

## 5. CONTROL DE CALIDAD EN EMBALSES: AQUADAM

### 5.1. INTRODUCCIÓN

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

Las problemáticas que los embalses presentan parten de las incidencias que sus usuarios detectan, y 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.

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 Sistemas 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.

## 5.2. INSTALACIÓN EN LA PRESA DE CUEVA FORADADA

### 5.2.1. 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 Hm<sup>3</sup>.



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.

### 5.2.2. SEGUIMIENTO DEL FUNCIONAMIENTO DE LA SONDA

#### Funcionamiento general de la sonda

Los primeros perfiles disponibles son del día 12/03/2009. No obstante, se considera que hasta mitad del mes de abril la evolución de las señales no fue totalmente correcta.

En 2010 se han realizado 1382 perfiles. En cada uno se han medido entre 24 y 28 puntos (generalmente con distancias de 1 metro entre puntos), dependiendo del nivel del embalse.

La programación ha sido de 4 perfiles al día (00:00, 06:00, 12:00 y 18:00).

Se ha trabajado siempre con horario GMT (una hora menos de la oficial en el horario de invierno, y 2 en el de verano), con objeto de adecuar los perfiles al horario solar.

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

- 8-10/ene
- 12-15/feb
- 8-11/mar
- 17-22/mar
- 26-29/mar
- 12-14/jun

Entre los meses de abril y octubre se han observado gradientes según la profundidad en los parámetros de calidad, que ha llevado a situaciones de fuerte anoxia y condiciones muy reductoras en las capas profundas del embalse.

Desde mitad de julio a finales de septiembre, las condiciones eran anóxicas a partir de los 10-11 metros de profundidad.

Todos los perfiles obtenidos están disponibles para su consulta en la página web.

<http://195.55.247.234/redalerta>

## Evolución de la estratificación

A continuación se va a intentar explicar la evolución de los parámetros que han resultado más significativos, fijando fechas en que se observan ciertos cambios o se consolidan situaciones:

### Principios de abril

Se empieza a observar un cierto gradiente de temperatura y oxígeno disuelto (la concentración en el fondo todavía es de 5 mg/L).

Las señales de pH y potencial redox apenas muestran variaciones.

### 9 de mayo

Se inicia un cambio brusco en la temperatura. La concentración de oxígeno en el fondo ya está por debajo de 1 mg/l. El salto de temperatura se produce sobre los 13 metros de profundidad.

Se empiezan a observar descensos de pH y potencial redox con la profundidad, aunque todavía pequeños.

### 15 de junio

La forma de los perfiles va cambiando.

La temperatura, oxígeno y pH son estables en los primeros 6 metros. Se produce un salto entre los 6 y 8 metros.

La concentración de oxígeno es cero desde los 19 metros de profundidad.

El redox es negativo desde los 24 metros; el salto se produce sobre los 23 metros.

### 15 de julio

pH y temperatura son estables los 3 primeros metros.

La concentración de oxígeno es cero desde los 12 metros de profundidad.

El potencial redox varía a los 17 metros.

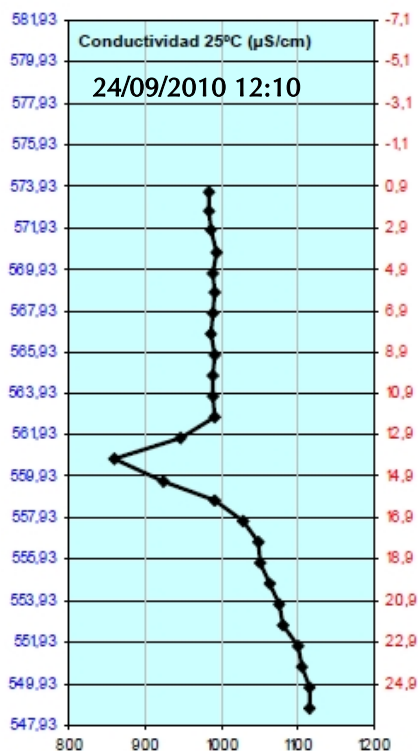
### 15 de agosto

pH y temperatura son estables los 8 primeros metros.

El salto de temperatura ya alcanza los 10 °C, y el de pH es de casi una unidad.

La concentración de oxígeno es cero desde los 11 metros de profundidad.

El potencial redox es negativo desde los 11 metros.



### Finales de agosto

Se empieza a observar un descenso (no esperado) de la conductividad entre los 13 y 15 metros (gráfico de la parte izquierda), casi coincidente con el inicio de la zona con potencial redox negativo. Luego vuelve a aumentar, para ponerse en línea con una tendencia ligeramente ascendente desde superficie a fondo. Este fenómeno es máximo sobre finales de septiembre, y desaparece cuando se inicia la mezcla.

El oxígeno disuelto es cero desde los 11 metros de profundidad.

El potencial redox es negativo desde los 11 metros.

### Finales de septiembre

Se empieza a reducir la diferencia de temperatura entre superficie y fondo (el 1 de octubre es de 5 °C).

El salto de pH y oxígeno disuelto se mantiene sobre los 11 metros, al igual que el descenso de conductividad y el potencial redox.

### 15 de octubre

La diferencia de temperatura entre superficie y fondo es de 3°C.

Va aumentando el espesor de la capa superior. En ella la concentración de oxígeno ronda los 6 mg/L.

Parece que se va produciendo la mezcla. Se ve más turbidez en el fondo. El gradiente de pH es ya de sólo 0,5 unidades.

El potencial redox es negativo desde los 17 metros.

### 22 de octubre

El perfil de temperatura ya es prácticamente plano.

