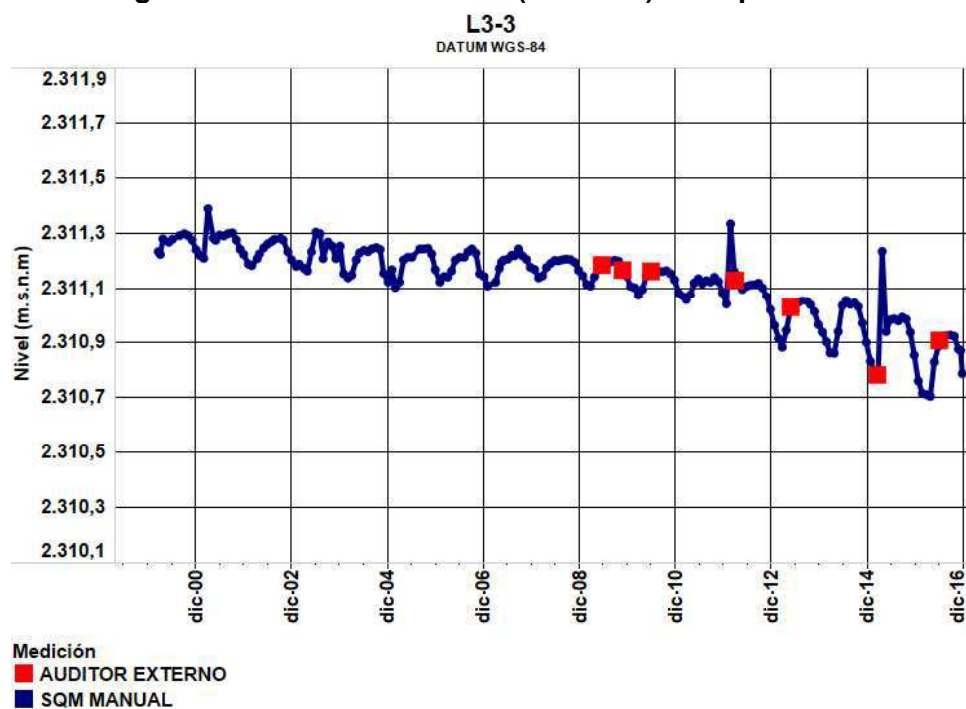
Fuente: Elaboración propia.

Figura 1-34: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L3-15



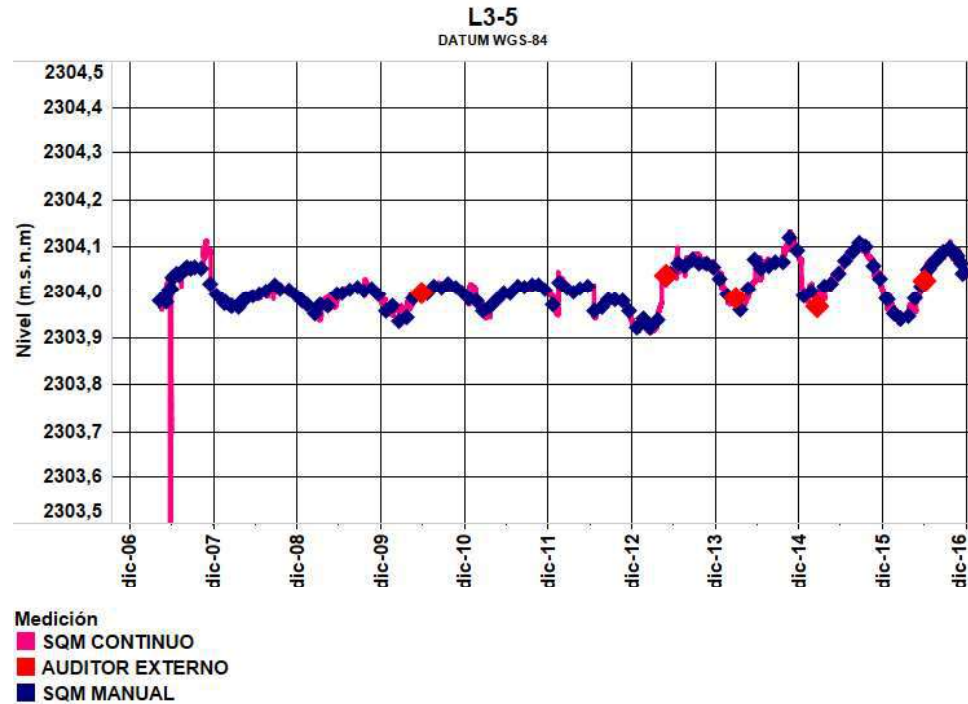
Fuente: Elaboración propia.

Figura 1-35: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L3-3



Fuente: Elaboración propia.

Figura 1-36. Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L3-5



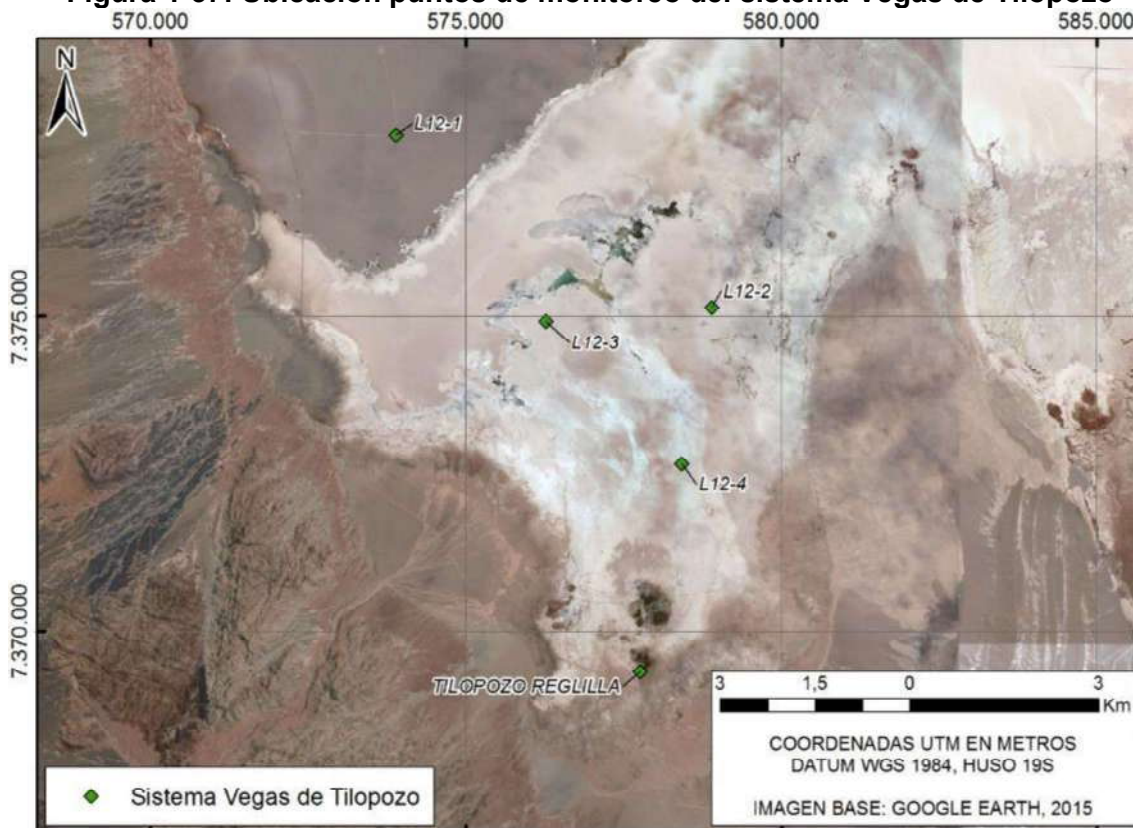
Fuente: Elaboración propia.

1.6 SISTEMA VEGAS DE TILOPOZO

El objetivo del monitoreo (ver pozos en Figura 1-37) de esta zona es la determinación del efecto del bombeo de salmuera en el núcleo del salar. A modo ilustrativo se presenta el nivel en la reglilla Tilopozo (Figura 1-38) y en el pozo L12-3 (Figura 1-39).

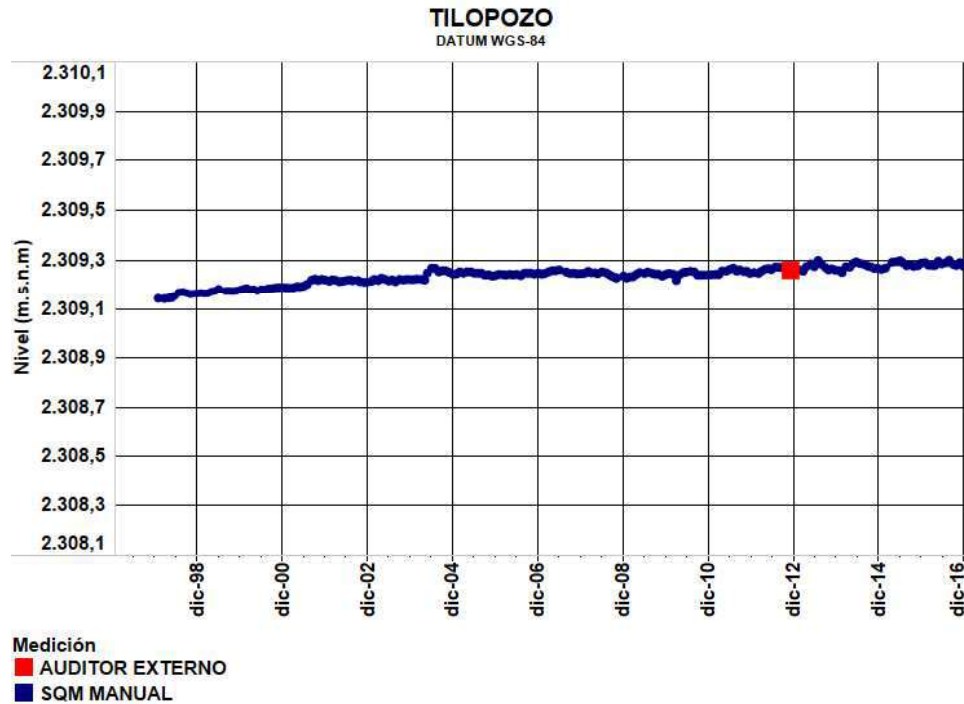
Cabe señalar que el pozo L12-1 (Figura 1-40) presenta un comportamiento similar al de los pozos clasificados como núcleo salino.

Figura 1-37: Ubicación puntos de monitoreo del sistema Vegas de Tilopozo



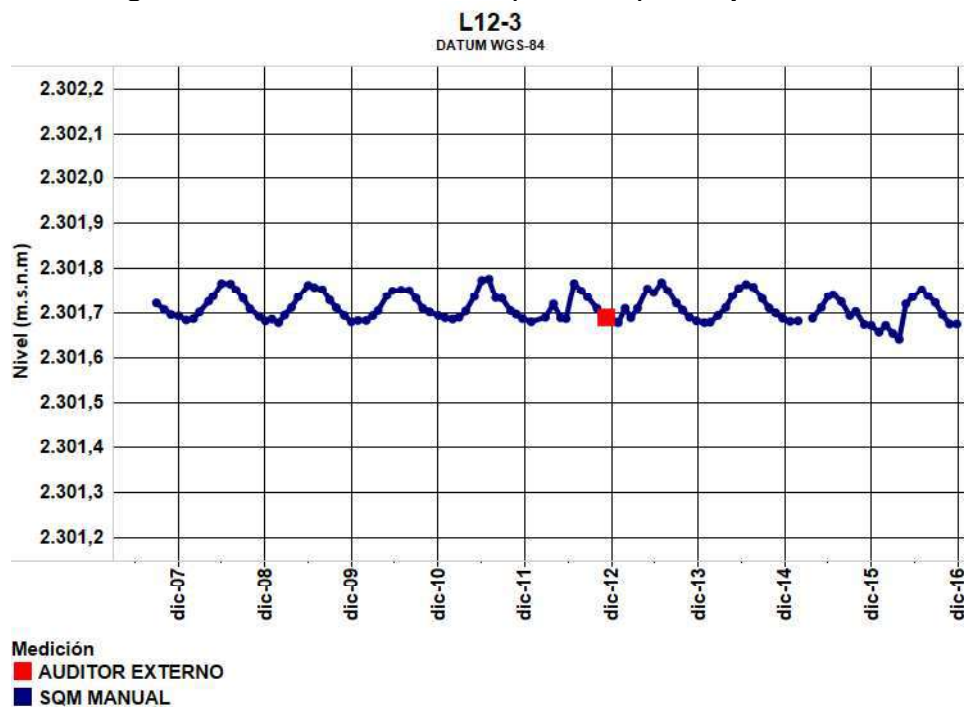
Fuente: Elaboración propia.

Figura 1-38: Nivel observado (m.s.n.m.) en la reglilla de Tilopozo



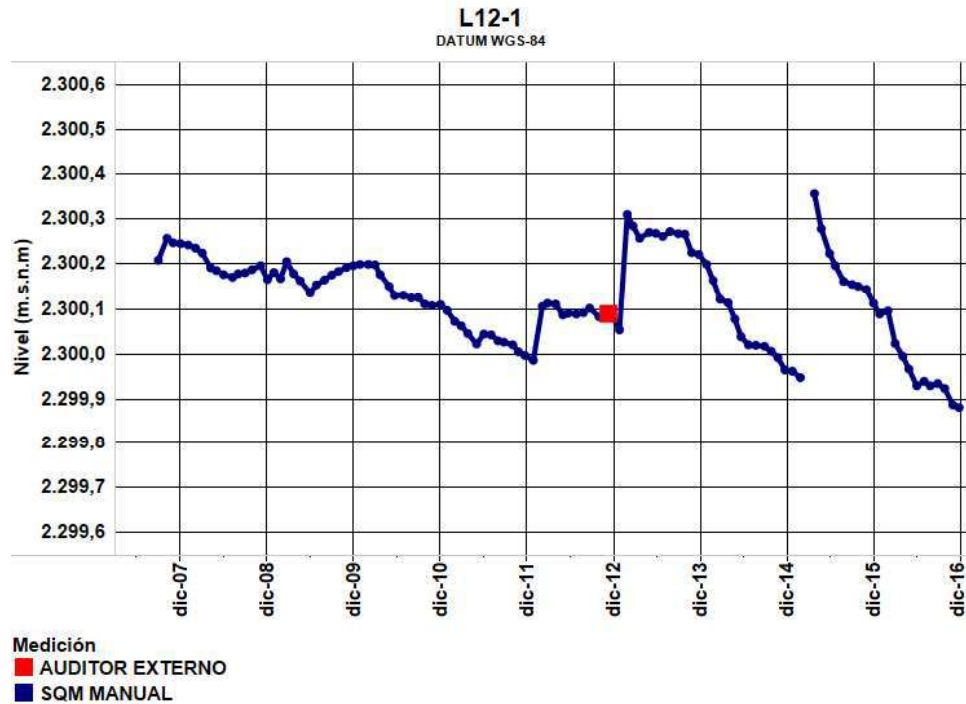
Fuente: Elaboración propia.

Figura 1-39: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L12-3



Fuente: Elaboración propia.

Figura 1-40: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L12-1.

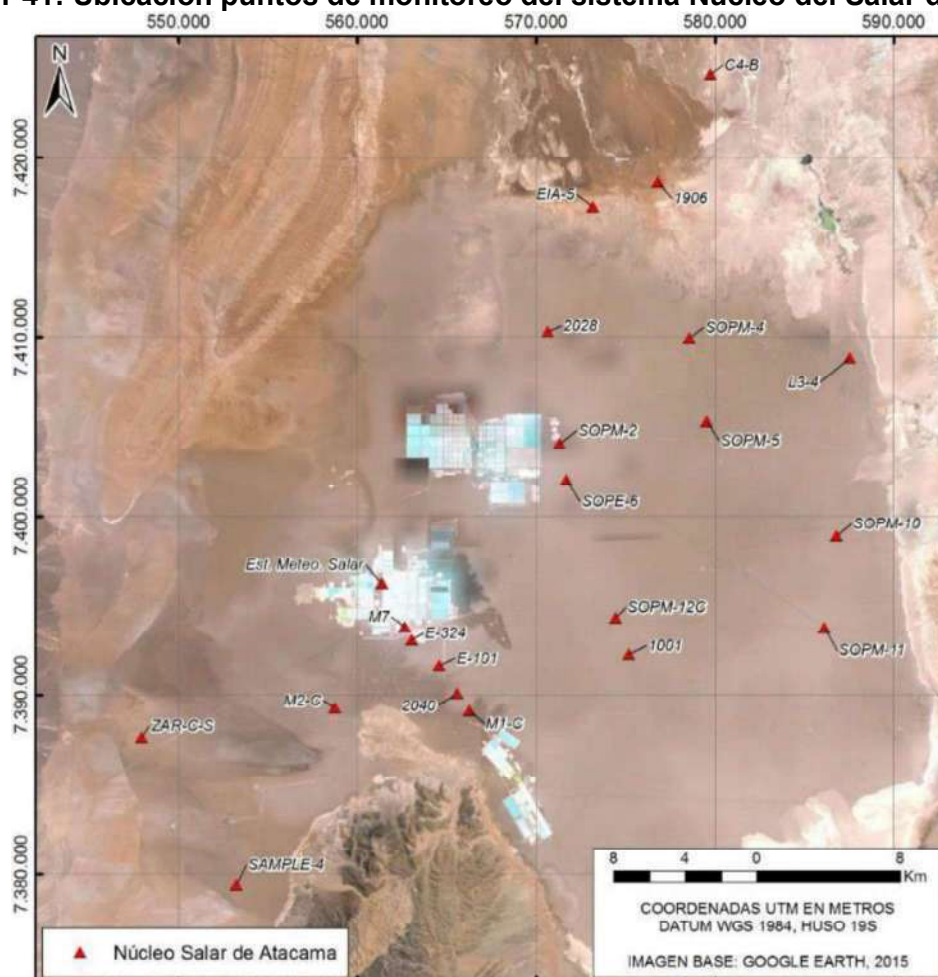


Fuente: Elaboración propia.

1.7 SISTEMA NÚCLEO DEL SALAR DE ATACAMA

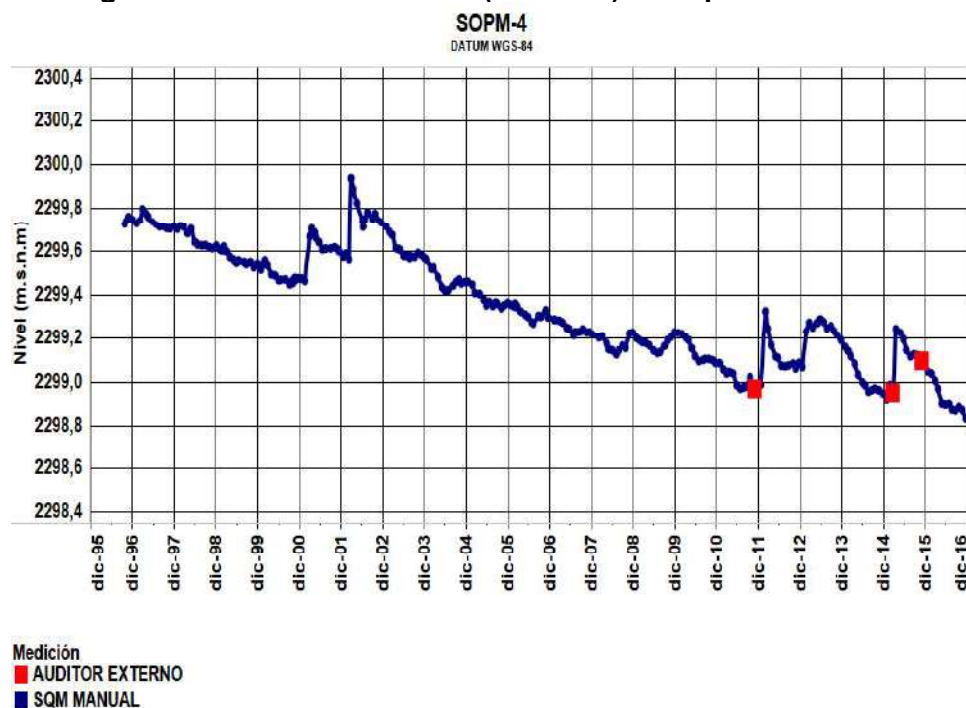
Este sistema corresponde a los pozos dentro del núcleo del Salar de Atacama (Figura 1-41), donde se registran distintos comportamientos según la zona monitoreada. Se presentan los pozos SOPM-04 y 2040, con un comportamiento similar en el último periodo. En cambio, el pozo ZAR-C-S, suroeste, tiene una tendencia al descenso constante y el 1906, extremo norte, un comportamiento sin tendencia clara (Figura 1-42, Figura 1-43, Figura 1-44, Figura 1-45).

Figura 1-41: Ubicación puntos de monitoreo del sistema Núcleo del Salar de Atacama



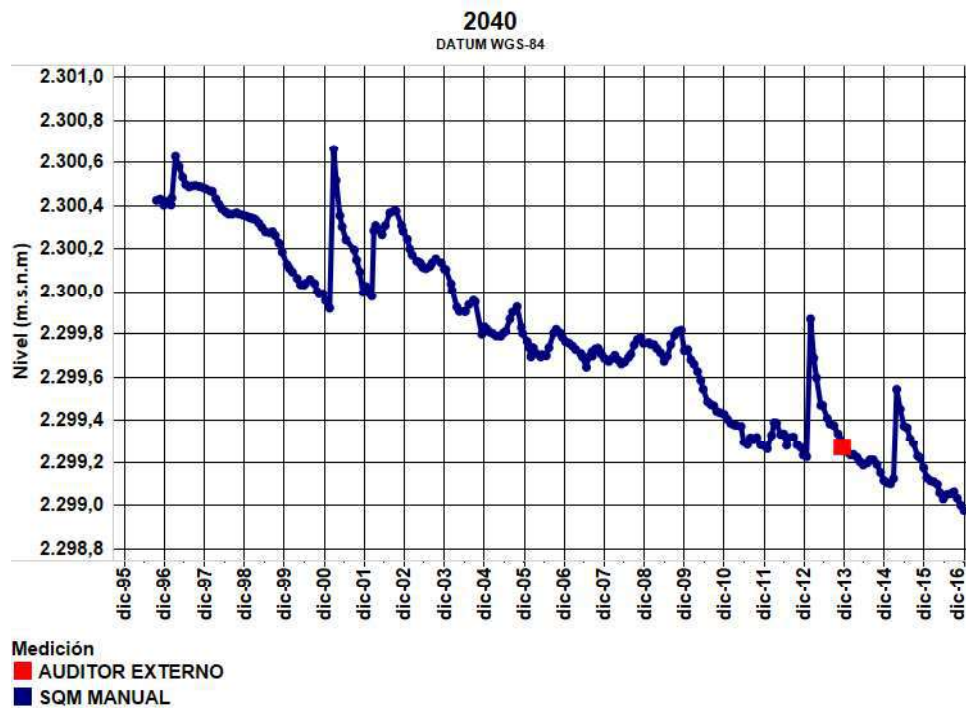
Fuente: Elaboración propia.

Figura 1-42: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo SOPM-04



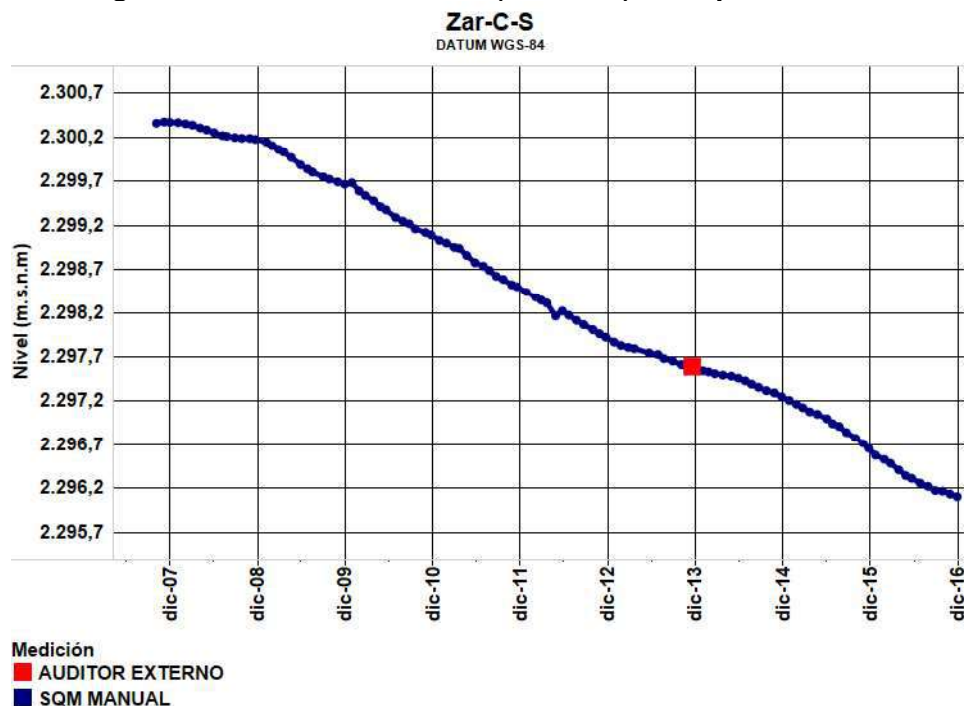
Fuente: Elaboración propia.

Figura 1-43: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo 2040.



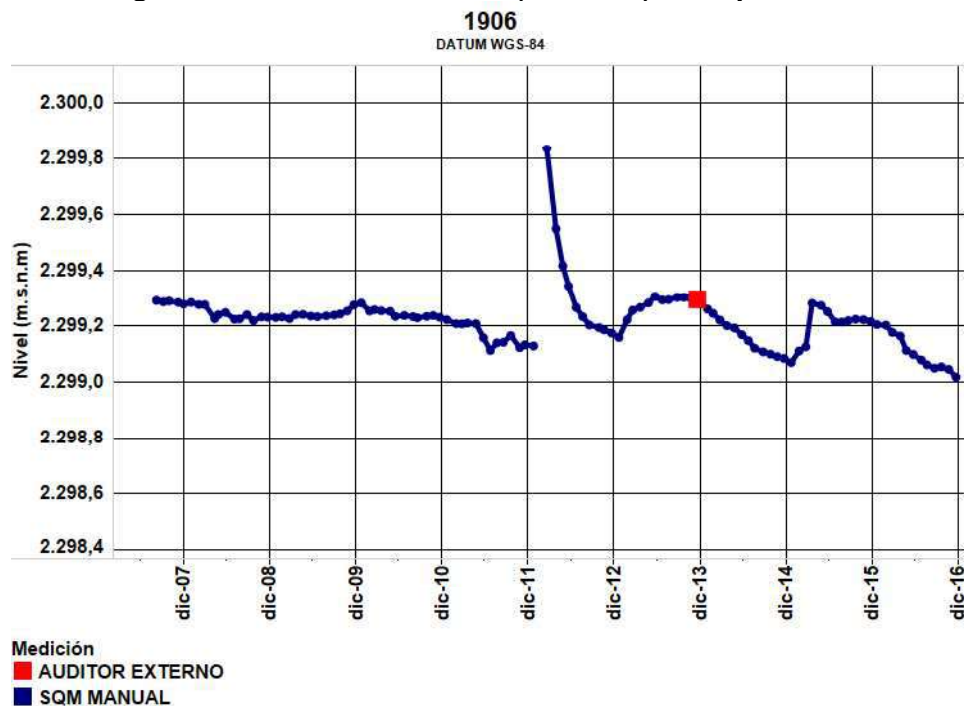
Fuente: Elaboración propia.

Figura 1-44: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo Zar-C-S



Fuente: Elaboración propia.

Figura 1-45: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo 1906



Fuente: Elaboración propia.

2 INTRODUCCIÓN

El presente documento corresponde al Informe N°20 del Plan de Seguimiento Ambiental Hidrogeológico (PSAH), que forma parte de las obligaciones ambientales de SQM SALAR 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”, y que se detalla en el Considerando 10.2 de la RCA y en el ANEXO I de la Adenda III del EIA del proyecto. El presente informe incluye registros actualizados del monitoreo hidrogeológico desde julio de 2016 hasta diciembre de 2016.

Adicionalmente, este informe tiene a la vista el contenido de la Resolución Exenta N°1/Rol F-041-2016 del 28 de noviembre del 2016 y su rectificación emitida a través de la Resolución Exenta N°4/Rol F-041-2016 del 23 de diciembre del 2016, ambas de la Superintendencia del Medio Ambiente (SMA).

El PSAH considera la medición de todas las variables ambientales de monitoreo que reflejan el comportamiento hidrogeológico del sistema, es decir: componente agua (superficial y subterránea), así como meteorología. Entre los parámetros, se encuentran 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 además incluye los resultados de una campaña de terreno que realizó la Consultora Arcadis en diciembre del 2016 para auditar de manera aleatoria la información de monitoreo (Véase ANEXO 1). En aquellos pozos visitados por Arcadis, se incorporó en los gráficos un punto rojo indicando la medición. Cabe señalar que campañas externas anteriores (previas al año 2015) fueron realizadas por DICTUC S.A. y por GeoHidrología Consultores Ltda., unificándolas todas con la leyenda “Medición Auditor Externo”.

Complementando lo anterior se incluyen en este informe las mediciones realizadas tanto por las autoridades ambientales (SMA, DGA), como por el auditor externo Golder Associates Ltda., cuyas mediciones se muestran en el ANEXO 2

Los resultados de los análisis físico-químicos fueron realizados por ALS Patagonia S.A. (Sucursal Antofagasta) y por SGS Chile Ltda.; esta última corresponde a una Entidad Técnica de Fiscalización Ambiental (ETFA), dando así cumplimiento al Decreto Supremo N° 38/2013, del Ministerio del Medio Ambiente, en cuanto establece que todas las actividades de muestreo, medición y/o análisis, que reporten los titulares de actividades o fuentes reguladas por la SMA,

deberán ser ejecutadas por una ETFA con autorización vigente. Por otro lado, las mediciones y análisis físico-químicos de las muestras de aguas realizadas como parte del convenio de CONAF – SQM son ejecutadas por la Universidad Católica del Norte, entidad autorizada también como ETFA.

En resumen, la Tabla 2-1 muestra los responsables y participantes de las actividades de muestreo, medición, análisis y/o control, que se reportan a través del presente informe. Adicionalmente el ANEXO 3, se lista las personas involucradas en la ejecución de cada una de las actividades.

Tabla 2-1: Responsable y participantes de las actividades de muestreo, medición, análisis y/o control del presente informe

Responsable y participantes	Actividad realizada
SQM Salar S.A.	Mediciones de nivel freático, caudales y perfil de conductividad eléctrica.
	Muestreo y medición de parámetros de campo para análisis físico-químico
	Mantenimiento y descarga de datos de estaciones meteorológicas
CONAF (Universidad Católica del Norte - UCN y Sociedad de Estudios Ambientales y Recursos de Chile Ltda. - SEARCH)	Medición de nivel freático, área de superficies lacustres, análisis físico-químico
ALS Patagonia S.A.	Análisis de parámetros físico-químico
SGS Chile Ltda.	Muestreo de aguas y análisis de parámetros físico-químico
Arcadis	Visitas semestrales en terreno para validación de datos

Fuente: Elaboración propia.

Para efectos de discriminar entre agua y salmuera se ha utilizado el criterio presentado por Fetter (2001) modificado.

Para poder aplicar el criterio de Fetter modificado es necesario conocer la relación empírica entre Conductividad Eléctrica y Sólidos Totales Disueltos (Figura 2-1).

Figura 2-1: Relación empírica entre la CE y la concentración de SDT para el salar de Atacama (línea negra: regresión lineal; línea roja: IC +/- 75%)

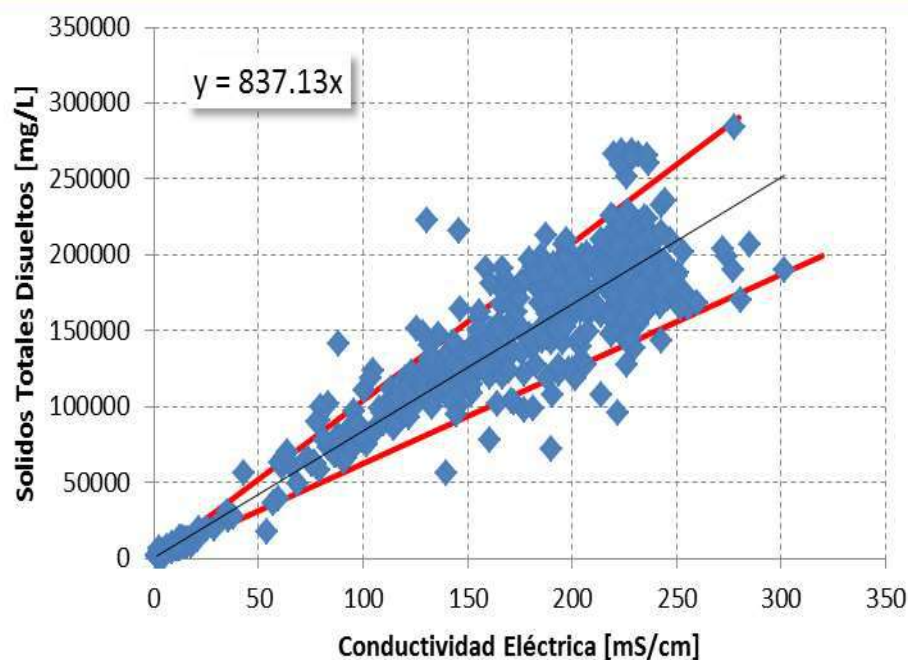


Tabla 2-2: Criterios de clasificación de agua de acuerdo a salinidad en unidad de SDT

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 2-3: Criterios de clasificación de agua de acuerdo a salinidad

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

Fuente: Elaboración propia.

3 OBJETIVOS DEL PLAN DE SEGUIMIENTO AMBIENTAL HIDROGEOLÓGICO

El objetivo del PSAH es 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 las condiciones naturales históricamente observadas.

Es así como las mediciones consideradas en el PSAH permiten realizar un seguimiento de diferentes variables ambientales de los sectores sensibles del Salar de Atacama, proveer información para operar el Plan de Contingencia (PC), además de generar información para la actualización del modelo numérico.

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 del PSAH informan del estado hidrogeológico de los sistemas descritos anteriormente, mediante la presentación de toda la información de monitoreo comprometida en el Plan de Seguimiento Ambiental Hidrogeológico, además de un análisis del comportamiento de estos sistemas en el tiempo.

4 MATERIALES Y METODOS

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.

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, el cual está situado a 55 km al sur de San Pedro de Atacama y 316 km al noreste de Antofagasta (ver Figura 4-1).

El Salar de Atacama se encuentra a una altura de 2.305 msnm aprox., abarcando un área aproximada de 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 aproximada, donde se encuentran sistemas de lagunas que albergan a flamencos y otras especies de avifauna (Reserva Nacional Los Flamencos). Finalmente, además, está el sector llamado Borde Este (zona aluvial) donde existe vegetación (Figura 4-2). En la Figura 4-3 se presenta un esquema del modelo conceptual de flujo en la cuenca.

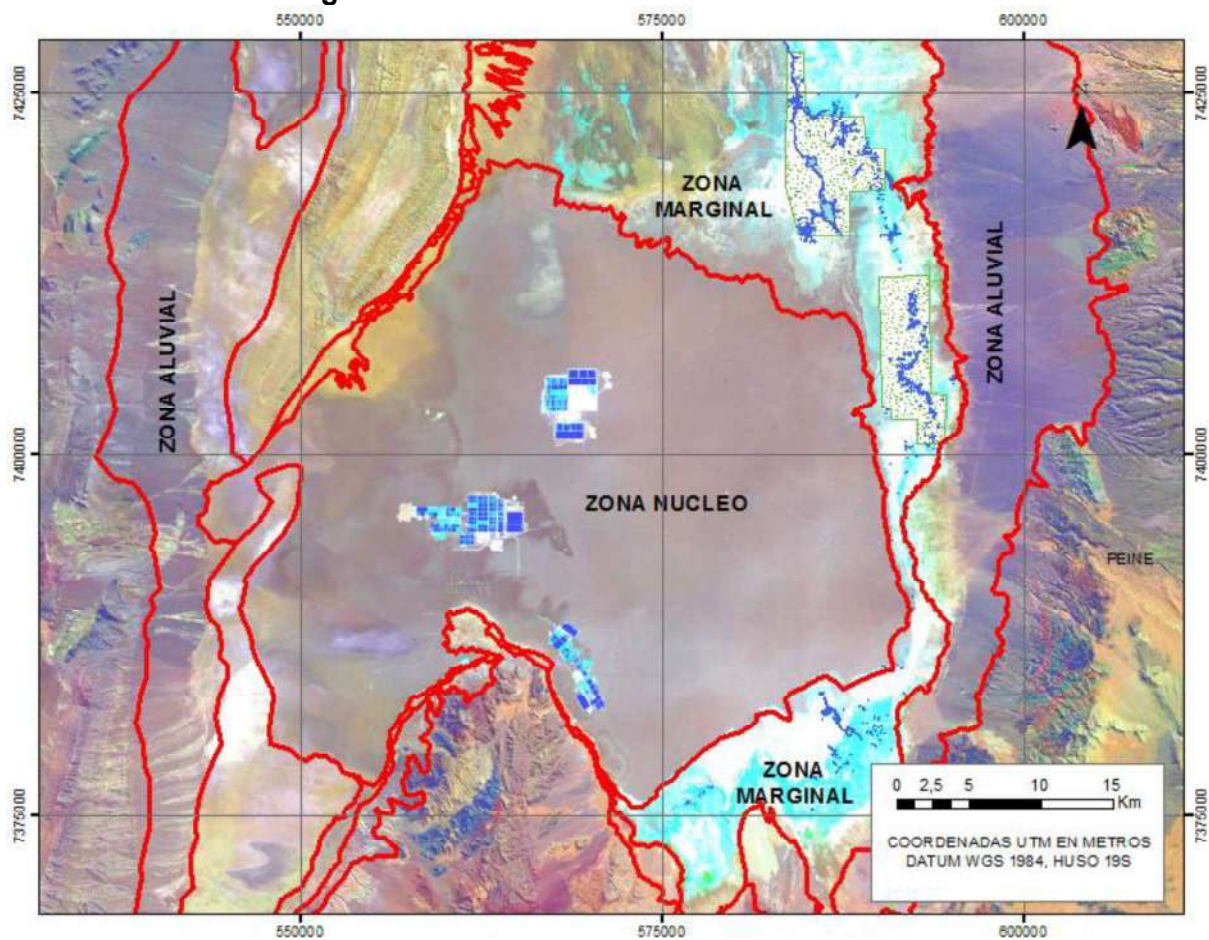
Figura 4-1: Ubicación general del proyecto.



RL: Rockwood Litio

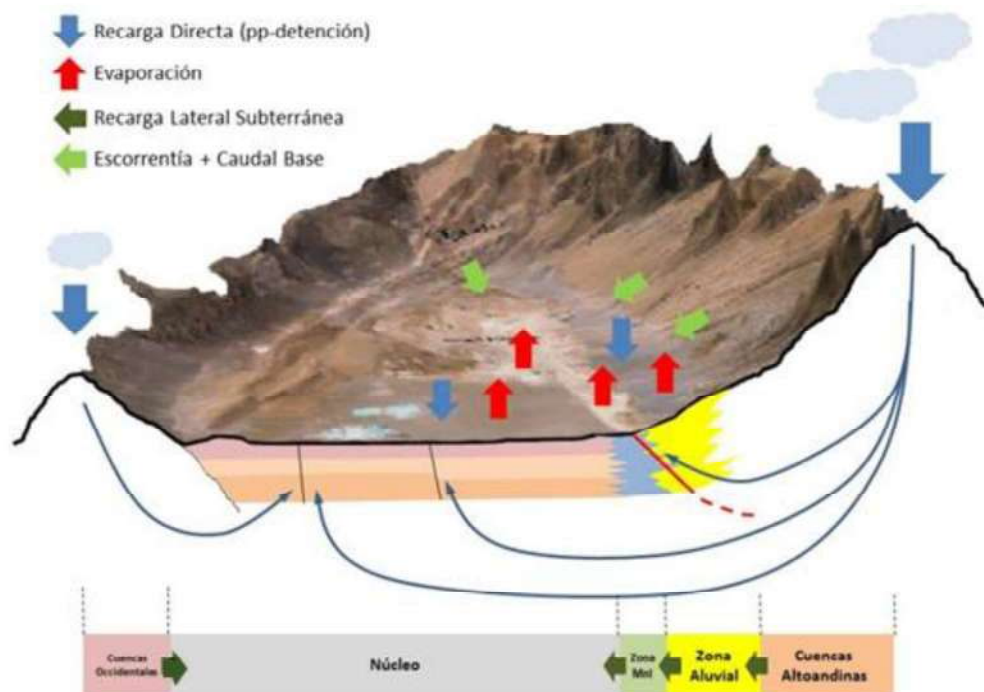
Fuente: Elaboración propia.

Figura 4-2: Zonificación del Salar de Atacama



Fuente: Elaboración propia.

Figura 4-3: Modelo conceptual de flujo en la cuenca.



Fuente: Elaboración propia.

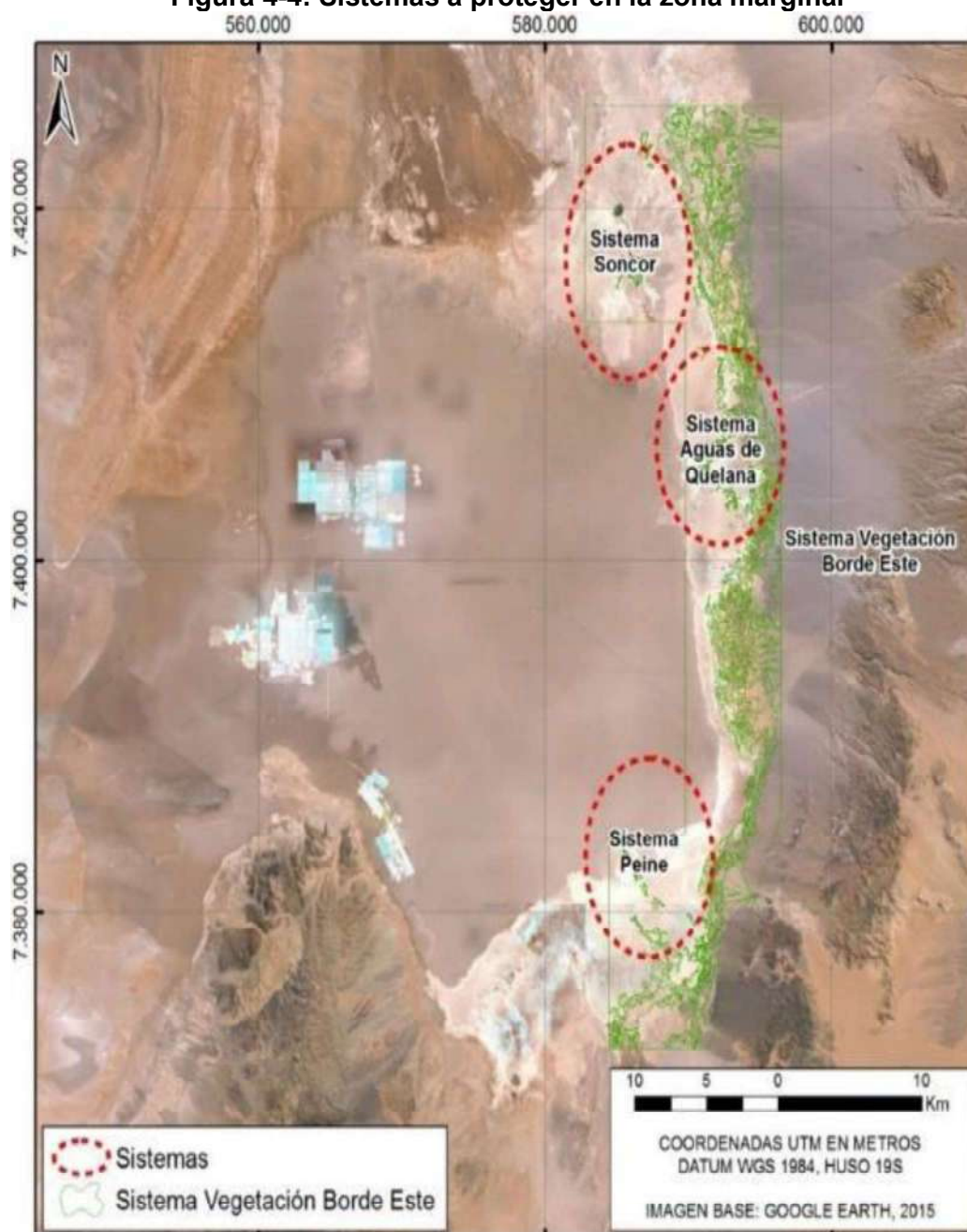
En la zona marginal se encuentran los sistemas lacustres de Soncor, Aguas de Quelana y Peine, además del sistema Vegetación Borde Este (Figura 4-4).

El sistema Soncor está compuesto por tres lagunas principales, dos de las cuales, Chaxa y Barros Negros, se encuentran conectadas superficialmente a través del Canal Burro Muerto y la tercera, laguna Puilar, es de menor tamaño y se ubica al noreste de las dos anteriores sin conexión superficial con ellas. El Canal Burro Muerto es una manifestación de afloramientos subterráneos en la zona norte del sistema Soncor. Este aporte es fundamental para el abastecimiento y mantención de las lagunas Chaxa y Barros Negros.

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 Salada, Saladita e Interna. En el Sistema Vegetación Borde Este se encuentra la vegetación hidromorfa y arbustiva.

Figura 4-4: Sistemas a proteger en la zona marginal



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 con registro previo al PSAH y 151 corresponden a puntos de monitoreo construidos como parte del PSAH, los cuales se habilitaron en su totalidad al 31 de octubre de 2007. Estos puntos, en algunos casos, forman parte de más de uno de los sistemas anteriormente indicados.

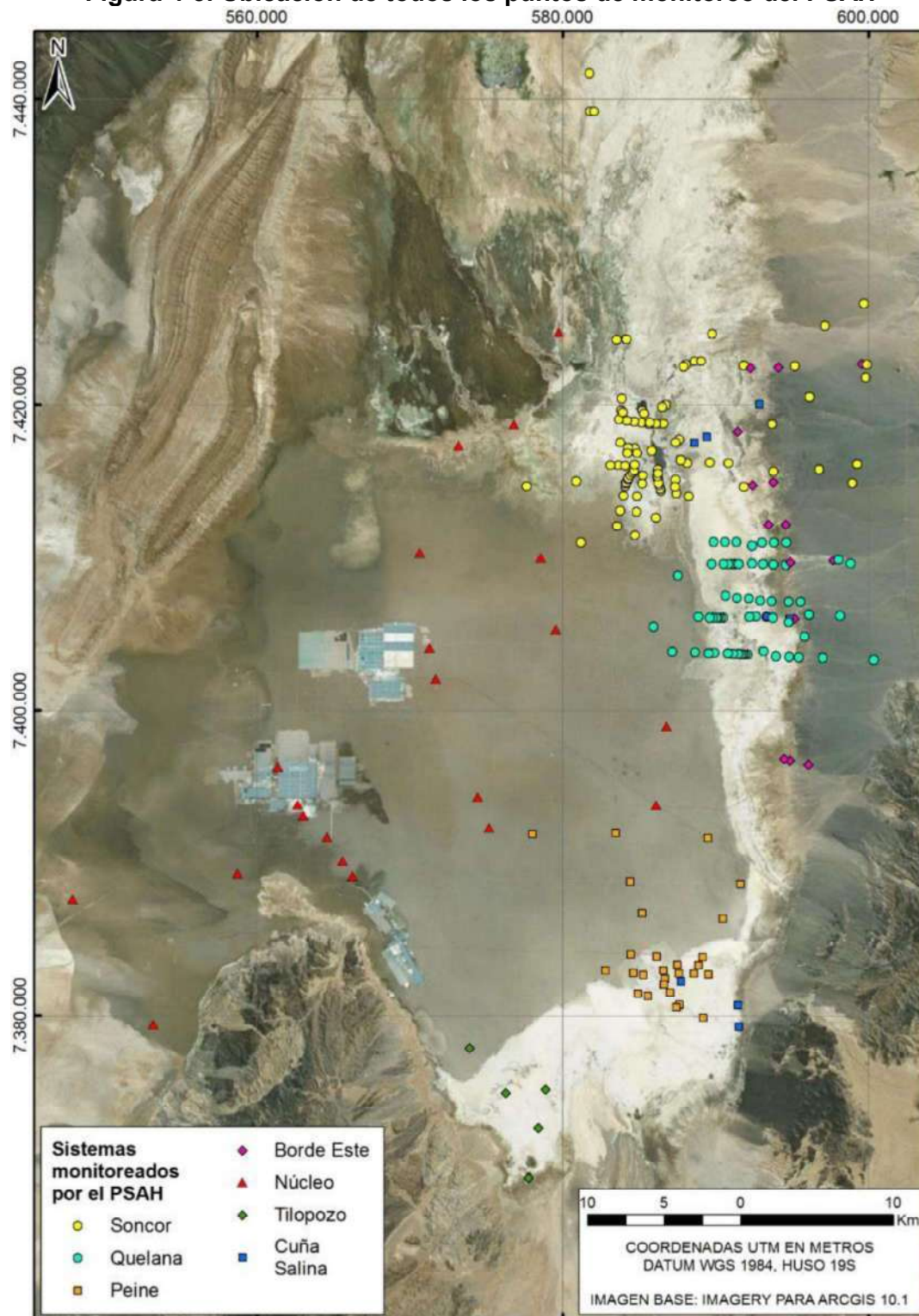
Los 225 puntos de monitoreo que conforman el PSAH, los mismos que se encuentran identificados en la RCA 226/2006, se pueden desglosar de la siguiente manera:

- 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 (Laguna Puilar), ya que se ubica en una zona con alto potencial de nidificación de flamencos, lo que dificulta realizar un monitoreo adecuado durante el período reproductivo de los flamencos.

Los puntos de monitoreo hidrogeológicos que conforman el PSAH se identifican en la Figura 4-5.

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 son los siguientes:

- niveles de agua superficial y subterránea
- calidad físico-química del agua
- aforos de caudal
- caudal bombeado desde pozos de agua industrial
- meteorología
- superficie lacustre

4.2.1 Niveles de agua superficial y subterránea

El nivel del agua se reporta en metros sobre nivel del mar (m.s.n.m.). En el ANEXO 4 se indican los valores registrados durante el período julio-diciembre del 2016.

4.2.2 Calidad físico-química del agua

Los parámetros físicos que se miden en terreno son la Temperatura en grados centígrados (°C), Densidad en g/L, el pH en unidades de pH, y Conductividad Eléctrica en mS/cm.

Los parámetros químicos reportados son: arsénico, sodio, potasio, calcio, magnesio, dureza total, alcalinidad en mg/L de CaCO_3 , sólidos suspendidos, sólidos totales, carbonato, bicarbonato, sulfato, cloruro, nitratos, fosfatos, hidrocarburos totales, detergentes aniónicos, nitrógeno amoniacal, hierro, manganeso y zinc. Las concentraciones se expresan en mg/L (o múltiples como pueden ser los $\mu\text{g/L}$ o g/L en función de su grado de concentración).

Otro parámetro es la concentración de coliformes fecales que se expresan en número más probable por 100 mL. Este parámetro indica la eventual contaminación por aguas residuales.

4.2.3 Aforos de caudal superficial

Se cuenta con puntos de aforo en los cauces naturales. En particular, en el Canal de Burro Muerto a la altura del Puente San Luis, se cuenta con un vertedero construido en las inmediaciones del Centro Turístico Chaxa. Estos puntos de aforo permiten conocer el caudal en L/s a partir de la altura de agua.

4.2.4 Caudal Bombeado de Pozos de Agua Industrial

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 los datos diarios de precipitación en mm, la evaporación en mm, la velocidad del viento en m/s y la temperatura del aire en °C.

4.2.6 Superficie lacustre

La superficie lacustre se mide en m² o km².

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		m y msnm	Continuo-Mensual
Nivel de agua subterránea		m y msnm	Continuo-Mensual
Descenso de agua superficial	m	m	Continuo-Mensual
Descenso de agua subterránea	m	m	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
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

Parámetro	Abreviatura Común	Unidades	Periodo de registro
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 o km ²	Trimestral-Anual

* En las muestras de agua para calidad química no se miden todos los parámetros en cada una de las muestras (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 5.

4.3.1 Monitoreo de nivel de pozos operativos y no operativos

4.3.1.1 Secuencia para monitoreo de nivel de pozo y caudal de bombeo operativo

- Registrar fecha y hora de visita
- Medir y registrar el nivel dinámico/estático (mínimo 3 veces)
- Realizar limpieza del pozómetro con agua destilada una vez realizada la medición
- Registrar caudal instantáneo
- Registrar volumen acumulado
- Verificar y registrar apertura de válvula (cuando corresponda)
- Registrar observaciones (cuando corresponda))

4.3.1.2 Secuencia para monitoreo de pozos de PSAH

- Registrar fecha y hora de visita
- Medir y registrar el nivel estático en el pozo (mínimo 3 veces)
- Realizar limpieza del pozómetro con agua destilada una vez realizada la medición
- Medir altura de referencia (cuando corresponda)
- Registrar observaciones (cuando corresponda)

4.3.2 Medición de parámetros físico-químicos en terreno y muestreo de aguas superficiales y subterráneas

- Calibración de equipos (sonda multiparámetro)
- Etiquetado de envases

- Purgado de pozos (cuando corresponda)
- Toma de muestra y sellado de envases
- Vaciar muestra en probeta u otro recipiente (volumen según sea el caso) para medición de parámetros de terreno
- Medición con equipo multiparámetro y posterior registro de datos
- Registrar profundidad de la bomba (cuando corresponda)
- Registrar datos, condiciones ambientales y observaciones
- Confección de cadena de custodia
- Limpieza del material utilizado con agua destilada

4.3.3 Medición de superficies lacustres

4.3.3.1 Medición mediante imágenes satelitales

La metodología seguida para la medición de superficies lacustres a través de imágenes satelitales fue aprobada por la COREMA Región de Antofagasta en Resolución Exenta N° 244/2010.

La metodología es la siguiente:

- Obtener imágenes satelitales de alta resolución en el mes de abril
- Georreferenciación de las imágenes satelitales
- Fusión de imágenes multiespectral y pancromática
- Transformaciones digitales (Índices MNDWI, TSAVI e 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
- Cálculo de superficie lacustre

4.3.3.2 Medición mediante topografía

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

La medición topográfica se realiza cada 5 años, de acuerdo a lo establecido en la Res. Exenta N° 244/2010.

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.

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 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 responsabilidad del cuerpo técnico de CONAF; luego la empresa consultora SEARCH contratada por CONAF implementa su metodología de cálculo de área lacustre mediante estacas perimetrales a partir de enero 2014.

Esta metodología presenta imprecisiones, pero CONAF ha mantenido su aplicación con el objeto de dar continuidad al seguimiento, dado que corresponde a la forma en que Conaf ha realizado la estimación de superficies lacustres desde el inicio del convenio con SQM de monitoreo en 1997.

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 mínimo)
- Calcular el área de cada sección
- Calcular y sumar el caudal de cada sección (Método área-velocidad)

4.3.5 Medición Meteorología

La medición se realiza automáticamente 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 descargada desde el data logger 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.

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 se incluyen los materiales auxiliares, tales como camionetas u equipos de protección personal (EPP), los que se detallan en los procedimientos e instructivos del ANEXO 5.

4.4.1 Medición de niveles y configuración de equipos de medición continua

- Palm Win Situ, cable conector RS232, 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 multiparamétrico marca WTW, modelo pH_Conc 330-340i.
- 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.
- Densímetros (rangos: 1.0-1.1; 1.1-1.2; 1.2-1.3; 1.3-1.4).
- Solución de mantención de electrodos, para el medidor multiparamétrico.
- 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

4.4.3 Muestreo físico-químico

- Agua destilada.
- 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.
- Bomba para purga y muestreo (si corresponde).
- Bailer de muestreo (si corresponde).
- Envases plásticos/vidrio de 1000, 500 y 250 mL.
- Etiquetas autoadhesivas (si corresponde).
- Sistema de refrigeración (cooler y/o *ice pack*)
- Ficha de información de muestreo y parámetros de terreno.

4.4.4 Estimación de superficies lacustres

- Imágenes satelitales de alta resolución (mes de abril).
- GPS cartográfico Trimble® Nomad® 900G.
- Imagen satelital (Quickbird-II; 2,4x0,6 m; Worldview-II; 2x0,5 m; Imagen Geoeye-1; 1,65x0,4 m)
- Mediciones topográficas de perímetro con estacas de CONAF.

4.4.5 Realización de aforos en cauces naturales

- Micromolinete.
- Flexómetro.
- Planillas de terreno.

4.4.6 Medición Meteorología

- 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.

4.4.7 Medición caudal de pozos de agua industrial

- Flujo metro (Totalizadores) : Endress+Hauser Flowtec

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 para la obtención de parámetros ambientales y su cumplimiento se realiza con el objetivo de minimizar y controlar las incertidumbres existentes.

En la obtención de la cota piezométrica las incertidumbres se concentran en la precisión de los equipos de medición como son el pozómetro (± 1 mm), la observación de la medida por parte del monitor (± 5 mm) y la precisión con la que se haya medido la cota del punto de referencia (± 1 cm), esta última depende del equipo de medición topográfica usado, además de las condiciones climáticas, el tiempo transcurrido (minutos) durante los registros de la medición en el punto y la distancia a la estación base, pero en general es del orden de centímetros.

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 se incrementan las incertidumbres. 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 ($\pm 0,1$ m²), la precisión de medición del molinete ($\pm 0,1$ m/s) 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 ANEXO 6).

En la obtención de la superficie de las lagunas 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; 2,4x0,6 m

- Worldview-II; 2x0,5 m
- Geoeye-1; 1,65x0,4 m

Adicionalmente cada 5 años se mide topográficamente la superficie de las lagunas. El resultado 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 el número de satélites disponibles durante la medición. El GPS (dependiendo del modelo) tiene un error aproximado 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

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 presencia de agua en ciertos puntos prefijados (estacas) para generar polígonos y así estimar la superficie cubierta con agua, por lo que es menos exacto que el método de las imágenes satelitales y que la medición mediante topografía.

Los caudales medidos mediante flujómetro Endress+Hauser Flowtec tienen un error de $\pm 0,5$ % del flujo medido.

5 RESULTADOS

A continuación, se presentan los resultados de las mediciones del PSAH para cada uno de los sistemas ambientales definidos. Los puntos no medidos son presentados en cada subcapítulo y detallados en el ANEXO 7. Previo 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

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. 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 para que las extracciones no afecten los sistemas a proteger. Hasta la fecha se han realizado tres aumentos de extracción de salmuera acorde a los escalones de extracción definidos en la RCA. 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

Para efectos del presente informe, se ha tenido a la vista lo indicado en la Resolución N°1/Rol F-041-2016, y su rectificación contenida en la Resolución N°4/Rol F-041-2016. Conforme a lo anterior, se ha procedido a ajustar el PC a lo indicado en los considerandos 11.2.1, 11.3.1 y 11.4.1 de la RCA 226/2006. En este sentido, los Indicadores de Estado corresponden a los presentados en la Tabla 5-1.

Tabla 5-1: Identificación de Indicadores de Estado.

SISTEMA	SUBSISTEMA	INDICADORES DE ESTADO
Soncor	-	L1-5
		L1-4
		L7-4
		L1-G4 REGLILLA
Aguas de Quelana	-	L5-8
		L4-8
		L3-5
		L3-9
		L5-10
		L4-12
Vegetación Borde Este	Vegetación Hidromorfa	L7-3
		L2-4
		L3-5
		L4-10
		L1-17
		L2-27
	Vegetación Brea-Atriplex	L7-6
		L2-7
		L3-3

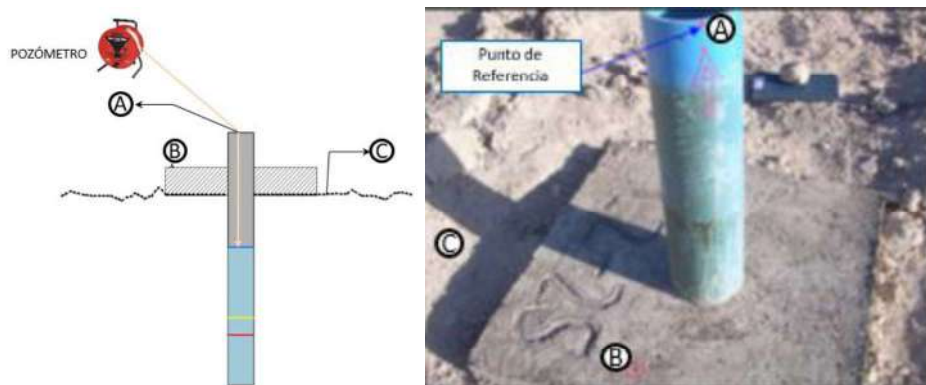
SISTEMA	SUBSISTEMA	INDICADORES DE ESTADO
		L4-7
		L9-1
		L1-3
		L2-28
	Alerta Temprana	L7-13
		L2-25
		L3-11
		L4-3
		L9-1

Fuente: Elaboración propia.

Asimismo, con el objeto de facilitar el análisis de la información relativa a las cotas de terreno, se corregirá la nomenclatura y se estandarizará de la siguiente forma (Figura 5-1):

- Punto A: Punto de referencia de la medición de nivel
- Punto B: Monolito
- Punto C: Terreno

Figura 5-1: Esquema conceptual de pozos de monitoreo



Fuente: Elaboración propia.

En base al esquema presentado en la Figura 5-1 las cotas de los puntos de referencia de los pozos del PC son las reportadas en ANEXO 8.

En la Tabla 5-2 y Tabla 5-3 se presentan los umbrales de activación de las distintas fases, mientras que en la Figura 5-2 se presenta la ubicación espacial de los puntos del PC. Cabe destacar que la activación de la Fase I del PC no implica una afección a los sistemas a proteger, sino simplemente implica aumentar la frecuencia de monitoreo.

Durante septiembre y diciembre de 2016 se informó a la Superintendencia de Medio Ambiente la activación de la Fase I del Pozo L1-5 y la Reglilla L1-G4 del sistema Soncor, y del Pozo L7-6 del Sistema Bordo Este, respectivamente. En el ANEXO 9 se muestra los respaldos de estos reportes.

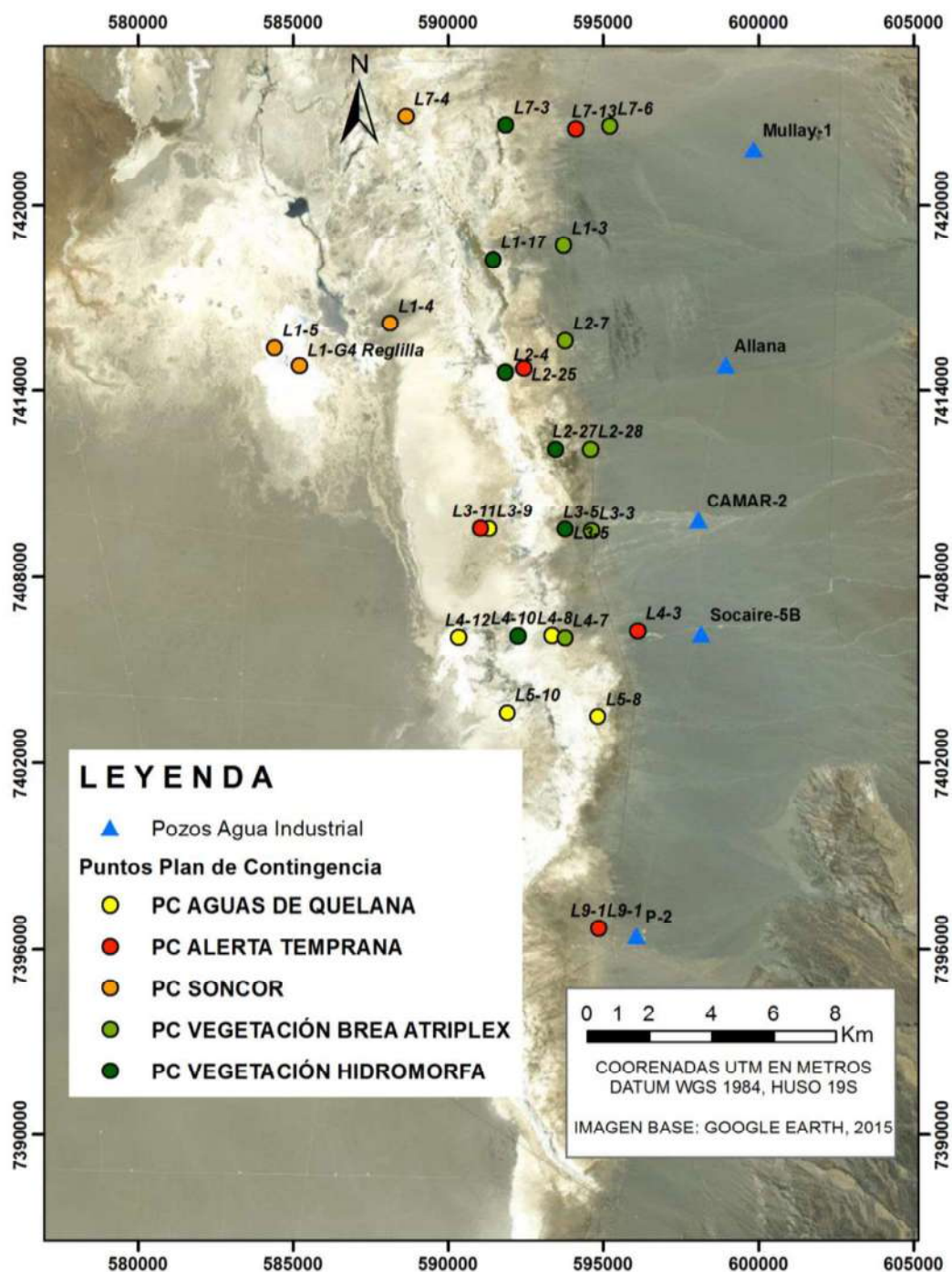
En el ANEXO 10 se presentan los valores medidos durante julio a diciembre de 2016 de los pozos del PC en Datum WGS-1984 y PSAD-56 para el Sistema Soncor, mientras que en el ANEXO 11 se muestran los descensos para los Sistemas Aguas de Quelana y Vegetación Borde Este. En estos Anexos se puede corroborar que, considerando los valores umbrales de activación definidos en la RCA 226/2006, hasta diciembre 2016 no se ha sobrepasado el umbral de Fase II en ningún punto del plan de Contingencia..

De acuerdo a lo requerido por la Superintendencia de Medio Ambiente, a través del Ord. MZN N° 418/2016, en la Tabla 5-5, se indica las fechas de entrega de los siguientes informes del Plan de Seguimiento Ambiental Hidrogeológico y el número de informe en que corresponde realizar la revisión del Plan de Contingencia.

Desde la Figura 5-3 hasta la Figura 5-6 se presentan los niveles observados (m.s.n.m.) para los puntos de monitoreo del PC en el sistema Soncor. Desde la Figura 5-7 a la Figura 5-12 se muestran los descensos para los pozos del Sistema Aguas de Quelana y desde la Figura 5-13 hasta la Figura 5-30 se presentan los descensos del nivel observado en los Pozos PC del Sistema Borde Este (Vegetación Hidromorfa, Vegetación Brea-Atriplex y Alerta Temprana).

Adicionalmente, para mantener consistencia con los informes anteriores y poder realizar un seguimiento adecuado a los sistemas a proteger, se seguirá reportando los indicadores de alerta para los pozos L7-14, L2-25, L4-17 y L9-2, pertenecientes al subsistema Vegetación Brea-Atriplex, y para los pozos L2-26 y L3-15 del subsistema Alerta Temprana del Sistema de Vegetación Borde Este, que habían sido incorporados al PC en el Informe PSAH N° 1. En la Tabla 5-4 se muestran los descensos permitidos para cada pozo, mientras que desde la Figura 5-31 a la Figura 5-36 se muestra su evolución en el tiempo.

Figura 5-2: Ubicación puntos del Plan de Contingencia y pozos de bombeo de agua industrial¹.



Fuente: Elaboración propia.

¹ Las coordenadas en Datum WGS-84 de los puntos del plan de contingencia se presentan en el ANEXO 8.

Tabla 5-2: Puntos de monitoreo del PC con su cota de activación, según RCA 226/2006 con levantamiento topográfico actualizada para el Sistema Soncor.

Pozo	COORDENADAS PSAD56		COORDENADAS WGS 84	
	Valor de activación Fase I (msnm)	Valor de activación Fase II (msnm)	Valor de activación Fase I (msnm)	Valor de activación Fase II (msnm)
L7-4	2301,35	2301,33	2302,20	2302,18
L1-4	2298,89	2298,86	2299,75	2299,72
L1-5	2298,54	2298,43	2299,40	2299,29
L1-G4 REGLILLA	2298,59	2298,43	2299,46	2299,30

Fuente: Elaboración propia

Tabla 5-3: Puntos de monitoreo del PC con su descenso de activación.

Tabla 6. Caudales de monitores del PO con su descenso de activación.						
Sistema	Pozo	Descenso Según RCA 226/2006		Medición Inicial		
		Fase I (m)	Fase II (m)	Medición desde punto de referencia (m)	Fecha	
Aguas de Quelana	L3-5	0,1	0,13	0,858	10-05-2007	
	L3-9	0,1	0,13	1,290	09-05-2007	
	L4-8	0,1	0,13	1,540	10-05-2007	
	L4-12	0,1	0,13	1,215	10-05-2007	
	L5-8	0,1	0,13	1,440	10-05-2007	
	L5-10	0,1	0,13	1,525	10-05-2007	
Vegetación Borde Este	Vegetación Hidromorfa	L7-3	0,33	0,38	1,165	31-05-2007
		L2-4	0,33	0,38	1,405	13-05-2007
		L3-5	0,33	0,38	0,858	10-05-2007
		L4-10	0,33	0,38	0,499	13-05-2007
		L1-17	0,33	0,38	0,898	13-05-2007
		L2-27	0,33	0,38	2,130	13-05-2007
	Vegetación Brea-Atriplex	L7-6	0,5	1,0	21,362	01-11-2007
		L2-7	0,5	1,0	4,365	02-09-2007
		L3-3	0,5	1,0	3,418	13-05-2007
		L4-7	0,5	1,0	1,532	08-09-2007
		L9-1	0,5	1,0	6,818	13-05-2007
		L1-3	0,5	1,0	7,122 + 0,183 ²	13-05-2007
		L2-28	0,5	1,0	3,862	13-05-2007
	Alerta Temprana	L7-13	-	1,25	10,820	13-05-2007
		L2-25	-	0,88	1,522	13-05-2007
		L3-11	-	0,86	1,445	13-05-2007
		L4-3	-	0,82	16,170	30-05-2007
		L9-1	-	0,86	6,818	13-05-2007

Fuente: Elaboración propia..

² Posterior a las lluvias acontecidas en febrero de 2012, el pozo L1-3 desapareció debido a los aluviones registrados en el camino Tocano-Peine, por este motivo se perforó el 17 de marzo de 2012 un nuevo pozo a metros del pozo desaparecido. Las cotas y coordenadas del nuevo pozo se presentaron en el Informe N°11 del PSAH presentado en diciembre de 2012. La diferencia entre la cota del punto de referencia del pozo destruido por el aluvión de 2012 y la del pozo de reemplazo es de 0,183 metros, por lo tanto a partir de marzo de 2012, se deben sumar 0,183 m al nivel desde punto de referencia inicial de mayo de 2007.

Tabla 5-4: Puntos de monitoreo adicionales al PC³

Pozo	Descenso Según RCA 226/2006		Medición Inicial	
	Fase I (m)	Fase II (m)	Medición desde punto de referencia (m)	Fecha
L7-14	0,5	1,0	2,599	13-05-2007
L4-17	0,5	1,0	2,556	13-05-2007
L9-2	0,5	1,0	5,270	13-05-2007
L2-25	0,5	1,0	1,522	13-05-2007
L2-26	-	0,78	4,578	13-05-2007
L3-15	-	0,85	3,862	13-05-2007

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 5-5: Cronograma de entrega de informes y revisiones del Plan de Contingencia.

Número de Informe	Actualizado a:	Fecha de entrega	Nota
Informe PSAH N° 21	jun-17	oct-17	Revisión del Plan de Contingencia
Informe PSAH N° 22	dic-17	abr-18	
Informe PSAH N° 23	jun-18	oct-18	
5 ^{ta} actualización del Modelo Ambiental	dic-17	mar-19	
Informe PSAH N° 24	dic-18	abr-19	
Informe PSAH N° 25	jun-19	oct-19	Revisión del Plan de Contingencia
Informe PSAH N° 26	dic-19	abr-20	
Informe PSAH N° 27	jun-20	oct-20	
6 ^{ta} actualización del Modelo Ambiental	dic-19	mar-21	
Informe PSAH N° 28	dic-20	abr-21	
Informe PSAH N° 29	jun-21	oct-21	Revisión del Plan de Contingencia

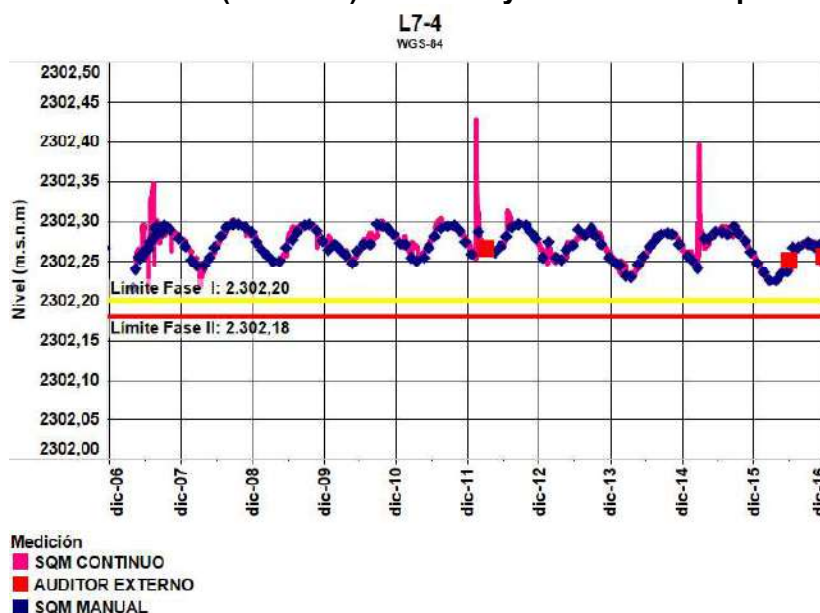
Fuente: Elaboración propia.

³ Los pozos presentados en esta tablas han sido reportados como pozos del Plan de Contingencia desde el Informe N°1 del PSAH, los cuales no se encuentran identificados en la RCA 226/2006.

5.1.1 Sistema Soncor

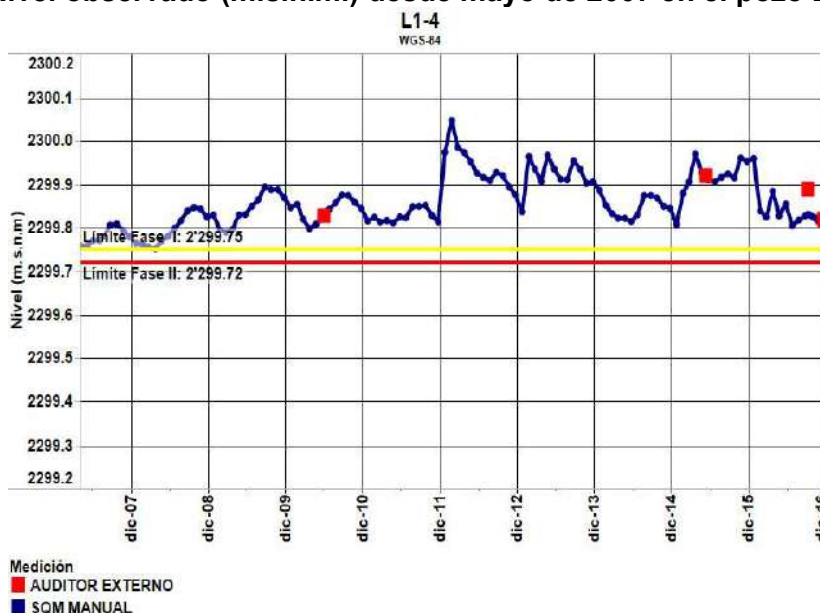
A continuación se presentan los resultados del Sistema Soncor en coordenadas WGS-84, este último requerido por SMA según Resolución N°223. Los gráficos en el sistema PSAD-56 pueden ser observados en el ANEXO 12.

Figura 5-3: Nivel observado (m.s.n.m.) desde mayo de 2007 en el pozo L7-4 (WGS-84)



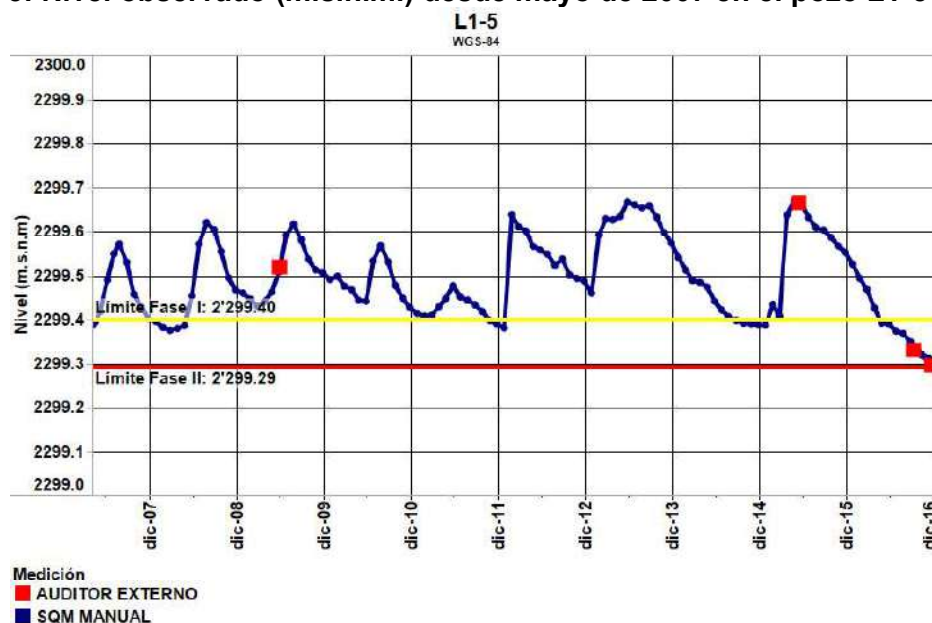
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-4: Nivel observado (m.s.n.m.) desde mayo de 2007 en el pozo L1-4 (WGS-84)



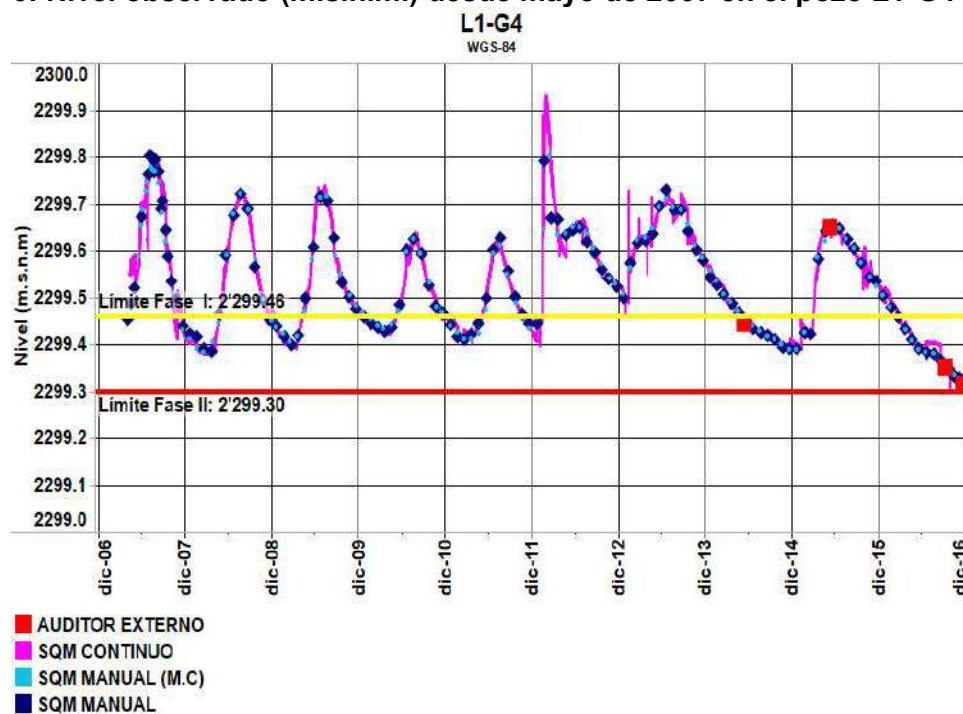
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-5: Nivel observado (m.s.n.m.) desde mayo de 2007 en el pozo L1-5 (WGS-84)



Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-6: Nivel observado (m.s.n.m.) desde mayo de 2007 en el pozo L1-G4 (WGS-84)



Fuente: Elaboración propia.

5.1.2 Sistema Aguas de Quelana

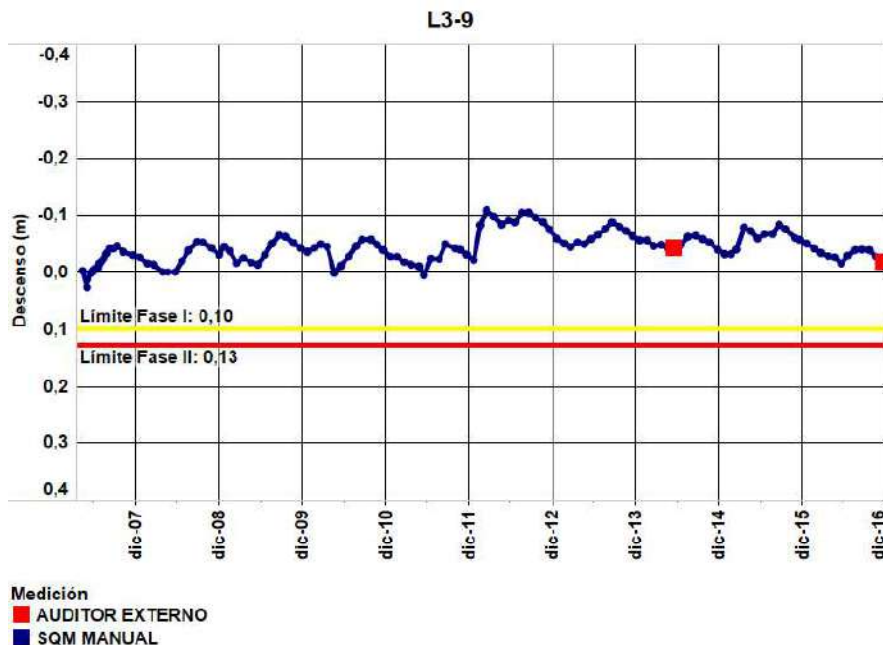
A continuación se muestran los descensos obtenidos en los pozos del Sistema Aguas de Quelana desde su primer registro (mayo 2007) y los valores de Fase I y Fase II según RCA 226/2016.

Figura 5-7: Descenso del nivel observado desde mayo de 2007 en el pozo L3-5



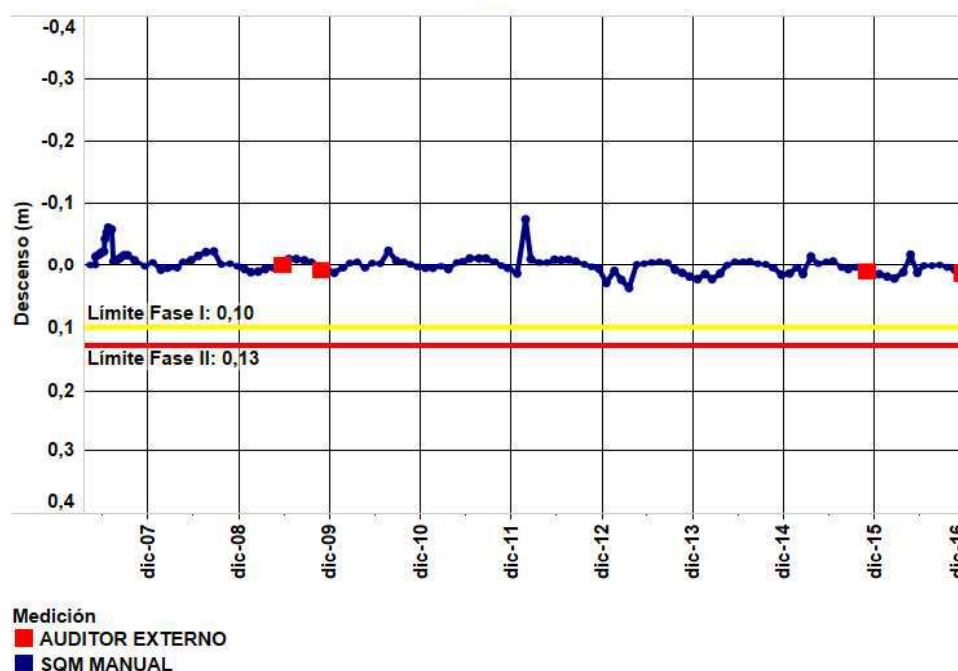
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-8: Descenso del nivel observado desde mayo de 2007 en el pozo L3-9



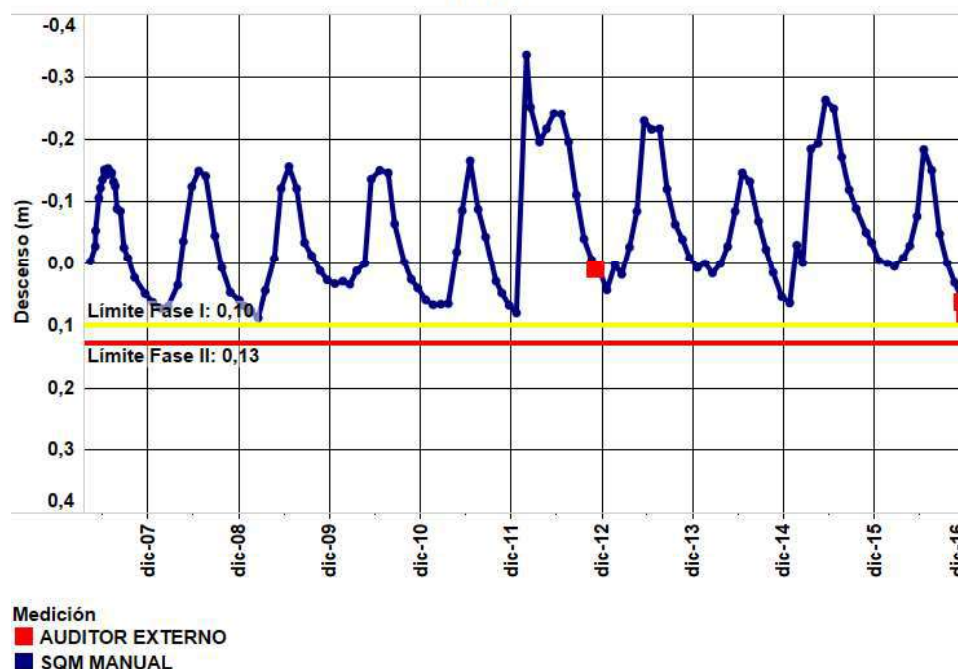
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-9: Descenso del nivel observado desde mayo de 2007 en el pozo L4-8
L4-8



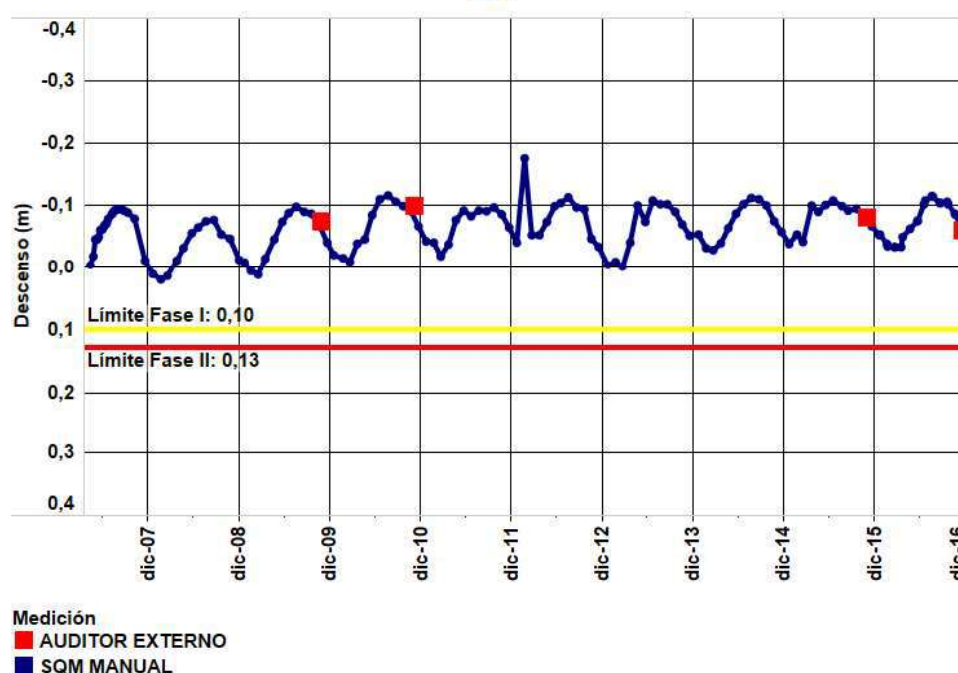
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-10: Descenso del nivel observado desde mayo de 2007 en el pozo L4-12
L4-12



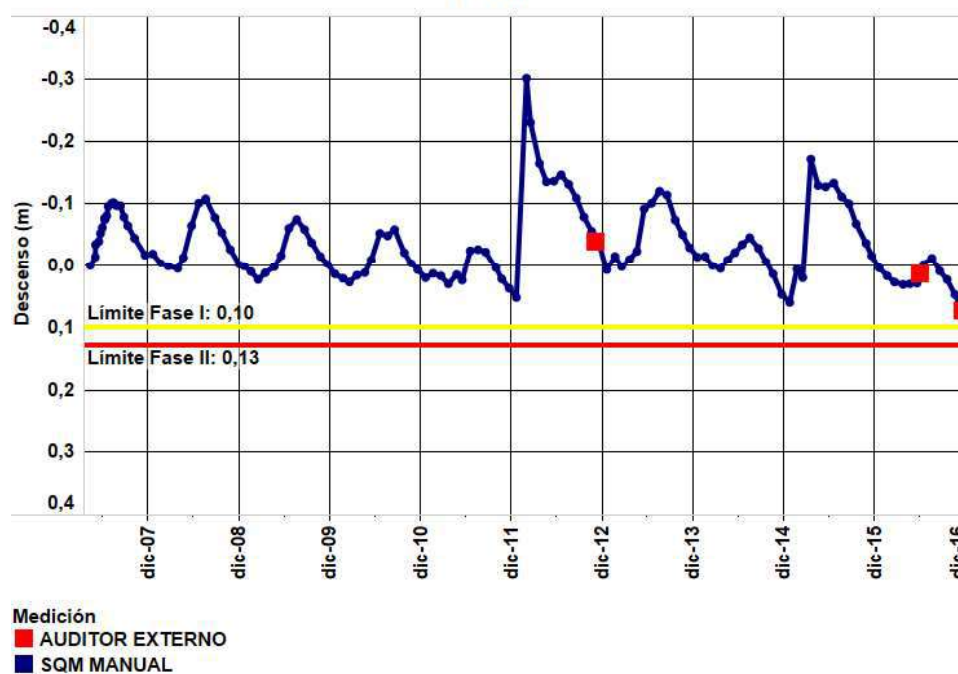
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-11: Descenso del nivel observado desde mayo de 2007 en el pozo L5-8



Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-12: Descenso del nivel observado desde mayo de 2007 en el pozo L5-10

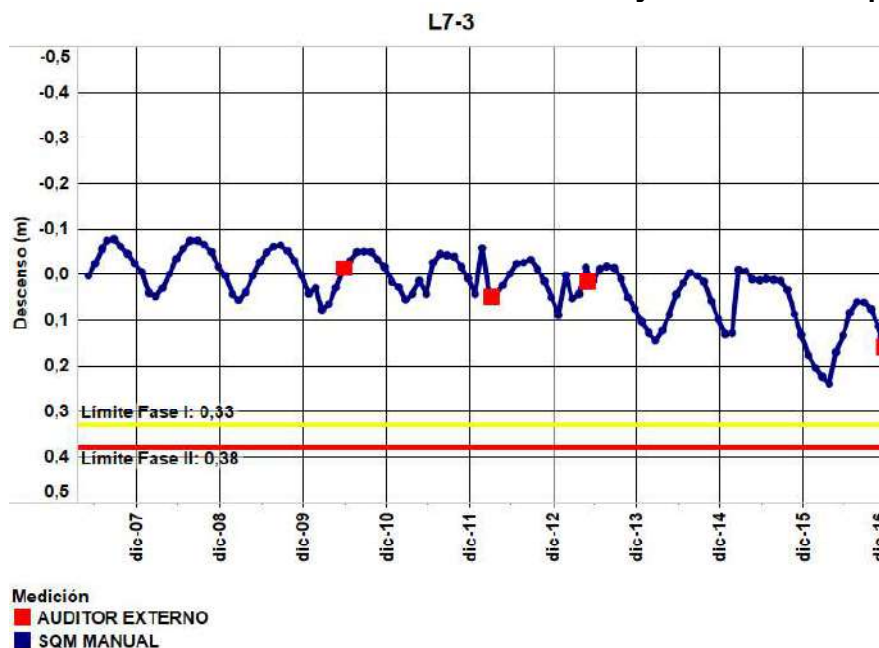


Fuente: Elaboración propia.

5.1.3 Sistema Bordo Este - Vegetación Hidromorfa

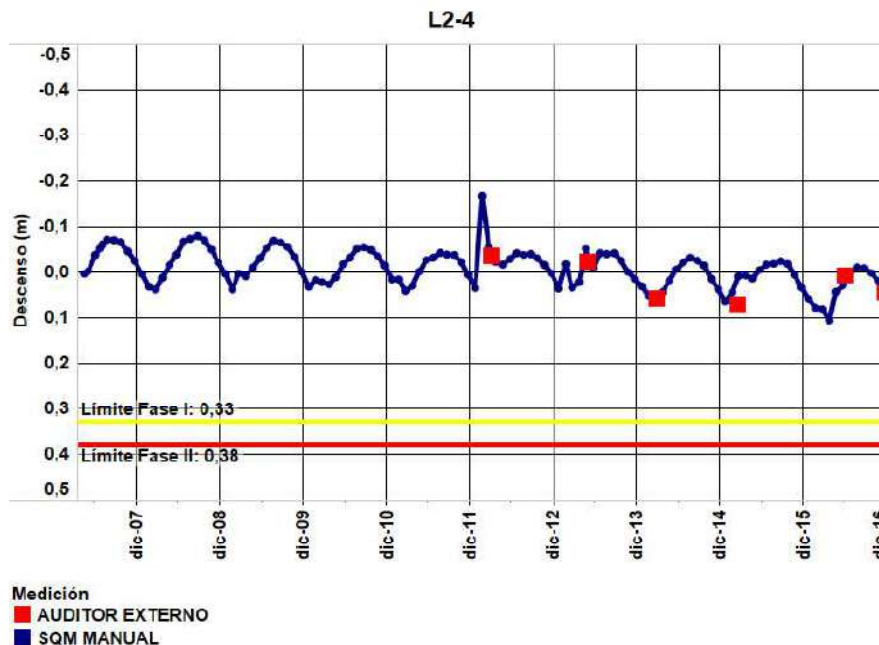
A continuación se muestran los descensos registrados en los pozos del Sistema Bordo Este – Vegetación Hidromorfa desde su primer registro (mayo 2007) y los valores de Fase I y Fase II según RCA 226/2016.

Figura 5-13: Descenso del nivel observado desde mayo de 2007 en el pozo L7-3



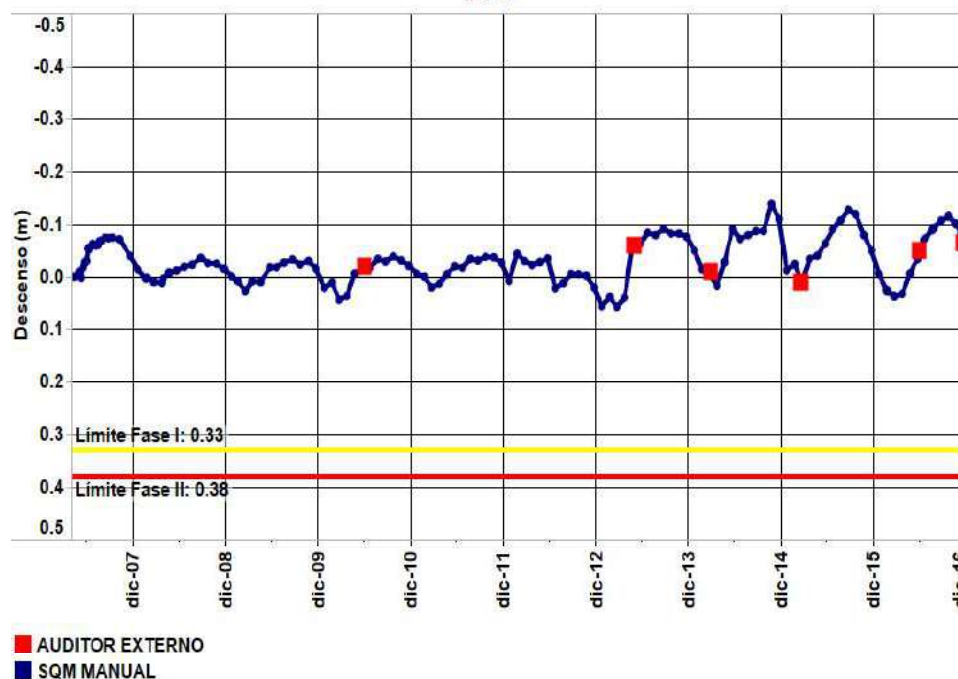
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-14: Descenso del nivel observado desde mayo de 2007 en el pozo L2-4



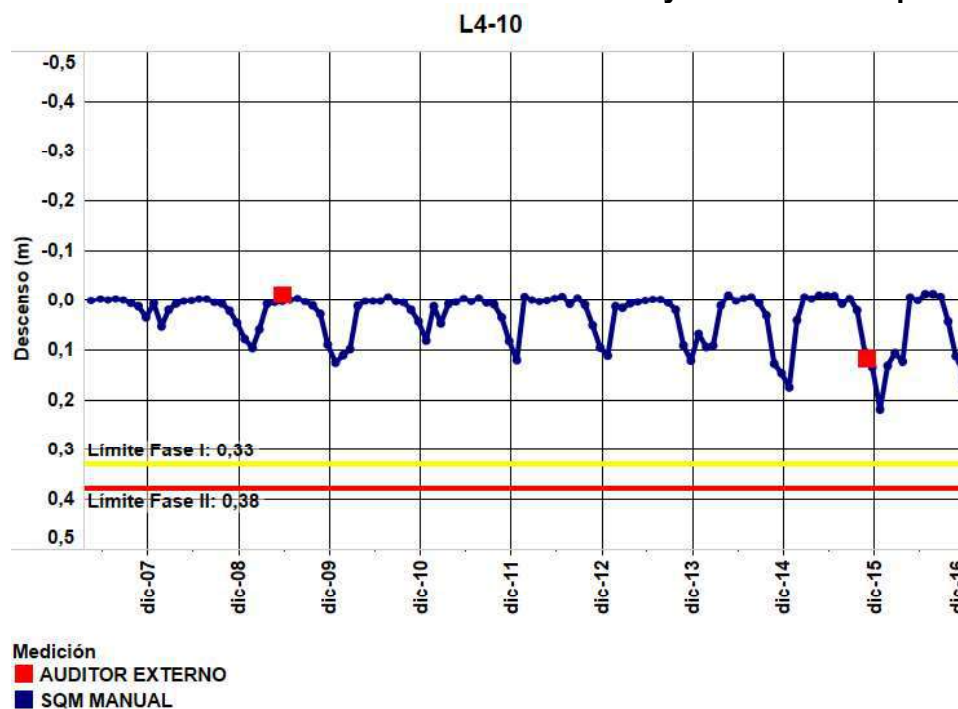
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-15: Descenso del nivel observado desde mayo de 2007 en el pozo L3-5



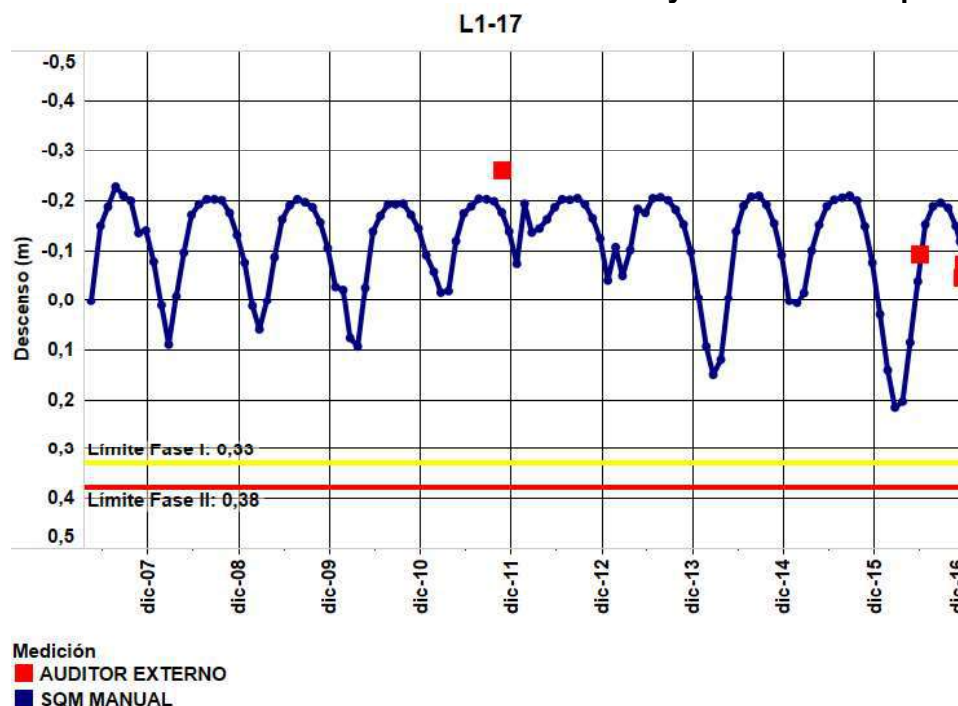
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-16: Descenso del nivel observado desde mayo de 2007 en el pozo L4-10.



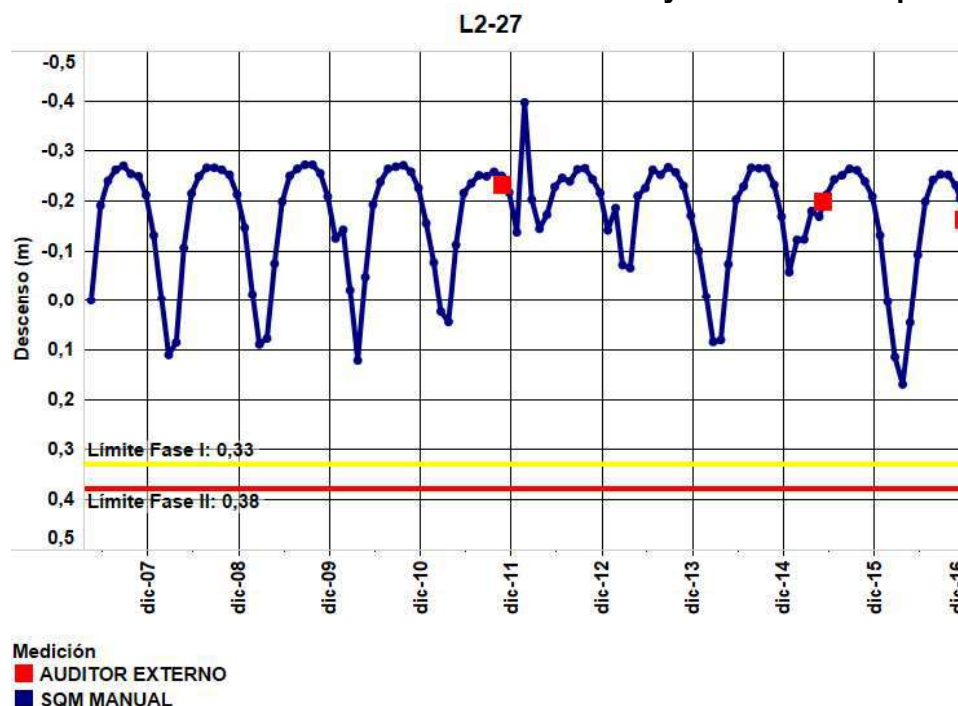
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-17: Descenso del nivel observado desde mayo de 2007 en el pozo L1-17



Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-18: Descenso del nivel observado desde mayo de 2007 en el pozo L2-27.

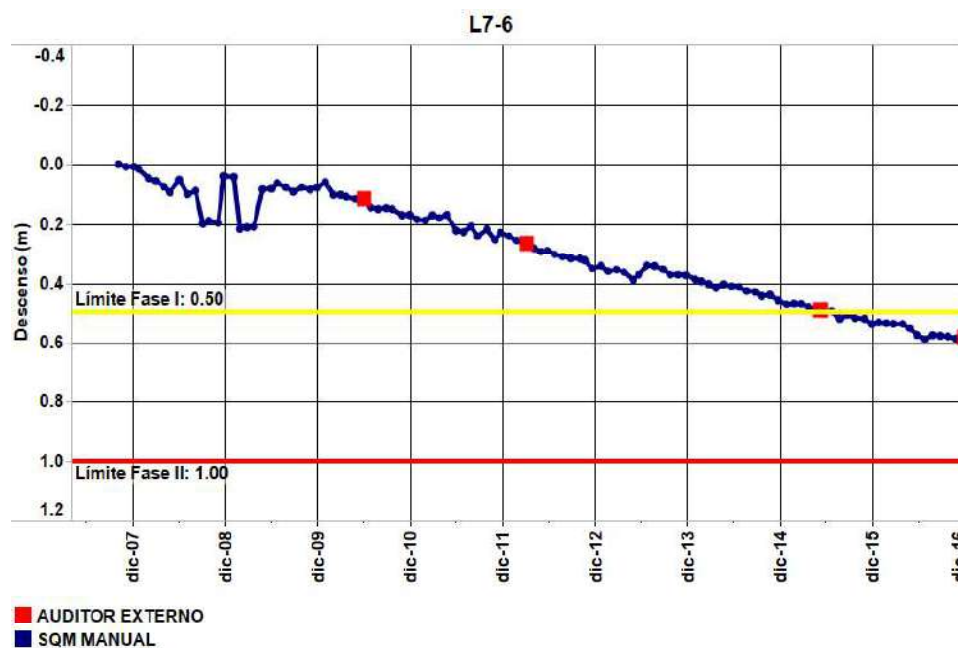


Fuente: Elaboración propia.

5.1.4 Sistema Borde Este - Vegetación Brea-Atriplex

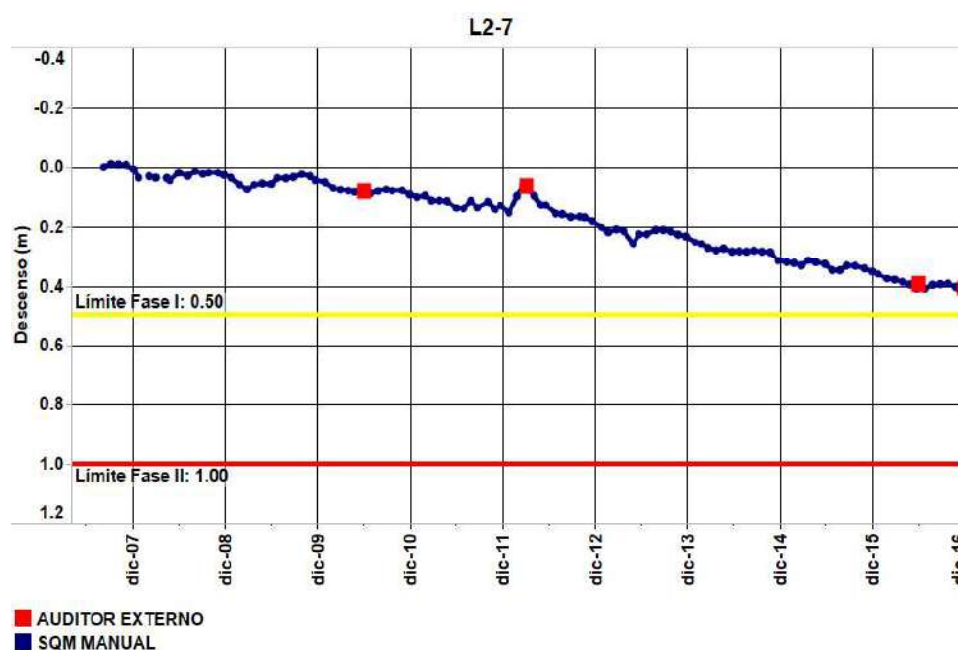
A continuación se muestran los descensos registrados en los pozos del Sistema Borde Este – Brea Atriplex y los valores de Fase I y Fase II según RCA 226/2016.

Figura 5-19: Descenso del nivel observado desde noviembre de 2007 en el pozo L7-6.



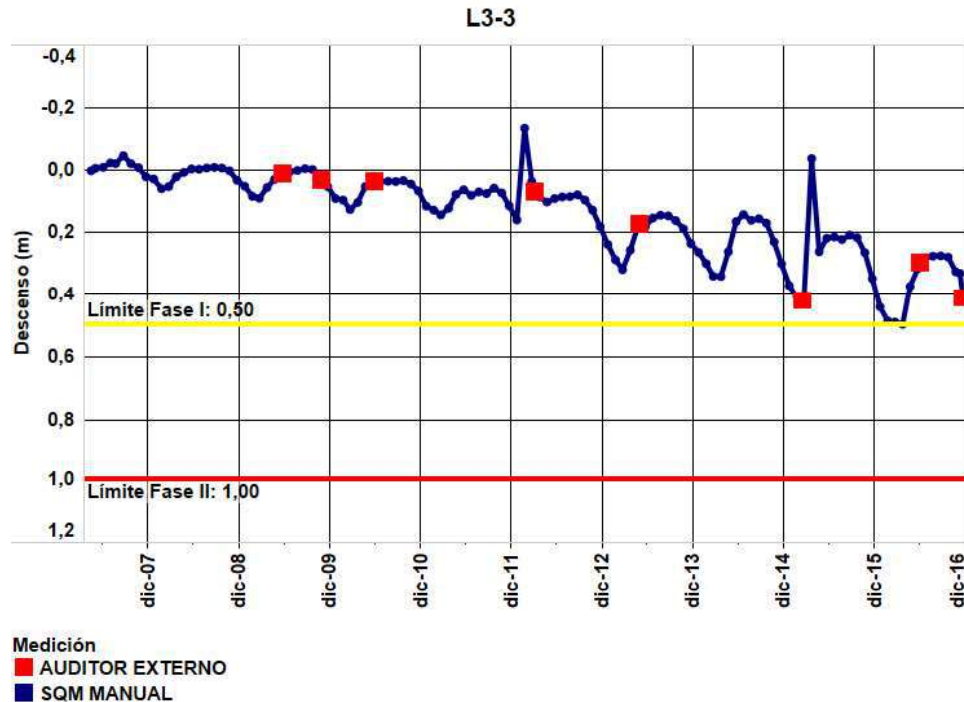
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-20: Descenso del nivel observado desde septiembre de 2007 en el pozo L2-7.



