

An. Aula Dei 19(3-4):321-333.

Incorporación de los yesos a las aguas circulantes en el contacto directo en los cauces de la Red Hidrográfica del Ebro

Por A. NAVAS

Estación Experimental de Aula Dei, ZARAGOZA

Recibido: 10-III-1989

Palabras clave: Litofacies yesíferas, Aguas circulantes, Mecanismos de incorporación, Cauces, Aportes, Cuenca del Ebro.

ABSTRACT

Navas, A. 1989. Incorporation of gypsum to the flowing waters through direct contact in the stream channels of the Ebro river basin. An. Aula Dei 19(3-4):321-333.

In the Ebro river basin and for the water courses with discharges over $15 \text{ m}^3/\text{s}$, the total number of direct contacts between gypsiferous lithofacies and flowing waters is 50 extending 22 km. In these situations, the incorporation of gypsum to the channels takes place either by dissolution or as particulate material. According to the slope type and its evolution stage, different patterns concerning the occurrence and magnitude of the contributions can be observed. As a total, this incorporation has been estimated around 321.000 tons per year, representing 11% of the total gypsum transported by the Ebro river at Tortosa.

INTRODUCCION

En la depresión del Ebro, la sucesión de ciclos sedimentarios con una importante sedimentación evaporítica, condujo a la progresiva colmatación de la cubeta desde el Eoceno hasta el Mioceno terminal. A finales del Terciario, probablemente en el Plioceno, se inició el exorreísmo y drenaje de la depresión hacia el Mediterráneo.

La observación del mapa de la "Distribución de las Formaciones con Yesos en la Cuenca del Ebro" (NAVAS, 1983) y del modelado actual de la depresión, sugiere la magnitud de la masa de yesos que ha sido transportada por el río Ebro y sus afluentes, a lo largo de este período de vaciado y excavación. Actualmente, el proceso de excavación y encajamiento de la red fluvial continúa,

si bien con menor energía que en algunas épocas anteriores; pero como en ellas, todo el yeso se exporta disuelto en las aguas del Ebro.

De entre los diversos mecanismos por los que los yesos se incorporan a las aguas superficiales, los aportes puntuales están representados por las situaciones de contacto (permanente o temporal) de los yesos con las aguas circulantes. El objetivo del presente trabajo es la realización de un inventario de tales situaciones de contacto para, a continuación, proceder a una cuantificación de aportes que permita establecer la participación relativa de este mecanismo en el total de la masa de yesos exportada al mar.

Inventario de contactos

De una primera consideración de la cartografía de las formaciones yesíferas, se constató que las posibilidades de contacto entre las aguas circulantes y las litofacies yesíferas se extendían por más de 700 km de cursos de ríos de cierta importancia, cifra que se hacía mucho mayor si se consideraban los cauces funcionales en la cuenca. Sopesando características tales como que los contactos más representativos se producían en ríos importantes, y que es en ellos donde también se concentra la información complementaria -pero necesaria- de caudales y calidad de agua, se estableció un límite de importancia en las zonas de contacto a estudiar más detalladamente.

Así, los ríos considerados fueron aquellos de caudal medio anual superior a $15 \text{ m}^3/\text{s}$, entre los cuales se incluyen el Ebro, Ega, Arga, Aragón, Jalón, Gállego, Cinca, Segre, Noguera Ribagorzana y Noguera Pallaresa. Otra variable a considerar fue la litológica, de modo que únicamente se estudiaron los contactos en los que los yesos son masivos; o bien, cuando siendo interestratificados su participación en el afloramiento es importante, requiriéndose además, en el caso de los yesos interestratificados con baja participación en el depósito, y en el de los diseminados, que el contacto se prolongue al menos durante un kilómetro.