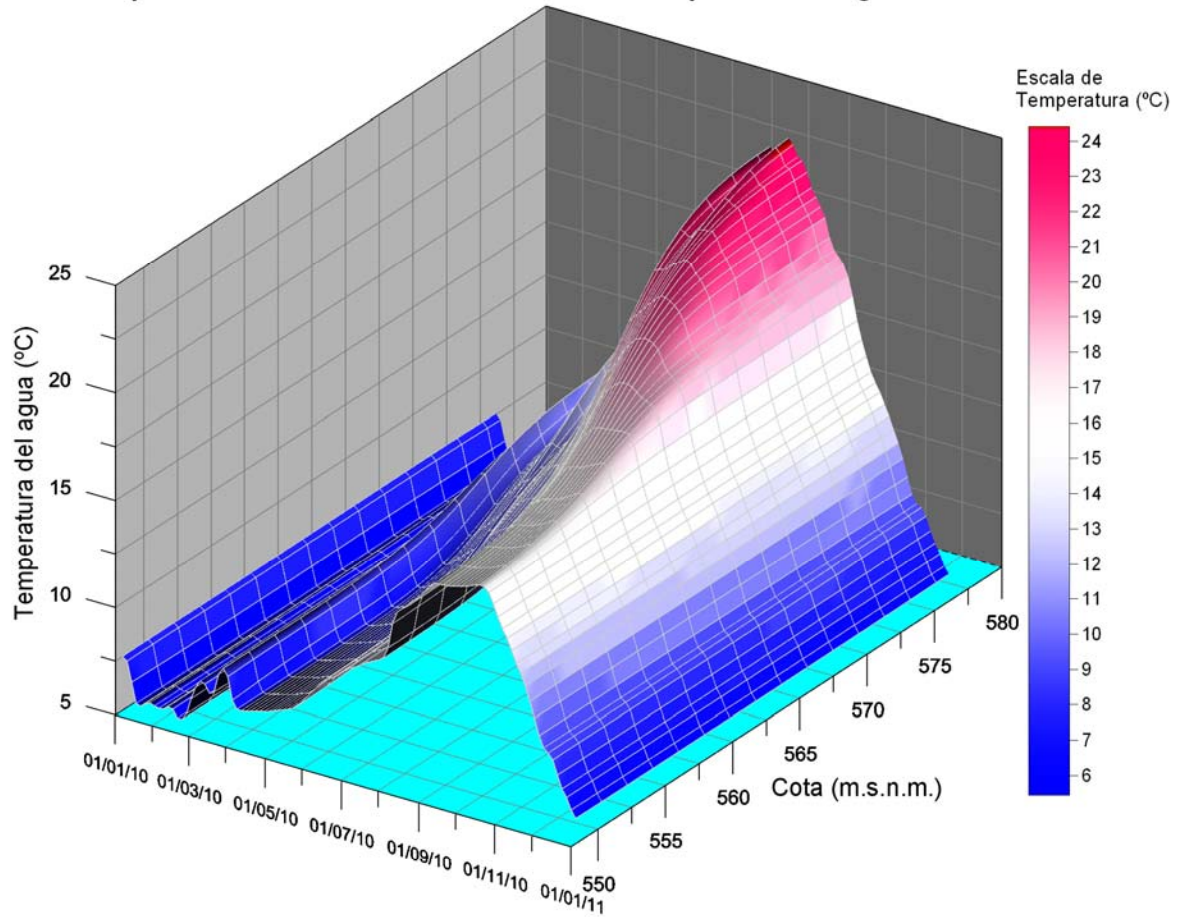
La concentración de oxígeno disuelto es de 6 mg/L hasta los 22 metros de profundidad.

El potencial redox es positivo en toda la columna de agua y desaparecen los descensos en la señal de conductividad.

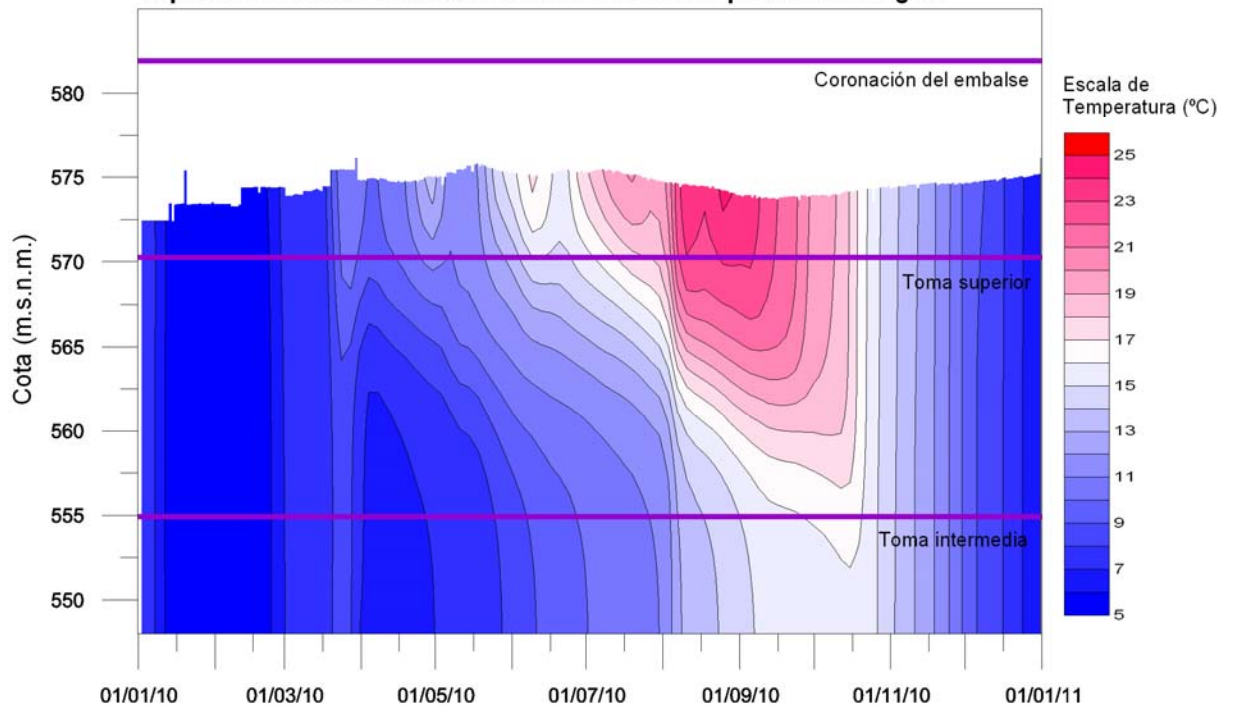
A partir de ahí, la mezcla ya se completa en pocos días. La concentración de oxígeno disuelto va subiendo poco a poco en toda la columna de agua.

En las tres páginas siguientes se incluyen unos gráficos de evolución para la temperatura, oxígeno disuelto y potencial redox. En el primer gráfico de cada página se realiza una representación de los datos recibidos en 3 dimensiones. El segundo representa el cálculo de isolíneas para cada uno de los parámetros. En él se representan, como líneas horizontales, la cota de coronación (581,93 msnm), la toma superior (570,25 msnm) y la intermedia (554,93 msnm).

