

**CONTRATO ENTRE
LA MANCOMUNIDAD DE LOS CANALES DEL TAIBILLA Y
LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA**

SEGUIMIENTO Y VIGILANCIA AMBIENTAL DEL SALADAR DE AGUA AMARGA Y SU
ENTORNO. HIDROGEOLOGÍA
INFORME TRIMESTRAL PERÍODO enero-marzo de 2024



Cartagena, mayo de 2024

TRABAJO DE CAMPO Y ELABORACIÓN DEL INFORME:

Dr. Iván Alhama Manteca (investigador responsable Hidrogeología)

Área de Ingeniería del Terreno del Departamento de Ingeniería Minera y Civil. EICM-UPCT.

Dr. José Álvarez Rogel (investigador responsable flora, vegetación y suelos)

Grupo de Investigación Edafología Ambiental, Química y Tecnología Agrícola

Departamento de Ciencia y Tecnología Agraria. ETSIA-UPCT.

TRABAJO DE CAMPO HIDROGEOLOGÍA:

Responsable, Dr. Iván Alhama Manteca (UPCT)

Colaborador, Dr. José Antonio Jiménez Valera (UPCT)

TRABAJO DE CAMPO Y LABORATORIO FLORA, VEGETACIÓN Y SUELOS:

Dr. José Álvarez Rogel, Dra. María Nazaret González Alcaraz, Dr. Héctor Miguel Conesa Alcaraz, Dr. Juan José Martínez Sánchez y Dña. Vanesa Izquierdo Encinas (técnico de laboratorio).

Asistencia Técnica: Dr. Francisco José Jiménez Cárceles y D. José Manuel Vidal Gil (Biocyma, Consultora en Medio Ambiente y Calidad, S.L.)

Foto de portada punto riego en estero norte Z-II, abril de 2024.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	5
2. METODOLOGÍA	10
3. CLIMATOLOGÍA	11
4. EXPLOTACIÓN DE LAS DESALADORAS	14
5. RIEGOS EN LAS SALINAS	18
6. EVOLUCIÓN DE LA PIEZOMETRÍA, CONDUCTIVIDAD Y TEMPERATURA EN LOS PUNTOS DE CONTROL	22
6.1. PIEZOMETRÍA.....	22
6.1.1. Mapas de isopiezas (21/03/2024)	22
6.1.2. Gráficos de variaciones piezométricas	24
6.1.3. Mapa de isopropiedades del agua subterránea (21/03/2024)	30
6.2. CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA Y TEMPERATURA.....	33
6.2.1. Mapa de isoconductividad a 10 m de profundidad (21/3/2024)	33
6.2.2. Evolución temporal de la conductividad y temperatura a 10 m de profundidad.	35
6.2.3. Variaciones de la temperatura en profundidad	46
7. RESUMEN, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	49
8. BIBLIOGRAFÍA	52
9. ANEXOS	55

1. INTRODUCCIÓN

En el año 2005 se confeccionó el “Proyecto de Ampliación de la Desaladora de la Mancomunidad de los Canales del Taibilla en Alicante. Nueva Desaladora del Canal de Alicante (AC/Alicante)” realizado para la MCT por la UTE: Aquagest Levante, S.A., Sedelam, INATE, Eppa, PROINTEC y Z_Org. Durante el desarrollo de este se llevaron a cabo numerosos sondeos verticales de investigación ubicados estratégicamente.

La existencia del Saladar de Agua Amarga, que constituye una Zona Húmeda Protegida, planteaba un problema, ya que el replanteo de las perforaciones podría producir un impacto ambiental. La solución encontrada fue la de construir un túnel de 1.000 m de longitud paralelo a la costa, subyacente a parte del Saladar, y en su interior realizar hasta 104 drenes inclinados de corto alcance. Así mismo, se perforaron 11 PHD por debajo del mar; 3 que arrancan junto a la boca de entrada del túnel y 8 junto a la de salida, con longitudes entre 350 a 500 m.

Las características de estas captaciones se recogieron en el informe parcial, realizado por la Universidad Politécnica de Cartagena (en adelante UPCT) en noviembre del 2008 para la Mancomunidad de la Canales del Taibilla (en adelante MCT), denominado: “Estudio hidrogeológico de las obras de captación de la Desaladora de Alicante II”; fruto de este informe fue la publicación “La captación de agua marina de la Desalinizadora de Alicante II: Un desafío tecnológico, consecuencia del respeto al medio ambiente” (Rodríguez Estrella *et al.*, 2007). A principios del año 2008 se dieron por terminado las obras de captación de agua de mar para abastecer a la Desaladora de Alicante II (en adelante DA-II); si bien la explotación global no se inició hasta el 4 de octubre del 2008 (el 31/7/08 ya se puso en marcha los sondeos del túnel y los tres neodrenes de la boca de entrada).

Para ver la influencia que podrían ejercer las extracciones del túnel al acuífero de Agua Amarga (los neodrenes de PHD no afectan a los acuíferos terrestres) era necesario instalar una red de control de las aguas subterráneas y analizar las variaciones de piezometría y de calidad química en dicho acuífero y, especialmente, en la zona relacionada con el Saladar. Los sondeos de control se perforaron en dos etapas: una primera, de 6 piezómetros (P-1 a P-6), entre el 15 y 30 de septiembre del 2007, y una segunda de los 10 restantes (P-7 a P-16), entre febrero y marzo del 2008. Se cogió, además, como piezómetro, el sondeo D-2, el único que quedaba útil perteneciente a la etapa de investigación, previa a la construcción del túnel. Por tanto, la red vinculada a la DA-II estaba formada entonces por 17 piezómetros y se viene tomando en ellos medidas mensuales de piezometría y de conductividad y temperatura, en toda la columna de agua y cada metro, desde 15/5/08.

1.1 . ESTUDIO DE LOS IMPACTOS DE LAS EXTRACCIONES DE AGUA SOBRE EL ACUÍFERO

En abril del 2009 la UPCT realizó para la MCT el primer “Estudio sobre las variaciones piezométricas y de calidad química registradas en el acuífero de Agua Amarga, con motivo de la puesta en marcha del túnel de la Desaladora de Alicante II”; fruto de dicho informe fue la publicación “Hydrogeology control of the Agua Amarga aquifer and nearby wetland as regards the Alicante I and II desalination plants” (Alhama I. *et al.*, 2010a y Alhama I. *et al.*, 2010b). Tanto en el informe como en la publicación, referidos en el párrafo anterior, se ponía de manifiesto que con la puesta en explotación de los pozos del túnel se habían producido descensos piezométricos, a la vez que la conductividad había disminuido, por la penetración del agua del mar en el acuífero, de menor salinidad que la del Saladar. Ante la posibilidad de que estos hechos pudieran afectar a los ecosistemas del espacio protegido del Saladar de Agua Amarga, en dicho informe se recomendaba: 1) extender el periodo de vigilancia de las medidas de salinidad y piezometría, 2) que las observaciones se ampliasen al entorno de las captaciones de la Desaladora de Alicante I (en adelante DA-I), 3) ampliar la red de control mediante la perforación de 5 sondeos a testigo continuo con instalación de piezómetros y 4) realizar un modelo matemático de flujo de agua con transporte de soluto del acuífero costero de Agua Amarga con el fin de predecir comportamientos en distintas situaciones y poder aplicar medidas correctoras adecuadas con suficiente antelación”.

En cuanto a la primera recomendación hay que decir que se ha cumplido con la realización de sucesivos proyectos prorrogables, cuyo título común ha sido: “Seguimiento piezométrico y de calidad química del acuífero del Saladar de Agua Amarga en el entorno de las captaciones de las desaladoras de Alicante I y II”. Se vienen redactando informes, anuales, semestrales y mensuales (estos últimos desde agosto del 2011), con relación a los datos de los respectivos periodos; así, ya se han confeccionado los correspondientes a los periodos: intermedios (semestrales) 8/5/9-9/1/10, 9/1/10-7/7/10, 7/7/10-11/1/11, 2/7/12-27/12/12, 3/7/13-3/1/14, 1/7/14-12/1/15; anuales 7/7/10-11/7/11 y 11/7/11-2/7/12; 2/7/2-3/7/13; 3/7/13-1/7/14 y mensuales desde el 9/8/11.

Respecto a la segunda recomendación hay que decir que, desde febrero del 2010, se toman medidas en 3 pozos inactivos (pero útiles) de la Desaladora de Alicante I, (DI-4, DI-12 y DI-18) y en un sondeo de investigación (I-3), que se encuentra desaparecido desde octubre de 2015; para la elección de estos piezómetros ha habido que realizar una nivelación de precisión de ellos y, sobre todo, un análisis hidrogeológico de los mismos, mediante el estudio de los informes preexistentes. Por tanto, los puntos de control de la DA-I son 3.

Atendiendo a la tercera recomendación se perforaron 5 sondeos más entre septiembre y diciembre del 2010, cuyas características se incluyeron en el informe semestral 7/7/10-11/1/11. A partir del 4/6/10 se incorporaron dos captaciones de particulares en desuso, P-30 (pozo ordinario) y P-31 (sondeo), situados a 2.100 y 3.500 m respectivamente de la línea de costa, con objeto de ver cuál es el radio de influencia del conoide de las captaciones de las dos desaladoras; se analizaron por primera vez en el informe 7/7/10-11/1/11. Con el tiempo se han tenido que abandonar una serie de puntos de control, por inutilización, especialmente junto a la playa (P-9, P-11, P-12, P-13, P-14, P-15, P-16 e I-3) y los 2 situados en la zona alejada del mar, ya metida en el continente (P-30 y P-31). Por último, a partir del 3/7/13, las medidas tomadas en el P-17 son erróneas, ya que ha sido parcialmente cegado. En consecuencia, la red de control en 2015 estaba constituida por tan solo 17 puntos.

Respecto a la cuarta recomendación, al modelo matemático de flujo y de dispersión fue desarrollado por Iván Alhama Manteca, que fue doctorando en este proyecto con la autorización de la MCT, en su tesis doctoral: “Relaciones hidrogeológicas y medioambientales entre el Mar Mediterráneo, El Saladar y el acuífero de Agua Amarga (Provincia de Alicante). Incidencia de las explotaciones de las desaladoras de Alicante I y II y medidas correctoras”, leída el 25 de abril del 2011 (Alhama I., 2011).

Con el fin de restablecer el nivel piezométrico del acuífero situado bajo el Saladar de Agua Amarga, preservar la humedad del medio y evitar la excesiva desecación del suelo y por tanto al deterioro del ecosistema, a partir del 9-12-09 se ha procedido a realizar unos riegos con agua del mar. El programa de riego se realiza en las antiguas balsas salineras, que llamaremos esteros. Para llevar a cabo estas actuaciones el área se dividió en cuatro zonas de riego, según figura en el Anejo N°3, Estudio de Recuperación del Saladar de Agua Amarga, perteneciente al Estudio de Impacto Ambiental de la Ampliación del IDAM del Canal de Alicante (2005). Como consecuencia de una queja emitida por parte del Aeropuerto del Altet, que argumentó que el encharcamiento del Saladar atraía a las gaviotas y podrían ocasionar accidentes en los aviones, en una reunión celebrada el 15/9/10 con representantes de diversos organismos públicos, se decidió reducir los volúmenes de riego de agua de mar y limitarlos a solo ciertas temporadas del año.

Entre septiembre de 2016 y abril de 2018, no se ha realizado seguimiento de la piezometría y salinidad en el entorno del saladar de Agua Amarga. El 5/04/2018 tuvo lugar la firma del nuevo convenio de colaboración entre la UPCT y la MCT que salió publicado en la Disposición 5316 del BOE del miércoles del 18 de abril de 2018. El objeto de este nuevo convenio de colaboración nace al amparo de los trabajos de seguimiento realizados desde 2009; el seguimiento y vigilancia ambiental del saladar de Agua Amarga y su entorno en lo que se refiere a aguas subterráneas, vegetación y suelos. La red de

control actual se encuentra integrada por un total de 15 piezómetros de control: P-1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 10, 18, 19, 20, D-7, DI-4, DI-12 y DI-18. Los piezómetros P-21, P-22 y P-23 desaparecieron a lo largo de los meses de abril-julio de 2019 debido a las obras de ampliación de la incorporación de desde la carretera del aeropuerto a la nacional Alicante-Torrevieja). El piezómetro P-7 muestra valores anómalos en los últimos dos años, por lo que se descarta de la serie desde junio de 2021. Por otra parte, en junio de 2019 se llevaron a cabo obras de mejora de los piezómetros P-4, P-5, P-10 y P-11, instalando arquetas para evitar el deterioro de la boca del piezómetro (ver informe abril-junio de 2019). El acceso al piezómetro P-4 es impracticable durante los meses de junio, julio y agosto debido al exceso de vegetación en el camino de acceso junto a la valla y a la proliferación de insectos. Se ha solicitado a la MCT que se acondicione el acceso para poder retomar las lecturas. Desde octubre de 2022, el piezómetro P-18 se encuentra obstruido, por lo que hubo que improvisar la forma de desatascarlo mediante la introducción de varillas de PVC de 3 m de longitud que se conectaron unas con otras hasta conseguir arrastrar el elemento obstructor hasta alcanzar los 20 m, recuperando así 6 m de piezómetro (ver informe del trimestre anterior). El piezómetro P-6 ha sido obstruido nuevamente, en su interior hay piedras y fragmentos de EPS. En la campaña de agosto se consiguió desatascar mediante procedimientos similares y se ha conseguido alcanzar la profundidad de 10 m.



Operaciones de limpieza en el piezómetro P-3 (enero de 2024)

El P-19 sigue presentando olores muy fuertes a residuos orgánicos y en la campaña de junio se encontraba obstruido. Dado que además se probó su contaminación de origen orgánico con el resultado de los análisis practicados a una muestra de agua (ver informe del primer trimestre de 2023), se abandona el pozo y se propondrá su cierre para evitar que prosiga la contaminación del acuífero.

En las campañas de enero-marzo de 2024 se han utilizado dos equipos de medida y tomas de muestra de agua para calibrar las desviaciones detectadas en la sonda de campo.



Toma de muestra en P-11 y lectura comparativa de diferentes equipos en P-10 (marzo de 2024)

2. METODOLOGÍA

2.1 HIDROGEOLOGÍA

Las campañas de campo para la toma de datos de piezometría, salinidad y conductividad eléctrica se llevan a cabo durante la primera semana de cada mes y tienen una duración de uno o dos días. El procedimiento por seguir en cada uno de los puntos de control es el siguiente:

- Fotografía del punto de control.
- Ficha con anotaciones sobre el estado de cada piezómetro.
- Calibración de la sonda con dilución preparada.
- Registro de la profundidad de la capa de agua con el sensor piezométrico y anotación de la lectura.
- Lectura de datos de temperatura y salinidad a cada metro de profundidad y anotación.
- Cerrado del pozo y limpieza de la sonda.

Los datos se vuelcan en hoja Excel una vez en la oficina y se completan los perfiles de temperatura, salinidad y piezometría que posteriormente se utilizan en la elaboración del informe. Además, para la redacción del informe se hace uso de los datos proporcionados por Ayesa sobre el plan de riegos y las extracciones de las desaladoras, así como los datos de la estación termo-pluviométrica del aeropuerto del Altet (<https://www.tutiempo.net/>)

2.2 SUELOS

En este informe no se aportan datos nuevos relativos a suelos y vegetación. La información relativa a la campaña del segundo semestre de 2021 se entregará en el próximo informe.

3. CLIMATOLOGÍA

Para la redacción de este capítulo se han utilizado los datos meteorológicos de la estación termoplumiométrica de 'El Altet' del Aeropuerto de Alicante, que pertenece a la red nacional de AEMET, con código 83600. Ésta se encuentra situada a 1 km de distancia al suroeste de la zona de estudio, separada menos de 2 km de la línea de costa y a una altitud de 43 m s.n.m. La información es de acceso público y prepagado.

Para la serie 1973-2023 la temperatura media anual en la zona de estudio es de 18.3°, con un incremento promedio anual de 0.029°/año (Figura 3.1). Las precipitaciones anuales acumuladas se sitúan de promedio en torno a 300.5 mm/a (Figura 3.2) y la evapotranspiración potencial en 896 mm/a. Según la clasificación de Papadakis, el clima es del tipo mediterráneo semiárido subtropical-semicálido. En el gráfico de la Figura 3.3 se han representado los valores de precipitación (mm) y temperatura (°C) mensuales del periodo enero de 2010 – marzo de 2024. Durante dicho periodo se ha llevado a cabo el control piezométrico e hidroquímico del acuífero costero superior del saladar de Agua Amarga.

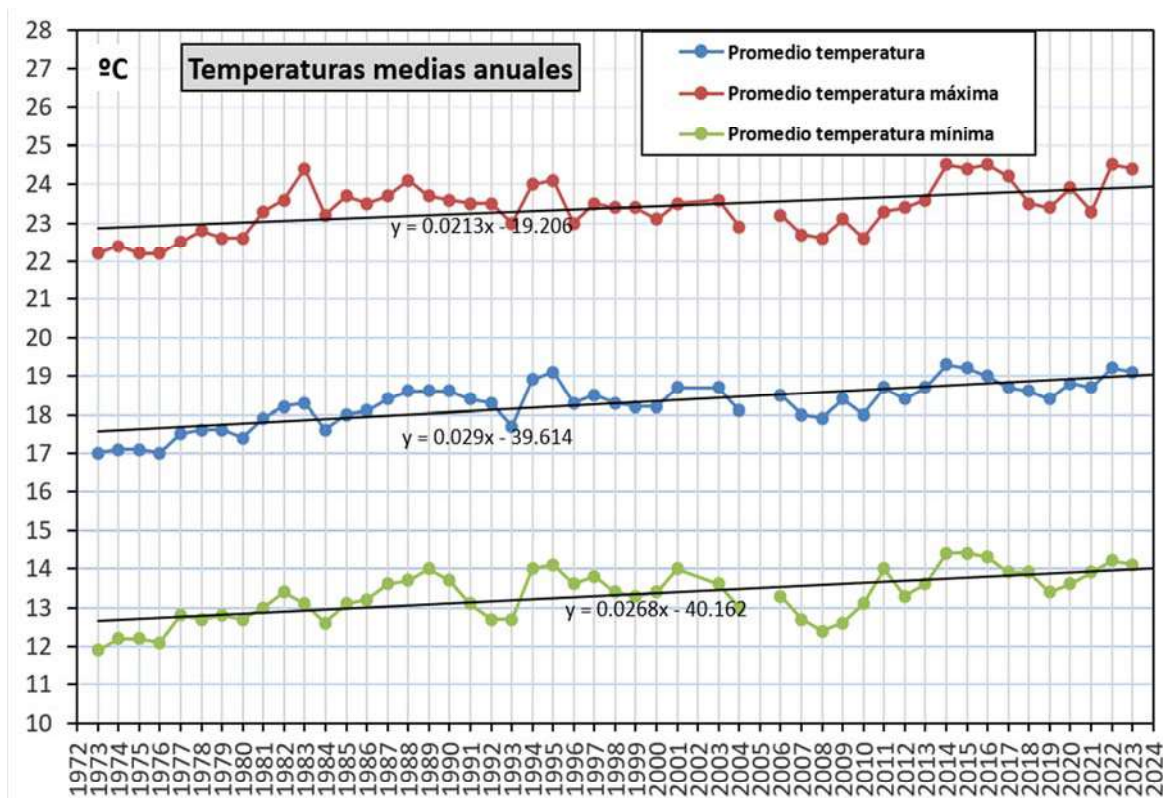


Figura 3.1. Temperaturas máximas, medias y mínimas medias anuales durante el periodo 1973 - 2023. Estación termoplumiométrica de "El Altet", Alicante

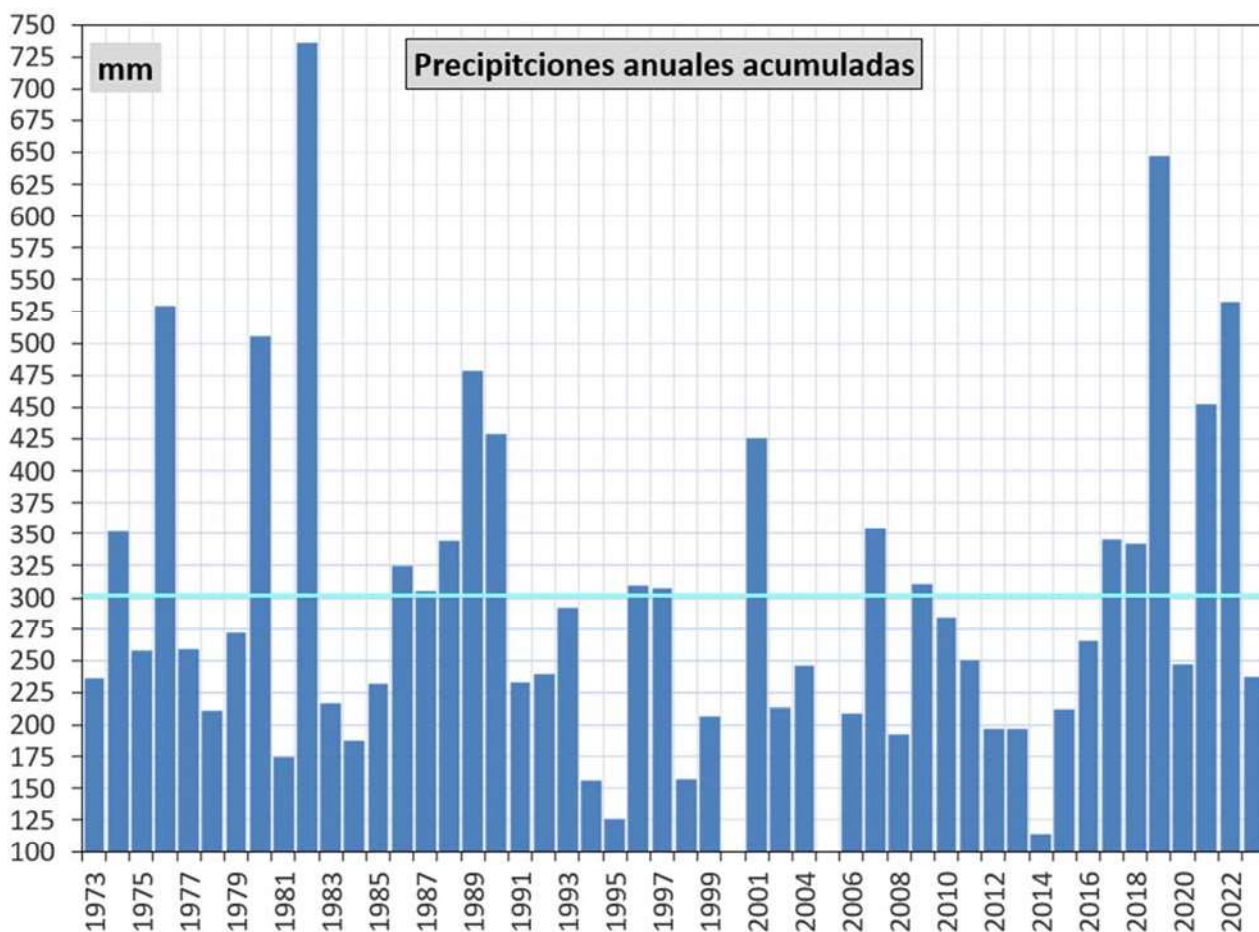


Figura 3.2. Precipitaciones acumuladas durante el periodo 1973 – 2023. No hay datos de 2000 ni 2005. Estación term pluviométrica de “El Altet”, Alicante

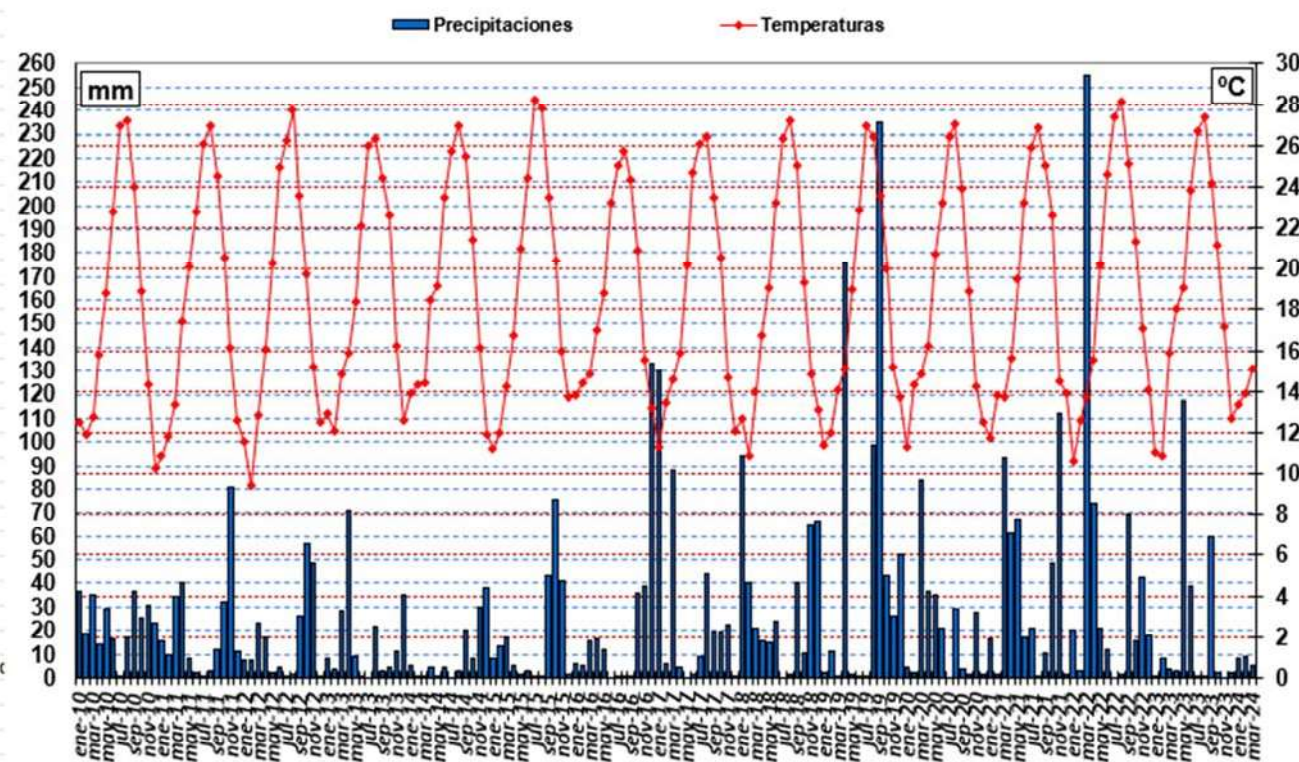


Figura 3.3. Precipitaciones y temperaturas medias mensuales durante el periodo enero 2010 – marzo 2024. Estación term pluviométrica de “El Altet”, Alicante

La temperatura media y las precipitaciones acumuladas del trimestre enero - marzo de 2024 han sido de 14.1 C° y 21.8 mm, respectivamente (Figura 3.4). Comparando con el mismo trimestre del periodo de lecturas 2008-2023, esta temperatura se encuentra por encima del promedio (12.8 °C) y las precipitaciones acumuladas son irrelevantes respecto al promedio de 90.5 mm (22.2 %).

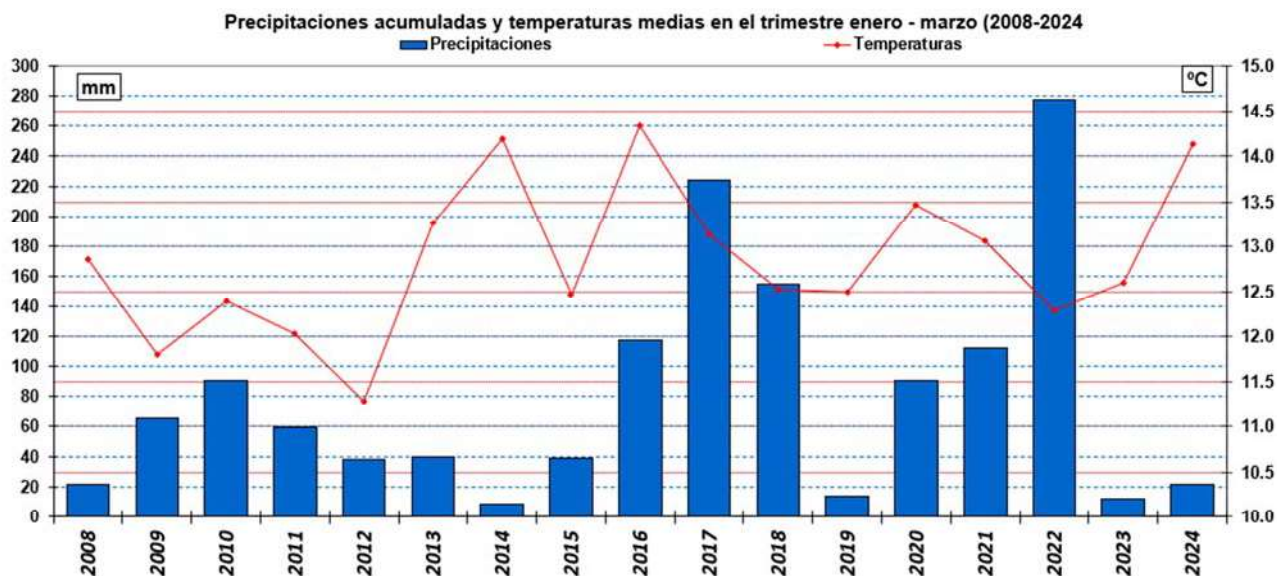


Figura 3.4. Precipitaciones acumuladas y temperaturas medias del trimestre enero-marzo del periodo 2008-2024. Estación termpluviométrica de "El Altet", Alicante

Los valores de precipitación acumulada de cada año hidrológico (septiembre-agosto) desde el inicio de la toma de datos (Figura 3.5), presentan un promedio de 313 mm. Durante el periodo existen años secos (2008-2009, 2010-2011, 2011-2012, 2013-2014, 2014-2015 y 2015-2016), años húmedos (2009-2010, 2016-2017, 2018-2019, 2021-2022) y años medios (2007-2008, 2012-2013, 2017-2018, 2020-2021 y 2022-2023).

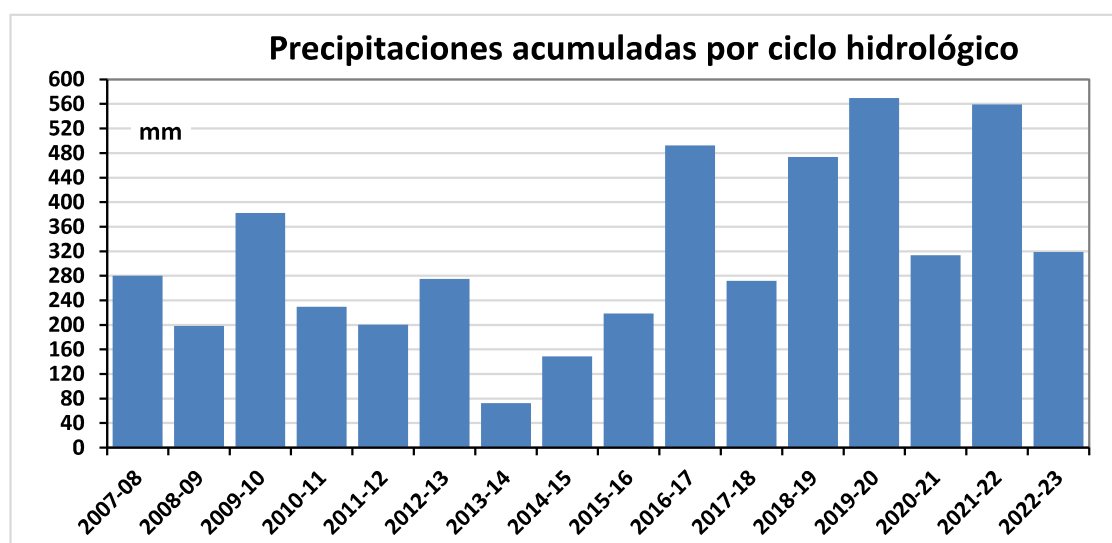


Figura 3.5. Precipitaciones acumuladas durante los años hidrológicos 2007-2023, computados de septiembre a agosto. Registros de la estación termpluviométrica de "El Altet", Alicante

4. EXPLOTACIÓN DE LAS DESALADORAS

4.1. EXPLOTACIÓN DE LA DESALADORA I

La desaladora de Alicante DA-I se abastece de agua de mar a partir de 33 pozos verticales, cuyas características se expusieron en el informe de julio 2010 - enero 2011. En la Figura 4.1 se muestra el volumen extraído del acuífero durante el periodo correspondiente al control piezométrico en la zona del Saladar (septiembre 2008 - marzo 2023). La cantidad de agua subterránea sustraída del acuífero durante este periodo ha sido de 405.46 hm³.