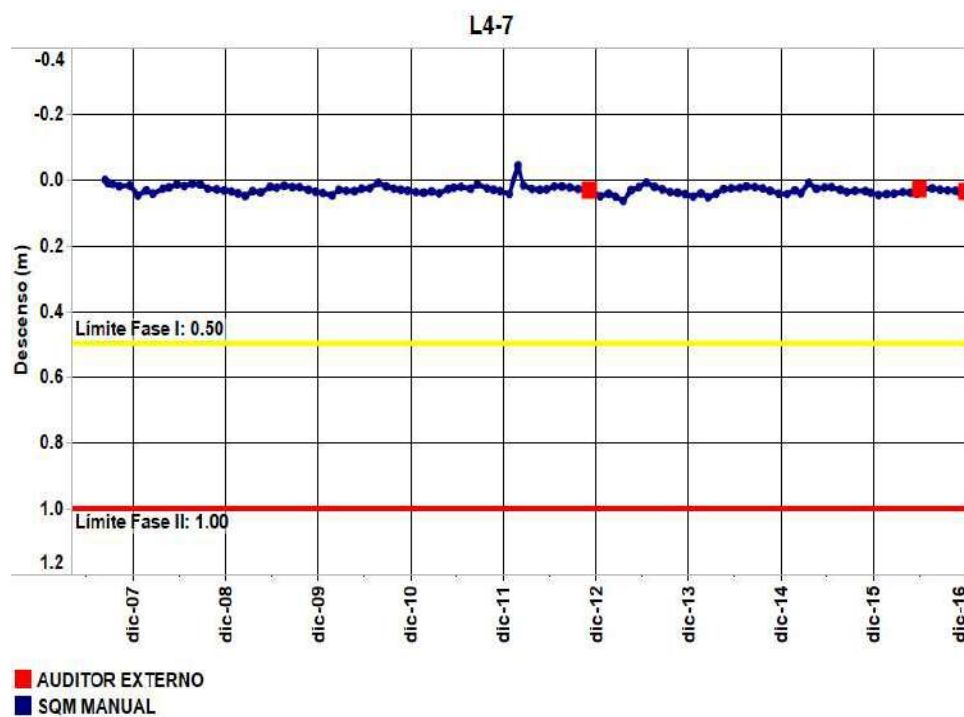
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-21: Descenso del nivel observado desde mayo de 2007 en el pozo L3-3



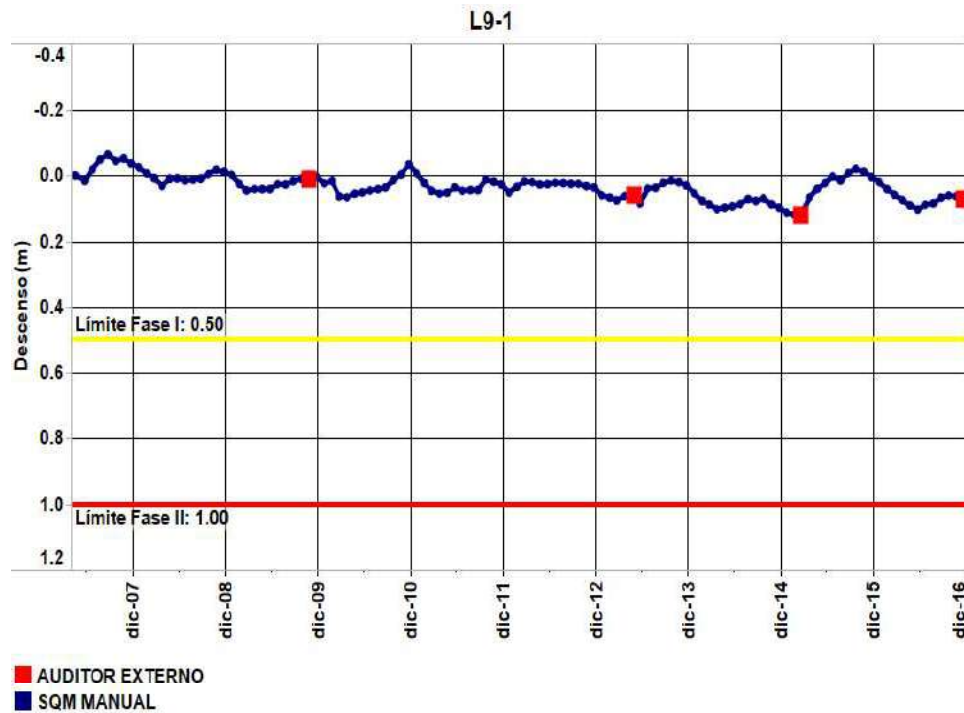
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-22: Descenso del nivel observado desde agosto de 2007 en el pozo L4-7.



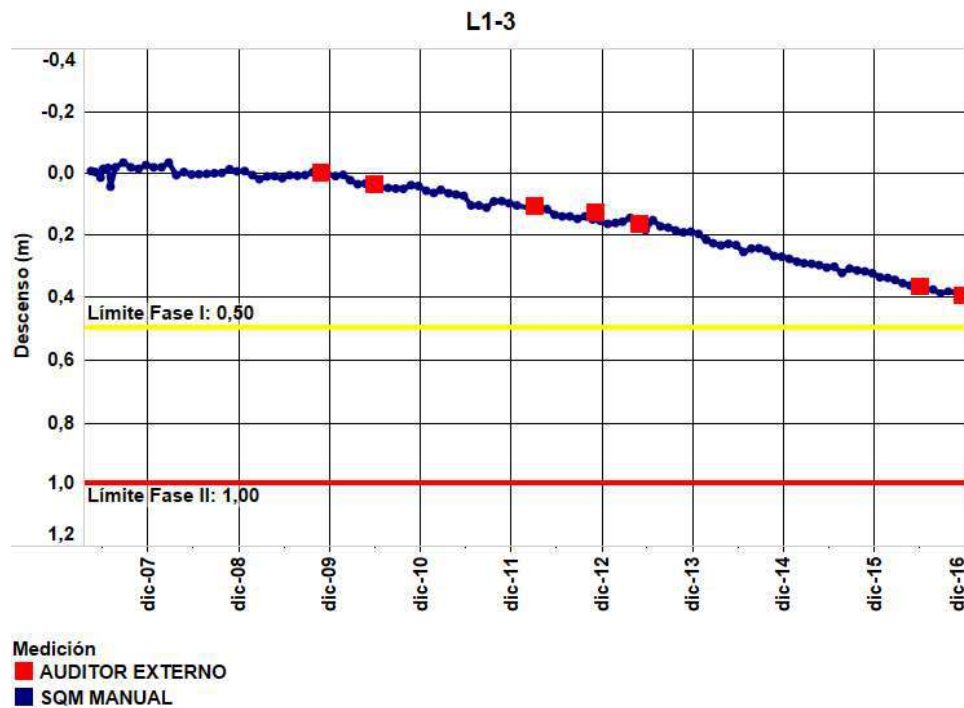
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-23: Descenso del nivel observado desde mayo de 2007 en el pozo L9-1.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-24: Descenso del nivel observado desde mayo de 2007 en el pozo L1-3



Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-25: Descenso del nivel observado desde mayo de 2007 en el pozo L2-28.

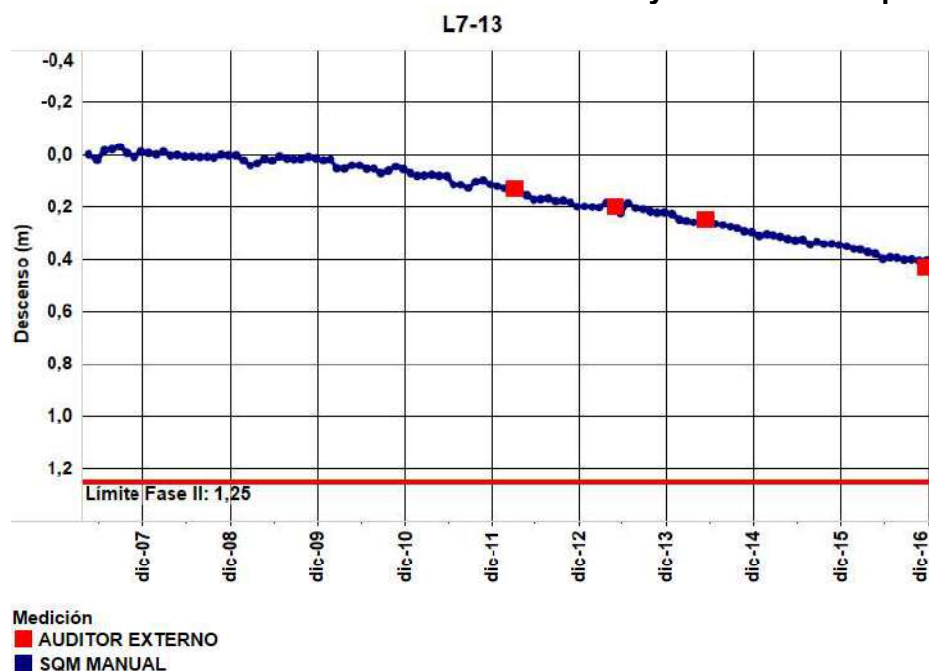


Fuente: Elaboración propia.

5.1.5 Sistema Bordo Este - Alerta Temprana

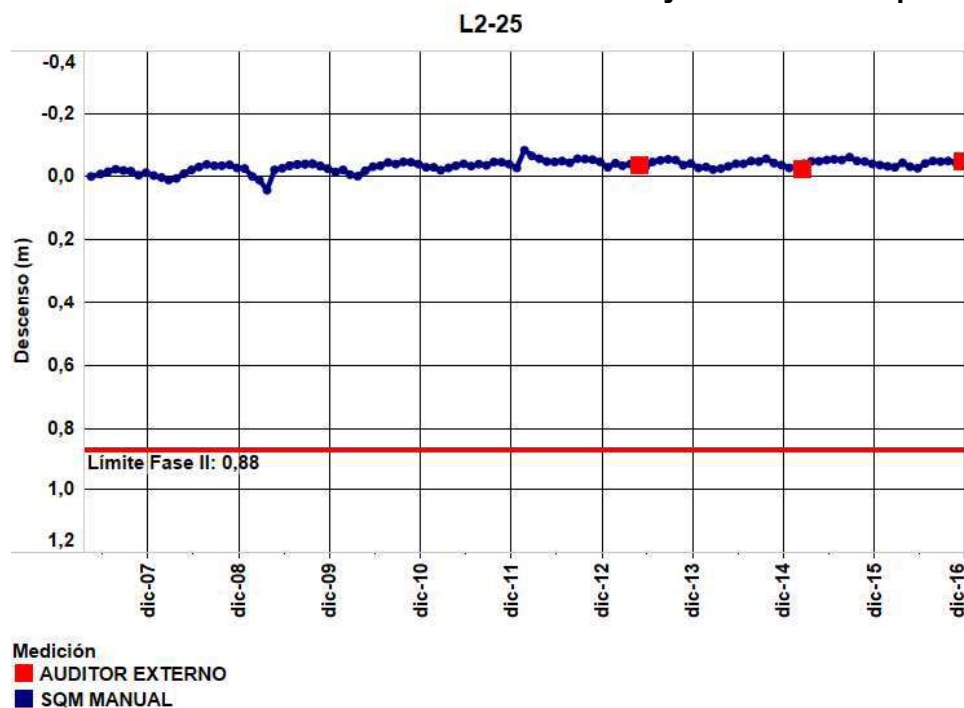
A continuación se muestran los descensos registrados en los pozos del Sistema Bordo Este – Alerta Temprana desde mayo 2007 y los valores de Fase I y Fase II según RCA 226/2016.

Figura 5-26: Descenso del nivel observado desde mayo de 2007 en el pozo L7-13



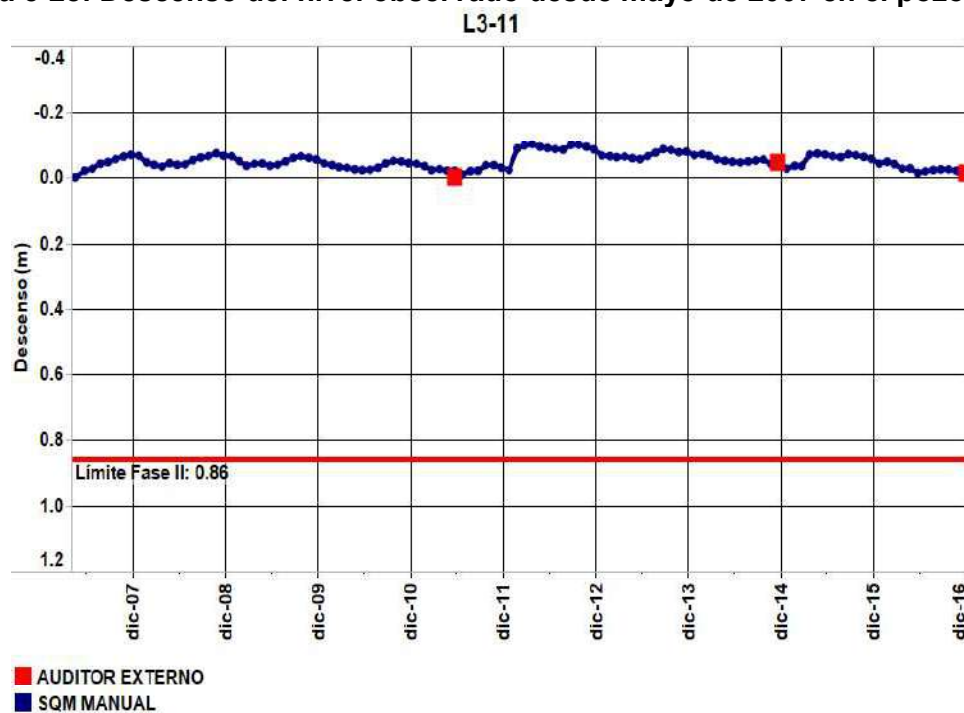
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-27: Descenso del nivel observado desde mayo de 2007 en el pozo L2-25.



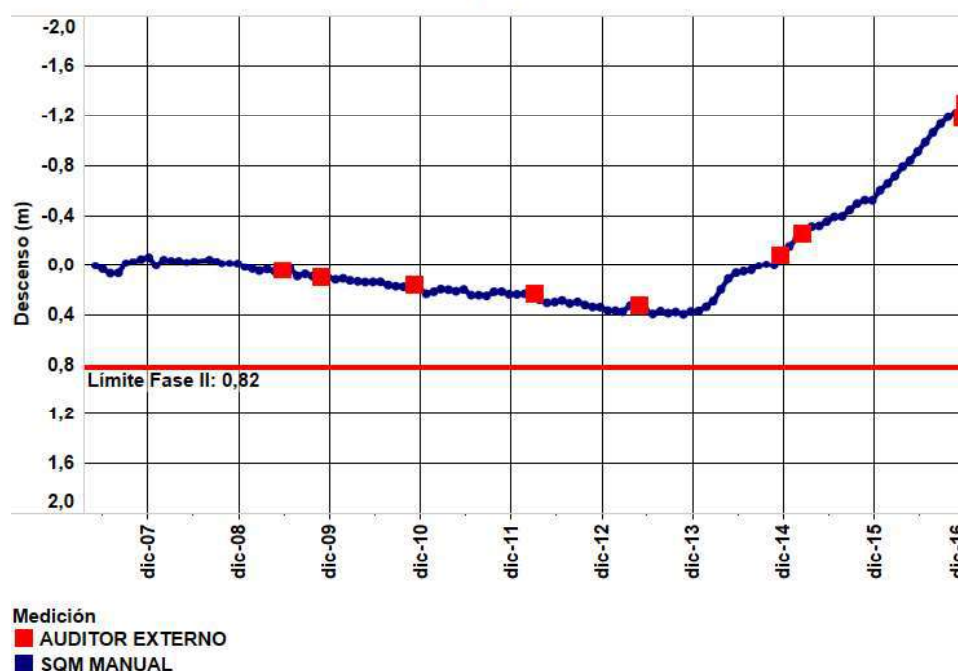
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-28: Descenso del nivel observado desde mayo de 2007 en el pozo L3-11.



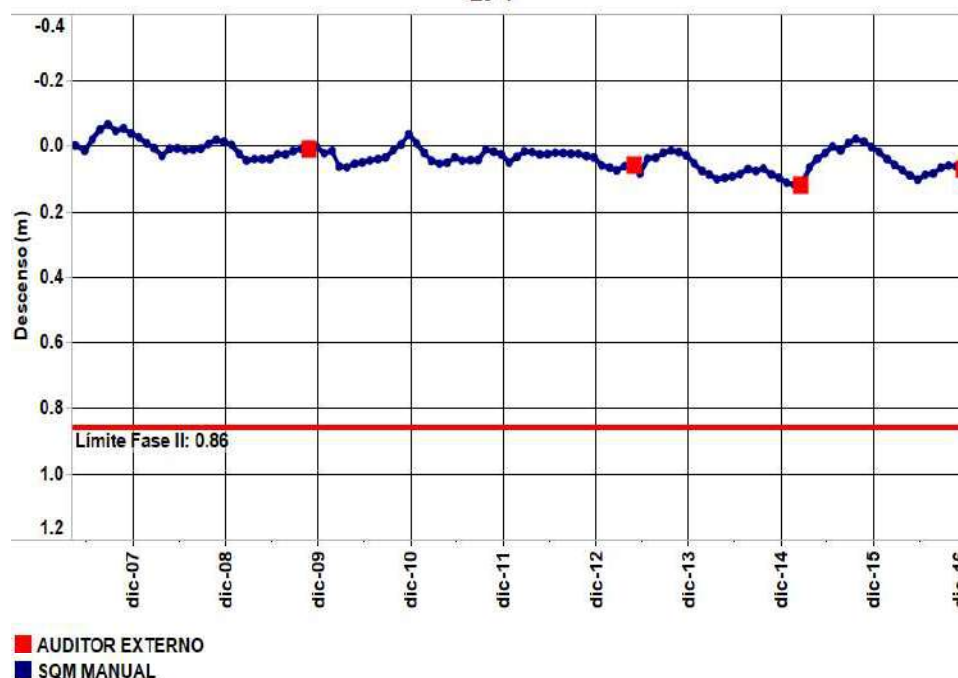
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-29: Descenso del nivel observado desde mayo de 2007 en el pozo L4-3
L4-3



Fuente: Elaboración propia.

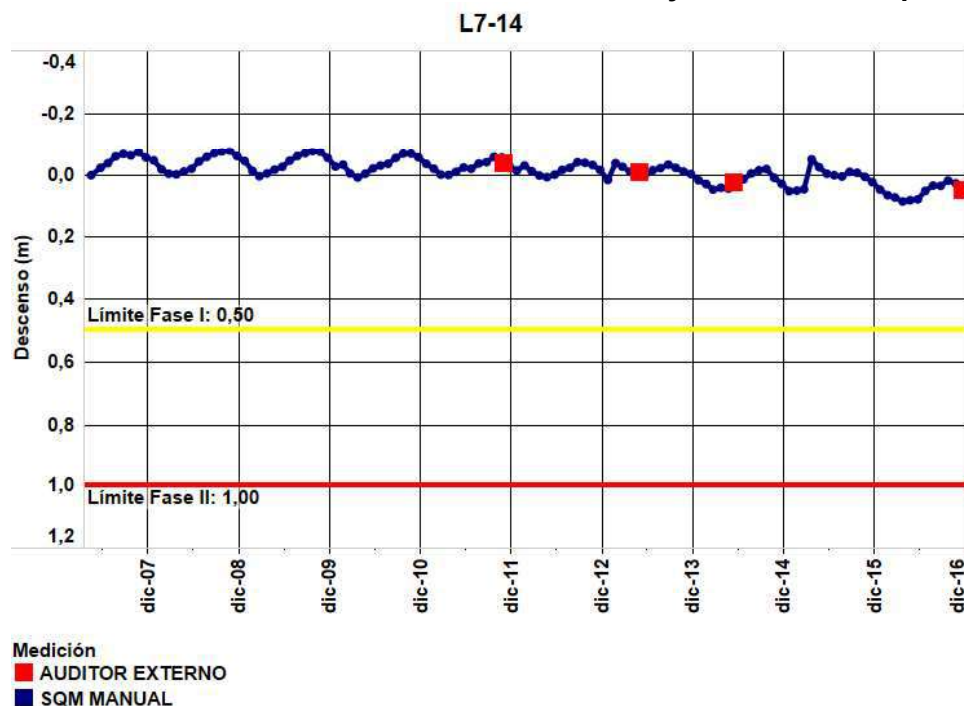
Figura 5-30: Descenso del nivel observado desde mayo de 2007 en el pozo L9-1.
L9-1



Fuente: Elaboración propia.

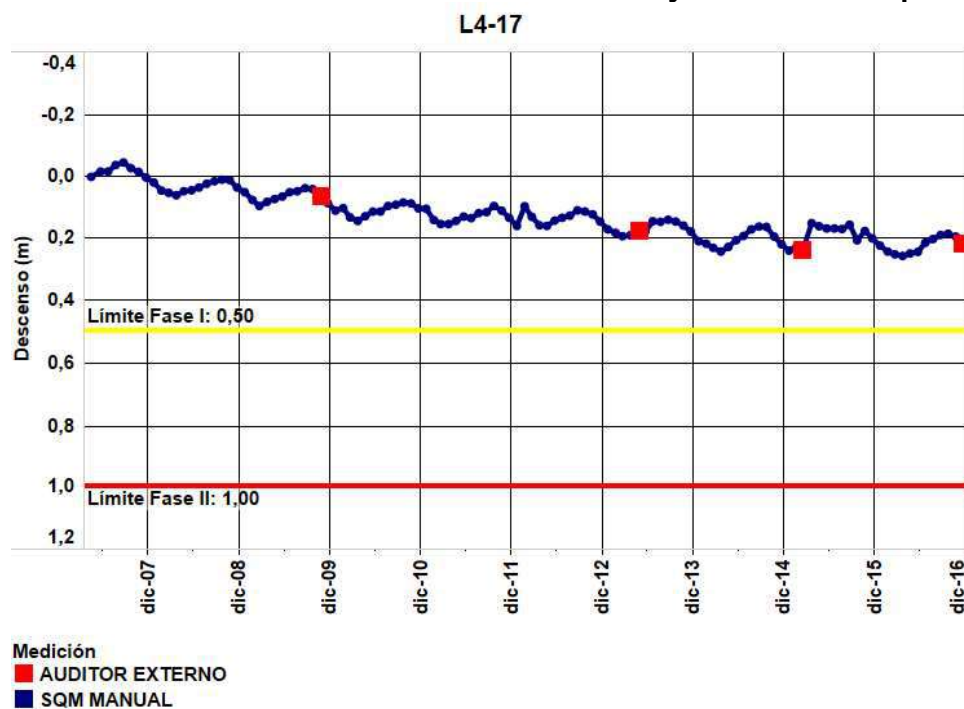
A continuación se presentan los pozos adicionales al Plan de Contingencia.

Figura 5-31: Descenso del nivel observado desde mayo de 2007 en el pozo L7-14



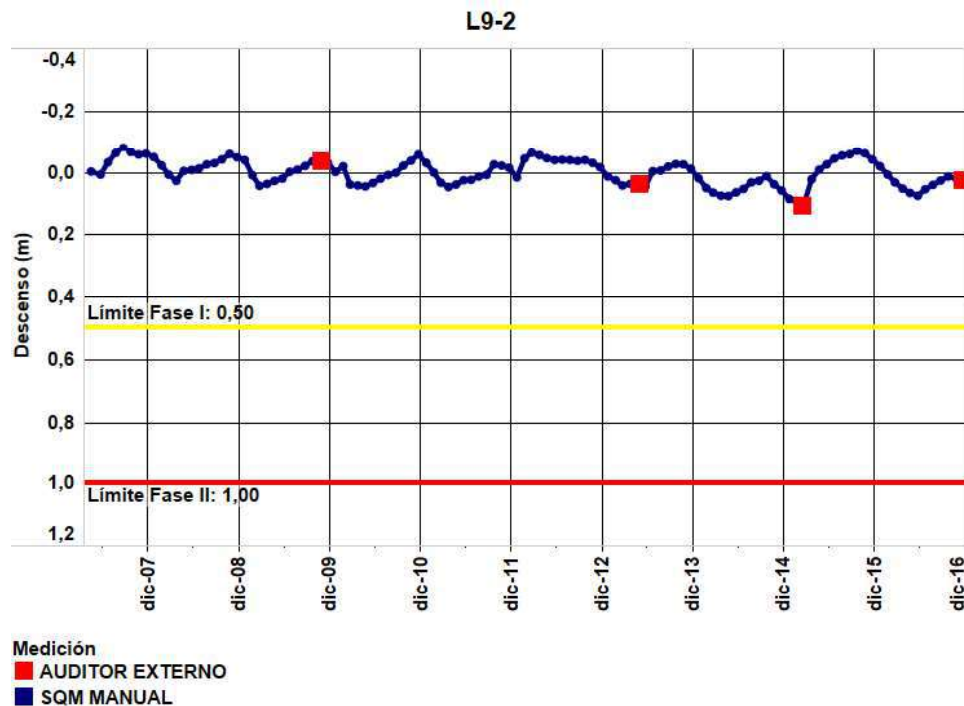
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-32: Descenso del nivel observado desde mayo de 2007 en el pozo L4-17



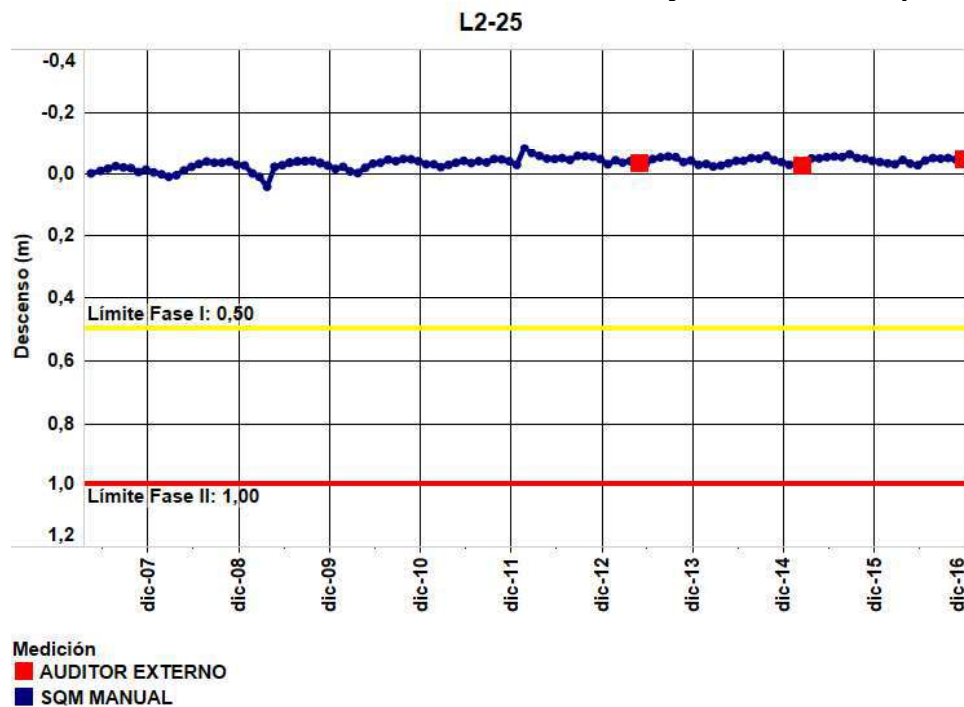
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-33: Descenso del nivel observado desde mayo de 2007 en el pozo L9-2



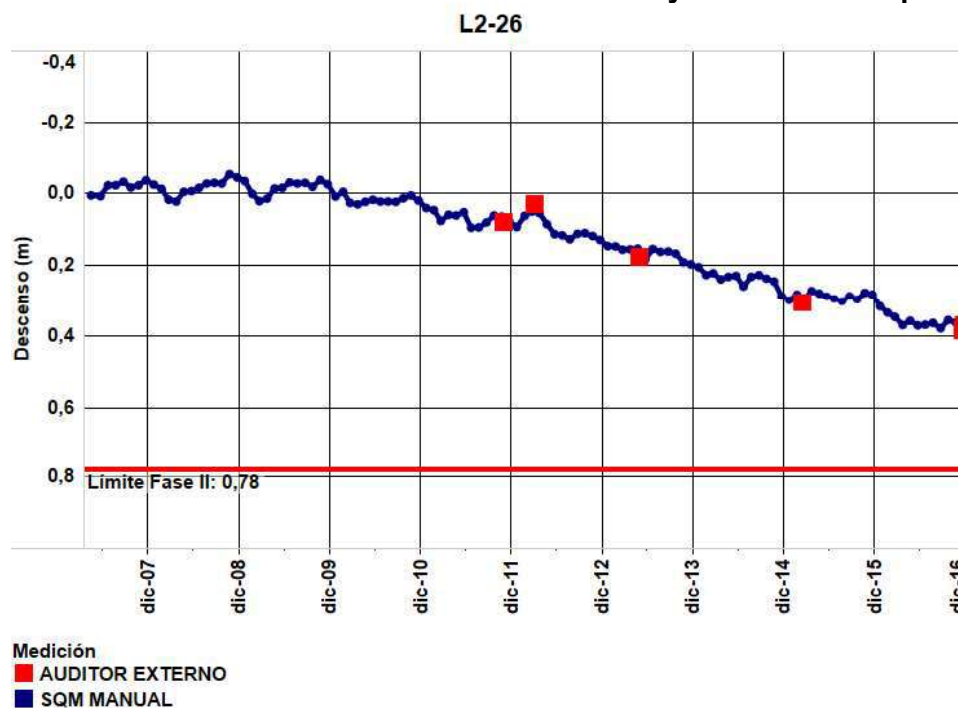
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-34: Descenso del nivel observado desde mayo de 2007 en el pozo L2-25



Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-35: Descenso del nivel observado desde mayo de 2007 en el pozo L2-26



Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-36: Descenso del nivel observado desde mayo de 2007 en el pozo L3-15



Fuente: Elaboración propia.

5.2 MONITOREO DE VARIABLES DEL PLAN DE SEGUIMIENTO AMBIENTAL HIDROGEOLÓGICO

En este capítulo se presentan los registros de mediciones efectuadas desde julio a diciembre de 2016 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
- 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

5.2.1 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 5-37 se muestra la distribución geográfica de los puntos de monitoreo de este sistema.

En la Tabla 5-6 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.

Adicionalmente, todos los puntos del Plan de Contingencia cuentan con una gráfica que indica el descenso de niveles desde el inicio del monitoreo en marzo del 2007 y la distancia medida desde el punto de referencia.

Tabla 5-6: Puntos de monitoreo del sistema Soncor

Punto de monitoreo	Clasificación	Tipología	Pág.
L1-1	Zona aluvial	Pozo profundo	86
L1-2	Zona aluvial	Pozo profundo	86
L1-3	Zona aluvial	Pozo somero	87
L2-2	Zona aluvial	Pozo profundo	87
L2-3	Zona aluvial	Pozo profundo	88
L2-7	Zona aluvial	Pozo profundo	88
L7-1	Zona aluvial	Pozo profundo	89
L7-2	Zona aluvial	Pozo profundo	89
L7-6	Zona marginal	Pozo profundo	90
Mullay-1	Zona aluvial	Pozo profundo	90
Allana	Zona aluvial	Pozo profundo	91
1027	Zona marginal	Pozo somero	91
RC-1	Zona marginal	Pozo somero	92
RC-2	Zona marginal	Pozo somero	92
RC-3	Zona marginal	Pozo somero	93
RC-4	Zona marginal	Pozo somero	93
RC-5	Zona marginal	Pozo somero	94
RC-6	Zona marginal	Pozo somero	94
RC-7	Zona marginal	Pozo somero	95
GD-01	Zona marginal	Pozo profundo	95
L1-4	Zona marginal	Pozo somero	96
L1-5	Zona marginal	Pozo profundo	96
L1-6	Zona marginal	Pozo somero	97
L1-7	Zona marginal	Pozo somero	97
L1-8	Zona marginal	Pozo somero	98
L1-9	Zona marginal	Pozo somero	98
L1-10	Zona marginal	Pozo somero	99
L1-11	Zona marginal	Pozo somero	99
L1-12	Zona marginal	Pozo somero	100
L1-13	Zona marginal	Pozo somero	100
L1-14	Zona marginal	Pozo somero	101
L1-15	Zona marginal	Pozo somero	101
L1-16	Zona marginal	Pozo somero	102
L2-4	Zona marginal	Pozo somero	102
L2-5	Zona marginal	Pozo profundo	103
L2-8	Zona marginal	Pozo somero	103
L2-10	Zona marginal	Pozo somero	104
L2-11	Zona marginal	Pozo somero	104
L2-12	Zona marginal	Pozo somero	105
L2-13	Zona marginal	Pozo somero	105
L2-15	Zona marginal	Pozo somero	106

Punto de monitoreo	Clasificación	Tipología	Pág.
L2-17	Zona marginal	Pozo somero	106
L2-18	Zona marginal	Pozo somero	107
L2-19	Zona marginal	Pozo somero	107
L2-21	Zona marginal	Pozo somero	108
L2-22	Zona marginal	Pozo somero	108
L2-24	Zona marginal	Pozo somero	109
L7-3	Zona marginal	Pozo somero	109
L7-4	Zona marginal	Pozo somero	110
L7-5	Zona marginal	Pozo somero	110
L7-7	Zona marginal	Pozo somero	111
L7-10	Zona marginal	Pozo somero	111
L7-11	Zona marginal	Pozo somero	112
L7-12	Zona marginal	Pozo somero	112
L11-1	Zona marginal	Pozo somero	113
L11-2	Zona marginal	Pozo somero	113
L1-G4	Zona marginal	Reglilla	115
L7-G1	Zona marginal	Reglilla	115
L7-G2	Zona marginal	Reglilla	116
Puente San Luis	Zona marginal	Reglilla	117
Burro Muerto	Zona marginal	Reglilla	117
L11-G1	Zona marginal	Reglilla	118
P1-1	Zona marginal	Continuo	119
P1-2	Zona marginal	Continuo	119
P1-3	Zona marginal	Continuo	120
P1-4	Zona marginal	Continuo	120
P1-5	Zona marginal	Continuo	121
P1-6	Zona marginal	Continuo	121
P1-7	Zona marginal	Continuo	122
L2-9	Zona marginal	Continuo	122
P2-1	Zona marginal	Continuo	123
P2-2	Zona marginal	Continuo	123
P2-3	Zona marginal	Continuo	124
L2-16	Zona marginal	Continuo	124
P2-4	Zona marginal	Continuo	125
P2-5	Zona marginal	Continuo	125
L2-23	Zona marginal	Continuo	126
2021	Zona marginal	Continuo	126
SOPM-07	Salmuera	Pozo profundo	127
SOPM-13	Salmuera	Pozo somero	128
SOPM-14	Salmuera	Pozo somero	128
L2-14	Salmuera	Pozo somero	128
L2-20	Salmuera	Pozo somero	129

Punto de monitoreo	Clasificación	Tipología	Pág.
Barros Negros	Zona marginal	Reglilla	130
Puilar	Zona marginal	Reglilla	131
Chaxa	Zona marginal	Reglilla	131
Estación Meteorológica Chaxa	Zona marginal	Estación Meteorológica	132 y 134
Mullay	Zona Aluvial	Pozo de bombeo	135
Allana	Zona Aluvial	Pozo de bombeo	135
Aforo Barros Negros	Zona Marginal	Aforo	162
Aforo Puente San Luis	Zona marginal	Aforo	163
Chaxa	Zona Marginal	Superficie Lacustre	164
Barros Negros	Zona Marginal	Superficie Lacustre	164
Puilar	Zona Marginal	Superficie Lacustre	164

Fuente: Elaboración propia.

5.2.1.1 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 5-38 a la Figura 5-93. Los pozos L1-3, L2-4 y L7-3 (Figura 5-40, Figura 5-71, Figura 5-85 respectivamente) forman parte del monitoreo de niveles de los sistemas Soncor y Vegetación Borde Este. Para efectos de orden, sus niveles se presentan en esta sección, sin perjuicio de que son considerados en el marco del seguimiento del sistema Vegetación Borde Este.

Dentro del periodo correspondiente al presente informe, Arcadis –en el marco de una auditoría de la información de monitoreo- realizó visitas y validaciones (diciembre de 2016) en este sistema en los pozos RC-5, L2-5, L2-10, L7-3, L7-G1, P1-2, P1-3, P1-5, P1-6, L2-9, P2-2, P2-4, 2021, L2-14 y L2-20. Este informe se presenta en el ANEXO 1.

5.2.1.1.1 Pozos en zona aluvial

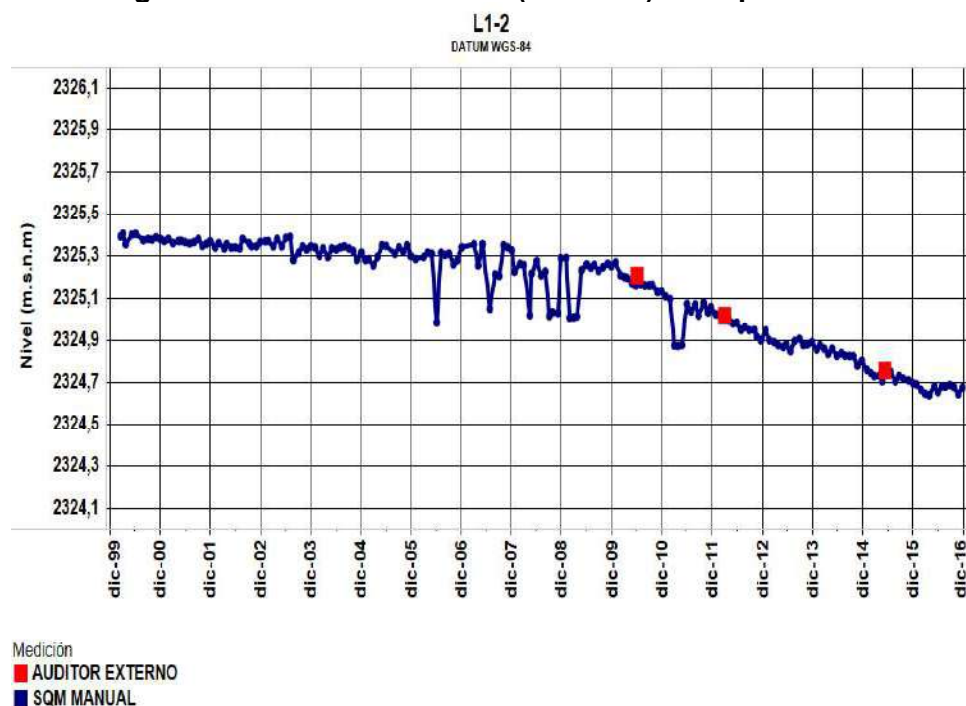
De la Figura 5-38 a la Figura 5-48 se presentan los pozos de la zona aluvial del Sistema Soncor.

Figura 5-38: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L1-1



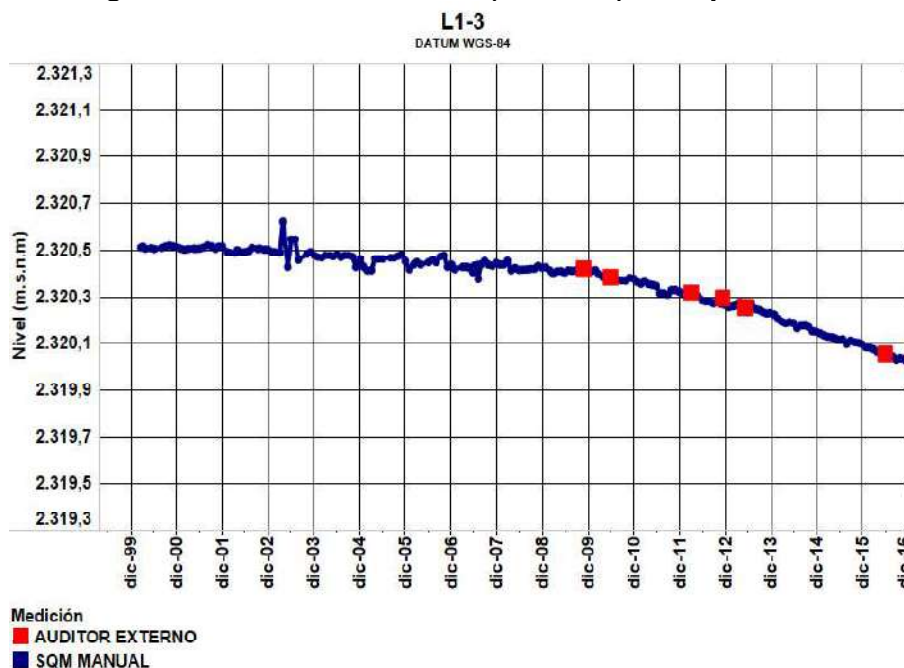
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-39: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L1-2



Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-40: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L1-3



Fuente: Elaboración propia.

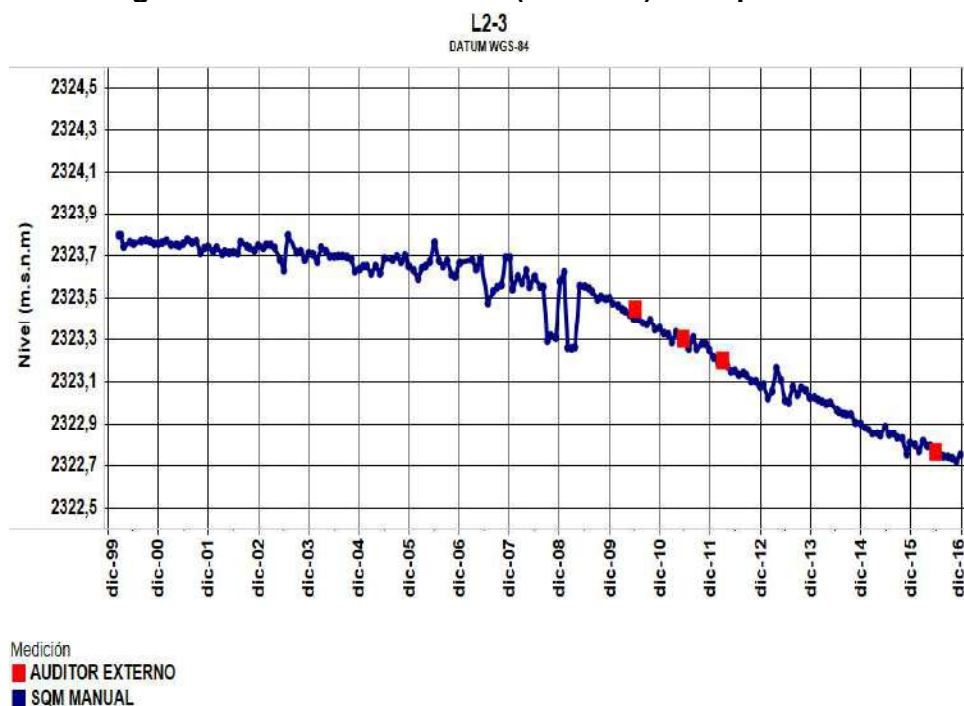
Figura 5-41: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L2-2⁴



Fuente: Elaboración propia.

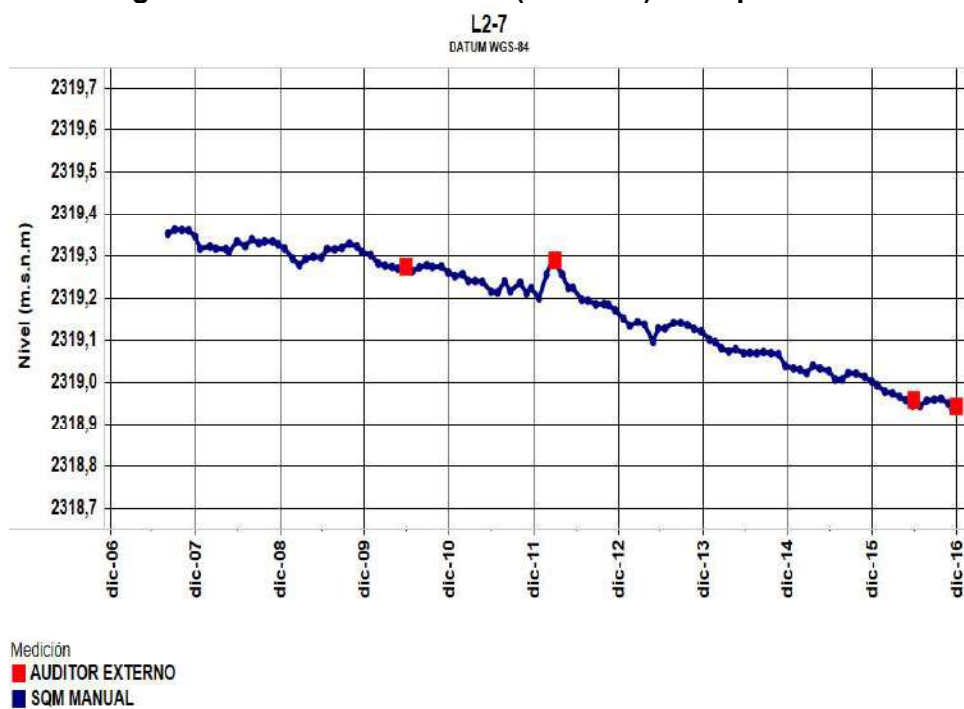
⁴ La diferencia observada entre la primera medición SQM y DICTUC S.A. se explica porque éstas fueron realizadas en diferentes fechas y es un pozo que posee gran variación por su cercanía a un pozo de bombeo de agua industrial.

Figura 5-42: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L2-3



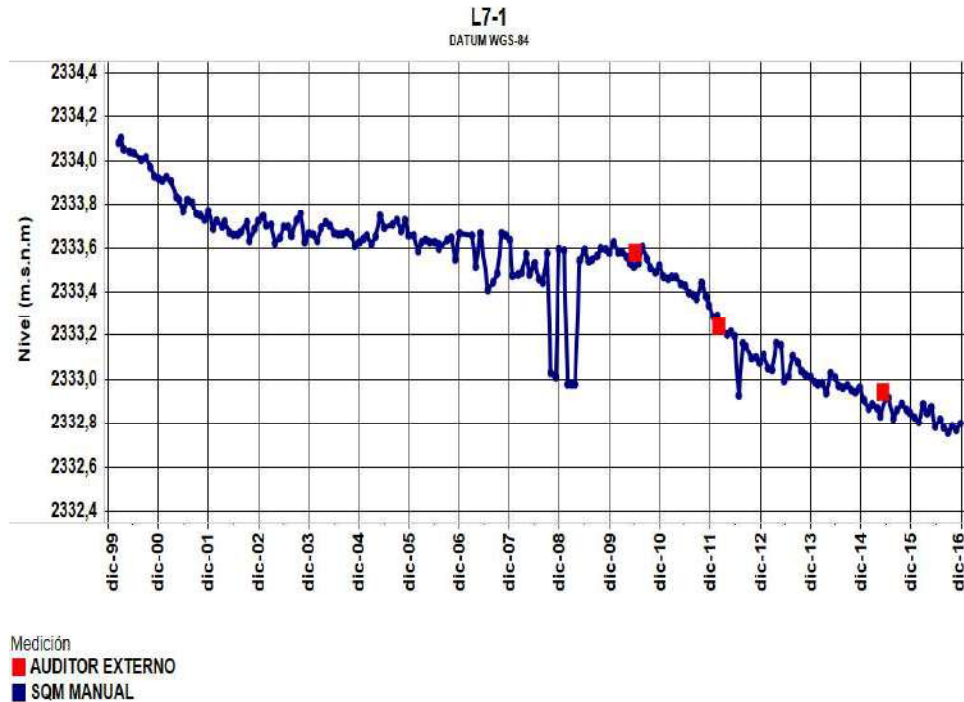
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-43: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L2-7



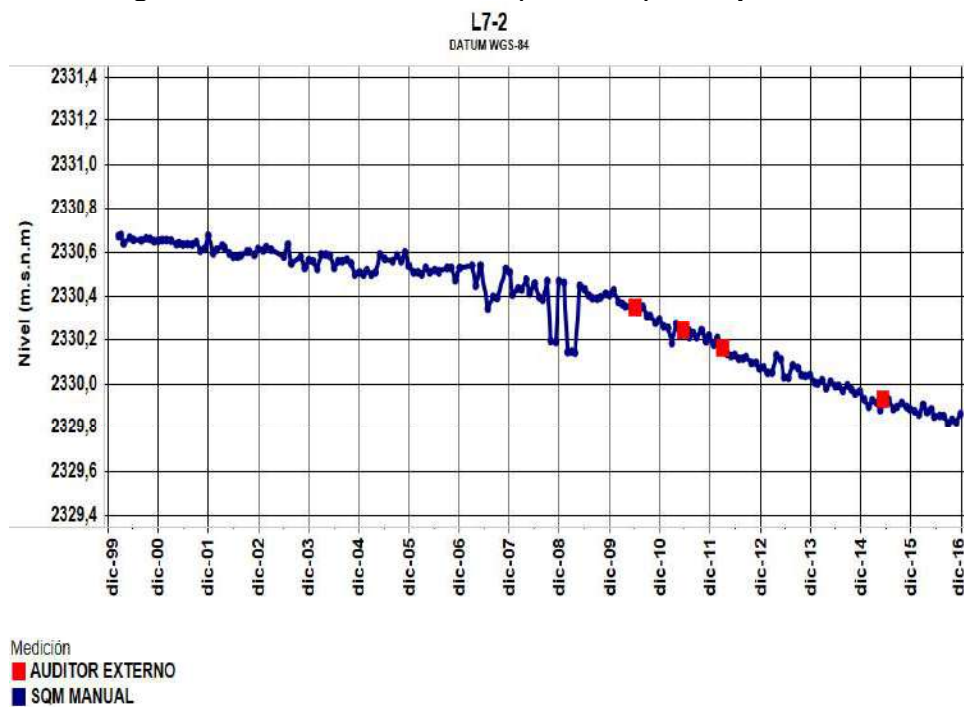
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-44: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L7-1



Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-45: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L7-2



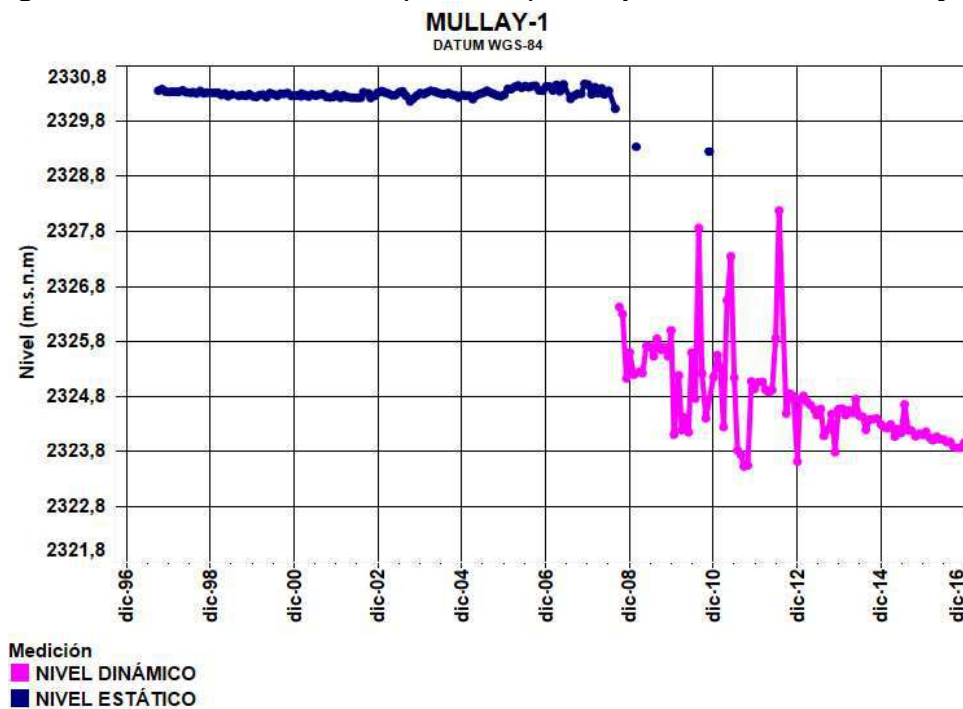
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-46: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L7-6



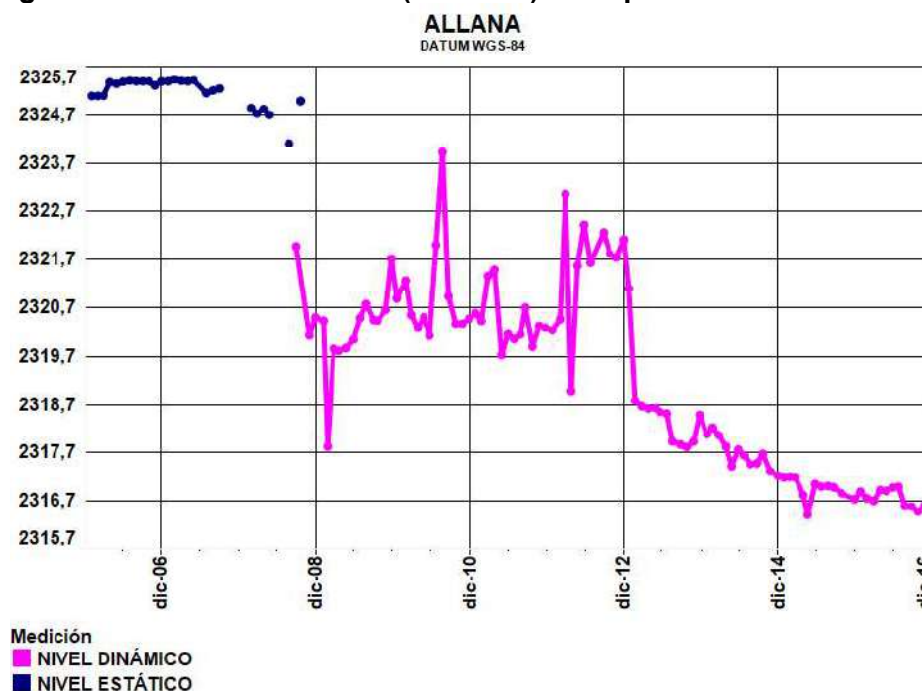
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-47: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo de bombeo Mullay 1.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-48: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo de bombeo Allana

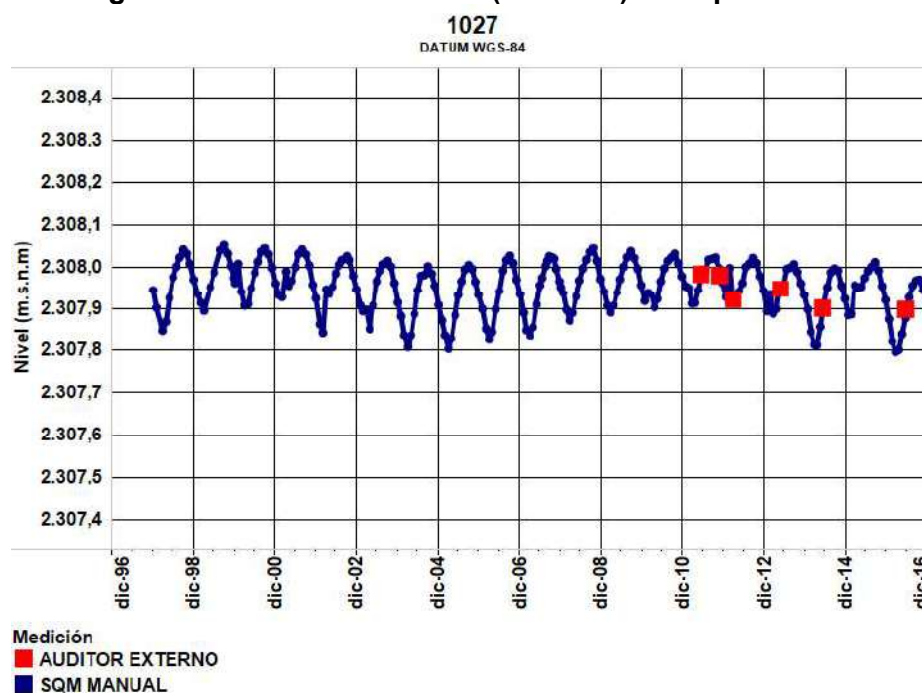


Fuente: Elaboración propia.

5.2.1.1.2 Pozos en zona marginal

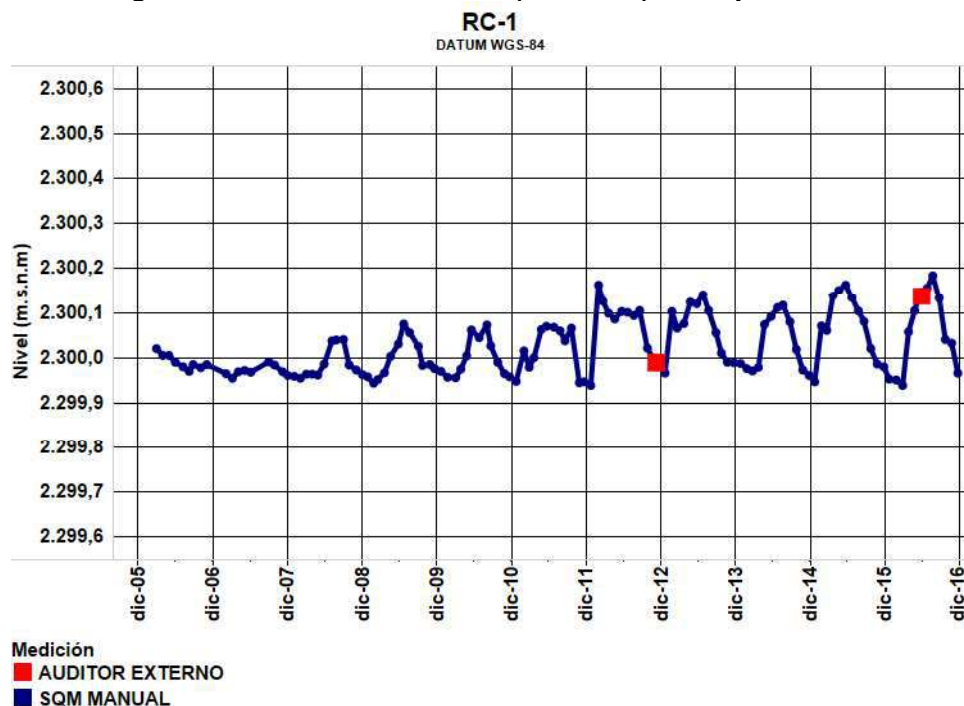
Los gráficos de niveles de esta zona se presentan desde la Figura 5-49 a Figura 5-93.

Figura 5-49: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo 1027.



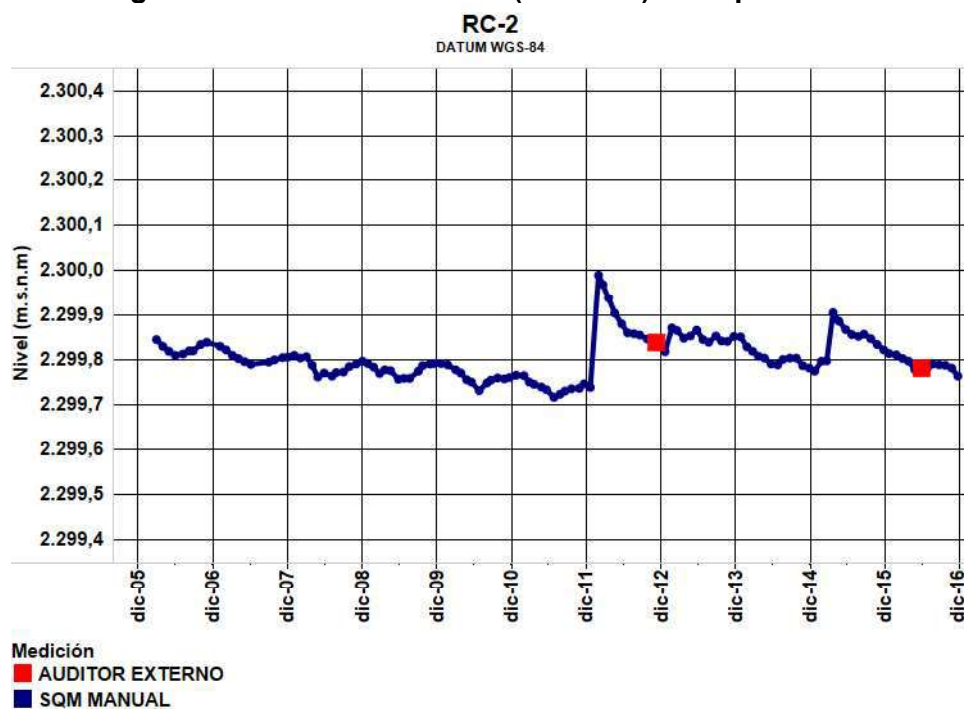
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-50: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo RC-1



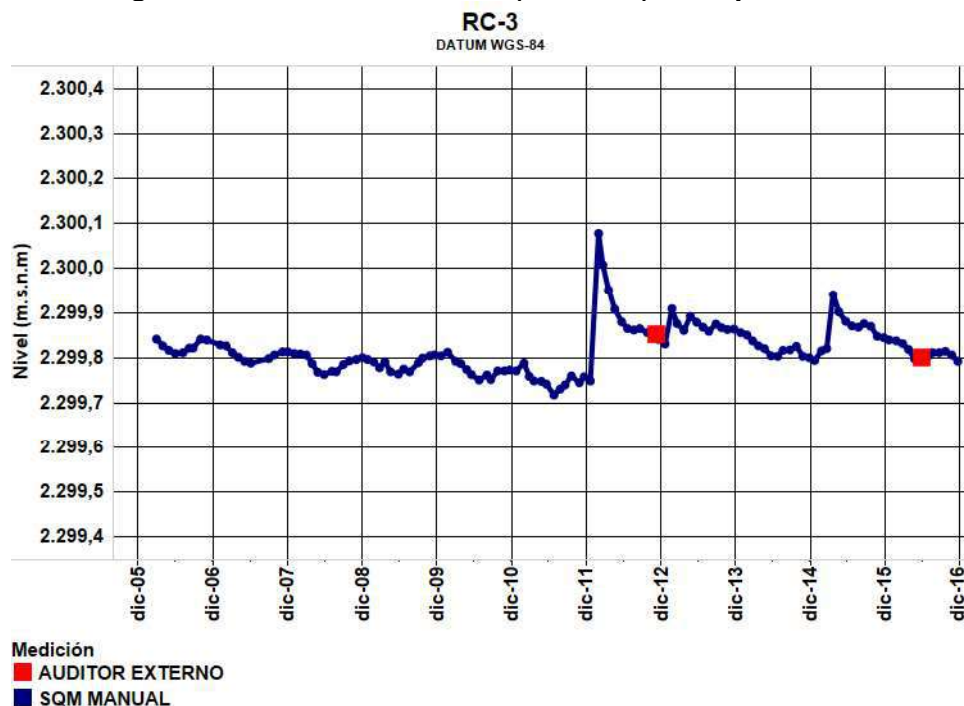
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-51: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo RC-2



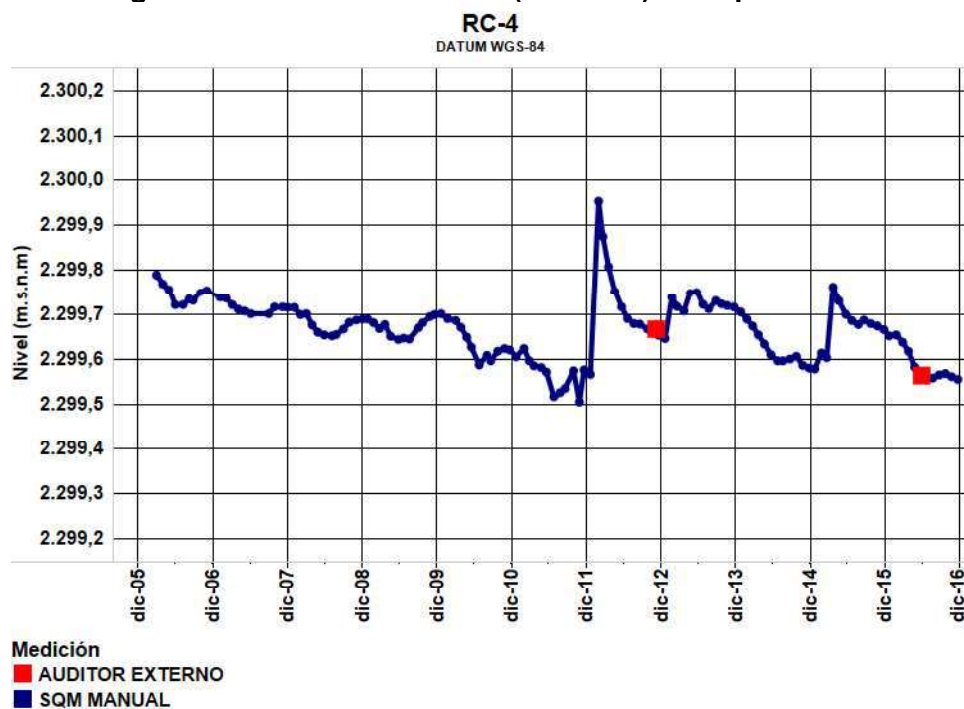
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-52: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo RC-3



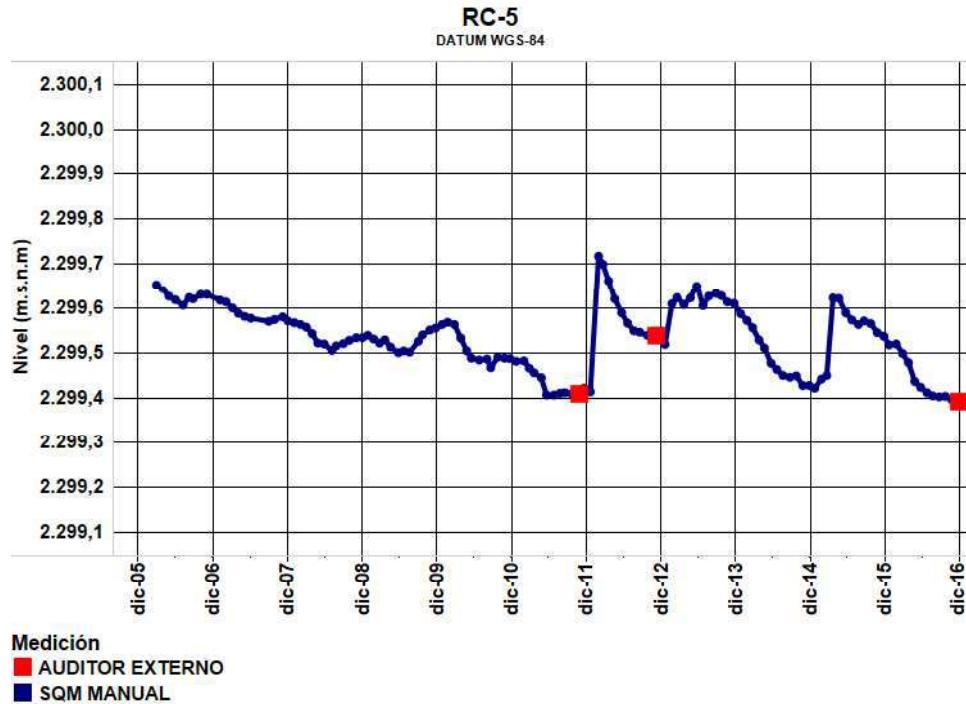
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-53: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo RC-4



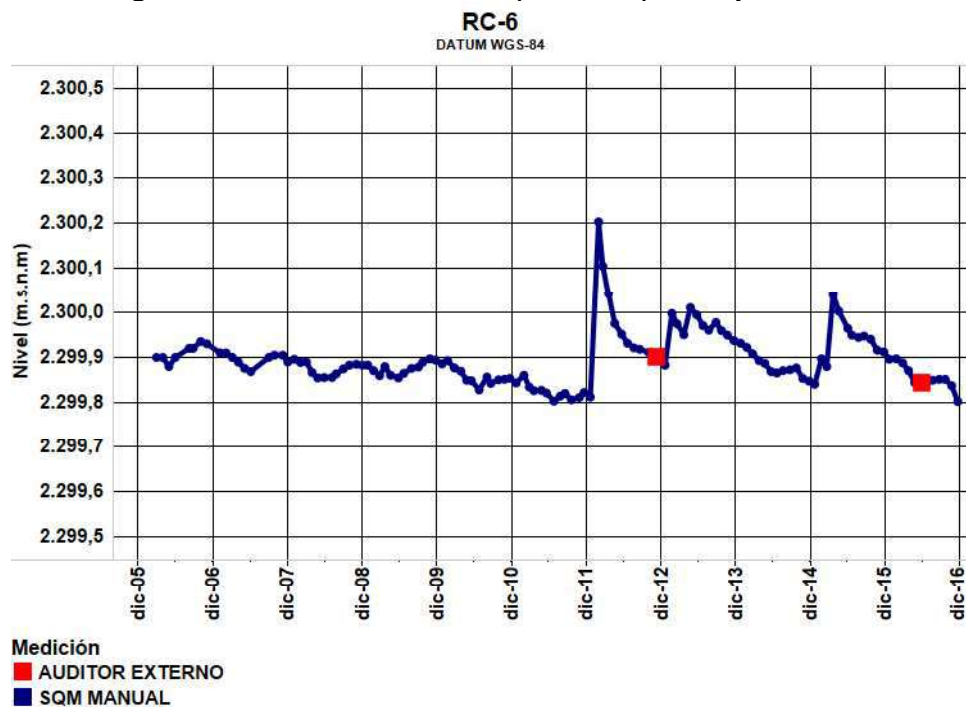
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-54: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo RC-5



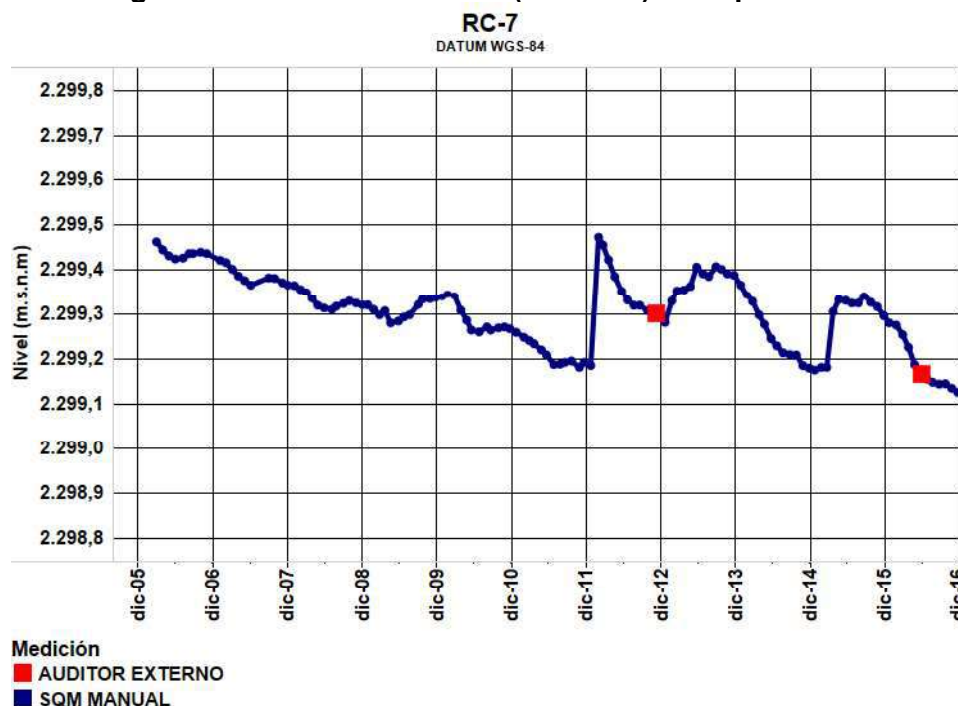
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-55: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo RC-6



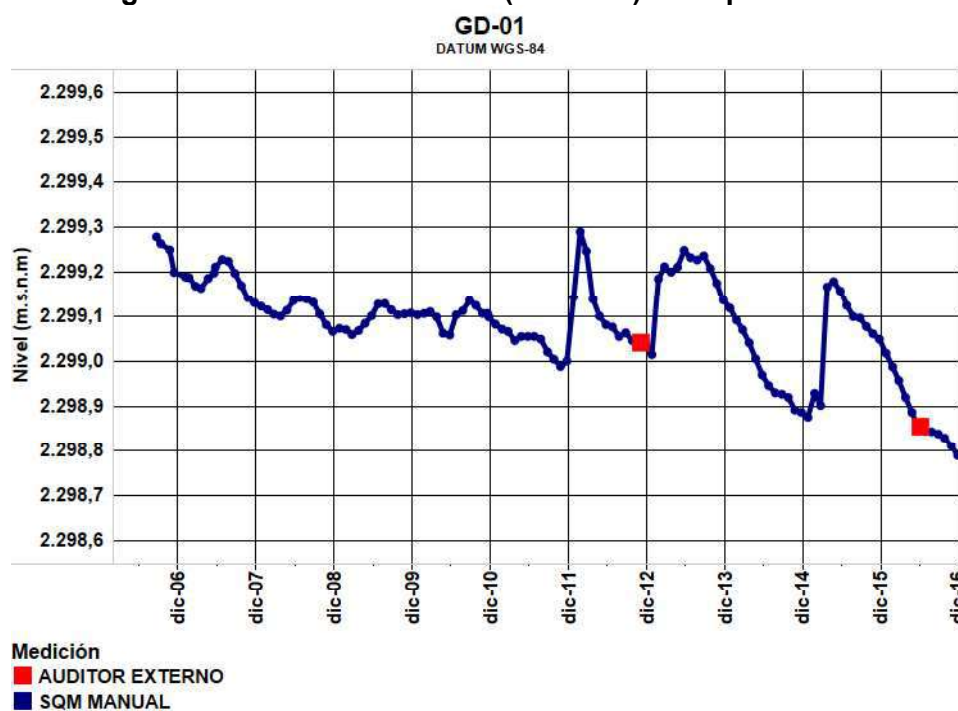
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-56: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo RC-7



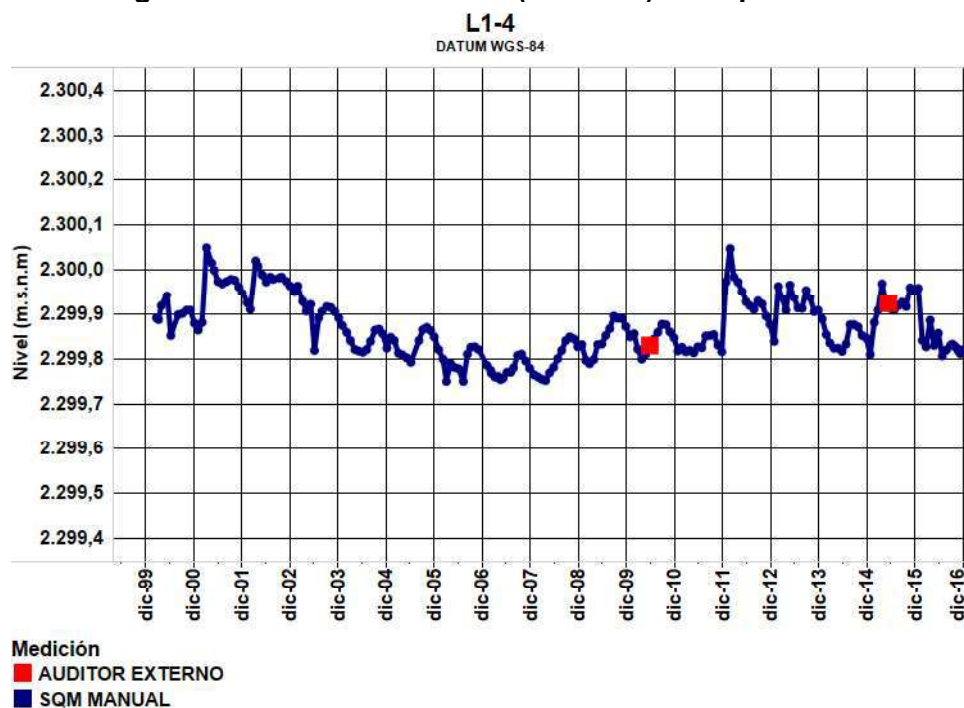
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-57: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo GD-01



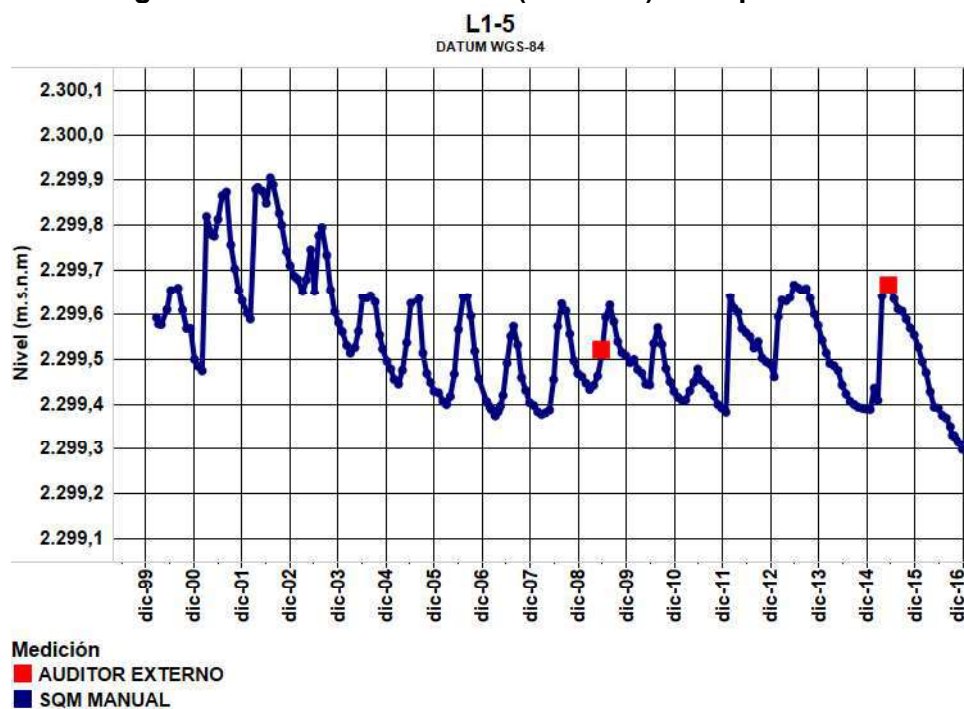
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-58: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L1-4



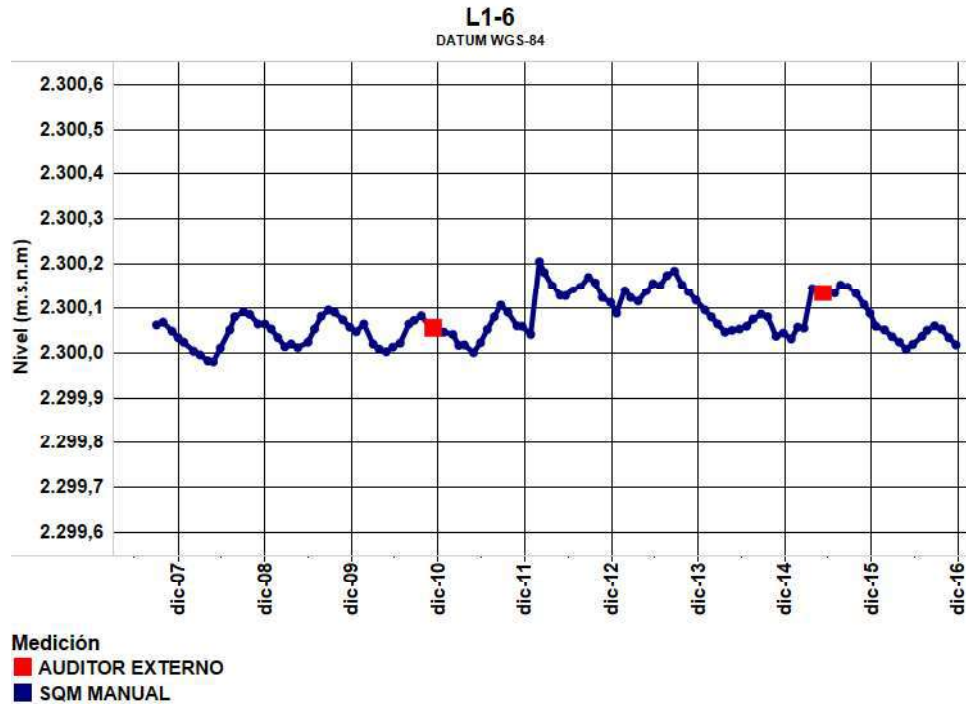
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-59: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L1-5



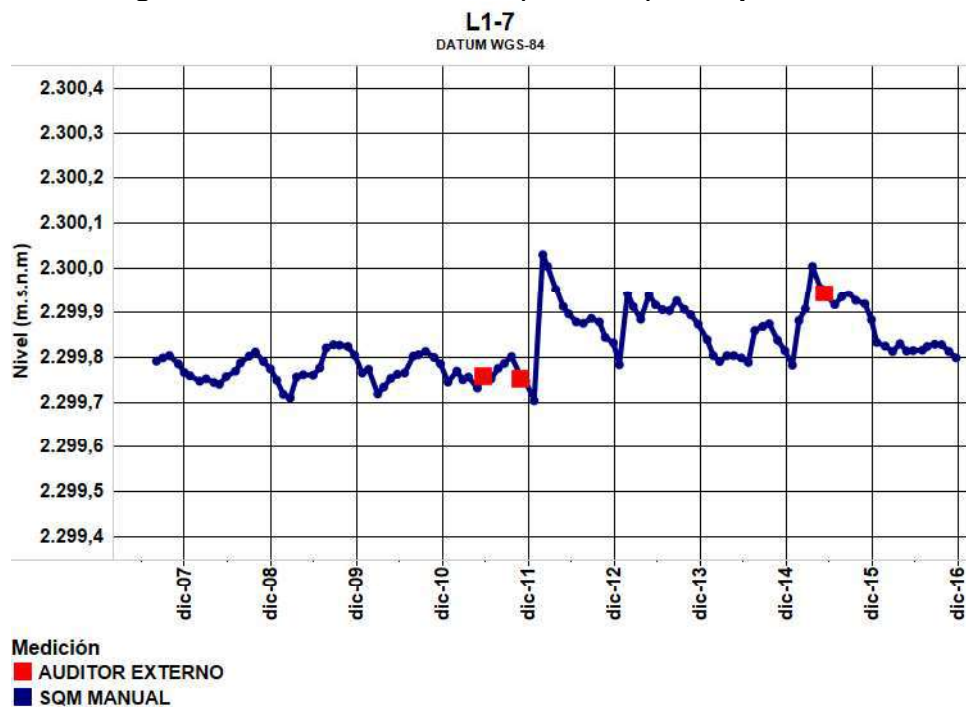
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-60: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L1-6



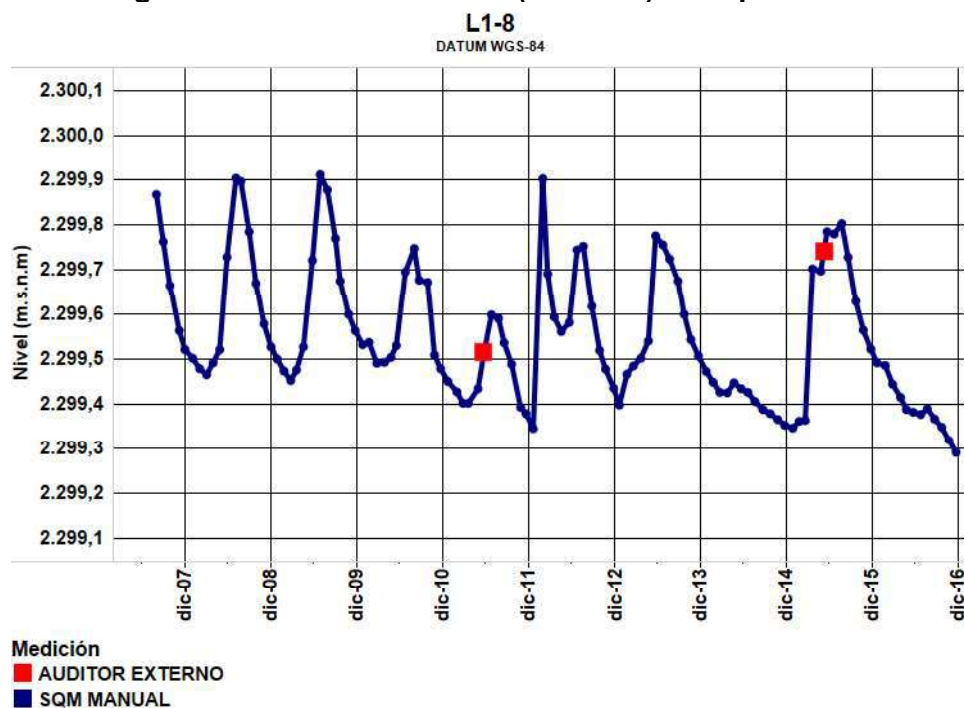
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-61: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L1-7



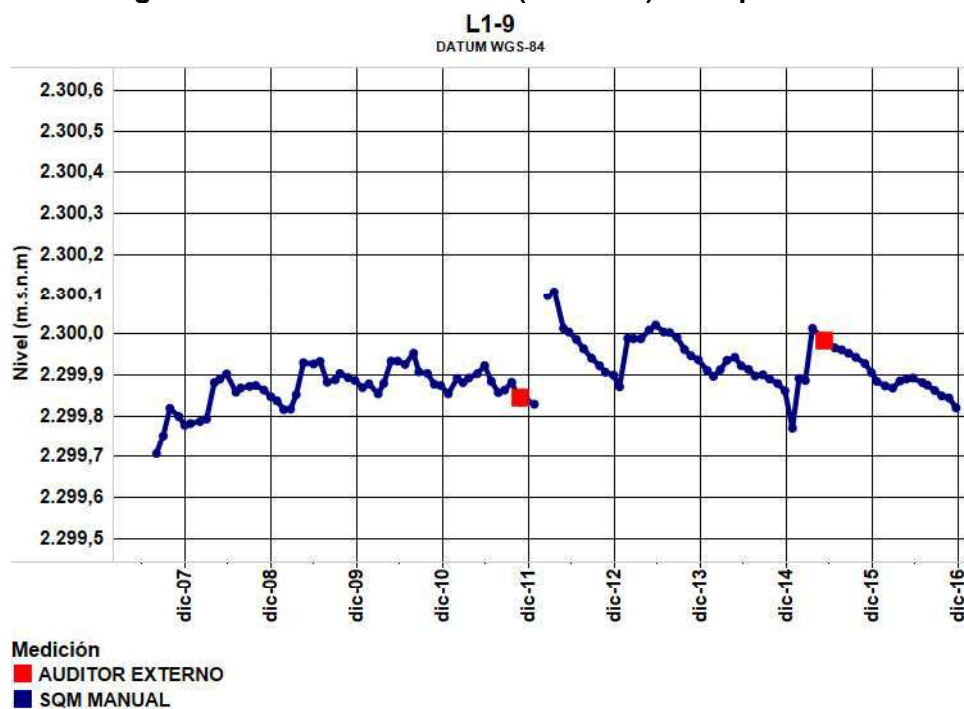
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-62: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L1-8



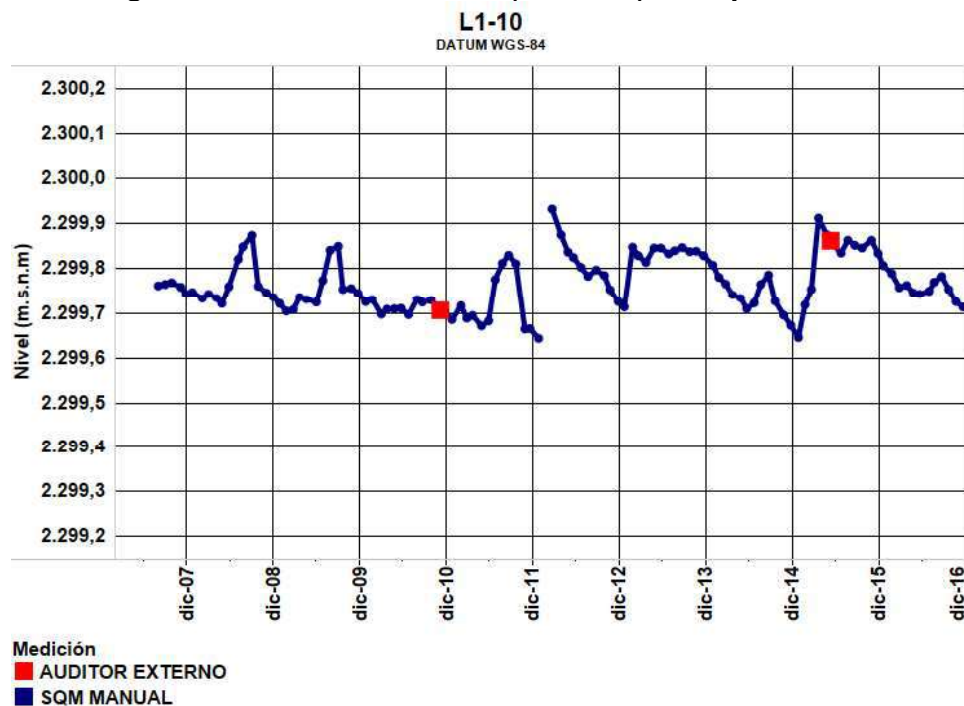
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-63: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L1-9



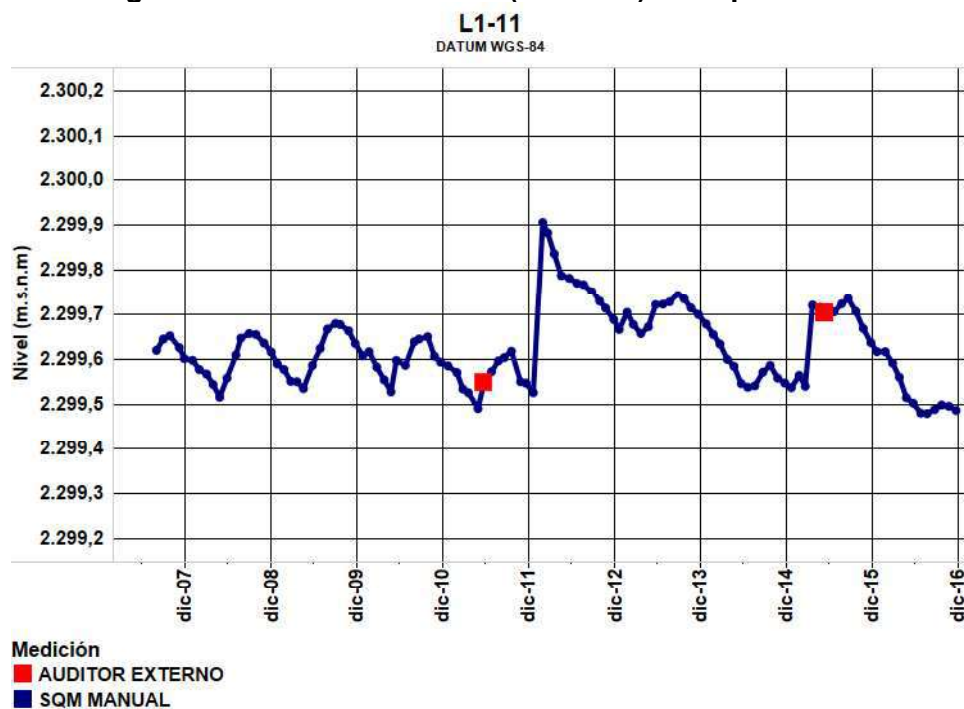
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-64: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L1-10



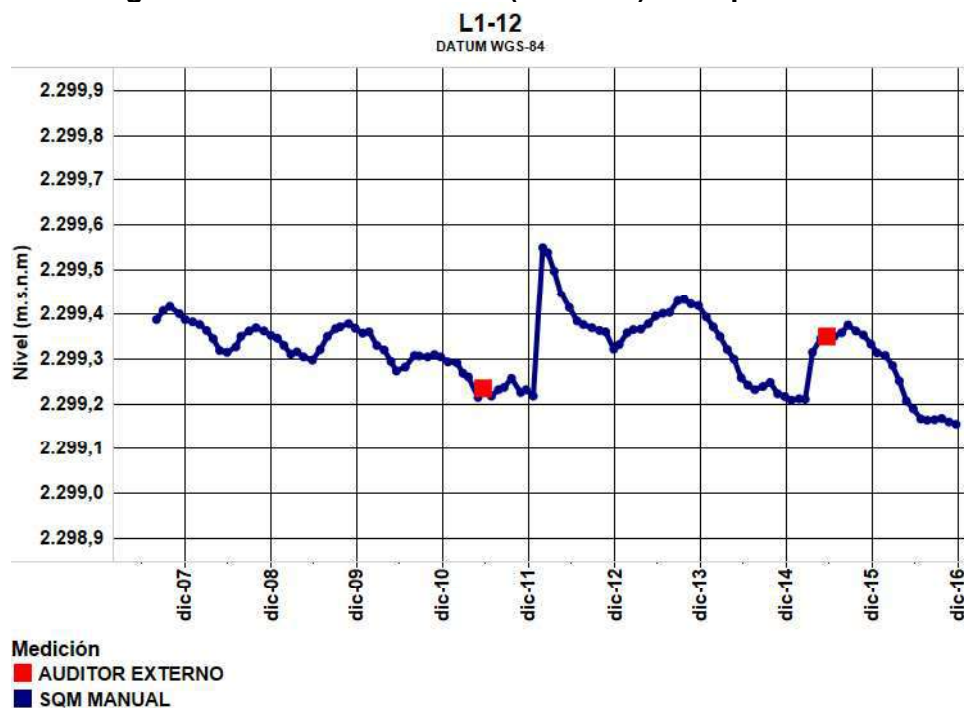
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-65: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L1-11



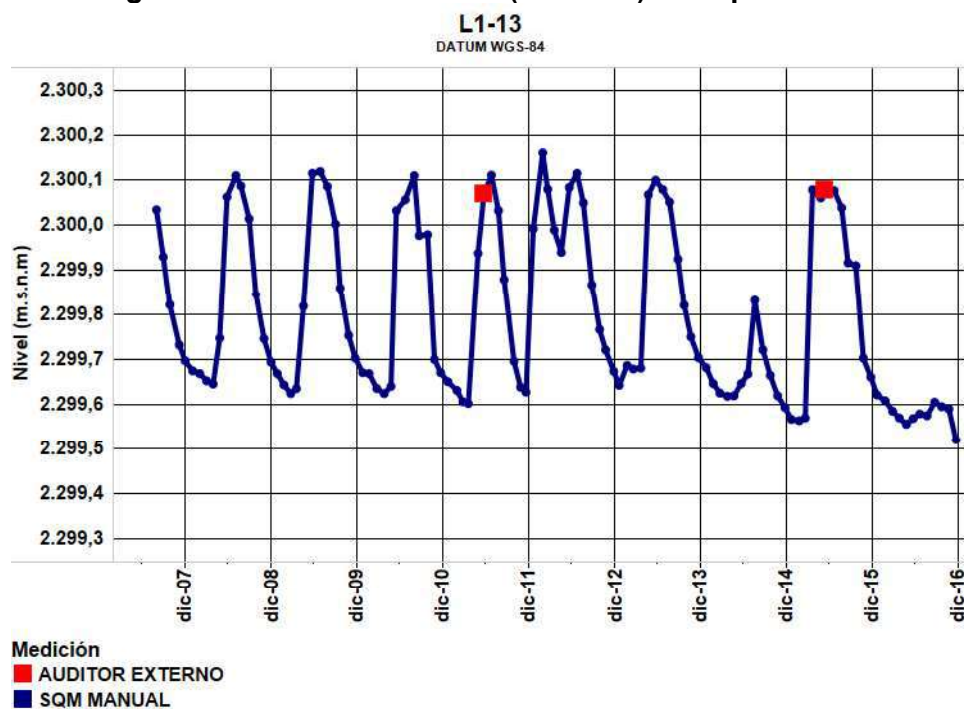
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-66: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L1-12



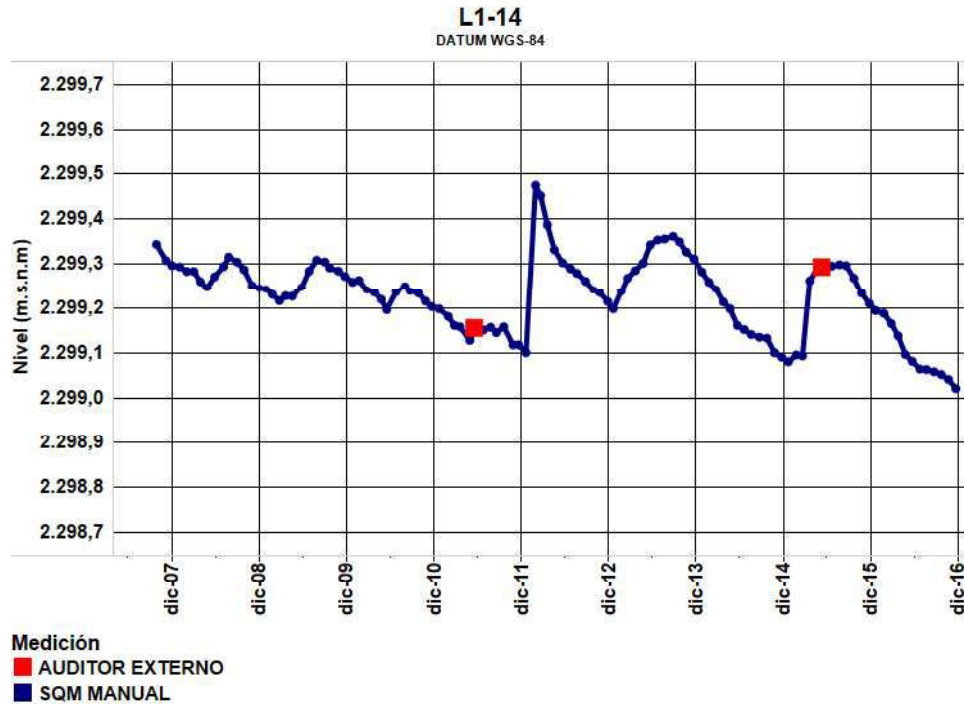
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-67: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L1-13



Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-68: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L1-14



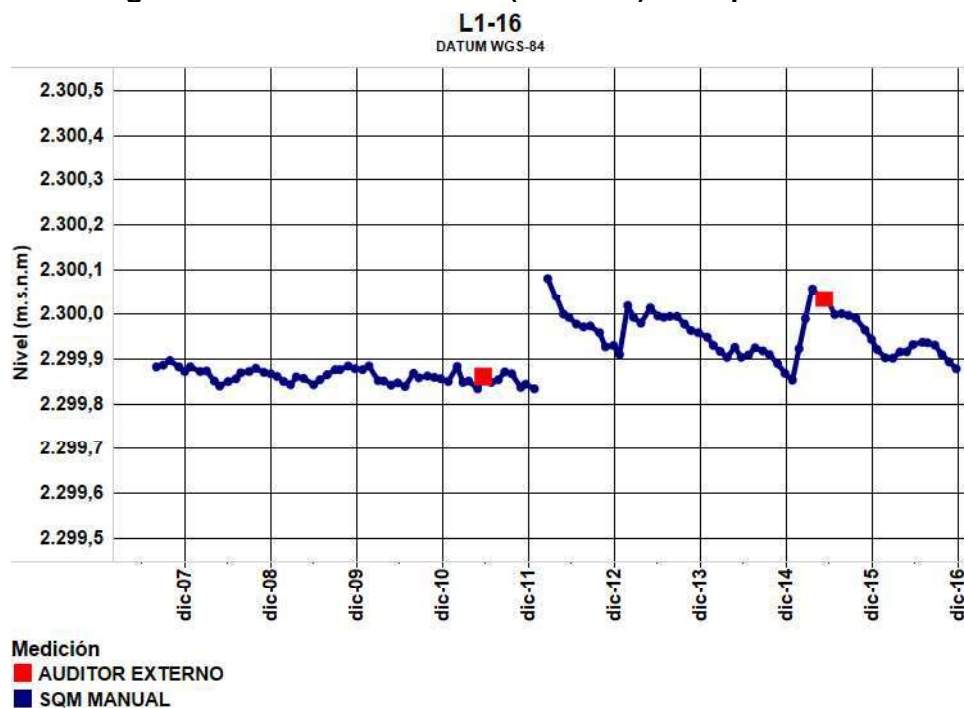
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-69: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L1-15



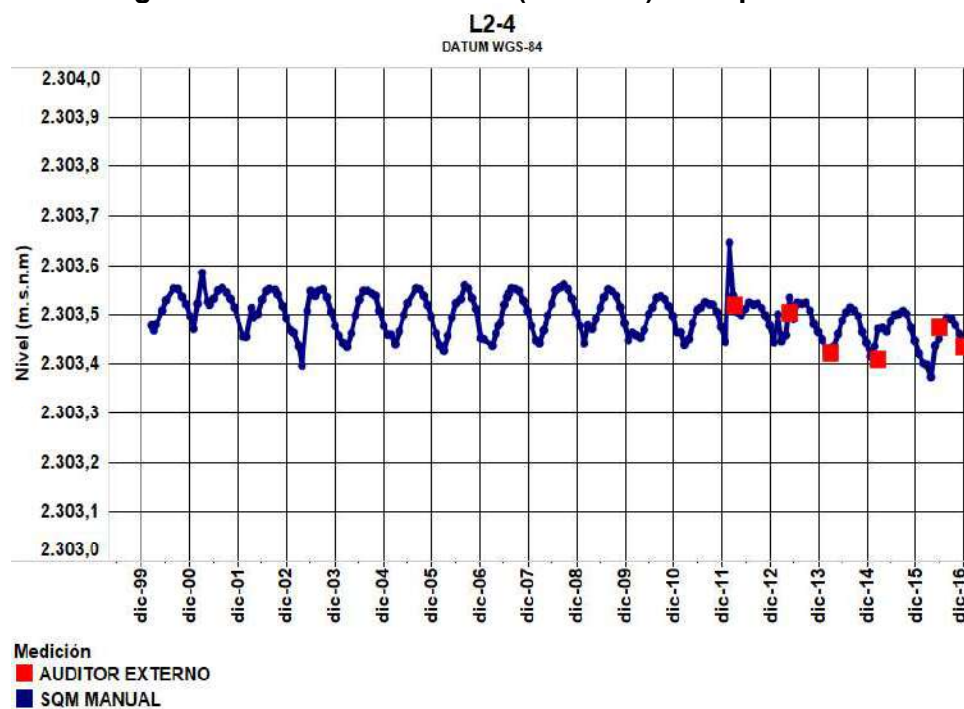
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-70: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L1-16



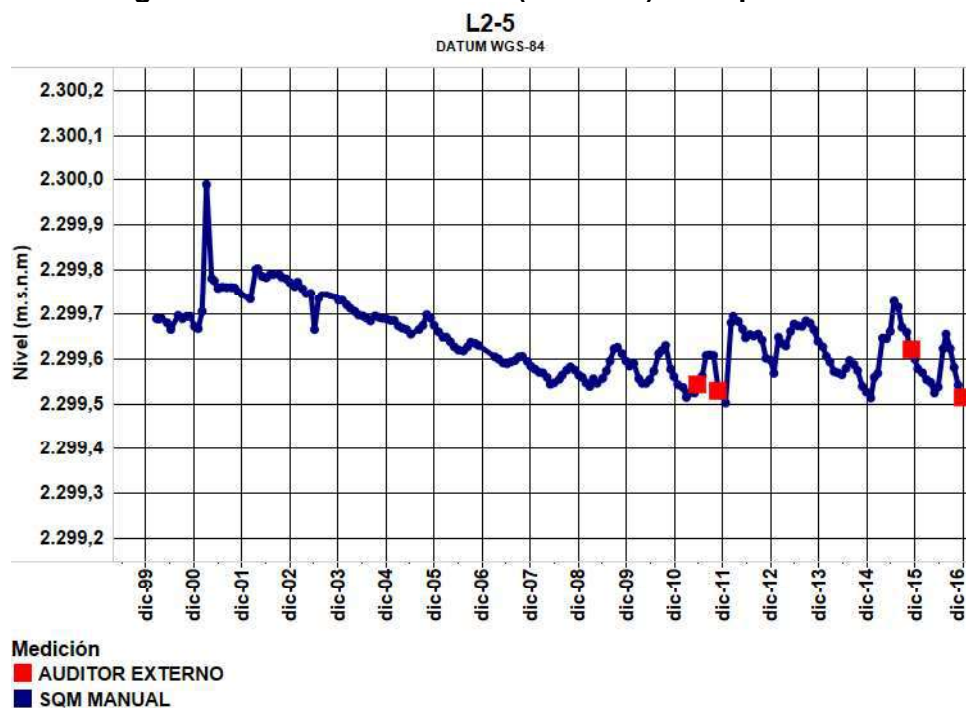
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-71: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L2-4



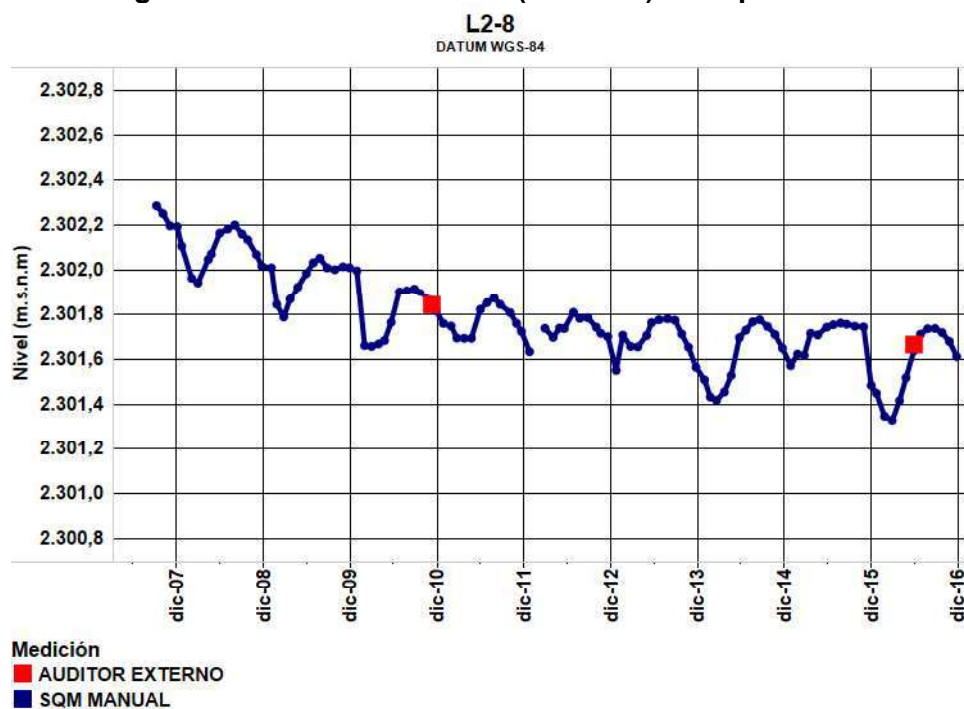
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-72: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L2-5



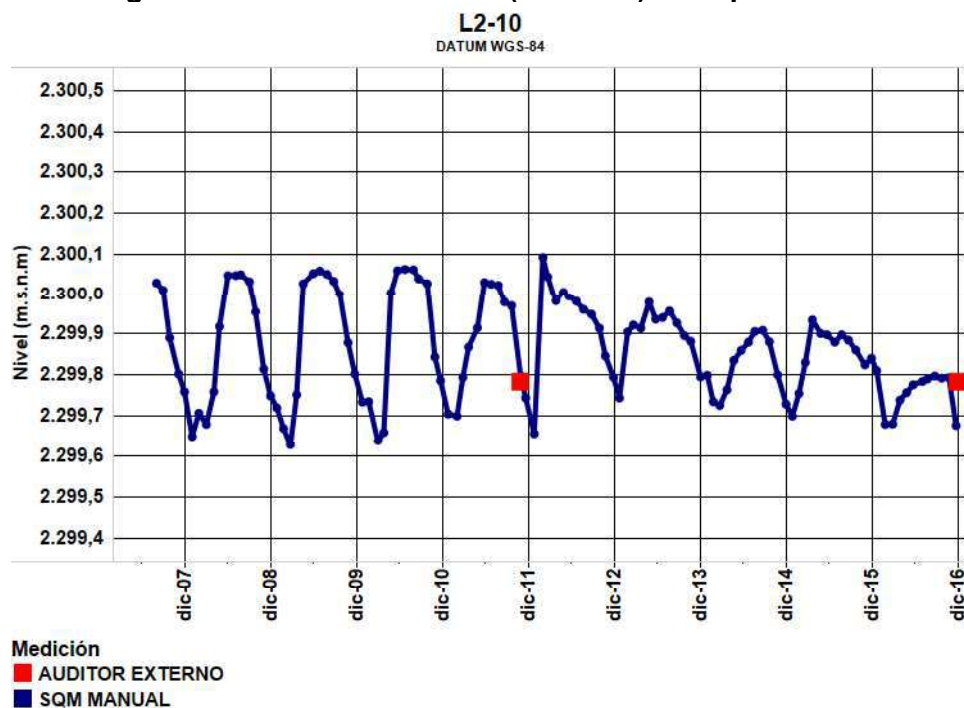
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-73: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L2-8



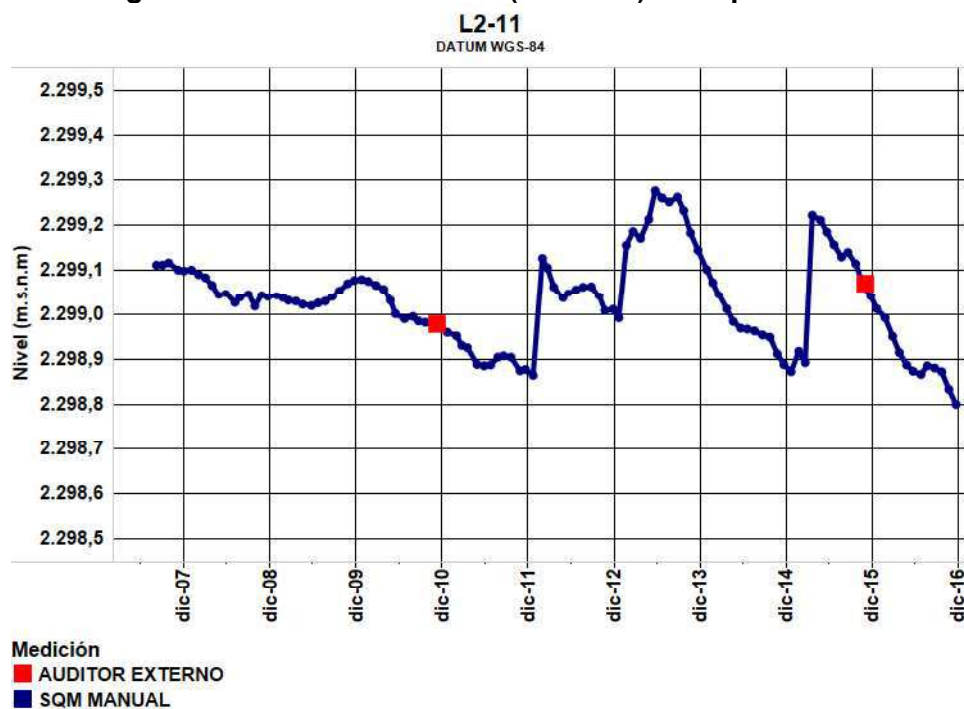
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-74: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L2-10