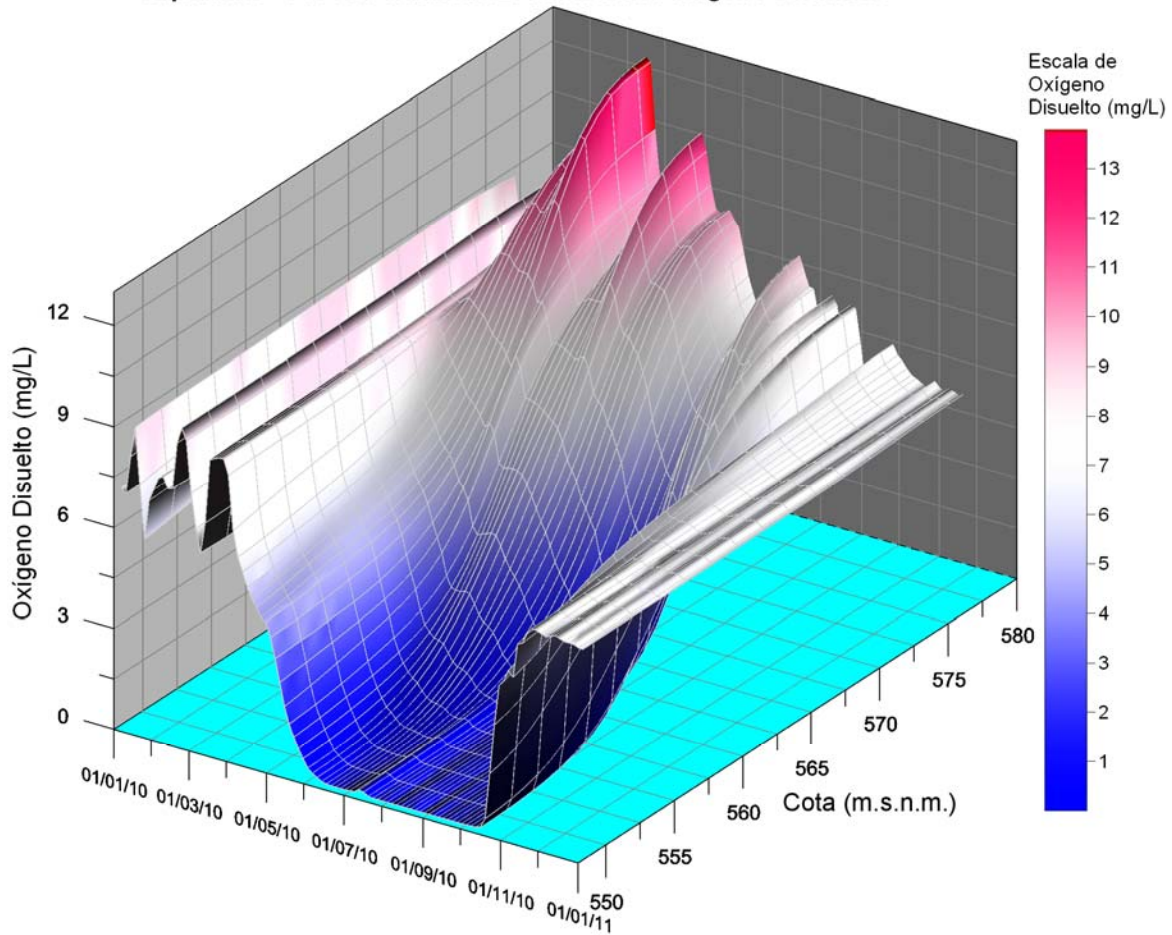
**Aquadam - Cueva Foradada. Evolución de la Temperatura del Agua.**



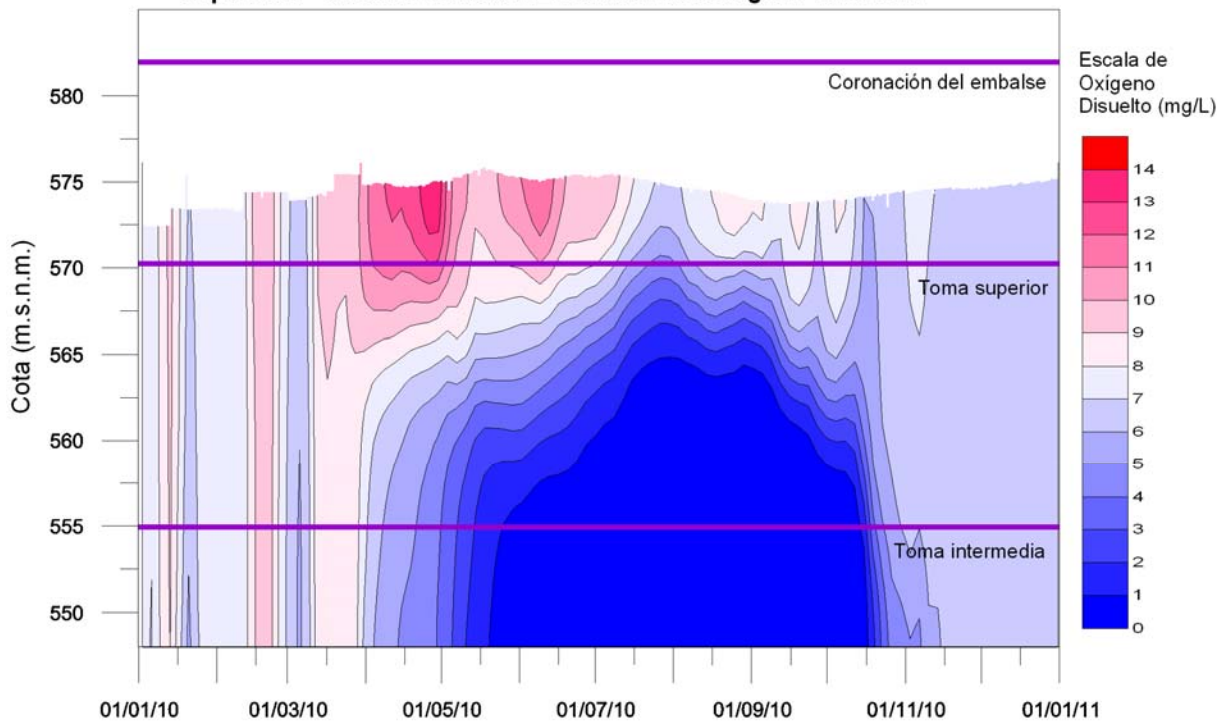
**Aquadam - Cueva Foradada. Evolución de la Temperatura del Agua.**



