

5. El papel de los humedales aragoneses frente al cambio climático

Responsables:

Francisco Comín <comin@ipe.csic.es>

Juan José Jimenez <jjimenez@ipe.csic.es>

5.1 Los humedales y el cambio climático

El papel de los humedales frente al cambio climático

Los humedales juegan un papel muy significativo en el ciclo global del carbono en la Tierra; un papel dinámico absorbiendo carbono atmosférico via fotosintética y producción primaria y almacenando el carbono en forma de biomasa y en el suelo por la vía detrítica y sedimentaria. Según el Panel Científico y Técnico de la Convención Ramsar los humedales ocupan el 9% (1.280×10^6 has) de la superficie terrestre de la Tierra y se estima que almacenan el 35% del carbono terrestre, aunque ambas estimaciones requieren estudios detallados para precisar la magnitud de las cifras, para disponer de estimaciones más precisas tanto del área ocupada por los humedales como del carbono que almacenan, y continuados, para incluir en las estimaciones la variabilidad temporal. En cualquier caso, el orden de magnitud del carbono almacenado en los humedales es muy notable y destacado en comparación con otros ecosistemas terrestres (Fig. 19)

Por otra parte los humedales cumplen unas funciones y tienen unos valores por los servicios ambientales que proveen muy destacados en el marco global además de la amortiguación del cambio climático por el almacenamiento de carbono: regulación de flujos de contaminantes, de desastres naturales, retención y formación de suelo, valores culturales y recreativos, de provisión de alimentos y materias primas. De la estimación realizada en 1997 por Costanza et al. (1997) destaca el valor muy superior por hectárea y año de los servicios de los humedales en comparación con otros ecosistemas generales de la Tierra (Tabla 8).

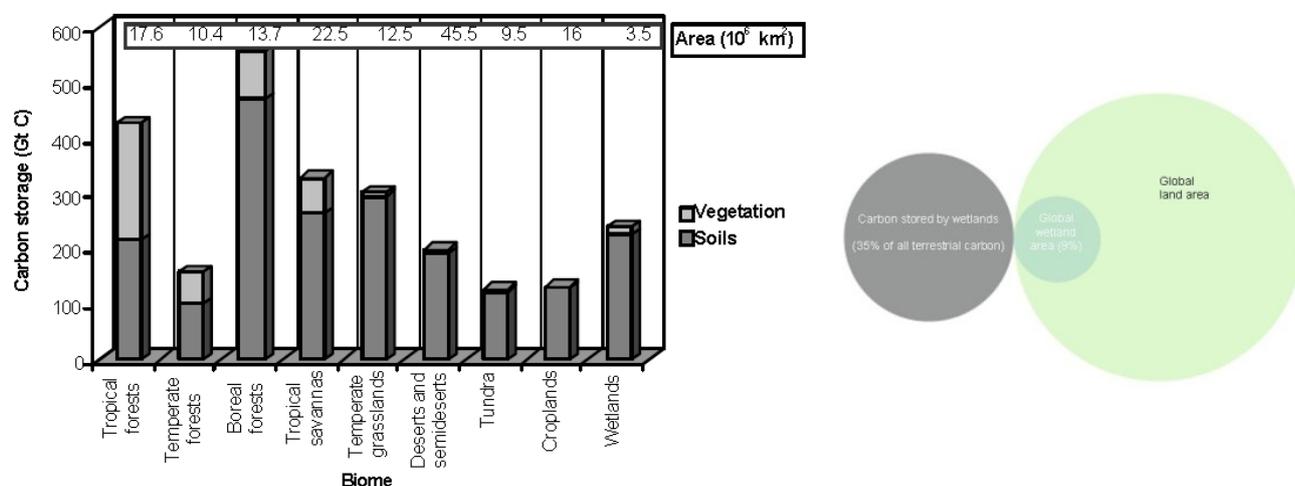


Fig. 19: Carbono almacenado y área ocupada por diferentes biomas de la Tierra (Mitra et al., 2005, p. 30). e imagen esquematizada de éstas magnitudes.

Tabla 8: Valor del servicio ecosistémico por tipos (según Constanza et al 1997).

Ecosistema	Área, ha • 10 ⁶	Valor por hectárea y año 1994 US\$ ha ⁻¹ yr ⁻¹	Valor Total 1994 US \$ yr ⁻¹
Océano	33.000	252	8.381
Estuario	240	22.832	4.110
Zonas húmedas	330	14.785	4,879
Lake/River	200	8.498	1.700
Terrestrial	15.323	804	12.319
Total	51.625		33.268

Ciclo del carbono en los humedales

En los humedales el carbono atmosférico es asimilado por las vegetación (a través de las hojas de las plantas) y por el proceso de fotosíntesis es incorporado a las estructuras vegetales formando biomasa. Al dejar de ser fotosintéticamente activa y morir, la vegetación se descompone y libera sus componentes. En los humedales, este proceso puede ser relativamente lento (en condiciones anaeróbicas) o relativamente rápido (en condiciones aeróbicas). En cualquier caso, a largo plazo se produce una acumulación de materiales orgánicos en el sedimento que puede ir subiendo su nivel, junto con materia

inorgánica, en el proceso de acreción. Todo ello ocurre con procesos naturales en los humedales, sometidos a su hidrología natural. Parte del carbono puede emitirse a la atmósfera en forma de gases resultantes de la propia descomposición de la materia orgánica en condiciones anaeróbicas y aeróbicas (Fig. 20).

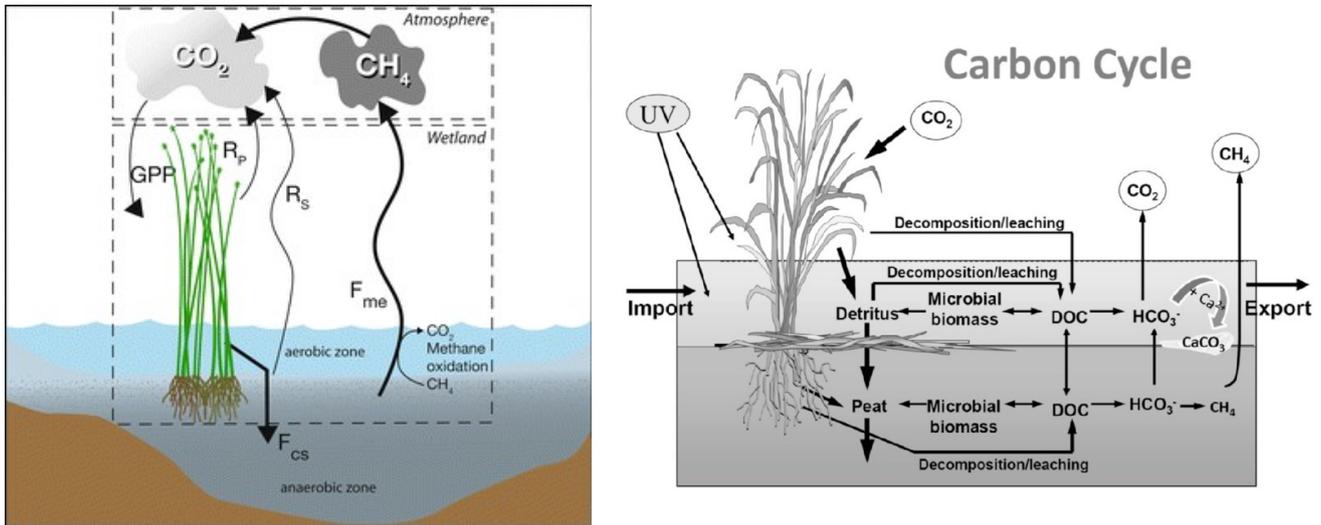


Fig. 20: Izda.: Esquema simplificado de los procesos biogeoquímicos relacionados con la acumulación y emisión de carbono de los humedales (Mitsch et al., 2013). Dcha.: Ciclo completo del carbono en humedales (Mitsch & Gosselink, 2000).

Otros ciclos de los elementos químicos

El ciclo del nitrógeno en la Tierra y, particularmente, en los humedales es similar al del carbono. Tiene una fase de intercambio con la atmósfera y experimenta cambios entre de los distintos compuestos o formas en que puede presentarse según el estado de oxidación-reducción del medio en que se encuentre. Como en los humedales se puede encontrar un gradiente espacial y temporal de oxidación-reducción el ciclo del nitrógeno puede mostrar las distintas formas y los procesos que regulan los intercambios entre ellas (Fig. 21).