La metodología seguida para la realización del inventario y descripción de los contactos yeso-agua ha sido la siguiente:

- 1.- Localización de zonas de posibles contactos en los mapas de Síntesis Cartográfica de las Litofacies Yesíferas, 1:200.000 (NAVAS, 1983), y en los del M.G.N.E. (1:50.000) y del M.T.N.E. (1:50.000).
- 2.- Verificación y estudio fotointerpretativo en foto aérea (1:33.000, 1:18.000).
- 3.- Recopilación en una ficha descriptiva de la identificación, localización geográfica y ubicación del contacto en la red hidrográfica, además de los caracteres de la litofacies yesífera, del régimen fluvial y de la descripción del contacto.

El número total de contactos directos yeso-agua inventariados es de 50. No se incluyen los del río Ebro en los embalses de Mequinenza y de Ribarroja, que totalizan 200 km (ambos márgenes), en razón de que la velocidad de circulación de las aguas y los fenómenos de sedimentación y oleaje son muy diferentes de los que tienen lugar en los cauces naturales, por lo que en conjunto constituyen un problema específico.

Por provincias su distribución es la siguiente:

<u>PROVINCIA</u>	<u>RIO</u>	<u>CONTACTOS</u>	<u>LONGITUD m</u>
Huesca	Cinca	2	350
Huesca	Gállego	10	5600
Lérida	Segre	1	200
Logroño	Ebro	1	360
Navarra	Ebro	3	1635
Navarra	Ega	10	1953
Navarra	Aragón	7	3100
Navarra	Arga	3	1700
Zaragoza	Ebro	6	5440
Zaragoza	Gállego	7	1600

Por ríos el total en metros es el siguiente: Arga, 1700; Aragón, 3100; Cinca, 350; Ebro, 5440; Ega, 1953; Gállego, 7200; Segre, 200. En conjunto, en la cuenca suman 21938 m. las situaciones de contacto litofacies yesífera-agua circulante cuya ubicación geográfica se recoge en la Figura 1.

Los ríos en los que se localizan los contactos son sinuosos y meandriformes. En esta panorámica morfológica, su geometría en planta resulta de la interacción entre la hidráulica de flujo y los materiales del cauce, que produce contactos mayoritariamente curvilíneos y normalmente asociados a la convexidad de la corriente, aunque también, en menor medida, se localizan en la concavidad de la corriente; ello, únicamente en el caso de meandros encajados sobre litofacies yesíferas interestratificadas.

Agrupados por ríos, la geometría en planta de los contactos es la siguiente:

<u>RIO</u>	<u>APICE DE LA CURVA</u>			<u>POINT-BAR</u>	<u>INFLEXION</u>
	<u>CONTACTO</u>				
	Total	Curvo	Recto		
Ebro	10	7	3	-	-
Cinca	2	2	-	-	-
Gállego	17	16	1	-	-
Segre	1	1	-	-	-
Ega	10	8	1	-	1
Arga	3	3	-	-	-
Aragón	6	4	2	-	-

