

**INNOVACIÓN EN LA GESTIÓN DE LOS MONTES PARA LA
OPTIMIZACIÓN DEL AGUA AZUL**



**CONFEDERACIÓN
HIDROGRÁFICA
EBRO**

Oficina de Planificación Hidrológica

**BOSQUES Y RECURSOS HÍDRICOS EN LA
CUENCA DEL EBRO**

**Rogelio Galván Plaza
22 de marzo de 2024**

Evaluación de la disminución de recursos hídricos por el aumento de la superficie forestal en la Cuenca del Ebro

1) Antecedentes

2) Potencial variación de la aportación hídrica debida a cambios en el uso del suelo entre 1990 y 2018

3) Conclusiones

1) ANTECEDENTES

- AÑO 2000. “...la merma de los sobrantes del Ebro observada en las últimas décadas ... puede ser completamente explicada simplemente por el desarrollo de los regadíos de la cuenca.”
“Análisis de los sistemas hidráulicos del Plan Hidrológico Nacional (MIMAM, 2000).

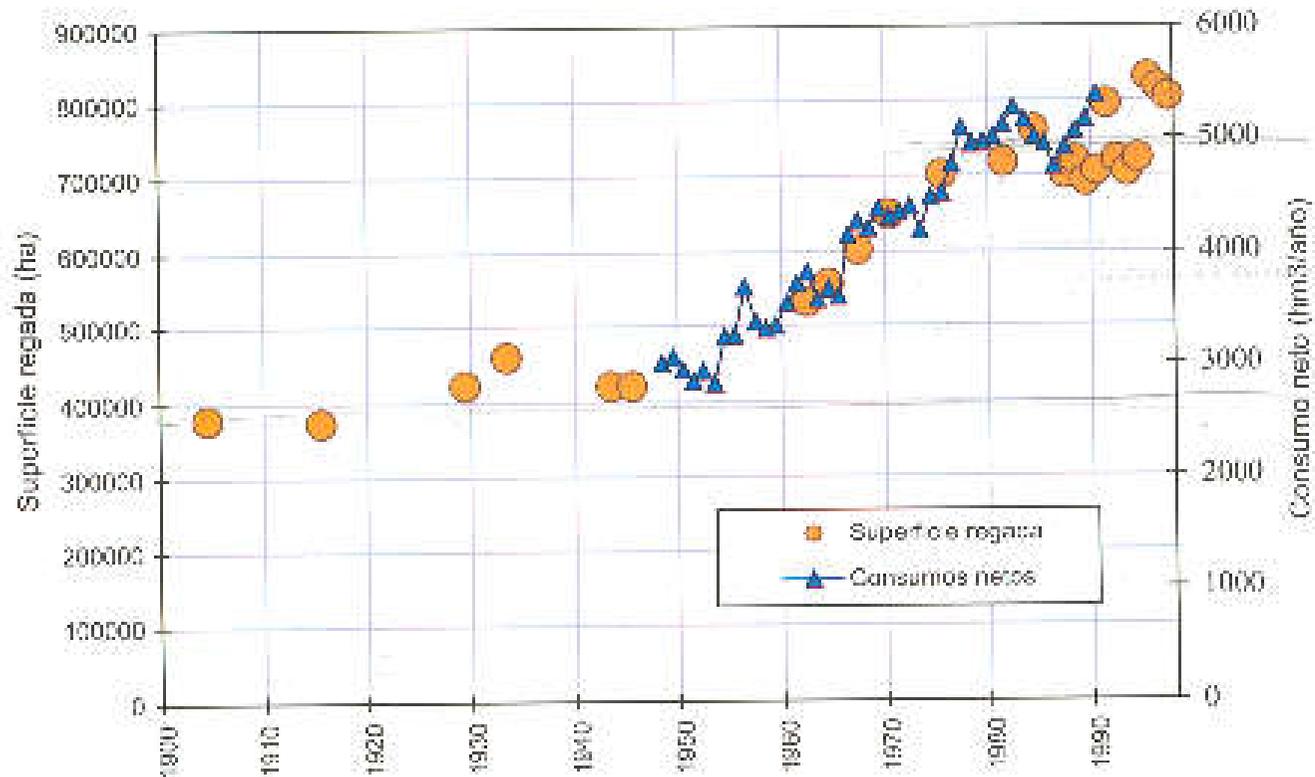


Figura 72. Evolución de los consumos de agua y de la superficie regada en la cuenca del Ebro

1) ANTECEDENTES

- AÑO 2001.

Alegaciones al Plan Hidrológico Nacional y trabajos realizados (parcelas experimentales) por el investigador del CSIC (Instituto Jaume Almera) D. Francesc Gallart

“El descenso observado en las aportaciones en régimen natural se debe haber originado mayormente por el aumento de la cubierta forestal en áreas de montaña media que fueron utilizadas para la agricultura o la ganadería extensiva o habrían sido deforestadas por otras causas (...) La evolución futura de los recursos hídricos de la cuenca del Ebro no depende solamente de los regadíos, sino del consumo natural condicionado por la evolución y gestión de las áreas de cabecera.” (Gallart y Llorens, 2001).

La CHE decide profundizar en la influencia de la superficie forestal en los recursos hídricos y contrata con el Instituto Jaume Almera del CSIC (investigadores Francesc Gallart y Pilar Llorens) el trabajo de título: **“La cubierta forestal de la cuenca del Ebro: caracterización espacio-temporal y afección en la disminución de los recursos hídricos”**.

