



COMISIÓN TÉCNICA INTERINSTITUCIONAL PARA LA GESTIÓN DEL AGUA SUBTERRÁNEA

VALORACIÓN DEL MONITOREO DE NIVELES DE AGUA SUBTERRÁNEA EN EL ACUÍFERO SARDINAL PERIODO MARZO 2017 A MARZO 2021

Elaborado por:

M.Sc. Héctor Zúñiga Mora
UEN Gestión Ambiental - AyA

Revisado y aprobado por:

M.Sc. Viviana Ramos Sánchez
Dirección UEN Gestión Ambiental - AyA

Fecha de entrega: Agosto, 2021

Índice de contenidos

1. ANTECEDENTES.....	5
2. INTRODUCCIÓN.....	9
2.1. OBJETIVOS DEL INFORME	9
2.1.1. <i>Objetivo General</i>	9
2.1.2. <i>Objetivos específicos</i>	9
2.1. UBICACIÓN CARTOGRÁFICA Y CONTEXTUAL.....	9
3. EVALUACIÓN DEL POTENCIAL DE RECARGA A LOS ACUÍFEROS	11
3.1. HIDROGRAMAS DE POZOS PARA EL PERIODO MARZO 2017 A MARZO 2021	14
4. RENDIMIENTO SOSTENIBLE Y CAUDAL DISPONIBLE.....	19
5. ANÁLISIS DE NIVELES DE AGUA SUBTERRÁNEA.	20
6. CALIDAD DEL AGUA DEL ACUÍFERO SARDINAL	39
6.1. CLASIFICACIÓN FÍSICOQUÍMICA DEL AGUA SUBTERRÁNEA.....	40
6.2. COMPORTAMIENTO HISTÓRICO DE LAS VARIACIONES DE LA CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA Y LA CALIDAD FÍSICOQUÍMICA DEL AGUA SUBTERRÁNEA.	40
7. CONCLUSIONES	44
8. REFERENCIAS	45

Índice de figuras

Figura 1: Mapa de ubicación de los pozos de la red de monitoreo manual del Acuífero Sardinal.	7
Figura 2: Mapa de ubicación del Acuífero Sardinal.	10
Figura 3: Ubicación de la Estación Meteorológica N° 190101 Sardinal.	12
Figura 4: Gráfico precipitación total anual vs. tiempo. Estación Meteorológica N° 190101 Sardinal (AyA, 2021)	13
Figura 5: Gráfico de precipitación acumulada mensual vs. tiempo. Estación Meteorológica N° 190101 Sardinal (AyA, 2021)	14
Figura 6: Variación del nivel estático en el área de estudio.	15
Figura 7: Distribución de los pozos de la red de monitoreo manual de niveles de agua subterránea según su ubicación en la Cuenca del río Sardinal.	21
Figura 8: Panel de control y monitoreo de la operación del sistema de bombeo y almacenamiento del Acueducto Sardinal – El Coco.	22
Figura 9: Gráfico nivel estático y dinámico del pozo Sardinal 5 (17-11) CHA39PO13 vs. tiempo.	23
Figura 10: Gráfico nivel estático y dinámico del pozo Sardinal 6 (17-12) CHA39PO13 vs. tiempo.	24
Figura 11: Gráfico nivel estático del pozo Finca Doc. Rivas (32) vs. tiempo.	27
Figura 12: Gráfico nivel estático del pozo Vivero Shekina (31) vs. tiempo.	28
Figura 13: Gráfico nivel dinámico del pozo Comunal - AyA (Uso) CN85 (21) vs. tiempo.	29
Figura 14: Gráfico nivel estático del pozo Exporpack S.A. CN 317 (20) vs. tiempo.	30
Figura 15: Gráfico nivel dinámico del pozo Artola 5 (8) vs. tiempo.	33
Figura 16: Gráfico nivel estático del pozo Víctor Ampié (11) vs. tiempo.	34
Figura 17: Gráfico nivel estático del pozo Jerónimo Socorro (34) vs. tiempo.	35
Figura 18: Gráfico nivel estático del pozo Nuevo Colón (Centro Educativo) (23) vs. tiempo.	37
Figura 19: Gráfico nivel estático del pozo Lomas del Mar (23) vs. tiempo.	38
Figura 20: Diagramas Piper comparativos de las aguas subterráneas en el acuífero Sardinal, en marzo del 2017 y marzo 2021. Fuente: SENARA (2021)	41

Índice de cuadro

Cuadro 1: Pozos de la red de monitoreo manual de niveles del Acuífero Sardinal.	6
Cuadro 2: Resultados obtenidos por SENARA (2011) para el cálculo de la recarga al Acuífero Sardinal.	11
Cuadro 3: Rango de variación de los niveles estáticos en los pozos de la red de monitoreo.	16
Cuadro 4: Agrupación de pozos según su rango de variación	17
Cuadro 5: Cálculo del volumen de agua que percola al acuífero	18
Cuadro 6: Caudal disponible en el acuífero Sardinal.	19
Cuadro 7: Pozos AyA Sardinal 5 y AyA Sardinal 6.	20
Cuadro 8: Pozos ubicados en la parte baja de la cuenca del río Sardinal.	26
Cuadro 9: Pozos ubicados en la parte media de la cuenca del río Sardinal.	31
Cuadro 10: Pozos ubicados en la parte alta de la cuenca del río Sardinal.	36
Cuadro 11: Red de pozos Acuífero Sardinal – Comportamiento histórico de la Conductividad Eléctrica.	42
Cuadro 12: Red de pozos Acuífero Sardinal – Comportamiento histórico de la calidad fisicoquímica y microbiológica.	43

Índice de anexos

Anexo 1: Niveles estáticos registrados en el Acuífero Sardinal. Años 2017 a 2021	46
Anexo 2: Hidrogramas de los pozos considerados en el cálculo de la recarga.	57
Anexo 3: Hidrogramas de los pozos con un conjunto de datos reducido.	67

1. ANTECEDENTES

La Comisión Técnica Interinstitucional para la Gestión de Acuíferos (CTI), conformado por la Dirección de Agua del MINAE, el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA), a través de la UEN Gestión Ambiental y el Servicio Nacional de Aguas Subterráneas, Riego y Avenamiento (SENARA), mantiene desde el año 2009 una red de monitoreo conformada por 37 pozos (perforados y artesanales), distribuidos en el Acuífero Sardinal (Cuadro 1 y Figura 1), a los que se les mide mensualmente de manera manual la profundidad del nivel de agua subterránea. De estos pozos, 5 no cuentan con registro continuo; 32 pozos cuentan con lecturas actualizadas al de elaboración del presente informe.

El CTI, en su Sesión del 18 de febrero del 2009, entre otros puntos, acuerda lo siguiente para el aprovechamiento del Acuífero Sardinal:

- ✓ *“La explotación se realizará por etapas conforme el incremento de la demanda, iniciando con una explotación de 70 litros por segundo ...”.*
- ✓ *“Conforme el resultado del Plan de monitoreo de explotación y comportamiento del acuífero y extracción controlada se establecerá en dos años una línea base del comportamiento del acuífero con el fin de definir su explotación futura”.*
- ✓ *“Durante este plazo no se otorgarán nuevos permisos de perforación en la cuenca alta Río Sardinal ...”.*
- ✓ *“Conforme los resultados del proceso de monitoreo de explotación y comportamiento del acuífero y extracción controlada de todos los pozos en la cuenca alta del río Sardinal, que se realizará por las instituciones del Estado (A y A – SENARA – MINAET) y con la participación activa de las comunidades y actores sociales interesados, el MINAET dispondrá sobre la explotación de los restantes 105 litros por segundo”.*

En su Sesión Ordinaria del 13 de octubre del 2011, el CTI, a partir de los resultados obtenidos con el estudio titulado *“Determinación de la recarga y rendimiento sostenible del Acuífero de Sardinal, Carrillo, Guanacaste”*, acuerda:

“El rendimiento sostenible del acuífero es un 40 % de la recarga determinada por el método de hidrograma de pozos. Se tiene que el caudal aprovechable es de 440 litros por segundos. Con lo anterior se concluye que se mantiene una reserva de un 60 % en el acuífero, que corresponde un caudal de 660 l/s”.

“Este análisis ratifica que no se está generando sobreexplotación de las aguas subterráneas en la cuenca alta del río Sardinal”.

Cuadro 1: Pozos de la red de monitoreo manual de niveles del Acuífero Sardinal.

Número	Nombre del pozo	Tipo	Latitud	Longitud
1	Desconocido (Nancital)	Excavado	275440	354699
2	Nacascolo*	Perforado	279548	353969
3	Ranchitos	Perforado	279869	354037
4	Artola 1*	Perforado	277351	353045
5	Artola 2	Perforado	277547	352742
6	Artola 3	Perforado	277257	352386
7	Artola 4	Perforado	277016	351817
8	Artola 5	Perforado	276929	351601
9	Artolita*	Perforado	276714	353534
10	ASADA Playones*	Perforado	274948	353201
11	Víctor Ampié	Excavado	276697	353481
12	Madolina Contreras	Excavado	274972	353198
13	Colegio de Sardinal CN9	Perforado	277073	356397
14	Chilolos*	Perforado	276561	355985
15	EXPORPACK S.A CN233	Perforado	277558	357055
16	EXPORPACK S.A CN234	Perforado	277500	356826
17	EXPORPACK S.A CN370	Perforado	277562	356814
18	EXPORPACK S.A CN171	Perforado	276560	361065
19	EXPORPACK S.A CN134	Perforado	277215	358053
20	EXPORPACK S.A CN317	Perforado	277560	356190
21	Comunal-AyA (Uso) CN85	Perforado	277574	355660
22	Comunal-AyA CN87	Perforado	277330	355646
23	Nuevo Colon (Centro Educativo)	Excavado	276335	347991
24	Lomas del Mar S.A CN613	Perforado	277015	346310
25	Sistemas Productivos M.I. S.A. CN613-A	Perforado	276975	345882
26	Lomas del Mar S.A.	Excavado	276994	346316
27	EXPORPACK S.A. CN507	Perforado	276682	360030
28	Colegio de Sardinal 2 CN207	Perforado	277057	356387
29	Los Corralones	Excavado	276319	349577
30	Hacienda Balvina S.A.	Perforado	276859	350885
31	Vivero Shekina	Excavado	278687	355260
32	Finca Doc. Rivas	Excavado	279151	354805
33	Miguelina Ruiz Gorgona	Excavado	275636	354277
34	Jerónimo Socorro Gutiérrez	Excavado	275655	354656
35	ASADA San Blas	Perforado	274087	359104
36	San Blas-Pablo Gutiérrez	Excavado	273991	359093
37	Asada Nuevo Colon	Perforado	276316	347935

* Pozos sin registro continuo.

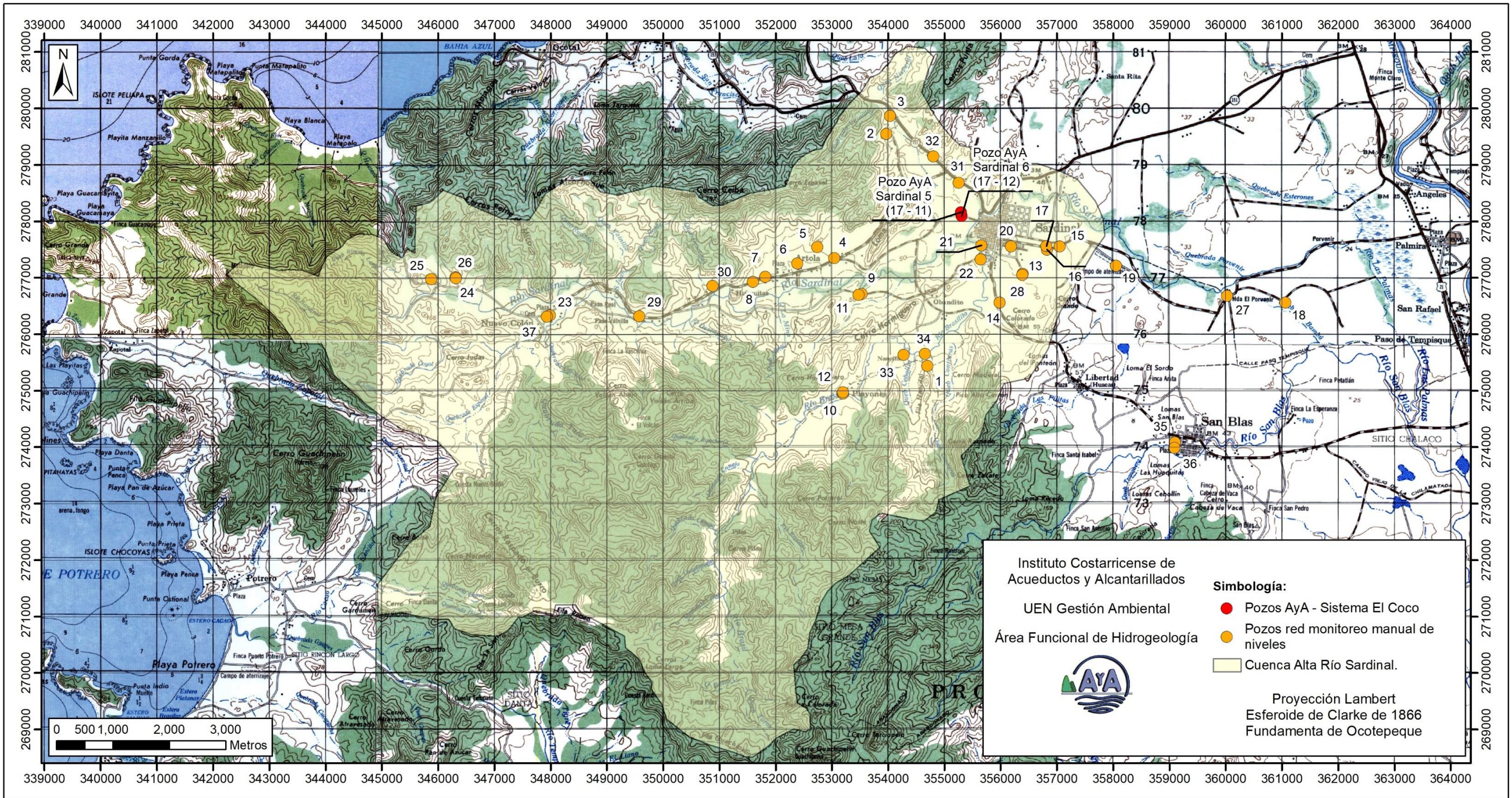


Figura 1: Mapa de ubicación de los pozos de la red de monitoreo manual del Acuífero Sardinial.

“Se ratifica lo acordado en la minuta del 26 de enero del 2009, que resulta viable la explotación de un caudal de 175 l/s del acuífero Sardinal ... por parte del Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados ... sin que se ponga en riesgo la seguridad del agua destinada al abastecimiento de las comunidades”.

En su informe *“Análisis del impacto de la sequía en el Acuífero Sardinal 2015”*, del mes de febrero del 2016, el CTI obtiene los siguientes resultados:

- ✓ Según el comportamiento del acuífero determinado a partir del monitoreo de niveles del agua subterránea, *“... se determina que el Acuífero Sardinal, aún con un período de precipitación por debajo del promedio, no muestra evidencia de afectación por sobreexplotación ...”.*

A partir de estos resultados, el CTI en su Sesión Ordinaria del 16 de marzo del 2016, acoge las recomendaciones de este estudio, el cual concluye:

“Se mantiene el criterio de que es viable el aprovechamiento de agua del Acuífero Sardinal por parte del Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados, para ser utilizada en el abastecimiento de acueducto denominado Ampliación Acueducto El Coco – Ocotol, sin que se ponga en riesgo la seguridad del agua destinada al abastecimiento de las comunidades a largo plazo; y retomando el acuerdo del CTI del 13 de octubre del 2011, la explotación debe iniciar con una extracción de 70 litros por segundo ...”.

De igual forma, la Sala Constitucional, en su Resolución N° 01163-2017 (Expediente N° 16-016305-0007-CO) del 27 de enero del 2017, adopta las conclusiones y recomendaciones del informe titulado *“Análisis del impacto de la sequía en el Acuífero Sardinal 2015”*, ordenando a las instituciones que conforma el CTI, a cumplir cada una de las 7 recomendaciones planteadas en este informe.

De esta forma, luego de dos años de la entrada en operación de los Pozos AyA Sardinal 5 (17 - 11) y AyA Sardinal 6 (17 - 12) en el mes de marzo de 2019, cuya extracción total es de 70 L/s, en el presente informe se valorará la factibilidad hidrogeológica de aumentar el caudal de aprovechamiento actual del AyA, a partir del análisis de los datos generados con el monitoreo de los niveles de agua subterránea del Acuífero Sardinal.

2. INTRODUCCIÓN.

En respuesta a la Solicitud de la Junta Directiva del AyA y de la Subgerencia Gestión de Sistemas Periférico, para atender el ítem 3 del Acuerdo de la Sesión Ordinaria del CTI del 18 de febrero del 2009 y la Resolución N° 01163-2017 de la Sala Constitucional (Expediente N° 16-016305-0007-CO), del 27 de enero del 2017, en el presente informe se procede a realizar la valoración del comportamiento del Acuífero Sardinal, luego de dos años de operación de los Pozos CN – 753 AyA Sardinal 5 (17 - 11) y CN – 754 AyA Sardinal 6 (17 - 12) (Figura 1).

Como se indicó en el capítulo anterior, el CTI en su Sesión Ordinaria del 13 de octubre del 2011, ratificó que “... resulta viable la explotación de un caudal de 175 l/s del acuífero Sardinal ...”. De este caudal, actualmente los Pozos CN – 753 Sardinal 5 y CN – 754 Sardinal 6 extraen un total 70 L/s, por lo que el objetivo de esta valoración es el de determinar la factibilidad técnica de extraer los restantes 105 L/s.

2.1. Objetivos del informe

2.1.1. Objetivo General

Valorar el Acuífero Sardinal a partir del monitoreo de niveles del agua subterránea, para el periodo comprendido del mes de marzo del 2017 al mes de marzo del 2021.

2.1.2. Objetivos específicos

- ✓ Describir el comportamiento del Acuífero Sardinal, a partir del análisis de los datos del monitoreo de niveles de agua subterránea para el periodo marzo 2017 a marzo 2021.
- ✓ Analizar la evolución de la calidad del Acuífero Sardinal para el periodo marzo 2017 a marzo 2021.

2.1. Ubicación Cartográfica y Contextual

El Acuífero Sardinal, con un área de 94.434.503 m², se ubica en el distrito Sardinal, cantón de Carrillo de la provincia de Guanacaste (Figura 2), entre las coordenadas 268,509 – 281,100 Norte y 342,241 – 357,851 Este en la proyección Lambert Costa Rica Norte.

Sobre este acuífero se ubican las comunidades de Nuevo Colón, Artola, Artolita, Obandito y el centro urbano de Sardinal (Figura 2).

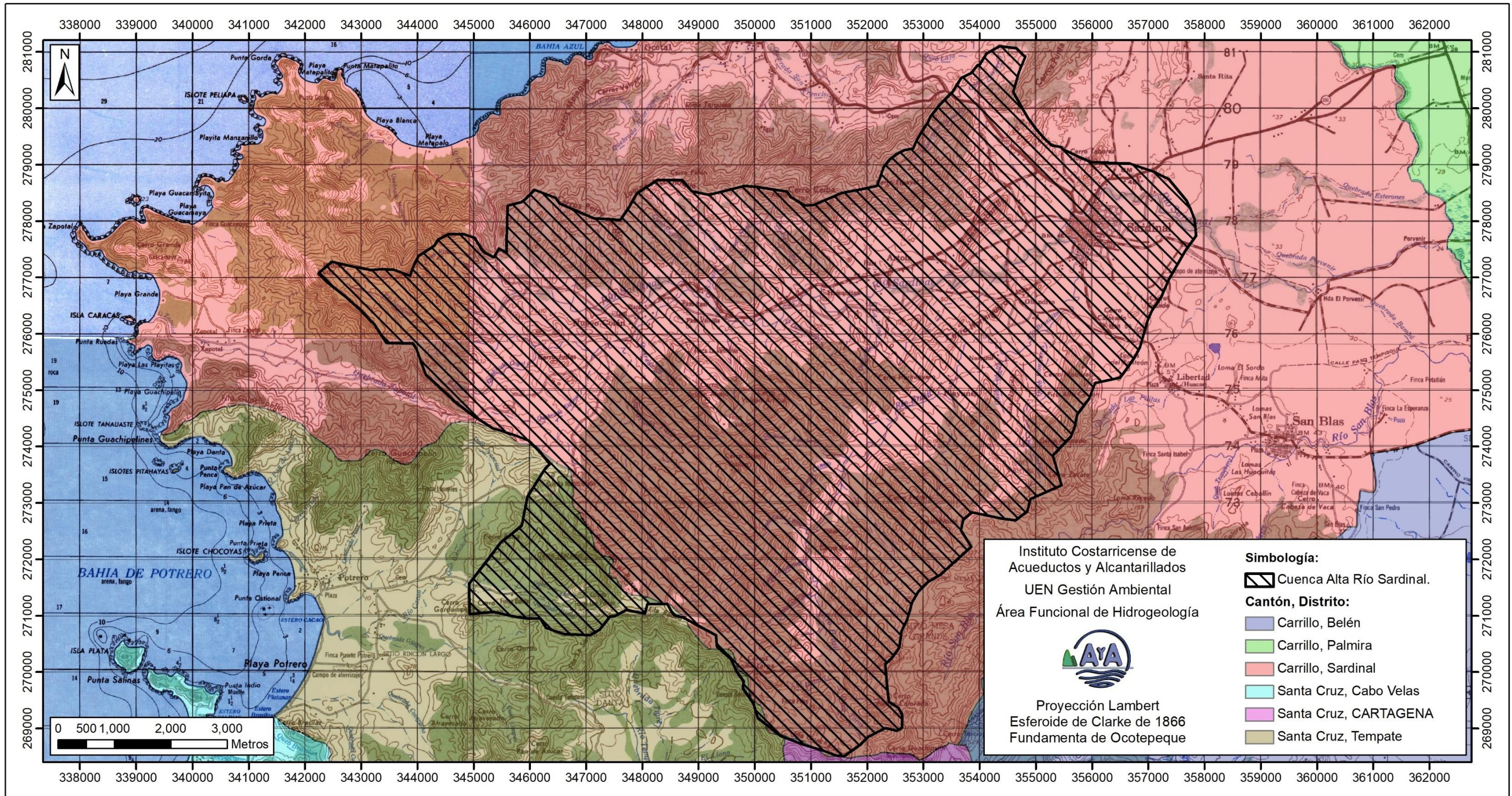


Figura 2: Mapa de ubicación del Acuífero Sardinal.