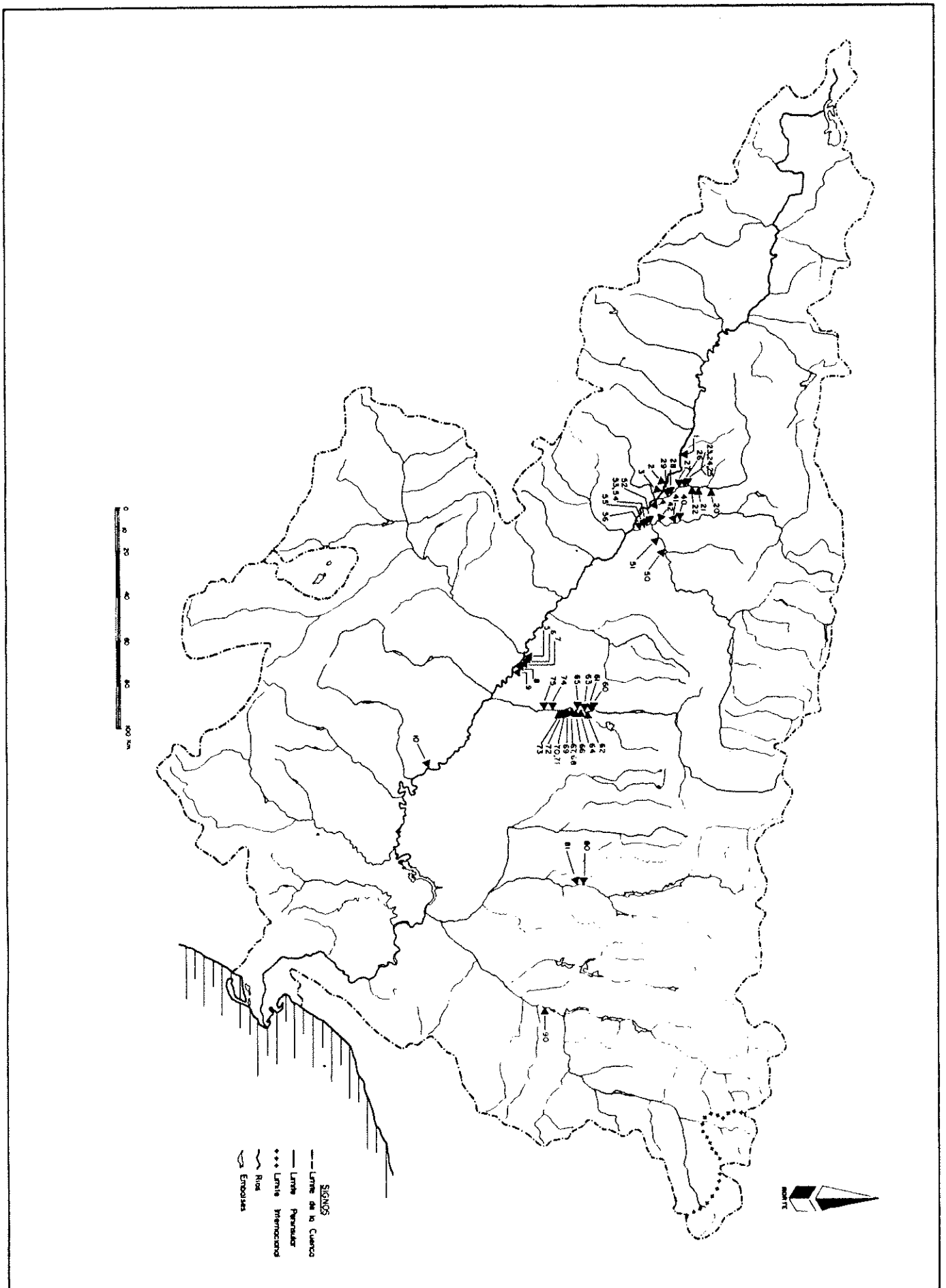


Figura 1.- Emplazamiento de los contactos directos litofacies yesisífera-aqua circulante en la Cuenca del Ebro.

Procesos de incorporación del yeso a las aguas circulantes y su cuantificación

Por disolución directa o en forma particulada, cantidades importantes de yeso del contacto pasan a incorporarse a las aguas superficiales que lo transportan en disolución, suspensión o como carga de fondo, y en las que finalmente acaba disolviéndose.

De entre todas las situaciones de contacto, las más activas en incrementar la concentración salina de las aguas se localizan en los puntos de contacto de la vertiente de yesos con el ápice de la curvatura del meandro.

Dentro de cada tipo de vertiente, la evolución en el tiempo de los aportes -para todas las demás condiciones constantes- sigue unas pautas diferentes de participación relativa. Estas vertientes pueden encontrarse en distintos estadios evolutivos (NAVAS, 1989), lo que condiciona a su vez la eficacia de la agresión de las aguas a los yesos y en consecuencia afecta a la masa disuelta.

