

ACID MINE DRAINAGES TREATMENT BY PASSIVE SYSTEMS: AN EXPERIENCE IN LIMEISA COAL MINE (LA CORUÑA, SPAIN)

Carmen Mataix González

Estudios y Proyectos Mineros, S.A. (EPM)

Sagasta 21, 5º Izda

28004 Madrid, Spain

Phone: + 91 593 9176, Fax: + 91 593 9236

ABSTRACT

En esta comunicación se presenta el diseño y los primeros resultados del proyecto de investigación financiado por la ECS (European Coal and Steel Commission), denominado "Alternative options for passive treatment systems of acid coal mine drainage", que está desarrollándose en la escombrera exterior de una mina de lignito que la empresa Lignitos de Meirama, S.A. (Limeisa) explota cerca de La Coruña (España).

Se han construido, a escala real, dos líneas de tratamiento pasivo de aguas ácidas, compuestas por una secuencia de unidades simples de tratamiento que incluyen balsas orgánicas drenajes anóxicos calizos, ciénagas y sistemas de producción sucesiva de alcalinidad.

A finales de septiembre de 1998 se finalizó su construcción y se inició la fase de seguimiento, con la recogida y análisis de muestras de agua en la cabecera, puntos intermedios y salida de ambas líneas de tratamiento. Aunque los resultados obtenidos todavía no pueden considerarse concluyentes y aún no se ha realizado un análisis profundo de los datos, los resultados obtenidos son alentadores y hasta el momento, los objetivos de tratamiento en los que se basa la experiencia se cumplen.

ANTECEDENTES

El proyecto de investigación denominado "Alternative options for passive treatment systems of acid coal mine drainage", cuyo diseño y resultados se presentan en esta comunicación, está financiado por la ECSC (European Coal and Steel Commission), dentro del campo de investigación Mining Infrastructure and Management. Comenzó en septiembre de 1997 y finalizará en diciembre de 1999.

En su realización participan Estudios y Proyectos Mineros, S.A., (España), como coordinador del proyecto, Lignitos de Meirama, S.A., (España), Instituto Superior Técnico (Portugal) e International Mining Consultant (Reino Unido).

El interés que revisten los resultados prácticos que de él puedan derivarse aparece claro, teniendo en cuenta que en España hay un gran número de pequeñas minas metálicas y de

carbón abandonadas, con problemas de aguas ácidas en las que los sistemas de tratamiento pasivo son la única solución. Al igual que sucede con las grandes explotaciones de carbón, para las que se está planeando su clausura y cierre a corto plazo.

Esta experiencia se basa en la construcción a escala real y seguimiento de dos líneas de tratamiento pasivo en la escombrera exterior de la mina de lignito que Limeisa explota en el término municipal de Cerceda (La Coruña), donde, debido al vertido de esquistos con contenido en piritita, se generan de forma continuada aguas ácidas.

Tras una primera etapa de localización y caracterización de efluentes ácidos, se determinó la secuencia de tratamiento más adecuada en función del tipo de aguas de los dos efluentes sobre los que se decidió desarrollar la experiencia, y de los objetivos asignados al proyecto, para después diseñar y construir las líneas de tratamiento.

Su puesta en funcionamiento se demoró hasta septiembre de 1998, debido a que las fuertes y constantes lluvias recibidas durante la primavera de ese año dificultaron la ejecución de las obras. A partir de ese momento se comenzó la fase de seguimiento, que se prolongará hasta diciembre de 1999, mediante la toma periódica y análisis de muestras de agua en la entrada salida y puntos intermedios de cada una de las dos líneas.

DISEÑO CONCEPTUAL Y DIMENSIONAMIENTO

En el diseño de las líneas de tratamiento se tuvieron en cuenta, tanto los condicionantes impuestos por las características de las aguas en relación con las posibilidades de tratamiento, para optimizar los resultados de descontaminación, como la necesidad de diversificar los sistemas empleados, para poder realizar un análisis comparativo del funcionamiento de sistemas individuales (ciénagas, balsas orgánicas, etc.) y secuencias distintas de tratamiento.

