

4. CONTROL DE CALIDAD EN EMBALSES: AQUADAM

4.1. INTRODUCCIÓN

Las especiales características de los embalses como masas de agua hacen que las necesidades de control sean muy distintas que para los ríos.

Las problemáticas de los embalses suelen ser consecuencia de unas dinámicas que la masa de agua presenta, en función del régimen hidrológico, de los aportes de nutrientes procedentes de la cuenca vertiente, de la propia morfología del vaso y del régimen de explotación. En ocasiones, la dinámica del embalse crea un conflicto con los usos previstos.

Un control continuo de la evolución de los fenómenos observados puede ayudar en dos principales vías:

- Toma de medidas para mejorar la calidad del embalse (medidas cuyo efecto generalmente será visible a medio-largo plazo)
- Toma de medidas para mejorar la calidad del recurso captado (medidas efectivas a corto plazo, como modificación en las cotas de las captaciones)

Con el fin de poder caracterizar de forma precisa la calidad del agua embalsada, y de esta manera optimizar las medidas de gestión, resulta muy útil disponer de información representativa, fidedigna y actualizada del embalse.

Las nuevas tecnologías ponen a disposición de dicho objetivo métodos analíticos, automatizaciones y sistemas de comunicación que permiten obtener información de la calidad del embalse en continuo y tiempo real. Dichas operativas han sido integradas por Adasa en un solo equipo denominado comercialmente **Aquadam**.

El equipo **AQUADAM** está compuesto principalmente por un sistema automático de posicionamiento, una sonda multiparámetro, un autómata de gestión y un sistema de comunicaciones con el centro de control donde se recibe la información, para su posterior estudio.

El sistema automático de posicionamiento consta de un tambor motorizado donde se enrolla el cable autoportante que sitúa la sonda a diferentes profundidades a lo largo del perfil vertical de la presa. Suministra energía a la sonda y transmite la información al autómata. Las cotas de análisis son configurables, aunque habitualmente se trabaja con intervalos de 100 cm entre medidas, y el recorrido, que se configura a través del autómata, transcurre desde la superficie del embalse hasta su parte más profunda. También es totalmente configurable la frecuencia de las medidas, aunque se suele realizar 4 veces al día: 00:00h, 06:00h, 12:00h y 18:00h.

La sonda multiparámetra del AQUADAM integra los sensores de medida de los parámetros físico-químicos que analizan temperatura, pH, conductividad, oxígeno disuelto, potencial redox, turbidez y penetración lumínica. En las últimas versiones se incorpora un medidor de clorofila.

El autómata de gestión se encarga de ordenar de forma automática las operaciones de posicionamiento de la sonda, activación del sistema de autolimpieza de la misma, gestión de la información recibida, calibración de sondas y registro de alarmas.

El sistema de comunicaciones envía al centro de control la información de cada uno de los parámetros analizados vía GPRS a través de un módem, por cualquiera de las redes operadoras actuales con cobertura en la zona.

En el centro de control se estudia la información, para conocer en detalle la calidad del agua que se dispone en cada momento y en cada profundidad, lo cual permite optimizar su utilización en los diversos usos a los que vaya a ser destinada, en cumplimiento de la normativa vigente y en beneficio de todos los usuarios y explotadores.

La **información** suministrada facilita la gestión efectiva del agua y permite la actuación preventiva frente a episodios de contaminación, así como la planificación de implantación de infraestructuras necesarias para un óptimo uso de la misma.



Sonda Aquadam instalada en el embalse de La Tranquera

4.2. INSTALACIÓN EN LA PRESA DE CUEVA FORADADA

4.2.1. INTRODUCCIÓN

El embalse de Cueva Foradada recoge las aguas del río Martín y las surgencias de Alcaine aguas arriba del embalse. El uso principal del embalse son los riegos para las localidades situadas aguas abajo (Oliete, Ariño, Albalate del Arzobispo, La Puebla de Híjar, Escatrón, etc.), cuyos usuarios pertenecen al “Sindicato Central de Riegos de los pantanos de Cueva Foradada y Arroyo Escuriza”, domiciliado en Híjar. También se utiliza para abastecimiento (Mancomunidad de Aguas del Bajo Martín).

La presa fue terminada en 1926 y su capacidad es de 26 Hm³.

El agua para riegos se puede verter por 3 tomas diferentes (570,25 msnm, 554,93 msnm y 541,93 msnm) aunque la que más se usa es la intermedia. Además existe la posibilidad de desaguar de fondo a través de dos desagües, uno situado en la presa y otro situado en una galería que atraviesa la ladera izquierda. El desagüe de fondo de la presa se encuentra bajo el nivel de los lodos (aproximadamente en la cota 547,5 msnm), aunque existe un canal a través de los sedimentos que permite su funcionamiento.

El agua para abastecimiento se toma de los manantiales que existen al pie de la presa y que recogen también filtraciones de la misma. El abastecimiento es para Oliete y otros municipios agrupados en la Mancomunidad de Aguas del Bajo Martín. En época de estratificación, las filtraciones suelen provenir de capas inferiores, y han llegado a alterar la calidad del agua captada con hierro y manganeso.

Para el seguimiento de estas situaciones, en el mes de marzo de 2009 se instaló una sonda Aquadam.

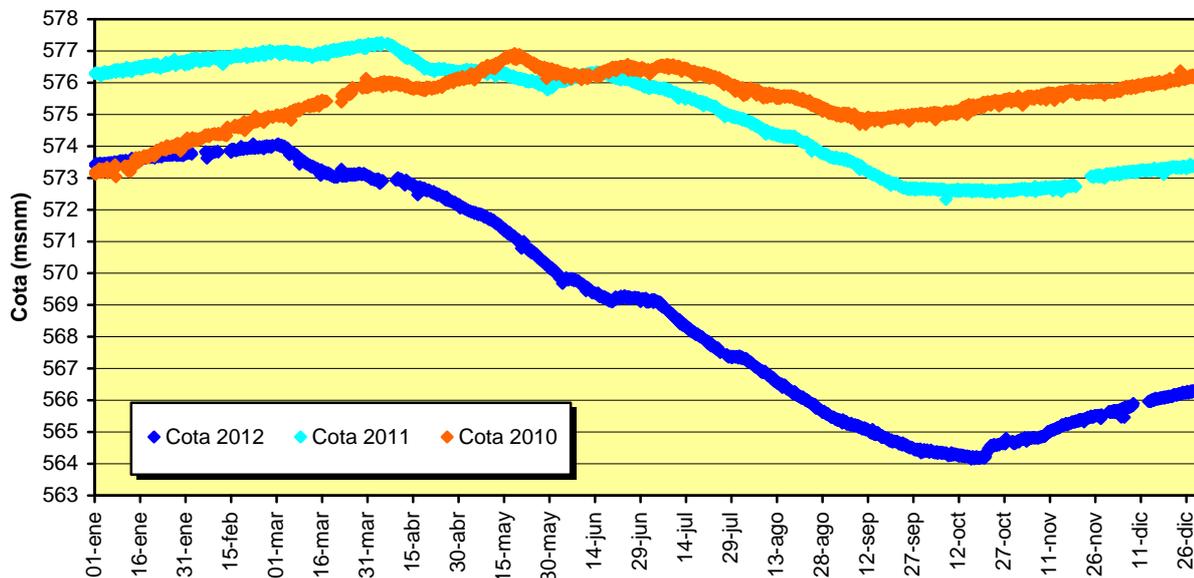
4.2.2. SEGUIMIENTO DEL FUNCIONAMIENTO DE LA SONDA

Se han realizado 1363 perfiles. En cada uno se han medido entre 15 y 25 puntos, dependiendo de la cota existente en el embalse.