La disolución directa

La ecuación que describe la velocidad de disolución del yeso en condiciones naturales puede formularse del siguiente modo:

$$VDY = f(Hq, Hf, S, G)$$

en la que Hq corresponde a la hidroquímica del sistema, Hf se refiere a la hidráulica de flujo, S representa la geometría del contacto y G hace referencia a factores sedimentológicos, petrológicos y mineralógicos.

Para adaptar esta ecuación a las condiciones de campo, ha sido preciso analizar los componentes de cada una de las variables independientes; ello, por su variabilidad espacio-temporal y por la imposibilidad de medir u obtener todos los datos que se requieren en cada una de las situaciones de contacto.

La limitación de uso de una ecuación de este tipo, radica en que es preciso determinar la forma de relación entre las variables. Para un determinado rango de cada una de ellas, la relación con la velocidad de disolución del yeso se ha establecido mediante la ecuación cinética de reacción de segundo grado:

$$VDY = 45.VF(Cs-C)^2 \text{ (NAVAS, 1989).}$$

Respecto a la hidroquímica del sistema y para cada una de las situaciones de contacto estudiadas, el déficit de saturación en yeso se obtiene por la diferencia entre el valor de la concentración a saturación (C_s) y el de la concentración en la solución (C), calculado a partir de la media del índice de saturación en yeso para el período hidrológico 1972-1985. Los valores medios de estos parámetros se han estimado a partir de las series analíticas de aguas (MOPU, 1972-85), correspondientes a la estación de la red de calidad de aguas del Ebro (red COCA) más próxima a cada contacto. Estas se sitúan aguas arriba (Ebro en Mendavia, 120; Aragón en Caparroso, 5), o abajo del mismo (Ega en Andosilla, 3; Arga en Peralta, 4; Cinca en Monzón, 228; Segre en Balaguer, 96; Ebro en Zaragoza, 11; Ebro en Sástago, 112). Se ha evitado la consideración de estaciones en las que la incorporación de aportes laterales desvirtúe su composición respecto de la del contacto. En determinados puntos, ha sido preciso recurrir a la estimación de la composición iónica resultante de la mezcla de aguas (Arga en Peralta, 4 + Aragón en Caparroso, 5).

En cuanto al componente hidráulico, y ante la imposibilidad de cuantificar adecuadamente este parámetro por medida directa o conseguir bibliográficamente índices de su variación relativa para cada punto concreto del meandro, se ha tomado como valor de velocidad (V_f) el del valor medio de la sección (datos de velocidad media correspondientes a la sección más próxima al contacto obtenido por MESA (1865) en épocas de bajos caudales). Se asume que este valor puede estar infravalorado en el eje de curvatura y ligeramente sobrevalorado en tramos rectilíneos largos o en las proximidades al punto de inflexión.

Respecto de la geometría del contacto, el problema que se plantea es la estimación de su superficie real, dada su variabilidad espacio-temporal.

Por un lado, es preciso considerar la variación de área que se produce por las fluctuaciones de caudal. Para tener una idea aproximada de esta variación, se ha calculado la altura correspondiente a los caudales mínimo y máximo, para el período hidrológico 1970-1985, en la tabla de gastos de la estación de muestreo más próxima al contacto (Cuadro 1). La imposibilidad de conseguir datos de espesor del contacto en una época determinada, nos ha llevado a estimarlo en un metro; y ello, por dos razones: la primera porque todos los ríos considerados tienen un caudal medio superior a los $15 \text{ m}^3/\text{s}$, lo que condiciona la existencia de secciones con una profundidad próxima a 0.5 m. (MORISAWA, 1984), y la segunda porque los datos de MESA (1865), para bajos caudales, dan como profundidad media de la sección, en muchas estaciones, valores situados entre 0.20 y 2.50 m.

Por otro lado, la estimación de la superficie real del contacto requiere la consideración de un factor de corrección (F_s), relacionado con el incremento de área que supone la configuración espacial del contacto a escalas macro, meso y microtopográfica, en función de la tipología de las vertientes. Este factor se ha estimado para cada uno de los contactos a partir de la comparación de la configuración de la forma de su superficie con respecto a distintos trazados sinusoidales. Previamente se ha medido el incremento de longitud que se produce al transformar curvas sinusoidales de distinta frecuencia de onda en líneas rectas y a continuación se ha realizado la abstracción a las tres dimensiones del espacio.