Con estas premisas, el esquema básico de tratamiento planteado tiene como núcleo central elevar el pH del agua y aportarle alcalinidad, mediante su tratamiento con caliza, a fin de alcanzar condiciones óptimas para la eliminación de los metales mediante procesos de oxidación – precipitación. Para lograrlo, dado que el contenido en hierro férrico y en oxígeno disuelto es excesivo para el tratamiento con caliza, ya que puede ocasionarse recubrimiento de la caliza por precipitados insolubles, previamente es necesario preparar el agua disminuyendo el contenido en estos elementos.

El esquema básico de tratamiento es el siguiente:

- Un pretratamiento en ambiente reductor cuyo objetivo principal es eliminar oxígeno del agua y reducir el hierro férrico a forma ferrosa, basado en procesos de reducción bacteriana del sulfato desarrollados en sustratos orgánicos.
- Un tratamiento para elevar el pH del agua y aportarle alcalinidad, basado en procesos de disolución de la caliza.

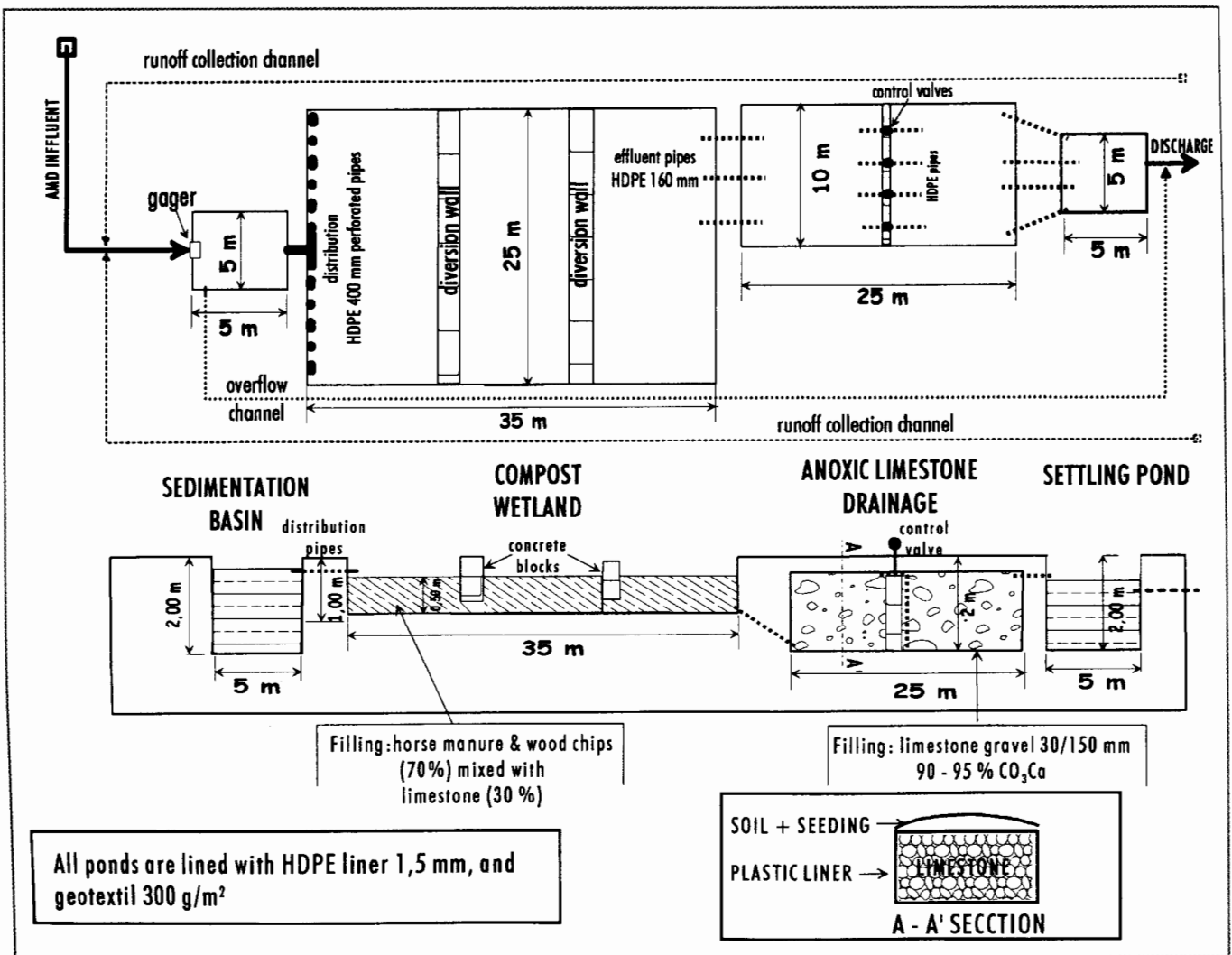


Figura 1. Línea A. Flujo horizontal. Balsa orgánica seguida de un drenaje anóxico calizo.

- Un postratamiento, basado en procesos de oxidación/hidrólisis/precipitación para eliminar los metales.

Este esquema conceptual se desarrolla en las dos líneas mediante secuencias distintas de tratamiento. La Línea A, Figura 1, es una línea de flujo horizontal, en la que pretratamiento, tratamiento y postratamiento se realizan en unidades independientes dispuestas en serie. En la primera de ellas, una balsa orgánica, está destinada a preparar el agua, reduciendo el contenido en oxígeno y hierro férrico, para su tratamiento en un Drenaje Anóxico Calizo (D.A.C.), que constituye la siguiente unidad y es donde se eleva el pH y se aporta alcalinidad al agua. La oxidación y precipitación se realizan en una balsa situada a la salida del D.A.C.

