

Análisis hidroquímico comparativo de la formación de los lagos mineros de As Pontes y Meirama (España)

Juncosa, R.^{a1}, Delgado, J.^b, Cereijo, J.L.^{a2} y García, D.^{a3}

^aGrupo de Ingeniería del Agua y del Medio Ambiente, ETS de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, Universidade da Coruña, Campus de Elviña s/n, 15192. E-mail: [a1:ricardo.juncosa@udc.es](mailto:ricardo.juncosa@udc.es), [a2:jose.cereijo@udc.es](mailto:jose.cereijo@udc.es), [a3:david.morrondo@udc.es](mailto:david.morrondo@udc.es).

^bGrupo Lamerock, ETS de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, Universidade da Coruña, Campus de Elviña s/n, 15192. E-mail: [b:jdelgado@udc.es](mailto:jdelgado@udc.es)

Línea temática B | Hidrología, usos y gestión del agua. Riegos. Energía hidroeléctrica.

RESUMEN

Las antiguas minas de lignito de As Pontes y Meirama están situadas en el Noroeste de España, a una distancia aproximada de 80 km entre ellas. Ambas finalizaron su actividad extractiva a finales de 2007, comenzando el llenado de los huecos mineros respectivos, originados a cielo abierto, a comienzos de 2008. El proceso de llenado, a partir de la desviación de los ríos próximos, ha sido desigual en ambos casos, tardando unos 4 años y medio el llenado completo de los 547 hm³ del hueco de As Pontes, y 8 años y dos meses los 146 hm³ del hueco de Meirama. En ambos lagos se ha establecido un régimen hidrológico estacionario, en el cual el volumen de agua del hueco lleno se mantiene constante.

Por otro lado, dada la similitud geológica, climatológica y agroforestal del entorno de ambos huecos y que la profundidad máxima alcanzada por la lámina libre es la misma (205 m), se espera obtener un comportamiento hidroquímico muy parecido en ambas masas de agua.

Así, una vez finalizado el llenado de ambos huecos se ha realizado un estudio hidroquímico y limnológico comparativo sobre el estado de las aguas de ambos lagos, analizando los perfiles hidroquímicos de los elementos y compuestos más representativos del sistema, así como la estratificación química generada.

Palabras clave | Lagos mineros; hidroquímica; limnología; calidad del agua.

INTRODUCCIÓN

Localización

Tanto el lago minero de Meirama como el lago minero de As Pontes se encuentran en el Noroeste de España con una distancia de unos 80 km entre ambos. El lago minero de As Pontes (Figura 1), que se encuentra en la Cuenca del río Eume, se creó a partir del hueco generado por la extracción de lignito del yacimiento que se situaba en la Cuenca sedimentaria de edad terciaria y origen tectónico de As Pontes. Dicho yacimiento estaba constituido por una potente serie arcillosa con alternancias de lignito y arenas. El sustrato de la cuenca está integrado por filitas, esquistos, cuarcitas, grauvacas, meta-arcosas y gneises afectados por la orogenia Herciniana.

Con respecto al hueco minero de Meirama, éste se encuentra dentro de la cuenca vertiente del río Barcés (Delgado et al., 2011), la cual se caracteriza por estar integrada por un conjunto de materiales esquistosos (Dominio Esquistoso de la Serie de Órdenes), cuarzo-esquistos, metagrauvacas, granodioritas y granitos biotíticos en contacto intrusivo con los esquistos (Delgado et al., 2013a). La mayor parte de la excavación minera de Meirama se encuentra sobre una cuenca sedimentaria intramontañosa de materiales terciarios rodeada por materiales esquistosos y granodioritas (Maldonado, 1977). En cierto modo guarda similitud con los materiales que componen el hueco minero de As Pontes.

Descripción

Ambas minas se encuentran ubicadas en una zona típica de clima atlántico con altas lluvias a lo largo de todo el año, con valores bajos en verano y máximos en invierno. Las temperaturas son suaves cuyos valores máximos a mínimos oscilan los 10 °C.

El hueco de la mina de As Pontes (Juncosa et al., 2015a) se ha llenado durante 4 años y medio con la aportación de unos 97 hm³/año de aguas derivadas del propio río Eume y de las cuencas adyacentes, las cuales representan unos 207 km² de área de recepción. Dicho hueco estaba formado por tres zonas denominadas “Campo Oeste” (PVO), “Campo Este” (PVE) y “Umbral” que una vez llenas constituyeron el actual lago con una superficie de unos 8.1 km², 5 km de longitud en la dirección NW-SE y un ancho máximo de 2.2 km. El hueco lleno está comprendido entre las cotas 127 y 332 m.s.n.m., con una profundidad máxima de 205 m. Los trabajos de extracción empezaron en el año 1976. Durante el periodo en que estuvo en explotación se extrajeron más de 261 millones de toneladas de lignito y más de 697 hm³ de estéril.

El hueco minero de Meirama se encuentra en la Cuenca alta del río Barcés con un área de recepción de 33 km², lo que explica que el llenado, por desviación de los ríos próximos, haya sido más lenta (unos 8 años y dos meses) que el hueco de As Pontes, aunque el hueco tenga un volumen menor que aquél (146 hm³). El hueco lleno hasta la cota 171.3 m.s.n.m. tiene una superficie de 1.9 km² y está comprendido entre la cota -33.7 y la 171.3 m.s.n.m. con una profundidad máxima de 205 m, igual que el lago minero de As Pontes, 2.2 km de largo y 0.9 km de ancho máximo. Durante sus aproximadamente 30 años de explotación se extrajeron 93 hm³ de lignito y 175 hm³ de estéril, utilizando parte de este material para reducir el tamaño del hueco.

La calidad química obtenida en ambos lagos ha dependido (Delgado et al. 2013b), entre otros factores, del tipo de material explotado (en ambos casos lignito), del tipo de roca encajante (principalmente filitas en el caso de As Pontes y granito y esquistos en Meirama), el clima (muy similar), el tiempo de llenado (diferente debido a la distinta disponibilidad de agua), la morfometría de los huecos (también muy diferentes) (Castro and Moore, 2001; Werner et al., 2001a, b; Boland and Padovan, 2002; Denimal et al., 2005; Castendynk and Webster-Brown, 2007a, b; Castendyk and Eary, 2009).

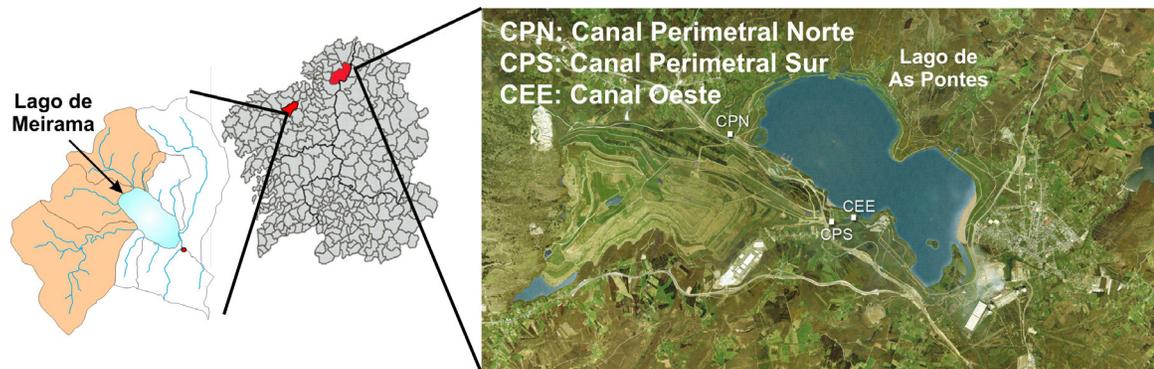


Figura 1 | Localización de las minas de Meirama y As Pontes.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se ha estado monitoreando el proceso de llenado de ambos lagos, de tal forma que el resultado hidroquímico de ambos lagos que se ha obtenido a lo largo de aquél ha proporcionado cualitativamente perfiles verticales similares (Juncosa et al., 2014).