**Aquadam - Cueva Foradada. Evolución del Oxígeno Disuelto.**

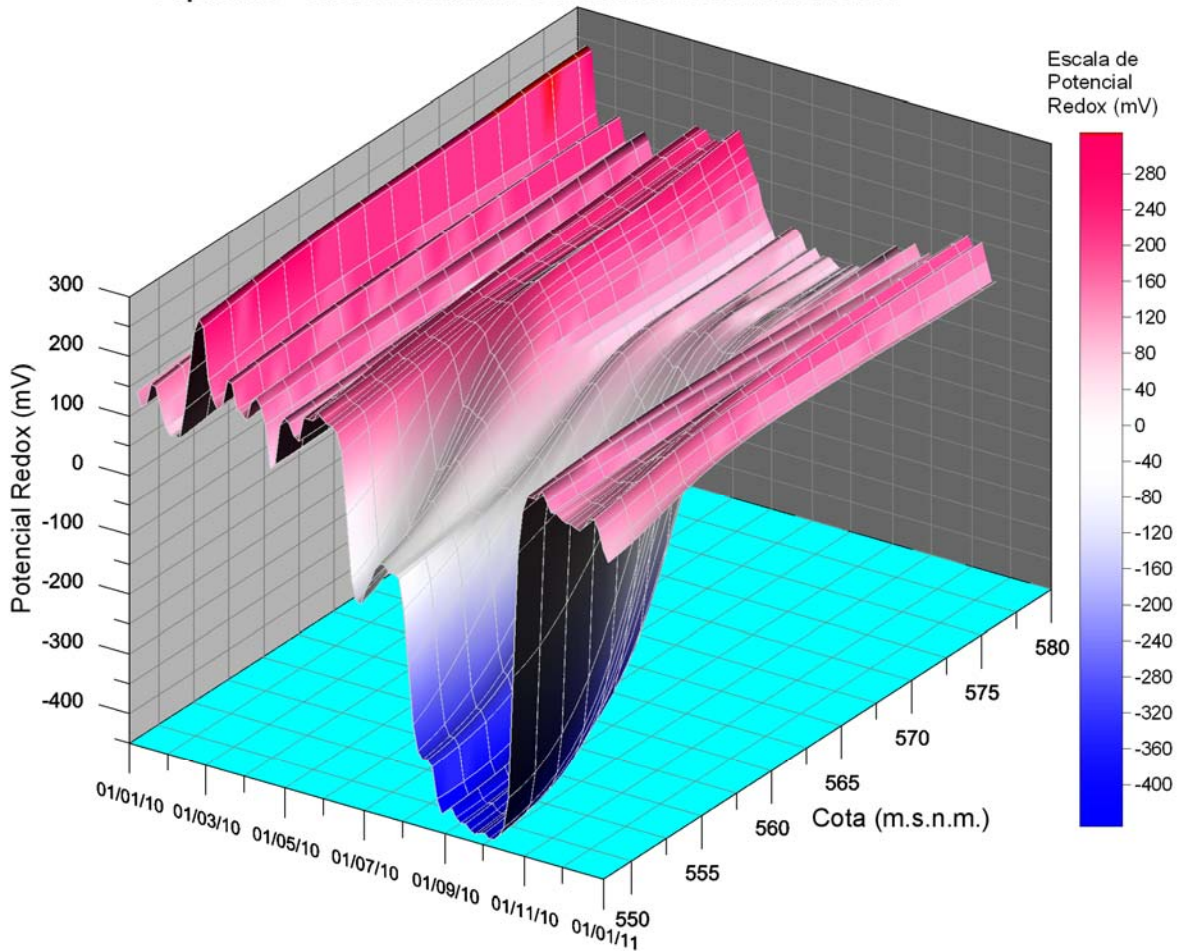


**Aquadam - Cueva Foradada. Evolución del Oxígeno Disuelto.**

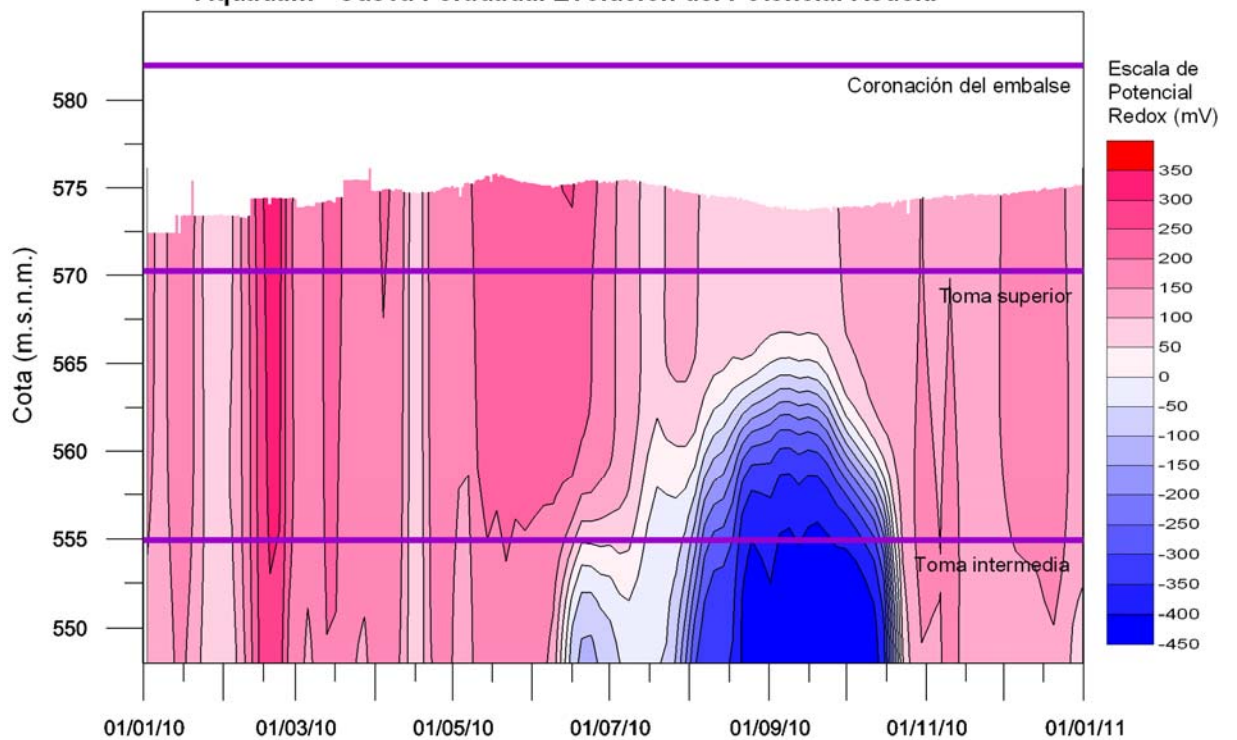




**Aquadam - Cueva Foradada. Evolución del Potencial Redox.**



**Aquadam - Cueva Foradada. Evolución del Potencial Redox.**



## 5.3. INSTALACIÓN EN LA PRESA DE LA TRANQUERA

### 5.3.1. INTRODUCCIÓN

**El embalse de La Tranquera** ubicado en la cuenca del río Piedra con una capacidad de 84,26 Hm<sup>3</sup>, 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.

### 5.3.2. SEGUIMIENTO DEL FUNCIONAMIENTO DE LA SONDA

#### Funcionamiento general de la sonda

Los primeros datos de la sonda se recibieron en el mediodía del 17/11/2009.

En 2010 se han realizado 1499 perfiles. En cada uno se han medido entre 30 y 35 puntos (generalmente con distancias de 1 metro entre puntos), dependiendo del nivel del embalse y de la programación de la sonda en cada época.

Hasta 18/05/2010 se han programado 6 perfiles al día (00:00, 06:00, 10:00, 12:00, 14:00 y 18:00)  
A partir de 19/05/2010 se ha vuelto a la programación de 4 perfiles al día (00:00, 06:00, 12:00 y 18:00).

Se ha trabajado siempre con horario GMT (una hora menos de la oficial en el horario de invierno, y 2 en el de verano), con objeto de adecuar los perfiles al horario solar.

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

- 19-22/ene
- 31/ene
- 23-25/may
- 28-30/jun
- 02/jul-02/ago
- 07-09/ago
- 09-13/oct
- 18-26/nov

El descenso de calidad debido a la estratificación del embalse ha sido menor al observado en el otro embalse controlado con Aquadam (Cueva Foradada).

En el fondo la concentración de oxígeno disuelto ha estado por debajo de 1 mg/L durante 3 meses (mitad de julio a mitad de octubre), pero no se han llegado a medir potenciales redox negativos ni valores de pH por debajo de 7.

Todos los perfiles obtenidos están disponibles para su consulta en la página web.