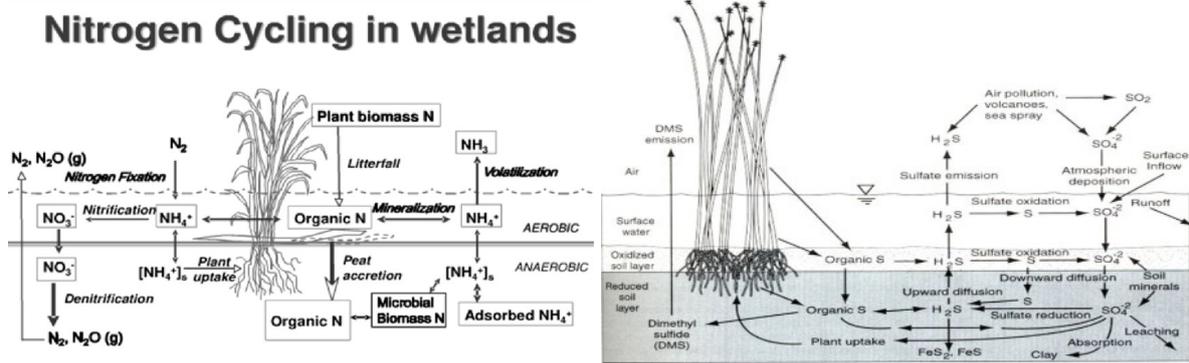


Fig. 21: Izda.: Ciclo del nitrógeno; dcha.: ciclo del azufre en humedales.

El ciclo del azufre es muy similar al del nitrógeno y al del carbono, con posibilidad de emitir compuestos reducidos en forma de gas a la atmósfera.

Gestión de los humedales en relación al cambio climático

Como se deduce de la Fig. 20 y de los procesos biogeoquímicos en relación con los hidrogeoquímicos que los regulan, la clave del funcionamiento de los humedales frente al cambio climático, y también en relación con muchas otras funciones, es la hidrología: Si en los humedales se mantiene una hidrología acorde con la estructura biológica resultante, los procesos de producción y descomposición vegetal llevarán en ambiente aeróbico, anaeróbico o yuxtaposición de ambos en un mismo sitio a la acumulación a más o menos plazo de materia orgánica y de carbono en el sedimento.

Si se alteran, en el espacio o en el tiempo, los procesos hidrológicos que regulan los procesos biogeoquímicos en los humedales, se pueden incrementar o disminuir el papel de los humedales en relación con el cambio climático a través del ciclo del carbono. El fenómeno más común que ha ocurrido durante los últimos decenios es la desecación o reducción de los flujos hidrológicos en los humedales. La consecuencia ha sido una disminución del crecimiento vegetal, la disminución de la acumulación de carbono y la liberación a la atmósfera del carbono acumulado durante decenios.

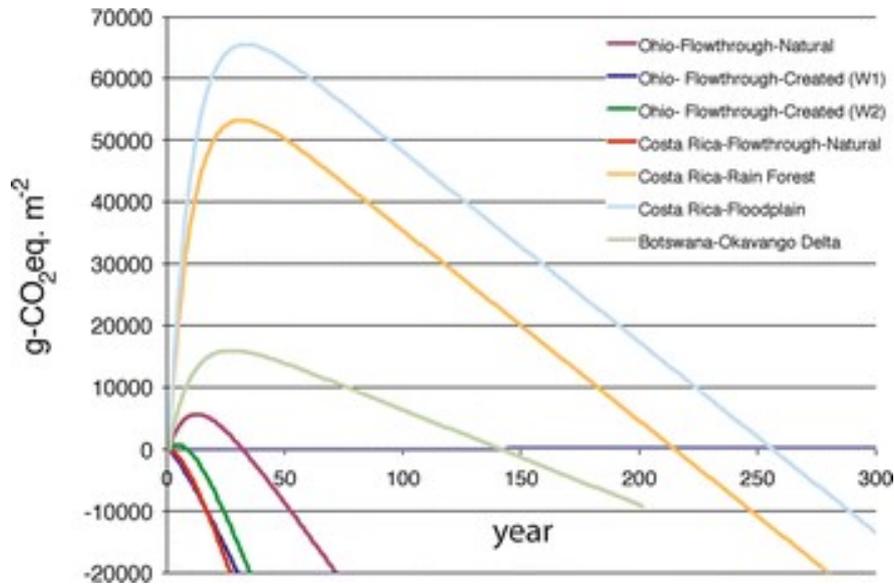


Fig. 22: Simulación del balance de carbon atmosférico en siete tipos de humedales durante 300 años de funcionamiento hidrológico normal. Todos los humedales causan disminución de CO₂ equivalente en la atmósfera (por debajo de la línea cero en el eje vertical) y algunos humedales se comportan como sumideros netos desde el comienzo de la simulación (Mitsch et al., 2013).

Si se tiene en cuenta que la mitad, en extensión, de los humedales de La Tierra desaparecieron durante el siglo XX, se puede tener una estima del papel potencial que los humedales podrían haber tenido respecto al cambio climático. La restauración de humedales podría tener un papel positivo en el sentido de acumular carbono atmosférico. Para ello es necesario que los humedales degradados o desaparecidos recuperen una estructura vegetal y los procesos hidrogeoquímicos que regulan los ciclos biogeoquímicos. Esto, los procesos, puede tener lugar rápidamente en algunos humedales – del orden de 1 a 25 años, (Moreno-Mateos et al., 2012) –. Pero las tasas netas de captación de carbono y acumulación pueden variar en un rango muy amplio según los tipos de humedales y sus condiciones ecológicas – de 1 año a 2 siglos – (Fig. 22).

Es conveniente recordar que los humedales son ecosistemas tendentes al crecimiento y descomposición vegetal y a su acumulación en el sedimento y a la acreción del mismo, aunque hay humedales expuestos a intensos flujos hidrológicos en los que la acumulación de materia es muy lenta. Más aún, en algunos lugares expuestos a intensos flujos hidrológicos es normal y deseable que la distribución del mosaico de ambientes vaya cambiando con el tiempo al ritmo que marcan los reguladores hidro-biológicos. El esquema siguiente lo ejemplifica representando las flechas el paso del tiempo (Fig. 23)

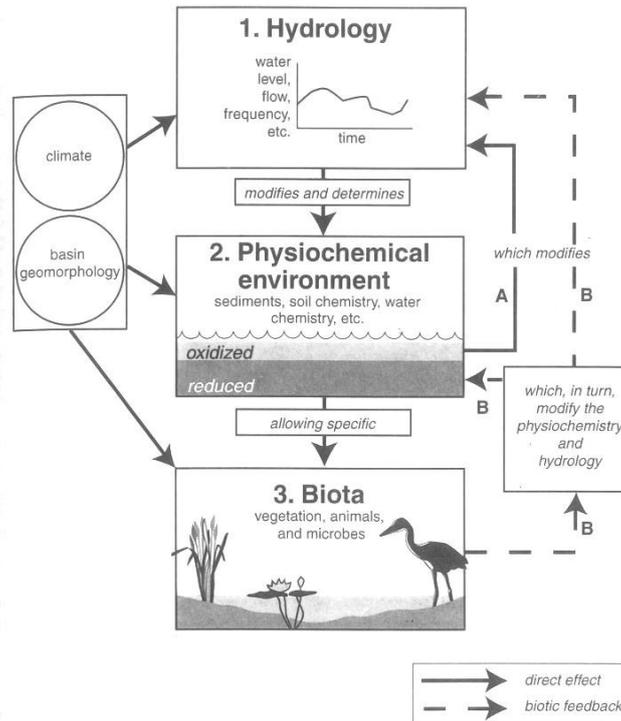


Fig. 23: Esquema que representa el aumento de la complejidad estructural de los humedales conforme pasa el tiempo (de 1 a 3) y los factores reguladores.

Por ejemplo, en una zona de inundación aluvial sería normal que en subsecuentes avenidas la distribución de zonas inundadas permanentemente y temporalmente cambie, originándose y desapareciendo alternativamente en el tiempo. El caso de la llanura de inundación del Ebro Medio sería paradigmático en este sentido, pero ya se ha perdido dinamismo y la capacidad del río de generar nuevos ambientes (por ejemplo, galachos) y rellenar otras zonas formando prados aluviales y bosques de galería, es mínima, por lo que la tendencia visible es a la colmatación de las zonas inundadas e inundables (entre ellas los galachos) y a la pérdida de diversidad de paisaje y de biodiversidad (Cabezas et al., 2009). Algo similar ocurre con lagunas saladas represadas (por ej.: Sariñena, Estanca de Alañiz).