En el caso de As Pontes se ha muestreado verticalmente en tres puntos diferentes representativos de cada zona (PVE, PVO y umbral más pequeña). En cambio, en Meirama se muestreó inicialmente en tres puntos distintos y, al comprobar, que los perfiles obtenidos eran idénticos se optó por muestrear en un solo punto, el cual correspondía con el centro del lago.

La toma de muestras de agua y los procedimientos analíticos aplicados se realizó conforme a técnicas convencionales (APHA, 1998). En todos los casos se procedió a la determinación, en el mismo punto de muestreo, de la temperatura, la conductividad específica, el pH, la concentración de oxígeno disuelto y el potencial de oxidación/reducción.

El muestreo ha consistido en tomar una muestra en superficie y, posteriormente, cada 5 m desde la lámina libre hasta los 20 primeros metros de profundidad (5, 10, 15 y 20 m), y a partir de dicha profundidad cada 10 metros, es decir múltiplos de 10 (30, 40, 50,...). Para la toma de muestras en profundidad, para su posterior análisis en laboratorio, se utilizó una botella tipo Kemmerer, así como un sistema automático de subida y bajada con un muestreador de tipo Carrusel (SBE 55 ECO water samples), de 6 botellas con capacidad de 4 L cada una y sistema de cierre magnético, que permite tomar hasta 6 muestras de agua a distintas profundidades en cada inmersión. Para la obtención de los perfiles verticales continuos de parámetros físicos se ha utilizado la sonda YSI 6600-V2. La frecuencia del muestreo fue inicialmente semestral en los procesos de llenado y, posteriormente, mensual.

Los análisis realizados han consistido en determinar aquellas sustancias contempladas en la legislación española y comunitaria vigente y una serie de elementos y compuestos adicionales con el fin de entender e interpretar adecuadamente la hidroquímica de los procesos de llenado. Dichos parámetros y compuestos fueron, entre otros, los siguientes: pH, Al, As, Ba, B, Cd, Crtotal, Fetotal, Fedis, Mn, Ni, Hg, Pb, Se, Cu, Zn, Ti, Cl, F, SO₄, Ptotal, PO₄, Ntotal, NO₃, NO₂, NH₄, DBO₅, temperatura, conductividad específica, potencial de oxidación/reducción, oxígeno disuelto, alcalinidad, Li, Na, K, Ca, Mg, SiO₂, Br, COD, CID, Ag, Co, Mo, Sb, U, V, Sulfuro, bicarbonato y los isótopos estables de oxígeno e hidrógeno.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Llenado de huecos

La corta minera de As Pontes de García Rodríguez comenzó a ser inundada mediante la entrada controlada de aguas superficiales a finales de enero de 2008. La aportación principal para este proceso procede de una captación de aguas derivadas desde el río Eume. El rebose, indicador de la condición de llenado completo del hueco minero, se produjo el 18 de abril de 2012.

Los aportes de agua al lago durante el llenado se realizaron desde distintos puntos, siendo sus caudales concentrados en los denominados Canal Este y Oeste. A partir del Canal Este llegaron las aportaciones más significativas en volumen al lago, dado que éste recibió el caudal derivado desde el río Eume así como de otros menores. En abril de 2012 se completó la inundación del hueco minero, y los caudales derivados del río Eume volvieron nuevamente a su cauce natural. En la actualidad, el lago sólo recibe los aportes de lluvia, aguas subterráneas y los de sus cuencas naturales vertientes, destacando en términos volumétricos de los ríos Illade, Meidelo (Figura 2).

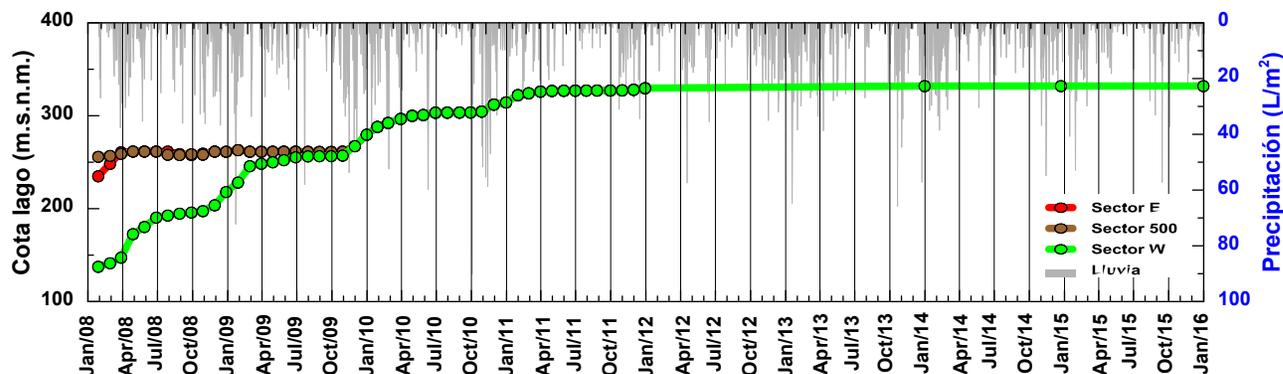


Figura 2 | Evolución temporal de la cota del lago de As Pontes durante el llenado.

Durante la inundación progresiva de la corta, la morfología del lago fue cambiando de modo que aparecieron y desaparecieron diversas masas de agua: Lago Este, Lago Umbral y Lago Oeste. A finales del año 2009 esas masas de agua quedaron fusionadas en un único cuerpo.

Con respecto al lago de Meirama (Delgado et al., 2014), el comienzo del llenado se produjo desde el cese de las actividades extractivas hasta octubre de 2008 con aportaciones exclusivamente de aguas subterráneas. A partir de entonces, comenzó la derivación de los aportes superficiales procedentes de los ríos próximos, siendo el río Pereira el de mayor caudal. Ese momento queda identificado en la curva de llenado a través de un ligero cambio de pendiente que, a mediados de octubre y noviembre de 2008, se agudiza por el importante incremento en la precipitación (Figura 3). A comienzo la cota de la lámina libre del lago aumentaba rápidamente, pero dicho ritmo empezó a reducirse en los períodos de mayo a junio de 2009, de mayo a septiembre de 2010 y, nuevamente, a partir de abril de 2011 debido a dos razones: a) reducción en la precipitación; b) aumento de la superficie del lago (Juncosa et al., 2013).

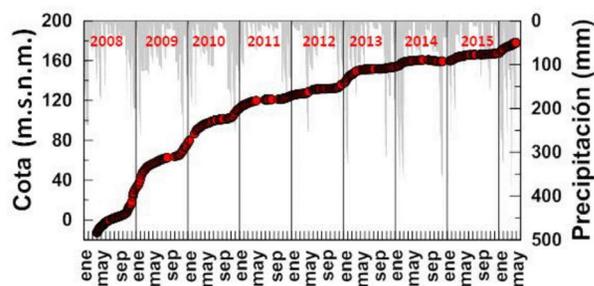


Figura 3 | Evolución temporal de la cota del lago de Meirama durante el llenado.