3. Evaluación del potencial de recarga a los acuíferos

SENARA (2011), en su informe titulado “*Determinación de la recarga y rendimiento sostenible del Acuífero de Sardinal, Carrillo, Guanacaste*”, determina la recarga al Acuífero Sardinal a partir de diversas metodologías: Balance Hídrico de Suelos, Fluviometría y Recarga con Hidrogramas de Pozos. En el Cuadro 2, se resumen los resultados obtenidos en el citado informe.

Cuadro 2: Resultados obtenidos por SENARA (2011) para el cálculo de la recarga al Acuífero Sardinal.

Método	Rp (mm)	Rp (L/s)	Porcentaje de la precipitación (%)
Balance Hídrico de Suelos	394.4	1120.0	23
Fluviometría	437.0	1182.0	18
Recarga con Hidrogramas de Pozos	388.0	1100.0	26

Fuente: SENARA (2011)

La recarga obtenida a partir del método del Balance Hídrico de Suelos y del método Fluviométrico, dependen en forma directa de la precipitación registrada en el área de estudio. En el Acuífero Sardinal, este parámetro es registrado por la Estación Meteorológica N° 190101 Sardinal (Figura 3), la cual es operada por el AyA, y cuenta con un registro continuo de datos desde el mes de abril del año 2012. Esta estación se ubica en las coordenadas 277,338 Norte y 356,471 Este (proyección Lambert Costa Rica Norte).

Según estos datos, la precipitación promedio anual para el periodo comprendido entre el mes de marzo del 2017 y el mes de febrero del 2021, es de 1679 mm (Figura 4). En el gráfico de la Figura 5, se observa la evolución de los datos de precipitación para el mismo periodo de tiempo.

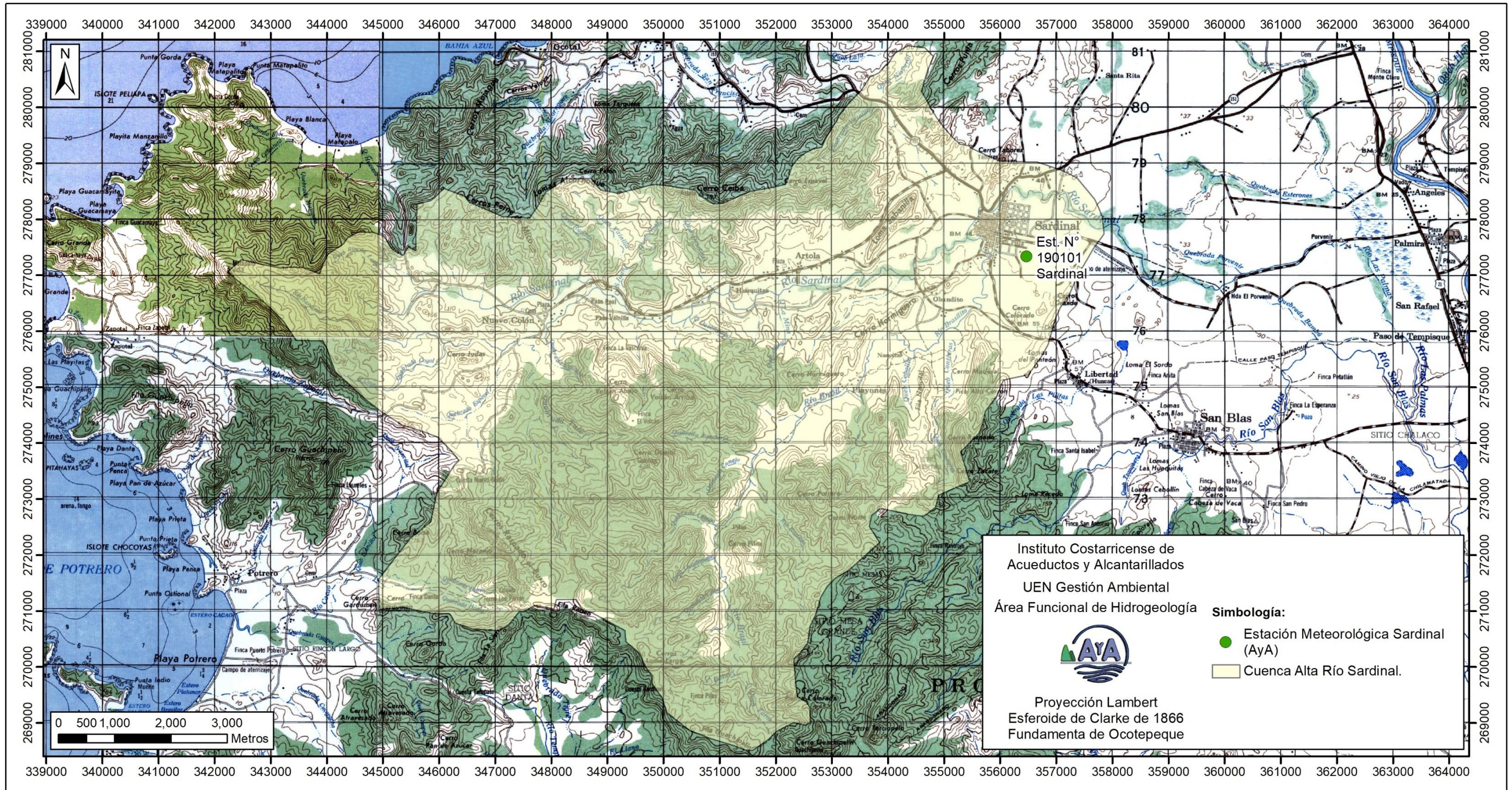


Figura 3: Ubicación de la Estación Meteorológica N° 190101 Sardinial.

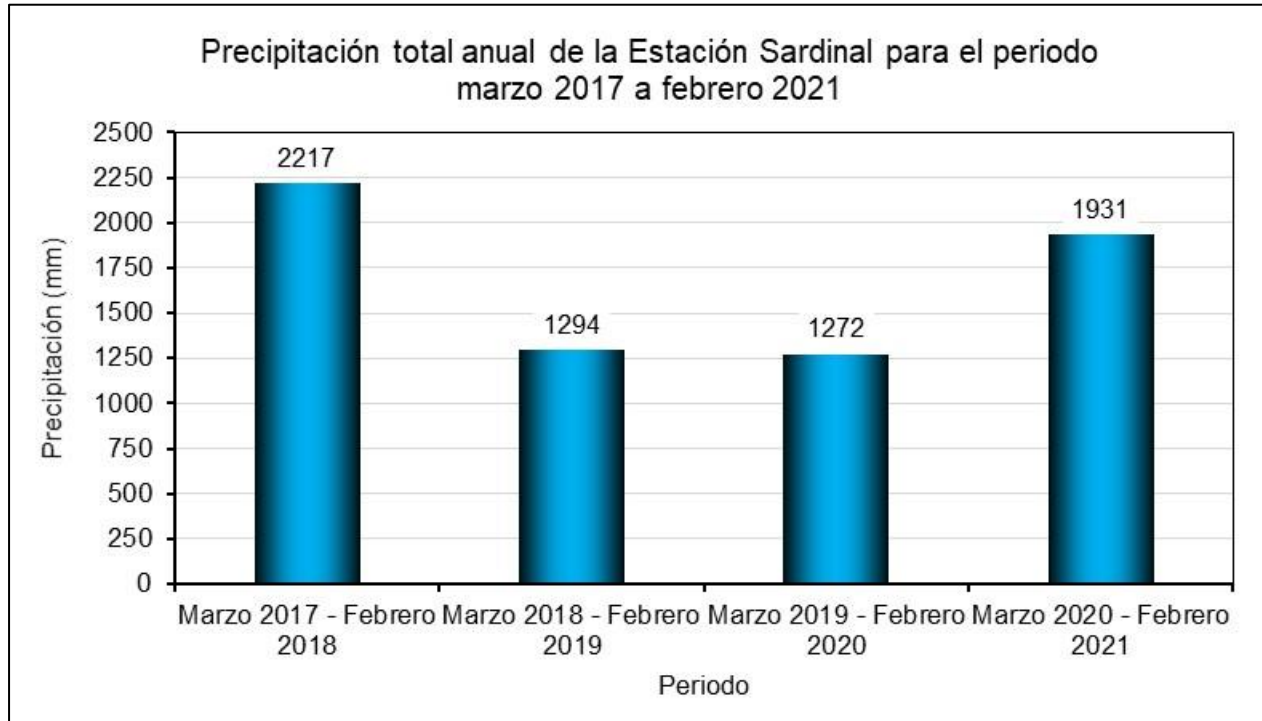


Figura 4: Gráfico precipitación total anual vs. tiempo. Estación Meteorológica N° 190101 Sardinal (AyA, 2021)

En lo que corresponde a la recarga obtenida a partir del método de Hidrogramas de Pozos, SENARA (2011) basó su análisis en los datos de niveles de agua subterránea obtenidos de la red de monitoreo manual de niveles descrita en el Capítulo 1 (Cuadro 1 y Figura 1). El conjunto de datos analizado por SENARA (2011), corresponde al periodo de tiempo comprendido entre el mes de marzo del 2009 al mes de mayo del 2011.

A partir de este contexto, en el presente informe se realiza la valoración del comportamiento del Acuífero Sardinal, a partir de los datos obtenidos con el monitoreo de niveles de agua subterránea, para el periodo comprendido entre el mes de marzo del 2017 al mes de marzo del 2021. La recarga del acuífero será determinada a partir de los datos de niveles estáticos registrados en este mismo periodo de tiempo. Este cálculo se detalla en el apartado 3.1.

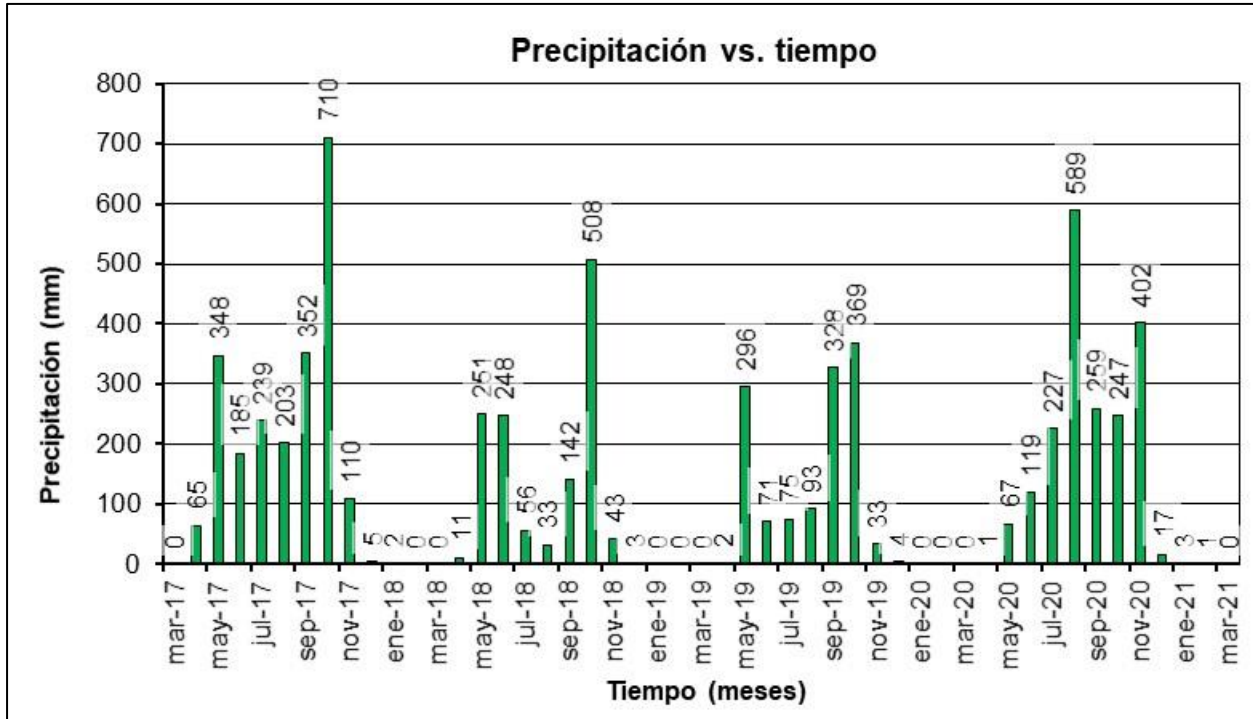


Figura 5: Gráfico de precipitación acumulada mensual vs. tiempo. Estación Meteorológica N° 190101 Sardinal (AyA, 2021)

3.1. Hidrogramas de pozos para el periodo marzo 2017 a marzo 2021

A partir del análisis de los datos de los niveles de agua subterránea, obtenidos de los 32 pozos que conforman la red de monitoreo manual de niveles, SENARA (2011) determina que el Acuífero Sardinal experimenta una recarga que representa entre un 18 % y 26 % de la precipitación; en promedio, corresponde a un 22 %.

A partir del estudio de SENARA (2011), donde se utilizó el Método de la Recarga con Base en Hidrogramas de Pozos, el cual consiste en la utilización del intervalo de la variación entre el nivel mínimo y el máximo obtenido de los hidrogramas, definiéndose así la altura de agua infiltrada, y por consiguiente, la recarga como espesor de material saturado.

Esta recarga, se multiplica por el rendimiento específico de cada material por el cual percola el agua, para obtener la recarga como lámina de agua. El rendimiento específico utilizado para el área aluvial, fue del 15 %; para el área del Complejo, es de 2,5 %. La lámina de agua al ser extendida al área a la que corresponde cada material, da como resultado el volumen de agua subterránea de recarga. (SENARA, 2011)

De esta forma, para el periodo comprendido entre el mes de marzo del 2017 y el mes de marzo del 2021, se han calculado las variaciones entre el nivel mínimo y el máximo, obtenido de los hidrogramas (construidos con los datos del Anexo 1) correspondientes a los pozos que registran niveles estáticos (Cuadro 3 y Anexo 2).

No se incluyen en este análisis, los pozos con un conjunto de datos reducido (Anexo 3), ni los pozos ubicados fuera del acuífero. De esta forma, los hidrogramas para el área de estudio se realizarán a partir de la información de pozos representativos del comportamiento del acuífero analizado.

Así también, no se incluyen los pozos con bombeo no continuo o con bombeo permanente, con el fin de evitar errores en los cálculos, inducidos por lecturas tomadas durante la recuperación del nivel de agua en el pozo, luego de cada periodo de bombeo.

Como se observa en el gráfico de la Figura 6, los pozos del Cuadro 3 pueden ser agrupados en dos 2 grupos a partir de sus variaciones del nivel estático. En el Cuadro 4, se detallan los pozos de cada uno de estos grupos.

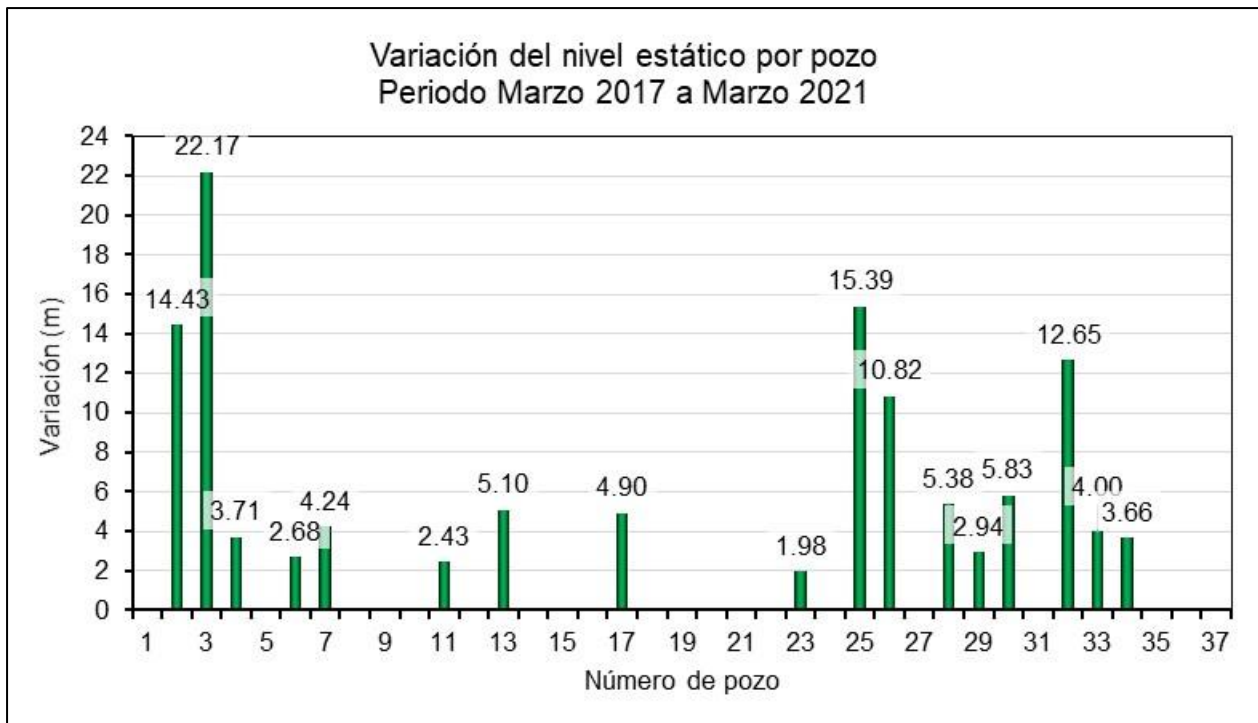


Figura 6: Variación del nivel estático en el área de estudio.

Cuadro 3: Rango de variación de los niveles estáticos en los pozos de la red de monitoreo.

Pozo	Número	Variación (m)	Pozo	Número	Variación (m)
Desconocido (Nancital)	1	*	EXPORPACK S.A. CN 317	20	**
Nacascolo	2	14.43	Comunal-AyA (Uso) CN85	21	**
Ranchitos	3	22.17	Comunal-AyA CN87	22	**
Artola 1	4	3.71	Nuevo Colon (Centro Educativo)	23	1.98
Artola 2	5	**	Lomas Del Mar S.A. CN613	24	**
Artola 3	6	2.68	Sistemas Productivos M.I.S.A: CN613-A	25	15.39
Artola 4	7	4.24	Lomas Del Mar, S.A.	26	10.82
Artola 5	8	**	EXPORPACK S.A. CN 507	27	*
Artolita	9	*	Colegio De Sardinal 2 CN207	28	5.38
Asada Playones	10	**	Los Corralones	29	2.94
Víctor Ampié	11	2.43	Hacienda Balbina S.A.	30	5.83
Madolina Contreras	12	*	Vivero Shekina	31	**
Colegio de Sardinal CN9	13	5.10	Finca Doc., Rivas	32	12.65
Chilolos	14	S.D.	Miguelina Ruiz Gorgona	33	4.00
EXPORPACK S.A. CN233	15	**	Jerónimo Socorro Gutiérrez	34	3.66
EXPORPACK S.A. CN234	16	**	Asada San Blas	35	***
EXPORPACK S.A. CN 370	17	4.90	San Blas - Pablo Gutiérrez	36	***
EXPORPACK S.A. CN 171	18	**	Asada Nuevo Colon	37	**
EXPORPACK S.A. CN 134	19	3.00			

S.D.: Sin datos para el periodo del mes de marzo del 2017 al mes de marzo del 2021.

* Pozos con un conjunto de datos reducido.

** Pozos con bombeo no continuo o con bombeo permanente.

*** Pozos ubicados fuera del Acuífero Sardinal.

En concordancia con lo expuesto por SENARA (2011), el Grupo 1 corresponde con pozos que se ubican hacia el centro del acuífero aluvial, donde son más favorables las condiciones de permeabilidad, espesor y transmisibilidad. Las variaciones de nivel en este grupo, se ubican entre 1.98 m a 5.83 m. Su rendimiento específico es del 15 %. (Rango B, según SENARA, 2011)

Por el contrario, los pozos del Grupo 2, se ubican hacia la zona de transición entre los depósitos coluvio – aluviales y el Complejo de Nicoya, o incluso en rocas de esta última unidad geológica. Las variaciones de nivel en este grupo, se ubican entre 10.82 m a 22.17 m. Su rendimiento específico es del 2.5 %. (Rango A, según SENARA, 2011)

Cuadro 4: Agrupación de pozos según su rango de variación

Grupo 1			Grupo 2		
Nombre	Número	Variación (m)	Nombre	Número	Variación (m)
Artola 1	4	3.71	Nacascolo	2	14.43
Artola 3	6	2.68			
Artola 4	7	4.24			
Víctor Ampié	11	2.43	Ranchitos	3	22.17
Colegio de Sardinal CN9	13	5.1			
EXPORPACK S.A. CN370	17	4.9	Sistemas Productivos M.I.S.A. CN613-A	25	15.39
Nuevo Colon (Centro Educativo)	23	1.98			
Colegio de Sardinal 2 CN207	28	5.38			
Los Corralones	29	2.94	Lomas del Mar S.A.	26	10.82
Hacienda Balbina S.A.	30	5.83			
Miguelina Ruiz Gorgona	33	4.00	Finca Doc. Rivas	32	12.65
Jerónimo Socorro Gutiérrez	34	3.66			
Promedio (m):		3.90	Promedio (m):		15.09
Lámina de agua (mm)*		585	Lámina de agua (mm)*		377

* Lámina de agua = Promedio (m) x Rendimiento Específico x 1000 (mm)

Siguiendo lo expuesto por SENARA (2011), el volumen de agua que percola hacia el acuífero, se determina aplicando la siguiente ecuación:

$$v = \text{área}(m^2) * \text{variación}(m) * \text{rendimiento específico}$$

Sustituyendo los parámetros de esta ecuación por sus respectivos valores, se obtienen los siguientes volúmenes de recarga anual, para el periodo del mes de marzo 2017 al mes de marzo 2021: (Cuadro 5).

Cuadro 5: Cálculo del volumen de agua que percola al acuífero

Litología	Área (m ²)*	Variación promedio (m)	Rendimiento específico*	Volumen de agua (m ³ /año)	Volumen de agua (L/s)
Depósito aluvial	24.150.000	3.90	0.15	14.127.750	448
Complejo de Nicoya	65.450.000	15.09	0.025	24.691.013	783
Volumen total de recarga:				47294975	1231

* Datos tomados de SENARA (2011).

La recarga indicada en el Cuadro 5, fue determinada mediante la aplicación del Método de Recarga por Hidrogramas. Este método, se basa en el análisis de las variaciones del nivel de agua subterránea, las cuales, son una respuesta del acuífero ante la extracción de agua por pozos, razón por la cual, el efecto de esta extracción sobre la recarga ya está incluido en el análisis de los hidrogramas.

Según lo indicado por SENARA (2011), la lámina de recarga media “LRM” del área de estudio se calcula a partir de la siguiente ecuación:

$$LRM = LRA * PA + LRCN * PCN$$

Donde:

LRA: lámina de recarga correspondiente al aluvión: 585 mm.

PA: porcentaje del área que corresponde al aluvión: 26.9 %

LRCN: lámina de recarga correspondiente al Complejo de Nicoya: 377 mm.

PCN: porcentaje del área que corresponde al Complejo de Nicoya: 73.1 %.