1) ANTECEDENTES

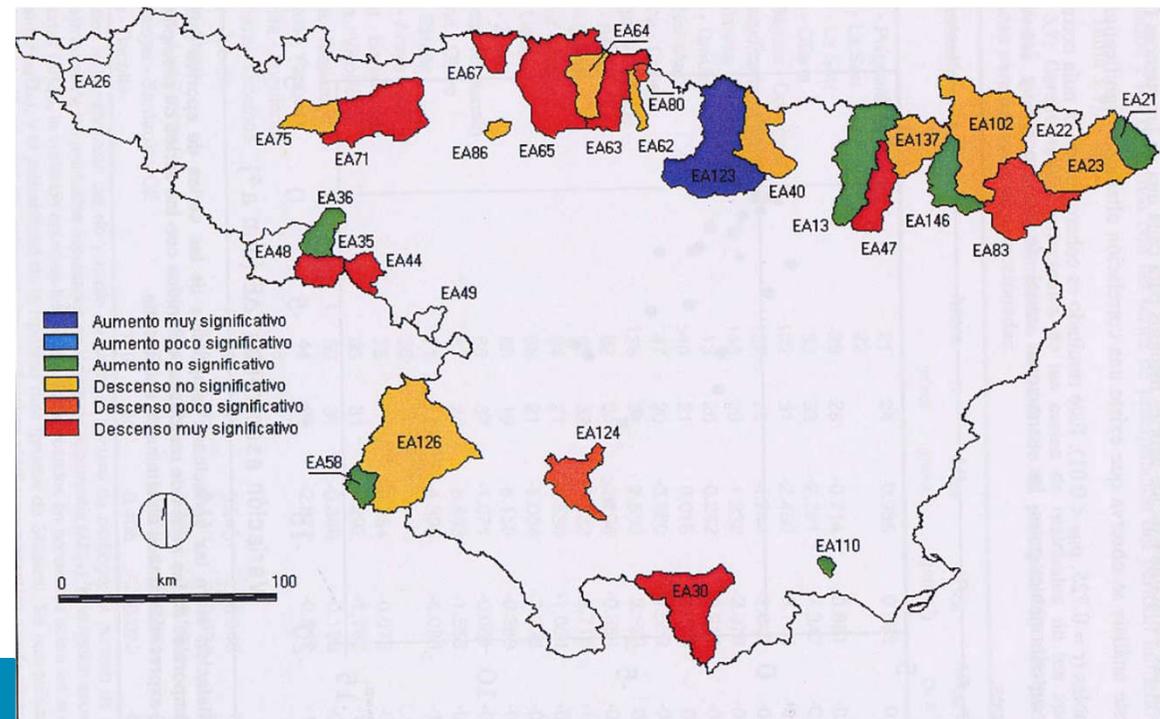
- AÑO 2003.

“La cubierta forestal de la cuenca del Ebro: caracterización espacio-temporal y afección en la disminución de los recursos hídricos”.

METODOLOGÍA:

- Análisis comparativo de precipitación, caudal, superficie forestada en 31 cuencas cercanas a las cabeceras y poco afectadas por los cambios en los usos consuntivos.

- Comparación inventarios forestales 1965-74 – 1986-96 (periodo 1971-1990 incremento de superficie forestal entre 4.000 y 7.600 km²)



1) ANTECEDENTES

- AÑO 2003

“La cubierta forestal de la cuenca del Ebro: caracterización espacio-temporal y afección en la disminución de los recursos hídricos”.

RESULTADOS:

- Disminución de la aportación no justificada por la precipitación en 23,6 hm³/a en las 31 cuencas de cabeceras poco afectadas por usos consuntivos. *Las tendencias observadas acumulan un descenso anual de los aportes de 23,6 hm³/a*
- Disminución de la aportación no justificada por la precipitación y los consumos. Ejercicio de traslación al conjunto de la cuenca del Ebro: 34 hm³/a (0,2% de los aportes medios anuales). *Los aportes del Ebro en Tortosa, en el periodo 1940-1995, muestran un descenso anual bruto de 98 hm³/año, de los cuales 34 hm³/año no se explican por las variaciones de la precipitación ni por las de los usos consuntivos*

+ X = Volumen de precipitación en las áreas forestadas entre 1970 y 1991: 163 hm³/a

+ Y = Descenso de recurso medio justificado por aumento de superficie forestal: 34 hm³/a

Quedando:

$$Y = - 0.209 X \pm 0.140$$

1) ANTECEDENTES

- OTROS ANTECEDENTES
 - Trabajos del Instituto Pirenaico de Ecología – CSIC (García Ruiz, Beguería, López Moreno, Serrano, Lorente...)

*Since the mid20th century **most cultivated fields in the hillslopes were abandoned and progressively covered by dense shrub and forests**. At the same time, man-induced fires have been reduced drastically. This represents a **progressive, intense reduction in runoff** as found in other experimental studies in the Pyrenees, where farmed plots have been compared to both dense shrub and meadow plots. Studies in the Eastern Pyrenees have also shown that interception in young forests that colonize old abandoned fields represents approximately 24% of the annual precipitation.*

Beguería S, López-Moreno JI, Lorente A, et al. (2003). Assessing the effect of climate oscillations and land-use changes on streamflow in the central Spanish Pyrenees. Ambio 32: 283–286.

1) ANTECEDENTES

- OTROS ANTECEDENTES

- Trabajos del Instituto Pirenaico de Ecología – CSIC (García Ruiz, Beguería, López Moreno, Serrano, Lorente...)

*In this study [7430 km² en los Pirineos centrales], **changes in land-use/plant cover reduced water yield by about 30% between 1945 and 1995.** This figure is only a rough estimation, but confirms the importance of land management on runoff generation and its use as a key factor to forecast water yield.*

Land-use and plant-cover changes are the only non-climatic factor that can explain the loss of around 30% of the average annual discharge.

Beguería S, López-Moreno JI, Lorente A, et al. (2003). Assessing the effect of climate oscillations and land-use changes on streamflow in the central Spanish Pyrenees. Ambio 32: 283–286.

1) ANTECEDENTES

- OTROS ANTECEDENTES

- Trabajos del Instituto Pirenaico de Ecología – CSIC (García Ruiz, Beguería, López Moreno, Serrano, Lorente...)

Throughout most of Europe, plant colonization evolved rapidly into formation of dense forests or shrub communities, with some fields becoming transformed into grazing meadows. Usually, vegetation densities approach 100%. Under such conditions, **interception, infiltration, and water consumption by plants are encouraged and runoff decreases**, whereas soil protection increases.

García-Ruiz JM and Lana-Renault N (2011) Hydrological and erosive consequences of farmland abandonment in Europe, with special reference to the Mediterranean region – a review. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 140: 317–338.

1) ANTECEDENTES

- OTROS ANTECEDENTES

- Trabajos del Instituto Pirenaico de Ecología – CSIC (García Ruiz, Beguería, López Moreno, Serrano, Lorente...)