<http://195.55.247.234/redalerta>

### Medida de clorofila

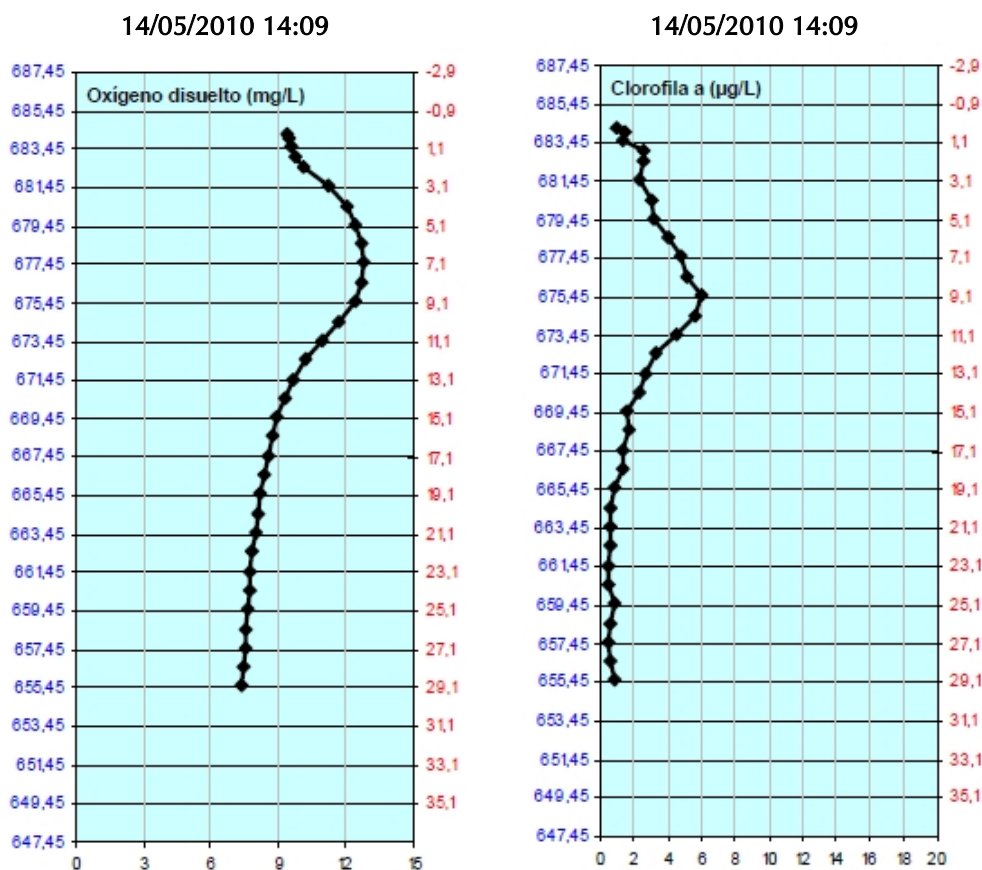
El día 01/dic/2009 la clorofila empieza a dar valores distintos de cero (en torno a 2 µg/L en toda la columna). En los perfiles correspondientes al mediodía, algunos días se observan valores más altos en las capas más superficiales.

Para realizar el seguimiento de esta tendencia, a partir del 16/dic/2009 se programan dos perfiles adicionales, alrededor del mediodía (10:00 y 14:00).

A partir del 03/feb, además, se modifica la programación de los perfiles, para disponer de mayor densidad de medidas en las capas superficiales. La programación queda con medidas en las siguientes profundidades fijas: 25, 50, 100, 150, 200 cm y después con diferencia de 1 metro hasta los 29 de profundidad.

Cuando se observa una tendencia a la estratificación se vuelve a cambiar la programación (18/may), para que mida metro a metro hasta los 35 de profundidad.

A partir del 15/abr se empieza a ver un aumento de concentración en profundidades medias (entre los 3 y 13 metros), que se mantiene en todos los perfiles de cada día. Esta tendencia desaparece a partir del 15/may. Este comportamiento también se observa en la señal de oxígeno disuelto, en las mismas fechas.



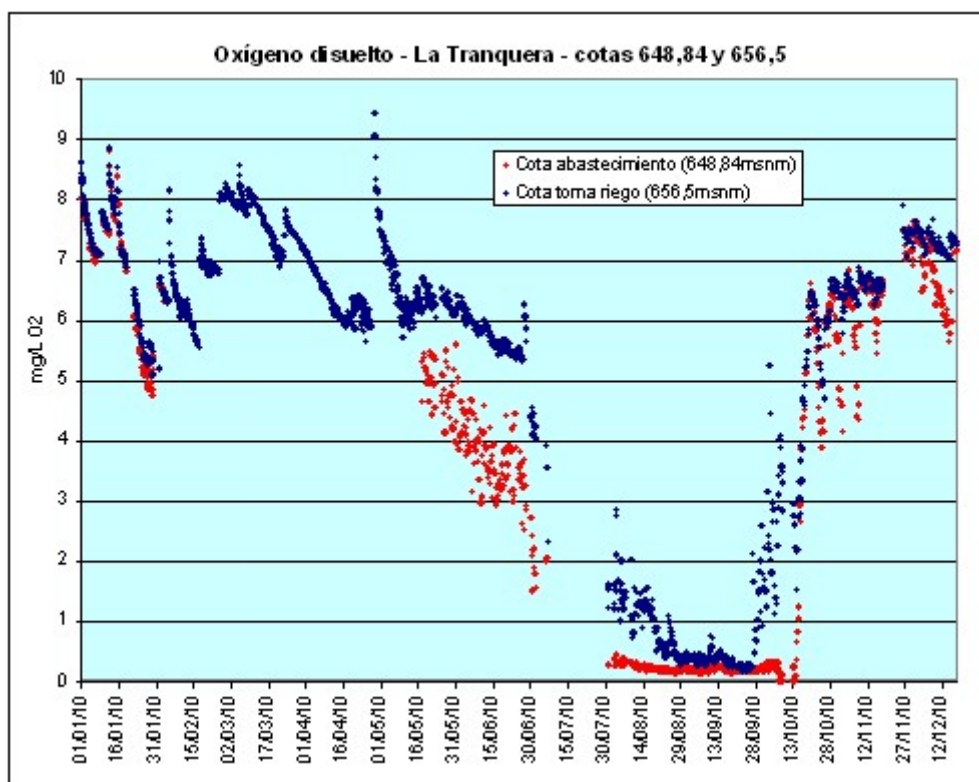
Desde el 28 de junio no se dispone de datos válidos para la clorofila.

## Toma de abastecimiento. Concentración de oxígeno disuelto

Según la información que se maneja, la cota teórica de barro sedimentado en el embalse es 647,84 msnm, mientras que la de la toma de abastecimiento es 648,84 msnm (sólo 1 metro por encima). Esta cercanía a la capa de barro lleva consigo cierta dificultad para medir a esa profundidad.

La cota de las nuevas tomas de riego se encuentra 8 metros más arriba, en la cota 656,5 msnm.

En el siguiente gráfico de evolución se observa la concentración de oxígeno disuelto en ambas cotas.