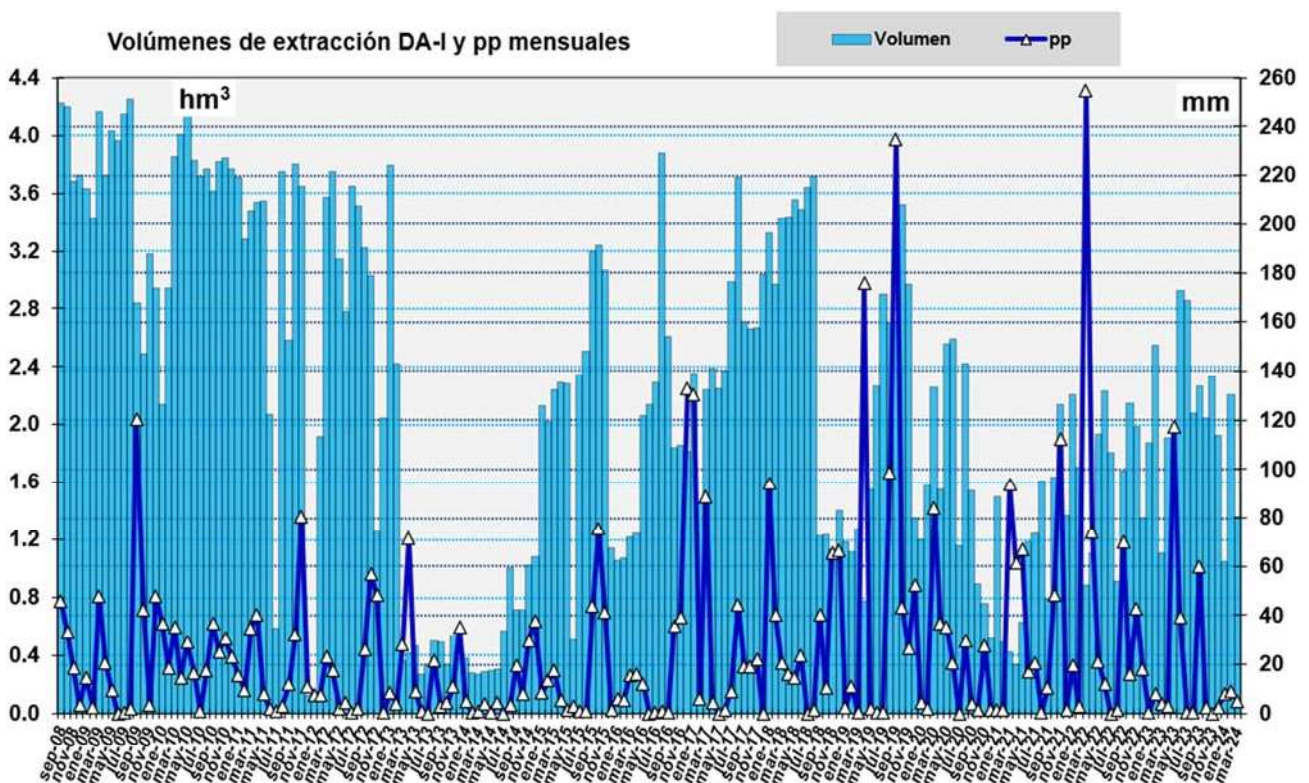


Figura 4.1. Volúmenes de agua de mar extraídos para la DA-I y precipitaciones mensuales durante el periodo septiembre 2008 - marzo 2023

El régimen extractivo no se ha mantenido constante en el tiempo. Podemos establecer varios periodos:

- De septiembre 2008 hasta febrero de 2013, con un promedio de 3.23 hm³/mes, valores mínimos de 0.13 y 0.09 hm³/mes (en los meses de diciembre de 2011 y enero de 2012 respectivamente) y el régimen extractivo no se ha mantenido constante en el tiempo. Podemos establecer varios periodos:

- De septiembre 2008 hasta febrero de 2013, con un promedio de 3.23 hm³/mes, valores mínimos de 0.13 y 0.09 hm³/mes (en los meses de diciembre de 2011 y enero de 2012 respectivamente) y máximos de 4.26 (agosto de 2009).

- De febrero de 2013 hasta diciembre de 2014, con un promedio es de 0.59 hm³/mes. La diferencia entre el mes con el valor máximo (1,08 hm³ en diciembre de 2014) y el mínimo (0.28 hm³ en marzo de 2014) es pequeña en comparación con el contraste existente en el anterior periodo. Cabe destacar que se aprecia un aumento en las extracciones durante el último semestre de 2014, con un promedio de 0.85 hm³/mes, frente a 0.3 hm³/mes del primer semestre del mismo año.

- Desde diciembre de 2014 hasta agosto de 2018, la DA-I presenta aumento progresivo con el tiempo en los caudales mensuales extraídos, con un promedio de 2.44 hm³/mes. El valor máximo es de 3.88 hm³ (agosto de 2016) y el mínimo de 0.51 hm³ (junio de 2015).

- Desde septiembre de 2018 hasta la actualidad con un régimen variable (1.70 hm³/mes de media), con periodos de mayor intensidad (2.84 hm³/mes de promedio en el periodo junio-septiembre de 2019 o 2.89 hm³/mes en junio-julio de 2023) y otros de menor extracción (0.47 hm³/mes de promedio en el periodo febrero - mayo de 2021).

Durante el trimestre enero-marzo de 2024, el promedio ha sido de 1.54 hm³/mes, algo inferior a la media correspondiente al mismo trimestre de años precedentes (1.98 hm³/mes, Figura 4.2).

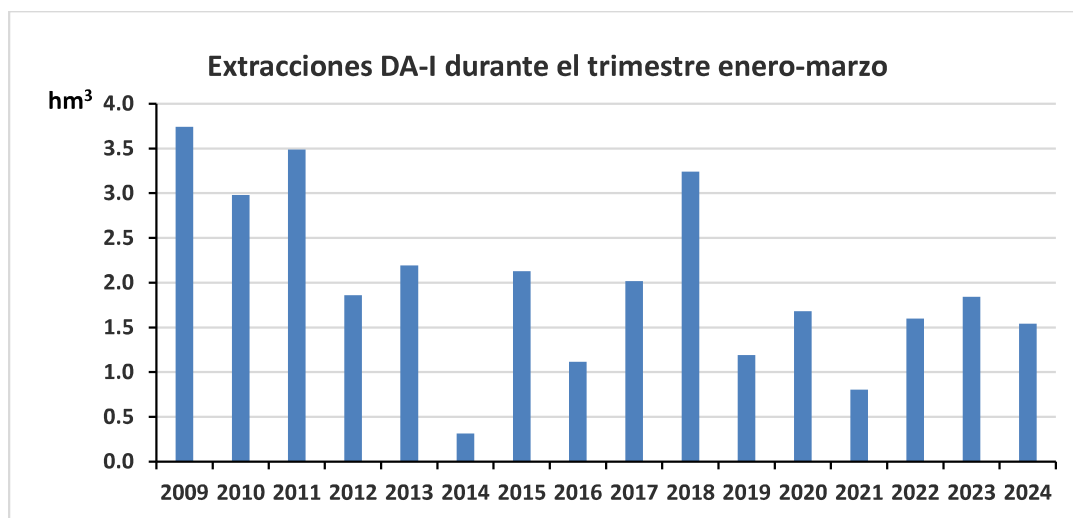


Figura 4.2. Extracciones de la DA-I durante el trimestre enero-marzo de los años 2009-2024

En general, las extracciones aumentan durante los meses de verano, cuando aumenta la demanda de agua (coincidiendo con la época del año más seca) y disminuye durante la primavera y el invierno.

4.2. EXPLOTACIÓN DE LA DESALADORA II

El agua subterránea de la Desaladora DA-II procede de los 11 neodrenes (PHD) situados bajo el mar y del drenaje producido por los sondeos del interior del túnel. Toda esa agua se almacena en el túnel y en la cántara ubicada en la boca de entrada de este, desde donde es bombeada por potentes bombas sumergidas hacia la estación de tratamiento de la desaladora. Los volúmenes bombeados cada mes junto con los valores de precipitación acumulada mensual, desde septiembre de 2008 hasta marzo de 2024, pueden verse en la Figura 4.3.

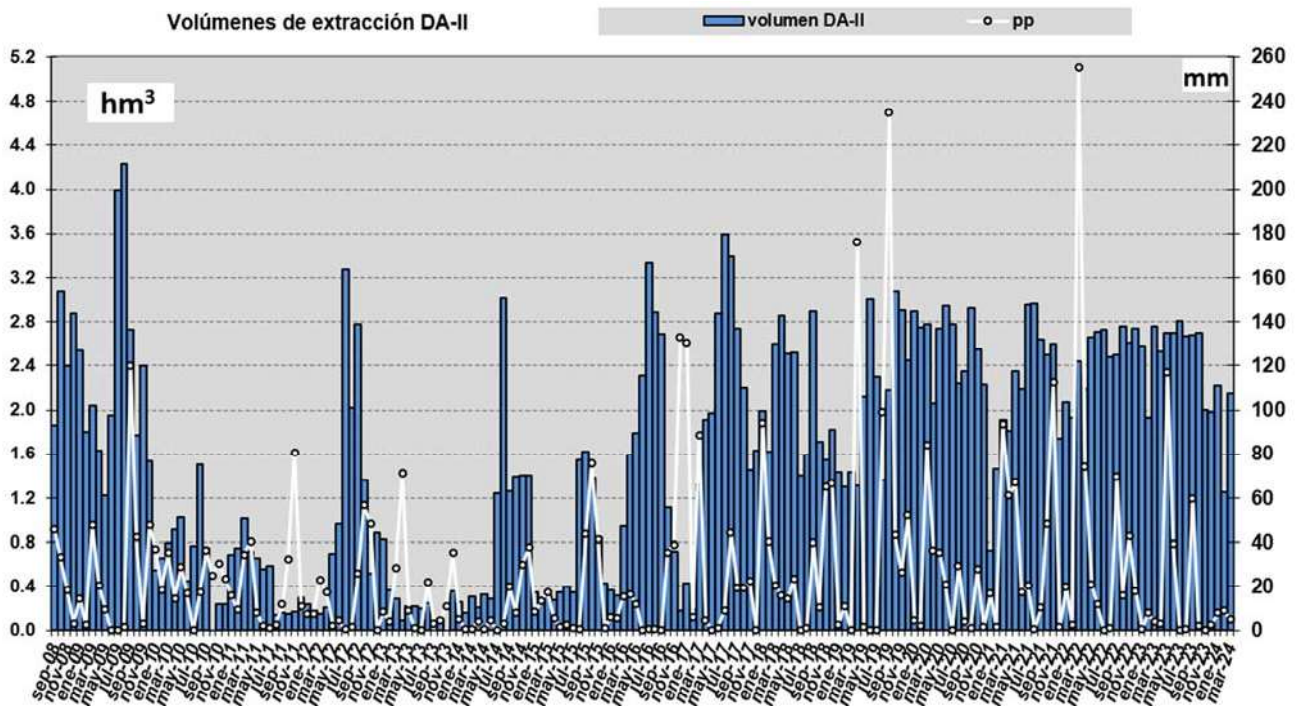


Figura 4.3. Volúmenes de agua de mar extraídos para la DA-II y precipitaciones mensuales durante el periodo septiembre 2008 – marzo 2024

El volumen medio mensual de extracción de la desaladora DA-II fue decreciendo con los años, desde 2.49 hm³/mes durante el primer año de funcionamiento (2008) hasta 0.27 hm³/mes durante el año 2013. En los años 2011, 2013 y 2015 el régimen extractivo fue el más bajo, entre 0.27 y 0.67 hm³/mes. El aumento de la demanda observado en Julio del 2012 se debe a la rotura del túnel del Postrasavase del Tajo-Segura a la altura de Ulea (26/6/12). Se ha de tener en cuenta, además, que se produjeron fallos en el caudalímetro durante los meses de agosto, septiembre y octubre de 2013, por lo que la cifra es inferior a la real. Los “picos” en la extracción se producen en verano, cuando aumenta la demanda. Desde 2016, salvo el primer trimestre de 2017, se ha mantenido un régimen extractivo más alto con un promedio de 2.22 hm³/mes. No se aprecia una correlación entre las extracciones y las precipitaciones.

Comparando con el periodo enero - marzo de otros años (Figura 4.4), las extracciones en 2024 (2.23 hm³/mes) se encuentra por encima del promedio de la serie (1.57 hm³/mes).

Comparando con el periodo enero - marzo de otros años, las extracciones promedio en 2024 (1.88 hm³/mes) se encuentran por encima del promedio de la serie 1.26 hm³/mes (Figura 4.4).

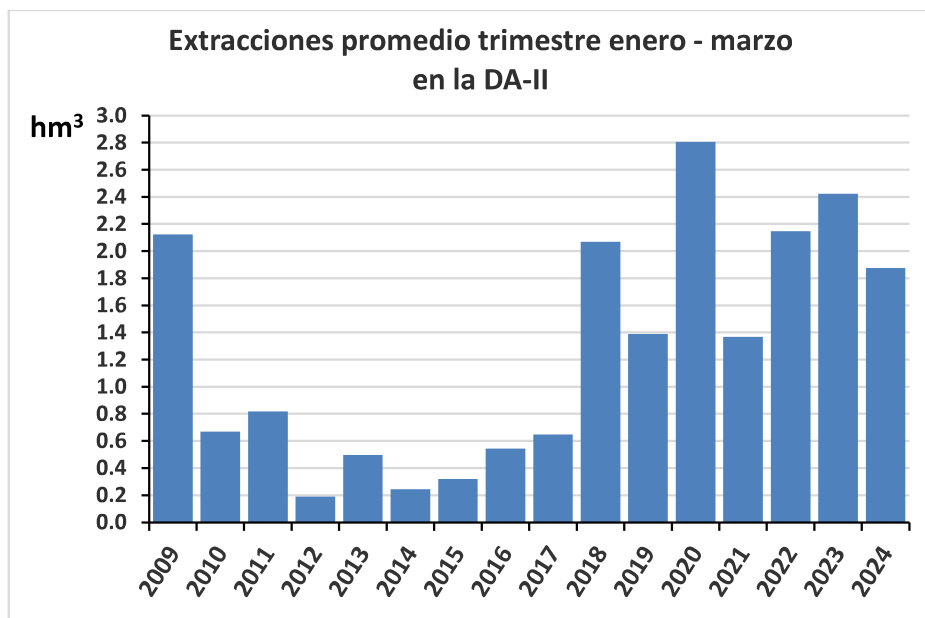


Figura 4.4. Extracciones de la DA-II durante el trimestre enero-marzo del periodo 2009-2024

Los volúmenes anuales acumulados (Figura 4.5) manifiestan que las extracciones más bajas han sido las del año 2013 y las más altas las de 2020.

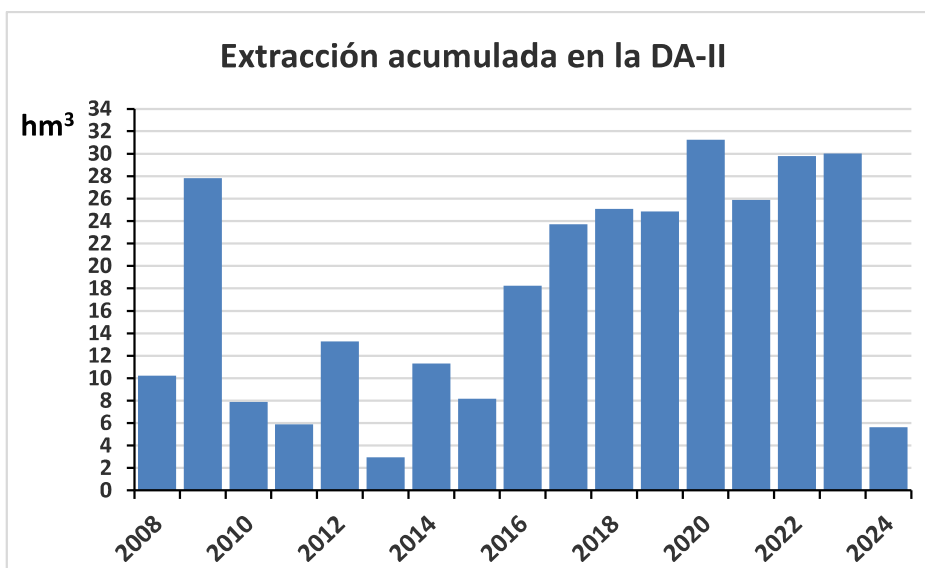


Figura 4.5. Volúmenes anuales bombeados acumulados en la Desaladora DA-II desde el año 2008. En 2008 los datos se tomaron desde septiembre y en 2024 corresponden a los meses de enero – marzo

El volumen total bombeado desde el inicio de la explotación es de 301.93 hm³.

5. RIEGOS EN LAS SALINAS

La MCT ha diseñado un plan de riego con agua de mar en las antiguas salinas de Agua Amarga, acorde con las directrices expuestas en el estudio de impacto ambiental de la ampliación de la Desaladora I. La distribución espaciotemporal de los volúmenes vertidos, previstos en el plan de inundaciones a largo plazo, responde a criterios hidrogeológicos (seguimiento de las oscilaciones piezométricas) y de distribución de especies de flora de interés.

Los riegos a las parcelas proceden del agua almacenada en la cántara de la DA-II y captada a través de los drenes y del túnel. Ésta se distribuye a través de conducciones dispuestas perimetralmente en torno a las parcelas de las salinas y se vierte a las mismas desde bocas de riego situadas espacialmente. Las parcelas se encuentran subdivididas en tres zonas (Figura 5.1): Zona Húmeda-I (Z-1), situada en el norte; Zona Húmeda-II (Z-2), situada en el centro y Zona Húmeda-III (Z-3), situada en el sur. Al Oeste queda la Zona 4, que no se riega.

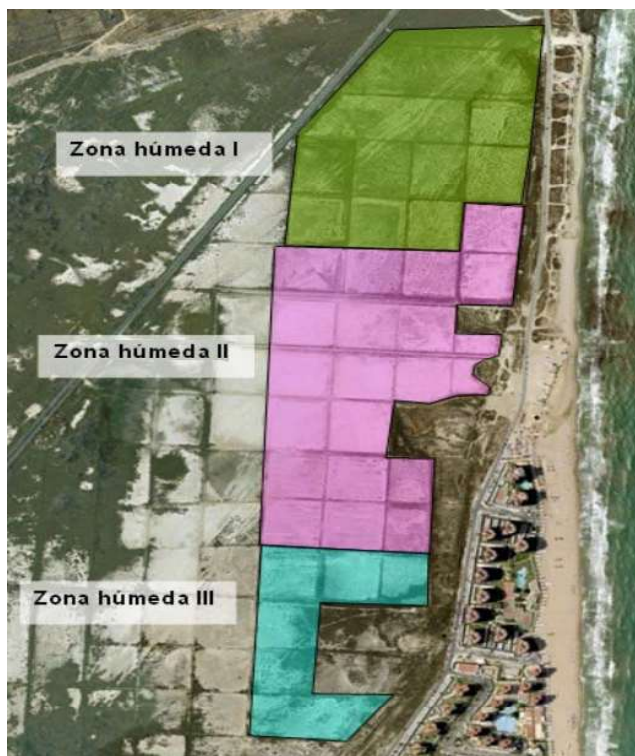


Figura 5.1. Subdivisión del saladar en zonas según el programa de riegos

Los volúmenes de agua vertida sobre la superficie del saladar se muestran en la Figura 5.2.

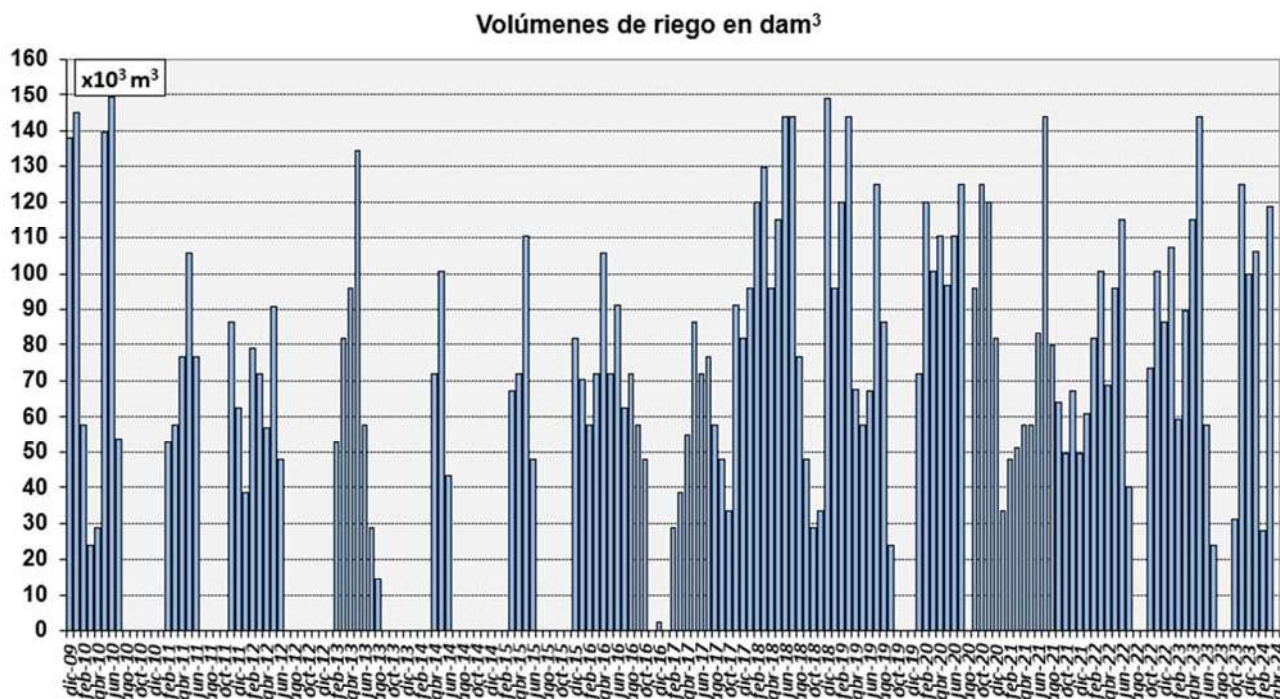


Figura 5.2. Volúmenes de riego mensuales aplicados al Saladar de Agua Amarga, desde su puesta en marcha hasta marzo de 2024

Desde el inicio del plan se han mantenido las paradas en los riegos durante la estación seca de acuerdo con criterios establecidos en el plan de riegos contemplado en el estudio de impacto ambiental. Desde 2016 hasta el último trimestre de 2019 el riego ha sido prácticamente ininterrumpido debido al cese temporal de las campañas de control piezométrico y al aumento de las extracciones en la DA-II, habiéndose parado exclusivamente en el trimestre noviembre de 2016 - enero 2017. A partir de octubre de 2019 entre en vigor las modificaciones acordadas en el plan de riego, que fueron aprobadas conjuntamente por la MCT y la Dirección general de Medio Natural y Evaluación ambiental de la Generalitat Valenciana. Éstas contemplan periodos de riegos combinados con periodos sin riego (septiembre-diciembre 2019, agosto de 2020, agosto-septiembre de 2022 y 2023).

En el trimestre enero - marzo de 2024 el volumen acumulado es de 252.7 dam^3 , valor por encima del promedio del trimestre con riego en la serie 2010-2023 (191.9 dam^3 , Figura 5.3). Se constató la presencia de agua en los esteros durante las visitas realizadas a lo largo del trimestre (Figura 5.4).

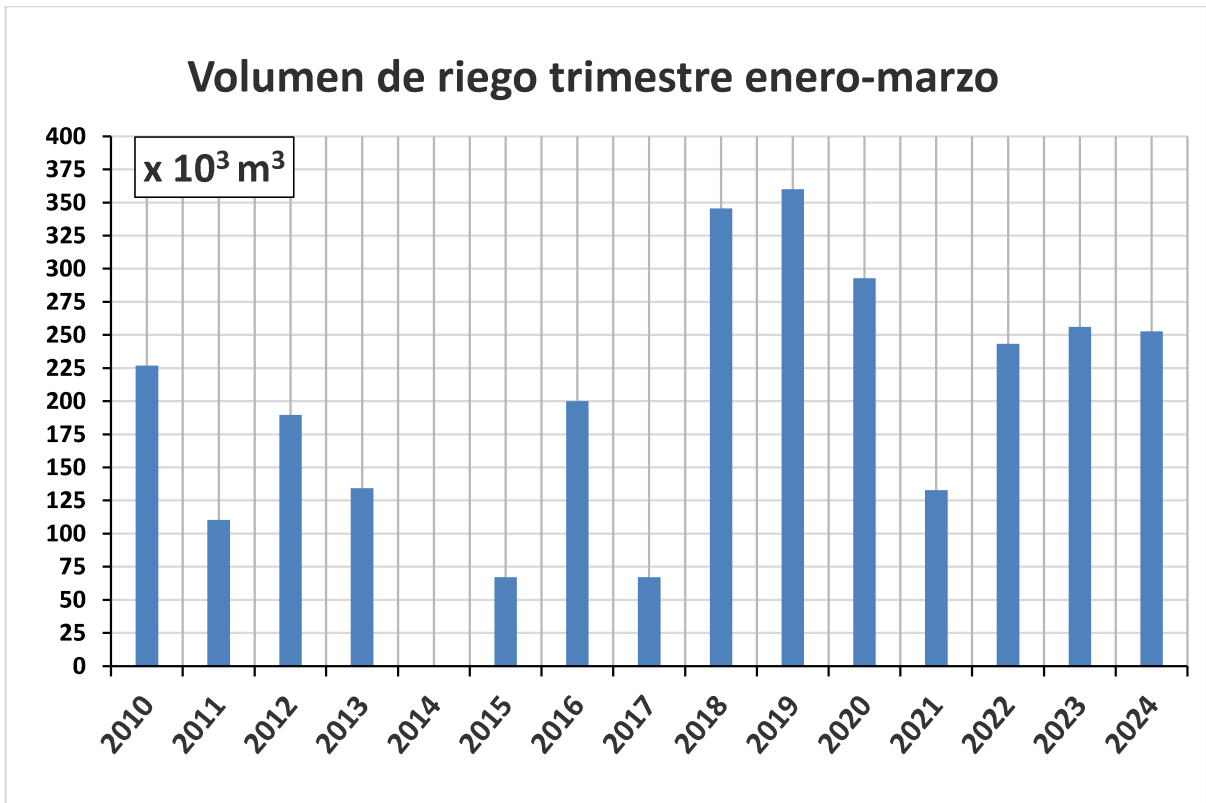


Figura 5.3. Volumen de riego durante el trimestre enero-marzo desde la puesta en marcha del plan de riegos en 2010



Figura 5.4. Esteros que se detectaron inundados (nube azul) durante las campañas de campo del trimestre enero-marzo de 2024

El volumen total de riego desde el inicio del programa de restauración hídrica en diciembre de 2009 hasta marzo de 2023 es de 9,922,632.3 m³, distribuido mensualmente y según las parcelas de riego, de acuerdo con los valores de la Tabla 5.1.

Tabla 5.1. Volúmenes de riego mensuales aplicados al Saladar de Agua Amarga desde su puesta en marcha y distribución de volúmenes según zonas (colores de acuerdo con las Figura 5.1)

Volúmenes mensuales m ³					Volúmenes mensuales m ³				
Fecha	Z-1	Z-2	Z-3	Total mensual	Fecha	Z-1	Z-2	Z-3	Total mensual
dic-09	89294	48706	0	138000	ene-17	0	0	0	0
ene-10	97680	47520	0	145200	feb-17	28800	0	0	28800
feb-10	25600	32000	0	57600	mar-17	38400	0	0	38400
mar-10	9600	14400	0	24000	abr-17	48505	6695	0	55200
abr-10	0	28800	0	28800	may-17	50400	36000	0	86400
may-10	44089	18992	76561	139642	jun-17	35840	36160	0	72000
jun-10	149400	0	0	149400	jul-17	35840	40960	0	76800
jul-10	54000	0	0	54000	ago-17	13440	44160	0	57600
ago-10	0	0	0	0	sep-17	0	48000	0	48000
sep-10	0	0	0	0	oct-17	0	33600	0	33600
oct-10	0	0	0	0	nov-17	37760	53440	0	91200
nov-10	0	0	0	0	dic-17	40960	40640	0	81600
dic-10	0	0	0	0	ene-18	55680	40320	0	96000
ene-11	0	0	0	0	feb-18	34720	85280	0	120000
feb-11	33600	0	19200	52800	mar-18	38426	91174	0	129600
mar-11	19200	0	38400	57600	abr-18	31624	64376	0	96000
abr-11	45726	0	31074	76800	may-18	28659	86541	0	115200
may-11	53053	18947	33600	105600	jun-18	29153	114847	0	144000
jun-11	21221	12379	43200	76800	jul-18	43482	100518	0	144,000.0
jul-11	0	0	0	0	ago-18	0	76800	0	76,800.0
ago-11	0	0	0	0	sep-18	0	48000	0	48,000.0
sep-11	0	0	0	0	oct-18	0	28800	0	28,800.0
oct-11	0	0	0	0	nov-18	8400	25200	0	33,600.0
nov-11	62400	24000	0	86400	dic-18	42000	106800	0	148,800.0
dic-11	43200	19200	0	62400	ene-19	40640	55360	0	96,000.0
ene-12	19200	19200	0	38400	feb-19	39163	80837	0	120,000.0
feb-12	36800	42400	0	79200	mar-19	39760	104240	0	144,000.0
mar-12	38400	33600	0	72000	abr-19	26880	40640	0	67,520.0
abr-12	37800	19200	0	57000	may-19	25600	32000	0	57,600.0
may-12	28105	22800	39867	90772	jun-19	12160	55040	0	67,200.0
jun-12	11200	26400	10400	48000	jul-19	28800	96000	0	124,800.0
jul-12	0	0	0	0	ago-19	0	86400	0	86,400.0
ago-12	0	0	0	0	sep-19	0	24000	0	24,000.0
sep-12	0	0	0	0	oct-19	0	0	0	0.0
oct-12	0	0	0	0	nov-19	0	0	0	0.0
nov-12	0	0	0	0	dic-19	0	0	0	0.0
dic-12	0	0	0	0	ene-20	0	72000	0	72,000.0
ene-13	0	0	0	0	feb-20	0	120000	0	120,000.0
feb-13	28800	24000	0	52800	mar-20	0	100800	0	100,800.0
mar-13	38400	43200	0	81600	abr-20	0	110400	0	110,400.0
abr-13	44274	51726	0	96000	may-20	0	96600	0	96,600.0
may-13	42560	27040	64800	134400	jun-20	0	110400	0	110,400.0
jun-13	24607	4223	28770	57600	jul-20	0	124800	0	124,800.0
jul-13	5843	7768	15188	28800	ago-20	0	0	0	0.0
ago-13	0	3200	11200	14400	sep-20	0	96000	0	96,000.0
sep-13	0	0	0	0	oct-20	0	124800	0	124,800.0
oct-13	0	0	0	0	nov-20	0	120000	0	120,000.0
nov-13	0	0	0	0	dic-20	0	81600	0	81,600.0
dic-13	0	0	0	0	ene-21	0	33600	0	33,600.0
ene-14	0	0	0	0	feb-21	0	48000	0	48,000.0
feb-14	0	0	0	0	mar-21	0	51200	0	51,200.0
mar-14	0	0	0	0	abr-21	0	57600	0	57,600.0
abr-14	27600	44400	0	72000	may-21	0	57600	0	57,600.0
may-14	18327	13074	69398	100800	jun-21	0	83198	0	83,198.4
jun-14	28800	9280	5120	43200	jul-21	0	144000	0	144,000.0
jul-14	0	0	0	0	ago-21	0	79997	0	79,996.8
ago-14	0	0	0	0	sep-21	0	63998	0	63,998.4
sep-14	0	0	0	0	oct-21	0	49598	0	49,598.4
oct-14	0	0	0	0	nov-21	0	67200	0	67,200.0
nov-14	0	0	0	0	dic-21	0	49598	0	49,598.4
dic-14	0	0	0	0	ene-22	0	60797	0	60,796.8
ene-15	0	0	0	0	feb-22	0	81600	0	81,600.0
feb-15	0	0	0	0	mar-22	0	100800	0	100,800.0
mar-15	43200	24000	0	67200	abr-22	0	68784	0	68,784.0
abr-15	39787	32213	0	72000	may-22	0	96000	0	96,000.0
may-15	25698	16151	68551	110400	jun-22	0	115200	0	115,200.0
jun-15	31160	16840	0	48000	jul-22	0	39984	0	39,984.0
jul-15	0	0	0	0	ago-22	0	0	0	0.0
ago-15	0	0	0	0	sep-22	0	0	0	0.0
sep-15	0	0	0	0	oct-22	0	73584	0	73,584.0
oct-15	0	0	0	0	nov-22	0	100800	0	100,800.0
nov-15	0	0	0	0	dic-22	0	86400	0	86,400.0
dic-15	43200	38400	0	81600	ene-23	0	107200	0	107,199.8
ene-16	38720	31680	0	70400	feb-23	0	59200	0	59,199.8
feb-16	33600	24000	0	57600	mar-23	0	89600	0	89,599.7
mar-16	45607	26393	0	72000	abr-23	0	115200	0	115,200.0
abr-16	50257	56343	0	106600	may-23	0	144000	0	144,000.0
may-16	35200	36800	0	72000	jun-23	0	57600	0	57,600.0
jun-16	39377	51823	0	91200	jul-23	0	24000	0	24,000.0
jul-16	0	62400	0	62400	ago-23	0	0	0	0.0
ago-16	0	72000	0	72000	sep-23	0	0	0	0.0
sep-16	0	57600	0	57600	oct-23	0	31200	0	31,200.0
oct-16	0	48000	0	48000	nov-23	0	124800	0	124,800.0
nov-16	0	0	0	0	dic-23	0	99840	0	99,840.0
dic-16	0	2400	0	2400	ene-24	0	106080	0	106,080.0
TOTAL	2459678	6058266	555329	9,922,632.3	feb-24	0	28080	0	28,080.0
					mar-24	0	118560	0	118,560.0
					abr-24	0	0	0	0.0

6. EVOLUCIÓN DE LA PIEZOMETRÍA, CONDUCTIVIDAD Y TEMPERATURA EN LOS PUNTOS DE CONTROL

6.1. PIEZOMETRÍA

6.1.1. Mapas de isopiezas (21/03/2024)

En la Figura 6.1 se presenta el mapa de piezometría correspondiente al 21/3/2024. De la observación de la figura se puede decir lo siguiente:

1) La forma de las líneas isopiezas muestra la existencia de un cono de bombeo situado al norte del saladar, entre los pozos de extracción de la DA-I y el túnel de drenaje de la DA-II, con una depresión piezométrica de -7.2 m s.n.m. Esta depresión está causada por la extracción de agua en las desaladoras a través de las areniscas del Plioceno. La componente horizontal del flujo subterráneo indica que las aguas continentales se dirigen hacia dicho cono de bombeo (dirección general suroeste-noreste) y el agua de mar penetra en el acuífero costero también hacia el cono de bombeo a lo largo de la línea de costa comprendida entre la posición de P-1 y, al menos, hasta la posición de DI-18. El cono de bombeo genera una barrera hidráulica que limita la entrada de agua de mar en el continente más allá de la extensión superficial del saladar.