La Línea B es una línea de flujo vertical en la que los procesos de pretratamiento y tratamiento se realizan en un Sistema de Producción Sucesiva de Alcalinidad (S.P.S.A). Está formado por tres capas: agua embalsada, materia orgánica y caliza. El agua ácida se introduce en el sistema, donde forma una lámina de alrededor de 1 m, para reducir la penetración de oxígeno disuelto hacia el interior. Por debajo de ella, en la capa de materia orgánica, la reducción bacteriana del sulfato provoca el paso de hierro férrico a hierro ferroso y el consumo de oxígeno. La capa de caliza, situada en la base, actúa de forma similar a un D.A.C. A la salida de esta unidad, en un sistema de ciénagas, se produce la oxidación y precipitación de los metales.

Para dimensionar las distintas unidades que componen las líneas de tratamiento, se contrastaron los tamaños resultantes de aplicar los criterios en los que coinciden la mayoría de autores (Tabla 1). Tras comprobar la gran diferencia de tamaños existente entre aplicar unos u otros, se optó por tomar como criterios de dimensionamiento el tiempo de residencia (14 h) para el S.P.S.A., la balsa orgánica y el drenaje anóxico calizo, y el contenido en hierro y manganeso para las ciénagas.

CONSTRUCCIÓN DE LAS LÍNEAS DE TRATAMIENTO

Todas las unidades de tratamiento han sido construidas en balsas excavadas, impermeabilizadas con lámina de polietileno de alta densidad colocada sobre un geotextil, para evitar punzonamientos.

Una cuneta perimetral exterior impide la entrada de aguas de escorrentía, y el exceso de caudal se deriva desde en la cabecera de las líneas por un canal interior de trazado paralelo a la cuneta de recogida de escorrentía.

En la entrada de ambas líneas se ha construido un aforador, para llevar un registro de caudales. Desde él, el agua se introduce por un tubo de 400 mm en forma de T, perforado en toda su longitud para lograr una buena distribución del agua.