Thus, changes in water 15 yield are associated with an increase in evapotranspiration rates in natural vegetation, growth of which has expanded as a consequence of land abandonment in areas where agricultural activities and livestock pressure have decreased.

A generalized decrease in river flows during a period when precipitation levels have remained largely stationary can only be explained by a decrease in the water yield in the basin

López-Moreno JI, Vicente-Serrano S.M., Moran-Tejeda et al. (2010). Impact of climate evolution and land use changes on water yield in the Ebro basin. Hydrology and Earth System Sciences Discussions.

1) ANTECEDENTES

- OTROS ANTECEDENTES

- Trabajos del Instituto Pirenaico de Ecología – CSIC (García Ruiz, Beguería, López Moreno, Serrano, Lorente...)

The results show that increased forest cover in the basin could decrease annual streamflow by 16%, mainly in early spring, summer and autumn. [Aragón aguas arriba de Yesa, para el period 2021-2050]

López-Moreno JI, Zabalza. J, Vicente-Serrano S.M. et al. (2013). Impact of climate and land use change on water availability and reservoir management. Scenarios in the Upper Aragón River, Spanish Pyrenees. Science of the Total Environment 2013.

1) ANTECEDENTES

- OTROS ANTECEDENTES

- Proceso de consulta pública del Esquema de Temas Importantes del Plan Hidrológico 2022-2027. Observaciones de la Dirección General de Medio Ambiente del Gobierno de Navarra (2020):

“Se propone la inclusión de un nuevo Tema Importante: Garantizar la gestión forestal sostenible de las masas forestales de la cuenca del Ebro”

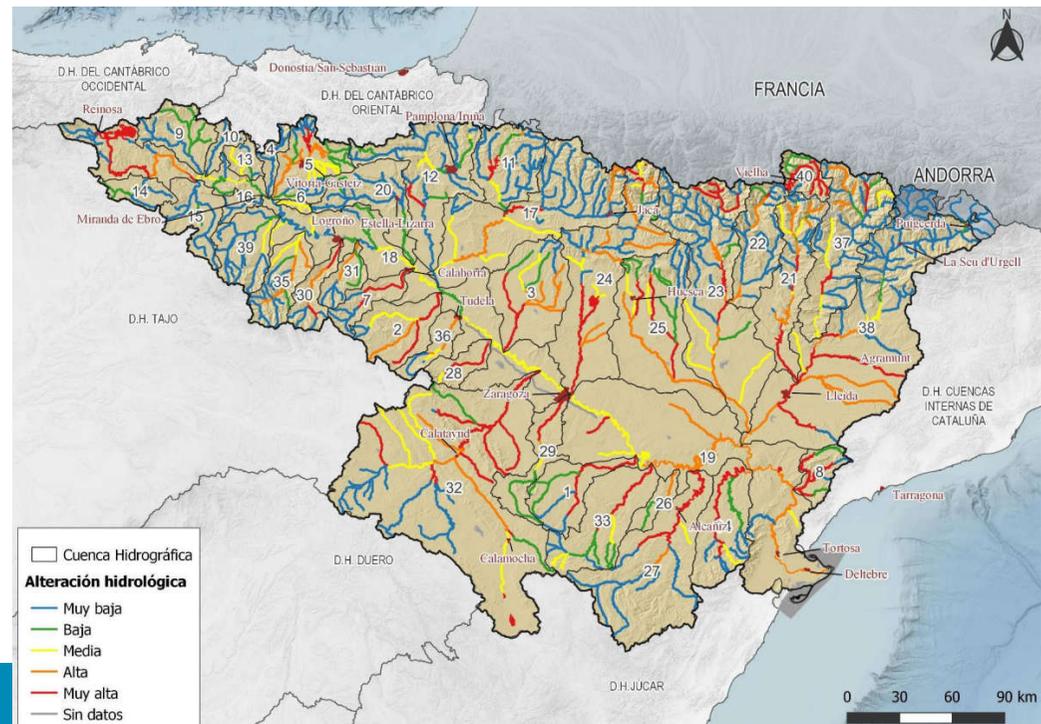
El uso del suelo mayoritario en la cuenca del Ebro es el forestal.

2) POTENCIAL VARIACIÓN DE LA APORTACIÓN HÍDRICA DEBIDA A CAMBIOS EN EL USO DEL SUELO ENTRE 1990 Y 2018

- INTRODUCCIÓN
 - Este estudio forma parte de un trabajo más amplio: “Análisis de alteraciones en el régimen hidrológico natural de las estaciones de aforo en la cuenca del Ebro” (066/21-S)
 - Adjudicado a HEYMO INGENIERÍA S.A.U. Finalizado en 2023.
Autor principal: Víctor Pinilla



- Presentado el 17 de enero de 2024 y disponible en:
<https://www.chebro.es/web/guest/estudios-de-interes>



2) POTENCIAL VARIACIÓN DE LA APORTACIÓN HÍDRICA DEBIDA A CAMBIOS EN EL USO DEL SUELO ENTRE 1990 Y 2018

- METODOLOGÍA
 - Utilización del modelo de simulación SIMPA para evaluar los recursos hídricos en régimen natural del Centro de Estudios Hidrográficos del CEDEX. Utilizado en la planificación hidrológica. Calibrado con estaciones de aforo en régimen natural
 - Utilización de uno de los parámetros del modelo - Hmax: referido al agua que como máximo puede contener un suelo y cuyo destino final será la atmósfera a través de la evapotranspiración (valores más altos de Hmax, valores menores de aportación)
 - Combina la información de uso del suelo, textura y pendiente. Para nuestro análisis la textura y pendiente se considera invariable. Valores más altos de Hmax producen menores aportaciones