Sustituyendo estos valores en la ecuación anterior, se obtiene como resultado:

$$LRM = 585 \text{ mm} * 0.269 + 377 * 0.731 = 433 \text{ mm}$$

Como se indicó en párrafos anteriores, la precipitación promedio anual para el periodo de marzo 2017 a marzo 2021, es de 1679 mm, razón por la cual, la lámina de recarga media (433 mm) representa un 26 % de la precipitación. Este porcentaje coincide con el obtenido por SENARA (2011), con la aplicación de este mismo método.

4. Rendimiento sostenible y caudal disponible

Para determinar el caudal disponible en el Acuífero Sardinal, se aplica la siguiente ecuación:

$$Q_{Disponible} = Q_{Rec\ Total} - Q_{Reserva} - Q_{Aprovechado}$$

El caudal “ $Q_{Rec\ Total}$ ” fue definido en el numeral anterior, en 1231 L/s.

El caudal “ Q ” de reserva fue definido por SENARA (2011), como el 60 % del caudal “ $Q_{Rec\ Total}$ ”, correspondiendo a 739 L/s. Por tanto, el rendimiento sostenible o caudal aprovechable corresponde a 492L/s.

El “ $Q_{Aprovechado}$ ” no será considerado en este cálculo, ya que la respuesta del acuífero ante la extracción de agua por pozos, está incluida en las variaciones analizadas al aplicar el Método de Recarga por Hidrogramas. Estas variaciones son una respuesta del acuífero ante la demanda existente ($Q_{Aprovechado}$), razón por la cual, este parámetro no requiere ser incluido en el cálculo del caudal disponible.

Sustituyendo cada parámetro por sus respectivos valores en la ecuación para el cálculo del “ $Q_{Disponible}$ ”, se obtiene el resultado indicado en el Cuadro 6.

Cuadro 6: Caudal disponible en el acuífero Sardinal.

$Q_{Recarga}$ (L/s)	$Q_{Reserva\ 60\ \%}$ (L/s)	$Q_{Aprovechable\ 40\ \%}$ (L/s)	$Q_{Aprovechado}$ (L/s)	$Q_{Disponible}$ (L/s)
1231	739	492	N.A.	492



N.A.: No aplica en este cálculo, ya que está incluido en el análisis de los hidrogramas.

Según se indica en el Cuadro 6, a partir de las condiciones climáticas y el comportamiento del Acuífero Sardinal, para el periodo comprendido del mes de marzo del 2017 al mes de marzo del 2021, se ha determinado que este acuífero cuenta con un caudal disponible de 492 L/s.

5. ANÁLISIS DE NIVELES DE AGUA SUBTERRÁNEA.

En el Acuífero Sardinal, se ubican el Pozo CN – 753 AyA Sardinal 5 y el Pozo CN – 754 AyA Sardinal 6 (Cuadro 7), a 370 m hacia el oeste de la comunidad de Sardinal (Figura 7). Estos pozos iniciaron su operación el 16 de marzo del 2019, con una extracción de 35 L/s en cada pozo.

Cuadro 7: Pozos AyA Sardinal 5 y AyA Sardinal 6.

Pozo	Coordenadas		Tipo	Q (L/s)*	Fotografía
	Norte	Este			
CN - 753 AyA Sardinal 5 (17 - 11)	278161	355298	Abastecimiento público	35	
CN - 754 AyA Sardinal 6 (17 - 12)	278096	355309	Abastecimiento público	35	

* Caudal indicado en el Anexo 8 de la ARESEP (oficio PRE-2021-00384).

Como se observa en la Figura 8, los Pozos CN – 753 AyA Sardinal 5 y CN – 754 AyA Sardinal 6, cuentan con un sistema de monitoreo automático, que permite controlar en tiempo real el nivel del agua subterránea y su caudal de producción.

El conjunto de datos correspondiente al Pozo CN – 753 AyA Sardinal 5 (Figura 9), indica que el nivel dinámico se ubica de 7.0 m a 10.07 m. Previo al inicio de operación de este pozo, su nivel estático se ubicó entre 5.85 m y 6.2 m.

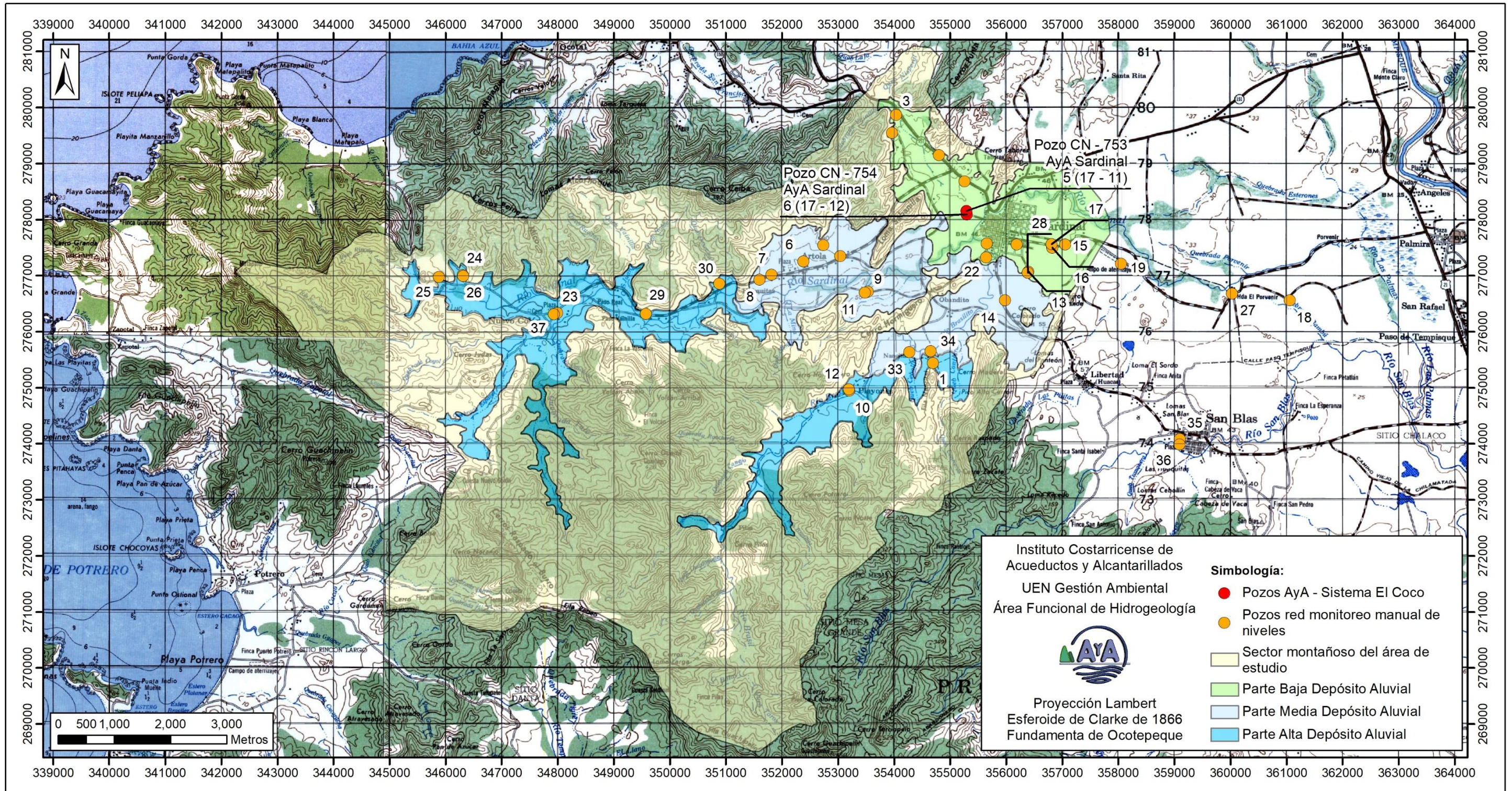


Figura 7: Distribución de los pozos de la red de monitoreo manual de niveles de agua subterránea según su ubicación en la Cuenca del río Sardinal.

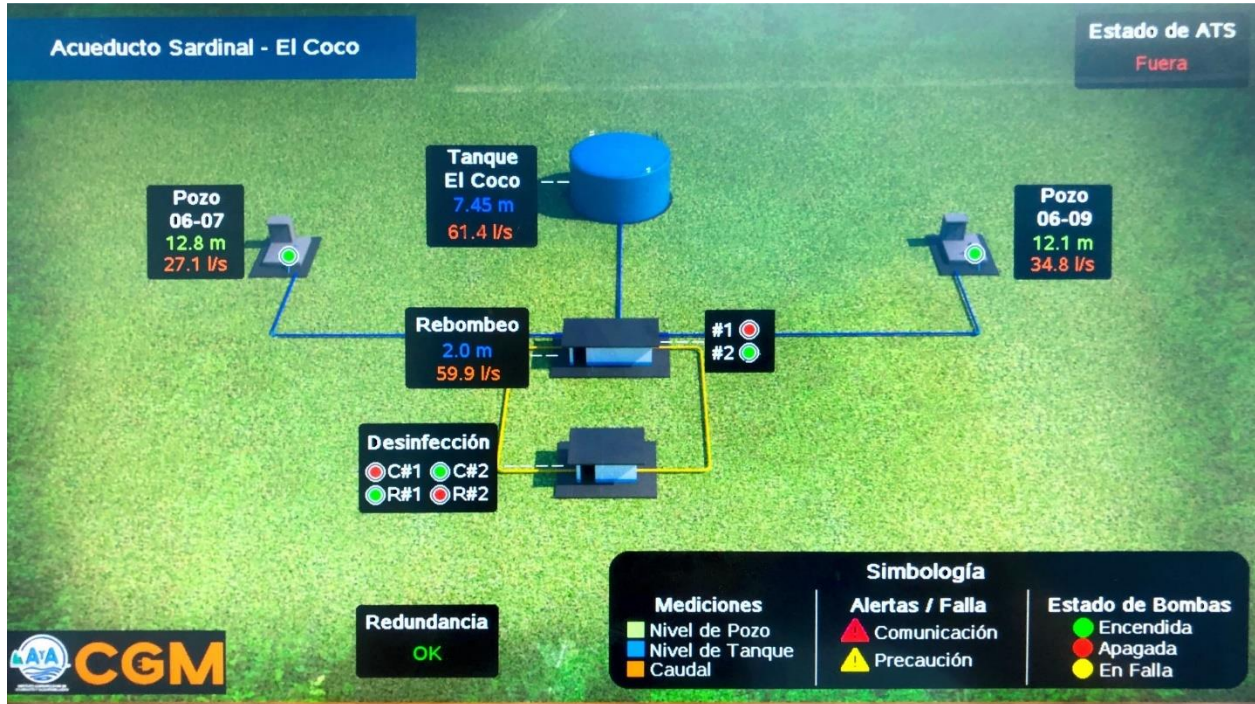


Figura 8: Panel de control y monitoreo de la operación del sistema de bombeo y almacenamiento del Acueducto Sardinal – El Coco.

Los niveles dinámicos más someros corresponden al mes de noviembre del 2019 (7.64 m) y del mes de noviembre del 2020 (7.00 m). Posterior a estos meses, los niveles dinámicos descienden gradualmente hasta alcanzar los niveles dinámicos más profundos, los cuales coinciden con los meses de menor precipitación en el área de estudio.

Los niveles dinámicos más someros del conjunto de datos, corresponden al mes de octubre del 2019 y a los meses de setiembre y octubre del 2020, en los cuales también se registran las mayores precipitaciones en estos mismos años. Posteriormente, el nivel dinámico desciende de forma irregular hasta alcanzar los niveles más profundos, los cuales coinciden con los meses de menor precipitación en el área de estudio.

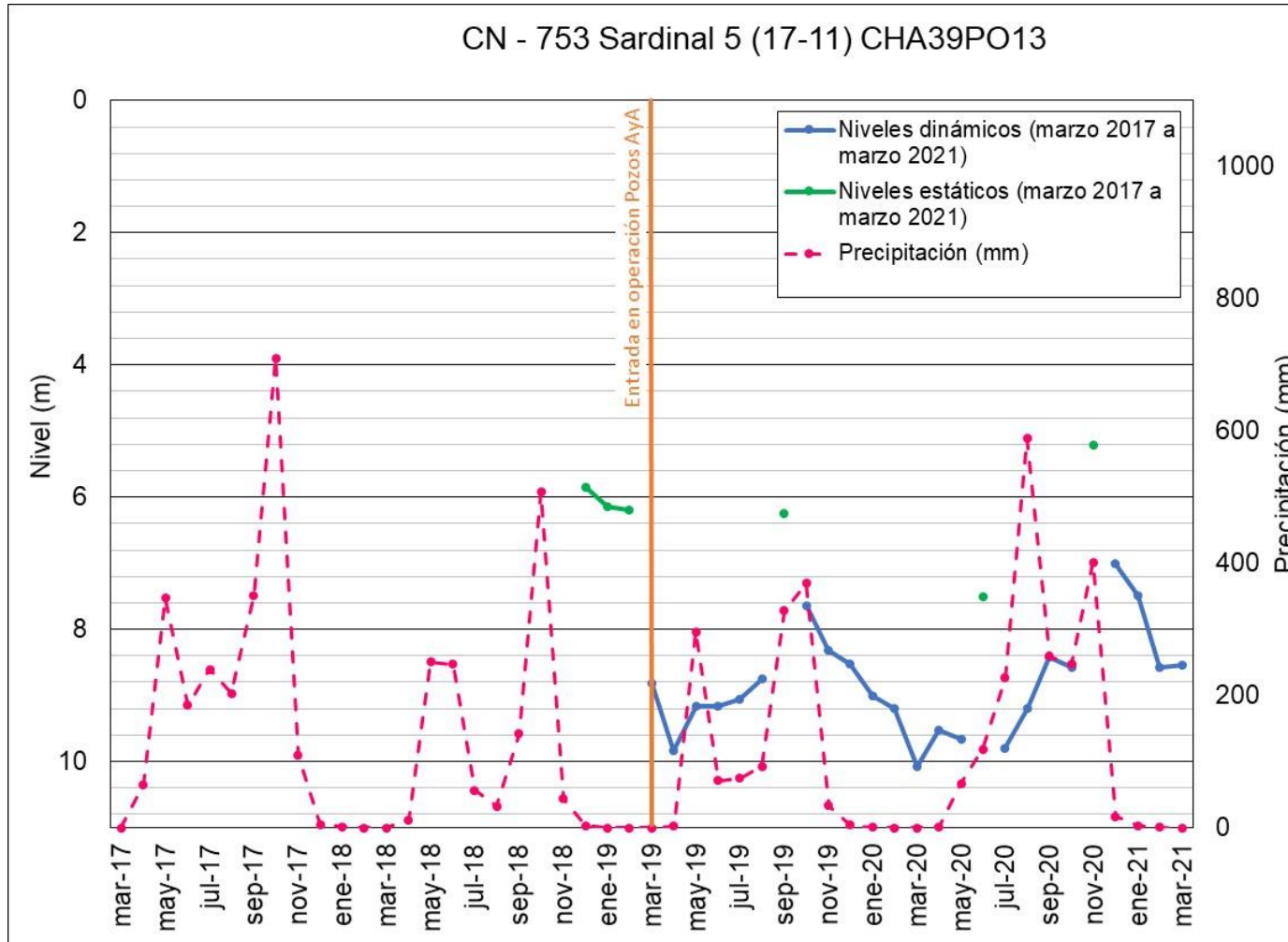


Figura 9: Gráfico nivel estático y dinámico del pozo CN – 753 Sardinal 5 (17-11) CHA39PO13 vs. tiempo.

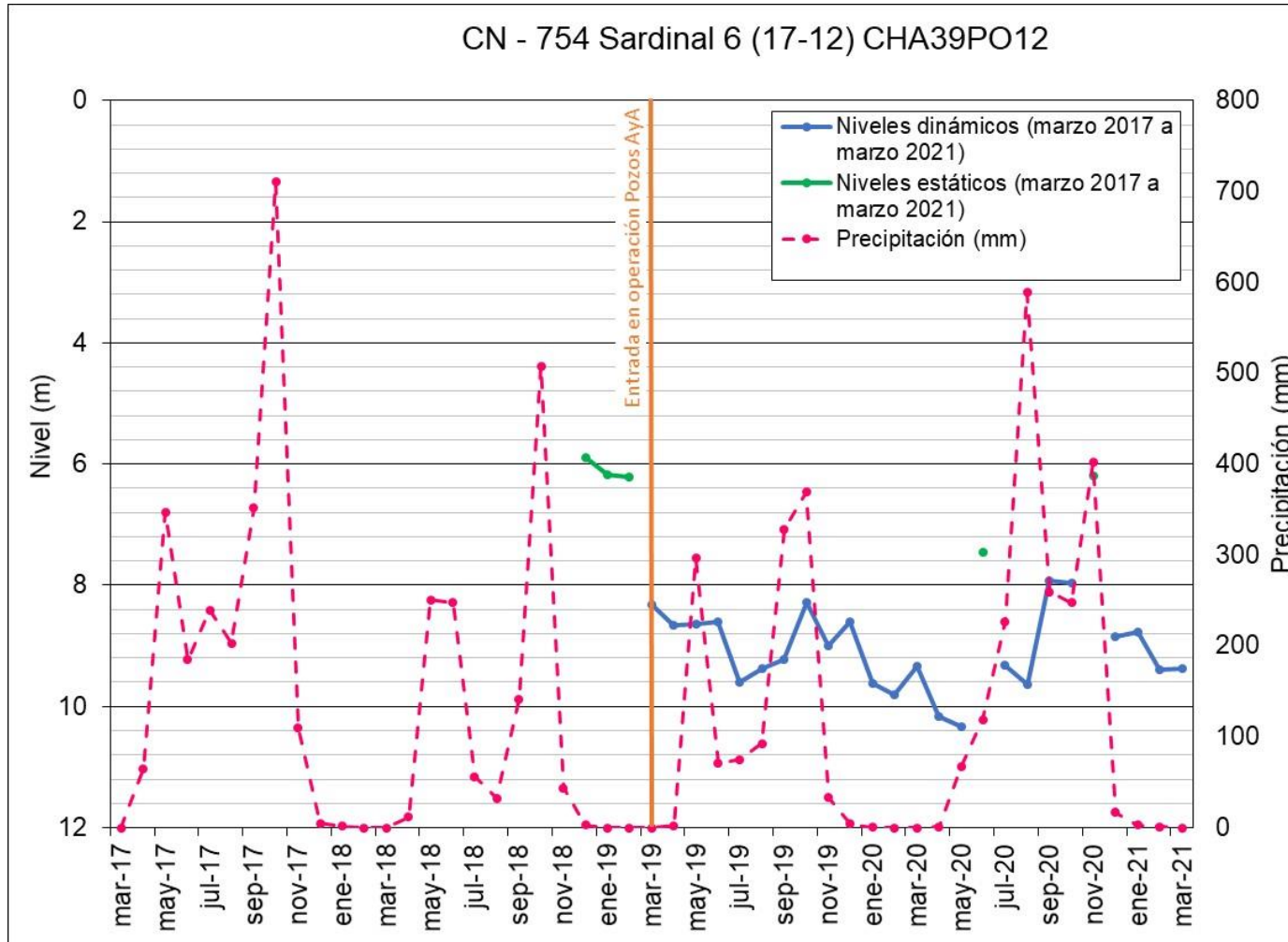


Figura 10: Gráfico nivel estático y dinámico del pozo CN – 754 Sardinal 6 (17-12) CHA39PO13 vs. tiempo.

Para establecer el efecto del bombeo de los Pozos CN – 753 AyA Sardinal 5 y CN – 754 AyA Sardinal 6, en la dinámica del Acuífero Sardinal, se analizaron los datos de los niveles estáticos y dinámicos registrados en la red de monitoreo manual (Anexo 1).

De los pozos que conforman actualmente esta red de monitoreo, fueron seleccionados los que cuentan con el mejor conjunto de datos, y según su ubicación en el acuífero (cuenca baja, cuenca media o cuenca alta, Figura 7), donde a continuación, se detallan los resultados obtenidos con el análisis realizado.

A. Parte baja de la cuenca del río Sardinal





En este apartado, se describe el comportamiento de los niveles de agua subterránea en los pozos Finca Doc. Rivas (32), Vivero Shekina (31), Comunal - AyA (Uso) CN85 (21) y EXPORPACK S.A. CN317 (20) (Cuadro 8). Estos pozos, se ubican alrededor de los Pozos CN – 753 AyA Sardinal 5 y CN – 754 AyA Sardinal 6 (Figura 7), en la cuenca baja del río Sardinal.

Para el periodo comprendido entre el mes de marzo del 2017 y el mes de marzo del 2021, y previo al bombeo en los Pozos CN – 753 AyA Sardinal 5 y CN – 754 AyA Sardinal 6, los gráficos de la Figura 11, Figura 12, Figura 13 y Figura 14, muestran que el conjunto de datos registra su nivel más somero en el mes de octubre y noviembre del año 2017, coincidiendo con los meses de máxima precipitación de ese mismo año.

En los meses siguientes, el nivel agua subterránea inicia un comportamiento descendente uniforme, dentro del cual, se ubica el inicio del bombeo en los Pozos CN – 753 AyA Sardinal 5 y CN – 754 AyA Sardinal 6 (el 16 de marzo del 2019), con un caudal total de extracción de 70 L/s). Posterior al inicio de este bombeo, el nivel de agua subterránea no muestra cambios en su comportamiento atribuibles a este evento, y continua con el mismo descenso uniforme, hasta su profundidad máxima, en los meses de agosto y setiembre del año 2019, coincidiendo con la canícula de ese mismo año.

Para el mes de noviembre del año 2020, los niveles del agua subterránea ascienden a hasta el nivel más somero del conjunto de datos, coincidiendo con el mes de máxima precipitación de ese mismo año. Del mes de noviembre del 2020 al mes de marzo del 2021, los niveles registrados en los pozos para los meses de diciembre, enero, febrero y marzo, se ubican en niveles más someros que los registrados para estos mismos meses en años anteriores.

Cuadro 8: Pozos ubicados en la parte baja de la cuenca del río Sardinal.

Pozo	Coordenadas		Tipo	Q (L/s)	Fotografía
	Norte	Este			
Finca Doc. Rivas (32)	279151	354805	Excavado	P.S.U.	
Vivero Shekina (31)	278687	355260	Excavado	P.S.U.	
Comunal - AyA (Uso) CN85 (21)	277574	355660	Perforado	12.5*	
EXPORPACK S.A. CN317 (20)	277560	356190	Perforado	6.0**	

P.S.U.: Pozo sin uso.

* Caudal indicado en el Anexo 8 de la ARESEP (oficio PRE-2021-00384).