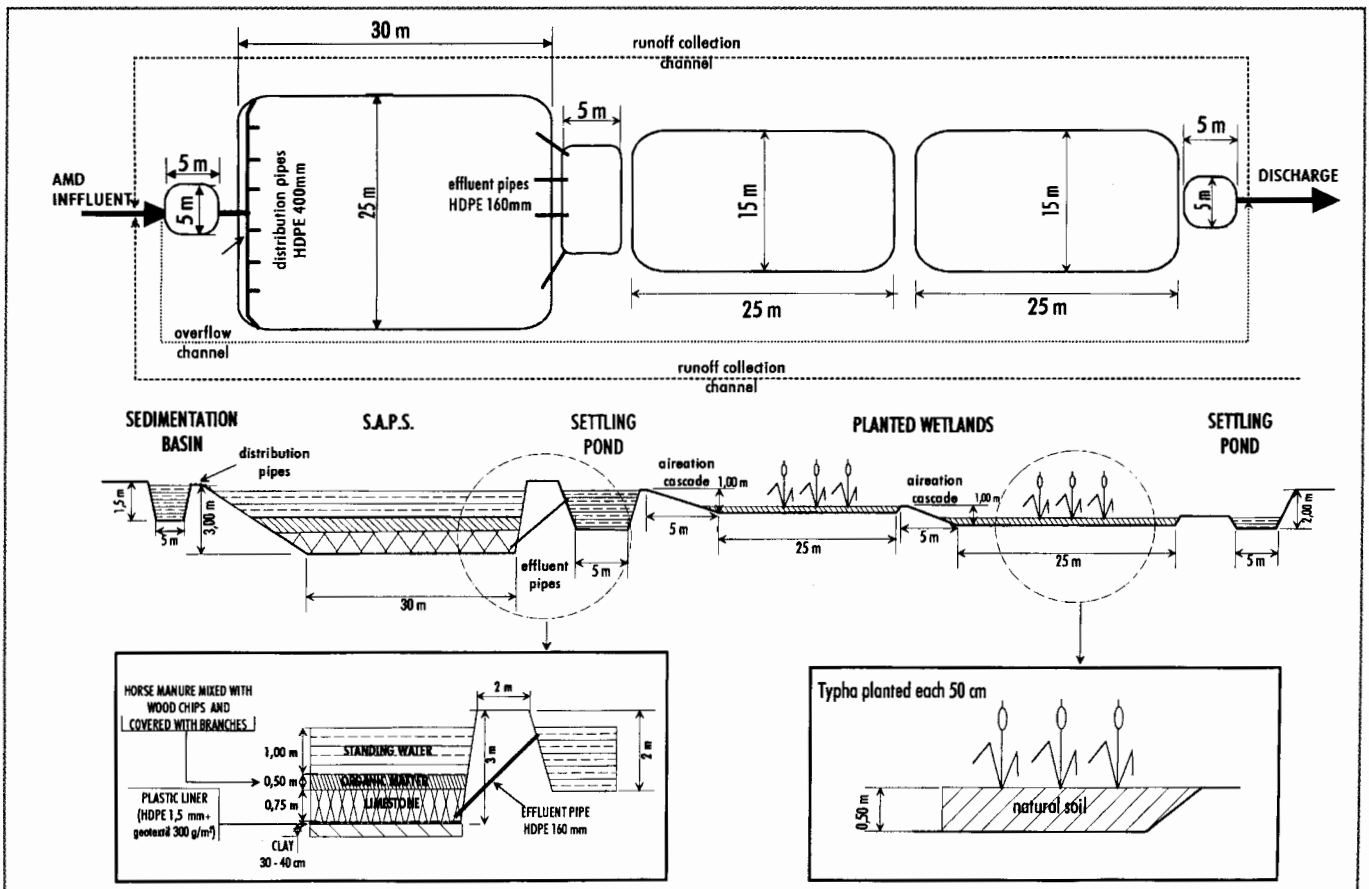


Figura 2. Línea B. Flujo vertical. Sistema de Producción Sucesiva de Alcalinidad (S.P.S.A.) seguido de un sistema de ciénagas.