Para las vertientes en acantilado rectilíneas, a escala macrotopográfica es preciso considerar la linealidad del contacto en la horizontal y en la vertical. La sinusidad del mismo en los dos planos queda representada por un factor de multiplicación que toma valores de 1 a 1.5. A escala mesotopográfica, la existencia de planos de estratificación, de diaclasas o fracturas y de intercalaciones de material de distinta naturaleza supone un incremento de la superficie de contacto, representada por un factor de multiplicación de 1 a 1.5. A escala microtopográfica, la textura de la roca por lo que concierne al tamaño de los cristales, la existencia de poros, microfisuras, la interposición de matriz o cemento, constituyen elementos que incrementan la superficie expuesta. En este caso, el factor de multiplicación considerado esta comprendido entre 1 y 1.4.

Por tanto, el factor de corrección de la superficie real (F_s) que se obtiene de multiplicar los correspondientes factores asig-

Cuadro 1.- Datos de oscilación de la altura de la lámina de agua para máximos y mínimos caudales, y de anchura y profundidad media de secciones de rios próximas a los contactos yeso- agua.

ESTACION	AFOROS C.H.E.						MESA (1865)		
	Caudal m ³ /s		Altura m		Caudal m ³ /s	Anchura m	Profundidad m		
	máximo	mínimo	máxima	mínima					
Ebro (120) Ebro, Calahorra	206.30	56.25	-	-	30.170	87.0	0.66		
Ebro (2) Ebro, Tudela	518.00	76.47	3.44	1.97	45.230	83.0	1.58		
Ebro, (11) Ebro, Zaragoza	500.00	70.59	2.08	0.85	28.320	94.0	0.99		
Ebro (112) Ebro, Mequinenza	500.00	82.35	-	-	41.096	102.0	2.51		
Ega (3) Ega, Andosilla	27.86	2.86	0.75	0.17	2.030	12.2	0.22		
Arga (4) Arga, Funes	113.24	19.12	1.65	0.65	3.300	21.5	0.19		
Aragón (5) Aragón, Funes	150.00	19.44	1.90	0.95	4.980	48.6	0.25		
Gállego (209) Gállego, Zuera	-	-	-	-	17.710	40.8	0.43		
Gállego (89) Gállego, Zaragoza	-	-	-	-	9.090	38.0	0.32		
Cinca (228) Cinca, Monzón	-	-	-	-	45.730	86.3	0.80		
Segre (96) Segre, desembocadura	87.86	11.43	1.57	0.84	92.260	71.5	2.15		

nados a cada una de las escalas, puede alcanzar un máximo de 3.15 veces la superficie inicialmente medida.

En las vertientes con talud de derrubios y con banquetas, el incremento máximo de la superficie respecto de la inicialmente medida es de hasta 4.2 veces, ya que a escala macrotopográfica, la existencia de bloques en el talud o las propias banquetas pueden incrementar el factor de multiplicación hasta 2.

Los aspectos sedimentológicos considerados se refieren al tipo de depósito y a la dominancia del yeso, habiéndose diferenciado tres tipos: masivos, interestratificados y diseminados. Para obtener la superficie real de contacto, se evalúa el porcentaje de yesos en el depósito que se multiplica por el factor de superficie correspondiente.

RESULTADOS

En razón del incremento de superficie en contacto que suponen los distintos tipos de vertientes, el orden creciente de la contribución de yeso por disolución es el siguiente: vertiente en acantilado rectilíneo < vertiente con banquetas < vertiente con talud de derrubios < vertiente con talud de derrubios de evolución subaérea.

Agrupados por ríos, los aportes de yeso disuelto producidos en los contactos directos litofacies yesífera - agua circulante se recogen en el Cuadro 2.

