

CASTILLO, A. (1983)

"Ensayos de lixiviado de muestras de turba. Ejemplo de una metodología de trabajo aplicable a estudios de contaminación de aguas"

(III Simposio de Hidrogeología) Hidrogeología y Recursos Hidráulicos, VIII: 469-481

III SIMPOSIO DE HIDROGEOLOGÍA

ENSAYOS DE LIXIVIADO DE MUESTRAS DE TURBA. EJEMPLO DE UNA METODOLOGIA DE TRABAJO APLICABLE A ESTUDIOS DE CONTAMINACION DE AGUAS

Antonio CASTILLO MARTIN*, Lcdo. en C. Geológicas

RESUMEN

Se aborda un estudio de lixiviados, en distintas condiciones, y sobre muestras diferentes de un yacimiento de turba (localizado a 20 Km al Sur de la ciudad de Granada, Padul), como metodología válida, para detectar los distintos tipos de contaminación (elementos mayoritarios), que puede producir un material determinado, al contacto con las aguas superficiales-subterráneas.

Se describen los ensayos de lixiviado empleados, al mismo tiempo que se presentan los valores analíticos obtenidos para cada uno, sobre las muestras utilizadas. Se concluye, al fin, con las consideraciones más interesantes, que para el autor sugiere esta metodología y estudio.

1 - INTRODUCCION

A 20 Km al Sur de la ciudad de Granada, y dentro del ámbito geológico de las Cordilleras Béticas, existe una pequeña depresión, de origen tectónico, que está rellena por materiales turbosos recientes, la cual constituye un área de descarga importante de los acuíferos carbonatados circundantes.

Este relleno ofrece posibilidades de explotación de los tramos de turba, que presentan una potencia máxima de 250 m, incluyendo ciertas intercalaciones arenosas y arcillosas existentes.

Desde Junio de 1981, el autor investiga el entorno hidrogeológico de esta depresión, con lo que se ha previsto el posible impacto que sufrirá la misma, en relación a cantidad y calidad de sus aguas, de ponerse en marcha una explotación integral del yacimiento de turba existente.

Los aspectos de calidad se han abordado desde distintos puntos de vista y utilizando líneas de investigación y metodologías de estudio complementarias, una de las cuales ha sido el estudio de los análisis físico-químicos, de lixiviados de distintas muestras litológicas del yacimiento, en diferentes condiciones. La descripción de los ensayos de lixiviado empleados, los valores

* Departamento de Hidrogeología. Univ. Granada. Sección de Hidrogeología del Centro Coordinado del C.S.I.C.

analíticos hallados y la discusión y conclusiones obtenidos a partir de los mismos, es la base de lo que se expone en la presente comunicación.

2 - DESCRIPCION DE LOS ENSAYOS DE LIXIVIADO UTILIZADOS

Antes de pasar a describir, someramente, las condiciones y requisitos reunidos para cada uno de los ensayos de lixiviación utilizados, quizás sea necesario comentar sobre qué muestras se hicieron los mismos, con qué criterios se eligieron y como fueron tomadas.

El yacimiento de turba de Padul está constituido, fundamentalmente, por tres bancos, entre los que se intercalan niveles de arenas y arcillas, en líneas generales, ya que en detalle, los bancos de turba poseen alternancias típicas de una biorritmia, es decir, es frecuente, por no decir que es la norma, que la alternancia sea de turba pura (color negro), turba arcillosa (color marrón) y arcilla (color gris), siendo el tramo de turba el más potente de la alternancia, en una relación normal de 1 a 7 con respecto a los otros dos. Pues bien, en base a esta alternancia se eligieron las tres muestras, a mi juicio indispensables, sobre las que se debían de hacer los lixiviados y que corresponden litológicamente, como ya se ha dicho, a una turba, turba arcillosa y arcilla. Esta elección además de ser la más representativa del yacimiento, tanto en la horizontal, como en la vertical, posee una característica interesante, que será la base de gran parte de la interpretación de los resultados obtenidos (apartado 4), que es la de reunir tres litologías, que pueden ser consideradas como la mínima muestra de una transición gradual entre un depósito orgánico (turba) y el siguiente terrígeno (arcilla), dentro de lo que es la evolución lógica de una deposición en una cuenca lacustre endorréica (caso de la cuenca estudiada).

Cada una de las muestras fué cogida del tramo correspondiente, dentro de una misma secuencia-tipo, en la "corta" de Agia. Con un "tomamuestras" especial se tomaron las muestras correspondientes, a partir de calicatas horizontales, a fin de descartar el primer tramo lixiviado y oxidado. De cada tramo se precintaron tres muestras, lo que dió un total de nueve muestras (tres tramos; turba, turba arcillosa y arcilla), con las cuales realicé tres ensayos de lixiviado distintos, que ahora paso a describir.