En este sentido, la mejor gestión que se puede hacer en los humedales es mantener la hidrología que los regula, o recuperarla si se ha alterado. Actuaciones como el drenaje de los humedales, su aislamiento hídrico y paisajístico de los ecosistemas anexos, o la ocupación o eliminación de partes del humedal tendrán la consecuencia de alterar negativamente la hidrología y el ciclo del carbono y, por tanto, del papel del humedal frente al cambio climático que se estableció a lo largo de su historia, además de en los

otros valores que pueda tener. La recuperación de esas funciones y de sus valores será imposible o parcial si no se recupera la hidrología, y tardará tiempo.

5.2 Los humedales de Aragón: perspectiva general en relación al cambio climático

Tipología, distribución y funciones ecológicas

En Aragón hay una amplia variedad de tipos de humedales. Su distribución es acorde a la orografía (Fig. 33, p. 84), con lagunas y turberas en zonas de montaña y zonas inundables en las riberas de los ríos. En zonas intermedias hay humedales formados por la descarga de agua subterránea y depresiones de más o menos extensión en las que hay balsas de distinto tipo, incluyendo los lagos salados en zonas con materiales salinos subyacentes.

Esta variedad de humedales hace que en su conjunto muestren un amplio rango de funciones y valores: almacenan agua, retardan su flujo y el de contaminantes, albergan una gran biodiversidad, y tienen una contribución extraordinaria al paisaje en un territorio donde los sistemas acuáticos son menores en número y extensión, y el agua escasea. De igual forma que en el marco mundial, se puede decir que los humedales en Aragón proveen una gran variedad y valiosa de servicios ambientales. Esta es una apreciación cualitativa que podría ser de interés evaluar cuantitativamente.

Potencial cualitativo para almacenar carbono

Con respecto al almacenamiento de carbono y su contribución a mitigar el cambio climático globalmente, no es esperable que los humedales de Aragón contribuyan significativamente debido a su escasa extensión. Los de mayor extensión son las llanuras de inundación y los carrizales. Son también los que pueden acumular por unidad de extensión una cantidad relevante de carbono y, por la dinámica de la materia orgánica en ellos, llegar a acumular en los sedimentos una cantidad relevante de carbono.

En el caso de las llanuras de inundación, especialmente en la del Ebro Medio, la cantidad de necromasa y carbono, acumulada encima del suelo también es relevante.

Gran cantidad de madera se acumula por la interacción de las riadas y la dinámica de la vegetación riparia que al caer se acumula en forma de troncos y ramas sobre el suelo y, por la descomposición, parar a acumularse en el suelo. Este proceso se ve interrumpido si se extraen los troncos y ramas o se altera el proceso de descomposición,

disminuyendo la acumulación de carbono en el suelo. De hecho, las crecidas de los ríos contribuyen a este proceso positivamente y a otras muchas funciones que proporcionan notables servicios ambientales. Entre ellos amortiguar la intensidad de la inundación.

Los carrizales tienen una alta producción primaria por el rápido crecimiento de las plantas que lo forman y por la intensa descomposición de las mismas in situ. Lo cual hace que tengan una tasa relativamente alta de acumulación de carbono.

Otros humedales con alta tasa relativa de acumulación de carbono son las turberas, aunque la profundidad de los humedales en Aragón no sea muy profunda. Algunas llanuras de inundación (por ej.: Laguna del Cañizar) tienen una gran potencia de sedimentos (unos 100 metros) acumulada durante decenas de miles de años. En general, los humedales sometidos a grandes flujos de agua y/o aire (por ej.: las saladas) están sometidos a una gran deflación durante los periodos de tiempo en que permanecen secos o con un nivel bajo del agua, eliminándose gran parte de la capa superficial de sedimento y restando capacidad de acumulación de carbono en estos casos. Por otra parte, los humedales con agua permanente son propicios a que se establezca en el sedimento y en la parte más profunda de la columna de agua un ambiente anaeróbico, propicio para que se emitan formas reducidas de carbono, azufre y nitrógeno a la atmósfera, pero la lenta descomposición en este ambiente favorece la acumulación de carbono.

Gestión actual de los humedales de Aragón

La gestión actual de los humedales de Aragón incide en su papel frente al cambio climático de forma diferente según el tipo y circunstancias de gestión.

Hemos comentado anteriormente en este informe la funcionalidad de las llanuras de inundación. Debido a la regulación del flujo de ríos por medio de embalses se ha perdido gran parte de su potencial acumulando carbono y manteniendo la biodiversidad y muchas otras funciones. En el Ebro Medio es conocido que gran parte de las llanuras están desconectadas del río durante la mayor parte del tiempo y solo durante grandes crecidas (a partir de 1500 m³/s) se llega a cubrir la mayor parte de la llanura de inundación. Las consecuencias son la pérdida de zonas inundables y, por otra parte, la colmatación de las zonas permanentemente inundadas (galachos) debido a que en cada crecida ingresan y sedimentan gran cantidad de sólidos. Y no se forman nuevas zonas inundables (por ej., galachos) que sucedan a las anteriores por no tener los ríos energía suficiente en las inundaciones para formarlas, no tienen capacidad geomorfológica

suficiente para crear nuevos galachos (con excepciones porque, por ejemplo en la zona de Peña del Cuervo en el río Gállego en Peñaflores si se está formando uno nuevo).

Algunos humedales, como las saladas (incluyendo la Laguna de Gallocanta) funcionan de forma natural regulados por los factores hidrológicos. Pero estos están afectados por el cambio climático con una tendencia a estar secos periodos más prolongados de tiempo por hacerse más negativo el balance pluviometría-evapotranspiración a consecuencia del aumento generalizado de la temperatura. Aunque están por ver los efectos de lluvias y tormentas de nieve repentinas e intensas que parecen se están incrementando en las últimas décadas.

Las saladas cuyo flujo de agua se modificaron y en los que el nivel del agua se estabilizó (por ej.: Laguna de Sariñena, Estanca de Alcañiz) se convirtieron en depósitos de agua dulce con una altísima producción de fitoplancton (en algún momento llegó a producir toxinas), disminución del oxígeno disuelto en el agua y gran pérdida de biodiversidad. Esto lleva a la formación de un ambiente anaeróbico en el fondo de la columna de agua y en el sedimento que es propicio para la formación de compuestos reducidos en forma de gas del carbono, nitrógeno y azufre y de ser emitidos a la atmósfera con el consiguiente efecto invernadero.

La mejor gestión para evitar la emisión de gases de efecto invernadero de los humedales a la atmósfera es mantener un ciclo hidrológico y unos flujos de agua lo más naturales posibles, acordes al ciclo hidrológico natural del territorio en que se encuentren, sin represamientos o enlentecimientos de la renovación del agua. Esto facilita que las condiciones del humedal se mantenga lo más aeróbicas posible en su funcionamiento hidrológico con acumulación de formas oxidadas de carbono y nitrógeno en el sedimento y la consiguiente acumulación en el mismo, particularmente de carbono.

5.3 Datos sobre la acumulación de carbono en humedales de Aragón

Datos previos

En estudios previos se observó que el carbono orgánico total acumulado en zonas inundadas (galachos) y bosques maduros de la llanura de inundación del Ebro era significativamente mayor que en zonas no inundadas y sin cobertura vegetal como márgenes del río Ebro (Cabezas et al., 2009).

Tabla 9: Datos (%) de carbono orgánico total (TOC) del suelo obtenidos en 2009 en distintos sitios del Soto del Francés: OL-Galacho artificial; FOR-Bosque de ribera; BANK-margen de río con vegetación arbustiva. Periodo 1: 1963-present; Periodo 2: 1927-1963.

Sitio	OL2	OL3	FOR	BANK
Periodo	1 (n = 46);2 (n = 74)	1 (n = 35) 2 (n = 85)	1 (n = 13) 2 (n = 127)	1 (n = 40)
TOC (%)	2,41 ± 1,14*; 0,83 ± 0,17;;	1,91 ± 0,85*; 0,92 ± 0,28 ;;	2,42 ± 0,66*; 0,53 ± 0,34 ;;	1,05 ± 0,36 ^a

* Significantly different in a Mann–Whitney U test to compare two periods at the same sampling site (p < 0.01).

^a Significantly different in a Mann–Whitney U test to compare BANK (1981–present) with FOR (1927–1963).

