

Breve introducción a la: Erosión, transporte y sedimentación en la cuenca del Ebro.

Texto redactado en 2021

Hablamos de caudales, de volúmenes de embalses, de riadas, incluso de calidad de las aguas o estado ecológico de los ríos. Sin embargo, no solemos prestar la suficiente atención a la erosión de nuestras cuencas, al transporte de los sedimentos por los ríos, y los lugares donde se terminan depositando.

El aterramiento de embalses y azudes, la pérdida de suelo fértil, la afección sobre diversas infraestructuras, la proliferación de plantas acuáticas en los cauces o la regresión del Delta del Ebro, está poniendo esta temática en primera línea mediática y haciendo redoblar los esfuerzos de la Dirección General del Agua, donde se integra la Confederación Hidrográfica del Ebro (CHE), por monitorizar lo mejor posible los cambios que se están detectando. A ello se une el precepto recogido en la Ley 7/2021 de cambio climático y transición energética en la que se insta a incluir en la planificación hidrológica “los impactos derivados de la retención de sedimentos en los embalses y las soluciones para su movilización”.

En los libros de Ciencias Naturales se explica que en las cabeceras de las cuencas hidrográficas predomina la erosión, en los tramos medios el transporte, y ya cerca del mar, en zonas de baja pendiente, la sedimentación. Pero la construcción de embalses para garantizar el suministro de agua ha modificado parcialmente esta dinámica. Además, muchos de estos embalses llevaron asociadas importantes campañas de reforestación de su cuenca vertiente con lo que tanto el aporte de sedimentos como el de caudales ha disminuido.

La erosión en la cuenca del Ebro

La intensidad de la erosión en una cuenca depende de múltiples factores como el carácter torrencial de las precipitaciones, la presencia de litologías deleznales, la pendiente, la cobertura vegetal, el abandono de tierras cultivadas, incendios forestales, inadecuadas prácticas de forestación, aperturas de pistas y caminos, etc.

El ICONA elaboró en 1987 un mapa de estados erosivos en la cuenca del Ebro utilizando el modelo USLE (Ecuación Universal de Pérdidas de Suelo). Este mapa (Figura 1) permite visualizar que en el 1,5 % de la cuenca del Ebro, la erosión es extrema; son las típicas zonas acarcavadas que se forman en los Pirineos, en las margas eocenas, o en los Terciarios arcillosos de Bardenas y Monegros. En el 2,9 % la erosión es muy alta y en el 7,6 % alta. Las zonas más erosivas se sitúan en las cuencas del Ésera, Isábena, Gállego medio, Aragón medio, Irati bajo, Arga medio, Araquil, Najerilla bajo, Queiles y Jalón medio.