2) Los valores negativos de piezometría en todos los piezómetros (salvo P-6 y P-20) establecen un potencial hidráulico de entrada del agua de mar hacia el continente, siendo los valores más bajos los situados en la parte norte con -7.2 m s.n.m (DI-12). La isolínea 0.0 m s.n.m. atraviesa la mitad sur del saladar, la de valor -1.0 la parte central y la -5.0 la parte norte. Los gradientes piezométricos son acusados al norte del saladar y la línea de costa (en torno al 5 por mil) y más suaves bajo el saladar y su perímetro continental (alrededor de 1-2 por mil).

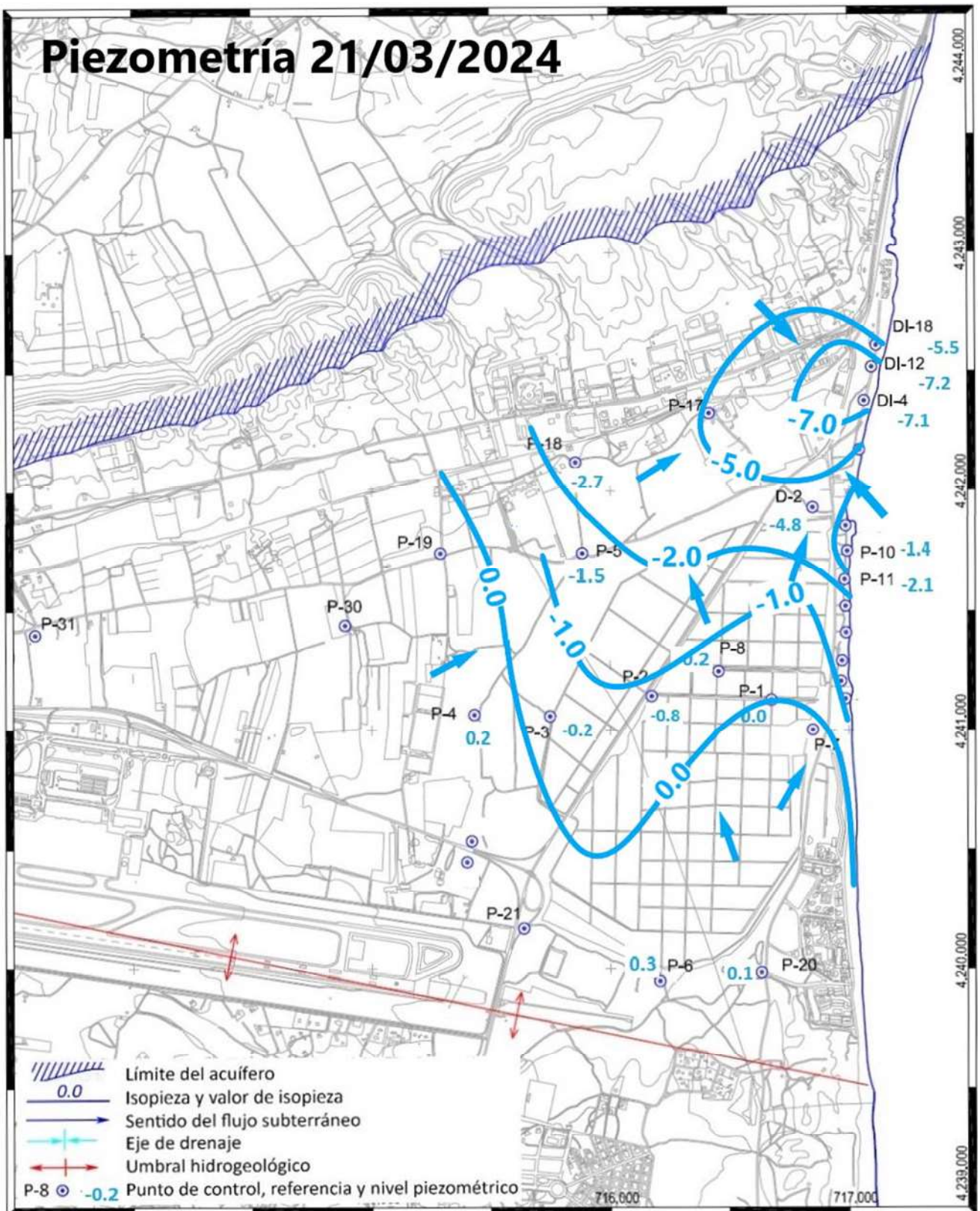


Figura 6.1. Mapa de isopiezas (21/03/2024)

En las Figura 6.2 se presentan los mapas de piezometría correspondientes al 9/4/2022 y 15/3/2023. La forma general de las isopiezas y el movimiento del agua subterránea son similares a los comentados

sobre la Figura 6.1, aunque la depresión piezométrica máxima fue menor entonces (entre -4.5 y -5.0 m s.n.m., respectivamente). La piezometría bajo el saladar no presenta cambios significativos.

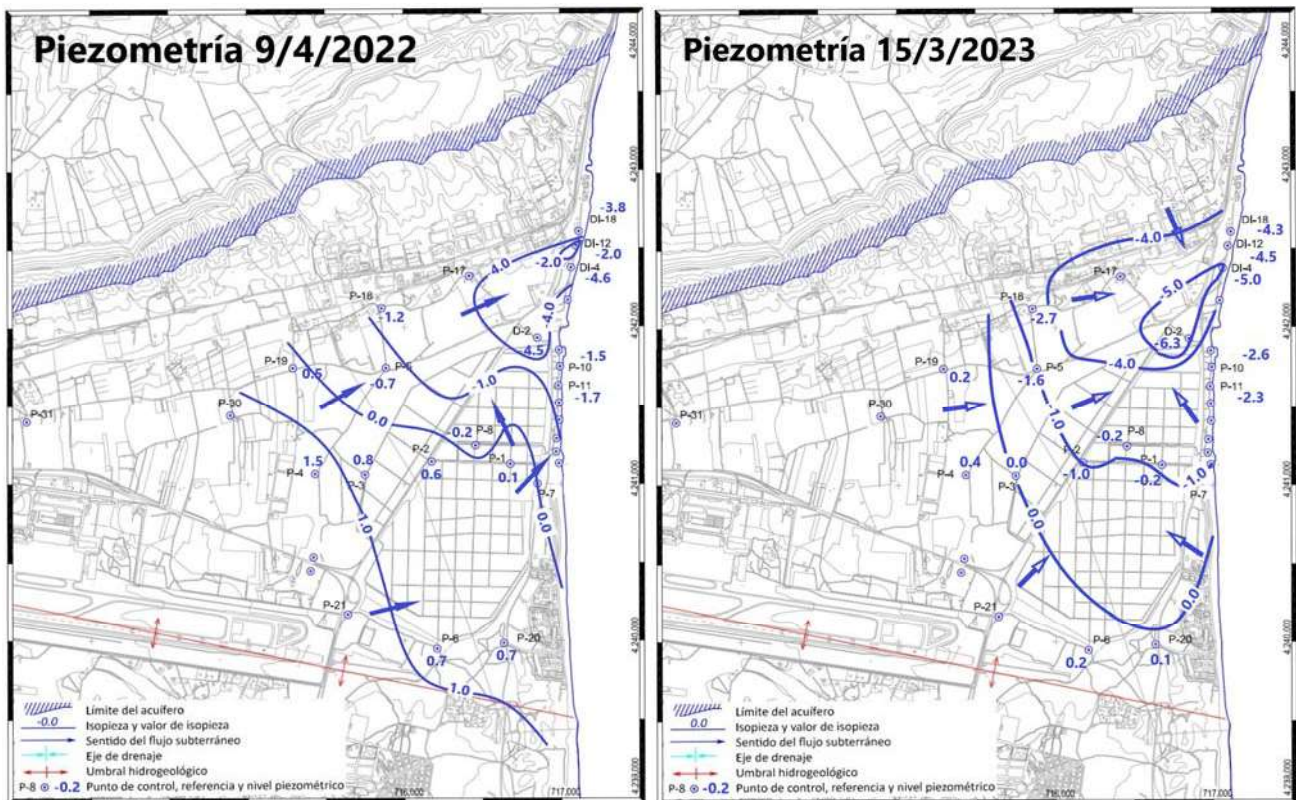


Figura 6.1.1.1. Mapas de isopiezas correspondientes a abril de 2022 (izquierda) y marzo de 2023 (derecha)

6.1.2. Gráficos de variaciones piezométricas

Con las medidas periódicas tomadas en los sondeos de control se han representado los gráficos de evolución que aparecen en el Anexo I. De acuerdo con estas medidas se han diferenciado cuatro zonas con comportamientos piezométricos diferentes según nos encontremos próximos al mar, más retirados de los sondeos del túnel, dentro del saladar o en las captaciones de la DA-I. A continuación, se describe la evolución en cada una de ellas, a partir de las variaciones piezométricas de piezómetros control representativos:

a) Zona al Oeste del Saladar

El “acuífero” (acuitardo) en esta zona está constituido por terrenos pocos transmisivos a base de caliches, gravas y arcillas del Cuaternario continental (Formación Sucina) y también por areniscas con pasadas de limos arenosos amarillentos del Plioceno superior. Aquí no están representadas las transmisivas calcarenitas del Tirreniense. Se toma como representativas las variaciones en el sondeo P-3 (Figura 6.2), cuyas variaciones se ven afectadas principalmente por las lluvias y las extracciones en la DA-II (Figura 4.3).

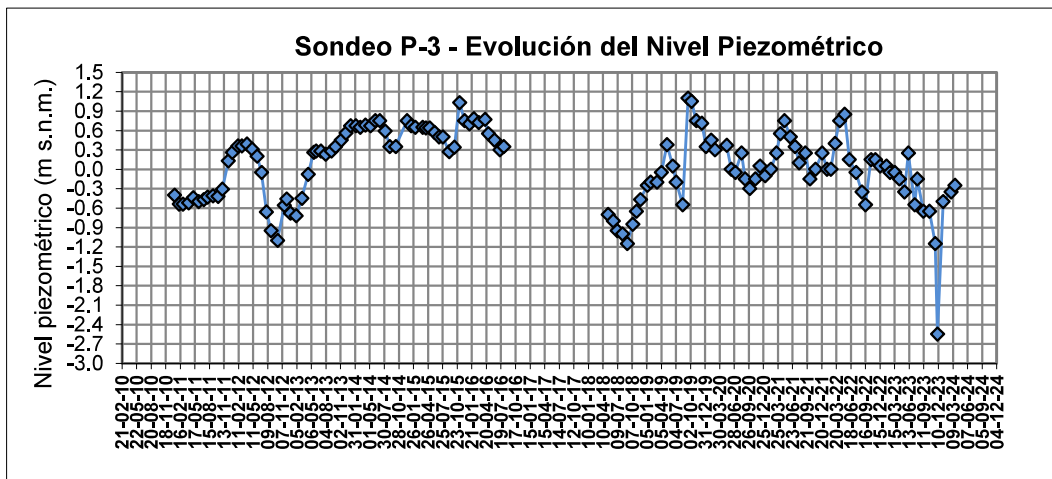


Figura 6.3. Evolución piezométrica en el sondeo P-3

El primer aumento significativo de la piezometría hasta situarse en torno a 0.5 m s.n.m. se produce a finales de 2011 y los primeros meses de 2012, debido al aumento de las precipitaciones y en descenso de las extracciones. El descenso posterior de 1.5 m hasta finales de 2012 se debe a un aumento de las extracciones y una disminución de las precipitaciones. Después se produce un ascenso progresivo hasta situarse el nivel en torno a 1 m s.n.m. los primeros meses de 2014, manteniéndose más o menos constante hasta la última fecha de medida en agosto de 2016. Los descensos de menos de un metro registrados en este último periodo guardan relación con aumentos puntuales en las extracciones en agosto de 2014, octubre de 2015 y verano de 2016.

Durante el primer semestre de 2018 se produjo un descenso progresivo de 0.5 m hasta alcanzar en septiembre la cota mínima de los registros históricos, -1.2 m s.n.m. Desde entonces se ha producido un aumento paulatino hasta alcanzar el valor más alto del registro histórico (1.1 m) en octubre de 2019, tras las intensas lluvias de septiembre de 2019. A partir de este momento se producen oscilaciones del nivel entre 1.0 y -0.6 m s.n.m., condicionadas por el régimen extractivo de la DA-II. A lo largo del último año (septiembre 2022-2023), se ha producido un descenso progresivo en la piezometría de 0.0 a -0.6 m s.n.m, atenuados por periodos de recarga por agua de lluvia como junio de 2023. Desde agosto hasta diciembre de 2023 se ha producido una bajada del nivel de 2.4 m, alcanzándose el valor más bajo de la serie (-2.5 m s.n.m.). En los piezómetros P-5, P-18 o P-4 también se registran valores relativamente bajos en diciembre, sin llegar en ningún caso a los mínimos desde que hay registro. La piezometría se recupera ligeramente durante el trimestre enero-marzo de 2024, aunque permanece por debajo de la cota 0.0 m (nivel del mar).

b) Zona del Saladar

El saladar descansa sobre la Formación Sucina, constituida por caliches, gravas y arcillas del Cuaternario continental. Los niveles en la zona del saladar son muy sensibles al ritmo de extracción de la DA-II, programa de riegos y a las precipitaciones. Se ha elegido la evolución piezométrica del P-1 (Figura 6.4) como representativa de esta zona.

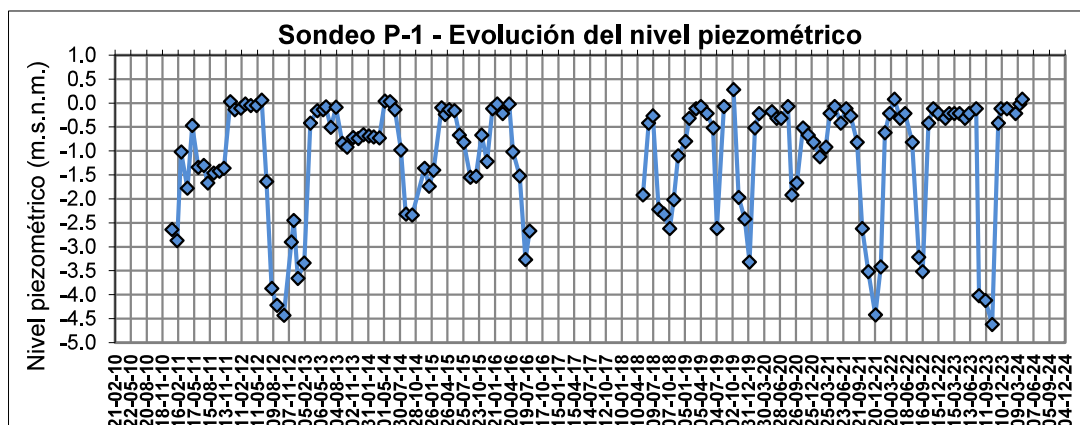


Figura 6.4. Evolución piezométrica en el sondeo P-1

Entre el 9/12/10 y el 9/2/11 se produce un descenso de 0.85 m (en dos meses), debido a que el 29/12/10 se reinician las extracciones en la DA-II. En la última fecha referida se produce un gran ascenso piezométrico, que en mayo del 2011 era de 2.40 m, motivado por la gran disminución en las explotaciones, por los riegos en las salinas y por las lluvias caídas en marzo de ese año. Entre 9/6/11 y 2/11/11 el nivel se mantiene, pero entre esta última fecha y el 9/12/11 se produce un ascenso de 1.39 m, motivado fundamentalmente por la disminución drástica en la explotación, sobre todo en la DA-I; este último fenómeno se aprecia prácticamente en todos los piezómetros. Desde la última fecha referida y hasta el 5/6/12 el nivel se mantiene, debido a las escasas extracciones que se realizan. A partir del 9/10/12, como consecuencia de la gota fría, disminuyen las extracciones y, por tanto, hasta el 4/12/12 se produce un importante ascenso de 1.98 m. El aumento de explotaciones a lo largo del mes de diciembre ha hecho que se produzca un pequeño descenso de 1.21 cm, entre la última fecha referida y el 27/12/12. A partir de esta última fecha se observa un fuerte ascenso hasta el 8/3/13, de 3.24 m; desde entonces y hasta el 1/7/14, el nivel piezométrico se mantiene prácticamente constante pues, aunque se extrae poco volumen de agua, los riegos en las salinas se interrumpieron en el mes de agosto del 2013. Desde 1/7/14 hasta el 2/9/14 se observa un descenso de 2.18 m, debido a que a partir de julio la explotación se duplica (pasa de 600000 a 1200000 m³). Entre la última fecha referida y el 17/12/14, se aprecia un ascenso de 0.98 m, aunque en el 12/1/15 vuelve a bajar 0.38 m.

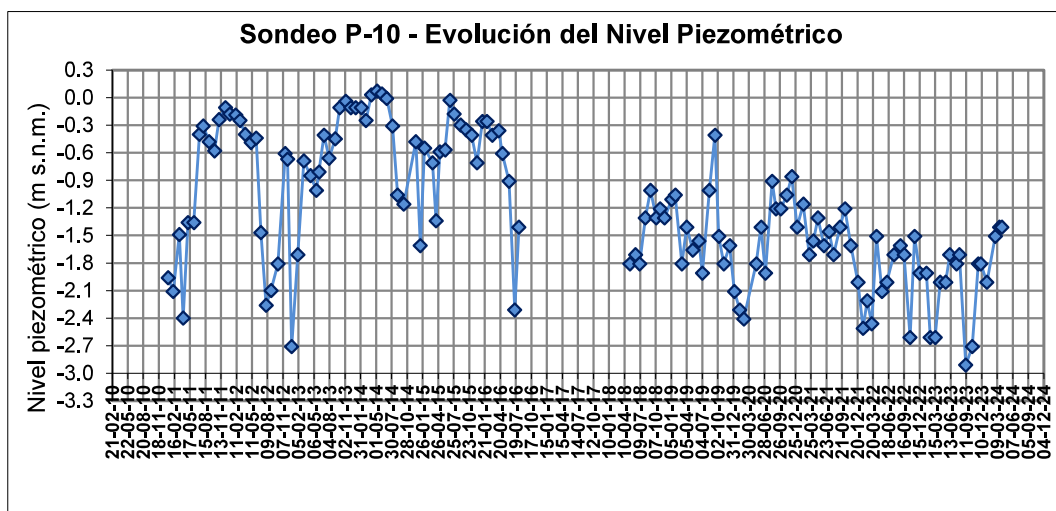
Durante el primer semestre de 2015 los niveles se mantienen en torno a 1 m s.n.m. y descienden progresivamente en el segundo semestre hasta situarse en un mínimo en torno a -1.5 m s.n.m. En noviembre hay una recuperación (-0.7 m) y en diciembre el nivel se sitúa en -1.2 m. El descenso

piezométrico en el segundo semestre, sobre todo los meses de agosto-octubre, ha contribuido a los valores piezométricos bajos de este periodo. Las precipitaciones caídas en octubre y el descenso de la extracción en noviembre, conlleva a una ligera recuperación en este mes. En diciembre no se registran lluvias, por lo que hay un ligero descenso. En el segundo semestre de 2015, pese a que sólo se regó en diciembre, las lluvias caídas han contribuido a amortiguar en parte el descenso piezométrico perimiendo que los niveles no sean tan bajos como los alcanzados en 2014. En el primer semestre de 2016 se produce un descenso de 3.5 m como consecuencia del aumento de las extracciones en ambas desaladoras, sobre todo en la DA-II, y de las escasas precipitaciones acumuladas.

Desde octubre de 2018 hasta la actualidad la tendencia indica que los niveles suelen mantenerse entre 0.0 y -1.0 m s.n.m, siendo el régimen extractivo de la DA-II el que mayoritariamente los condiciona y el cese de los riegos. En octubre-diciembre de 2019, agosto de 2020 y agosto-septiembre de 2023 esta última es la causa de descensos piezométricos que se sitúan entre -2.0 y -4.5 m (valor mínimo registrado en octubre de 2023). El mantenimiento del riego durante el periodo enero-marzo de 2024 permite que el nivel se mantenga próximo a 0.0 m s.n.m.

c) Zona costera de la Desaladora de Alicante II (al este del túnel, fundamentalmente)

Se trata de una zona en la que el acuífero está constituido exclusivamente por materiales detríticos-carbonatados del Tirreniense, con una permeabilidad relativamente mayor a la de los materiales bajo el saladar. Se ha analizado la evolución del P-10 (Figura 6.5), puesto que es el único que queda. Los niveles piezométricos en el P-10 están condicionados por las extracciones de la DA-II y el nivel del mar (de ahí que el nivel máximo alcanzado nunca supere el 0 m s.n.m.).



drástica de las extracciones y por las lluvias de marzo del 2011. Entre el 11/7/11 y el 5/6/12, el nivel se mantiene, debido a la escasez de extracciones; pero el 1/8/12 ya se aprecia un descenso de 2.6 m, debido a un aumento de la explotación, por la rotura del túnel del postrasavase. A partir del 1/8/12, como consecuencia de la gota fría, disminuyen las extracciones y, por tanto, hasta el 4/12/12 se produce un importante ascenso de 2.14 m. El aumento de explotaciones a lo largo del mes de diciembre ha hecho que se produzca un enorme descenso de -2.0 m, entre la última fecha referida y el 27/12/12. En tan solo poco más de dos meses (desde 27/12/12 hasta 8/3/13 se produce un ascenso de 2 m y luego el nivel se mantiene prácticamente (con tendencia muy suave al ascenso) hasta el 1/7/14. Desde 1/7/14 hasta el 8/10/14 se observa un descenso de 1.15 m, debido a que a partir de julio la explotación se duplica (pasa de 600.000 a 1.200.000 m³). Entre la última fecha referida y el 17/12/14, se aprecia un ascenso de 0.68 m, aunque en el 12/1/15 vuelve a bajar 1.13 m.

Durante el segundo semestre del 2015, se produce una bajada progresiva de 0 a -0.7 debido al aumento en las extracciones de la DA-II. El primer semestre de 2016 se aprecia un descenso progresivo de 2 m hasta situar el nivel en torno a -2.4 m s.n.m. La última lectura de 2016, en agosto, situaba el nivel en -1.4 m s.n.m.

Las medidas correspondientes al periodo septiembre de 2018 - septiembre de 2019, sitúan la piezometría por debajo del nivel promedio de la serie (-0.9 m s.n.m.), en torno a -1.4 m s.n.m. El programa de riegos permite que los niveles no estén por debajo de los valores críticos de 2012 (-2.5 m s.n.m.), sin embargo, el cese de estos durante el trimestre octubre - diciembre de 2019 ha ocasionado un descenso progresivo hasta alcanzar los valores más bajos de la serie; -2.5 m s.n.m en marzo de 2020. Hasta septiembre de 2021 los niveles se han mantenido en torno a -1.5 m s.n.m. Desde entonces se aprecian oscilaciones entre -1.5 y -2.6 que se interpreta que pueden estar motivadas por el nivel de agua en el interior de la cantara (indirectamente, con el régimen extractivo en el comento en el que se realiza la medida). Se aprecia una tendencia general a lo largo del periodo a la disminución de la piezometría, motivada por la bajada del rendimiento del sistema de captación de la DA-II que causa un descenso acusado en el interior de la cántara.

En general se aprecia una tendencia general a la disminución de la piezometría tanto en P-10 como en P-11 desde 2013. La bajada del rendimiento de las extracciones de la DA-II puede dar explicación a esto: mismo caudal de extracción causa mayores depresiones piezométricas conforme las captaciones merman su rendimiento con el tiempo, principalmente debido a la obstrucción en los filtros. Así, los valores más bajos registrados hasta la fecha corresponden con el mes de noviembre de 2023 (-2.7 m s.n.m.). La recuperación posterior se debe a la reactivación del plan de riegos (-1.4 m s.n.m. en marzo de 2024).

d) Desaladora de Alicante I

Los materiales del entorno de las captaciones de la DA-I son sobre todo paquetes de calcarenitas del plioceno y calizas del Messiniense. Se ha elegido el piezómetro DI-18 (Figuras 6.5) como representativo. El nivel en los pozos de extracción abandonados está fuertemente condicionado por las extracciones de la DA-I (caudal y proximidad del pozo de extracción) y por el nivel del mar (el máximo histórico registrado se sitúa en torno a 0 m). No obstante, se ha de tener en cuenta que pueden existir incongruencias entre los datos piezométricos y el volumen mensual extraído acumulado, dado que la piezometría está afectada por la actividad extractiva del día concreto en el que se toman los registros.

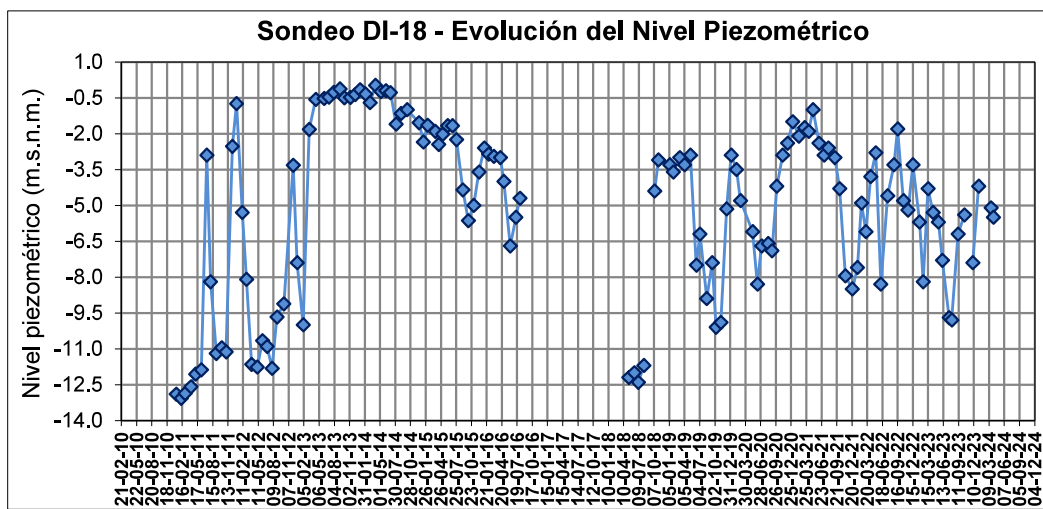


Figura 6.6. Evolución del piezómetro DI-18

En general este piezómetro se mantiene estabilizado en un nivel dinámico que oscila entre -10 y -12 m s.n.m mientras los pozos de la DA-I están en marcha y a pleno rendimiento. Sin embargo, cuando se dejan de funcionar o el ritmo extractivo es bajo, el nivel piezométrico asciende muy rápidamente. Durante los años 2010-2012 el ritmo extractivo en la DA-I es importante, por los que los niveles se mantienen en los valores más bajos de la serie, en torno a -12 m s.n.m. La bajada drástica de las extracciones en julio de 2011 y enero de 2012 (Figura 4.1) se ve reflejada en los ascensos bruscos durante este periodo, de hasta 10 metros. Durante los años 2014 y 2013 se mantienen los niveles en torno al nivel del mar, coincidiendo con la bajada en el ritmo de las extracciones. El aumento progresivo de las extracciones hasta septiembre de 2018 ha provocado una bajada progresiva en los niveles desde 2015, hasta situarlos en al cuatrimestre abril-agosto de 2018 en torno a -12.4 m s.n.m. Este ritmo extractivo es similar al que se mantuvo durante los años 2011-2012 (Figura 4.1), lo cual explica la similitud entre los niveles piezométricos.

Desde 2019 hasta la actualidad los niveles han oscilado entre -0.5 y -10.0 m s.n.m., afectados principalmente por el ritmo extractivo de la DA-I (Figura 4.1). Los niveles más altos durante 2021

(entre -0.5 y -3.30 m s.n.m.) coinciden con una bajada en el ritmo extractivo de la DA-I, efecto que también se aprecia en los pozos DI-12 y DI-4.

6.1.3. Mapa de isopropfundidades del agua subterránea (21/03/2024)

Se ha elaborado el mapa de isopropfundidades del agua subterránea (Figura 6.6), correspondiente al 21/3/2024.

