

XVIII. CONCLUSIONES

En marzo de 2005 el lago de la corta Aznalcóllar presentaba una profundidad máxima de 39 m (con el nivel del agua en la cota $-4,3$ metros), una superficie de 284.000 m^2 , y contenía un volumen de 6,05 millones de m^3 , tenía una longitud máxima de 850 m en dirección E-O, y una anchura de 450 m en dirección N-S.

Una característica que singulariza a esta corta es la entrada de agua permanente que proviene de la base de la escombrera norte, constituyendo su drenaje principal, el cual discurre por el antiguo cauce del río Agrio. Tanto por su naturaleza química como por su volumen, es una aportación de agua al lago que incide en las características químicas de éste. Este drenaje es un agua ácida de mina (pH 2,8-3,5) con elevadas concentraciones en sulfato ($10,3\text{-}22,3 \text{ g/l}$) y metales (p.ej.: Fe $83\text{-}728 \text{ mg/l}$, Al $116\text{-}1.137 \text{ mg/l}$, y el Zn entre ~ 600 y $\sim 1.100 \text{ mg/l}$). Este contenido en sólidos disueltos, aún variando estacionalmente con la pluviometría, generalmente ha sido superior al del lago hasta el año 2007, lo que provocaba un empeoramiento de su calidad. Su acidez mineral se ha situado entre $6.000\text{-}12.000 \text{ mg/l eq. de CaCO}_3$. En un año seco como 2005, con tan solo 299 mm de precipitación, su volumen estimado fue de $0,15 \text{ Mm}^3$, y para un año normal como 2006 (630 mm de precipitación), su volumen alcanzó los $0,5 \text{ Mm}^3$. El incremento en el nivel del agua del lago, debido exclusivamente a este aporte, estaría en $0,5 \text{ m}$ y $1,8 \text{ m}$ respectivamente para cada año.

Otra singularidad que presenta esta corta, es el hecho de recibir mediante bombeo las aguas de mina que se generan en gran parte del recinto minero. En una balsa destinada a tal fin (denominada balsa de escorrentía), se recogen tanto las aguas de mina (superficiales y subterráneas) como la escorrentía generada en episodios de lluvia. La naturaleza química del agua es variable por su diversa procedencia (escombrera este, balsa de lodos clausurada y área industrial), así como por las variaciones provocadas en periodos de lluvias (dilución por un lado y la disolución de minerales de alteración de sulfuros por otro). No obstante, siempre es una agua ácida (pH 2,6-3,4) con elevadas concentraciones en sulfato y metales, lo que le confiere el presentar una alta acidez mineral ($3000\text{-}6500 \text{ mg/l eq. CaCO}_3$). Su volumen también es importante ($0,5 \text{ Mm}^3$ y $0,2 \text{ Mm}^3$ en 2004 y 2005 respectivamente), y sin duda tendrá una marcada influencia en la evolución hidrológica y química del lago.

El volumen de agua que entra a la corta debido al drenaje de la escombrera norte, junto con el volumen que se bombea a la misma desde la balsa de escorrentía, supera ampliamente la pérdida de $0,17 \text{ Mm}^3$ debida a la evaporación neta anual (teniendo en cuenta la precipitación), por lo que el nivel del lago tiende a subir, siendo necesario extraer agua de la corta para así cumplir la condición impuesta por la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir de que el nivel de agua en la misma no supere la cota cero metros.

Este agua se depura en una planta de tratamiento antes de su vertido al cauce del río Agrio, pero gran parte de la carga metálica disuelta que contenía, vuelve a la corta como lodo de la planta depuradora. Este lodo que se ha formado a un pH alcalino en la planta de tratamiento puede disolverse parcialmente en el pH ácido de la corta, lo que provoca la reconcentración del agua del lago, al menos para los metales más solubles como Mn y Zn. En 2004 y 2005 se generaron 91.000 m^3 y 55.000 m^3 de lodo respectivamente, el

30-40% es fase sólida con concentraciones en metales elevadas (0,21% Fe₂O₃, 1,3% Zn, 1,0% Mn y 0,2% Cu, para el año 2004), que se han ido incrementando según empeoraba, con los vertidos de residuos mineros, la calidad del agua de la corta (5,69% Fe₂O₃ y 3,4% Zn en el 2007).

A estas alteraciones que sufre el lago en su evolución hay que añadir las provocadas por los diferentes vertidos de sólidos (suelos contaminados, lodos piríticos, cenizas de tostación de pirita, escombrera de pirita, y otros) que se vienen efectuando en la misma. Desde el cierre de la mina a finales del año 2001 han tenido lugar tres grandes vertidos que han dejado su impronta en la química del lago: 1) En el segundo semestre del año 2002 se vertieron los suelos contaminados por metales, acopiados en la mina, que se habían recogido en la zona de Entremuros (marisma del Guadiamar), 2) Desde noviembre de 2003 hasta agosto de 2004 se efectuó el desmantelamiento y el vertido a la corta de una escombrera de cenizas púrpuras procedentes de la tostación de pirita (~1 Mm³), y 3) Desde noviembre-2005 a noviembre-2006 se desmantela la escombrera de pirita denominada S-3, y se vierten a la corta aproximadamente 1,4 Mm³ de este material. Actualmente se tiene previsto continuar con los vertidos a la corta, en el momento de redactar esta memoria se está a la espera de desmantelar varios tendidos eléctricos para trasladar otra escombrera a la corta.