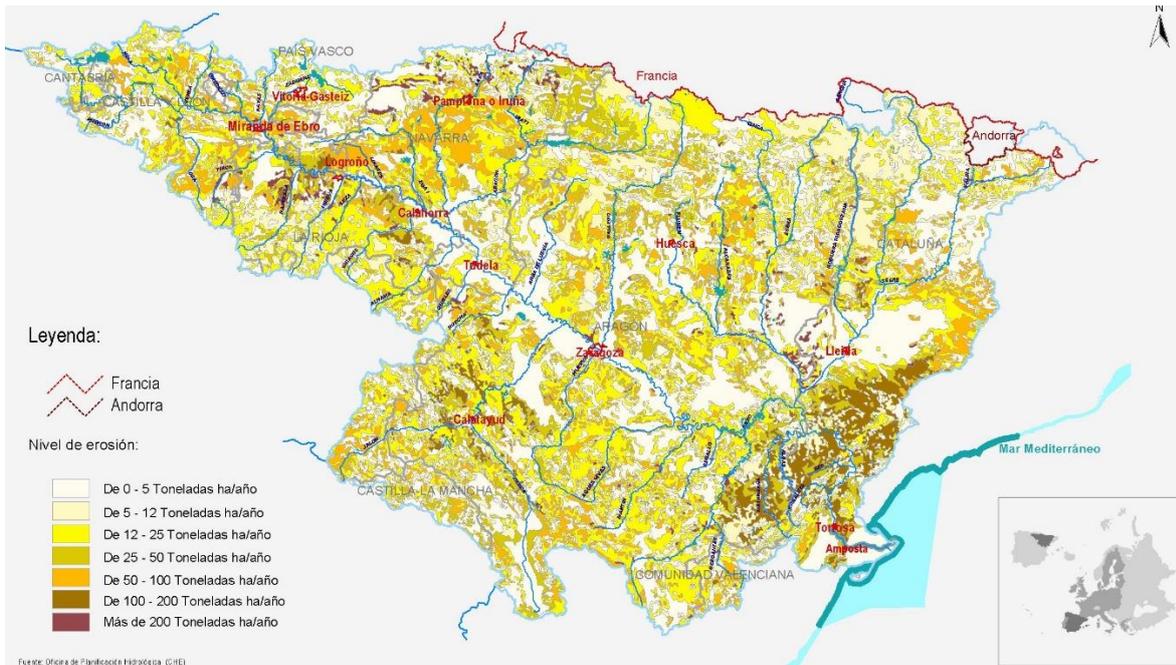


Figura 1: Mapa de estados erosivos de la cuenca del Ebro (Fuente CHE)

Por otro lado, el intenso trabajo realizado en España desde 1980 a partir de la “Red de Estaciones Experimentales de Seguimiento y Evaluación de la Erosión y la Desertificación” y recopilado a partir de la excelente síntesis realizada en García y Bermúdez (2009) aporta una mediana de todas las tasas erosivas realizadas en España del orden de 100 t/km².año (Figura 2). Si aceptásemos esta tasa como un valor medio para la cuenca del Ebro se obtendría una generación de sedimentos del orden de 8,5 millones de toneladas por año.

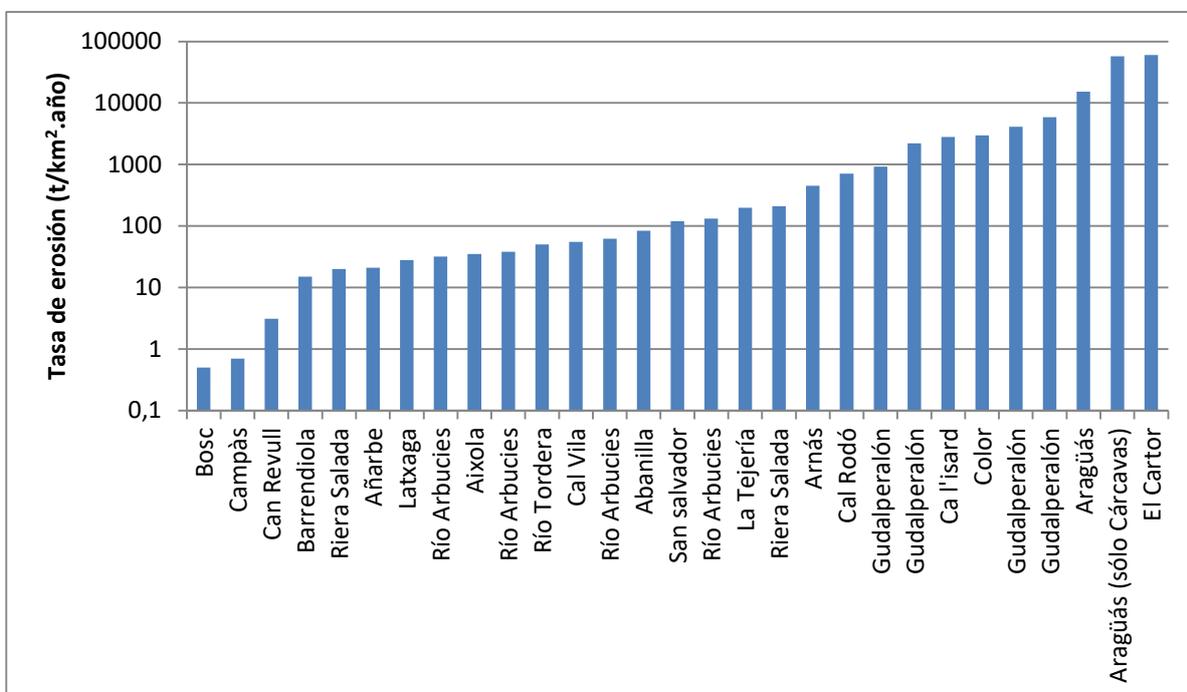


Figura 2: Tasas de erosión de parcelas experimentales en España desde 1980 (elaborado a partir de síntesis de García y Bermúdez, 2009).

Evolución histórica de la erosión

Desde principios del Holoceno ya se produce en la Península ibérica una progresiva pérdida de masa forestal con el consiguiente incremento de la erosión del suelo. A partir del 4.000 AC los incendios, la agricultura y el pastoreo reducen significativamente la cubierta vegetal, constatándose que en época romana ya sólo quedaba la mitad del bosque original.