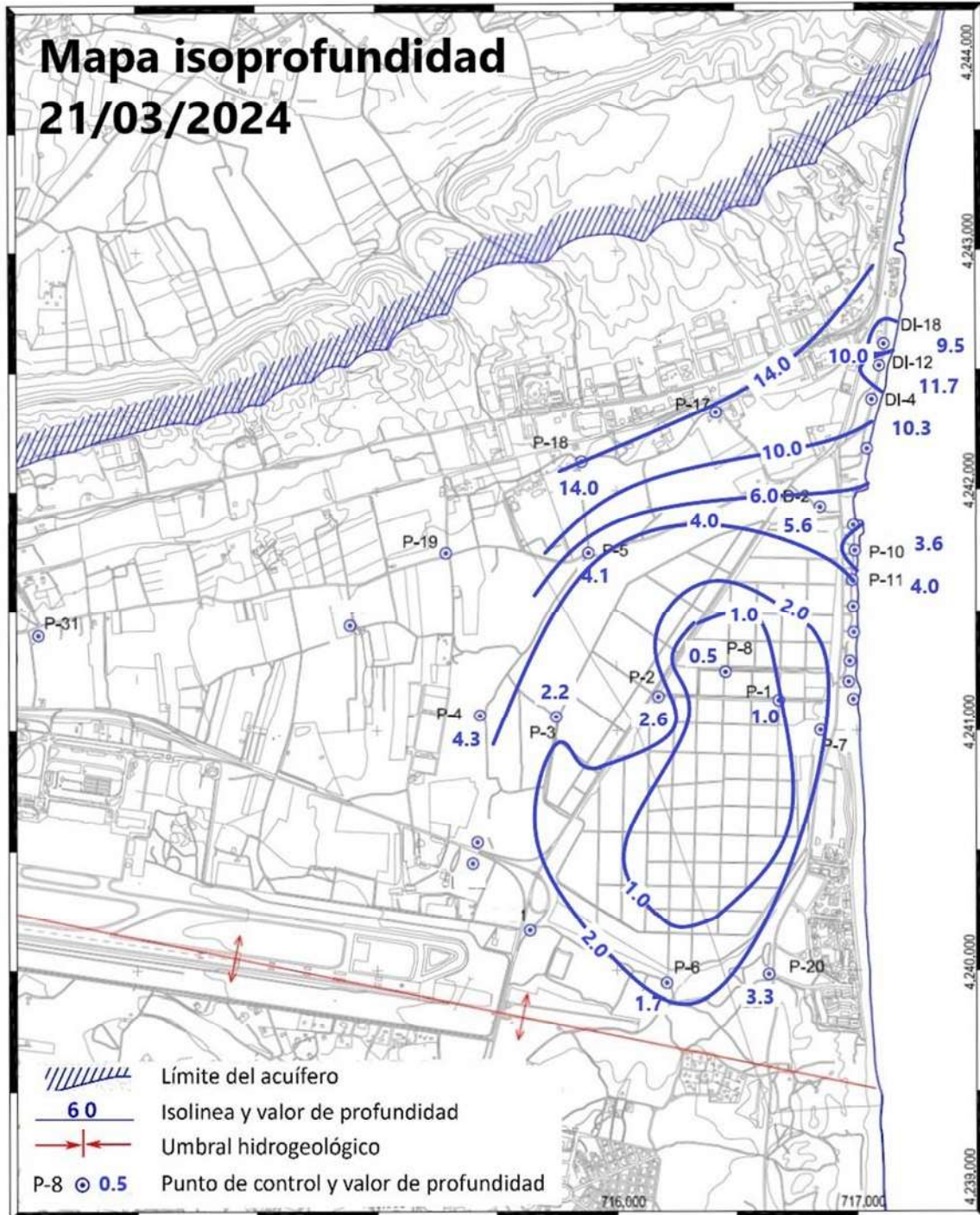


Figura 6.6. Isopropfundidad del agua subterránea (21/3/2024)

De su observación se desprende que la profundidad media de la capa de agua freática bajo el saladar se encuentra comprendida por la isolínea de profundidad 2 m, con valores mínimos en el centro del saladar (0.5 m en P-8) y máximos al norte (5.6 m en D-2). Los valores de profundidad mayores se dan en la base de la Sierra del Colmenar (14.0 m en P-18) y junto a los pozos de extracción de la DA-I (11.7 m en DI-12).

Si comparamos con el mapa de isoprofundidad correspondiente a abril de 2022 y marzo de 2023 (Figura 6.8) se observa que las variaciones bajo el saladar no han sido significativas. Cabe resaltar únicamente que el piezómetro D-2 presentaba en 2023 un aumento de la profundidad del nivel freático en torno a 2 m respecto a 2022 y 2024.

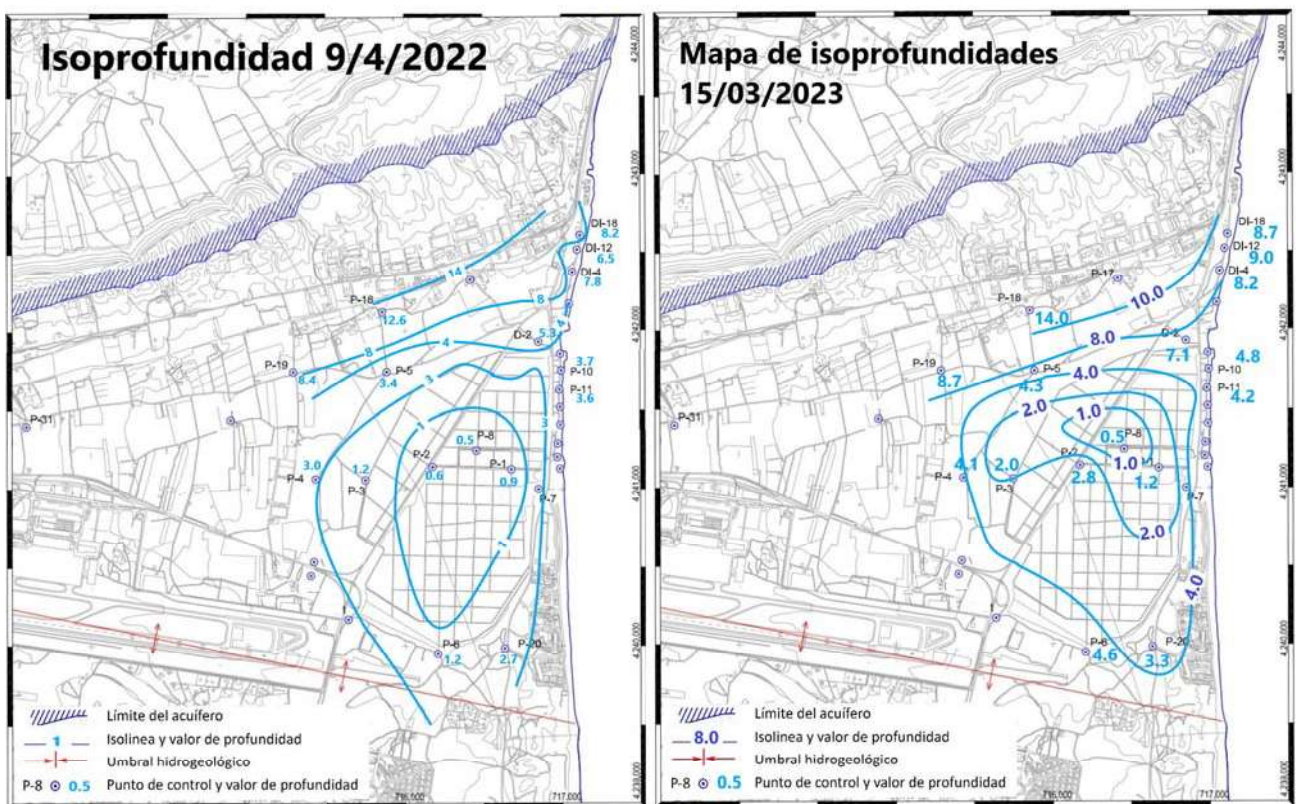


Figura 6.7. Isoprofundidad del agua subterránea en abril de 2022 y marzo de 2023

La evolución de la profundidad de la capa de agua en el resto de los piezómetros puede verse en el Anexo II.

Con objeto de comparar la profundidad del nivel freático **en la zona del saladar** (P-1, 2, 6 y 8) con la de años precedentes y ver su evolución a lo largo del trimestre enero - marzo de 2023, se ha elaborado la Figura 6.8.

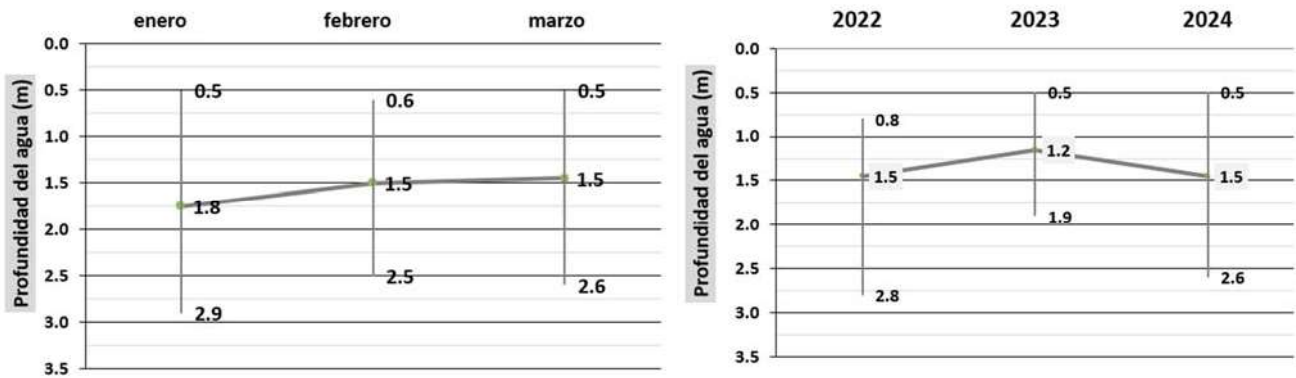


Figura 6.8. Evolución de la profundidad media, máxima y mínima del agua subterránea bajo el saladar a lo largo del trimestre enero-marzo de 2024 (izquierda) y en el mes de marzo de 2022, 2023 y 2024 (derecha)

La profundidad promedio del nivel se ha ido recuperando a lo largo del trimestre enero-marzo de 2024, de 1.8 m a 1.5 m bajo el saladar. Respecto a los cambios a lo largo de marzo, a penas se producen modificaciones (el promedio entre 1.2 y 1.5 m de profundidad).

Para interpretar las diferencias en la profundidad del nivel se deben tener en cuenta varios factores. Por ello se ha representado la información relativa a las extracciones (Figura 6.10), las precipitaciones (Figura 6.11) y el programa de riegos (Figura 6.12) para el trimestre enero - marzo de 2022, 2023 y 2023.

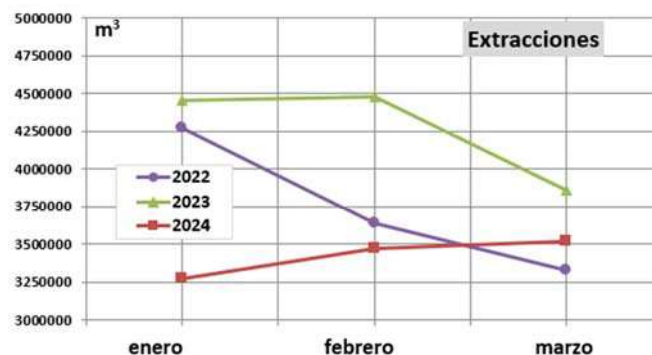


Figura 6.9. Extracciones mensuales de las desaladoras a lo largo del trimestre enero-marzo de 2022, 2023 y 2024

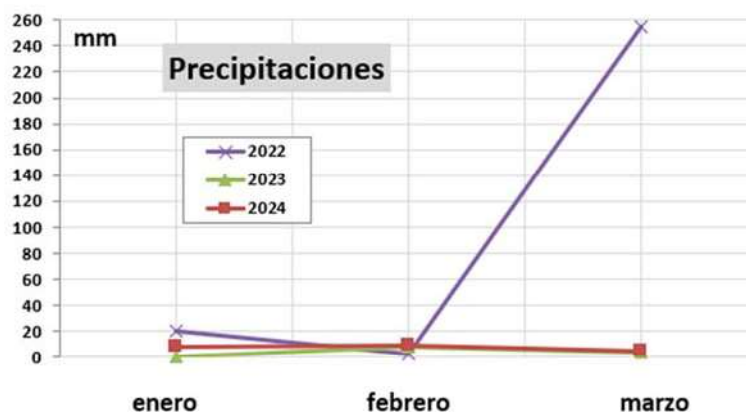


Figura 6.10. Precipitaciones mensuales a lo largo del trimestre enero-marzo de 2022, 2023 y 2024

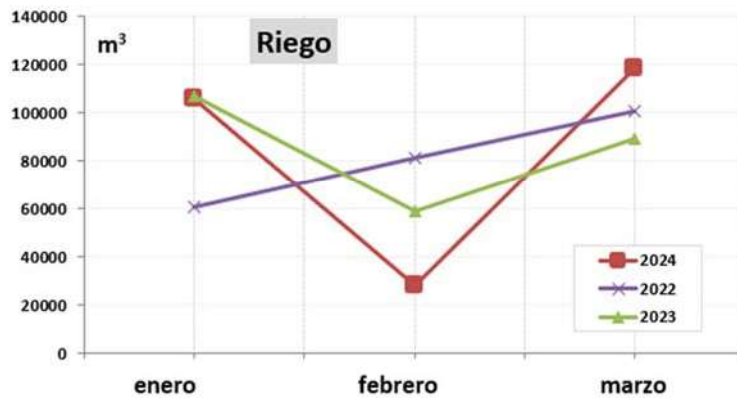


Figura 6.11. Riegos mensuales a lo largo del trimestre enero-marzo de 2022, 2023 y 2024

Los valores de riego no presentan variaciones significativas a lo largo del trimestre entre los años 2022, 2023 y 2024. La bajada en febrero de 2024 se ve compensada con los valores relativamente altos (hasta un 30% mayores) en enero y marzo, por lo que no tiene un efecto significativo en la profundidad del nivel freático (Figura 6.8). Las escasas precipitaciones no tuvieron impacto positivo sobre la piezometría, salvo las caídas durante el mes de marzo de 2022, que tuvieron un efecto tiempo después (ver como ejemplo el ascenso piezométrico en abril de 2022 en piezómetro P-3). Dado que la mayor parte de la extracción se produce en los pozos de bombeo verticales de la DA-I, la profundidad de la piezometría en la parte central del saladar a penas se ve afectada. El aumento general de la extracción en 2023 afecta sobre todo al D-2, con un valor de piezometría algo inferior: 7.1 m de profundidad frente a 5.3 o 5.6 en 2022 y 2024, respectivamente (ver figuras 6.6 y 6.7). En general se observa que el parámetro más influyente en la piezometría bajo el saladar es el riego, como concluye el análisis realizado en la publicación científica de Alhama et al. (2023).

6.2. CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA Y TEMPERATURA

Los registros de conductividad eléctrica (proporcional a la salinidad) y temperatura en campo se toman mediante una sonda paramétrica introduciendo la misma en todos los sondeos de control, tomando datos a lo largo de las columnas de agua con intervalo de un metro de profundidad.

6.2.1. Mapa de isoconductividad a 10 m de profundidad (21/3/2024)

Se ha elaborado el mapa de isoconductividad del agua subterránea correspondiente al 21/3/2024 (Figura 6.12).

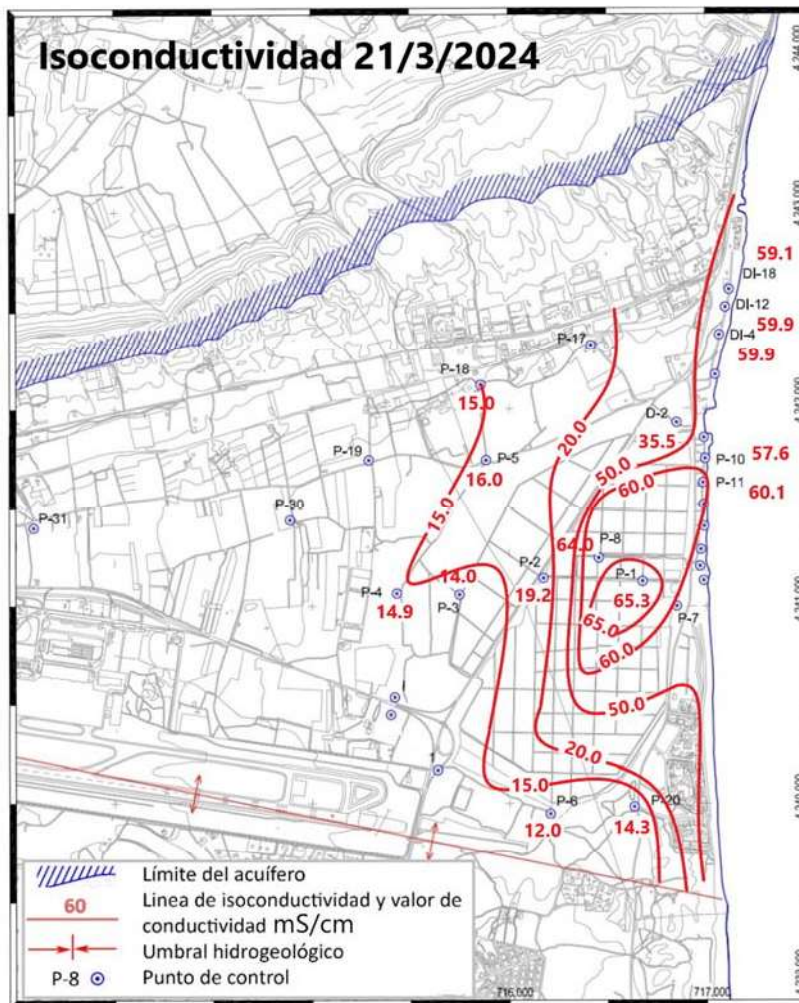


Figura 6.12. Mapa de isoconductividad (mS/cm) a 10 m de profundidad (21/3/2024)

Sobre las interpretaciones que puedan hacerse de los valores de salinidad, hay que decir que éstas serán bastante limitadas si se tiene en cuenta que el movimiento de difusión de la sal en el acuífero no necesariamente responde a las condiciones de flujo impuestas en el mismo (descarga natural, riegos y extracciones). Intervienen además el flujo convectivo impulsado por gradientes de densidades y el proceso de disolución de sales en el terreno.

No obstante, observando la distribución de isolíneas de conductividad se aprecia que los valores más altos de salinidad se encuentran localizados bajo el saladar, comprendido por la isolínea 60.0 mS/cm, con máximos de 65.3 en P-1. Esta salinidad es resultado de la mezcla del agua de mar de recarga (≈ 53.2 mS/cm como promedio desde 2010) y agua subterránea continental (8.0 – 10.0 mS/cm). La disolución de la costra salina presente en los suelos del saladar, que históricamente llegó a elevar la conductividad del agua hasta 400 mS/cm (año 2009), también influye en este proceso. El perímetro occidental del saladar queda delimitado por la isolínea 20.0 mS/cm.

La forma general de las curvas es muy parecida a la del mapa correspondiente abril de 2022 y marzo de 2023, con las isolíneas de valor más alto en el centro del saladar (Figura 6.13).

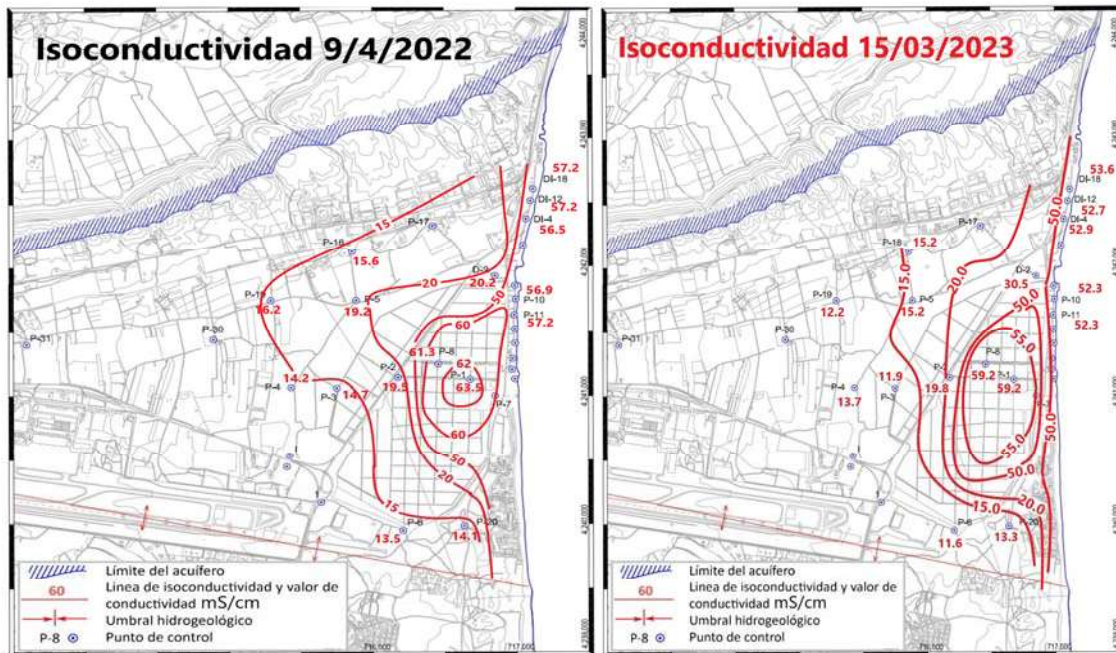


Figura 6.13. Mapas de isoconductividad superficial correspondiente a abril de 2021 y 2022

A lo largo de las campañas de 2023, es posible que se hayan registrado valores de CE eléctrica ligeramente por debajo de los reales, debido a un desajuste en la sonda de medida que se ha corregido en 2024. Es por este motivo que el mapa de 2023 presenta valores inferiores en los máximos (en torno a 5.0 mS/cm).

6.2.2. Evolución temporal de la conductividad y temperatura a 10 m de profundidad.

A continuación, se presentarán datos de piezometría, salinidad y temperatura de piezómetros representativos de las 4 zonas que ya se citaron en el apartado 5.1.2. Las evoluciones temporales de estos parámetros en todos los piezómetros se encuentran en el Anexo II. Como se comentó en el subapartado anterior, es difícil interpretar la relación entre estos parámetros, aunque algunas ideas deben quedar claras de antemano:

- La conductividad eléctrica (directamente proporcional a la salinidad) de un agua procedente de una única fuente, con características invariables a lo largo del espacio y el tiempo, tiene una relación directa con la temperatura, establecida por formulaciones determinadas a partir de leyes constitutivas, como la que proponen Grohman (1987) y Holzbecher (1998):

- $ce \text{ PS/cm) } = 5,48 + 1.43 c \text{ (mg/l) (Grohman)}$

- $c \text{ (mg/l)} = -3,83 + (0.699) \text{ ce (PS/cm) (Holzbecher)}$

Estas formulaciones podrían aplicarse en las aguas continentales situadas al oeste del saladar.

- La mezcla entre aguas de distinta procedencia y salinidad limita la aplicación de estas formulaciones, que dejan de ser aplicables, aunque se pueden utilizar para una valoración aproximada. Esto sucede, principalmente, en los piezómetros del saladar y del entorno de las captaciones de la DA-I.

- La mezcla de agua de distinta temperatura distorsiona la relación directa con la salinidad, como sucede cuando se riega con agua de mar sobre el saladar o cuando aumentan las extracciones en las desaladoras. En ambos casos, la temperatura y salinidad del agua subterránea es diferente a la del agua que entra en el sistema.

- Las lluvias provocan un efecto de dilución en el agua subterránea cuando no son abundantes. Cuando son muy abundantes, provocan una alimentación de los acuíferos superficiales desde los acuíferos más profundos, que contienen salmueras. Este efecto se constata con unos meses de desfase respecto al periodo de intensas lluvias. En cada caso se formulará la posible dependencia de estos parámetros.

a) Zona al Oeste del Saladar

En el periodo enero-marzo de 2024, la conductividad eléctrica en esta zona (P-3, 2, 4, 5, 6, 18 y 20) varía entre 9.5 y 19.7 mS/cm, con los valores más altos en el P-2, que se encuentra más próximo al saladar. Las temperaturas a 10 m de profundidad varían entre 19.1° y 21.3°. La evolución de piezometría, conductividad y temperatura del piezómetro P-3 pueden verse en la Figura 6.15.

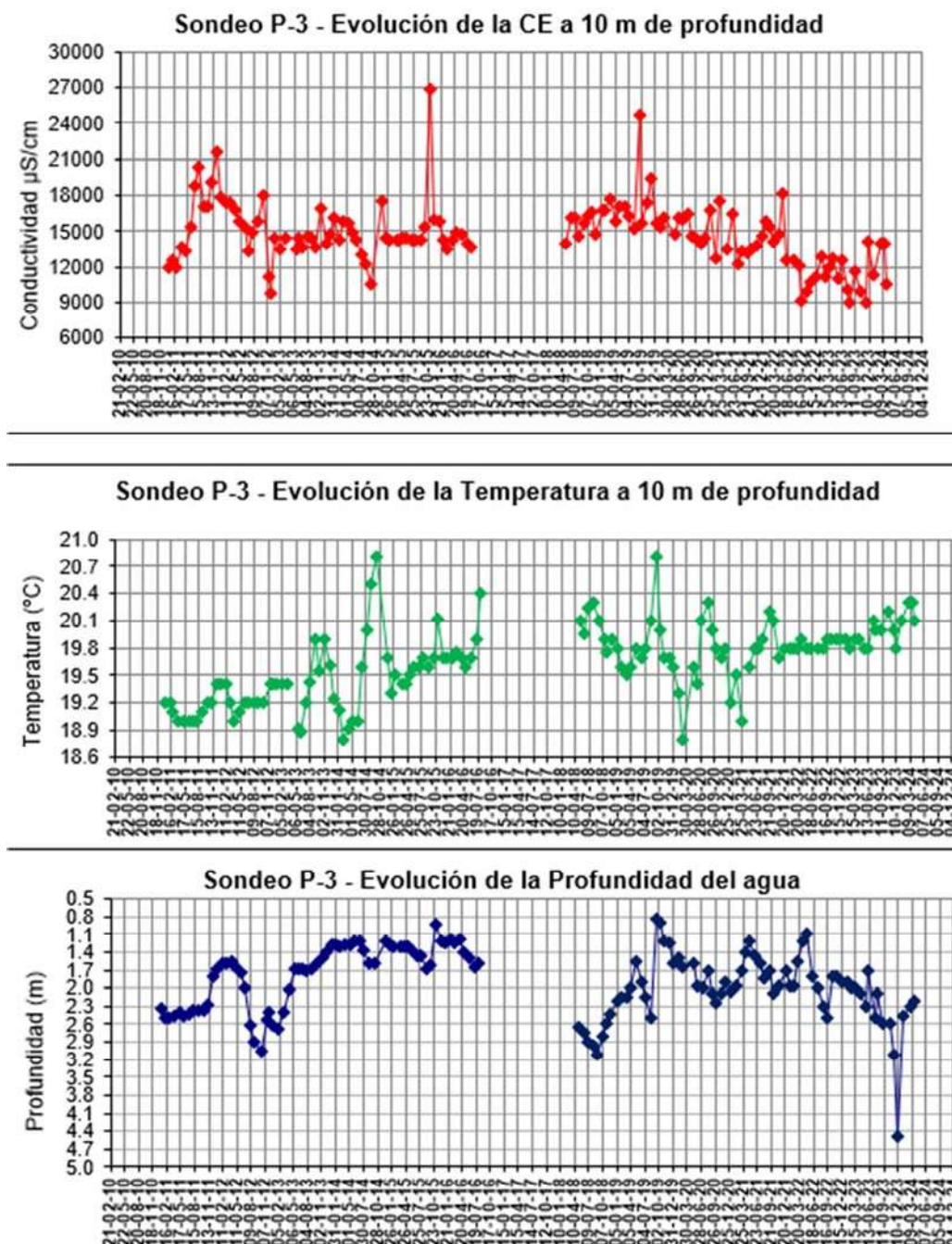


Figura 6.15. Evolución de la piezometría (arriba) y temperatura (en medio) y conductividad (abajo) a 10 m de profundidad en el piezómetro P-3

No se aprecian cambios o tendencias significativas en ninguno de los piezómetros a lo largo del trimestre. En general, se observa que los periodos de mayores depresiones piezométricas (2011, finales de 2012, principios de 2013, verano de 2018, 2020, 2021 y 2022 y noviembre-diciembre de 2023) no se corresponden con variaciones apreciables de la temperatura y conductividad. Se intuye una variación estacional de la temperatura del agua subterránea, en concordancia con las temperaturas ambientales, si bien esta observación no es tan obvia en piezómetros situados junto a la costa o en el propio saladar,

dato que la profundidad del nivel freático influye en las variaciones de temperaturas de cada piezómetro a lo largo de la serie (cuanto más cerca de la superficie se encuentre el nivel freático, más oscilan sus temperaturas). Por otra parte, existe una tendencia al aumento de la temperatura (+0.4°) en los últimos 3 años y un descenso de la CE (-0.5 mS/cm) en los últimos 5 años.

b) Zona del Saladar.

En el periodo enero – marzo de 2024, la conductividad eléctrica en esta zona (P-1, 8 y D-2) varía entre 31.5 y 65.3 mS/cm. Las temperaturas a 10 m de profundidad varían entre 16.2° y 20.5°. La evolución de piezometría, conductividad y temperatura del piezómetro P-1, pueden verse en la Figura 6.16.

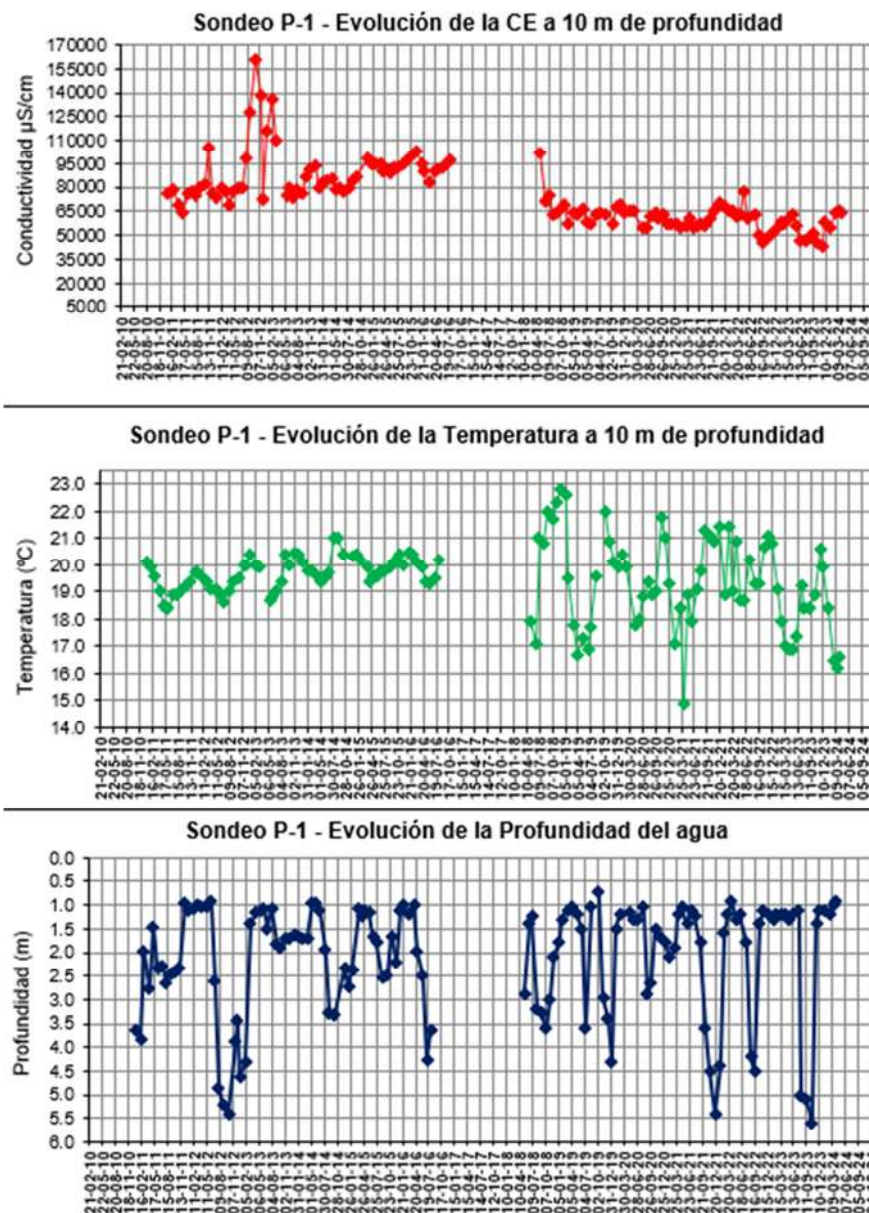


Figura 6.16. Evolución de la piezometría (arriba) y temperatura (en medio) y conductividad (abajo) a 10 m de profundidad en el piezómetro P-1

La tendencia al aumento de la salinidad del periodo 2010-2016 cesó a lo largo de 2018-24. En los piezómetros P-1 y P-8 se han registrados valores de CE más bajos hasta la fecha. La variación de la temperatura oscila debido a la proximidad del nivel freático a la superficie del terreno y por el efecto de la recarga con agua de mar desde el saladar. Dado que el agua utilizada en la recarga procede del mar, la temperatura del agua en los piezómetros oscila en paralelo.

c) Zona costera de la Desaladora II

La conductividad eléctrica y la temperatura a 10 m de profundidad en esta zona (P-10 y P-11) varía entre 48.7 y 60.1 mS/cm y 15.5° y 22.4°, respectivamente, para el trimestre enero-marzo de 2024 (Figura 6.17). Debido a la influencia del agua de mar en este piezómetro, también se ha representado la evolución de estos parámetros en el agua de mar (Figura 6.18).