También, que las tasas de acumulación de carbono orgánico total fueron mayores en épocas anteriores con mayor dinamismo del río, lo cual favorecía la deposición de materiales, que periodos recientes, cuando la dinámica fluvial ha disminuido y, con ella, los aportes de carbono tanto del medio propio como por las inundaciones

Tabla 10: Tasas de acreción de Carbono orgánico total (g C/m² y) en periodos diferentes durante el último siglo. (Localidades como tabla anterior)

Sitio	OL2	OL3	FOR	BANK
Periodo				
1981–2007				300.1
1963–2007	274.6	159.2	144.0 –	
1927–1963	296.8	379.2	459.4	

Tabla 11: Carbono total y carbono orgánico obtenido en 2009 en distintos suelos del Soto del Francés

	COT	COR
HF	188.21±22.78 ^b	91.85±10.57 ^{a,b}
INT	277.17±10.64 ^c	137.66±6.78 ^c
CF	177.91±20.65 ^b	81.57±9.06 ^{a,b}
MF	313.11±16.12 ^c	159.27±7.05 ^c
AGR	99.61±10.77 ^a	64.56±9.88 ^a
POP	194.38±9.90 ^b	102.67±5.52 ^b

TOC.- carbono total; COR.- carbono orgánico (gC m⁻²);
 HF.- Alta frecuencia de inundación; INT.- Frecuencia de inundación intermedia;
 CF.- Bosque conectado al río; MF.- Bosque maduro; AGR.- zona agrícola; POP.- Chopera de repoblación.

Además, se sabe que es en los bosques maduros con árboles altos donde más carbono orgánico total hay acumulado en el suelo, comparado con otros tipos de zonas de la llanura de inundación del Ebro, y también de nitrógeno total (Tabla 12).

Tabla 12: Media y desviación estándar de algunos grupos de vegetación y variables del suelo por localización extraídos por cluster análisis.

	AOF	NAOF	NT	MF
TN (% masa suelo seco)	0,17 ± 0,05	0,10 ±0,04	0,15 ±0,07	0,28 ±0,08
TOC (% masa suelo seco)	1,75 ±0,58	1,51 ±0,58	1,84 ±0,73	3,49 ±1,03
FFB (g m ⁻²)	803,70 ±895,89	717,09 ±993,80	1123,67 ±855,77	179,78 ±1394,58
Altura media de los árboles (cm.)	866,20 ±504,86	480,19 ±270,00	(sin árbolado)	1153,81 ±590,66
C/N (TOC / TN)	10,17 ±2,21	14,86 ±3,31	12,44 ±1,84	12,42 ±1,29

Variables: TN.- Concentración total de nitrógeno en el suelo; TOC.- Concentración total de carbono orgánico en el suelo; FFB.- Biomasa del suelo del bosque

Grupo de suelos: AOF.- Afectado por crecidas ordinarias; NAOF.- No afectado por crecidas ordinarias; NT.- Grupo sin árboles; MF.- Grupo con bosque maduro.

En los humedales del tipo carrizal la sedimentación de materia orgánica, y por tanto la acumulación de carbono, puede ser muy alta debido a la alta producción anual de biomasa de este tipo de vegetación, y especialmente de la parte subterránea (rizomas y raíces que contribuyen a retener el suelo y sedimento).

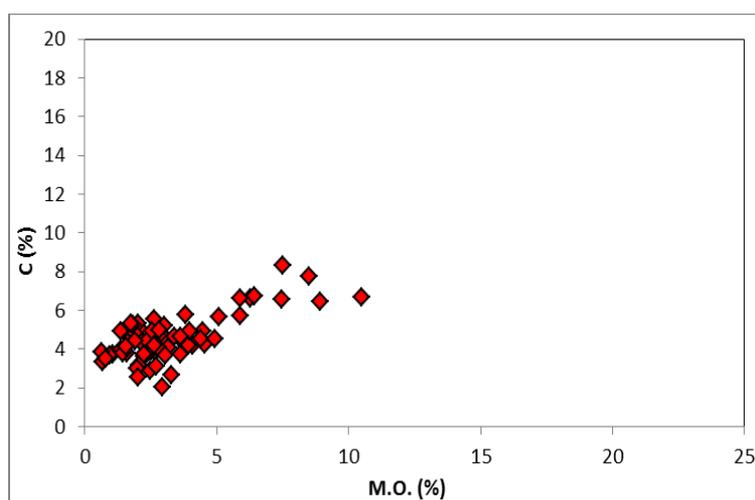


Fig. 24: Relación entre carbono y materia orgánica en humedales restaurados en Monegros

Los datos disponibles del 2011 de unos humedales restaurados en Monegros norte, que recogen el agua excedente de riego agrícola y el suelo arrastrado por erosión con el agua excedente de riego, muestran una alta correlación entre carbono total y materia orgánica del sedimento de los humedales (Fig. 24). La mayoría de las concentraciones de carbono están en el rango del 2-8% del peso total del sedimento. Y las de materia orgánica entre 1-10%, que corresponden, lógicamente, a suelos minerales.

Datos obtenidos durante 2021 de carbono acumulado en el sedimento en dos tipos de humedales

Durante 2021 se han tomado muestras de suelo (o sedimento) en 2 tipos de humedales: el Soto del Francés en la llanura de inundación del Ebro (Reserva Natural Galachos) y en el carrizal de Lalueza, ambas en Septiembre (ver localización en Fig. 34, p. 85).

En cada una de estos humedales, se tomaron muestras por triplicado en 3 tipos de sitios formando un gradiente: permanentemente inundado (I), temporalmente inundado (T); sin inundar o con una frecuencia de inundación muy baja, 1 vez cada 5-10 años (S).

Estos 3 sitios se corresponden con los siguiente tipos de ambiente o hábitat:

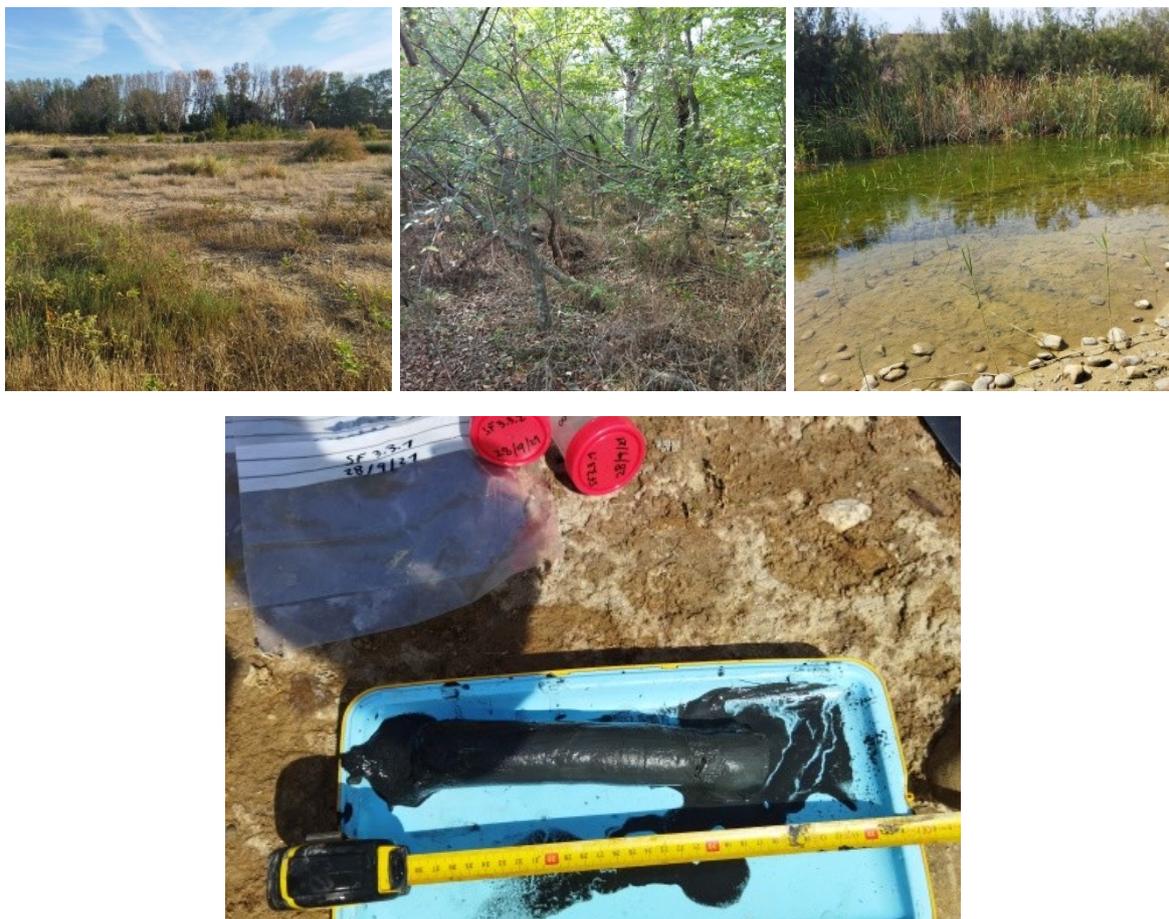
	Soto del Francés	Carrizal de Lalueza
Permanentemente inundado; I	Galacho, agua libre	<i>Phragmites australis</i> , alta densidad y altura
Temporalmente inundado; T	Bosque de ribera, <i>Populus nigra</i>	<i>Phragmites australis</i> , densidad y altura media
Seco; S	Suelo con vegetación rala	<i>Lygeum spartium</i>

Fig. 25: Fotos del Val de Lalueza



Arriba de izda. a dcha: Sitio seco, temporalmente inundado e inundado).
 Abajo: muestra de testigo del sedimento de sitio inundado (abajo)

Fig. 26: Fotos del Soto del Francés



Arriba de izda. a dcha: sitio seco, temporalmente inundado e inundado.
Abajo: muestra de testigo del sedimento de sitio inundado

Los resultados obtenidos durante el 2021 en el marco de este trabajo referentes a carbono en el sedimento de estos dos sitios se describen a continuación.