2.1 - Lixiviado "Exhaustivo" (Ensayo n° 1)

Con este ensayo de lixiviado pretendía averiguar los tipos y la cantidad de componentes mayoritarios que se podían solubilizar, en cada una de las muestras, en las condiciones más desfavorables (máxima solubilización); interesaba conocer también si se producían procesos que alteraran sensiblemente el quimismo (sobre este aspecto hay una interesante discusión en el apartado 4).

La experiencia consistió en someter 50 gramos de cada tipo de muestra (previa desecación total y molturación de la misma; 24 horas a 30° C), a un lixiviado, con 300 cc de agua bidestilada, a temperatura de 35° C y con agitación continua (agitador magnético) durante la primera hora, después de la cual se mantuvo el agua en contacto con la muestra 23 horas más; acto seguido el agua producto del lixiviado fué sometida a centrifugación, para anular la suspensión y analizada.

2.2 - Lixiviado "Aguas de superficie" (Ensayo n° 2)

Con este tipo de lixiviado pretendía simular las condiciones de enriquecimiento en sales de un agua superficial en contacto con el yacimiento de turba, abstrayéndome del proceso de concentración propio de la evaporación, que ocurriría en un caso real.

La experiencia consistió en someter 50 gramos de cada muestra (previa desecación total y molturación de la misma), dispuesta en una capa de 1 cm, aproximadamente, de espesor, al contacto con 300 cc de agua bidestilada, a temperatura ambiente, durante 24 horas. El agua producto del "lixiviado", no hubo que centrifugarla, ya que no poseía ningún tipo de suspensión, por lo que fué analizada directamente.

2.3 - Lixiviado "Aguas subterráneas" (Ensayo n° 3)

Con este tipo de lixiviado (último de los realizados) pretendí simular las condiciones de enriquecimiento en sales de un agua infiltrada.

La experiencia consistió, al igual que en los casos anteriores, en someter 50 gramos de cada muestra (previa desecación total y molturación de la misma), dispuesta en un recipiente cilíndrico de 5 cm de diámetro, al paso de 300 cc de agua bidestilada tres veces; el agua era filtrada y recogida al final del cilindro. Después de filtrado triple, se centrifugó el agua producto del lixiviado y se analizó.

En esta experiencia, se pudo constatar que la mayor permeabilidad fué la correspondiente a la muestra de turba, mientras que la de arcilla presentó una impermeabilidad total, por lo que hubo que insertar tubos ranurados, a través de los cuales se produjo la circulación.

3 - RESULTADOS OBTENIDOS

A partir de las nueve muestras lixiviadas, se efectuaron los análisis de elementos mayoritarios correspondientes, cuyos valores, en mg/l, se presentan, para los distintos tipos de ensayos de lixiviado comentados, en la tabla 1.

En base a estos valores analíticos, se han elaborado todas las representaciones hidroquímicas (diagramas columnares, figura 1; de STIFF modificados, figura 2; de PIPER, figura 3 y de calidad para consumo humano, figura 4), que apoyan e ilustran el comentario del apartado 4, del presente trabajo.

4 - DISCUSION DE LOS RESULTADOS

Aunque cada uno de los tres ensayos de lixiviados utilizados, los he tipificado como representantes de unas condiciones, de extrema solubilidad (ensayo n° 1), de circulación de aguas superficiales (ensayo n° 2) y de infiltración de aguas de lluvia (ensayo n° 3), respectivamente, no he pretendido afirmar ni defender, que las aguas superficiales, por ejemplo, tengan necesariamente que poseer la misma facies y composición encontrada para las muestras lixiviadas por el ensayo n° 2, en este caso, ya que hay multitud de variables naturales que no se han tenido en cuenta, además de la falta de representa-

	Lixiviado Exhaustivo			Lixiviado Aguas superficiales			Lixiviado Aguas subterráneas		
	turba	turba arcill.	arcilla	turba	turba arcill.	arcilla	turba	turba arcill.	arcilla
Cl ⁻	7	21	7	21	49	35	28	16	16
SO ₄ ⁼	1115	607	8	1728	862	672	3093	1425	1056
CO ₃ H ⁻	403	244	256	73	134	97	61	134	61
NO ₃ ⁻	34	142	44	0	11	6	2	11	37
NO ₂ ⁻	3	6	1	0	0	0	0	3	0
Na ⁺	12	11	7	25	32	44	43	53	59
Mg ⁺⁺	175	122	15	175	138	87	413	245	130
Ca ⁺⁺	281	200	80	481	200	132	521	296	220
K ⁺	2	2	5	4	3	3	6	6	5
S. d.	2032	1355	423	2507	1429	1076	4167	2189	1584
pH	7,3	7,3	7,6	6,0	7	6,9	6,0	7,3	7,3
CO ₂ libre	40	24	12	117	21	20	97	11	10