Como observaciones generales se puede decir que existe una relación inequívoca entre las variaciones de temperatura y salinidad del piezómetro y las del agua de mar, aunque los cambios en las aguas subterráneas tienen cierta inercia (suceden con algo de retardo respecto a los cambios en el agua de mar). Las variaciones de la conductividad eléctrica a lo largo de 2022 y 2023 son las más amplias del periodo estudiado (de 68.0 mS/cm en mayo a 36.0 mS/cm en diciembre), aspecto que también se aprecia en el agua de mar (Figura 6.18). El desajuste de la sonda de medida puede haber influido en los valores bajos obtenidos en el último semestre de 2023, siendo más representativos los de 2024 (entre 55.0 y 60.00 mS/cm).

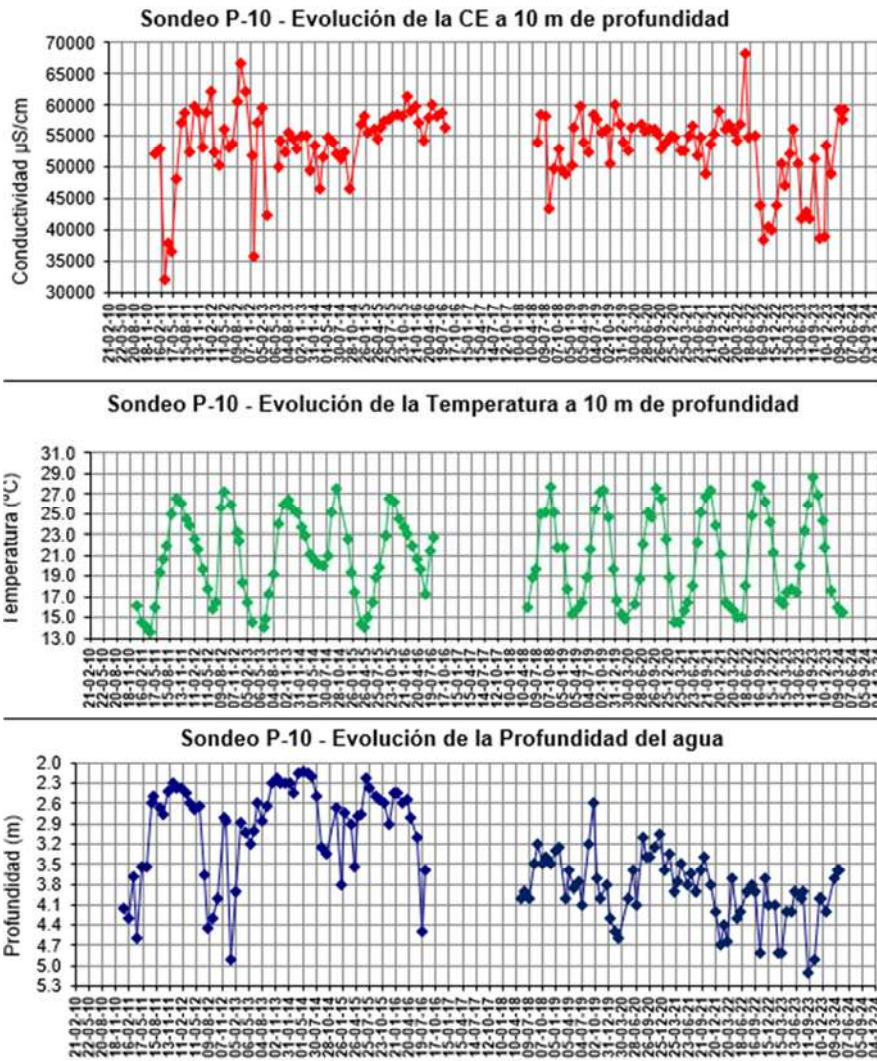


Figura 6.17. Evolución de la piezometría (arriba) y temperatura (en medio) y conductividad (abajo) a 10 m de profundidad en el piezómetro P-10

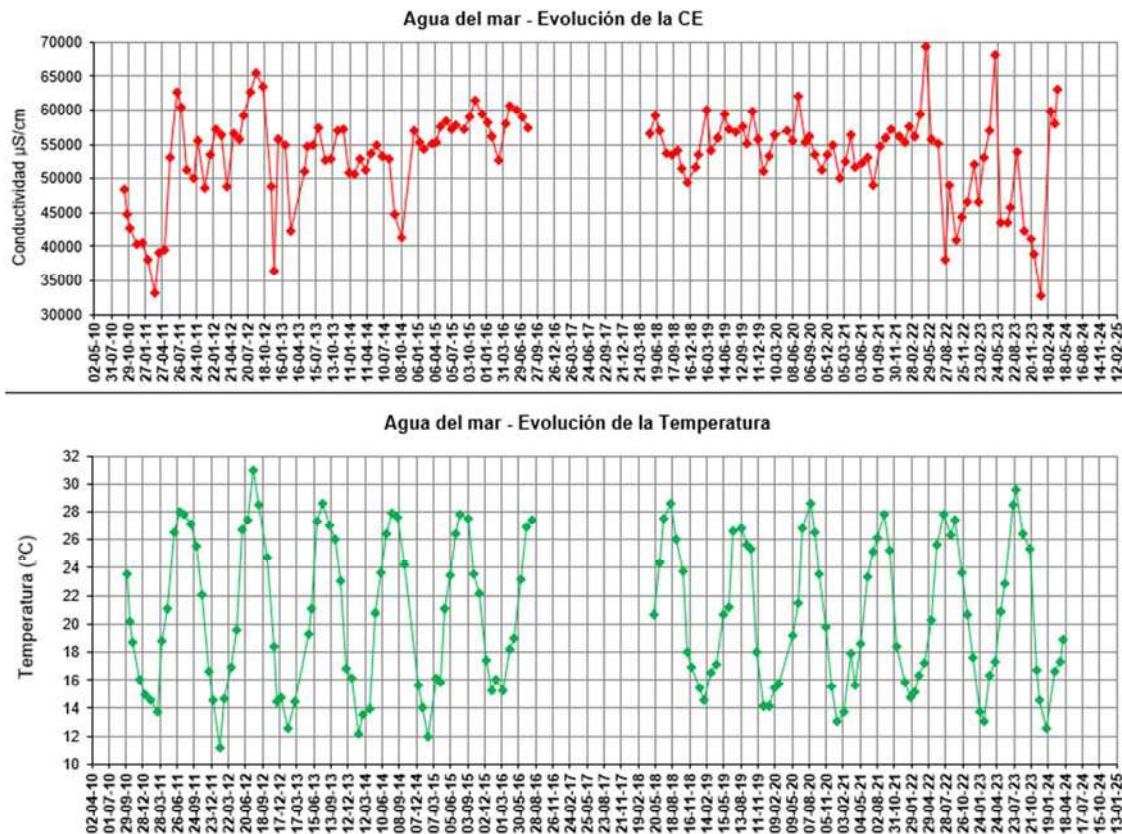


Figura 6.18.

Evolución de la temperatura (arriba) y la conductividad (abajo) del agua de mar

d) Desaladora de Alicante I

La conductividad eléctrica y la temperatura en esta zona (DI-4, DI-12 y DI-18) y a 35 m de profundidad, varía entre 48.9 y 60.4 mS/cm y 16.6° y 24.1°, respectivamente, para el periodo enero - marzo de 2024. Como piezómetro representativo se utilizarán las variaciones de piezometría, temperatura y conductividad eléctrica del DI-4 (Figura 6.19).

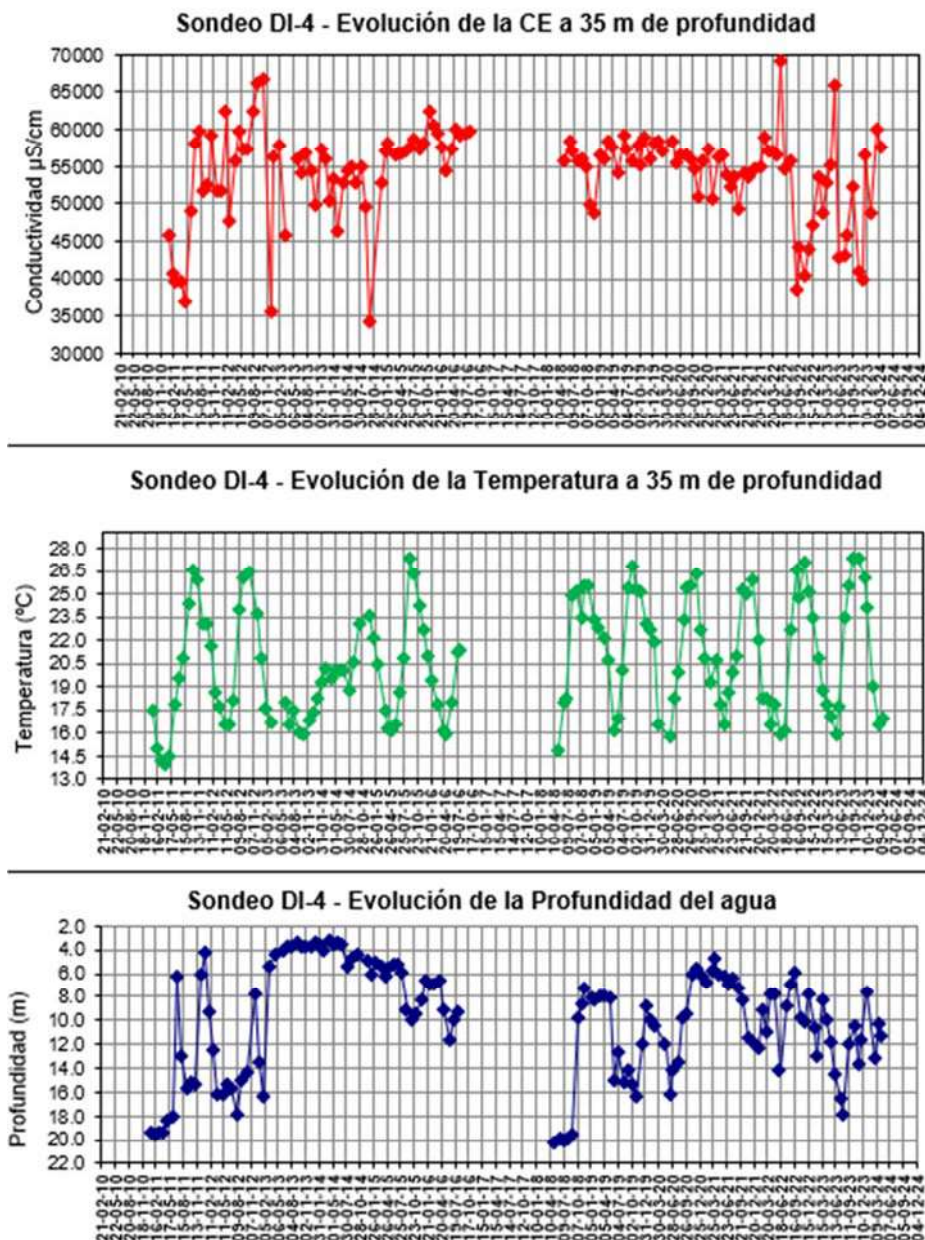


Figura 6.19. Evolución de la piezometría (arriba) y temperatura (en medio) y conductividad (abajo) a 10 m de profundidad en el piezómetro DI-4

Para entender la evolución de la temperatura y la salinidad en este pozo, se ha de tener en cuenta que la extracción en la DA-I conlleva la entrada del agua de mar en el entorno de las captaciones y, por tanto y en general, una evolución paralela de conductividad eléctrica y temperatura entre la del agua de mar y los pozos. Hasta aquí el comportamiento sería similar al de los piezómetros P-10 y P-11. Además, se aprecian algunas tendencias menos relevantes: i) cuando el régimen extractivo es alto la salinidad aumenta ligeramente por encima de la del agua de mar, debido a la influencia de las salmueras bajo el saladar, ii) cuando la extracción disminuye suele ir acompañada de la disminución de la salinidad respecto al agua de mar, por la influencia de la descarga continental menos salina, iii) cuando el régimen extractivo es variable (por ejemplo, 2011 y 2012), suelen producirse variaciones

importantes de la salinidad y iv) un parón en las extracciones (2013) repercute en el perfil de variaciones de temperatura del agua del pozo, que apunta a la influencia de la temperatura geotermal.

Existe cierto desfase en la variación de la temperatura en los piezómetros respecto a la del agua de mar, debido a que los cambios en las aguas subterráneas tienen cierta inercia (suceden con algo de retardo respecto a los cambios del agua de mar).

Variaciones de la conductividad eléctrica en profundidad.

Los perfiles de variación de la conductividad eléctrica en profundidad están determinados por la presencia de salmueras bajo el saladar, el programa de riego y la entrada de agua de mar y agua dulce en el sistema. Un estudio pormenorizado y concienzudo de estas relaciones se encuentra en la publicación “*Chemical and physical parameters as trace markers of anthropogenic-induced salinity in the Agua Amarga coastal aquifer (southern Spain)*” (Alhama, I. *et al.*, 2012c).

El modelo de comportamiento de la conductividad eléctrica sigue 4 patrones diferentes. En la Tabla 6.1 se clasifica cada uno de los piezómetros según dicho criterio.

Tabla 6.1. Agrupación de los piezómetros en función del modelo de comportamiento de la conductividad eléctrica en profundidad

Tipo de comportamiento	Descripción	Piezómetros
a	Valor constante con la profundidad (entre 45 y 120 mS/cm) *	1, 8 y D-2
b	Aumento con la profundidad hasta valores comprendidos entre 30 y 45 mS/cm	2, 3 y 18
c	Aumento con la profundidad hasta valores comprendidos entre 10 y 20 mS/cm	4, 5, 6 y 20
d	Valor constante con la profundidad (entre 40 y 65 mS/cm)	10, 11, DI-4, DI-12 y DI-18
*D-2 presenta valores inferiores hasta los 15 m de profundidad		

El comportamiento tipo “a” está fuertemente influenciado por la salinidad del terreno en superficie y la presencia de salmueras en profundidad, que llegaron a dar registros en el agua subterránea superiores a 400 mS/cm en muestras tomadas en la fase de investigación previa a la construcción de las desaladoras. En la Figura 6.20 se presentan las variaciones del P-1, que se ha tomado como representativo.

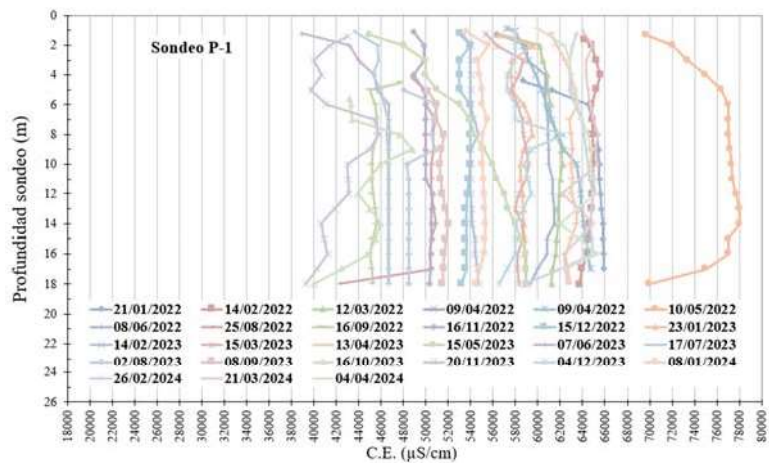


Figura 6.20. Variaciones de la conductividad en profundidad del P-1 para el periodo 2022-2024

El efecto del riego con agua de mar sobre el saladar trae como consecuencia que la salinidad del agua subterránea se equipare progresivamente a la del mar. Las mismas observaciones comentadas para las oscilaciones a lo largo del trimestre a 10 m de profundidad se pueden aplicar para las variaciones a lo largo de todo el perfil.

El comportamiento tipo b refleja la existencia de aguas subterráneas salobres características de los acuíferos continentales de la zona en los primeros metros (entre 10 y 15 mS/cm), y el aumento de la conductividad en profundidad debido a la influencia del saladar y de las salmueras en profundidad. En la Figura 6.21 se presentan las variaciones del P-2, que se ha tomado como representativo.

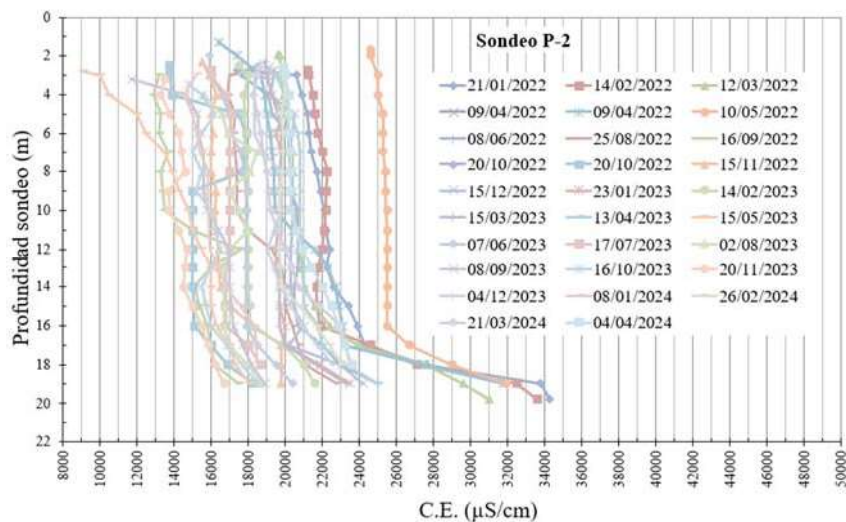


Figura 6.20. Variaciones de la conductividad en profundidad del P-2 para el periodo 2022-2024

El comportamiento tipo “c”, al igual que el “b”, manifiesta la existencia de aguas subterráneas salobres características de los acuíferos continentales de la zona en los primeros metros (entre 5 y 15 mS/cm) y el aumento de la conductividad en profundidad debido a la influencia del saladar y las salmueras en profundidad. La diferencia radica en que en este grupo la influencia del agua subterránea continental

es mayor y el plan de riegos no causa efecto apreciable sobre la conductividad. Se toma como piezómetro representativo el P-5 (Figura 6.21).

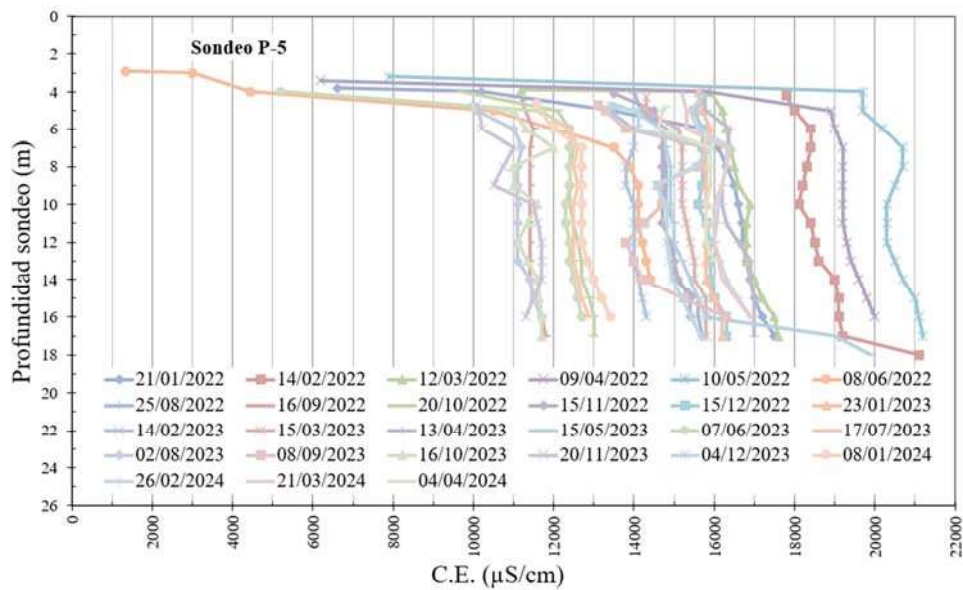


Figura 6.21. Variaciones de la conductividad en profundidad del P-5 para el periodo 2022-2024

Por último, el tipo **d** representa el comportamiento de piezómetros fuertemente influenciados por la entrada de agua de mar en el sistema y, por tanto, por las variaciones de la conductividad del agua de mar a lo largo del año (Figura 6.19). En la Figura 6.221 se presentan las variaciones del DI-4, que se ha tomado como representativo.

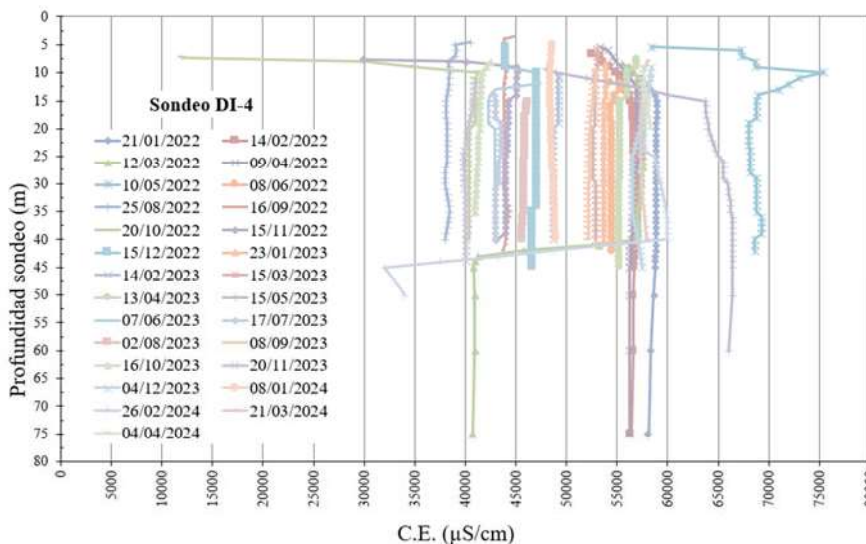


Figura 6.21. Variaciones de la conductividad en profundidad del DI-4 para el periodo 2022-2024

Los piezómetros del tipo “d” se ven influenciados en los primeros metros por presencia de agua de baja recirculación, que determina valores inferiores al agua de mar.

Cabe resaltar que no todos los piezómetros se ciñen a un modelo concreto. Así, por ejemplo, D-2 presenta características intermedias entre a y b. Los datos de conductividad eléctrica en profundidad del resto de piezómetros se encuentran en el Anexo III.

6.2.3. Variaciones de la temperatura en profundidad

Los perfiles de variación de la temperatura en profundidad están determinados por el gradiente geotérmico, la temperatura ambiental, la temperatura del agua de mar y la temperatura del agua que se infiltra desde la superficie cuando se activa el programa de riegos. Un estudio pormenorizado y concienzudo de estas relaciones se encuentra en la publicación “*Chemical and physical parameters as trace markers of anthropogenic-induced salinity in the Agua Amarga coastal aquifer (southern Spain)*” (Alhama, I. *et al.*, 2012c).

El modelo de comportamiento de la temperatura sigue 4 patrones diferentes, definidos según la forma que adquiere la agrupación de perfiles. En la Tabla 6.2 se clasifica cada uno de los piezómetros según dicho criterio.

Tabla 6.2. Agrupación de los piezómetros en función del modelo de comportamiento de la temperatura en profundidad

Tipo de comportamiento	Descripción	Piezómetros
Embudo	Perfil abierto en superficie que se estrecha en profundidad	1, 2, 3, 6, 8 y 18*
Embudo asimétrico	Perfil abierto en superficie que se estrecha en profundidad, con forma asimétrica	4, 5, D-2 y 20
Seta	Perfil abierto en superficie hasta cierta profundidad, con tendencia a estrecharse en lo más profundo	10 y 11
Cortina	Perfiles verticales invariable, aunque distinto según la época del año	DI-4, DI-12 y DI-18
* Al encontrarse el nivel profundo, las temperaturas varían poco		

El comportamiento tipo “embudo” representa la existencia de una componente de flujo ascendente que condiciona las variaciones de temperatura en profundidad, más o menos constantes a lo largo del año, por el gradiente geotérmico. En superficie las temperaturas varían en concordancia con la temperatura ambiente, pero con cierto retraso o inercia, ya que el coeficiente de calor específico del agua es mayor en comparación con el del terreno o el aire. En la Figura 6.22 se presentan las variaciones del P-8, que se ha tomado como representativo.

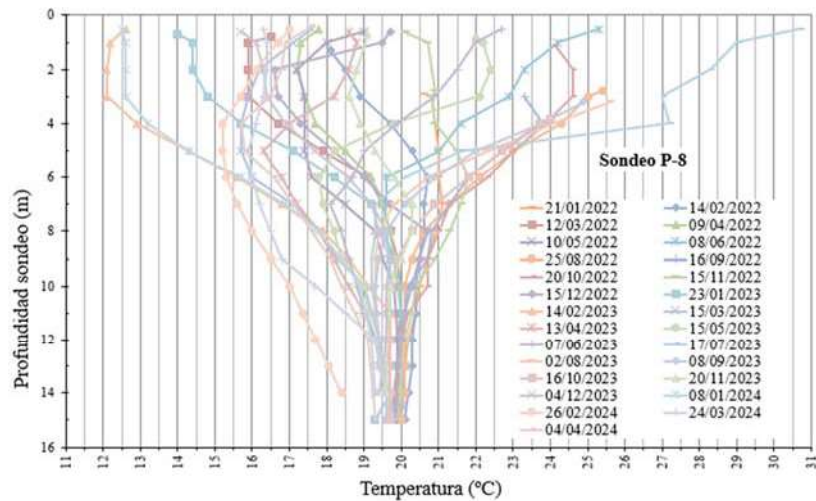


Figura 6.22. Variaciones de la temperatura en profundidad del P-8 para el periodo 2022-2024

En P-1 y P-8 se aprecia que el rango de variación de temperaturas en superficie es algo mayor, debido al calor transferido por el agua que entra al acuífero desde lámina de agua causada por el riego. Este calor se transfiere en profundidad, arrastrando en parte la amplitud del rango de variación de temperaturas superficiales (hasta los 8-10 m de profundidad). Las ligeras diferencias entre el perfil P-1 y P-8 se debe a las componentes de flujo ascendente en el entorno de P-8 (Jiménez-Valera, J.A. et al. 2023).

El comportamiento tipo “embudo asimétrico” se rige por los mismos parámetros comentados en el tipo “embudo”, solo que en éste se aprecia una componente más importante en el flujo subterráneo horizontal y, por otra parte, el efecto de los riegos sobre el saladar (D-2), de forma que la temperatura del agua de la superficie (la de riego) modifica la subterránea conforme se va infiltrando en el terreno. Por otra parte, las elevadas temperaturas alcanzadas en los meses más cálidos de verano también condicionan la temperatura del agua que entra en el sistema desde el riego superficial. En la Figura 6.23 se presentan las variaciones del D-2, que se ha tomado como ejemplo.

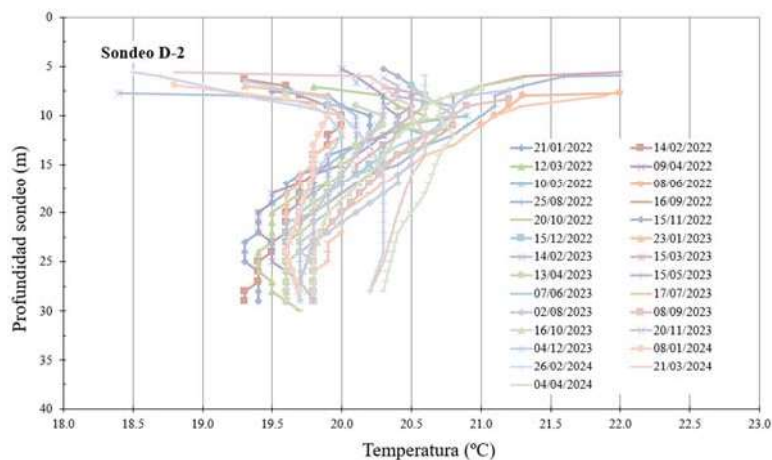


Figura 6.23. Variaciones de la temperatura en profundidad del D-2 para el periodo 2022-2024

Los perfiles de tipo “seta” se encuentran muy influenciados por las temperaturas del agua de mar en los primeros metros, al encontrarse a medio camino entre la línea de costa (fuente de recarga del mar) y las extracciones de la DA-II, y por el gradiente geotérmico, que se manifiesta en una tendencia a un valor constante con la profundidad. Este comportamiento se manifestaba en los piezómetros comprendidos entre el P-9 y el P-15, de los cuales sólo se encuentra disponible el P-11 y P-10 (Figura 24).

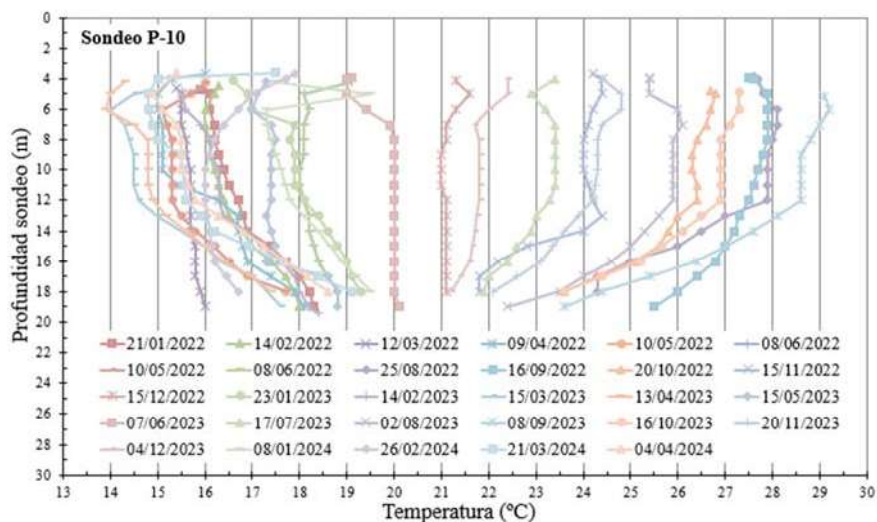


Figura 6.24. Variaciones de la temperatura en profundidad del P-10 para el periodo 2022-2024

Por último, los perfiles tipo “cortina” manifiestan unas temperaturas condicionadas completamente por la temperatura del agua de mar (Figura 6.19), ya que la entrada de agua al sistema de bombeo de la DA-I procede en torno al 98% del agua de mar (Alhama *et al.*, 2012c). Se ha tomado como pozo representativo el DI-4, Figura 6.25.