** Caudal determinado por la Dirección de Agua del MINAE.

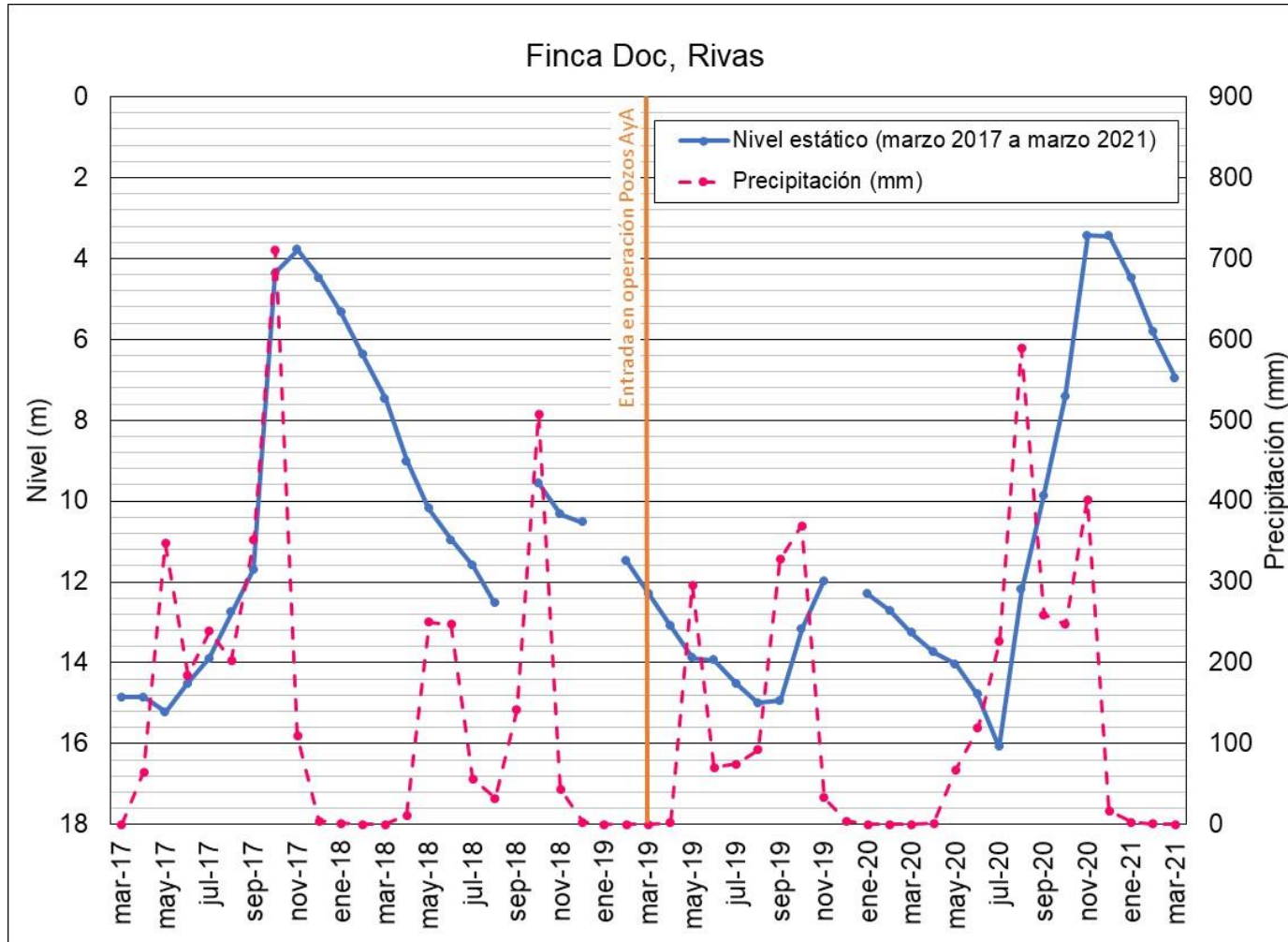


Figura 11: Gráfico nivel estático del pozo Finca Doc. Rivas (32) vs. tiempo.

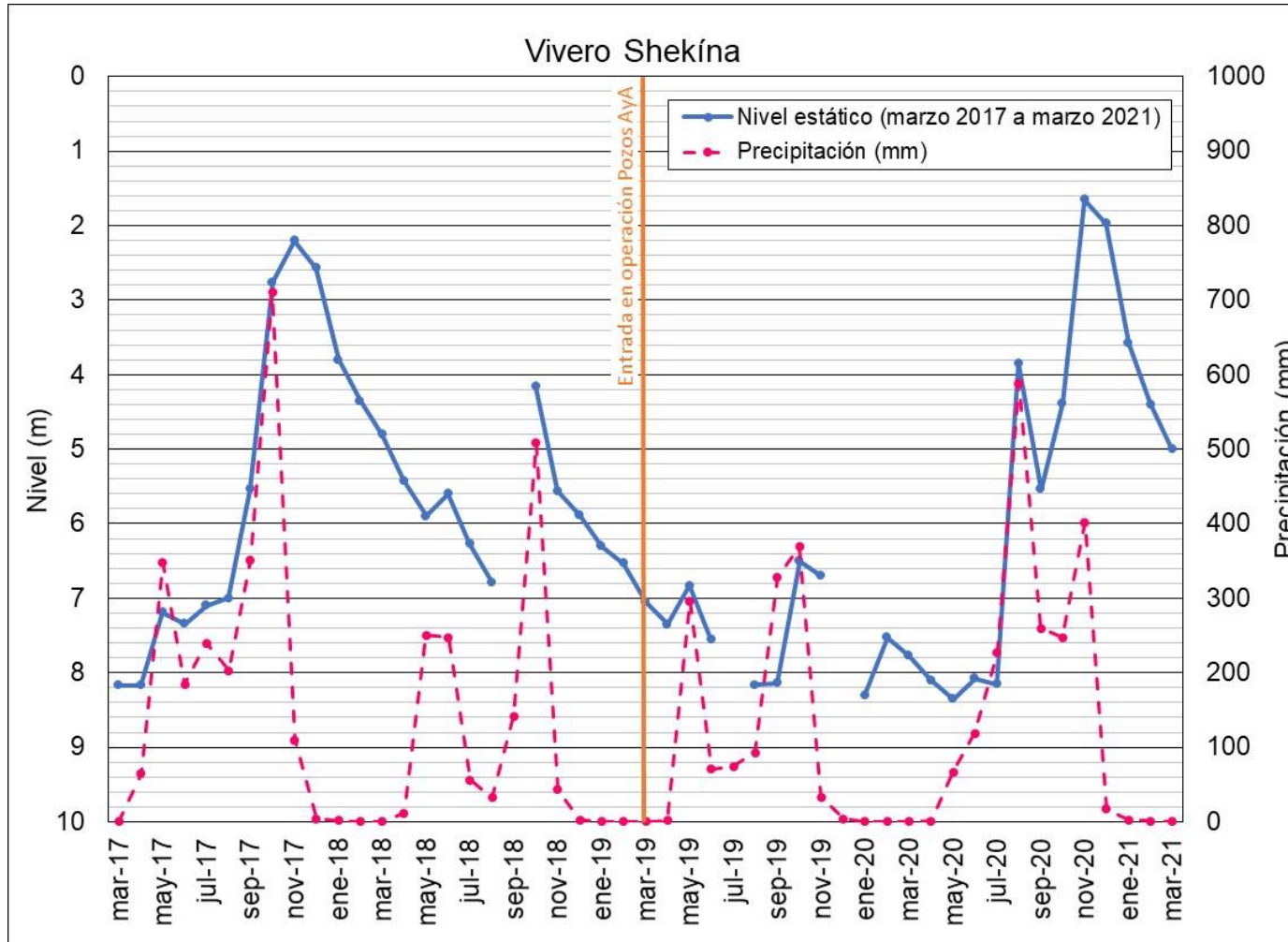


Figura 12: Gráfico nivel estático del pozo Vivero Shekina (31) vs. tiempo.

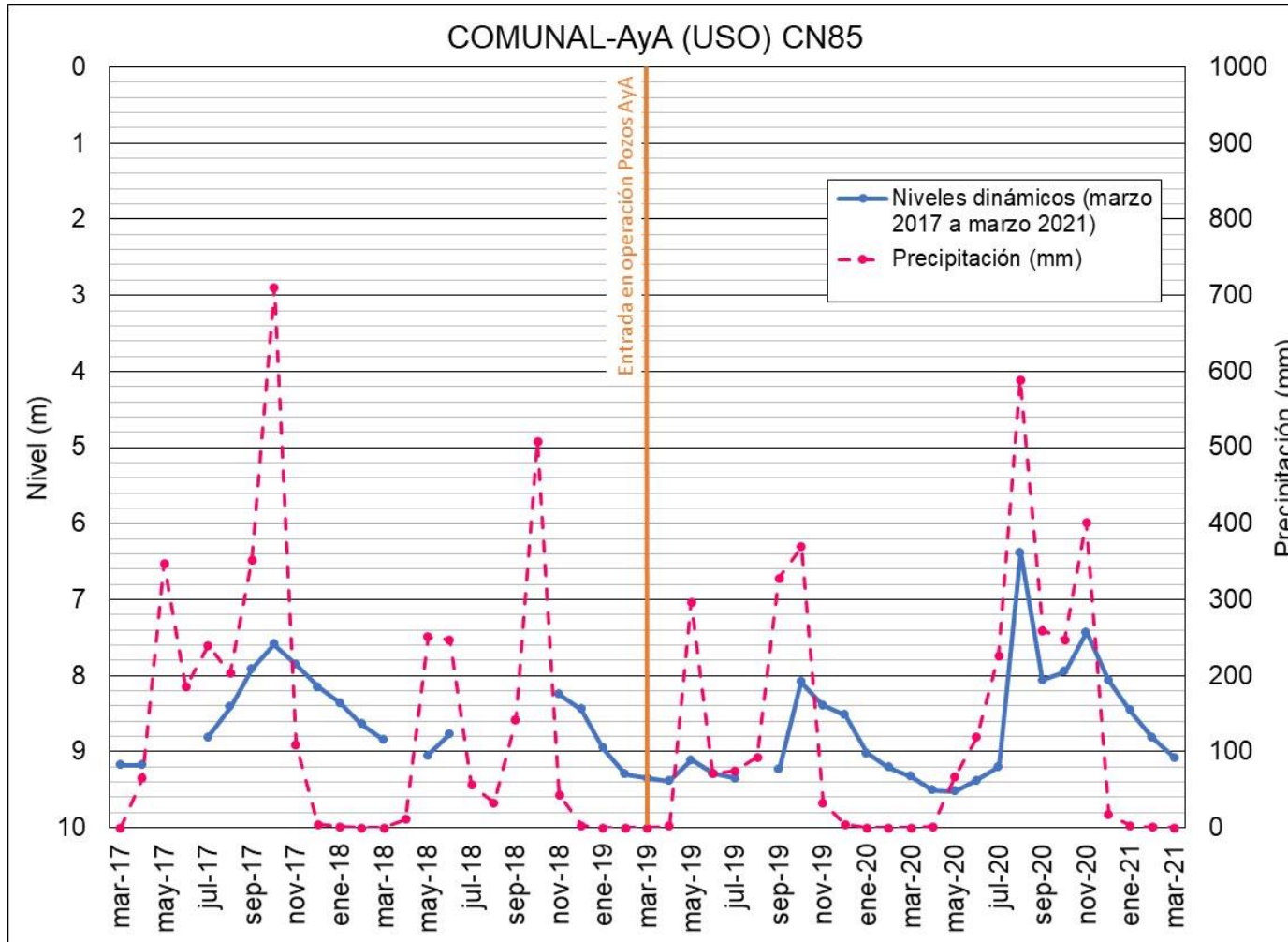


Figura 13: Gráfico nivel dinámico del pozo Comunal - AyA (Uso) CN85 (21) vs. tiempo.

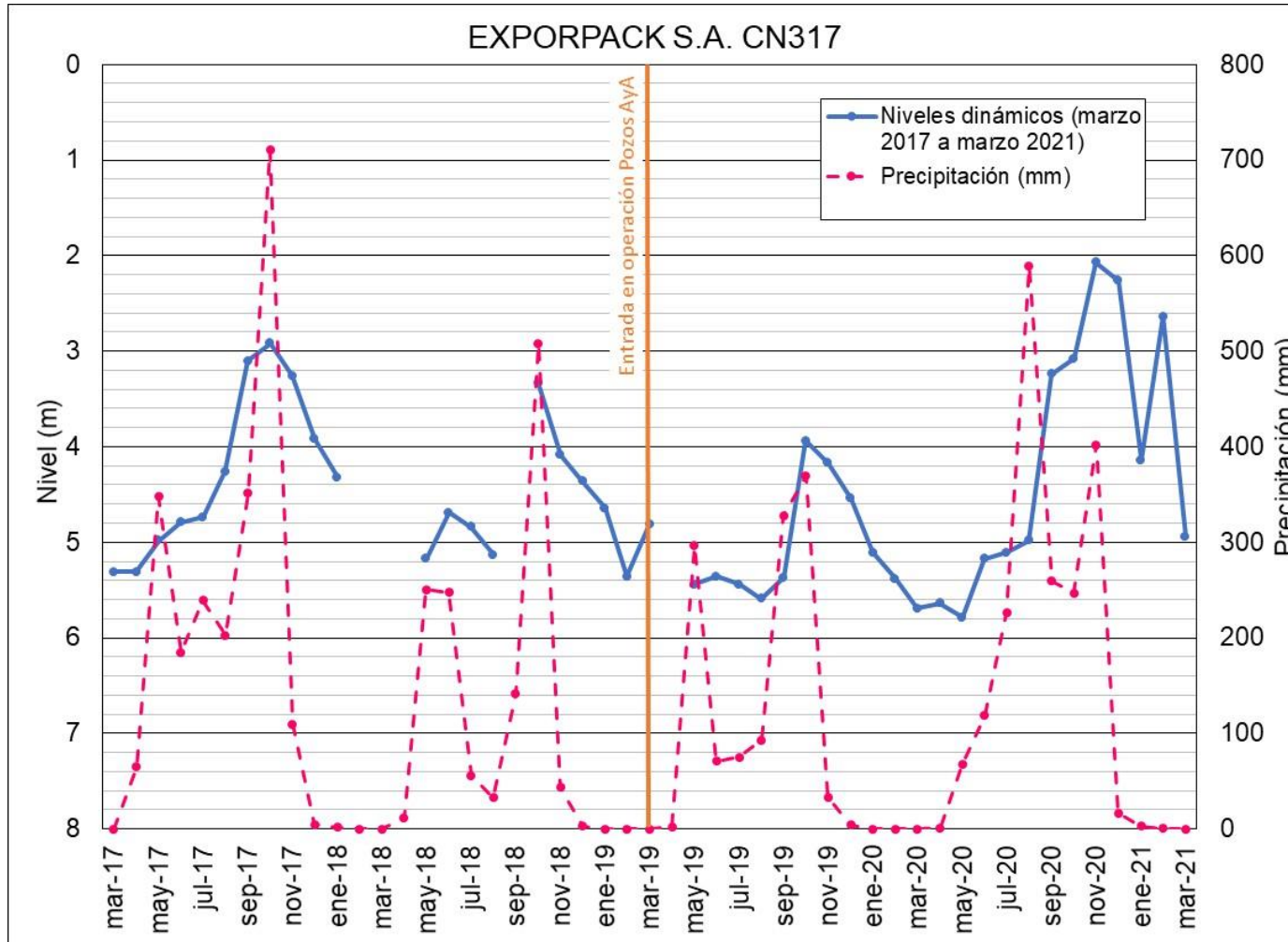





Figura 14: Gráfico nivel estático del pozo Exporpack S.A. CN 317 (20) vs. tiempo.

B. Parte media de la cuenca del río Sardinal

Para este sector del Acuífero Sardinal, se describe el comportamiento del nivel de agua subterránea de los pozos Artola 5 (8), Víctor Ampié (11) y Jerónimo Socorro (34), se ubican en el sector medio de la cuenca del río Sardinal, entre los 50 a 60 m.s.n.m (Cuadro 9 y Figura 7).

Cuadro 9: Pozos ubicados en la parte media de la cuenca del río Sardinal

Pozo	Coordenadas		Tipo	Q (L/s)*	Fotografía
	Norte	Este			
Artola 5 (8)	276929	351601	Perforado	9.5	
Víctor Ampié (11)	276697	353481	Excavado	S.D.	
Jerónimo Socorro (34)	275655	354656	Excavado	0.94	

S.D.: Pozo excavado. No se encuentra inscrito en SINIGIRH (2021).

* Caudal determinado por la Dirección de Agua del MINAE.

Para el periodo de análisis del presente informe, y previo al bombeo de los Pozos CN – 753 AyA Sardinal 5 y CN – 754 AyA Sardinal 6, en los gráficos de la Figura 15, Figura 16 y Figura 17, el conjunto de datos, registra los niveles más someros en los meses de setiembre de los años 2017 y 2018, los cuales, coinciden los meses de máxima precipitación para esos mismos años.

En los meses posteriores, especialmente a partir del mes de noviembre del 2018, los datos describen un descenso uniforme en el nivel del agua subterránea, el cual continua sin cambios, aún después de iniciado el bombeo en los pozos del AyA.

En lo que respecta al comportamiento particular de cada pozo, los datos del Pozo Artola 5 (8) (Figura 15), corresponden con su nivel dinámico, el cual muestra un comportamiento homogéneo para el periodo de tiempo analizado, donde los niveles se ubican en un rango bien definido de profundidades, entre los 8 m a 10 m.

Esta distribución homogénea en el conjunto de datos, se observa también en el gráfico correspondiente al Pozo Jerónimo Socorro (34) (Figura 17), donde el rango de variación se da entre 3 m a 7 m.

Para los pozos Artola 5 (8) y Jerónimo Socorro (34), los datos registrados entre el mes de noviembre del 2020 al mes de marzo del 2021, se ubican en niveles más someros que los registrados para estos mismos meses (noviembre a marzo) en años anteriores.

Los datos correspondientes al Pozo Víctor Ampié (11) (Figura 16), describen un comportamiento similar al de los pozos Artola 5 (8) y Jerónimo Socorro (34). Sin embargo, entre los meses de febrero a agosto del 2019, el Pozo Víctor Ampié (11) registró niveles con un rango de variación muy restringido, entre 8 m a 8,2 m, el cual no muestra cambios que sean correlacionables con el inicio del bombeo de los Pozos CN – 753 AyA Sardinal 5 y CN – 754 AyA Sardinal 6.

C. Parte alta de la cuenca del río Sardinal

En esta parte de la cuenca del río Sardinal (Figura 7), se describe el comportamiento de los niveles de agua subterránea en los pozos Nuevo Colón (Centro Educativo) (23) y Lomas del Mar S.A. (26) (Cuadro 10).

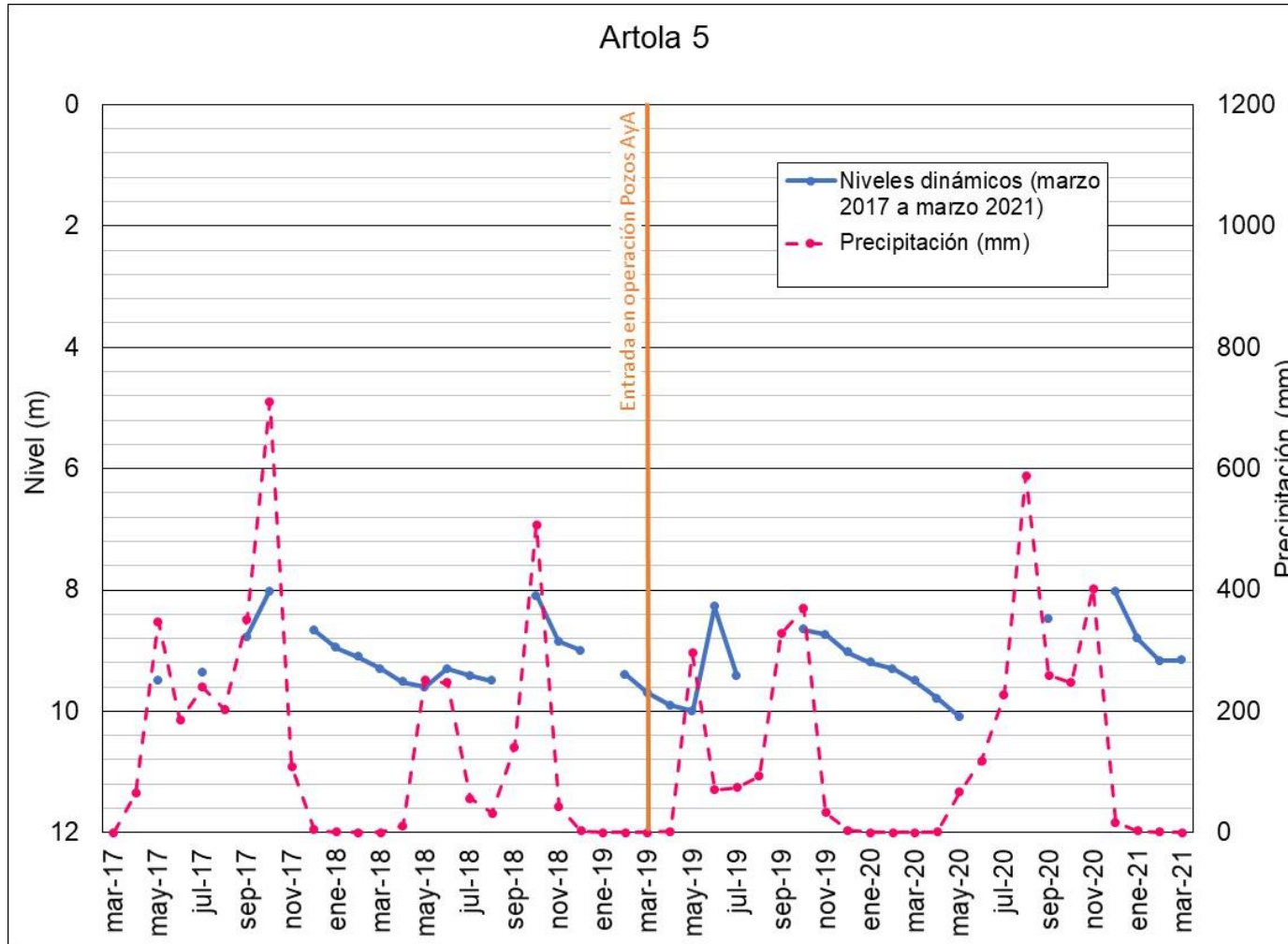


Figura 15: Gráfico nivel dinámico del pozo Artola 5 (8) vs. tiempo.