TABLA 1.- Valores analíticos obtenidos, en mg/l, para las distintas muestras y ensayos de lixiviado efectuados.

tividad y difícil dimensionamiento de un ensayo de pequeña escala, como cualquiera de los realizados. Así pues, sólo deben de considerarse las condiciones de los distintos lixiviados como una aproximación de las situaciones con que se "adjetivan".

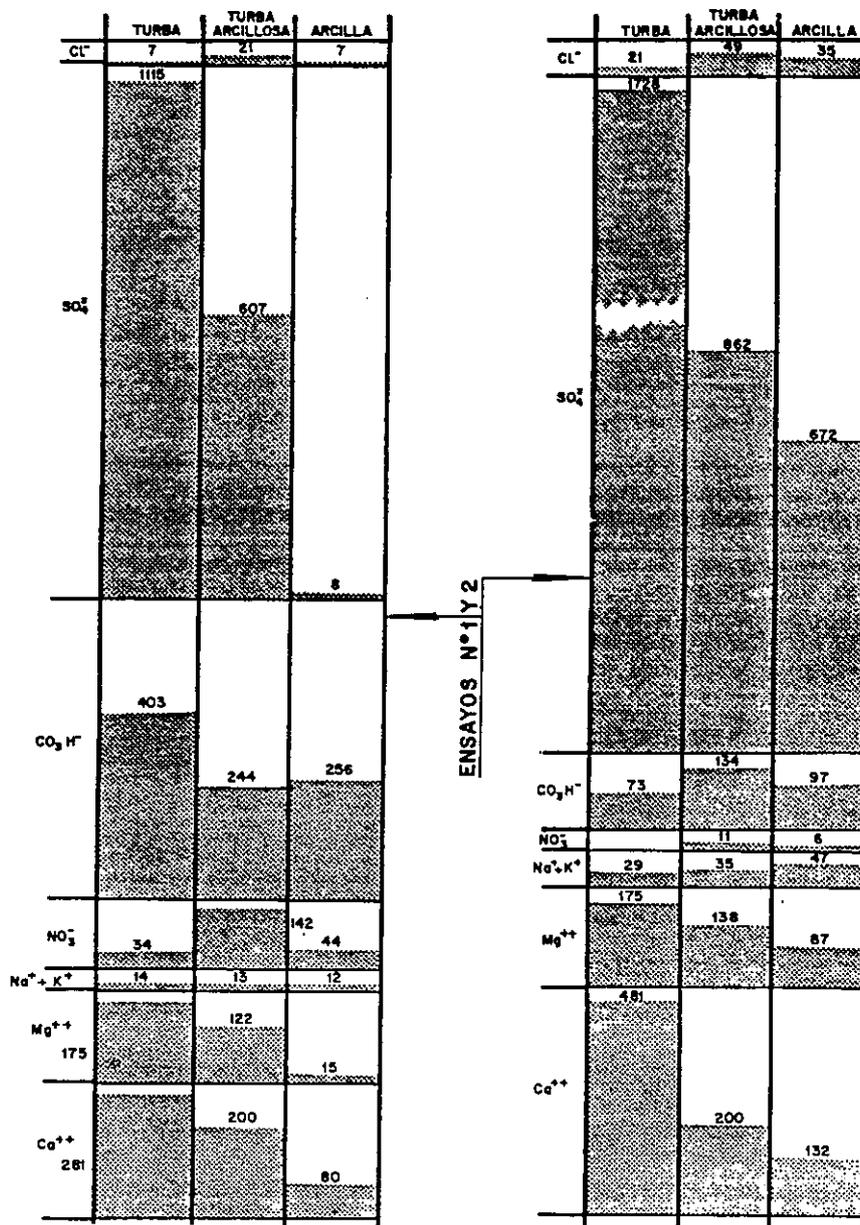
El objetivo perseguido con la aplicación de ensayos de lixiviado en distintas condiciones, ha sido el de constatar relaciones mutuas y proporciones relativas, tanto cualitativas como cuantitativas, entre ellos.