Los valores promedio de, pH, conductividad, carbonatos, densidad aparente, nitrógeno y azufre son similares en el Soto del Francés y Lalueza. Sin embargo, el contenido en, carbono total y carbono orgánico, materia orgánica y fósforo fácilmente extractable son superiores en el Soto del Francés (Tabla 13).

Tabla 13: Valores promedio y desviaciones típicas de las variables analizadas hasta el momento.

	LA LUEZA		SOTO DEL FRANCÉS	
	MEDIA	DESVEST	MEDIA	DESVEST
pH	8,59	0,55	8,12	0,28
cond ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	1080	1022	1691	1876
% CaCO_3	29,97	8,09	31,64	5,82
BD (g/cm^3)	1,16	0,39	1,14	0,4
% MO (LOI)	2,26	1,16	3,69	1,97
% MO LECO	1,63	1,11	3,71	2,49
% TOC	0,94	0,64	2,15	1,44
% TC	4,56	0,80	6,20	1,45
% TIC	3,62	0,76	4,05	0,67
% NT	0,11	0,05	0,19	0,11
% ST	0,18	0,23	0,47	0,57
P Olsen(mg/Kg)	4,66	4,33	12,33	8,89

Tres parcelas, dos profundidades y tres réplicas (n=18)

Se observa una mayor concentración de materia orgánica y carbono , en todas sus formas, en el Soto del Francés que en la val de Lalueza, como corresponde a un ambiente con mayor producción y acumulación de materia orgánica por la vegetación forestal de mayor porte. La figura siguiente muestra las mismas diferencias ().

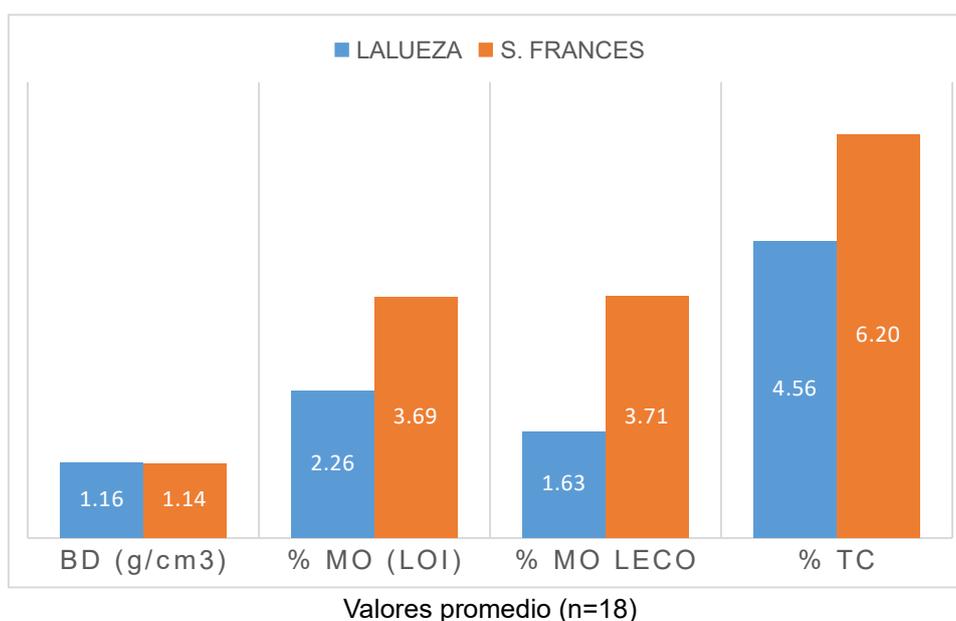


Fig. 27: Comparación entre localizaciones de los distintos indicadores de materia orgánica.

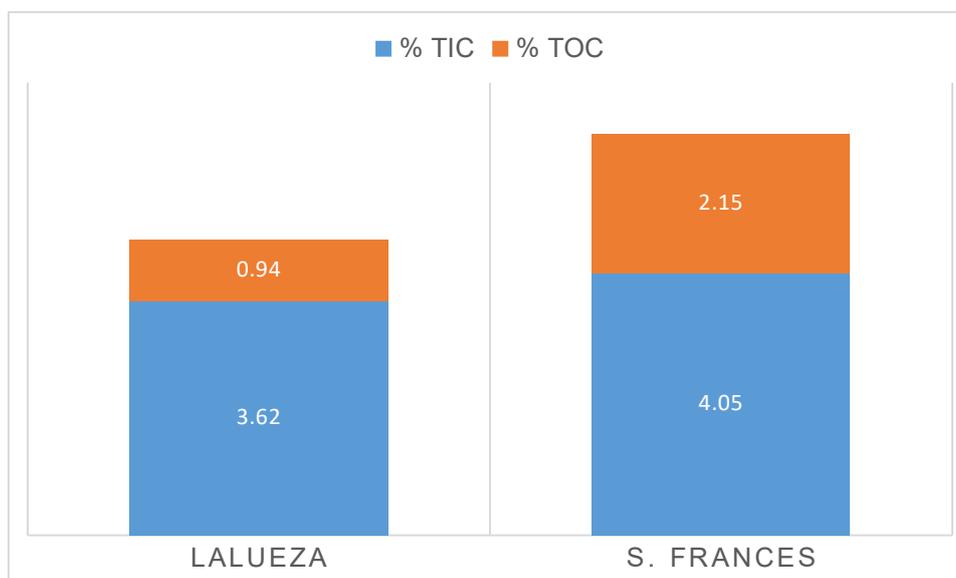


Fig. 28: Fraccionamiento del carbono total en sus distintos componentes (n=18)

El mayor contenido de carbono total en el Soto del Francés se debe, sobre todo a la mayor proporción de carbono orgánico. Se trata el suelo del Soto del Francés de un suelo con mayor materia orgánica y más mineral el de Val de Lalueza.

Dentro de cada localización (Val de Lalueza y Soto del Francés) se muestrearon tres tipos de condiciones hídricas del terreno. Un terreno **seco**, que en ningún caso superaba el 20% de humedad en peso seco, un terreno inundado de forma **temporal** y un terreno **inundado** de forma permanente, que superaba incluso el 100% de humedad. En cada uno de las condiciones estudiadas el muestreo se compuso de tres réplicas (tres muestras por cada ambiente) y dos profundidades (0_5 cm y de 5_10 cm) que se analizaron de forma independiente.

Tabla 14: Valores promedio de las variables analizadas por profundidades (n=9)

	LALUEZA		SOTO DEL FRANCES	
	0-5 cm	5-10 cm	0-5 cm	5-10 cm
pH	8,56	8,61	8,06	8,17
cond (μS/cm)	1199	962	2031	1352
% CaCO ₃	28,69	31,25	31,90	31,39
BD (g/cm ³)	1,10	1,22	1,21	1,06

	LALUEZA		SOTO DEL FRANCES	
	0-5 cm	5-10 cm	0-5 cm	5-10 cm
% MO (LOI)	2,40	2,11	3,96	3,42
% MO LECO	1,81	1,44	4,13	3,28
% TOC	1,05	0,83	2,40	1,90
% TC	4,52	4,61	6,48	5,93
% TIC	3,47	3,77	4,08	4,03
% NT	0,12	0,10	0,22	0,17
% ST	0,21	0,15	0,52	0,41
P olsen(mg/Kg)	6,30	3,24	12,29	12,36

Los valores promedio de cada parámetro calculado por profundidades, sin tener en cuenta el tipo de terreno, no muestra diferencias entre profundidades tanto en la Val de Lalueza con en el Soto del Francés, salvo para el carbono orgánico total (TOC) que el valor medio es mayor en la parte superior del suelo en ambas localizaciones. Pero si observamos con mayor detalle mediante una gráfica de cajas, vemos que realmente esta diferencia no es significativa en ninguno de los dos lugares de muestreo.