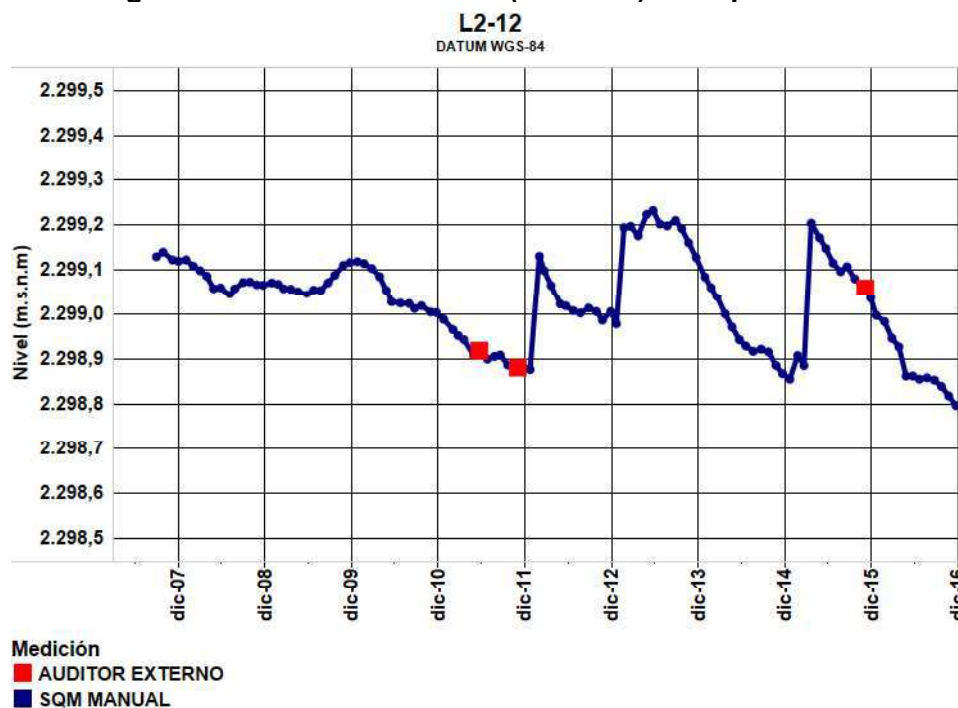
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-75: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L2-11



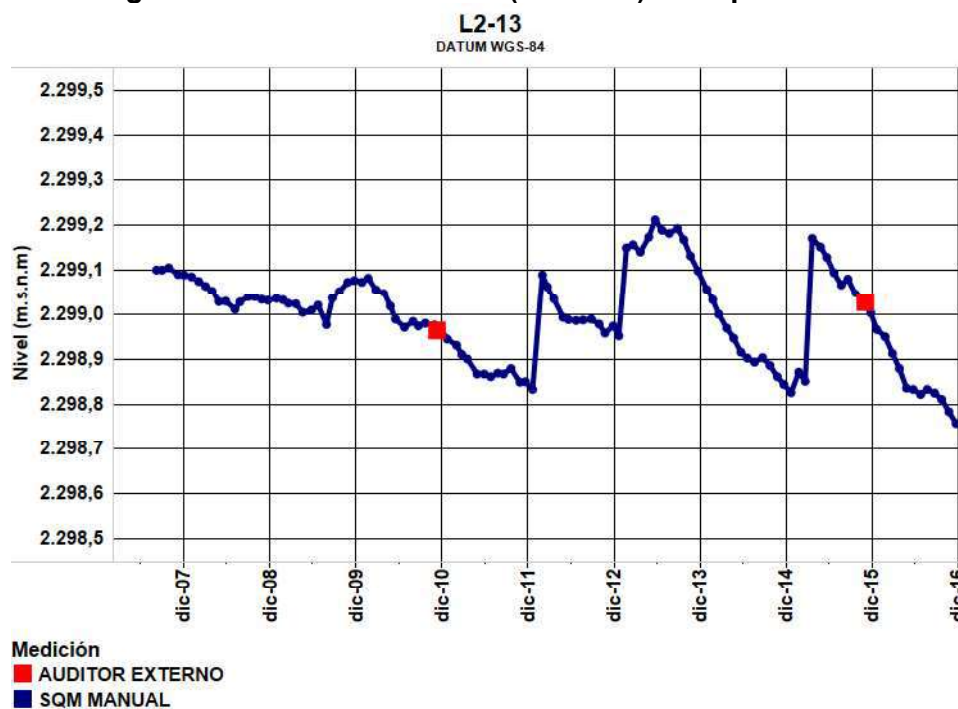
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-76: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L2-12



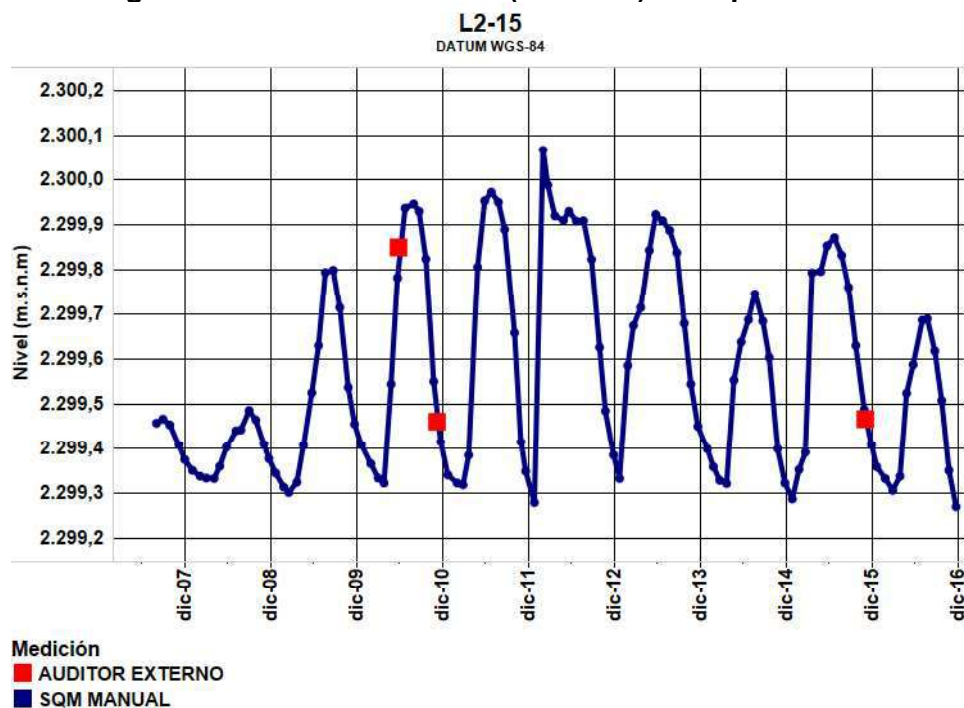
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-77: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L2-13



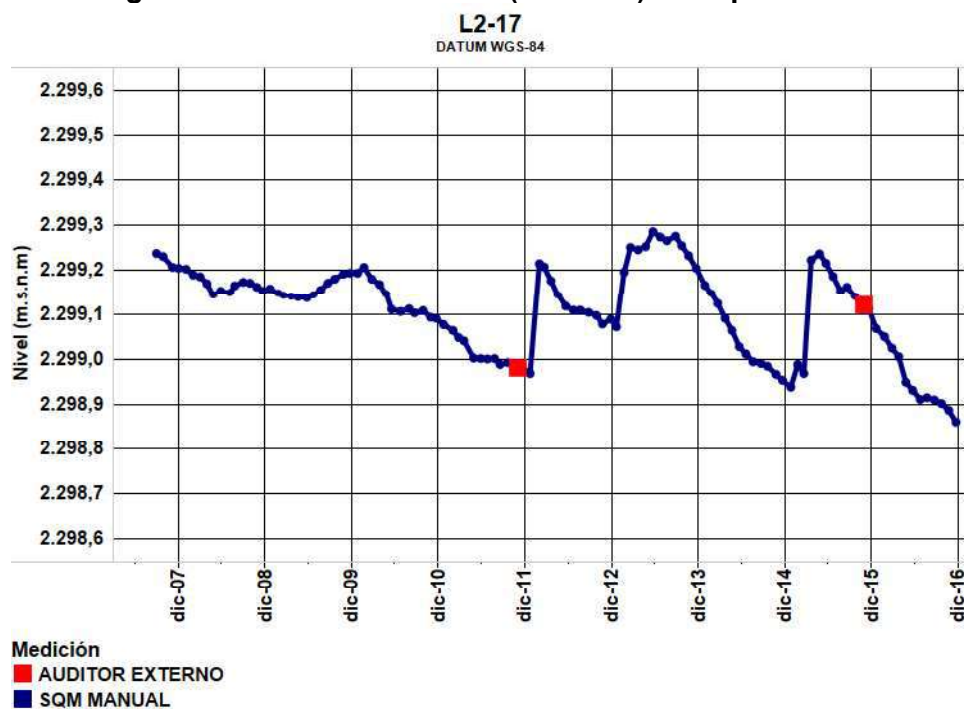
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-78: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L2-15



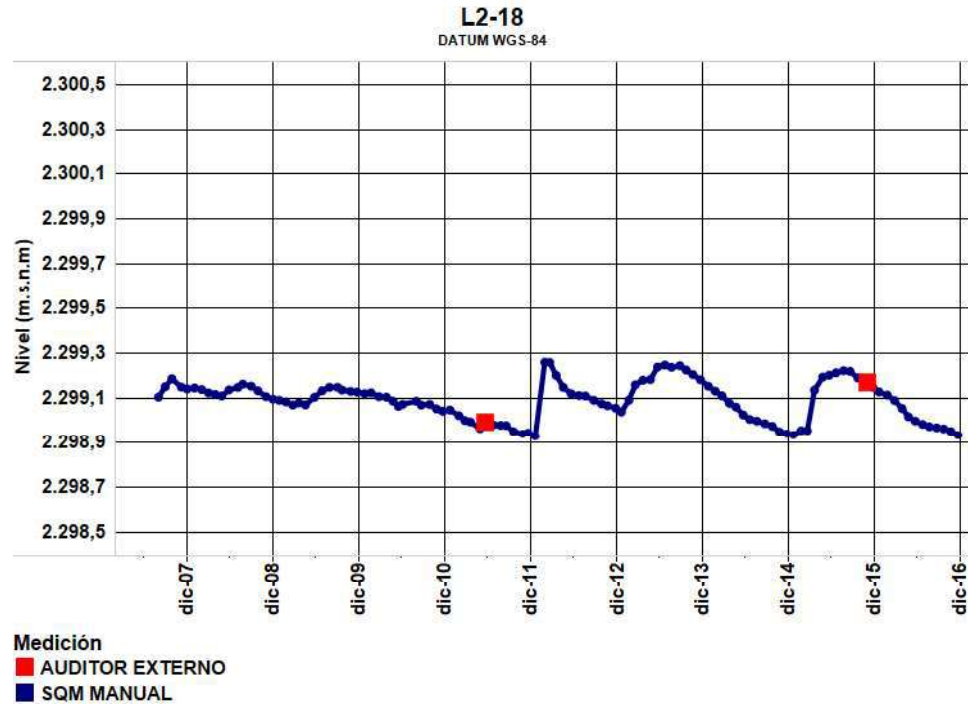
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-79: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L2-17



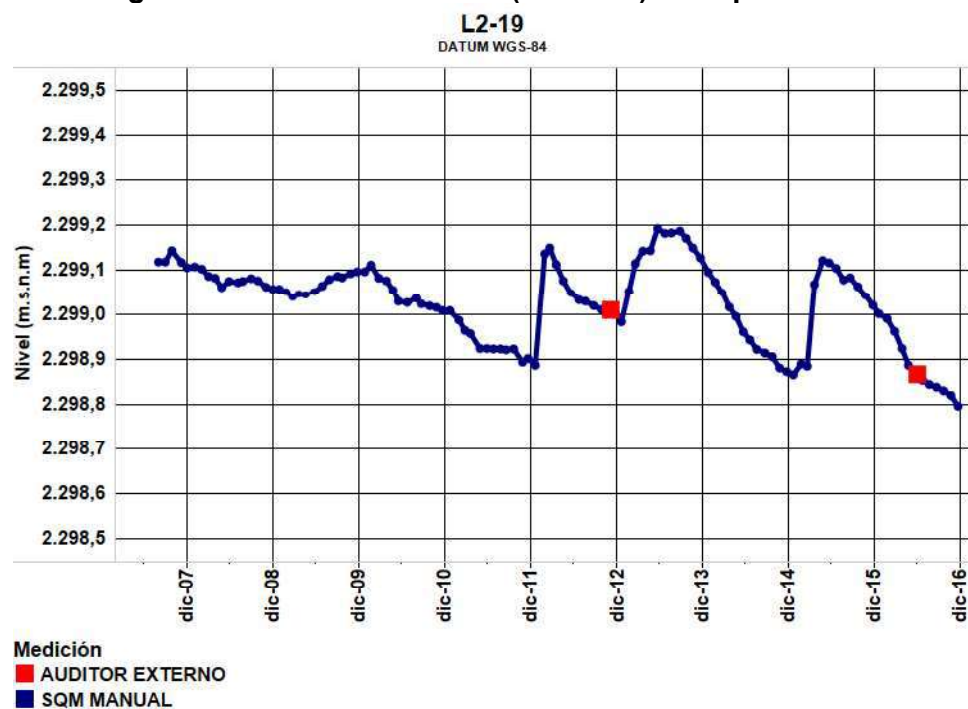
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-80: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L2-18



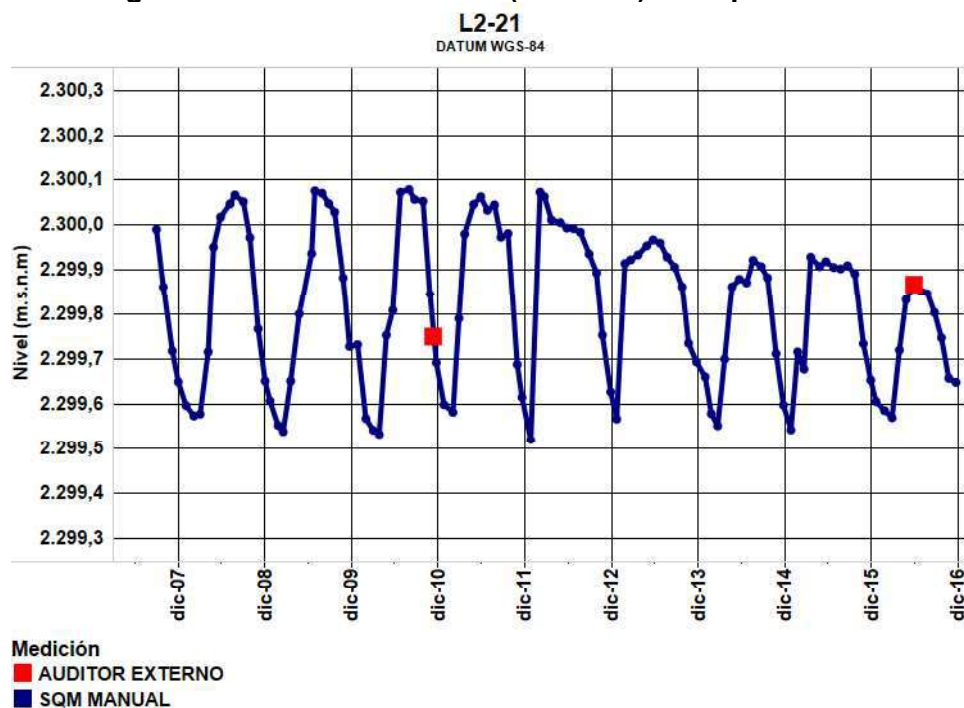
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-81: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L2-19



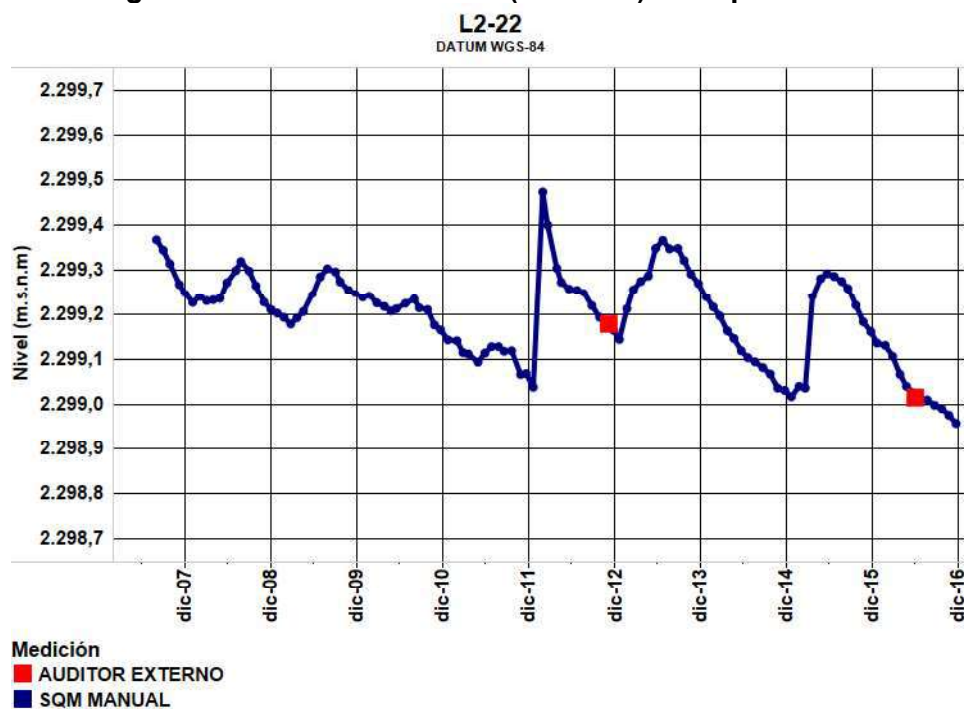
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-82: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L2-21



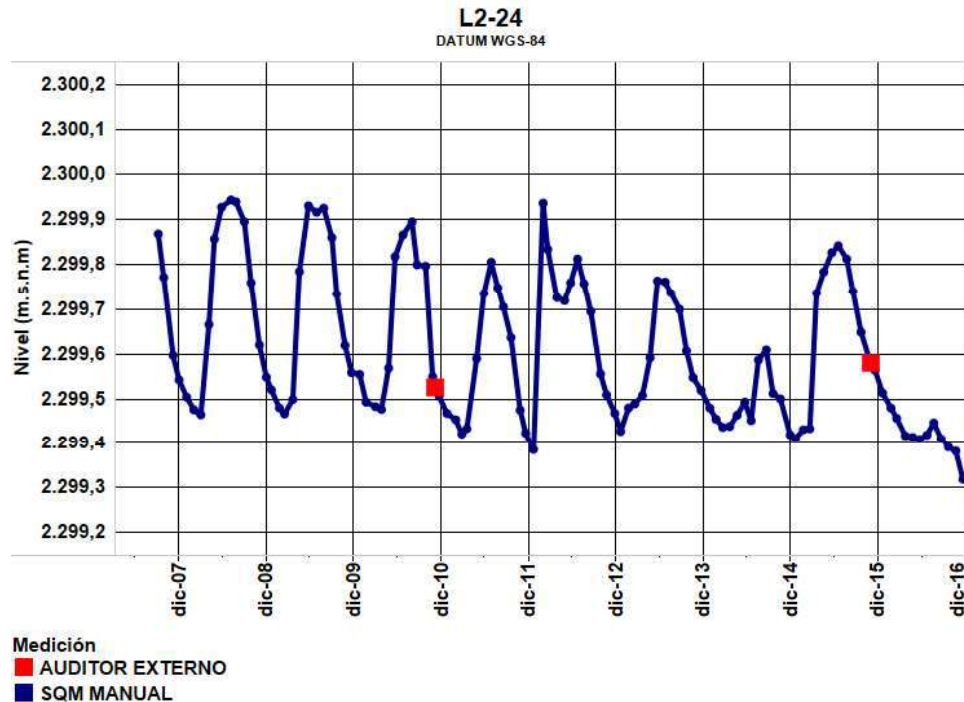
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-83: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L2-22



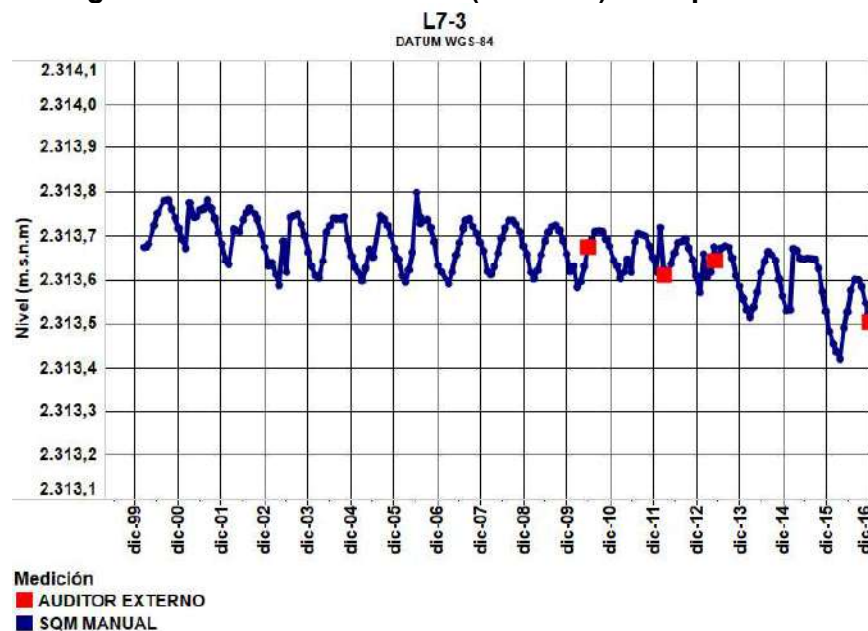
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-84: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L2-24



Fuente: Elaboración propia.

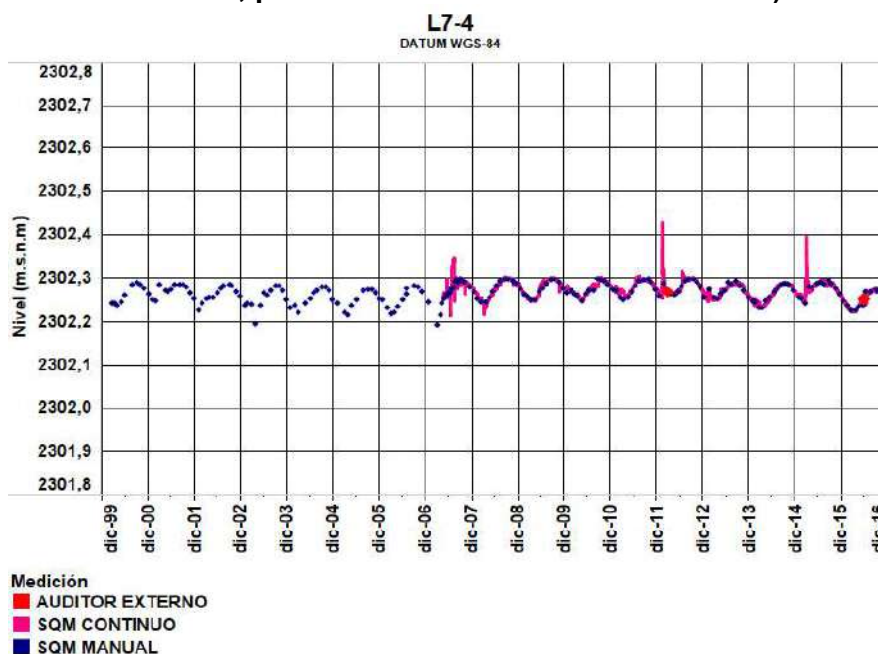
Figura 5-85: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L7-3



Fuente: Elaboración propia.

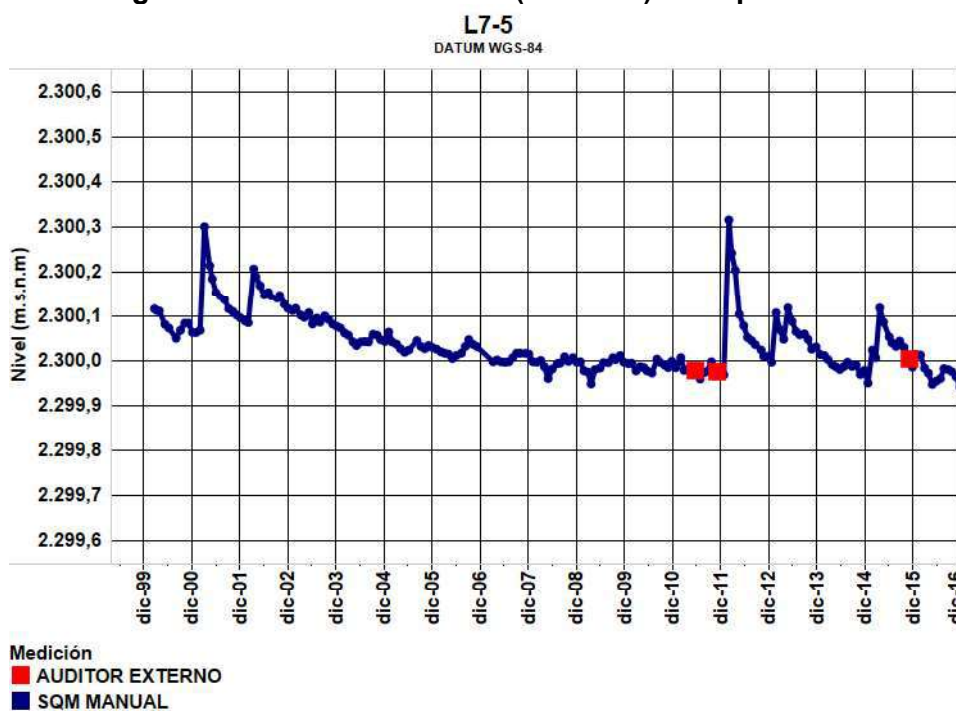
Dado que el pozo L7-4 tiene datos de medición continua desde mayo de 2007, es necesario presentar el seguimiento de este pozo con dos series (Figura 5-86). La primera muestra la serie histórica desde el año 2000 (azul) mientras que el segundo (magenta) muestra los datos a partir de mayo de 2007.

Figura 5-86: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L7-4 (línea magenta: medición continua, puntos azules: mediciones manuales)



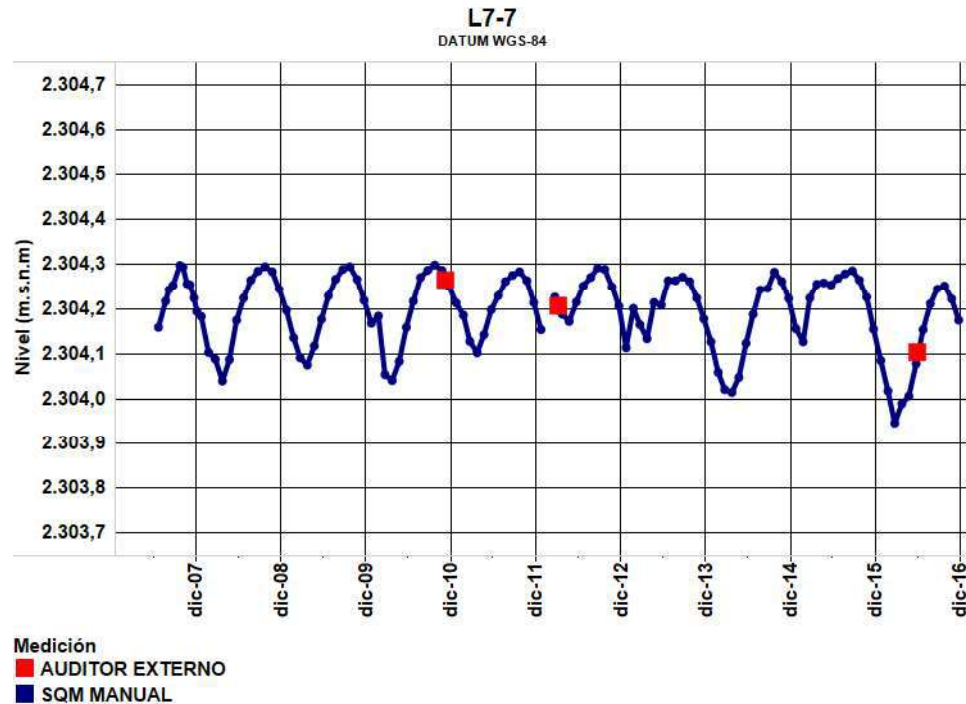
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-87: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L7-5



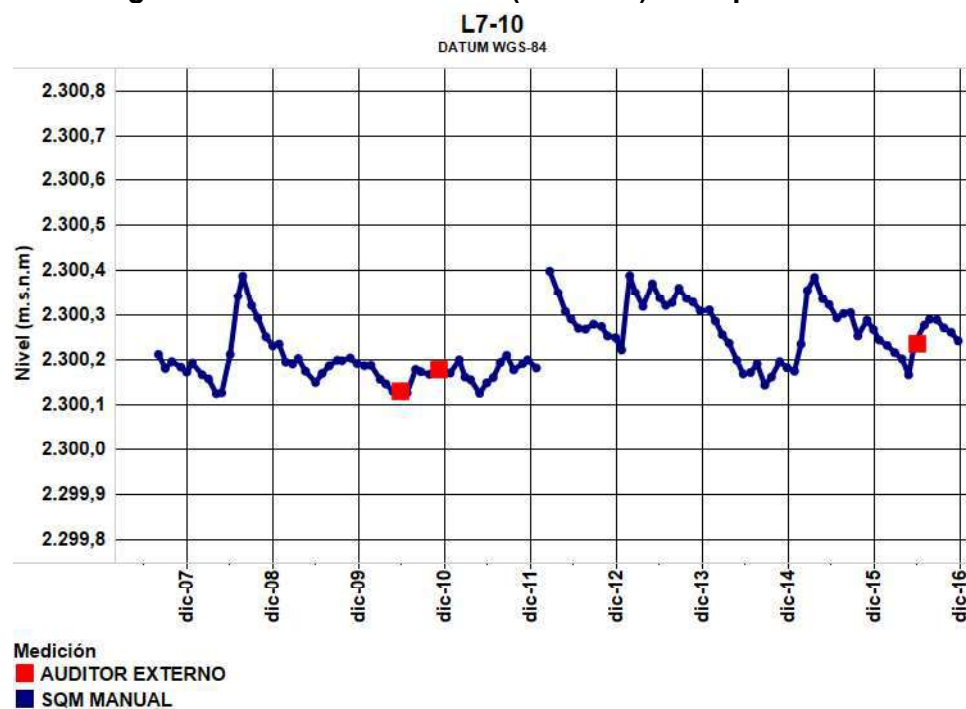
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-88: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L7-7



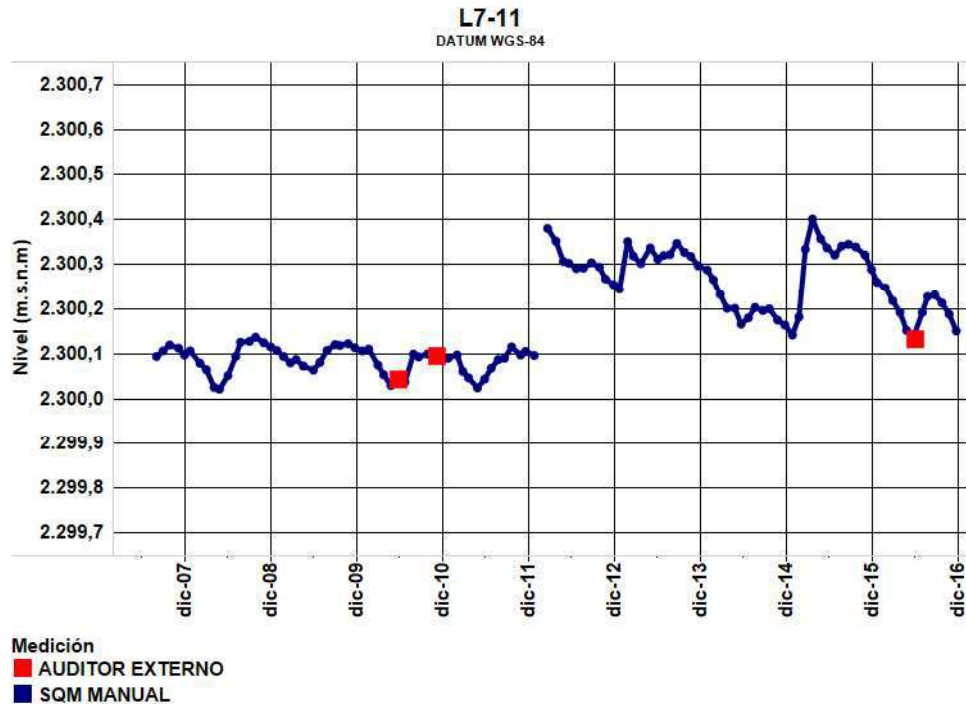
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-89: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L7-10



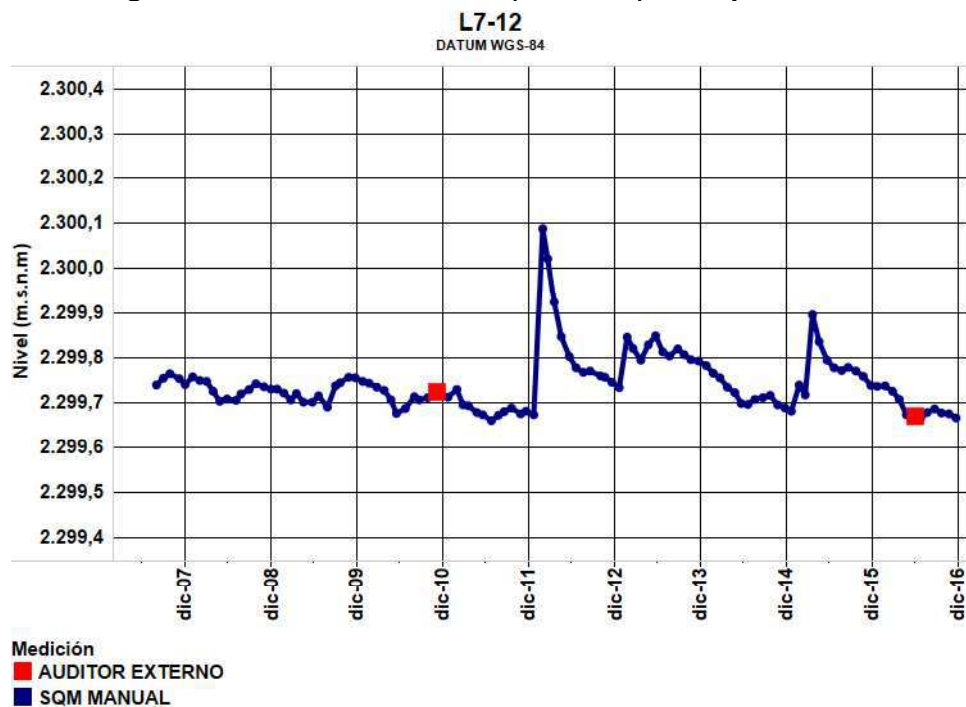
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-90: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L7-11



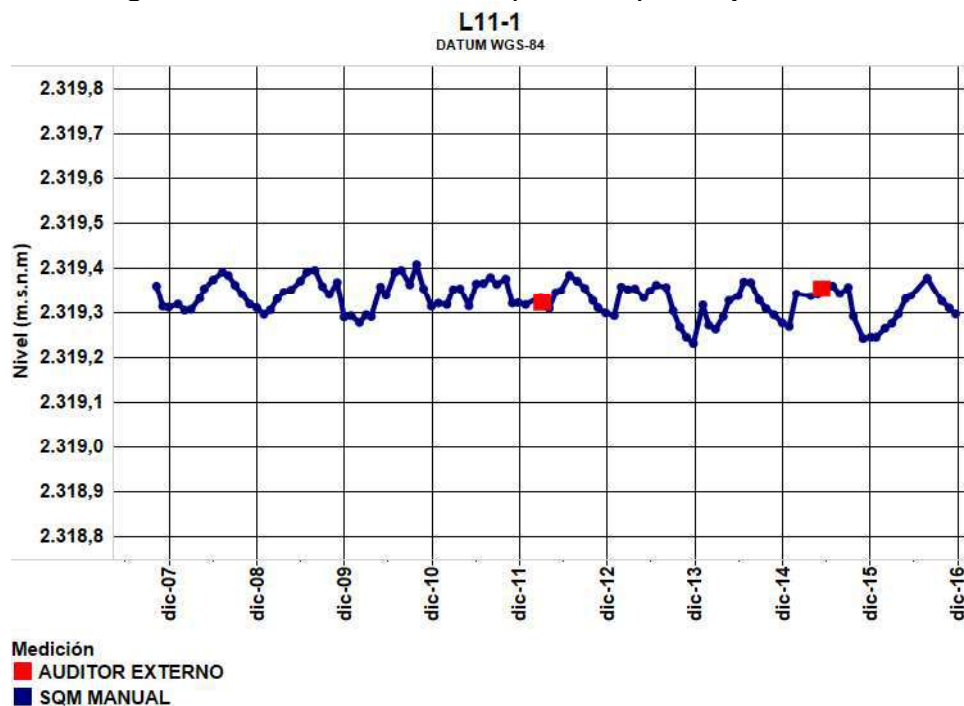
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-91: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L7-12



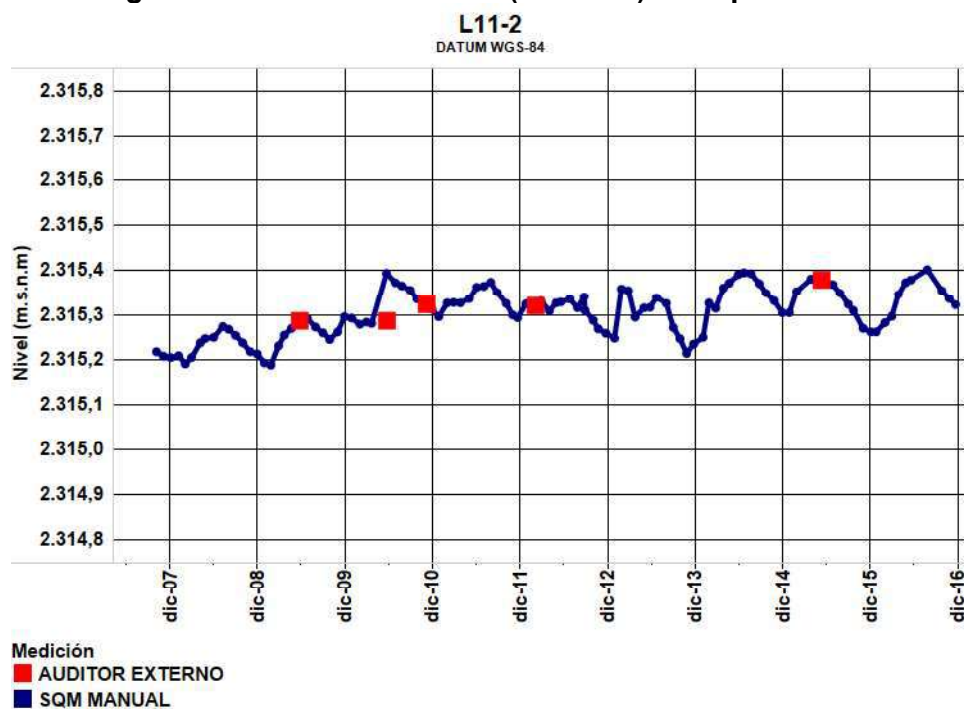
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-92: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L11-1



Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-93: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L11-2



Fuente: Elaboración propia.

5.2.1.2 Reglillas

Desde la Figura 5-94 a la Figura 5-100 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 (ubicada en el sector norte del salar).

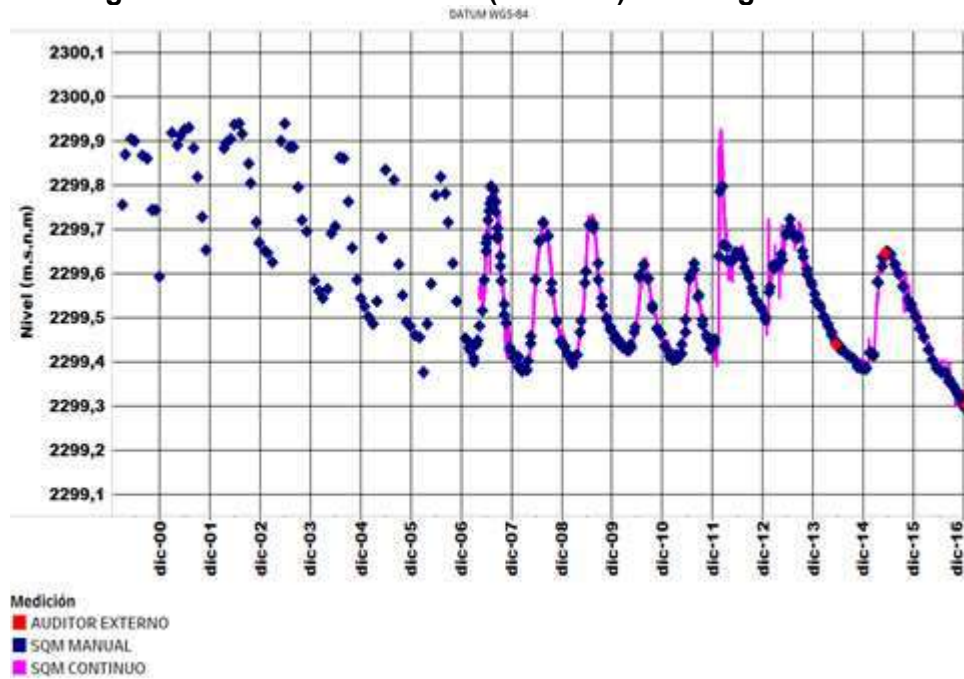
En el gráfico de la reglilla L1-G4 (Figura 5-94) se pueden observar los datos históricos en color azul (L1-G4), y se presentan en color celeste (L1-G4 M.C.) los niveles manuales medidos cada vez que se descargan datos desde el transductor de presión; en color lila (L1-G4 C), se presentan los niveles registrados por el instrumento.

En la Figura 5-96 se puede contrastar la continuidad de datos registrados en el transductor de presión, en color magenta (L7-G2 C), con los datos históricos registrados manualmente, en color azul (L7-G2).

En la Figura 5-97 se presentan las reglillas instaladas en torno al puente San Luis. En orden:

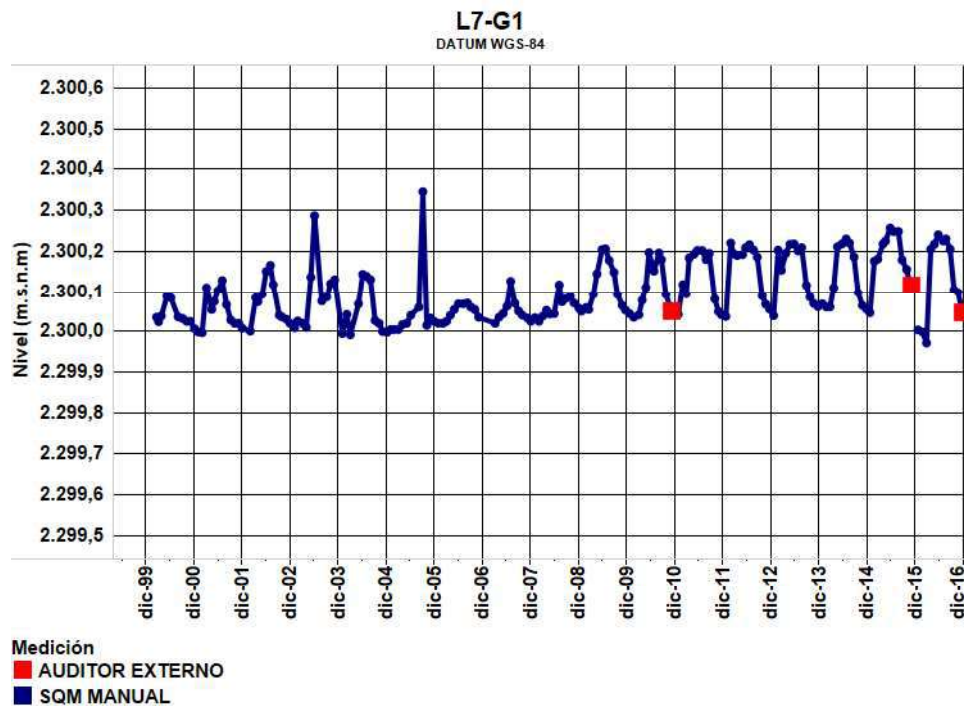
- a) aguas arriba del puente San Luis, donde existen dos reglillas que han sido monitoreadas históricamente por SQM (reglilla Puente San Luis nueva y antigua); la reglilla nueva es usada actualmente para soportar el transductor de presión que registra niveles de manera continua (se realizan además mediciones manuales en este punto), 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;
- 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.

Figura 5-94: Nivel observado (m.s.n.m.) en la reglilla L1-G4.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-95: Nivel observado (m.s.n.m.) en la reglilla L7-G1



Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-96: Nivel observado (m.s.n.m.) en la reglilla L7-G2. (Línea magenta: medición continua; línea azul: medición manual en antigua reglilla; puntos celestes: medición manual en reglilla nueva con medición continua)

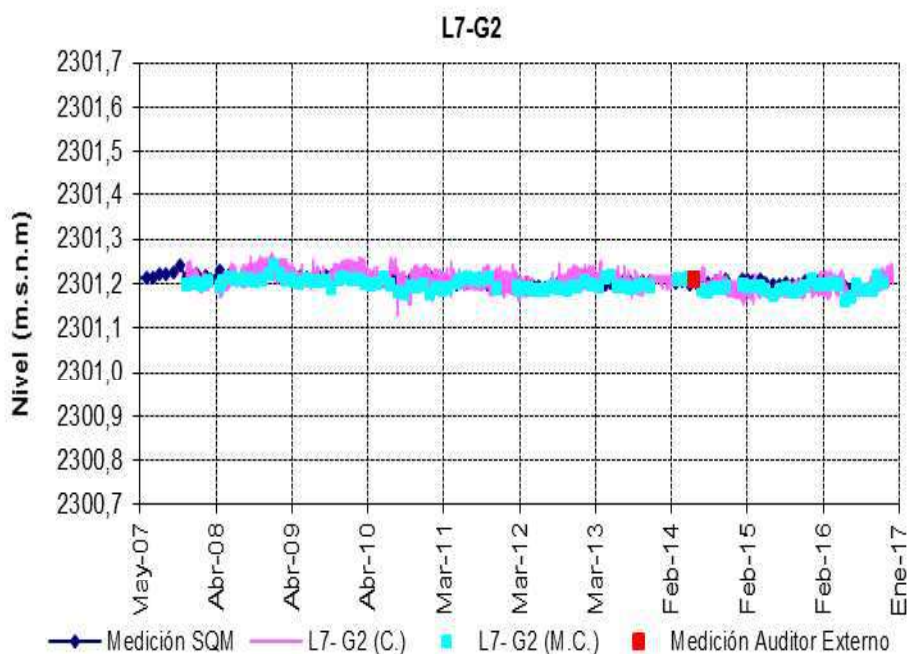


Figura 5-97: Representación gráfica de las reglillas instaladas cercanas al puente San Luis

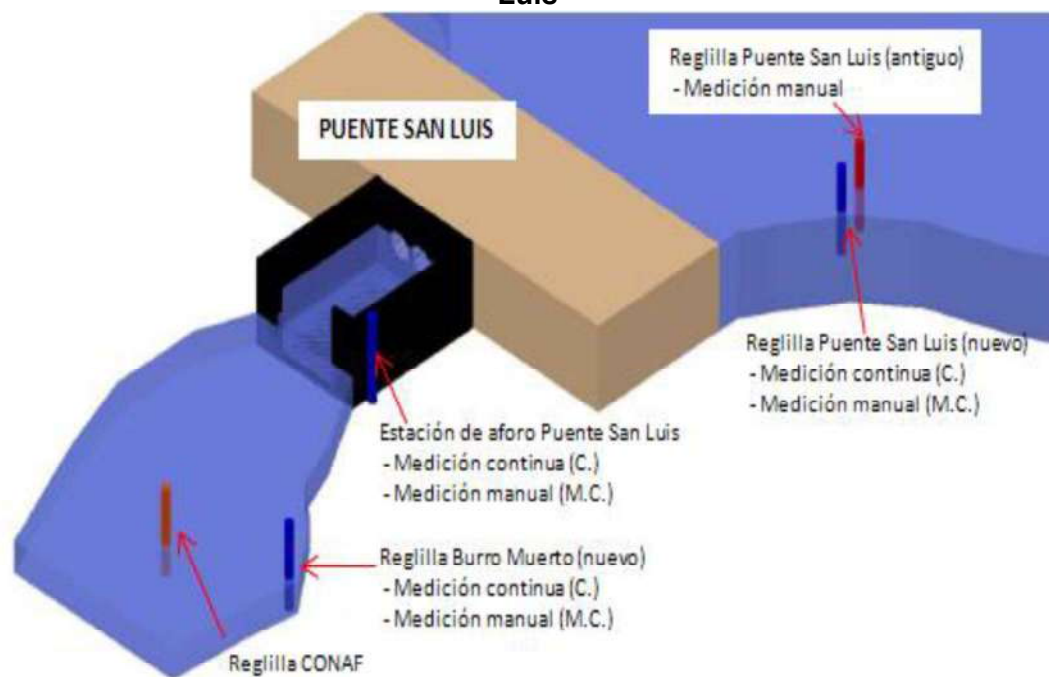
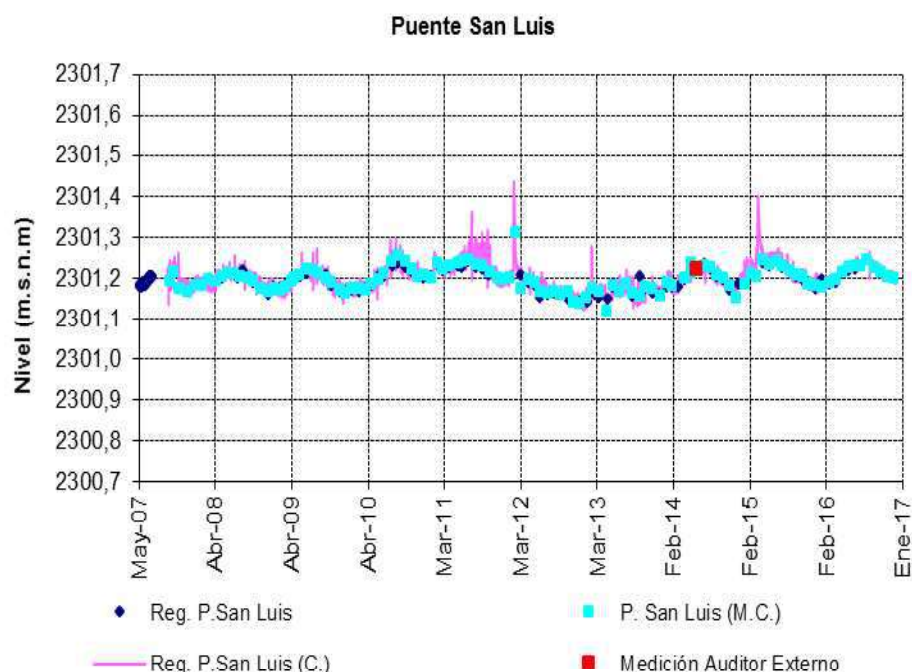
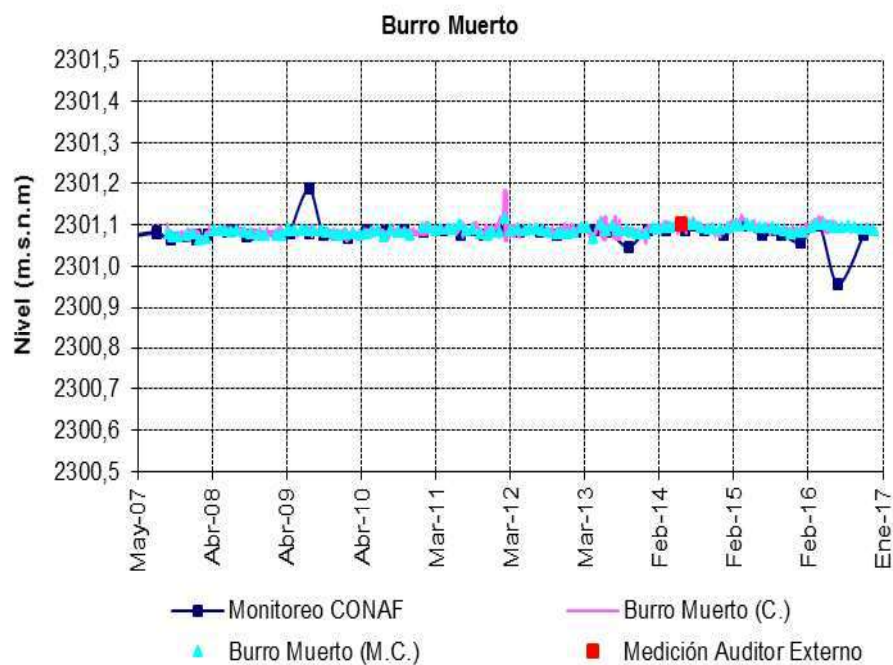


Figura 5-98: Nivel observado (m.s.n.m.) en la reglilla Puente San Luis (“C.” medición continua, “M.C.” medición manual)



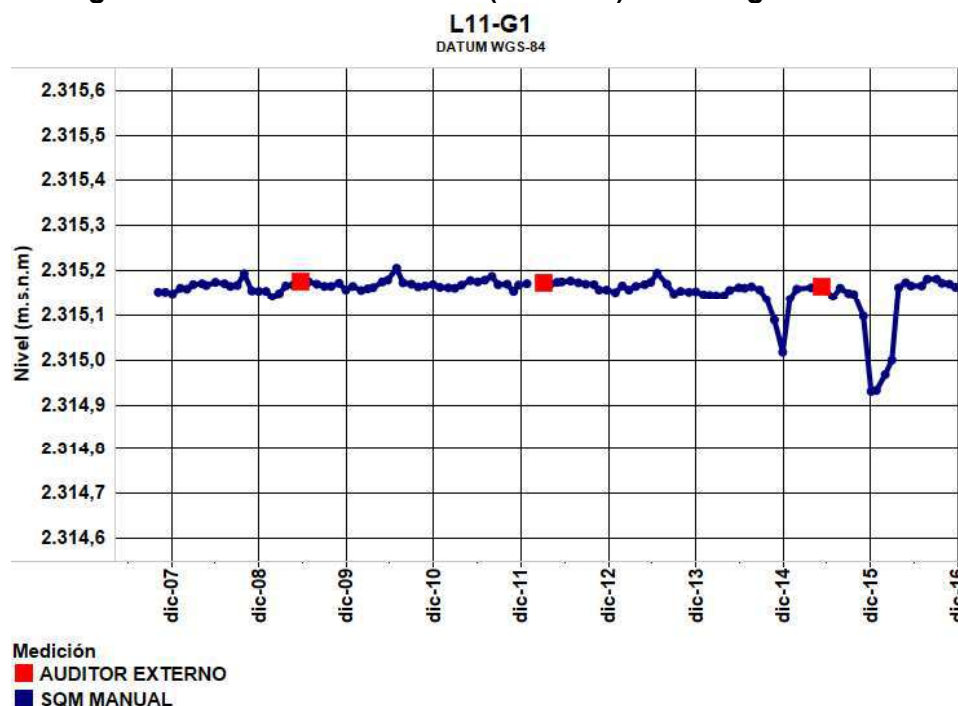
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-99: Nivel observado (m.s.n.m.) en la reglilla Burro Muerto (“C.” medición continua, “M.C.” medición manual)



Fuente: Elaboración propia

Figura 5-100: Nivel observado (m.s.n.m.) en la Reglilla L11-G1



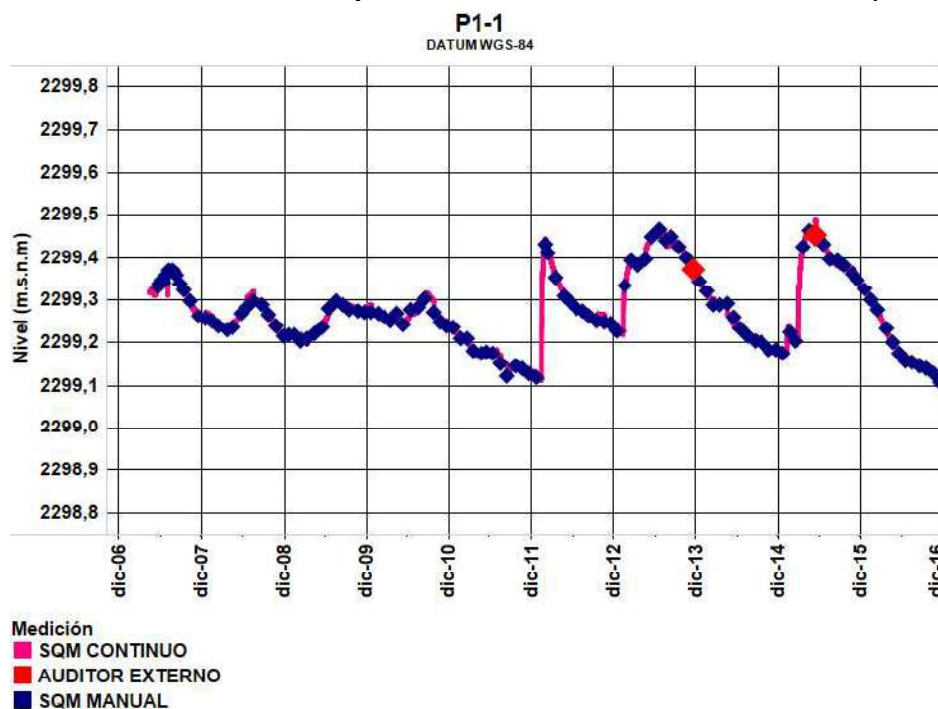
Fuente: Elaboración propia.

5.2.1.3 Pozos con medición continua de nivel

A continuación, se muestran los niveles del sistema Soncor.

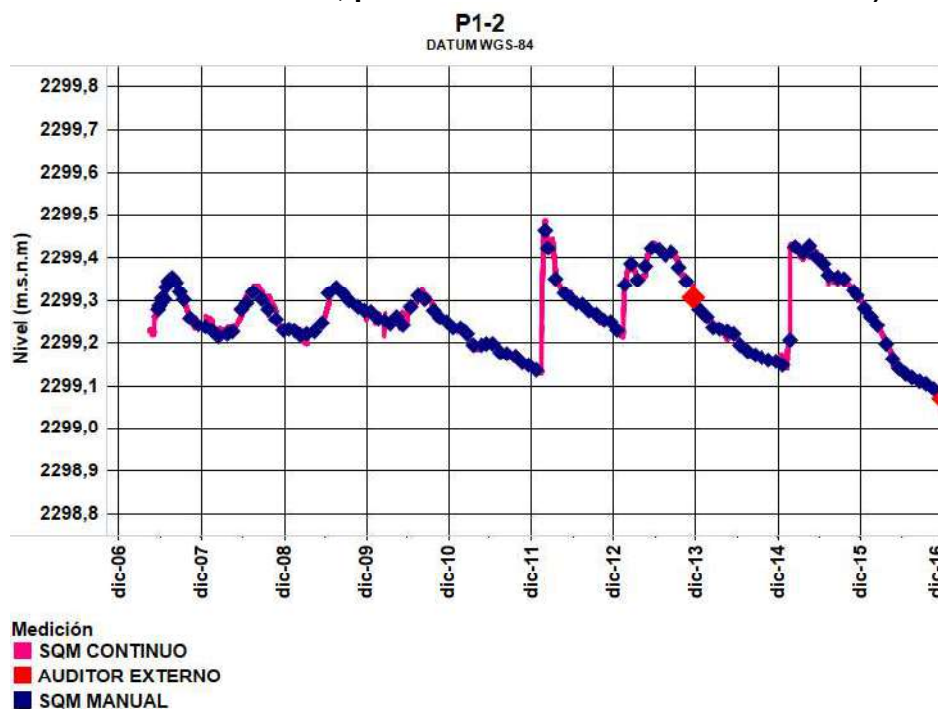
De la Figura 5-101 a la Figura 5-107 se presentan los niveles continuos medidos en el perfil D1, pozos P1-1 al P1-7. En tanto, desde la Figura 5-108 a la Figura 5-115 se presentan los niveles continuos medidos en el perfil D2, pozos L2-9 al L2-23. Finalmente, en la Figura 5-116 se aprecian los niveles del pozo 2021.

Figura 5-101: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo P1-1, perfil D1 (línea magenta: medición continua, puntos azules: mediciones manuales)



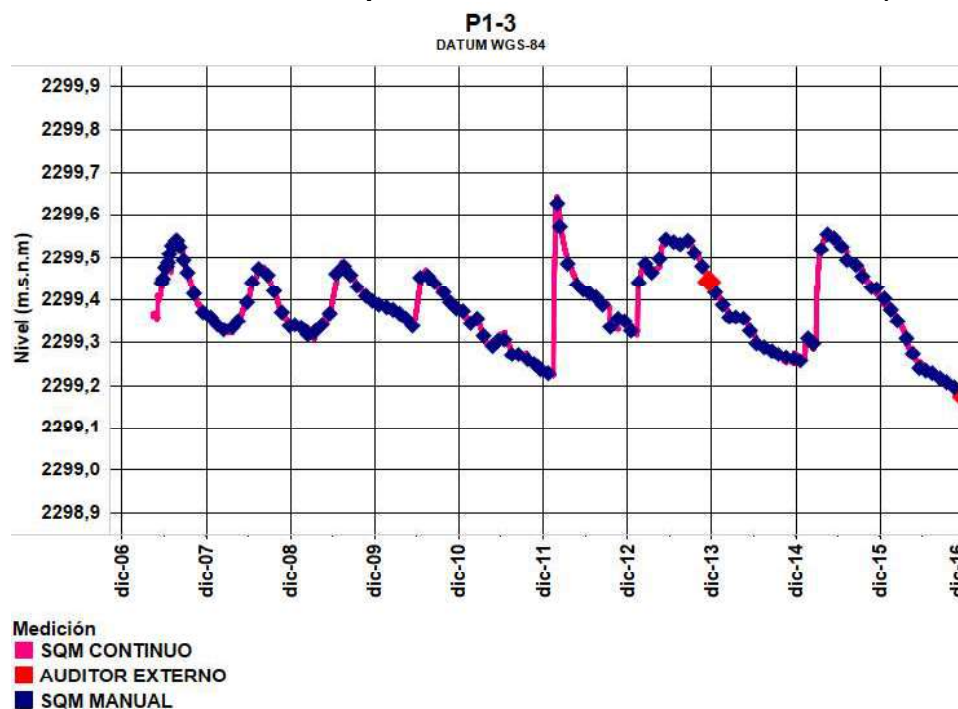
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-102: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo P1-2, perfil D1 (línea magenta: medición continua, puntos azules: mediciones manuales)



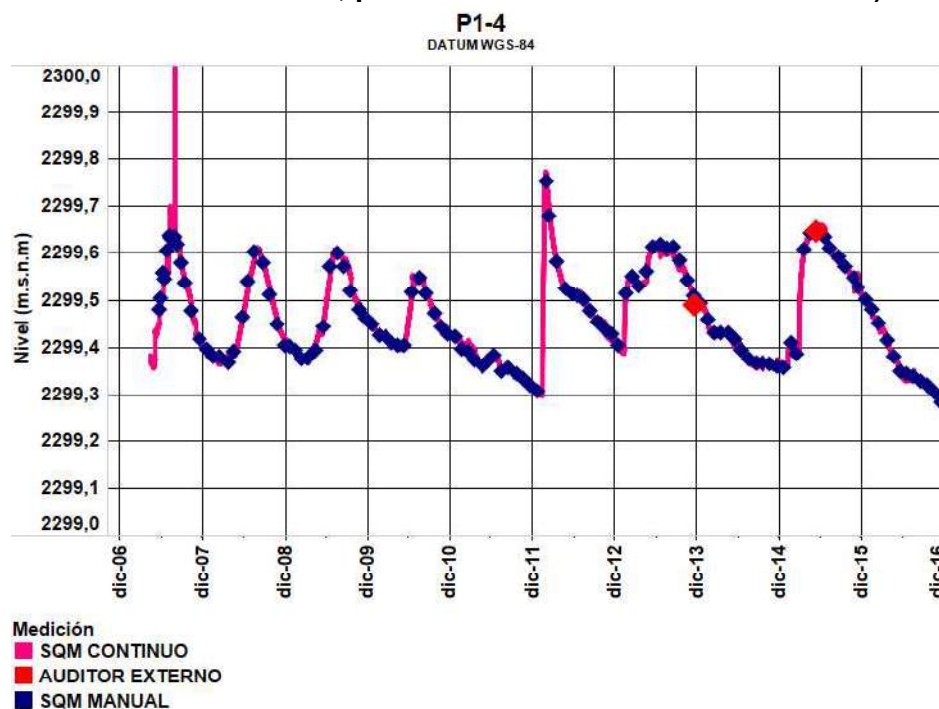
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-103: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo P1-3, perfil D1 (línea magenta: medición continua, puntos azules: mediciones manuales)



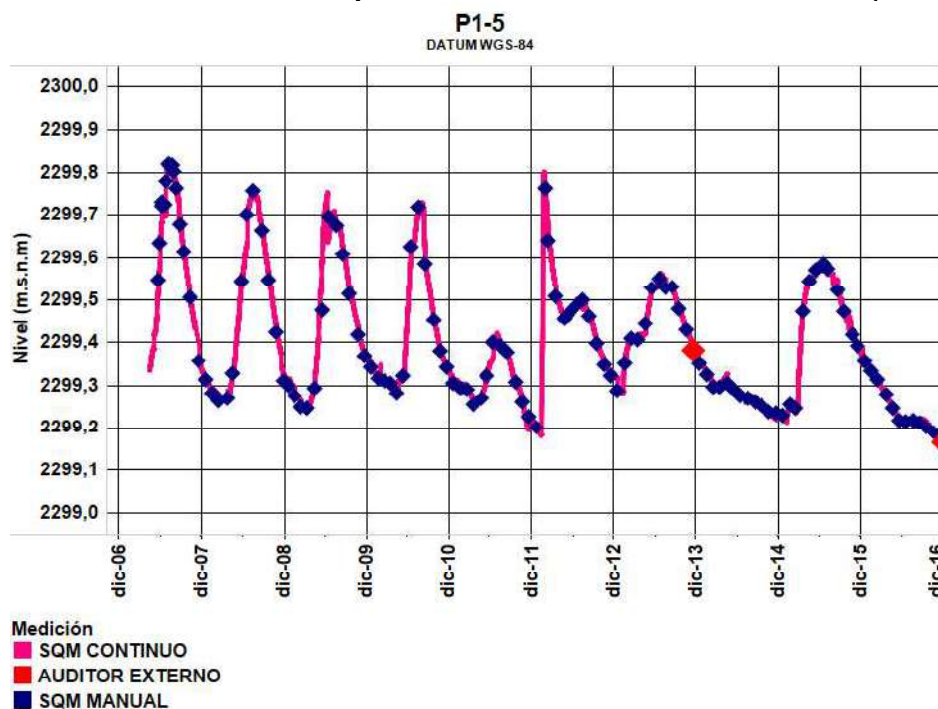
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-104: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo P1-4, perfil D1 (línea magenta: medición continua, puntos azules: mediciones manuales)



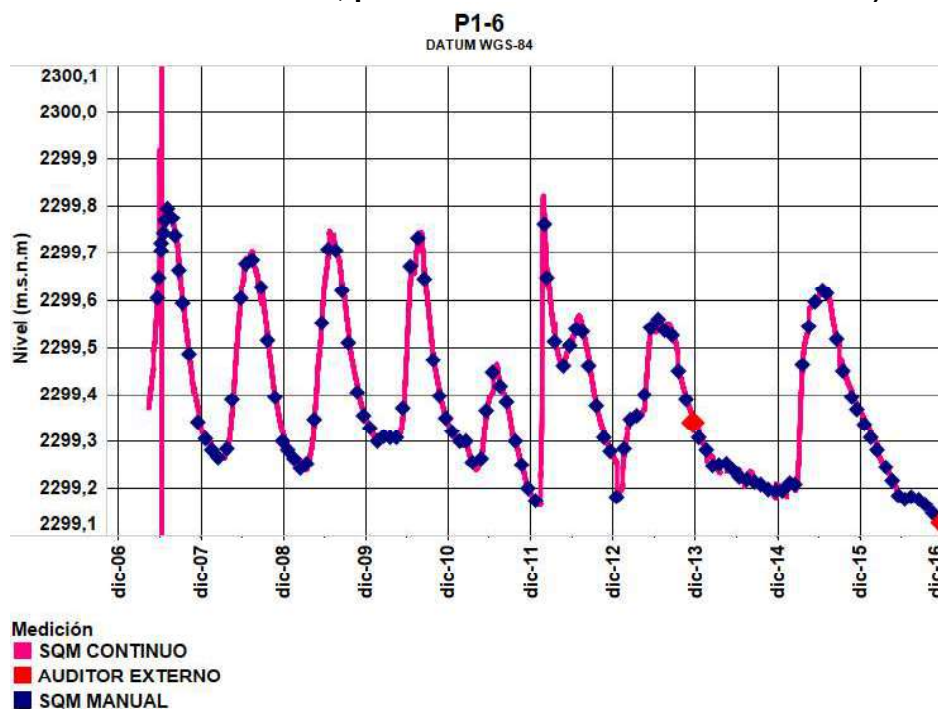
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-105: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo P1-5, perfil D1 (línea magenta: medición continua, puntos azules: mediciones manuales)



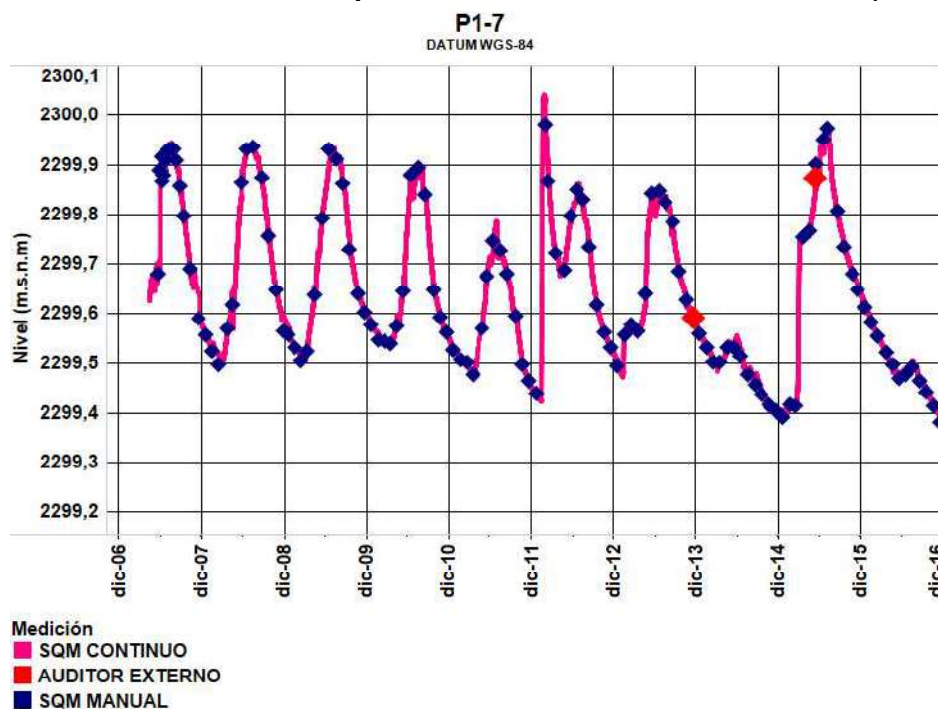
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-106: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo P1-6, perfil D1 (línea magenta: medición continua, puntos azules: mediciones manuales)



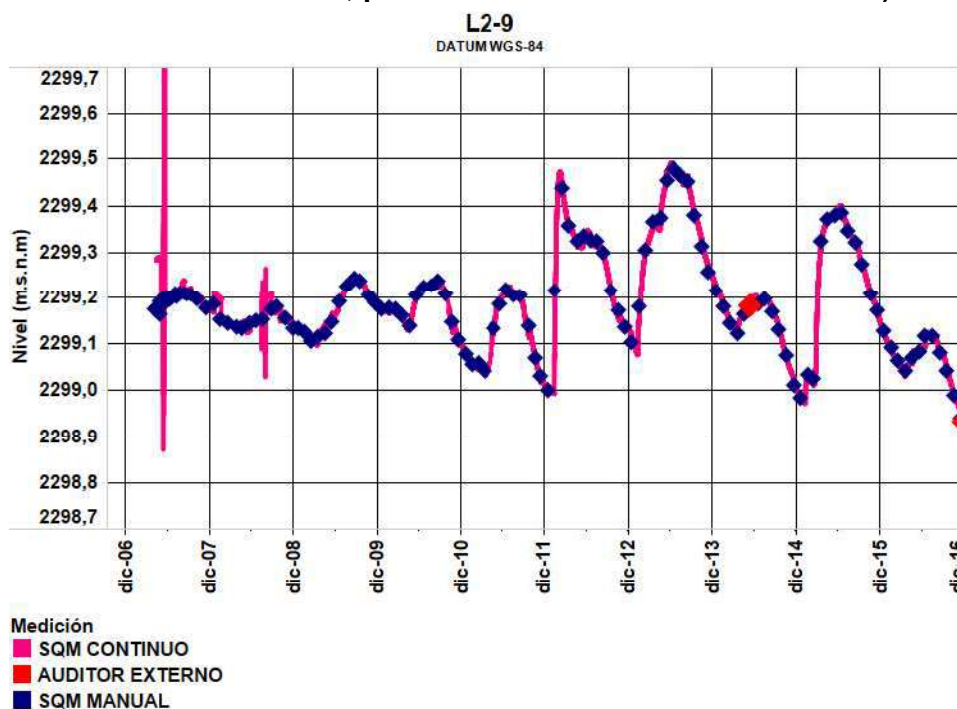
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-107: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo P1-7, perfil D1 (línea magenta: medición continua, puntos azules: mediciones manuales)



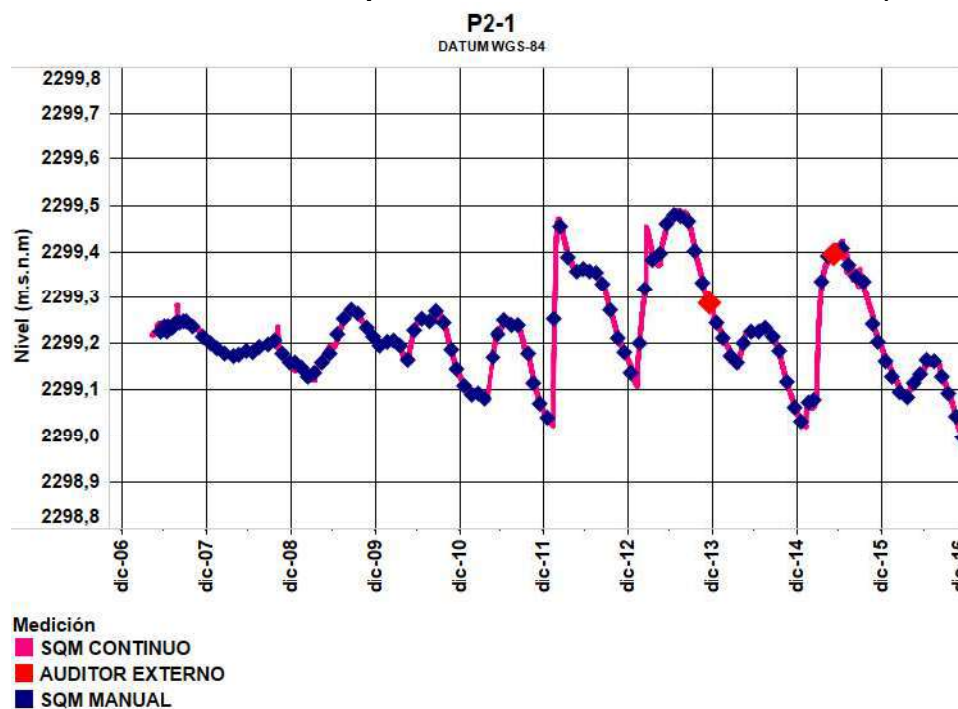
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-108: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L2-9, perfil D2 (línea magenta: medición continua, puntos azules: mediciones manuales)



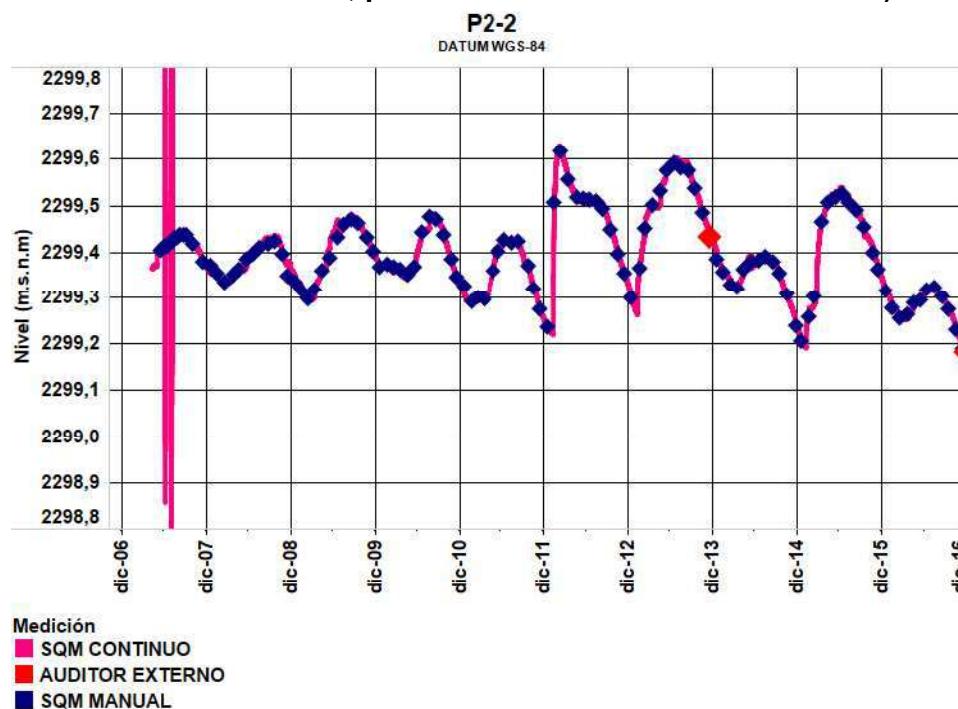
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-109: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo P2-1, perfil D2 (línea magenta: medición continua, puntos azules: mediciones manuales)



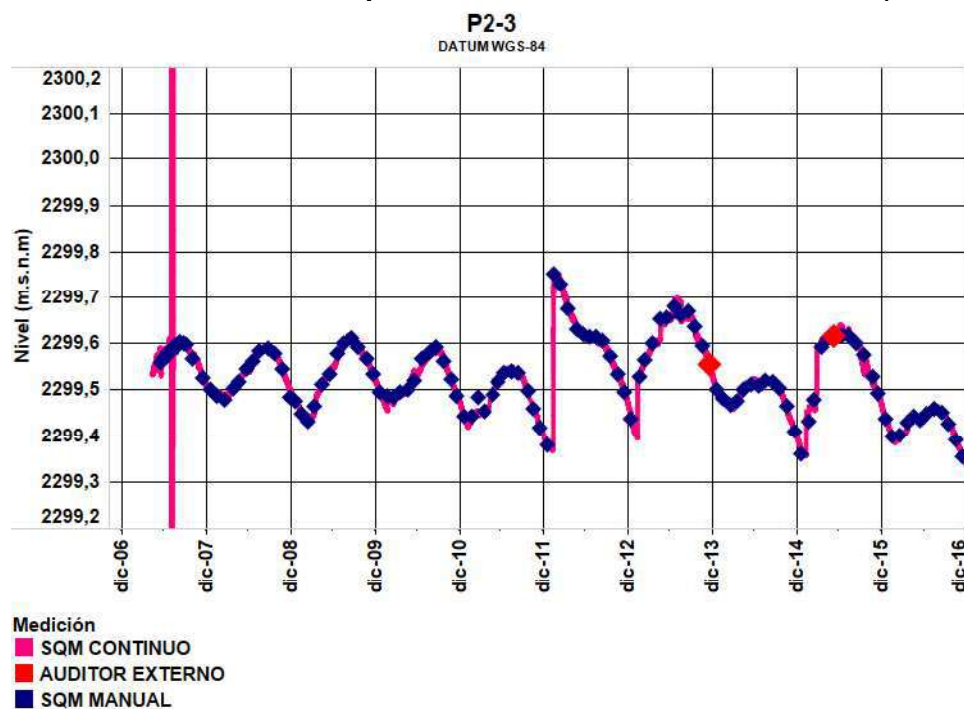
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-110: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo P2-2, perfil D2 (línea magenta: medición continua, puntos azules: mediciones manuales)



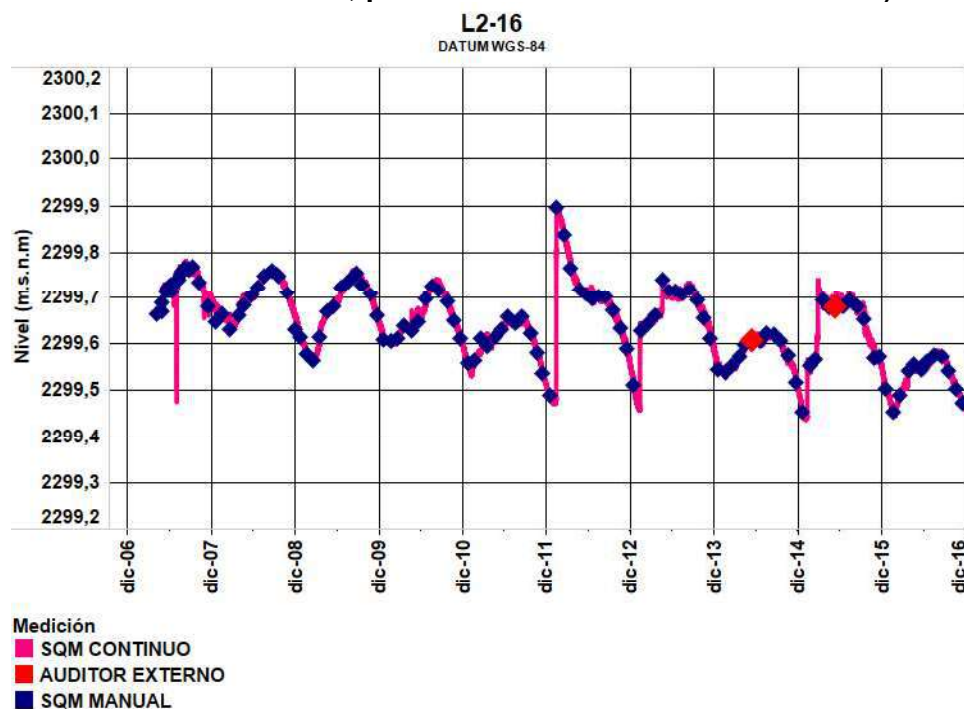
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-111: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo P2-3, perfil D2 (línea magenta: medición continua, puntos azules: mediciones manuales)



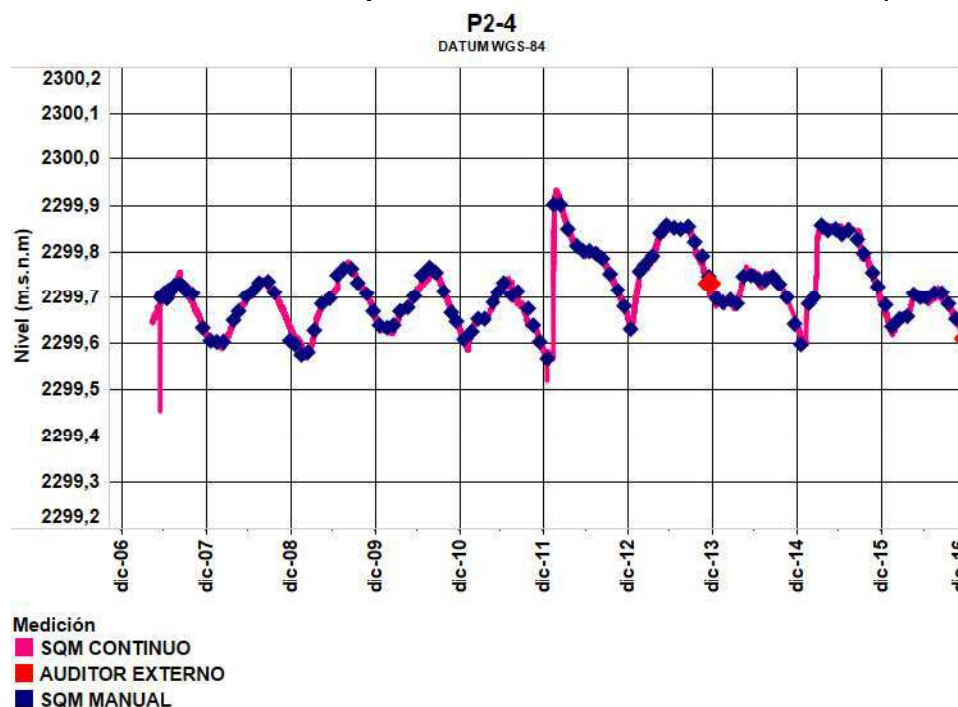
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-112: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L2-16, perfil D2 (línea magenta: medición continua, puntos azules: mediciones manuales)



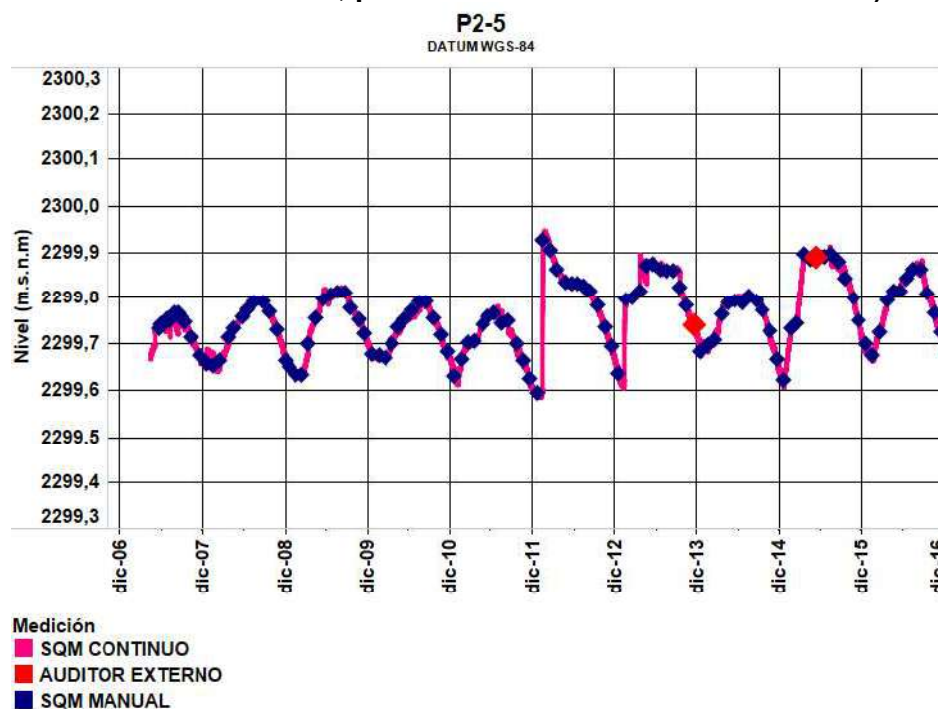
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-113: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo P2-4, perfil D2 (línea magenta: medición continua, puntos azules: mediciones manuales)



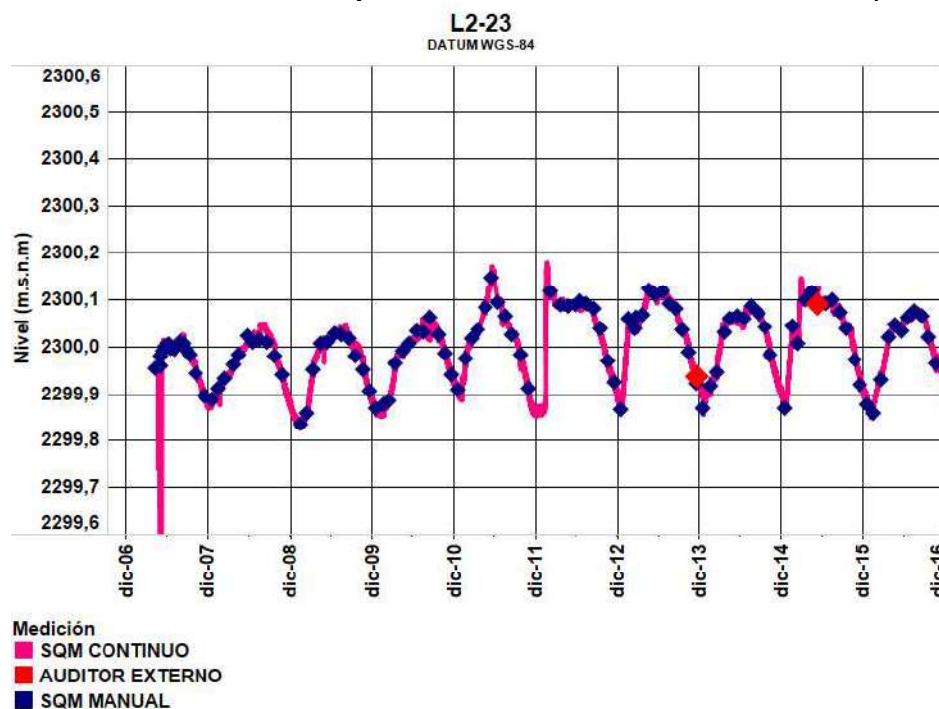
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-114: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo P2-5, perfil D2 (línea magenta: medición continua, puntos azules: mediciones manuales)



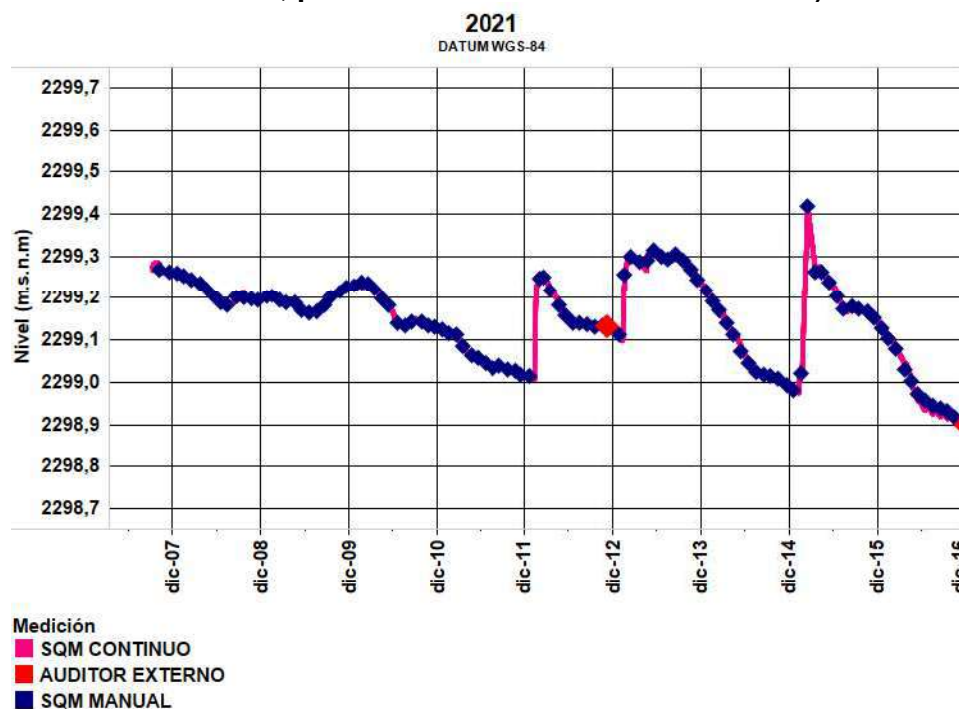
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-115: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L2-23, perfil D2 (línea magenta: medición continua, puntos azules: mediciones manuales)



Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-116: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo 2021 (línea magenta: medición continua, puntos azules: mediciones manuales)



Fuente: Elaboración propia.

5.2.1.4 Pozos de Salmuera

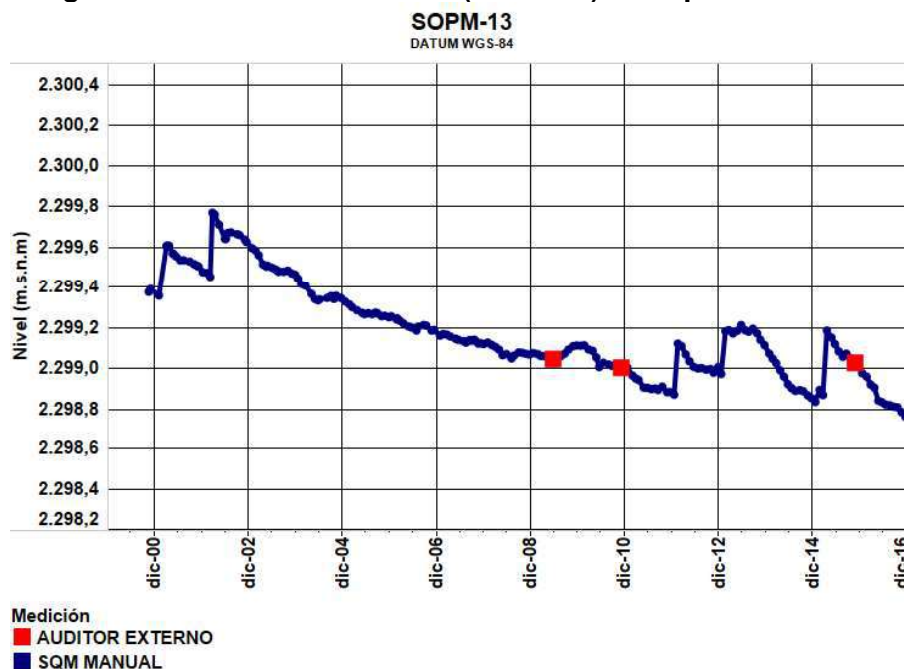
De la Figura 5-117 a la Figura 5-121 se presentan los pozos pertenecientes al sistema Soncor que están ubicados en el sector del núcleo del Salar de Atacama.

Figura 5-117: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo SOPM-07 (L2-6)



Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-118: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo SOPM-13



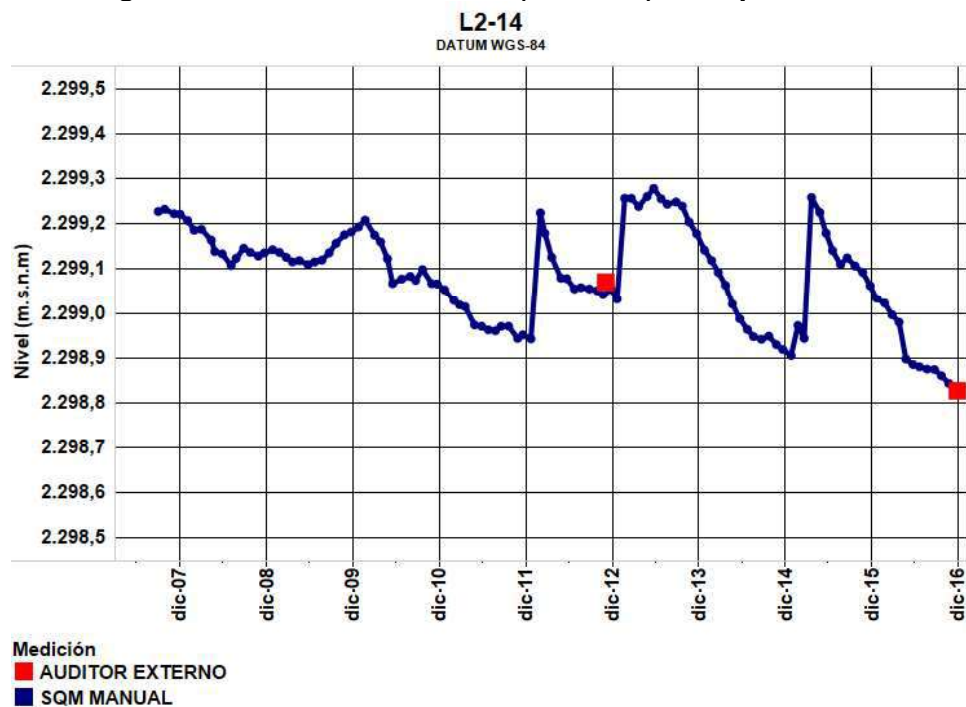
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-119: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo SOPM-14



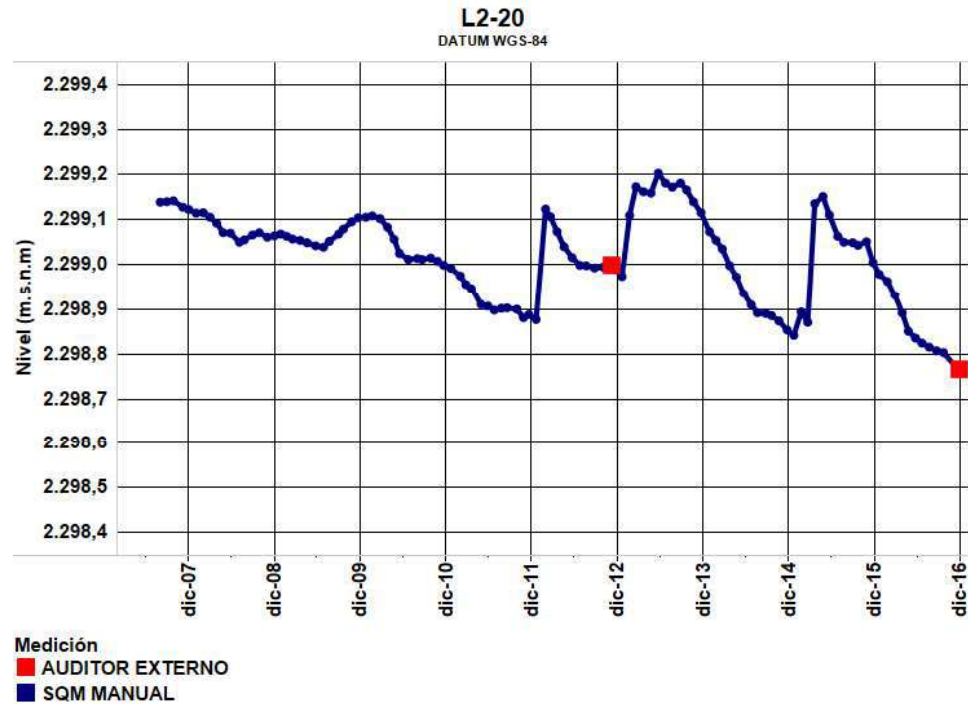
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-120: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L2-14



Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-121: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L2-20



Fuente: Elaboración propia.

5.2.1.5 Nivel lacustre

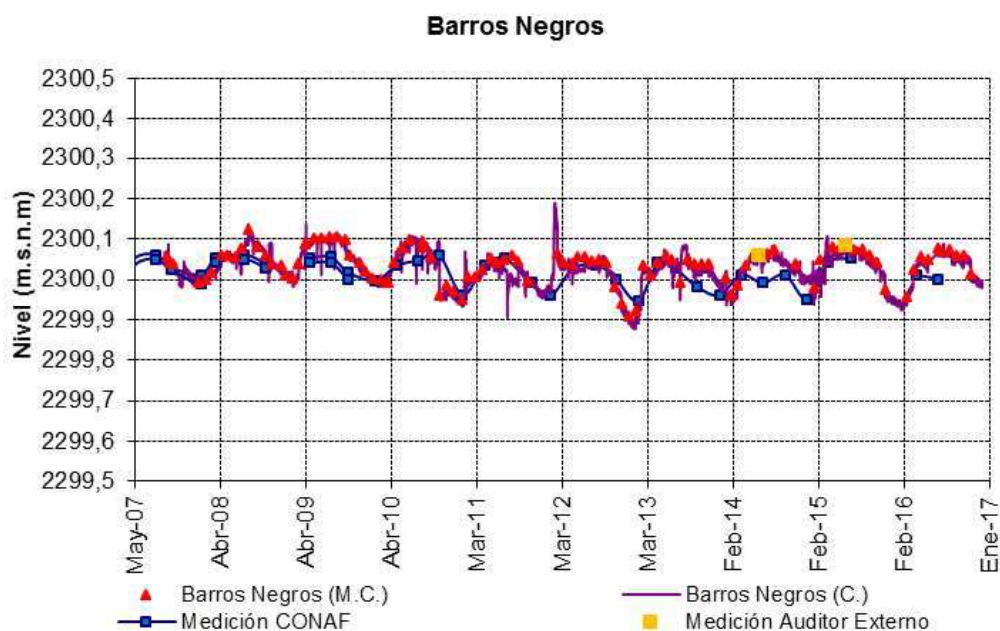
A continuación, se presentan los niveles continuos medidos en las lagunas del sistema Soncor, Barros Negros, Chaxa y Puilar (Figura 5-122, Figura 5-123 y Figura 5-124). Además, se presentan las mediciones trimestrales que realizó CONAF en el marco del convenio específico CONAF – SQM Salar S.A. vigente 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

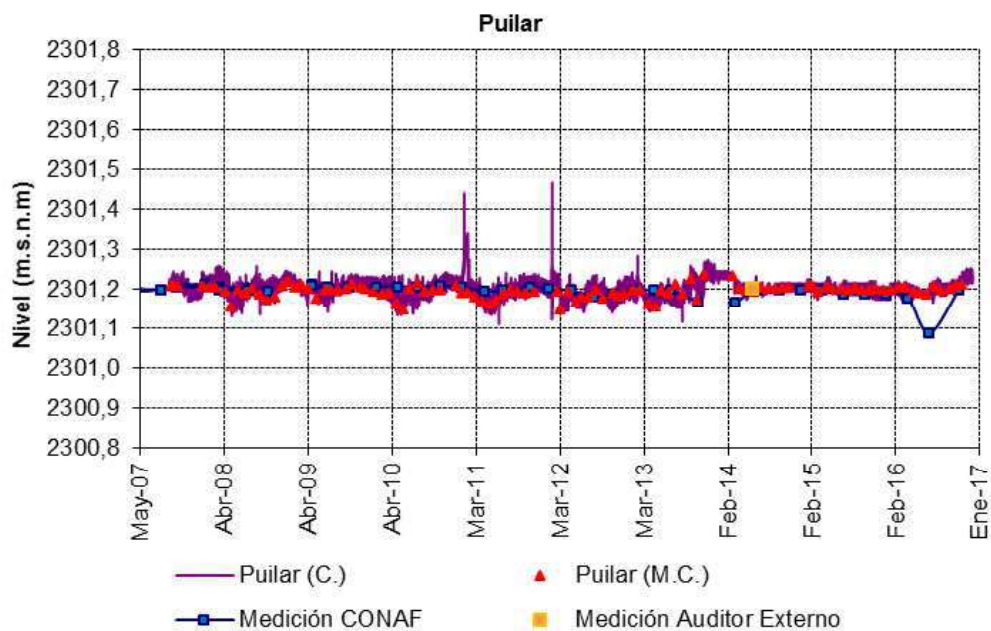
Como se indicó en informes anteriores, se reporta como “Medición CONAF”, el registro de la reglilla metálica.

Figura 5-122: Nivel observado (m.s.n.m.) de la superficie del agua en la reglilla Barros Negros



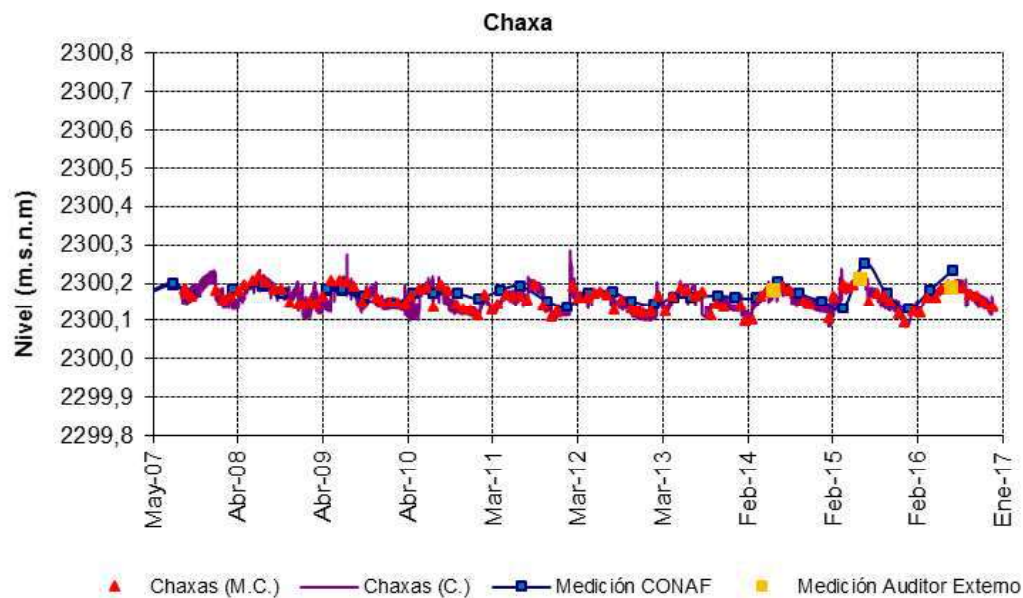
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-123: Nivel observado (m.s.n.m.) de la superficie del agua en la reglilla Puilar.



Fuente: Elaboración propia

Figura 5-124: Nivel observado (m.s.n.m.) de la superficie del agua en la reglilla Chaxa



Fuente: Elaboración propia.

5.2.1.6 Meteorología

Desde la Figura 5-125 a la Figura 5-128 se presentan las variables registradas por la estación meteorológica Chaxa que forman parte del PSAH, precipitación, evaporación, velocidad y temperatura diaria. En la Tabla 5-7 se muestran los datos recopilados el último semestre del 2016. Para mayor detalles sobre los datos meteorológicos ver el ANEXO 13.

Entre el segundo semestre del 2016, no se registraron precipitaciones en la Estación Chaxa.

Tabla 5-7: 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

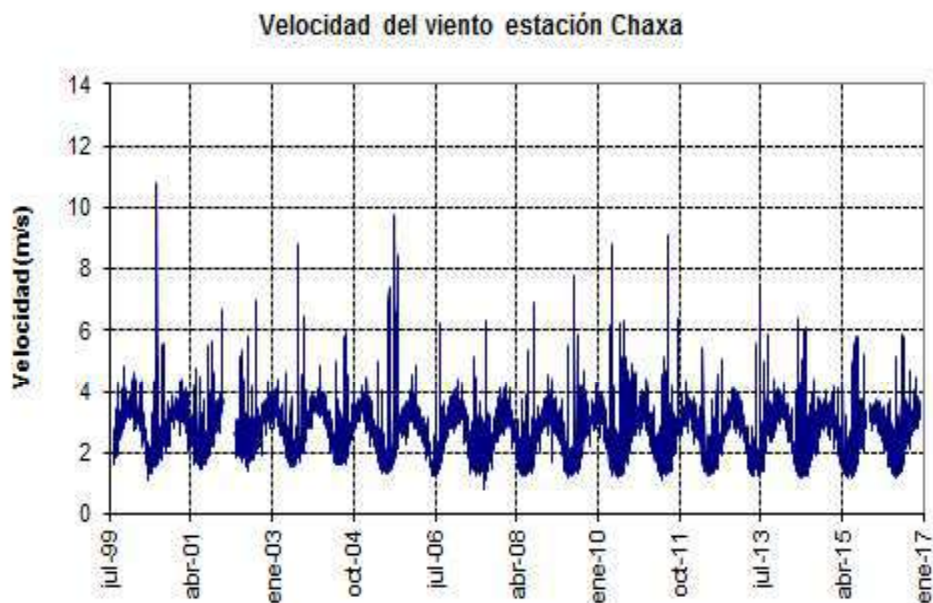
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-125: Precipitación diaria registrada en la estación Chaxa



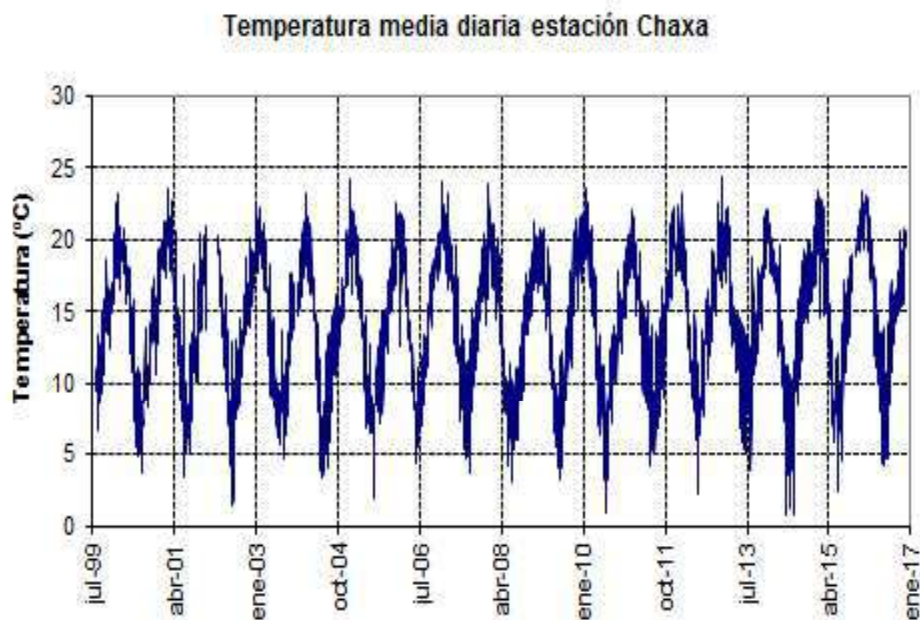
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-126: Velocidad del viento diaria registrada en la estación Chaxa



Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-127: Temperatura media diaria registrada en la estación Chaxa



Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-128: Evaporación diaria registrada en la estación Chaxa⁵



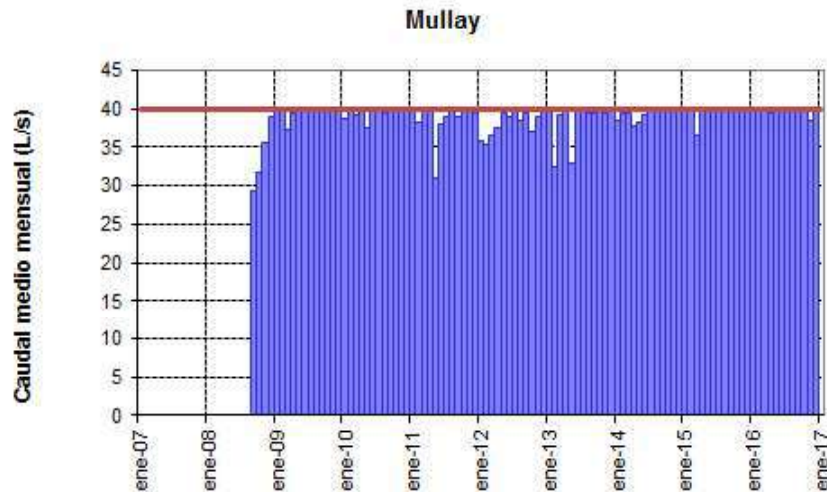
Fuente: Elaboración propia..

⁵ 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 reportó en el informe N°10 del PSA:

5.2.1.7 Caudal bombeado

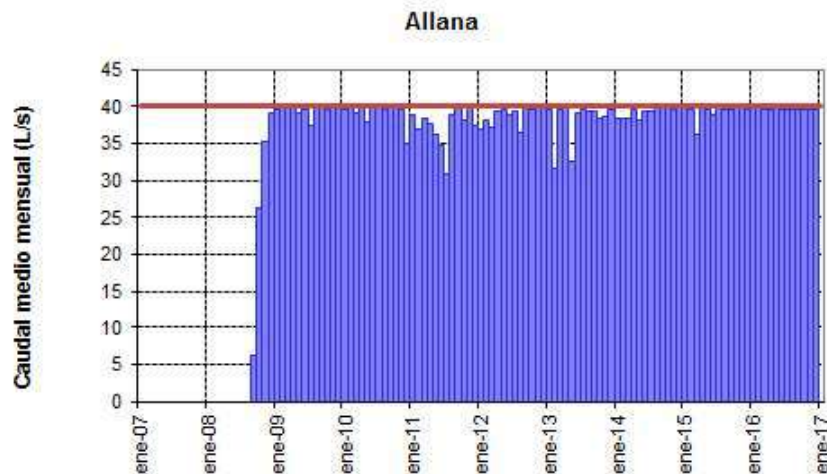
En la Figura 5-129 y Figura 5-130 se muestran los caudales medios mensuales bombeados de los pozos Mullay 1 y Allana respectivamente, mientras que en la tabla del ANEXO 14 se muestran los valores registrados.