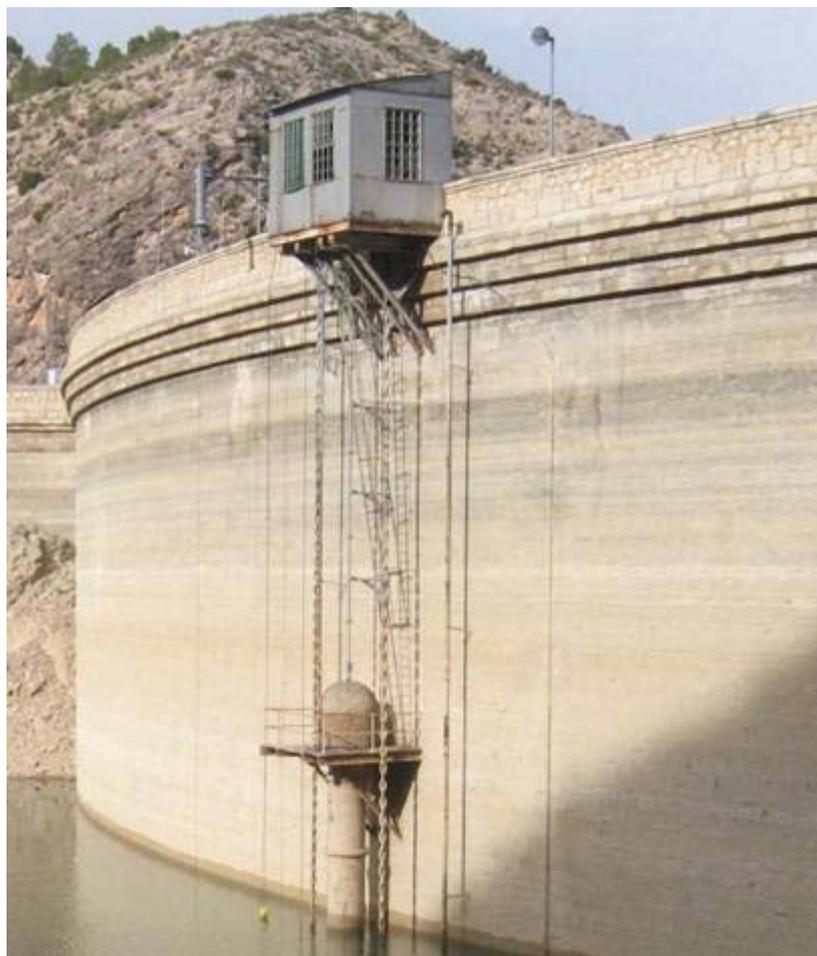
Han existido algunos problemas que han ocasionado que no se realicen algunos perfiles en los siguientes periodos de fechas:

- 02-06/feb
- 10-14/feb
- 05-09/abr
- 25-27/jul
- 27-29/oct
- 28-30/nov
- 08-13/dic

El nivel del embalse durante el año ha sido sensiblemente más bajo que en años anteriores. En el gráfico siguiente se representa la cota del embalse en los tres últimos años.

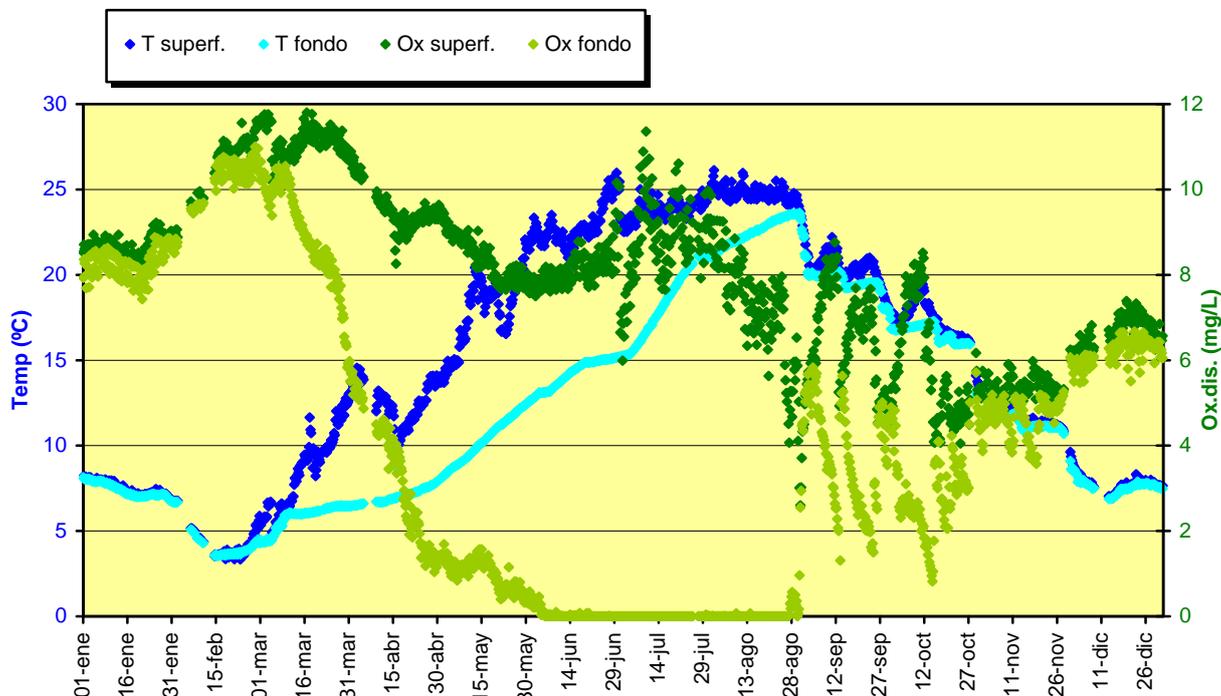


Evolución de la cota del embalse de Cueva Foradada en los años 2010, 2011 y 2012



Situación del embalse de Cueva Foradada el día 4 de junio de 2012

En el gráfico siguiente se representa la evolución de las señales de temperatura (escala de la izquierda y tonos azules) y oxígeno disuelto (escala de la derecha y tonos verdes) en todo el año. Se toman como representativas de la evolución las medidas en los puntos más superficial (1 metro de profundidad) y más profundo de cada perfil.

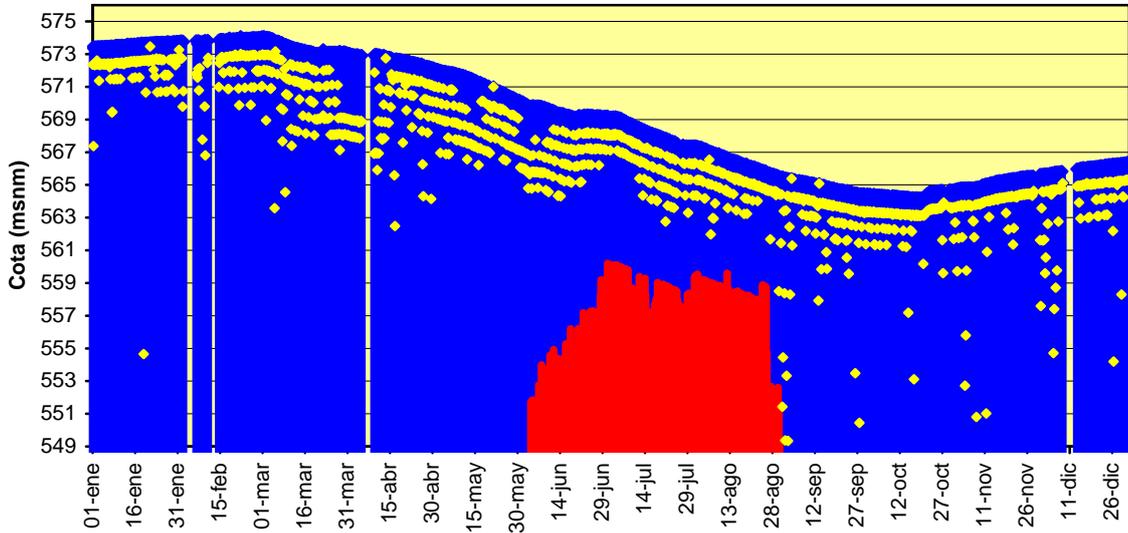


Evolución de las señales de temperatura y oxígeno disuelto en los puntos más superficiales y profundos de cada perfil. Año 2012. Embalse de Cueva Foradada.