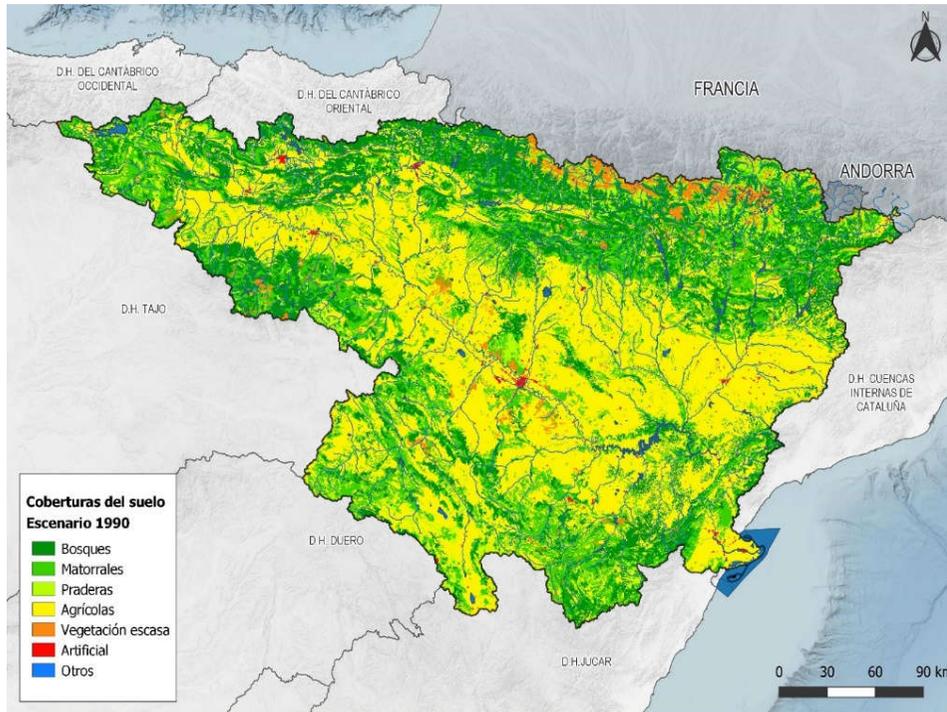
Textura	Pendiente	Usos del suelo							
		Cultivos de secano	Mosaico de cultivos permanentes	Pastizales, regadíos y viñedos	Matorrales, bosques y frutales	Bosques maduros	Zonas urbanas e impermeable	Suelos sin vegetación	Humedales y superficies de agua libre
Arenosa Fina	1	145	150	170	210	250	100	140	1000
	2	140	145	160	200	220	100	120	1000
	3	135	140	150	190	210	100	100	1000
	4	130	135	140	180	200	100	80	1000
	5	90	95	100	150	160	50	60	1000
	6	50	55	70	130	140	50	40	1000
	7	10	35	50	60	70	25	20	1000
	8	5	5	5	7	10	5	5	1000
	1	220	220	230	240	260	110	220	1000

2) POTENCIAL VARIACIÓN DE LA APORTACIÓN HÍDRICA DEBIDA A CAMBIOS EN EL USO DEL SUELO ENTRE 1990 Y 2018

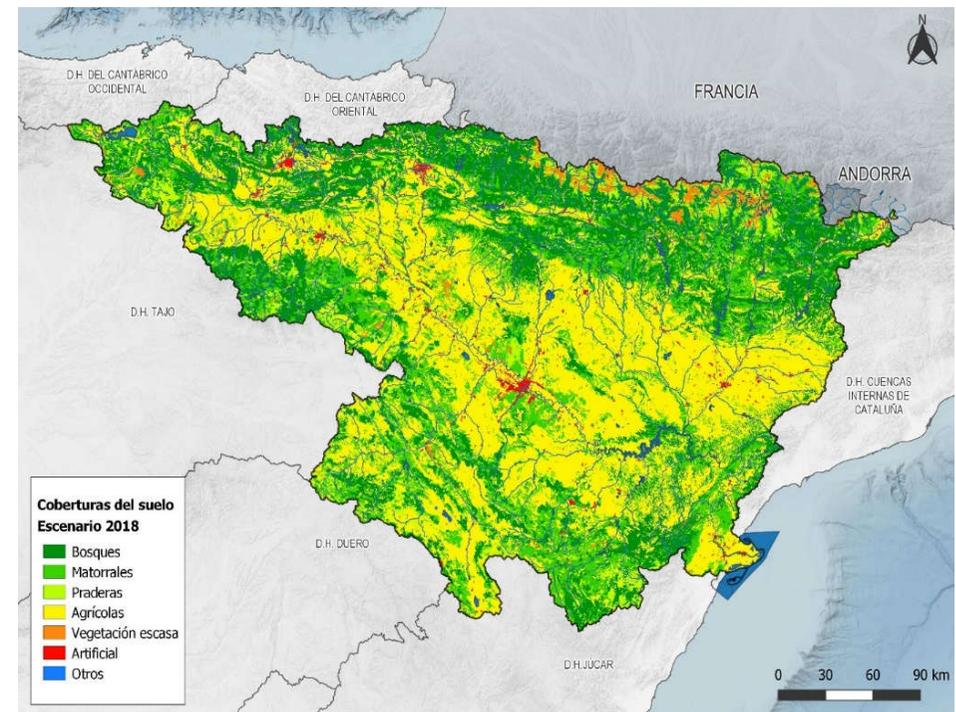
- DATOS PARTIDA
 - Mapa de pendientes: SIMPA 2019, CEDEX
 - Textura del suelo: SIMPA 2019, CEDEX
 - Mapa de ocupación del suelo CORINE Land Cover a escala 1:1.000.000 de los años 1990 y 2018 en formato ráster con un tamaño de píxel de 100 m de lado.