4.1 - Ensayos de lixiviado

Un aspecto notable, que hay que destacar, es que los contenidos salinos, encontrados para la misma muestra son diferentes (cualitativa y cuantitativamente), según las condiciones en las que se haya efectuado el lixiviado. Desde este punto de vista, hay que decir que los mayores aportes son proporcionados por las condiciones del ensayo n° 3 (lixiviado "aguas subterráneas"), mientras que los menores lo son por el n° 1 (lixiviado "exhaustivo").

Esta tendencia a presentar diferencias cualitativas y cuantitativas de composición, ha sido puesta de manifiesto para los diferentes ensayos, sobre todas las muestras lixiviadas, sin ninguna excepción.

Es interesante destacar que los menores contenidos salinos encontrados corresponden a las muestras lixiviadas según las condiciones del ensayo "exhaustivo" (descritas en el punto 2.1), que son las más favorables para una



(Pié de figura en la página siguiente)

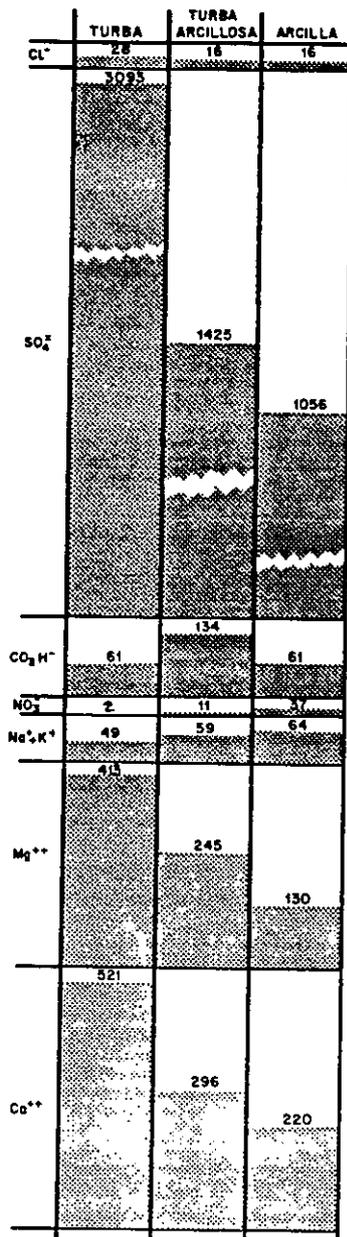


FIGURA 1.- Diagramas columnares, que representan los análisis de las tres muestras-tipo consideradas, para los distintos ensayos de lixiviado efectuados. Datos en mg/l.

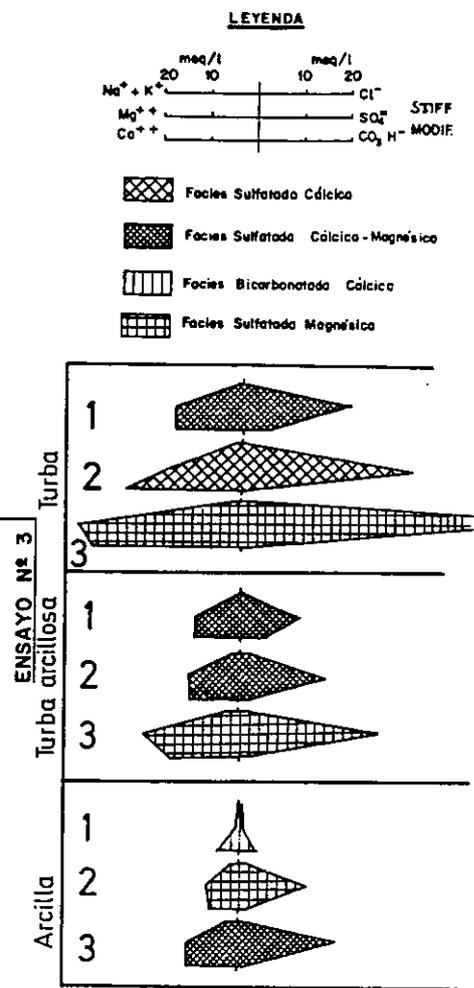
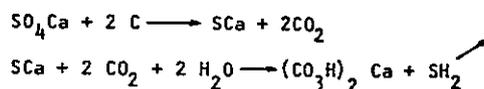


FIGURA 2.- Diagramas de STIFF modificados (los números indican el ensayo de lixiviado a que se refiere la representación).

máxima solubilización. La explicación hay que buscarla, de acuerdo con los valores obtenidos, en una reducción de sulfatos a bicarbonatos, favorecida por el calor con el que se realizó el ensayo, de por sí anaerobio (recipiente estanco), para los que HEM (1959) y SCHOELLER (1956, 1962), indican reacciones del tipo propuesto por HOFFER (simplificado):



Esto explica los altos y bajos contenidos encontrados de bicarbonatos y sulfatos, respectivamente, en relación con las muestras de los otros ensayos.