Sistema de tratamiento	Criterios de dimensionamiento	Fórmula de cálculo
SPSA (sucessive alkalinity producing system, SAPS)	Tiempo de residencia mínimo en la caliza 14 h – Espesor de la capa 0,5 y 0,75 cm.	Volumen (m ³)= caudal (l/h) x 14 h/ vol. Poros (0,3 -0,5)
	Contenido en acidez del agua de entrada Eliminación de acidez: 30 -50 g m ⁻² día ⁻¹	Superficie (m ²) = g acidez día ⁻¹ / 30 -50
Drenajes anóxicos calizos (DAC o ALD)	Tiempo de residencia mínimo en la caliza 14 h.	Volumen (m ³)= caudal (l/h) x 14 h/ vol. poros (0,3 - 0,5)
	Cantidad de caliza necesaria para 15 h de residencia y T años de vida	$M = (Q r_b t_R / V_p) + (Q C T / X)$
Balsas orgánicas (compost wetlands)	Tiempo de residencia mínimo 14 h. (Volumen de poros 0,5)	Volumen (m ³)= caudal (l/h)x14 h/ 0,5
	Contenido en acidez del agua de entrada Eliminación de acidez: 3,5 -7 g m ⁻² día ⁻¹	Superficie (m ²) = g acidez día ⁻¹ / 3,5 -7
Ciénagas aerobias (aerobic wetlands)	Contenido en hierro y manganeso del agua de entrada. Para aguas alcalinas: Eliminación de hierro: 10 -20 g m ⁻² día ⁻¹ Eliminación de manganeso: 0,5 - 1 g m ⁻² día ⁻¹	Superficie (m ²) =g de Fe día ⁻¹ /10 -20 + g de Mn día ⁻¹ / 0,5 -1

M = masa de caliza (t); Q = caudal (m³/h); r_b = densidad de la caliza (t/m³); t_R = tiempo de retención (h); V_p = volumen de poros;
 C = [alcalinidad esperada en el efluente] (t/m³); T = diseño de vida (h); X = contenido en carbonato cálcico de la caliza.

Tabla 1. Criterios de dimensionamiento.

Todas las balsas están conectadas por tubos de polietileno de alta densidad de 160 mm de diámetro.

En la balsa orgánica y el S.P.S.A. se utilizó como material orgánico, estiércol de caballo mezclado con corteza de árbol y restos de madera, obtenido en un picadero cercano. Como se trata de un material muy poco denso, una vez dispuesto en capas, se recubrió con ramas de tojo para evitar que quedara flotando al introducir el agua.

La caliza utilizada es de 30/150 mm con un contenido en CO₃Ca del 90 – 95%.

Las ciénagas se rellenaron con una capa de 50 cm de tierras naturales y se plantaron con carrizos (*Thypha latifolia*) obtenidos en la propia escombrera, con un marco de 0,5 m. Posteriormente, se han introducido juncos de los géneros *Juncus* y *Scirpus*, también obtenidos en la escombrera.

RESULTADOS

Los primeros análisis de agua se realizaron el 29 de septiembre de 1998. Desde esta fecha hasta el momento (junio, 1999) se han realizado 16 análisis sobre los siguientes parámetros: oxígeno disuelto, acidez total, alcalinidad total, pH, hierro total, ferroso y férrico, manganeso, sulfatos y aluminio. También se han realizado una serie de análisis de DQO, para determinar

si se produce contaminación orgánica al entrar el agua en contacto con el estiércol.

En el momento de recogida de las muestras se mide el caudal en el aforador instalado en la entrada de las líneas de tratamiento. Complementariamente, como parámetros externos que pueden influir la eficacia de las unidades de tratamiento, se realiza un registro de precipitación, temperatura ambiente y temperatura del agua.

Hasta el momento, no se ha realizado un análisis en profundidad de los resultados obtenidos, en el sentido de investigar las claves que rigen su funcionamiento. La revisión de resultados se ha orientado exclusivamente a determinar si las líneas de tratamiento “funcionan o no funcionan”, es decir, si se logra reducir el contenido en metales del agua y elevar su pH.

Con este planteamiento, se han tomado el pH y el contenido en aluminio, hierro y manganeso como parámetros de seguimiento, y como índice de eficacia el incremento de pH entre la entrada y salida de las líneas y el porcentaje de reducción de metales disueltos (Figuras 3 a 5).

• pH (Figura 3)

En la Línea A, el resultado es muy bueno. Se pasa de un pH medio de alrededor de 4, con mínimos de 3,6, a valores cercanos, e incluso superiores, a 7 (6,86 de media). Tal y como era de esperar, la mayor elevación

del pH es debida a la acción del D.A.C., por efecto de la disolución de la caliza. Aunque hay que destacar que ya en la salida de la balsa orgánica se alcanza un pH medio superior a 5,5 y varios registros de más de 6. Los resultados de la Línea B son bastante inferiores. El pH medio a la salida de la línea se sitúa en 5,37. En ella la elevación del pH se produce básicamente en el S.P.S.A., mientras que las ciénagas no tienen prácticamente incidencia sobre este parámetro, incluso ocasionan una cierta acidificación del agua.