La medida del oxígeno con las sondas utilizadas es bastante sensible al ensuciamiento, y esa es la principal causa de que aparezcan algunos escalones en la evolución. En la interpretación de los resultados se debe intentar obviar estos escalones, y hacer el seguimiento de la evolución más probable de los resultados reales.

En el gráfico se puede observar que a partir del mes de mayo la diferencia de concentración entre ambas cotas es creciente.

En la toma inferior la concentración de oxígeno disuelto es inferior a 1 mg/L desde mitad del mes de julio a mitad de octubre (unos 3 meses), mientras que en la cota de la toma de riegos sólo está mes y medio por debajo de esos valores.

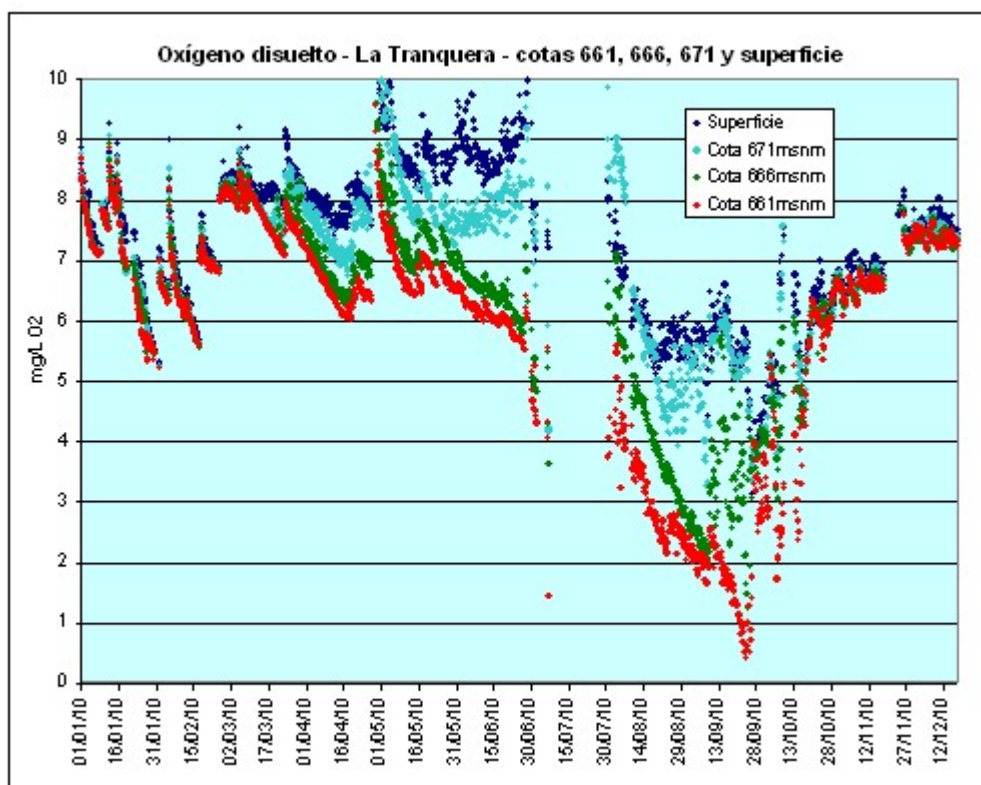
En el siguiente gráfico se ha representado la medida de la concentración de oxígeno disuelto a cotas situadas 5, 10 y 15 metros por encima de la toma de riego.

En la situada 5 metros por encima (cota 661), ya sólo durante unos días, a finales del mes de septiembre, se baja de 1 mg/L.

En la cota 666 todavía se llegan a medir valores bajos, pero ya no descienden de 2 mg/L.

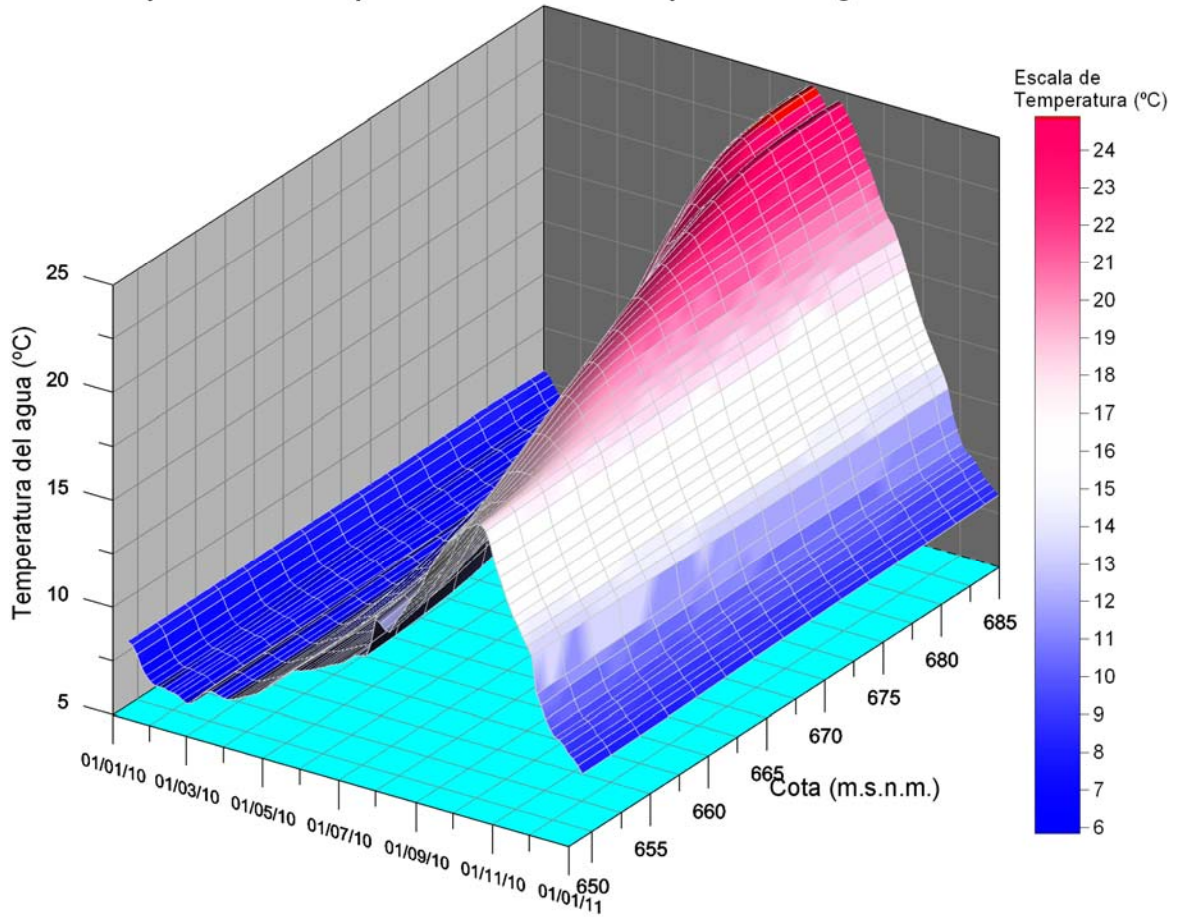
Ya en la cota 671, 15 metros por encima de la toma de riego, la concentración mínima no baja de los 4 mg/L (aunque todavía no está claramente situada por encima de la termoclina en periodo de estratificación).