Figura 5-129: Caudal medio mensual bombeado desde el pozo Mullay⁶.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-130: Caudal medio mensual bombeado desde el pozo Allana⁷.



Fuente: Elaboración propia.

⁶ Línea Roja representa límite de bombeo establecidos por la RCA 226/2006 para el pozo Mullay y los certificados de calibración de los flujómetros se encuentran en el ANEXO 6.

⁷ Línea Roja representa límite de bombeo establecidos por la RCA 226/2006 para el pozo Allana y los certificados de calibración de los flujómetros se encuentran en el ANEXO 6.

5.2.1.8 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, Mulla 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, para efectos de orden, los resultados se presentan en esta sección. Desde la Figura 5-131 a la Figura 5-145 se presentan los datos recogidos en terreno y los resultados de los análisis químicos realizados por los laboratorios ALS Patagonia S.A. y SGS Chile Ltda. para cada uno de los pozos previamente señalados. En el ANEXO 15 se presentan los informes de los análisis químicos reportados para el último semestre, los valores históricos fueron presentados en los respectivos informes anteriores. En el ANEXO 16 se muestran el certificado de acreditación de SGS Chile Ltda. como ETFA.

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 se presentan desde la Figura 5-146 hasta la Figura 5-147.

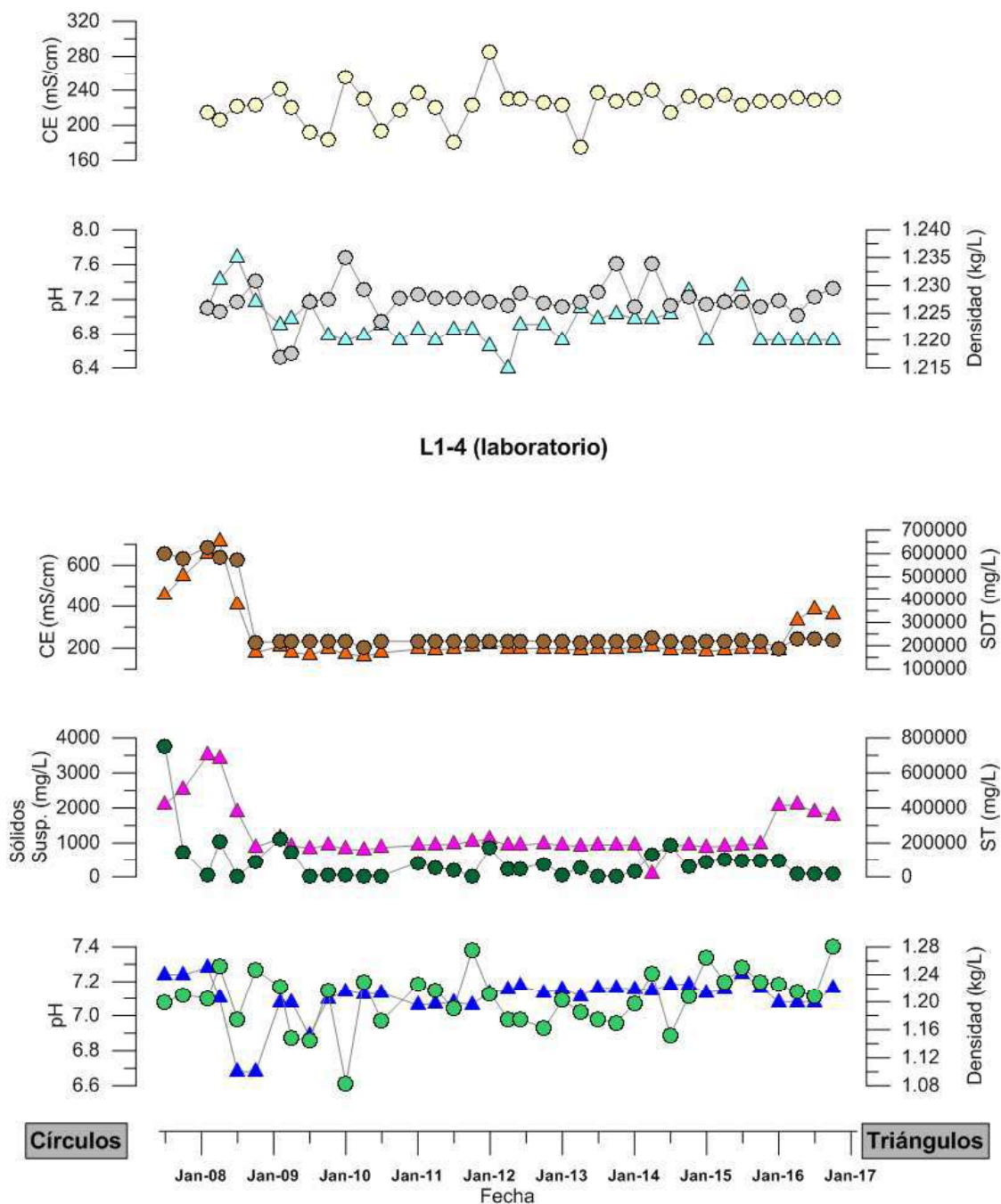
CONAF, como parte del convenio de monitoreo que posee actualmente con SQM, mide sólidos totales, sólidos suspendidos, sólidos disueltos, sodio, potasio, calcio, magnesio, dureza total, carbonato, bicarbonato, sulfato, cloruro, arsénico, nitrato, fosfato, pH, temperatura y oxígeno disuelto en los cuatro cuerpos de agua del Sistema Soncor, las mediciones se realizan en forma trimestral. Los resultados de estos análisis se presentan de la Figura 5-148 a la Figura 5-155.

Es importante notar que, en los gráficos de hidroquímica, las series representadas con un círculo tienen su escala gráfica al lado izquierdo y las con un triángulo tienen su escala gráfica al lado derecho.

5.2.1.8.1 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.

Figura 5-131: Resultados de análisis físico-químico del pozo L1-4
L1-4 (terreno)



Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-132: Resultados de análisis físico-químico del pozo L1-5
L1-5 (terreno)

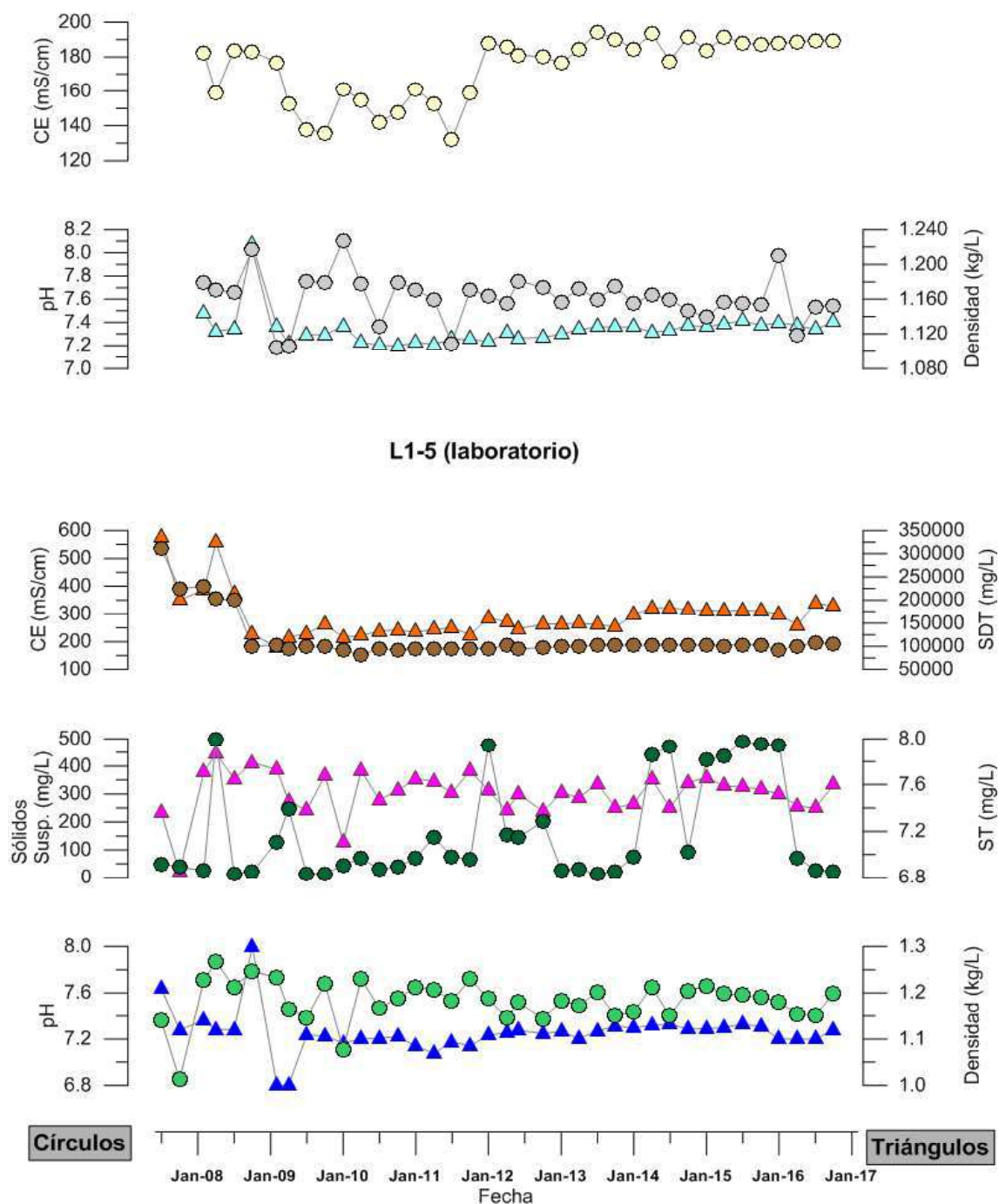


Figura 5-133: Resultados de análisis físico-químico del pozo L1-6
L1-6 (terreno)

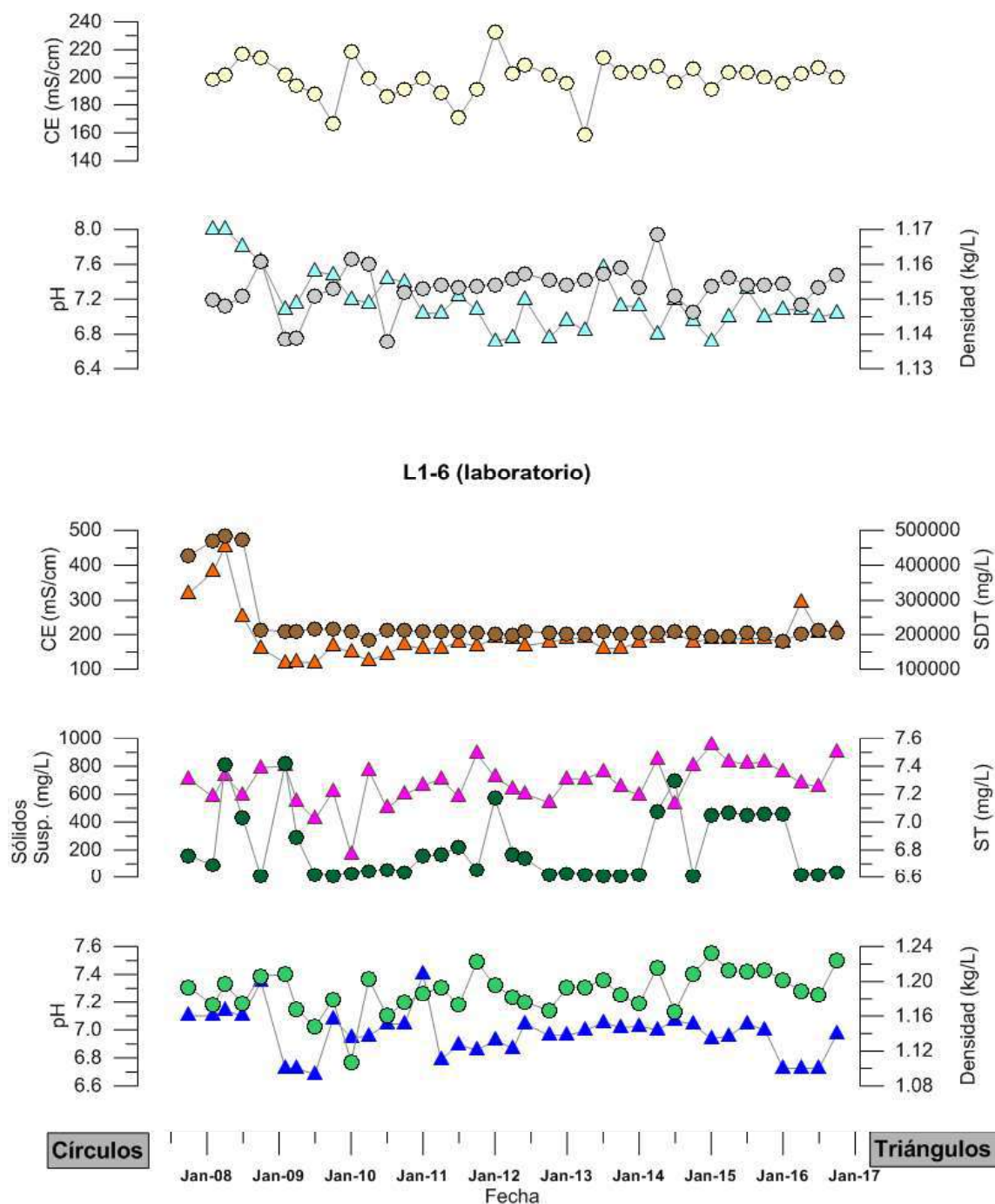


Figura 5-134: Resultados de análisis físico-químico reglilla L1-G4
L1-G4 (terreno)

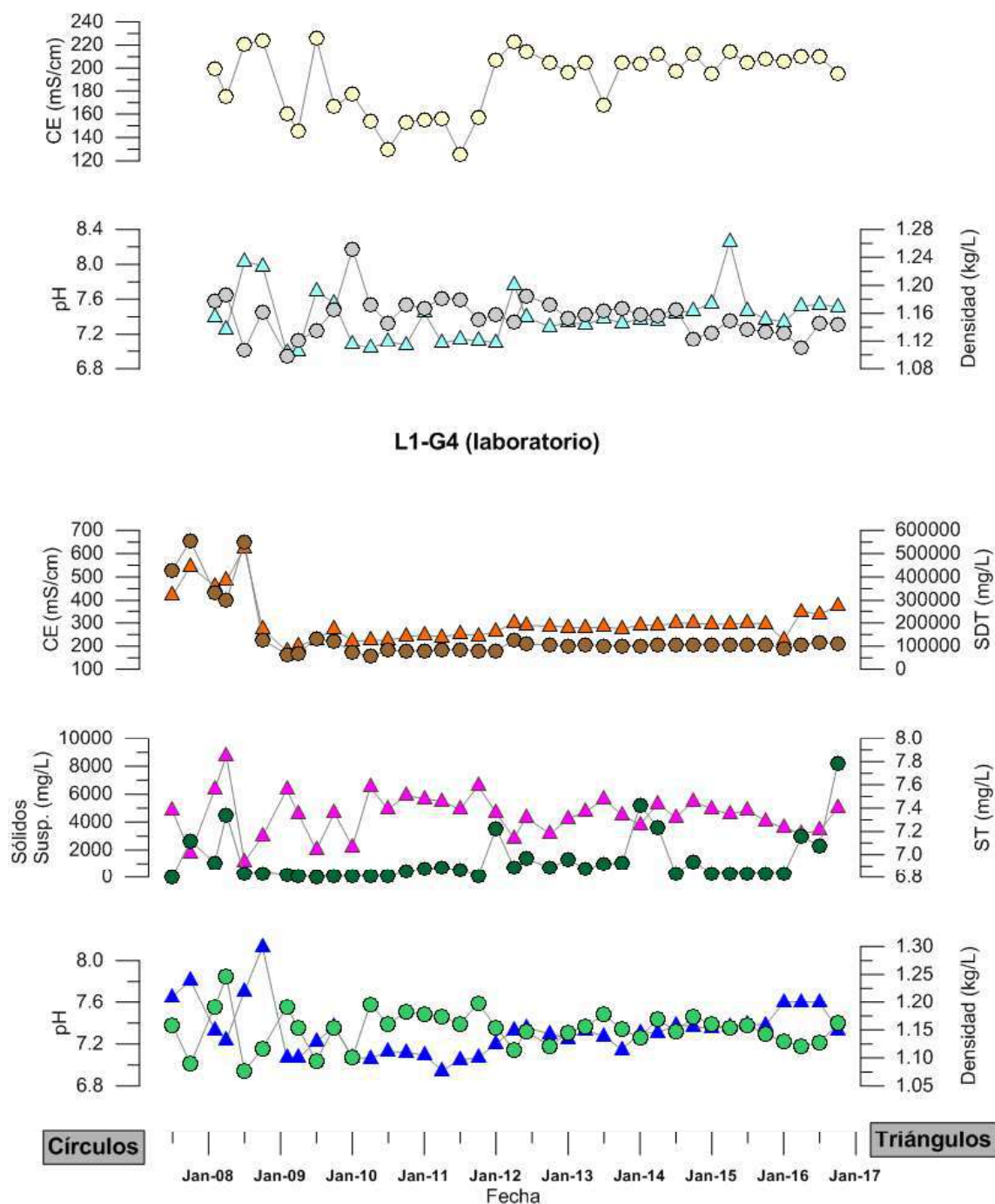
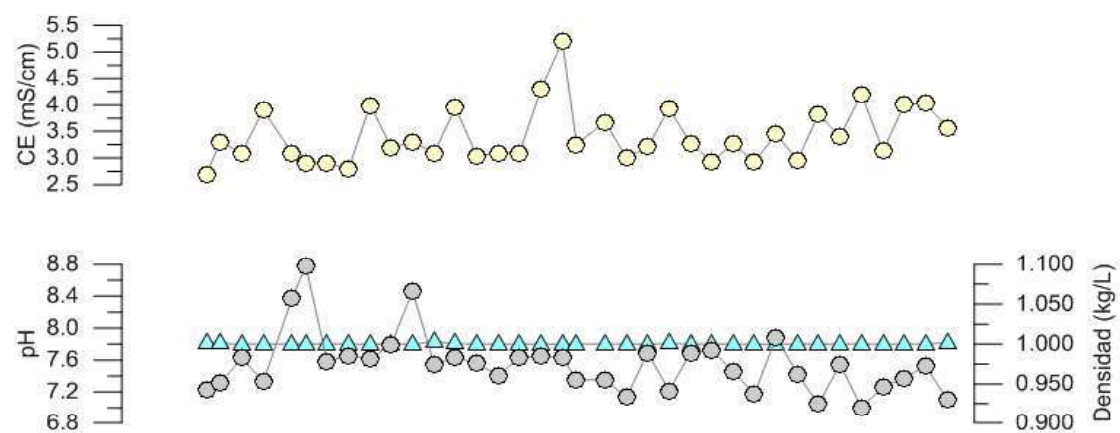
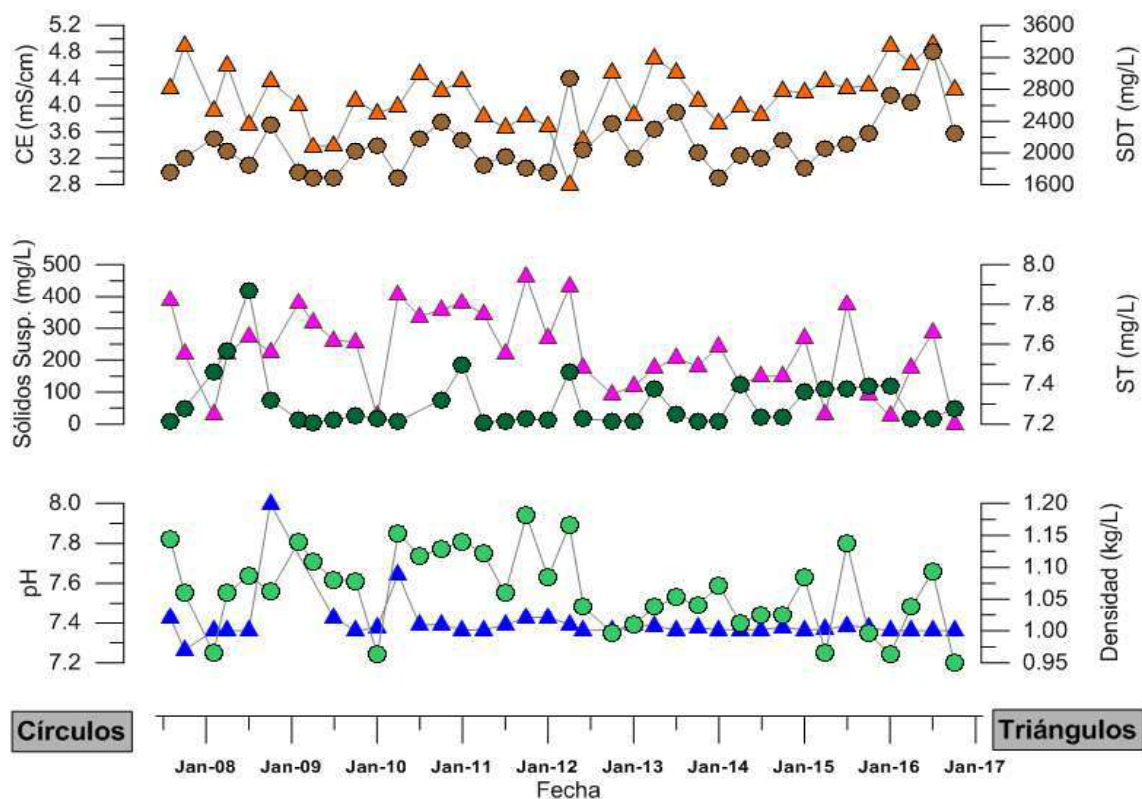


Figura 5-135: Resultados de análisis físico-químico del pozo L2-3
L2-3 (terreno)



L2-3 (laboratorio)



Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-136: Resultados de análisis físico-químico del pozo L2-4
L2-4 (terreno)

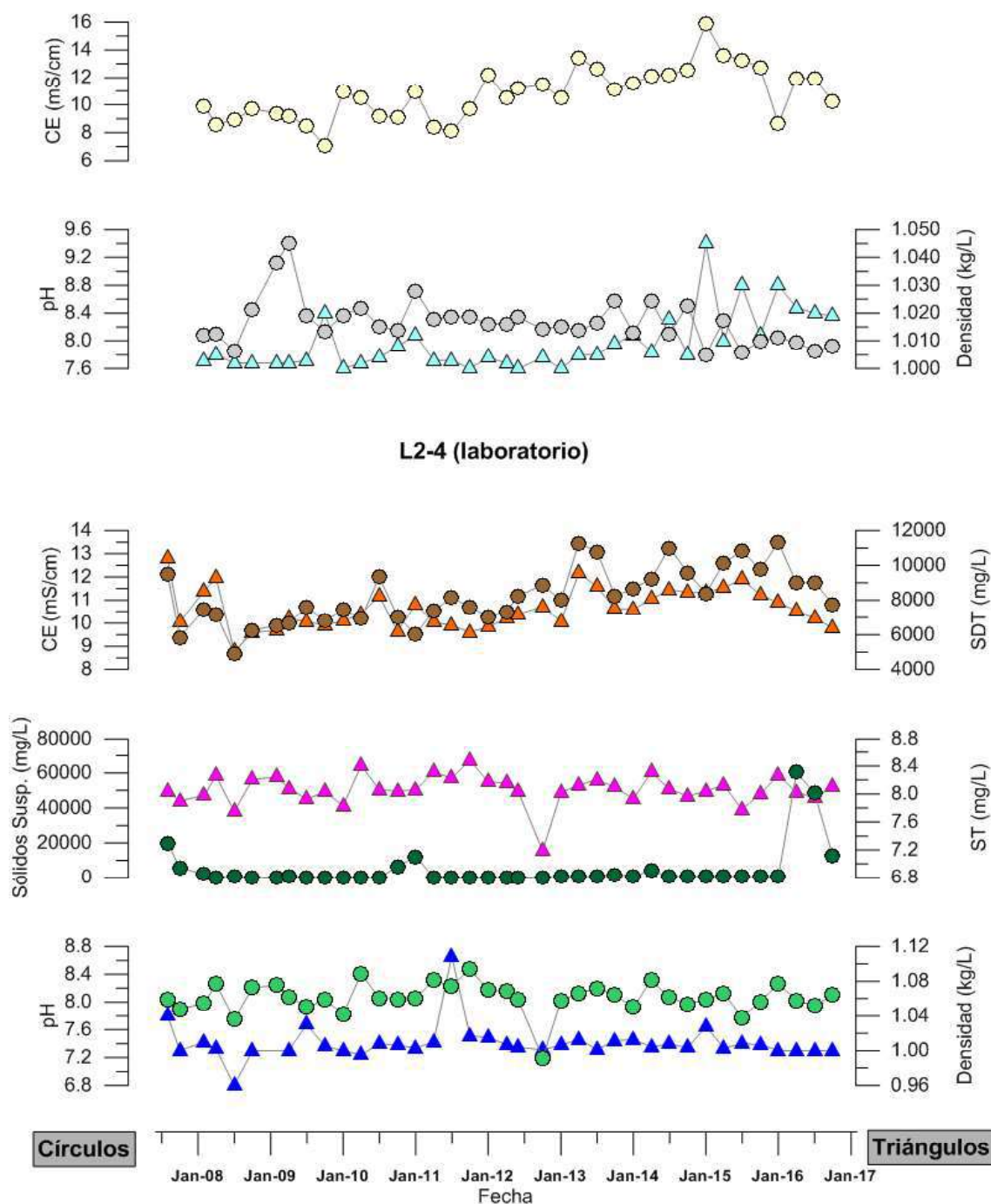
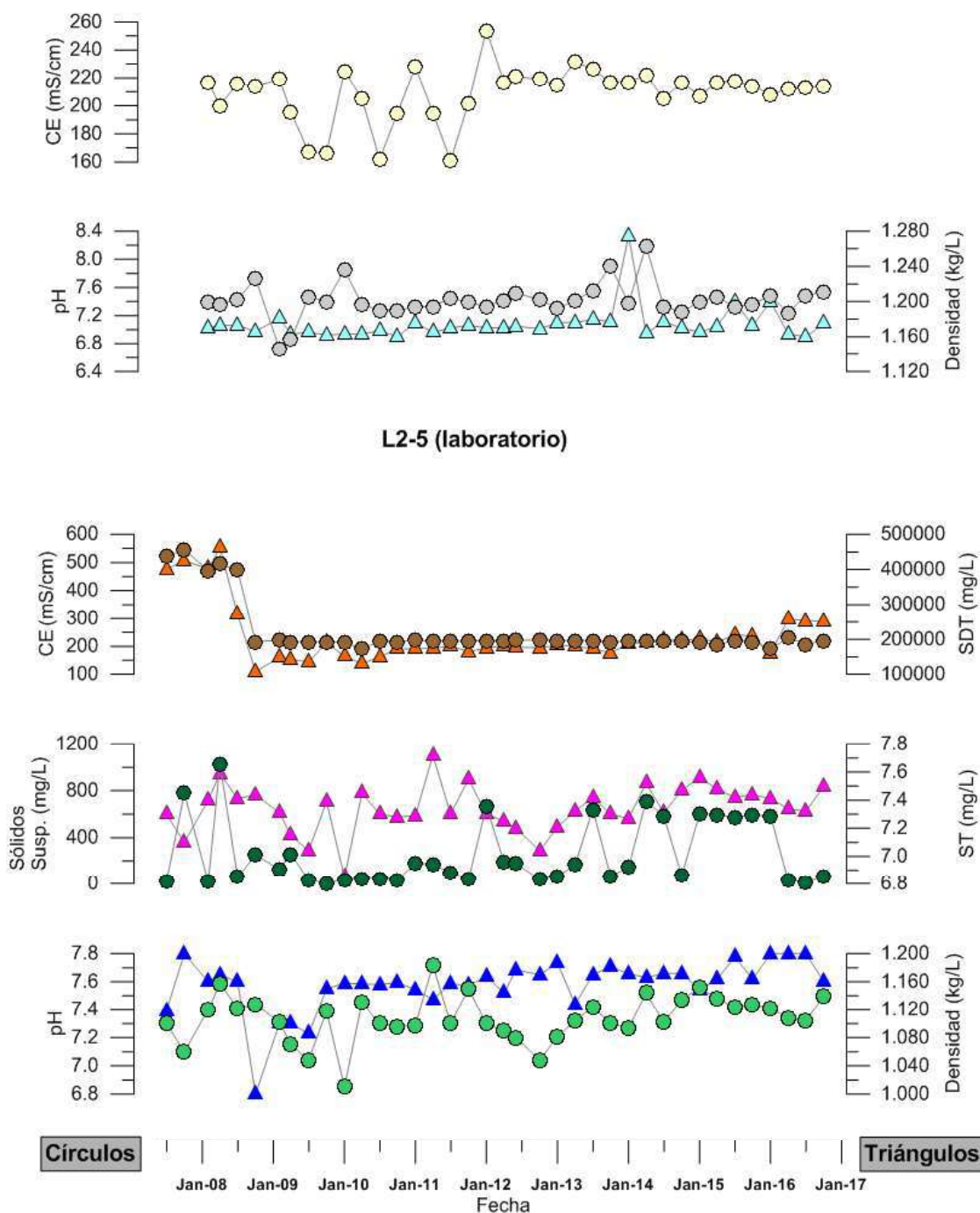
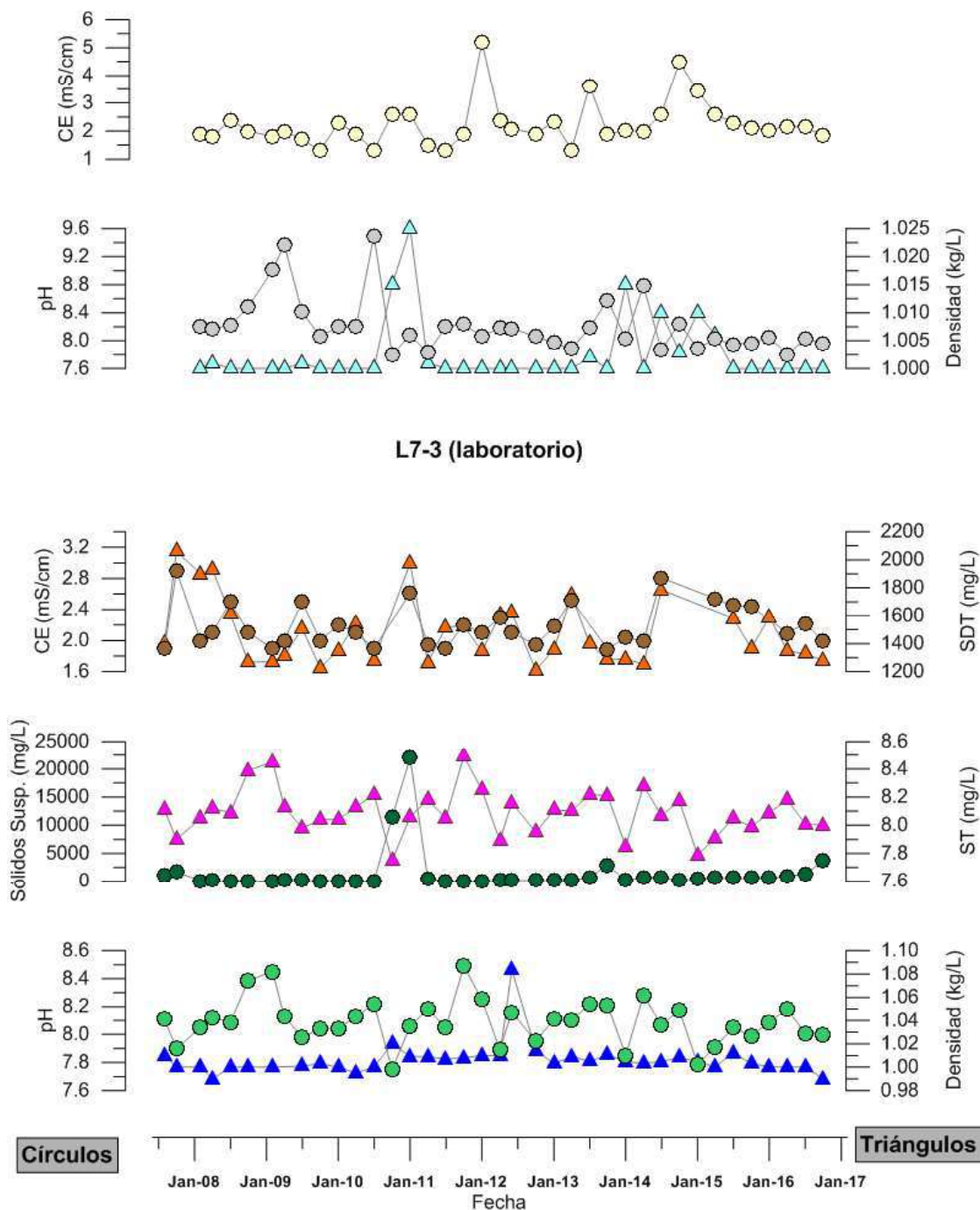


Figura 5-137: Resultados de análisis físico-químico del pozo L2-5
L2-5 (terreno)



Fuente: Elaboración propia.

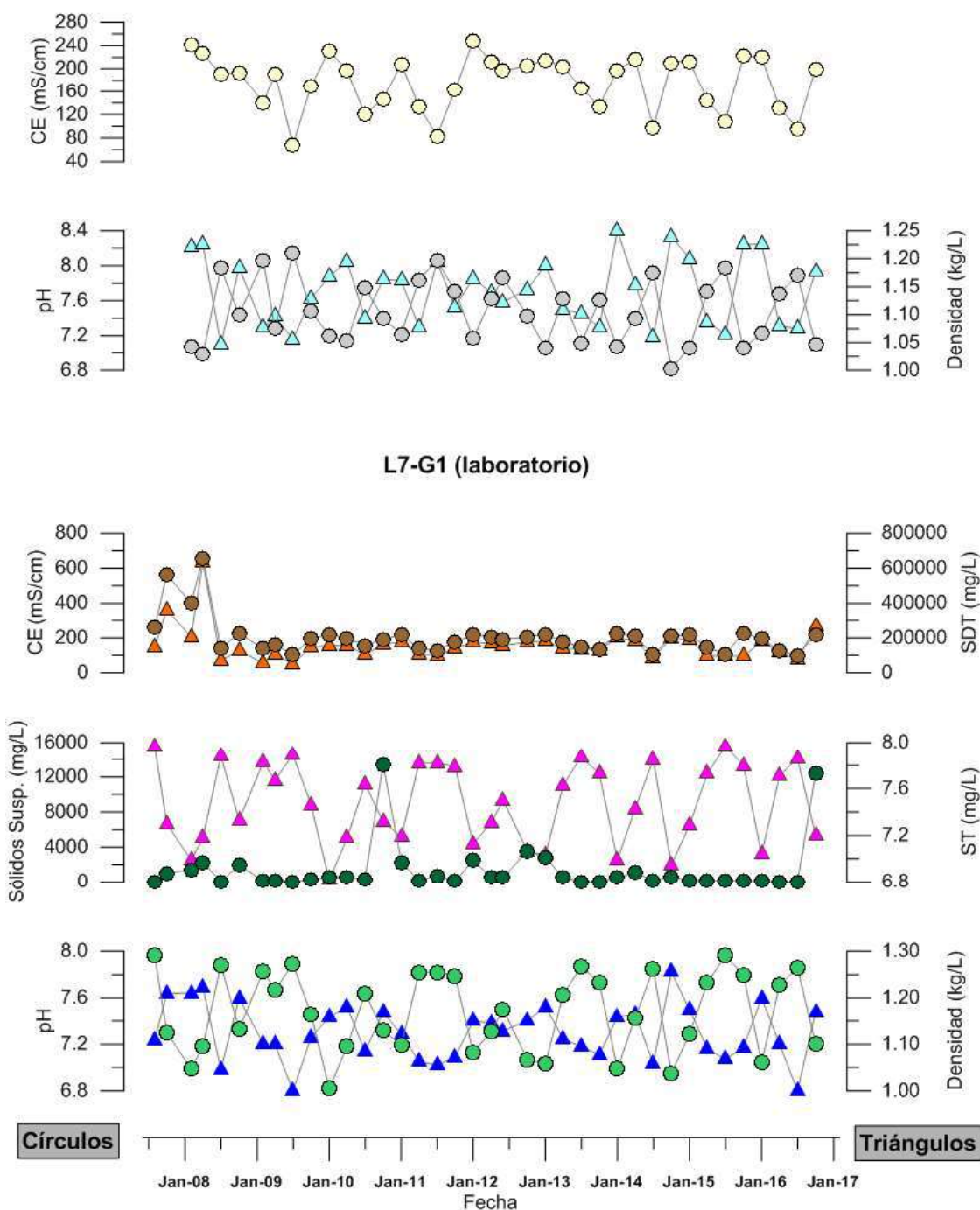
Figura 5-138: Resultados de análisis físico-químico del pozo L7-3⁸
L7-3 (terreno)



Fuente: Elaboración propia.

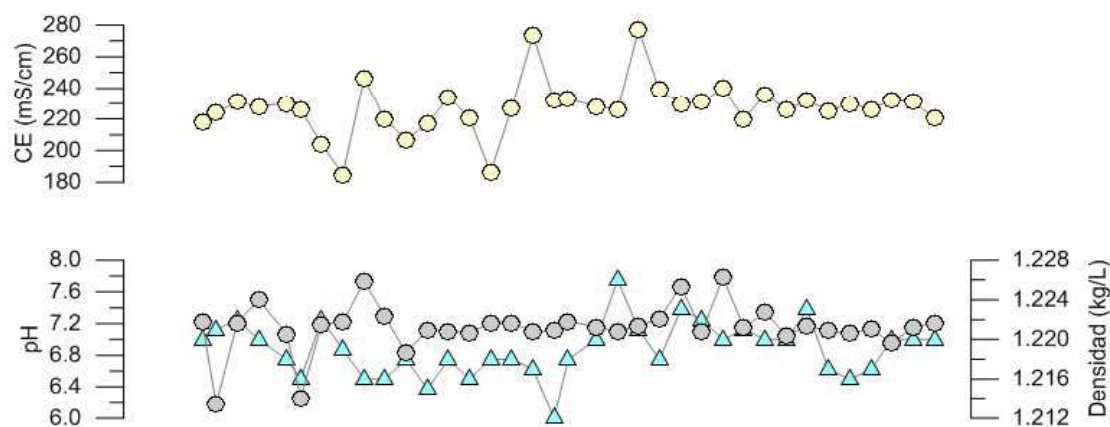
⁸ Para evitar problemas de escala, en la serie de SDT se sacó el dato de octubre de 2010, correspondiente a 6.990 mg/L, y en la serie de Sólidos Suspendedos se sacaron los datos de octubre de 2010 y enero de 2011, correspondientes a 11.409 mg/L y 21.965 mg/L.

Figura 5-139: Resultados de análisis físico-químico reglilla L7-G1
L7-G1 (terreno)

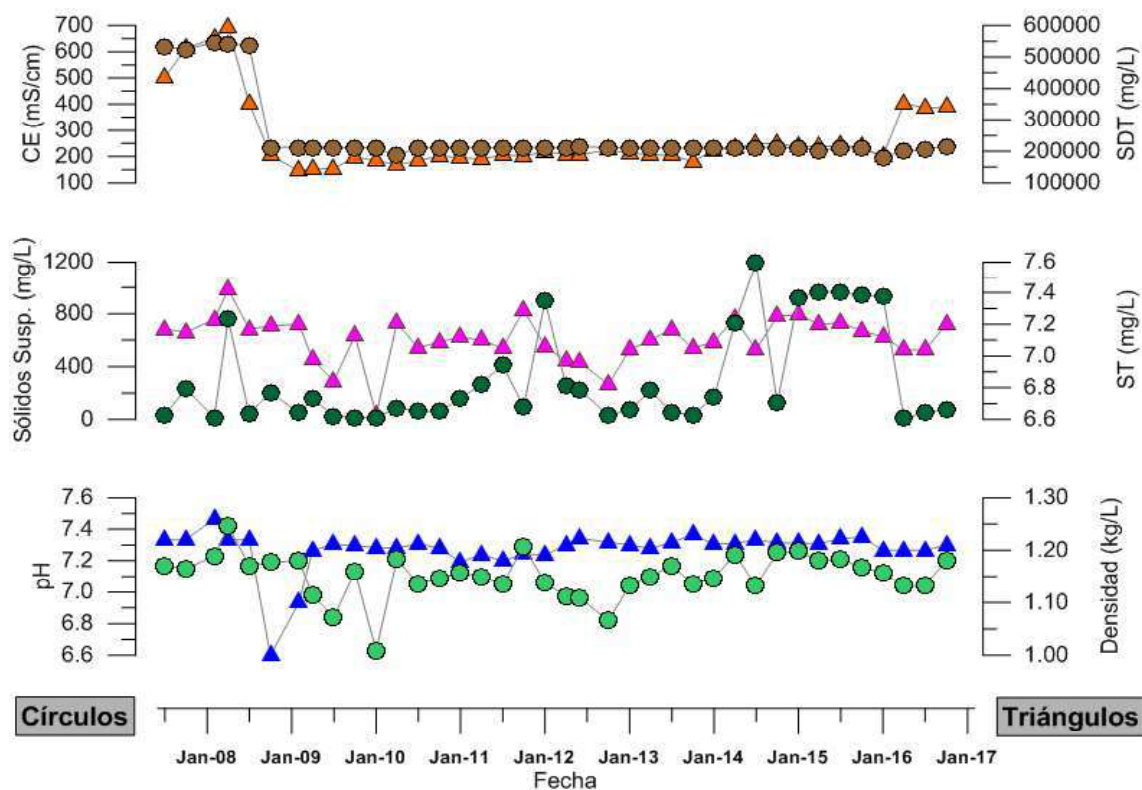


Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-140: Resultados de análisis físico-químico del pozo SOPM-07
SOPM-07 (terreno)



SOPM-07 (laboratorio)

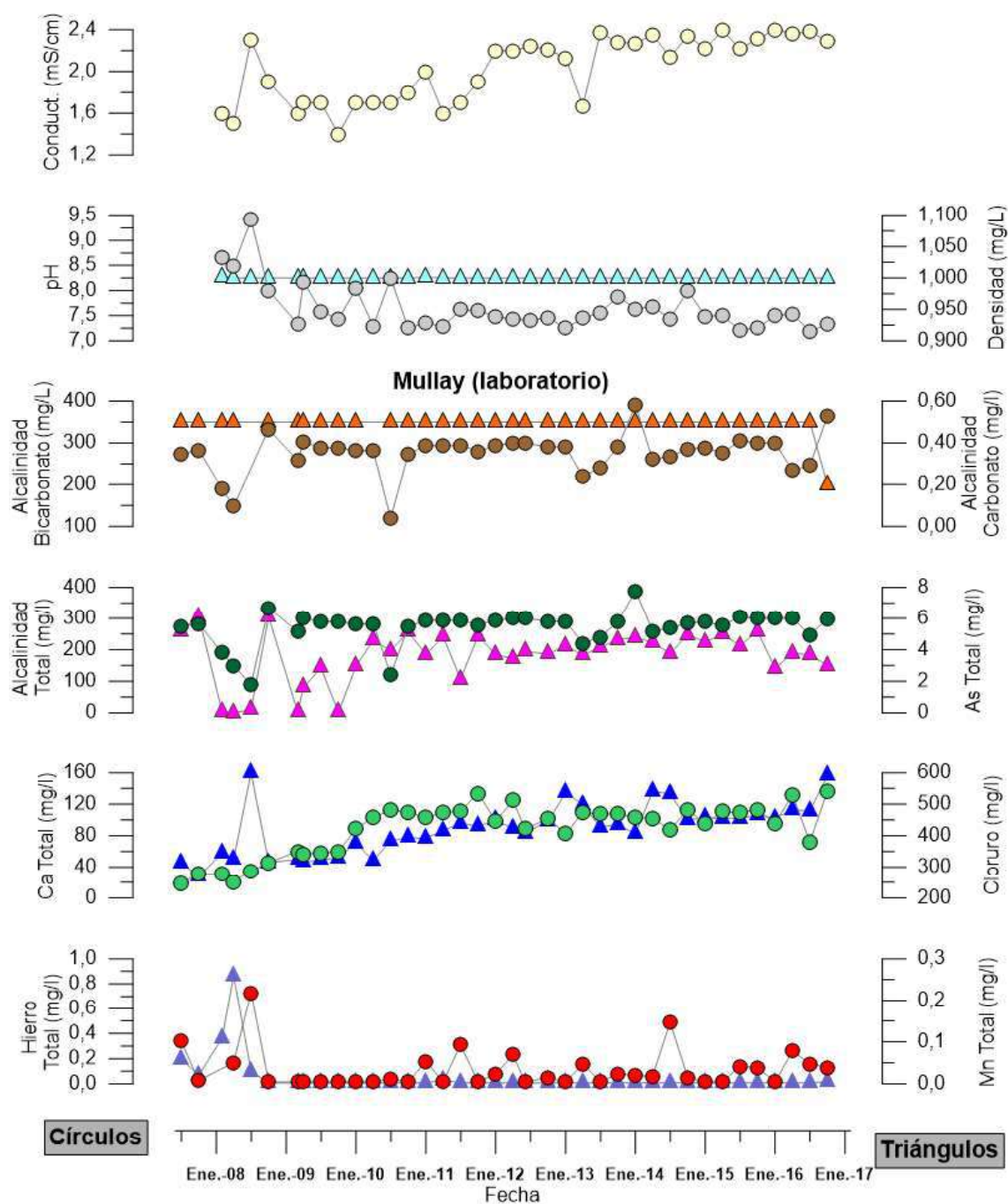


Círculos

Triángulos

Fuente: Elaboración propia.

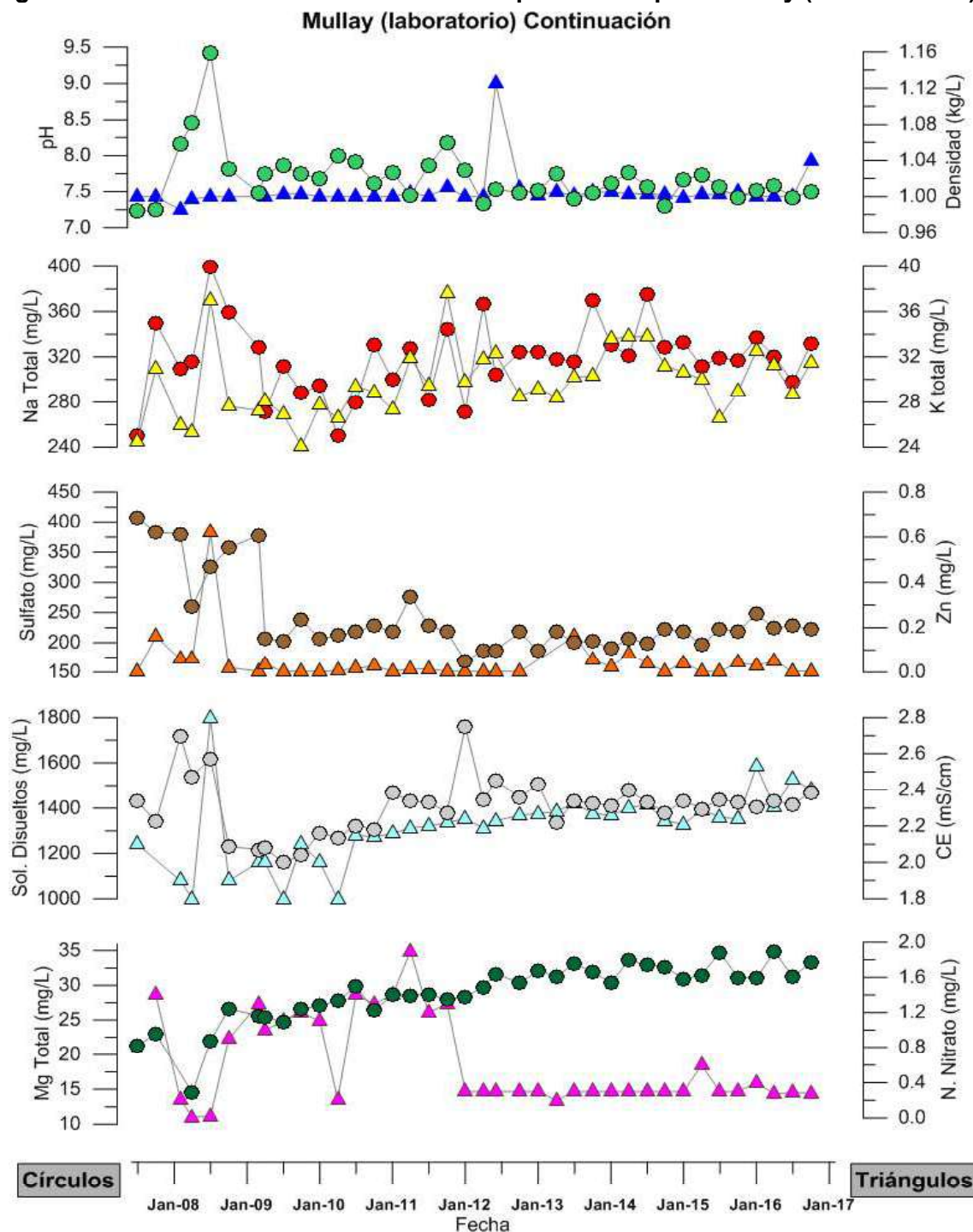
Figura 5-141: Resultados de análisis físico-químico del pozo Mullay⁹
Mullay (terreno)



Fuente: Elaboración propia.

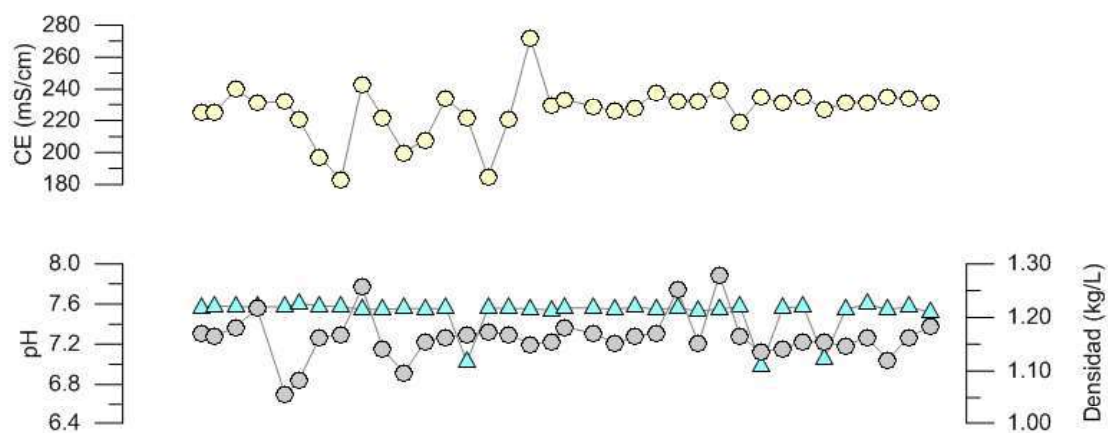
⁹ Para evitar problemas de escala a la serie del Hierro Total se le sacó el dato de febrero de 2008 correspondiente a un valor de 88.2 mg/L.. La diferencia en el valor de Alcalinidad Carbonato reportada se debe a que SGS presenta un límite de detección de 0,2 mg/l en comparación a los 0,5 mg/l de ALS.

Figura 5-142: Resultados de análisis físico-químico del pozo Mullay (continuación)¹⁰

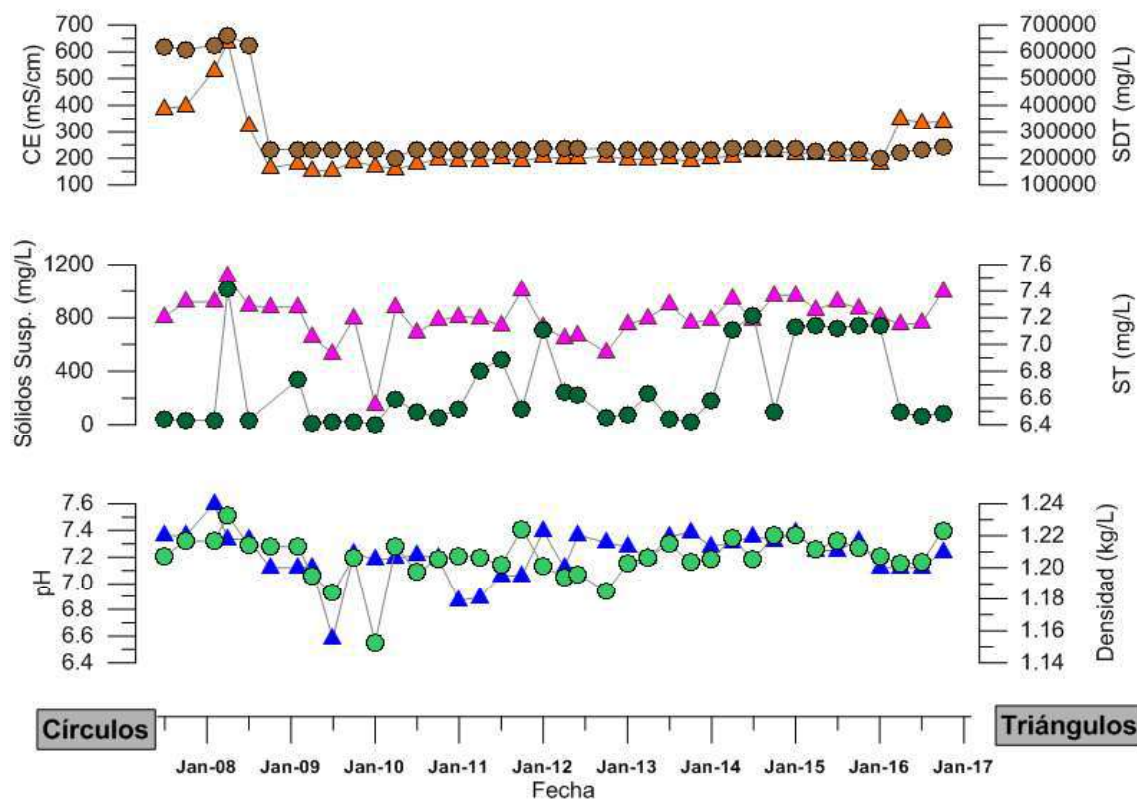


¹⁰ Para evitar problemas de escala a la serie de Magnesio Total se le sacó el dato de febrero de 2008 correspondientes a 95 mg/L y a la serie del Nitrógeno Nitrato se le sacó el dato de julio de 2007 correspondientes a 134 mg/L.

Figura 5-143: Resultados de análisis físico-químico del pozo SOPM-14
SOPM-14 (terreno)

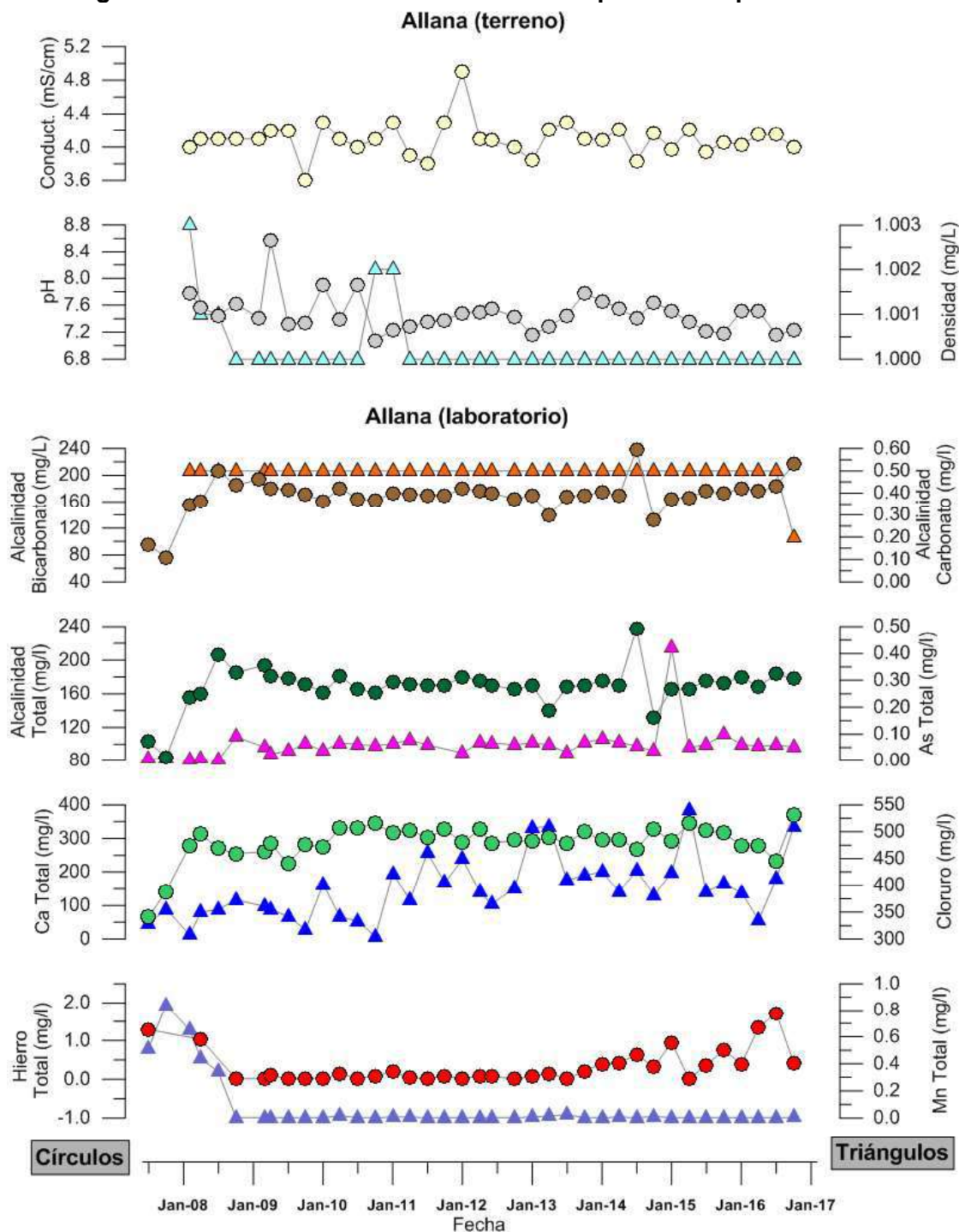


SOPM-14 (laboratorio)



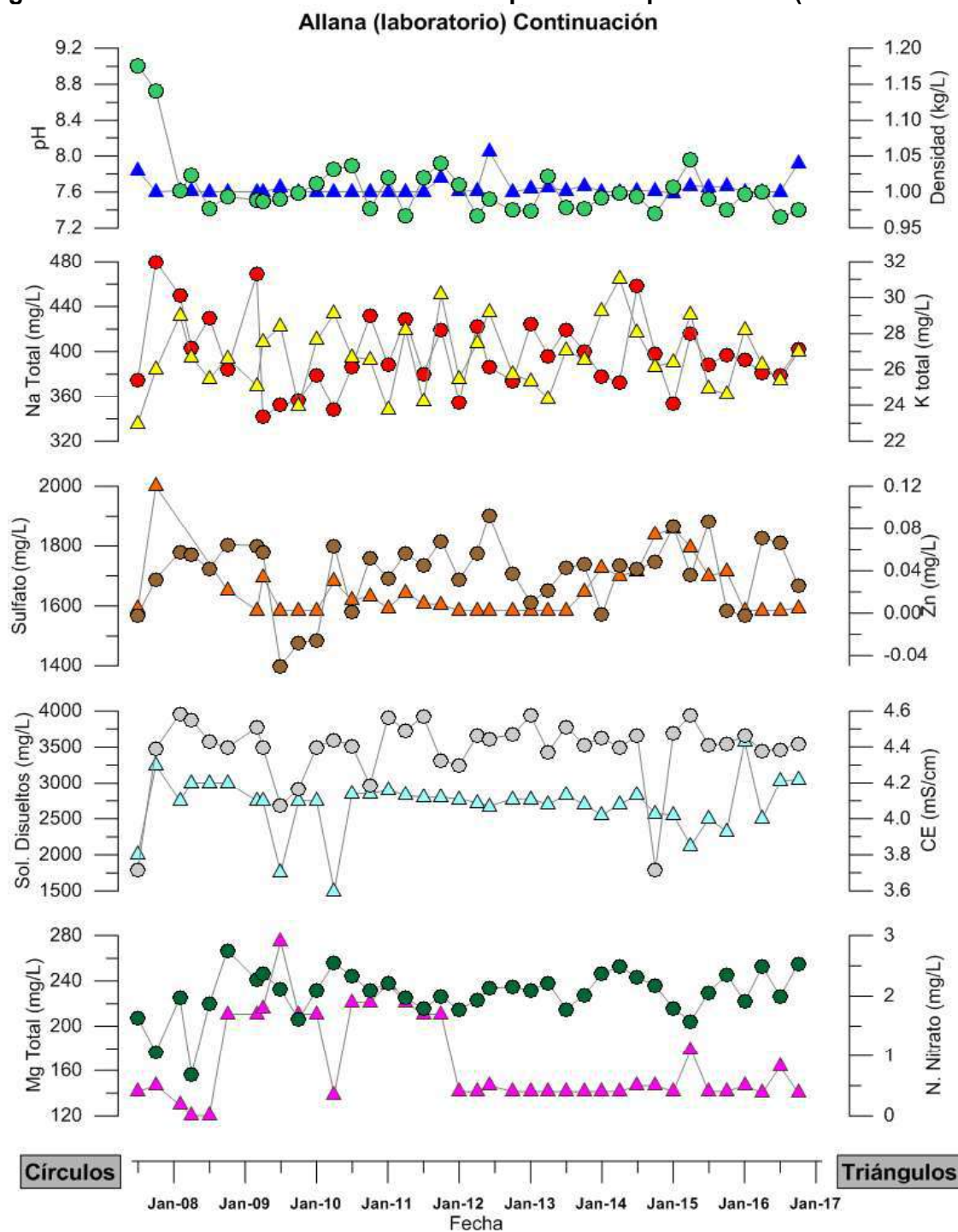
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-144: Resultados de análisis físico-químico del pozo Allana¹¹



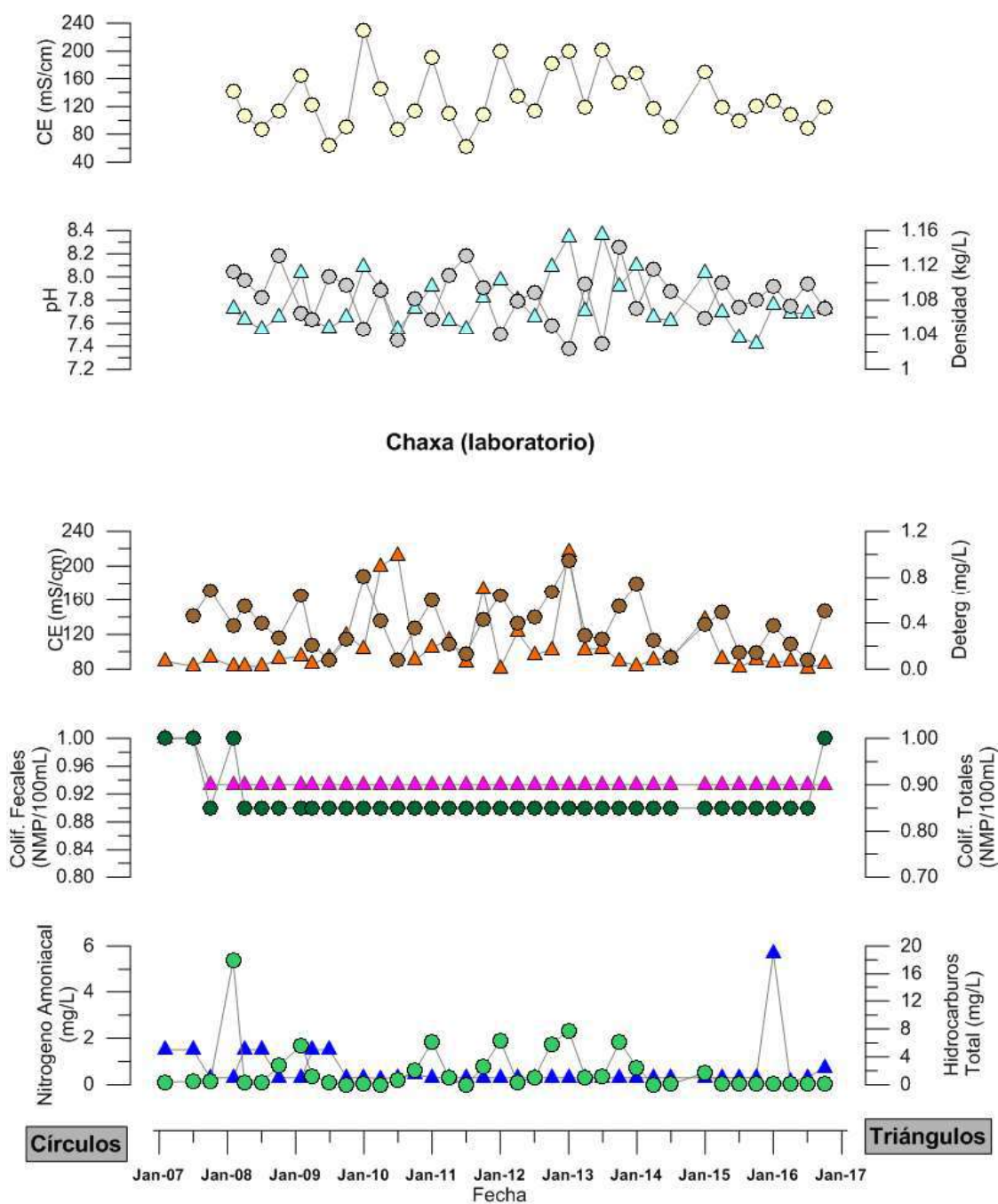
¹¹ La diferencia en el valor de Alkalinidad Carbonato reportada se debe a que SGS presenta un límite de detección de 0,2 mg/l en comparación a los 0,5 mg/l de ALS. Además, para evitar problemas de escala a la serie de alcalinidad carbonato se le sacó el dato de julio y octubre de 2007 correspondientes 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 5-145: Resultados de análisis físico-químico del pozo Allana (continuación)¹²



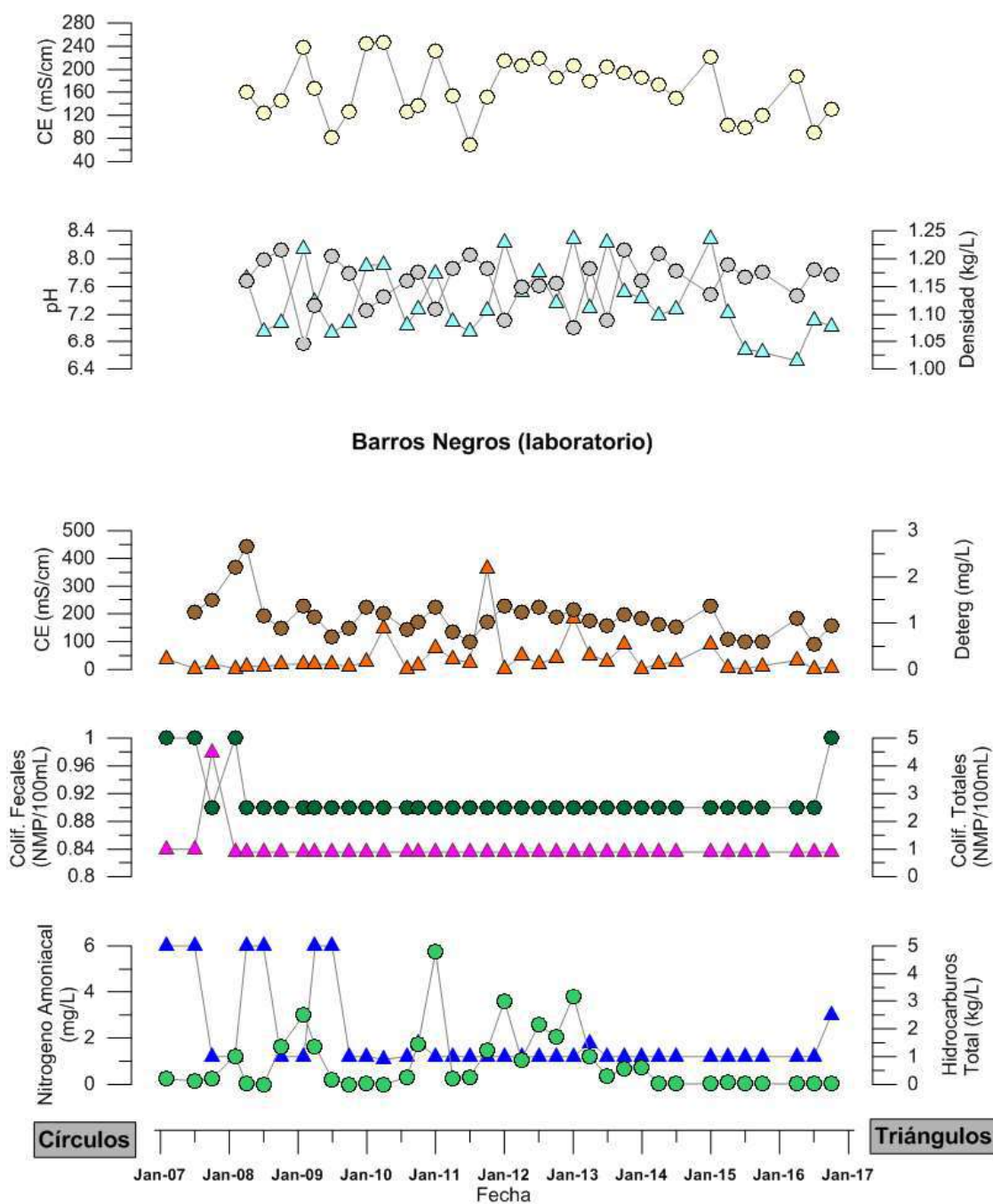
¹² Para evitar problemas de escala, a la serie de Zinc Total se le sacó el dato de febrero, abril y julio de 2008 correspondientes a 6,96; 4,4 y 11,3 mg/L respectivamente.

Figura 5-146: Resultados de análisis físico-químico Laguna Chaxa
Chaxa (terreno)



Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-147: Resultados de análisis físico-químico Laguna Barros Negros
Barros Negros (terreno)



Fuente: Elaboración propia.

5.2.1.8.2 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 5-148: Resultados de análisis físico-químico CONAF de la Laguna Chaxa

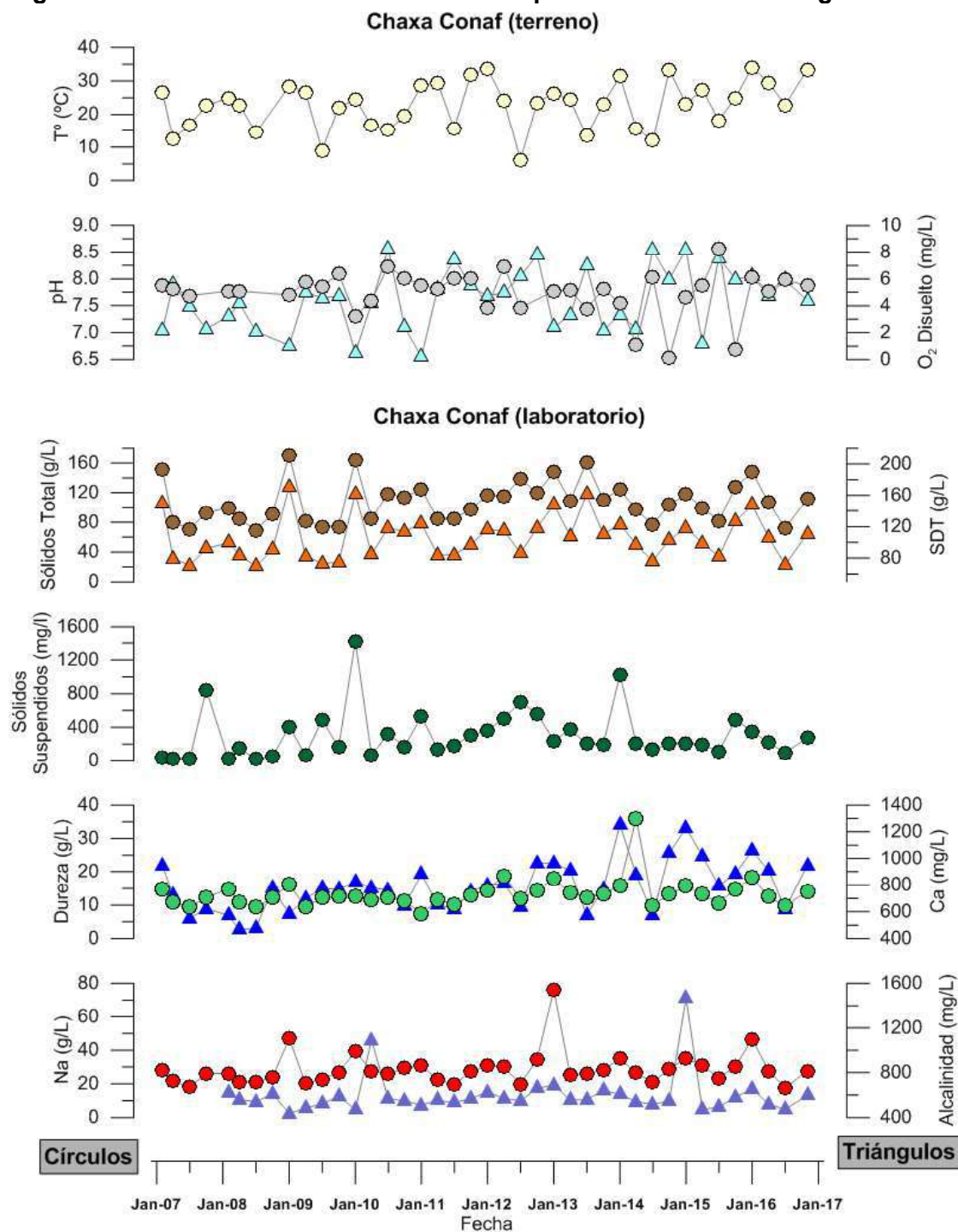
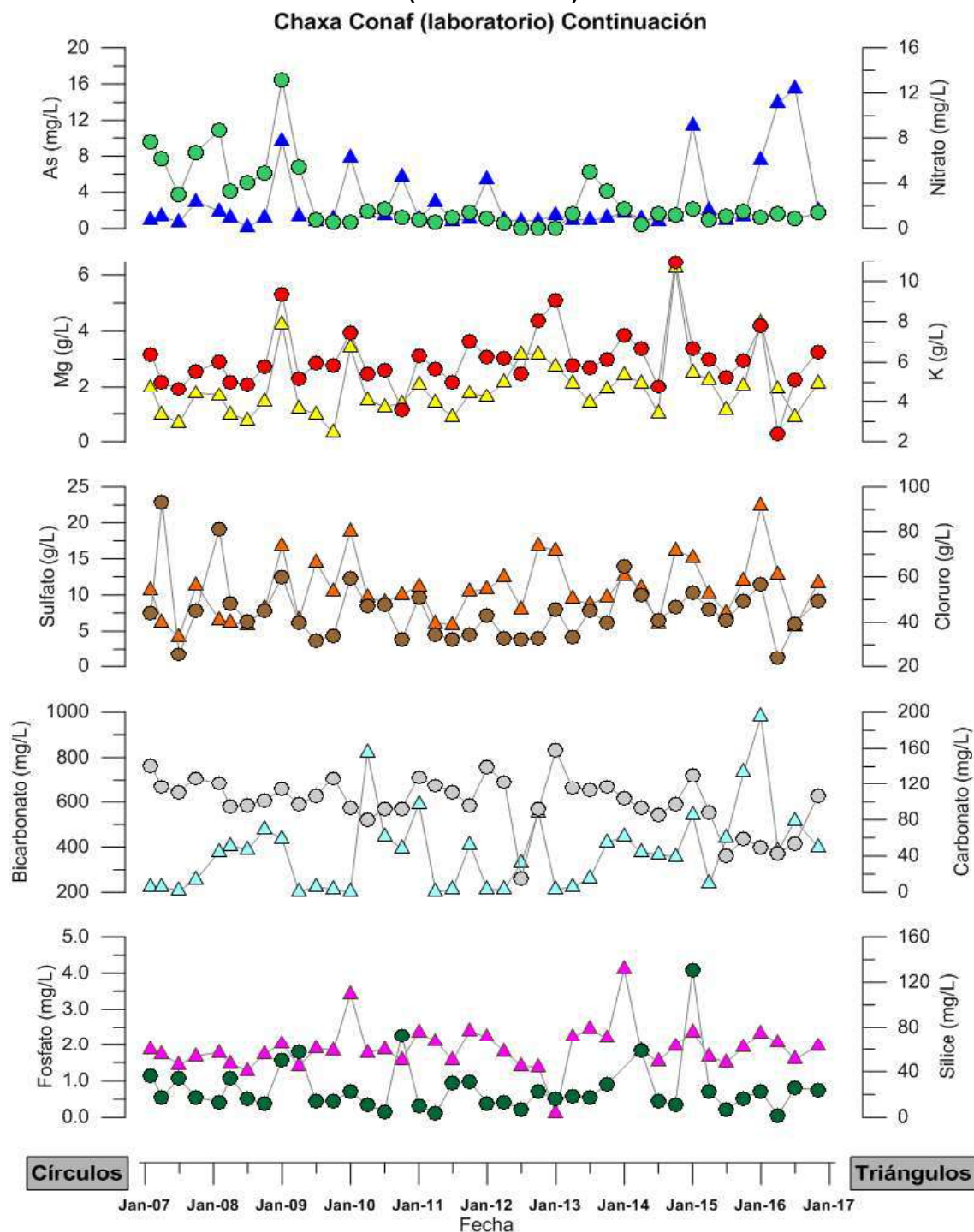


Figura 5-149: Resultados de análisis físico-químico CONAF de la Laguna Chaxa (continuación)



Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-150: Resultados de análisis físico-químico CONAF Burro Muerto

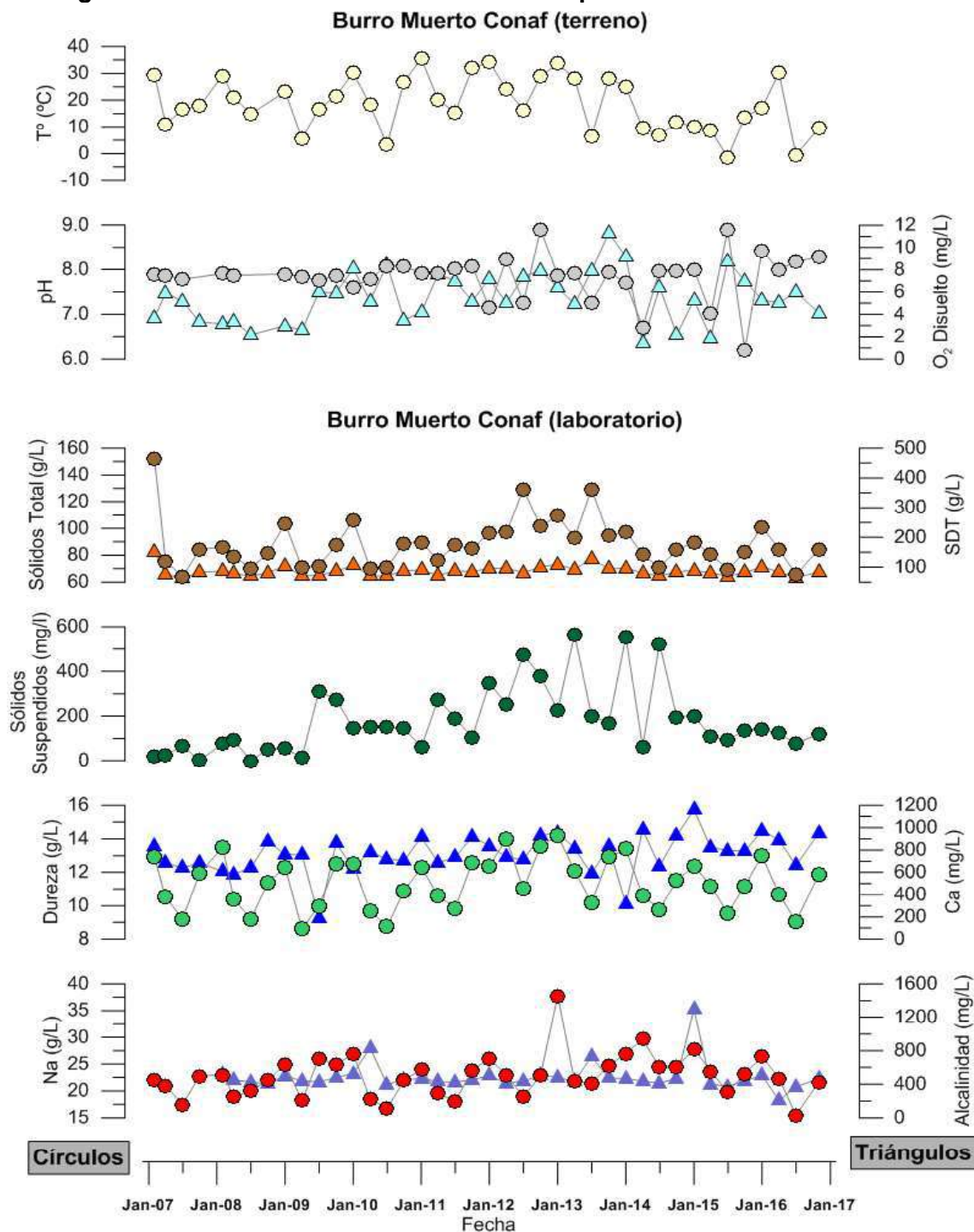
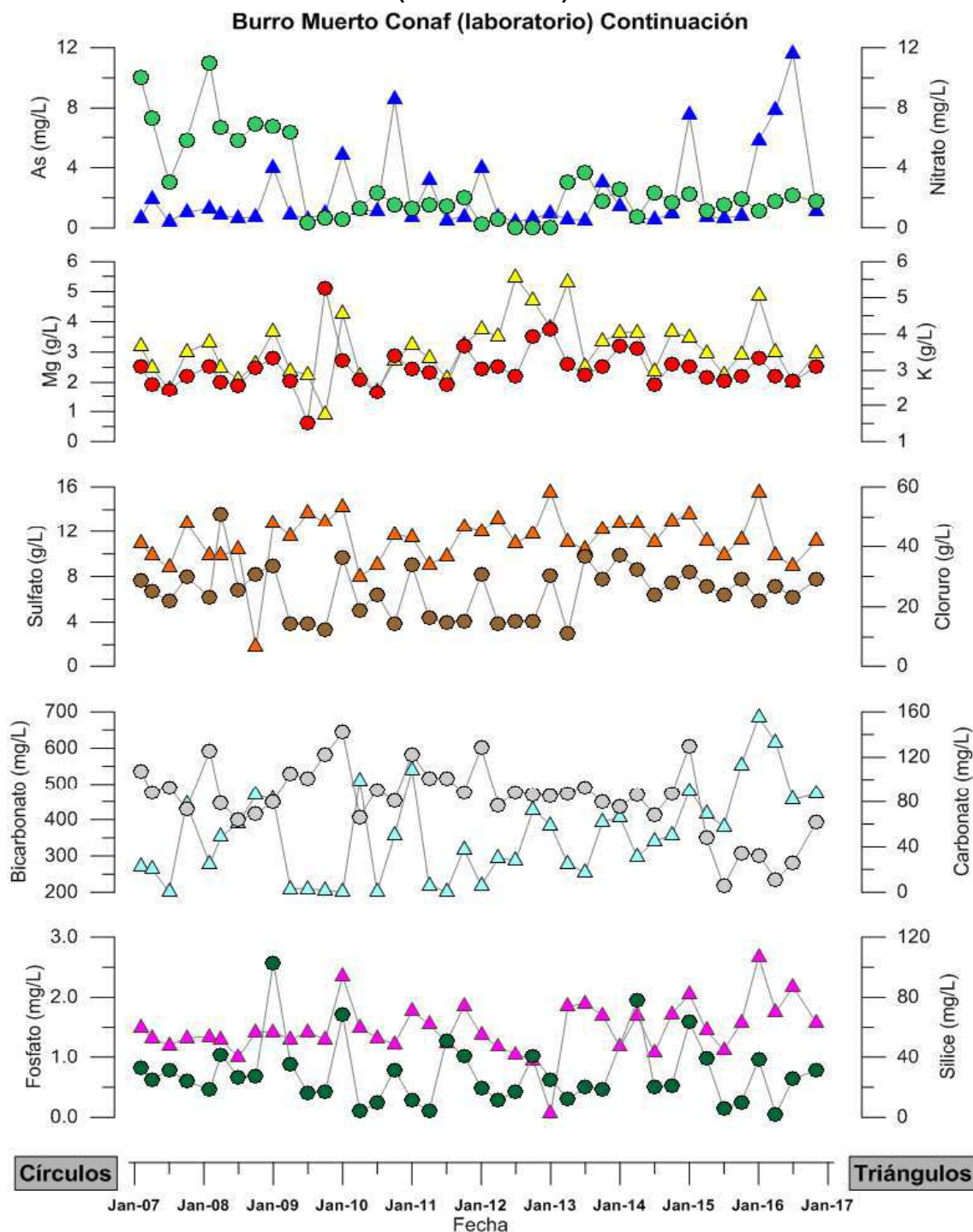


Figura 5-151: Resultados de análisis físico-químico CONAF Burro Muerto (continuación)¹³



Fuente: Elaboración propia.

¹³ 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 5-152: Resultados de análisis físico-químico CONAF Barros Negros

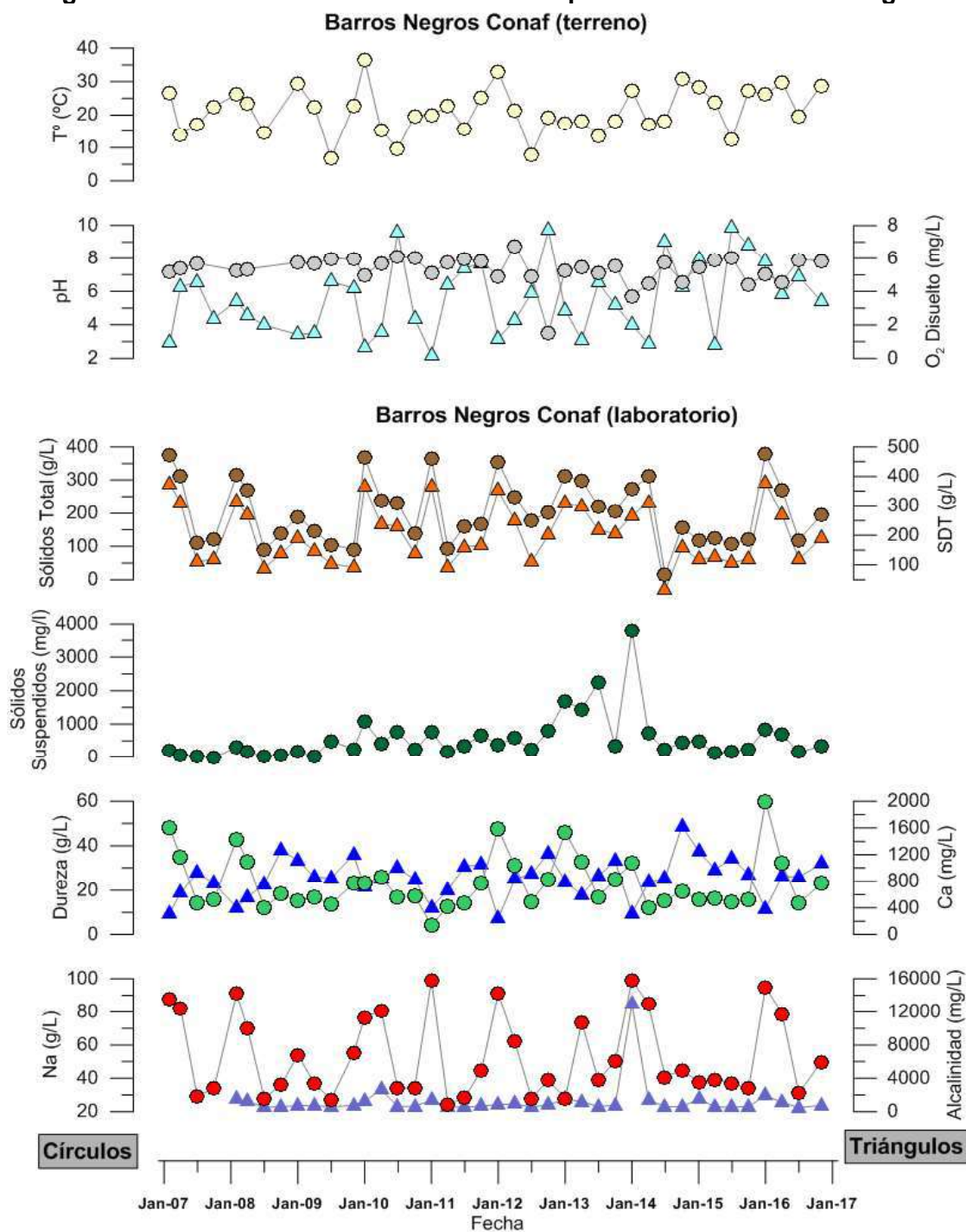
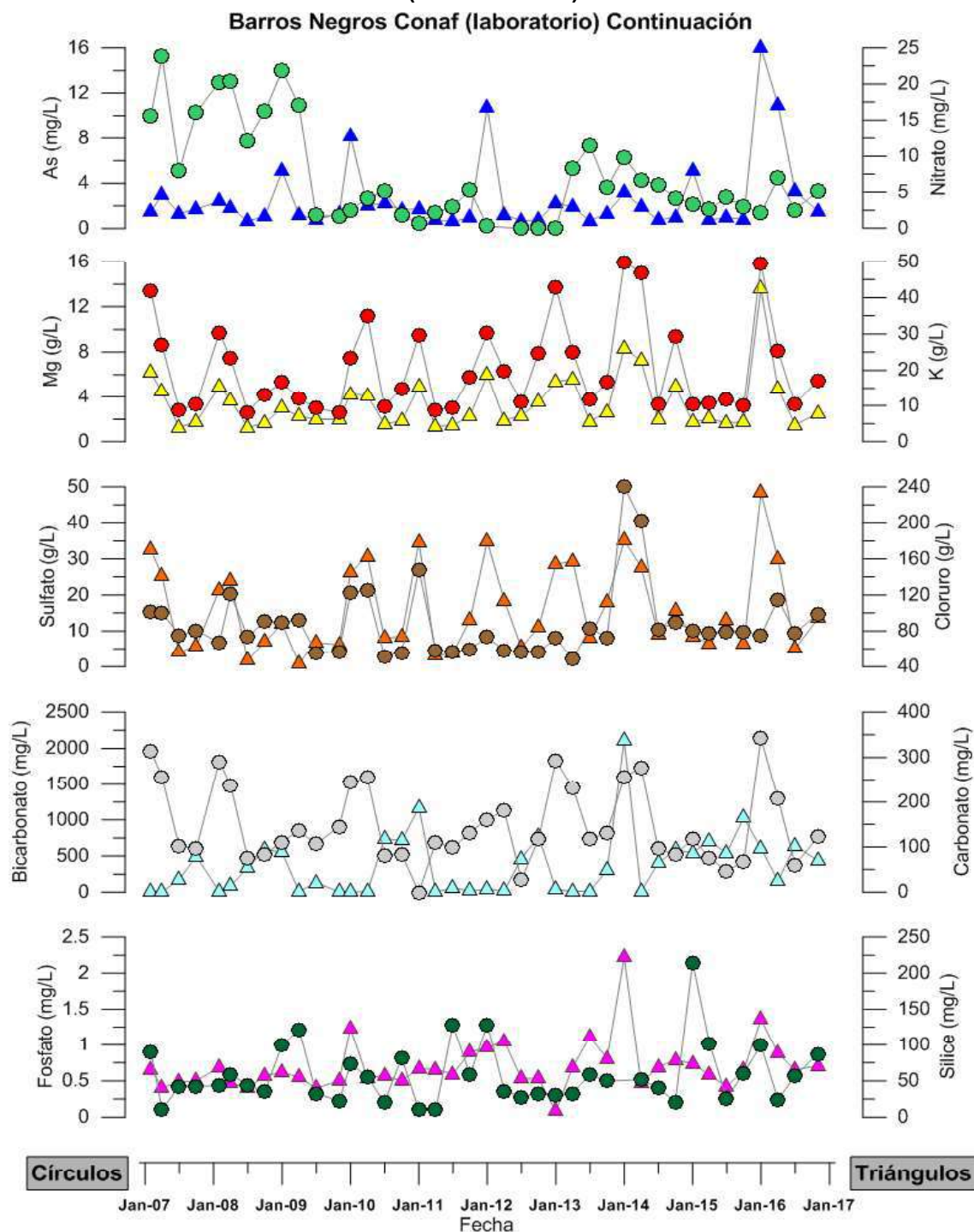


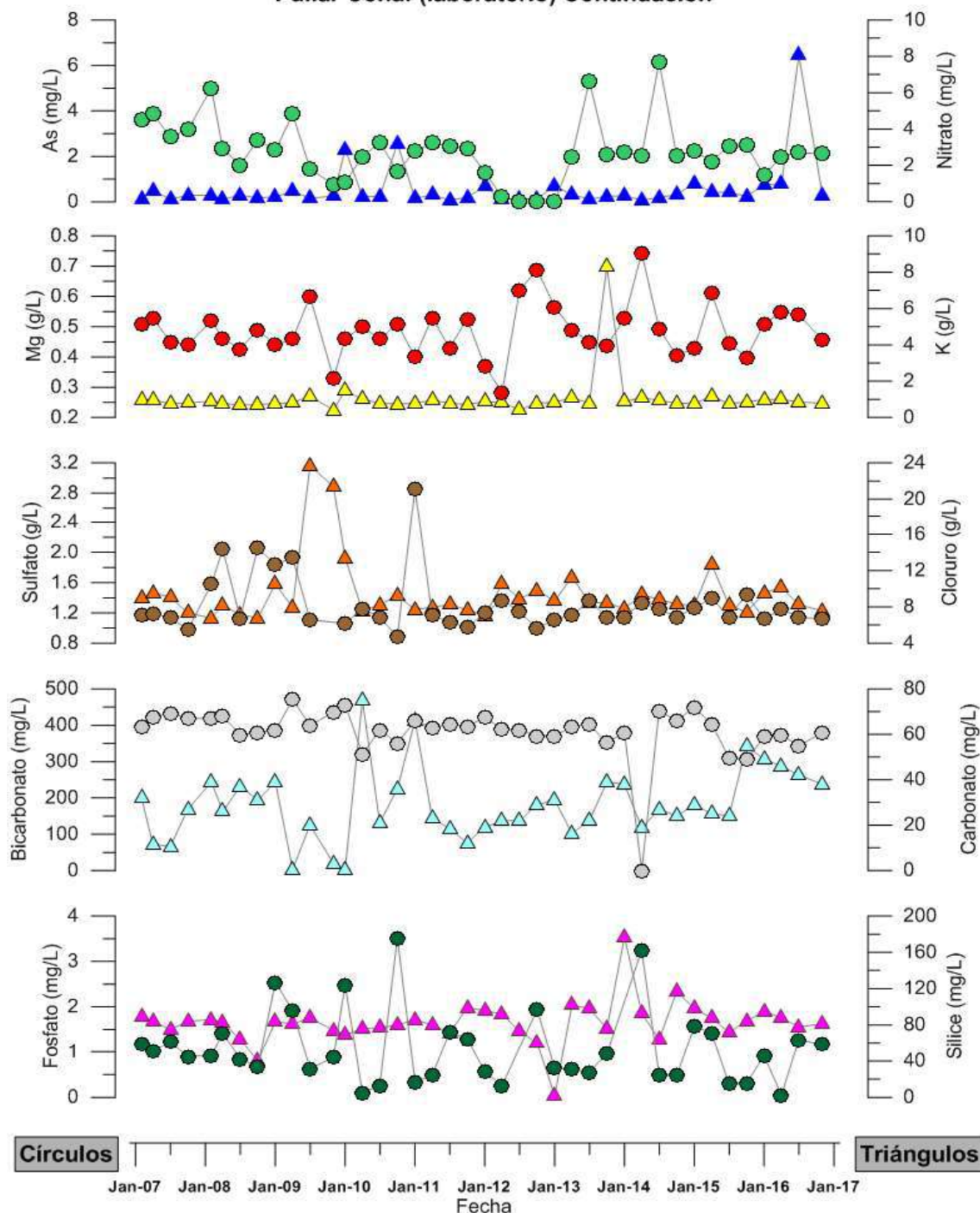
Figura 5-153: Resultados de análisis físico-químico CONAF Barros Negros (continuación)



Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-154: Resultados de análisis físico-químico CONAF Laguna Puilar¹⁴

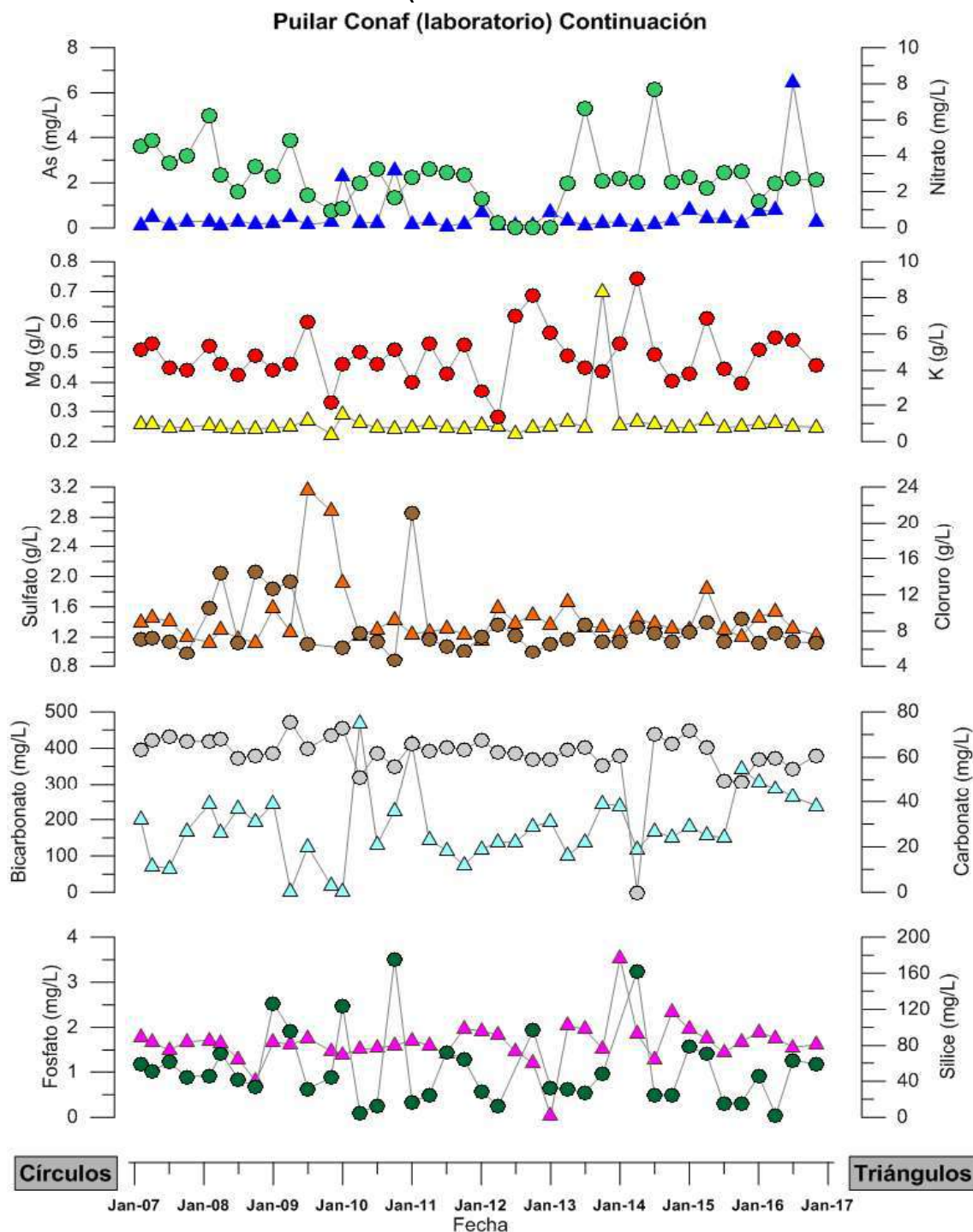
Puilar Conaf (laboratorio) Continuación



Fuente: Elaboración propia.

¹⁴ Para evitar problemas de escala a la serie de dureza se extrajo el dato de enero de 2009 correspondiente a un valor de 38 g/L.

Figura 5-155: Resultados de análisis físico-químico CONAF Laguna Puilar¹⁵ (continuación.



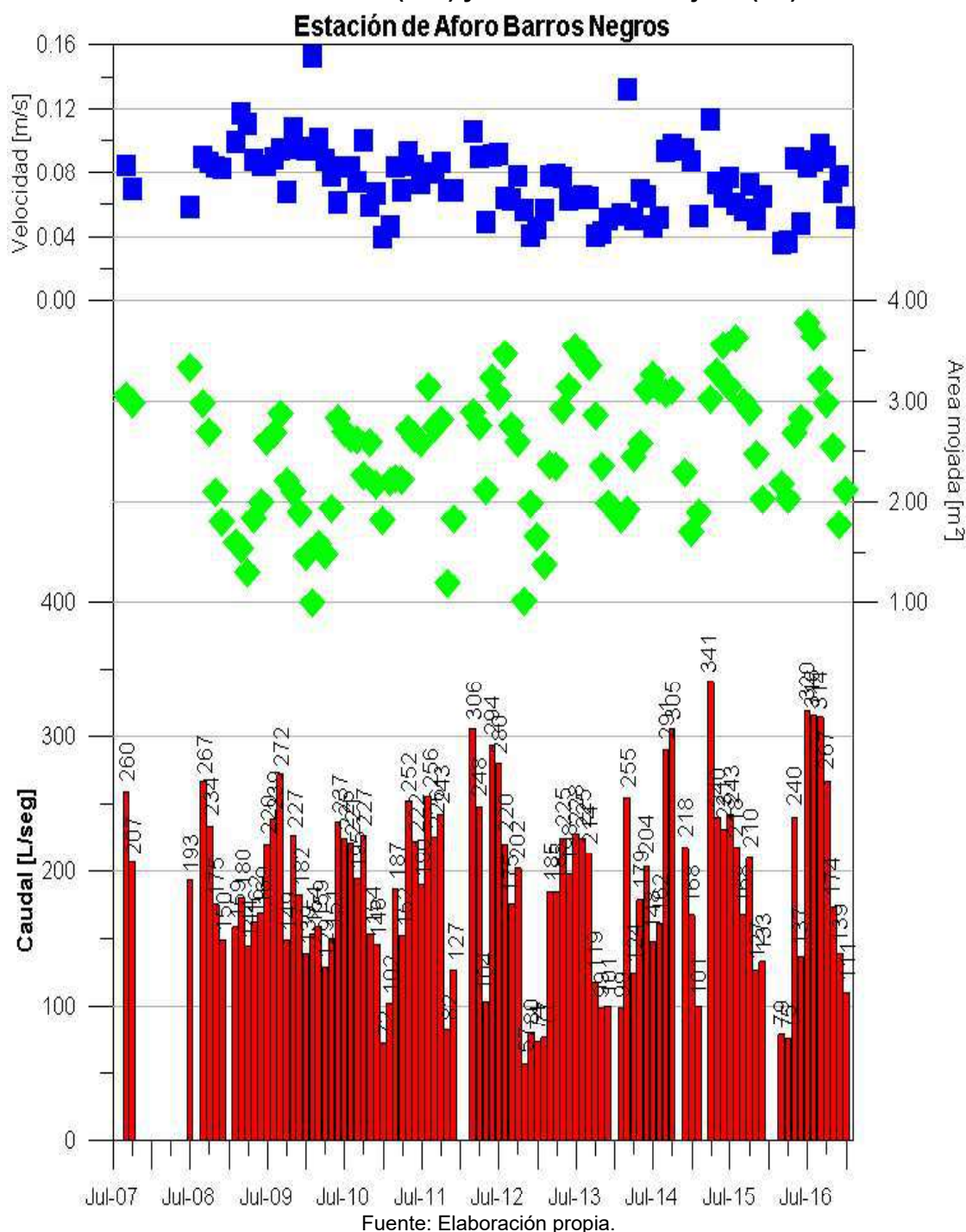
Fuente: Elaboración propia.

¹⁵ 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.

5.2.1.9 Aforos

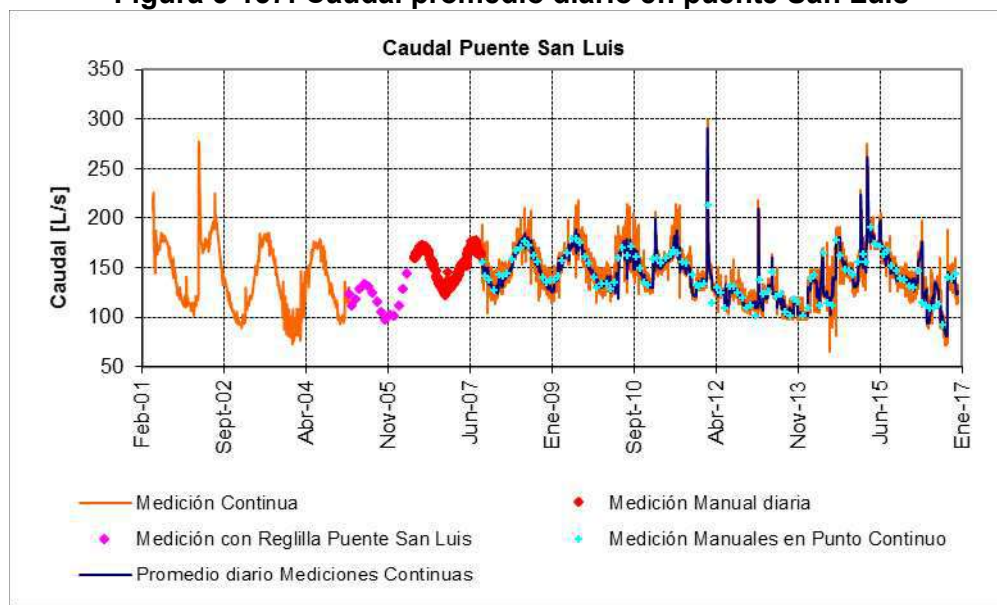
En esta sección se presentan las mediciones de caudal en el aforo de la laguna Barros Negros (Figura 5-156) y el aforo en el puente San Luis (Figura 5-157).

Figura 5-156: Aforo Barros Negros. En barra roja caudal aforado por método manual, en azul velocidad (m/s) y en verde área mojada (m²)



La Figura 5-157 presenta el caudal monitoreado en el puente San Luis. En ella se observan los registros continuos (línea naranja), el promedio diario de mediciones continuas (línea azul), las mediciones manuales en el punto de medición continua (punto celeste), las mediciones manuales diarias (punto rojo) y cálculo de caudales según la reglilla Puente San Luis (punto magenta). Esta estación se ubica aguas arriba de la laguna Chaxa.

Figura 5-157: Caudal promedio diario en puente San Luis



Fuente: Elaboración propia.

5.2.1.10 Superficie Lacustre

En la Figura 5-158 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 5-8 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 con frecuencia anual, ya que a través de la Resolución Exenta 244/2010, se estableció que las mediciones de topografía se realizarán cada 5 años siendo la última medición la que se realizó en abril 2015. La metodología aprobada formalmente por la autoridad para realizar la medición es a través de imagen satelital, la que se realiza anualmente en abril. En la Figura 5-159 se grafican los resultados obtenidos a través del método de imágenes satelitales para cada una de las lagunas desde 2009 a 2016.

Figura 5-158: Evolución de Superficie lacustre sistema Soncor medida por CONAF (Medición a través de estacas perimetrales)



Fuente: Elaboración propia



Tabla 5-8: Medición de superficies lacustres medidas desde abril de 2008 a abril de 2016

SISTEMA LACUSTRE	LAGUNA	Superficie (m2) – 2008			Superficie (m2) -2009			Superficie (m2) - 2010			Superficie (m2)-2011	Superficie (m2) -2012	Superficie (m2)-2013	Superficie (m2)-2014	Superficie (m2) – 2015			Superficie (m2) - 2016
		Topografía	Imagen satelital	Dif. (%)	Topografía	Imagen satelital	Dif. (%)	Topografía	Imagen satelital	Dif. (%)	Imagen satelital	Imagen satelital	Imagen Satelital	Imagen Satelital	Topografía	Imagen Satelital	Dif. (%)	Imagen Satelital
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	1.051.449
	Barros Negros (áreas aledañas)	-	-	-	-	-	-	173.986	154.7372	12,4	242.137	241.942	192.643	193.848	389.896	263.359	32,5	131.257
	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	291.397
	Pullar3	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	17,4	67.151

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 calculadas 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 límites históricos, corresponderían a 68.977 m² y 70.236 m² respectivamente. La variación entre metodología sería a 1.8%

Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-159: Evolución de la superficie lacustre sistema Soncor medida a través de imágenes satelitales



Fuente: Elaboración propia.

5.2.2 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 5-160 se muestra la distribución geográfica de los puntos de monitoreo y en la Tabla 5-9 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 5-9: Puntos de monitoreo del sistema Aguas de Quelana

Punto de Monitoreo	Clasificación	Tipología	Pág.
L3-2	Zona aluvial	Pozo profundo	170
L4-3	Zona aluvial	Pozo somero	170
L4-4	Zona aluvial	Pozo somero	171
L5-1	Zona aluvial	Pozo profundo	171
L5-2	Zona aluvial	Pozo profundo	172
GD-02	Zona marginal	Pozo profundo	173
L3-3	Zona marginal	Pozo somero	173
L3-8	Zona marginal	Pozo somero	173
L3-11	Zona marginal	Pozo somero	174
L3-12	Zona marginal	Pozo somero	174
L3-14	Zona marginal	Pozo somero	175
L4-5	Zona marginal	Pozo somero	175
L4-11	Zona marginal	Pozo somero	176
L4-14	Zona marginal	Pozo somero	176
L4-15	Zona marginal	Pozo somero	177
L5-9	Zona marginal	Pozo somero	177
L5-11	Zona marginal	Pozo somero	178
L5-12	Zona marginal	Pozo somero	178
L5-13	Zona marginal	Pozo somero	179
L5-15	Zona marginal	Pozo somero	179
L13-5	Zona marginal	Pozo somero	180
L13-6	Zona marginal	Pozo somero	180
L13-7	Zona marginal	Pozo somero	181
L14-1	Zona marginal	Pozo somero	181
L14-2	Zona marginal	Pozo somero	182
L14-3	Zona marginal	Pozo somero	182
L14-5	Zona marginal	Pozo somero	183
L14-6	Zona marginal	Pozo somero	183
L14-7	Zona marginal	Pozo somero	184
L5-G3	Zona marginal	Reglilla	185
L4-10	Zona marginal	Reglilla	186
L3-5	Zona marginal	Continuo	187

Punto de Monitoreo	Clasificación	Tipología	Pág.
L3-6	Zona marginal	Continuo	187
L3-7	Zona marginal	Continuo	188
L3-9	Zona marginal	Continuo	188
L3-10	Zona marginal	Continuo	189
L3-13	Zona marginal	Continuo	189
L4-7	Zona marginal	Continuo	190
L4-8	Zona marginal	Continuo	190
L4-9	Zona marginal	Continuo	191
L4-12	Zona marginal	Continuo	191
L4-13	Zona marginal	Continuo	192
L5-3	Zona marginal	Continuo	192
L5-6	Zona marginal	Continuo	193
L5-7	Zona marginal	Continuo	193
L5-8	Zona marginal	Continuo	194
L5-10	Zona marginal	Continuo	194
L5-14	Zona marginal	Continuo	195
L13-1	Zona marginal	Continuo	195
L13-2	Zona marginal	Continuo	196
L13-3	Zona marginal	Continuo	196
L13-4	Zona marginal	Continuo	197
L14-4	Zona marginal	Continuo	197
D2	Salmuera	Pozo profundo	198
L3-4 (SOPM -08)	Salmuera	Pozo profundo	198
L4-6	Salmuera	Pozo profundo	199
L4-16	Salmuera	Pozo somero	199
L5-4	Salmuera	Pozo profundo	200
SOPM -09	Salmuera	Pozo profundo	200
Camar 2	Zona aluvial	Pozo profundo	201
Socaire 5B	Zona aluvial	Pozo profundo	201
Camar 2	Zona Aluvial	Pozo de bombeo	202
Socaire 5B	Zona Aluvial	Pozo de Bombeo	202

Fuente: Elaboración propia.