A comienzos del siglo XVI el auge de la ganadería lanar causa gran desolación forestal y empieza a escasear leña y madera para construcción. En el siglo XVIII la deforestación continúa por la necesidad de madera para los barcos, explotaciones mineras y metalurgias y la presión ganadera. Durante el XIX se produce la tala más grave de la historia de España (40.000 km²), relacionada con la venta de monte público tras la desamortización de Mendizábal. Así, por ejemplo, en la cuenca del Ebro se eliminaron magníficos carrascales para favorecer el viñedo.

Las importantes pérdidas de suelo y las graves inundaciones que siguieron hicieron crecer la sensibilidad por el cuidado de los bosques. Dos hitos destacan en esa reacción: la creación de la Escuela de Ingenieros de Montes en Madrid, en 1848, y en la promulgación de la ley de Montes, en 1863.

El Regeneracionismo, con Lucas Mallada y Joaquín Costa como figuras relevantes, apuesta por la repoblación forestal, y a comienzos del siglo XX se empieza a realizar en cuencas vertientes a embalses. Entre 1940 y 1984 se reforestaron 33.830 km² en España. De ellas el 90% se hizo con diferentes especies de pinos.



Paisaje erosivo en arcillas en las Bardenas reales (Navarra)

Esta historia tiene sus puntos de apoyo en registros palinológicos realizados en la cuenca del Ebro, como los del lago de Tramacastilla (cuenca del Gállego), donde se observa claramente que es a partir

del siglo XII cuando se sustituye el bosque por el pasto para los rebaños trashumantes, o los del lago de Estaña (Ribagorza). También diversos registros sedimentológicos en laderas y fondos de valle en Chalamera (Cinca bajo), bajo Huerva, Alfocea, Juslibol o Bardenas Reales, o San Adrián de Sasabe, en la Jacetania, refuerzan la cronología de los acontecimientos.

Las cubierta forestal de la cuenca del Ebro

Según el censo agrario de 1989, el 40% de la superficie de la cuenca del Ebro (35.000 km²) está cubierta por vegetación natural. 15.000 km² corresponden a herbáceas o matorral y 20.000 km² a formaciones arbóreas (6.000 km² de frondosas, 12.000 km² de resinosas y 2.000 km² mixtas).

El CSIC estudió para la CHE (García Vera et al, 2003) 27 subcuencas de cabeceras montañosas. Se compararon los inventarios forestales de 1970 y 1991 viéndose que en el 85% de cuencas se ha producido un incremento importante en la superficie ocupada por el bosque (10,4%), bien sea como consecuencia del abandono del mundo rural o por labores de reforestación. Extrapolado este crecimiento a toda la cuenca del Ebro, se puede estimar un crecimiento forestal situado entre el 4,7 y el 8,9% en tan sólo 21 años.

Estos cambios en la ocupación del suelo no sólo se traducen en una menor erosión, sino que también disminuyen las aportaciones de agua, por el fenómeno de la interceptación. Para el total de la cuenca del Ebro, en la estación de Tortosa, se considera que se está reduciendo a un ritmo de 24 hm³/año.



Paisaje forestal y río Gallego aguas abajo de Anzánigo

Batimetrías en embalses

Los embalses, cuyo beneficio social es incuestionable, son zonas de retención de los sedimentos transportados por los ríos. En la cuenca del Ebro existen algunos ejemplos de pequeños embalses totalmente aterrados, como las presas romanas de Almonacid de la Cuba y Muel, pero también otros de época reciente, como Ardisa (capacidad inicial de 5 hm³) o Sabiñánigo (1 hm³). Hay embalses que han perdido sólo parte de su capacidad original, tal es el caso de La Peña (de 25 a 15,3 hm³), Barasona (de 92 a 71 hm³, hasta el año 1996) o Terradets (de 31 a 12 hm³).

La realización de batimetrías permite ir viendo la pérdida de la capacidad del embalse, entender los procesos erosivos que están ocurriendo en la cuenca vertiente, y establecer estrategias para alargar al máximo su vida útil. En la cuenca del Ebro hay varios embalses que han sido especialmente estudiados:

-Yesa, en el río Aragón. Construido en 1959, cuenta con dos batimetrías, realizadas en 1969 y 1986, habiendo pasado de una capacidad de 471 a 457 y 450 hm³ sucesivamente. El aporte de sedimentos es muy elevado los primeros años (1025 t/km²/a), reduciéndose a 285 t/km²/a en los 17 años siguientes.