El ambiente reductor, fué en un principio bastante oxidante, hasta la total combustión del oxígeno presente, lo que explica la obtención de los máximos contenidos en nitratos encontrados, producto de una violenta oxidación del nitrógeno orgánico existente, el paso posterior a un ambiente reductor explica que los contenidos en nitritos (reducidos de los nitratos anteriores), sean también los más altos de los encontrados.

En cuanto a las diferencias observadas entre los valores analíticos correspondientes a los ensayos n° 2 y 3, en los que el n° 3 presenta los mayores contenidos salinos, cabe decir que no responden al hecho natural, ya que las aguas superficiales están más cargadas en sales que las subterráneas, lo cual se ha debido a que la simulación de infiltración efectuada no se da en la realidad, donde los materiales de las litologías consideradas se comportan como acuícludos-acuitardos.

Ilustran este punto las figuras 1 (diagramas columnares), 2 (de Stiff modificados), 3 (de Piper) y 4 (de calidad para consumo humano), que corresponden a diversas representaciones hidroquímicas, de los análisis obtenidos para las distintas muestras, al aplicar las condiciones de los tres ensayos de lixiviado utilizados. En la tabla 2, se muestra el orden de los diferentes ensayos de lixiviado, con respecto a las cantidades aportadas para cada determinación.

4.2 - Muestras lixiviadas

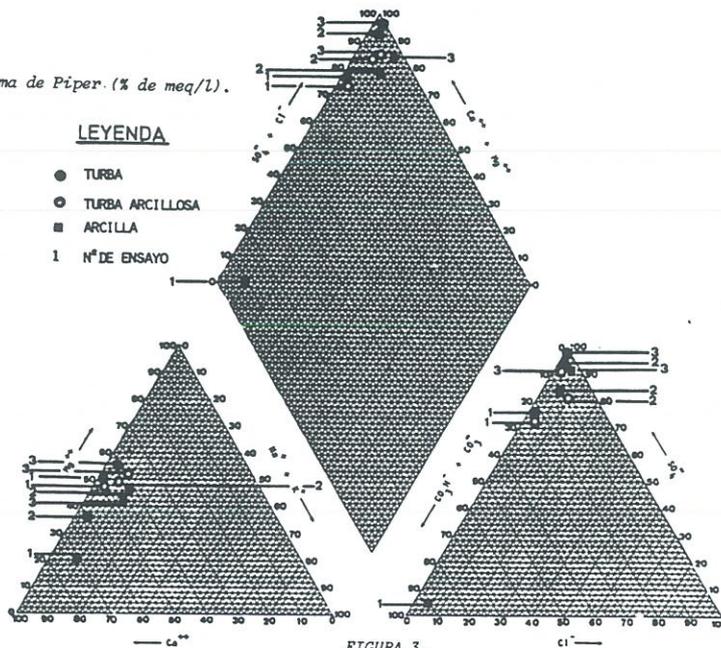
Ilustran y apoyan este punto las mismas figuras señaladas para el anterior. La tabla 3 representa el orden de las diferentes muestras litológicas lixiviadas, con respecto a los contenidos químicos encontrados para cada determinación.

Si se observan, especialmente, las representaciones de la figura 1 (diagramas columnares) se verá que los contenidos químicos de los tres tipos de muestras lixiviadas (turba, turba arcillosa y arcilla), siguen para los distintos ensayos, un ordenamiento lógico (de mayor a menor cantidad), desde la muestra de turba a la de arcilla, para sulfatos, calcio, magnesio y anhídrido carbónico libre, mientras que se presenta anormal para bicarbonatos, nitratos, nitritos y cloruros, donde los mayores contenidos se dan en la muestra de turba arcillosa (salvo excepciones).