<https://land.copernicus.eu/en/products/corine-land-cover>

2) POTENCIAL VARIACIÓN DE LA APORTACIÓN HÍDRICA DEBIDA A CAMBIOS EN EL USO DEL SUELO ENTRE 1990 Y 2018



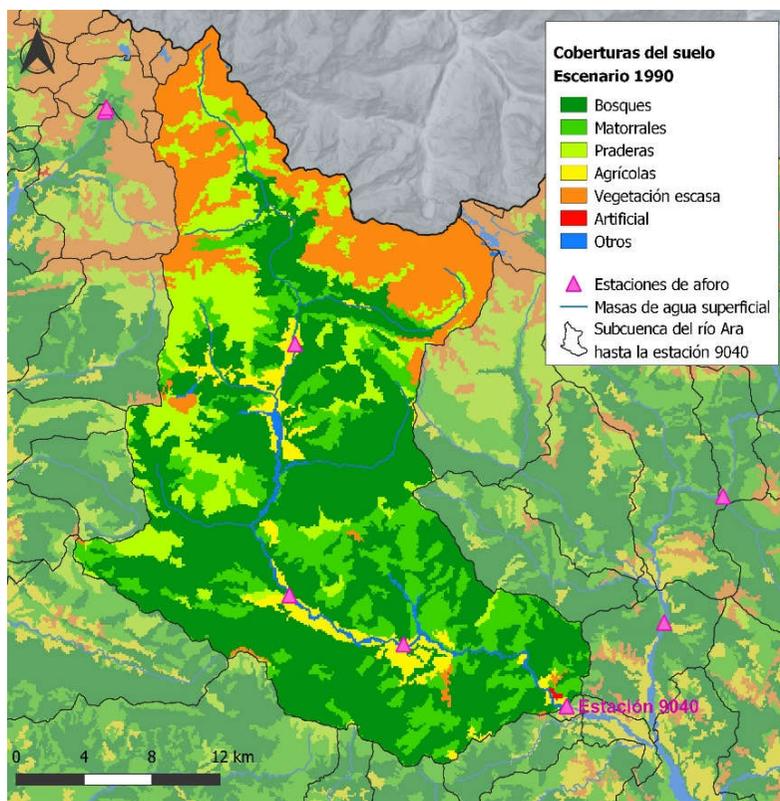
1990



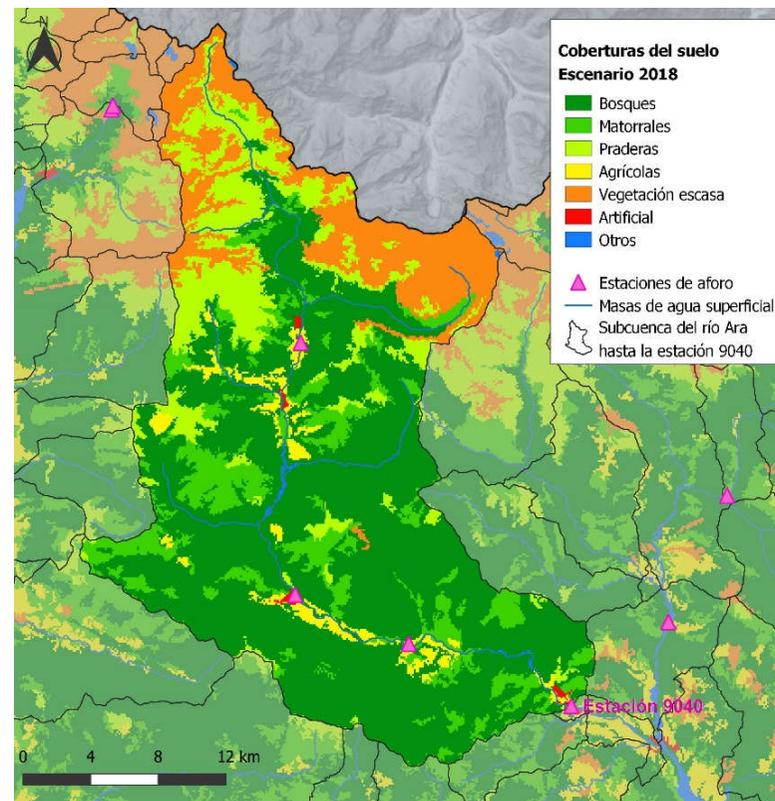
2018

Usos del suelo en la cuenca del Ebro. Corine Land Cover

2) POTENCIAL VARIACIÓN DE LA APORTACIÓN HÍDRICA DEBIDA A CAMBIOS EN EL USO DEL SUELO ENTRE 1990 Y 2018



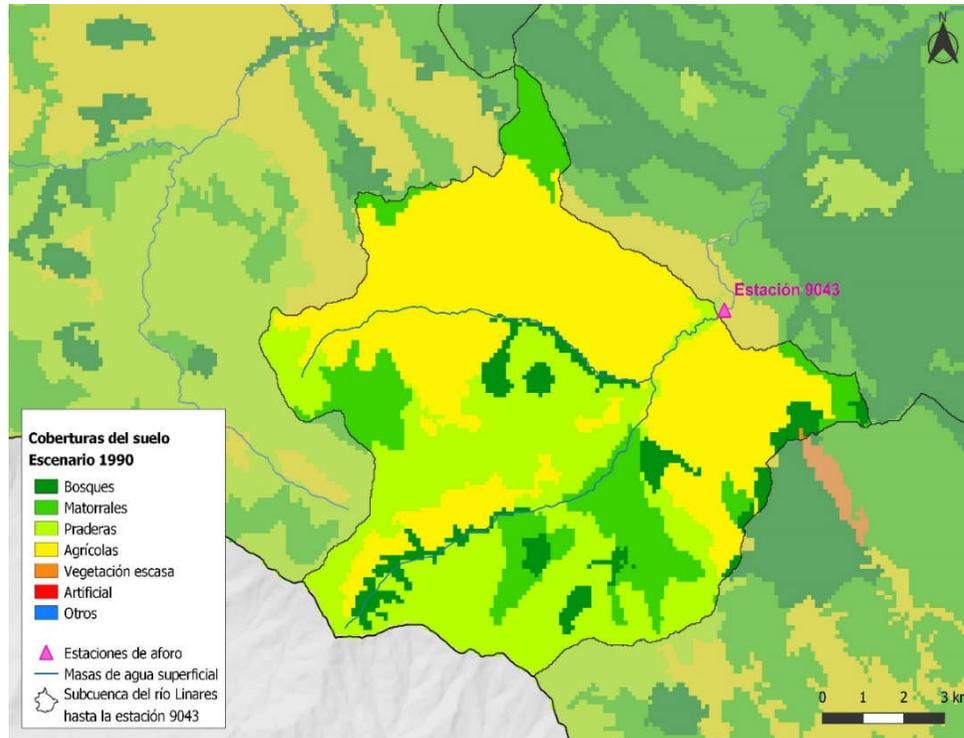
1990



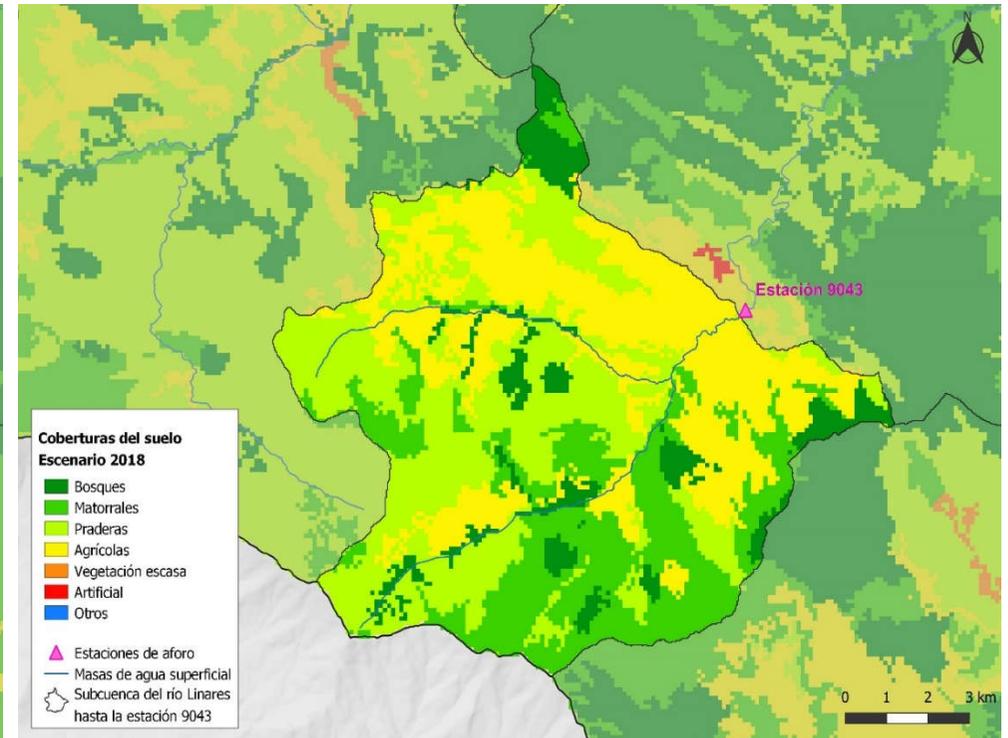
2018

Río Ara hasta estación de aforos 9040. Corine Land Cover