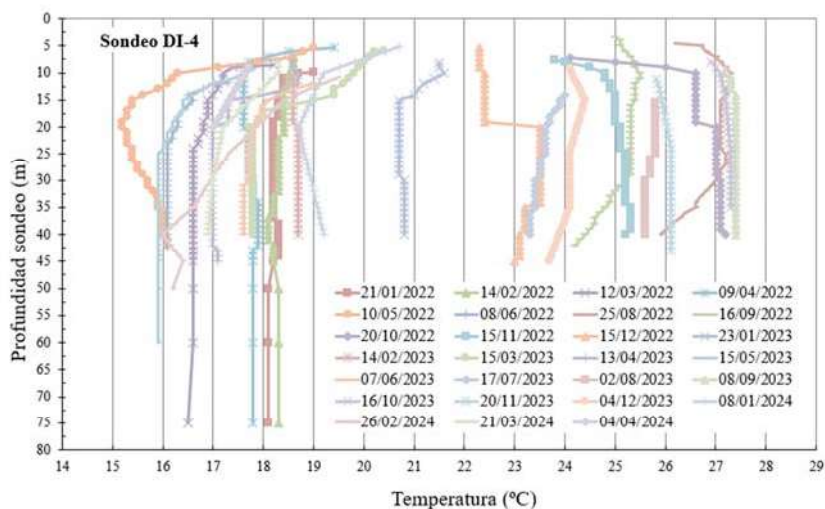


Figura 6.25. Variaciones de la temperatura en profundidad del DI-4 para el periodo 2022-24

El resto de los perfiles de temperatura en profundidad se pueden consultar en el Anexo III.

7. RESUMEN, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

De acuerdo con lo expuesto anteriormente, se realizan las siguientes observaciones:

CLIMATOLOGÍA

La temperatura media y las precipitaciones acumuladas del trimestre enero - marzo de 2024 han sido de 14.1 C° y 21.8 mm, respectivamente. Comparando con el mismo trimestre del periodo de lecturas 2008-2023, esta temperatura se encuentra por encima del promedio (12.8 °C) y las precipitaciones acumuladas son irrelevantes respecto al promedio de 90.5 mm (un 78% inferiores).

DESALADORAS

Durante el trimestre enero-marzo de 2024, el promedio de extracción de la DA-I ha sido de 1.54 hm³/mes, algo inferior a la media correspondiente al mismo trimestre de años precedentes (1.98 hm³/mes desde 2009). En el caso de la DA-II, desde 2016 y salvo en el primer trimestre de 2017, se ha mantenido un régimen extractivo alto, con un promedio de 2.23 hm³/mes. Para esta desaladora la extracción promedio durante los meses enero-marzo de 2024 es de 1.88 hm³/mes, por encima del promedio de la serie para el mismo trimestre desde 2009 (1.26 hm³/mes).

RIEGOS

Desde 2016 hasta marzo de 2023 el programa de riego se ha mantenido prácticamente ininterrumpido, habiéndose parado exclusivamente en el trimestre noviembre de 2016 - enero 2017, octubre-diciembre de 2019, agosto de 2020 y agosto - septiembre de 2022 y 2023. En el trimestre enero - marzo de 2023 el volumen acumulado es de 252.7 dam³, valor por encima del promedio del trimestre con riego en la serie 2010-2023 (191.9 dam³). Durante las visitas realizadas a lo largo del trimestre, se constató la presencia de agua en al menos 8 de los esteros o parcelas de la zona inundable Z-II.

PIEZOMETRÍA Y PROFUNDIDAD DE LA CAPA FREÁTICA

La forma de las líneas isopiezas muestra la existencia de un cono de bombeo situado al norte del saladar, entre los pozos de extracción de la DA-I y el túnel de drenaje de la DA-II, con una depresión piezométrica de a -7.2 m s.n.m en el piezómetro DI-12. Esta depresión está causada por la extracción de agua en las desaladoras a través de las areniscas del Plioceno. Debido a este cono de bombeo, los valores negativos de piezometría en todos los piezómetros (salvo P-4, P-6 y P-20) establecen un potencial hidráulico de entrada del agua de mar hacia el continente. La dirección general del flujo en la parte continental es desde el suroeste hacia el noreste. El propio cono de bombeo actúa a modo de barrera e impide que el agua de mar penetre hacia el continente más allá de la extensión del saladar.

La isolinia 0.0 m s.n.m. atraviesa el centro del saladar y se extiende al noroeste, transversalmente a la Sierra del Colmenar. Los gradientes piezométricos son acusados al norte del saladar y en la línea de costa (en torno al 5 por mil) y más suaves bajo el saladar y su perímetro continental (alrededor de 1-2 por mil). La forma general de las isopiezas y el movimiento del agua subterránea son similares en los mapas de piezometría de abril de 2024 y marzo de 2023, aunque la depresión piezométrica máxima fue menor entonces (entre -4.5 y -5.0 m s.n.m., respectivamente). La piezometría bajo el saladar no presenta cambios significativos.

Observando la serie histórica de piezometría en la red de control, los valores bajos detectados en el último trimestre de 2023 se han recuperado en 2024 y situado próximos al promedio de la serie. El aumento del volumen de riego y el descenso de las extracciones de la DA-I durante el trimestre enero – marzo de 2024 es la explicación más razonable, habida cuenta de que las lluvias han sido prácticamente despreciables.

Respecto al mapa de isopropiedades, la profundidad media de la capa de agua freática bajo el saladar se encuentra comprendida por la isolinia de 2 m, con valores mínimos en el centro del saladar (0.5 m en P-8) y máximos al norte (5.6 m en D-2). Los valores de profundidad mayores se dan en la base de la Sierra del Colmenar (14.0 m en P-18) y junto a los pozos de extracción de la DA-I (11.7 m en DI-12). Si comparamos con el mapa de isopropiedad correspondiente a abril de 2022 y marzo de 2023, se observa que las variaciones bajo el saladar no han sido significativas. Cabe resaltar únicamente que el piezómetro D-2 presentaba en 2023 un aumento de la profundidad del nivel freático en torno a 2 m respecto a 2022 y 2024. En general se observa que el parámetro más influyente en la profundidad del nivel freático bajo el saladar es el riego.

CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA Y TEMPERATURA DEL AGUA SUBTERRÁNEA

Los valores más altos de conductividad eléctrica se encuentran localizados bajo el saladar, comprendido por la isolinia 60.0 mS/cm, con máximos de 65.3 en P-1. Esta salinidad es resultado de la mezcla del agua de mar de recarga (≈ 53.2 mS/cm como promedio desde 2010) y agua subterránea continental (8.0 – 10.0 mS/cm). La disolución de la costra salina presente en los suelos del saladar, que históricamente llegó a elevar la conductividad del agua hasta 400 mS/cm (año 2009), también influye en este proceso. El perímetro occidental del saladar queda delimitado por la isolinia 20.0 mS/cm.

La forma general de las curvas es muy parecida a la del mapa correspondiente abril de 2022 y marzo de 2023, con las isolíneas de valor más alto en el centro del saladar. Es importante dejar constancia de que, a lo largo de las campañas de 2023, se registraron valores de conductividad eléctrica ligeramente por debajo de los reales debido a un desajuste en la sonda de medida que se ha corregido en 2024. Por ello los mapas de isoconductividad de 2023, especialmente el de diciembre, presentan valores

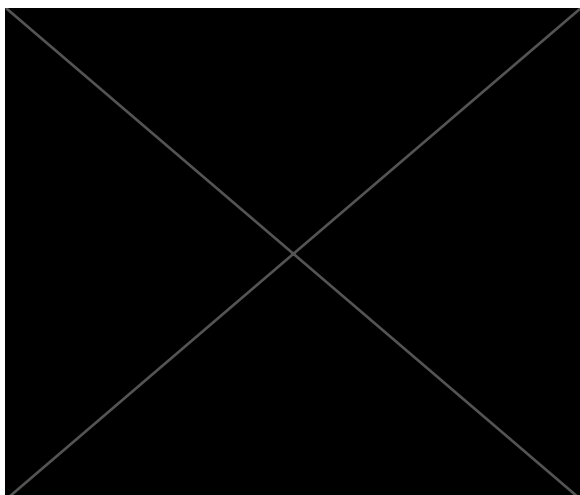
ligeramente inferiores en los piezómetros P-8, P-1, P-10, P-11, DI-4, DI-12, DI-18 y el agua de mar (en torno a -5.0 mS/cm respecto al valor real).

Los perfiles de temperatura no presentan variaciones significativas respecto a los registros precedentes. La temperatura bajo la zona del saladar corresponde a perfiles tipo “embudo” y “embudo asimétrico”, condicionada por la temperatura de agua vertida por el plan de riegos y el flujo ascendente producido por la descarga continental hacia la línea de costa. Las temperaturas en los piezómetros situados en la línea de costa recogen valores muy próximos a los propios del agua de mar, como efecto de la entrada del agua de mar hacia las captaciones de las desaladoras.

ESTADO GENERAL DE LA RED DE CONTROL

Con fecha 16/02/2024, a petición de los técnicos de la MCT, se remitió el documento “2024-02_Informe estado red de control piezométrico agosto 2021” en el que se actualizó el estado de la red de control de cara a una posible ampliación.

A modo de conclusión, se ha subrayar que después de llevar 15 años de control de piezometría y salinidad de las aguas subterráneas del acuífero del saladar en el entorno de las captaciones de las desaladoras DA-I y DA-II, se ha conseguido gestionar el sistema acuífero del Saladar de Agua Amarga, siendo compatible la explotación del recurso (agua subterránea) con el mantenimiento del nivel freático y la salinidad a través del plan de riego con agua de mar, promoviendo así la preservación del entorno natural.



8. BIBLIOGRAFÍA

- Alhama I., Rodríguez Estrella T. y Alhama F. (2010a). Dynamic of the freshwater-seawater transition zone in the Agua Amarga aquifer caused by wetland spilling from the sea. European Groundwater Conference. Proceedings, p.151. Madrid.
- Alhama I., Rodríguez Estrella T. y Montero J. (2010b). Hydrology control of the agua amarga aquifer and the nearby wetlands as regards the Alicante I and II desalination plants. European Groundwater Conference. Proceedings, p.173. Madrid.
- Alhama, I. (2011). Relaciones hidrogeológicas y medioambientales entre el Mar Mediterráneo, El Saladar y el acuífero de Agua Amarga (Provincia de Alicante). Incidencia de las explotaciones de las desaladoras de Alicante I y II y medidas correctoras. Tesis doctoral. 296 p. Universidad Politécnica de Cartagena.
- Alhama Manteca, I.; Rodríguez-Estrella, T. y Alhama López, F. (2012a). Caracterización de escenarios de intrusión marina en acuíferos costeros con saladares y flujos regionales pequeños. Un estudio numérico mediante Fatsim-A. *Nuevas aportaciones al conocimiento de los acuíferos costeros*. TIAC'12. Alicante. IGME . ISBN: 978-84-7840-874-0. V. 1. pp. 537-549.
- Alhama Manteca, I.; Rodríguez-Estrella, T. y García García, C.; (2012b). Efectos de la actividad salinera en el saladar costero de Agua Amarga (Sureste de España) sobre la captación de aguas para las plantas desaladoras de Alicante I y II. *Nuevas aportaciones al conocimiento de los acuíferos costeros*. TIAC'12. Alicante. IGME . ISBN: 978-84-7840-874-0. V. 1. pp. 549-559.
- Alhama, I., Rodríguez Estrella, T. and Alhama, F. (2012c). Hydric restoration of the Agua Amarga saltmarsh (SE Spain) affected by abstraction from the underlying coastal aquifer. *Water Resources Management*. 26:1763-1777. Doi: 10.1007/s11269-012-9987-2JCR, I.F.: 2.201. Q1 T1 (13/78) (Water resources).
- Alhama, I., Rodríguez Estrella, T. and Alhama, F. (2012c). Chemical and physical parameters as trace markers of anthropogenic-induced salinity in the Agua Amarga coastal aquifer (southern Spain). *Journal: Hydrogeology Journal*. 20 (7): 1315-1329. Doi: 10.1007/s10040-012-0876-9. Q2 T2 (31-78) (Water resources).
- Alhama I. (2012). Simulation and consequences of successive anthropogenic actions in the Agua Amarga coastal aquifer (SE Spain) *Hydrological sciences journal* (2012), 58 (5), 1072–1087. DOI: 10.1080/02626667.2013.799773
- Alhama, I., García-Ros, G., González-Alcaraz, M.N. Álvarez-Rogel, J. (2023). Long-term artificial seawater irrigation as a sustainable environmental management strategy for abandoned solar salt works: The case study of Agua Amarga salt marsh (SE Spain). *Catena* 217 (2023) 106429. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2023.106429>
- Álvarez-Rogel, J. (1999). Relaciones suelo-vegetación en saladares del SE de España. Tesis Doctoral. Universidad de Murcia.
- Álvarez-Rogel, J., Barberá, G.G., Maxwell, B., Guerrero-Brotons, M., Díaz-García, C., Martínez-Sánchez, J.J., Sallent, A., Martínez-Ródenas, J., González-Alcaraz, M.N., Jiménez-Cárceles, F.J., Tercero, M.C., Gómez, R. 2020. The case of Mar Menor eutrophication: state of the art and description of tested Nature Based Solutions. *Ecological Engineering* 158, 106086.
- Jiménez-Valera, J.A., Alhama, I., and Trigueros, E. Quantification of Groundwater Vertical Flow from Temperature Profiles: Application to Agua Amarga Coastal Aquifer (SE Spain) Submitted to Artificial Recharge. *Water* 2023, 15 (6). <https://doi.org/10.3390/w15061093>.
- DA-IGME (1994). Viabilidad del almacenamiento subterráneo y recuperación (ASR) de aguas residuales en el Campo de Elche. Evaluación preliminar. Informe Interno.

- González-Alcaraz, M.N., Aránega, B., Conesa, H.M., Delgado, M.J., Álvarez-Rogel, J. 2015. Contribution of soil properties to the assessment of a seawater irrigation programme as a management strategy for abandoned solar saltworks. *Catena*, 126, 189-200.
- González-Alcaraz, M.N., Aránega, B., Tercero, M.C., Conesa, H.M., Álvarez-Rogel, J. 2014. Irrigation with seawater as a strategy for the environmental management of abandoned solar saltworks: a case-study in SE Spain based on soil-vegetation relationships. *Ecological Engineering*, 71: 677-689.
- Grohman A. (1987). Bedeutung und Bestimmung der elektrischen Leitfähigkeit. In: Aurand Ed. *Dir Trinkwasserverordnung*. Erich Schmidt Publ., Berlin, 308-309.
- Holzbecher E. (1998). *Modelling Density-driven Flow in Porous Media*. Springer, Berlín
- MCT (2005). “Proyecto de Ampliación de la Desaladora de la Mancomunidad de los Canales del Taibilla en Alicante. Nueva Desaladora del Canal de Alicante (AC/Alicante)”, realizado por la UTE: Aquagest Levante, S.A.; Sedelam, INATE, Eppa, PROINTEC y Z_Org. Informe Interno.
- MCT (2008). “Estudio hidrogeológico de las obras de captación de la Desaladora de Alicante II” realizado por la UPCT. Informe Interno.
- MCT (abril 2009). “Estudio sobre las variaciones piezométrica y de calidad química registradas en el acuífero de Agua Amarga, con motivo de la puesta en marcha del túnel de la Desaladora de Alicante II”, realizado por la UPCT. Informe Interno.
- MCT (agosto 2010). “Seguimiento piezométrico y de calidad química del acuífero del Saladar de Agua Amarga en el entorno de las captaciones de las Desaladoras de Alicante I y II. Período de observación: 9-1-10/7-7-10”, realizado por la UPCT. Informe Interno.
- MCT (enero 2011). “Seguimiento piezométrico y de calidad química del acuífero del Saladar de Agua Amarga en el entorno de las captaciones de las Desaladoras de Alicante I y II. Período de observación: 7-7-10/11-1-11”, realizado por la UPCT. Informe Interno.
- MCT (Julio 2011). “Seguimiento piezométrico y de calidad química del acuífero del Saladar de Agua Amarga en el entorno de las captaciones de las Desaladoras de Alicante I y II. Período de observación: 7-7-10-11-7-11”, realizado por la UPCT. Informe Interno.
- MCT (Año 2012). “Seguimiento piezométrico y de calidad química del acuífero del Saladar de Agua Amarga en el entorno de las captaciones de las Desaladoras de Alicante I y II. Informes mensuales, intermedio semestral y final.
- MCT - PERFIBESA (junio 2010) “Informe referente al segundo sondeo de Investigación Hidrogeológica para la desaladora de Alicante” (actual P-9). Informe Interno.
- MCT - PERFIBESA (agosto 2001). “Informe referente al tercer sondeo de Investigación Hidrogeológica para la desaladora de Alicante. Sondeo P-1” (actual P-3). Informe Interno.
- MCT - PERFIBESA (septiembre 2001). “Informe referente a la realización de un aforo conjunto para la desaladora de Alicante: Sondeos P-I, P-II Y P-III” (Actuales P-3, P-6 y P-9 respectivamente).
- MCT - PERFIBESA (agosto 2002). “Informe referente a los sondeos P-1, P-2, P-4, P-5, P-7, P-8, P-10, P- 11, P-12, P-13, P-15, P-17 de la desaladora de Alicante”. Informe Interno.
- MCT - PERFIBESA (junio 2004). “Informe referente a los cuatro nuevos sondeos de explotación P-19, P-20, P-21 y P-22 en la desaladora de Alicante”.
- Pulido-Bosch, A. y Rodríguez Estrella, T. (2007). Los acuíferos costeros y el suministro de agua de mar a las plantas desaladoras. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*. Vol. 15.3; 274-279.
- Pulido Bosch, A.; Vallejos, A.; Daniele, L. y Rodríguez Estrella, T. (2009). Acuíferos costeros, desarrollo

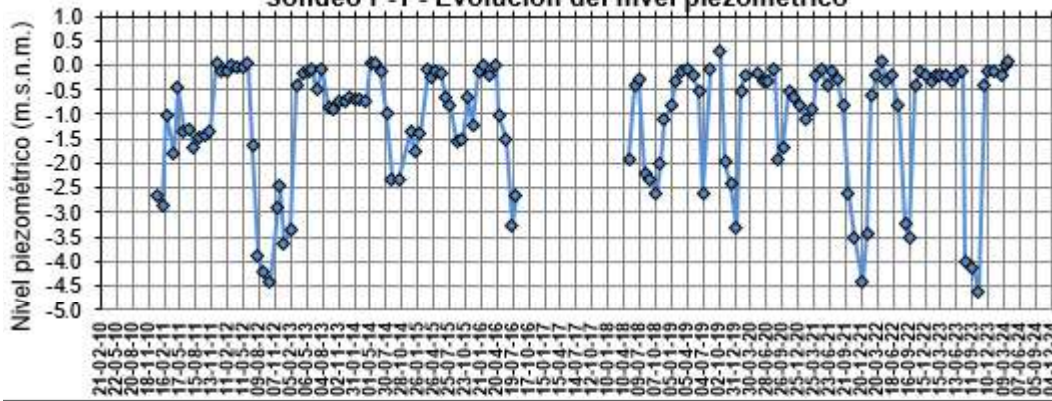
- sostenible y plantas desaladoras. Capítulo del libro: *Planificación y gestión de aguas subterráneas*. Editores: Vives, Custodio y Rodríguez. ACGA de la AIH. pp. 83-92. Buenos Aires. ISBN 978-987-1082-38-4.
- Rodríguez Estrella, T. (2007). La captación de acuíferos costeros para abastecimiento a plantas desaladoras. Capítulo del libro: *Los acuíferos costeros: Retos y soluciones* (TIAC, 07, Almería). Publicaciones del IGME. Editores: Pulido, López Geta y Ramos. Serie: Hidrogeología y Aguas Subterráneas, nº 23. 2 V. pp.959-979. Madrid. ISBN: 978-84-7840-711-8.
- Rodríguez Estrella, T. (2008). Contribución de la Geología e Hidrogeología a la captación de agua marina, para suministro de plantas desaladoras. Capítulo del libro: *Investigación y gestión de los recursos del Subsuelo. Libro homenaje al profesor Fernando Pendás Fernández*. Publicaciones del IGME. Editores: López Geta, Loredó, Fernández y Pernía. Serie Hidrogeología y Aguas subterráneas, nº 27. 1 V. pp. 743-765. Madrid. ISBN: 978-84-7840-773-6
- Rodríguez Estrella, T.; López Limia, B. y Mora Cuenca, V. (1992). Existencia de un neokarst cuaternario en las proximidades del aeropuerto de Alicante. *V Simp. de Hidrog.* pp. 207-229. Alicante.
- Rodríguez Estrella, T.; Martínez Francés, A.; García Pérez-Espejo, D. y Lupiani Moreno, E. (2008). La captación de agua marina de la Desalinizadora de Alicante II: Un desafío tecnológico, consecuencia del respeto al medio ambiente. IX Simp. de Hidrog. Elche. pp 713-727.
- Rodríguez-Estrella, T. and Pulido Bosch, A. (2009). Methodologies for abstraction from coastal aquifers for supplying desalination plant in the south-east of Spain. *Desalination* 249. 1088-1098. Elsevier.
- Rodríguez Estrella, T.; Álvarez-Rogel, J.; Sánchez Lizaso, J.L.; Alhama Manteca, I.; González-Alcaraz, M.N.; Fernández Torquemada, Y. y Montero Meléndez, J. (2012). Gestión ambiental de las desaladoras de la Mancomunidad de los Canales del Taibilla en Alicante. *IX Congreso Internacional AED y R* (Asoc. Españ. de Desal. y Reut.). pp 1-24. Madrid 12-15 Nov. 2012.
- Vepraskas, M.J.; Faulkner, S.P. 2001. Redox chemistry of hydric soils. In *Wetlands soils. Genesis, hidrology, landscape and classification*; Richardson, J.L., Vepraskas, M.J. Eds.; Lewis Publishers: Florida; pp 85-106.

9. ANEXOS

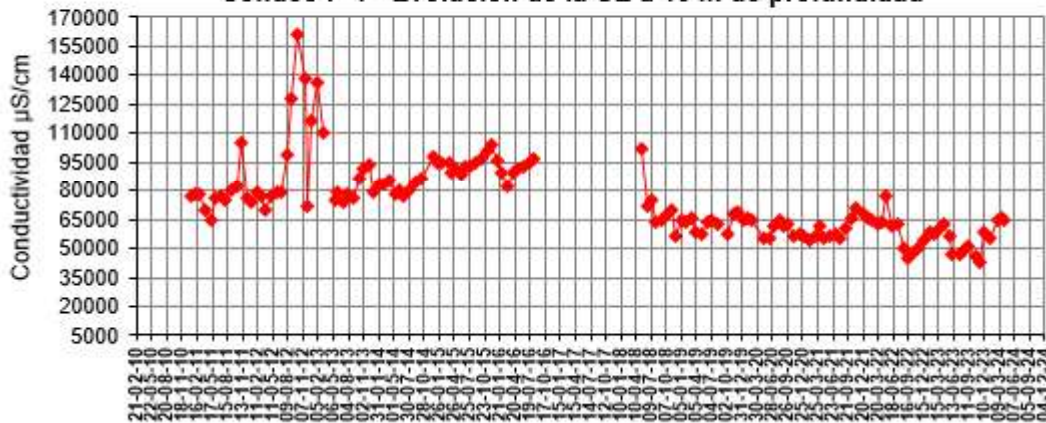
ANEXO I

GRÁFICOS DE EVOLUCIÓN PIEZOMÉTRICA, PROFUNDIDAD DE LA CAPA DE AGUA Y DE CONDUCTIVIDAD Y TEMPERATURA A 10 M DE PROFUNDIDAD

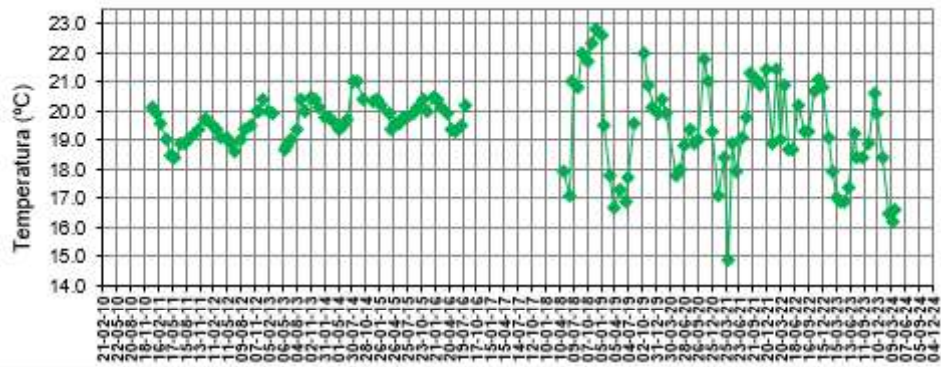
Sondeo P-1 - Evolución del nivel piezométrico



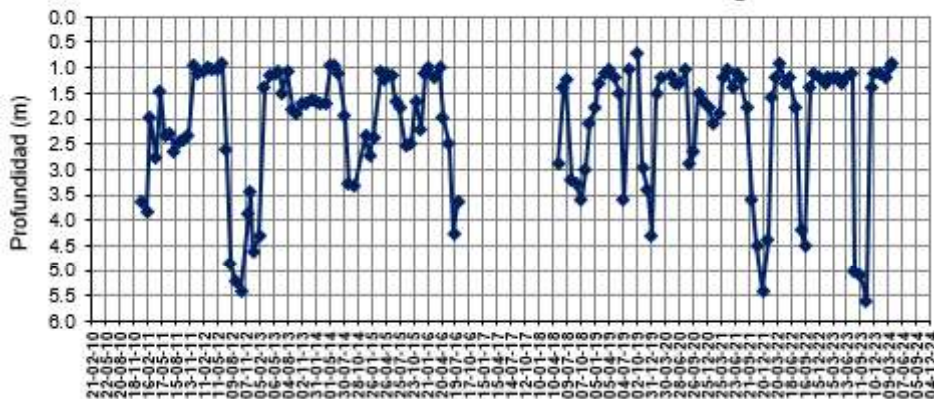
Sondeo P-1 - Evolución de la CE a 10 m de profundidad



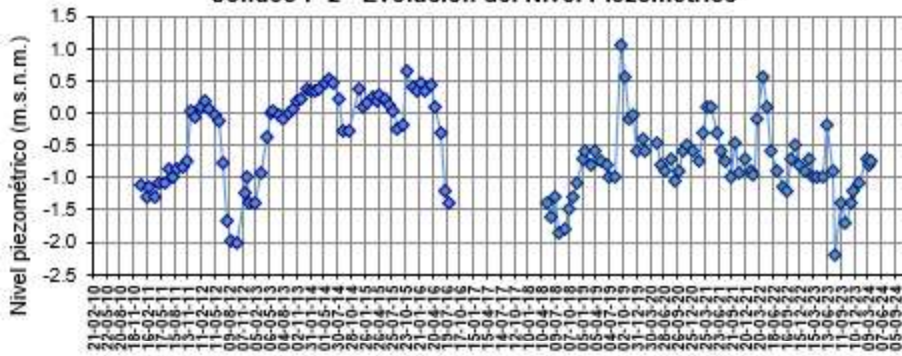
Sondeo P-1 - Evolución de la Temperatura a 10 m de profundidad



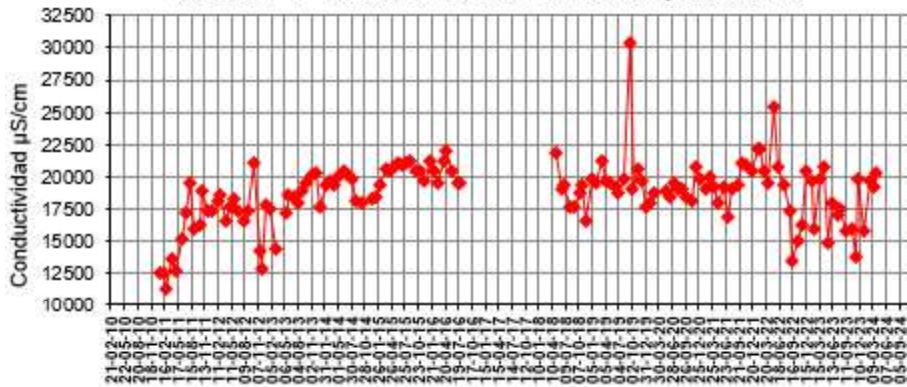
Sondeo P-1 - Evolución de la Profundidad del agua



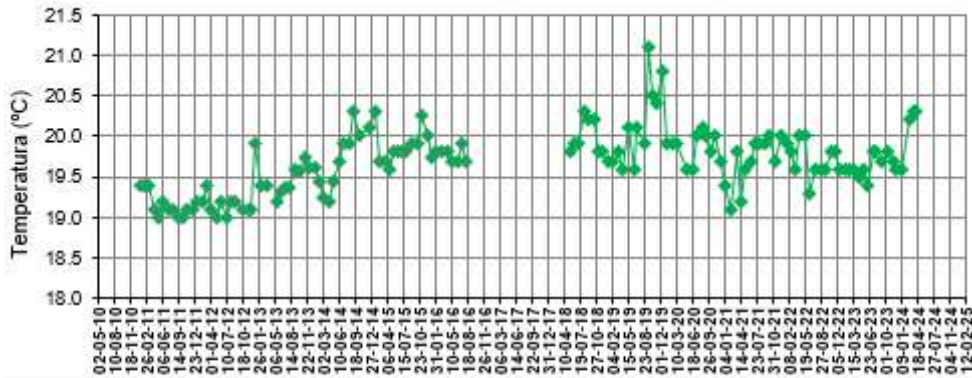
Sondeo P-2 - Evolución del Nivel Piezométrico



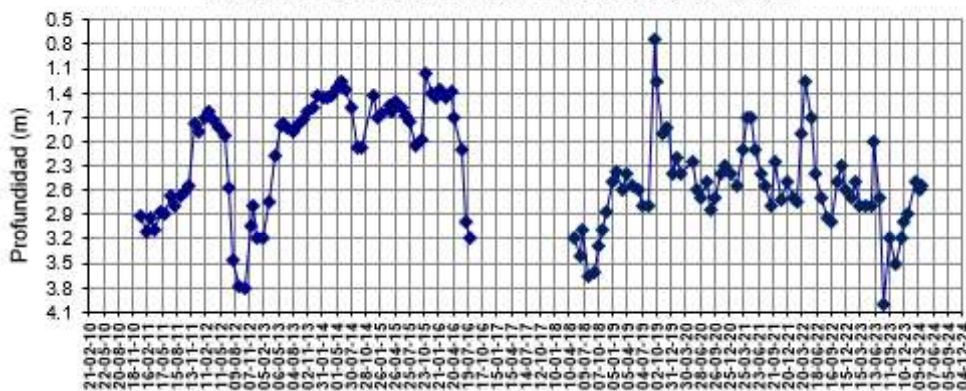
Sondeo P-2 - Evolución de la CE a 10 m de profundidad



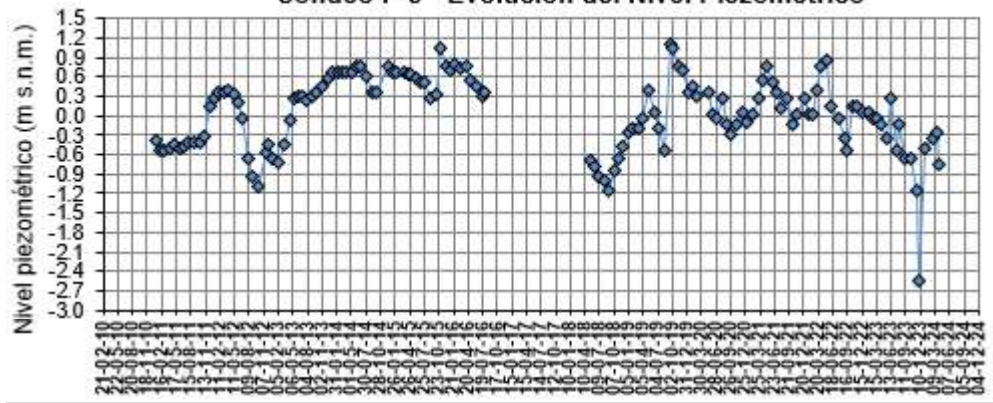
Sondeo P-2 - Evolución de la Temperatura a 10 m de profundidad