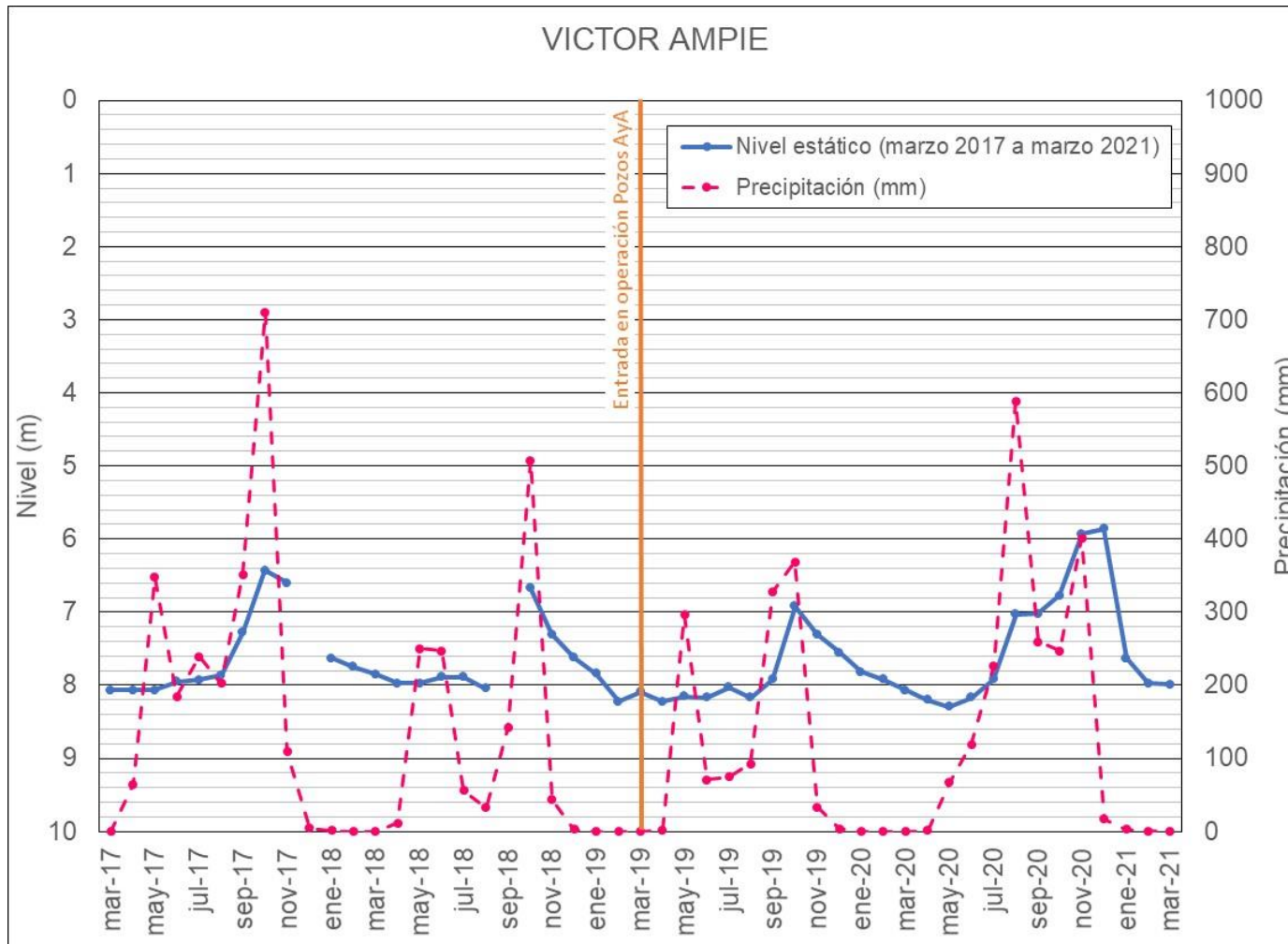


Figura 16: Gráfico nivel estático del pozo Víctor Ampié (11) vs. tiempo.

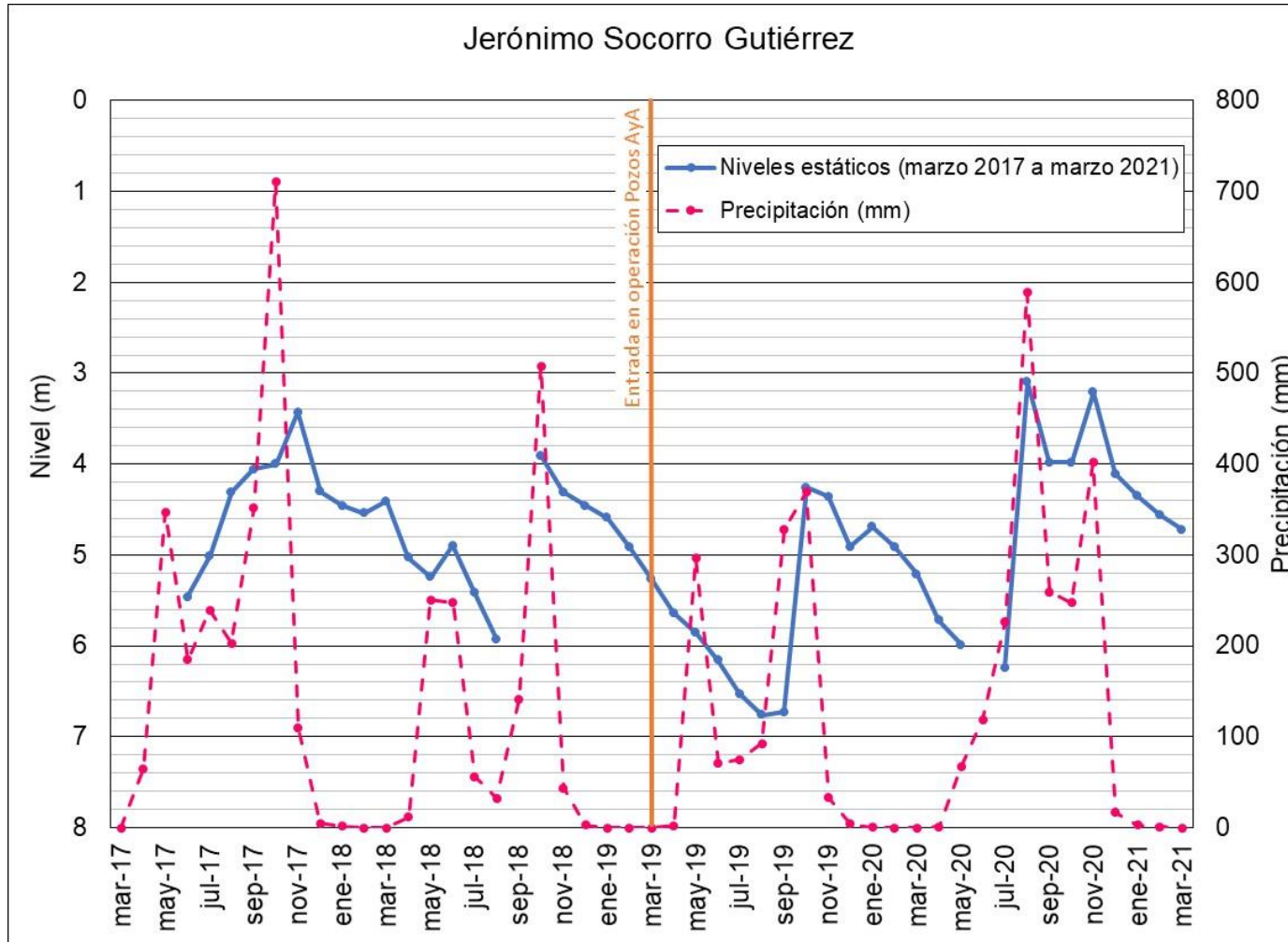




Figura 17: Gráfico nivel estático del pozo Jerónimo Socorro (34) vs. tiempo.

Cuadro 10: Pozos ubicados en la parte alta de la cuenca del río Sardinal

Pozo	Coordenadas		Tipo	Q (L/s)	Fotografía
	Norte	Este			
Nuevo Colón (Centro Educativo) (23)	276335	347991	Excavado	P.S.U.	
Lomas del Mar S.A. (26)	276994	346316	Excavado	P.S.U.	

P.S.U.: Pozo sin uso.

Para el periodo de marzo 2017 a marzo 2021, el conjunto de datos correspondiente al pozo Nuevo Colón (Centro Educativo) (23), muestran un comportamiento uniformemente variado, donde los datos se ubican en un rango entre 5.09 m a 7.07 m (Figura 18).

Previo al inicio de operación de los Pozos CN – 753 AyA Sardinal 5 y CN – 754 AyA Sardinal 6, los niveles más someros fueron registrados en los meses de agosto del 2017 y octubre del 2018. En ambos casos, estos niveles coincidieron con los meses de mayor precipitación de esos años.

Del mes de octubre del año 2018 al mes de mayo del 2019, los datos registrados en este pozo muestran un comportamiento descendente uniforme, el cual no muestra cambios que sean atribuibles al inicio del bombeo en los pozos del AyA (Figura 18).

Para el periodo de tiempo analizado en el presente informe, el Pozo Lomas del Mar (23) muestra un comportamiento homogéneo (Figura 19), en el cual, los niveles del agua subterránea varían en un rango bien definido, entre 2 m a – 12.81 m.

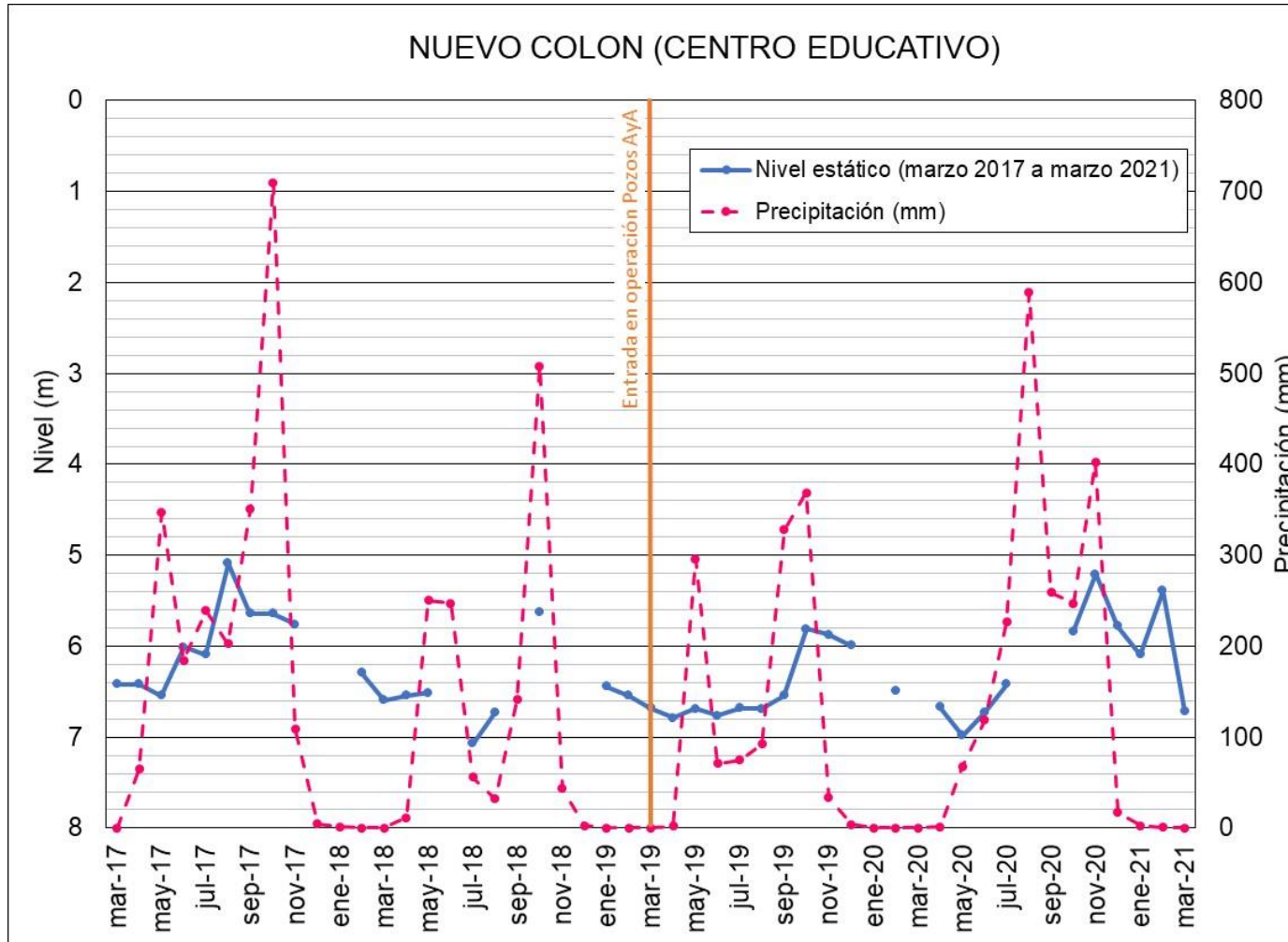


Figura 18: Gráfico nivel estático del pozo Nuevo Colón (Centro Educativo) (23) vs. tiempo.

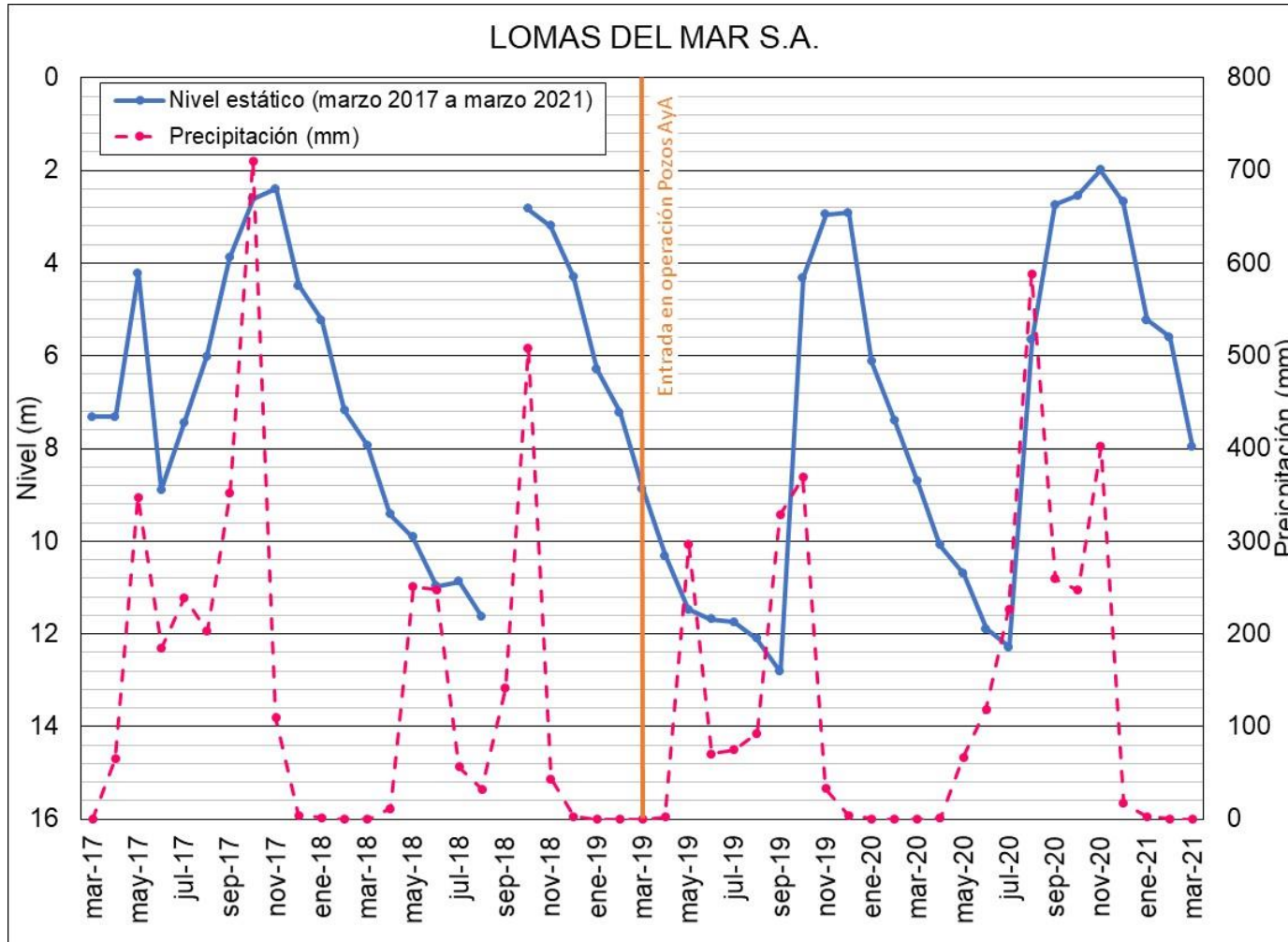


Figura 19: Gráfico nivel estático del pozo Lomas del Mar (23) vs. tiempo.

En el Pozo Lomas del Mar (23), previo al bombeo de los Pozos CN – 753 AyA Sardinal 5 y CN -754 AyA Sardinal 6, los niveles más someros del agua subterránea se registran en el mes de noviembre del año 2017 y en el mes de octubre del año 2018, los cuales coinciden con los meses de máxima precipitación para esos mismos años. Entre el mes de octubre del año 2018 y el mes de setiembre del año 2019, el nivel muestra un comportamiento descendente uniforme, el cual no muestra cambios correlacionables con el inicio del bombeo de los pozos del AyA.

Del conjunto de datos correspondiente al Pozo Lomas del Mar (23), los niveles registrados entre el mes de noviembre del 2020 al mes de marzo del 2021, son los que se ubican en un nivel más superficial que los datos registrados para estos mismos meses en años anteriores.

6. CALIDAD DEL AGUA DEL ACUÍFERO SARDINAL

El monitoreo de calidad de agua en pozos del acuífero de Sardinal, Carrillo, Guanacaste, se realiza desde el primer semestre del año 2017, en atención de la resolución N°2017001163 (EXPEDIENTE 16-016305-0007-CO) de la Sala Constitucional de la Corte Suprema de Justicia.

La red de monitoreo consta de 17 pozos, ubicados en los alrededores de la localidad de Sardinal, en los cuales se realiza el análisis de la calidad fisicoquímica y microbiológica del agua, contemplando los niveles 1,2 y 3 para agua de consumo humano, establecido en el Decreto Ejecutivo N° 38924-S “Reglamento para la calidad del Agua Potable”.

La red fue diseñada considerando que los pozos: 1) sean parte de los pozos de la red monitoreo de niveles de agua subterránea y 2) estén en uso y bombeo continuo. Esta red contempla 4 pozos del AyA, 4 pozos de ASADAS, 7 pozos privados y 2 pozos excavados.

La recolección de muestras, se realiza por parte de la UEN de Gestión Ambiental del Instituto Costarricense de Acueducto y Alcantarillado (AyA), y el análisis es realizado por el Laboratorio Nacional de Aguas, también del AyA.

El análisis técnico hidrogeológico para el seguimiento del acuífero lo realiza la Comisión Técnica Interinstitucional, integrada por la Dirección de Aguas (MINAE), Instituto Costarricense de Acueducto y Alcantarillado (AyA) y el Servicio Nacional de Aguas, Riego y Avenamiento (SENARA).

Los reportes de laboratorio, informes de muestreo, y los boletines de los seguimientos del acuífero Sardinal, están a disposición para consulta del público en la página web de la Dirección de Aguas, en el link <http://www.da.go.cr/gestion-de-acuiferos/>

6.1. Clasificación fisicoquímica del agua subterránea

A partir de los resultados obtenidos con el monitoreo de la calidad del agua de este acuífero, se han elaborado Diagramas de Piper para establecer la clasificación fisicoquímica del Acuífero Sardinal.

Como se observa en la Figura 20, el Diagrama de Piper correspondiente a la campaña de muestreo del mes de marzo del año 2017, indica que el acuífero Sardinal presenta características fisicoquímicas homogéneas en toda su extensión, ya que la totalidad de las muestras analizadas se ubican hacia un mismo punto, que las clasifica como Bicarbonatadas., lo que indica de recarga directa del acuífero.

Los Diagramas de Piper, elaborados a partir de los resultados de los análisis realizados en el mes de marzo del 2021, clasifican nuevamente el agua del Acuífero Sardinal como Bicarbonatada.

Así, el análisis comparativo de las aguas subterráneas en el acuífero, por medio de Diagramas Piper Sardinal de marzo del 2017 y marzo 2021, no muestra variación en los iones mayores del agua subterránea para los años analizados.

6.2. Comportamiento histórico de las variaciones de la conductividad eléctrica y la calidad fisicoquímica del agua subterránea.

Como se indica en el párrafo primero del Capítulo 6, a partir de la Resolución N°2017001163 (EXPEDIENTE 16-016305-0007-CO) de la Sala Constitucional, la CTI ha dado seguimiento a la calidad del agua del Acuífero Sardinal desde el primer semestre del año 2017.

De esta forma, los análisis realizados a las muestras recolectadas en este acuífero (Cuadro 11 y Cuadro 12), han determinado que el agua subterránea cumple a nivel fisicoquímico y microbiológico con lo establecido en el Reglamento de calidad de agua potable N°38924-S.

Solo algunos de los pozos presentan comportamiento histórico variable de la calidad de agua de mala a excelente (Cuadro 12), lo cual se traduce a una condición de manejo de la fuente y no del acuífero a nivel general.