2) POTENCIAL VARIACIÓN DE LA APORTACIÓN HÍDRICA DEBIDA A CAMBIOS EN EL USO DEL SUELO ENTRE 1990 Y 2018



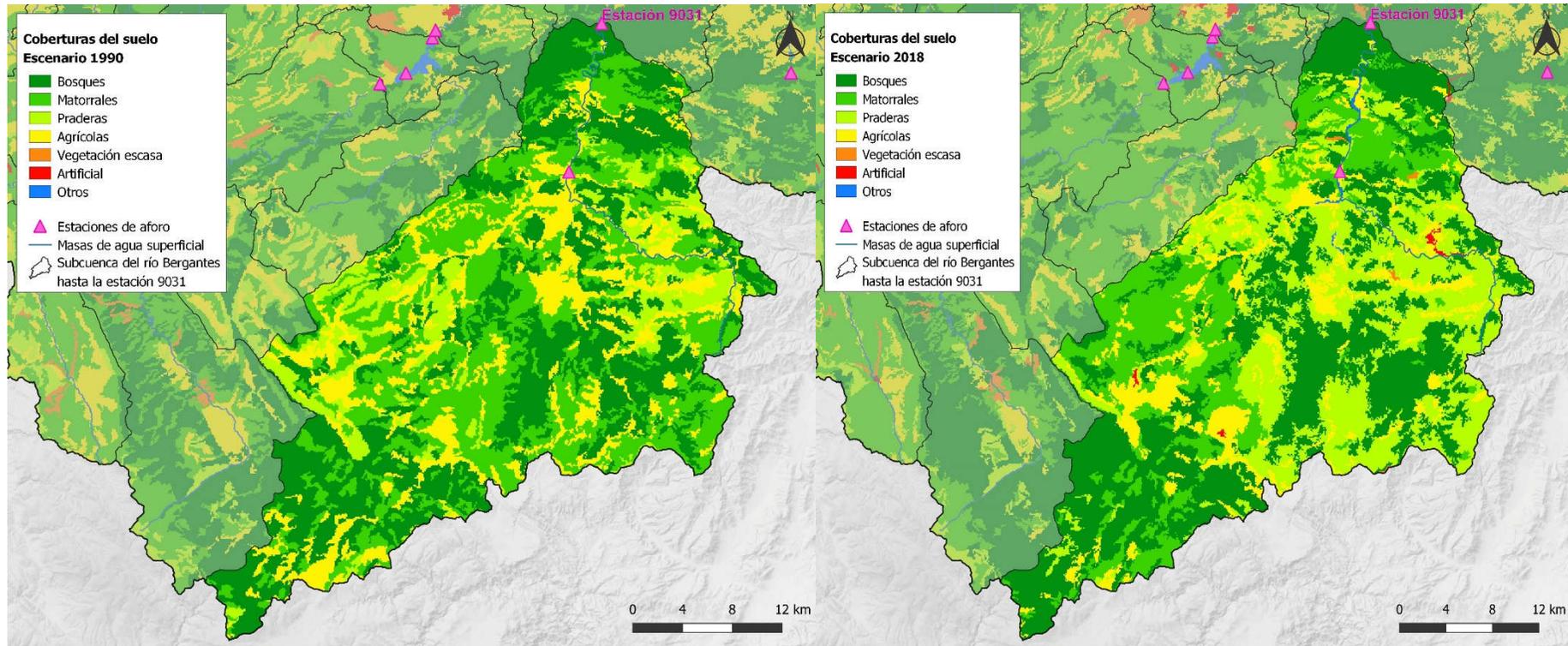
1990



2018

Río Linares hasta estación de aforos 9043. Corine Land Cover

2) POTENCIAL VARIACIÓN DE LA APORTACIÓN HÍDRICA DEBIDA A CAMBIOS EN EL USO DEL SUELO ENTRE 1990 Y 2018



1990

2018

Río Bergantes hasta estación de aforos 9031. Corine Land Cover

2) POTENCIAL VARIACIÓN DE LA APORTACIÓN HÍDRICA DEBIDA A CAMBIOS EN EL USO DEL SUELO ENTRE 1990 Y 2018

- VARIACIÓN DE USO DEL SUELO

Tabla 7. Tabulación cruzada de usos del suelo en la cuenca del Ebro entre 1990 y 2018 (superficie en hectáreas)