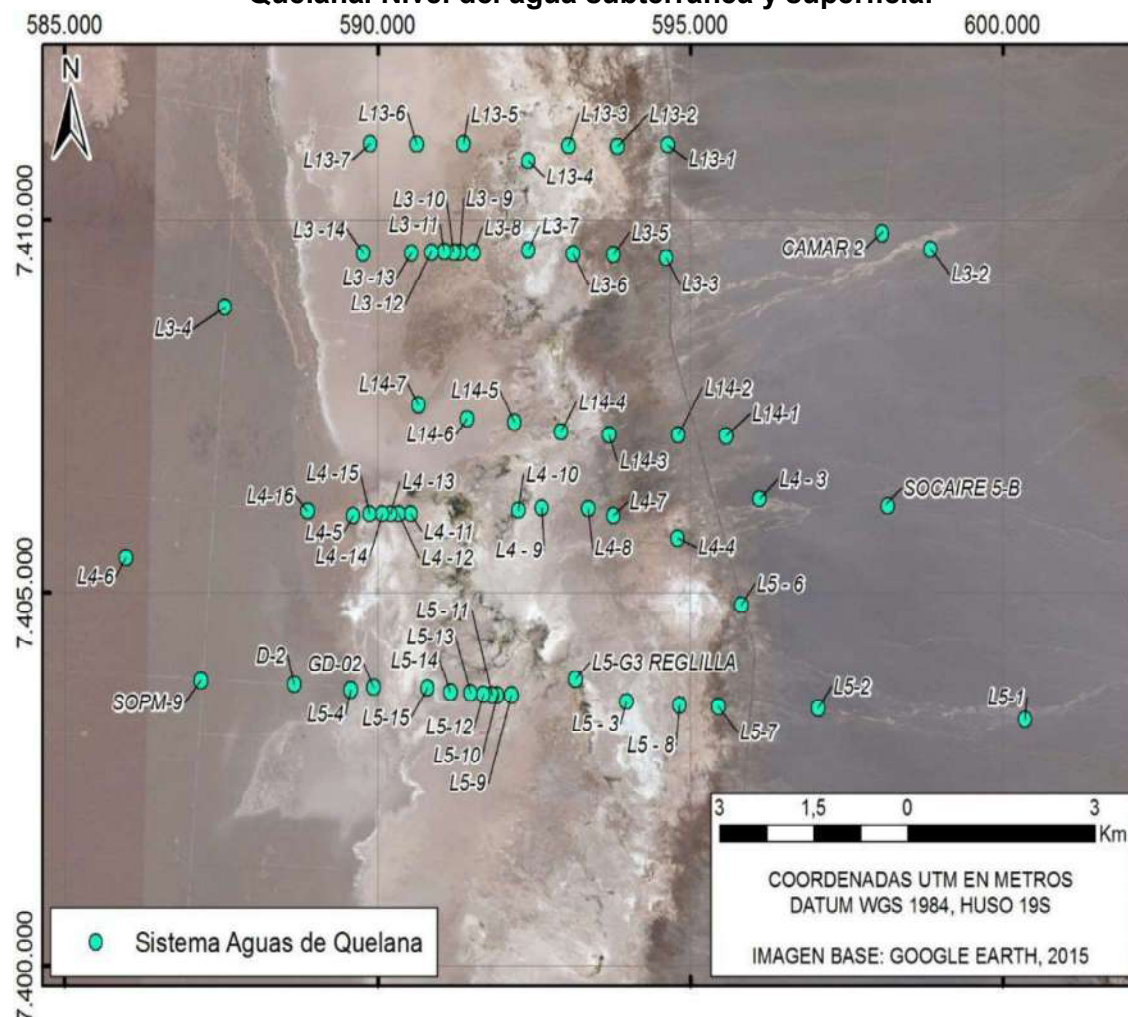
5.2.2.1 Nivel del agua subterránea y superficial

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 5-162, Figura 5-167, Figura 5-192, Figura 5-191 respectivamente) son parte del monitoreo de niveles de los sistemas Aguas de Quelana y Vegetación Bordo Este, pero serán presentados sólo en esta sección. El pozo L3-4, también denominado SOPM-8 (Figura 5-215), 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 visitas y validaciones (diciembre 2016) en este sistema en los pozos L4-3, L4-4, L5-1, L5-2, L3-8, L3-11, L3-12, L3-14, L4-11, L4-14, L4-15, L5-9, L5-12, L5-13, L5-15, L14-1, L14-2, L14-3, L14-6, L14-7, L3-6, L3-9, L4-12, L4-13, L5-6, L5-7, L5-14, L13-1, L3-4, L4-16 y L5-4.

Figura 5-160: Distribución geográfica de puntos de monitoreo del sistema Aguas de Quelana. Nivel del agua subterránea y superficial



Fuente: Elaboración propia.

5.2.2.1.1 Pozos en zona aluvial

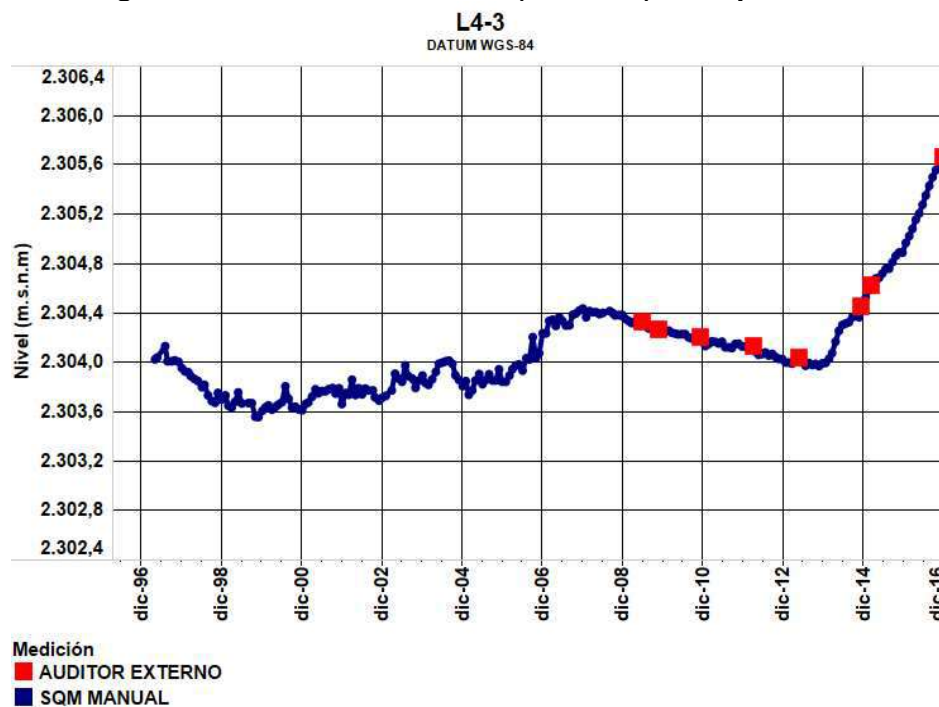
Los pozos L3-2, L4-3, L4-4, L5-1 y L5-2 presentados de la a la corresponden a pozos de la zona aluvial que se encuentran en un acuífero de agua dulce.

Figura 5-161: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L3-2



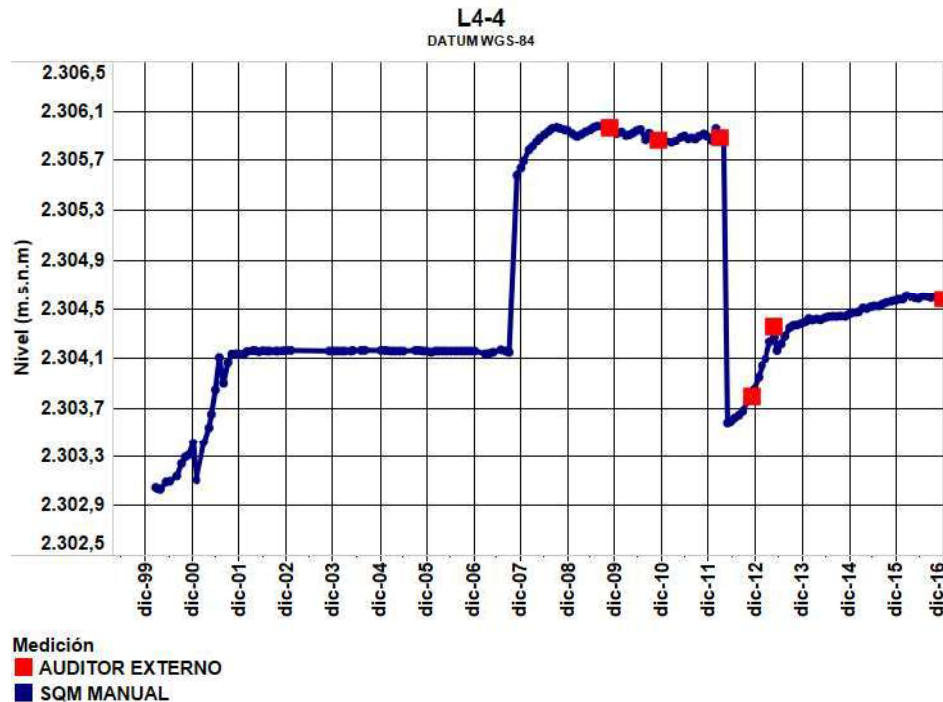
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-162: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L4-3



Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-163: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L4-4



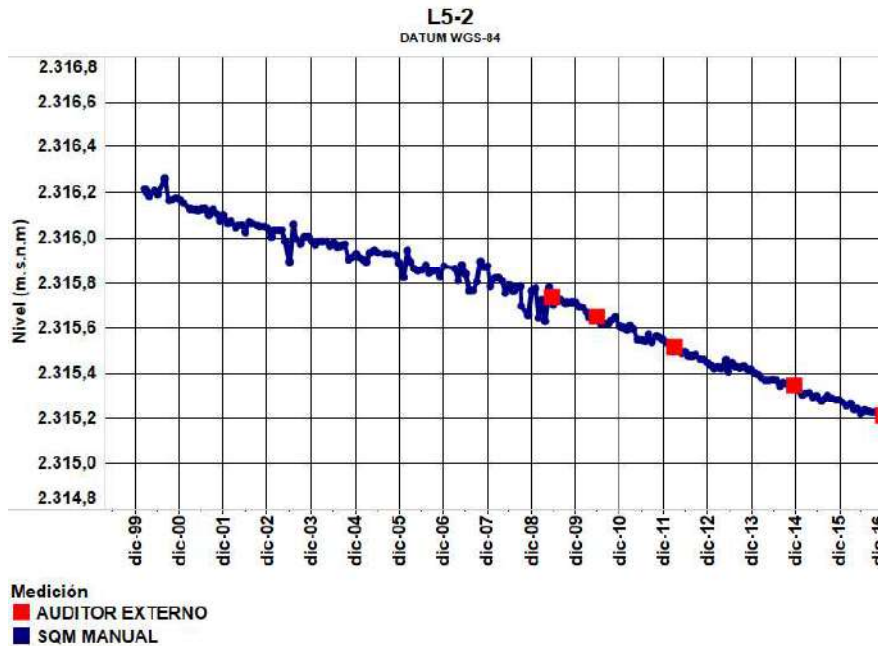
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-164: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L5-1



Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-165: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L5-2

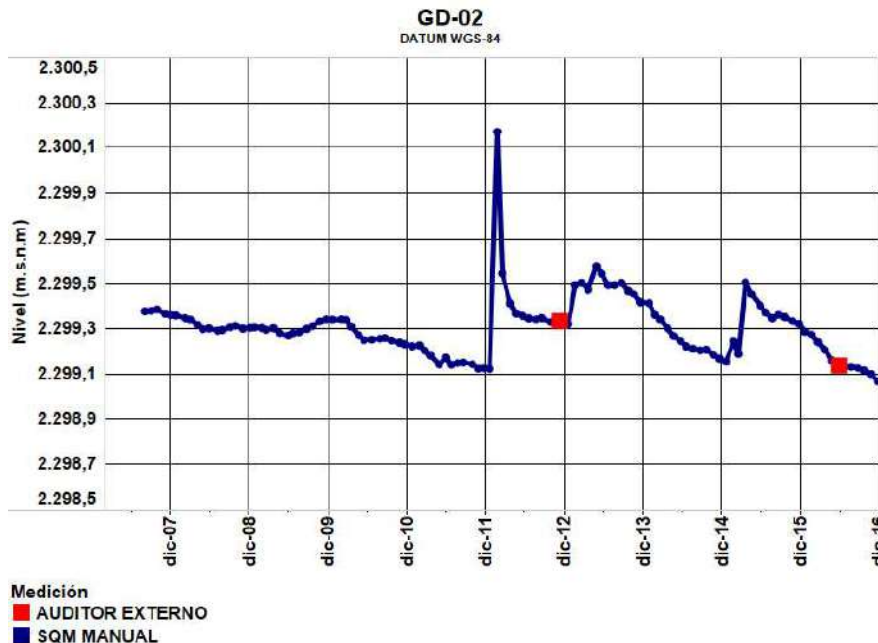


Fuente: Elaboración propia.

5.2.2.1.2 Pozos en zona marginal

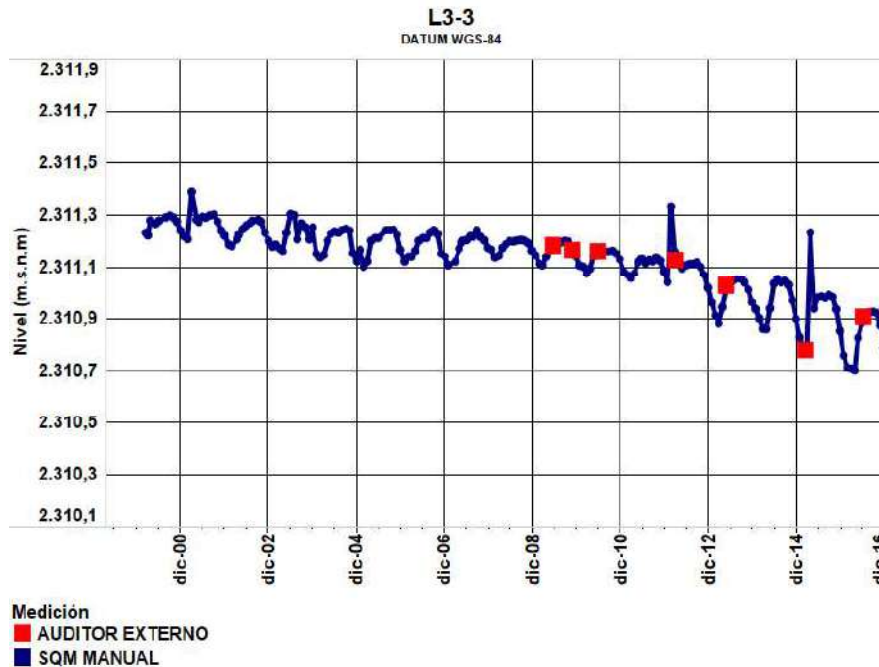
Desde la Figura 5-166 a la Figura 5-189 se presentan los pozos del Sistema Aguas de Quelana ubicados en la zona marginal. Cabe destacar los pozos L3-3 y L4-5 son los únicos pozos en la zona marginal con datos anteriores a 2007.

Figura 5-166: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo GD-02



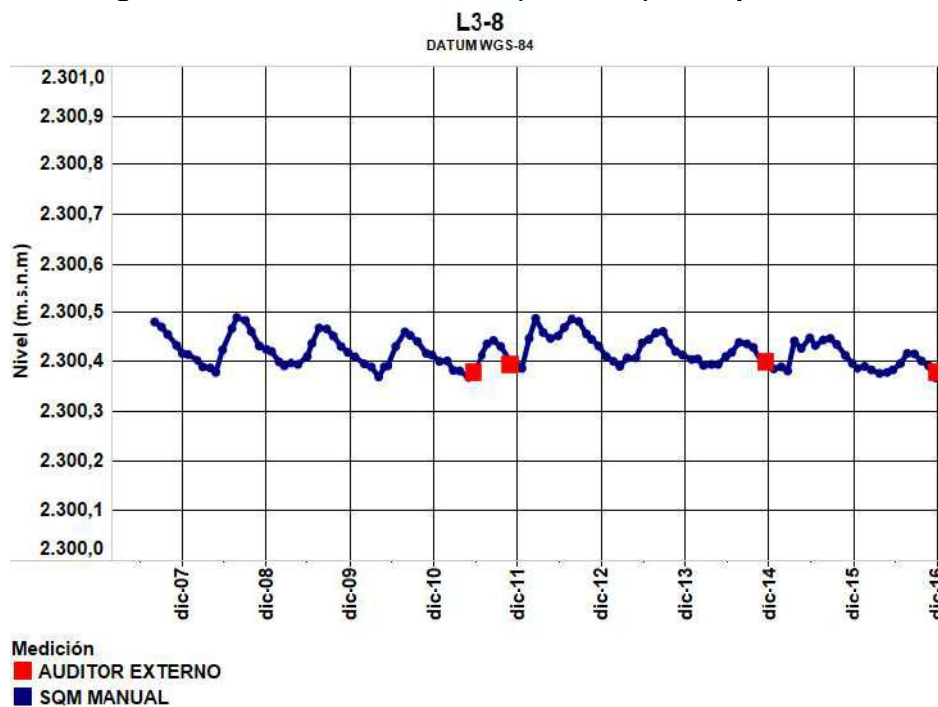
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-167: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L3-3



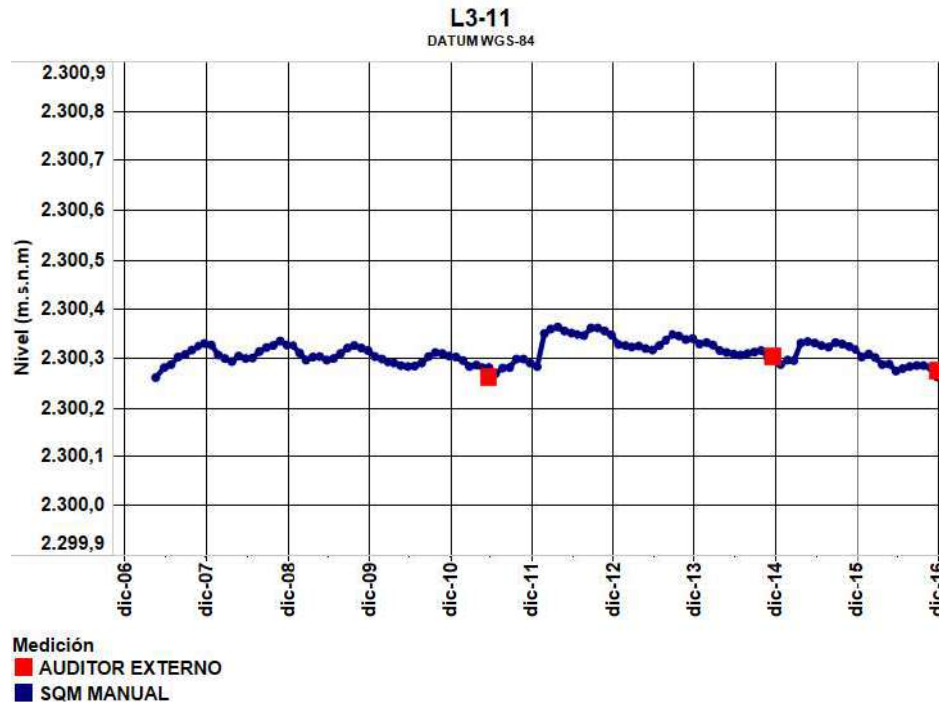
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-168: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L3-8



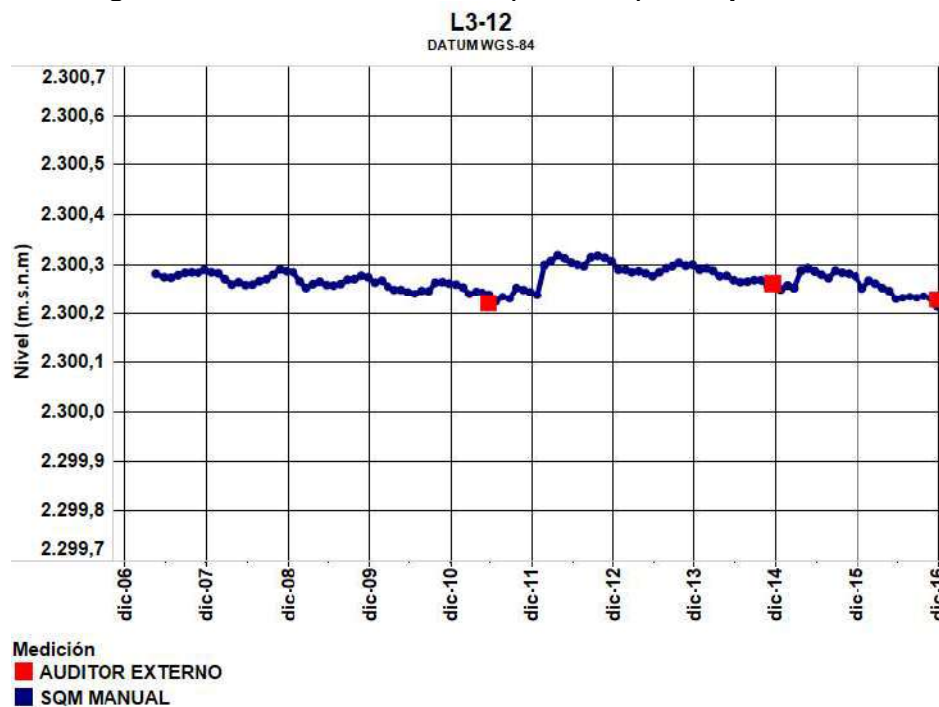
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-169: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L3-11



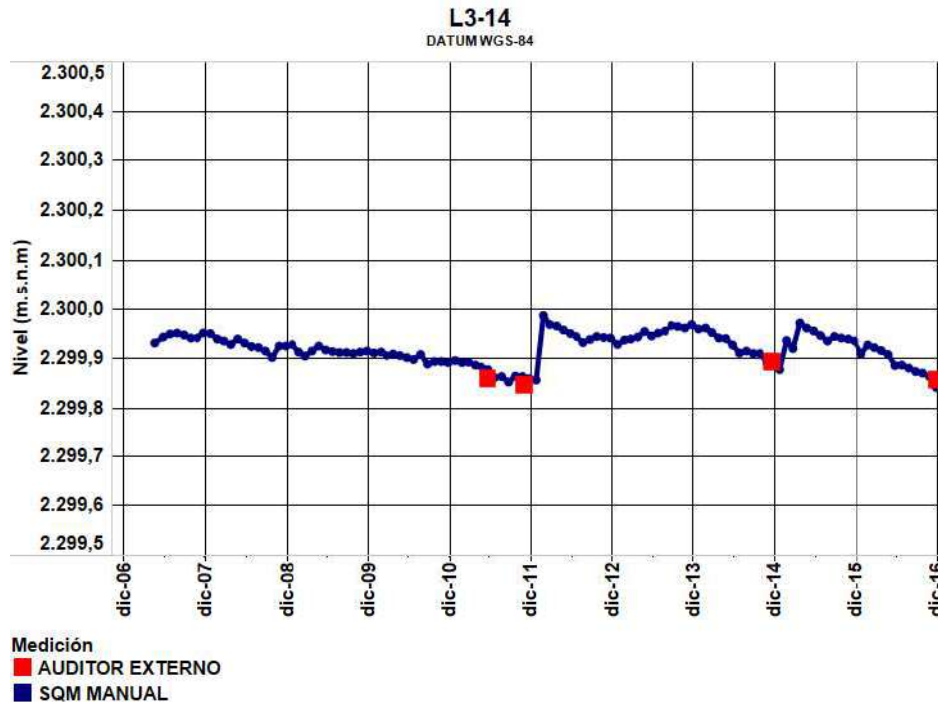
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-170: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L3-12



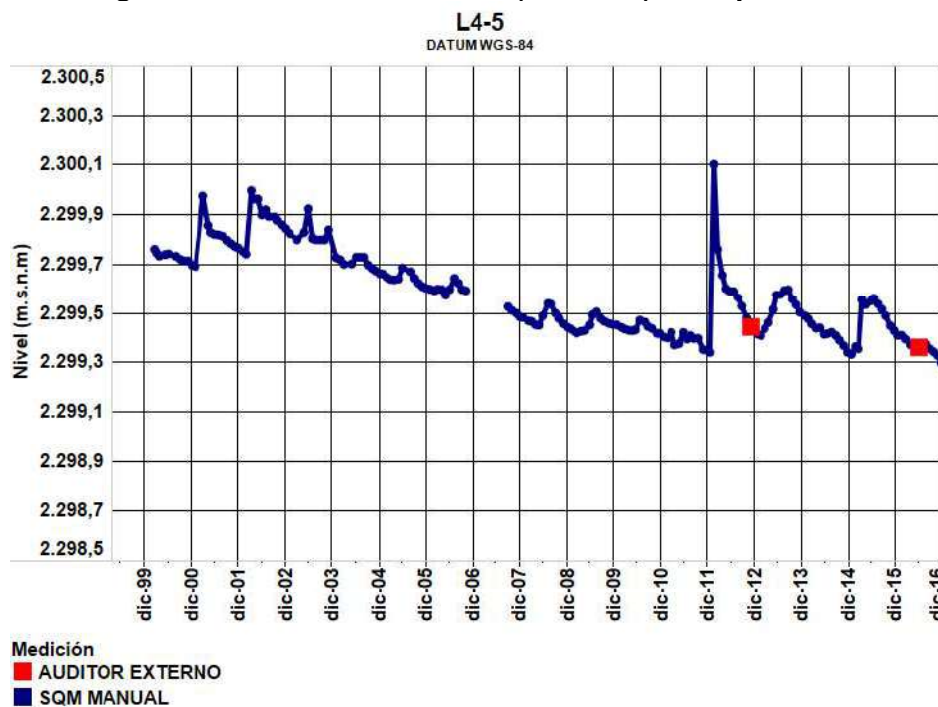
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-171: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L3-14.



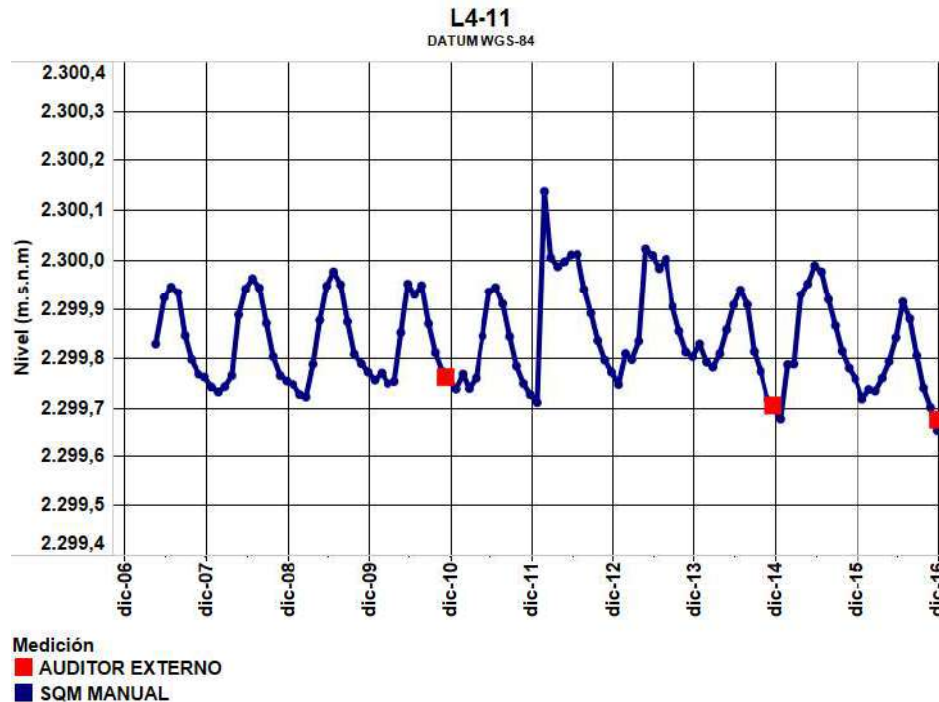
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-172: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L4-5



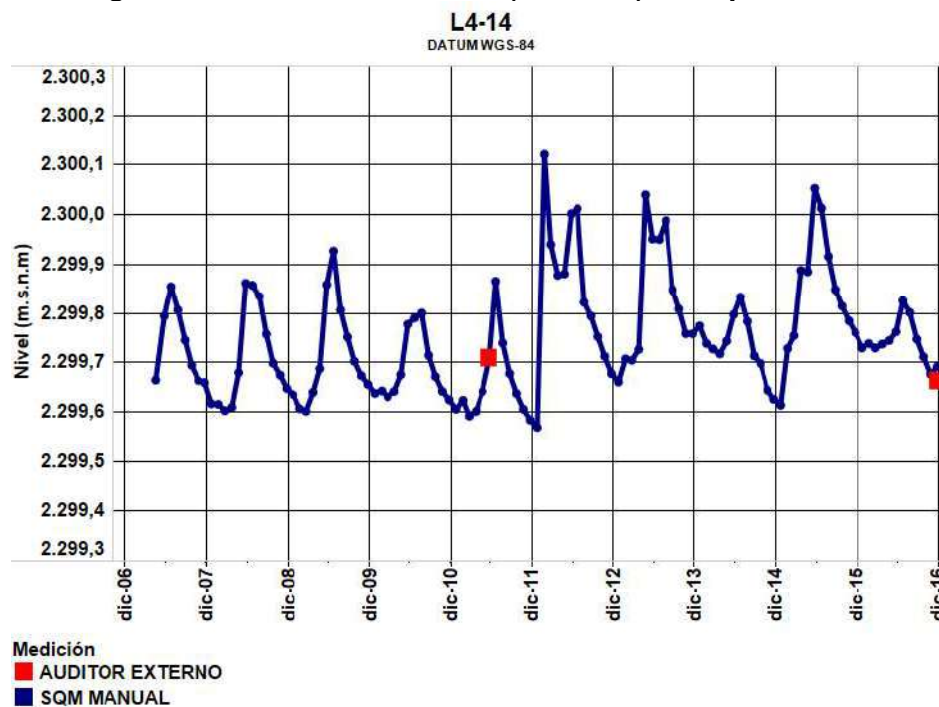
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-173: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L4-11



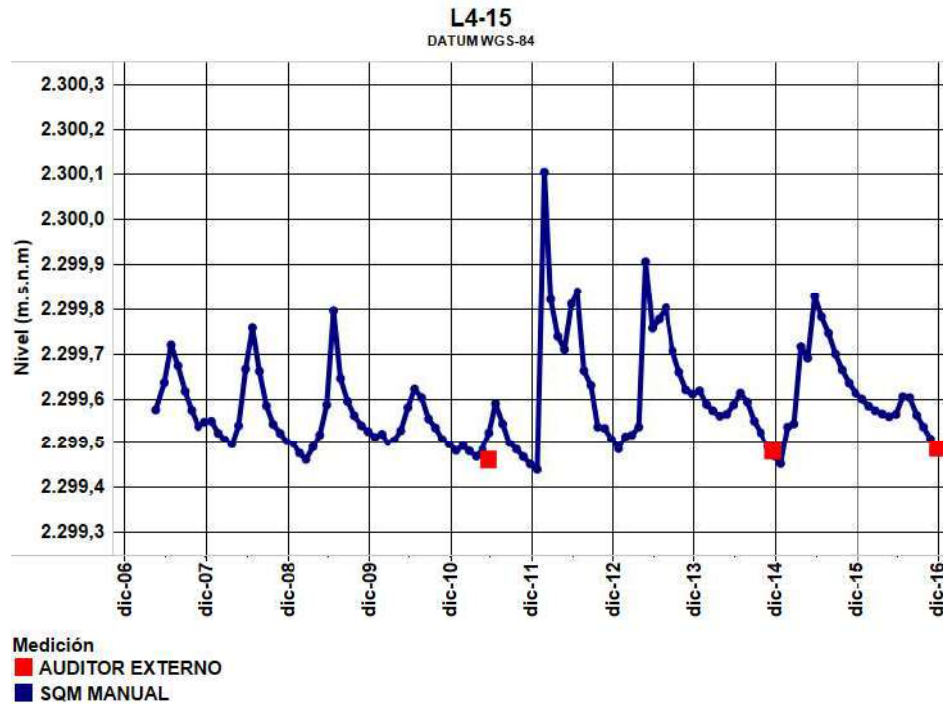
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-174: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L4-14



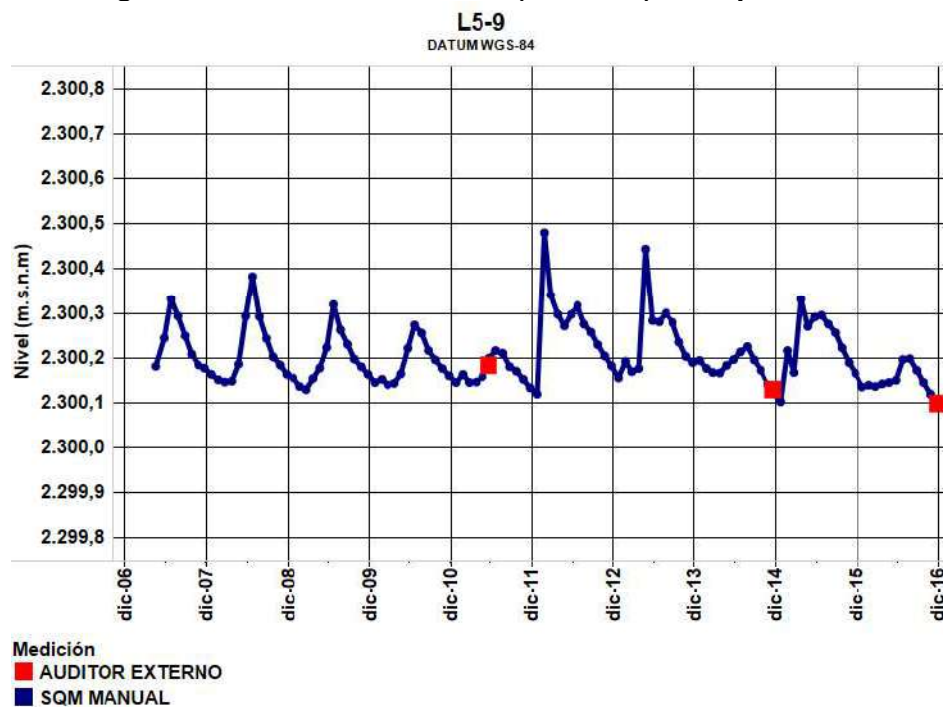
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-175: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L4-15



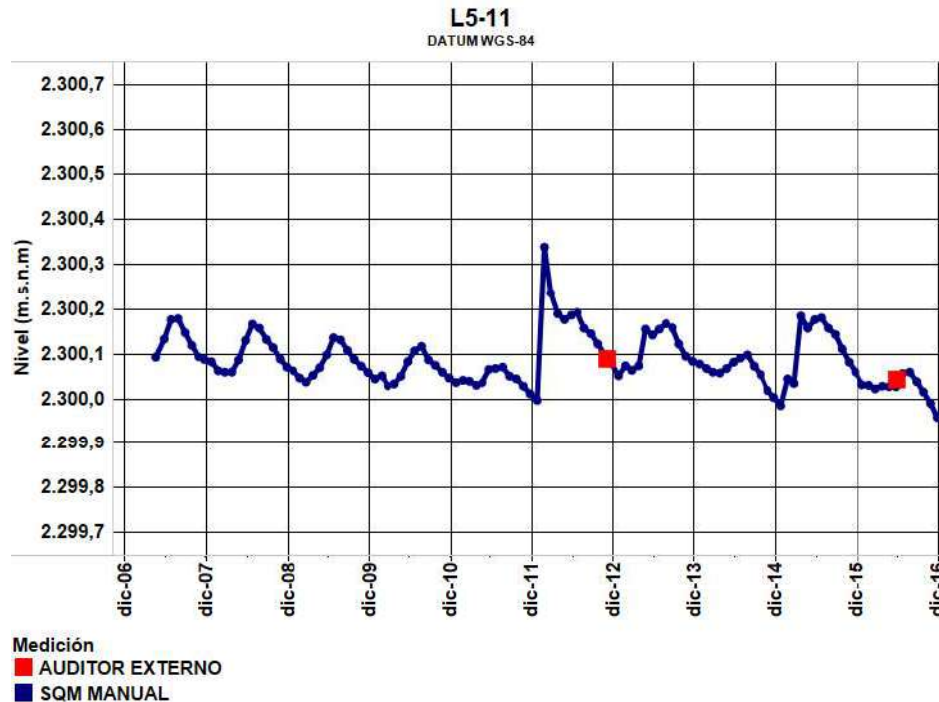
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-176: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L5-9



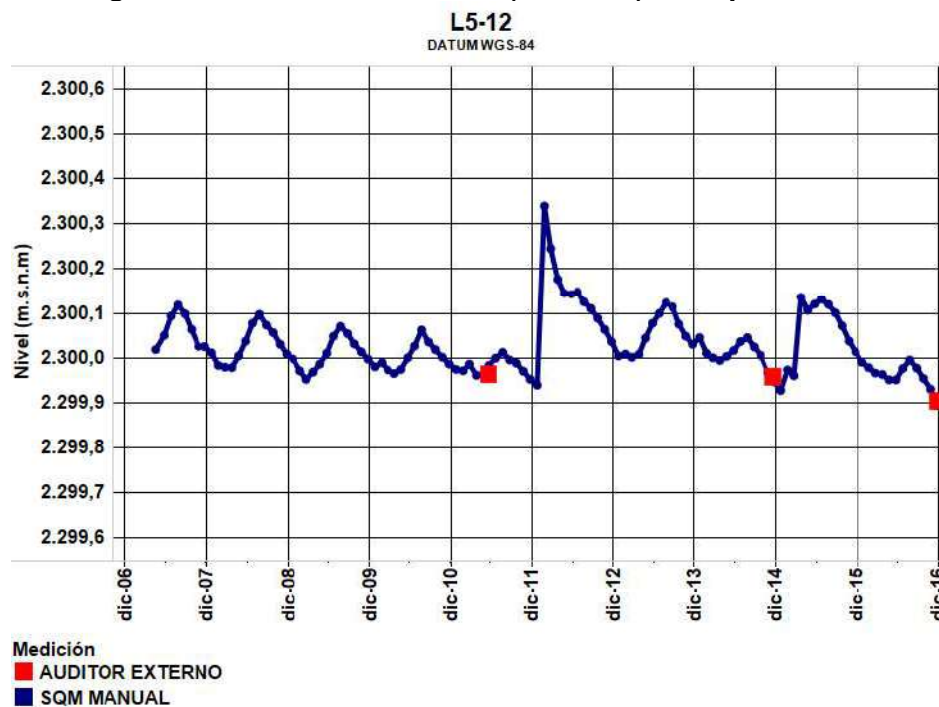
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-177: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L5-11



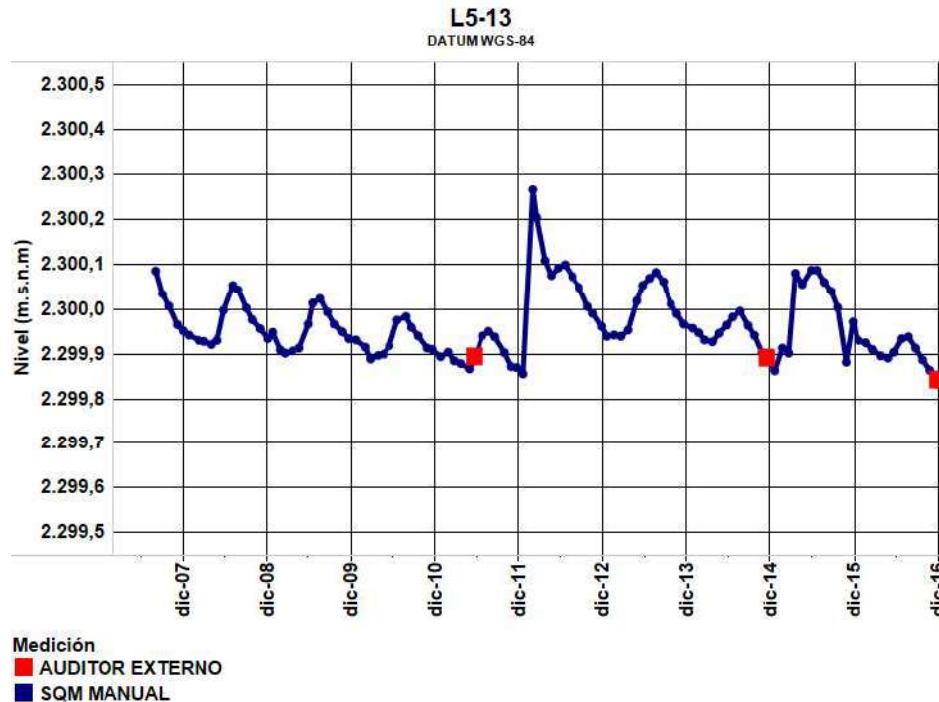
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-178: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L5-12



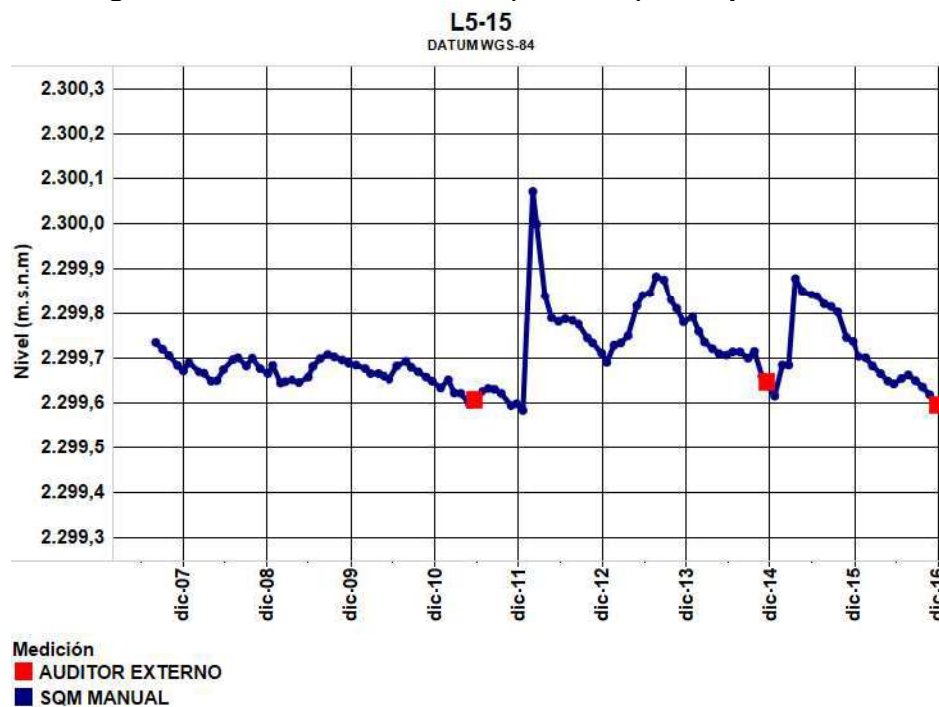
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-179: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L5-13



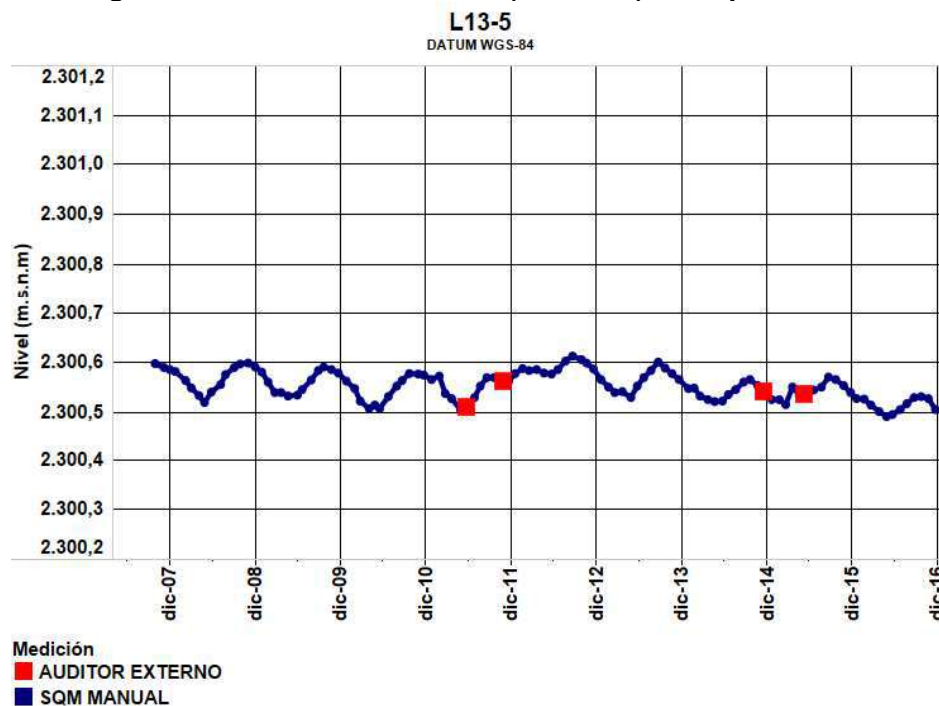
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-180: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L5-15



Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-181: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L13-5



Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-182: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L13-6



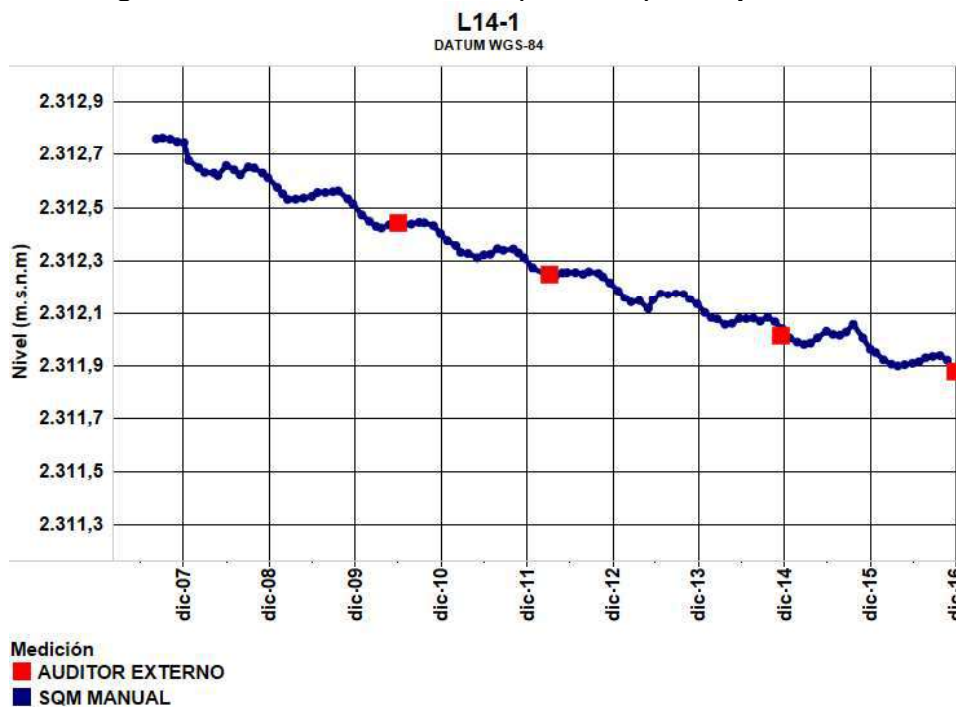
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-183: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L13-7



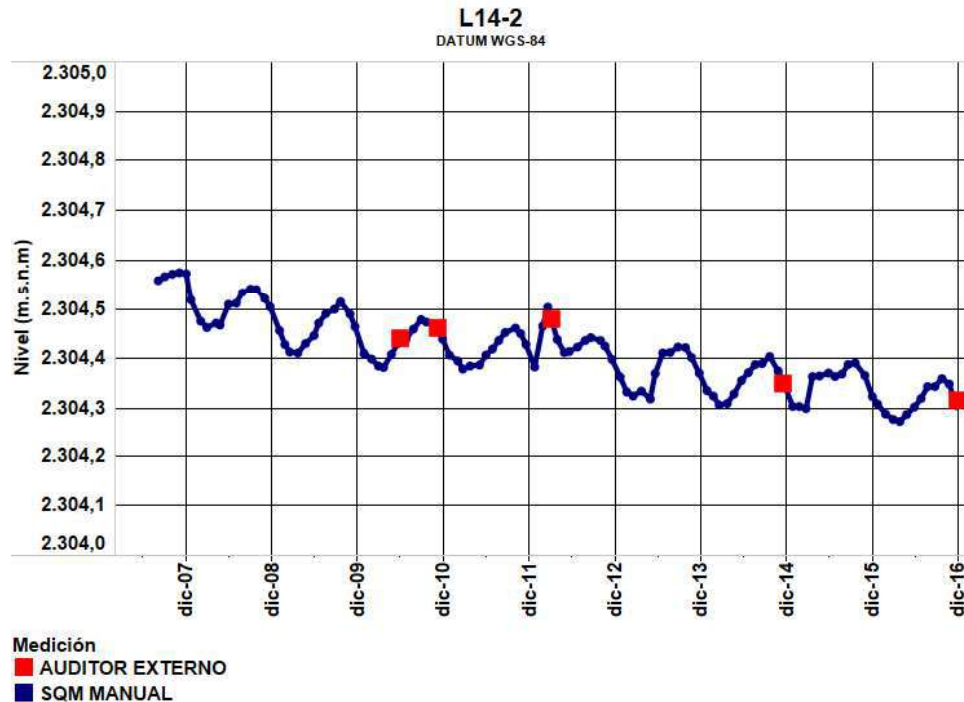
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-184: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L14-1



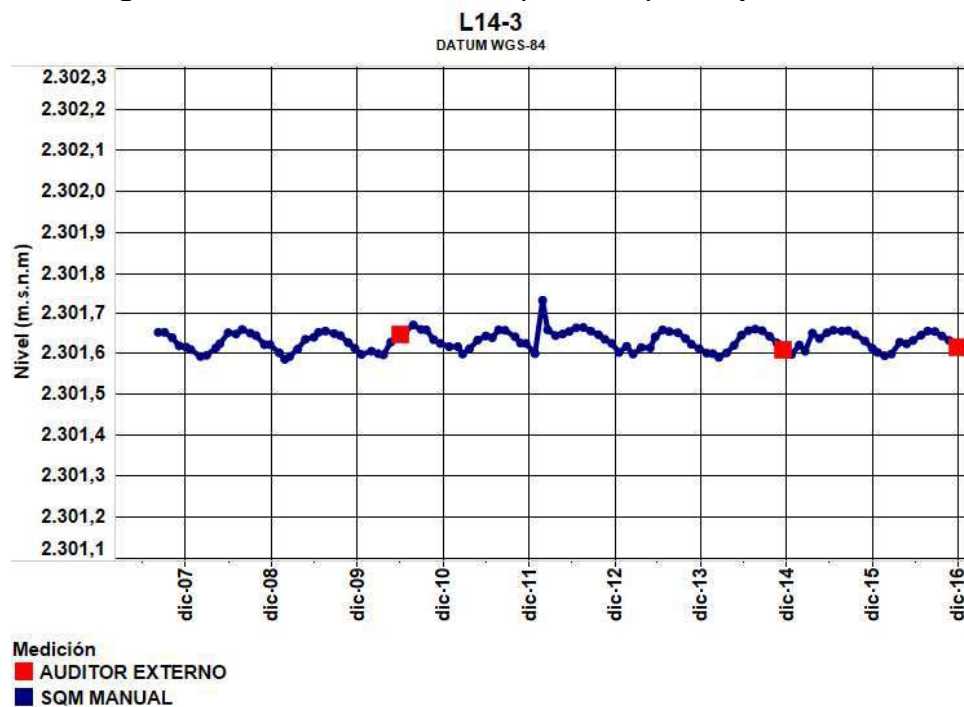
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-185: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L14-2



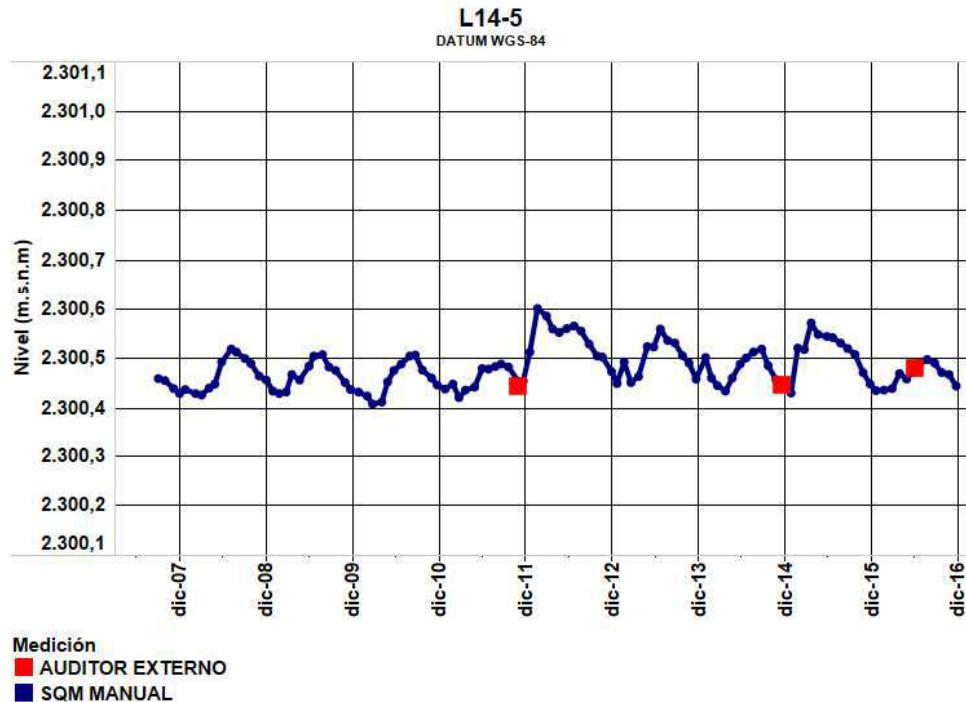
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-186: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L14-3



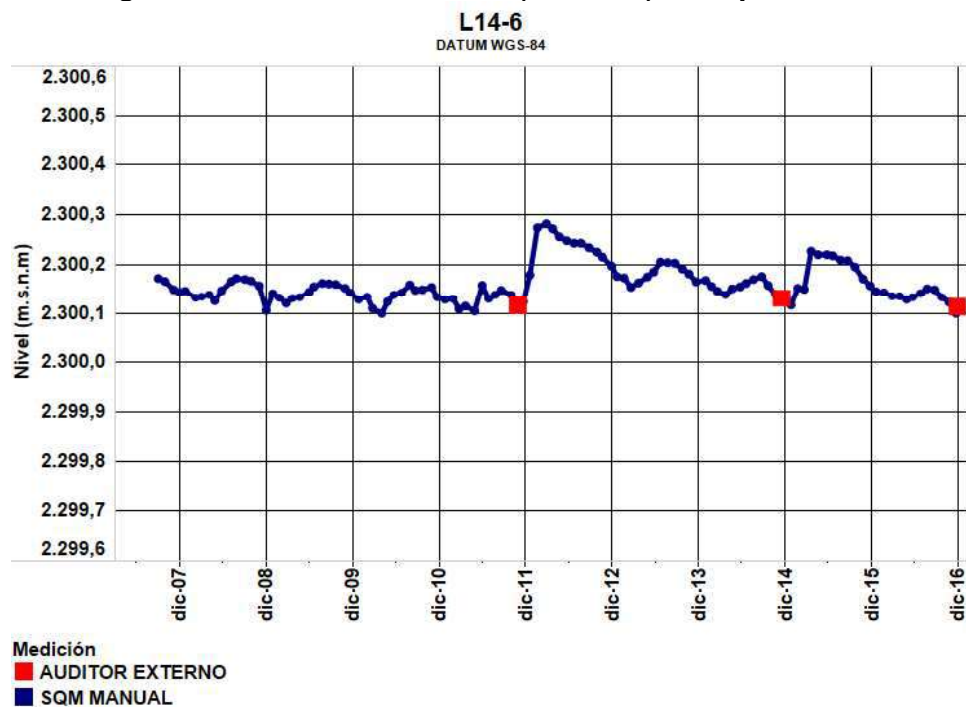
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-187: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L14-5



Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-188: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L14-6



Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-189: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L14-7

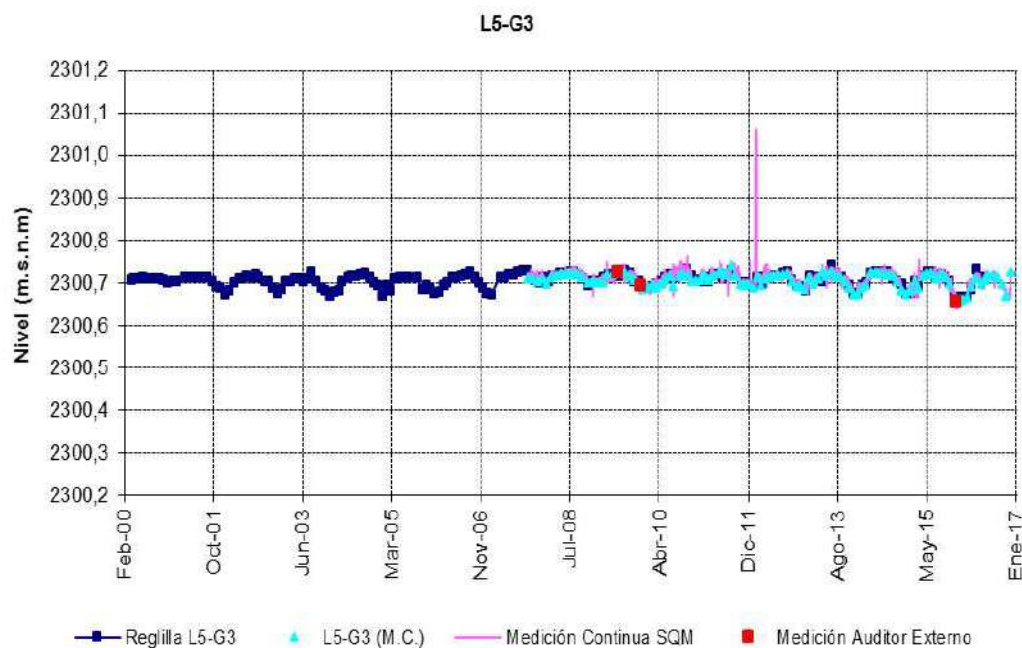


Fuente: Elaboración propia.

5.2.2.1.3 Reglillas

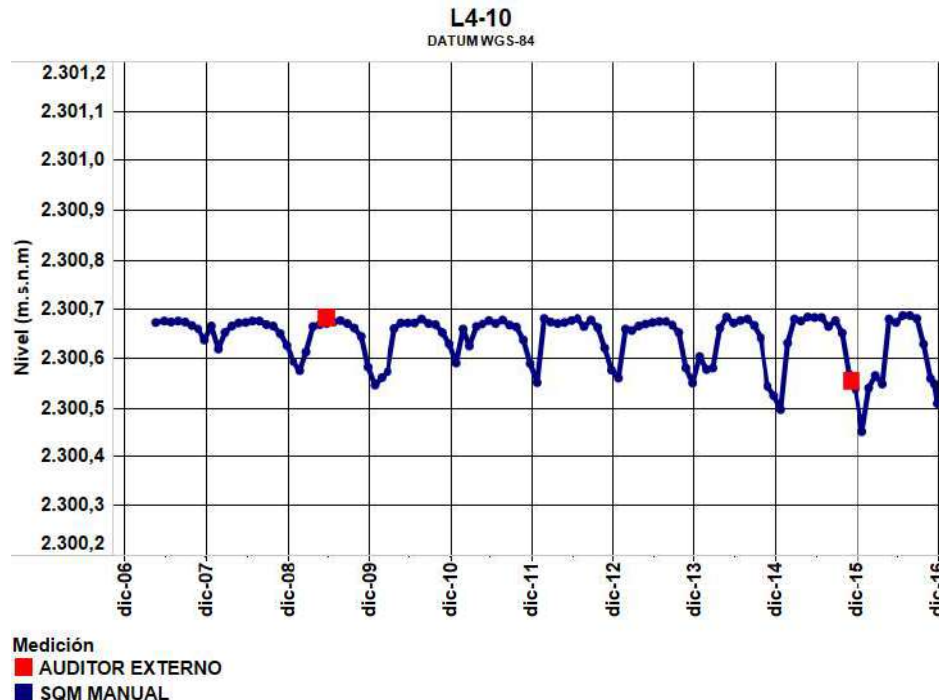
Desde la Figura 5-190 a la Figura 5-191 se muestra los niveles mensuales observados en las reglillas ubicadas en el sector Aguas de Quelana.

Figura 5-190: Nivel observado (m.s.n.m.) 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 5-191: Nivel observado (m.s.n.m.) en la reglilla L4-10

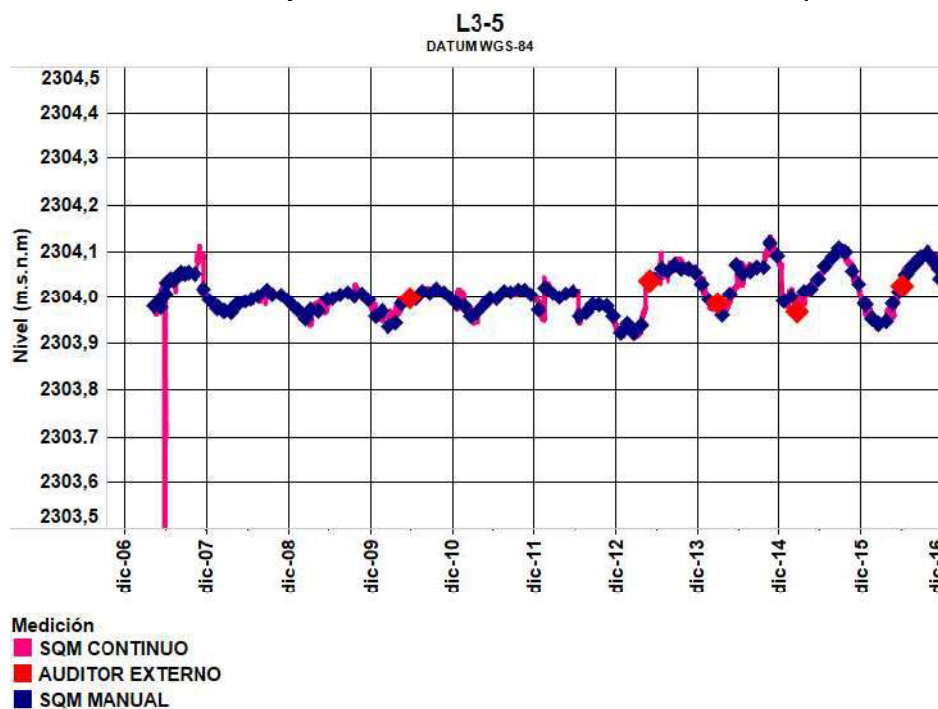


Fuente: Elaboración propia.

5.2.2.1.4 Pozos con medición continua

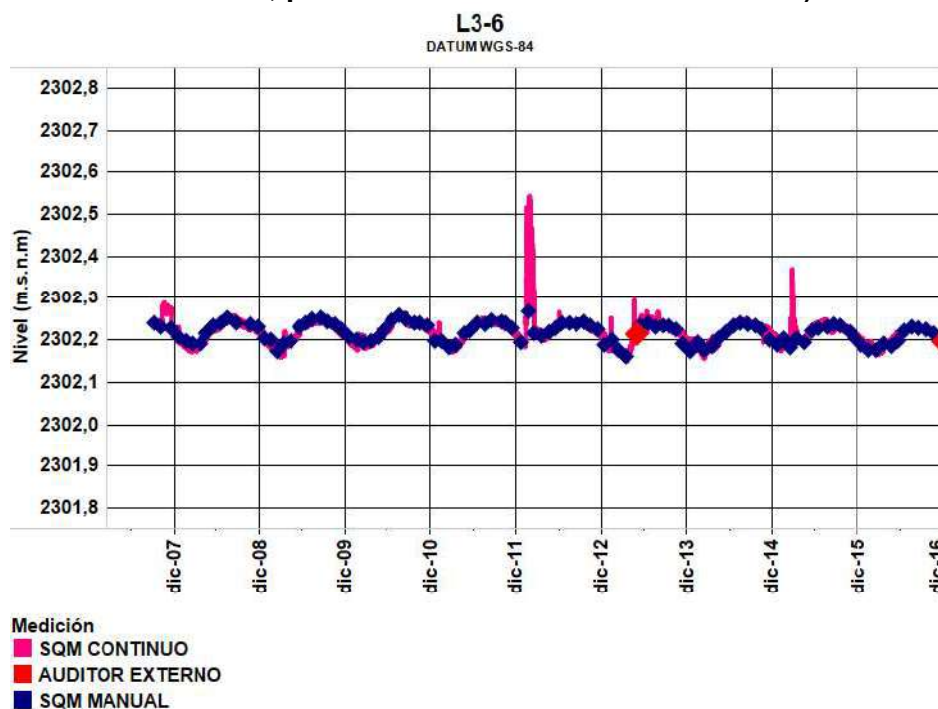
En Aguas de Quelana se implementaron 22 pozos con medición continua de nivel, los cuales se presentan desde la Figura 5-192 a la Figura 5-213. Es importante recordar que aquellos pozos ubicados en sectores con densidad del agua variable deben ser recalibrados permanentemente. Los puntos mostrados en las figuras (color azul) corresponden a mediciones manuales realizadas en el pozo correspondiente.

Figura 5-192: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L3-5 (línea magenta: medición continua, puntos azules: mediciones manuales)



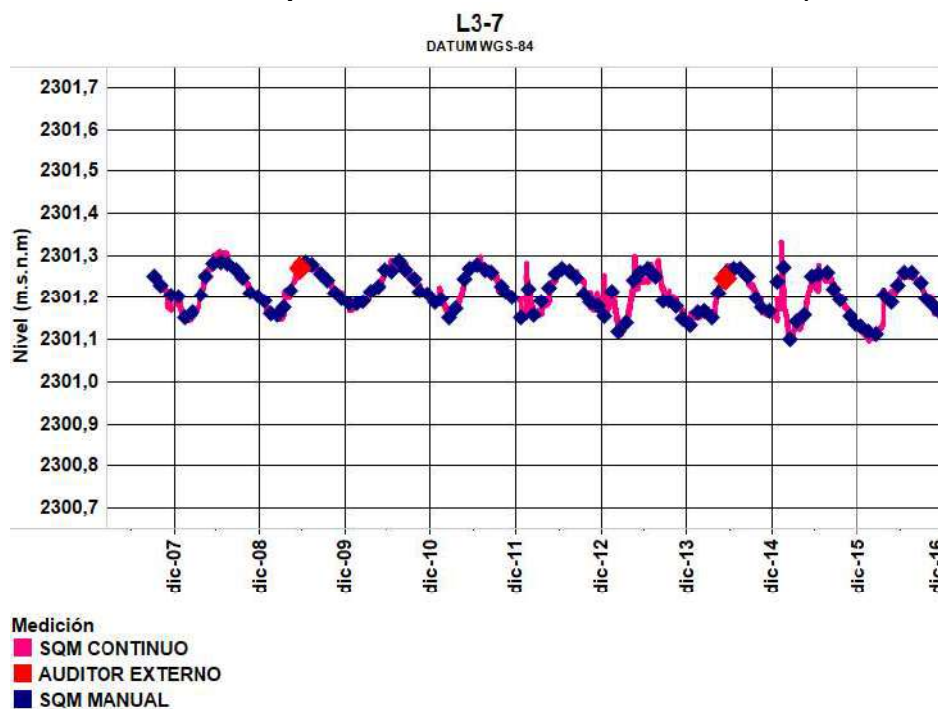
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-193: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L3-6 (línea magenta: medición continua, puntos azules: mediciones manuales)



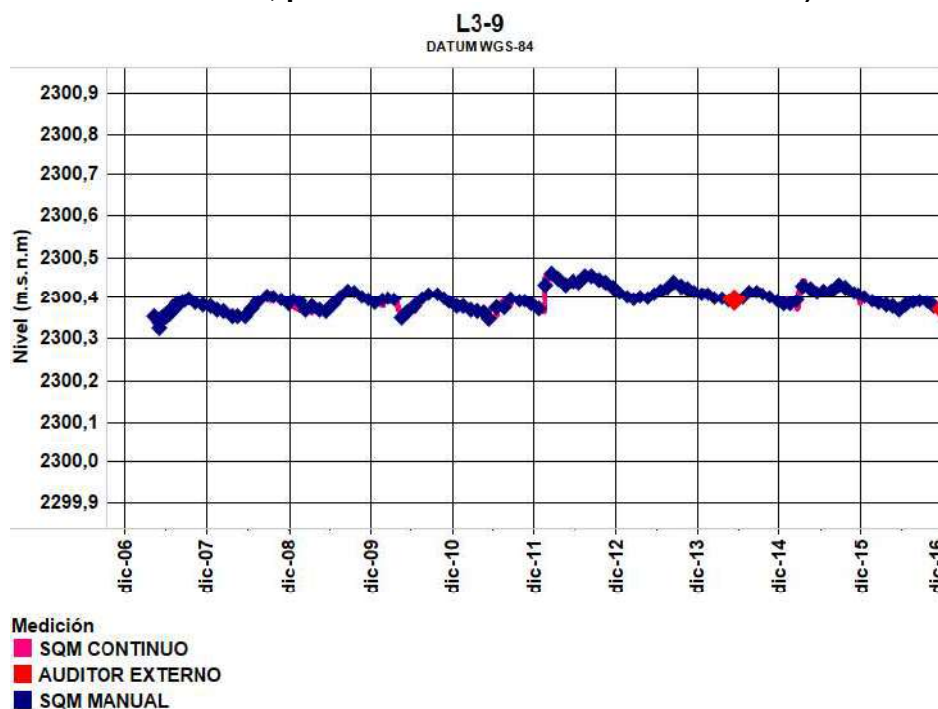
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-194: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L3-7 (línea magenta: medición continua, puntos azules: mediciones manuales)



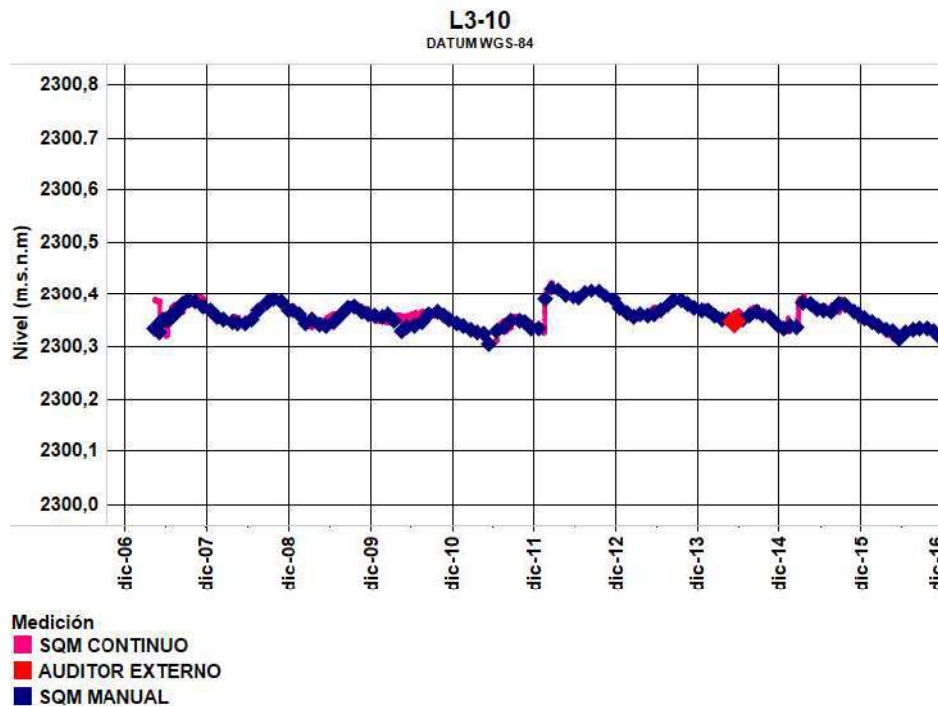
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-195: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L3-9 (línea magenta: medición continua, puntos azules: mediciones manuales)



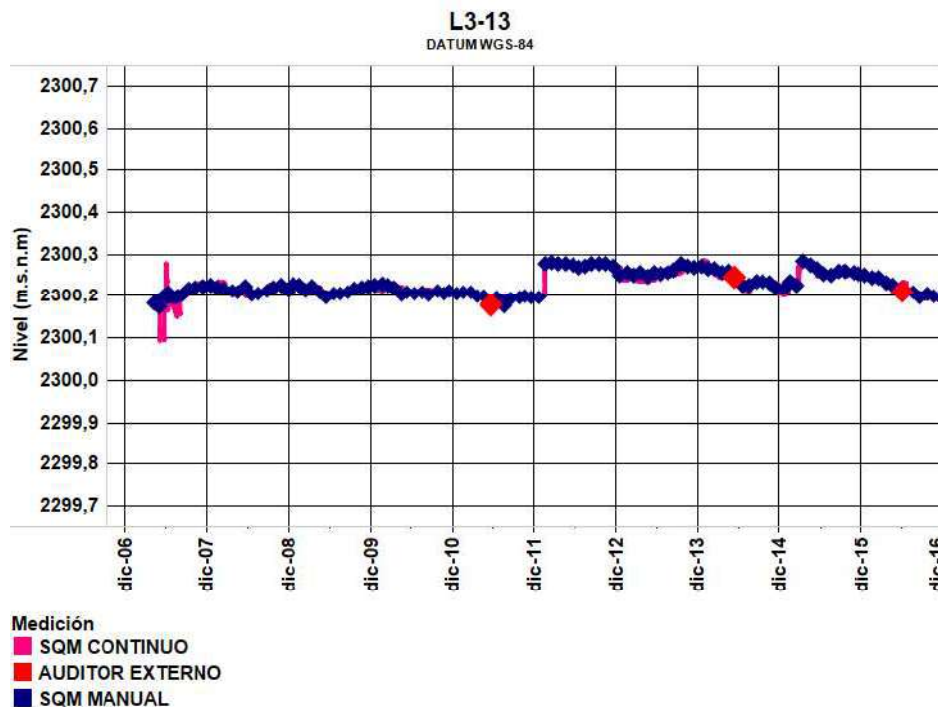
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-196: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L3-10 (línea magenta: medición continua, puntos azules: mediciones manuales)



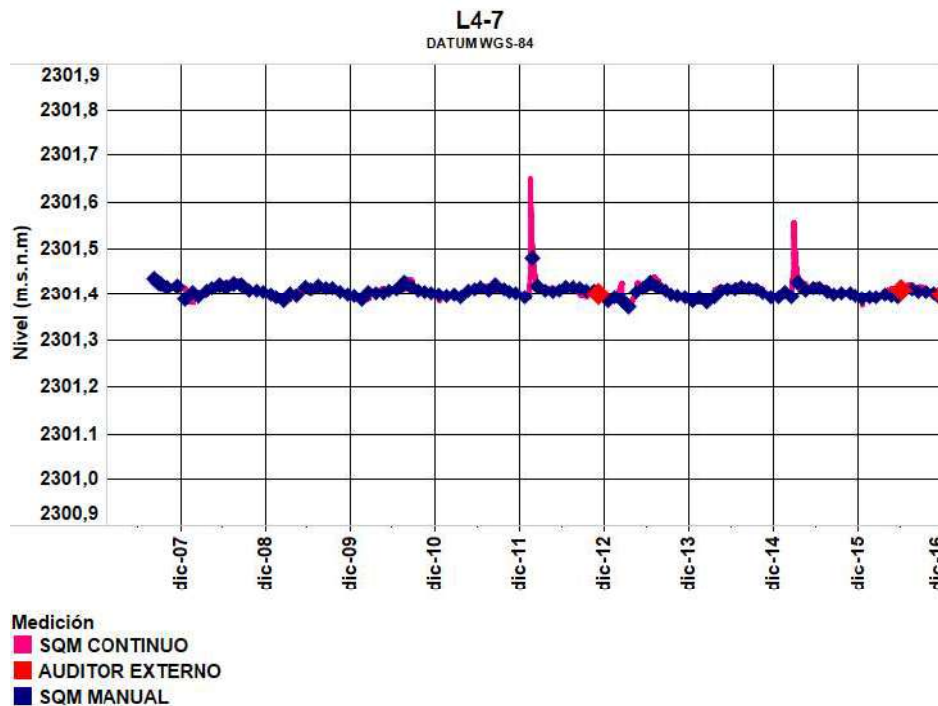
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-197: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L3-13 (línea magenta: medición continua, puntos azules: mediciones manuales)



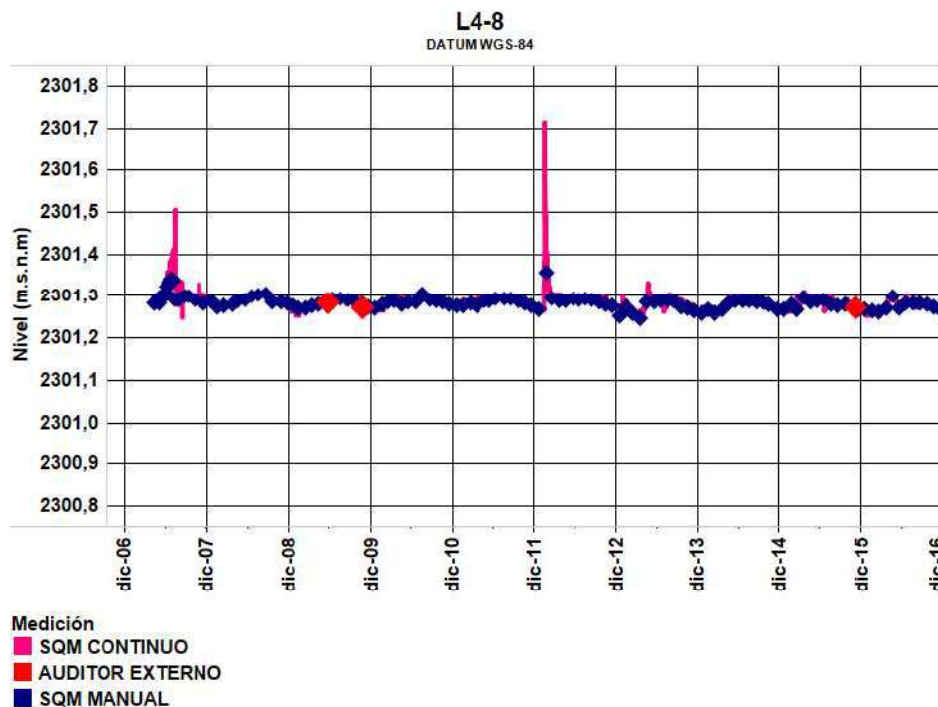
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-198: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L4-7 (línea magenta: medición continua, puntos azules: mediciones manuales)



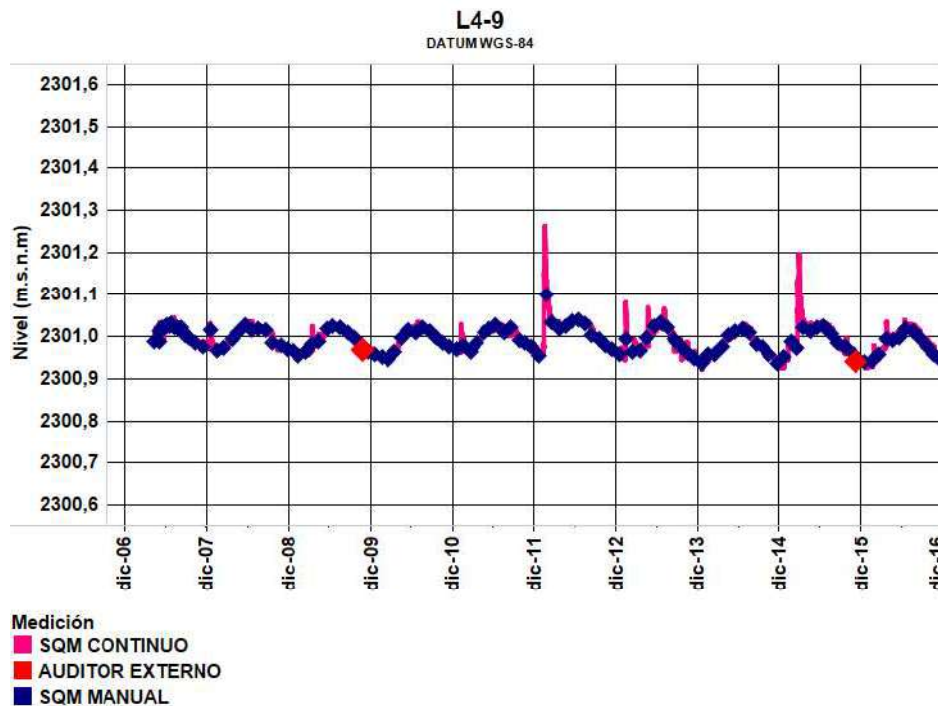
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-199: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L4-8 (línea magenta: medición continua, puntos azules: mediciones manuales)



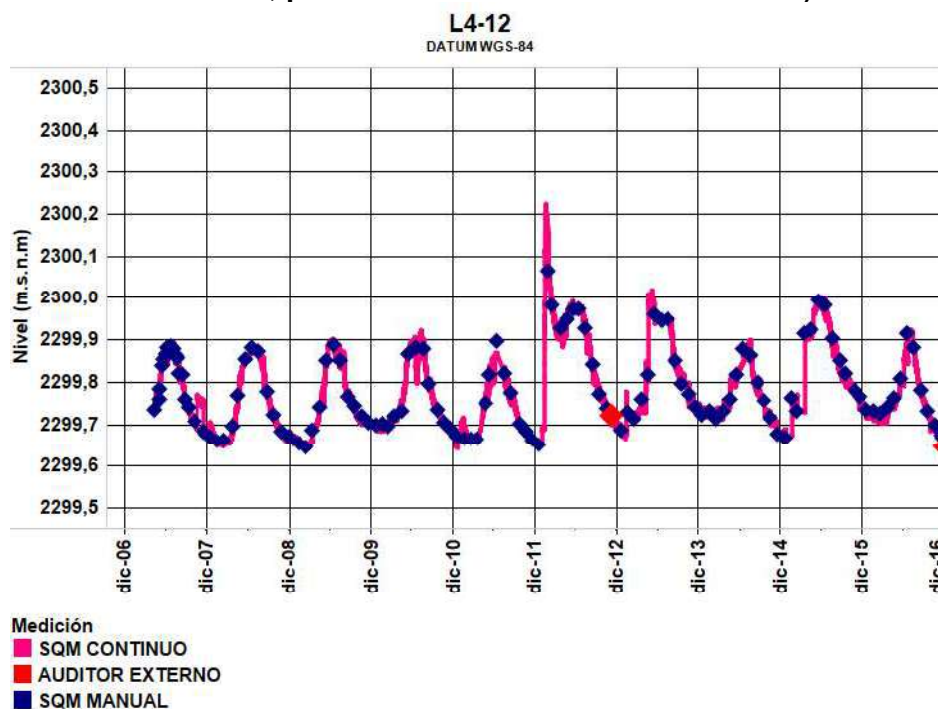
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-200: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L4-9 (línea magenta: medición continua, puntos azules: mediciones manuales)



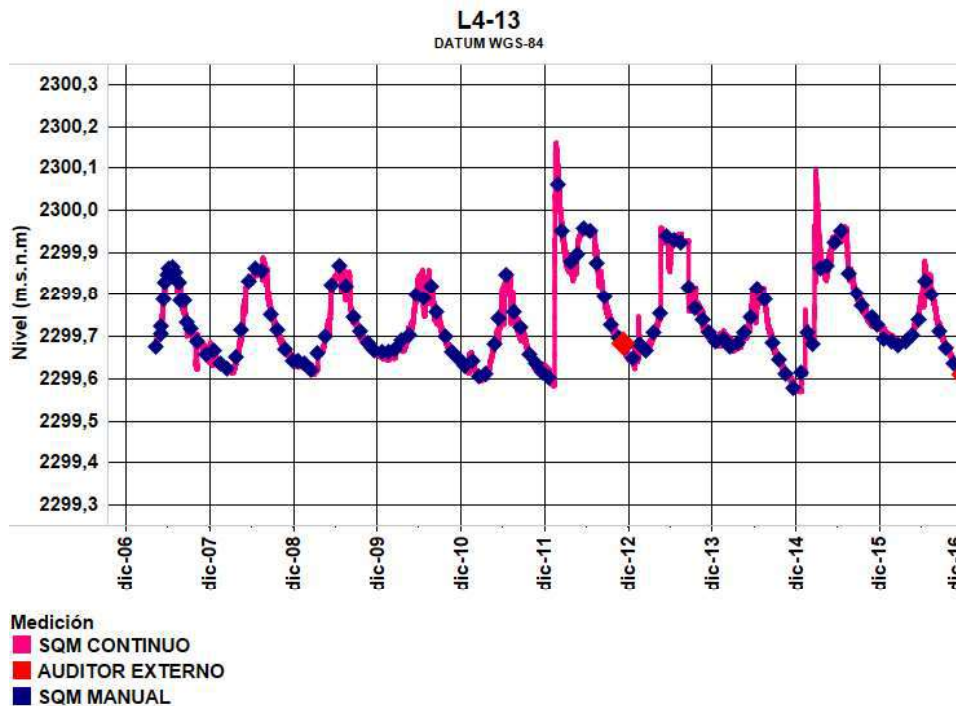
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-201: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L4-12 (línea magenta: medición continua, puntos azules: mediciones manuales)



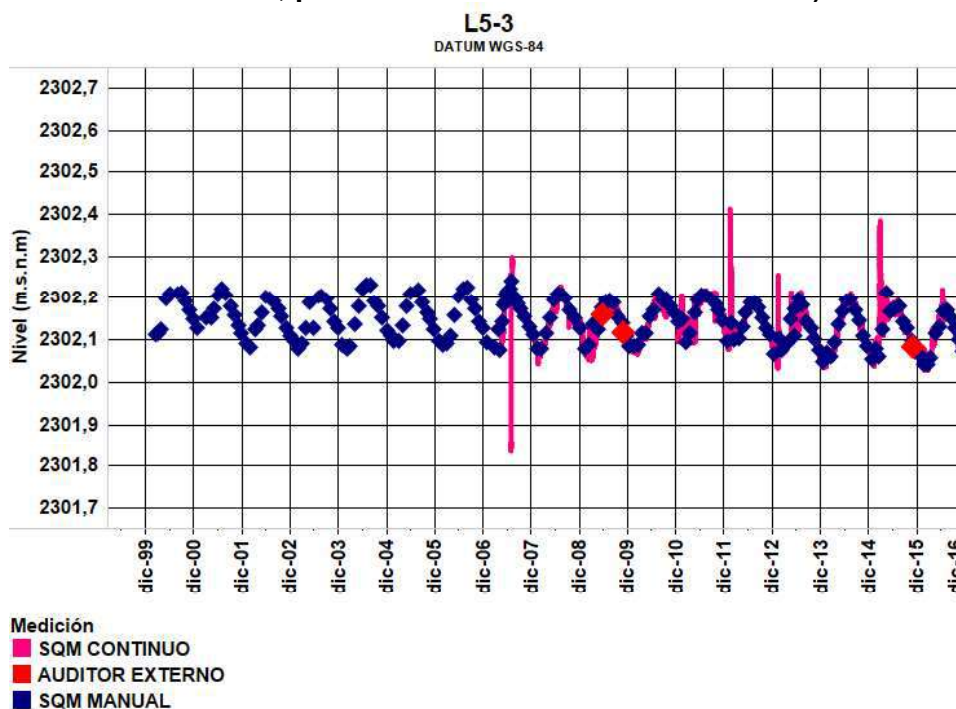
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-202: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L4-13 (línea magenta: medición continua, puntos azules: mediciones manuales)



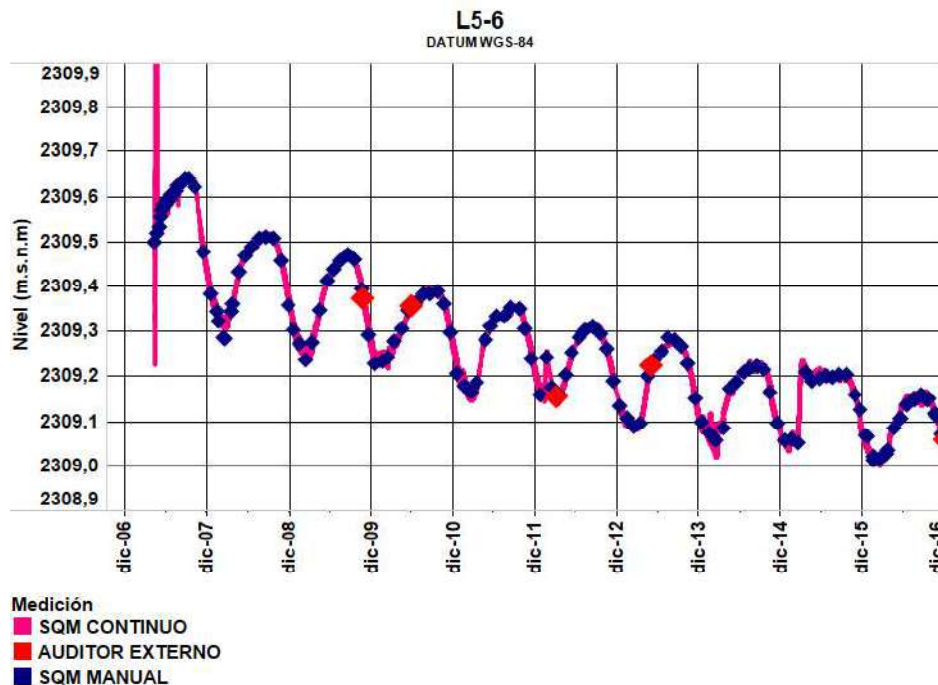
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-203: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L5-3 (línea magenta: medición continua, puntos azules: mediciones manuales)



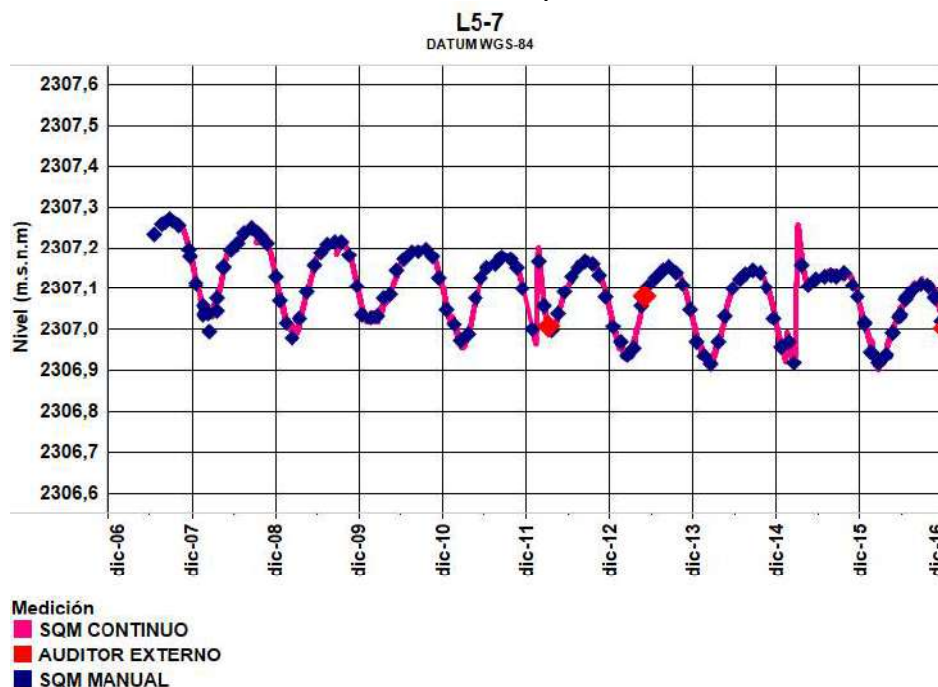
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-204: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L5-6 (línea magenta: medición continua, puntos azules: mediciones manuales)



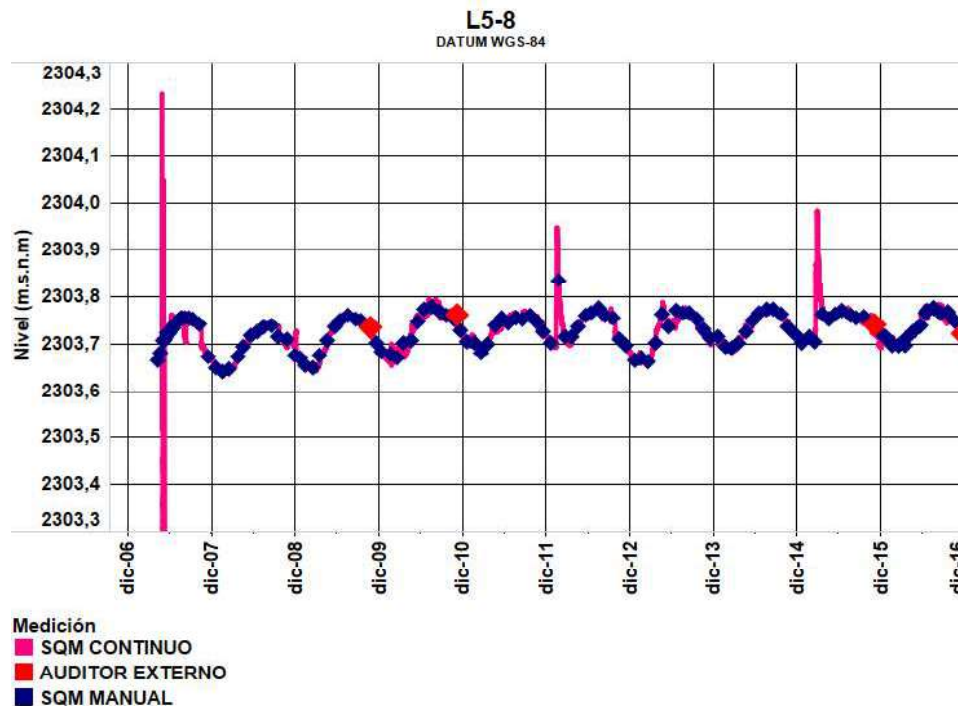
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-205: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L5-7 (línea magenta: medición continua, puntos azules: mediciones manuales)



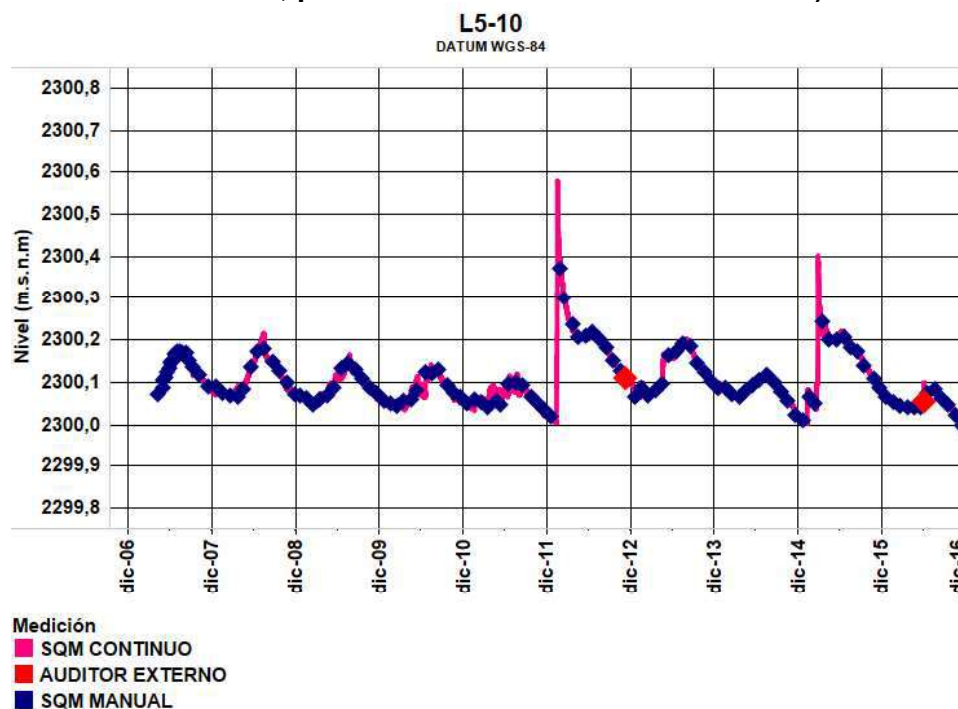
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-206: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L5-8 (línea magenta: medición continua, puntos azules: mediciones manuales)



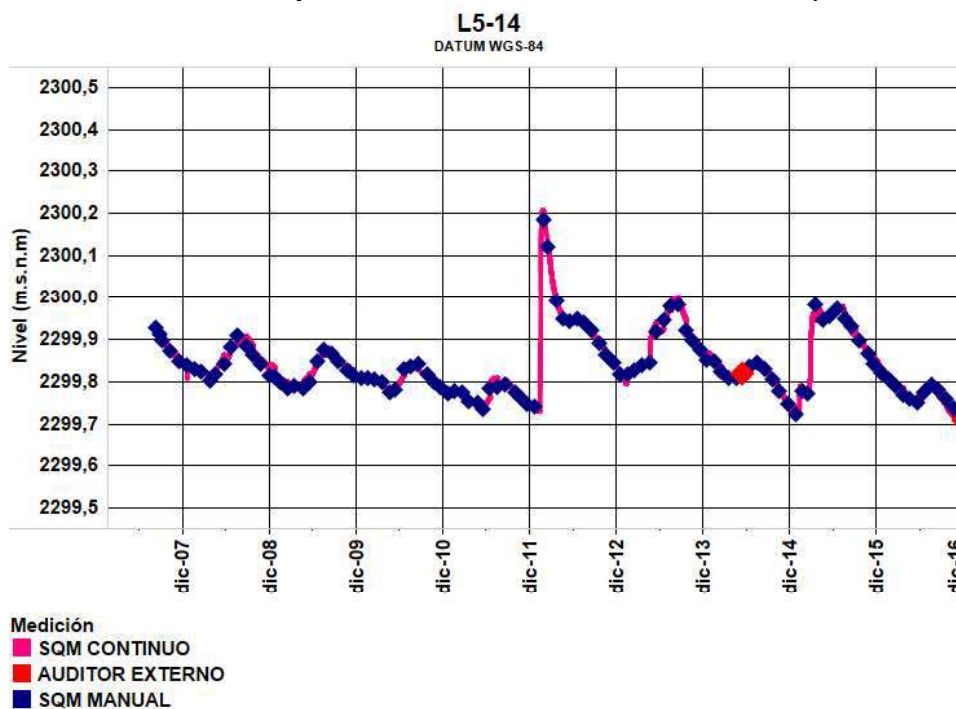
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-207: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L5-10 (línea magenta: medición continua, puntos azules: mediciones manuales)



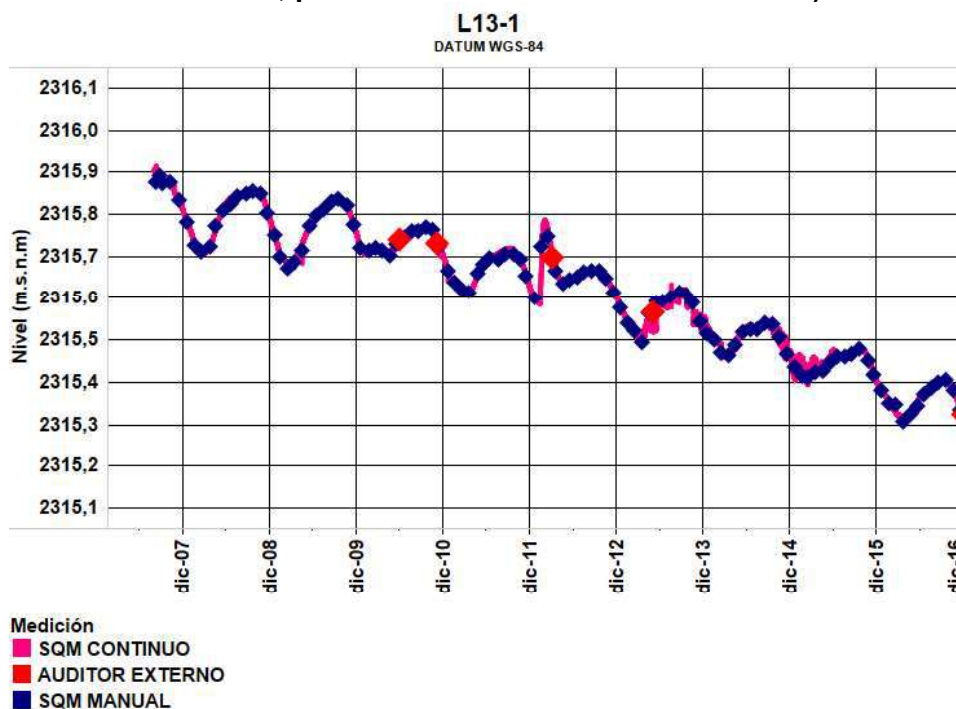
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-208: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L5-14 (línea magenta: medición continua, puntos azules: mediciones manuales)



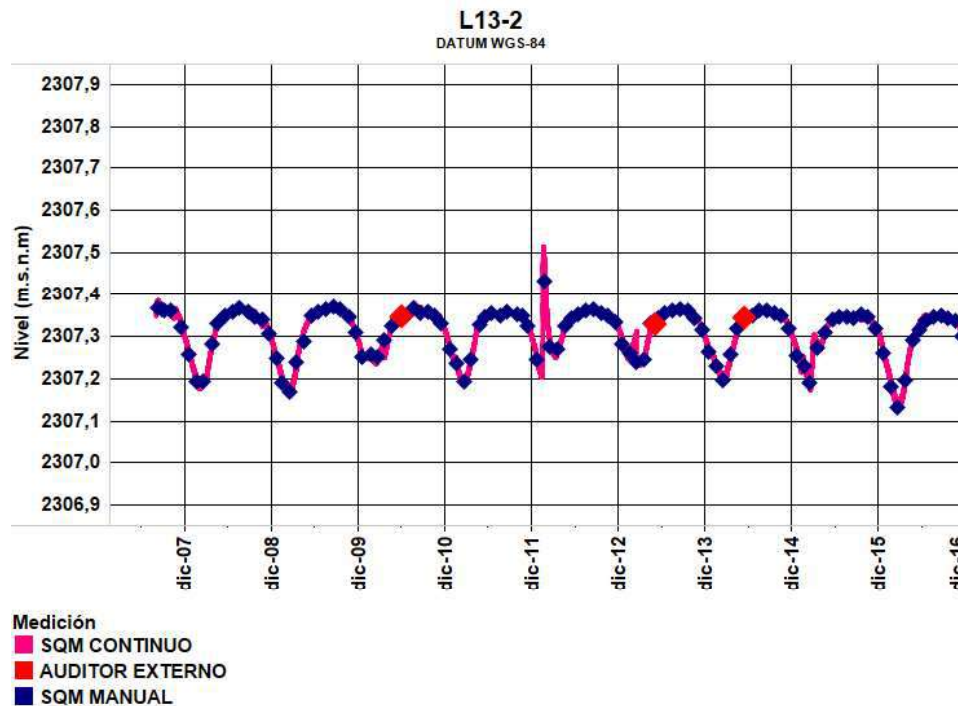
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-209: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L13-1 (línea magenta: medición continua, puntos azules: mediciones manuales)



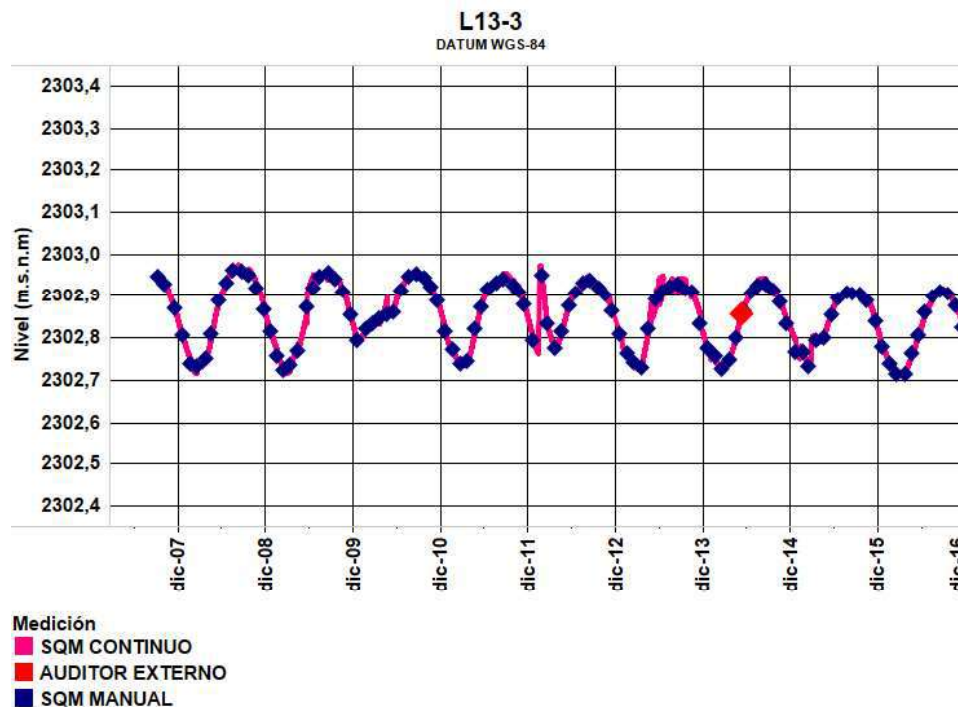
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-210: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L13-2 (línea magenta: medición continua, puntos azules: mediciones manuales)



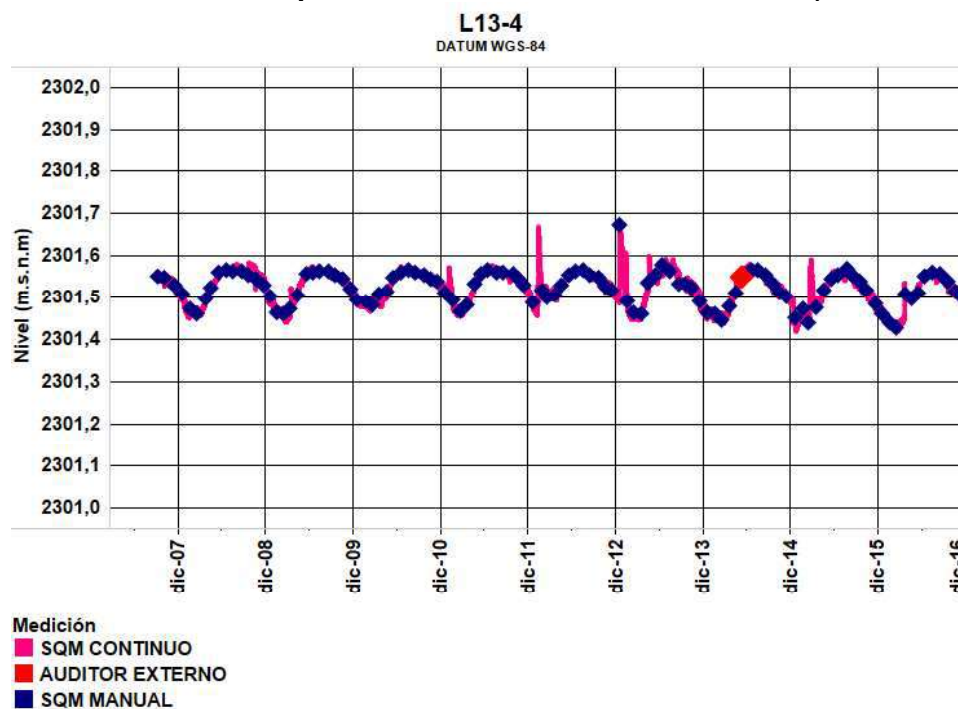
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-211: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L13-3 (línea magenta: medición continua, puntos azules: mediciones manuales)



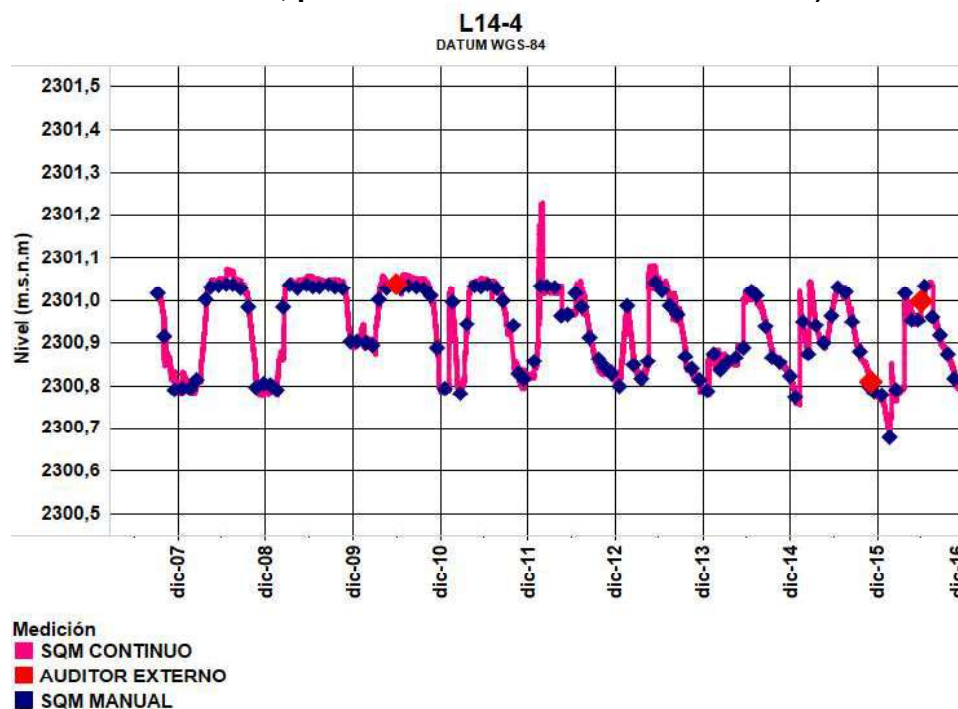
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-212: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L13-4 (línea magenta: medición continua, puntos azules: mediciones manuales)



Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-213: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L14-4 (línea magenta: medición continua, puntos azules: mediciones manuales)

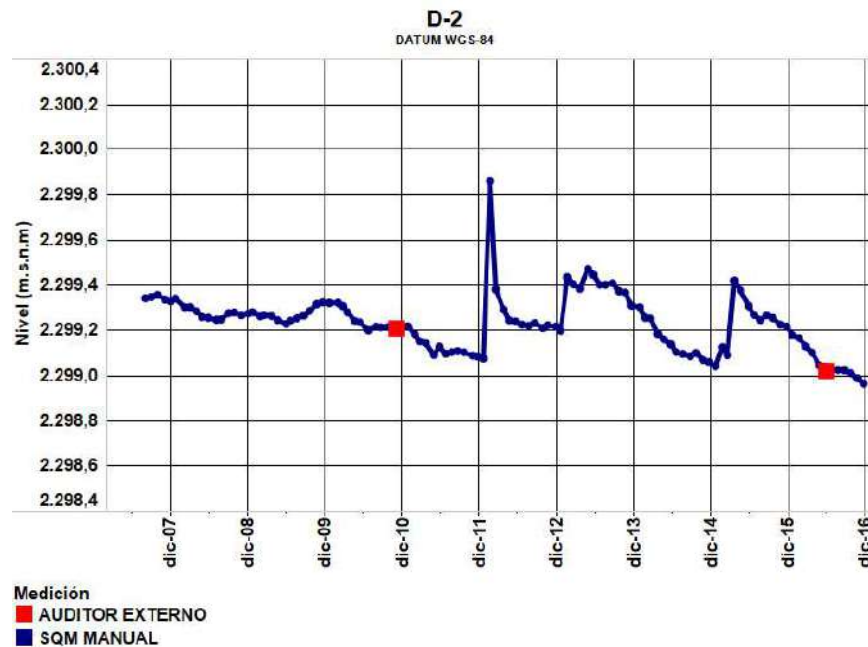


Fuente: Elaboración propia.

