

Evolución de la Estratificación en el Lago Minero de Meirama (A Coruña, España) durante su Proceso de Llenado

/SILVIA FERNÁNDEZ BOGO, ANA MARÍA VÁZQUEZ GONZÁLEZ, JORDI DELGADO MARTÍN, RICARDO JUNCOSA RIVERA

Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Campus de Elviña s/n. Universidade da Coruña. 15192, A Coruña (España)

INTRODUCCIÓN.

El presente trabajo se centra en el estudio del lago que se está formando en Meirama (A Coruña) como consecuencia del llenado del hueco de una antigua mina de lignito.

La tipología de las aguas que alimentan al lago ha ido variando a lo largo del proceso de inundación. Así, al inicio del mismo, el sistema se alimentaba principalmente por aguas ácidas parcialmente neutralizadas mediante tratamiento activo (cal). Estas aguas se caracterizan por poseer una elevada acidez y alta concentración de solutos. Cinco meses después del comienzo del llenado, se produjo la entrada del agua de dos arroyos previamente desviados. Estos últimos se caracterizan por tener una mejor calidad química, con concentraciones propias del medio natural de la zona. El hecho de haber variado la calidad de las aguas de alimentación del sistema, junto con los fenómenos asociados a los procesos de estratificación estacionales y químicos han provocado la aparición de gradientes físico-químicos que dan lugar a un lago de carácter meromórfico, lo que es una circunstancia común a otros lagos mineros peninsulares (p.ej. en la Faja Pirítica Ibérica; Sánchez et al., 2008). Puesto que el lago se encuentra en proceso de llenado, la estratificación está en continua evolución. Así, el objetivo de este estudio es describir la relación entre la evolución del llenado y los procesos observados.

METODOLOGÍA.

El estudio se ha basado en la realización de perfiles en profundidad en el lago, con periodicidad mensual desde julio de 2009, registrándose diferentes parámetros. El instrumento empleado para ello es una sonda multiparamétrica YSI 6600 V2, que dispone de sensores

de presión, temperatura, pH, REDOX, conductividad específica, oxígeno disuelto, turbidez, clorofila y ficocianina. Para el presente estudio se han tenido en cuenta los perfiles de temperatura y conductividad específica en relación con la profundidad. Las medidas han sido tomadas, de forma general, en incrementos de un metro de profundidad. Los resultados de estos perfiles han sido ampliamente descritos en otros trabajos (Delgado et al., 2010, Juncosa et al., 2008).

La estratificación térmica divide la columna de agua en tres zonas: epilimnion (en contacto con la atmósfera), hipolimnion (zona profunda, separada de la atmósfera) y metalimnion (dominio de transición entre las dos anteriores). El metalimnion se caracteriza por presentar gradientes de temperatura y es comúnmente llamado termoclina. La estratificación química divide la columna de agua en tres zonas: mixolimnion (capa superficial sujeta a procesos de mezcla y estratificación térmica), monimolimnion (capa más profunda, de mayor densidad, la cual no sufre procesos de mezcla) y quimioclina (zona de transición entre las dos anteriores). Puesto que la finalidad de este estudio es observar la evolución de termoclinas y quimioclinas, hemos calculado su localización en profundidad a partir del punto de máximo gradiente de temperatura y conductividad, respectivamente. Es decir, el punto de inflexión de la curva sigmoidal, asociando a cada punto la fecha del perfil correspondiente.

Puesto que los perfiles son multiescalonados, para esta determinación se han dividido los perfiles en tantos tramos como termoclinas y quimioclinas se observan, con la finalidad de ajustar los datos a una función tipo Boltzmann, que

produce una curva sigmoide, cuya ecuación (1) es la siguiente:

$$y = \frac{A_1 - A_2}{1 + e^{\frac{x - x_0}{dx}}} + A_2 \quad (1)$$

En la misma, x representa la profundidad, y representa el parámetro considerado (temperatura o conductividad específica), y A_1 , A_2 , x_0 y dx representan los parámetros de ajuste propios de esta función. Se ha empleado el software OriginPro 8 para la realización de este ajuste.