		Coberturas del suelo en 2018							Suma	Pérdidas
		OTR	BOS	MAT	PRA	AGR	ESC	ART		
Coberturas del suelo en 1990	OTR	50.254	5.905	5.010	613	5.521	297	314	67.914	17.660
	BOS	3.319	1.595.439	204.040	26.305	58.465	4.823	2.013	1.894.404	298.965
	MAT	2.480	478.438	1.054.259	144.674	175.247	22.221	5.321	1.882.640	828.381
	PRA	519	24.610	98.942	163.271	18.800	17.499	1.078	324.719	161.448
	AGR	10.981	162.942	308.730	56.733	3.510.867	9.084	61.608	4.120.945	610.078
	ESC	712	13.761	59.933	29.894	9.788	100.260	537	214.885	114.625
	ART	110	795	1.432	298	6.315	144	41.579	50.673	9.094
	Suma	68.375	2.281.890	1.732.346	421.788	3.785.003	154.328	112.450		
Ganancias	18.121	686.451	678.087	258.517	274.136	54.068	70.871			

2) POTENCIAL VARIACIÓN DE LA APORTACIÓN HÍDRICA DEBIDA A CAMBIOS EN EL USO DEL SUELO ENTRE 1990 Y 2018

- VARIACIÓN DE USO DEL SUELO

Tabla 8. Balance de usos del suelo en la cuenca del Ebro entre 1990 y 2018 (superficie en hectáreas)

Clase	CLC 1990	CLC 2018	Ganancias	Pérdidas	Balance
Otros	67.914	68.375	18.121	17.660	461
Bosque	1.894.404	2.281.890	686.451	298.965	387.486
Matorrales	1.882.640	1.732.346	678.087	828.381	-150.294
Prados permanentes	324.719	421.788	258.517	161.448	97.069
Superficies agrícolas	4.120.945	3.785.003	274.136	610.078	-335.942
Canchales, roquedos y vegetación escasa	214.885	154.328	54.068	114.625	-60.557
Superficies artificiales	50.673	112.450	70.871	9.094	61.777
Total	8.556.180	8.556.180	2.040.251	2.040.251	0

2) POTENCIAL VARIACIÓN DE LA APORTACIÓN HÍDRICA DEBIDA A CAMBIOS EN EL USO DEL SUELO ENTRE 1990 Y 2018

- VARIACIÓN DE PARÁMETRO H_{max}

Variación de H_{max} entre 1990 y 2018

Tabla 14. Balance de cambios de H_{max} en la DHE entre 1990 y 2018

Clase	H_{max} (mm)	H_{max} 1990 (ha)	H_{max} 2018 (ha)	Ganancias (ha)	Pérdidas (ha)	Balance (ha)
1	0 - 5	164.369	135.413	20.388	49.344	-28.956
2	6 - 25	420.543	445.381	53.497	28.659	24.838
3	26 - 50	103.058	93.635	35.611	45.034	-9.423
4	51 - 75	447.913	450.297	46.304	43.920	2.384
5	76 - 100	161.118	185.187	78.442	54.373	24.069
6	101 - 125	320.012	287.140	82.272	115.144	-32.872
7	126 - 150	830.922	835.311	149.760	145.371	4.389
8	151 - 175	788.396	715.434	89.538	162.500	-72.962
9	176 - 200	3.059.988	2.986.123	380.959	454.824	-73.865
10	201 - 225	1.295.821	1.343.746	236.803	188.878	47.925
11	226 - 250	823.891	930.275	220.042	113.658	106.384
12	251 - 299	55.338	57.141	23.518	21.715	1.803
13	300 - 325	16.757	22.582	9.846	4.021	5.825
16	> 400	67.406	67.867	18.092	17.631	461

2) POTENCIAL VARIACIÓN DE LA APORTACIÓN HÍDRICA DEBIDA A CAMBIOS EN EL USO DEL SUELO ENTRE 1990 Y 2018

- VARIACIÓN DE EXCEDENTES - APORTACIÓN

Variación del excedente (parte que no queda almacenada en el suelo - escorrentía superficial y subterránea) en función de la modificación de H_{max} , considerando que puede representar un comportamiento medio aunque muy simplificado del modelo. En todo caso debe tenerse en cuenta que las estimaciones se realizan en términos relativos entre los dos escenarios temporales

Clase	H_{max} (mm)	Excedente (mm)
1	5	454,4
2	17	418,1
3	44	364,8
4	67	333,2
5	93	303,7
6	115	281,3
7	140	257,8
8	164	236,7
9	190	215,1
10	215	195,6
11	239	178,0
12	263	161,5
13	308	133,4
16	1000	2,1