5.2.2.1.5 Pozos de salmuera

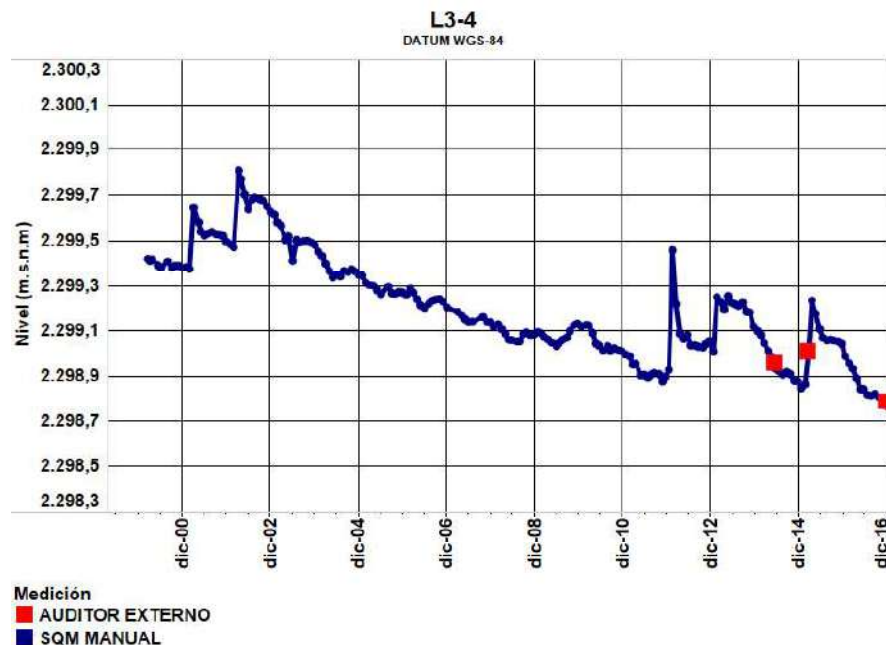
Desde la Figura 5-214 a la Figura 5-219 se presenta los niveles en los pozos del PSAH del sistema Aguas de Quelana catalogados como pozos de salmuera y que se ubican en el acuífero del núcleo.

Figura 5-214: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo D-2



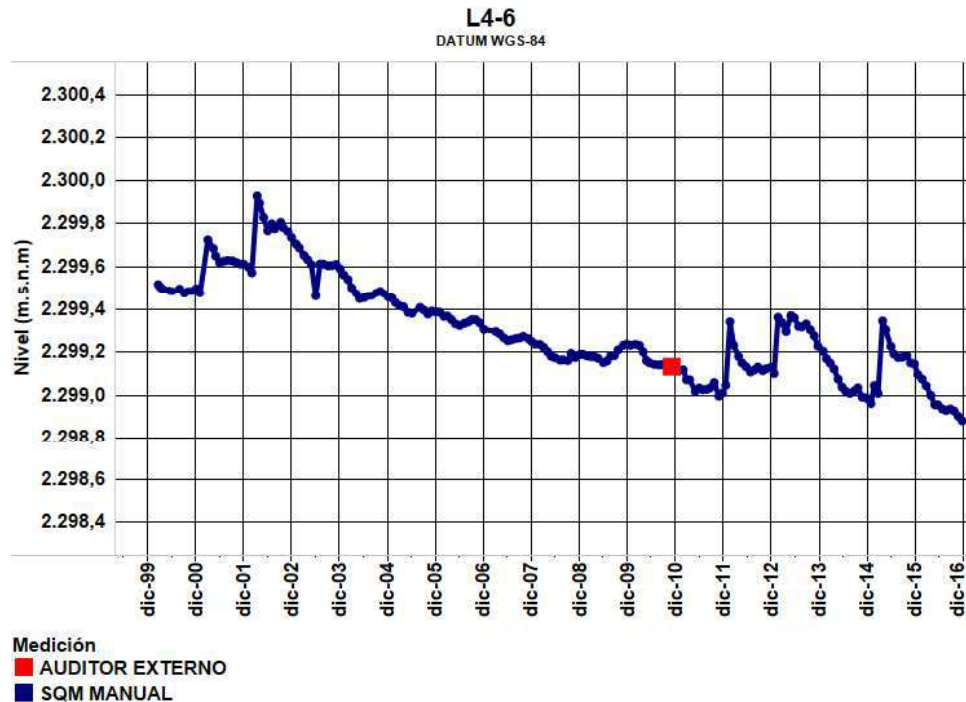
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-215: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L3-4 (SOPM-8)



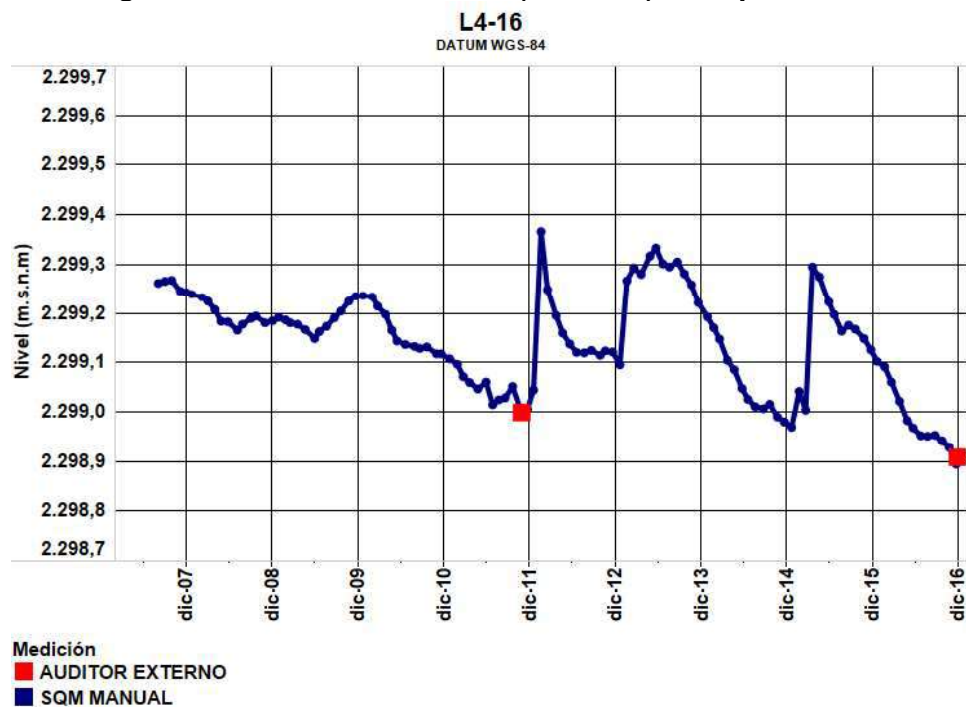
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-216: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L4-6



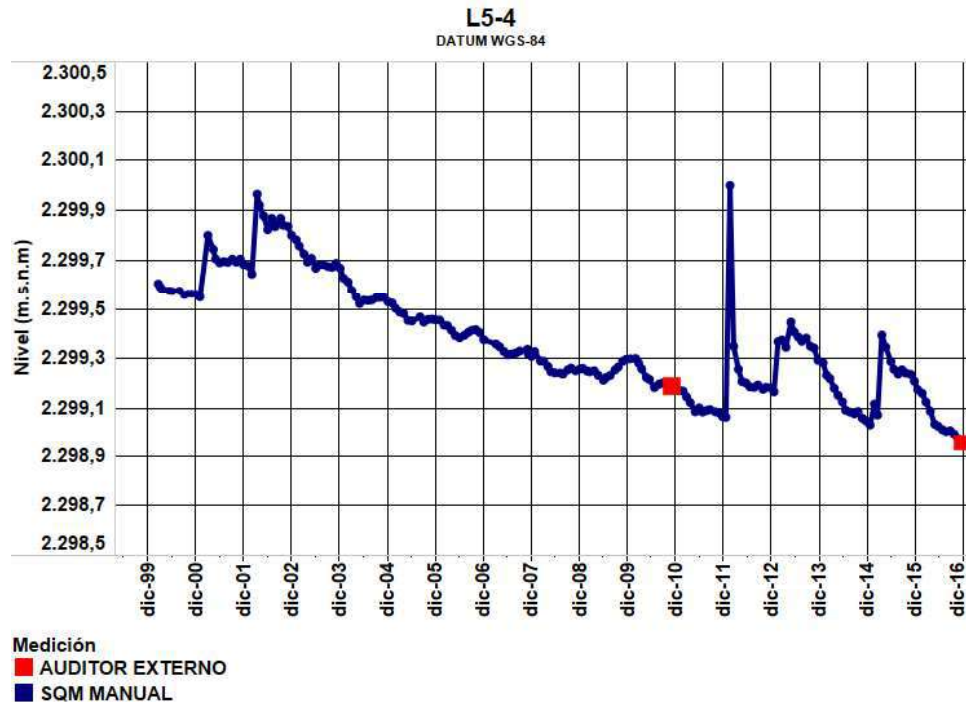
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-217: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L4-16



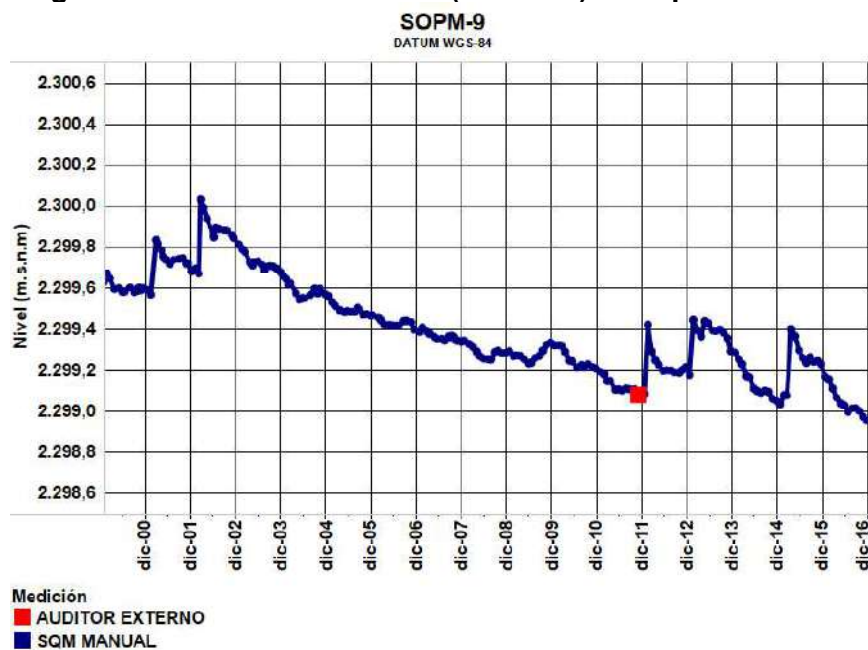
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-218: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L5-4



Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-219: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo SOPM-9

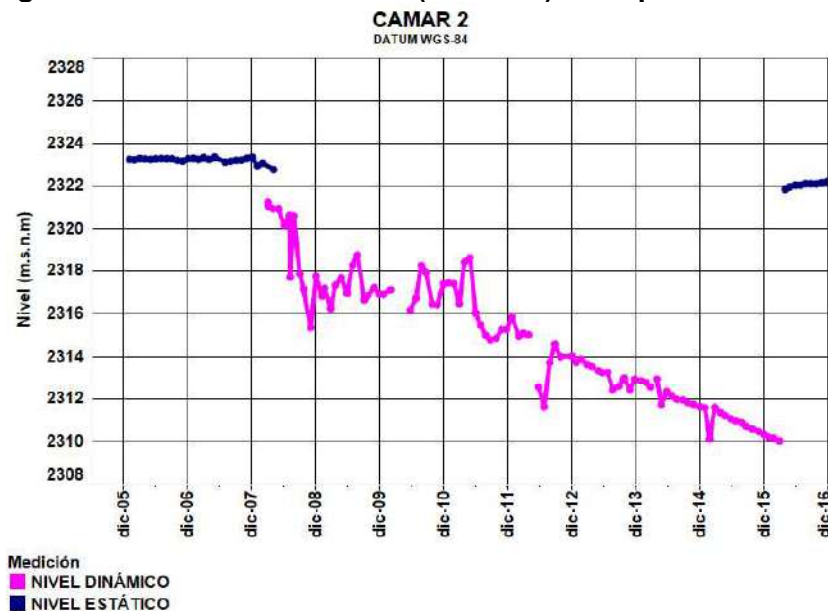


Fuente: Elaboración propia.

5.2.2.1.6 Pozos de bombeo

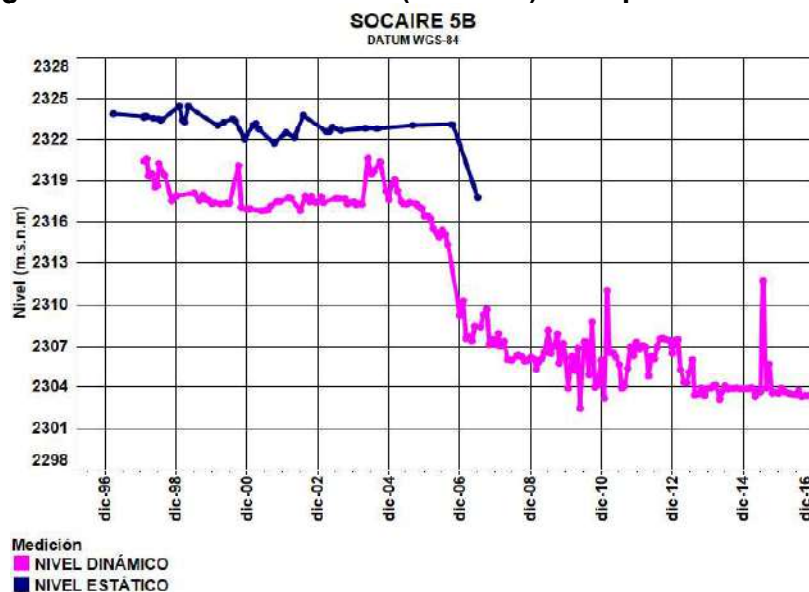
En la Figura 5-220 y Figura 5-221 se presentan los niveles observados en los pozos de bombeo de agua industrial Camar 2 y Socaire 5B, respectivamente.

Figura 5-220: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo Camar 2¹⁶



Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-221: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo Socaire 5B



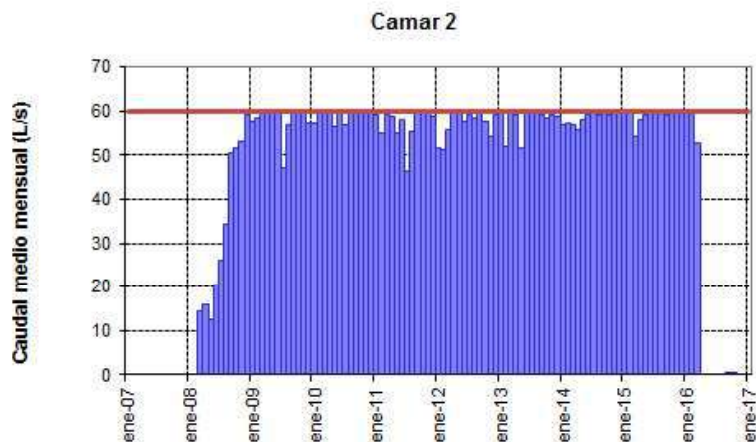
Fuente: Elaboración propia.

¹⁶ El pozo Camar no operó durante el 2^{do} semestre del 2016.

5.2.2.2 Caudal bombeado

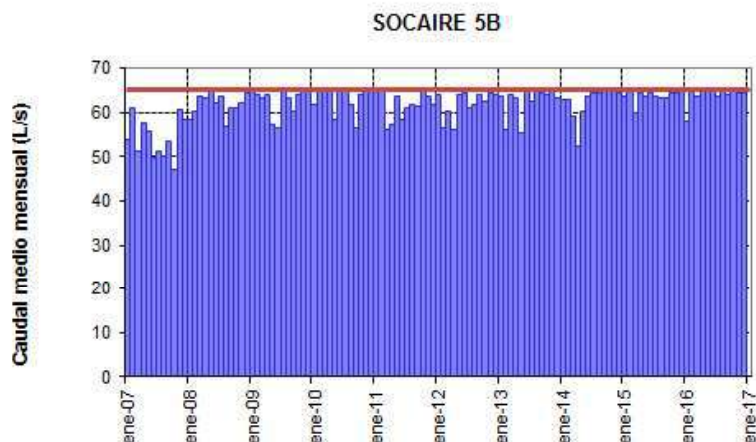
En el sector aguas arriba del sistema Aguas de Quelana se explota agua industrial desde los pozos Camar 2 y Socaire 5B, cuyos caudales medios mensuales extraídos se presentan en la Figura 5-222 y Figura 5-223 respectivamente. Cabe indicar que el pozo Camar 2 comenzó a operar el 13 de marzo de 2008. En la tabla del ANEXO 14 se muestran los valores registrados de los caudales bombeados. Desde abril de 2016 a diciembre de 2016 el pozo Camar 2 se encontraba temporalmente detenido.

Figura 5-222: Caudal medio mensual bombeado desde el pozo Camar 2¹⁷.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-223: Caudal medio mensual bombeado desde el pozo Socaire 5B.¹⁸



Fuente: Elaboración propia.

¹⁷ Línea Roja representa límite de bombeo establecidos por la RCA 226/2006 para el pozo Camar y los certificados de calibración de los flujómetros se encuentran en el ANEXO 6, además cabe indicar que este pozo no operó durante el 2^{do} semestre de 2016.

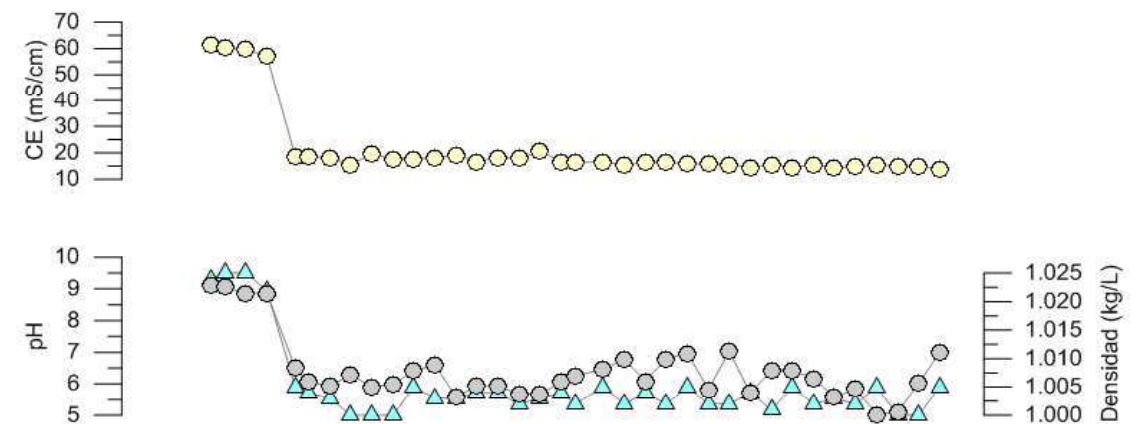
¹⁸ Línea Roja representa límite de bombeo establecidos por la RCA 226/2006 para el pozo Socaire 5B y los certificados de calibración de los flujómetros se encuentran en el ANEXO 6.

5.2.2.3 Calidad química

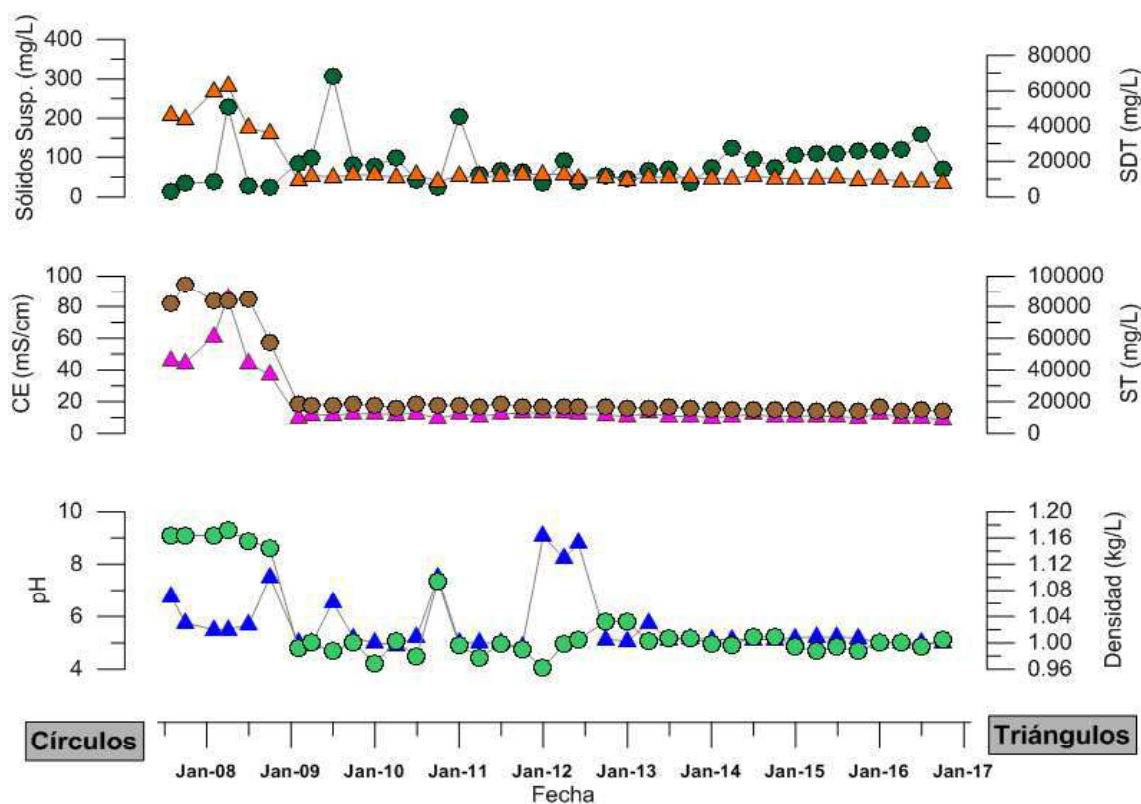
Los pozos en que se monitorea la calidad química del agua subterránea en el sistema Aguas de Quelana son: L4-3, L4-6, L4-8, L4-9, L4-12, L5-3, Camar 2 y Socaire-5B además de la reglilla L4-10, los cuales se muestran desde la Figura 5-224 a Figura 5-235. Los análisis fueron realizados por los laboratorios ALS Patagonia S.A. y SGS Chile Ltda, cuyos certificados se adjuntan en el ANEXO 16. Resultados anteriores fueron presentados en los informes del PSAH respectivo. 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 tienen las unidades de medida al lado izquierdo y las con un triángulo tienen las unidades de medida al lado derecho.

Figura 5-224: Resultados de análisis físico-químico del pozo L4-3
L4-3 (terreno)

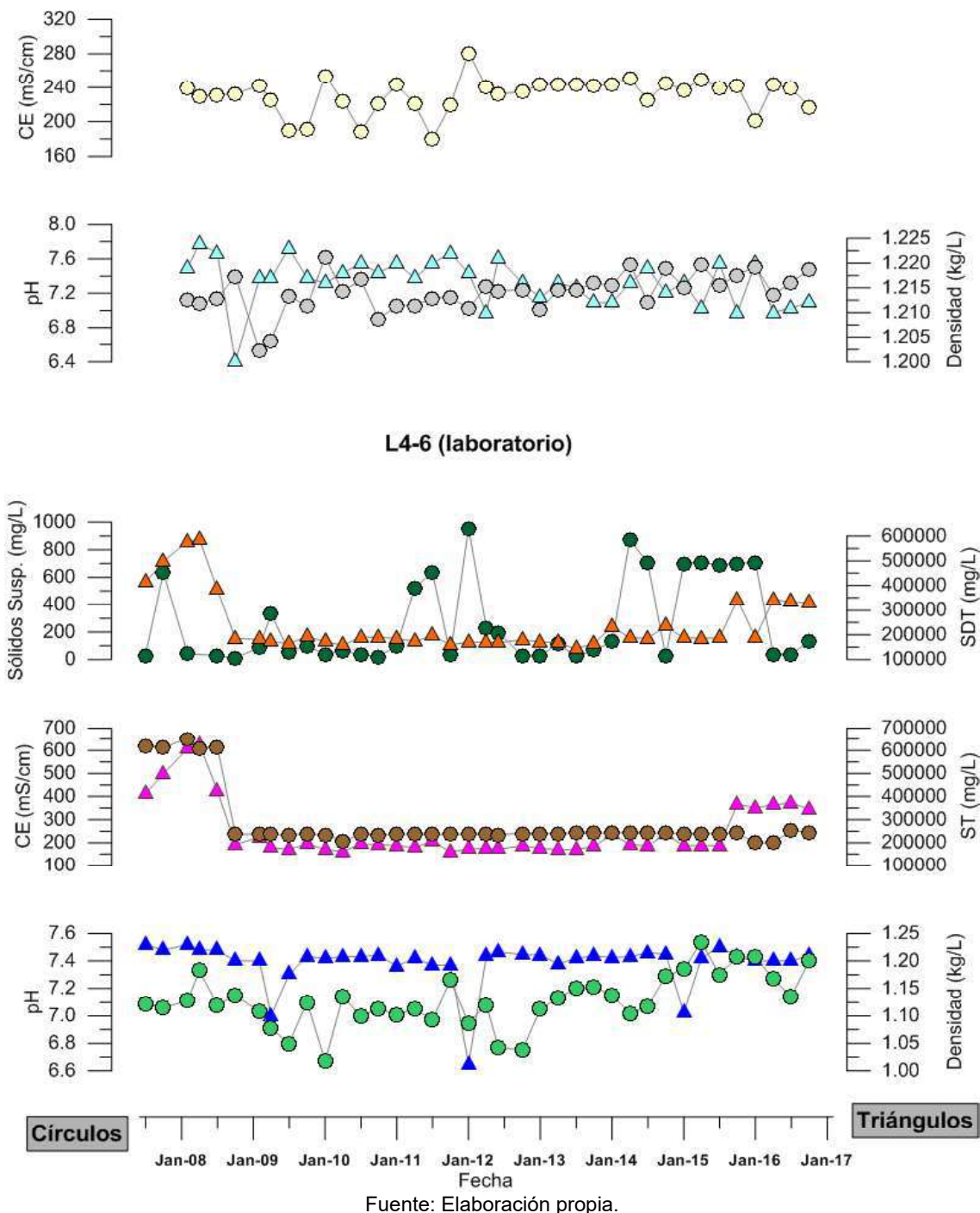


L4-3 (laboratorio)



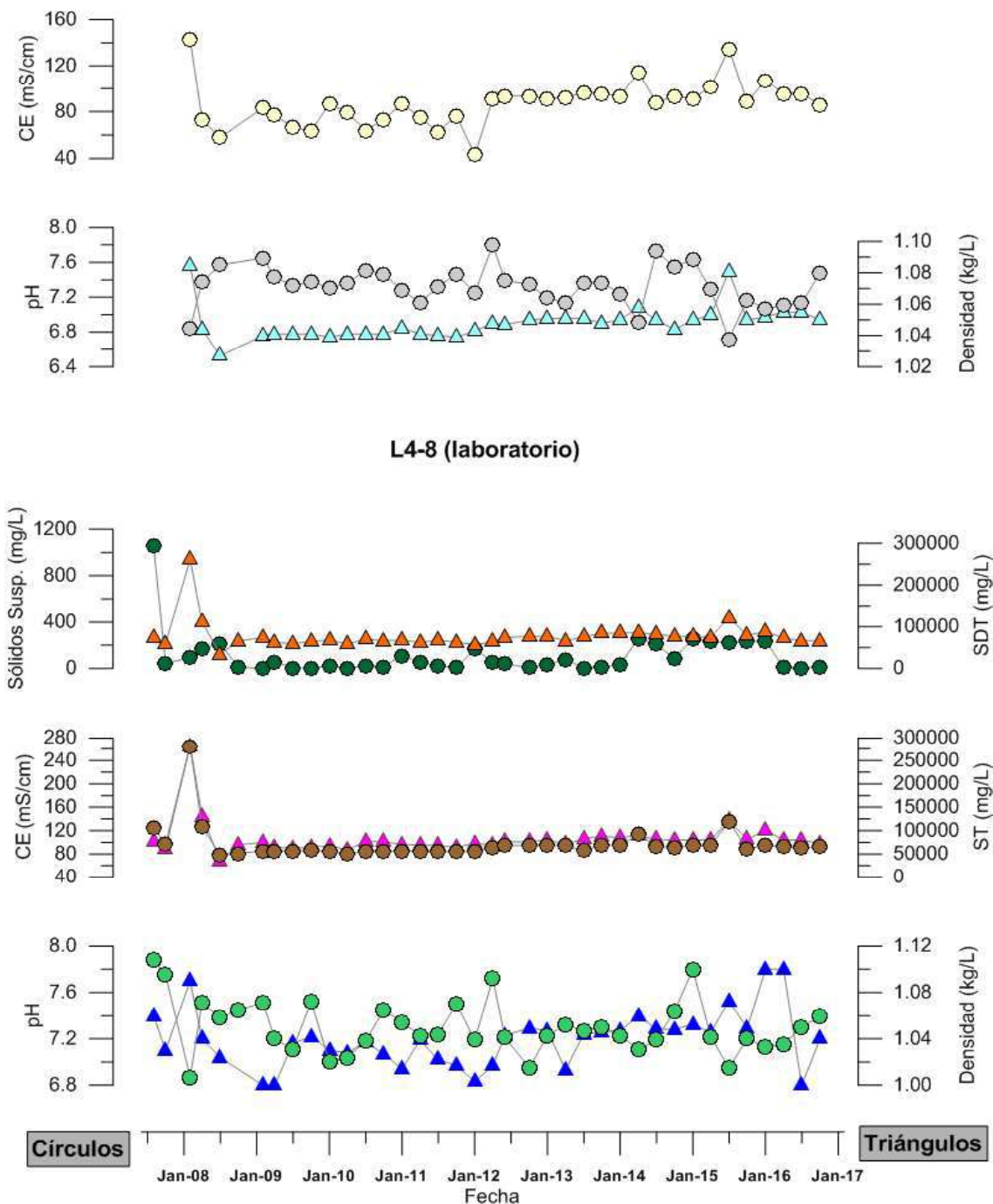
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-225: Resultados de análisis físico-químico del pozo L4-6¹⁹
L4-6 (terreno)



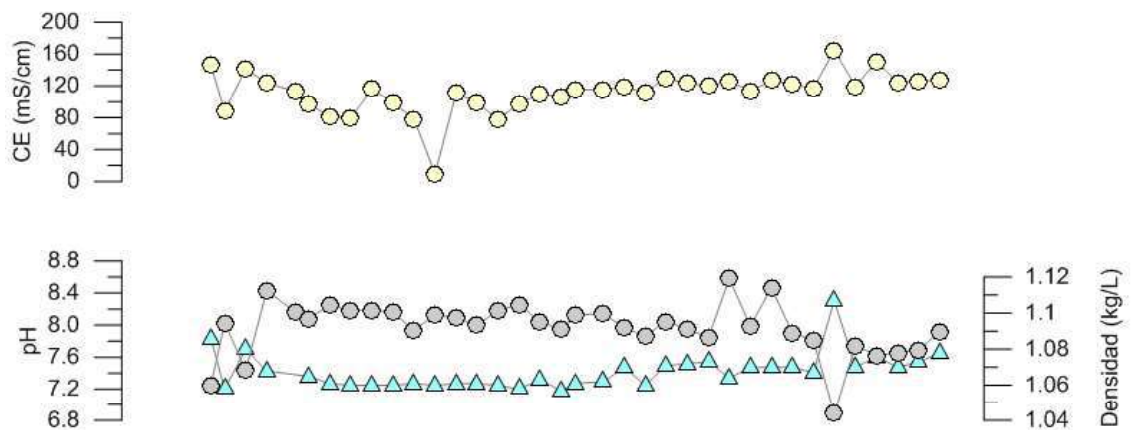
¹⁹ Los Sólidos Suspendedos correspondiente a una medición de 2030 mg/L en abril de 2008 fue sacado del gráfico para evitar problemas de escala.

Figura 5-226: Resultados de análisis físico-químico del pozo L4-8
L4-8 (terreno)

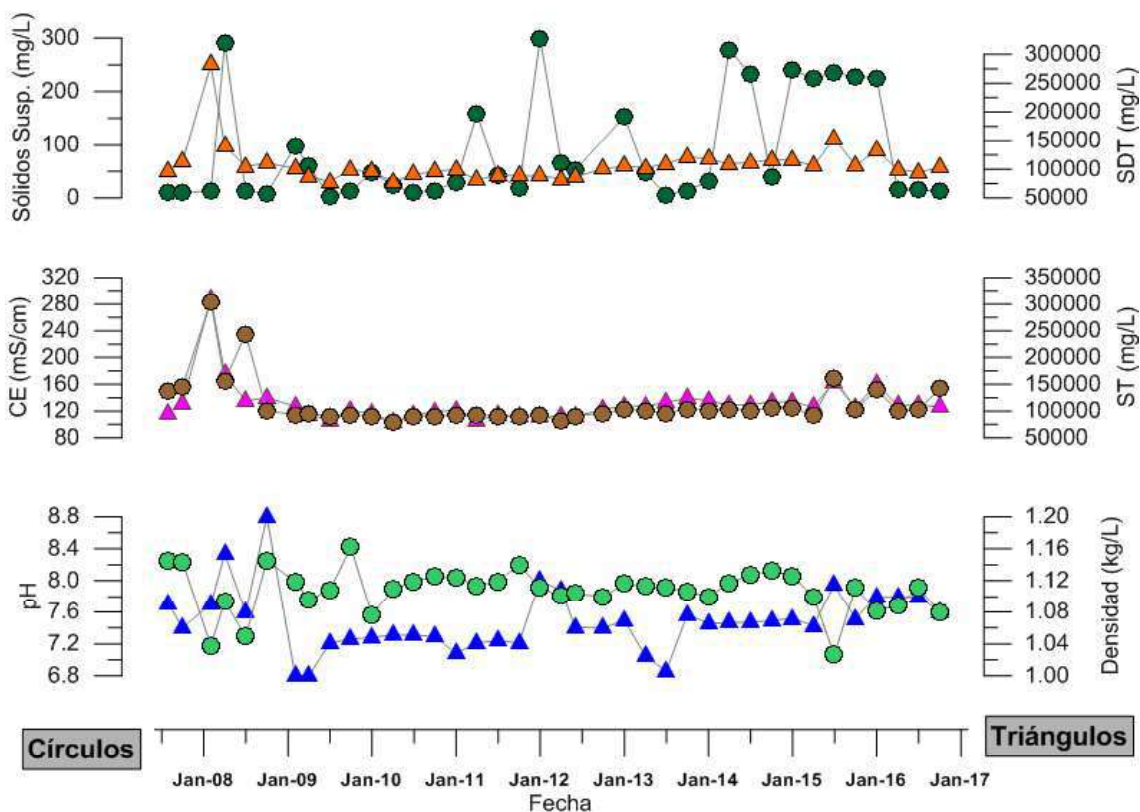


Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-227: Resultados de análisis físico-químico del pozo L4-9²⁰
L4-9 (terreno)



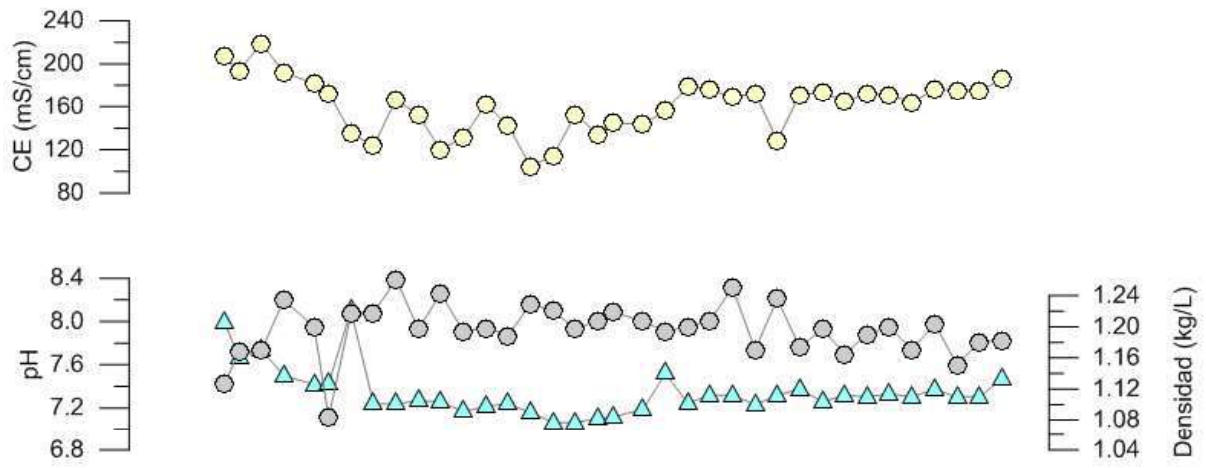
L4-9 (laboratorio)



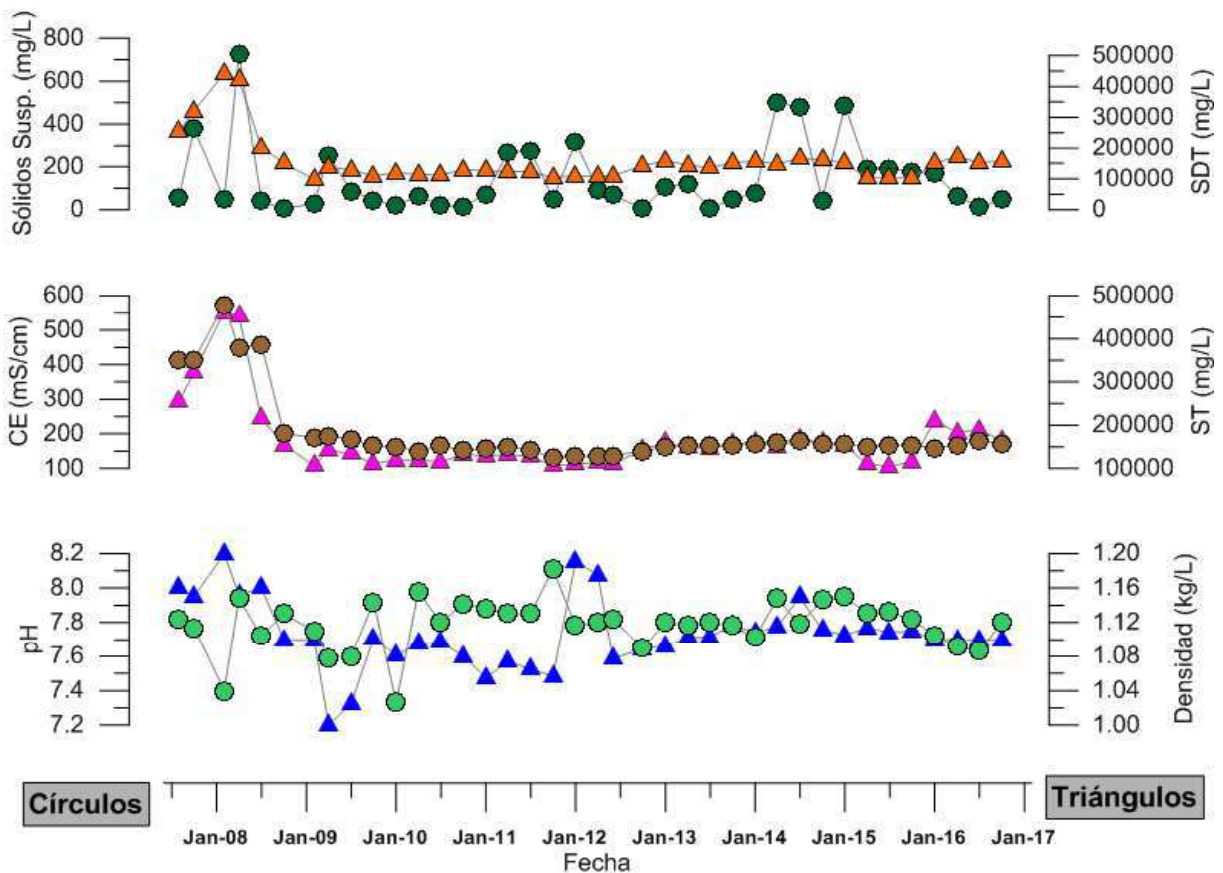
Fuente: Elaboración propia.

²⁰ 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 5-228: Resultados de análisis físico-químico del pozo L4-12
L4-12 (terreno)



L4-12 (laboratorio)



Círculos

Triángulos

Jan-08 Jan-09 Jan-10 Jan-11 Jan-12 Jan-13 Jan-14 Jan-15 Jan-16 Jan-17
Fecha

Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-229: Resultados de análisis físico-químico del pozo L5-3.
L5-3 (terreno)

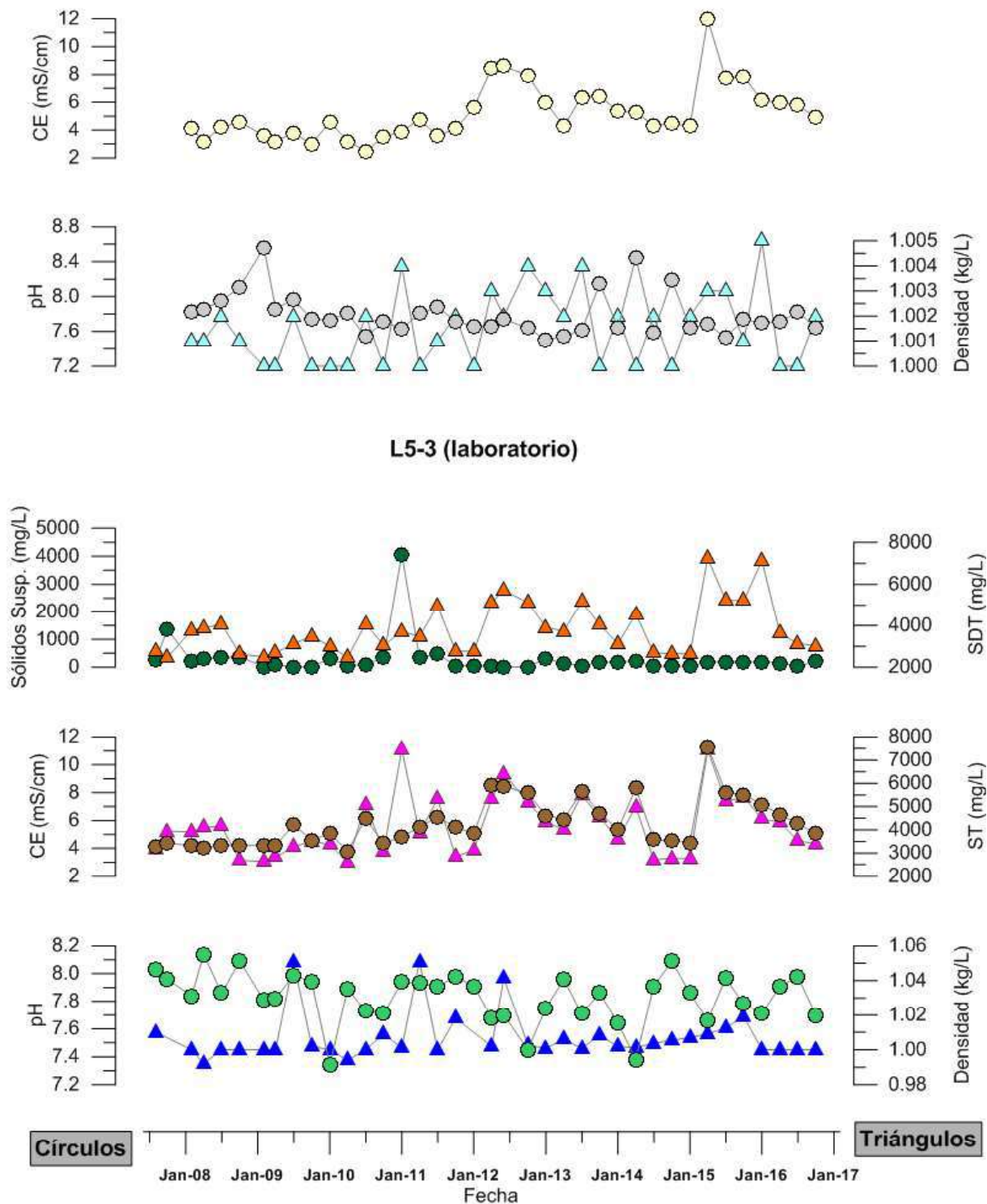
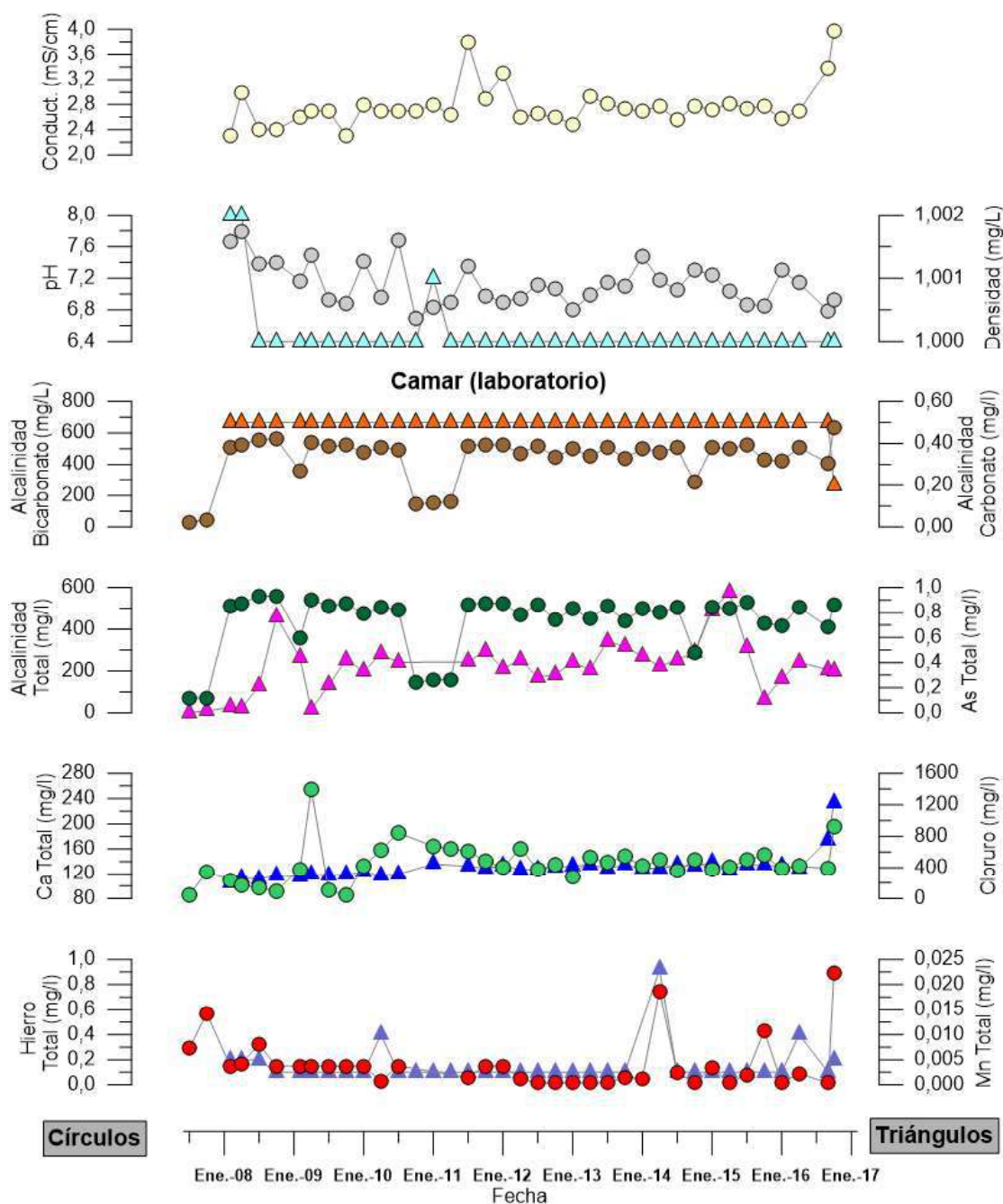


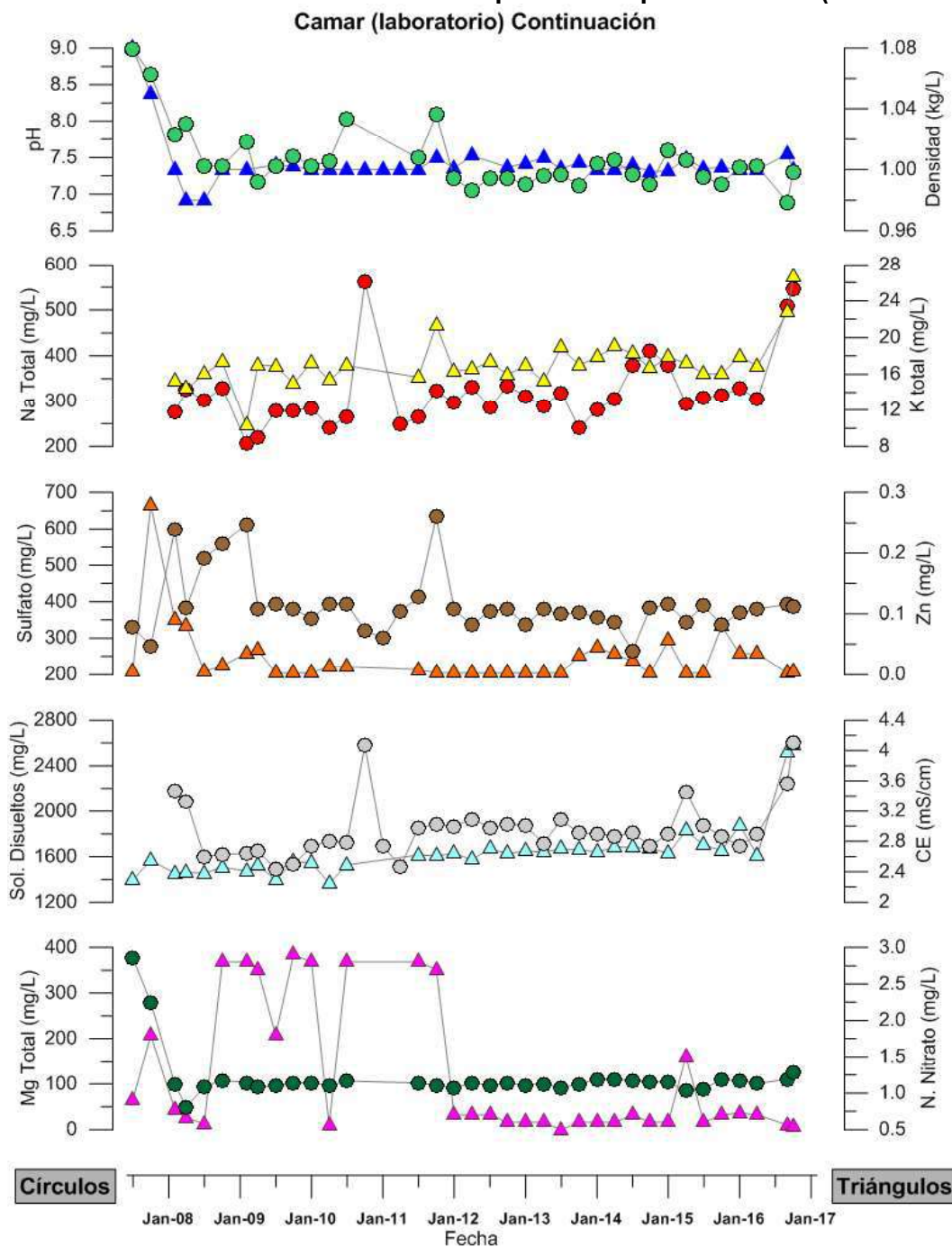
Figura 5-230: Resultados de análisis físico-químico del pozo Camar 2²¹
Camar (terreno)



Fuente: Elaboración propia.

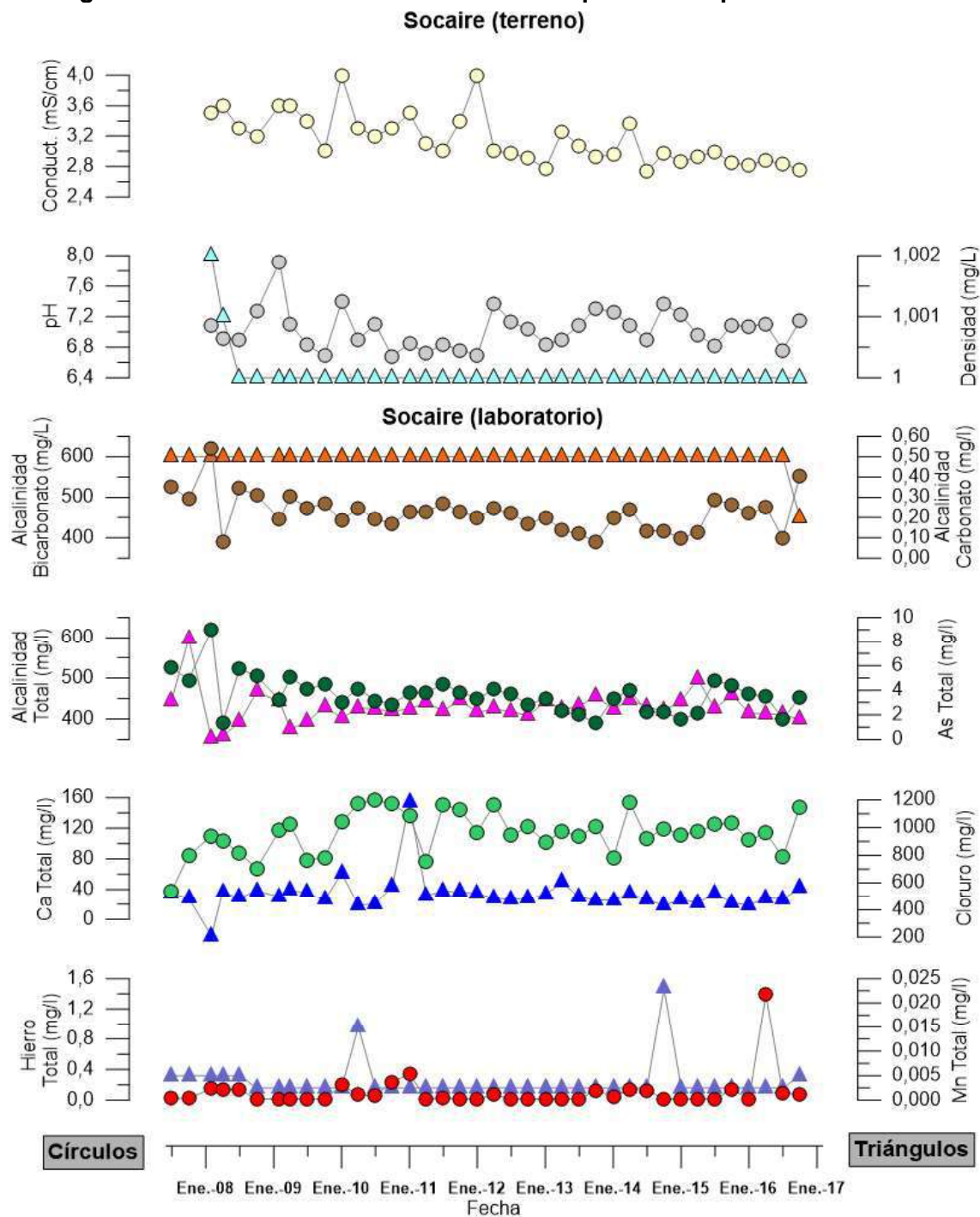
²¹ Para evitar problemas de escala a la serie de alcalinidad carbonato se le sacó el dato de julio y octubre de 2007 correspondientes a un valor de 40 y 24 mg/L respectivamente; a la serie del Cloruro se le sacó el dato de julio y octubre de 2007 correspondiente a un valor de 7.420 y 6.570 mg/L respectivamente. No existe registro de químicas del mes de abril 2016, por encontrarse el pozo detenido, por lo que el valor reportado corresponde al promedio de valores medidos. La diferencia en el valor de Alcalinidad Carbonato reportada se debe a que SGS presenta un límite de detección de 0,2 mg/l en comparación a los 0,5 mg/l de ALS

Figura 5-231: Resultados de análisis físico-químico del pozo Camar 2 (continuación)²²



²² 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. No existe registro de químicas del mes de abril 2016, por encontrarse el pozo detenido, por lo que el valor reportado corresponde al promedio de valores medidos.

Figura 5-232: Resultados de análisis físico-químico del pozo Socaire 5B²³



²³ La diferencia en el valor de Alkalinidad Carbonato reportada se debe a que SGS presenta un límite de detección de 0,2 mg/l en comparación a los 0,5 mg/l de ALS

Figura 5-233: Resultados de análisis físico-químico del pozo Socaire 5B (continuación)

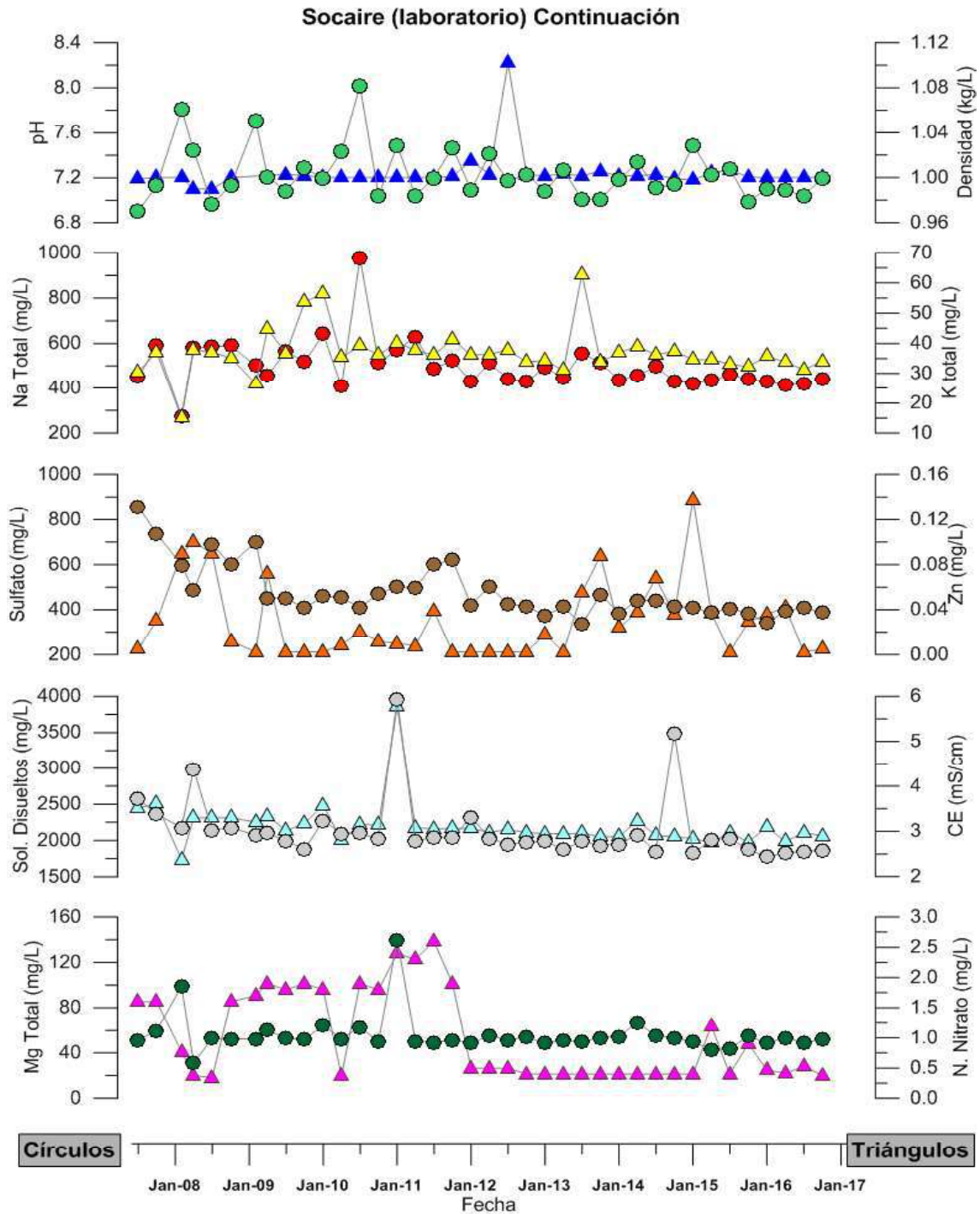
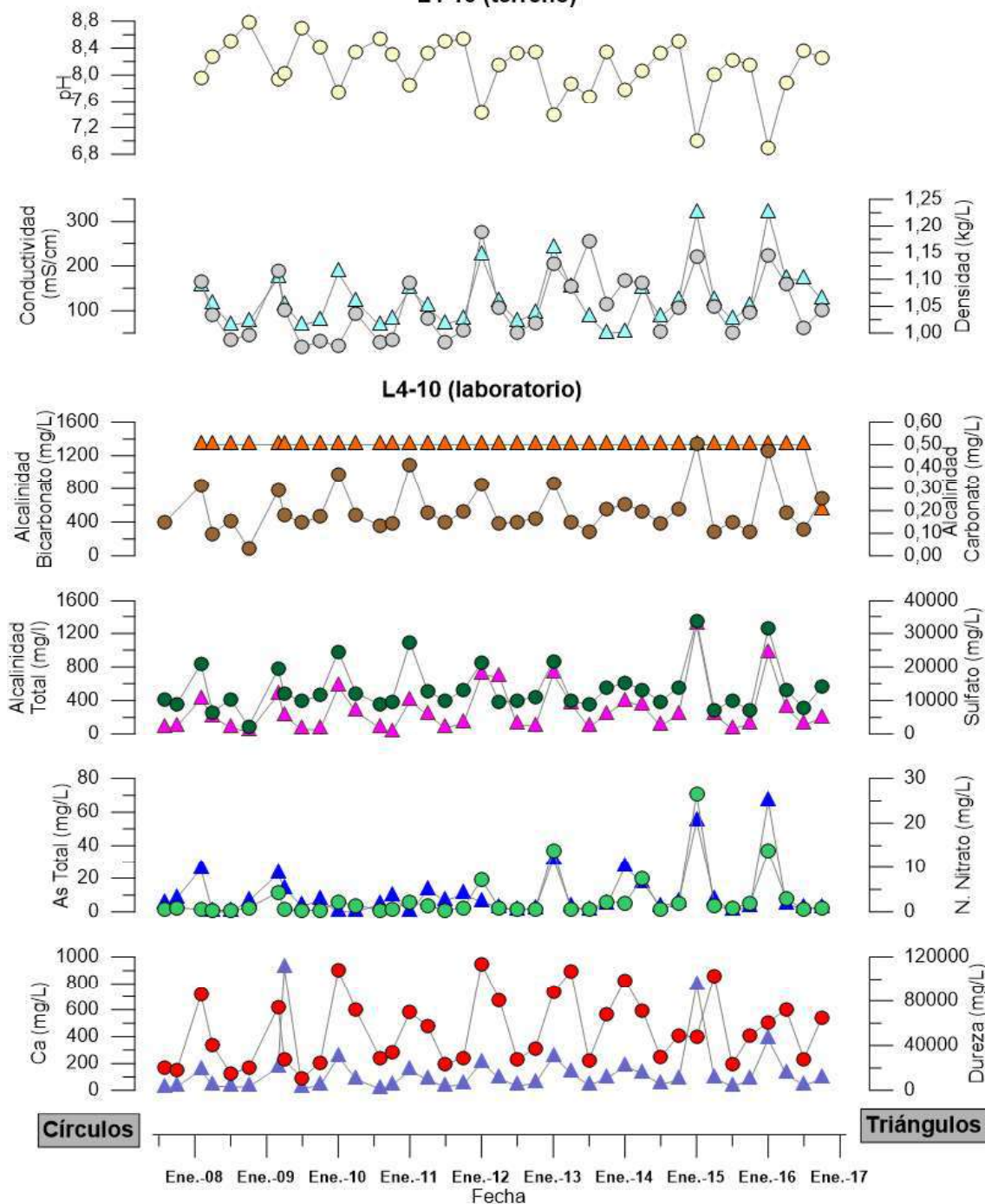


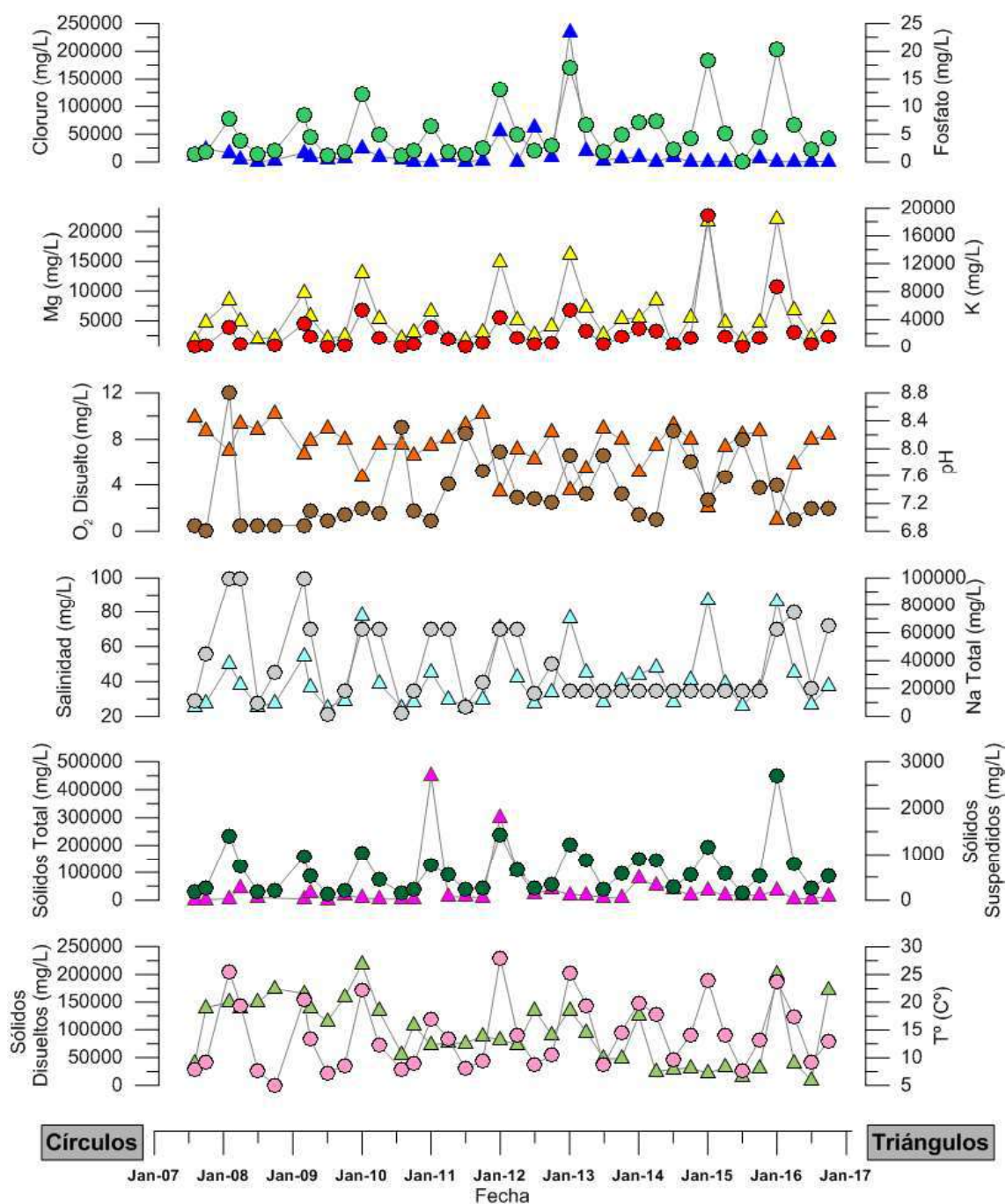
Figura 5-234: Resultados de análisis físico-químico del pozo L4-10²⁴
L4-10 (terreno)



Fuente: Elaboración propia.

²⁴ 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. La diferencia en el valor de Alcalinidad Carbonato reportada se debe a que SGS presenta un límite de detección de 0,2 mg/l en comparación a los 0,5 mg/l de ALS.

Figura 5-235: Resultados de análisis físico-químico del pozo L4-10 (continuación)
L4-10 (laboratorio) Continuación



Fuente: Elaboración propia.

5.2.3 Sistema Peine

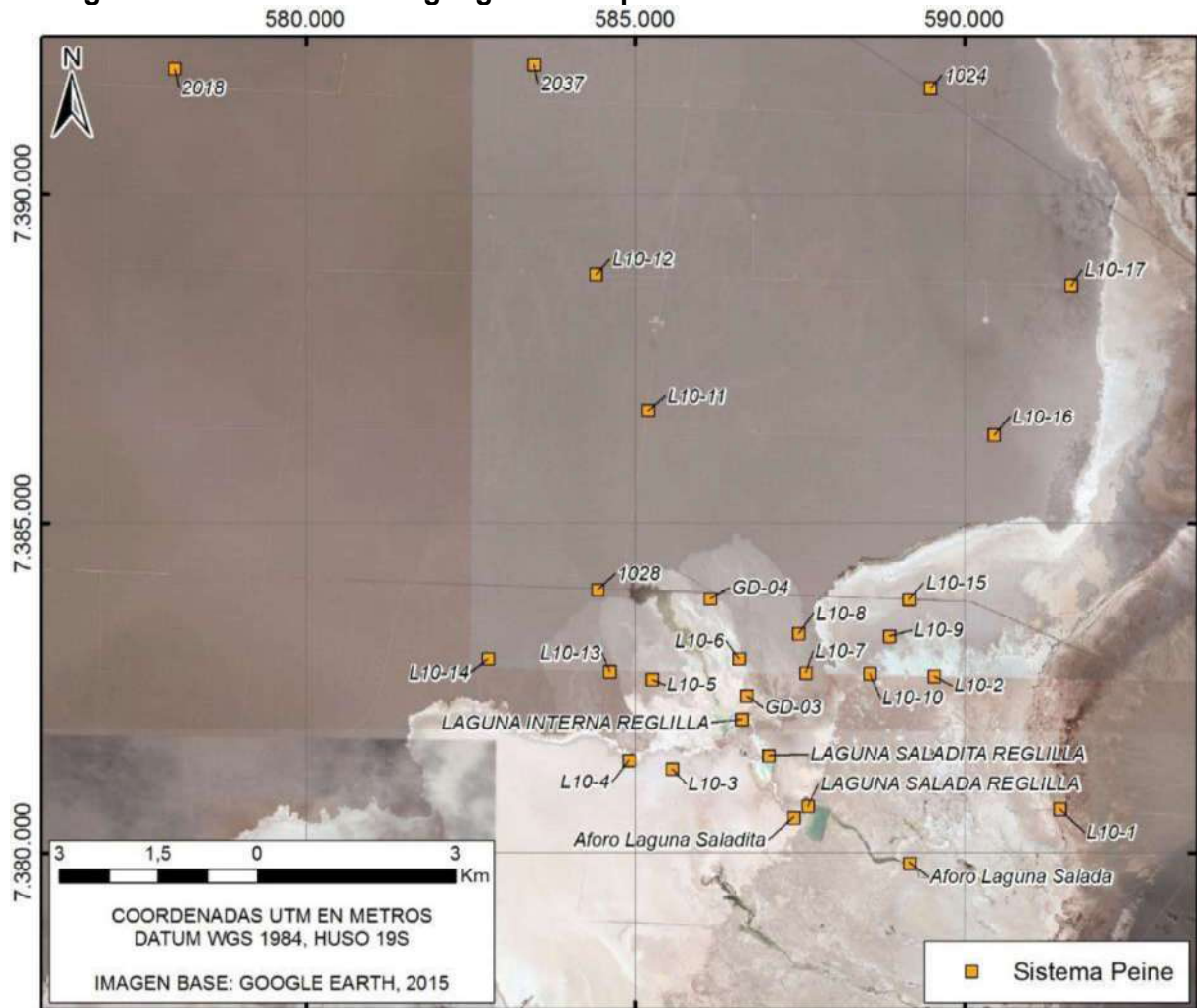
Los puntos de monitoreo del sistema Peine se encuentran ubicados al sureste del Salar de Atacama, entre las coordenadas 7.393.000 a 7.379.000 norte y 577.000 a 592.000 este. En la Figura 5-236 se muestra la distribución geográfica de los puntos. En la Tabla 5-10 se indican los puntos de monitoreo del 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 5-10: Puntos de monitoreo del sistema Peine

Punto de Monitoreo	Clasificación	Tipología	Pág.
GD-04	Zona marginal	Pozo profundo	218
L10-1	Zona marginal	Pozo profundo	219
L10-2	Zona marginal	Pozo somero	219
L10-3	Zona marginal	Pozo somero	220
L10-4	Zona marginal	Pozo somero	220
L10-5	Zona marginal	Pozo somero	221
L10-6	Zona marginal	Pozo somero	221
L10-7	Zona marginal	Pozo somero	222
L10-8	Zona marginal	Pozo somero	222
L10-9	Zona marginal	Pozo somero	223
L10-10	Zona marginal	Pozo somero	223
L10-15	Zona marginal	Pozo somero	224
1024	Salmuera	Pozo somero	225
1028	Salmuera	Pozo profundo	225
2018	Salmuera	Pozo somero	226
2037	Salmuera	Pozo somero	226
GD-03	Salmuera	Pozo profundo	227
L10-11	Salmuera	Pozo somero	227
L10-12	Salmuera	Pozo somero	228
L10-13	Salmuera	Pozo somero	228
L10-14	Salmuera	Pozo somero	229
L10-16	Salmuera	Pozo somero	229
L10-17	Salmuera	Pozo somero	230
Laguna Salada Reglilla	Zona marginal	Reglilla	230
Laguna Saladita Reglilla	Zona marginal	Reglilla	231
Laguna Interna Reglilla	Zona marginal	Reglilla	231
Aforo Salada	Zona marginal	Aforo	243
Aforo Saladita	Zona marginal	Aforo	245
Laguna Salada	Zona marginal	Superficie Lacustre	246 y 249
Laguna Saladita	Zona marginal	Superficie Lacustre	246 y 249
Laguna Interna	Zona marginal	Superficie Lacustre	249

Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-236: Distribución geográfica de puntos de monitoreo del sistema Peine



Fuente: Elaboración propia.

5.2.3.1 Nivel del agua subterránea y superficial

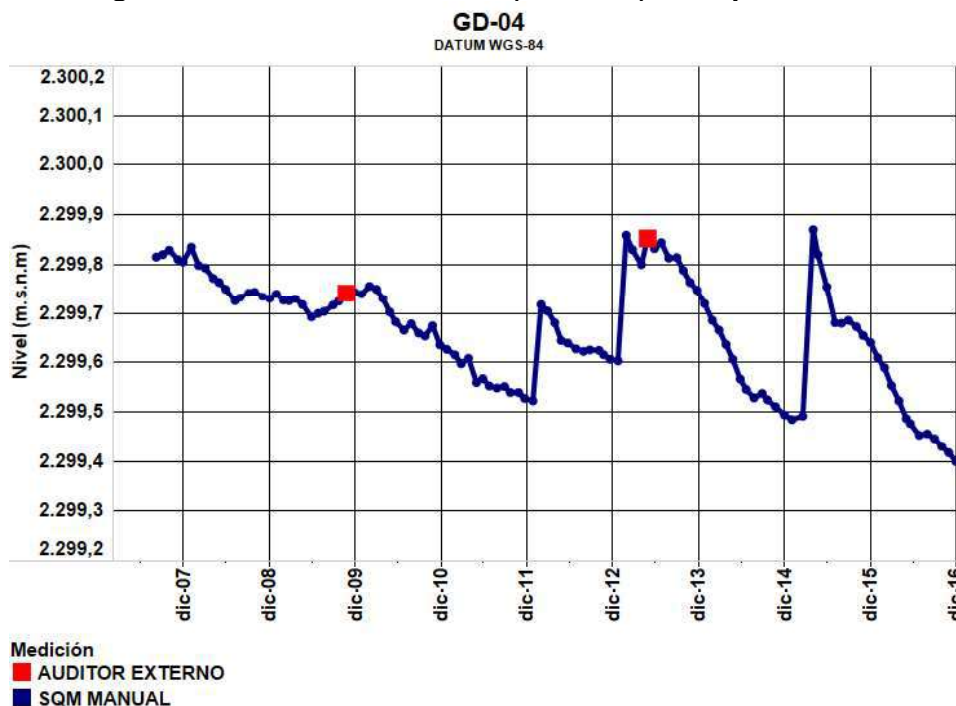
En esta sección se presenta los niveles de todos los pozos y reglillas construidos como parte de la red de monitoreo del PSAH para el sistema Peine.

El pozo L10-1 (Figura 5-238) es parte del monitoreo de los sistemas Peine y Cuña Salina y será presentado sólo en esta sección. Dentro del periodo correspondiente al presente informe, Arcadis realizó visitas y validaciones (diciembre 2016) en este sistema en los pozos L10-17 y L10-16.

5.2.3.1.1 Pozos en zona marginal

De la Figura 5-237 a la Figura 5-248 se presentan los niveles en los pozos pertenecientes al Sistema Peine que se ubican en la zona marginal.

Figura 5-237: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo GD-04



Fuente: Elaboración propia.

Posterior a un muestreo de agua en el pozo L10-1 (Figura 5-247), el cual se realizó con una bomba de bajo caudal en diciembre de 2008, la recuperación del nivel inicial tardó más de lo esperado. Se puede observar que la recuperación podría estar afectada por la estacionalidad invierno/verano lo que se refleja de forma similar a escalones de ascenso en lugar de ascenso continuo.

Figura 5-238: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L10-1



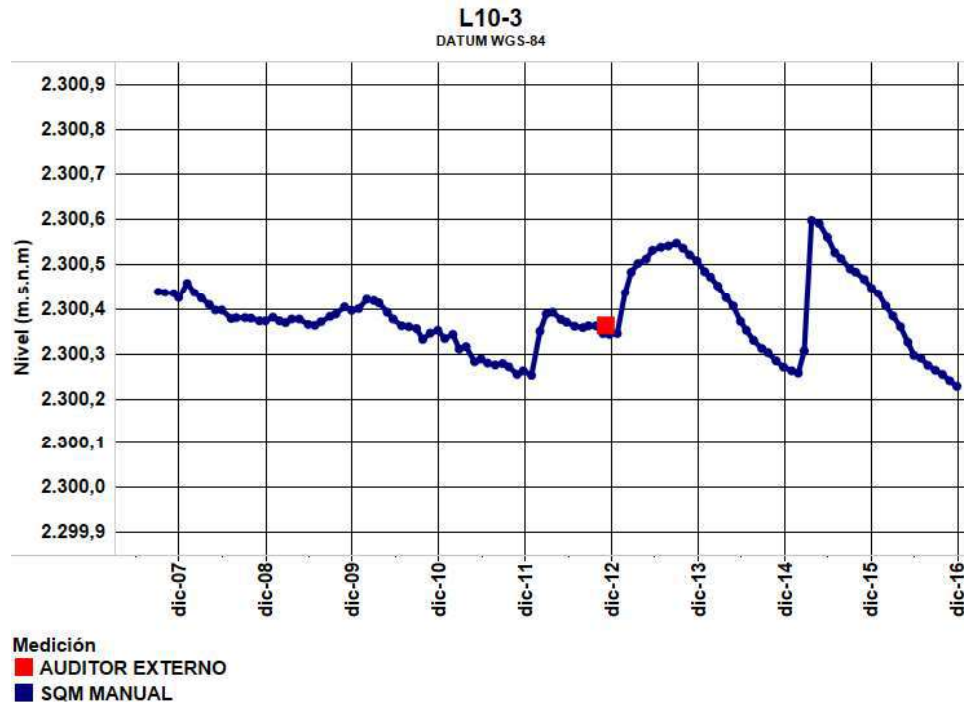
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-239: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L10-2



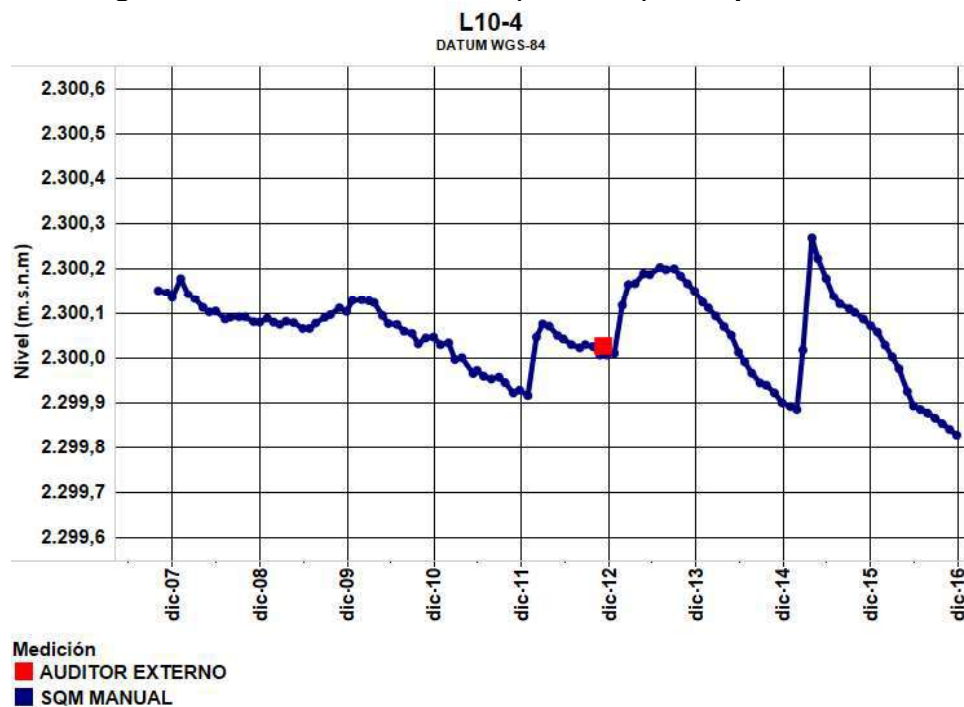
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-240: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L10-3



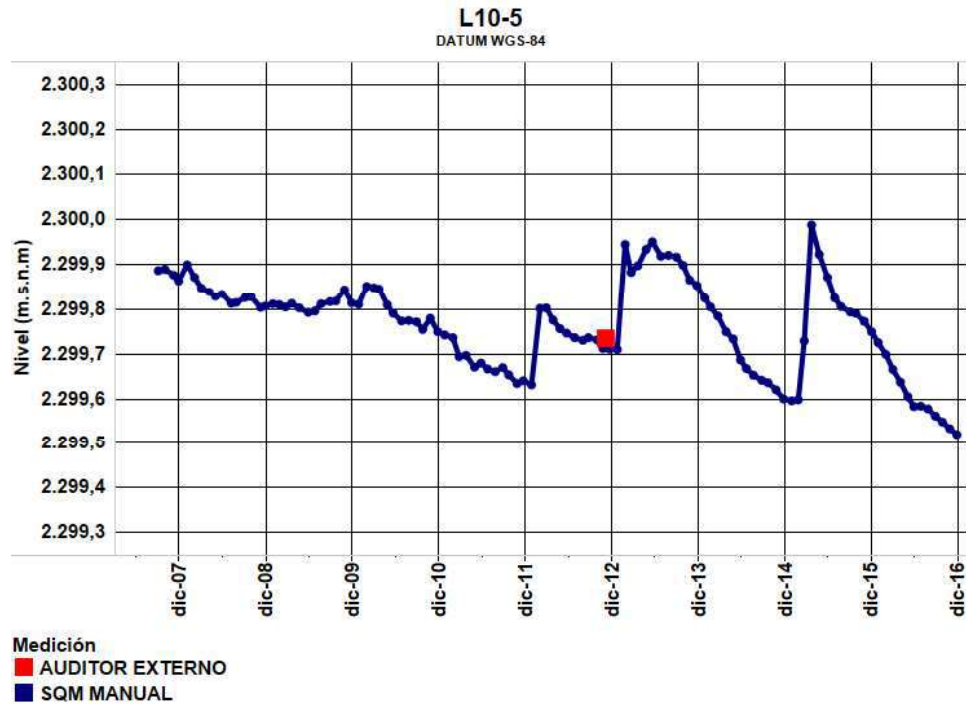
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-241: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L10-4.



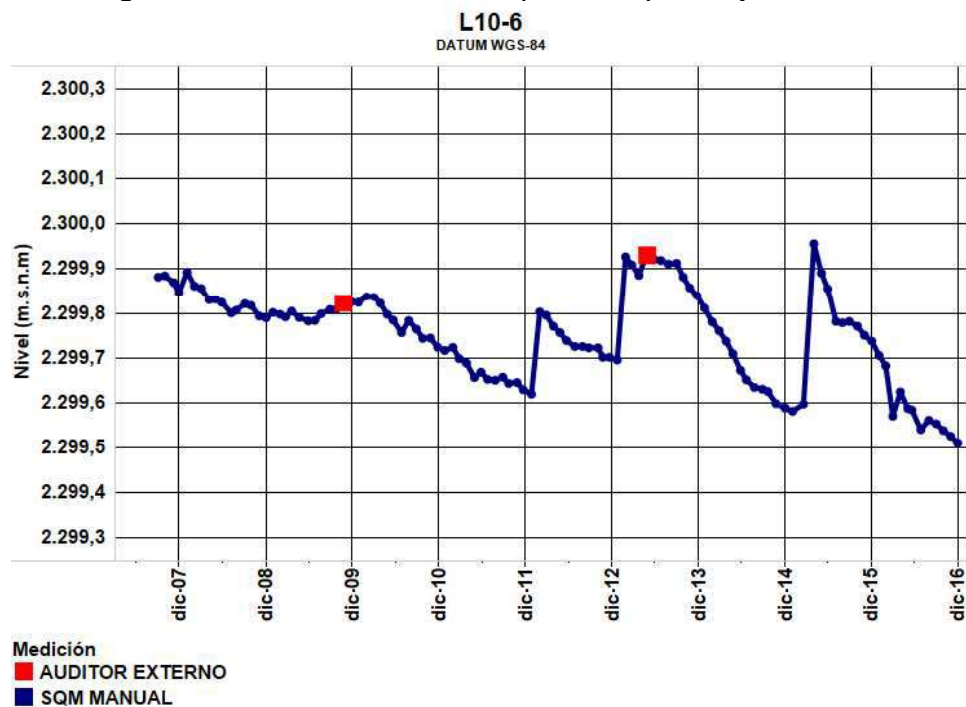
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-242: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L10-5



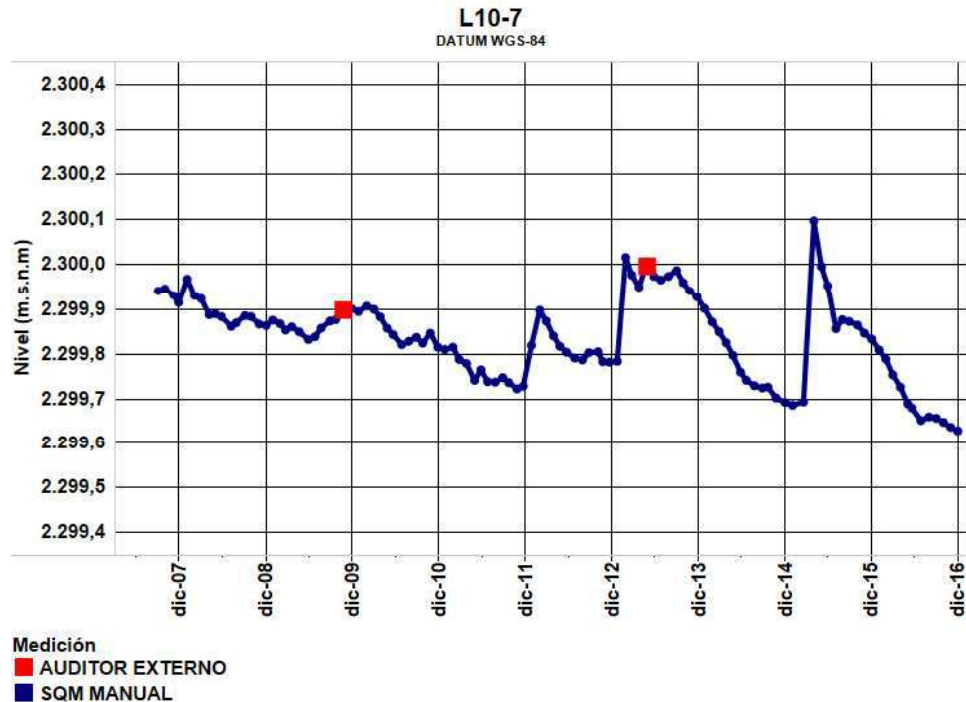
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-243: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L10-6



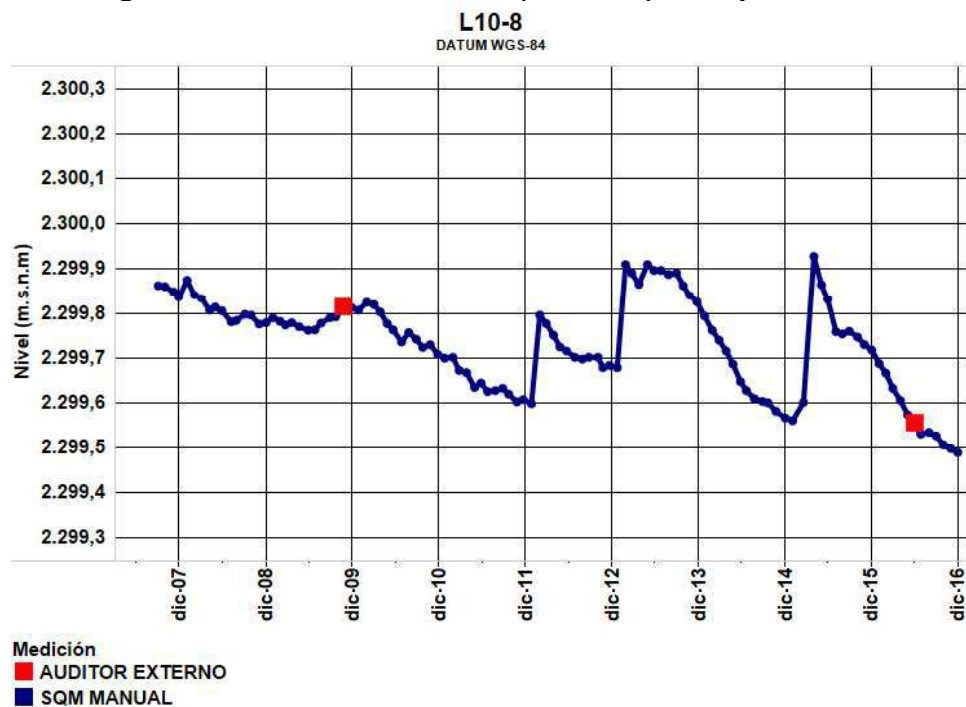
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-244: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L10-7



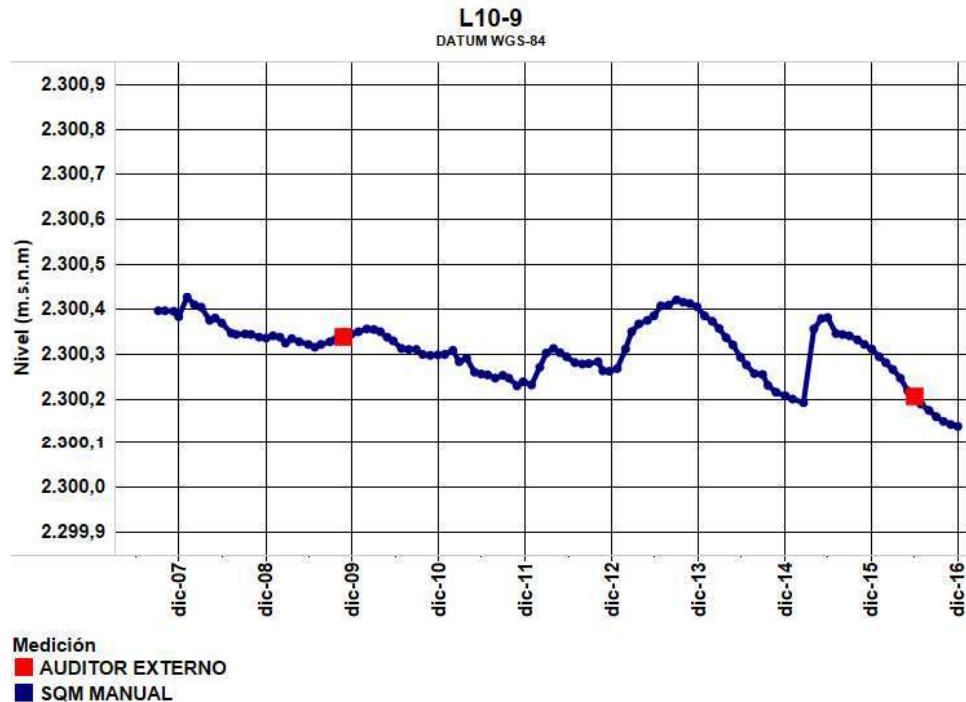
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-245: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L10-8



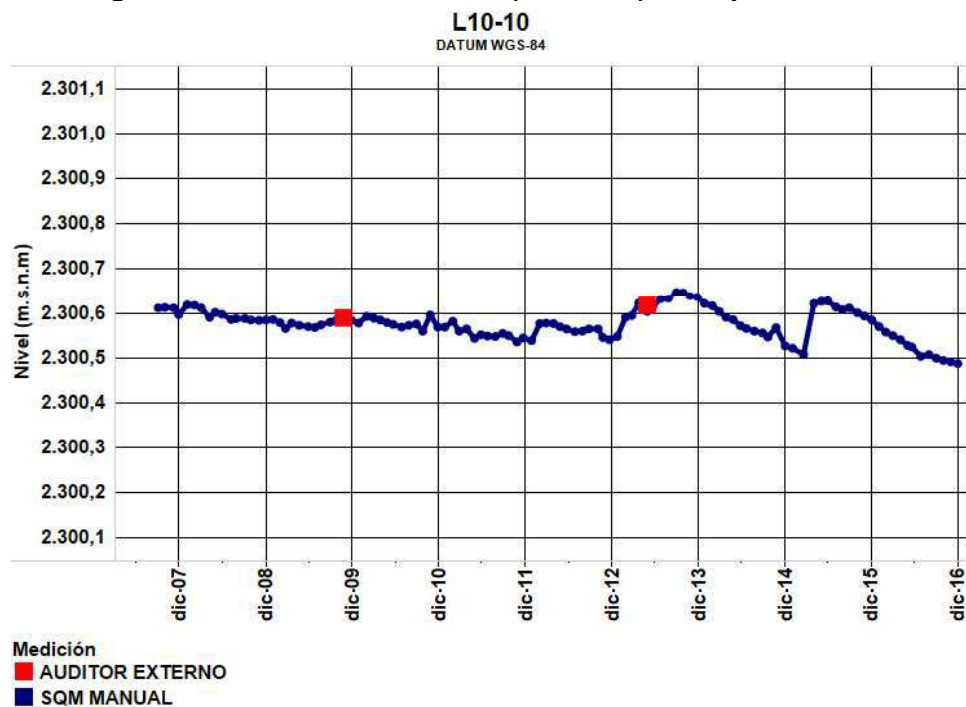
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-246: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L10-9



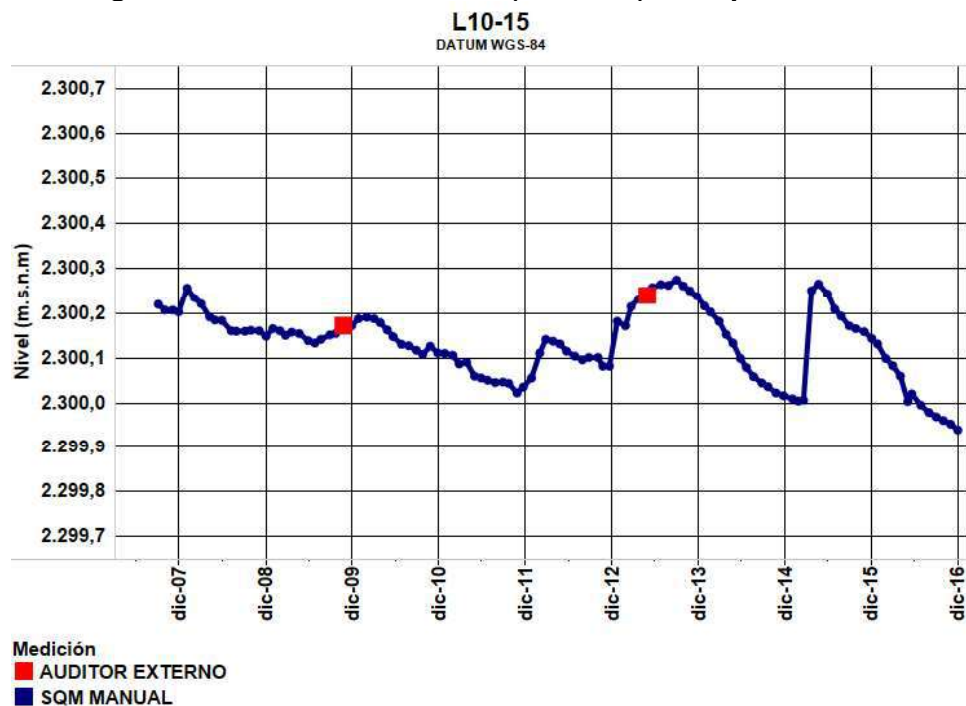
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-247: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L10-10



Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-248: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L10-15

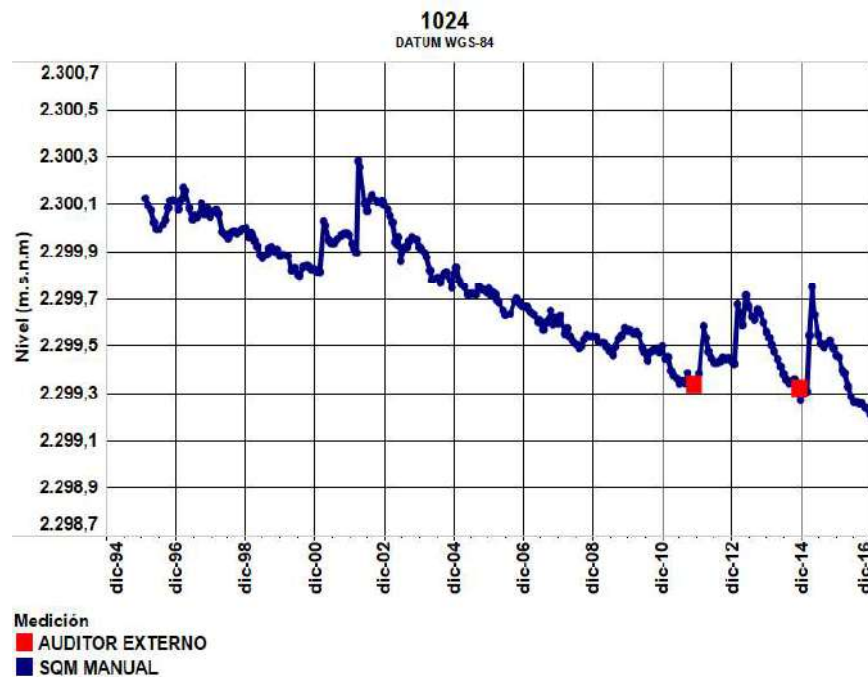


Fuente: Elaboración propia.

5.2.3.1.2 Pozos de salmuera

De la Figura 5-249 a la Figura 5-259 se presentan los pozos ubicados en el sector del núcleo del Salar que pertenecen al Sistema Peine.

Figura 5-249: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo 1024



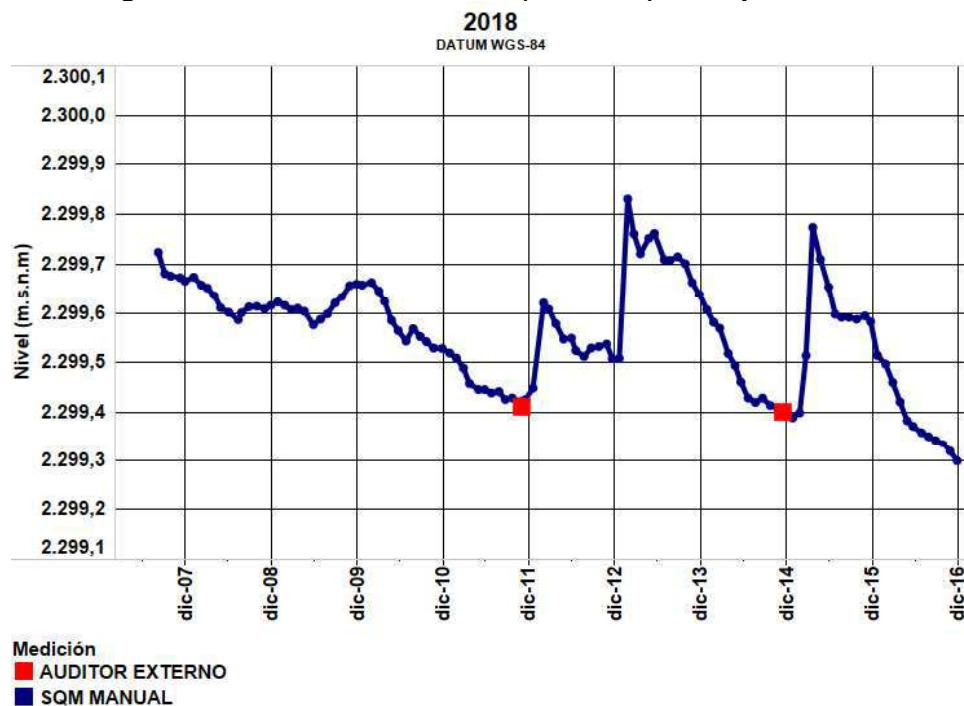
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-250: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo 1028



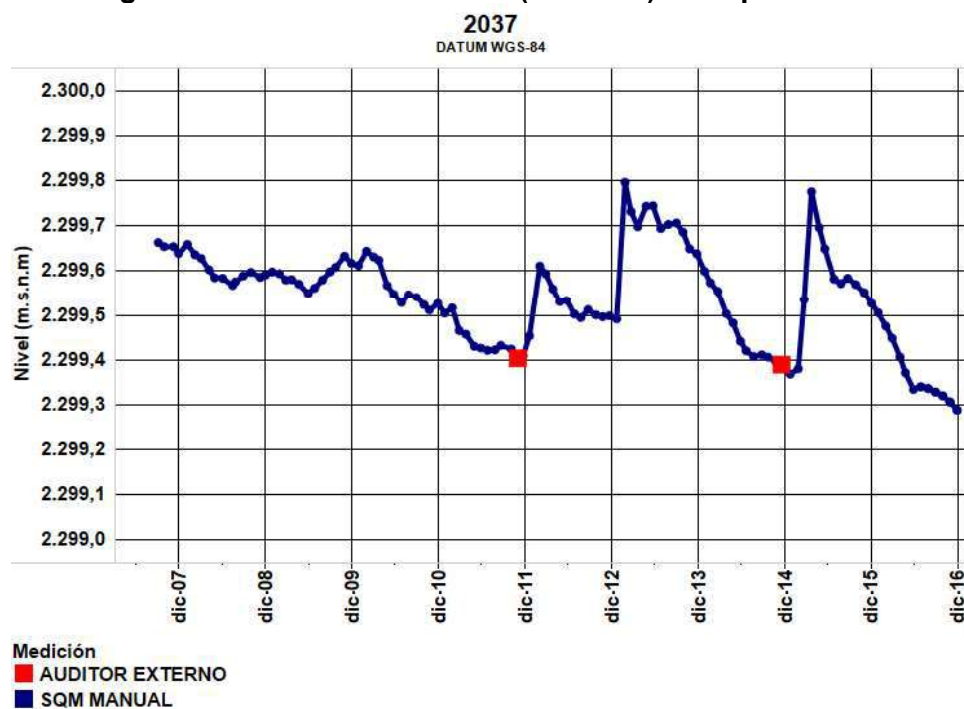
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-251: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo 2018.



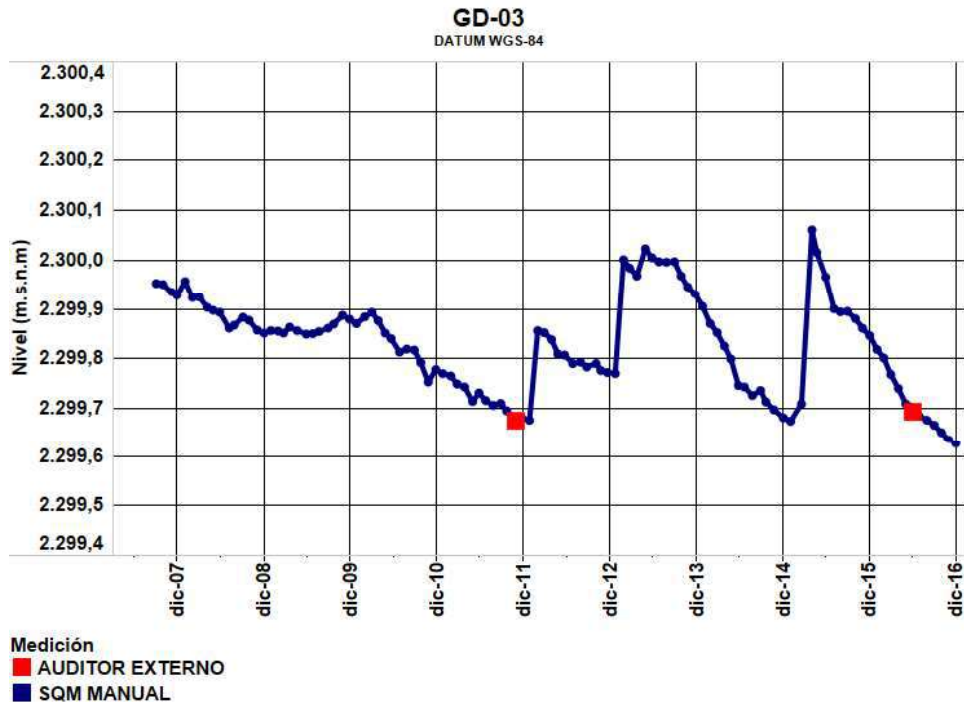
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-252: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo 2037.



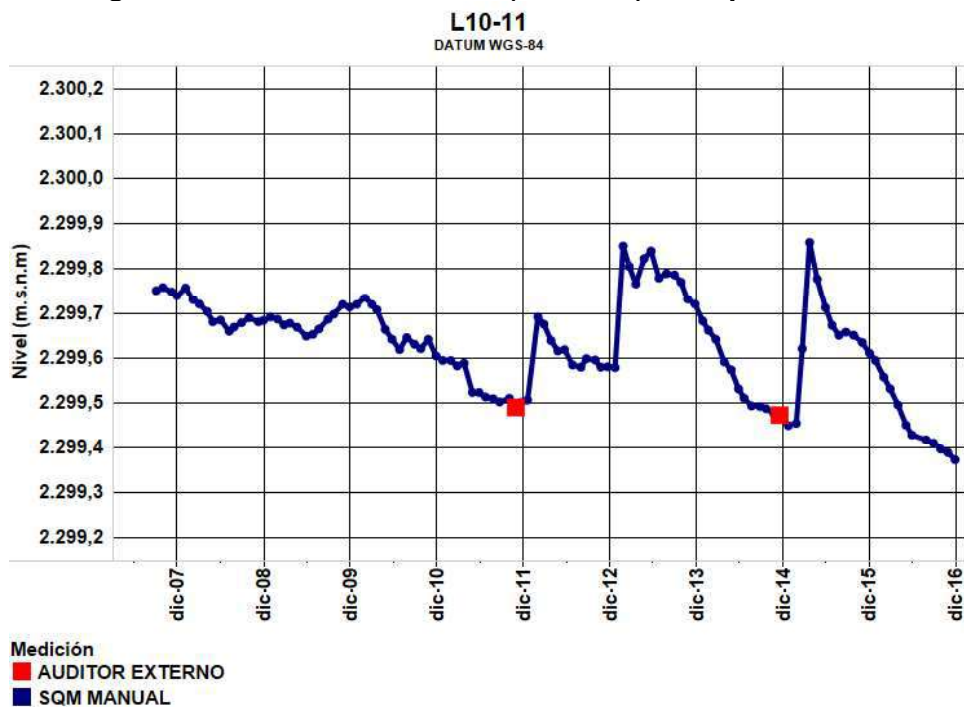
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-253: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo GD-03.



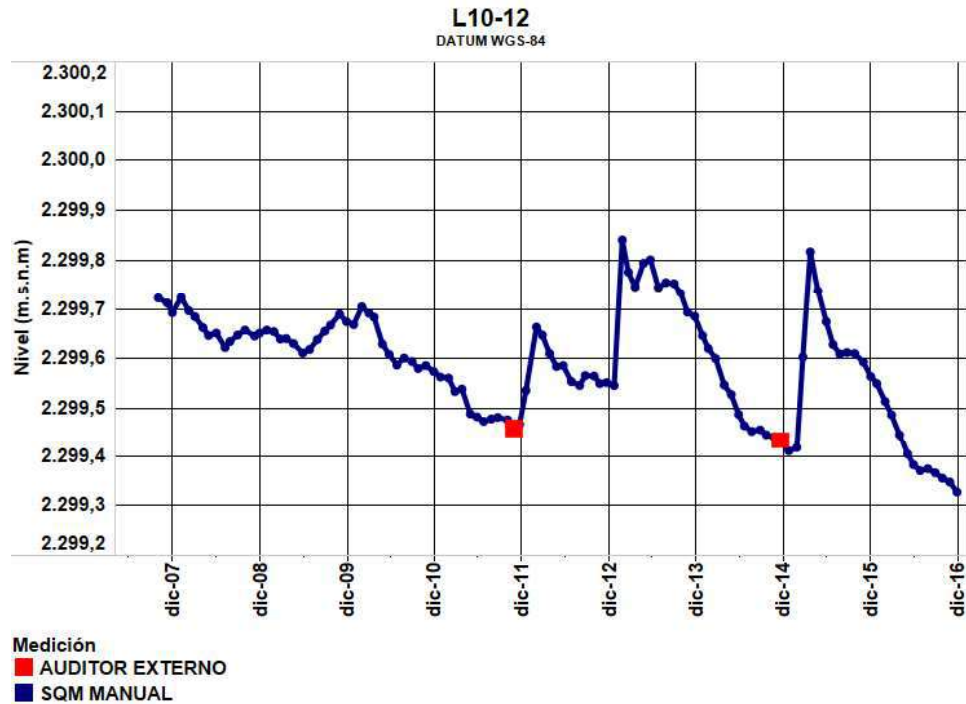
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-254: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L10-11



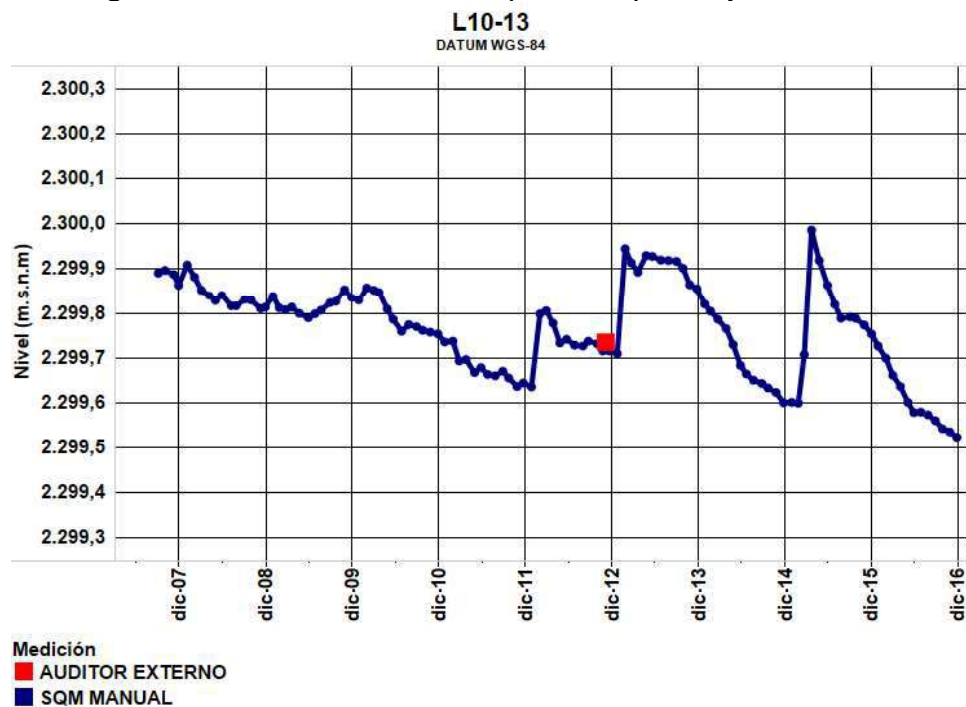
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-255: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L10-12.