Perfiles en profundidad

Con respecto al lago de As Pontes, las Figuras 4 y 5 ilustran las evoluciones temporales de las temperaturas registradas en los puntos PVO y PVE. El hueco asociado al punto PVE es más somero que la correspondiente al PVO. Ello determina que el comportamiento observado en las dos masas de agua fuera diferente mientras no se produjo la unificación de las mismas.

Con carácter general, puede observarse que, durante una buena parte del año hidrológico, las aguas del lago han tenido una mayor temperatura en superficie que en profundidad pero que, hacia los meses de diciembre y enero, se produce una homogeneización térmica completa. No obstante, el volumen de agua sometido a fluctuación térmica a lo largo del año ocupa un espesor de unos 40 m, el cual marca la profundidad eficaz para la homogeneización del lago.

Analizando la evolución temporal de la temperatura se puede comprobar que, durante estos años, se ha desarrollado una marcada estratificación que ha dado lugar a dos cuerpos de agua netamente diferenciados: Uno superior, de características térmicas dinámicas, y otro inferior (cota 280), térmicamente estacionario.

Su comportamiento térmico no depara sorpresas importantes y en él se puede apreciar la migración térmica (en el tiempo y en la vertical) en función de la temperatura de superficie. La homogeneización térmica se desarrolla hacia los meses de diciembre/enero.

Con respecto al lago de Meirama (Figura 6) se puede observar un comportamiento similar, aunque con alguna diferencia en profundidad (Padilla et al., 2015). Así, se observa que la superficie está sometida a una oscilación térmica de carácter climático mientras que a partir de la cota aproximada de 21 m.s.n.m. (135 m de profundidad) la masa de agua del lago se encuentra a una temperatura virtualmente constante a lo largo del periodo de observación de invierno (~12 °C) (Juncosa et al., 2015b). De acuerdo con los datos disponibles en las etapas tempranas del llenado, hay una termoclina de diferencias térmicas suaves del lago que se localizaría entre los 6 y los 21 metros de cota (~ 135 m de profundidad). No obstante, el perfil térmico es complejo ya que puede observarse que, entre los 26 y 41 m.s.n.m. se produce un descenso térmico a medida que se asciende por comparación con el valor observado a cotas inferiores (< 26 m.s.n.m.). El valor al que desciende la temperatura (9 – 10 °C) se

mantiene hasta alcanzar la profundidad de 20 m (81 m.s.n.m.) cuando la lámina de agua se encontraba a la cota de 101 m.s.n.m. (mediados de 2010).

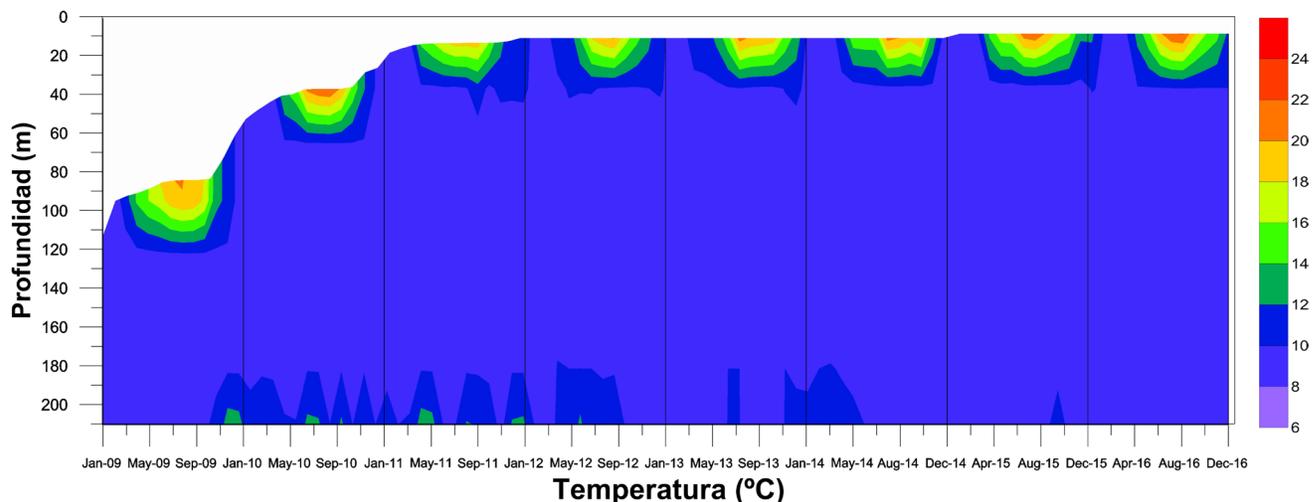


Figura 4 | Evolución temporal del perfil de la temperatura del lago de As Pontes en el punto PVO durante el llenado.

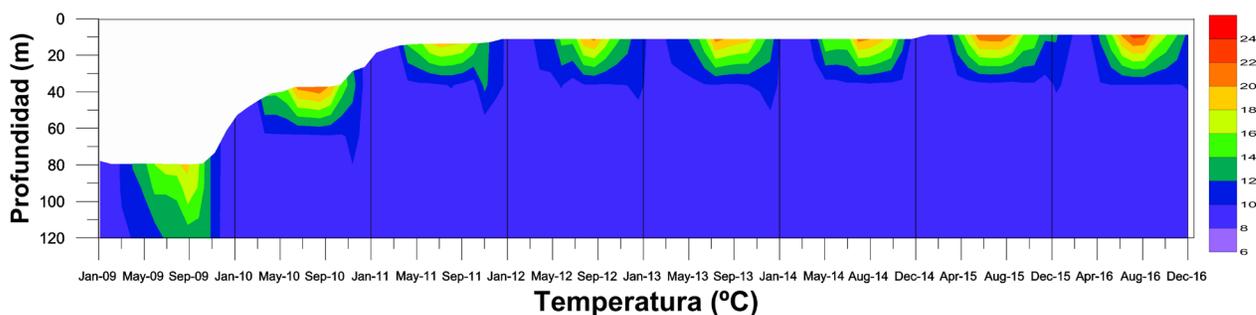


Figura 5 | Evolución temporal del perfil de la temperatura del lago de As Pontes en el punto PVE durante el llenado.