	TURBA	TURBA ARCILLOSA	ARCILLA
Cloruros (Cl ⁻)	3,2,1	2,1,3	2,3,1
Sulfatos (SO ₄ ²⁻)	3,2,1	3,2,1	3,2,1
Bicarbonatos (CO ₃ H ⁻)	1,2,3	1,2-3	1,2,3
Nitratos (NO ₃ ⁻)	1,3,2	1,2-3	1,3,2
Nitritos (NO ₂ ⁻)	1,2-3	1,3,2	1,2,3
Sodio (Na ⁺)	3,2,1	3,2,1	3,2,1
Magnesio (Mg ⁺⁺)	3,2-1	3,2,1	3,2,1
Calcio (Ca ⁺⁺)	3,2,1	3,2-1	3,2,1
Potasio (K ⁺)	3,2,1	3,2,1	3-1,2
Sólidos disueltos	3,2,1	3,2,1	3,2,1
pH	1,2-3	2,3-1	1,3,2
CO ₂ libre	2,3,1	1,2,3	2,1,3

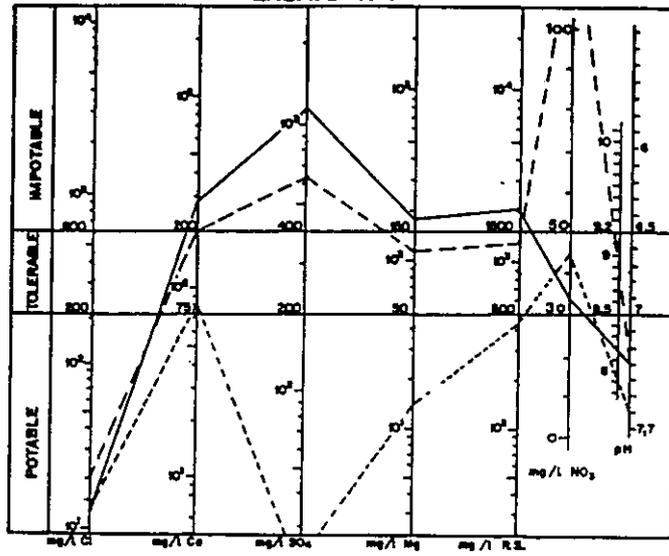
TABLA 2.- Orden de los diferentes ensayos de lixiviado (1.- Lixiviado "exhaustivo", 2.- Lixiviado "aguas superficiales" y 3.- Lixiviado "aguas subterráneas"), con respecto a las cantidades aportadas para cada determinación. Orden de mayor a menor

diagrama de Piper. (% de meq/l).

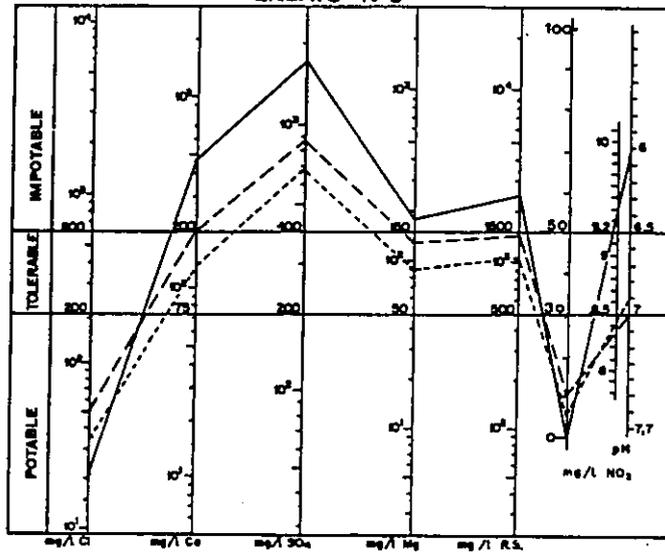


CALIDAD QUÍMICA DEL AGUA PARA CONSUMO HUMANO
(O. M. S.)

ENSAYO N°1



ENSAYO N°2



(Pié de figura y leyenda en la página siguiente).

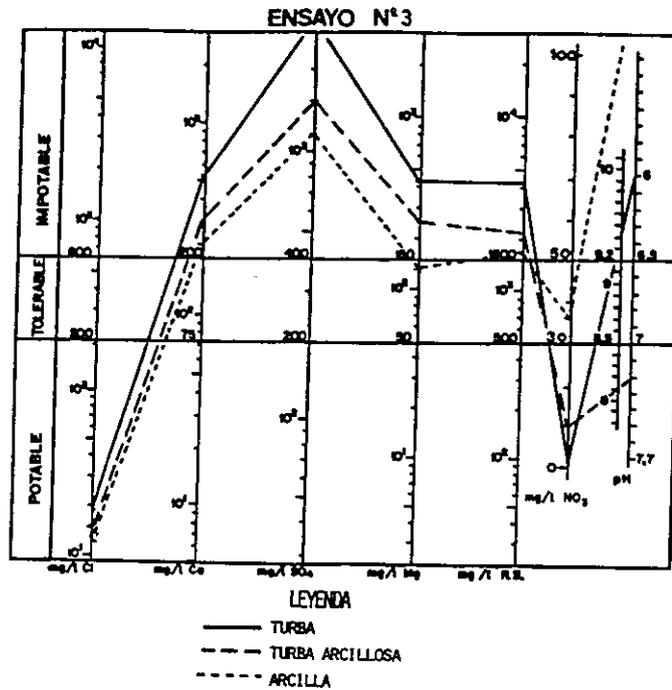


FIGURA 4.- Diagramas de calidad de las aguas para consumo humano, en los distintos ensayos de lixiviado.