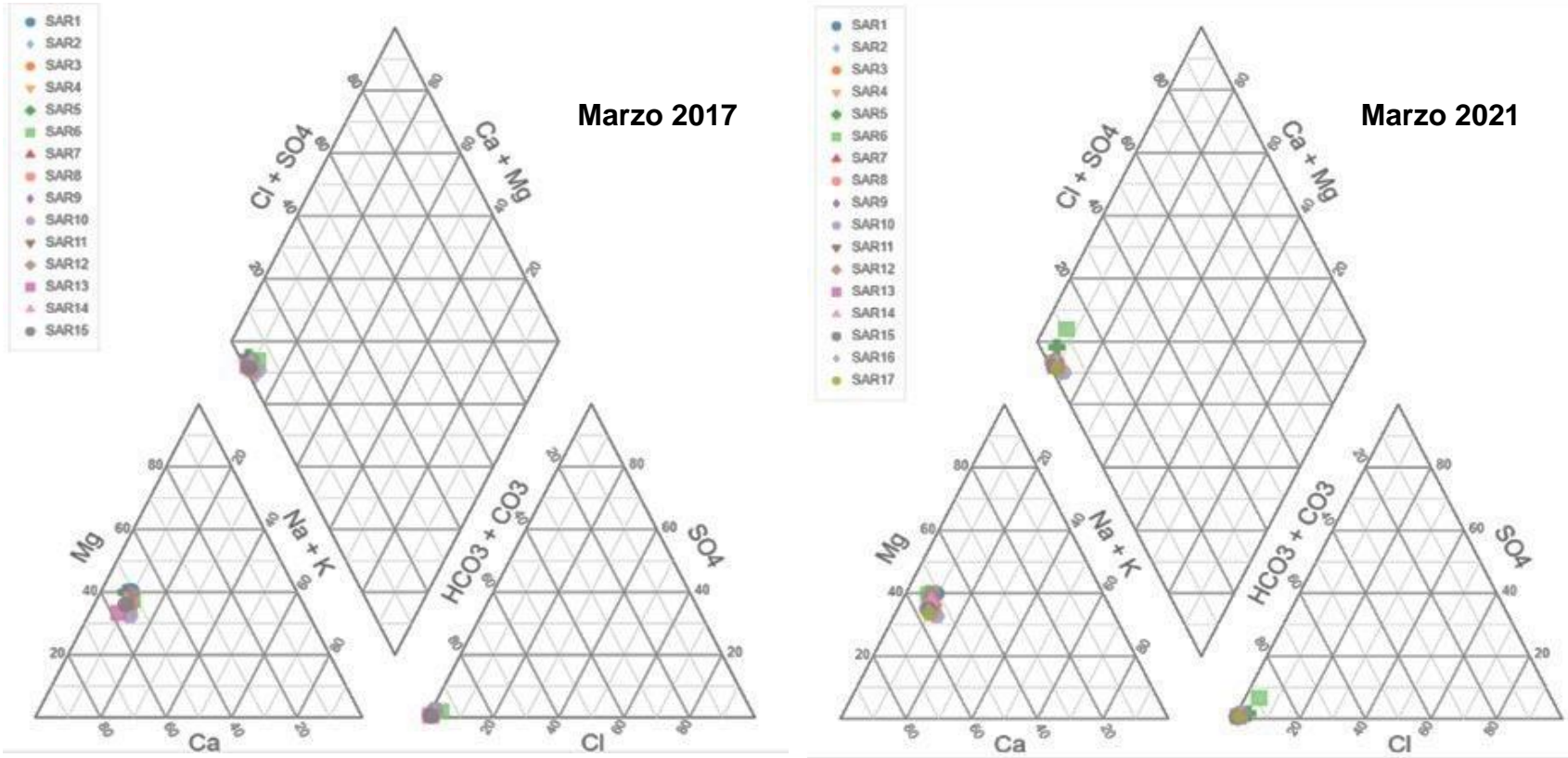


Figura 20: Diagramas Piper comparativos de las aguas subterráneas en el acuífero Sardinal, en marzo del 2017 y marzo 2021. Fuente: SENARA (2021)

Cuadro 11: Red de pozos Acuífero Sardinal – Comportamiento histórico de la Conductividad Eléctrica.

Nombre de Pozo	7/3/2017	27/7/2017	14/2/2018	17/10/2018	6/2/2019	23/10/2019	15/4/2020	18/11/2020	9/3/2021
	Cond. Eléc. ($\mu\text{S}/\text{cm}$)								
CN-233 EXPORPAK	-	442	452	395	468	436	434	465	455
CN-317 EXPORPAK	540	782	645	375	678	547	535	738	652
Pozo 20: CN-510 EXPORPAK	-	431	462	387	473	485	442	447	456
Pozo 22 CN 87	285	419	409	380	463	416	414	432	441
Pozo Lomas del Mar CN 613	327	486	499	444	494	488	479	468	460
Pozo 3: Los Ranchitos	276	418	417	358	385	398	400	383	403
Pozo 30 Hacienda Balvina	205	319	312	339	322	336	354	317	304
Pozo 35 ASADA San Blas	299	434	457	427	492	454	461	465	479
Pozo 9: ASADA Artolita	270	399	429	364	456	435	436	424	457
Pozo Artola 2	228	340	382	338	389	371	382	391	396
Pozo Artola 5 CN 746	262	373	440	350	424	385	393	431	453
Pozo CN-464	-	491	506	477	522	521	493	488	484
Pozo Comunal AYA CN 85	423	421	423	392	450	426	421	415	434
Pozo San Jerónimo Socorro Gutiérrez	318	441	472	401	478	408	438	472	455
Pozo Sr. Víctor Ampié	316	498	582	502	761	568	589	1933	494
Pozo AyA Sardinal 6 (17-12)	-	-	-	-	-	461	461	478	500
Pozo AyA Sardinal 5 (17-11)	-	-	-	-	-	443	416	438	459

Cuadro 12: Red de pozos Acuífero Sardinal – Comportamiento histórico de la calidad fisicoquímica y microbiológica.

Nombre de Pozo	7/3/2017	27/7/2017	14/2/2018	17/10/2018	6/2/2019	23/10/2019	15/4/2020	18/11/2020	9/3/2021
	Calidad fisicoquímica y microbiológica								
CN-233 EXPORPAK	-	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente.	Excelente.
CN-317 EXPORPAK	Excelente	Excelente	Buena	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente	Buena	Excelente.
Pozo 20: CN-510 EXPORPAK	-	Excelente	Buena	Buena	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente.	Excelente.
Pozo 22 CN 87	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente.
Pozo Lomas del Mar CN 613	Excelente	Buena	Excelente	Regular	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente.	Excelente.
Pozo 3: Los Ranchitos	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente	Regular	Regular	Excelente	Excelente.
Pozo 30 Hacienda Balvina	Regular	Regular	Regular	Regular	Mala	Regular	Regular	Excelente.	Regular
Pozo 35 ASADA San Blas	Buena	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente.	Excelente.
Pozo 9: ASADA Artolita	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente	Regular	Excelente	Excelente.	Excelente.
Pozo Artola 2	Excelente	Mala	Excelente	Regular	Excelente	Excelente	Excelente	Mala	Excelente.
Pozo Artola 5 CN 746	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente	Buena	Excelente.
Pozo CN-464	-	Regular	Excelente	Excelente	Buena	Excelente	Buena	Excelente.	Excelente.
Pozo Comunal AYA CN 85	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente.	Excelente.
Pozo San Jerónimo Socorro Gutiérrez	Regular	Mala	Buena	Mala	Buena	Mala	Mala	Excelente.	Muy Mala
Pozo Sr. Víctor Ampié	Regular	Muy Mala	Mala	Regular	Regular	Mala	Regular	Excelente	Mala
Pozo AyA Sardinal 6 (17-12)	-	-	-	-	-	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente.
Pozo AyA Sardinal 5 (17-11)	-	-	-	-	-	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente.

7. CONCLUSIONES

- A. El análisis de los hidrogramas, indican que la variación promedio del nivel de agua subterránea en los depósitos aluviales es de 3.9 m, lo que corresponde a una lámina de agua de 585 mm.

La variación promedio del nivel de agua subterránea para el Complejo de Nicoya, es de 15.09 m, lo que corresponde a una lámina de agua 377 mm.

- B. A partir de las variaciones del nivel de agua subterránea, de los monitoreos realizados entre el mes de marzo del año 2017 al mes de marzo del año 2021, se ha determinado una recarga de 1231 L/s para el Acuífero Sardinal.
- C. El Método de Recarga por Hidrogramas, se basa en el análisis de las variaciones del nivel de agua subterránea. Estas variaciones son una respuesta del acuífero ante la extracción de agua por pozos ($Q_{Aprovechado}$), razón por la cual, el efecto de este parámetro sobre la recarga, ya está incluido en el análisis de los hidrogramas, y no requiere ser considerado en el cálculo del caudal disponible.
- D. A partir de los cálculos realizados de disponibilidad hídrica para el Acuífero Sardinal, se tiene lo siguiente:

$Q_{Recarga}$ (L/s)	$Q_{Disponible}$ (L/s)
1231	492

De esta forma, el Acuífero Sardinal cuenta con 492 L/s, disponibles actualmente para su aprovechamiento.

- E. Luego de analizar el comportamiento del agua subterránea en el Acuífero Sardinal, a partir de los hidrogramas realizados para cada pozo (monitoreo mensual del CTI – Agua Subterránea), se concluye que no se han identificado cambios en el comportamiento de este acuífero, a partir del estudio hidrogeológico realizado por el SENARA en el año 2011, y los resultados obtenidos con el presente estudio, donde se analiza el bombeo del Pozo CN – 753 AyA Sardinal 5 y del Pozo CN – 754 AyA Sardinal 6, donde la suma de sus caudales de extracción es de 70 L/s.
- F. El análisis comparativo de la calidad del agua subterránea en el acuífero, por medio de Diagramas Piper Sardinal de marzo del 2017 a marzo 2021 (monitoreo de calidad del CTI – Agua Subterránea), no muestra variación en los iones mayores del agua subterránea, a partir del bombeo de los aprovechamientos: Pozo CN – 753 AyA Sardinal 5 y del Pozo CN – 754 AyA Sardinal 6.

Así también, se ha determinado que el agua subterránea cumple a nivel fisicoquímico y microbiológico con lo establecido en el Reglamento de calidad de agua potable N°38924-S.

Los pozos que han registrado un comportamiento histórico variable de la calidad del agua reflejan una condición de manejo de la fuente y no del acuífero.

- G. A partir de los resultados obtenidos con el análisis del comportamiento del agua subterránea para el periodo del mes de marzo 2017 a marzo 2021, y del cálculo del caudal disponible en el Acuífero Sardinal, se determina que es viable que el AyA extraiga el caudal de 105 L/s, para completar los 175 L/s.

8. REFERENCIAS

- CTI, 2016: Análisis del impacto de la sequía en el Acuífero Sardinal 2015. – 19 págs. Comisión Técnica Interinstitucional para la Gestión de Acuíferos. San José, Costa Rica. [Informe técnico interno]
- SENARA, 2011: Determinación de la recarga y rendimiento sostenible del Acuífero de Sardinal, Carrillo, Guanacaste. – 72 págs. Unidad de Investigación de la Dirección de Investigación y Gestión Hídrica. Servicio Nacional de Aguas Subterráneas, Riego y Avenamiento. San José, Costa Rica. [Informe técnico interno]



Anexo 1: Niveles estáticos registrados en el Acuífero Sardinal. Años 2017 a 2021

N°	Nombre del POZO	2017											
		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1	Desconocido (Nancital)												
2	Nacascolo	18.1	19.6	21.1	21.1	22.01	17.92	15.25	15.48	14.32	7.58	9.00	9.36
3	Ranchitos	9.65	11.52	14.8	14.8	17.83	13.25	9.57	7.87	6.20	2.52	2.82	3.17
4	Artola 1	10	10	10.3	10.3	10.60	10.40	10.40	10.93	9.80	8.11	7.64	7.96
5	Artola 2						12.07			11.35	9.40	7.63	7.89
6	Artola 3	8.22	8.3	8.57	8.57	8.70	8.48	8.49	8.44	7.94	7.00	6.84	7.07
7	Artola 4	9.54	9.83	10	10	10.26	10.06	10.02	9.85	9.35	8.65		
8	Artola 5			9.5	9.5		8.10		8.04			8.18	
9	Artolita												
10	ASADA Playones												
11	Víctor Ampié	7.73	7.87	8.07	8.07	8.07	7.95	7.93	7.86	7.27	6.43	6.60	
12	Madolina Contreras												
13	Colegio de Sardinal CN9												
14	Chilolos												
15	EXPORPACK S.A CN233					6.18	5.92	5.96	5.65	4.73	4.08	4.64	
16	EXPORPACK S.A CN234			6.94	6.94	6.12	5.87	5.89	5.46	4.20	3.86	4.39	
17	EXPORPACK S.A CN370	6.85	6.5	6.53	6.53	6.10	5.84	5.84	5.45	4.63	3.93	4.42	5.55
18	EXPORPACK S.A CN171	3.42	4.99	5.57	5.57	0.65	2.68	0.40		-0.10	-0.05	0.12	
19	EXPORPACK S.A CN134	6.32	6.67	7.09	7.09	3.43	3.25	3.48	3.32	2.32	2.37	2.63	3.32
20	EXPORPACK S.A CN317	4.75		5.31	5.31	4.98	4.79	4.74	4.26	3.10	2.92	3.26	3.92
21	Comunal-AyA (Uso) CN85	7.49				7.68	7.51						
22	Comunal-AyA CN87					7.39							
23	Nuevo Colon (Centro Educativo)		6.29	6.42	6.42	6.54	6.01	6.09	5.09	5.64	5.64	5.76	
24	Lomas del Mar S.A CN613						9.35	7.75		4.37		3.09	

N°	Nombre del POZO	2017											
		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
25	Sistemas Productivos M.I. S.A. CN613-A												
26	Lomas del Mar S.A.	4.51	5.84	7.32	7.32	4.22	8.89	7.45	6.01	3.89	2.60	2.39	4.49
27	EXPORPACK S.A. CN507												
28	Colegio de Sardinal 2 CN207	5.77	6.16	6.6	6.6	6.35	6.00	5.86	5.24	4.47	3.20	2.98	4.50
29	Los Corralones	6.64	6.62	6.7	6.7	6.95	6.57	6.63	6.62	6.15	6.00	6.17	6.90
30	Hacienda Balvina S.A.	14.3	14.67	14.9	14.9	14.02		14.46	13.70	12.96	12.68	13.10	13.67
31	Vivero Shekina	8.1	8.35	8.17	8.17	7.19	7.34	7.10	7.00	5.54	2.76	2.20	2.57
32	Finca Doc. Rivas	16.08	14.86	14.9	14.9	15.22	14.51	13.89	12.76	11.69	4.36	3.78	4.47
33	Miguelina Ruiz Gorgona	4.42	4.67	5.13	5.13	5.92	6.10	4.81	4.35	4.13	3.97	3.36	3.96
34	Jerónimo Socorro Gutiérrez	4.4	4.53				5.46	5.01	4.31	4.06	4.00	3.43	4.30
35	ASADA San Blas		8.44			9.83	8.39	8.31			6.20	6.56	
36	San Blas-Pablo Gutiérrez	7.79	8.17	8.59	8.59	8.35	8.05	7.95	7.18	6.49	5.95	6.32	6.60
37	Asada Nuevo Colon			6.9	6.9	6.9	6.40		6.78				

N°	Nombre del POZO	2018											
		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1	Desconocido (Nancital)												
2	Nacascolo	13.03	14.65	16.10	17.90	19.09	19.65	20.40	21.13		9.72	13.65	15.64
3	Ranchitos	6.88	8.00	11.10	13.85	15.84	17.14	16.92	17.45		9.07	6.90	8.12
4	Artola 1	9.05	9.65	9.87	10.24	10.44	10.35	10.40	10.52		8.85	9.55	9.60
5	Artola 2			11.45	11.80			11.93					
6	Artola 3	7.07	7.94	8.27	8.48	8.60	8.45	8.50	8.61		7.47	8.10	7.93
7	Artola 4	9.54	9.40	10.01	10.20	10.15	10.10	10.20	10.28		8.74	9.32	9.40
8	Artola 5												
9	Artolita												
10	ASADA Playones												
11	Víctor Ampié	7.63	7.75	7.85	7.97	7.97	7.89	7.89	8.04		6.66	7.30	7.62
12	Madolina Contreras												
13	Colegio de Sardinal CN9												
14	Chilolos												
15	EXPORPACK S.A CN233	14.34		6.69		6.69	6.18	6.18	6.73		4.68	5.79	6.34
16	EXPORPACK S.A CN234			12.12		6.57		6.05					
17	EXPORPACK S.A CN370	5.57	5.75	5.77	6.15	6.55	5.25	6.07	6.74		4.82	5.84	
18	EXPORPACK S.A CN171	3.27	2.00				0.70	1.10			-0.04		
19	EXPORPACK S.A CN134	5.80				4.96	3.70				2.55		3.92
20	EXPORPACK S.A CN317	4.32				5.17	4.69	4.84	5.13		3.33	4.09	4.36
21	Comunal-AyA (Uso) CN85				7.74			7.63	7.81		6.21		
22	Comunal-AyA CN87												
23	Nuevo Colon (Centro Educativo)		6.29	6.59	6.54	6.51		7.07	6.73		5.63		
24	Lomas del Mar S.A CN613					10.90					3.10	3.59	

N°	Nombre del POZO	2018											
		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
25	Sistemas Productivos M.I. S.A. CN613-A												
26	Lomas del Mar S.A.	5.23	7.18	7.93	9.42	9.91	10.97	10.87	11.63		2.83	3.19	4.29
27	EXPORPACK S.A. CN507												
28	Colegio de Sardinal 2 CN207	4.98	5.38	5.72	6.10	6.38	5.70	5.85	6.32		4.15	4.82	5.15
29	Los Corralones		6.39	6.50	6.58	6.58	6.72				5.80	6.38	6.47
30	Hacienda Balvina S.A.		14.74	21.20	6.20	16.25	15.31	15.52	16.45		12.28	12.95	13.82
31	Vivero Shekina	3.8	4.35	4.80	5.42	5.90	5.60	6.27	6.79		4.16	5.56	5.89
32	Finca Doc. Rivas	5.33	6.38	7.46	9.01	10.18	10.96	11.60	12.53		9.56	10.33	10.53
33	Miguelina Ruiz Gorgona	4.48	4.74	5.01	5.49	5.84	5.74	5.95	6.41		3.88	4.32	4.42
34	Jerónimo Socorro Gutiérrez	4.46	4.54	4.41	5.03	5.24	4.90	5.41	5.93		3.91	4.31	4.46
35	ASADA San Blas						7.61	7.65					7.14
36	San Blas-Pablo Gutiérrez	6.88	6.97	7.09	7.41	9.35	7.27	7.56	7.95		5.65	6.66	6.83
37	Asada Nuevo Colon						7.43		7.36				

N°	Nombre del POZO	2019											
		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1	Desconocido (Nancital)											16.52	16.83
2	Nacascolo	17.79	19.05	19	19.70	20.37	20.22	20.18	20.73	20.4	15.27	15.11	
3	Ranchitos	11.44	13.92	17	19.28	20.8	18.15	17.02	18.46	18.15	11.85	8.17	8.87
4	Artola 1	9.87	10.10	11	10.80	10.8	10.9	10.7	10.73	10.68		9.71	9.65
5	Artola 2					12.4							10.72
6	Artola 3	8.20	8.35	8.6	8.85	8.9	8.88	8.7	8.77	8.6	7.96	7.97	8
7	Artola 4	9.84	10.13	10	10.25	10.62	10.4	10.44	10.23	11.6	9.4	9.15	9.25
8	Artola 5	8.00							8.21	9.32			
9	Artolita										7.32	8.1	8.35
10	ASADA Playones												
11	Víctor Ampié	7.84	8.22	8.1	8.22	8.15	8.17	8.03	8.17	7.92	6.92	7.3	7.55
12	Madolina Contreras												
13	Colegio de Sardinal CN9	5.84	6.28									4.99	5.36
14	Chilolos							0.00					
15	EXPORPACK S.A CN233				15.64	6.94	6.64		7	6.64	5.22	5.9	6.18
16	EXPORPACK S.A CN234				7.08	6.88	6.55	12.44	6.97	6.61	5.15		
17	EXPORPACK S.A CN370	7.14	7.35	7.8	6.95	6.77	6.45	7.25	6.83	6.47	5.05	5.91	6.05
18	EXPORPACK S.A CN171					2.38			1.8			1.76	1.4
19	EXPORPACK S.A CN134					4.82	4.4			4.26		3.45	4
20	EXPORPACK S.A CN317	4.64	5.36	4.8		5.44	5.36	5.44	5.59	5.37	3.94	4.17	4.54
21	Comunal-AyA (Uso) CN85												
22	Comunal-AyA CN87								7.71				
23	Nuevo Colon (Centro Educativo)	6.44	6.54	6.7	6.79	6.69	6.76	6.68	6.69	6.54	5.81	5.87	5.99
24	Lomas del Mar S.A CN613	6.77						12.29			4.57		4.72

25	Sistemas Productivos M.I. S.A. CN613-A												
26	Lomas del Mar S.A.	6.29	7.22	8.9	10.32	11.47	11.69	11.75	12.1	12.81	4.32	2.95	2.91
27	EXPORPACK S.A. CN507												
28	Colegio de Sardinal 2 CN207	5.20	6.30	6.8	7.03	6.85	6.6	6.71	7.06	6.8	5.1	5	5.6
29	Los Corralones	6.47	6.52	6.8	7.13	6.57	6.54	6.62	6.69	6.75	6	6.22	6.44
30	Hacienda Balvina S.A.	14.81	16.32	16	15.80		0	15.1		0	12.7	12.8	
31	Vivero Shekina	6.30	6.53	7.1	7.35	6.83	7.56		8.16	8.14	6.5	6.7	
32	Finca Doc. Rivas		11.49	12	13.08	13.88	13.94	14.51	14.99	14.94	13.16	11.98	
33	Miguelina Ruiz Gorgona	4.86	5.43	5.7	6.19	6.54	6.84	7.11	7.12	7.08	4.3	4.34	4.82
34	Jerónimo Socorro Gutiérrez	4.59	4.91	5.3	5.64	5.86	6.16	6.53	6.76	6.73	4.26	4.36	4.91
35	ASADA San Blas	7.46	7.79	7.8	8.48	8.43	8.47	8.53	8.89	8.81		7.38	
36	San Blas-Pablo Gutiérrez	7.15	7.50	7.5	8.18	8.01	8.19	8.21	8.55	8.48	6.75	6.98	6
37	Asada Nuevo Colon		7.35	7.4			7.34	7.25			6.75		6.95

N°	Nombre del POZO	2020											
		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1	Desconocido (Nancital)	17.05	17.35	18			17.01	17.15		15.2	14.7		15.02
2	Nacascolo												
3	Ranchitos	11.8	14.8	18	20.4	22.06	23.92	22.25	13.45	3.85	2.92	1.75	3.03
4	Artola 1	9.92	10.13	10	10.8	10.8	10.7	10.59		9.08	8.4		7.22
5	Artola 2	11.12	11.48		12.1	12.16			11.29	9.83	9.55		
6	Artola 3	8.2	8.4	8.5	8.8	8.85	8.82	8.55	7.12	7.52	7.08	6.22	6.46
7	Artola 4	9.78	10	10	10.5	10.55	10.3	10.1	6.9	8.8	8.27	6.38	7.66
8	Artola 5						8.3	8.1	4.99		7	5.4	
9	Artolita	8.59	8.05										
10	ASADA Playones												
11	Víctor Ampié	7.82	7.92	8.1	8.2	8.29	8.17	7.92	7.03	7.02	6.77	5.93	5.86
12	Madolina Contreras							9.97		4.35	4.32		4.45
13	Colegio de Sardinal CN9	6.07	6.53	6.9	7.19	7.14	6.59	6.28	3.5	3.69	3.53	2.09	3.52
14	Chilolos												
15	EXPORPACK S.A CN233		7.21	7.1	7.11	7.36	6.39	6.27	6.12	4.43	4.25	3.06	
16	EXPORPACK S.A CN234		7.08	7.1	7.1	7.23	6.36	6.22	6.05	4.22	4.05	2.9	
17	EXPORPACK S.A CN370	7.32	6.95	7.6	6.99	7.18	6.33	6.04	6.03	4.26	4.12	2.88	5.05
18	EXPORPACK S.A CN171				4.7	3.68	1.14	1.4	0.65	0.25	-0.18		1.27
19	EXPORPACK S.A CN134				5.38	5.66	4.32	4	3.88	2.45	2.15	1.15	2.8
20	EXPORPACK S.A CN317	5.11	5.38	5.7	5.64	5.79	5.17	5.11	4.98	3.24	3.08	2.07	2.26
21	Comunal-AyA (Uso) CN85												
22	Comunal-AyA CN87					10.02							
23	Nuevo Colon (Centro Educativo)		6.49		6.67	6.98	6.73	6.42			5.84	5.21	5.78
24	Lomas del Mar S.A CN613				11		12.57	2.82	6.41	3.17	2.87	2.42	3.02