Del análisis del gráfico puede comentarse lo siguiente:

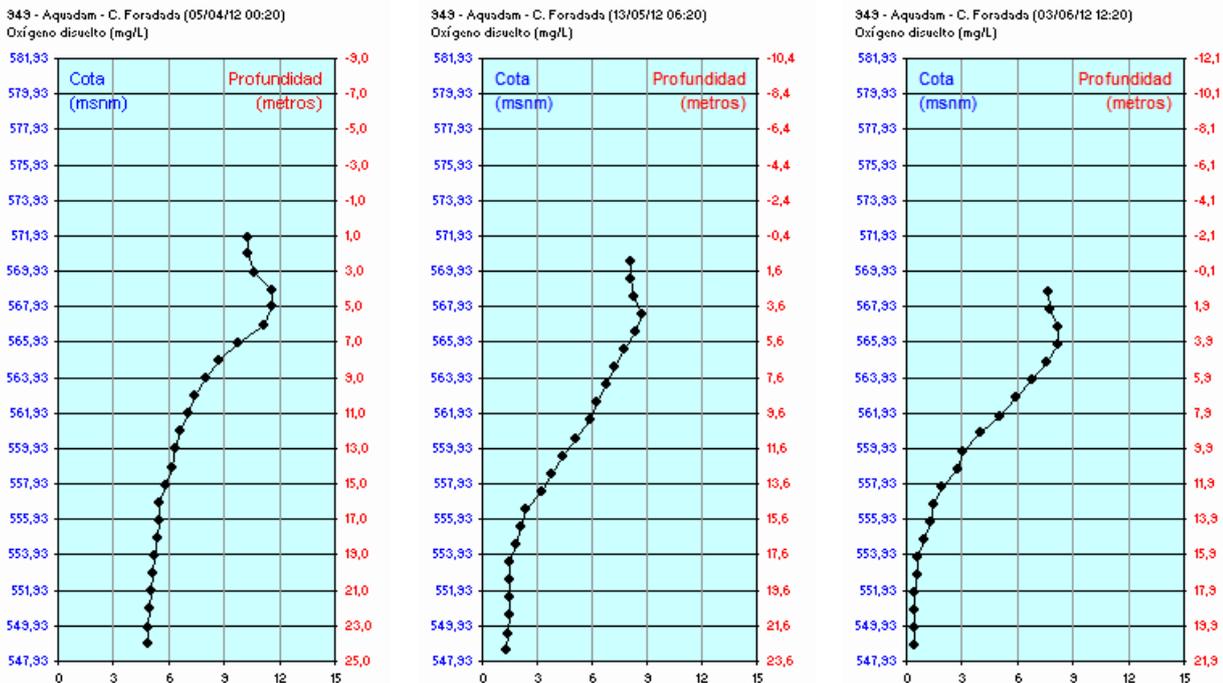
- Hasta el día 10 de marzo, los perfiles son casi verticales, y las diferencias entre superficie y fondo son mínimas.
- A partir del 10 de marzo las diferencias, son crecientes. La temperatura en el fondo muestra una tendencia ascendente bastante uniforme, hasta el 28 de agosto, mientras que en superficie las oscilaciones son mayores, dependiendo de las condiciones meteorológicas. A finales del mes de junio se alcanza la máxima diferencia de temperatura en los perfiles, que llega a ser algo superior a los 10 °C.
- La concentración de oxígeno disuelto en el fondo llega a cero el día 1 de junio, y se mantiene en condiciones anóxicas hasta el 28 de agosto.
- A partir del 28 de agosto, la temperatura del fondo y la de superficie se igualan, y empieza una tendencia descendente. La concentración de oxígeno tiende también a igualarse, pero se observan varios cambios en la tendencia, que se vienen a asociar a las condiciones meteorológicas. A partir del 15 de octubre ya parece que la mezcla se completa, y poco a poco la concentración de oxígeno va aumentando, a la vez que disminuye la temperatura del agua. Según información recibida de los encargados de la gestión del embalse, los procesos bruscos de mezcla, observados entre finales de agosto y los últimos días de septiembre (hasta 3 mezclas, con posterior tendencia a estratificación), pueden estar relacionados con maniobras de apertura de las válvulas de fondo del embalse, soltando agua de las capas inferiores.

El gráfico siguiente representa el espesor de la zona que presenta condiciones anóxicas. El fondo azul representa el espesor de la lámina de agua a lo largo del año. La sonda llega hasta la cota 549. El fondo rojo indica la zona en que la concentración de oxígeno disuelto llega a cero. Para la señal de potencial redox, se ve que las fechas y espesor de capa en que ésta es negativa coincide prácticamente con la de oxígeno cero.

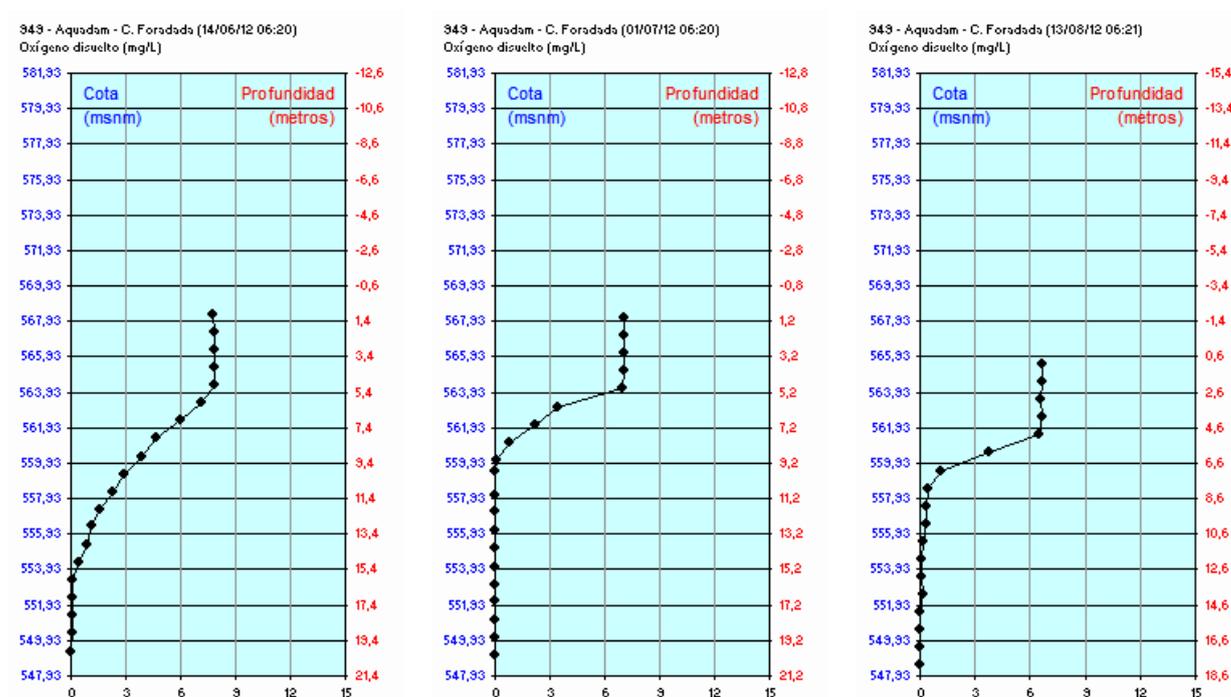


Evolución del nivel de agua en el embalse, zona (en rojo) en que las condiciones son anóxicas, y profundidad a que se mide máximo de oxígeno disuelto. Año 2012. Embalse de Cueva Foradada.