-Barasona, en el río Ésera. Entró en servicio en 1932 y tuvo que vaciarse en 1996 para reparar los desagües de fondo, momento que se aprovechó para realizar un estudio sedimentario. La mayor parte de los acarrees provenían de eventos de crecida, detectándose un descenso de la sedimentación entre los años 1960-70 y 1970-90. La tasa media de erosión obtenida es de 289 t/km²/a, similar a la obtenida en Yesa en el segundo periodo.



Gravas depositadas en el congreso de Ólvena (río Ésera)

Valores obtenidos en otros embalses son: Terradets, en el río Noguera Pallaresa (230 t/km²/a), Oliana, en el Segre (246), Santa María de Belsué, en el Flumen (216) o Cueva Foradada, en el Martín (176). Destacan valores muy bajos obtenidos en los embalses de Santolea, en el Guadalope (18) y Tranquera, en el Piedra (8,4), sin duda por el importante efecto filtrador y regulador que ejercen los extensos acuíferos existentes en las respectivas cuencas vertientes.

Los embalses del tramo final del Ebro

Especial relevancia tienen los embalses situados en el tramo final del Ebro: Mequinenza, Ribarroja y Flix, ya que reflejan lo que le está ocurriendo a la cuenca entera, no sólo a algunas de sus cabeceras. En el primero, el de Mequinenza, el más grande de la cuenca (1.530 hm³), recientes estudios realizados por el CEDEX estiman en 243 hm³ el volumen de sedimentos depositados, siendo los primeros años tras su puesta en servicio (1964) los de máxima acumulación. El flujo retenido ha ido decreciendo desde 9,28 Mt/a hasta 2,4-3,2 Mt/a actuales. La mayor parte de los sedimentos se encuentran en una zona muy alejada de la presa, entre los 45 y los 85 km.

El embalse de Ribarroja, situado justo aguas abajo, entró en funcionamiento 5 años después, recogiendo también los aportes del sistema Segre-Cinca. Con una capacidad inicial de 219 hm³, la batimetría realizada en 2007 arrojó un volumen de sedimentos algo superior a los 13 hm³ y una tasa anual de acumulación de 0,27 Mt/a. Estimaciones recientes del CEDEX indican que el volumen de sedimentos es de 19 hm³. En la cola del embalse, denominada el Aiguabarreig, se sitúa la zona de mayor sedimentación.



Pueblo de Mequinenza y acumulación de sedimentos en la cola del embalse de Ribarroja

Medidas de flujo de sedimentos

En CHE (2018) se recopilan todos los datos de medidas de flujo de sedimentos que se han ido realizando por diferentes investigadores en el río Ebro. El dato más antiguo, tomado probablemente durante crecidas, es de 1.877, y arroja una cifra de 25 Mt/a. Otro valor alto es el obtenido a comienzos de los años 60: 2,2 Mt/a. El CEDEX estima razonable, antes de la construcción de los embalses, una cifra del orden de 6 Mt/a.

Una vez construidos los embalses de Mequinenza y Ribarroja, se empieza a constatar la diferencia entre los datos de entrada y salida: 1,48 frente a 0,32 Mt/a en los años 80; 0,76 frente a 0,4 Mt/a en los 90; 1,64-0,45 Mt/a entre 2002 y 2004; 0,65-0,07 Mt/a entre 2008 y 2012. Arasa y Guillén (2019) evalúan el aporte sedimentario analizando los datos del Consorci d'Aigües de Tarragona (CAT) concluyendo que para los últimos 8 años el aporte medio es de 0,071 Mt/a. El CEDEX estima una tasa de exportación de sedimentos en la actualidad de 0,37 Mt/a.

Crecidas de mantenimiento

La CHE viene realizando diversas crecidas de mantenimiento, con el objetivo de regenerar cauces que empiezan a quedar ocupados por vegetación o muestran el lecho acorazado. Estas crecidas implican la movilización de una no desdeñable cantidad de sedimentos.