En azul oscuro se observa la concentración de oxígeno medida en la superficie.

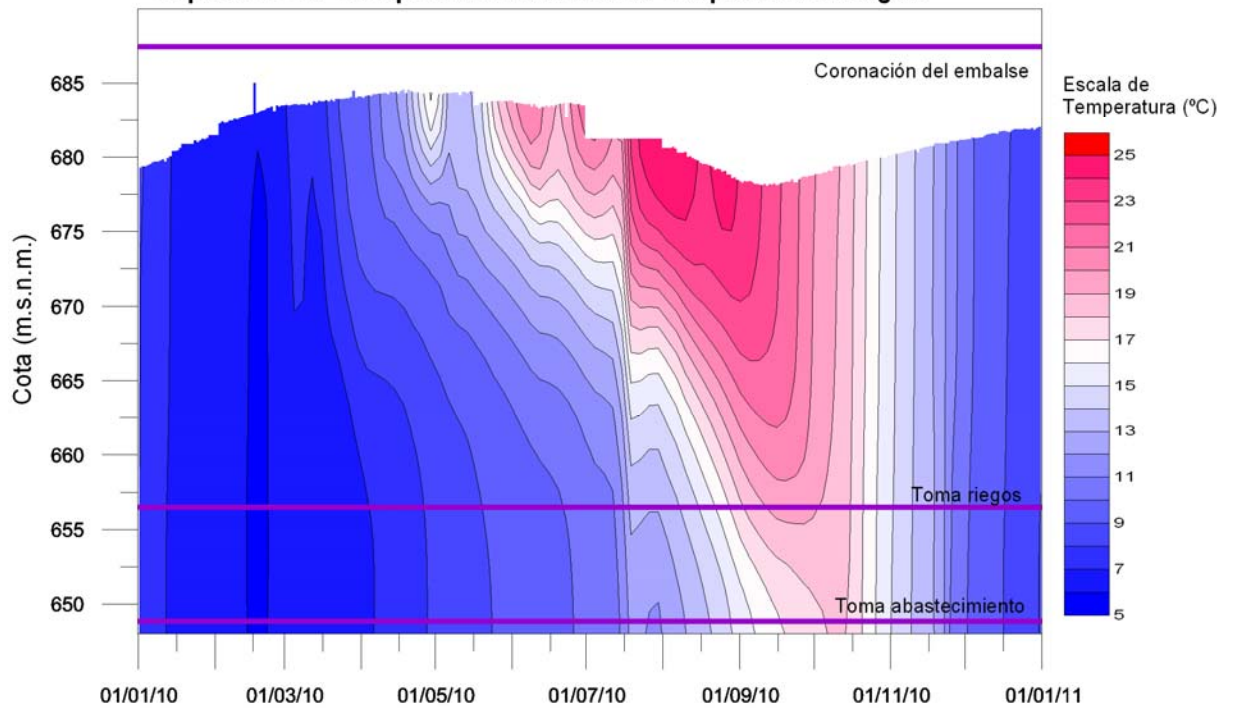


En las tres páginas siguientes se incluyen unos gráficos de evolución para la temperatura, oxígeno disuelto y potencial redox. En el primer gráfico de cada página se realiza una representación de los datos recibidos en 3 dimensiones. El segundo representa el cálculo de isolíneas para cada uno de los parámetros. En él se representan, como líneas horizontales, la cota de coronación (687,45 msnm), la toma de riegos (656,5 msnm) y la de abastecimiento (648,84 msnm).

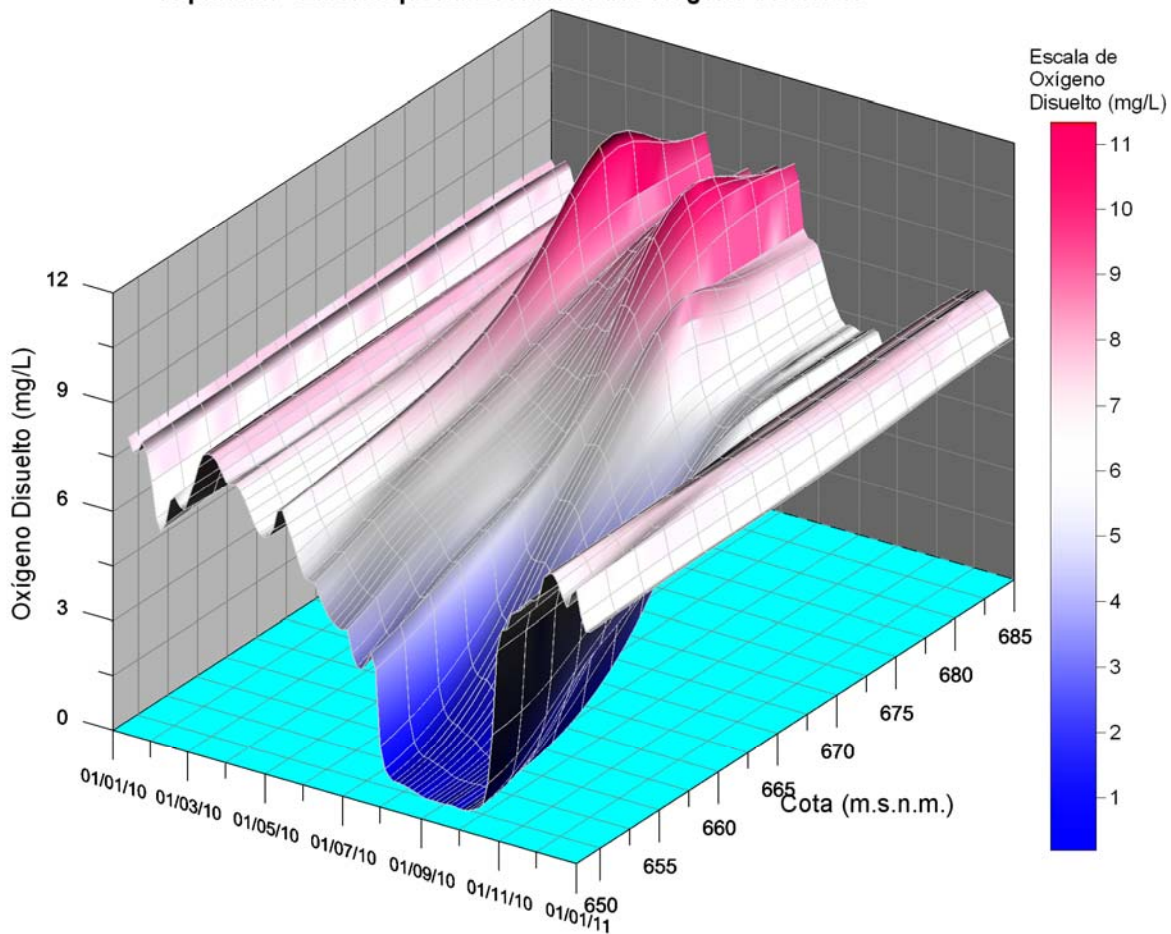
**Aquadam - La Tranquera. Evolución de la Temperatura del Agua.**