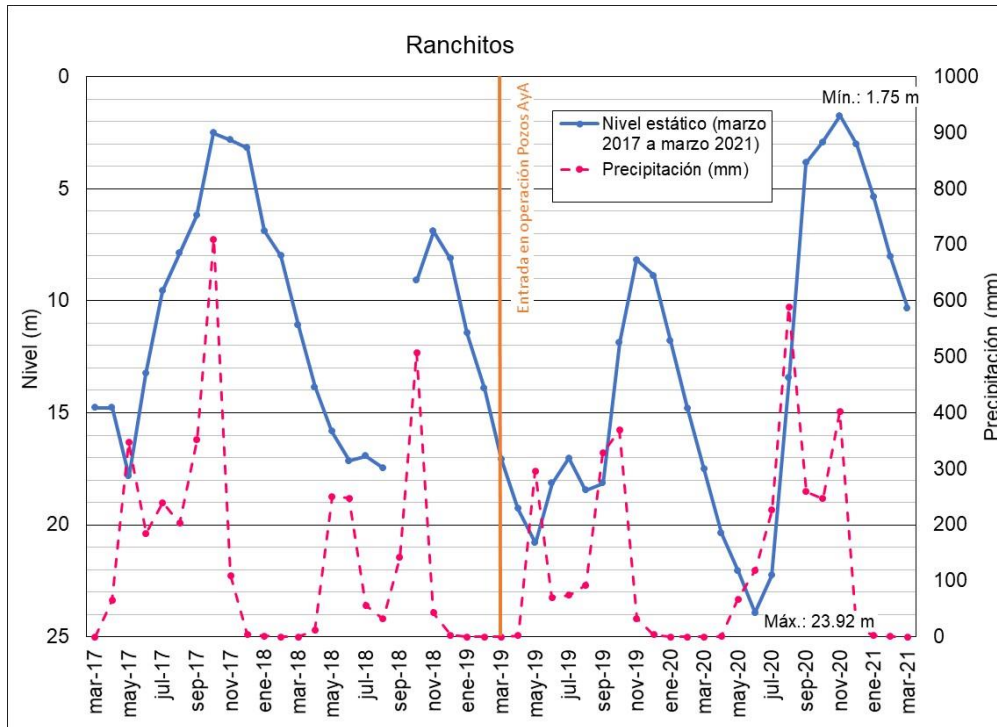
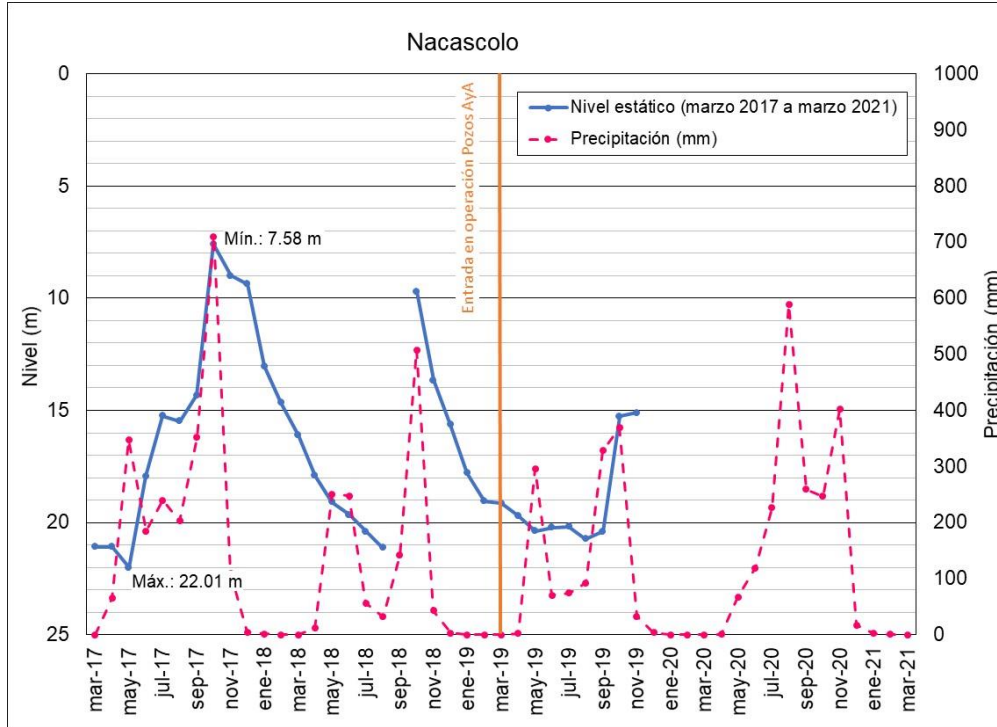
N°	Nombre del POZO	2020											
		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
25	Sistemas Productivos M.I. S.A. CN613-A						21.77	21.54	6.38	11.85	11.1	9.55	11.75
26	Lomas del Mar S.A.	6.12	7.39	8.7	10.1	10.7	11.89	12.29	5.66	2.74	2.54	1.99	2.68
27	EXPORPACK S.A. CN507		4.47	4.5	4.74	5.1	3.42	3.1	3.06	2.4	2.44	1.66	3.03
28	Colegio de Sardinal 2 CN207	6.05	6.5	6.9	7.3	7.45	6.5	6.75	3.85	3.65	3.5	2.07	3.88
29	Los Corralones	6.54	6.5	6.7	7.07	7.37	6.6	6.55	4.43	6.25	6.09	5.17	6.18
30	Hacienda Balvina S.A.				15.7	16.5	15.32	14.97	12.45	12.15	11.5	10.67	11.52
31	Vivero Shekina	8.3	7.53	7.8	8.1	8.35	8.08	8.15	3.85	5.54	4.38	1.65	1.97
32	Finca Doc. Rivas	12.3	12.71	13	13.7	14.03	14.78	16.08	12.19	9.87	7.42	3.43	3.44
33	Miguelina Ruiz Gorgona	4.88	5.18	5.6	6.24	6.54		7.02		4.01	3.96	3.12	4.11
34	Jerónimo Socorro Gutiérrez	4.69	4.91	5.2	5.72	5.99		6.24	3.1	3.98	3.98	3.21	4.11
35	ASADA San Blas				9.28		8.33	8.51	5.75	6.38	6.18		
36	San Blas-Pablo Gutiérrez	7.86	8.19	8.6	8.95	9.03	8	7.95	5.27	6.03	5.85	4.95	6.1
37	Asada Nuevo Colon							6.82	5.26	6.17			6.15

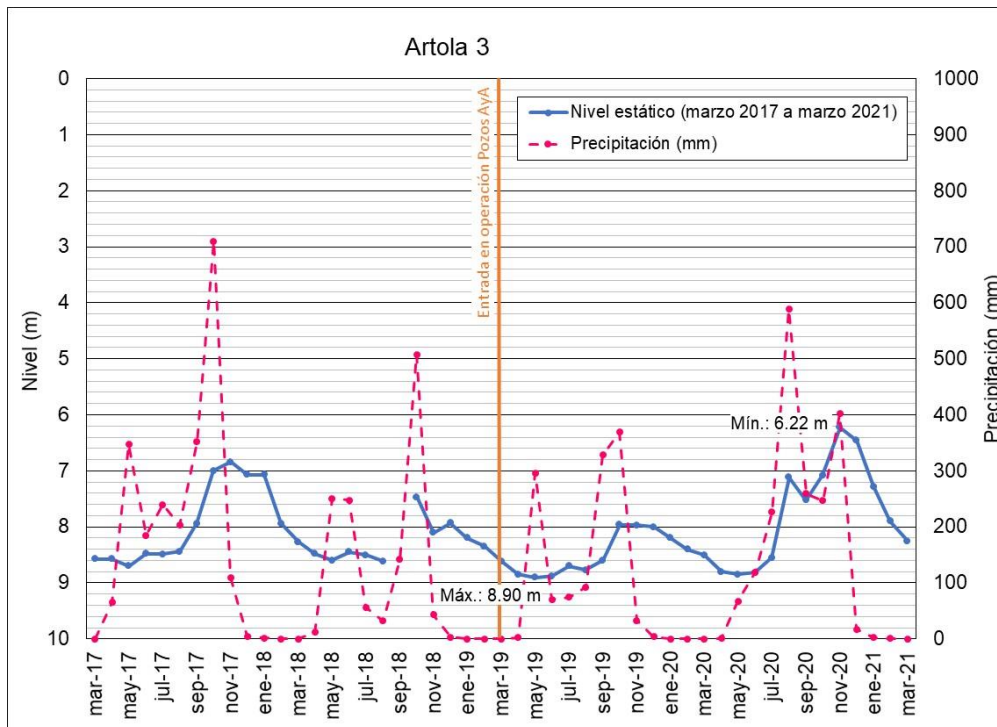
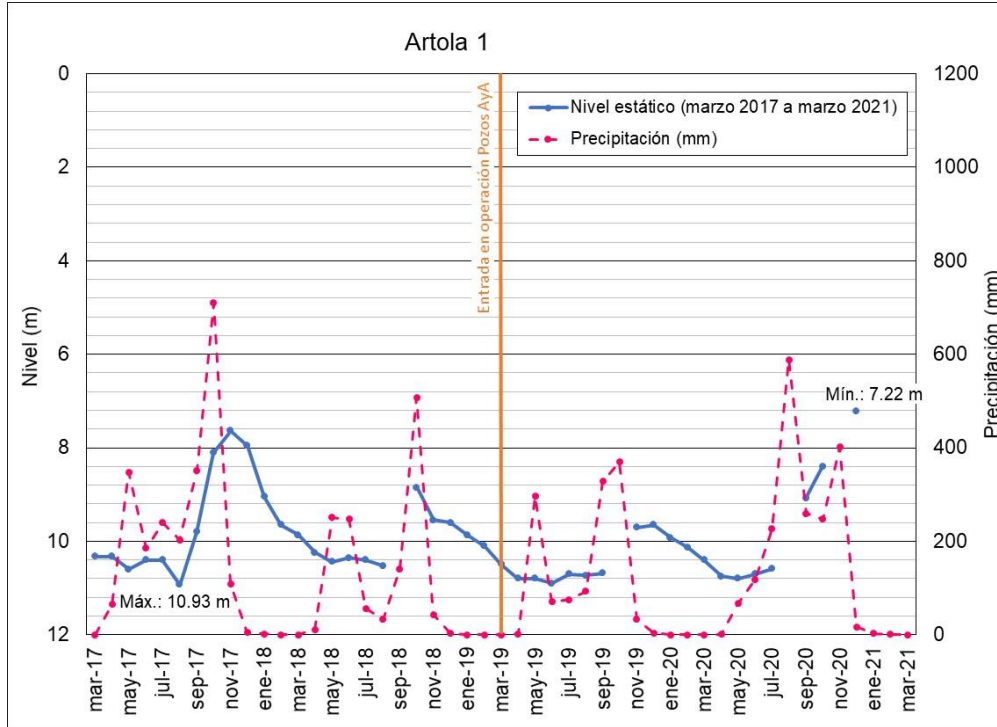
N°	Nombre del POZO	2021											
		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1	Desconocido (Nancital)	15.95	16.33	17	16	17.28							
2	Nacascolo												
3	Ranchitos	5.35	8.02	10	11.6	14.88							
4	Artola 1												
5	Artola 2												
6	Artola 3	7.28	7.9	8.3	8.33	8.57							
7	Artola 4	9.03	8.6	8.1	9.92	9.99							
8	Artola 5	8.8											
9	Artolita												
10	ASADA Playones												
11	Víctor Ampié	7.63	7.97	8	7.02	8.17							
12	Madolina Contreras	4.78	5.95		6.7	8.35							
13	Colegio de Sardinal CN9	4.62	5.21	5.6	5.91	6.3							
14	Chilolos												
15	EXPORPACK S.A CN233				6.76								
16	EXPORPACK S.A CN234												
17	EXPORPACK S.A CN370	6.22	6.72	6.9	6.85	7.15							
18	EXPORPACK S.A CN171	1		1.9	1.4								
19	EXPORPACK S.A CN134	4.04		4.8	4.67								
20	EXPORPACK S.A CN317	4.14	2.64	4.9	5.02	5.26							
21	Comunal-AyA (Uso) CN85												
22	Comunal-AyA CN87												
23	Nuevo Colon (Centro Educativo)	6.09	5.39	6.7	5.62	6.71							
24	Lomas del Mar S.A CN613												
25	Sistemas Productivos M.I. S.A. CN613-A	13.7	15.65	17	17.5	20.51							

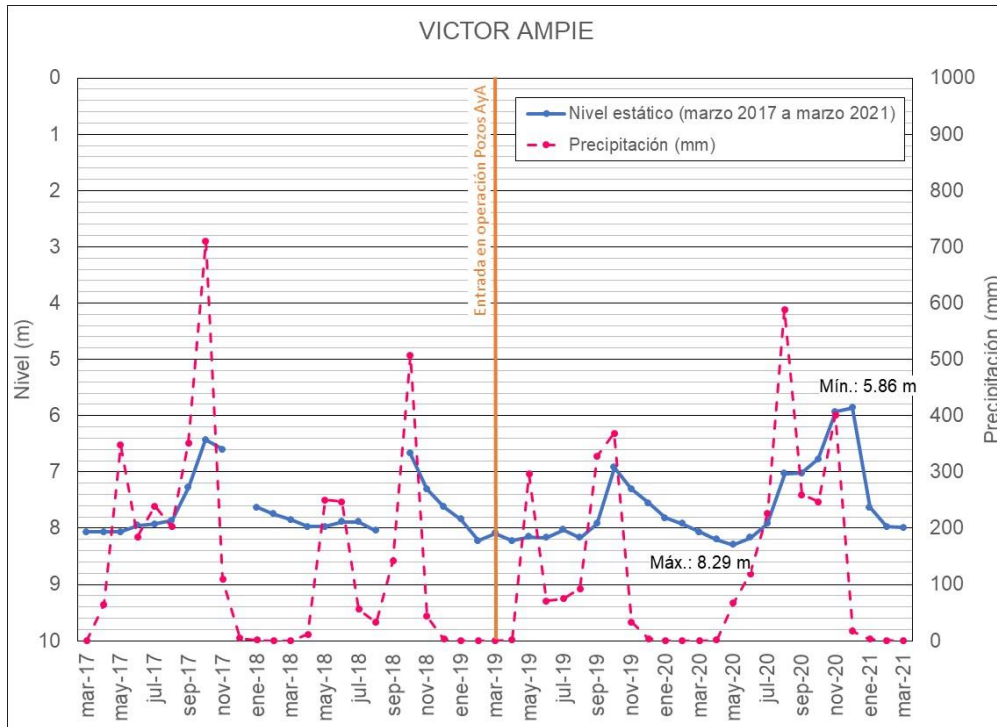
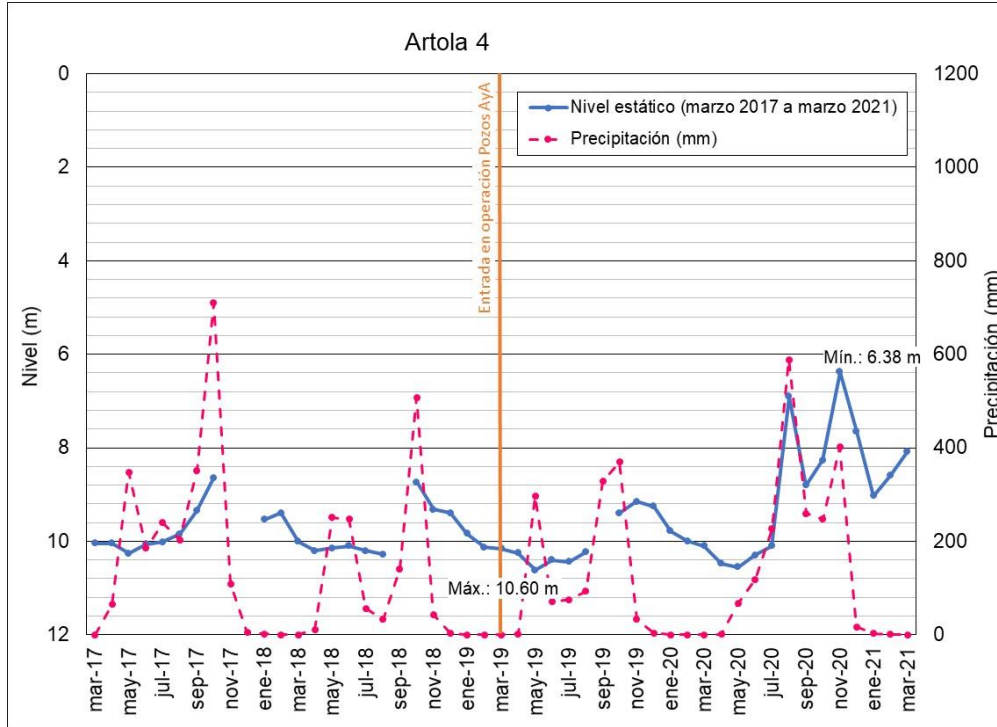
N°	Nombre del POZO	2021											
		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
26	Lomas del Mar S.A.	5.23	5.59	8	11.2	10.47							
27	EXPORPACK S.A. CN507	3.45	3.8	4.1	3.77	4.2							
28	Colegio de Sardinal 2 CN207	4.61	5.2	5.9	6.27	6.54							
29	Los Corralones	6.46	5.9	6.6	6.61	6.75							
30	Hacienda Balvina S.A.	13.96	14.82	15	14.4	15.55							
31	Vivero Shekina	3.58	4.4	5	5.5	6.24							
32	Finca Doc. Rivas	4.49	5.82	7	8.21	9.91							
33	Miguelina Ruiz Gorgona	4.36	4.69	5.1	5.33	5.91							
34	Jerónimo Socorro Gutiérrez	4.35	4.56	4.7	4.96	5.36							
35	ASADA San Blas				7.55	7.95							
36	San Blas-Pablo Gutiérrez	6.75	6.88	7.2	6.95	7.35							
37	Asada Nuevo Colon			7		7.26							

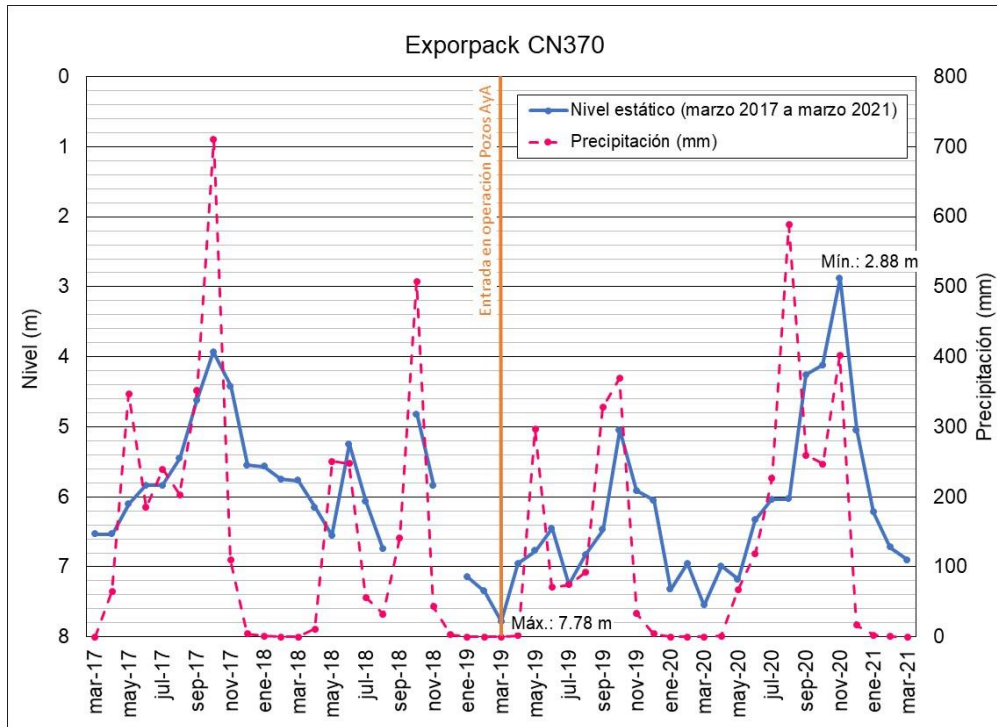
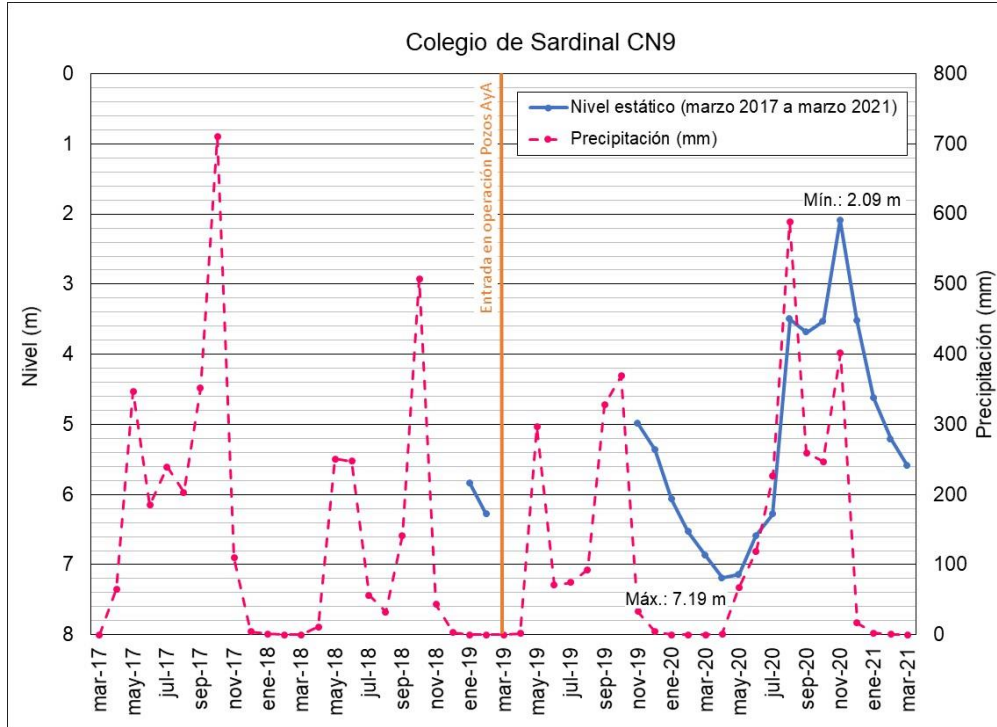