El origen de esta recontaminación no ha podido determinarse con certeza hasta el momento, aunque probablemente sea debida a la disolución de compuestos de hierro solubles contenidos en la caliza del D.A.C. La Línea B, de acuerdo a los datos analíticos obtenidos hasta la fecha, resulta mucho menos eficaz. Su porcentaje medio de eliminación de hierro a la salida de la línea es del 57%, con un 68% en el S.A.P.S. y tan solo un 46% en las ciénagas. El S.P.S.A. parece, por tanto, una unidad mucho más eficaz que las ciénagas, y los procesos de reducción bacteriana del sulfato más efectivos que la oxidación – precipitación. La acción de las ciénagas, además, se muestra mucho más irregular (el rango de eficacia va desde el 90 a valores inferiores al 15%), y provoca incluso en algunos momentos recontaminación. Su deficiente funcionamiento probablemente se deba a que la plantación de carrizos y juncos todavía no se ha desarrollado suficientemente y no hay una cubierta de vegetación completa.

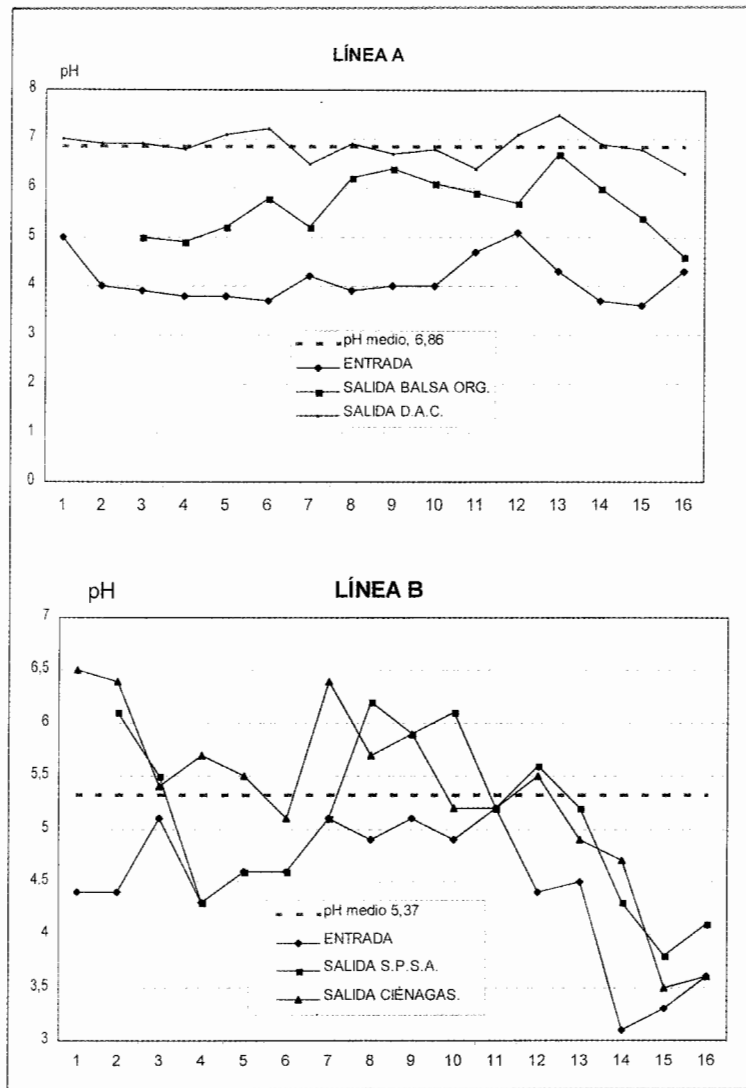


Figura 3. Evolucion del pH.