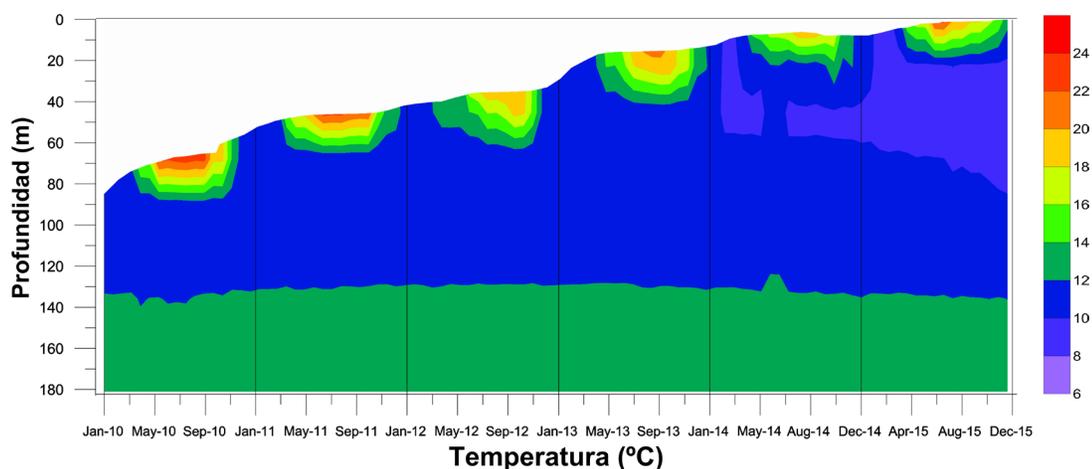


Figura 6 | Evolución temporal del perfil de la temperatura del lago de Meirama durante el llenado.

Con respecto a la evolución temporal del pH en ambos lagos, en las Figuras 7 y 8 se muestran los perfiles obtenidos en los puntos asociados al hueco Este (PVE) y al oeste (PVO) de As pontes. Se aprecia que, desde finales de 2010, las dos masas de agua que forman el lago se comportaron de manera homogénea, como consecuencia de la unificación de las masas de agua y la disminución de los aportes de cal que hubo que añadir al principio del llenado para la estabilización del pH. Esta

circunstancia no se dio en 2009 ni en el primer cuatrimestre de 2010. Más aún, a lo largo del año 2009 no era evidente el desarrollo de una quimoclina en el lago de As Pontes mientras que esta característica se hizo muy destacada a partir de principios de 2010. Su aparición, durante el mes de diciembre de 2009, tiene lugar de forma relativamente brusca y no se estabiliza en profundidad hasta junio de 2010, ya que antes, su posición fue descendiendo conforme se producía el llenado.

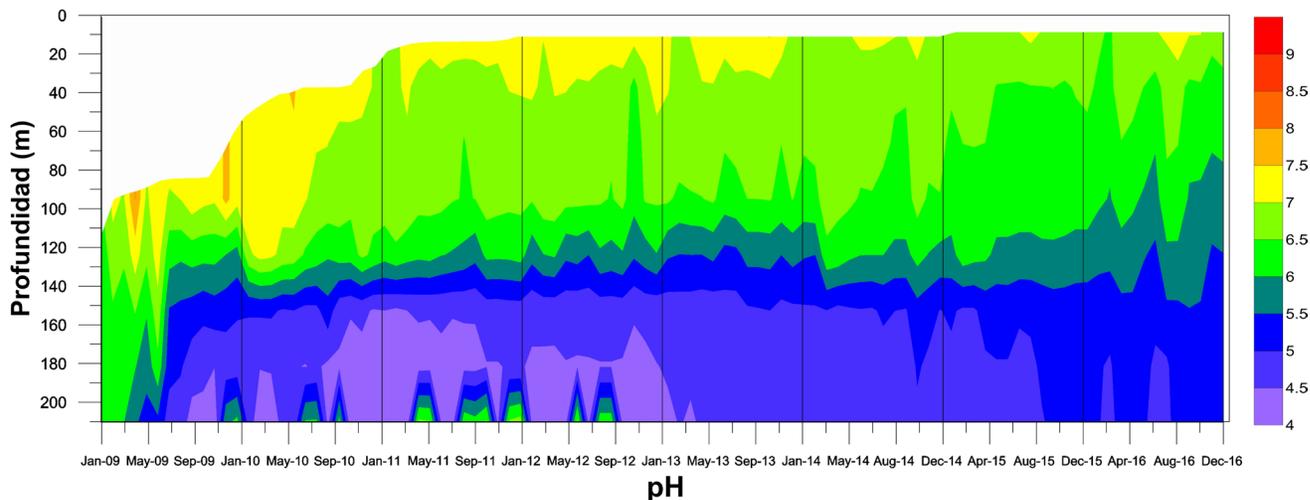


Figura 7 | Evolución temporal del perfil del pH del lago de As Pontes en el punto PVO durante el llenado.

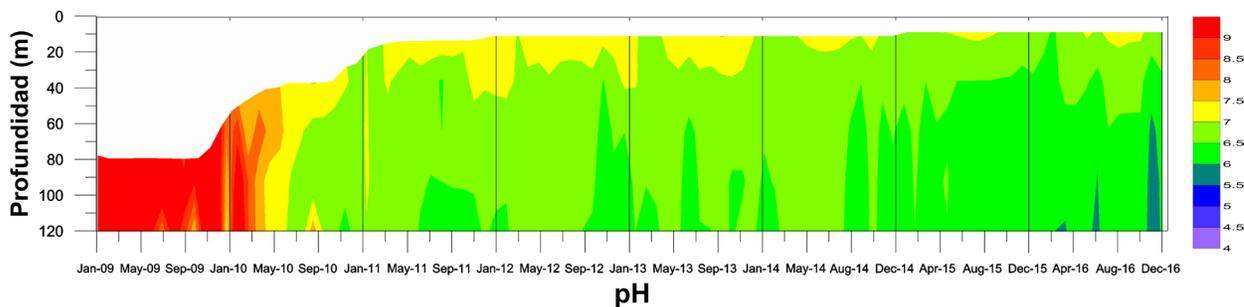


Figura 8 | Evolución temporal del perfil del pH del lago de As Pontes en el punto PVE durante el llenado.

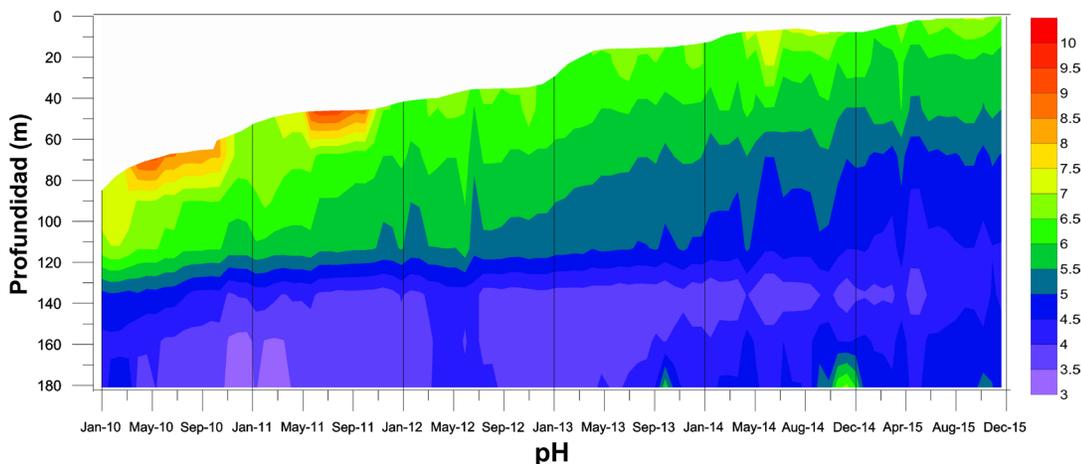


Figura 9 | Evolución temporal del perfil del pH del lago de Meirama durante el llenado.