Los puntos amarillos representan la cota a la que se registra el máximo de concentración de oxígeno disuelto. Se observa que en la mayor parte del año, el máximo se mide en los puntos más superficiales (las medidas se inician a 1 metro de profundidad). Cuando los perfiles son muy verticales, diferencias mínimas pueden hacer que el máximo se desplace algún metro hacia abajo. Sin embargo, se observan tres intervalos de fechas en que los máximos se encuentran durante varios días a profundidades de algunos metros. Se trata de los periodos 30/mar-13/abr, 11/may-18/may y 31/may-10/jun. En estos periodos de fechas, los perfiles de oxígeno disuelto son similares a los que se muestran a continuación:



En los periodos en que la estratificación es fuerte, y se alcanzan condiciones anóxicas, los perfiles son similares a los siguientes:



Análisis de la evolución de la concentración de clorofila

Hasta mitad de febrero, los perfiles son muy verticales (1), con concentraciones inferiores a 5 $\mu\text{g/L}$. A partir de esa fecha, se inician algunos cambios, a la vez que empiezan a darse diferencias en la temperatura y oxígeno disuelto.

Por lo general, los cambios empiezan mostrando máximos de concentraciones a profundidades entre 4-5 metros, que únicamente se dan en los perfiles de mediodía (3), mientras que en el resto permanecen verticales (2). A partir del 17/mar, las concentraciones son más elevadas en los metros superficiales (4), y la tendencia es que en los mediodías el perfil se modifique un poco, dando el máximo a esos 4-5 metros (5).

Entre el 9/abr y 7/jun, los perfiles vuelven a ser planos (6), con algún perfil de mediodía que presenta concentraciones más altas en superficie, pero sin un patrón muy repetido.

Hacia el 7/jun, y coincidiendo con el inicio de las condiciones anóxicas en el fondo, se empiezan a ver, en algunos perfiles de medianoche (7), valores bastante más altos en cota 555-556 (bastante coincidente con la de la toma intermedia), aunque no se dan todos los días.

Hacia el 1/jul empiezan a verse concentraciones más altas en los 6-7 metros superficiales (8), aunque siguen esporádicamente registrándose los máximos en profundidad media (siempre en perfiles de medianoche).

Sobre el 30/jul vuelven los máximos a 3-5 metros de profundidad (9), en los mediodías, y siguen los máximos a profundidad en las medianoches (10).

A partir del 30/ago la señal se hace vertical, aunque en septiembre y octubre aún hay algunos periodos con medidas más altas en superficie, coincidiendo con las variaciones observadas en los gráficos de temperatura y oxígeno disuelto.

A continuación se muestran unos perfiles que ilustran las distintas situaciones comentadas.

1



2



3



4



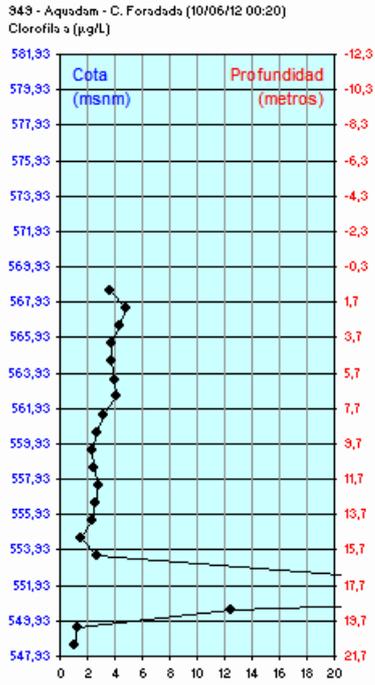
5



6



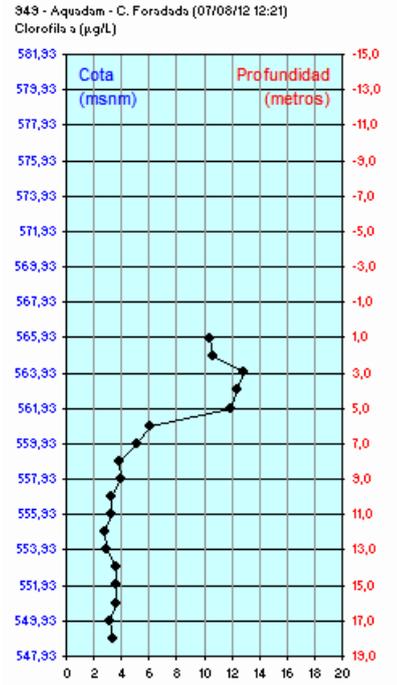
7



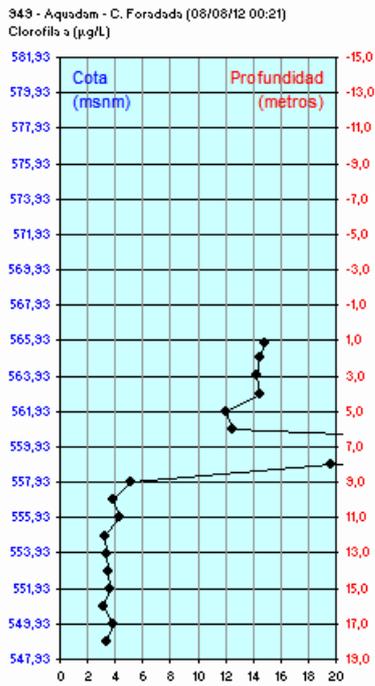
8



9



10



4.3. INSTALACIÓN EN LA PRESA DE LA TRANQUERA

4.3.1. INTRODUCCIÓN

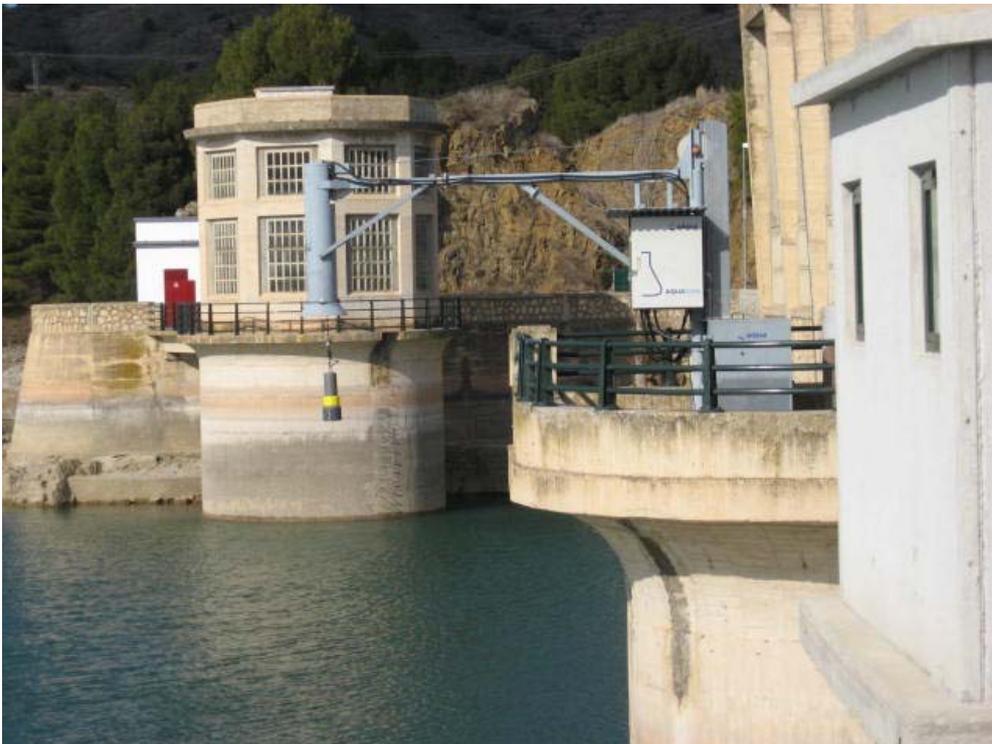
El embalse de La Tranquera ubicado en la cuenca del río Piedra con una capacidad de 84,26 Hm³, abastece de agua entre otras localidades a la población de Calatayud.