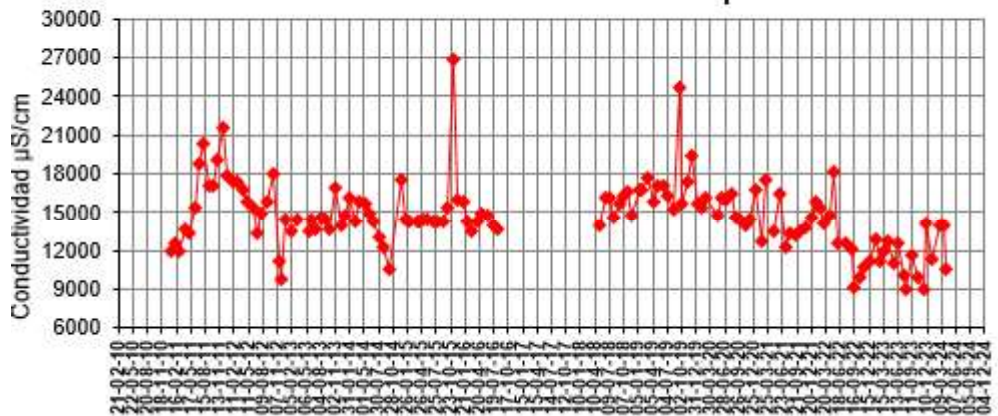
Sondeo P-2 - Evolución de la Profundidad del agua



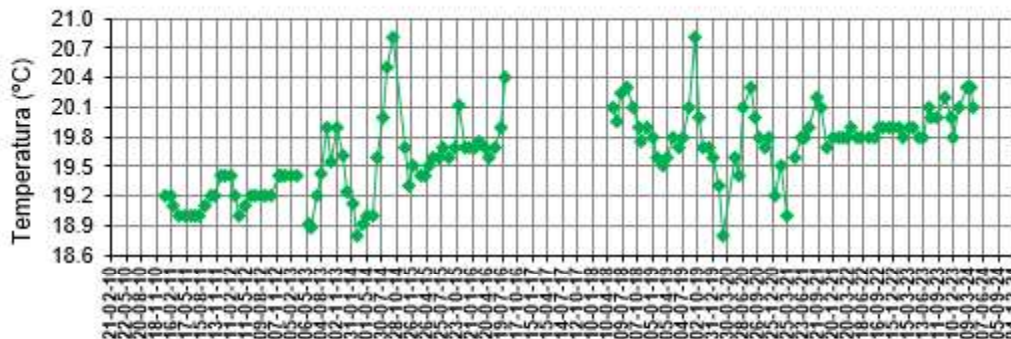
Sondeo P-3 - Evolución del Nivel Piezométrico



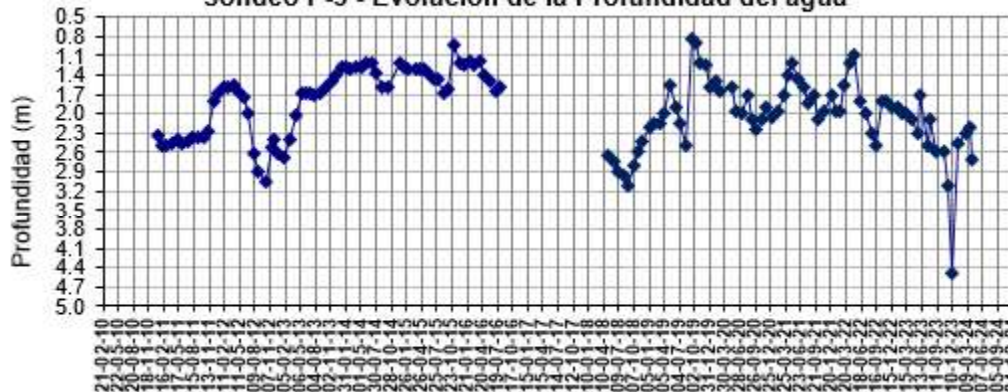
Sondeo P-3 - Evolución de la CE a 10 m de profundidad



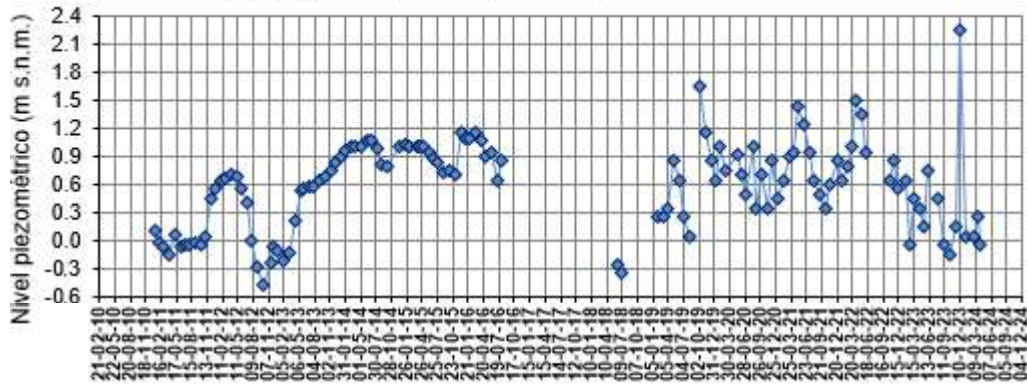
Sondeo P-3 - Evolución de la Temperatura a 10 m de profundidad



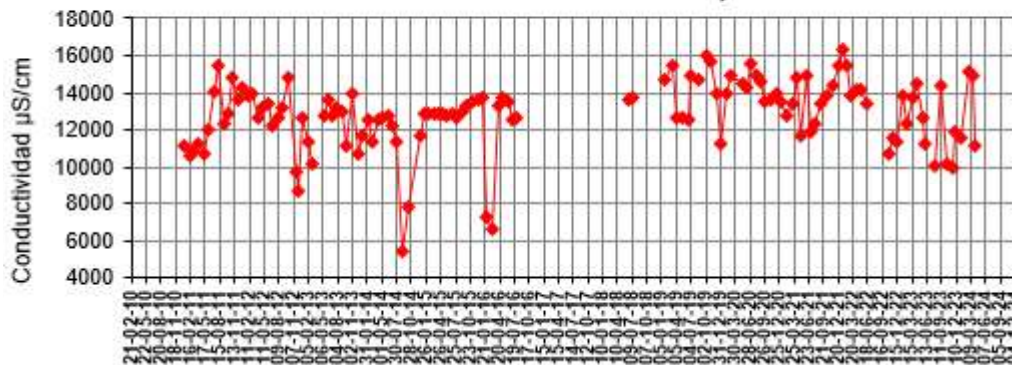
Sondeo P-3 - Evolución de la Profundidad del agua



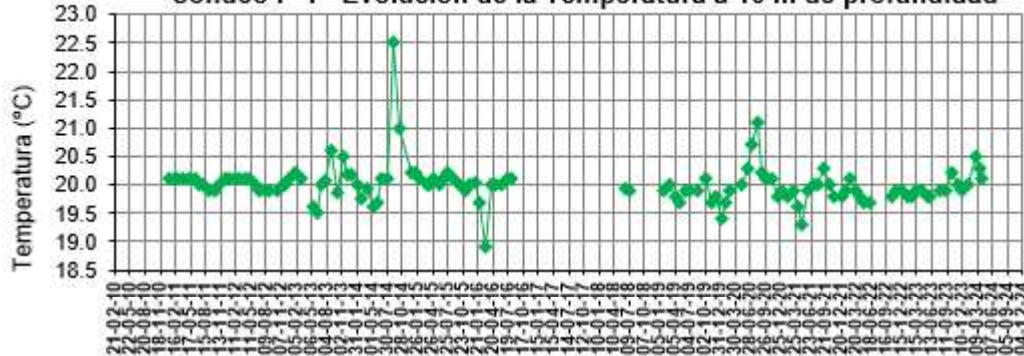
Sondeo P-4 - Evolución del Nivel Piezométrico



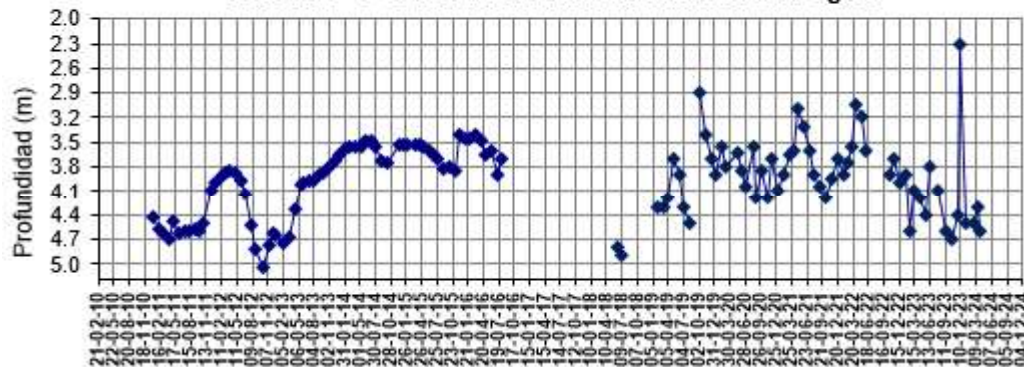
Sondeo P-4 - Evolución de la CE a 10 m de profundidad



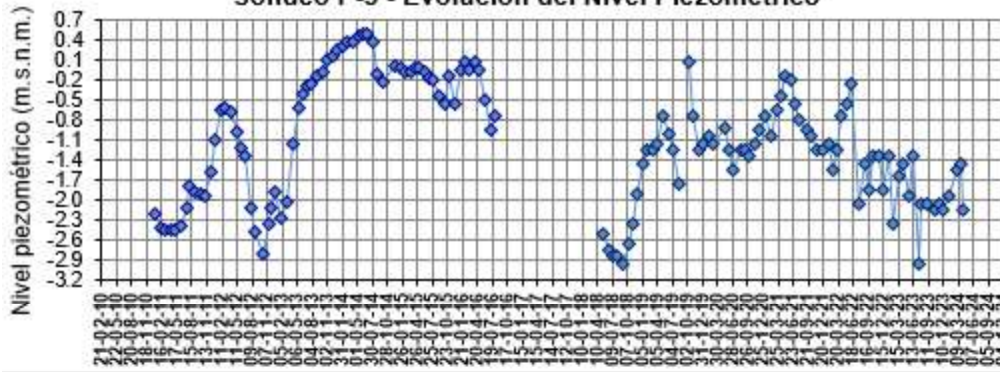
Sondeo P-4 - Evolución de la Temperatura a 10 m de profundidad



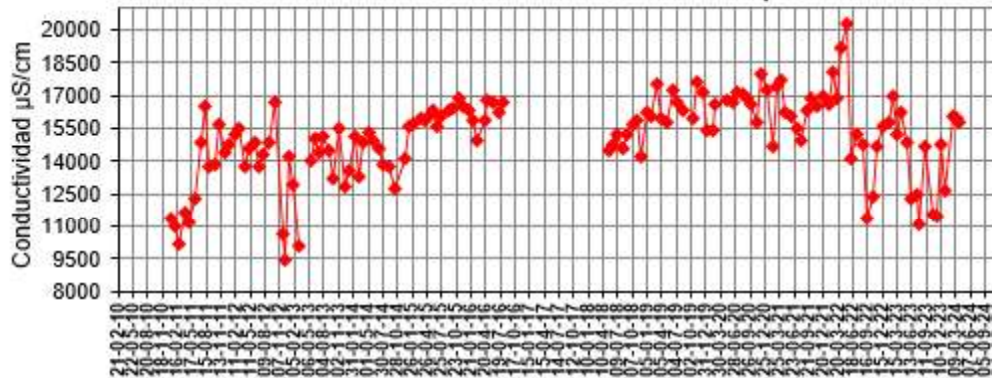
Sondeo P-4 - Evolución de la Profundidad del agua



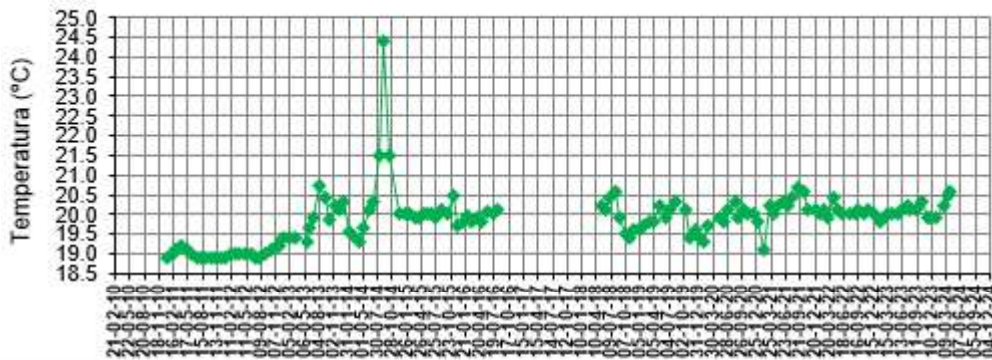
Sondeo P-5 - Evolución del Nivel Piezométrico



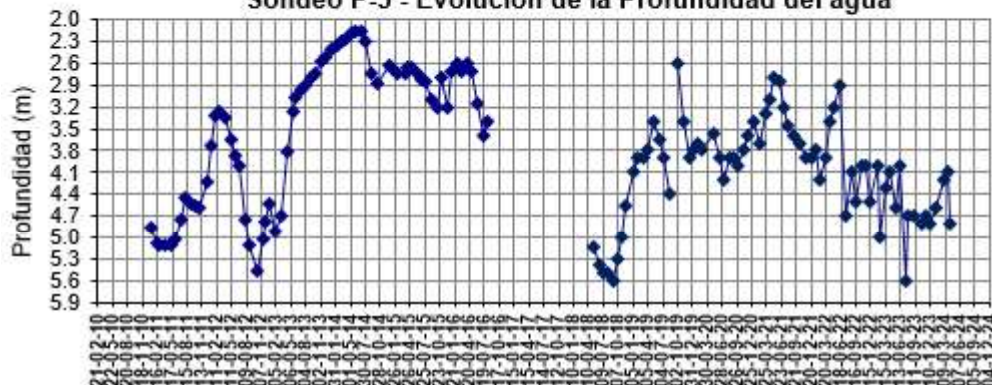
Sondeo P-5 - Evolución de la CE a 10 m de profundidad



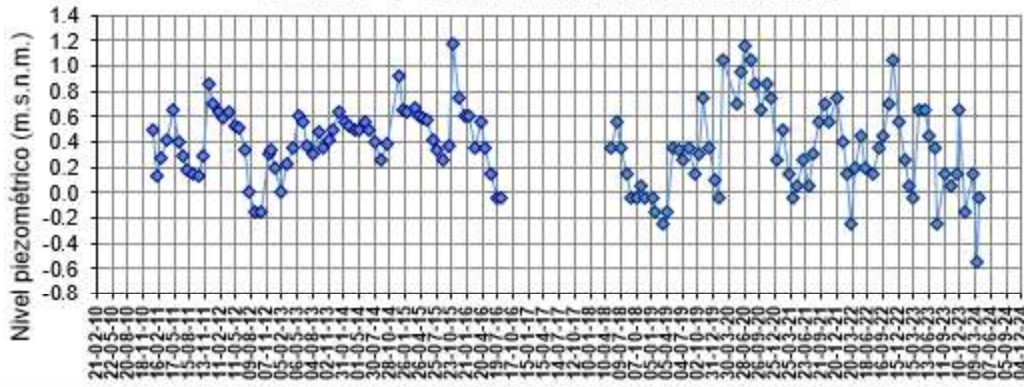
Sondeo P-5 - Evolución de la Temperatura a 10 m de profundidad



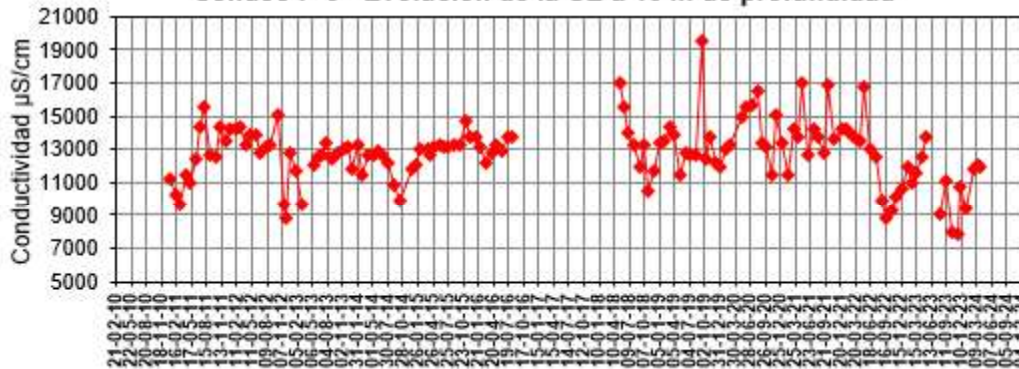
Sondeo P-5 - Evolución de la Profundidad del agua



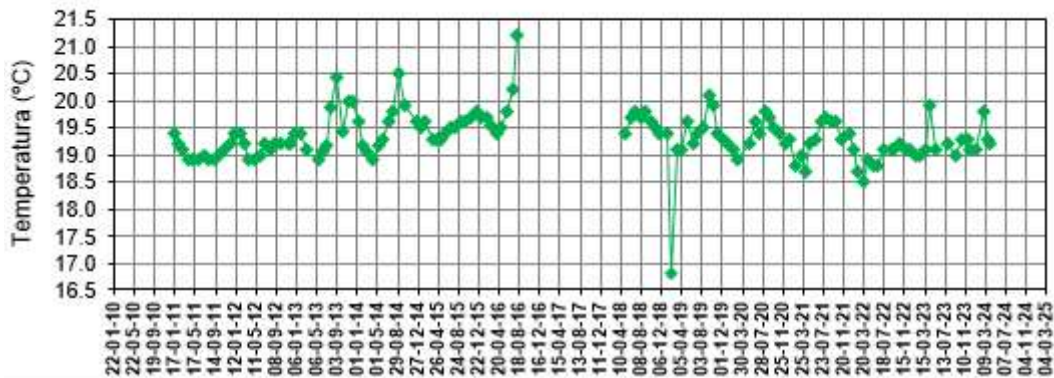
Sondeo P-6 - Evolución del Nivel Piezométrico



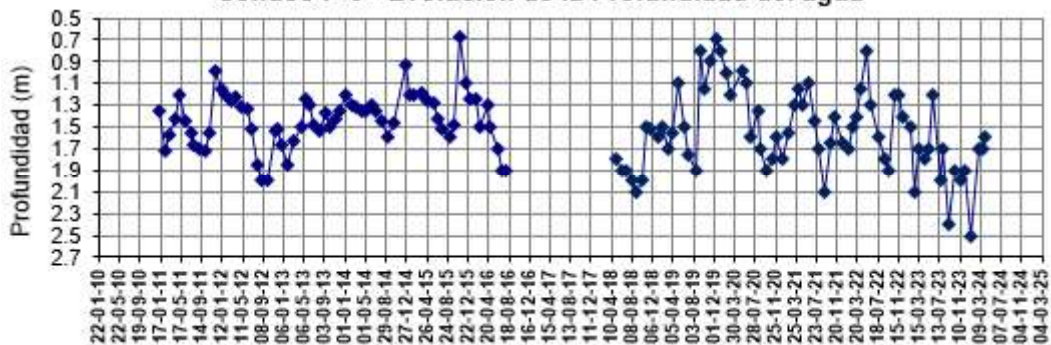
Sondeo P-6 - Evolución de la CE a 10 m de profundidad



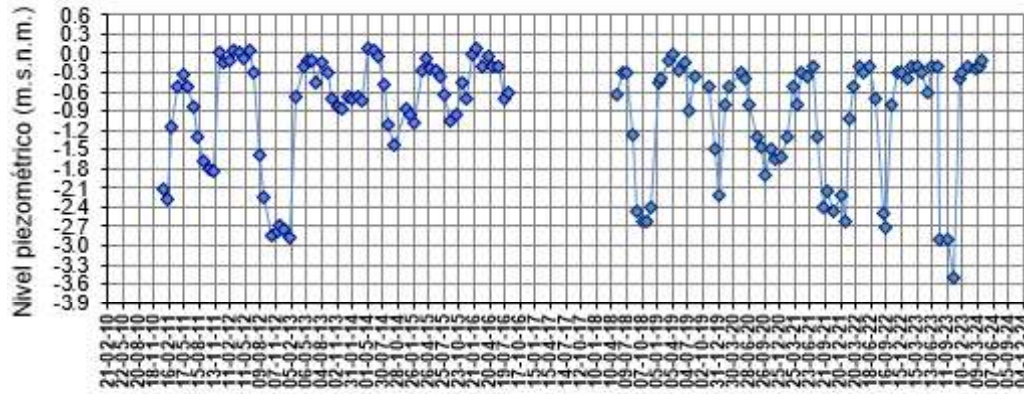
Sondeo P-6 - Evolución de la Temperatura a 10 m de profundidad



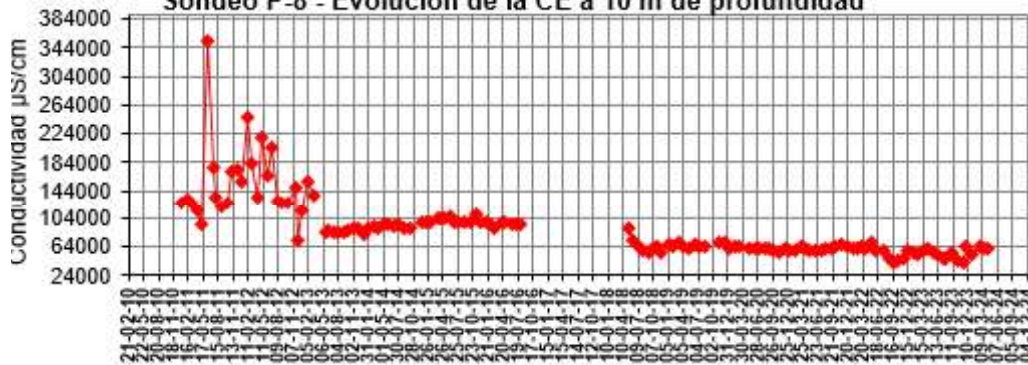
Sondeo P-6 - Evolución de la Profundidad del agua



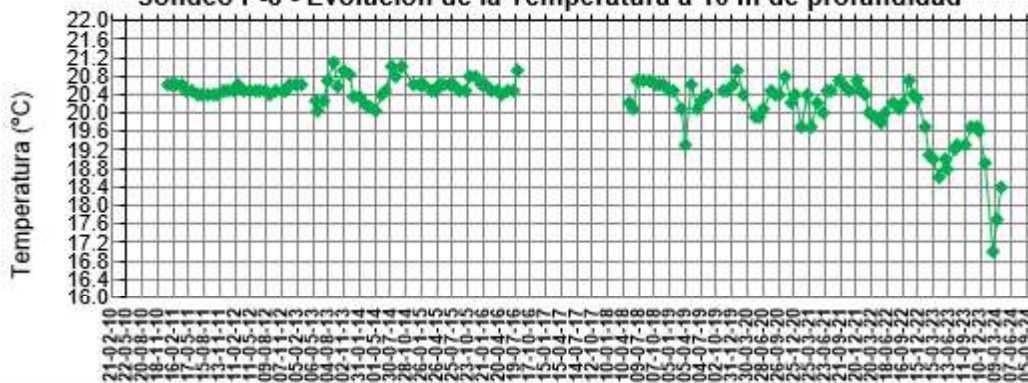
Sondeo P-8 - Evolución del Nivel Piezométrico



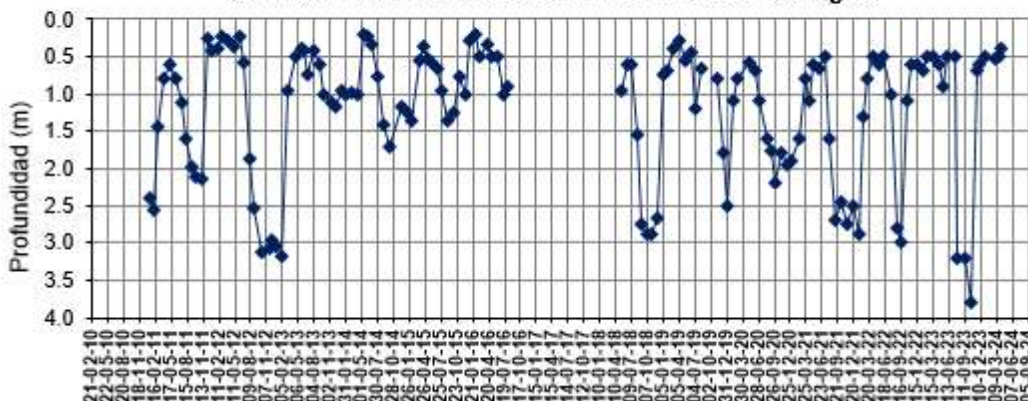
Sondeo P-8 - Evolución de la CE a 10 m de profundidad



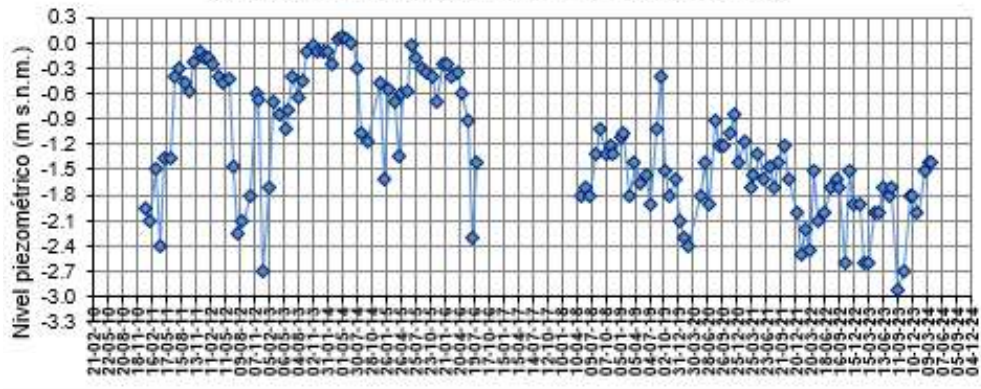
Sondeo P-8 - Evolución de la Temperatura a 10 m de profundidad



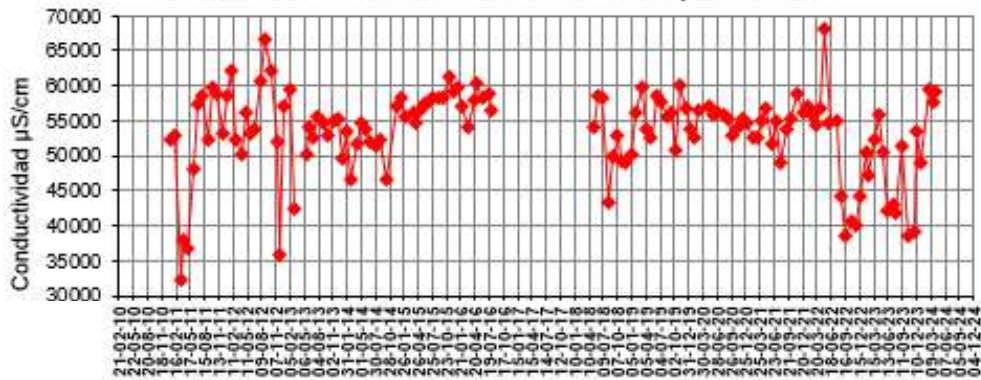
Sondeo P-8 - Evolución de la Profundidad del agua



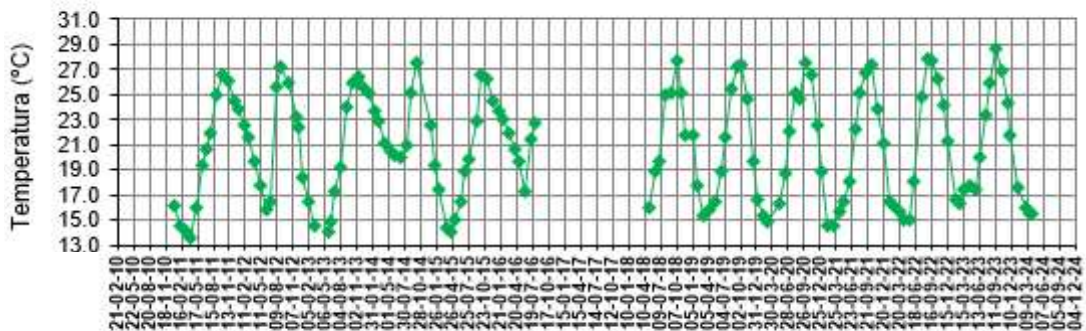
Sondeo P-10 - Evolución del Nivel Piezométrico



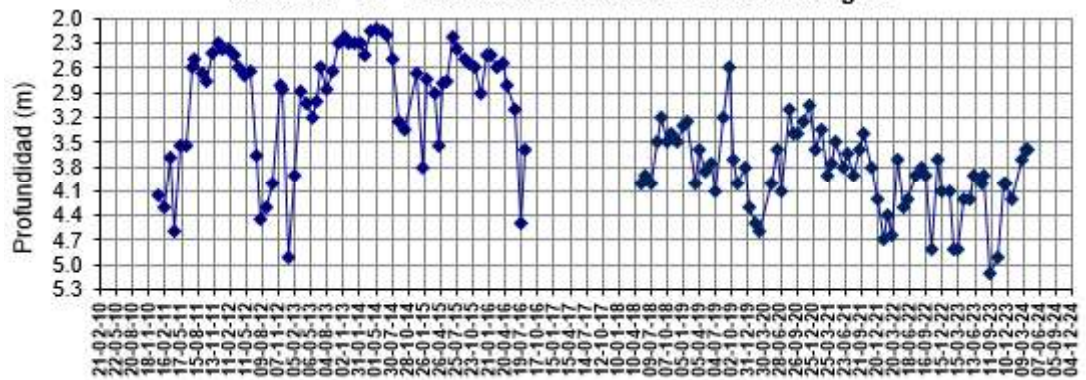
Sondeo P-10 - Evolución de la CE a 10 m de profundidad



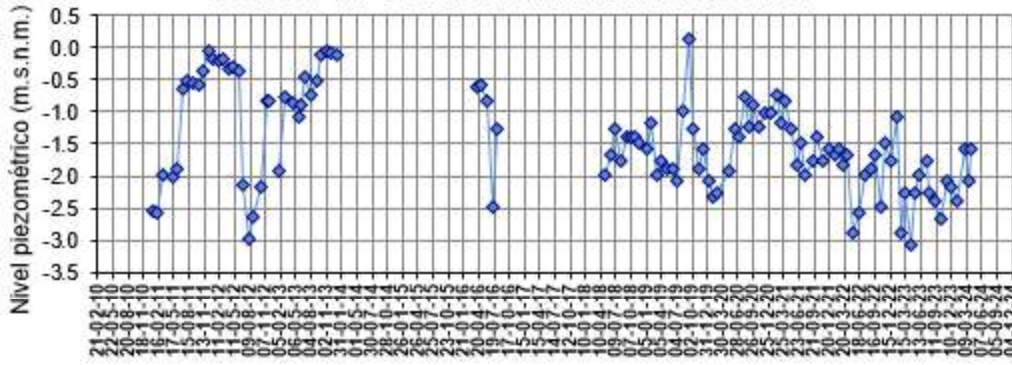
Sondeo P-10 - Evolución de la Temperatura a 10 m de profundidad