En colaboración con ENDESA, el año 2003 comenzaron las crecidas controladas en el tramo final del Ebro. Al principio el objetivo era sólo actuar sobre la población de macrófitos, que estaban proliferando desmesuradamente y suponían un problema en la toma de la central nuclear de Ascó. Posteriormente se incorporaron al régimen de caudales ecológicos del río, realizándose dos al año: una en primavera y otra en otoño. Los caudales máximos se sitúan entre 1.200 y 1.350 m³/s, procurando generar tres puntas durante unas 7-8 horas. La turbidez se monitoriza en las estaciones SAICA de Ascó, Xerta y Tortosa. Además, se toman muestras de agua y sedimento para su posterior análisis, ya que hasta fechas recientes el embalse de Flix acumulaba importantes residuos industriales. Por ejemplo, en las crecidas de primavera del 2016 se movilizaron 1.000 tn, en la del 2017 2.000 tn, en la del 2018 10.000 tn y en la del 2020 6.000 tn. En total son 19.000 tn, que traducidas a volumen podrían resultar del orden de 12.000 m³ de sedimento, equivalente a unos 1.000 camiones grandes, tipo bañera, de los que se utilizan para el transporte de áridos.

Otro embalse en el que se realizan sueltas todos los meses de septiembre es el de Eugui, en el Arga. El objetivo es eliminar parte del hierro y el manganeso que va precipitando en los niveles profundos anóxicos del embalse. La crecida suele durar unas 3 horas y es aprovechada por los navegantes de aguas bravas.

En la primavera de 2020, el día 30 de abril se dieron las circunstancias hidrológicas para realizar una primera experiencia de crecida de mantenimiento en el río Cinca, aguas abajo de El Grado. El caudal máximo fue de 350 m³/s. También unas semanas después, el 13 de mayo, se generó otra en el tramo bajo del Segre, coordinadamente con ENDESA. Desde el embalse de Rialb el caudal liberado era de 150 m³/s a los que se sumaban 200 m³/s desde el embalse de Camarasa, en el Noguera Pallaresa.

Por último, en septiembre de 2020, hubo que realizar una maniobra para aumentar el resguardo en el embalse de Cueva Foradada, y se aprovechó para realizar dos pequeñas crecidas (30 de septiembre y 1 de octubre) en el río Martín. El caudal máximo fue de 20 m³/s.



Desembocadura en el río Ebro de la crecida controlada del río Martín observándose la mayor turbidez del río Martín con respecto a las aguas del río Ebro (1/10/2020)

El Delta del Ebro

El río Ebro entrega sus aguas y sus sedimentos al mar Mediterráneo en el Delta del Ebro. Existe un gran debate en la sociedad sobre el futuro de este singular espacio de transición, donde se libra un pulso continuo entre los sedimentos que aporta el río, fruto de la erosión en la cuenca, y el poder de las corrientes y los temporales marinos.

Badault y Teixell publicaron en 2007 un interesantísimo artículo en el que evaluaron el volumen de sedimentos que ha sido erosionado en la cuenca del Ebro desde que se produjo su apertura al Mediterráneo, al comienzo del Plioceno. En los aproximadamente 5 millones de años transcurridos desde entonces, el volumen de material que falta es de 37.800 km^3 . Esta cifra es del mismo orden de magnitud que el volumen de sedimentos depositados bajo el mar, lo que podríamos denominar coloquialmente el “delta sumergido”, evaluados mediante interpretación de perfiles sísmicos: 32.000 km^3 . Una sencilla división entre el volumen de sedimentos y el tiempo, nos indica un aporte medio, en volumen, de entre $6,4$ y $7,5 \text{ hm}^3/\text{a}$. Suponiendo un peso específico de $1,6 \text{ t/m}^3$, lo traduciríamos por entre $10,2$ y 12 Mt/a .

Tal como se ha visto a lo largo del artículo, la erosión en la cuenca ha ido en aumento conforme el ser humano la deforestaba. Muchas publicaciones muestran la evolución histórica del Delta y cómo en época romana, por ejemplo, apenas existía, y luego fue creciendo en extensión haciéndose prominente y más tarde achatándose. Pero poco se ha atendido a la evolución del nivel del mar durante estos siglos, factor que también influye en su configuración.

Durante la última glaciación cuaternaria, es decir al final del Paleolítico, hace unos 20.000 años, el nivel del mar se situaba 125 metros más bajo que en la actualidad. La línea de costa, por lo tanto, se ubicaba más al sureste. En el Neolítico el nivel había subido, pero todavía estaba a -40 metros, y entre el 4.800 y el 2.200 AC entre -5 y -7 metros. En época romana se alcanza el nivel actual, circunstancia por la cual no había ningún Delta emergido, ya que el Mediterráneo había ido inundándolo progresivamente.