El cálculo del punto de inflexión fue realizado con el software Matlab 7.3, obteniendo, en primer lugar, la ecuación de la segunda derivada y resolviéndola.

Los datos de radiación solar y de precipitación con los que se relaciona la evolución térmica y química fueron obtenidos de los datos de una estación meteorológica instalada en el mismo lago. Esta estación dispone de datos desde el 17 de septiembre de 2009. Para la representación de estos parámetros se han realizado medias diarias de radiación solar y precipitación acumulada, ambas suavizadas con la media móvil de los diez días anteriores.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

La figura 1 muestra la evolución temporal del lago en términos de cota de la lámina libre y de localización de la/s termoclina/s (Fig. 1A) y quimioclina/s (Fig. 1B). Los puntos indican las fechas en las que se ha realizado cada perfil multiparamétrico en profundidad, en los que se calcula la profundidad de la termoclina y la quimioclina.

En la Fig. 1A se observa la existencia de dos termoclinas: una termoclina principal, situada en superficie, y otra

palabras clave: Lago minero, Estratificación, Termoclina, Quimioclina.

key words: Pit Lake, Stratification, Thermocline, Chemocline.

termoclina, que llamamos secundaria, situada alrededor de la cota 30 m sobre el nivel del mar (m s.n.m.). La aparición de la termoclina principal es resultado del aumento de la radiación sobre el lago con la llegada de la primavera, por lo que suele estar presente entre los meses de marzo y diciembre. La termoclina secundaria tiene un carácter estable, mostrando un ligero ascenso a medida que la profundidad del lago se va haciendo mayor. Este ascenso puede ser interpretado como la transmisión difusiva de calor, puesto que la temperatura del monimolimnion es mayor. Entre junio y julio de 2009 (primer verano monitorizado) se observa la convergencia de las dos termoclinas, pues la diferencia de cotas entre ellas no es de gran magnitud. Puesto que no se dispone de datos experimentales del proceso de convergencia, éste se señala con líneas discontinuas, de la misma forma que se realiza en los siguientes casos: desaparición de las termoclinas principal y secundaria (observado en diciembre de 2009), posterior aparición de la secundaria (en enero de 2010), aparición de la primaria (marzo de 2010).

Observando la Fig. 1B puede distinguirse una línea estable que corresponde con la quimioclina principal, que es la que presenta una mayor diferencia de

magnitud de la conductividad específica entre su zona superior e inferior. Esta quimioclina se mantiene incluso durante el invierno (período de mezcla completa en lagos holomícticos), lo que confiere carácter meromíctico al lago. Durante el mes de enero de 2010 se aprecia, de forma puntual, la aparición de una zona de menor conductividad en los 10 metros más superficiales, la cual desaparece en el perfil del mes siguiente. En el período estival de 2010, coincidiendo con la aparición de la estratificación térmica, se observa la aparición de una nueva quimioclina superficial (con menor diferencia de conductividad entre su zona superior e inferior). A medida que avanza el otoño de 2010, la quimioclina se hunde, de la misma forma que lo hace la termoclina, mostrando variaciones bruscas durante el invierno y la primavera.

El cambio estacional a lo largo del año se hace también patente en la evolución de la radiación solar media diaria (mayor durante el verano) y de la precipitación acumulada diaria (mayor durante el invierno).

CONCLUSIONES.

La capa más superficial del lago, mixolimnion, se encuentra bajo la influencia de las variaciones

estacionales. En términos de radiación solar, es decir, la cantidad de energía absorbida por la masa de agua, se observa cómo al iniciar un período estival, con mayor radiación, comienza la formación de una termoclina a aproximadamente 10 metros de profundidad, dando lugar a la formación del epilimnion. Esta estratificación térmica influye, a su vez, en el advenimiento de una estratificación química producto de las diferencias de densidad, que dan lugar a un sistema multiestratificado. Al comenzar a descender la radiación, la energía absorbida por el lago se disipa a lo largo de su columna, provocando la erosión de la termoclina y, consecuentemente, de la quimioclina superior. El epilimnion sufre la influencia de la precipitación, observándose una dilución y una homogenización térmica en los perfiles posteriores a sucesos de lluvia (por ejemplo, en enero de 2010 y febrero y marzo de 2011), así como un ascenso de la quimioclina superior correspondiente con los períodos secos (enero 2011).