Con respecto al lago de Meirama (Figura 9), el comportamiento del pH sigue parecidas pautas que en el de As Pontes. Existe una pH-clina (quimoclina) a una determinada profundidad, si bien en Meirama también se produjeron inicialmente aportes de cal para corregir el pH ácido producido por la entrada de aguas subterráneas. De modo descriptivo, el pH es V Jornadas de Ingeniería del Agua. 24-26 de Octubre. A Coruña

aproximadamente constante (4.5 a 5) por debajo de la cota aproximada de 31 m.s.n.m. (125 m de profundidad) mostrando cambios muy significativos a cotas superiores. Con respecto a los datos disponibles de la zona más profunda, éstos sugieren que en dicha zona profunda podría haberse experimentado una discreta acidificación, probablemente asociada a fenómenos de reducción de hierro, pero aún así parece que el pH a profundidades mayores se mantiene constante.

En las Figuras 10, 11 y 12 se muestran las evoluciones de los perfiles de la conductividad eléctrica en los puntos PVO y PVE del lago de As Pontes y del punto central del lago de Meirama, respectivamente.

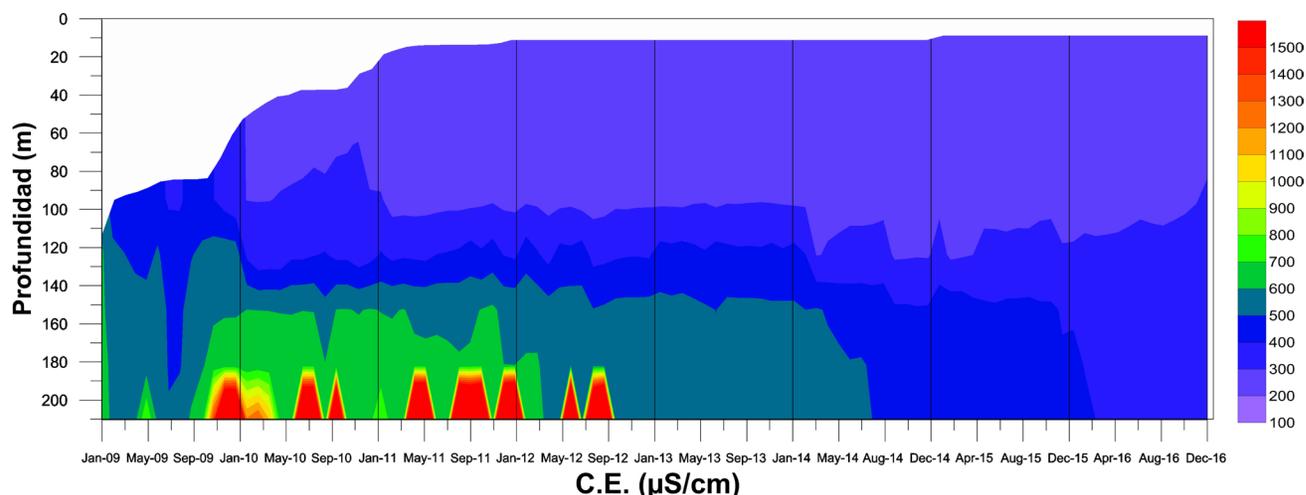


Figura 10 | Evolución temporal del perfil de la Conductividad eléctrica del lago de As Pontes en el punto PVO durante el llenado.

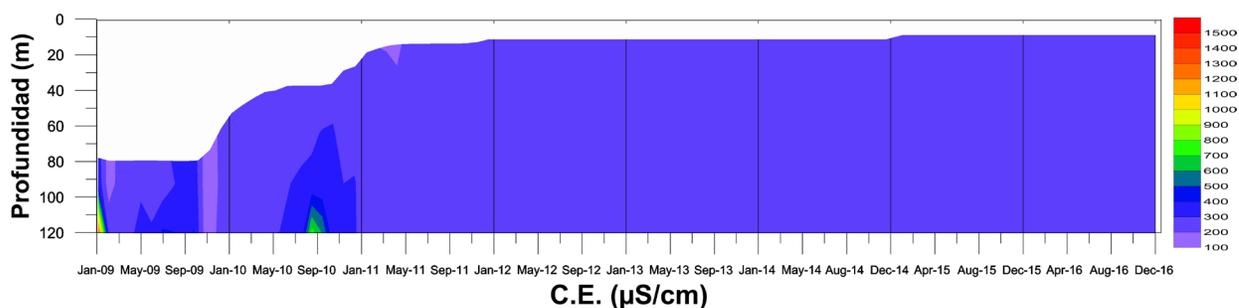


Figura 11 | Evolución temporal del perfil de la Conductividad eléctrica del lago de As Pontes en el punto PVE durante el llenado.

En lo que a la conductividad se refiere no se aprecian diferencias significativas entre los puntos PVO y PVE. Sólo se rompió esa homogeneidad, de manera excepcional, en los primeros metros de la columna de agua como consecuencia de la entrada masiva de aguas del río Eume en los primeros meses de la inundación. Comparando la evolución de los perfiles de conductividades de As Pontes y Meirama se puede apreciar que a lo largo del tiempo en As Pontes parece que se tiende a una homogeneización cuando se alcanza el régimen hidrológico estacionario. En Meirama, sin embargo, que ha alcanzado hace poco tiempo el régimen hidrológico estacionario, se aprecia la existencia bien definida de una quimoclina.

Así, a partir de la cota aproximada de 21 m.s.n.m. (135 m de profundidad) la conductividad es aproximadamente constante y centrada en torno a un valor de unos 1500 $\mu\text{S}/\text{cm}$. De igual modo, entre los 26 y 41 m.s.n.m. (129 m de profundidad y 115 m de profundidad, respectivamente) la conductividad experimenta una brusca variación (quimoclina), siendo aproximadamente constante en los metros más superficiales ($\sim 600 \mu\text{S}/\text{cm}$ o incluso menos de $450 \mu\text{S}/\text{cm}$ en los 10 m más superficiales) hasta alcanzar la cota 101 m.s.n.m., (55 m de profundidad) donde sufre una nueva disminución, como si hubiese una segunda quimoclina menor, hasta obtener mediciones inferiores a $375 \mu\text{S}/\text{cm}$ entre dicha profundidad y la superficie.

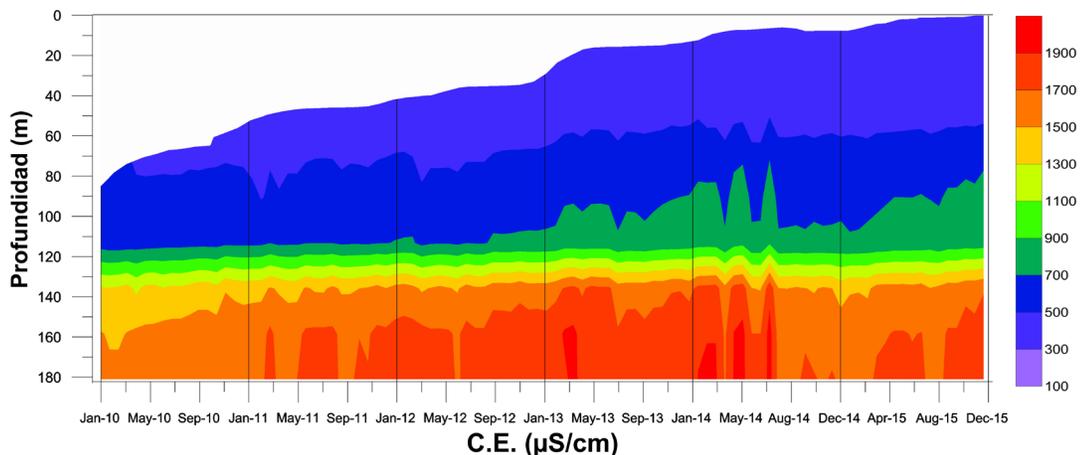


Figura 12 | Evolución temporal del perfil de la Conductividad eléctrica del lago de Meirama durante el llenado.