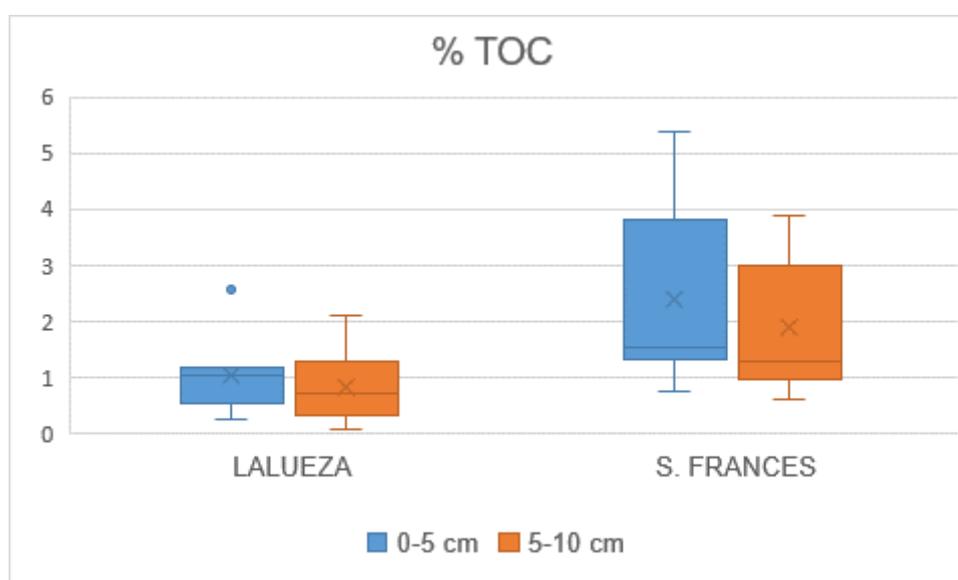


Fig. 29: Carbono orgánico total en % a 0-5 cm y 5-10 cm de profundidad (n=9)

Esto indica que en los primeros 10 cm del suelo/sedimento de estos dos sitios la dinámica biogeoquímica es similar. Y que para encontrar diferencias en profundidades distintas tendríamos que analizar muestras de otras profundidades mayores, entonces determinando la tasa de acreción de sedimento para hacer comparables los datos.

Dado que no aparecen diferencias entre profundidades, el análisis de los parámetros físico-químicos entre los distintos ambientes en cada una de las zonas de estudio se realiza sin distinguir entre ambas capas del terreno.

En este sentido, no se observan diferencias entre las distintas condiciones hídricas del suelo ni en el Val de Lalueza ni en el Soto del Francés para parámetros como el pH y los carbonatos. Por otra parte, la conductividad eléctrica y la densidad aparente disminuyen a medida que el terreno está más inundado.

Pero si es notable el aumento de carbono y materia orgánica, también de fósforo, en los suelos al pasar de una condición seca a temporalmente inundada y a inundada (Figs. 30, 31 y 32). Lo cual es coherente con el ciclo del carbono que en condiciones inundadas, con menos oxígeno, discurre más lentamente, con menos capacidad de descomposición de la materia orgánica y, por tanto, mayor acumulación de carbono. Este aumento es más acentuado en el Soto del Francés, por la mayor diferencia en la materia orgánica sobre el suelo entre zonas inundadas (con gran aporte de fitoplancton y vegetación emergente) y temporalmente inundadas (bosque ripario) y secas (con vegetación arbustiva laxa).

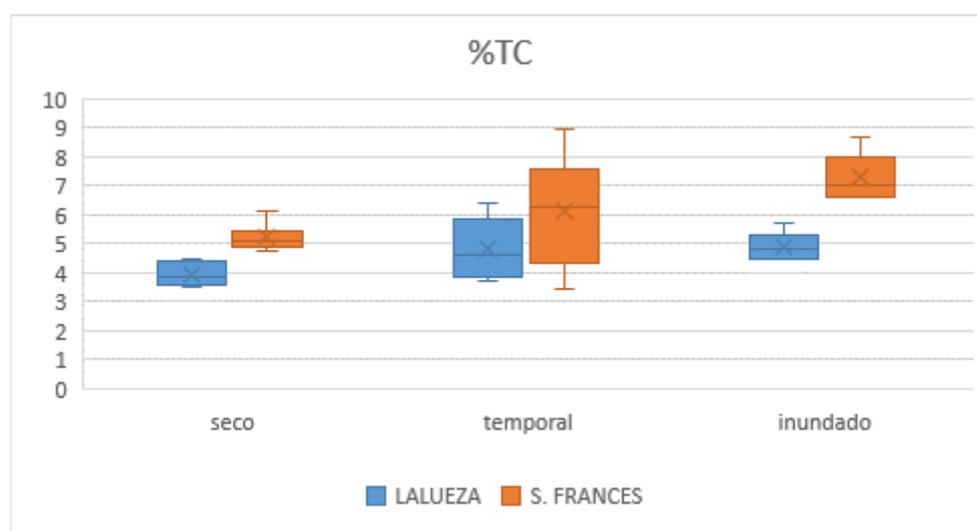


Fig. 30: Distribución de carbono orgánico según las condiciones hídricas del suelo (n=6).

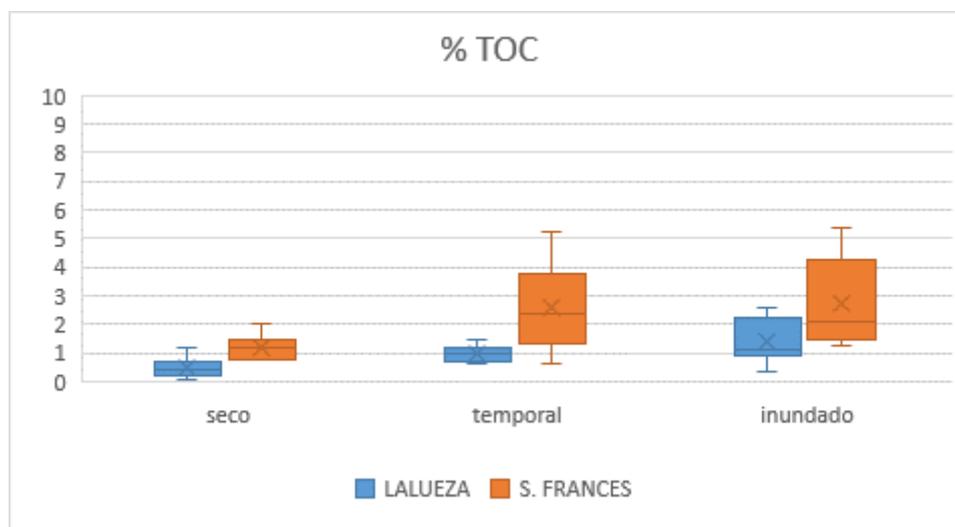


Fig. 31: Distribución de carbono orgánico total según las condiciones hídricas del suelo (n=6).

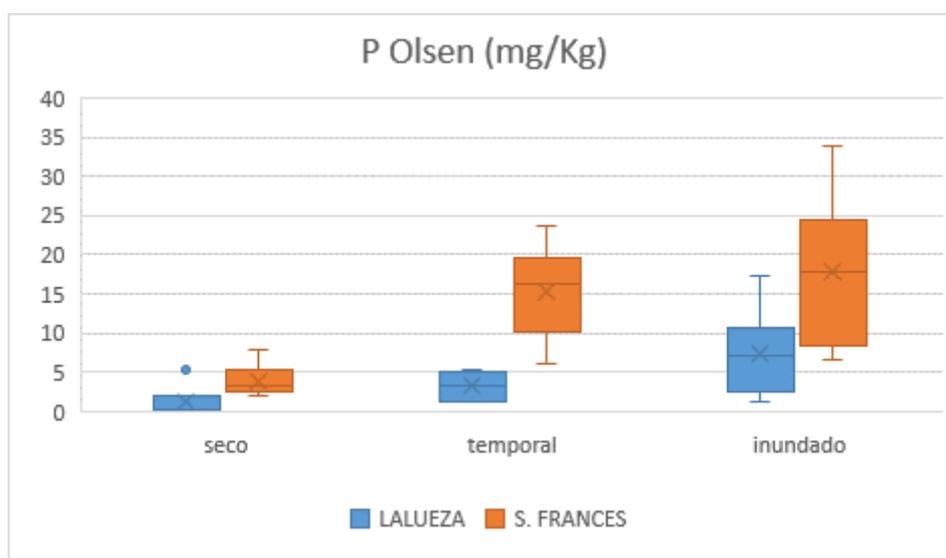


Fig. 32: Distribución de fósforo según las condiciones hídricas del suelo (n=6).