• **HIERRO** (Figura 4)

En la Línea A, la tasa media de eliminación de hierro se sitúa en torno al 82%. De las dos unidades que componen esta línea, la balsa orgánica es la única que parece estar actuando eficazmente respecto de la eliminación de hierro, por procesos de reducción bacteriana del sulfato, mientras que la acción del D.A.C. y su balsa de oxidación y recogida de precipitados es mucho más irregular, e incluso produce una recontaminación del agua.

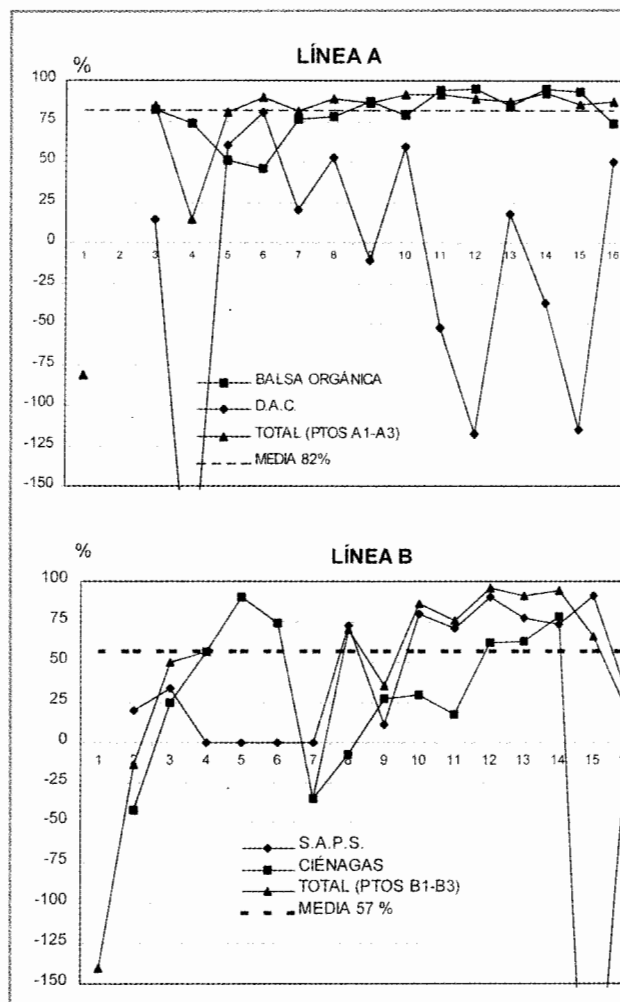


Figura 4. Porcentaje (%) de eliminación de hierro total.

• **ALUMINIO** (Figura 5)

La tasa de eliminación de aluminio es muy buena en la Línea A, donde se supera el 89% como media, a pesar de que, al igual que sucede con el hierro, el agua se recontamina con aluminio en el interior del D.A.C..

También como sucede con los otros parámetros de seguimiento analizados, los resultados de la Línea B son bastante inferiores que los de la Línea A. Tan solo se consigue un 50% de eliminación de aluminio.

de este catión esté retardando la oxidación de los compuestos de manganeso, a que se necesite elevar aún más el pH, o bien a que se necesite mayor superficie de tratamiento en el sistema.

CONCLUSIONES

Tal y como se comentó anteriormente, el análisis de los resultados realizado hasta el momento no permite extraer conclusiones definitivas respecto a la idoneidad del diseño realizado y al grado de cumplimiento de los objetivos de tratamiento que se asignó a cada una de las unidades de tratamiento (reducción de férrico a ferroso, eliminación de oxígeno, etc.).

Respecto a la eficacia de las dos líneas de tratamiento, sí puede decirse que su funcionamiento es satisfactorio, a pesar de la irregularidad que muestran algunas de las unidades: se mejoran sustancialmente las características del agua en cuanto a pH y contenido en metales disueltos, y se alcanzan los estándares de vertido que señala la Ley de Aguas.

Hay diferencias significativas entre el funcionamiento de las dos líneas, resultando mucho más eficaz la Línea A que la B. Aunque aún es pronto para poder asegurar que el diseño de aquella sea mejor, ya que la plantación de carrizos de las ciénagas aún no se ha desarrollado adecuadamente, y su estado actual, más que el de ciénagas, es el de dos balsas rellenas de tierras.