Las Figuras 13 y 14 muestran las evoluciones de los perfiles de oxígeno disuelto en las columnas verticales de agua situadas en los puntos PVO y PVE.

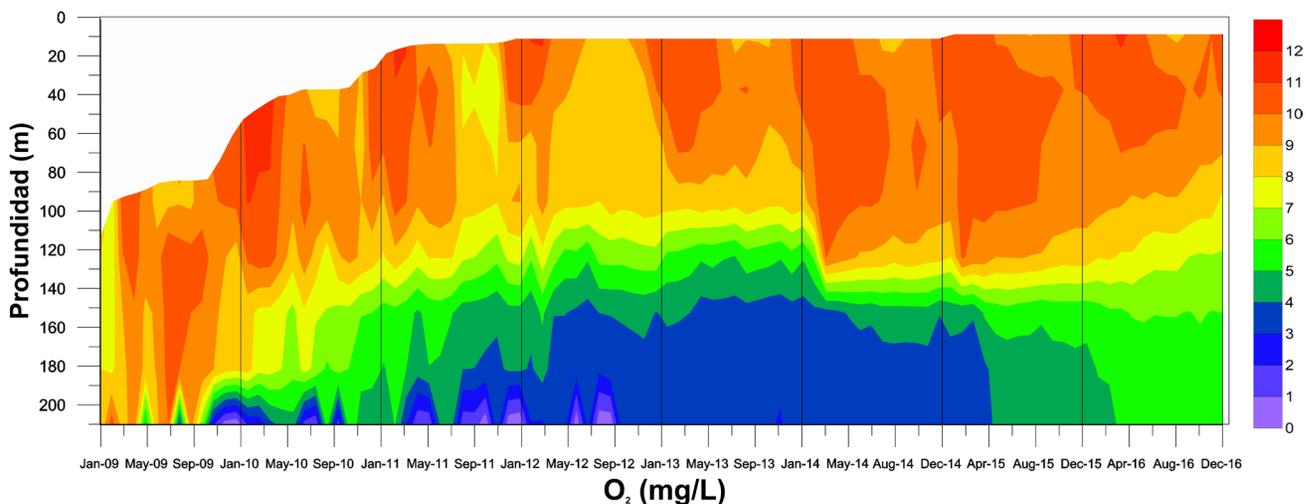


Figura 13 | Evolución temporal del perfil del oxígeno disuelto del lago de As Pontes en el punto PVO durante el llenado.

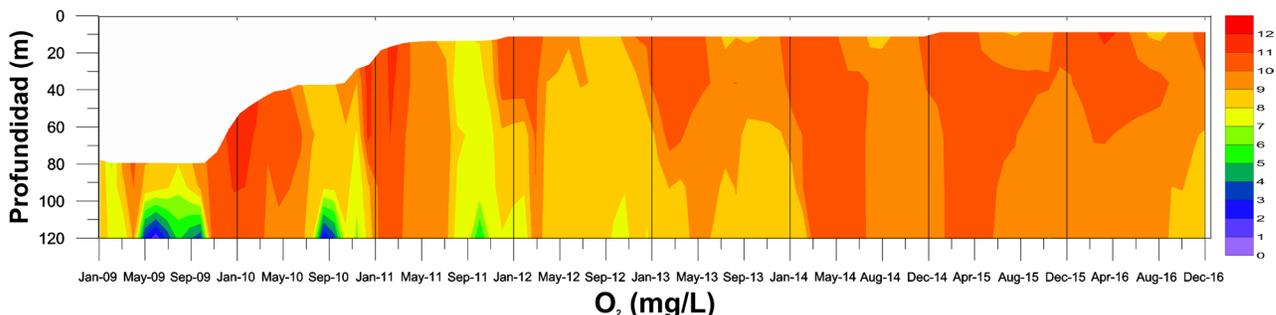


Figura 14 | Evolución temporal del perfil del oxígeno disuelto del lago de As Pontes en el punto PVE durante el llenado.

Durante una buena parte del año 2009, las aguas de PVO mantuvieron una elevada concentración de O_2 y, consecuentemente un alto grado de saturación. Se puede ver que en el mes de marzo la saturación era próxima o ligeramente superior al 100 % en superficie y superior al 80 % en profundidad. En esa misma fecha, la curva de saturación de oxígeno mostraba una débil pendiente de disminución de O_2 con la profundidad. A mediados de 2010 la saturación había decrecido un

10 % en el hipolimnio mientras que a comienzos de 2011, la desaparición de la termoclina mezcló las aguas más superficiales (saturadas en oxígeno) con las del hipolimnio, haciendo que volvieran a aumentar los valores de saturación en las cotas más profundas. De acuerdo con lo anterior, se identifican dos dominios claramente diferenciados: uno superficial, en el que la oxigenación experimenta subidas y bajadas (producto de los fenómenos de mezcla que se producen hasta una profundidad de 110 m bajo la superficie) y otro, con un descenso progresivo de la concentración de O_2 . El comportamiento de la zona profunda (cota 160 m.s.n.m.) a lo largo de 2012, en coincidencia con el llenado completo del lago, rompe la tendencia hacia la anoxia que manifestaba los años anteriores, manteniéndose los valores de concentración de oxígeno de manera constante en torno a los 4 mg/L incluso en la zona más profunda (10 últimos metros) la cual hasta 2012 mantenía unas condiciones anóxicas.

Este cambio de tendencia puede asociarse al cese de los aportes de materia orgánica oxidable que, desde el río Eume, iba llegando al lago durante su inundación forzada. Dicha materia orgánica, por decantación, iba siendo consumida a lo largo de la columna de agua.

En el caso del lago de Meirama (Figura 15), los perfiles manifiestan una clara variación estacional en superficie, la cual queda atenuada en profundidad. La frontera identificada para los parámetros anteriores entre 26 y 41 m.s.n.m. también puede identificarse en este componente, así como el mantenimiento de la quimioclina a una cota constante (entre 26 m.s.n.m. y 41 m.s.n.m.) aunque aumente el nivel de la lámina libre del lago. Los datos disponibles muestran, sin lugar a dudas, el consumo progresivo del oxígeno en las zonas profundas del lago, con una deriva evidente hacia la anoxia. Este consumo de oxígeno obedece, con pocas dudas al respecto, a la oxidación del Fe^{+2} presentes en la columna de agua. El hierro férrico (Fe^{+3}) es muy poco soluble y da lugar a distintos precipitados en cuyo proceso se genera acidez. Como resultado del proceso, cabe esperar que, acoplado a la consecución de O_2 , se observa un cierto aumento del pH así como una reducción apreciable en la concentración de Fe y otros metales.