La variación del nivel más reciente se produjo durante la Pequeña Edad del Hielo (siglos XIV-XIX). Durante estos siglos, el crecimiento continuo de los glaciares, a nivel mundial, se tradujo en un descenso de 0,2 m. Coinciden por tanto en el tiempo máxima erosión en la cuenca y nivel bajo del mar, lo que conforma un gran delta. En 1864 se construyó un faro en la punta del Delta, en la isla de Buda, ya que los navegantes quedaban encallados en los “nuevos” bancos de arena.

Esta nueva situación animó a ocupar agrícolamente el Delta, poniéndolo en regadío, primero la margen derecha y luego la izquierda. El territorio no era muy propicio y, periódicamente había inundaciones. El Ebro se ramificaba, en varios brazos, por lo que hubo que cortarlos, construyendo dos largas motas que conducían todo el caudal hasta la punta del Delta. La principal consecuencia de esta transformación fue que los sedimentos dejaron de desparramarse por el Delta, y desde entonces todo el material transportado en crecidas ha sido entregado al Mediterráneo a la altura de la isla de Buda.

En el último siglo hay constatado un ascenso de 0,2 m en el nivel del mar. En las últimas décadas el ritmo es ya de 3,5 mm/a, y continúa acelerándose. El faro de Buda se hundió como consecuencia de la gran riada del Ebro de 1961. Los temporales arrancan arena de las playas y la introducen mar adentro. El oleaje y el viento crean cordones litorales que generan una falsa sensación de línea de costa fija. Sin embargo, comparando imágenes aéreas y cartografía se ve que el Delta va cambiando, con varias zonas donde retrocede (Marquesa-El Fangar, Trabucador) y otras (Nou Garxal, playa de los Eucaliptus, puntas de El Fangar y La Banya) donde crece.



Punta de la Banya y salinas de la Trinidad (al fondo) en el hemidelta sur del delta del Ebro

Vemos, por lo tanto, que la parte emergida del Delta es un pequeño “iceberg geomorfológico”, y que al pulso entre río y mar hay que añadir el progresivo aumento del nivel del mar. Los agricultores han ido conviviendo con estas circunstancias durante más de 100 años; han ido creando pequeñas motas paralelas a la costa e implantando estaciones de bombeo para poder desaguar al mar. Por ejemplo, en enero de 2020, tras el temporal Gloria, los tornillos de Arquímedes estuvieron funcionando varias semanas.

El foco mediático está puesto en los sedimentos que están retenidos en los embalses: si se movilizaran hasta el Delta podrían compensar la subida del nivel del mar y la subsidencia (compactación natural), de la que en estos momentos la CHE con la supervisión del IGN está realizando estudios topográficos de precisión para evaluar su tasa real.

En estos momentos está pendiente de presentarse la versión consolidada, tras la consulta pública del “Plan para la protección del delta del Ebro”, liderada por la Dirección General de Costas y del Mar del MITERD. Entre las medidas relacionadas con la recuperación del tránsito sedimentario en la cuenca del Ebro se plantean inversiones de 11,3 M€ por parte de la Dirección General del Agua en colaboración con el CEDEX y en coordinación con la Agencia Catalana del Agua. Estas medidas se basan en la realización de caracterizaciones de sedimentos y batimetrías de cauces y embalses, la realización de modelos y de experiencias piloto. Estas medidas van a suponer una mejora del conocimiento que permitirá asegurar la viabilidad de la realización de actuaciones de recuperación del tránsito sedimentario.

Bibliografía

Arasa-Tuliesa, A., Guillén, J. (2019): “Gestió dels sediments del riu Ebre: optimismo vs mesures palliatives”. *Soldó. Informatiu del Parc Natural del delta de l'Ebre* nº 50, pp 28-30.

García Ruiz, J.M., López Bermudez, F. (2009): “La erosión del suelo en España”. 441 pp

CHE (2018): “Evaluación preliminar sobre las posibilidades de restauración del tránsito sedimentario en los embalses de Mequinenza-Ribarroja-Flix”. Entidad colaboradora: Universidad Politécnica de Madrid (investigador principal Garrote de Marcos, L.). 266 pp.

García Vera, M.A., Coch Flotats, A., Gallart, F., Llorens, P., Pintor, M.C. (2003): “Evaluación preliminar de los efectos de la forestación sobre la escorrentía del Ebro”. *Actas del XI Congreso mundial del Agua*. Madrid. pp 1-11

Badault, J., Teixell, A. (2007): “El relieve de los Pirineos”. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra* (15.2) pp 135-150.