5.4 Interpretación del papel potencial de los humedales de Aragón como sumideros de carbono.

Como era previsible, el papel de los humedales de Aragón con respecto a la mitigación del cambio climático global es escaso, sobre todo si se compara con otros tipos de humedales. La cantidad de carbono orgánico que se ha observado en los humedales relatados es inferior al 12% del peso, correspondiendo a suelos minerales. Y dentro de estos, tienen valores bajos. Mientras que en suelos orgánicos (por ejemplo, en turberas de latitudes altas y en manglares) la concentración de carbono orgánico suele ser estar en el rango de 12-20% o superior.

Estos datos no se han tomado sistemáticamente ni extensivamente, cubriendo un amplio rango de humedales y de sitios en cada humedal o tipo de humedal. Podría ser que en algún humedal o parte de humedal (por ejemplo, turbera de los Pirineos, laguna endorreica) la cantidad de carbono del sedimento sea una parte mayor, quizás del 20% o superior; de su peso. En cualquier caso, por su relativamente baja extensión, la contribución a la acumulación de carbono global no sería muy destacada.

Una excepción a esta generalización puede ser el caso de la llanura de inundación del Ebro, por su extensión y por la acumulación de madera encima del suelo durante largo tiempo. Éste es un tema que merece investigación detallada. También los carrizales que pueden tener una extensión notable en Aragón pueden tener un papel notable en el sentido de acumular carbono, pero igual que para la llanura de inundación del Ebro requiere investigación detallada. En cambio a escala regional si pueden tener un papel destacado para la mitigación del cambio climático.

En cualquier caso, los humedales de Aragón si que tienen papeles relevantes con respecto a la adaptación al cambio climático. Los impactos del cambio climático son muy variados y los humedales en Aragón contribuyen significativamente a amortiguarlos por los procesos ecológicos que tiene lugar en ellos y entre los sistemas adyacentes y los mismos humedales y, como consecuencia, por los servicios que prestan. La tabla siguiente resume y simplifica estas funciones y servicios, con indicación de los humedales en donde se ejemplificarían mejor, pero no exclusivamente.

Proceso/Función	Servicio	Humedales más relevante
Almacenar agua	Provisión de agua	Llanura de inundación; lagos

Proceso/Función	Servicio	Humedales más relevante
		glaciares
Acumulación de agua	Reducción del impacto de las inundaciones	Llanura de inundación
Acumulación de sedimento	Formación/provisión de suelo	Llanura de inundación, carrizales
Retención y eliminación de contaminantes (metales pesados, medicamentos)	Mejora de la calidad del agua	Carrizales
Retención y eliminación de nutrientes (nitratos)	Mejora de la calidad del agua	Carrizales, llanura de inundación
Frenar viento, humedecer el aire, disminuir la temperatura	Mejorar el bienestar de la población	Bosque ripario maduro
Refugio de plantas y animales	Contribución a la biodiversidad	Saladas
Producción de biomasa	Suministro de materias primas	Llanura de inundación
Frenar la transmisión del sonido	Bienestar humano	Bosques riparios
Contribución al paisaje	Bien recreativo, cultural,	Saladas

Este resumen cualitativo requeriría un trabajo para cuantificar los servicios que prestan los humedales a escala regional para disponer de una evaluación cuantitativa consistente.

5.5 Optimización de la gestión de los humedales de Aragón frente al cambio climático.

De todo lo anterior se deducen una serie de sugerencias para la gestión de los humedales de Aragón que se exponen en relación con el siguiente marco de escenarios del cambio climático y de los usos del territorio (Tabla 15).

Los escenarios de globalización negativa y de tecnificación tienen a usar el territorio y los recursos sin control por la comunidad que vive en el mismo. Las tendencias de

urbanización, producción agraria y animal, de energías son promovidas y marcadas por reguladores ajenos a la comunidad o interesados en obtener rendimiento económico a corto plazo sin atender a largo plazo a la sostenibilidad de los recursos y al desarrollo sostenible de la comunidad en su conjunto tanto poblacional como de bienes y servicios que tiene y provee el territorio. Los casos de urbanización y artificialización, extensión de cultivos intensivos, vertido puntual y difuso de contaminantes, regulación o extracción de agua superficial y subterránea en demasía, que han afectado negativamente a humedales en Aragón son notables y no cabe citarlos ni describirlos aquí. Pero si que corresponden a la combinación de actitudes de tecnificación y globalización en el marco anterior.

En este marco y como sugerencia general se recomienda enmarcar las actuaciones de gestión de los humedales en un escenario combinado de adaptación al cambio climático y de regionalización o control propio y racional del territorio y sus recursos a largo plazo. Esto favorecerá la perduración de las funciones y servicios que proveen los humedales de Aragón.

Tabla 15: Marco de escenarios del cambio climático y de los usos del territorio

Gestión ante el cambio climático		
Gestión de usos del territorio y recursos	TECNIFICACIÓN	ADAPTACIÓN
	Se confía en que las tecnologías resolverán los retos del cambio climático	Se utiliza el enfoque de adaptación al cambio climático con soluciones basadas en la naturaleza
GLOBALIZACIÓN negativa	TECNO-GLOBAL	
Estructuras y redes globales regulan el uso del territorio y de los recursos	Intensificación de la explotación de los recursos y del territorio	Escenario no posible por confrontación de ideas e intereses entre Globalización y Adaptación
REGIONALIZACIÓN	TECNO-REGION	ADAPT-REGIÓN
Se utilizan recursos propios y la ordenación territorial es controlada local/regionalmente.	La tecnología resolverá nuestros problemas ambientales y sociales e impulsará el desarrollo	El territorio se adapta a los cambios globales con soluciones basadas en la naturaleza y tecnologías propias o adoptadas ad hoc a las necesidades del territorio

Ante la tendencia general al aumento de la temperatura media y, por tanto, de la evapotranspiración, los flujos de agua deberían mantenerse en consonancia con la dinámica atmosférica, permitiendo los flujos a los/de los humedales sin alterar los tiempos de residencia del agua. Esto permitiría, a largo plazo, la adaptación y evolución de las comunidades biológicas a escenarios diversos. Por ejemplo, al incremento de los eventos extremos (lluvias, tormentas de nieve, olas de calor que pueden incidir notablemente en pocas horas-días en los humedales), dentro de la tendencia general al aumento de temperatura.

Se podrían mantener excepciones en casos de humedales que alberguen especies estenoicas que requieran rangos estrechos de algunas variables y no resistan los cambios de las condiciones ambientales. En el sentido de regular los flujos de agua para mantener las condiciones ambientales favorables a estas especies.

Las llanuras de inundación, los carrizales y las turberas de montaña tienen un papel relevante en la provisión de múltiples servicios ambientales y, en particular, de mitigación del cambio climático a escala regional. Se recomienda mantener su funcionalidad (flujos de agua) evitando la desecación y ocupación por otros usos del suelo. Puede haber situaciones excepcionales de afección de los flujos de agua a personas y bienes humanos, para lo cual hay y se pueden establecer medidas físicas y administrativas que eviten las afecciones, las mitiguen y/o ofrezcan alternativas.

Las saladas, surgencias de agua y sistemas freatófticos, requieren una parte del territorio que actúe de amortiguador de impactos externos, que en la mayoría de las ocasiones es alrededor del humedal pero puede ser necesario en el lugar de origen o en el trayecto del agua que les llega superficial o subterráneamente.

Balsas y lagos represados merecen una consideración para conocer la posibilidad de reducir la regulación hídrica en el contexto de un mundo que ha cambiado mucho de demandas y de ofertas de bienes y servicios.

Para consolidar las ideas y sugerencias de este informe, desarrollado entre julio y noviembre dentro de la subvención nominativa 2021 de la DGA-Dirección General de Cambio Climático y Educación Ambiental, sería necesario proseguir en la línea iniciada y ampliarla en alguna de las líneas sugeridas.

5.6 Referencias

Cabezas, A., Comín, F. A., Beguería, S., & Trabucchi, M. (2009). Hydrologic and landscape changes in the Middle Ebro River (NE Spain): Implications for restoration and management. *Hydrology and Earth System Sciences*, 13(2), 273–284.

Costanza, R., d'Arge, R., de Groot, R., Farber, S., Grasso, M., Hannon, B., Limburg, K., Naeem, S., O'Neill, R. V., Paruelo, J., Raskin, R. G., Sutton, P., & van den Belt, M. (1997). The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, 387(6630), 253–260. <https://doi.org/10.1038/387253a0>

Mitra, S., Wassmann, R., & Vlek, P. L. (2005). An appraisal of global wetland area and its organic carbon stock. *Current Science*, 88(1), 25–35.