	ENSAYO N° 1	ENSAYO N° 2	ENSAYO N° 3
Cloruros (Cl ⁻)	TA,A-T	TA,A,T	T,TA,A
Sulfatos (SO ₄ ²⁻)	T,TA,A	T,TA,A	T,TA,A
Bicarbonatos (CO ₃ H ⁻)	T,TA,A	TA,A,T	TA,A-T
Nitratos (NO ₃ ⁻)	TA,T,A	TA,A,T	A,TA,T
Nitritos (NO ₂ ⁻)	TA,T,A	T-TA-A	TA,T-A
Sodio (Na ⁺)	T,TA,A	A,TA,T	A,TA,T
Magnesio (Mg ⁺⁺)	T,TA,A	T,TA,A	T,TA,A
Calcio (Ca ⁺⁺)	T,TA,A	T,TA,A	T,TA,A
Potasio (K ⁺)	A,T-TA	T,TA-A	T-TA,A
Sólidos disueltos	T,TA,A	T,TA,A	T,TA,A
pH	A,TA,T	TA,A,T	TA-A,T
CO ₂ libre	T,TA,A	T,TA,A	T,TA,A

TABLA 3.- Orden de las diferentes muestras litológicas lixiviadas (T-Turba, TA- Turba arcillosa y A-Arcilla), con respecto a los contenidos obtenidos para cada determinación. Orden de mayor a menor.

Por último los contenidos de sodio más potasio, son los únicos que aparecen en mayor cantidad en la muestra de arcilla.

Para la anomalía de los bicarbonatos, podría pensarse en una reducción de sulfatos (como la comentada en el punto anterior), que se da en menor proporción en la muestra de turba, pero no encuentro explicación para la de nitratos, nitritos y cloruros, los cuales pueden deberse a reacciones de equilibrio químico, en general, que se catalizan especialmente en la muestra intermedia (turba arcillosa). Así, parece evidente un proceso de reducción, posiblemente bacteriana, ligada a la turba, de nitratos a nitritos, que se da en mayor proporción en la muestra de turba arcillosa, que en la de turba.

El mayor aporte de sodio en las muestras de arcilla, se debe posiblemente a fenómenos de adsorción, producidos en las paredes de los filosilicatos de la arcilla, de calcio y magnesio, con liberación de sodio.

Los aportes principales de sulfatos, calcio y magnesio, que presentan las muestras de turba, están ligados a depósitos singenéticos de sulfatos de calcio y magnesio y a sulfuros de hierro (previa oxidación de los mismos), aunque no descarto un posible origen de simple adsorción para el calcio y magnesio.

La figura 3 ofrece la representación de los distintos análisis realizados, en un diagrama de Piper, donde se observa una relativa discriminación de las diferentes muestras, atendiendo a las siguientes determinaciones: sulfatos (turba, turba arcillosa y arcilla, de mayor a menor contenido), magnesio (idem anterior) y sodio más potasio (arcilla, turba arcillosa y arcilla).

En la figura 4 se muestran, por ensayos de lixiviado, las representaciones correspondientes a calidad para consumo humano, según las normas de la O.M.S. A la vista de estas representaciones se puede decir, que la impotabilidad crece en el sentido de los lixiviados de arcilla, turba arcillosa y turba, siendo los sulfatos y el calcio (junto con el pH y los nitratos, en ciertas condiciones), las determinaciones que más ampliamente sobrepasan los límites de tolerabilidad. Por otra parte, la afección a la calidad química de las aguas aumenta en el sentido de los lixiviados de los ensayos n° 1, 2 y 3.

Los ensayos de lixiviado realizados sobre las distintas muestras-tipo consideradas, ponen de manifiesto aportes de: sulfatos, calcio, magnesio, bicarbonatos, sodio, cloruros, nitratos y potasio, por este orden, con cantidades de sólidos disueltos que oscilan entre 4.167 (muestra de turba, ensayo n° 3) y 423 mg/l (muestra de arcilla, ensayo n° 1).

Las facies hidroquímicas obtenidas son para todos los casos (a excepción de la correspondiente a la muestra de arcilla del ensayo n° 1, que es bicarbonatada, por fenómenos de reducción de sulfatos ya comentados), sulfatadas y entre cálcicas y magnésicas (figura 2).