La presa fue construida en el año 1959 y diseñada inicialmente para suministro de agua de riego. Consta de dos tomas a las cotas 648,84 msnm y 656,50 msnm respectivamente.

En la batimetría del embalse realizada recientemente se ha ubicado la sedimentación de fangos a la cota 647,84 msnm, muy cercana a la primera toma de riegos que en la actualidad se utiliza para el suministro de agua potable.

Esta situación, junto los procesos habituales de **mezcla y estratificación** del agua embalsada según las diferentes épocas del año, puede haber causado problemas en la calidad del agua de abastecimiento a Calatayud.

Como parte de las medidas que la Confederación está desarrollando para colaborar con las administraciones competentes en el abastecimiento de agua de calidad a Calatayud, el 13 de octubre de 2009 se iniciaron los trabajos de instalación de una sonda Aquadam en la presa de La Tranquera. El 17 de noviembre se recibieron los primeros perfiles en el centro de control, todavía en fase de prueba. En la primera semana de diciembre se instaló una sonda que mide la clorofila.



Sonda instalada en el embalse de La Tranquera

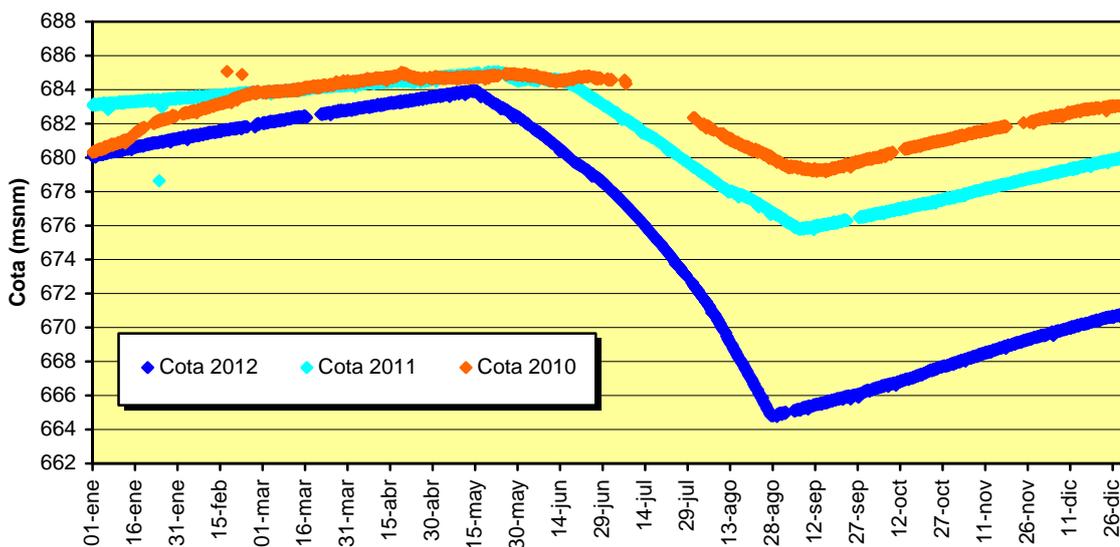
4.3.2. SEGUIMIENTO DEL FUNCIONAMIENTO DE LA SONDA

Se han realizado 1385 perfiles. En cada uno se han medido entre 14 y 34 puntos, dependiendo de la cota existente en el embalse.

Han existido algunos problemas que han ocasionado que no se realicen algunos perfiles en los siguientes periodos de fechas:

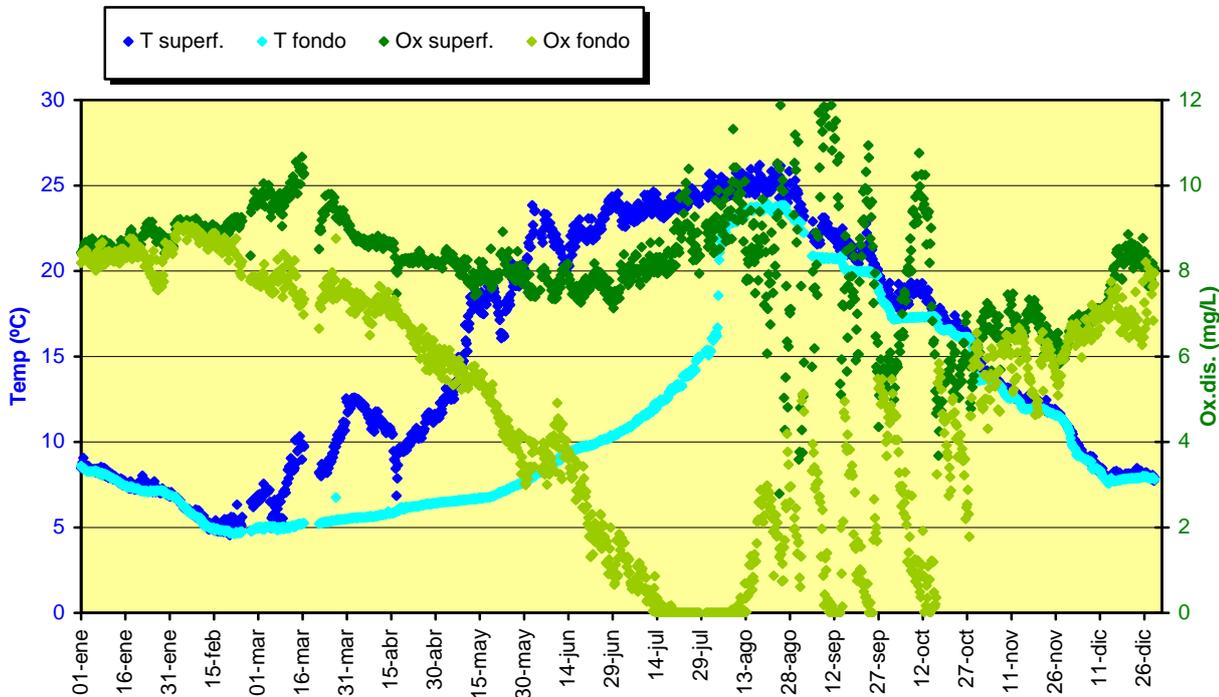
- 02-04/feb
- 24-27/feb
- 16-21/mar
- 02-04/jun
- 28-30/jul
- 01-04/sep
- 29-31/dic

El nivel del embalse durante el año ha sido sensiblemente más bajo que en años anteriores. En el gráfico siguiente se representa la cota del embalse en los tres últimos años.



Evolución de la cota del embalse de La Tranquera en los años 2010, 2011 y 2012

En el gráfico siguiente se representa la evolución de las señales de temperatura (escala de la izquierda y tonos azules) y oxígeno disuelto (escala de la derecha y tonos verdes) en todo el año. Se toman como representativas de la evolución las medidas en los puntos más superficial (1 metro de profundidad) y más profundo de cada perfil.