Mitsch, W. J., Bernal, B., Nahlik, A. M., Mander, Ü., Zhang, L., Anderson, C. J., Jørgensen, S. E., & Brix, H. (2013). Wetlands, carbon, and climate change. *Landscape Ecology*, 28(4), 583–597.

Mitsch, W. J., & Gosselink, J. G. (2000). The value of wetlands: Importance of scale and landscape setting. *Ecological Economics*, 35(1), 25–33.

Moreno-Mateos, D., Power, M. E., Comín, F. A., & Yockteng, R. (2012). Structural and functional loss in restored wetland ecosystems. *PLoS Biology*, 10(1), e1001247.

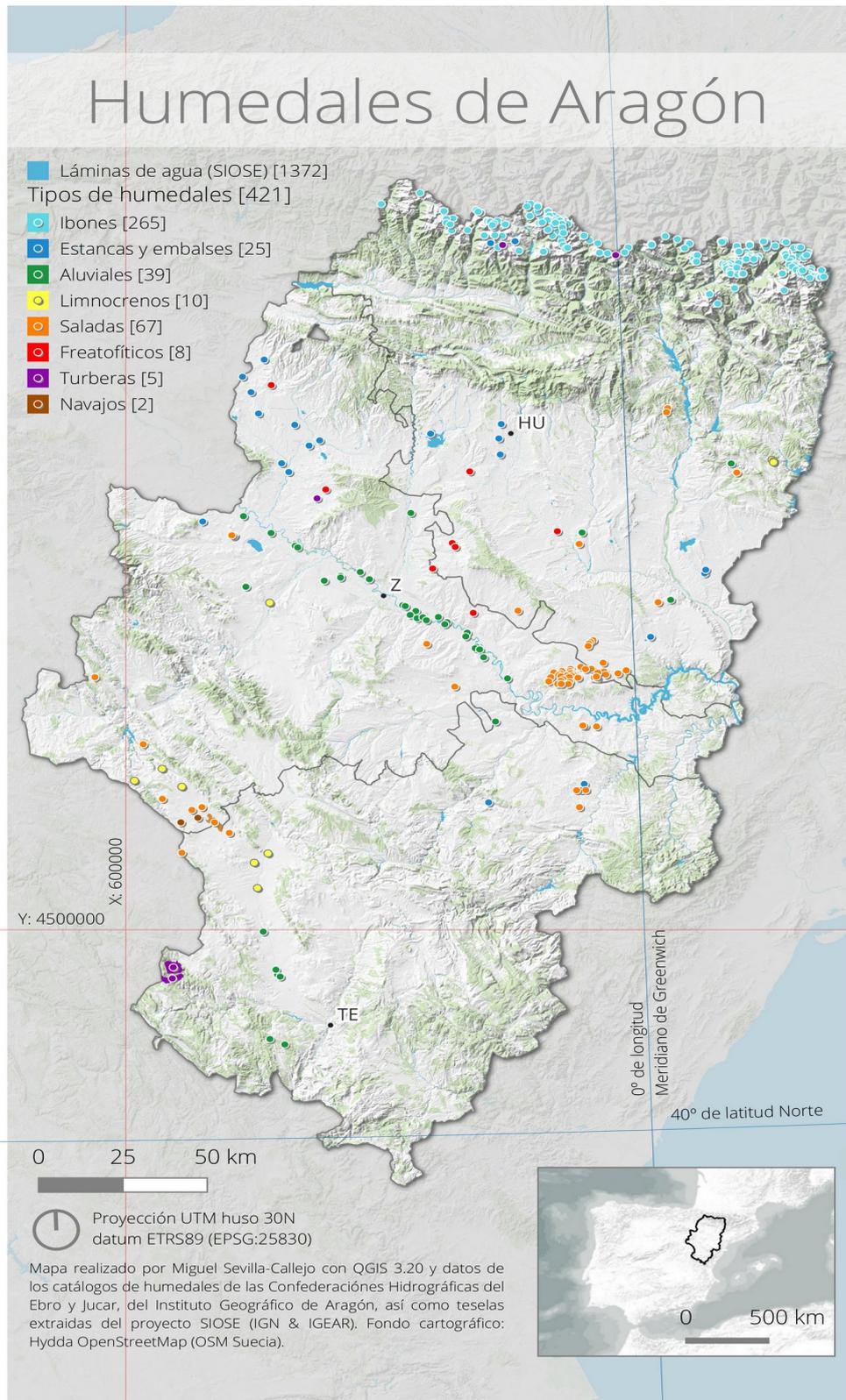


Fig. 33: Distribución y tipos de humedales en Aragón

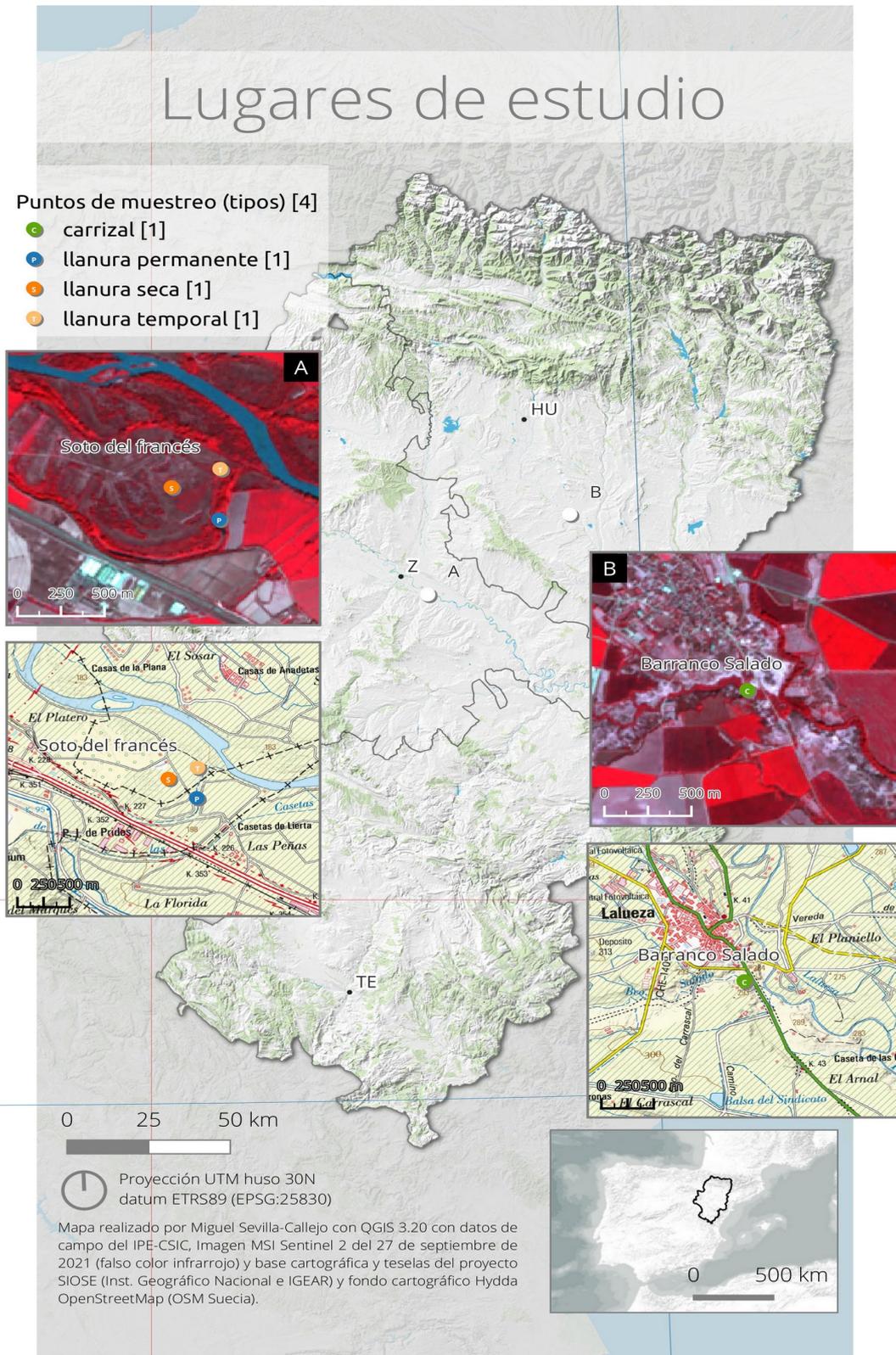


Fig. 34: Humedales sobre los que se ha realizado el estudio