Cuadro 2.- Aportes de yeso disuelto en los contactos litofacies yesífera-agua circulante.

RÍO	CONTACTOS	LONGITUD	SUPERFICIE REAL	VELOCIDAD DISOLUCION	APORTE	
	n°	m	m ²	g/m ² h	t/m ² año	
					t/año	
Arga	3	1700	5317	147	1.3	5497
Aragón	7	3100	9877	134	1.2	11166
Cinca	2	350	756	209	1.8	1383
Ebro	10	7435	25052	120	1.1	26907
Ega	10	1953	5116	206	1.8	9239
Gállego	17	7200	20806	147	1.3	36572
Segre	1	200	437	424	3.7	1621

Los aportes de materia particulada

Sumándose a los aportes por disolución, la incorporación de yeso en partículas a las aguas, en las que acaban disolviéndose, contribuye de forma importante a la salinización de las mismas. La incorporación de esta materia particulada, bien como consecuencia de los procesos de disolución o de procesos independientes asociados a la evolución de las vertientes y de otras unidades geomorfológicas situadas topográficamente sobre ellas, puede llegar a superar la masa de yeso aportada por disolución directa.

Situaciones típicas del primer caso son los desprendimientos de bloques producidos por el descalce de las vertientes. Estos desprendimientos son de carácter esporádico y su frecuencia se ajusta a la velocidad del proceso de disolución. Los otros procesos, entre los que se incluyen los de movimientos de partículas y de masas, tienen mayor frecuencia y su participación se distribuye en el tiempo.

Del análisis pormenorizado del comportamiento de ambos grupos de mecanismos de incorporación de materia particulada, se constata una asociación directa dominante con el tipo de vertiente.

Vertientes en acantilado rectilíneas

Estas vertientes se sitúan hacia el eje de curvatura del meandro. Dependiendo de la litoestructura del material y, fundamentalmente, del sistema de diaclasas (espaciado y densidad), pueden diferenciarse -respecto a la continuidad de aportes- en dos grupos: vertientes en que, mientras se mantiene el contacto con el agua, su perfil de equilibrio es rectilíneo, y aquellas otras que en idéntica situación de contacto, su perfil rectilíneo representa una situación transicional, pero de gran persistencia, hacia o desde la vertiente con talud de derrubios o con banquetas.

Las primeras presentan un sistema de diaclasas denso y regular asociado a una litología de yesos en estructura hojosa. Los aportes continuados y regulares al cauce en forma de partículas pequeñas, cantos y pequeños bloques se producen por caída de rocas, escorrentía superficial y reptación del suelo.

En este tipo de vertiente, los aportes de yeso particulado son proporcionales a la masa de yeso del acantilado y a la velocidad de descalce de su base por disolución, lo que condiciona la rapidez de su evolución.

Las vertientes del segundo grupo, presentan litologías de yesos en bancos potentes o si están finamente estratificados, aparecen a su vez plegados, lo que les confiere una gran estabilidad. Las redes de diaclasas son menos densas y el aporte de materiales al cauce se efectúa de modo esporádico, con grandes o medianas avalanchas producidas por descalce de la base de la vertiente. Otros mecanismos que contribuyen a la incorporación de yeso, si bien con menor intensidad que el tipo de vertiente anterior, son la caída de rocas, el transporte por escorrentía y la haloclastia.

Cuando el socavamiento de la base desestabiliza el paquete suprayacente, el desplome del escarpe produce la acumulación de bloques en el talud. El espaciado de diaclasas condiciona el ritmo temporal y la magnitud relativa de cada episodio de desplome. Estos procesos ralentizan la evolución de estas vertientes respecto de aquellas cuya red de diaclasas es muy densa.

El aporte de yesos se calcula considerando la masa que

corresponde al volumen constituido por el retroceso anual de su base, la longitud del contacto y la raíz cuadrada de la altura de la vertiente, como expresión geométrica del efecto de la acumulación de bloques en el talud que ralentiza el socavamiento de la base de la vertiente y en consecuencia impide el desplome de bloques.