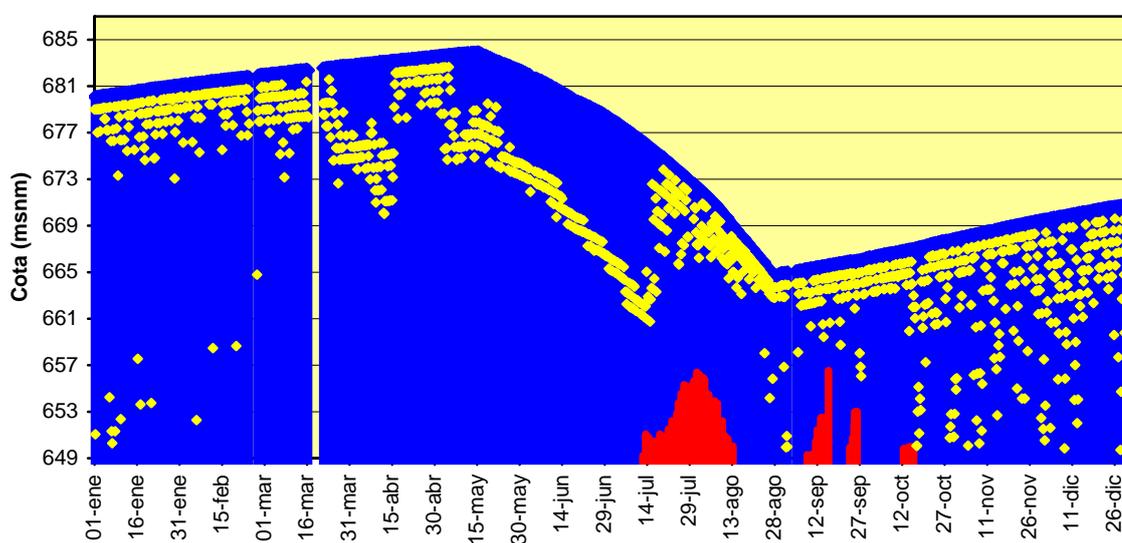
Evolución de las señales de temperatura y oxígeno disuelto en los puntos más superficiales y profundos de cada perfil. Año 2012. Embalse de La Tranquera.

Del análisis del gráfico puede comentarse lo siguiente:

- Hasta el día 20 de febrero, los perfiles son casi verticales, y las diferencias entre superficie y fondo son mínimas.
- A partir del 20 de febrero las diferencias son crecientes. La temperatura en el fondo muestra una tendencia ascendente bastante uniforme, hasta principios del mes de junio, cuando empieza a aumentar más rápidamente. En superficie las oscilaciones son mayores, dependiendo de las condiciones meteorológicas. La máxima diferencia en las temperaturas (13-14 °C) se da entre el 15 de mayo y 10 de junio.
- Es también a partir del 20 de febrero cuando los perfiles de oxígeno disuelto empiezan a mostrar descensos hacia el fondo. La concentración en superficie tiende a disminuir lentamente, mientras que el descenso en el fondo es más rápido.
- La concentración de oxígeno disuelto en el fondo llega a cero sobre el día 10 de julio, y se mantiene hasta el 15 de agosto. En todo este periodo, en superficie no baja de 7 mg/L.
- La temperatura en el fondo aumenta bruscamente a partir de los primeros días de agosto, para igualarse con la de superficie, sobre los 20 °C, a partir del 15 de agosto. Después, ya con los perfiles de temperatura prácticamente verticales, las medidas van descendiendo hasta fin de año.

- Desde el 15 de agosto y hasta finales de octubre, la concentración de oxígeno experimenta variaciones importantes. Los perfiles de temperatura se mantienen verticales, mientras que para el oxígeno, parece que dependiendo de las variaciones meteorológicas, se alternan fases con gran diferencia entre superficie y fondo (llegando a cero en el fondo y 12 mg/L en superficie), con periodos de mezcla, con perfiles prácticamente verticales y concentraciones de 5-6 mg/L.
- A partir del final de octubre ya la mezcla se estabiliza, y la concentración de oxígeno va aumentando poco a poco, a la par que desciende la temperatura del agua.

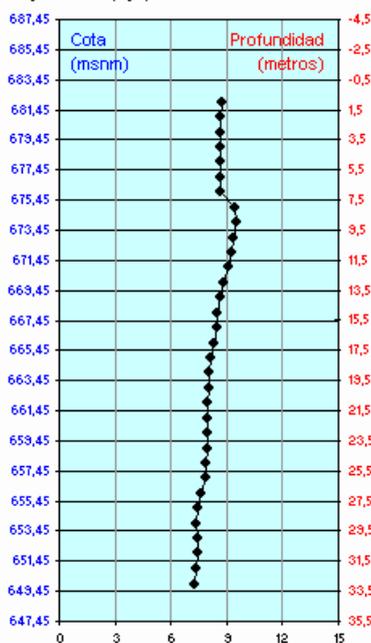
El gráfico siguiente representa el espesor de la zona que presenta condiciones anóxicas. El fondo azul representa el espesor de la lámina de agua a lo largo del año. La sonda llega hasta la cota 649. El fondo rojo indica la zona en que la concentración de oxígeno disuelto llega a cero. Representando algo similar con la señal de potencial redox, se ve que las fechas y espesor de capa en que ésta es negativa son algo menores que la del oxígeno: tan sólo se registran valores negativos entre el 27 de julio y 6 de agosto.



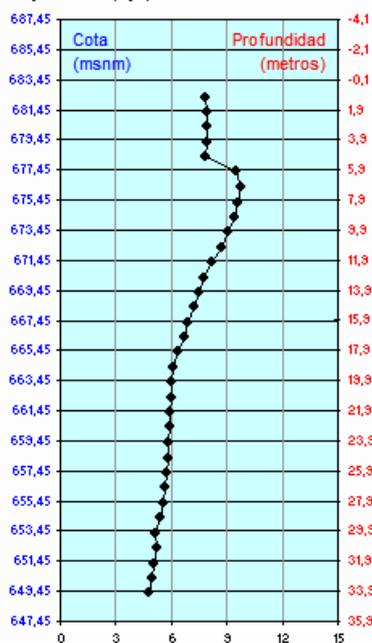
Evolución del nivel de agua en el embalse, zona (en rojo) en que las condiciones son anóxicas, y profundidad a que se mide máximo de oxígeno disuelto. Año 2012. Embalse de Cueva Foradada.

Los puntos amarillos representan la cota a la que se registra el máximo de concentración de oxígeno disuelto. Se observa que en gran parte del año, el máximo se mide en los puntos más superficiales (las medidas se inician a 1 metro de profundidad). Cuando los perfiles son muy verticales, diferencias mínimas pueden hacer que el máximo se desplace algún metro hacia abajo. Sin embargo, se observan dos intervalos de fechas con comportamientos distintos. Se trata de los periodos 20/mar-15/abr y 6/may-17/jul. En estos periodos de fechas, los perfiles de oxígeno disuelto son similares a los que se muestran a continuación:

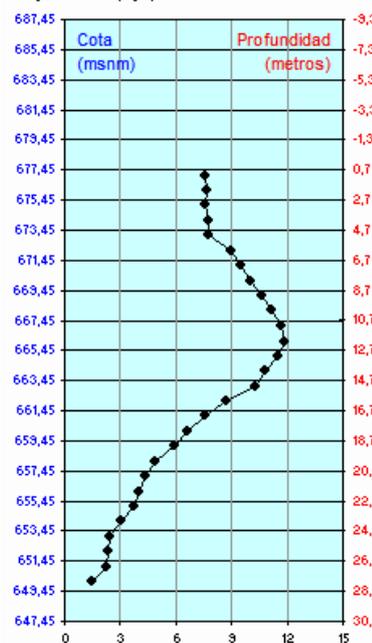
348 - Aquadom - La Tranquera (06/04/12 12:20)
Oxígeno disuelto (mg/L)



348 - Aquadom - La Tranquera (20/05/12 12:20)
Oxígeno disuelto (mg/L)