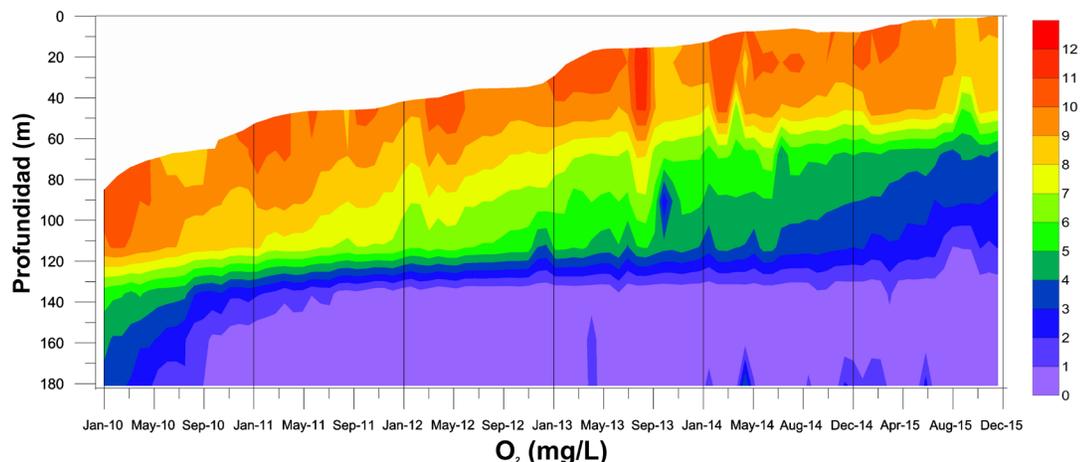


Figura 15 | Evolución temporal del perfil del oxígeno disuelto del lago de Meirama durante el llenado.

Las Figuras 16 y 17 ilustran la evolución del E_H en los puntos PVE y PVO. A diferencia de los anteriores parámetros, el potencial redox es difícil de interpretar dado que su valor está condicionado por un gran número de factores no lineales. De los perfiles de E_H se observa una marcada estratificación coincidente con la quimioclina descrita en otros parámetros del punto PVO (pH, conductividad,...).

En términos generales, se observa un aumento del valor del E_H con la profundidad, siendo el gradiente de potencial variable entre cada uno de los perfiles realizados.

En el caso del lago de Meirama (Figura 18), se puede apreciar que los perfiles son discontinuos. Llama la atención en particular el hecho de que el valor del potencial redox sea menor en las proximidades de la superficie y mayor en profundidad, seguramente al acoplamiento entre pH y EH de las aguas naturales. Por debajo de la cota aproximada de 26 m.s.n.m. (129 m de

profundidad) dicho valor tiende a mantenerse constante con la profundidad aunque, con el tiempo, se aprecia una discreta tendencia a desplazarse hacia valores más negativos.

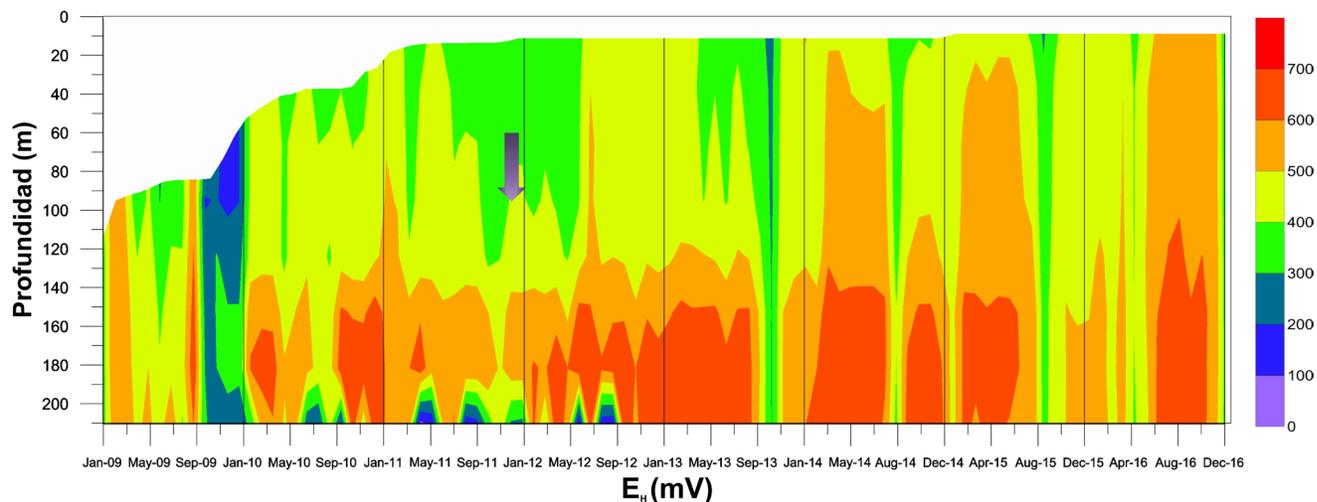


Figura 16 | Evolución temporal del perfil del E_H del lago de As Pontes en el punto PVO durante el llenado.

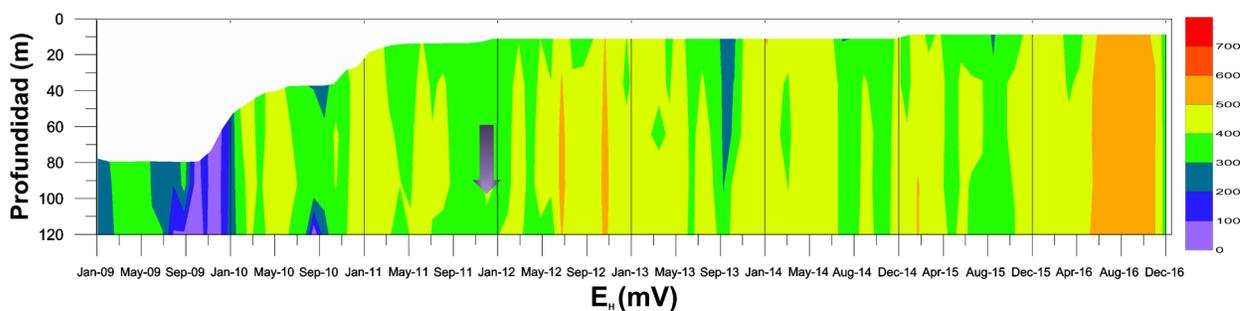


Figura 17 | Evolución temporal del perfil del E_H del lago de As Pontes en el punto PVE durante el llenado.

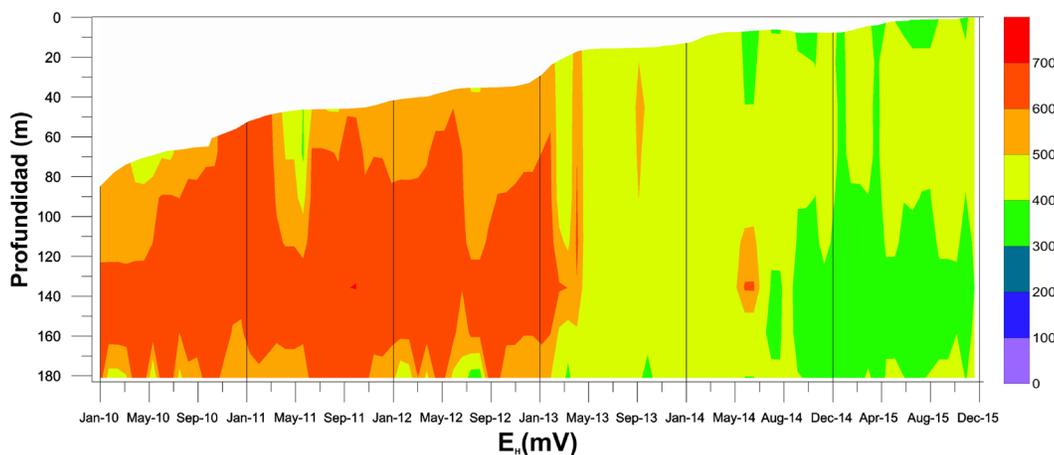


Figura 18 | Evolución temporal del perfil del E_H del lago de Meirama durante el llenado.