Vertientes en acantilado con talud de derrubios

Respecto del cauce, estas vertientes se ubican normalmente fuera del eje de curvatura del meandro. La incorporación de partículas al cauce tiene dos procedencias: a) a partir del escarpe y de otras áreas que le dominan topográficamente (vales, otras vertientes), b) a partir de los materiales que constituyen el talud de derrubios. De esta segunda fuente (y sincrónicamente al proceso de disolución) se va incorporando material particulado de variada granulometría hasta pequeños bloques, que proceden del propio frente de disolución e incluso del escarpe del pie del talud.

Tras la formación del talud, el escarpe recién creado sigue evolucionando y los materiales que de él se desprenden (por caída de rocas, escorrentía superficial y reptación del suelo y del canchal) se ubican sobre el mismo, siguiendo pautas sedimentológicas de gradación negativa. La secuencia de incorporación del yeso sigue un frente de retroceso paralelo al perfil de la vertiente. El desprendimiento esporádico de grandes bloques queda limitado por la acumulación de éstos en el talud, lo que impide la agresión de la corriente sobre la base de la vertiente y, en consecuencia, ralentiza su evolución.

La cuantificación del aporte de yeso se realiza a través de la estimación del retroceso anual del talud por la altura del mismo y la longitud del contacto, previa estimación del porcentaje de yeso en él.

Vertientes en acantilado con banquetas

Estas vertientes se ubican en cualquier situación respecto del meandro. Los aportes de yeso en partículas son de menor cuantía que en el caso de las vertientes con talud de derrubios. Por el estado de fracturación del material, parece poco probable la ocurrencia de desprendimientos de partículas de mediano o pequeño tamaño. Materiales finos y de tamaño de cantos y pequeños bloques originados por reptación del suelo, transporte por escorrentía y caída de rocas, podrán ser incorporados a la corriente cuando ésta alcance su cota en avenidas o momentos de aguas altas. A expensas de la propia banqueta, el descalce de su base puede provocar desplomes esporádicos de grandes bloques o incluso nuevos deslizamientos rotacionales.

El aporte de los yesos se calcula considerando la masa que corresponde al volumen constituido por la raíz cuadrada de la altura de la banqueta, el retroceso anual de su base y la longitud del contacto.

Vertientes con talud de derrubios de evolución subaérea

Cuando estas vertientes vuelven a ser abrasionadas, su comportamiento en el aporte de yeso particulado se asemeja, en algunos aspectos, al de las vertientes en acantilado rectilíneas. Al no estar consolidados los materiales, éstos se desprenden sobre

el cauce siguiendo un frente de retroceso paralelo al perfil de la vertiente. Los grandes bloques o las banquetas que pueden haber quedado fosilizadas por los materiales mas finos interrumpen el proceso. Suplementan a los mecanismos anteriores, el aporte de partículas por escorrentía y la reptación del suelo y del canchal.

La cuantificación del aporte de yeso se realiza multiplicando el retroceso de la base de la vertiente por la altura del talud y la longitud del contacto.

Se podría afirmar que, a igualdad de todas las otras condiciones, esta es la vertiente que más rápidamente retrocede y que por disolución, suspensión o arrastre aporta más yeso a las aguas.

La cuantificación de los aportes de yeso particulado en cada una de las situaciones específicas, ha requerido un análisis detallado de aspectos que influyen en el transporte de los yesos a las aguas circulantes y entre los cuales se encuentran: la masa de yeso en la vertiente, la velocidad de retroceso de su base, y el riesgo y frecuencia de los desprendimientos.

En el Cuadro 3 se recogen los resultados de tales estimaciones junto con el aporte total de yeso incorporado a las aguas, tanto por disolución directa como en partículas, y el porcentaje que éste representa respecto de la masa de yesos transportada en el tramo correspondiente de cada río.