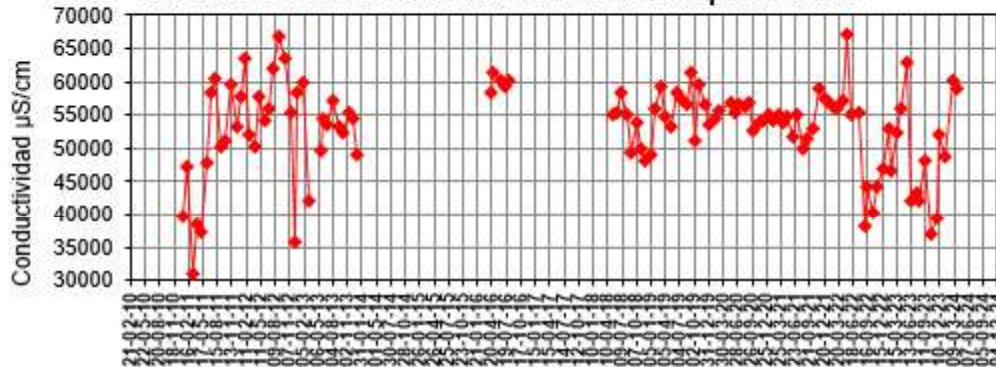
Sondeo P-10 - Evolución de la Profundidad del agua



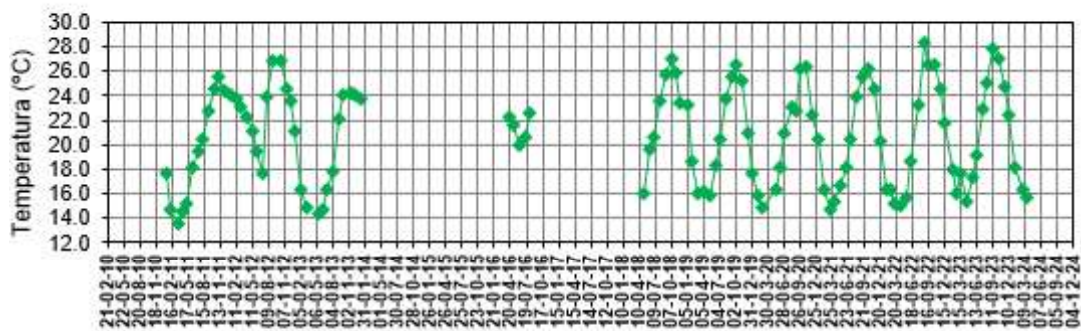
Sondeo P-11 - Evolución del Nivel Piezométrico



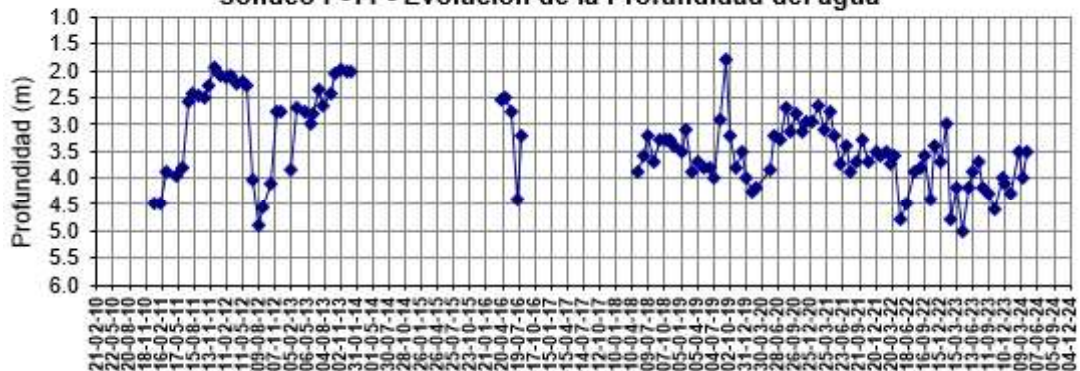
Sondeo P-11 - Evolución de la CE a 10 m de profundidad



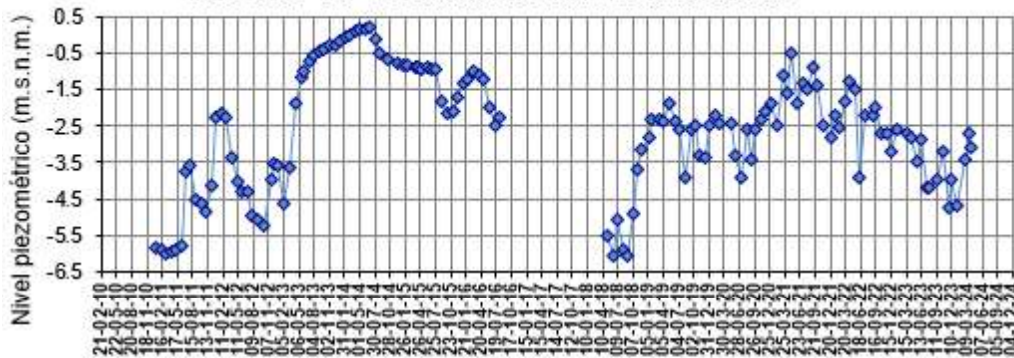
Sondeo P-11 - Evolución de la Temperatura a 10 m de profundidad



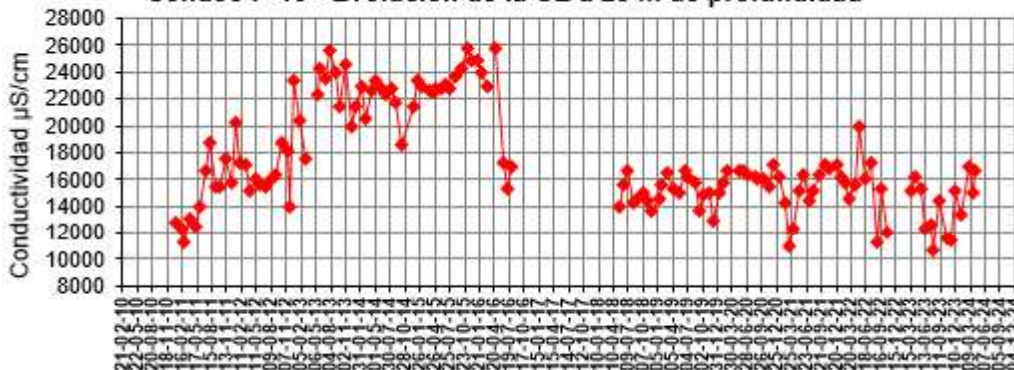
Sondeo P-11 - Evolución de la Profundidad del agua



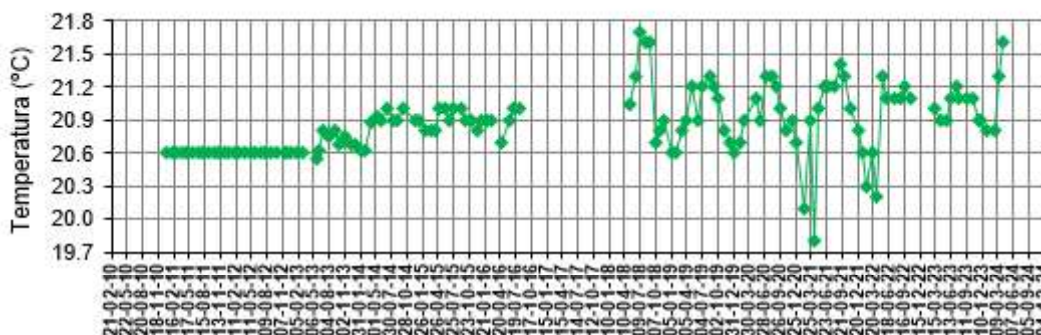
Sondeo P-18 - Evolución del Nivel Piezométrico



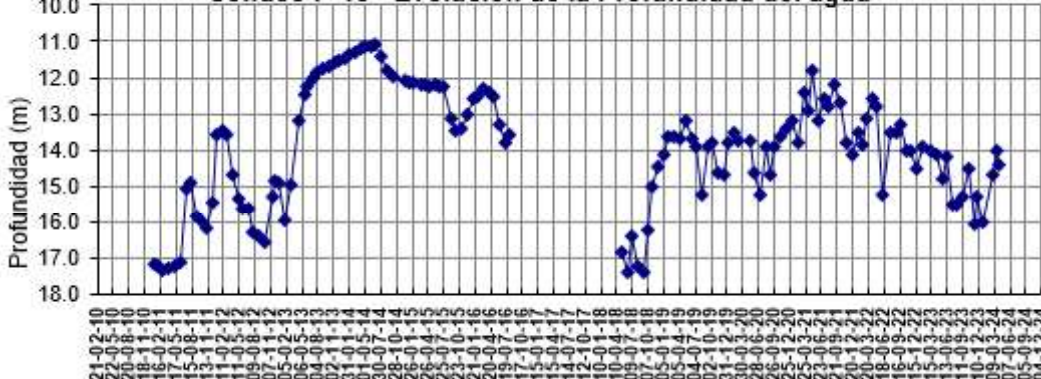
Sondeo P-18 - Evolución de la CE a 25 m de profundidad



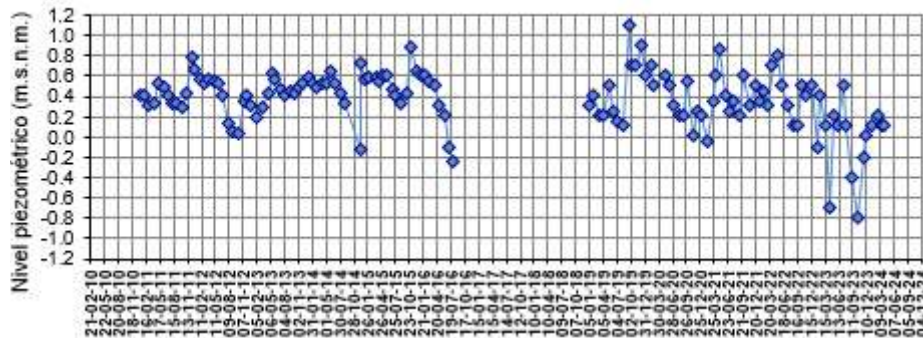
Sondeo P-18 - Evolución de la Temperatura a 25 m de profundidad



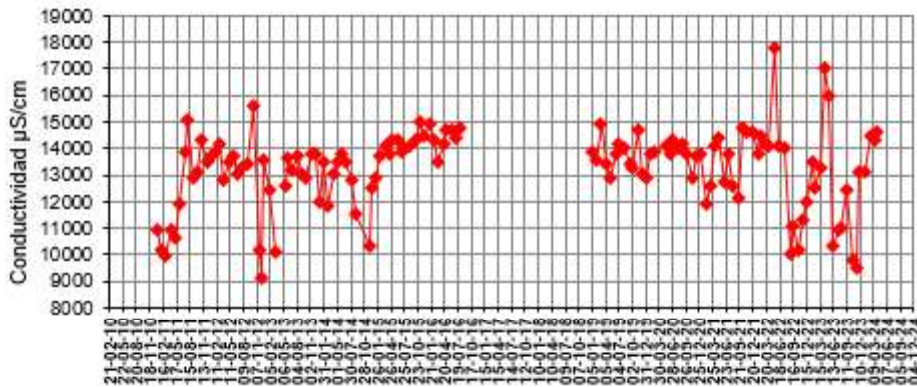
Sondeo P-18 - Evolución de la Profundidad del agua



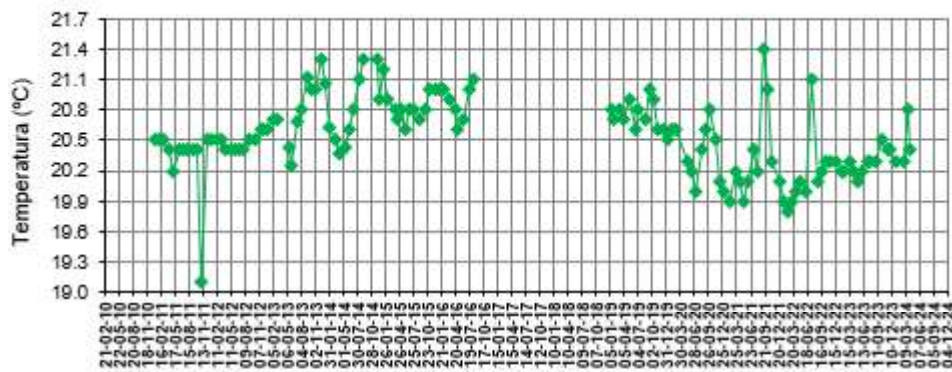
Sondeo P-20 - Evolución del Nivel Piezométrico



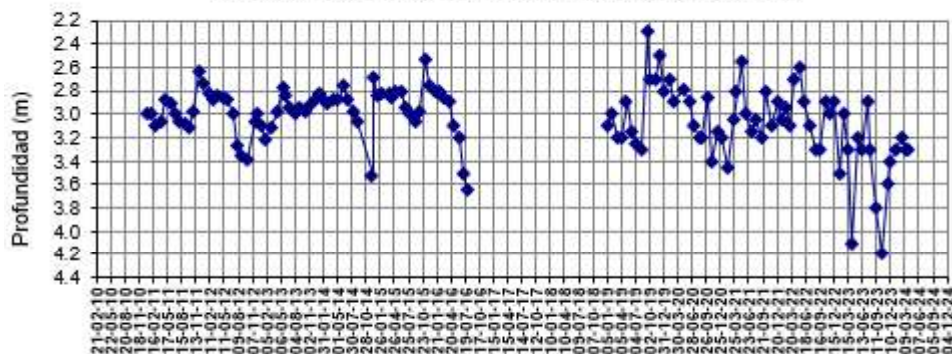
Sondeo P-20 - Evolución de la CE a 10 m de profundidad



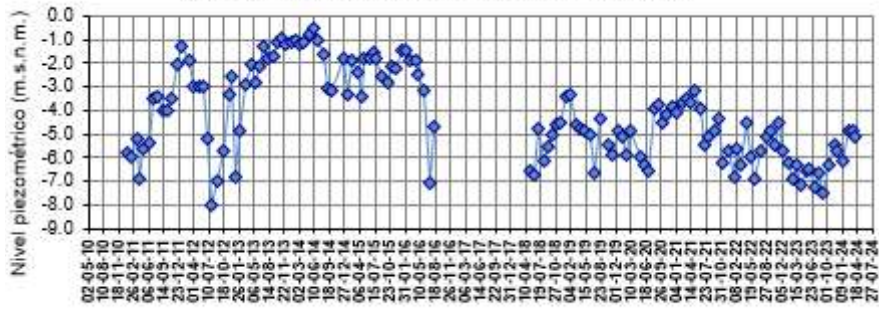
Sondeo P-20 - Evolución de la Temperatura a 10 m de profundidad



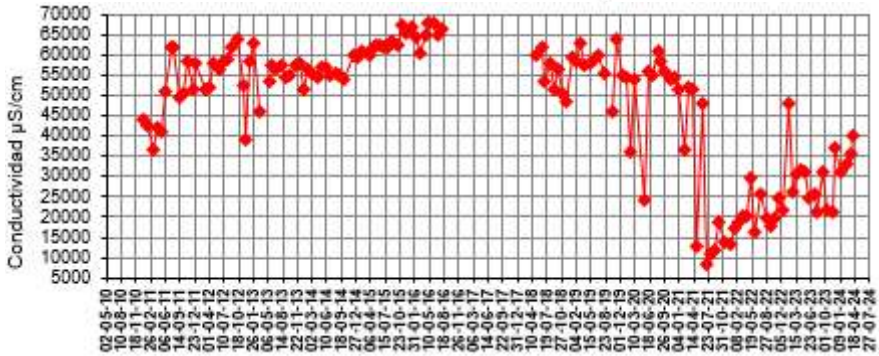
Sondeo P-20 - Evolución de la Profundidad del agua



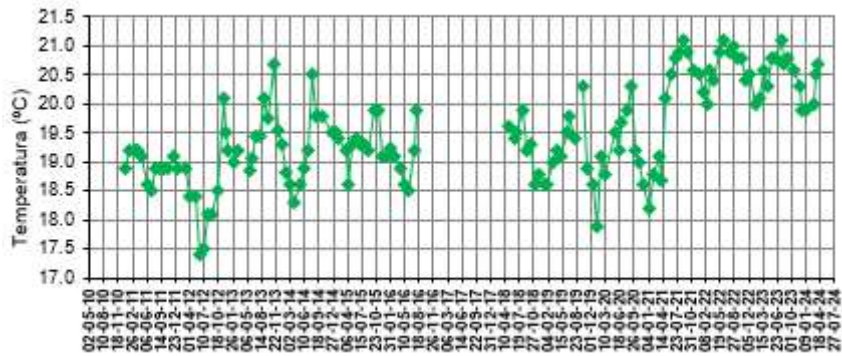
Sondeo D-2 - Evolución del Nivel Piezométrico



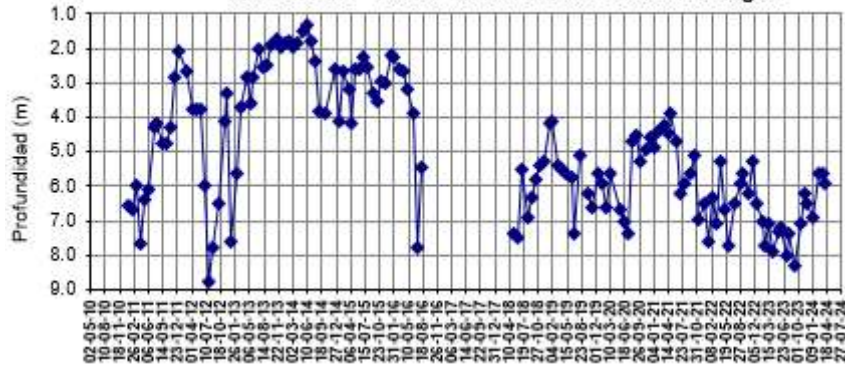
Sondeo D-2 - Evolución de la CE a 10 m de profundidad



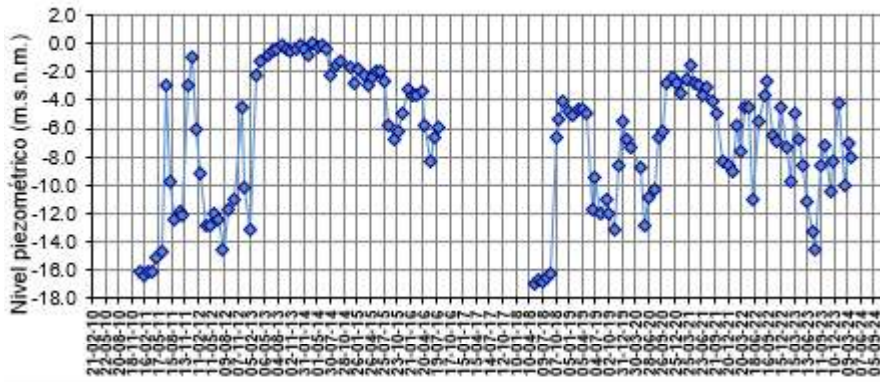
Sondeo D-2 - Evolución de la Temperatura a 10 m de profundidad



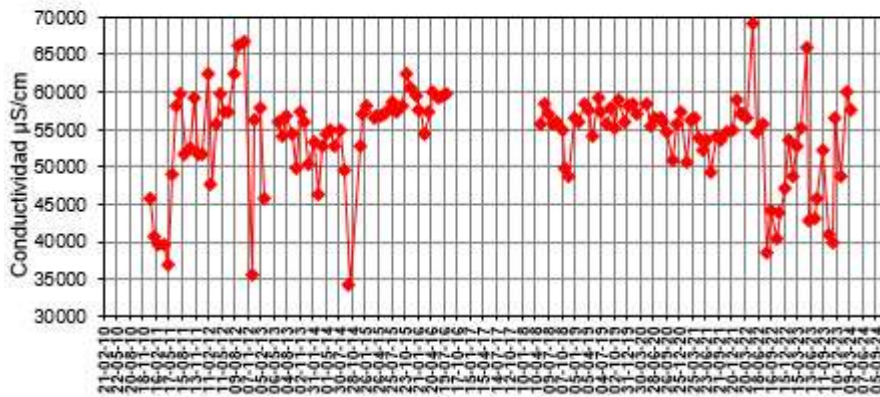
Sondeo D-2 - Evolución de la Profundidad del agua



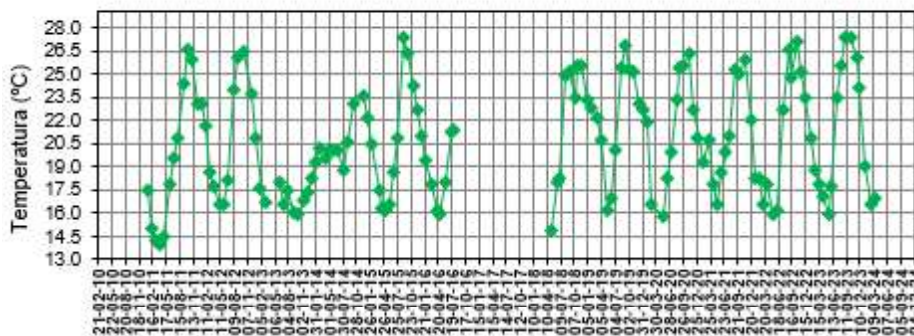
Sondeo DI-4 - Evolución del Nivel Piezométrico



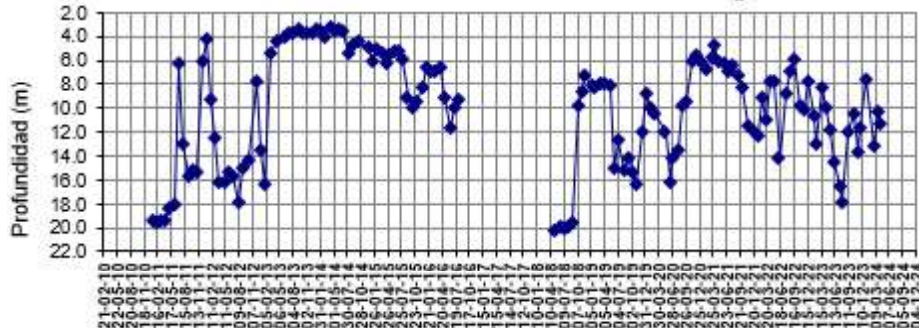
Sondeo DI-4 - Evolución de la CE a 35 m de profundidad



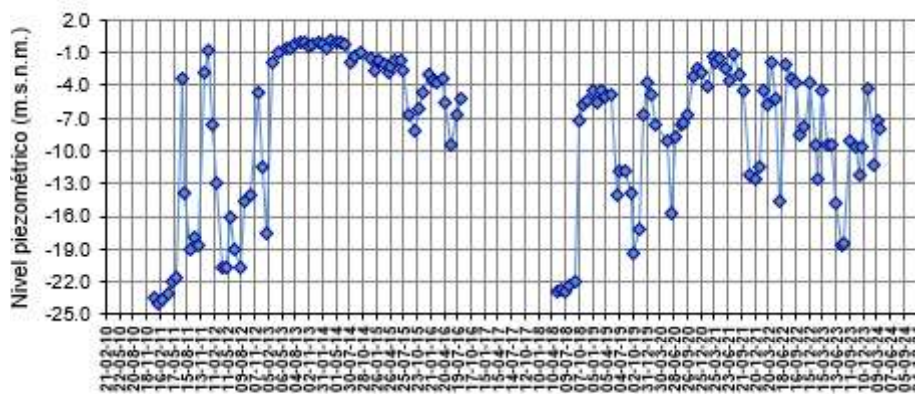
Sondeo DI-4 - Evolución de la Temperatura a 35 m de profundidad



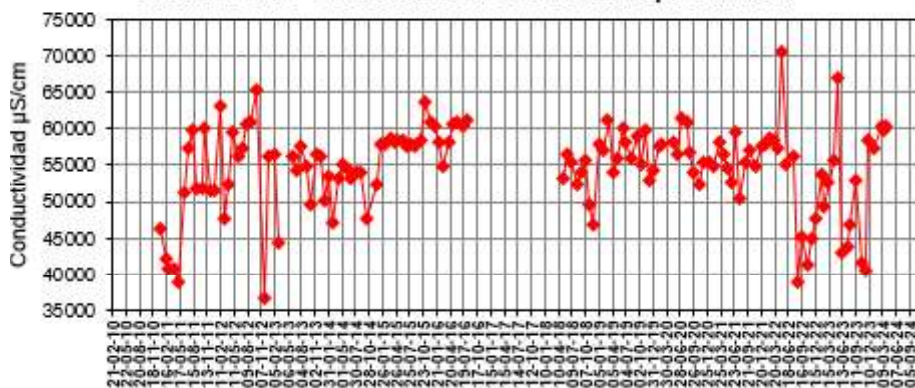
Sondeo DI-4 - Evolución de la Profundidad del agua



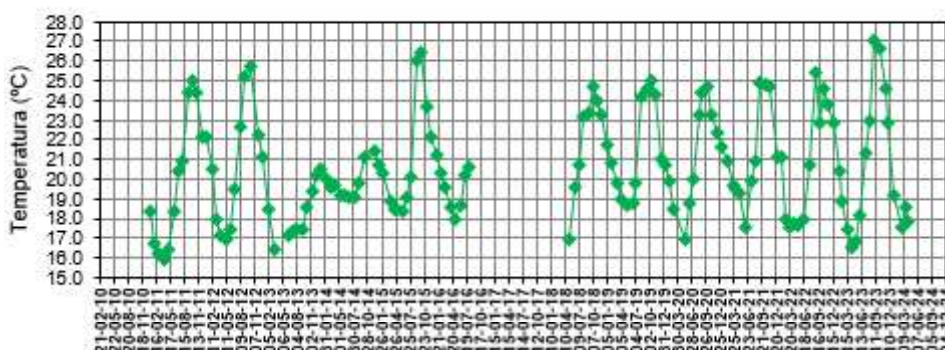
Sondeo DI-12 - Evolución del Nivel Piezométrico



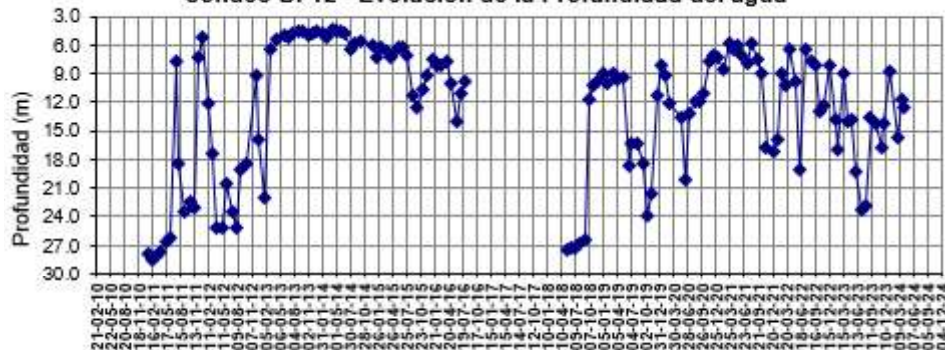
Sondeo DI-12 - Evolución de la CE a 35 m de profundidad



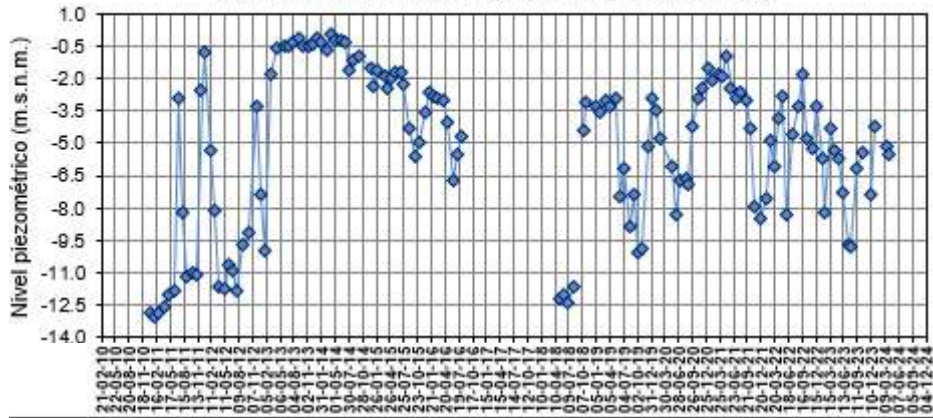
Sondeo DI-12 Evolución de la Temperatura a 35 m de profundidad



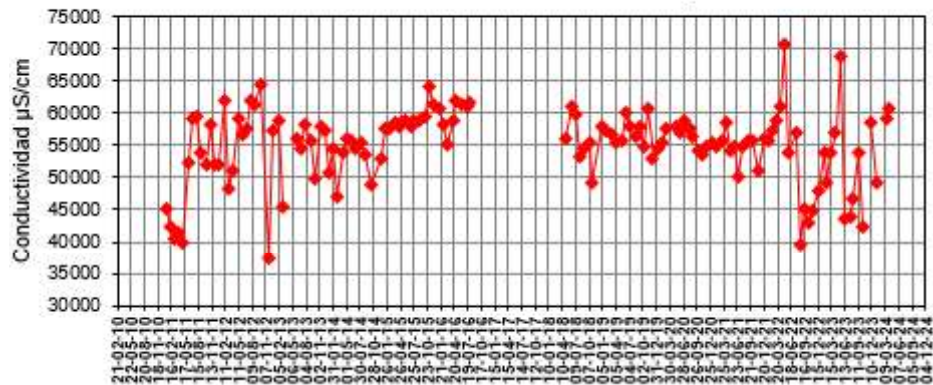
Sondeo DI-12 - Evolución de la Profundidad del agua



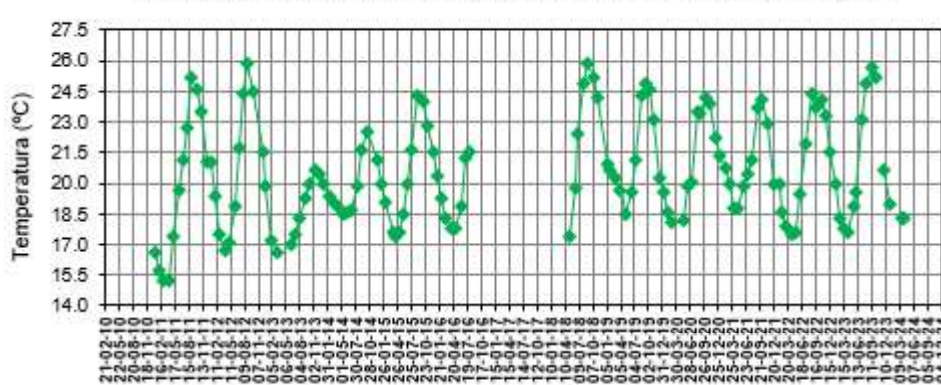
Sondeo DI-18 - Evolución del Nivel Piezométrico



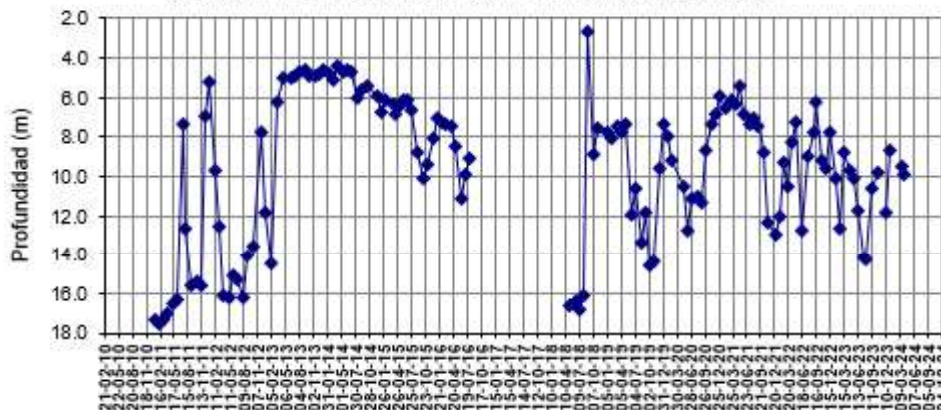
Sondeo DI-18 - Evolución de la CE a 35 m de profundidad



Sondeo DI-18 - Evolución de la Temperatura a 35 m de profundidad



Sondeo DI-18 - Evolución de la Profundidad del agua



ANEXO II

GRÁFICOS DE EVOLUCIÓN DE LA CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA Y LA TEMPERATURA EN PROFUNDIDAD