Para la elaboración de este último apartado del estudio (apartado 4. Discusión de los resultados), he consultado algunos aspectos de los trabajos de ADAMSON (1964 y 1965), HOLLAND et al. (1968), Federal Water Pollution Control Administration (USA, 1969), AHMAD (1973), ALVAREZ et al. (1979) y FERNANDEZ ALLER (1979 y 1981), todos ellos referentes a contaminación de aguas por minería del carbón.

5 - CONCLUSIONES

- Los análisis químicos obtenidos para las mismas muestras-tipo consideradas (turba, turba arcillosa y arcilla), son diferentes cualitativa y cuantitativamente, según las condiciones en las que se haya realizado el lixiviado correspondiente (ensayos n° 1, 2 y 3).

- Desde este punto de vista, hay que decir que los mayores aportes salinos son proporcionados por las condiciones del ensayo n° 3 (lixiviado "aguas subterráneas"), mientras que los menores lo son por el n° 1 (lixiviado "exhaustivo").

- No ha sido detectada una reducción de sulfatos a bicarbonatos (salvo en el ensayo n° 1, debido a las especiales características, ya comentadas, del mismo).

- Tampoco se han detectado procesos de oxidación generalizados, oscilando los valores de pH encontrados, entre 6 y 7,6. Los contenidos en nitratos obtenidos han revelado asimismo condiciones oxidantes poco violentas.

- Los valores obtenidos para los lixiviados del ensayo n° 3 ("aguas subterráneas"), son muy superiores a los que se dan en la realidad, debido a que la simulación de infiltración utilizada en el ensayo n° 3, no corresponde con la real, donde los materiales de las litologías consideradas se comportan como acucludos-acuitardos.

- Los valores analíticos obtenidos en los lixiviados de las tres muestras-tipo consideradas (turba, turba arcillosa y arcilla), siguen para los distintos ensayos, un ordenamiento lógico (de mayor a menor cantidad) desde la muestra de turba a la de arcilla, para sulfatos, calcio, magnesio y anhídrido carbónico, mientras que se presenta anormal para los bicarbonatos, nitratos, nitritos y cloruros, donde los mayores contenidos se dan en la muestra de turba arcillosa. Los contenidos más altos de sodio, se dan en la muestra de arcilla.

- Los ensayos de lixiviado realizados sobre las distintas muestras-tipo consideradas, ponen de manifiesto aportes de sulfatos, calcio, magnesio, bicarbonatos, sodio, cloruros, nitratos, y potasio, por este orden, con contenidos de sólidos disueltos que oscilan entre 4.167 y 423 mg/l.

- Las facies hidroquímicas obtenidas son sulfatadas y entre cálcicas y magnésicas.

La impotabilidad crece en el sentido de los lixiviados de arcilla, turba arcillosa y turba, siendo los sulfatos y el calcio las determinaciones que más ampliamente sobrepasan los límites de tolerabilidad.

BIBLIOGRAFIA

- ADAMSON, G. (1964). "Acid Mine Drainage control-principles and practices guide de coal age". 69, 81. Eng. Index. 207 p.
- ADAMSON, G. (1965). "Some modern aspects of coal cleaning and their influence on avoidance of vier pollution". Effluent Water Treatment. Vol. 5. 1081 p.
- AD, H.V. (1973). "Coal mining and its effects on water quality". Water for the human environment. pp 24-28. Chicago.
- ÁLVAREZ, C.; DEININGER, R. y MEIER, P. (1979). "Prevención y tratamiento del agua ácida de drenaje proveniente de minas de carbón". Tecniterrae nº 31. pp 59-68. Madrid.
- Federal Water Pollution Control Administration (1969). "Stream pollution by coal mining drainage in Appalachia". Cincinnati.
- FERNANDEZ ALLER, R. (1979). "El agua en la minería de la hulla. Estudio de una zona piloto". SIAMOS. Vol II. pp 1013-1025. Granada.
- FERNANDEZ ALLER, R. (1981). "Contaminación de las aguas por la minería de carbón en España". Ind. Química. pp 65-72.
- HEM, J. (1959). "Study and interpretation of the chemical characteristics of natural water". Geol. Surv. Water-Supply. 1473 p. Washington.
- OMS (1962). "Normas europeas aplicables al agua de bebida". Organización Mundial de la Salud. pp 26-35. Ginebra.
- SCHOELLER, H. (1956). "Géochimie des eaux souterraines". Soc. Ed. Tech. 213 p. París.
- SCHOELLER, H. (1962). "Les eaux souterraines". Ed. Masson et Cie. París.