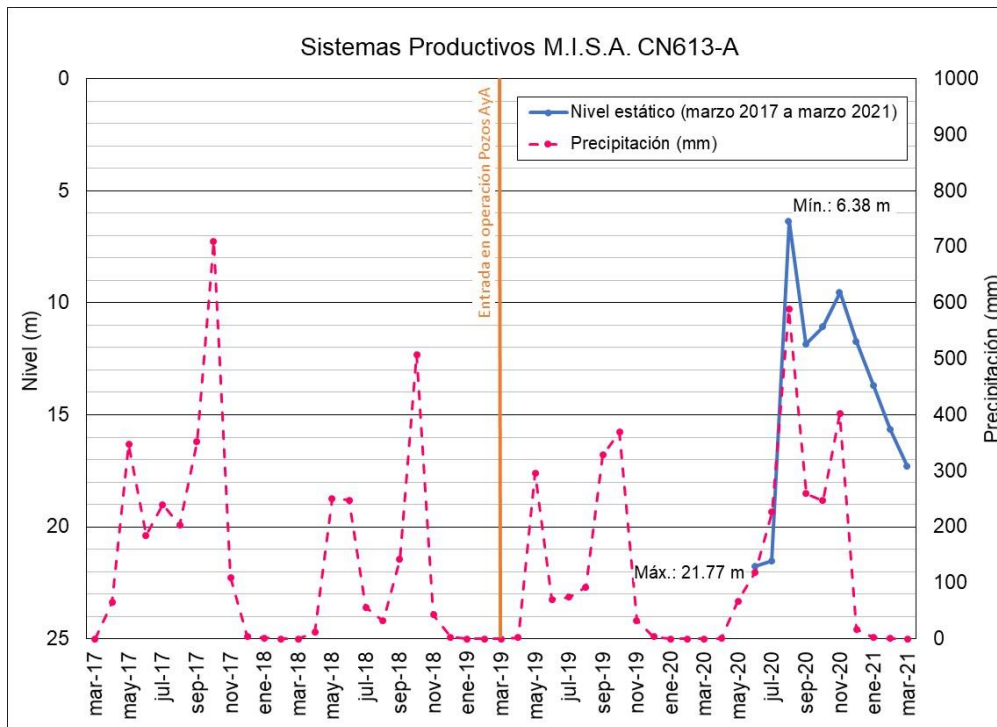
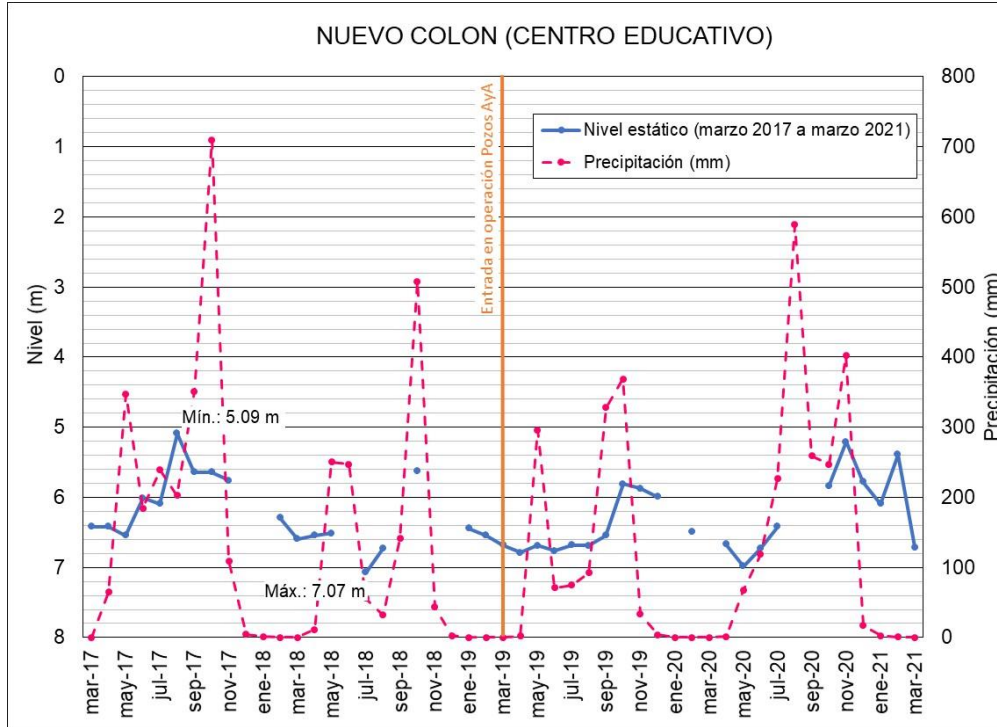
Anexo 2: Hidrogramas de los pozos considerados en el cálculo de la recarga.

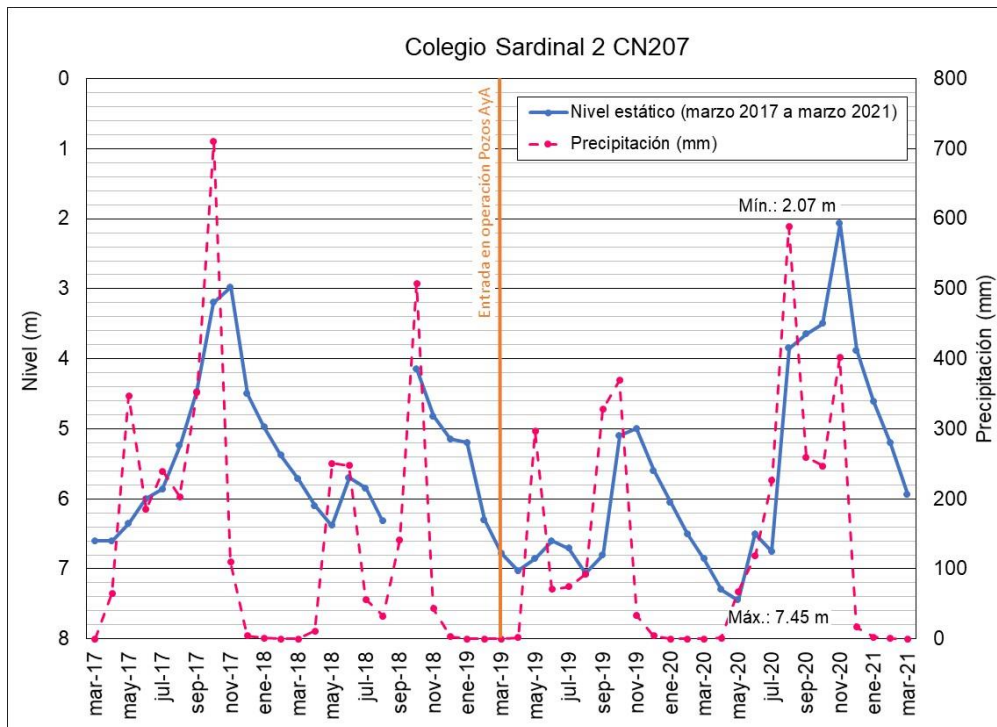
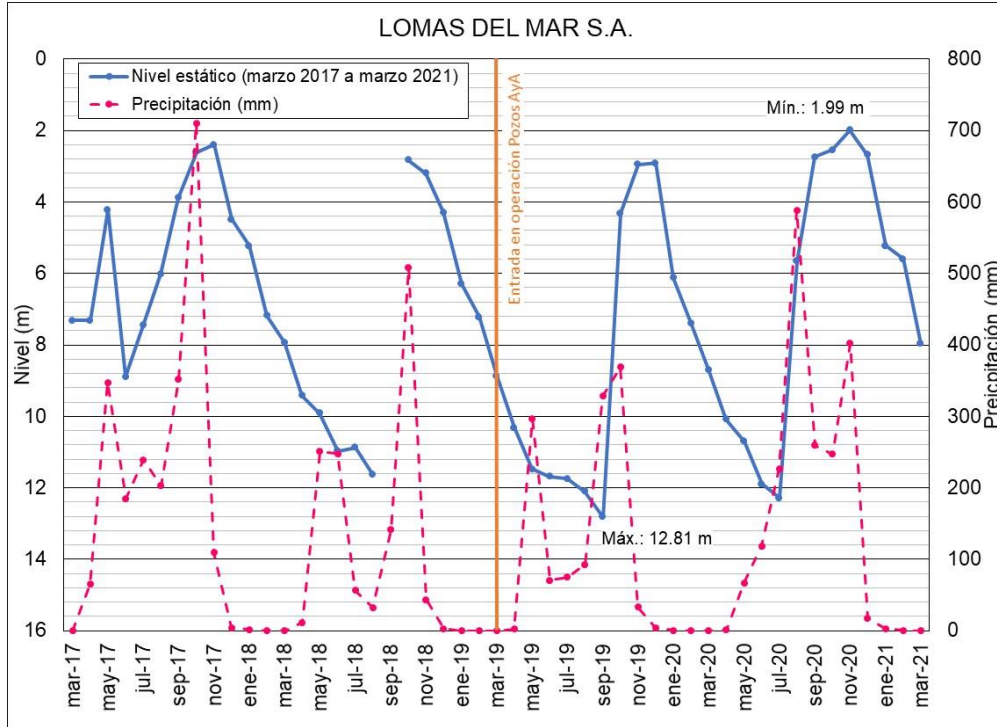


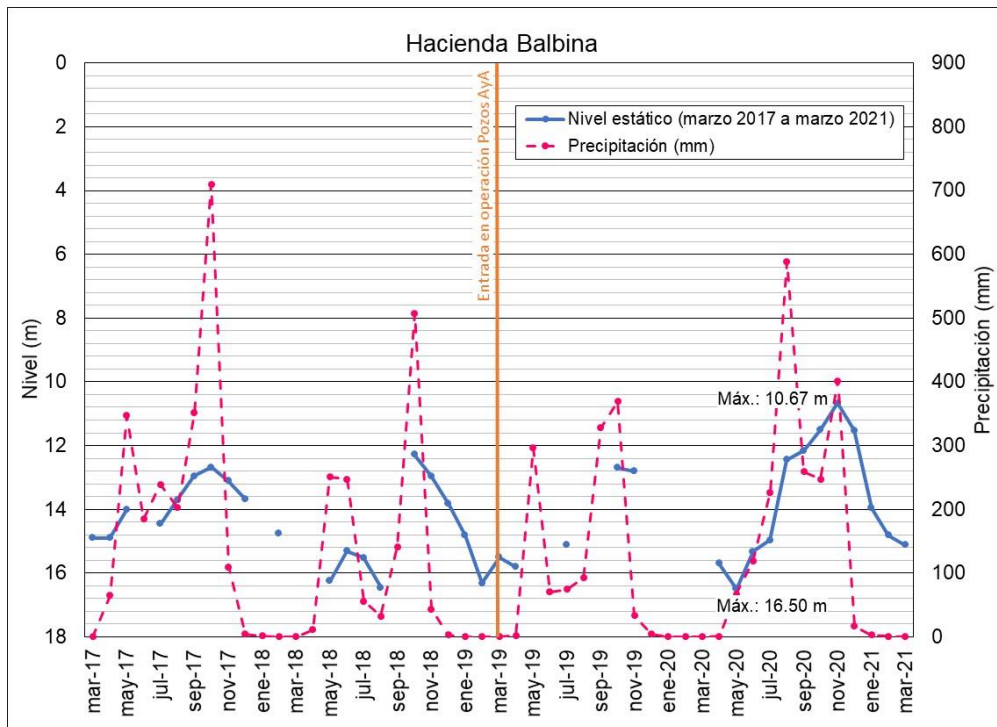
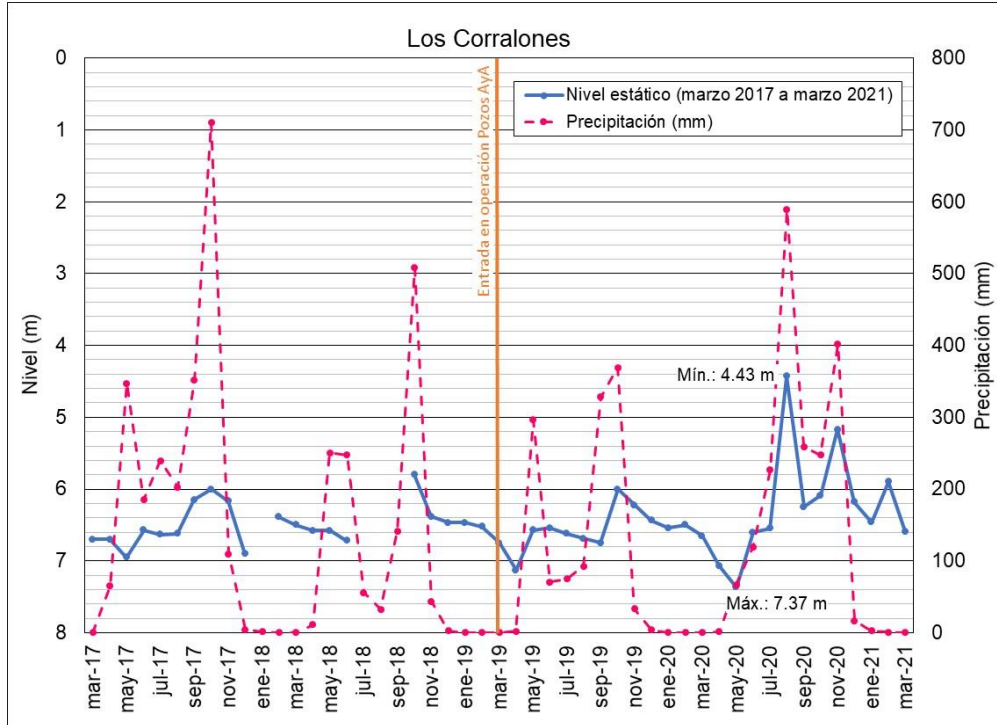


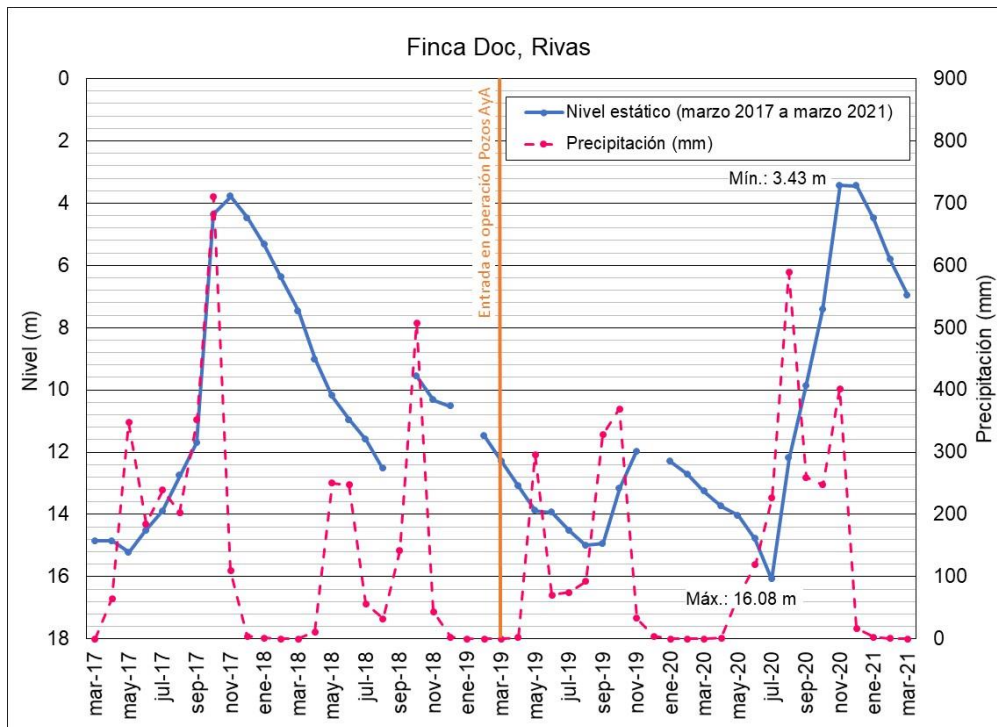
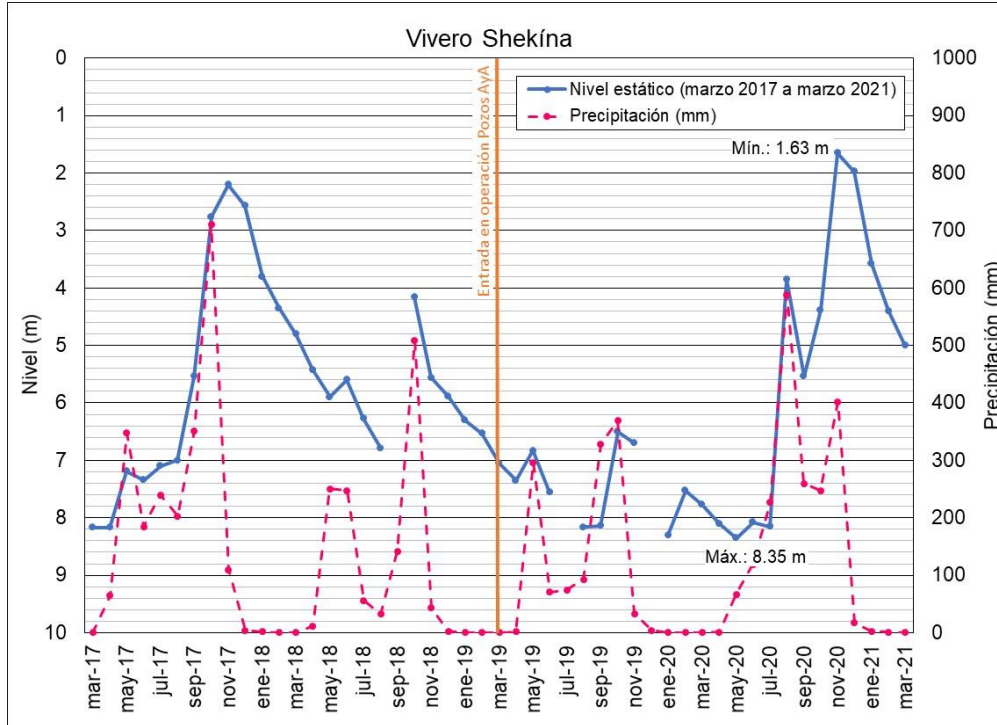


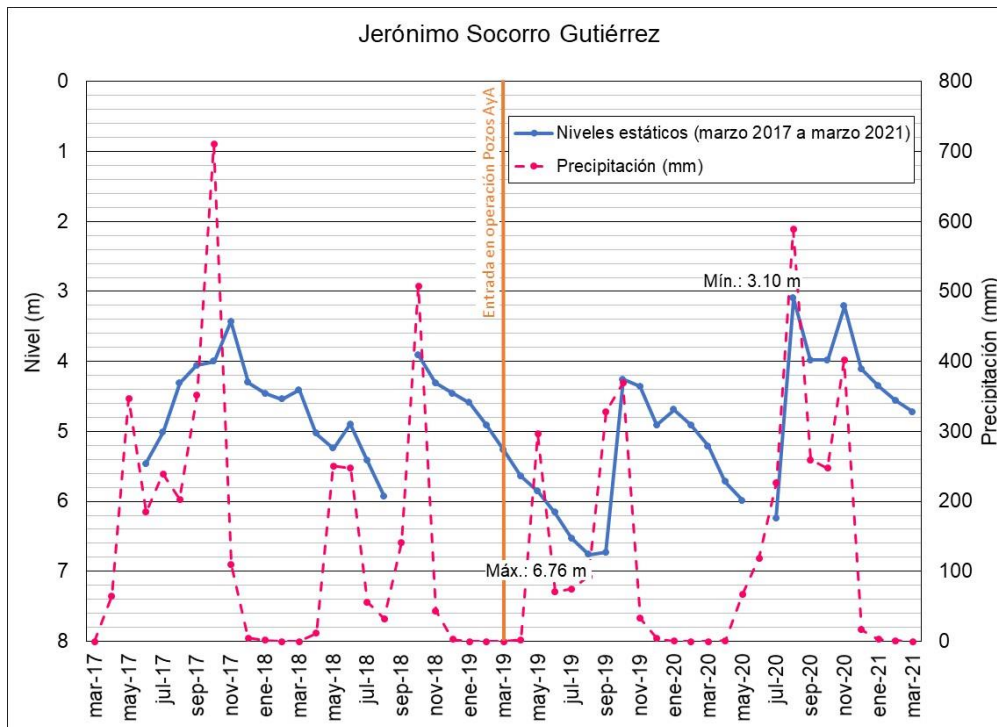
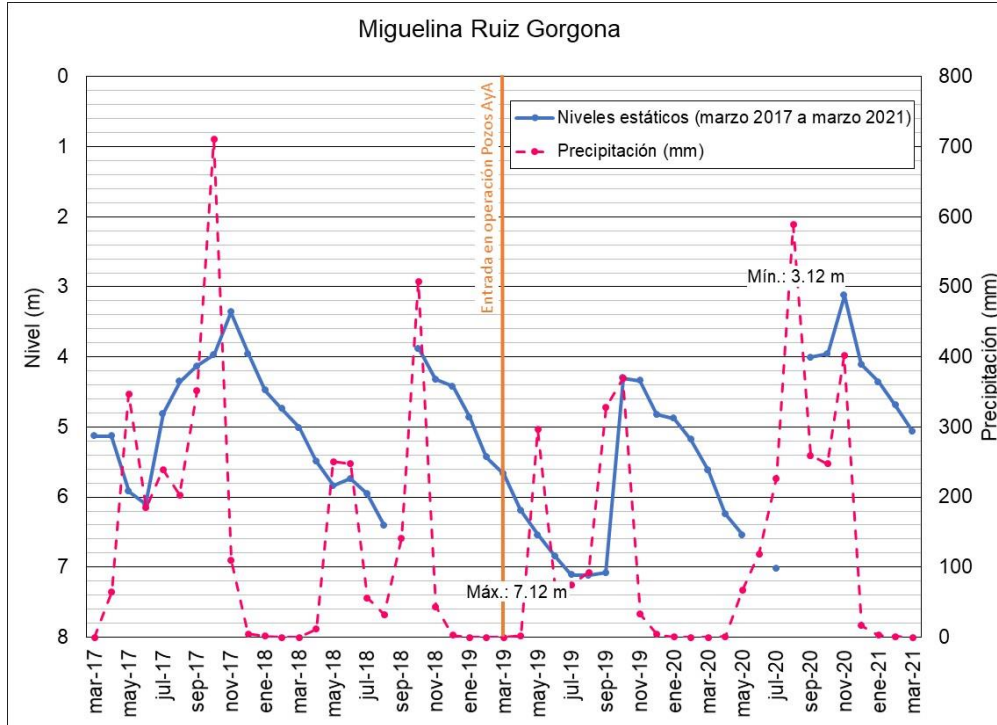














Anexo 3: Hidrogramas de los pozos con un conjunto de datos reducido.