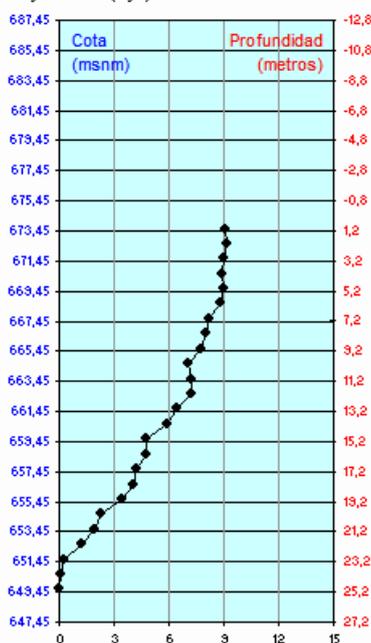


348 - Aquadom - La Tranquera (01/07/12 12:20)
Oxígeno disuelto (mg/L)

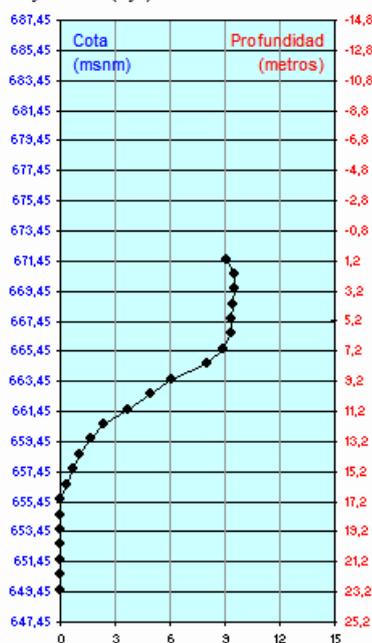


En los periodos en que la estratificación es fuerte, y se alcanzan condiciones anóxicas, los perfiles son similares a los siguientes:

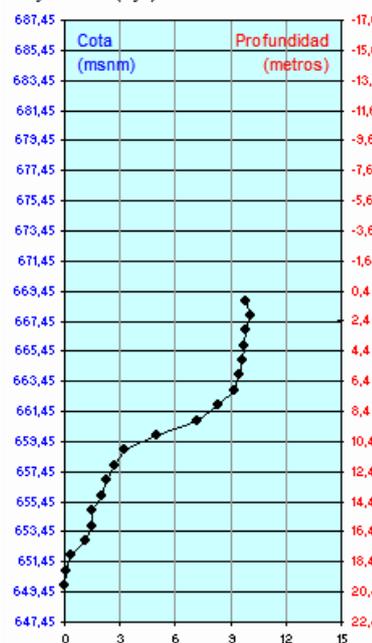
348 - Aquadom - La Tranquera (20/07/12 18:20)
Oxígeno disuelto (mg/L)



348 - Aquadom - La Tranquera (30/07/12 18:20)
Oxígeno disuelto (mg/L)



348 - Aquadom - La Tranquera (10/08/12 12:23)
Oxígeno disuelto (mg/L)



Análisis de la evolución de la concentración de clorofila

Hasta mitad de febrero, los perfiles son muy verticales (1), con concentraciones inferiores a 10 $\mu\text{g/L}$. A partir de esa fecha se empiezan a ver medidas algo más altas en los puntos más profundos.

A partir del 10 de marzo se empiezan a dar máximos en superficie, con tendencia a desplazarse a profundidades cada vez mayores. Son más frecuentes en los perfiles de mediodía (2).

Hacia finales de marzo los perfiles se hacen de nuevo verticales.

El 20 de abril vuelven a verse concentraciones altas en superficie en los mediodías (3), y en los puntos profundos a otras horas (4), sin un patrón que se repita todos los días.

Hacia el 18 de mayo se marcan máximos a una profundidad de 6-7 metros (5), cada vez más marcado y con tendencia a desplazarse hacia el fondo a medida que pasan los días.

El 27 de junio el máximo se da a los 17 metros de profundidad (6), y a partir de ese momento, la tendencia cambia, yendo a perfiles verticales, aunque de vez en cuando siguen viéndose los máximos en superficie (mediodía) o en fondo (medianoche).

En el mes de julio las medidas son bastante variables, sin patrones que se repitan claramente. Son frecuentes los máximos a profundidades de 3 a 7 metros, o los valores más altos en superficie.

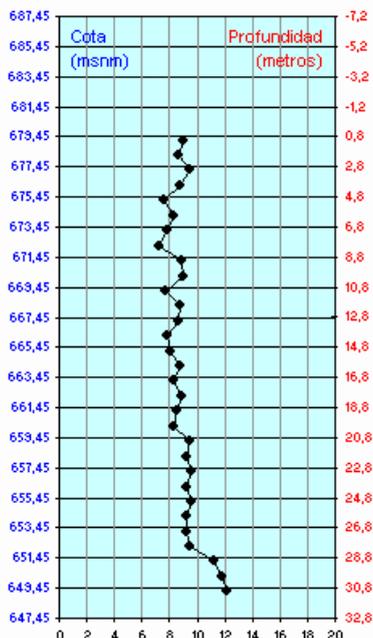
A finales del mes de agosto, la concentración en superficie llega a superar los 25 $\mu\text{g/L}$. En algunos perfiles los máximos se dan en superficie (7), en otros a profundidades medias (8).

A partir de principios de octubre los perfiles vuelven a hacerse más verticales, aunque siguen con tendencia a dar máximos a profundidades variables. Ya a finales de mes se hacen verticales y con concentraciones por debajo de 5 $\mu\text{g/L}$ se mantienen hasta fin de año (9).

A continuación se muestran unos perfiles que ilustran las distintas situaciones comentadas.

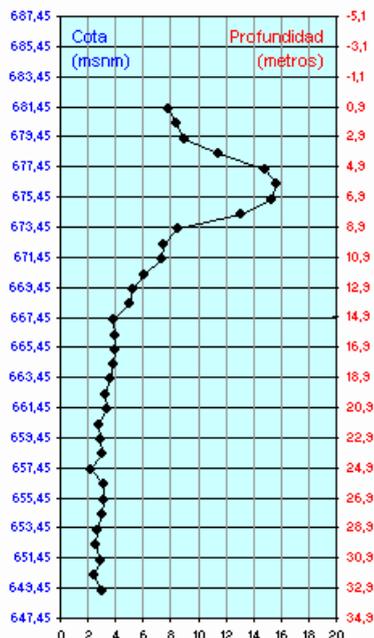
1

348 - Aquadum - La Tranquera (05/01/12 06:20)
Clorofila a (µg/L)



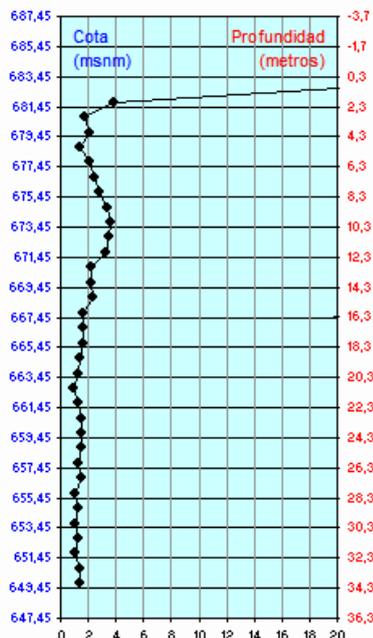
2

348 - Aquadum - La Tranquera (11/03/12 12:20)
Clorofila a (µg/L)