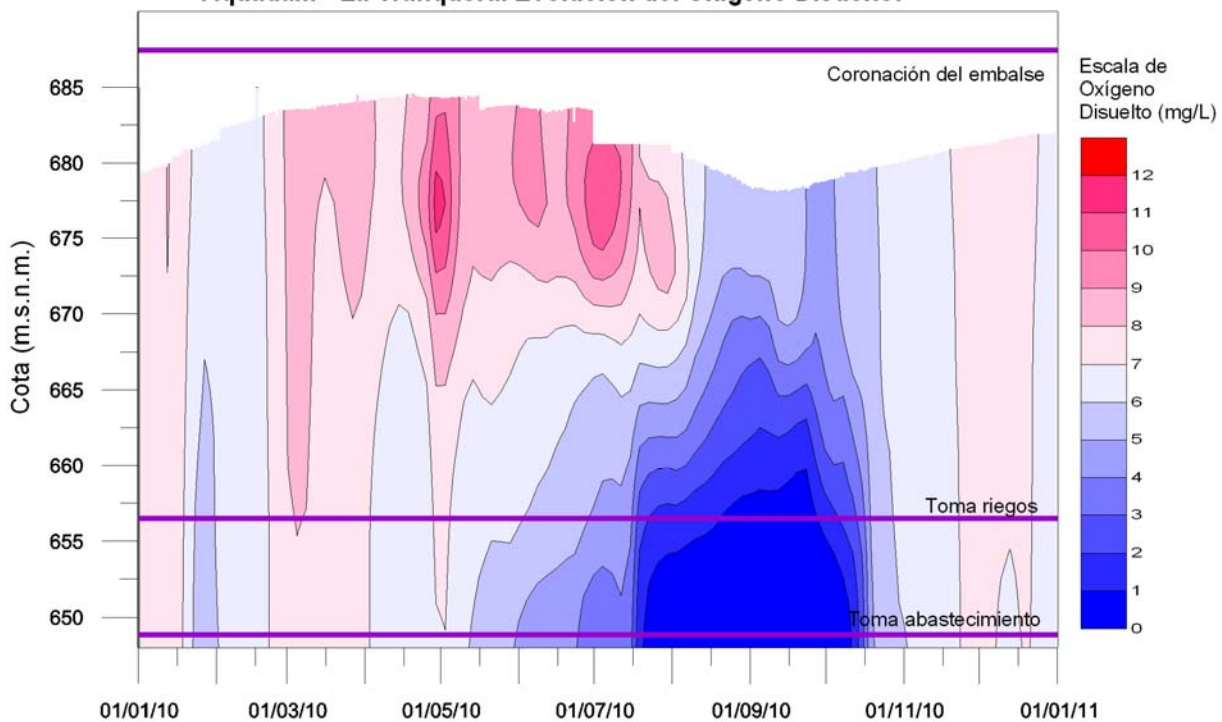
**Aquadam - La Tranquera. Evolución de la Temperatura del Agua.**



**Aquadam - La Tranquera. Evolución del Oxígeno Disuelto.**

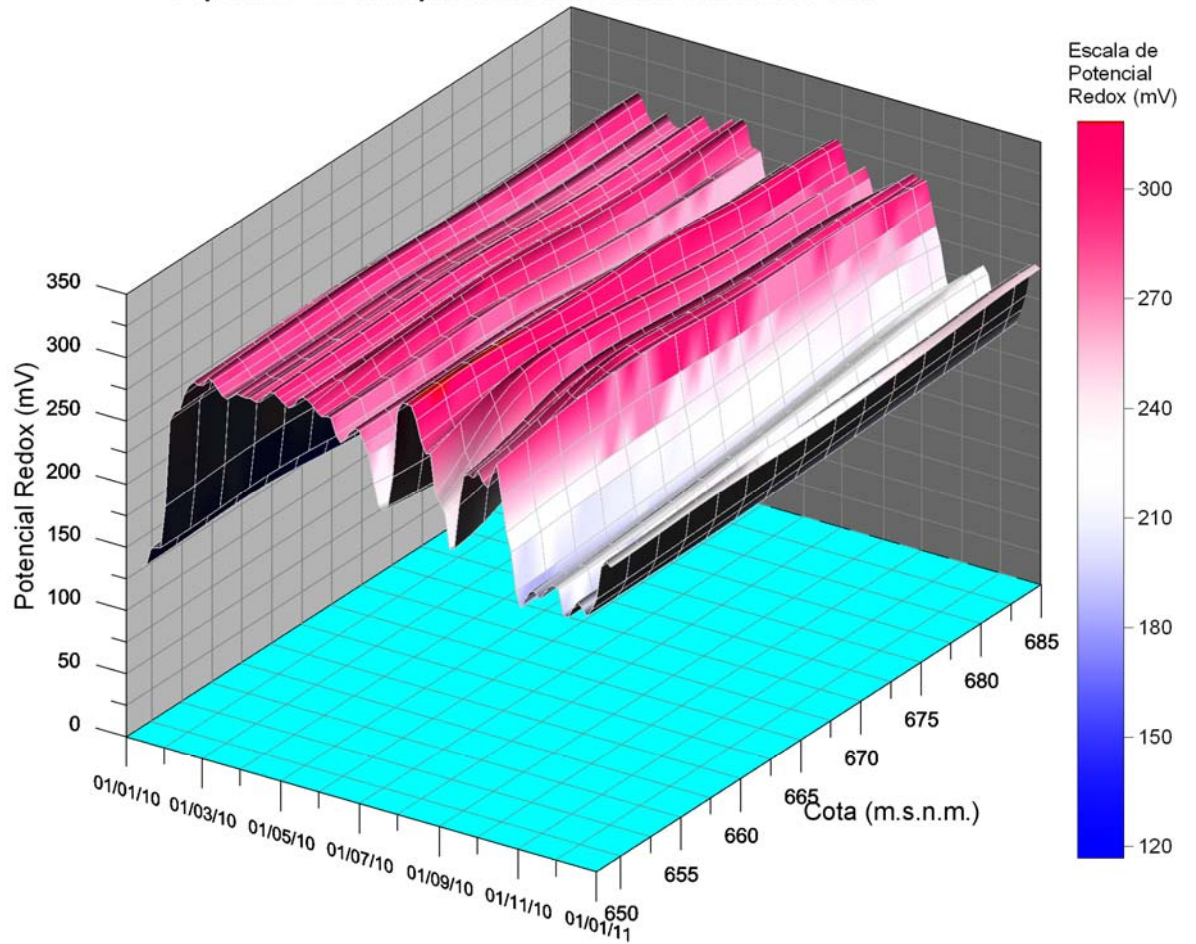


**Aquadam - La Tranquera. Evolución del Oxígeno Disuelto.**





**Aquadam - La Tranquera. Evolución del Potencial Redox.**



**Aquadam - La Tranquera. Evolución del Potencial Redox.**