Lo que parece claro es que, en la elección de la caliza para los D.A.C., es muy importante considerar, además del tamaño y el contenido en carbonato cálcico, el contenido en carbonatos metálicos solubles, ya que, como está sucediendo, puede producirse una recontaminación del agua por hierro y aluminio.

Por otro lado, la acción descontaminadora de los procesos de reducción bacteriana del sulfato es muy importante, tanto en cuanto a elevación del pH como en la eliminación de metales. Esta acción, aunque en el diseño de la experiencia se consideraba secundaria y se buscaba en las unidades de balsa orgánica y S.P.S.A. la reducción del hierro y la eliminación de oxígeno disuelto, se ha revelado fundamental en los resultados finales del tratamiento.

Durante los próximos meses, está previsto continuar la recogida y análisis de muestras de agua, y realizar también análisis de los sustratos empleados, caliza y estiércol, para conocer las transformaciones que están sufriendo.

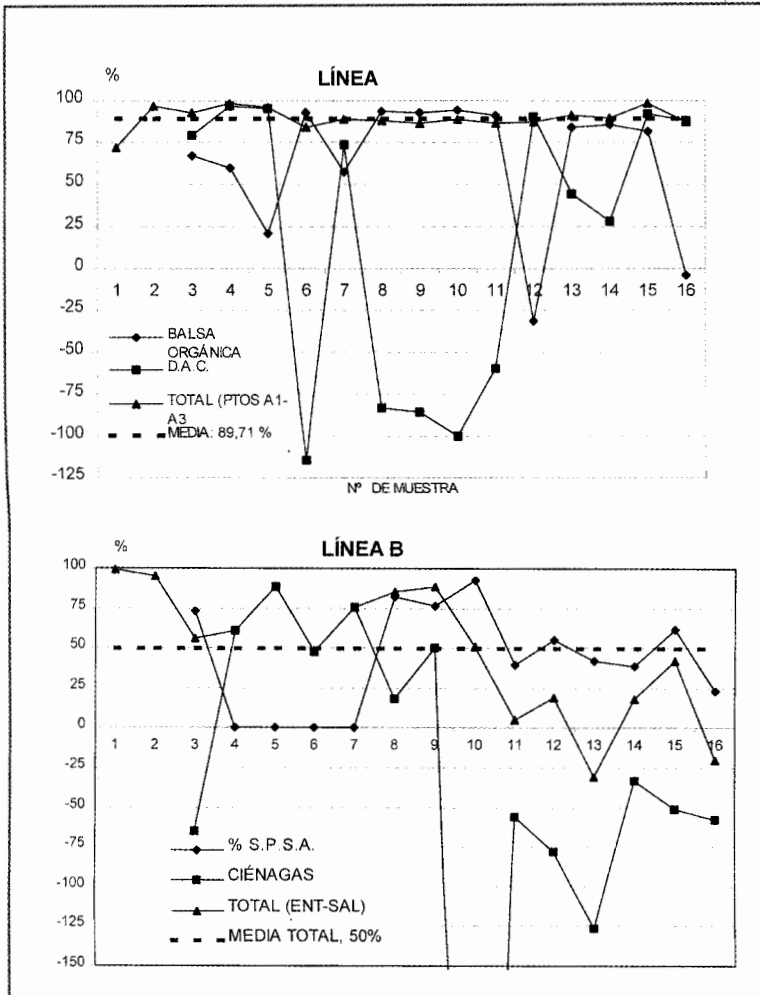


Figura 5. Porcentaje (%) de eliminación de aluminio.

• **MANGANESO**

En cuanto al manganeso, en ninguna de las dos líneas se obtienen resultados. Es más, incluso el contenido en este metal se incrementa con el tratamiento. Todavía no se ha llegado a ninguna conclusión a este respecto, aunque la falta de eficacia puede ser debida a que el contenido en hierro ferroso sea excesivo y la presencia

	pH	Fe t	Mn	Al	Caudal (l/min)
Línea A	4.18	2.40	2.91	1.31	5.92
Línea B	4.73	2.84	2.47	1.51	3.89

Tabla 2. Características del agua de entrada a las líneas de tratamiento.