Cuadro 3.- Aportes de yeso en forma particulada en los contactos litofacies yesífera-agua circulante.

RIO	CONTACTOS n ²	RETROCESO	APORTE	APORTE TOTAL	PORCENTAJE SOBRE EL YESO TRANSPORTADO
		FRENTE m/año	PARTICULADO t/año	DISUELTO + PARTICULADO t/año	
Arga	3	0.37	11834	17331	10
Aragón	7	0.44	61129	72296	-
Cinca	2	0.79	11898	13282	13
Ebro	10	0.45	42741	69648	3
Ega	10	0.78	45335	54574	73
Gállego	17	0.56	40435	77007	70
Segre	1	1.60	14848	16469	9

Se constata, por tanto, la mayor cuantía frente al mecanismo de aporte de yesos por disolución directa del realizado en partículas, que supone porcentajes comprendidos entre el 61 y el 90 %,

respecto de la masa total de yeso incorporada a las aguas en los contactos.

Para el conjunto de la cuenca, los aportes anuales de yeso producidos en los contactos por disolución directa suponen 92000 t, los realizados en forma particulada 228000 t. En total son 321000 t que representan el 11% de los yesos transportados por el río Ebro en Tortosa.

CONCLUSIONES

En la red hidrográfica del Ebro, la prospección de los 50 contactos yeso-agua inventariados, ha puesto de manifiesto que la incorporación de los yesos a las aguas circulantes se verifica por disolución o en forma particulada, y según la tipología de la vertiente y su estadio evolutivo se observan pautas diferentes en la ocurrencia y magnitud de los aportes.

Por disolución y en función de la superficie expuesta, las vertientes que más yesos aportan son las de talud de derrubios de evolución subaérea. En cuanto a la incorporación en forma particulada, el desprendimiento de grandes bloques, que se produce de forma esporádica y cuya frecuencia se ajusta a la velocidad del proceso de disolución, se asocia a las vertientes con talud de derrubios y con banquetas. Los movimientos de partículas y de masas, de mayor frecuencia, son característicos de las vertientes con talud de derrubios de evolución subaérea y de las vertientes en acantilado rectilíneas y con banquetas.

RESUMEN

En la red hidrográfica del Ebro y para cursos fluviales de caudal superior a $15 \text{ m}^3/\text{s}$, el número total de contactos directos entre las litofacies yesíferas y las aguas circulantes es de 50 y se extienden a lo largo de 22 km. En estas situaciones, la incorporación de los yesos a los cauces se verifica por disolución o en forma particulada, y según la tipología de la vertiente y su estadio evolutivo se observan pautas diferentes en la ocurrencia y magnitud de los aportes. En conjunto, esta incorporación se ha estimado en 321000 toneladas al año que representan el 11 % del total de yesos transportados por el río Ebro en Tortosa.

REFERENCIAS

- Navas, A. 1989. Una ecuación cinética para calcular la velocidad de disolución de rocas yesíferas en los cauces de la cuenca del Ebro. *An. Aula Dei* 19(3-4): 301-311.
- Navas, A. 1989. Implicaciones geomorfológicas del contacto en los cauces entre litofacies yesíferas y las aguas circulantes en la Cuenca del Ebro. *An. Aula Dei* 19(3-4): 313-320.
- Mesa, P.A. 1865. Reconocimiento hidrológico del Valle del Ebro. Junta General de Estadística. 128 pp. Madrid.
- M.O.P.U. 1972-1985. Análisis de la calidad de aguas. Red Oficial del M.O.P.U. Dirección General de Hidráulica. Madrid.

-
- Morisawa, M. 1984. Rivers. Ed. K.M. Clayton. Longman Group Ltd. London. 222 pp.
- Navas, A. 1983. Las litofacies yesíferas de la Cuenca del Ebro. Síntesis Cartográfica y consideraciones sobre su papel en la Planificación Territorial. Tesis Master Sc. I.A.M.Z. 239pp.