Los trabajos efectuados han permitido conocer como ha afectado el vertido de la escombrera de pirita a las características físico-químicas de la columna de agua del lago. Si se comparan los datos obtenidos en octubre-2005, como representativos del estadio previo al vertido, con los de enero-2007, una vez finalizado el mismo, se comprueba como el conjunto de sólidos disueltos ha aumentado, tal como refleja el incremento de un 30% de la conductividad eléctrica (8,7 mS/cm a 11,2 mS/cm). El elemento que ha sufrido el incremento más espectacular ha sido el hierro, de valores inferiores a 4 mg/l, a presentar una concentración de 1.300 mg/l. El Al ha multiplicado por tres su concentración (80 mg/l a 255 mg/l), el Cu casi por dos (37 mg/l a 60 mg/l), y el Pb por cuatro (0,5 mg/l a 2 mg/l). El anión mayoritario, el SO₄⁻, ha incrementado su concentración en casi un 50% (7,8 g/l a 11,6 g/l). Uno de los cambios más importante que ha sufrido la columna de agua ha sido la desaparición del oxígeno disuelto, desde concentraciones iniciales cercanas a saturación se ha pasado a condiciones de anoxia, lo que provoca que el abundante hierro que contiene, esté como Fe(II), no se pueda oxidar, y por tanto, tampoco precipitar.

La seis campañas efectuadas mientras se vertía la escombrera de pirita han permitido conocer como iba evolucionando la química del lago. El material pirítico depositado en el fondo se ha comportado como un foco reactivo exotérmico, el cual iba introduciendo sólidos disueltos en el sistema, consumía su oxígeno, e incrementaba su temperatura. Esto hizo que apareciera un frente anóxico que ascendía desde el fondo y que alcanzó la superficie del lago en septiembre de 2006.

La evolución y subida de la acidez mineral del agua que inunda la corta ha sido espectacular desde que comenzó el estudio. Desde octubre de 2005 hasta julio de 2007, el valor de acidez se ha triplicado pasando de los ~1.900 mg/l eq. de CaCO₃ a los ~6.000 mg/l eq. de CaCO₃. Esto ya se ha notado en el mayor consumo de lechada de cal para alcanzar el pH objetivo en la planta de tratamiento de agua. Y lo que es más

importante, en un futuro será necesario introducir más alcalinidad al sistema en una hipotética actuación de mejora y remediación del lago.

El lago de Aznalcóllar presenta una gran superficie en relación con su profundidad, en general esta relación es menor en los lagos mineros dadas las características geométricas de las cortas, pero en este caso la cantidad de sólidos vertidos a la misma ha elevado notablemente su cota mínima, modificando su ratio superficie/profundidad. Como consecuencia de esta geometría, durante los meses de invierno se da en el lago un continuo proceso de mezcla en la vertical (a diferencia de otros lagos mineros en la FPI), homogeneizándose su columna de agua, por lo que se clasifica al lago como holomictico. Esta homogenización se rompe al inicio de la primavera, cuando aparece una incipiente estratificación térmica, que se va intensificando en los meses de verano, y se va atenuando con la entrada del otoño, desapareciendo totalmente sobre el mes de noviembre. Durante estos meses la capa inferior (hipolimnion) queda aislada, reduciéndose notablemente el aporte de oxígeno desde la atmósfera (la difusión es mínima), y si hay cierto consumo de oxígeno su concentración tiende a disminuir. La capa superior (epilimnion), sobrenadando sobre la primera, y con una temperatura superior se ve sometida a un proceso de evapoconcentración. La homogenización de la columna de agua durante los meses de invierno se ha podido constatar, desde el año 2002 hasta el 2004, con los datos generados por el UFZ (organismo alemán colaborador del IGME), y desde 2005 hasta 2007 con los datos generados por el IGME en este proyecto. De igual modo el desarrollo de la estratificación térmica y la evapoconcentración asociada se ha podido constatar en los tres últimos años.

Actualmente la gestión que se viene efectuando con las aguas de mina y con los residuos mineros es el principal condicionante de la evolución hidrológica y química del lago. Si no hubiera ningún vertido adicional, la entrada de oxígeno durante el próximo invierno, oxidaría el Fe(II), precipitando muy probablemente como un hidroxisulfato de Fe(III) (schwertmanita), reteniendo algún elemento por adsorción (As, Pb, Zn) lo cual reduciría su concentración. En cuanto al nivel del agua en la corta, en el supuesto de que no se realizara ningún vertido ni líquido ni sólido, y tampoco extracción, en un año con pluviometría media podría presentar un incremento superior a 2 m en la situación actual.