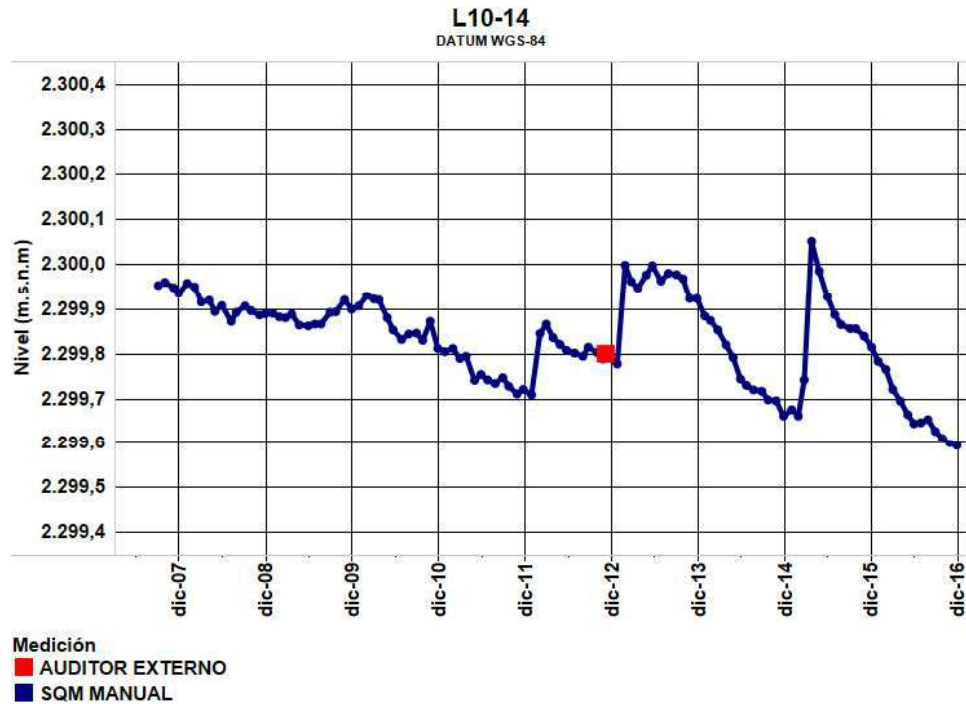
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-256: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L10-13.



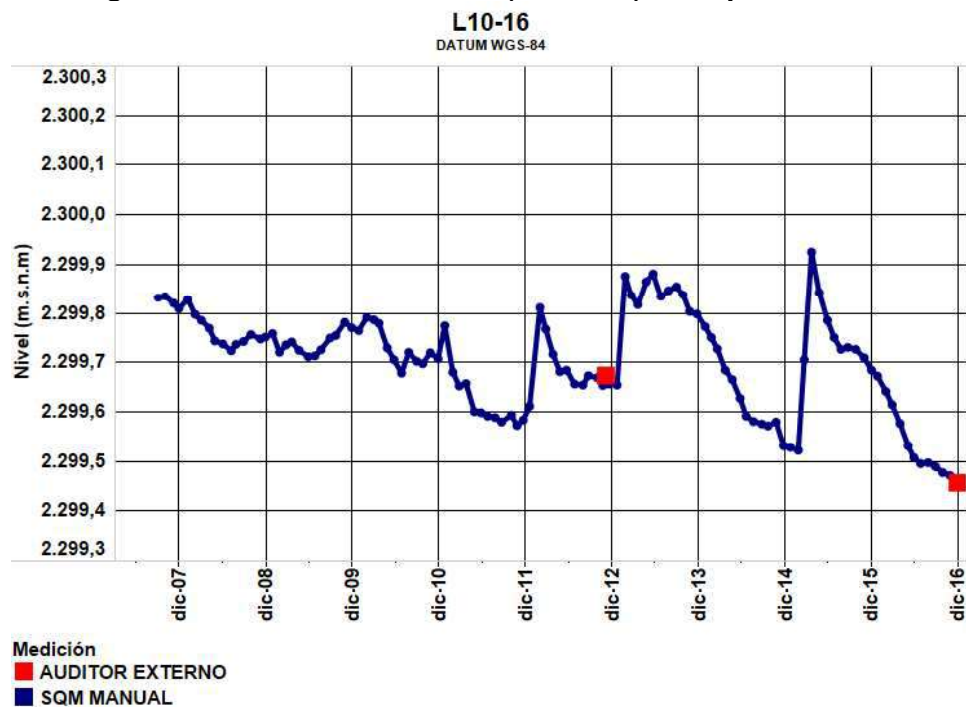
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-257: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L10-14.



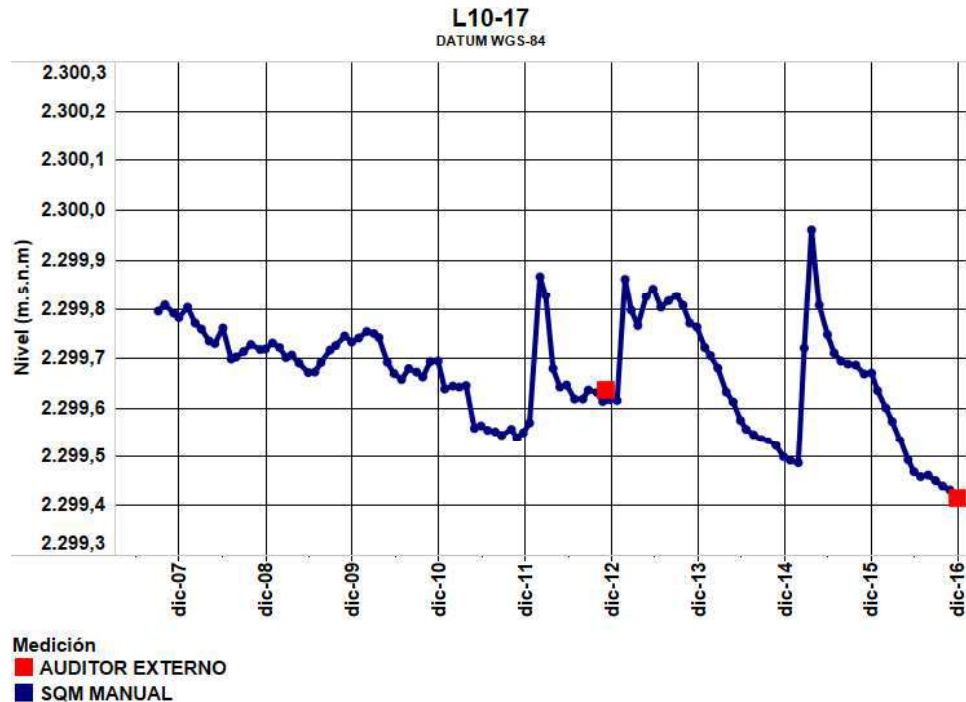
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-258: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L10-16.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-259: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L10-17.

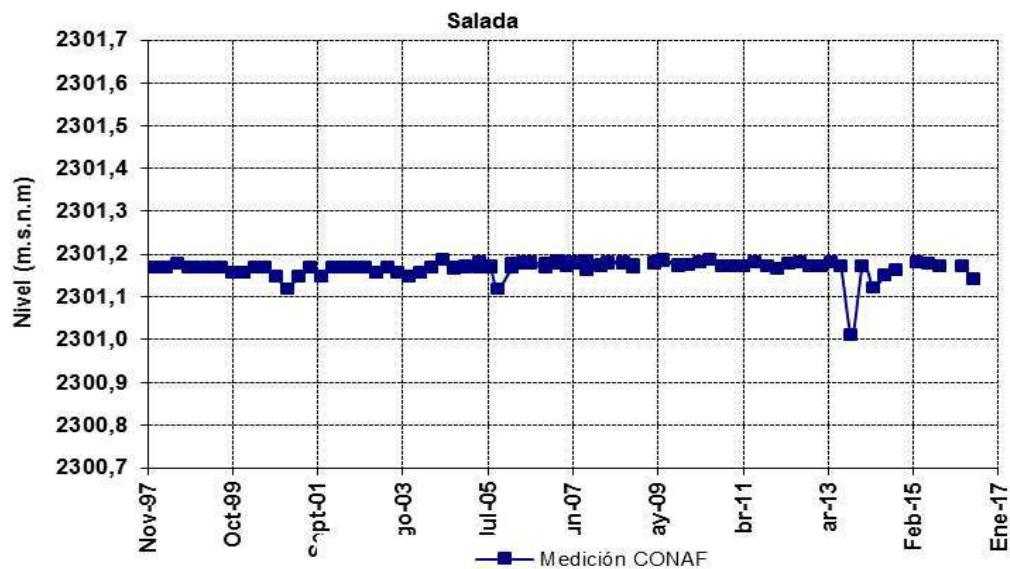


Fuente: Elaboración propia.

5.2.3.2 Nivel lacustre

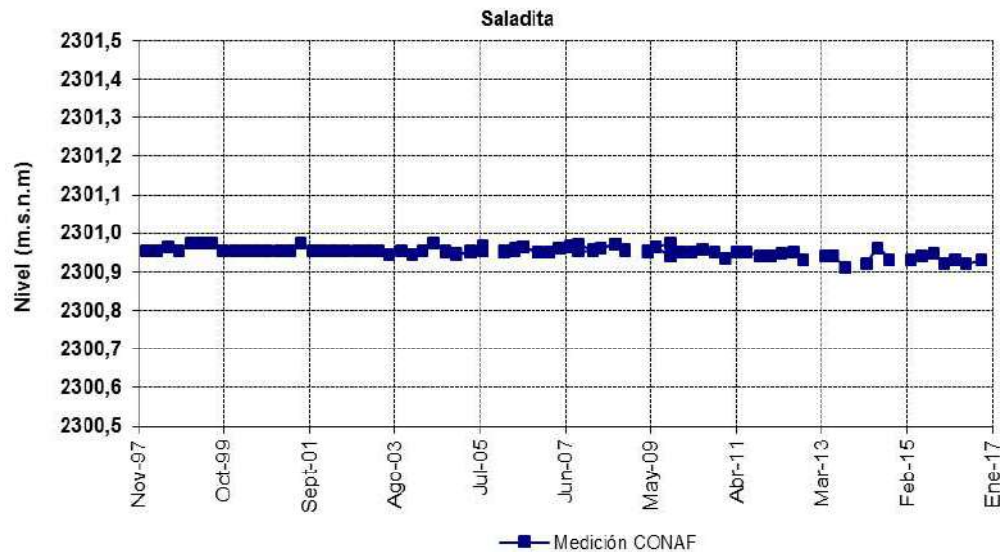
Las mediciones del nivel lacustre para el sistema Peine son realizadas directamente por CONAF y se incluyen en esta sección en virtud del convenio entre CONAF y SQM (Figura 5-260 a Figura 5-262).

Figura 5-260: Nivel observado (m.s.n.m.) en Laguna Salada.



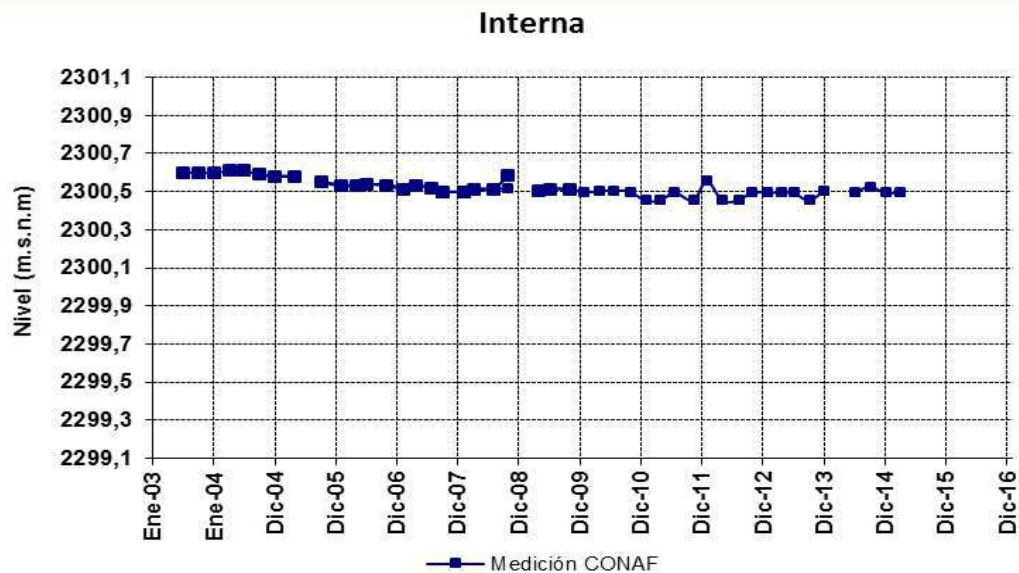
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-261: Nivel observado (m.s.n.m.) en Laguna Saladita.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-262: Nivel observado (m.s.n.m.) en Laguna Interna.



Fuente: Elaboración propia.

5.2.3.3 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 5-263 a la Figura 5-265 se presenta las mediciones efectuadas en terreno por SQM y los resultados de los análisis químicos realizados por los laboratorios. En el ANEXO 15 se presenta los informes de análisis químicos.

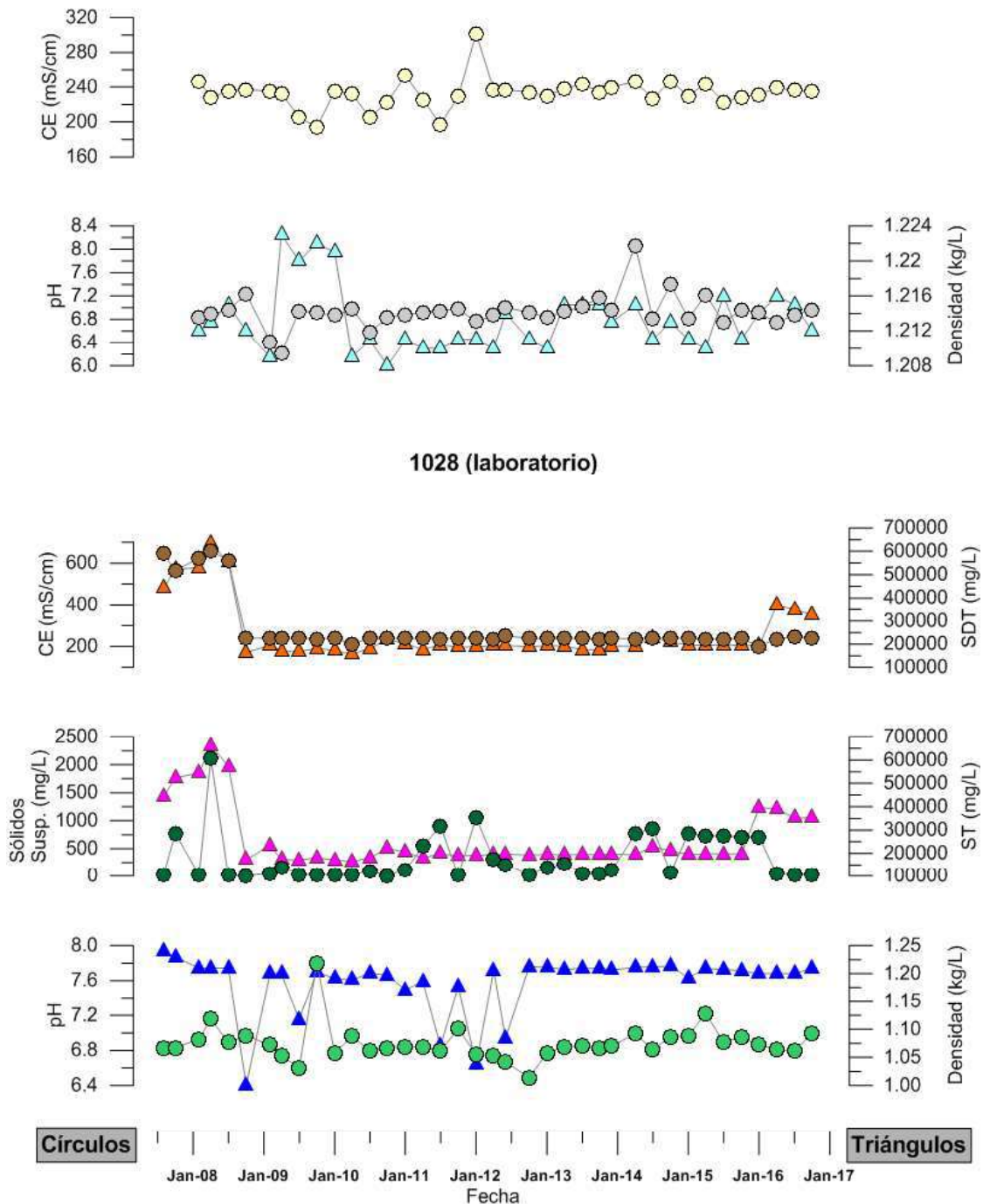
Respecto a los parámetros de calidad del agua de las lagunas del sistema Peine, CONAF realiza el muestreo en el marco del convenio que actualmente posee con SQM. Los

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 5-266 a la Figura 5-271 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 tienen los valores en el eje izquierdo y las con un triángulo tienen los valores en el eje derecho.

5.2.3.3.1 Muestreo realizado por SQM

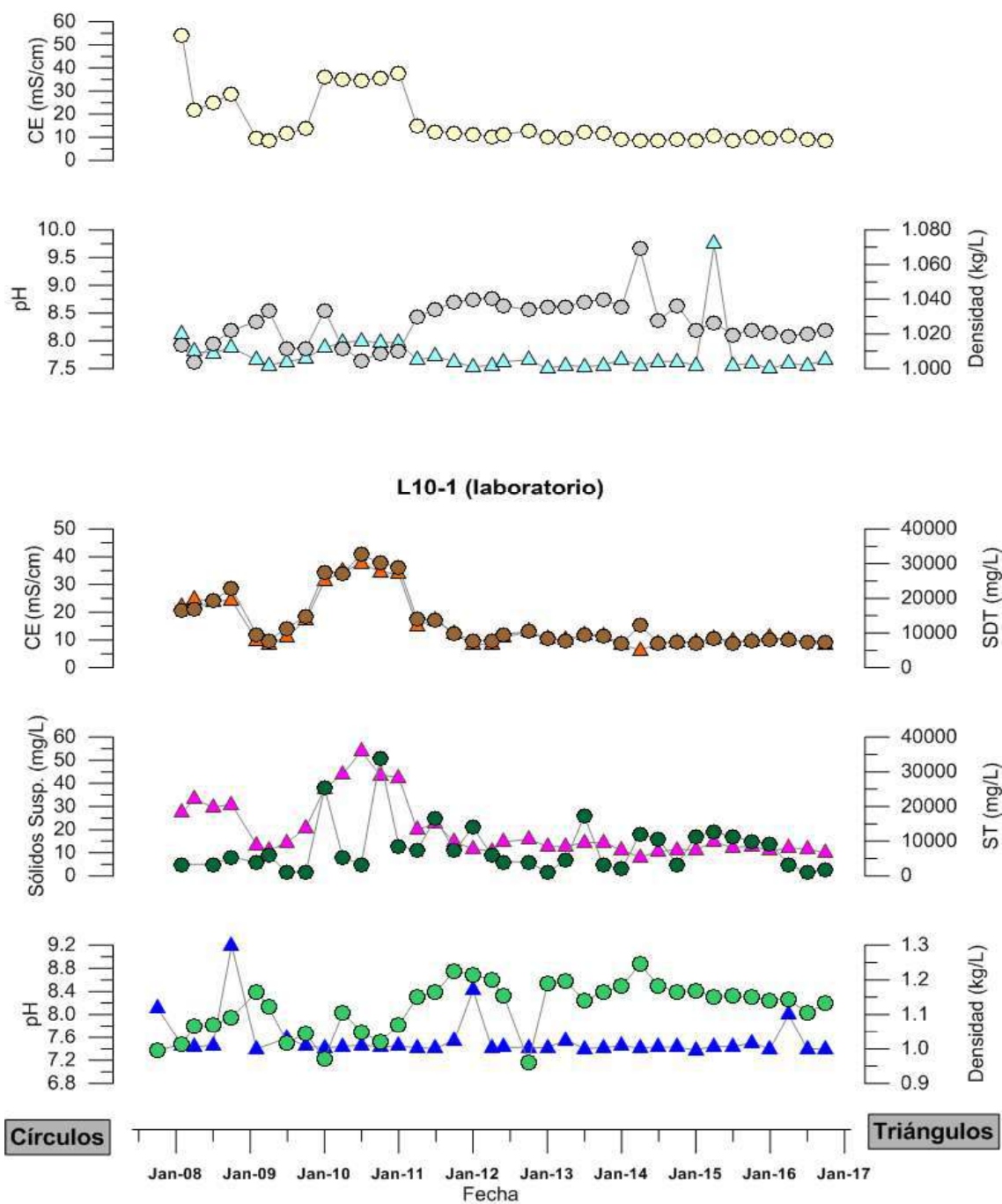
A continuación, se presentan los resultados de análisis físico-químico de muestras de agua tomadas en terreno por SQM y analizadas por los laboratorios ALS Patagonia S.A. y SGS Chile Ltda.

Figura 5-263: Resultados de análisis físico-químico del pozo 1028
1028 (terreno)



Fuente: Elaboración propia.

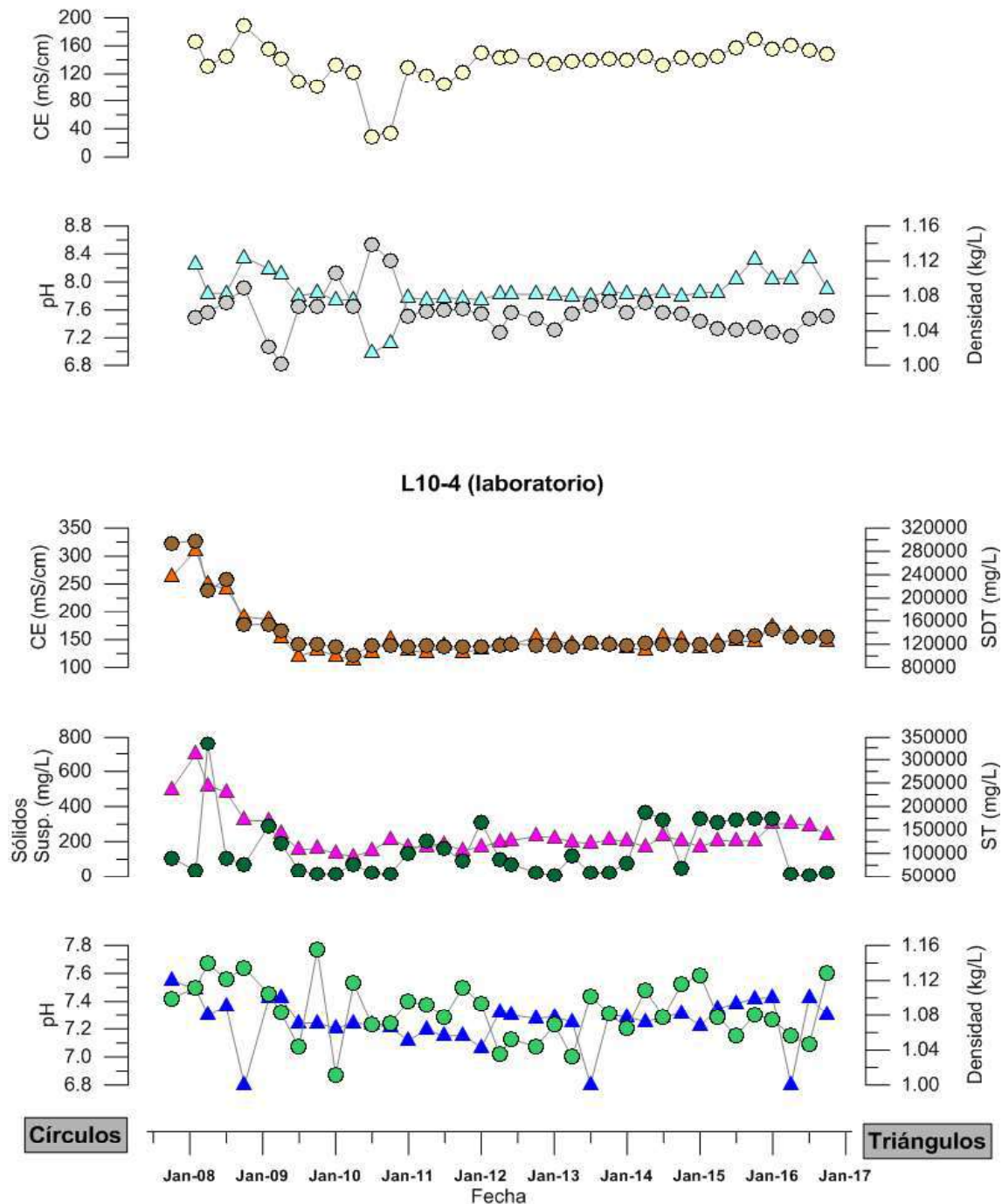
Figura 5-264: Resultados de análisis físico-químico del pozo L10-1²⁵
L10-1 (terreno)



Fuente: Elaboración propia.

²⁵ 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 5-265: Resultados de análisis físico-químico del pozo L10-4.
L10-4 (terreno)



Fuente: Elaboración propia.

5.2.3.3.2 Muestreo realizado por CONAF

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

Figura 5-266: Resultados de análisis físico-químico CONAF de la laguna Interna.

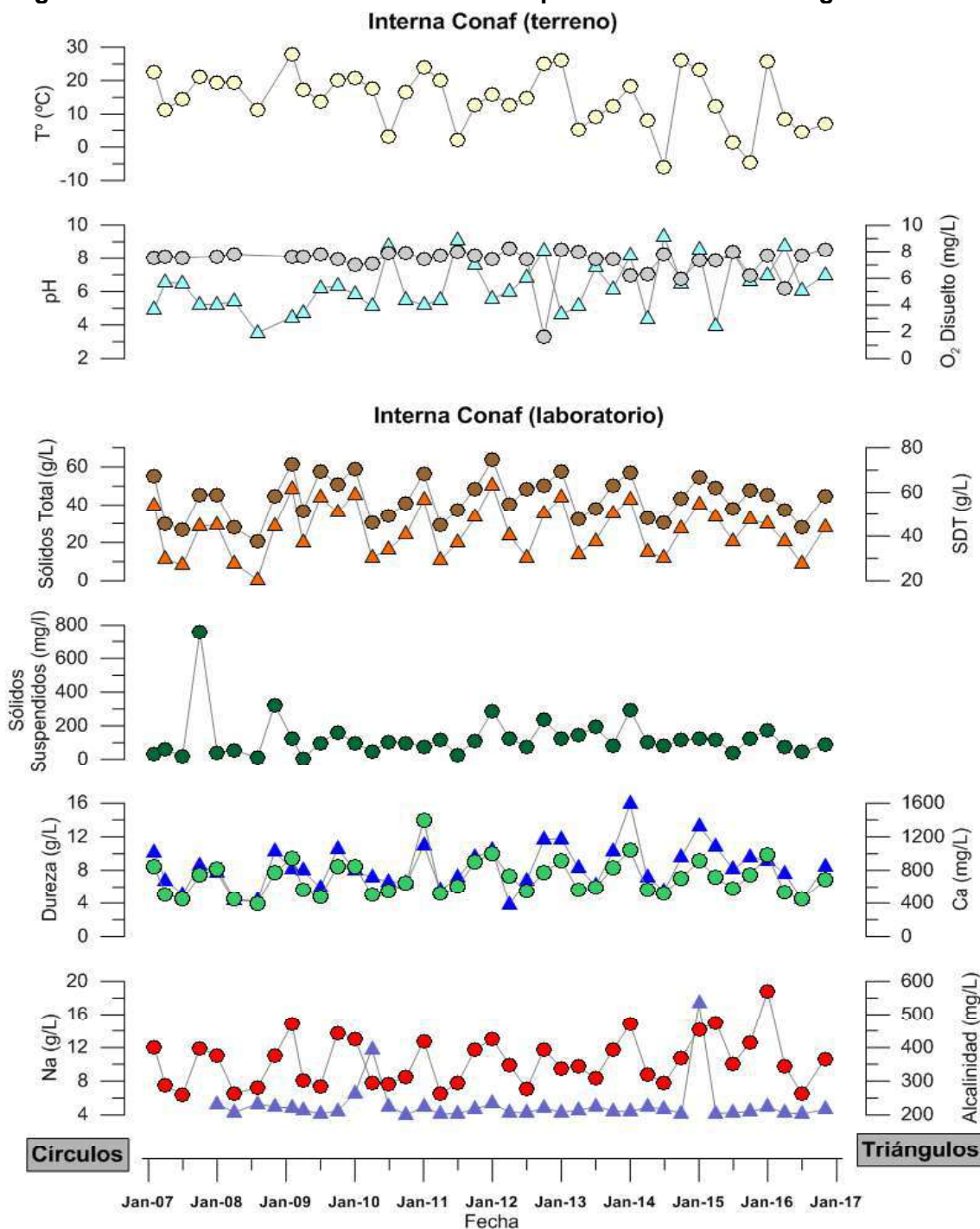
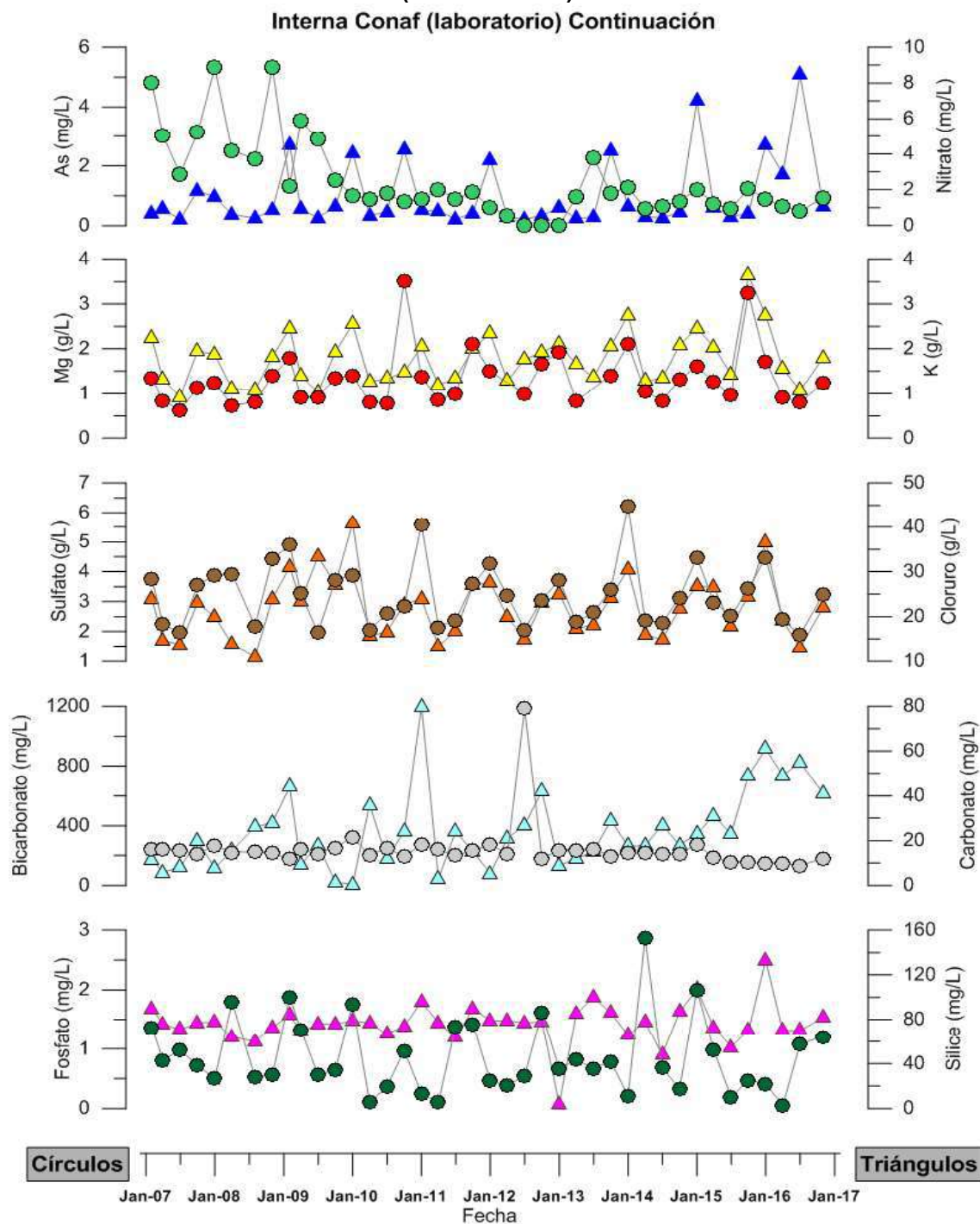


Figura 5-267: Resultados de análisis físico-químico CONAF de la laguna Interna (continuación)²⁶



²⁶ 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 5-268: Resultados de análisis físico-químico CONAF de la laguna Salada
Salada Conaf (terreno)

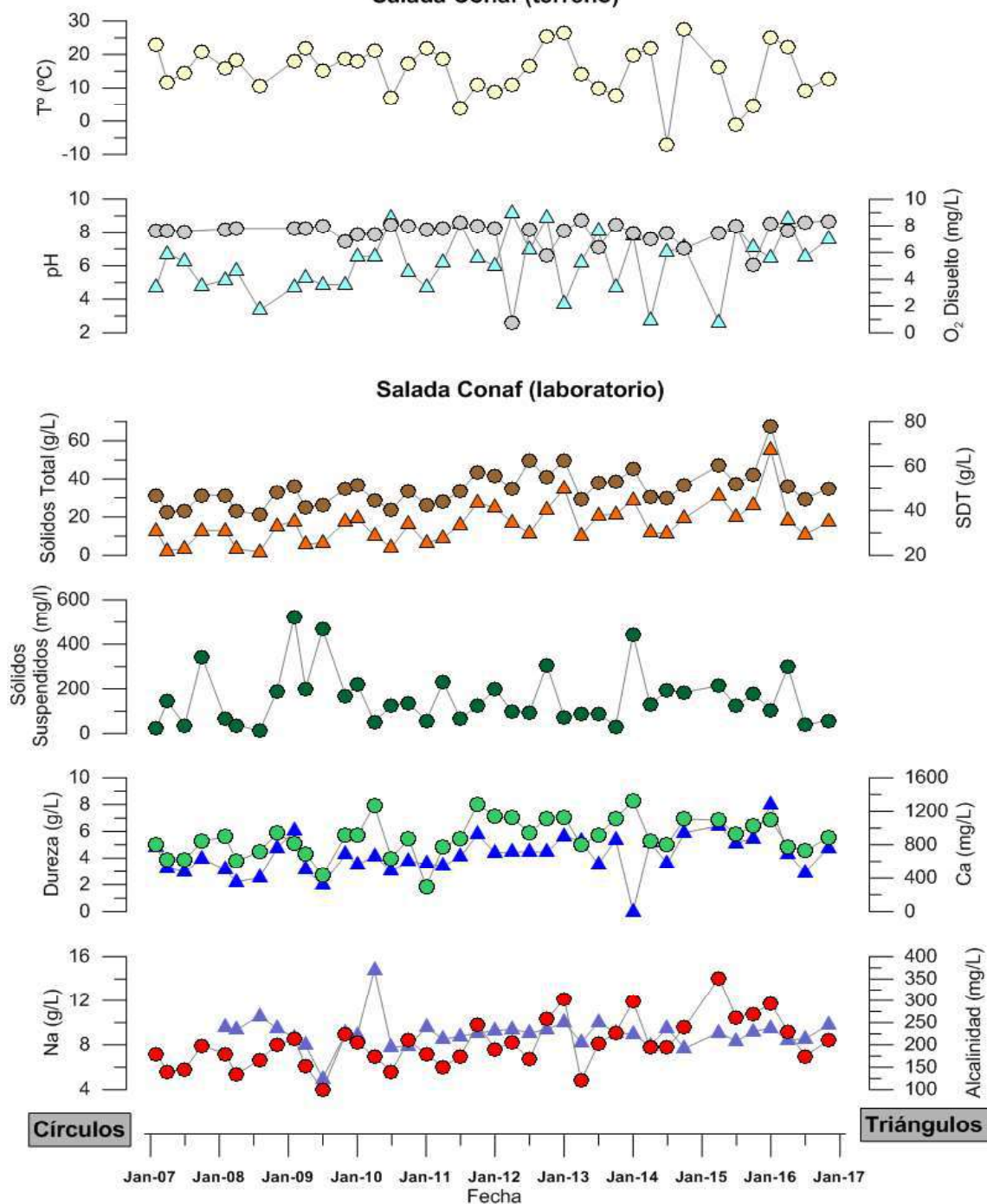
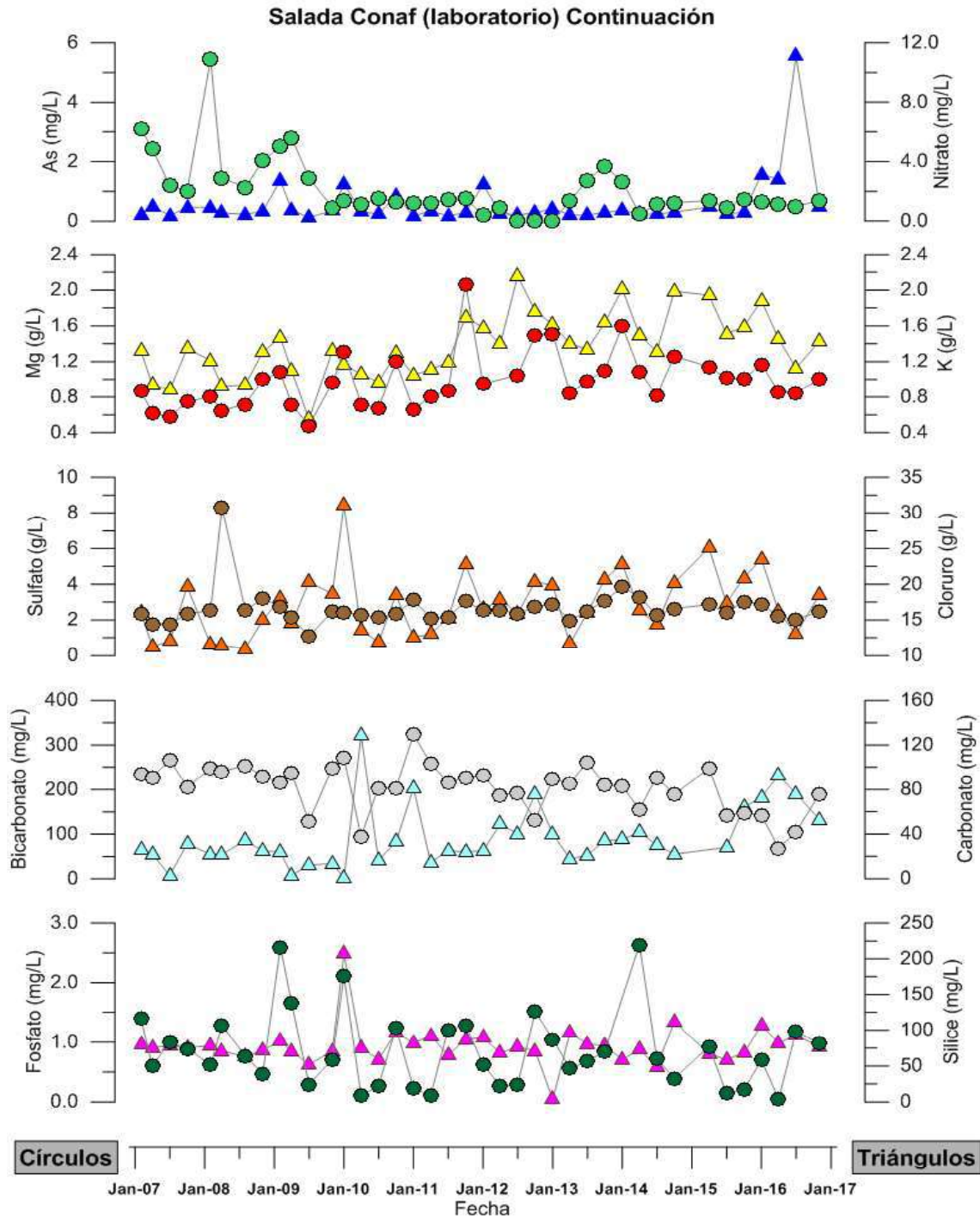


Figura 5-269: Resultados de análisis físico- químico CONAF de la laguna Salada (continuación)²⁷.



²⁷ 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 5-270: Resultados de análisis físico- químico CONAF de la laguna Saladita.

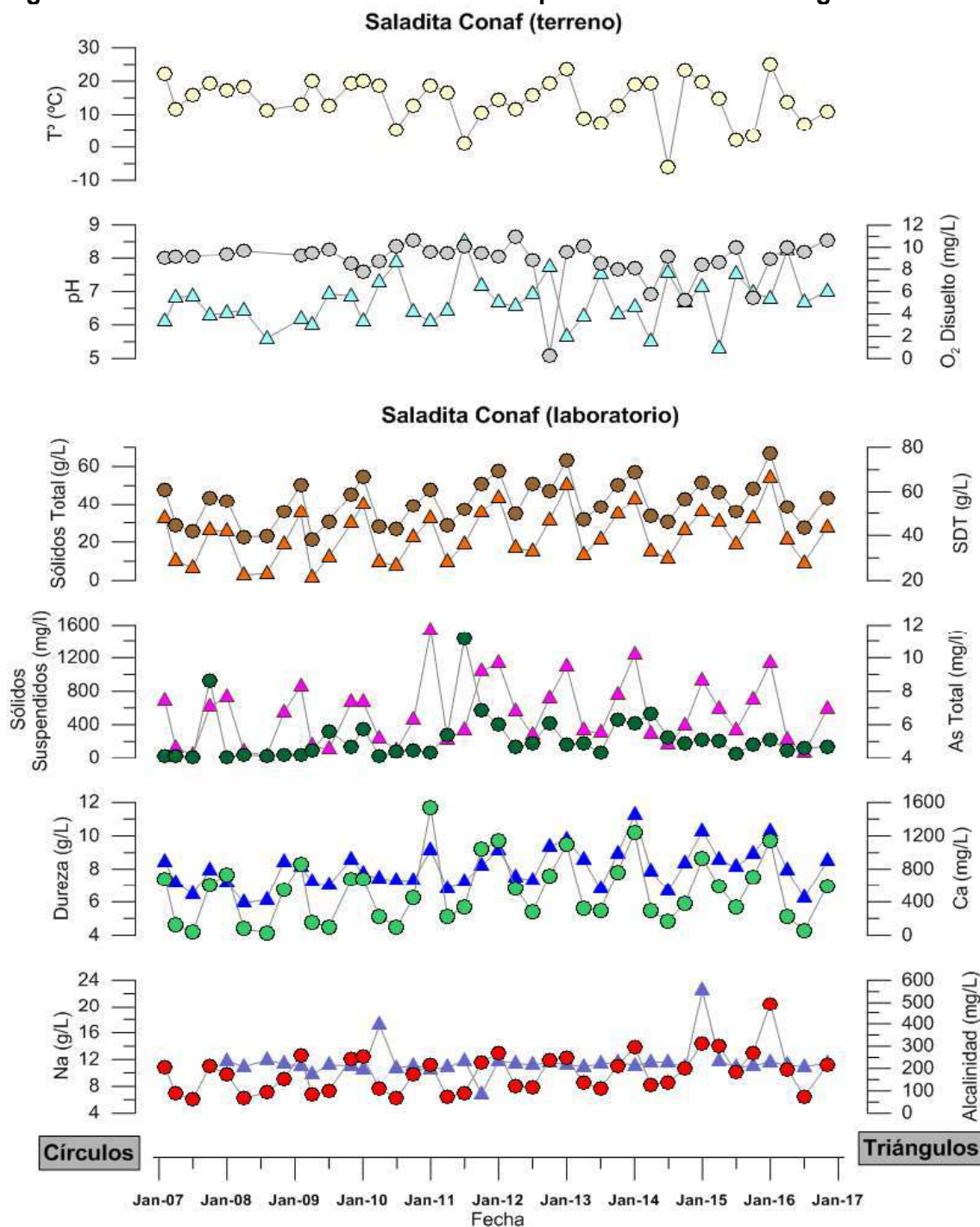
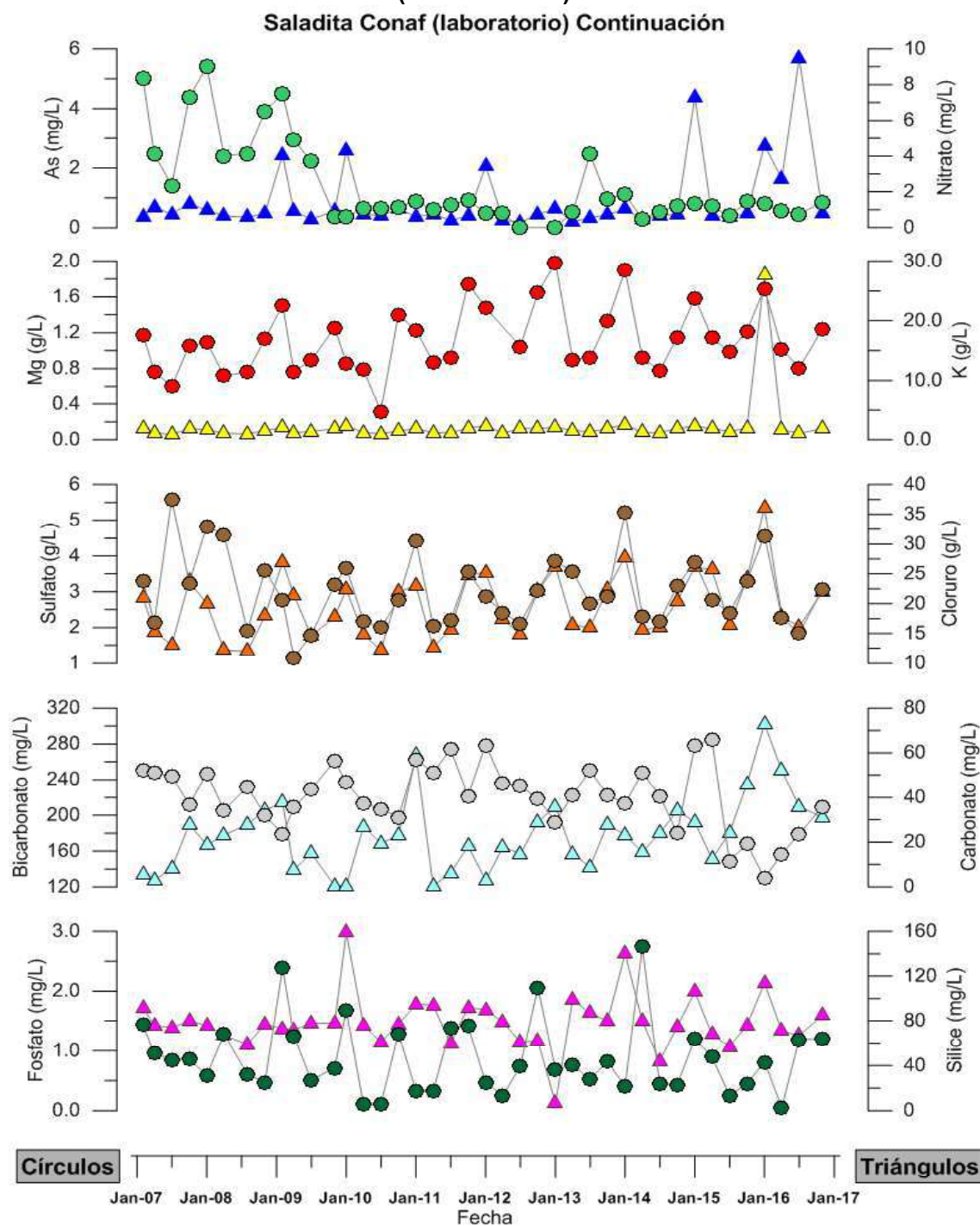


Figura 5-271: Resultados de análisis físico- químico CONAF de la laguna Saladita (continuación)²⁸.



Fuente: Elaboración propia.

²⁸ 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.

5.2.3.4 Aforos

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

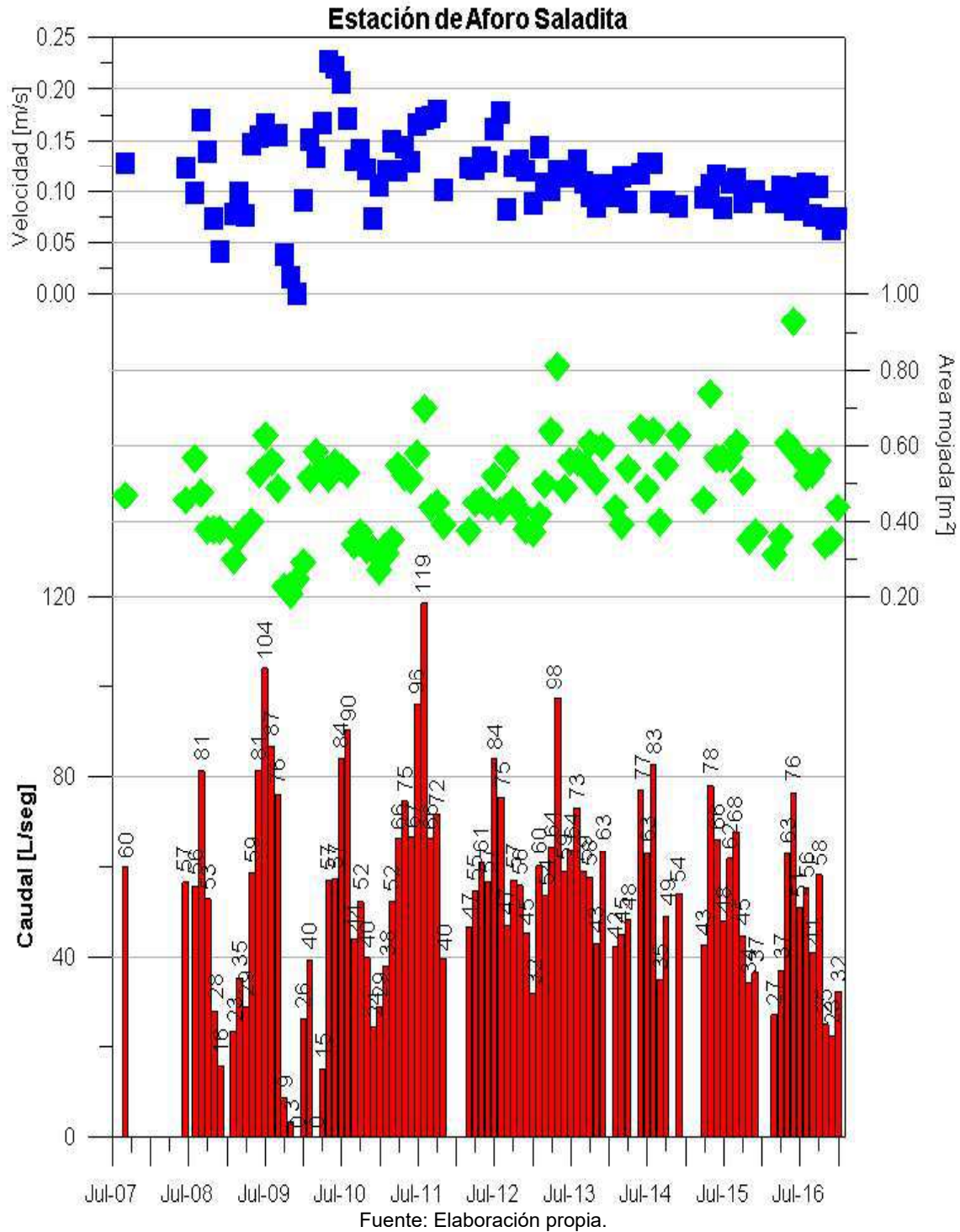
5.2.3.4.1 Laguna Salada

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 5-272.

5.2.3.4.2 Laguna Saladita

Los registros manuales de caudal con que cuenta SQM para esta estación de aforo se presentan en la Figura 5-273.

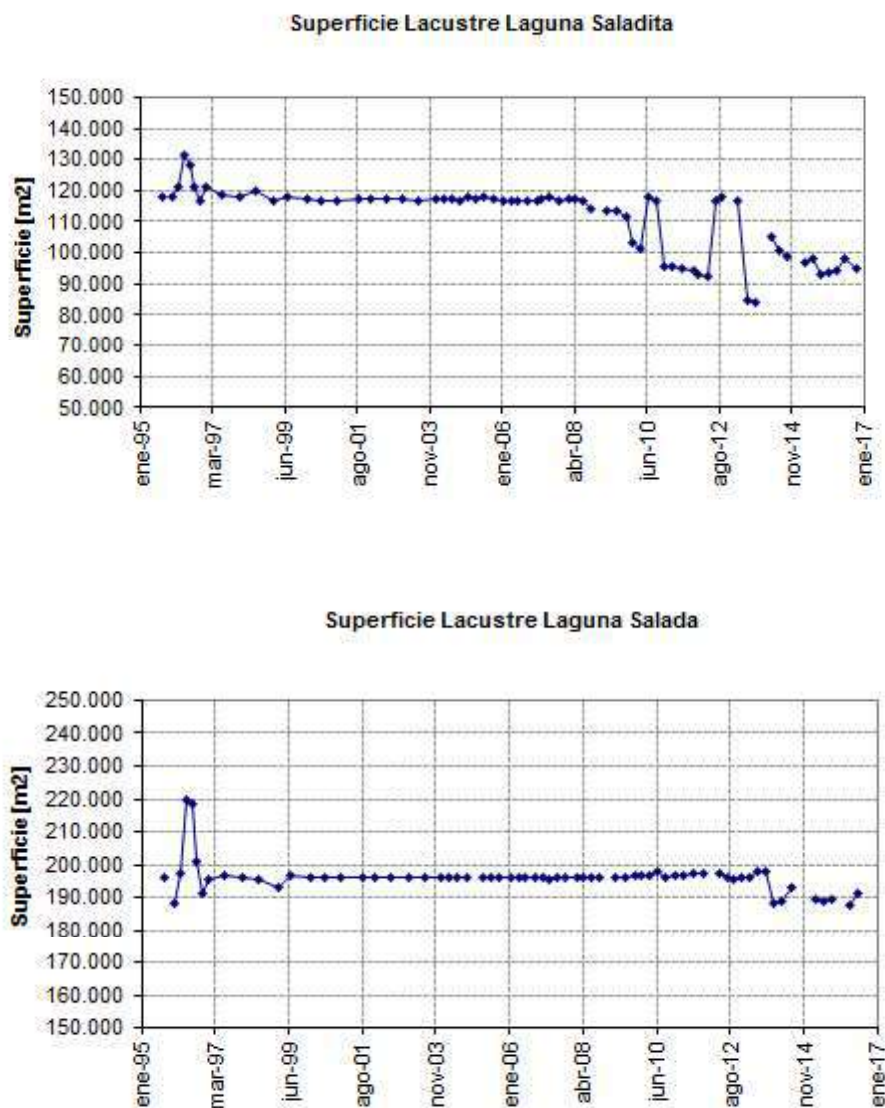
Figura 5-273: Aforo laguna Saladita. En barra roja caudal aforado por método manual, en azul velocidad (m/s) y en verde área mojada (m2)



5.2.3.5 Superficie lacustre

En el marco del convenio CONAF – SQM Salar S.A, se presentan los resultados de las mediciones de superficie de las lagunas, efectuadas con estacas perimetrales (Figura 5-274).

Figura 5-274: Evolución de la superficie lacustre sistema Peine medida por CONAF (Medición a través de estacas perimetrales)



Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 5-11 se presenta las mediciones realizadas a través de topografía y del método de imágenes satelitales; las mediciones de topografía se realizaron con frecuencia anual 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 (la última se efectuó el año 2015), 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 5-275 se muestran los resultados gráficamente.



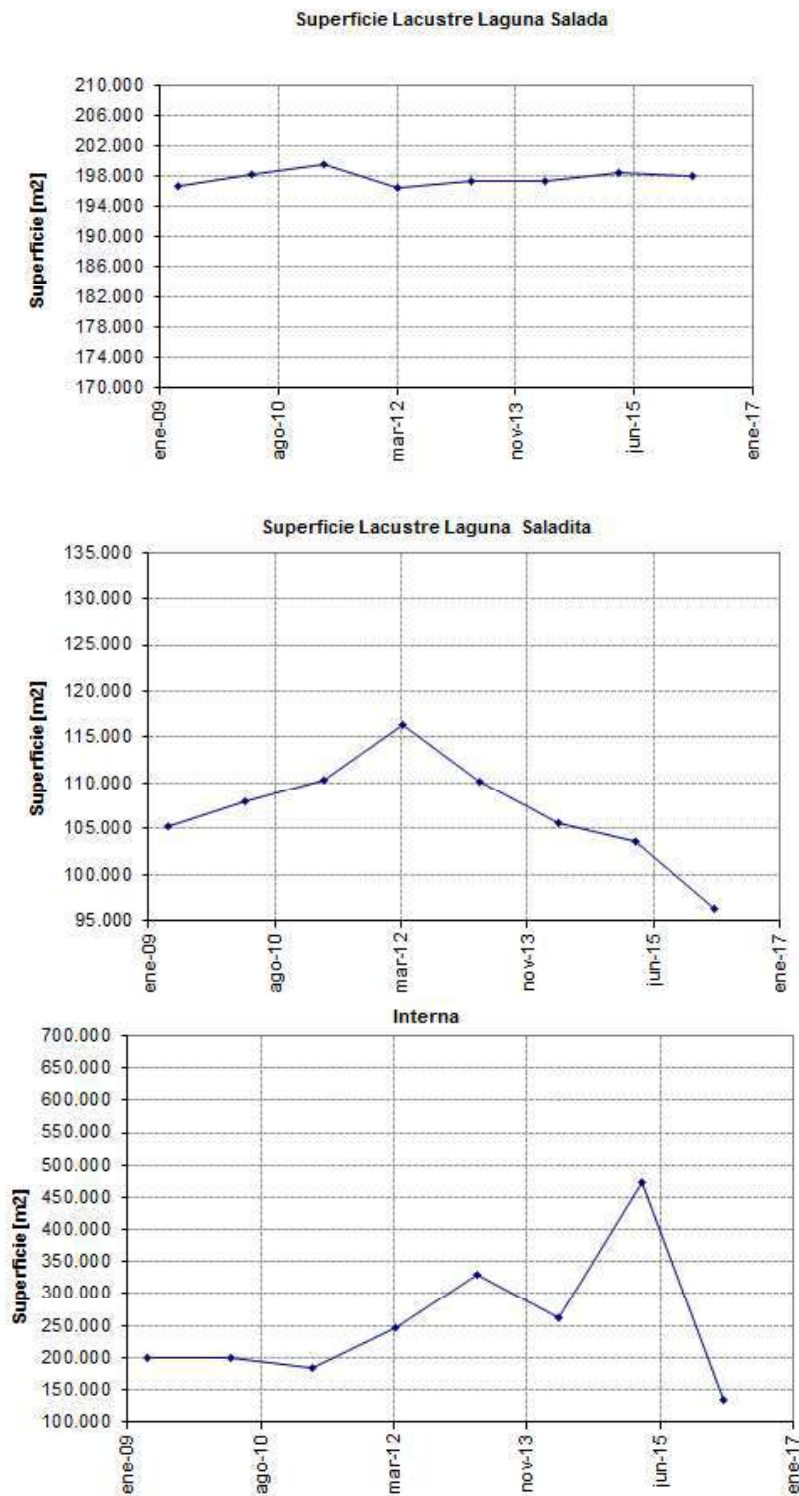
Tabla 5-11: Superficies lacustres medidas desde abril de 2008 hasta abril de 2016

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			Superficie (m ²) 2016
		Topo grafia	Imagen satelital	DIF. SUP. (%)	Topo- grafia	Imagen satelital	DIF. SUP. (%)	Topo- grafia	Imagen satelital	DIF. SUP. (%)	Imagen satelital	Imagen satelital	Imagen satelital	Imagen satelital	Topo- grafia	Imagen satelital	DIF. SUP. (%)	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	172.725	198.429	13.0	198.028
	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	84.177	103.638	18.8	96.262
	Interna	-	-	-	246.295	199.968	23	231.590	198.838	16.5	182.616	246.828	331.075	261.763	85,846 ²⁹	472.172	81,8	134.054

Fuente: Elaboración propia.

²⁹ Superficie Lacustre no consideró nueva zona inundada. No es comparable con medición de imagen satelital.

Figura 5-275: Evolución de la superficie lacustre sistema Peine medida a través de imágenes satelitales



Fuente: Elaboración propia.

5.2.4 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 5-276 se muestra la distribución geográfica de los puntos.

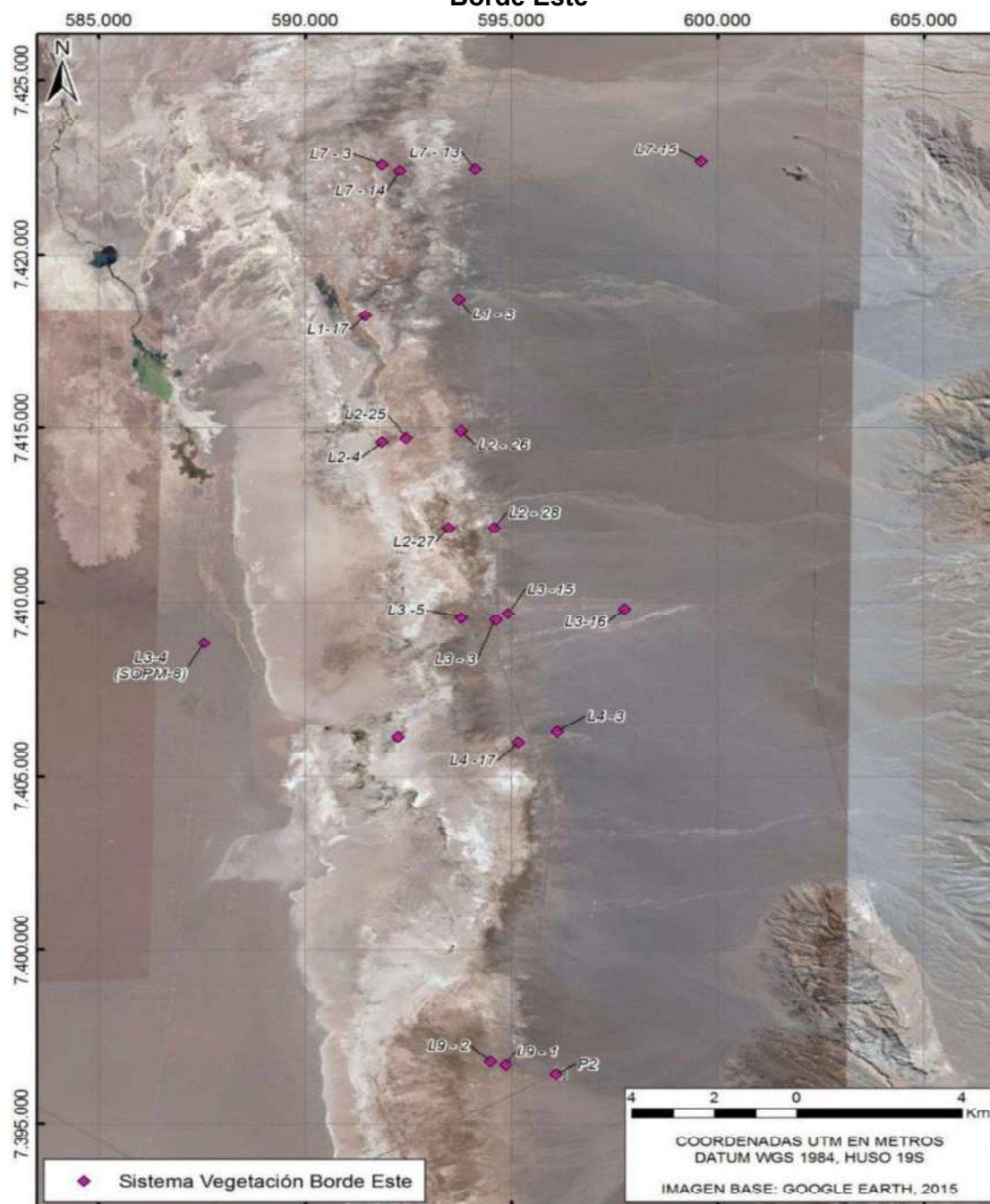
En la Tabla 5-12 se presenta los puntos de monitoreo del sistema Vegetación Borde Este clasificando de acuerdo a la zona donde se encuentran emplazados (zona marginal o aluvial y sector de salmuera) y su tipología (pozo profundo y pozo somero). Adicionalmente, se indica el número de página donde se muestra de manera gráfica el registro de nivel.

Tabla 5-12: Puntos de monitoreo del sistema Vegetación Borde Este

Punto de monitoreo	Clasificación	Tipología	Página
P2	Zona Aluvial	Pozo profundo	259
L1-17	Zona marginal	Pozo somero	254
L2-25	Zona marginal	Pozo somero	254
L2-26	Zona marginal	Pozo profundo	254
L2-27	Zona marginal	Pozo somero	255
L2-28	Zona marginal	Pozo profundo	256
L3-15	Zona marginal	Pozo profundo	256
L3-16	Zona aluvial	Pozo profundo	252
L4-17	Zona marginal	Pozo somero	257
L7-13	Zona marginal	Pozo profundo	257
L7-14	Zona marginal	Pozo somero	258
L7-15	Zona aluvial	Pozo profundo	253
L9-1	Zona marginal	Pozo profundo	258
L9-2	Zona marginal	Pozo profundo	259
P2	Zona aluvial	Pozo de bombeo	260

Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-276: Distribución geográfica de puntos de monitoreo del sistema Vegetación Borde Este



Fuente: Elaboración propia.

5.2.4.1 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 0 (sistema Soncor).

Los pozos L4-3, L3-3 y L3-5 junto a la reglilla 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 5.2.2.

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 visitas y validaciones (diciembre 2016) en este sistema en los pozos L3-16, L1-17, L2-25, L2-26, L2-28, L4-7, L2-27, L2-4, L2-7 y L7-6.

5.2.4.1.1 Pozos en zona aluvial

En la Figura 5-277 y Figura 5-278 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 5-24.

Figura 5-277: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L3-16.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-278: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L7-15.

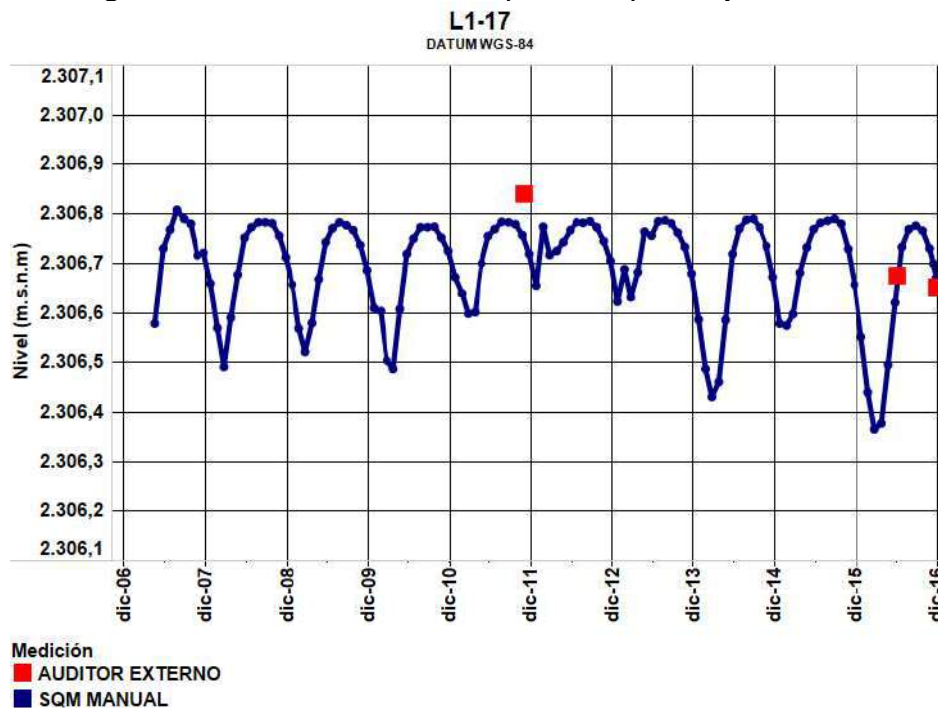


Fuente: Elaboración propia.

5.2.4.1.2 Pozos en zona marginal

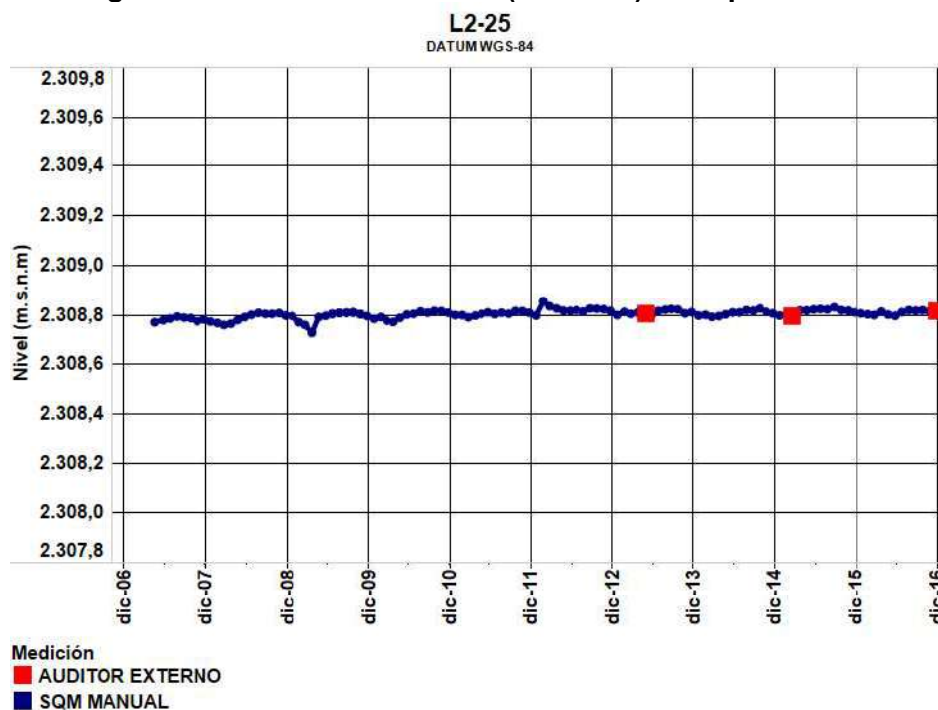
De la Figura 5-279 a la Figura 5-289 se presentan los pozos dentro de la zona marginal.

Figura 5-279: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L1-17.



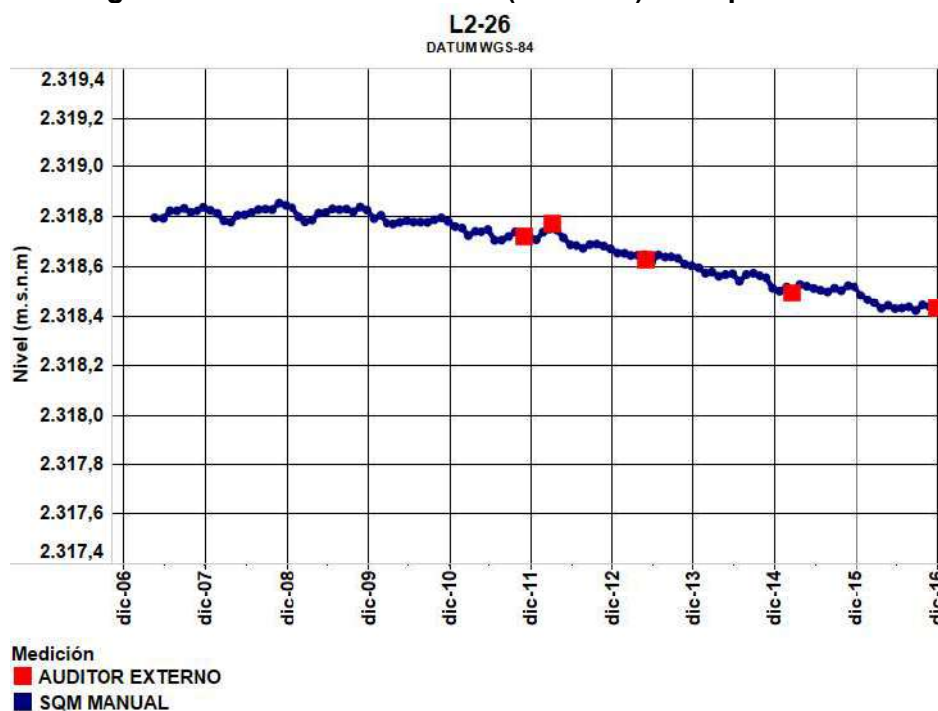
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-280: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L2-25



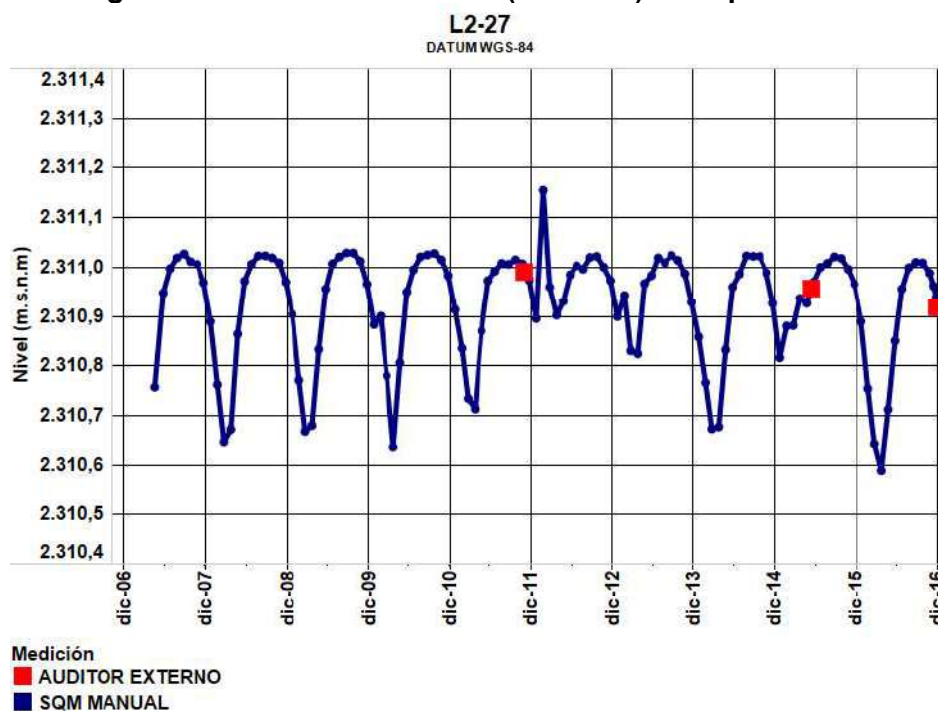
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-281: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L2-26



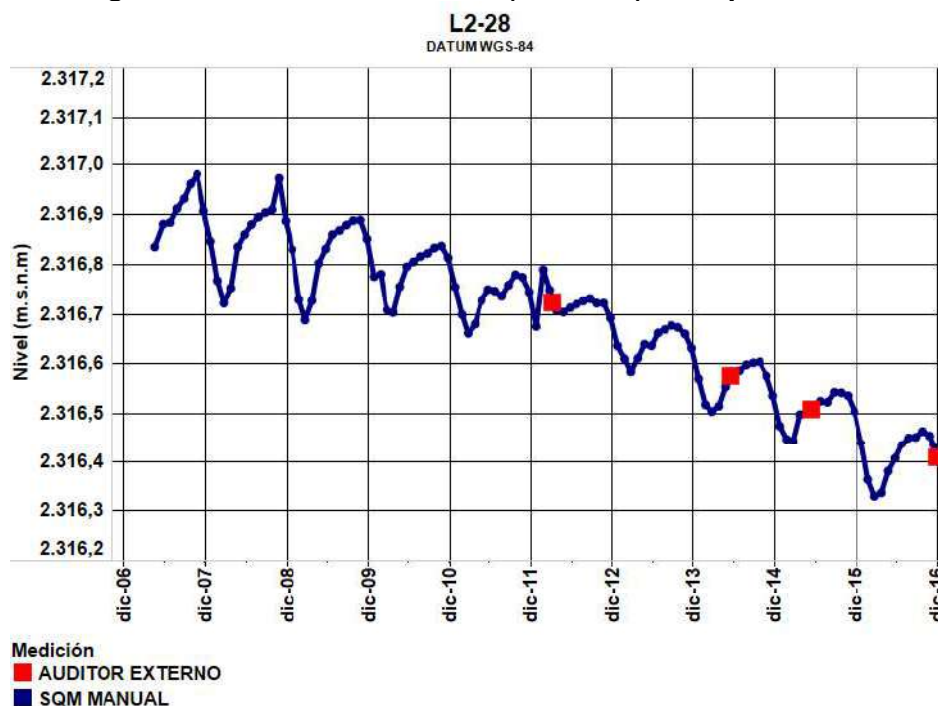
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-282: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L2-27



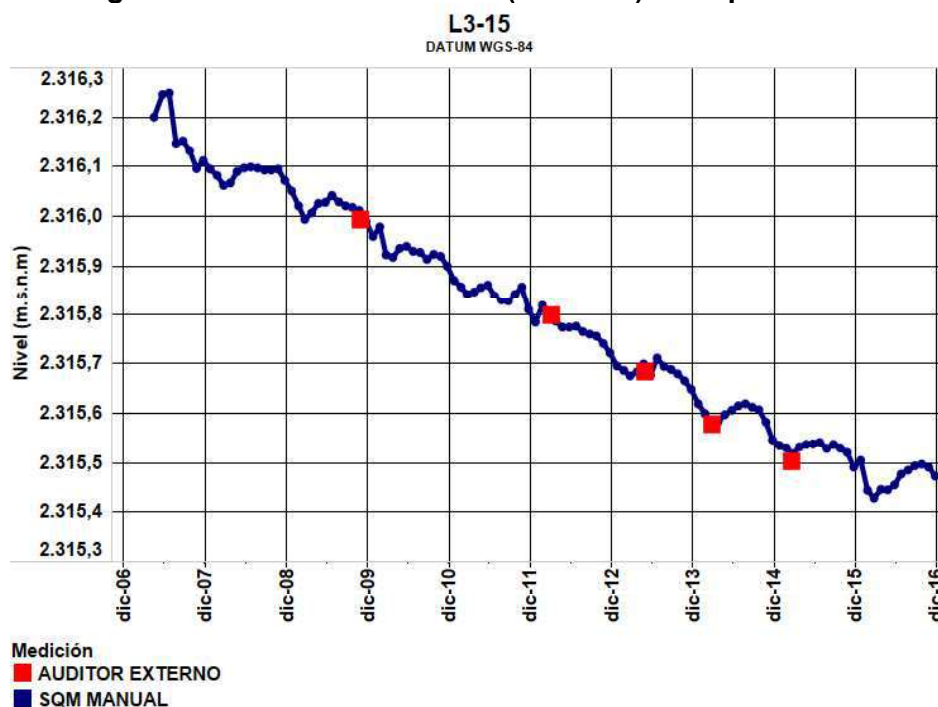
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-283: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L2-28



Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-284: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L3-15



Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-285: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L4-17



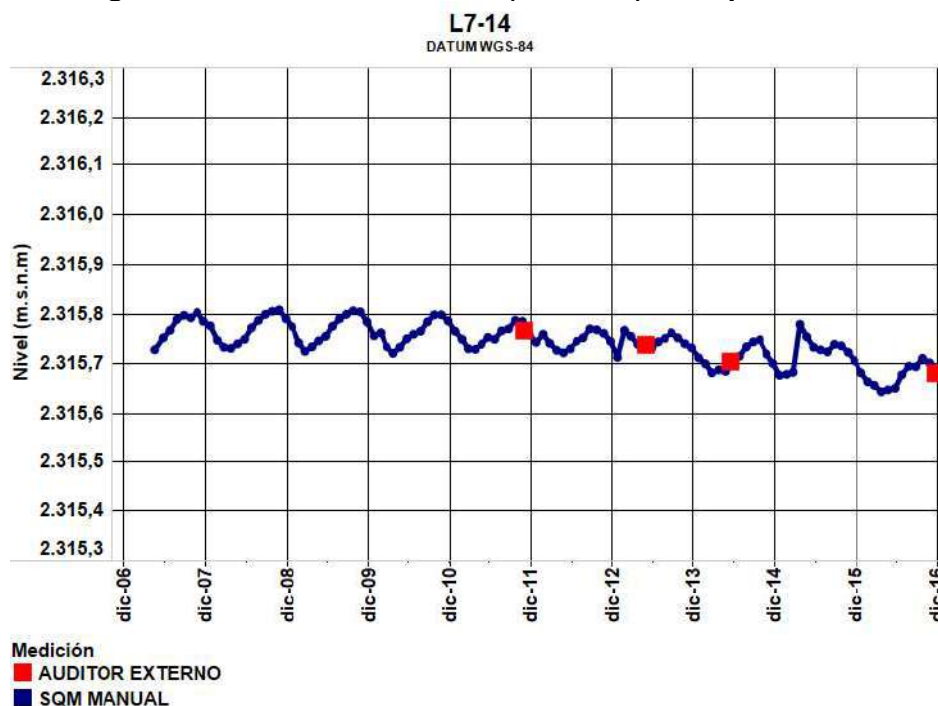
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-286: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L7-13



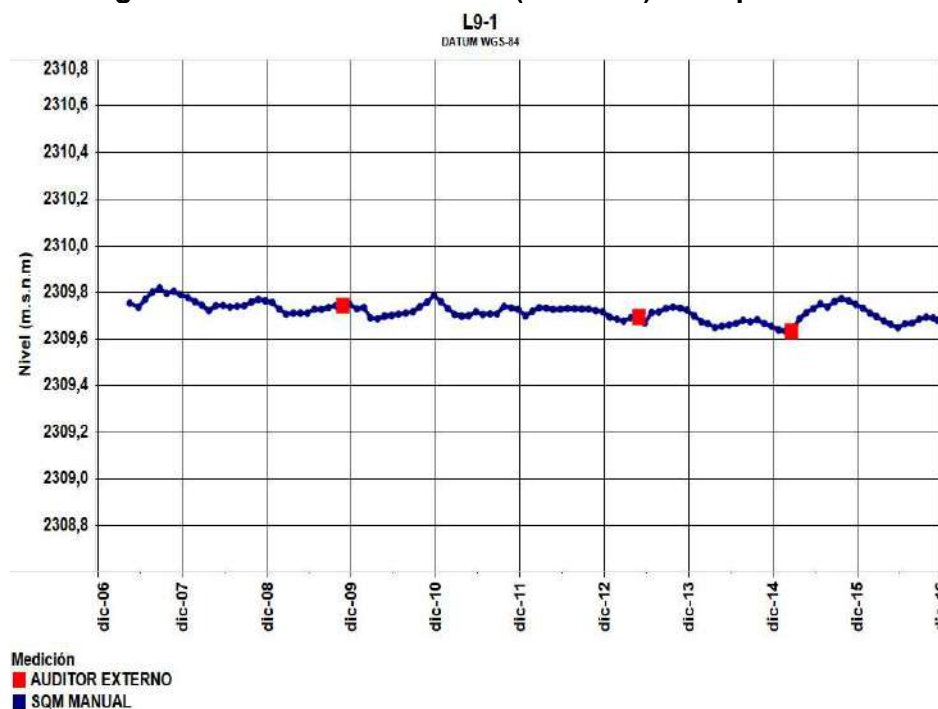
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-287: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L7-14



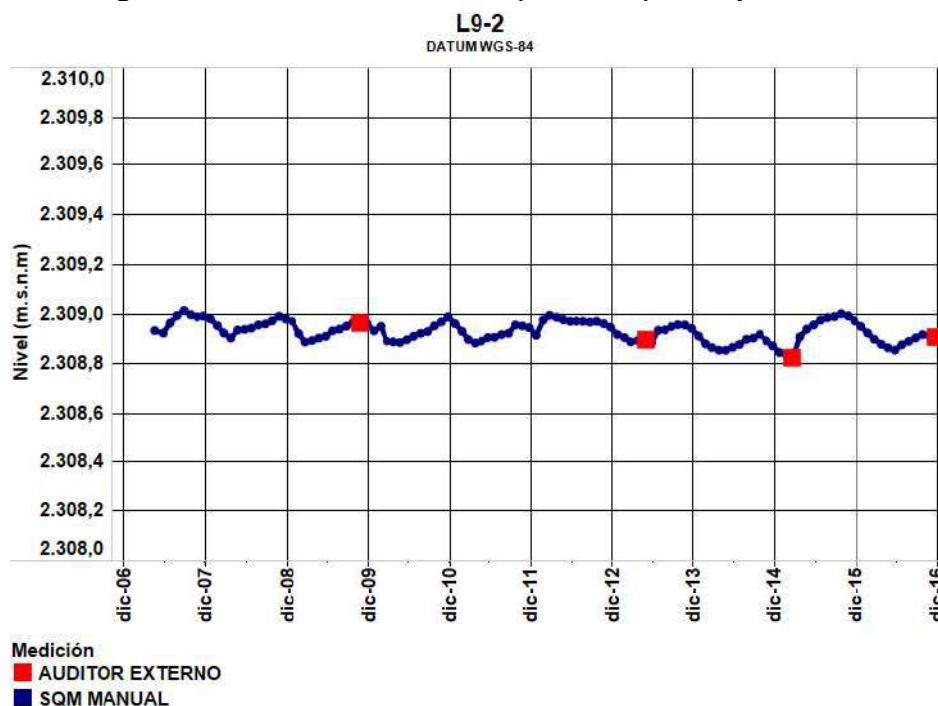
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-288: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L9-1



Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-289: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L9-2

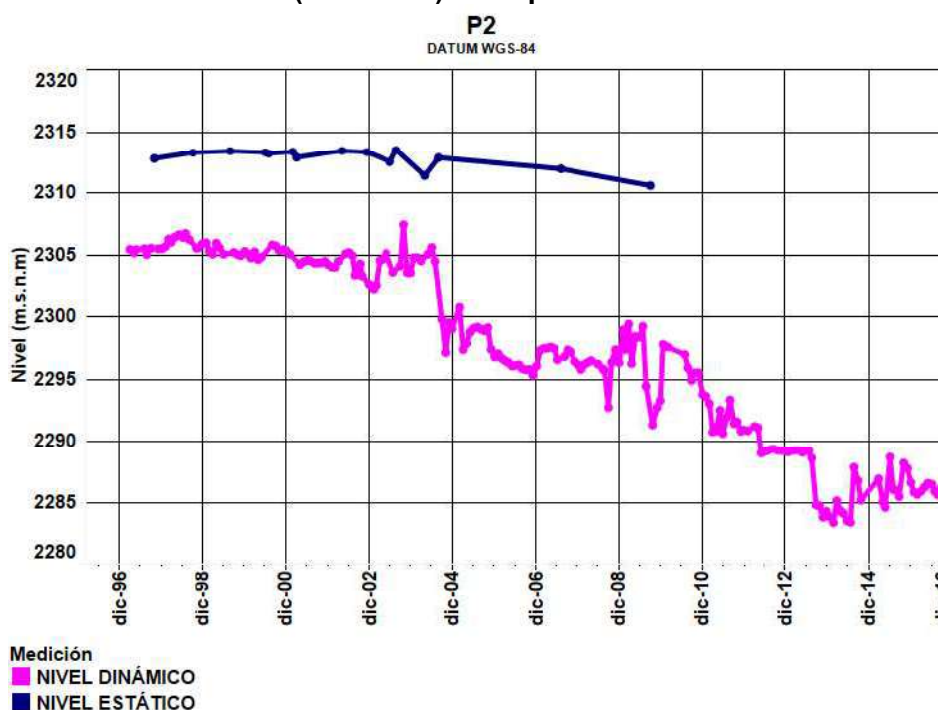


Fuente: Elaboración propia.

5.2.4.2 Pozos de bombeo

En la Figura 5-290 se presenta el nivel estático y dinámico observado en el pozo de bombeo de agua industrial P2.

Figura 5-290: Nivel observado (m.s.n.m.) en régimen estático (línea magenta) y dinámico (línea azul) en el pozo de bombeo P2

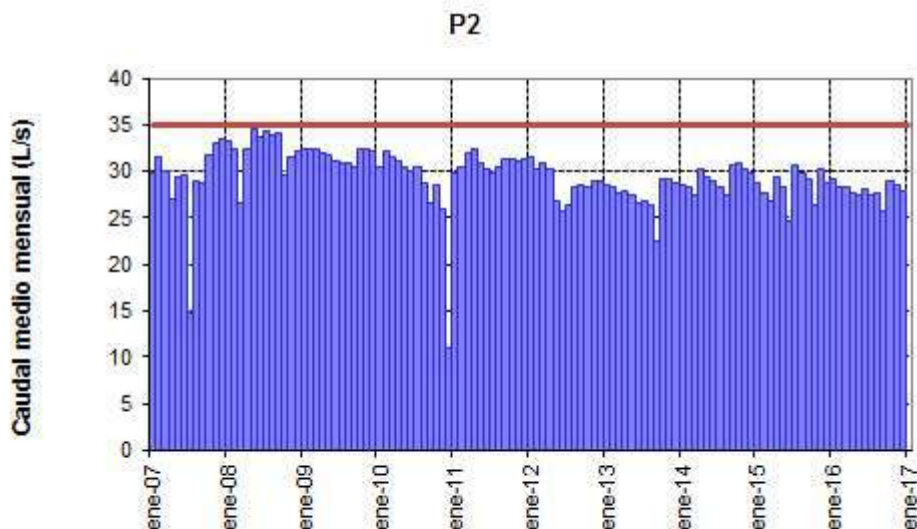


Fuente: Elaboración propia.

5.2.4.3 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 5-291. Los caudales extraídos no han superado los derechos otorgados a partir del inicio del PSAH (35 L/s). En el ANEXO 14 se muestra el registro de caudales bombeados.

Figura 5-291: Caudal medio mensual bombeado desde el pozo P2³⁰



Fuente: Elaboración propia.

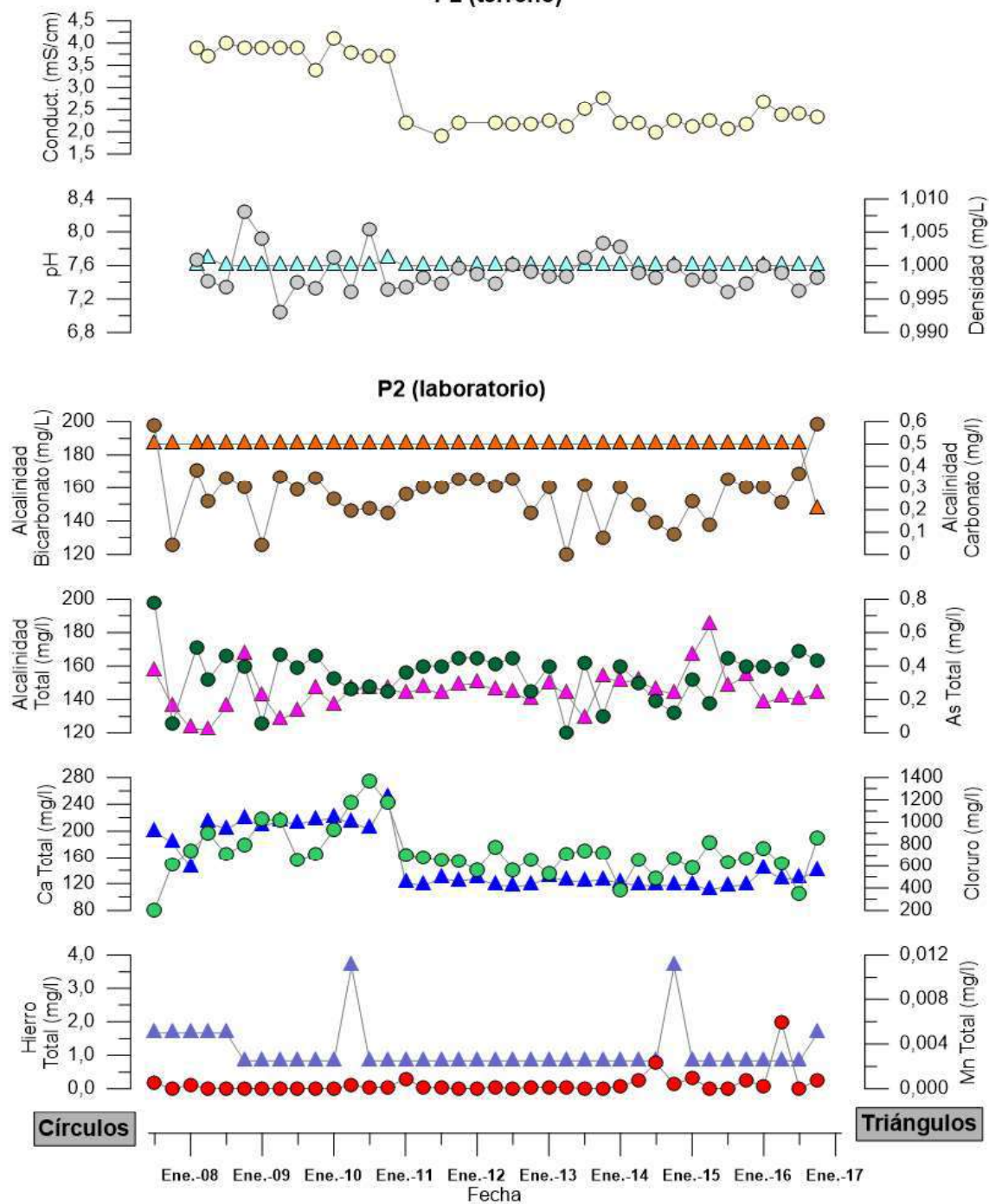
5.2.4.4 Calidad química

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 informes se adjuntan en el ANEXO 15.

Los resultados de los análisis químicos de los pozos L2-4 y L7-3 se presentan en la sección 5.2.1.8, mientras que los resultados del pozo L4-3 se presentan en la sección 5.2.2.3. En la Figura 5-292 y Figura 5-293 se muestra los resultados de los análisis químicos realizados en el pozo de bombeo de agua industrial P2.

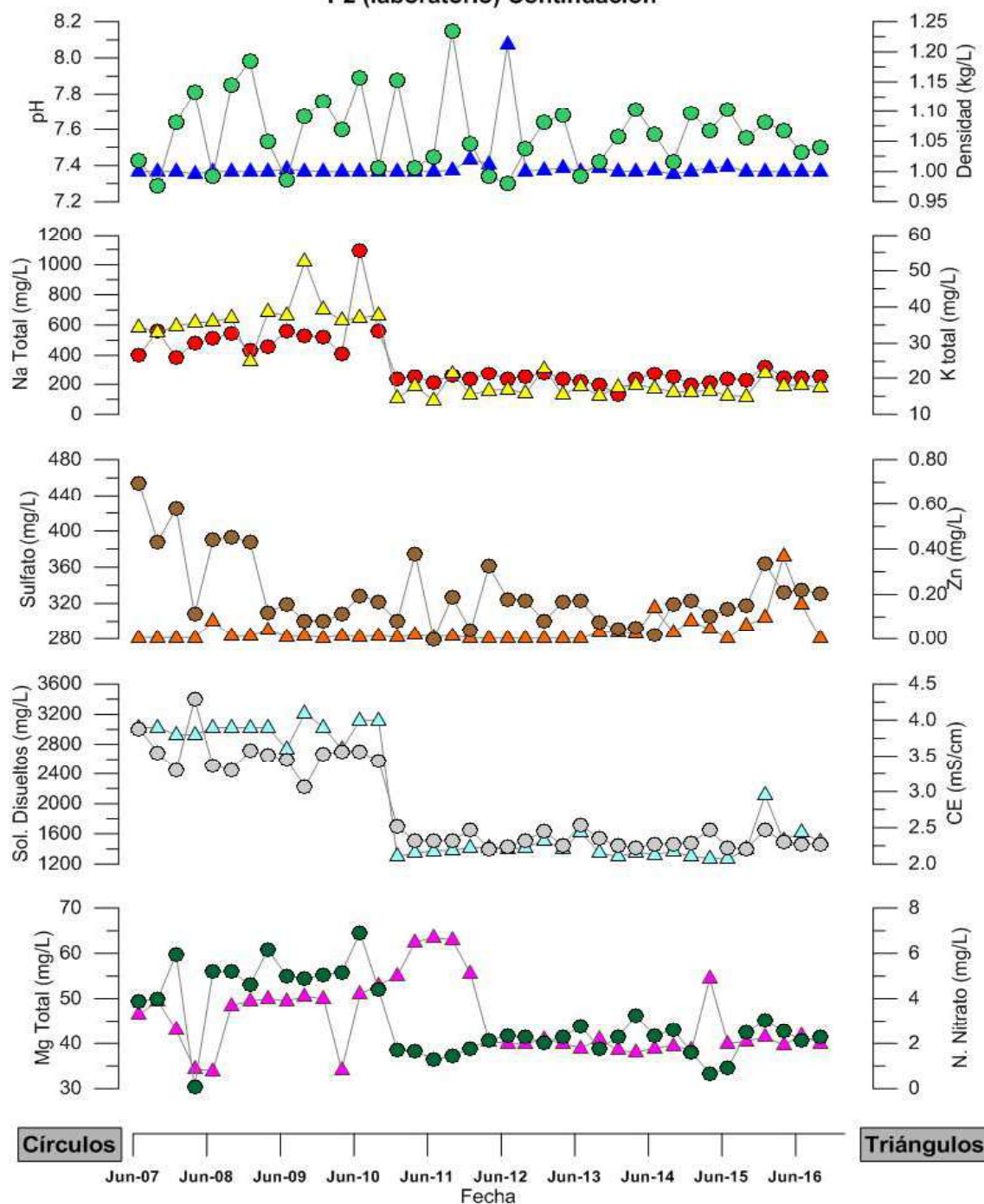
³⁰ Línea Roja representa límite de bombeo establecidos por la RCA 226/2006 y los certificados de calibración de los flujómetros se encuentran en el ANEXO 6

Figura 5-292: Resultados de análisis físico-químico del pozo P2³¹
P2 (terreno)



³¹ La diferencia en el valor de Alcalinidad Carbonato reportada se debe a que SGS presenta un límite de detección de 0,2 mg/l en comparación a los 0,5 mg/l de ALS.

Figura 5-293: Resultados de análisis físico-químico del pozo P2 (continuación)
P2 (laboratorio) Continuación



5.2.5 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.

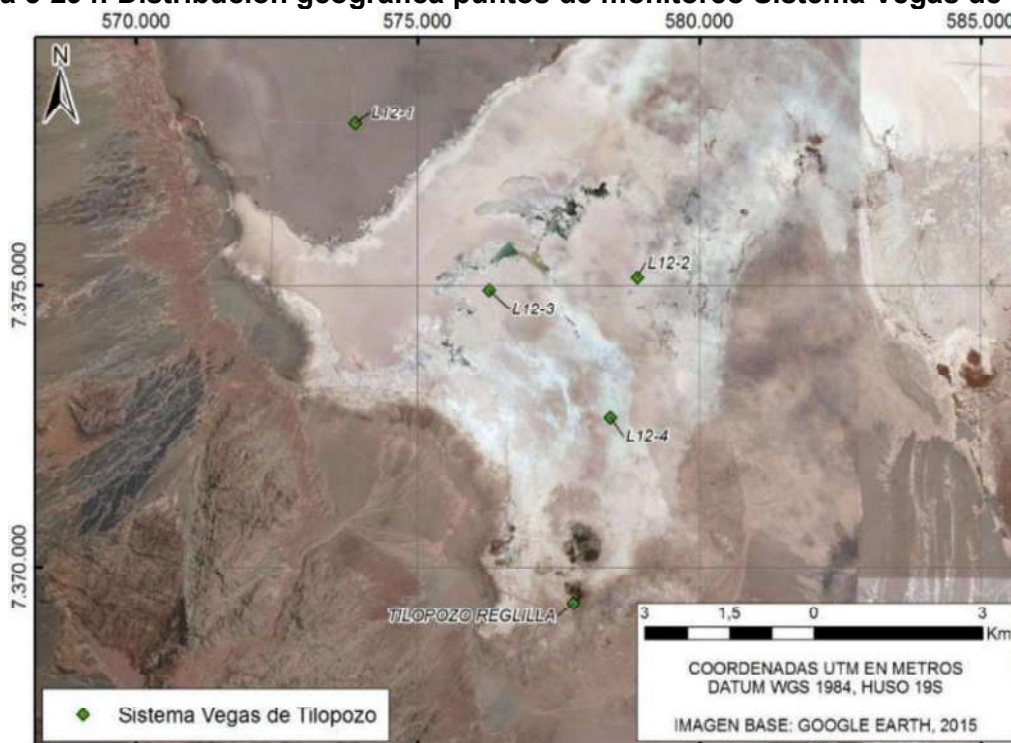
En la Figura 5-294 se muestra la distribución geográfica de los puntos y en la Tabla 5-13 se indica los puntos de monitoreo del sistema Vegas de Tilopozo, clasificándolos de acuerdo a la zona donde se encuentran emplazados (zona marginal o aluvial y sector de salmuera) y a su tipología (pozo somero y reglilla). Adicionalmente, se indica el número de página donde se muestra el registro de nivel en(m.s.n.m.) en formato gráfico.

Tabla 5-13: Puntos de monitoreo del sistema Vegas de Tilopozo.

Nombre Punto de Monitoreo	Clasificación	Tipología	Página
Reglilla Tilopozo	Zona marginal	Reglilla	264
L12-1 ³²	Zona marginal	Pozo somero	264
L12-2	Zona marginal	Pozo somero	265
L12-3	Zona marginal	Pozo somero	265
L12-4	Zona marginal	Pozo somero	266

Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-294: Distribución geográfica puntos de monitoreo Sistema Vegas de Tilopozo



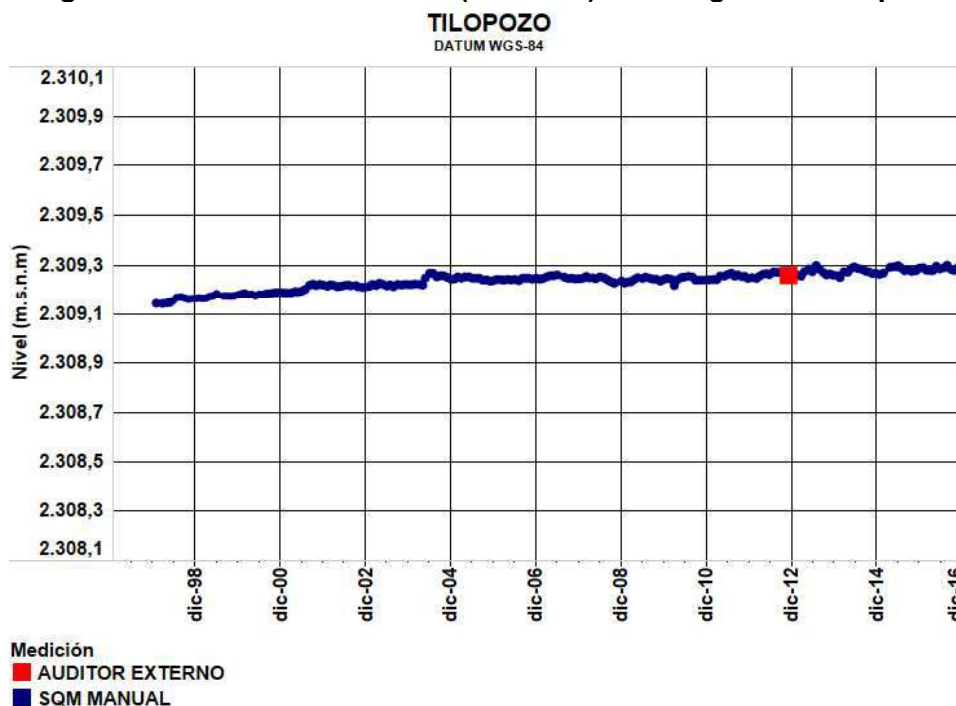
Fuente: Elaboración propia.

³² Durante el segundo semestre de 2016, el Antepozo del punto L12-1 fue destruido por un camión por lo cual este se reconstruyó. Lo anterior implica un cambio en la cota del punto de referencia desde los 2302,348 a 2302,296 (m.s.n.m) DATUM WGS-84. La respectiva carta de aviso a la SMA se puede observar en el ANEXO 17.

5.2.5.1 Nivel del agua subterránea y superficial

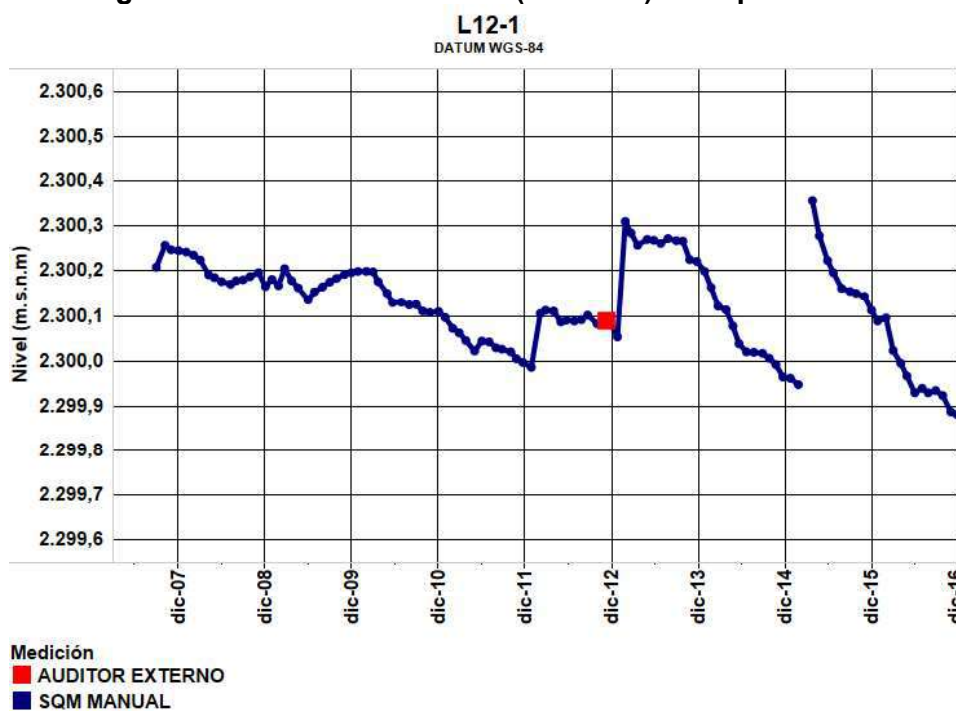
En esta sección se presenta el nivel de los pozos construidos en la red de monitoreo del PSAH para el sistema Vegas de Tilopozo (Figura 5-295 a Figura 5-299).

Figura 5-295: Nivel observado (m.s.n.m.) en la reglilla de Tilopozo



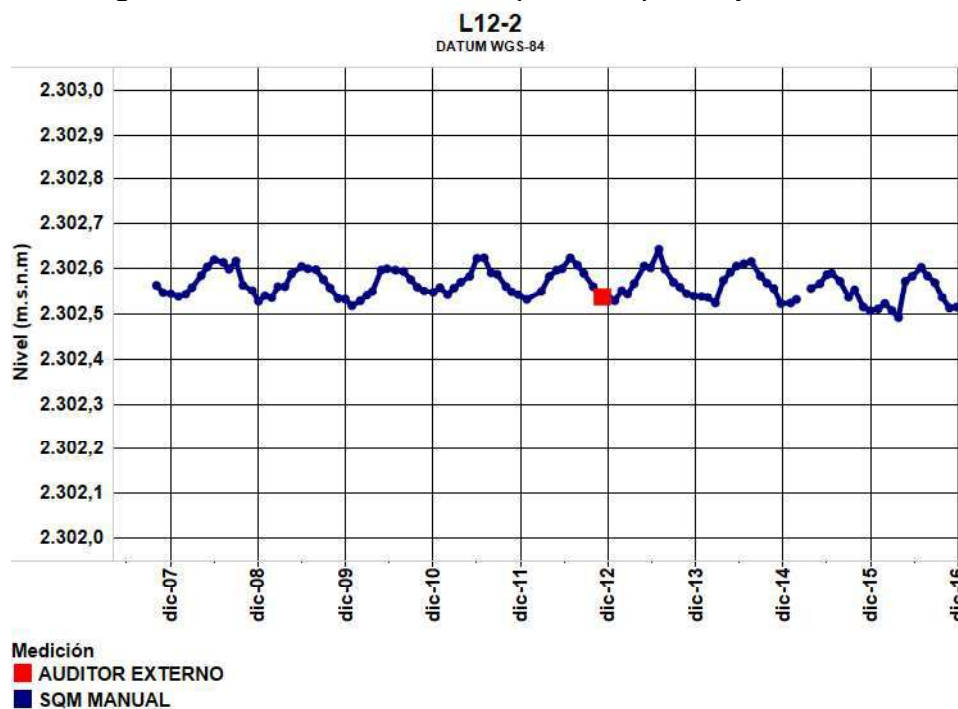
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-296: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L12-1



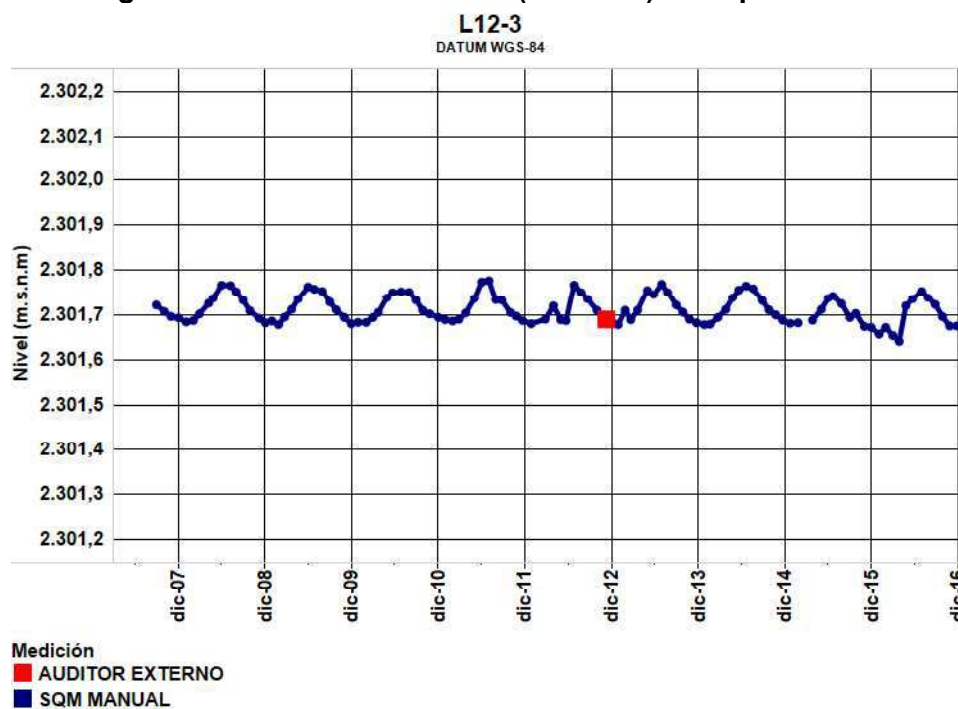
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-297: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L12-2.