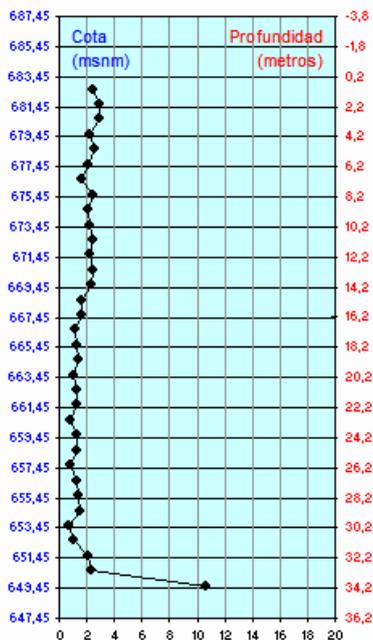
3

348 - Aquadum - La Tranquera (07/05/12 12:20)
Clorofila a (µg/L)



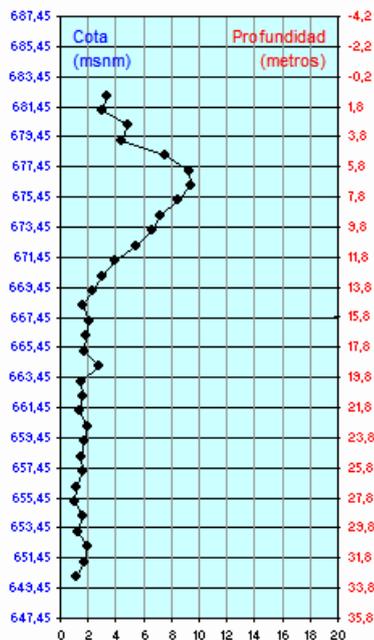
4

348 - Aquadum - La Tranquera (01/05/12 18:20)
Clorofila a (µg/L)



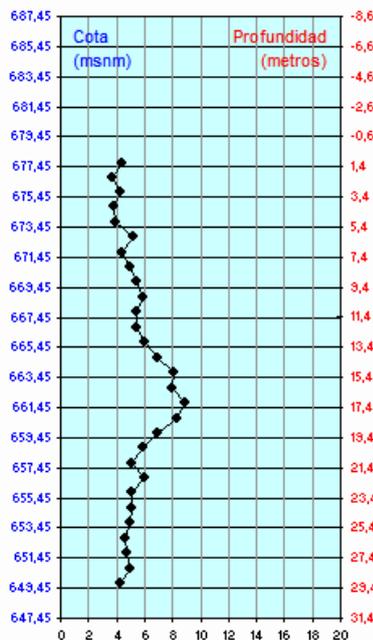
5

348 - Aquadum - La Tranquera (21/05/12 12:20)
Clorofila a (µg/L)

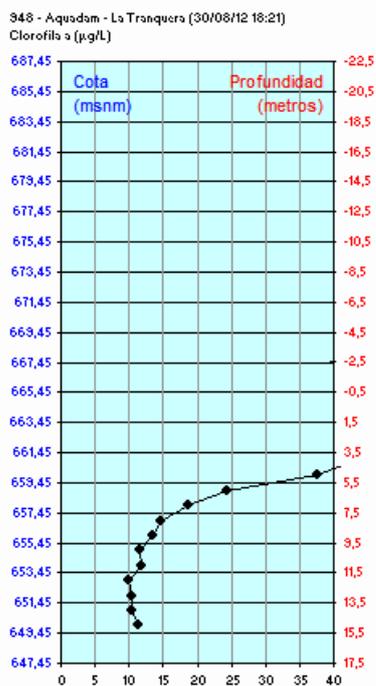


6

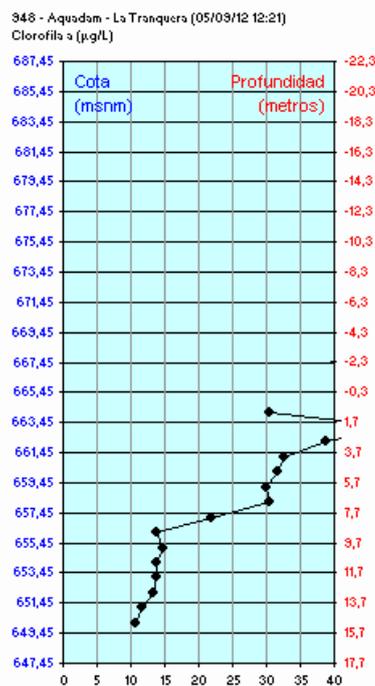
348 - Aquadum - La Tranquera (27/06/12 06:20)
Clorofila a (µg/L)



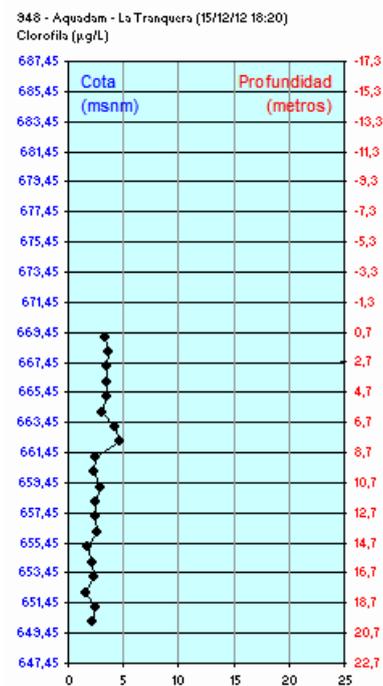
7



8



9



4.4. INSTALACIÓN EN EL EMBALSE DE LA LOTETA

4.4.1. INTRODUCCIÓN

La presa de la Loteta se encuentra situada en la provincia de Zaragoza, a 44 km de la capital en dirección NW. Aunque inicialmente su principal objetivo era la regulación del Canal Imperial de Aragón, se ha convertido, además, en una pieza clave para el abastecimiento con agua de calidad a Zaragoza, y regulará en su vaso el agua proveniente del embalse de Yesa.

Este embalse es seguramente el primero que se construye sobre yesos y otras sales en proporciones apreciables, en España. Sin embargo, su construcción queda justificada por sus excepcionales condiciones topográficas, su mínima afección al entorno y su proximidad tanto al Canal Imperial como a la ciudad de Zaragoza, consiguiéndose con una presa de altura moderada (34 m) un gran embalse de más de 100 Hm³.

Con objeto de disponer de un seguimiento de la evolución de la salinidad de las aguas en el embalse, se decidió la instalación de una sonda Aquadam, que se puso en marcha en noviembre de 2012.

La sonda ha quedado instalada en la torre de acceso a la cámara de válvulas.



Sonda instalada en el embalse de La Loteta

4.4.2. SEGUIMIENTO DEL FUNCIONAMIENTO DE LA SONDA

El día 20 de noviembre de 2012 se procedió a la puesta en marcha de la sonda Aquadam instalada en el embalse de La Loteta.

En el momento de la puesta en marcha, apenas había un metro de agua de profundidad en la zona de la torre.

El equipo inicialmente se ha configurado para que realice medidas cada 10-20 cm, para poder disponer en cada perfil de 3-4 puntos, con objeto, sobre todo, de verificar el correcto funcionamiento.

En las semanas del año 2012 en que la sonda ha estado funcionando, ha realizado 111 perfiles. Se han producido algunos problemas en los mecanismos, que han originado que entre los días 29 de noviembre y 6 de diciembre se hayan dejado de ejecutar algunos perfiles.

Apenas ha habido variación de nivel en el embalse. La conductividad medida ha sido superior a 1300 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (salvo el período entre los días 6 y 9 de diciembre, en que se midieron valores por debajo de 400 $\mu\text{S}/\text{cm}$, que no pudieron verificarse por el equipo de mantenimiento de la sonda, y por ello no se les da una credibilidad total, más cuando los encargados de la gestión del embalse informaron que en esos días no se realizó ninguna maniobra digna de mención).

Los encargados de la gestión del embalse notifican que a partir del día 29 de diciembre de 2012 se ha iniciado un llenado con agua procedente de Yesa, lo que podría colaborar a que en las primeras semanas del año 2013 las medidas en el embalse empiecen a experimentar alguna variación.