El monimolimnion presenta una zona estable térmicamente y con evolución química lenta e independiente de los ciclos estacionales.

AGRADECIMIENTOS.

Este trabajo ha sido desarrollado con la financiación del proyecto: CGL2008-05940.

REFERENCIAS.

Delgado, J., Juncosa, R., Vázquez, A., Fernández, A., González, R. (2010): *Evolución Química de la Superficie del Lago de Meirama tras dos años de Inundación Controlada*. *Revista de la Sociedad Española de Mineralogía*, **13**, 77-78.

Juncosa R., Delgado, J., Vellando, P., Padilla, F., Vázquez, A., Hernández, H., Fernández-Bogo, S. (2008): *Water Quality Assessment in the Restoration of the Meirama Open Pit Mine, NW Spain. Part I. Hydrochemistry*; en "Environment and Geoscience". A. De Santis et al., (eds.). WSEAS Press, Atenas, 58-63.

Juncosa R., Delgado, J., Vellando, P., Padilla, F., Vázquez, A., Hernández, H., Fernández-Bogo, S. (2008): *Water Quality Assessment in the Reclamation of the Meirama Open Pit Mine, NW Spain. Part II. After-Flooding Assessment*; en "Environment and Geoscience". A. De Santis et al., (eds.). WSEAS Press, Atenas, 64-69.

Sánchez España, J., López Pamo, E., Díez, M., Santofimia, E. (2008): *Physico-chemical gradients and meromictic stratification in Cueva de la Mora and other acidic pit lakes of the Iberian Pyrite Belt*. *Mine Water and the Environment*, **28**, 15-29.

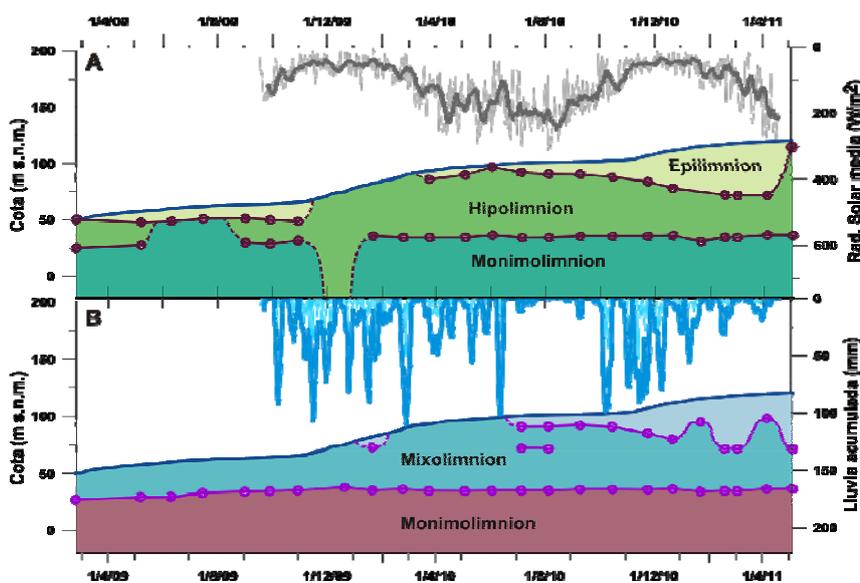


fig 1. Evolución temporal de la cota en la que se localizan la termoclina/s (Fig. 1A) y quimioclina/s (1B) en relación con la evolución de la cota de la lámina libre del lago. En la Fig. 1A se representa la radiación solar media diaria (ejes secundarios) atenuada con la media móvil de los 10 días anteriores (línea más oscura). En la Fig. 1B se representa además la precipitación acumulada diaria, atenuada con la media móvil de los diez anteriores en cada momento.