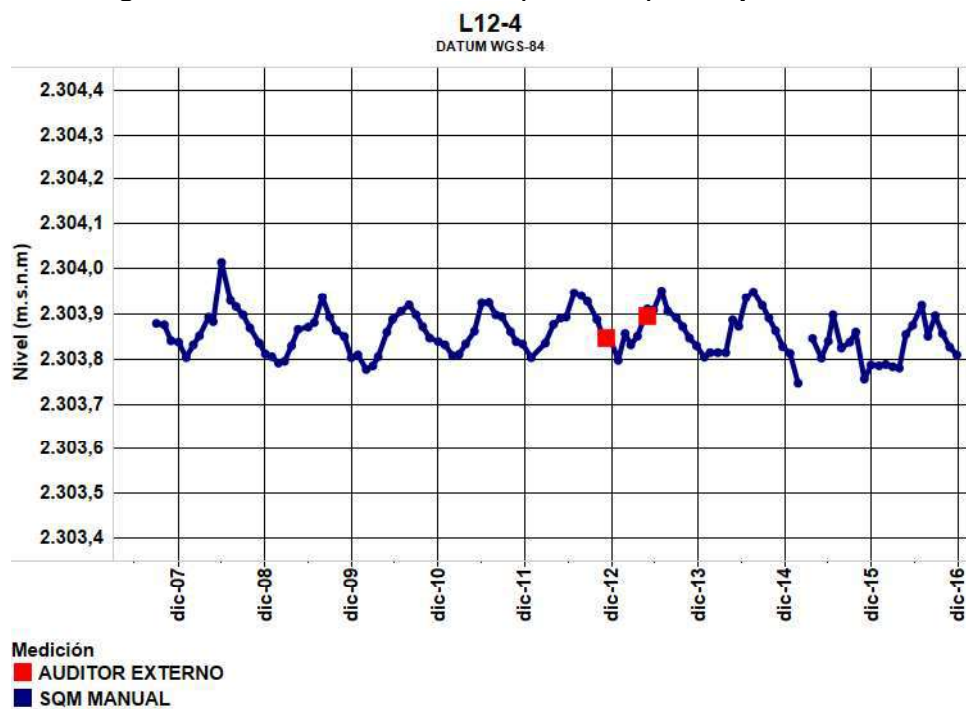
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-298: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L12-3



Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-299: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L12-4



Fuente: Elaboración propia.

5.2.6 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.

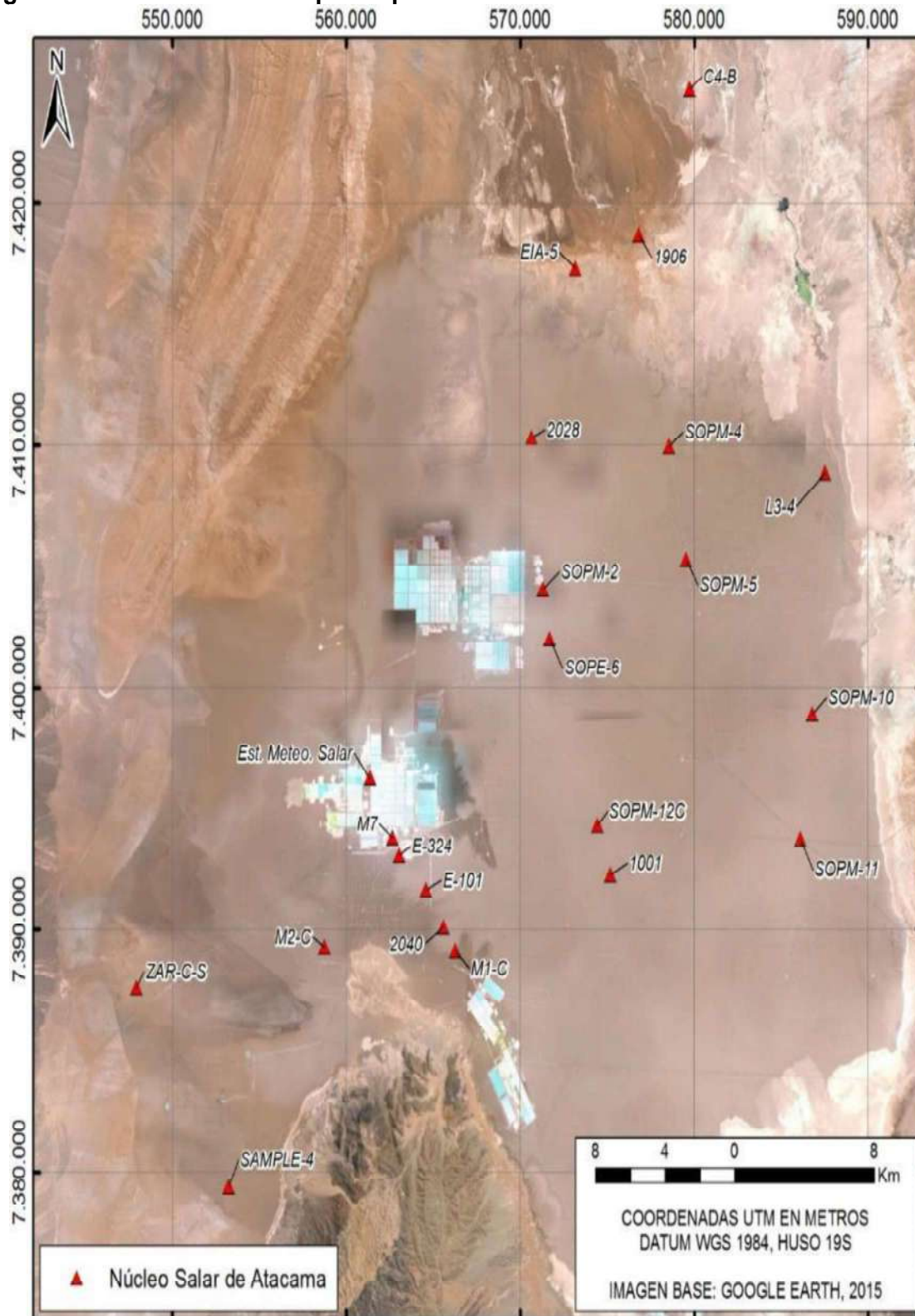
En la Figura 5-300 se muestra la distribución geográfica de dichos puntos y en la Tabla 5-14 se indican los puntos de monitoreo del sistema Núcleo del Salar de Atacama, siendo todos clasificados como salmuera. Adicionalmente, se indica el número de página donde se muestra el registro de nivel en m.s.n.m. en formato gráfico.

Tabla 5-14: Puntos monitoreo Sistema Núcleo del Salar de Atacama

Punto de Monitoreo	Clasificación	Tipología	Página
1001	Salmuera	Pozo profundo	269
1906	Salmuera	Pozo profundo	269
2028	Salmuera	Pozo profundo	270
2040	Salmuera	Pozo profundo	270
C4-B	Salmuera	Pozo somero	271
M1-C	Salmuera	Pozo profundo	271
M2-C	Salmuera	Pozo profundo	272
M7	Salmuera	Pozo profundo	272
E-101	Salmuera	Pozo profundo	273
E-324	Salmuera	Pozo profundo	273
EIA-5	Salmuera	Pozo profundo	274
Sample-4	Salmuera	Pozo somero	274
SOPE-6	Salmuera	Pozo profundo	275
SOPM -02	Salmuera	Pozo profundo	275
SOPM -04	Salmuera	Pozo profundo	276
SOPM -05	Salmuera	Pozo profundo	276
SOPM-10	Salmuera	Pozo profundo	277
SOPM -11	Salmuera	Pozo somero	277
SOPM -12C	Salmuera	Pozo profundo	278
Zar-C-S	Salmuera	Pozo somero	278
Estación meteorológica KCI	Salmuera	Estación meteorológica	279

Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-300: Distribución espacial puntos de monitoreo Núcleo del Salar de Atacama

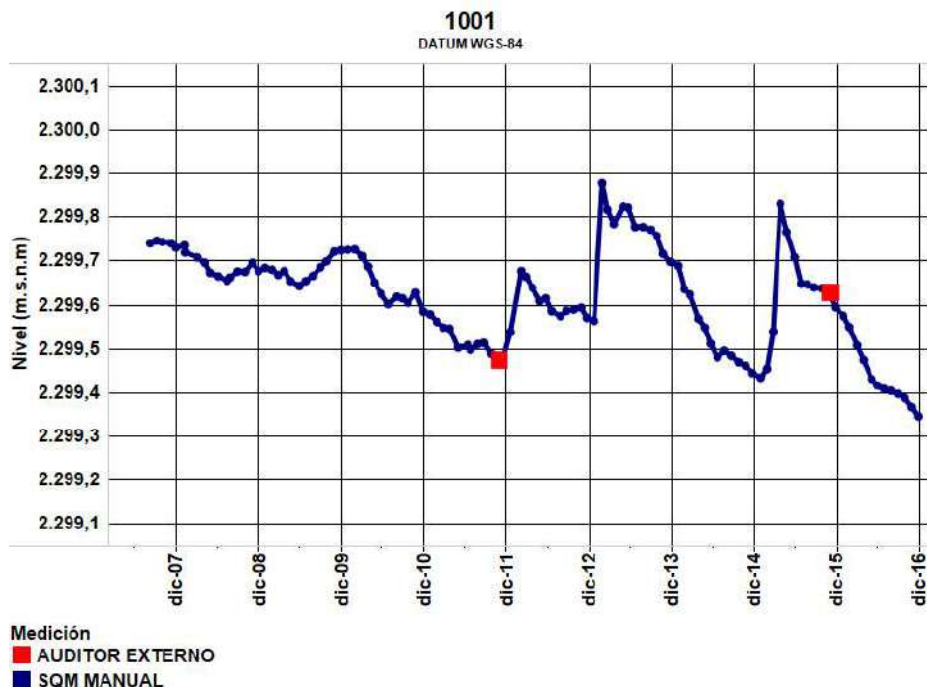


Fuente: Elaboración propia.

5.2.6.1 Nivel de la salmuera

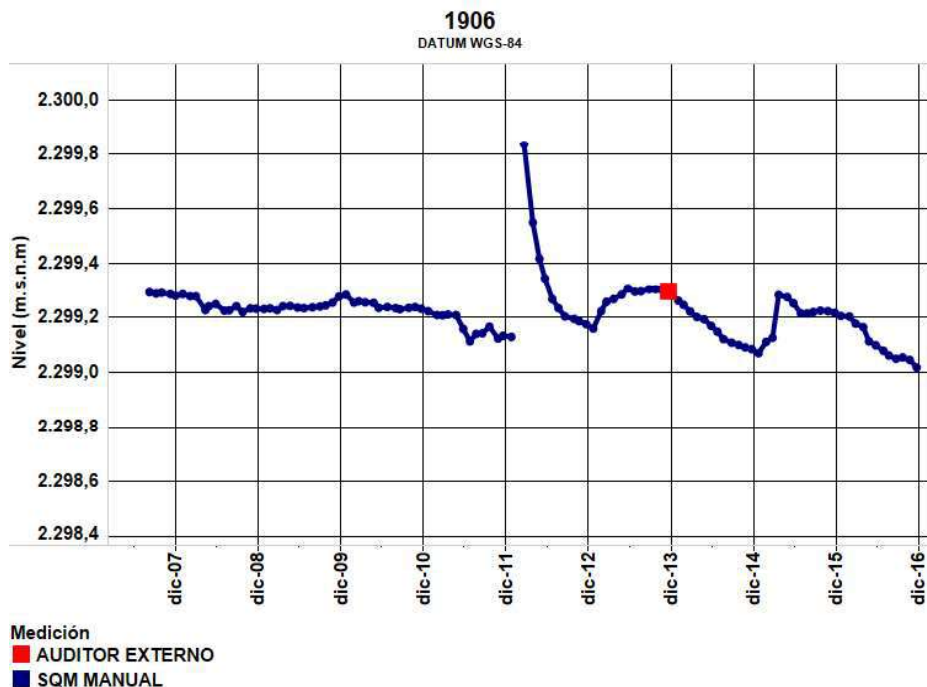
En esta sección se presenta los niveles de todos los pozos que componen la red de monitoreo del PSAH para el sistema Núcleo del Salar de Atacama. El pozo SOPM-8 (L3-4) pertenece a la red de monitoreo de los sistemas Aguas de Quelana y Núcleo del Salar de Atacama, por lo cual no se presenta en este subcapítulo, presentándose en el subcapítulo sistema Aguas de Quelana.

Figura 5-301: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo 1001



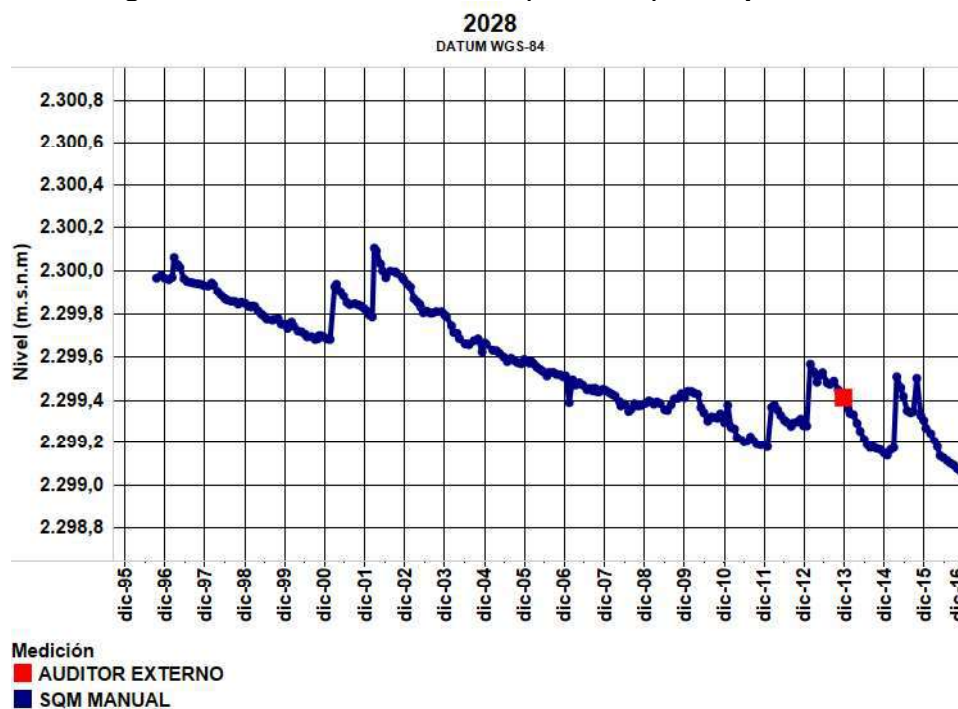
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-302: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo 1906



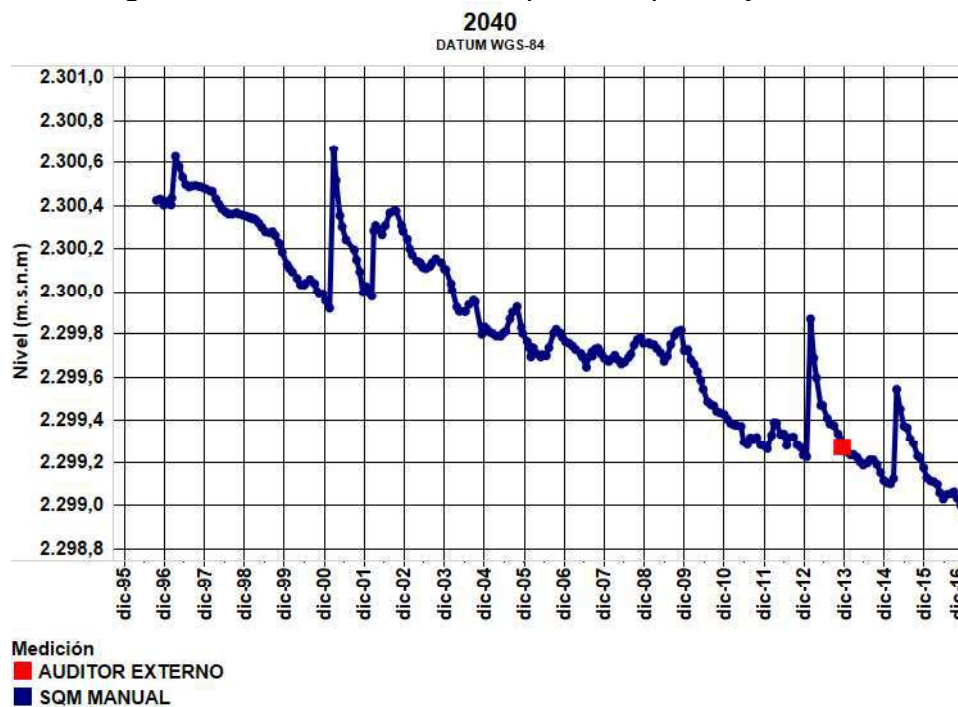
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-303: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo 2028



Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-304: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo 2040



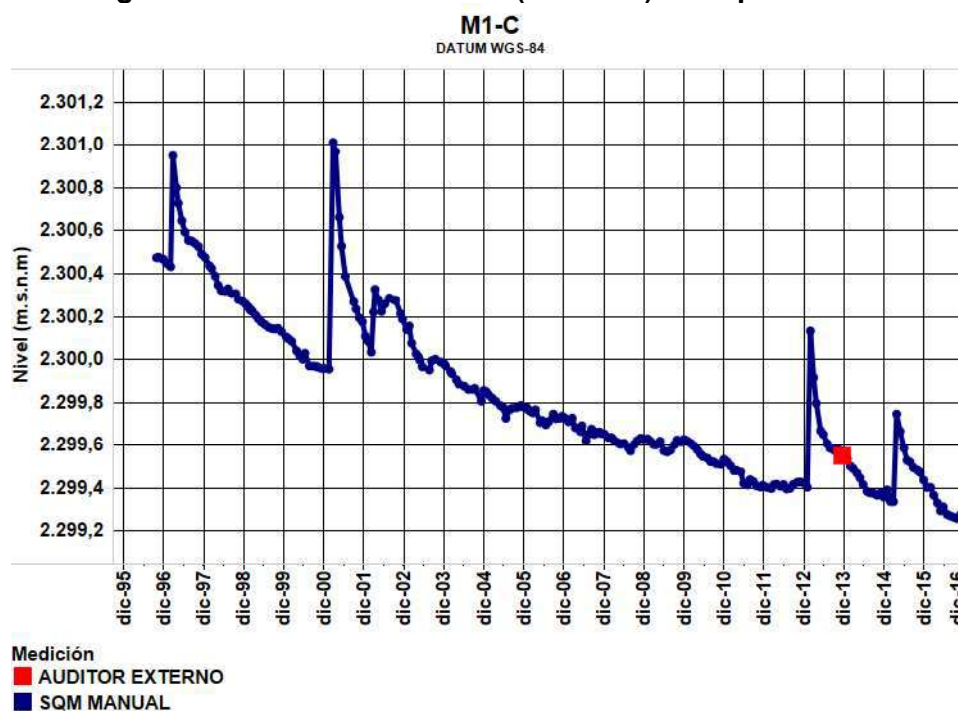
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-305: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo C4-B



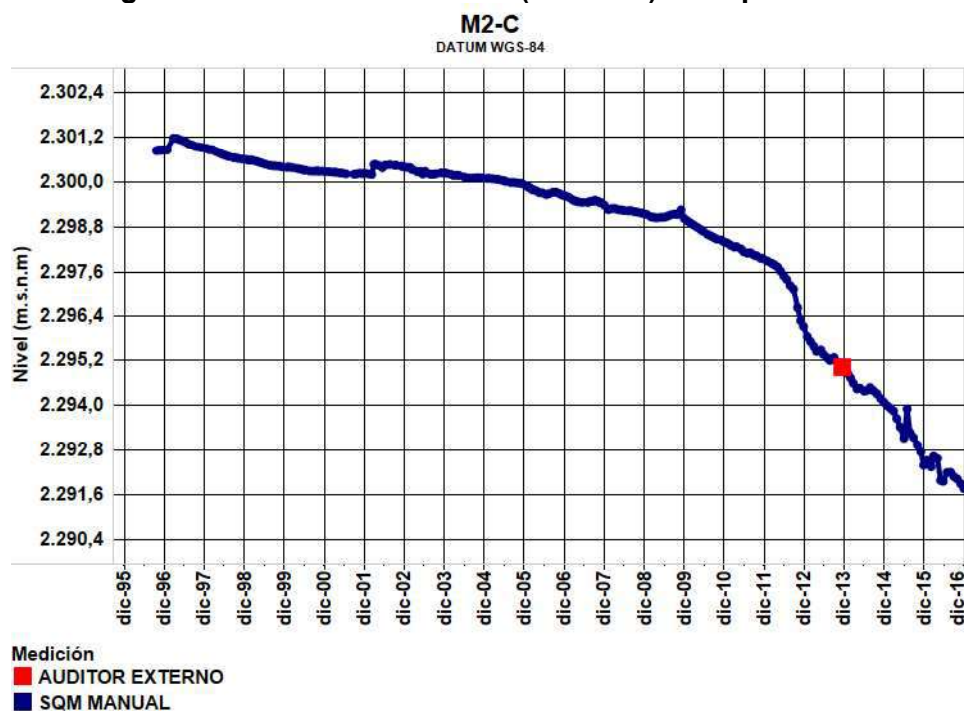
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-306: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo M1-C.



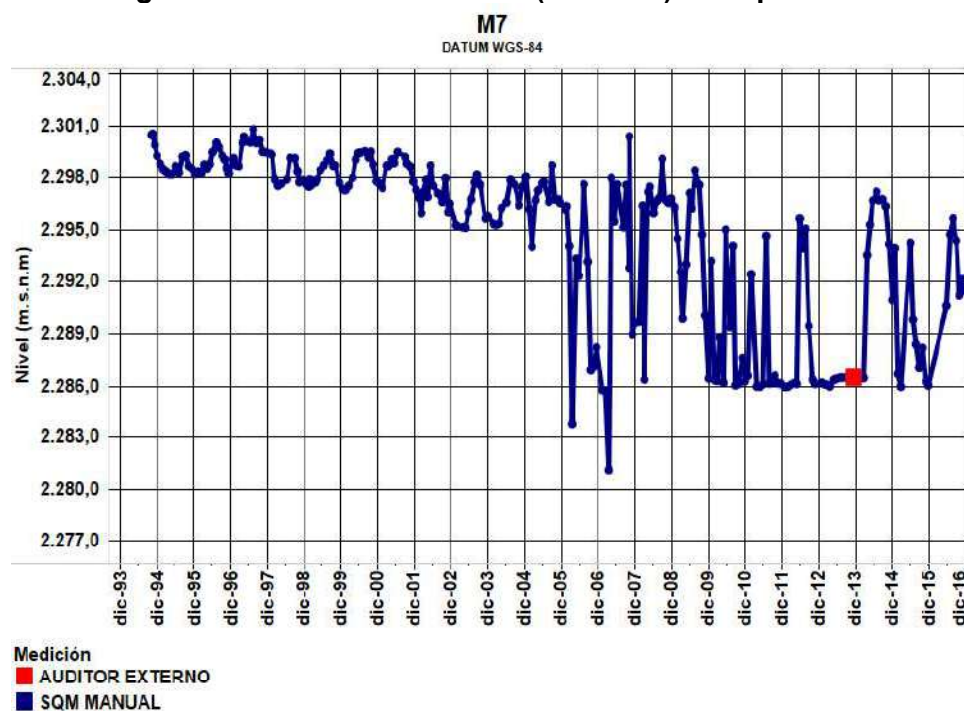
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-307: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo M2-C



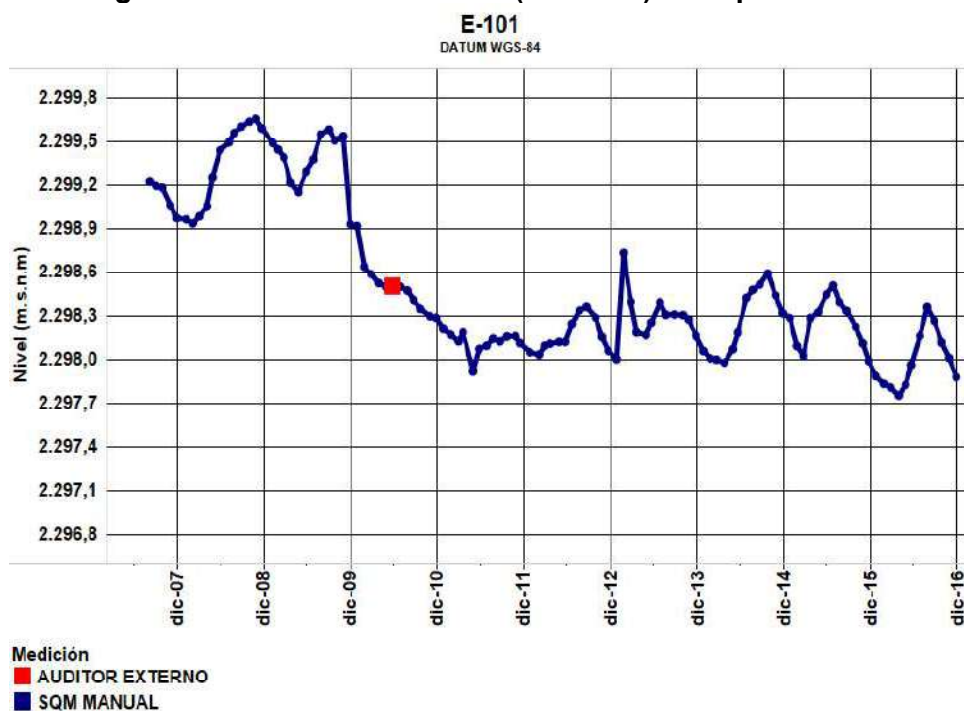
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-308: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo M7



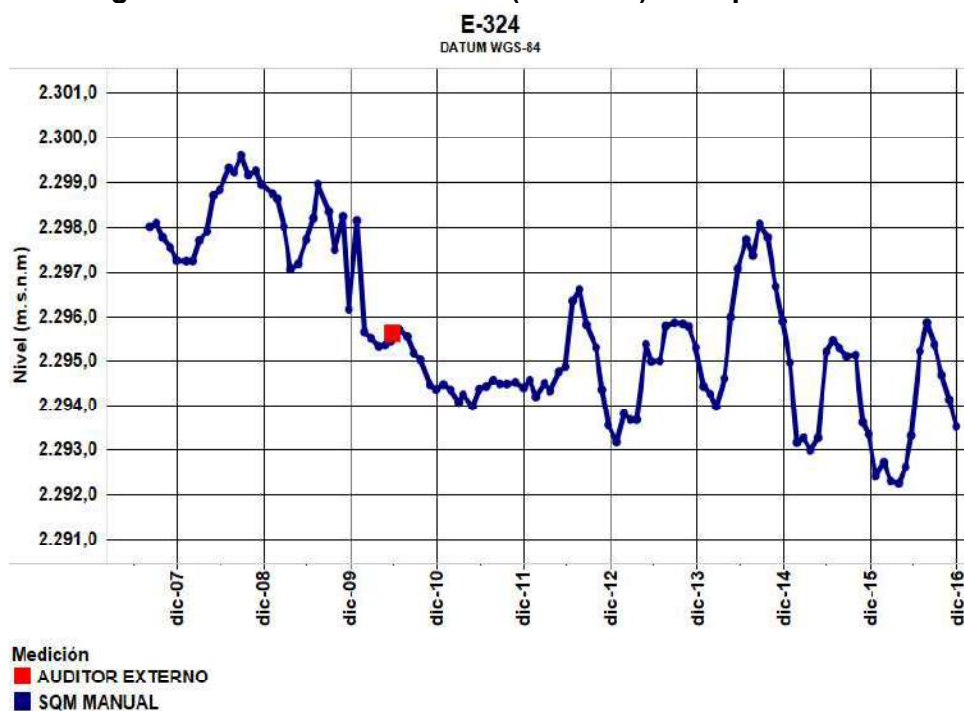
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-309: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo E-101



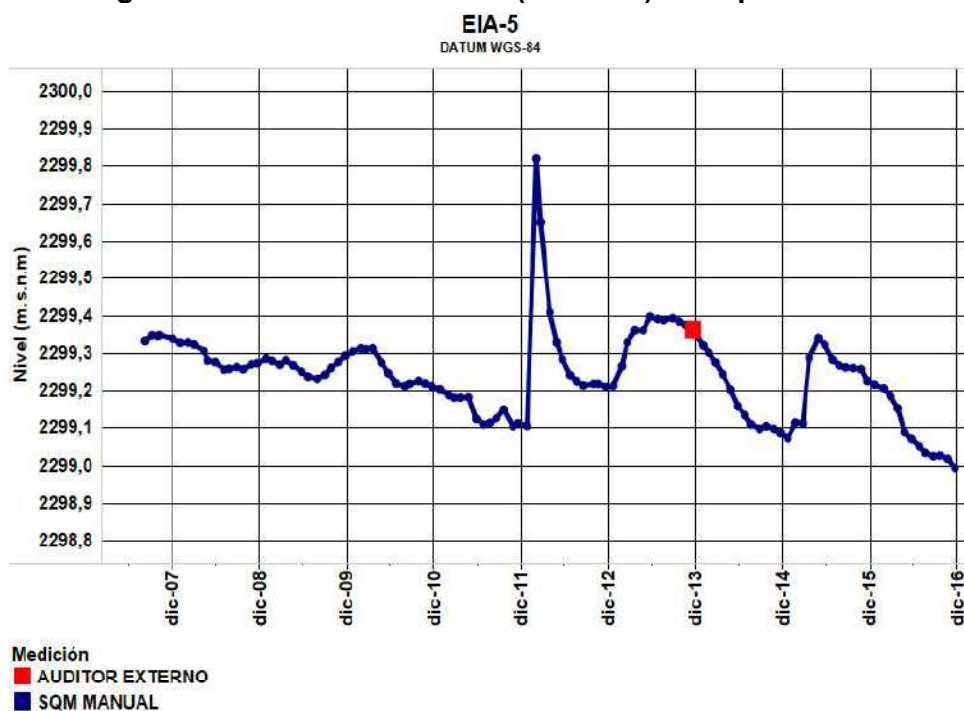
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-310: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo E-324.



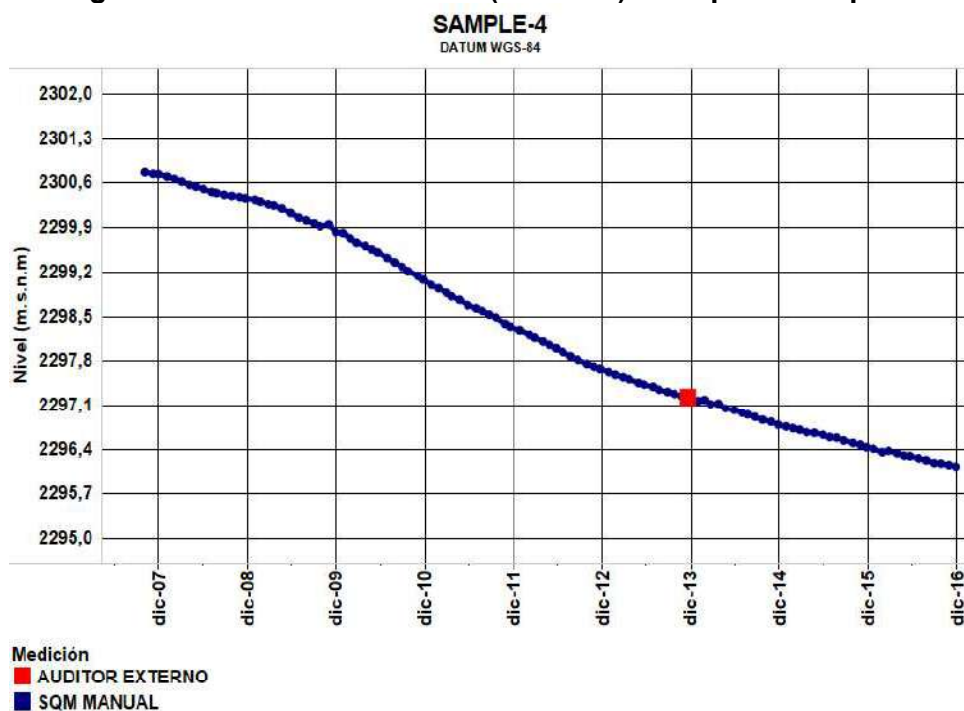
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-311: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo EIA-5



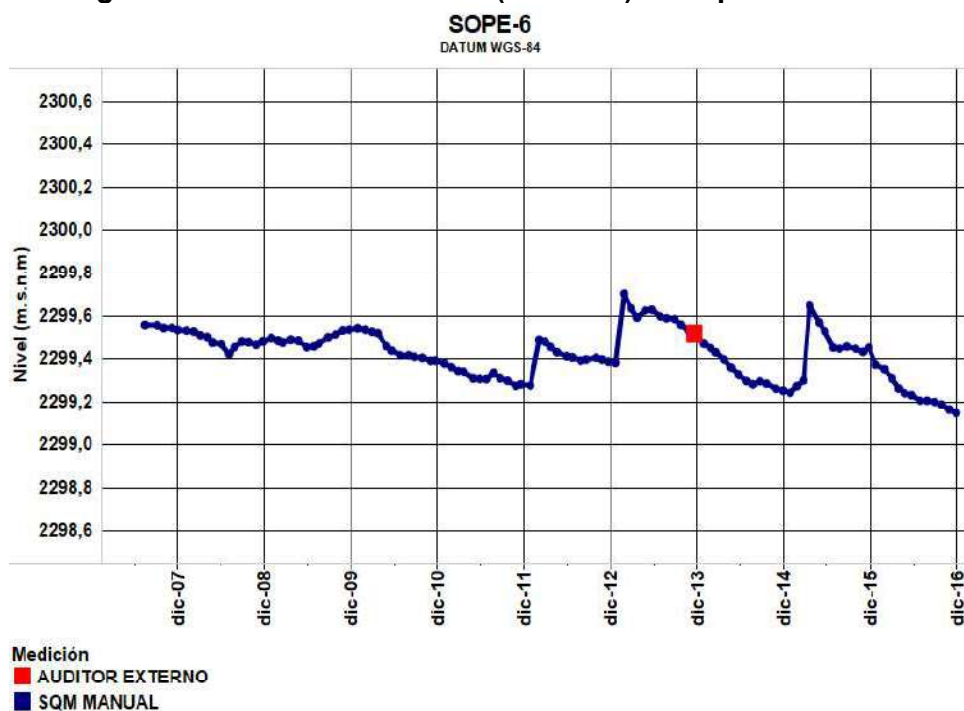
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-312: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo Sample 4



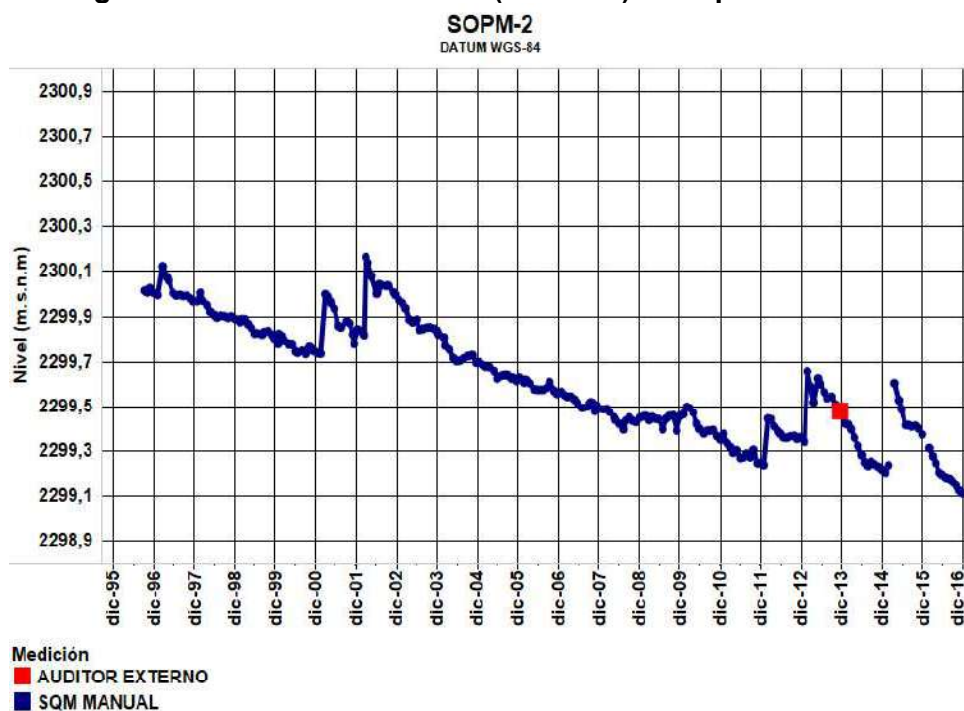
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-313: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo SOPE-6.



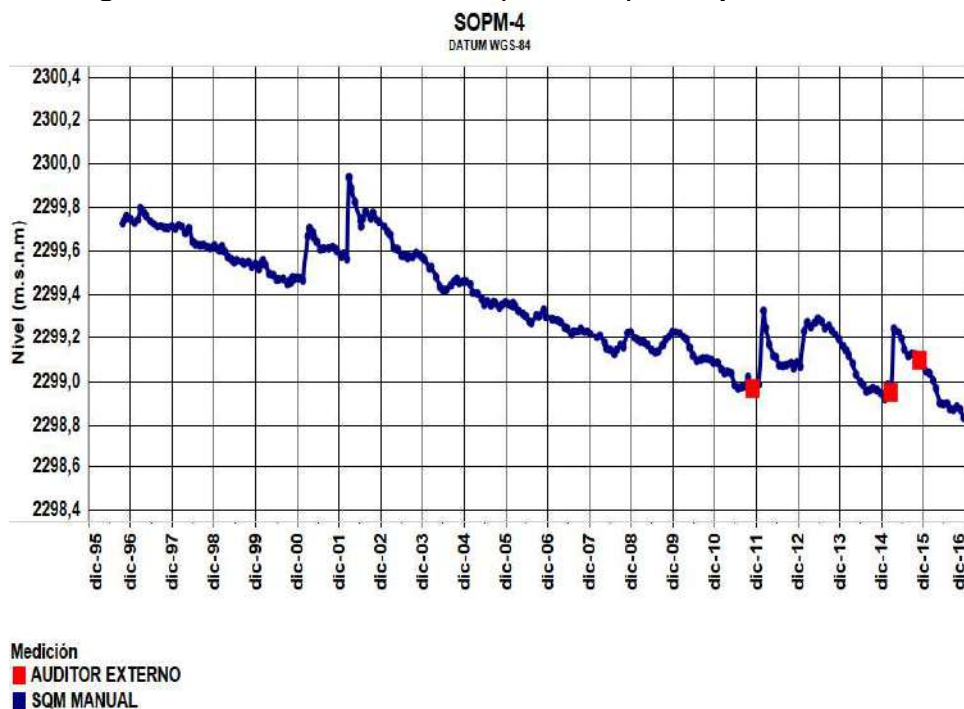
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-314: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo SOPM-2.



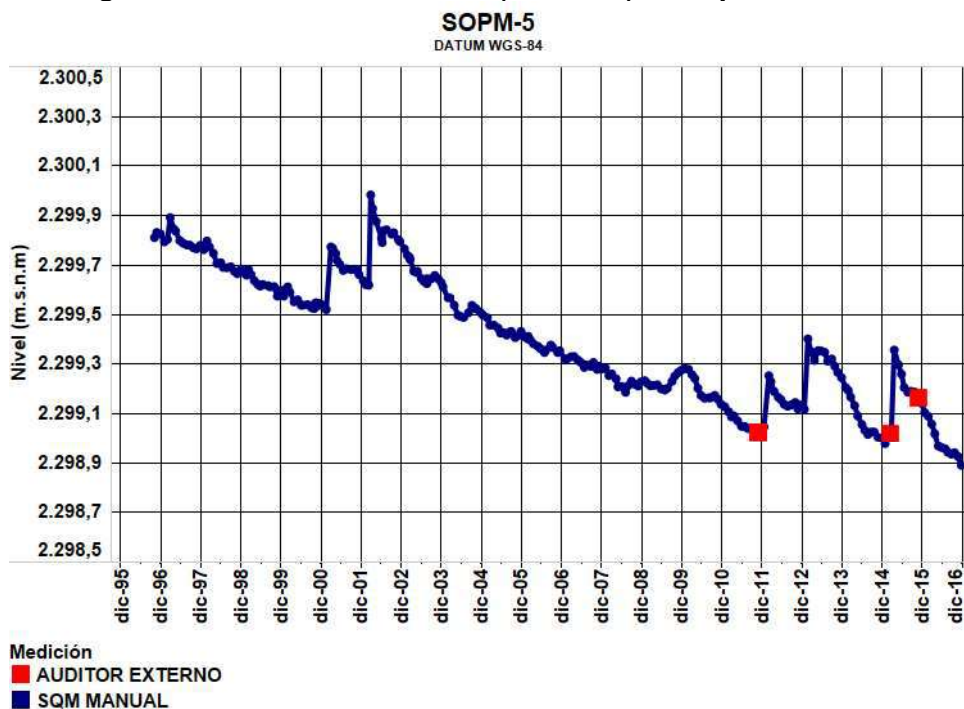
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-315: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo SOPM-4



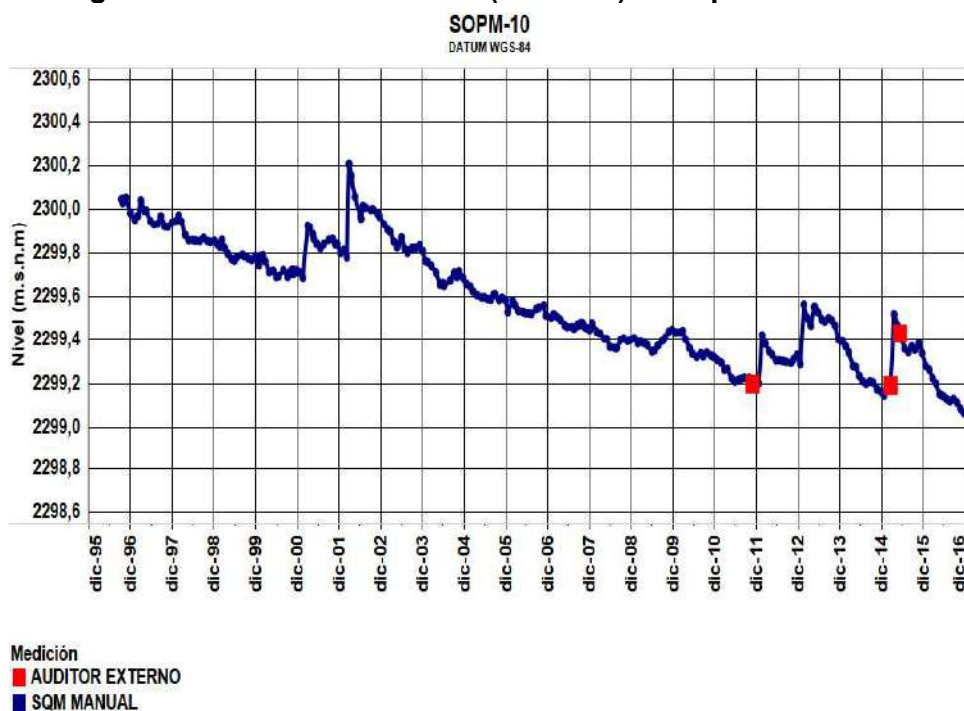
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-316: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo SOPM-5



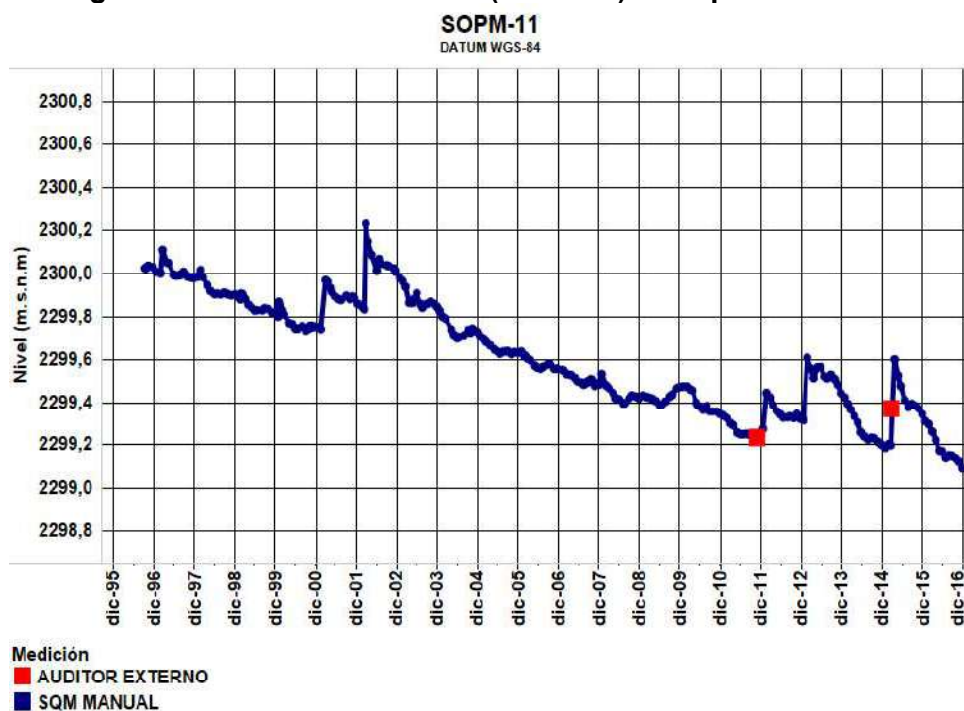
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-317: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo SOPM-10



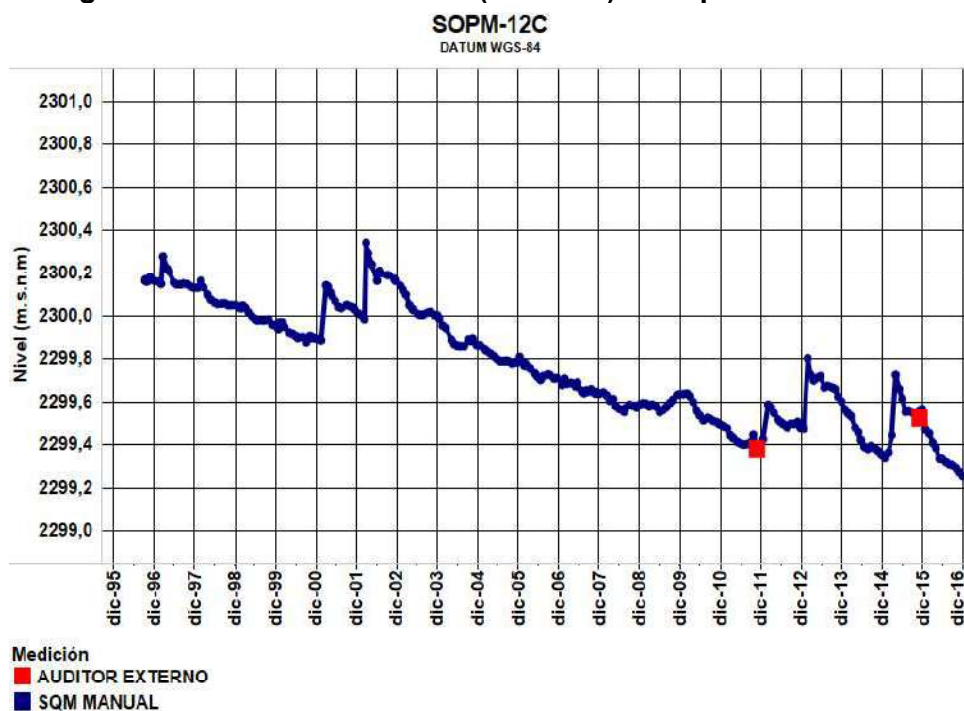
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-318: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo SOPM-11



Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-319: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo SOPM-12C



Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-320: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo Zar-C-S

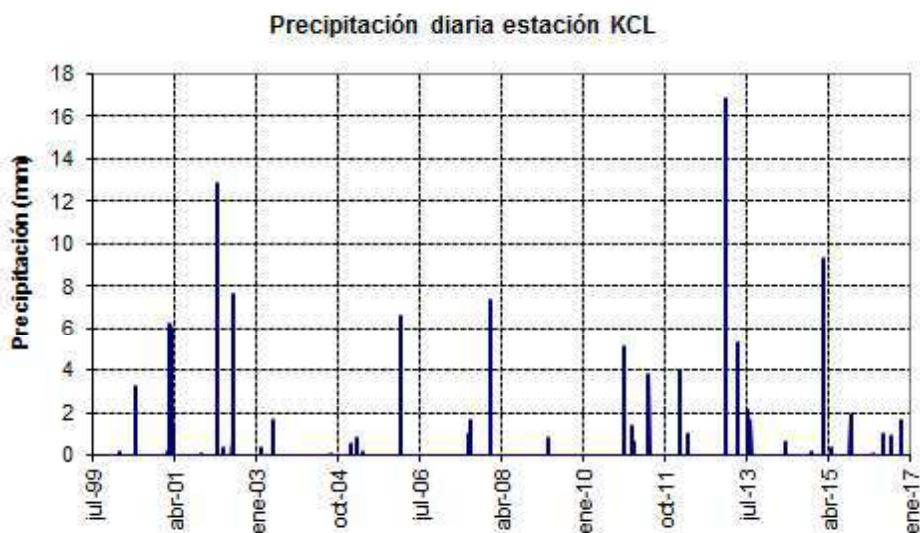


Fuente: Elaboración propia.

5.2.6.2 Meteorología

Entre la Figura 5-321 y la Figura 5-324 se presenta las variables registradas por la estación meteorológica KCL. En el ANEXO 13 se muestran los datos recopilados el último semestre del 2016.

Figura 5-321: Precipitación diaria registrada en la estación KCL



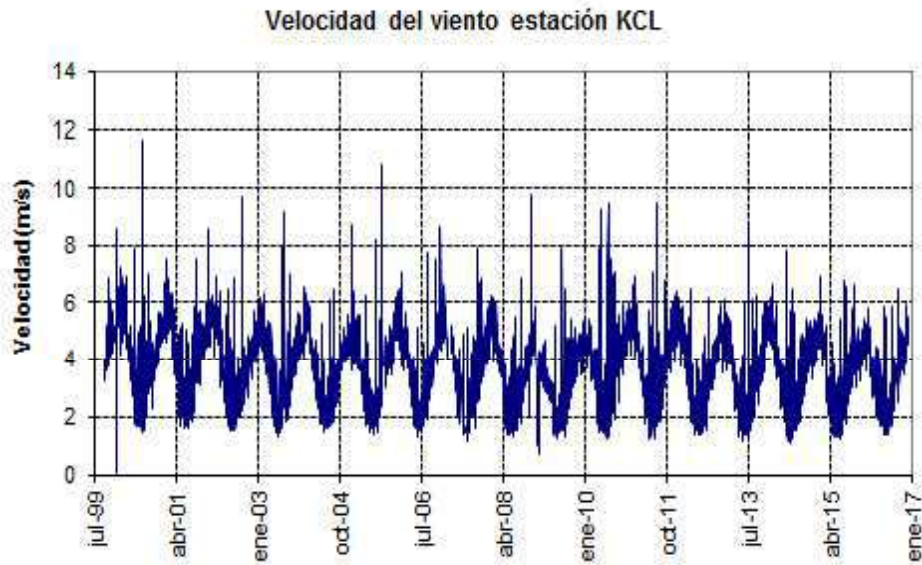
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-322: Evaporación diaria registrada en la estación KCL



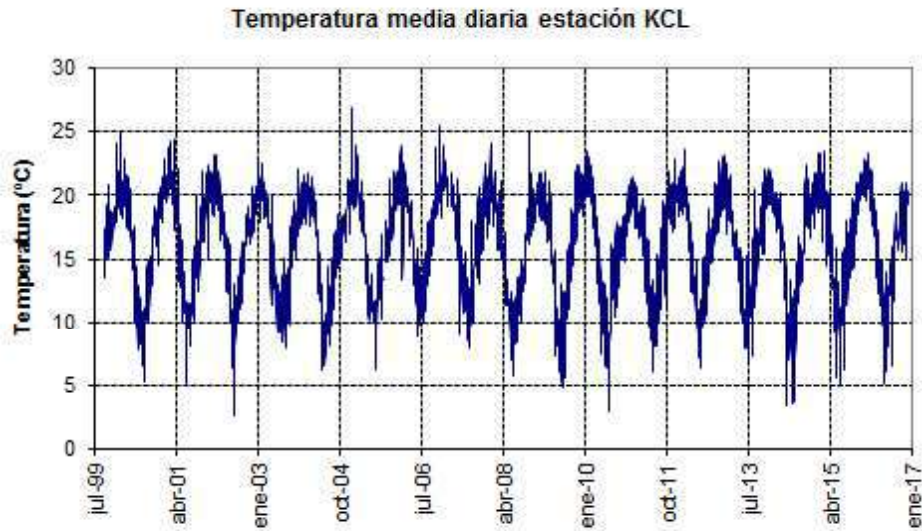
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-323: Velocidad del viento diaria registrada en la estación KCL



Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-324: Temperatura media diaria registrada en la estación KCL

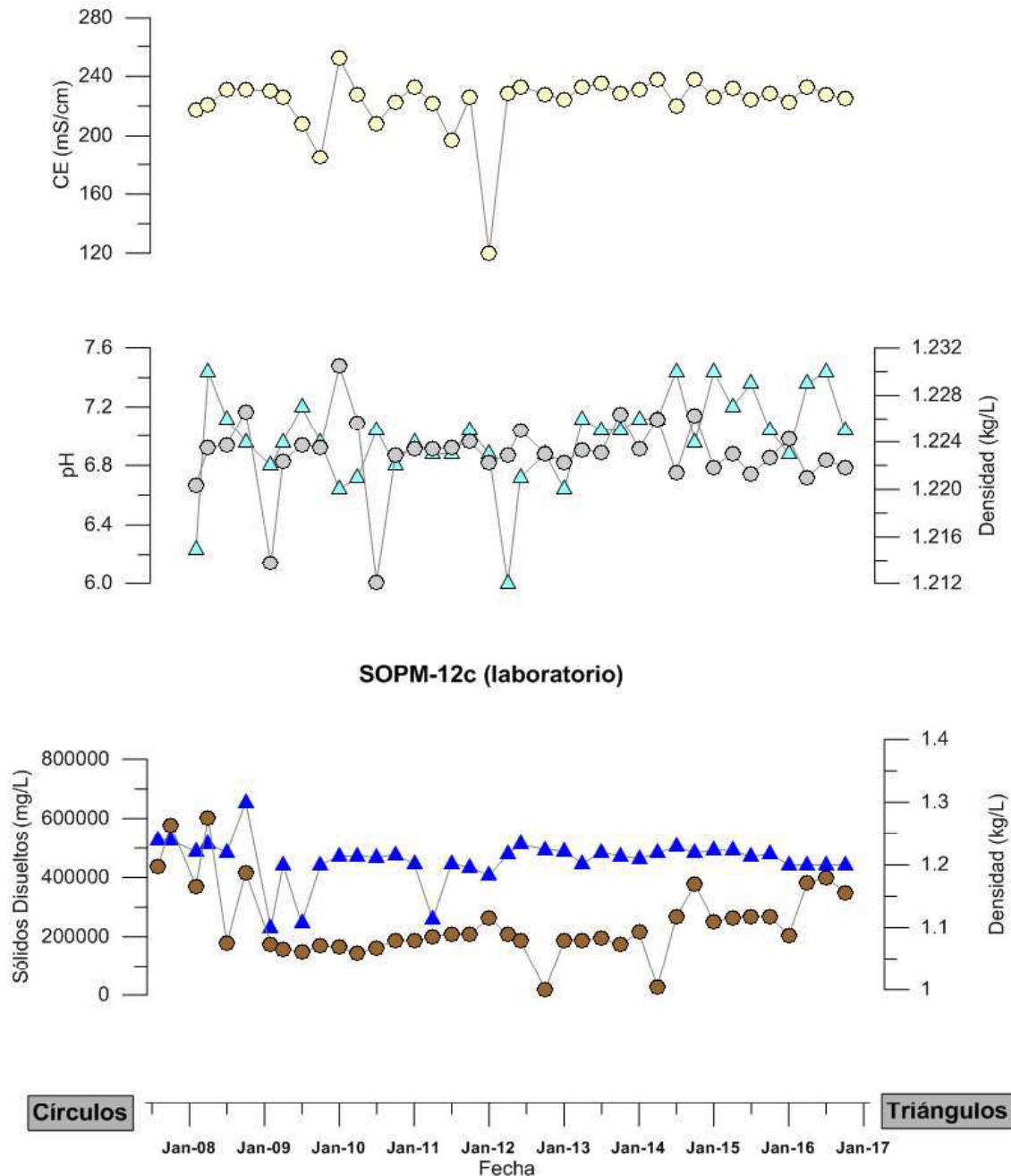


Fuente: Elaboración propia.

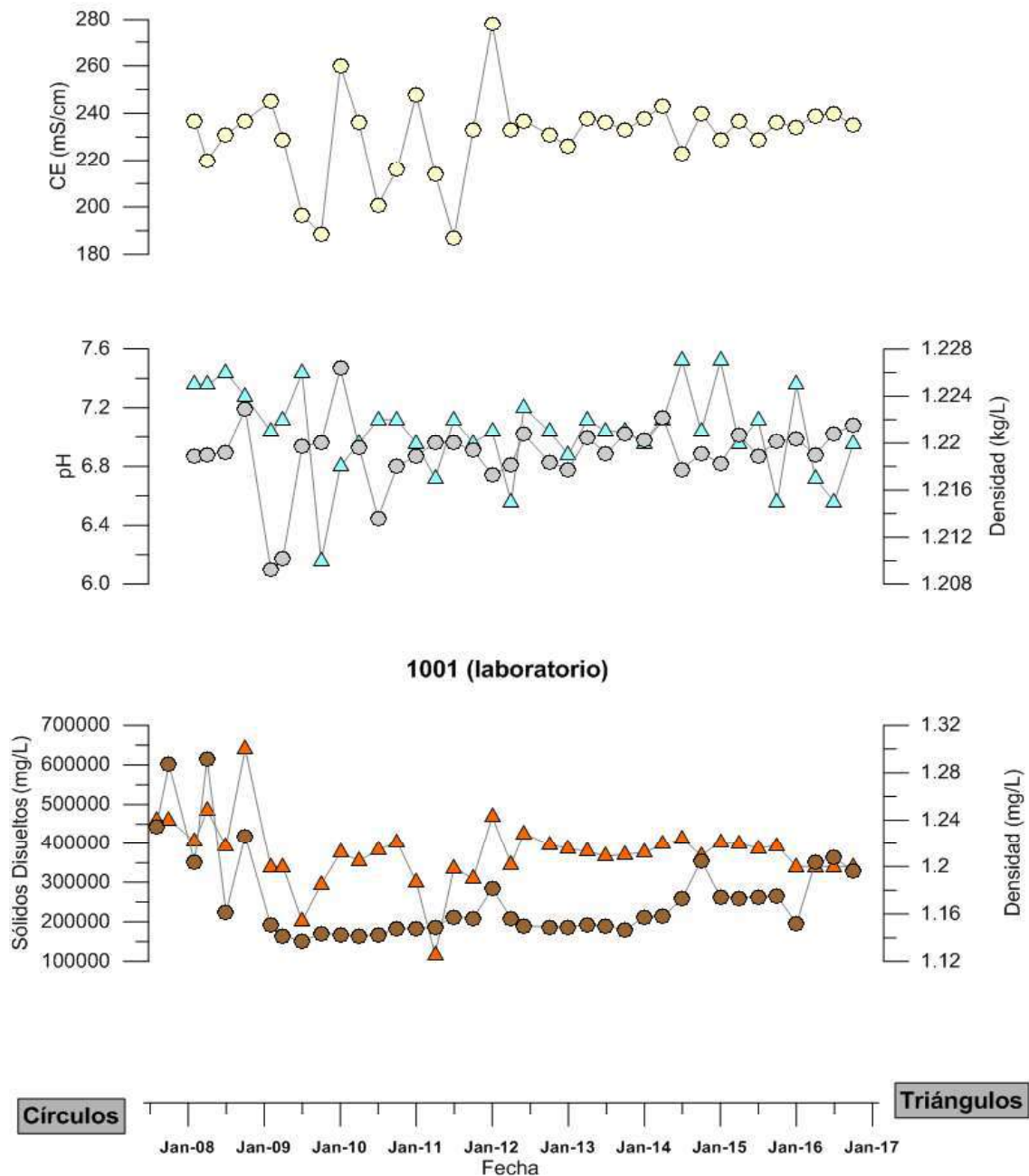
5.2.6.3 Calidad química

Los pozos existentes que monitorean la calidad del agua subterránea en el sistema Núcleo del Salar de Atacama son SOPM-12C y 1001. En el ANEXO 15 se adjuntan los informes de los análisis químicos de estos pozos. Los resultados se presentan desde la Figura 5-325 a la Figura 5-326.

Figura 5-325: Resultados de análisis físico-químico pozo SOPM-12c
SOPM-12c (terreno)



**Figura 5-326: Resultados de análisis físico-químico pozo 1001
1001 (terreno)**



5.2.7 Sistema Cuña Salina

El sistema Cuña Salina representa la zona de transición y equilibrio entre el acuífero de agua del borde este o aluvial y el acuífero de salmuera alojado en el núcleo.

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 5-327 se aprecia la distribución geográfica de dichos puntos.

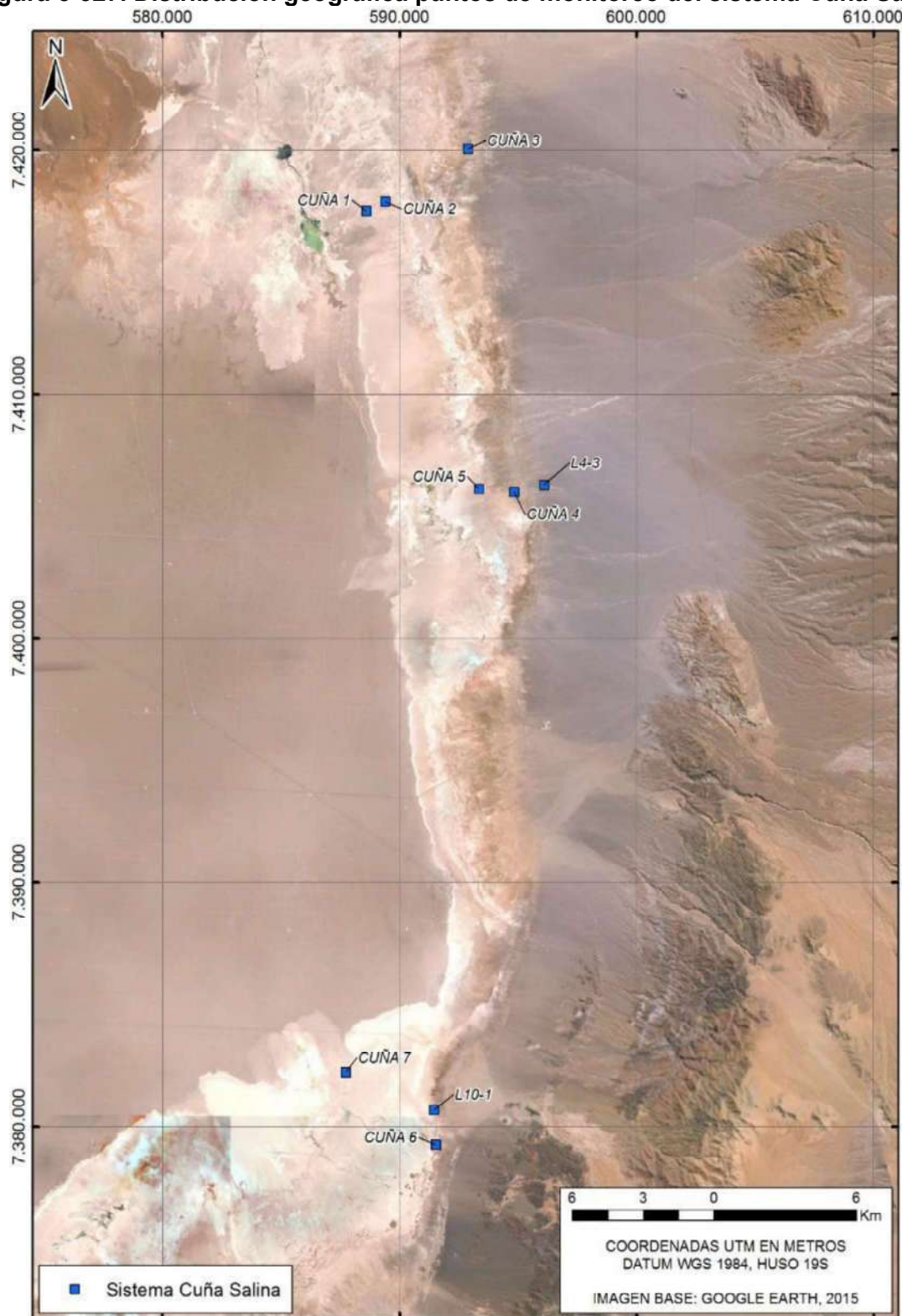
Los pozos que monitorean el sistema Cuña Salina son: L4-3, Cuña 1, Cuña 2, Cuña 3, Cuña 4, Cuña 5, Cuña 6, Cuña 7 y L10-1, cuya profundidad, zona en la que se encuentran y página donde se muestra el gráfico de nivel se muestran en la Tabla 5-15. El pozo L10-1 es parte del monitoreo de nivel del sistema Peine, razón por la cual sus niveles no se presentan en este subcapítulo, y su gráfico puede ser consultado en la sección 5.2.3.1. Los pozos clasificados como cuña están emplazados íntegramente en la zona marginal.

Tabla 5-15: Puntos de monitoreo del sistema Cuña Salina

Punto de Monitoreo	Clasificación	Tipología	Profundidad (m)	Página
Cuña 1	Zona marginal	Pozo cuña	22	285
Cuña 2	Zona marginal	Pozo cuña	24	285
Cuña 3	Zona marginal	Pozo cuña	140	286
Cuña 4	Zona marginal	Pozo cuña	95	287
Cuña 5	Zona marginal	Pozo cuña	38	287
L4-3	Zona marginal	Pozo cuña	95	288
Cuña 6	Zona marginal	Pozo cuña	122	289
Cuña 7	Zona marginal	Pozo cuña	42	289
L10-1	Zona marginal	Pozo cuña	162	219

Fuente: Elaboración propia.

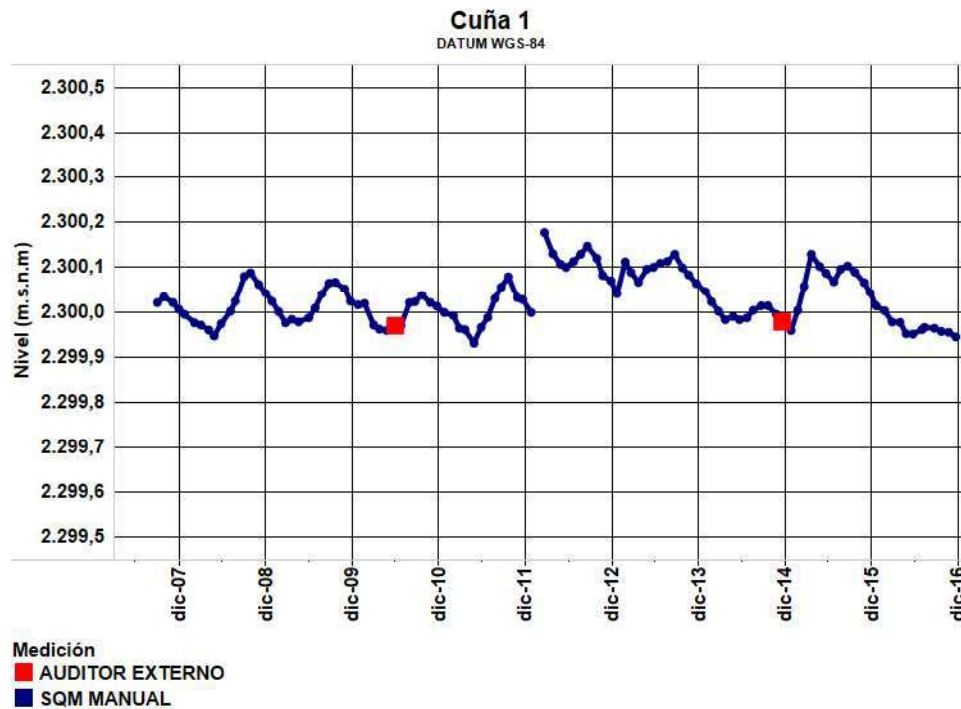
Figura 5-327. Distribución geográfica puntos de monitoreo del sistema Cuña Salina.



Fuente: Elaboración propia.

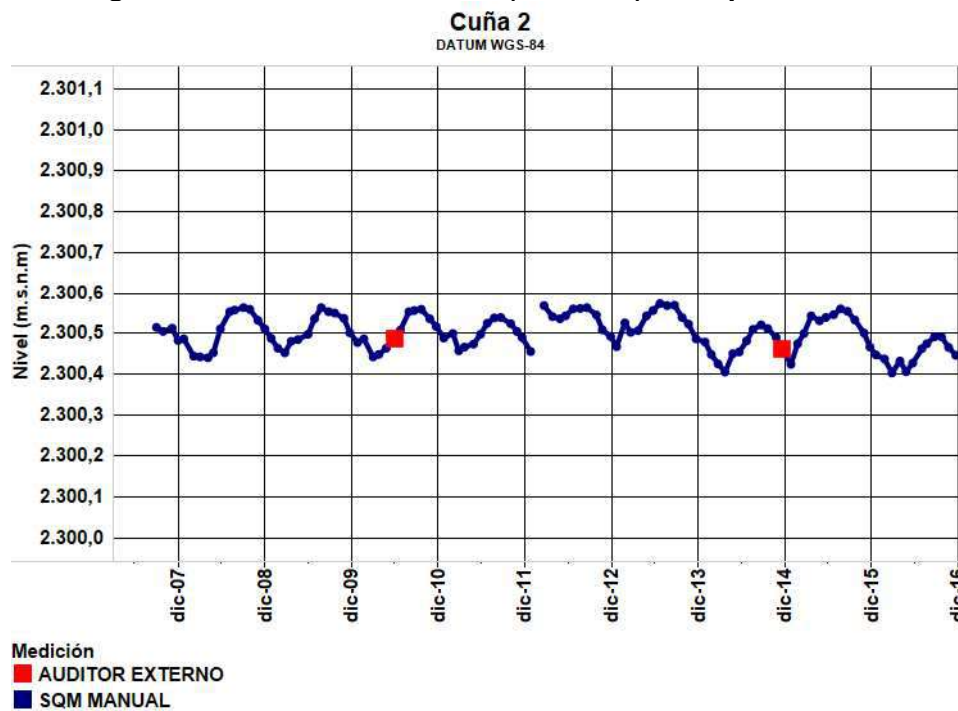
SQM Salar realizó mediciones del perfil de conductividad en todos los pozos listados en la Tabla 5-15. Estos perfiles se presentan en la Figura 5-331, Figura 5-335 y Figura 5-338. Los resultados son ordenados de norte a sur para cada perfil cuña.

Figura 5-328: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo Cuña 1



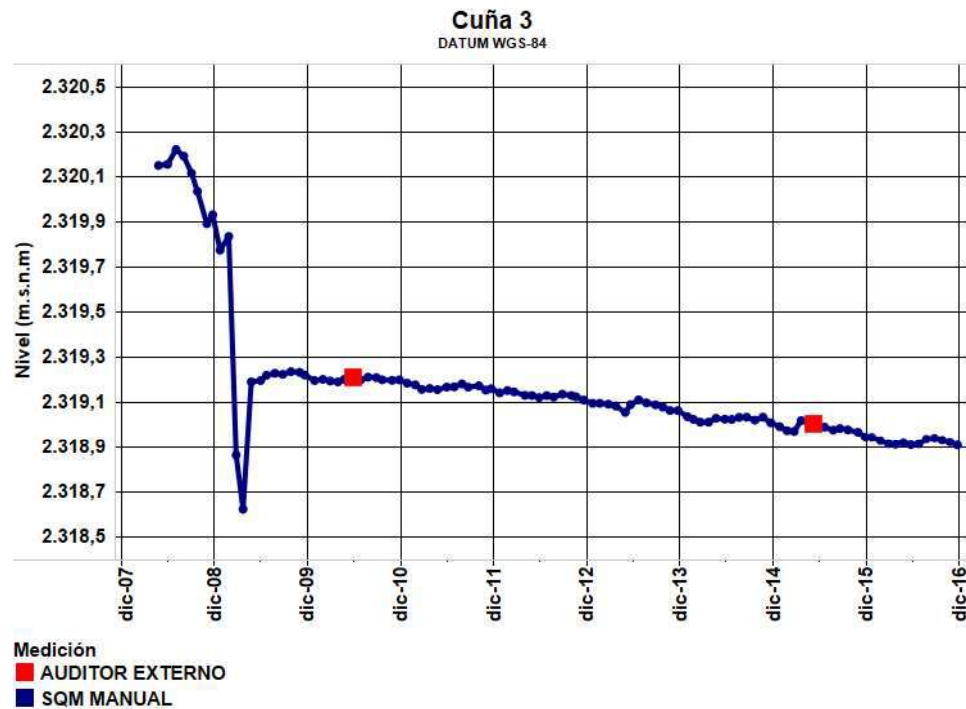
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-329: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo Cuña 2



Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-330: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo Cuña 3



Fuente: Elaboración propia.

La Figura 5-331 presenta los perfiles de conductividad eléctrica para los pozos Cuña 1, Cuña 2 y Cuña 3.

Figura 5-331: Perfil de conductividad eléctrica en los pozos Cuña 1, Cuña 2 y Cuña 3 a diciembre 2016.

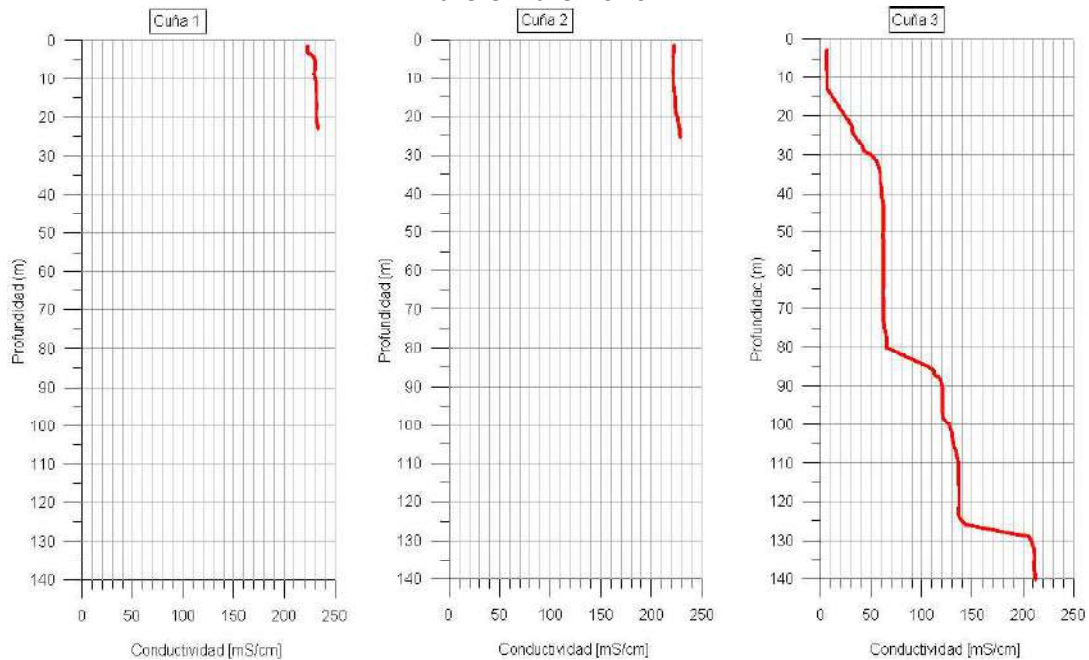
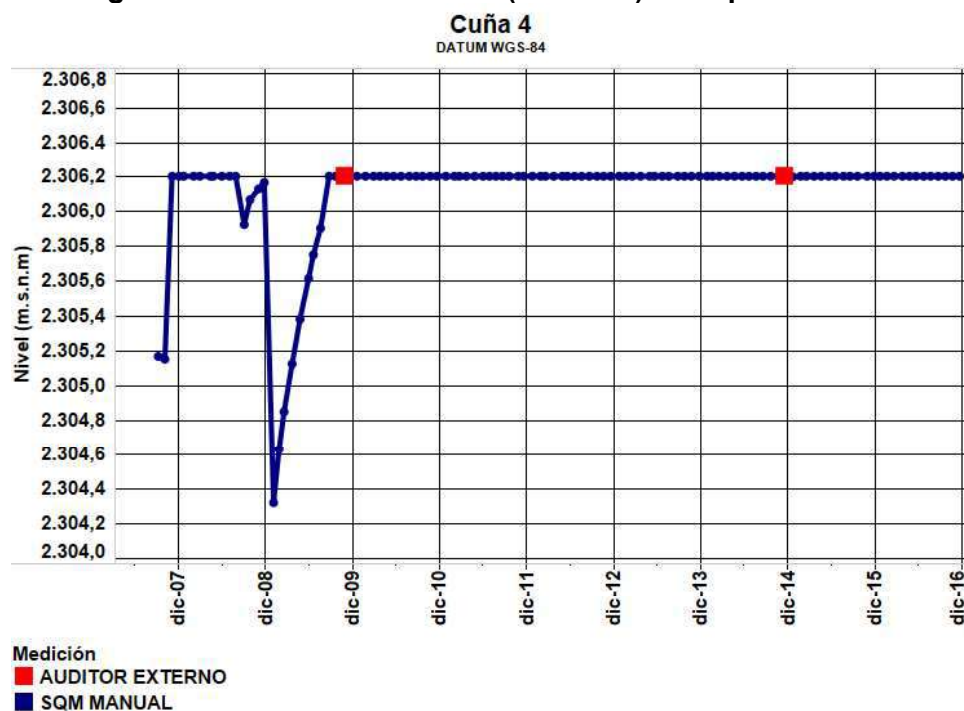
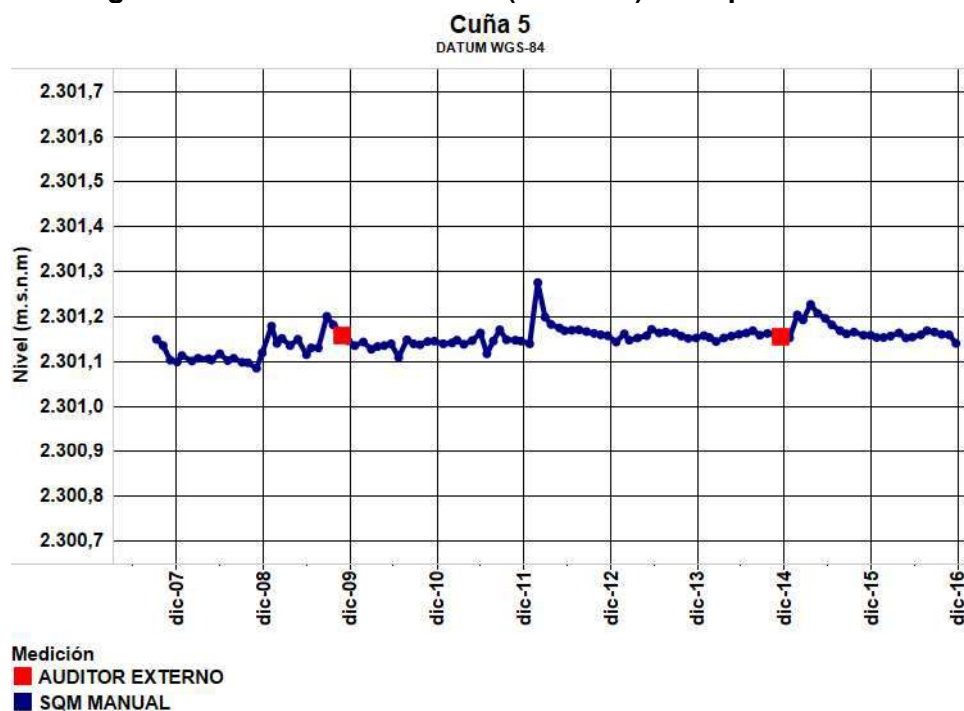


Figura 5-332: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo Cuña 4



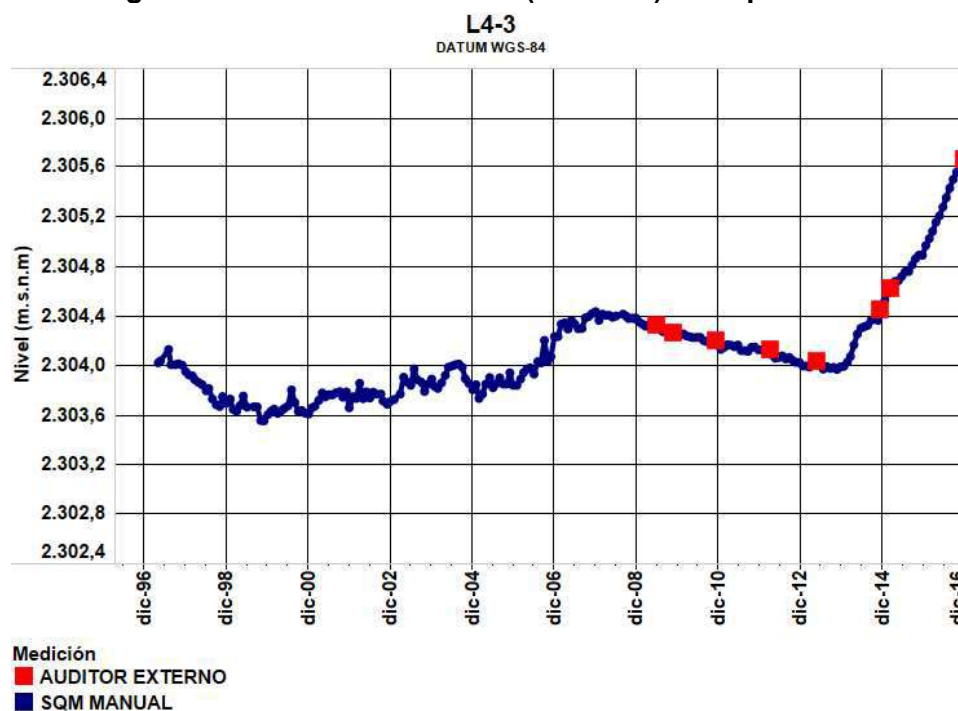
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-333: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo Cuña 5



Fuente: Elaboración propia.

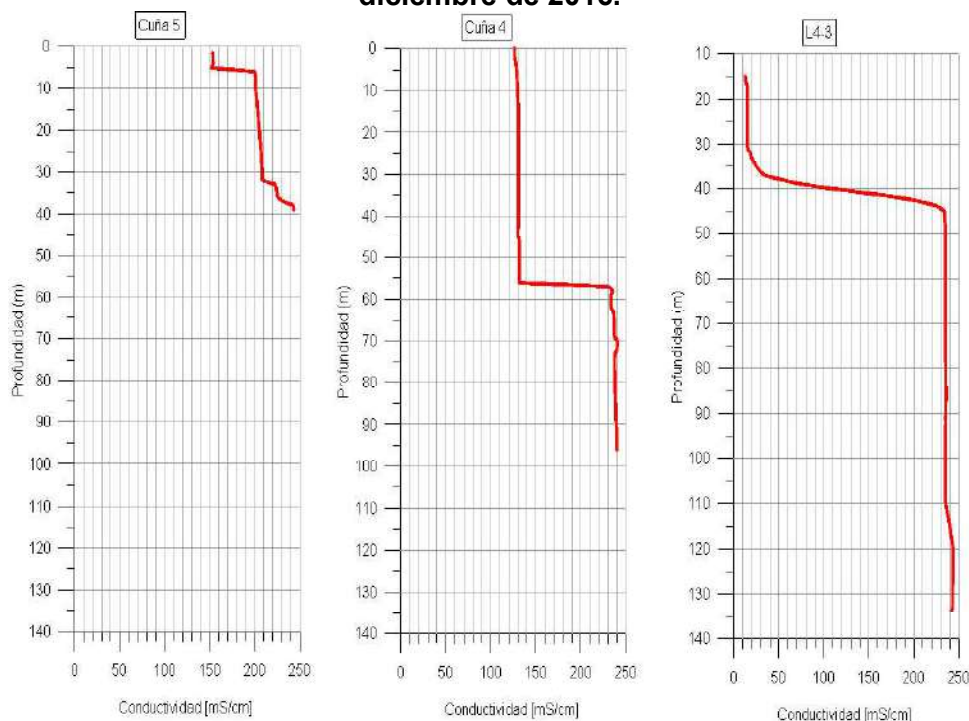
Figura 5-334: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo L4-3



Fuente: Elaboración propia.

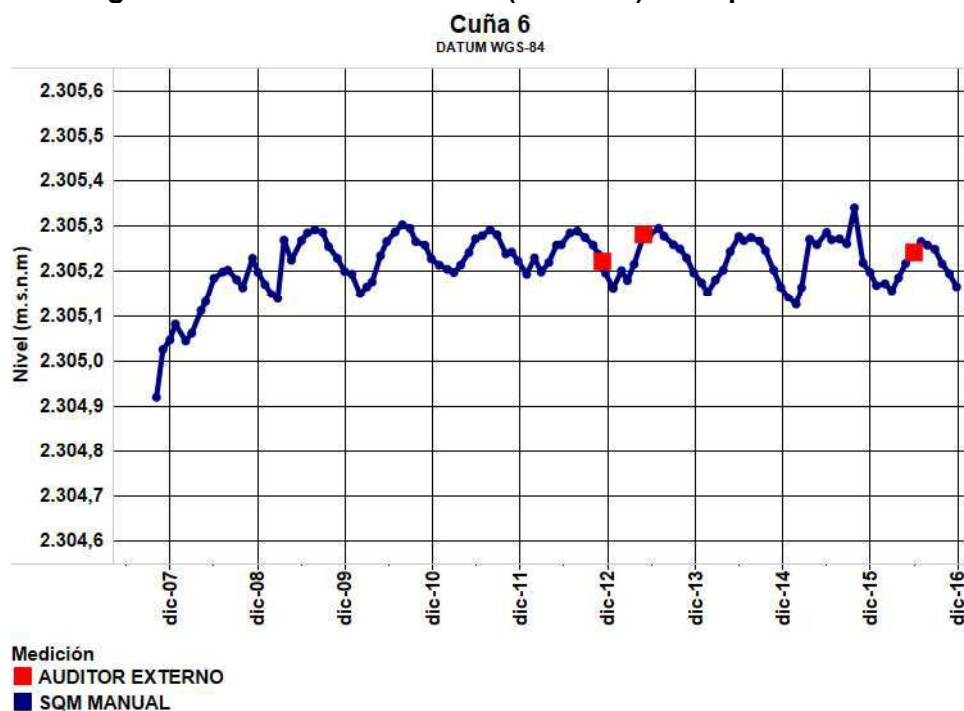
La Figura 5-335 presenta los perfiles de conductividad eléctrica para los pozos Cuña 4, Cuña 5 y L4-3.

Figura 5-335: Perfil de conductividad eléctrica en los pozos Cuña 5, Cuña 4 y L4-3 a diciembre de 2016.



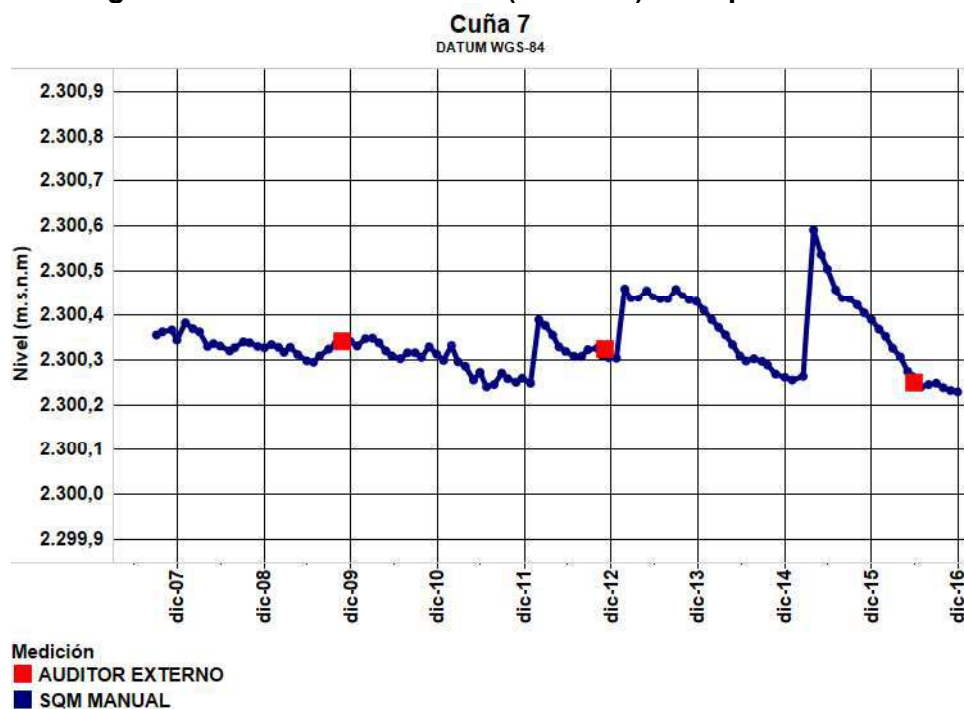
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-336: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo Cuña 6



Fuente: Elaboración propia.

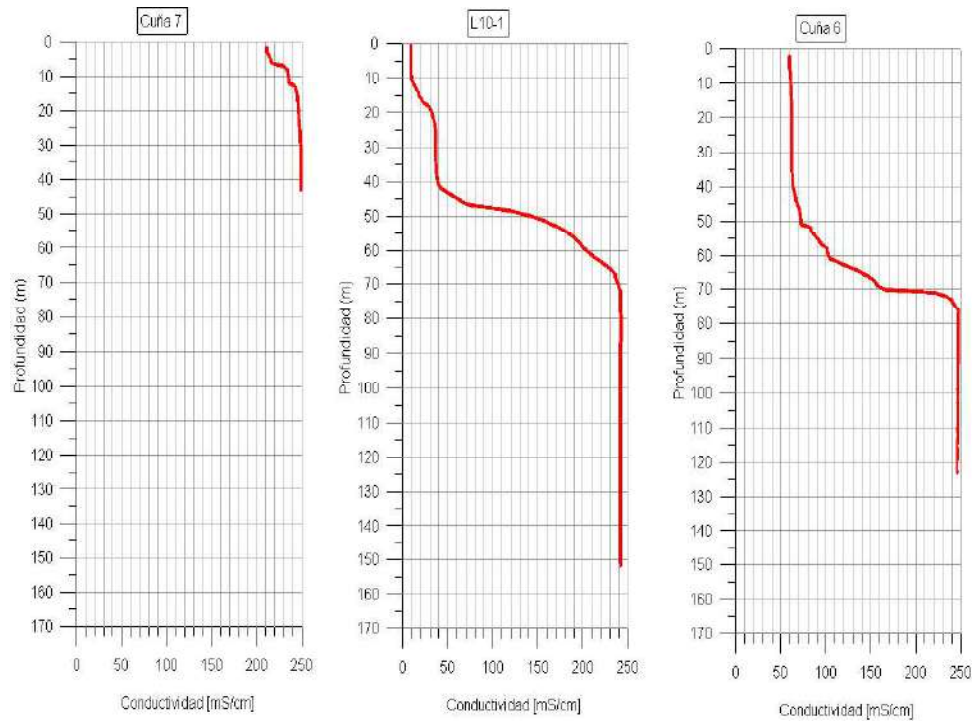
Figura 5-337: Nivel observado (m.s.n.m.) en el pozo Cuña 7



Fuente: Elaboración propia.

La Figura 5-338 presenta los perfiles de conductividad eléctrica de los pozos Cuña 6, Cuña 7 y L10-1.

Figura 5-338: Perfil de conductividad eléctrica en los pozos Cuña 7, L10-1 y Cuña 6 a diciembre 2016



Fuente: Elaboración propia.

6 DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En este apartado se discuten los resultados obtenidos en el PSAH a diciembre 2016.

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 los niveles observados en algunos pozos de la zona aluvial, de acuerdo a lo esperado. 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 agua en esta zona. En aquellos puntos de observación pertenecientes al PC y que están aguas abajo de los pozos de bombeo de agua industrial, la afectación parece nula (L7-14, L2-25, sistema Vegetación Borde Este).

Los datos del segundo semestre de 2016 confirman las tendencias observadas y comentadas previamente en el presente informe como en los últimos informes de seguimiento ambiental. En el pozo de bombeo de agua industrial Allana, el nivel dinámico presenta una tendencia a la estabilización durante el 2016. En el caso del pozo Mullay-1, se observa la misma tasa de descenso de los últimos años (20 cm/año aproximadamente).

El pozo L7-6 se ubica en la zona aluvial, sin embargo en la RCA se considera como un pozo del PC para la vegetación Brea-Atriplex. Su evolución está influenciada por el bombeo del pozo Mullay, lo que ha provocado la activación del Plan de Contingencia en su Fase I en noviembre de 2016. A partir de esa fecha, se ha aumentado la frecuencia de monitoreo a cada 15 días, de acuerdo lo indicado en la RCA³³.

6.1.1.2 Pozos en zona marginal

En esta zona los efectos del bombeo son muchos menos evidentes que en la zona aluvial, como cabe esperar.

Los pozos L7-10, L1-15, L1-4, ubicados al este de las lagunas Barros Negros y Chaxa, presentan un comportamiento al alza.

Los pozos 1027, L7-3, L2-4 presentan un comportamiento oscilatorio producto de la estacionalidad de la evaporación invierno-verano.

Los pozos L1-5, L1-8, L1-11, L2-17, ubicados al oeste de la laguna Barros Negros, presentan un comportamiento oscilatorio estacional asociado a la evaporación así como, presumiblemente, a los desbordes de la Laguna Barros Negros.

El registro histórico de los pozos de salmuera muestra un descenso constante interrumpido, esporádicamente, por ascensos bruscos asociados a las precipitaciones.

Dentro del grupo de pozos zona núcleo del sistema Soncor se encuentra el pozo L1-5, el cual es clasificado como pozo del Plan de Contingencia. Este pozo activó su Fase I durante

³³ El 7 de diciembre de 2016, se reportó a la SMA la activación de la Fase I para el pozo L7-6, aumentando la frecuencia de monitoreo de mensual a quincenal para todos los pozos del sistema Vegetación Borde Comprobante de reporte RIA1715.

septiembre de 2016, lo que generó un aumento en la frecuencia de monitoreo de acuerdo a lo indicado en la RCA 226/2006³⁴.

Revisando los niveles de las lagunas, se puede apreciar que estas no han variado fuera de su rango natural, lo que implica que el bombeo desde la zona productiva no estaría impactando negativamente en ellas.

6.1.2 Niveles de agua superficial

Los niveles de las aguas superficiales registrados en las reglillas presentan oscilaciones estacionales ligadas a la evaporación y al flujo de ingreso de aguas a las lagunas a través del canal Burro Muerto.

Durante el año 2014 y 2016 no se observa el efecto estacional en la reglilla L1-G4 observado en la época invernal desde el año 2007 al 2013. Durante el 2016 se observa un descenso continuo de niveles de esta reglilla, posiblemente debido a una disminución del desborde de la laguna a través del sector conocido como Cola de Pez.

Al igual que el pozo L1-5, la reglilla L1-G4, que es clasificada como un punto del Plan de Contingencia, también activó su fase I durante septiembre de 2016, lo que generó un aumento en la frecuencia de monitoreo de acuerdo a lo indicado en la RCA 226/2006³⁵.

En la reglilla L7-G1 se observa un comportamiento oscilatorio estacional desde el invierno del año 2009, el cual se mantiene hasta el año 2016. Los niveles, en términos generales, presentan una ligera tendencia al aumento durante este período. Podría desprenderse del registro anterior que el traspaso de aguas desde la Laguna Chaxa a la laguna Barros Negros se mantiene dentro del rango histórico.

Los niveles observados en la reglilla L7-G2 han permanecido sustancialmente estables desde el año 2001 hasta el 2016.

En la reglilla del Puente San Luis, se aprecia que los niveles durante el año 2014 y el 2016 vuelven a tener la tendencia oscilatoria con tendencia al alza 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 a causa de las lluvias registradas ese año. Para mayor detalle, esto se encuentra mencionado en informes N°11 al N°14 del PSAH.

En la reglilla Burro Muerto se observa que los niveles permanecen estables desde el segundo semestre del año 2007 hasta el 2016.

De la misma manera, se observa en la reglilla L11-G1 que los niveles se mantienen estables desde comienzo de las mediciones (noviembre 2007) hasta el primer semestre del año 2014. A fines del 2014 y 2015, se observa un descenso pronunciado de los niveles bajo la superficie del terreno. Este efecto no se registra en fechas posteriores.

6.1.3 Evolución del nivel lacustre

En la reglilla Puilar se observa un comportamiento estacional con una disminución de la amplitud en los registros de niveles más recientes.

³⁴El 28 de septiembre de 2016, se reportó a la SMA la activación de la Fase I para el pozo L1-5, aumentando la frecuencia de monitoreo de mensual a quincenal para todos los pozos del sistema Soncor. El código del comprobante de Aviso es el RIA1485.

³⁵El 28 de septiembre de 2016, se reportó a la SMA la activación de la Fase I para el pozo L1-G4, aumentando la frecuencia de monitoreo de mensual a quincenal para todos los pozos del sistema Soncor. El código del comprobante de Aviso es el RIA1485.

Para el caso de la laguna Barros Negros y Chaxa, los resultados de las mediciones muestran que no existe variaciones importantes fuera del comportamiento histórico.

Cabe señalar, que la Laguna Barros Negros presenta desbordes tanto en la zona Oeste (cola de pez) como en la zona sur. En los últimos registros de imágenes satelitales se evidencia una predominancia del desborde sur. Los desbordes y su magnitud pueden influir en la evolución de los niveles freáticos de los sectores aledaños.

6.1.4 Meteorología

Como se aprecia en los resultados de las mediciones presentadas en la Figura 5-125, 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.

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 y autorizados ambientalmente (40 L/s en cada uno) desde su puesta en operación y sus niveles se han comportado de acuerdo a lo esperado.

6.1.6 Calidad Química

Respecto de la calidad química del agua, tanto en pozos de monitoreo como en las lagunas, se observan valores relativamente estables en los parámetros analizados, es decir, sin cambios bruscos respecto de los valores históricos y sin cambios de tendencia.

El cambio del valor de la Alcalinidad Carbonatada (mg/l) se debe probablemente al cambio del laboratorio y a la disminución del límite de detección de este parámetro.

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.

De manera particular se puede apreciar nuevamente el comportamiento oscilatorio del Puente San Luis, después de la reparación del desborde (2013), lo que reflejaría que efectivamente la estación está midiendo correctamente, incluso alcanzando a registrar las aportaciones del primer semestre del 2015. Adicionalmente se puede apreciar un ligero descenso en los caudales de esta estación de aforo durante el 2016, esto podría ser por la disminución de precipitaciones durante este año.

6.1.8 Evolución de la superficie de los sistemas lacustres

Se puede apreciar un aumento de la superficie lacustre en las últimas mediciones realizadas por CONAF.

6.2 SISTEMA AGUAS DE QUELANA

6.2.1 Niveles de agua subterráneos

6.2.1.1 Pozos en zona aluvial

Los pozos L3-2, L5-1 y L5-2 se observa un claro descenso, dentro de lo esperado, producido por el bombeo de agua industrial desde el pozo Camar 2.

El pozo L4-3 tiene un comportamiento oscilatorio cíclico. En la Figura 5-344 se aprecia que los niveles en el pozo L4-3 aumentan desde el mes de noviembre 2013 hasta la fecha de elaboración de este informe, sin que se aprecie un cambio de tendencia al alza.

6.2.1.2 Pozos en zona marginal

En esta zona, los pozos L13-1, L3-3, L14-2, L14-1, L5-6 y L5-7 presentan un comportamiento oscilatorio característico debido a la evaporación. Es posible que en algunos de ellos se advierta el efecto del bombeo.

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 presentan un comportamiento oscilatorio característico debido a la evaporación, con incrementos importantes del nivel en los veranos de 2012 y 2015 producto de las precipitaciones.

Cabe destacar el comportamiento del pozo L5-8, que presenta una oscilación característica debida a la evaporación y una tendencia al alza de los niveles en los últimos años.

La zona lagunar difusa se mantiene estable en el tiempo.

Se señala el aumento de niveles subterráneos, en torno a los 10 cm, producto de las precipitaciones (pozos L4-13, L5-14).

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. No se observan descensos importantes salvo en los pozos cercanos a los pozos de bombeo.

6.2.1.3 Pozos en el sector del núcleo

En general, los niveles en los pozos de este sector tienden a la disminución gradual y responden claramente a los eventos intensos de precipitación (de 20 o más mm) con ascensos bruscos. Producto de las lluvias de febrero 2012, se observan ascensos superiores a los 20 cm, alcanzando incluso niveles de más de 50 cm (pozos D2, L3-4 y L5-4). Durante el segundo semestre de 2015 los niveles han aumentado como respuesta a las precipitaciones en los meses de febrero y marzo 2015. Al primer semestre del 2016, dada la ausencia de precipitaciones, los pozos mantienen su tendencia al descenso producto del bombeo de salmuera.

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 estable, sin mostrar influencia de la extracción de los pozos de agua industrial.

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

Los caudales de agua industrial que se extraen desde los pozos Camar 2 y Socaire 5B no han sobrepasado los derechos de aprovechamiento otorgados y autorizados ambientalmente, por 60 y 65 L/s respectivamente.

Se observa una tendencia a la estabilización del nivel dinámico del pozo Socaire 5B. Respecto del pozo Camar, se observa una recuperación de los niveles a consecuencia de la detención (temporal) de la explotación de este pozo.

6.2.4 Calidad química

Se observan valores relativamente estables en los parámetros analizados tanto en los pozos monitoreados como en los cuerpos superficiales (Reglilla L4-10).

Al observar los resultados del pozo Camar 2, se puede apreciar que algunos parámetros salen de la tendencia, esto podría deberse al aumento de las concentraciones de algunos parámetros producto de que este pozo no se encontraba operando.

El cambio del valor de la Alcalinidad Carbonatada (mg/l) se debe al cambio del laboratorio y a la disminución del límite de detección de este parámetro.

6.3 SISTEMA PEINE

6.3.1 Niveles de agua subterráneos

6.3.1.1 Pozos en zona marginal

La información recopilada 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 los niveles observados a través de 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 tan importante. Este comportamiento es similar a lo que se puede observar en la zona identificada como zona núcleo, con una tendencia general a la disminución por efecto del bombeo de salmuera en el núcleo.

El comportamiento de los pozos L10-1 y L10-2 es distinto al general, con una ligera tendencia al aumento.

Las precipitaciones de los veranos de 2012, 2013 y 2015 han generado, así como en otros sectores, aumentos bruscos de los niveles freáticos.

Es presumible que el comportamiento de los niveles en este sector refleje todas las extracciones de salmuera en núcleo y posiblemente las extracciones de agua dulce en el acuífero de la sub-cuenca aportante.

6.3.1.2 Pozos en el sector del núcleo

Los pozos de este sistema presentan un comportamiento típico de descenso, por vía de la extracción de salmuera, con respuesta rápida y brusca a los eventos de precipitación intensos.

6.3.2 Nivel de agua superficial en las lagunas

Los niveles registrados en las lagunas son sustancialmente estables.

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 los 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.

6.3.5 Evolución de la superficie de los sistemas lacustres

Las lagunas Salada, Saladita e Interna son alimentadas por un canal que es el resultado de afloramientos naturales de agua subterránea aguas arriba del sistema. La Laguna Interna presenta variaciones de área pronunciadas respecto de las otras lagunas, justamente porque se encuentra al final del sistema y se ve influenciada por las descargas de laguna Saladita. En particular, en el año 2013 se aprecia un aumento de hasta un 70% del área respecto del promedio observado en los años previos y en 2014 a 2015 un aumento del 180 %.

Estos aumentos de superficie lacustre de la Laguna interna en dirección noroeste, han provocado el corte del camino Peine a faena de Albemarle³⁶.

La laguna Interna es muy variable en su morfología de un año a otro, como ya mencionado, por encontrarse en la zona terminal o de descarga de las lagunas Salada y Saladita. A demostración de lo anterior, la medición de área por estacas perimetrales y por imagen satelital presentan diferencias relevantes, porque el primero de los dos sistemas de medición no es capaz de tener en cuenta el cambio de área inundada. Por ende, en este caso, definitivamente la medición por imagen satelital es la más adecuada y confiable.

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.

6.4.1.2 Pozos en zona marginal

En esta zona existen pozos que presentan una clara estacionalidad controlada por la evaporación y pozos con una dinámica influenciada por el bombeo de agua del acuífero aluvial (pozos Mullay y Camar 2).

También existen pozos con un comportamiento mixto, donde se mezclan los dos anteriormente descritos.

Los eventos de precipitación de los veranos de 2012, 2013 y 2015 se manifiestan en forma de frenado recuperación de niveles.

³⁶ Rockwood Lithium cambió su marca a Albemarle.

6.4.2 Calidad química

Respecto de la calidad química del pozo P2, en términos generales se observan valores relativamente estables en los parámetros analizados. No se observan grandes cambios o algún punto fuera de tendencia.

El cambio del valor de la Alcalinidad Carbonatada (mg/l) se debe al cambio del laboratorio y a la disminución del límite de detección de este parámetro.

6.4.3 Nivel en pozo de bombeo de agua industrial y caudal bombeado

Se puede observar la estabilización de los niveles dinámicos del pozo P2 durante el año 2015 y un volumen de extracción equivalente inferior al caudal autorizado por 35 L/seg, lo anterior debido a un problema estructural del pozo, razón por la cual solo se han extraído 25 a 28 L/seg aproximadamente.

6.5 SISTEMA VEGAS DE TILOPOZO

En este sistema, el pozo L12-1 presenta un comportamiento tipo núcleo, con ascensos bruscos debidos a precipitaciones intensas.

Los pozos L12-2, L12-3 y L12-4 en cambio presentan un comportamiento de tipo oscilatorio dominado por los ciclos de mayor y menor evaporación.

Se observa en la reglilla de Tilopozo una tendencia al ascenso de los niveles.

6.6 SISTEMA NÚCLEO DEL SALAR DE ATACAMA

6.6.1 Niveles de agua subterráneos

En términos generales, en este sector se observa una tendencia al descenso debida al bombeo de salmuera. La cercanía a los centros de bombeo se refleja en descensos más pronunciados.

En una parte de los pozos de este sector se observa el efecto de las precipitaciones intensas y directas sobre el núcleo, con ascensos rápidos y bruscos de niveles.

6.6.2 Meteorología

Durante el 2016, no se registran precipitaciones significativas en la estación meteorológica.

6.6.3 Calidad Química

Respecto de la calidad química de los pozos, 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, ni cambios de tendencia.

6.7 SISTEMA CUÑA SALINA

En general, los niveles registrados en estos pozos son estables, con algún comportamiento estacional (Cuña 1, Cuña 2 y Cuña 7).

En el pozo L4-3 los niveles han aumentado de forma sostenida, con un comportamiento que se diferencia claramente de los otros pozos.

7 CONCLUSIONES

El Plan de Seguimiento Ambiental Hidrogeológico abarca una gran extensión espacial, con 225 puntos de monitoreo en los que se registran 35 parámetros, con diferente frecuencia de medición en función del punto y del parámetro monitoreado (desde medición continua a frecuencia trimestral).

El PSAH permite caracterizar el comportamiento hidrológico general del Salar de Atacama y otorga información clave para proteger los sistemas lacustres y vegetativos. Permite además generar un reporte completo y oportuno a la autoridad ambiental.

Los efectos del bombeo de salmuera se observan en el sector Núcleo, con valores de descenso que decrecen a medida que aumenta la distancia desde los centros de bombeo.

Los efectos del bombeo de agua industrial se observan básicamente en el acuífero aluvial del borde este.

No se ha registrado en ningún momento, tanto en el período objeto de este informe, como en el resto de la ejecución del Proyecto “Cambios y Mejoras en la Operación Minera del Salar de Atacama”, la activación de la Fase II en ningún pozo de la red del Plan de Contingencia.

Por su parte, a la fecha de presentación del presente informe, se encuentran activado en Fase I el pozo L7-6, por lo que se mantiene una frecuencia de monitoreo quincenal para el sistema Borde Este.

Como indica el Considerando 11,1 de la RCA N° 226/2006, la Fase I corresponde a una alerta temprana que gatilla una mayor frecuencia de monitoreo a fin de anticipar un potencial efecto sobre el sistema a proteger, sin que existan efectos potencialmente detrimentales.

A partir del análisis de los registros del PSAH, es evidente la influencia de las precipitaciones directas sobre el Salar, con un ascenso brusco y rápido de los niveles en respuesta a los eventos más intensos de lluvia.

El registro histórico de la calidad química del agua no presenta alteraciones ni tendencia a cambio, razón por la cual se asume que las extracciones tanto de salmuera como de agua dulce no han afectado esta variable.

El nivel y la superficie de los sistemas lagunares objeto de protección registran un comportamiento estable y sin tendencia, dentro de las variaciones históricas.

Lo anterior demuestra que los efectos del bombeo de salmuera y agua se mantienen dentro de las previsiones, sin afecciones a los sistemas bajo protección.

8 REFERENCIAS

Chuvienco, 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.

Cota piezométrica: Altura del agua/salmuera respecto al nivel medio del mar.

Cota de punto de referencia: Altura del punto de referencia respecto al nivel medio del mar, desde donde se mide el nivel del agua y/o salmuera.

Cota punto : Definición equivalente a Cota de punto de referencia indicada en los Informes N°1 y N°2 de Integrant, 2007.

DGA: Dirección General de Aguas.

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).

ANEXOS



ANEXO 1: REPORTE ARCADIS DE VISITA A TERRENO DICIEMBRE 2016

ANEXO 2: MEDICIONES AUDITORES EXTERNOS Y AUTORIDADES

ANEXO 3: LISTADO DE PERSONAL INVOLUCRADO EN CADA ACTIVIDAD RELACIONADO A ESTE INFORME

ANEXO 4: NIVELES DE LOS POZOS DEL PLAN DE SEGUIMIENTO AMBIENTAL HIDROGEOLÓGICO (M.S.N.M. DATUM UTM WGS84 HUSO 19S)

ANEXO 5: METODOLOGÍAS DE MUESTREO, MEDICIÓN, ANÁLISIS Y/O CONTROL DE CADA PARÁMETRO.

ANEXO 6: CERTIFICADOS DE CALIBRACIÓN

ANEXO 7: REGISTRO DE PUNTOS NO MONITOREADOS

ANEXO 8: LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO DE LOS PUNTOS DEL PSAH EN COORDENADAS UTM WGS84 HUSO 19S

ANEXO 9: CARTAS DE AVISO A LA SUPERINTENDENCIA DE MEDIO AMBIENTE

ANEXO 10: NIVELES DE LOS POZOS DEL PLAN DE CONTINGENCIA – SECTOR SONCOR

ANEXO 11 : DESCENSOS DE LOS POZOS DEL PLAN DE CONTINGENCIA

ANEXO 12: NIVELES POZOS PC SONCOR (PSAD-56)

ANEXO 13: REGISTROS METEOROLÓGICOS

ANEXO 14: REGISTRO DE CAUDALES BOMBEADOS POR MES EN LOS POZOS DE AGUA INDUSTRIAL (L/SEG)

ANEXO 15: INFORMES DE CALIDAD QUÍMICA

ANEXO 16: CERTIFICACIÓN ETFA LABORATORIO SGS

ANEXO 17: CARTAS DE AVISO A LA SUPERINTENDENCIA DE MEDIO AMBIENTE ASOCIADA AL POZO L12-1