CONCLUSIONES

Se ha realizado un estudio comparativo de la calidad química de algunos parámetros físico-químicos del agua que se ha ido acumulando en los huecos mineros de As Pontes y Meirama durante su llenado.

En ambos casos, aunque con volúmenes de llenado y capacidades del hueco diferentes, el comportamiento de la calidad limnológica de ambos huecos es similar, si bien, en el caso de As Pontes lleva desde el año 2012 con un régimen hídrico estacionario, por lo que la medición de la calidad química del agua durante estos años puede dar una prognosis del futuro comportamiento del lago de Meirama, ahora que, recientemente ha concluido el llenado del hueco.

Hay que tener en cuenta que durante el llenado de ambos huecos el comportamiento químico guarda ciertas similitudes al tener la misma profundidad máxima. Así, se da en ambos una quimioclina a una profundidad similar y una termoclina de evolución idéntica.

La cota en la que ha permanecido constante la quimioclina se corresponde razonablemente bien con las profundidades de cambio de comportamiento descritas para la temperatura y la conductividad. Con los datos disponibles, se puede conjeturar que esa banda localizada representa una frontera interna del sistema en la que se están produciendo fenómenos de transporte y reacción.

Si bien, en este manuscrito solo se han comentado algunos parámetros físico-químicos, también se han obtenido los perfiles de distintos elementos y compuestos químicos.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido posible gracias a la financiación de ENDESA GENERACIÓN S.A. y a GAS NATURAL FENOSA.

REFERENCIAS

Publicaciones periódicas

Boland, K.T., Padovan, A.V. 2002. Seasonal stratification and mixing in a recently flooded mining void in tropical Australia. *Lakes Reservoir Resources Management* 7, 125-131. Doi: 10.1045/j.1440-169X.2002.00176.x

Castendyk, D.N., Webster-Brown, J.G. 2007a. Sensitivity analyses in pit lake prediction, Martha Mine, New Zealand 1: relationship between turnover and input water density. *Chemical Geology*, 244, 42-55, doi: 10.1016/j.chemgeo.2007.06.004.

Castendyk, D.N., Webster-Brown, J.G. 2007b. Sensitivity analyses in pit lake prediction, Martha Mine, New Zealand 1: geochemistry, water-rock reactions, and surface adsorption. *Chemical Geology*, 244, 56-73, doi: 10.1016/j.chemgeo.2007.06.005.

Castro, J.M, Moore, J.N. 2001. Pit Lakes: their characteristics and the potential for their remedation. *Environmental Geology* 39, 1254-1260, doi: 10.1007/s002549900100.

Delgado, J., Juncosa, R., Hernández, H., Falcón, I., Vazquez, A. 2011. Comparative Hydrochemistry of five nested catchments located in the upper part of the Barces river watershed (A coruña, NW Spain). *Applied Geochemistry* 26, 179-182, doi: 10.1016/j.apgeochem.2011.03.097.

Delgado, J., Juncosa, R., Falcón, I., Canal, J. 2013a. Four years of continuous monitoring of the Meirama end-pit lake and its impacts in the definition of future uses. *Environmental Science and pollution research* 20(11), 7520-7533, doi: 10.1007/s11356-013-1618-9.

Delgado, J., Juncosa, R., Vázquez, A. 2013b. Chemical Evolution of the Monimolimnion of the Meirama Lake between 2009 and 2013. *Macla* 18, 42-43.

Denimal, S., Bertrand, C., Mudry, J., Paquette, Y., Hochart, M., Steinmann, M. 2005. Evolution of the aqueous geochemistry of mine pit lakes-Blanzy-Montceau-les-Mines coal basin (massif Central, France): origin of sulfate contents; effects of stratification on water quality. *Applied Geochemistry* 20, 825-839. Doi: 10.1016/j.apgeochem.2004.11.015.

Juncosa, R., Delgado, J., Menéndez, J.A., Valle, R., García, D. 2015a. Análisis hidrogeológico de la escombrera exterior de la antigua mina de As Pontes. *Ingeniería del Agua* 19(2), 13-25, doi: 10.4995/ia.2015.3530.

Juncosa, R., Delgado, J., Padilla, F., Vellando, P., Hernández, H. 2015b. Improvements in Mero River Basin Water Supply regulation through Integration of a Mining Pit Lake as a Water Supply Source. *Mine Water and the Environment* Dec2015, 1-14, doi: 10.1007/s10230-015-0378-9.

Padilla, F. Hernández, H., Juncosa, R., Vellando, P. 2015. A numerical solution for the integrated analysis of water resources management: Application to the Mero River watershed, La Coruña, Spain. *Journal of water resource and protection* 7(10), 815-829, doi: 10.4236/jwarp.2015.710066.

Werner, F., Bilek, F., Luckner, L. 2001a. Implications of predicted hydrologic changes on Lake Senftenberg as calculated using water and reactive mass budgets. *Mineral Water Environment* 20, 129-139, doi: 10.1007/s10230-001-8094-z.

Werner, F., Bilek, F., Luckner, L. 2001b. Impact of regional groundwater flow on the water quality of an old post-mining lake. *Ecological Engineering* 17, 133-142, doi: 10.1016/S0925-8574(01)00061-1.

Libros

APHA. 1998. *Standard methods for the examination of water and wastewater. 20th edition*. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation. Washington, USA.

Maldonado, A. 1977. *Estudio geologic-geofísico del surco Baldayo-Meirama-Boimil*. Dissertation. Polytechnical University of Madrid. Spain.

Capítulos de libro

Castendyk, D.N., Eary, L.E. 2009. The nature and the global distribution of pit lakes. *In: Mine Pit Lakes: Characteristics, Predictive Modeling and Sustainability. Management Technologies for Metal Mining Influenced Waters*. Vol. 3. (Society for mining, metallurgy and exploration). Castendyk DN and Eary LE (eds). USA, 1-8.

Delgado, J., Juncosa, R., Jardón, A., González, R., Fernández, A. 2014. Integrating Pit Lakes in Water Basin Planning: The Meirama Brown-Coal. *In: Responsible mining. Case studies in managing social and environmental risks in the developed world* (Society for mining, metallurgy and exploration). M. Jarvie-Eggart, USA, 489-517.

Congresos

Juncosa, R., Delgado J., Cereijo, J.L., García, D., Jardón, A., Gonzalez, R., Fernández, A. 2013. Control y seguimiento del proceso de llenado del lago minero de meirama: un ejemplo de restauración integrada. *XIII International congress on energy and mineral resources*, October 3-5, Santander, Spain, 24-32

Juncosa, R., Delgado J. Menéndez, J.A., Valle, R. 2014. Caracterización de la calidad química de las aguas subterráneas en el entorno del lago de As Pontes de García Rodríguez (La Coruña). *II Congreso Ibérico de las aguas subterráneas*, 8-10 Septiembre, Valencia, España.