2) POTENCIAL VARIACIÓN DE LA APORTACIÓN HÍDRICA DEBIDA A CAMBIOS EN EL USO DEL SUELO ENTRE 1990 Y 2018

- VARIACIÓN DE EXCEDENTES a partir de H_{max}

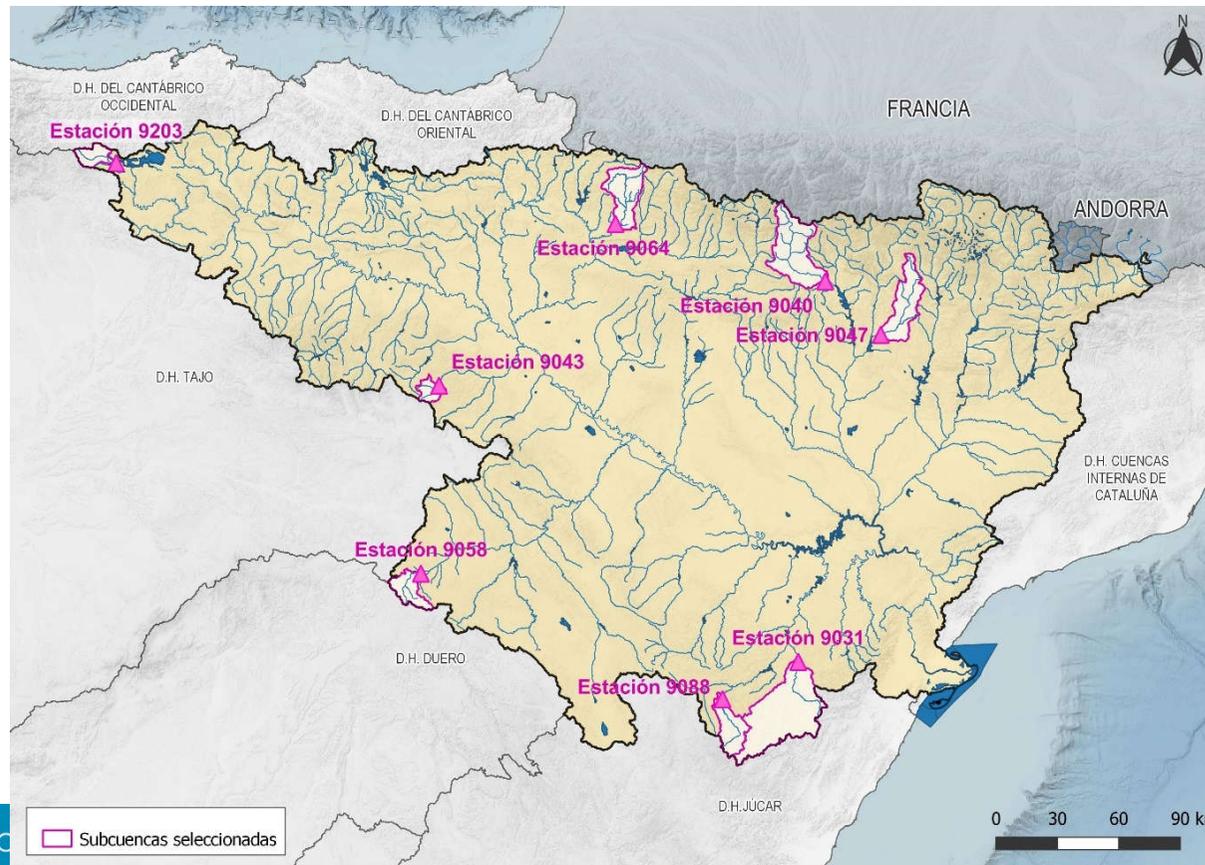
Tabla 16. Estimación de la variación de la aportación entre 1990 y 2018 atribuible a cambios de usos del suelo en la cuenca del Ebro (hm³/año)

		Clases de H _{max} en 2018														Variación excedente (hm ³ /año)		
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	16			
Clases de H _{max} en 1990	1	0	-13,6													-0,2	-14	
	2	6	0	-1,6	-2,8											-0,3	1	
	3		1,0	0	-7,6	-0,1	-2,1	-5,3	0,0	-0,4			-0,1			-0,2	-15	
	4		1,0	5,2	0	0,0	-0,5	-4,4	-0,1	-10,2						-0,5	-10	
	5			0,7	0,0	0	-2,1	-10,6	-1,9	-2,5	-1,1	-0,3	-0,1			-0,9	-19	
	6			2,2	0,6	2,0	0	-7,2	0,0	-28,2	-0,6	-0,3	0,0	0,0		-1,1	-33	
	7			2,9	2,4	6,2	4,5	0	-1,8	-22,2	-1,5	-6,0				-2,2	-18	
	8			0,0	0,1	4,9	0,1	0,8	0	-16,1	-13,9	-1,0				-2,8	-28	
	9			1,2	3,2	19,3	13,5	17,6	8,8	0	-21,0	-38,4	-0,3			-10,4	-6	
	10					6,8	6,0	0,6	5,7	10,9	0	-7,8	-3,2	-1,0		-6,2	12	
	11			0,2		0,7	2,0	1,9	0,6	17,7	4,4	0	-0,8	-0,5		-3,1	23	
	12					0,2	0,1			0,3	1,9	0,8	0	-1,2		-1,0	1	
	13						0				0,5	0,3	0,4	0		-0,2	1	
	16		0,6	0,7	0,5	1,2	0,9	1,2	1,7	1,3	6,5	4,8	5,4	2,6	0,5	0	28	
																		-76

En el conjunto de la cuenca se obtiene un valor de -76 hm³ atribuibles exclusivamente al efecto de los cambios en los usos del suelo entre 1990 y 2018, lo que supone aproximadamente una reducción de la aportación de 0,49% sobre los 15.500 hm³/año totales en régimen natural. Divergente de los anteriores. Debe entenderse como un límite mínimo.

2) POTENCIAL VARIACIÓN DE LA APORTACIÓN HÍDRICA DEBIDA A CAMBIOS EN EL USO DEL SUELO ENTRE 1990 Y 2018

- ESTUDIO EN SUBCUENCAS SELECCIONADAS MUY POCO AFECTADAS HIDROLÓGICAMENTE Y CON DATOS DE AFORO
(Seleccionadas 8 pero 4 tuvieron que ser descartadas por problemas diversos)



2) POTENCIAL VARIACIÓN DE LA APORTACIÓN HÍDRICA DEBIDA A CAMBIOS EN EL USO DEL SUELO ENTRE 1990 Y 2018

- ESTUDIO EN SUBCUENCAS SELECCIONADAS MUY POCO AFECTADAS HIDROLÓGICAMENTE Y CON DATOS DE AFORO

Tabla 50. Resumen de la variación teórica de la aportación según cambios de uso del suelo y comparación con el registro hidrométrico en las subcuencas seleccionadas

Código	Nombre	Variación teórica apor. ⁽¹⁾ (%)	Análisis hidrométrico ⁽²⁾
9043	Río Linares en San Pedro Manrique	- 1,33%	No se aprecia tendencia significativa
9047	Río Isábena en Capella	- 0,81%	No se aprecia tendencia significativa
9058	Río Jalón en Jubera	+ 0,88%	Tendencia al aumento relativo de la apor.
9064	Río Salazar en Aspurz	- 0,54%	Tendencia a la disminución relativa de la apor.

(1) Corresponde a la variación total estimada de la aportación, entre 1990 y 2018, debida exclusivamente a la variación de los usos del suelo entre esos años, según el procedimiento teórico descrito en este estudio

(2) El procedimiento y las gráficas pueden consultarse en el punto 5.2.]



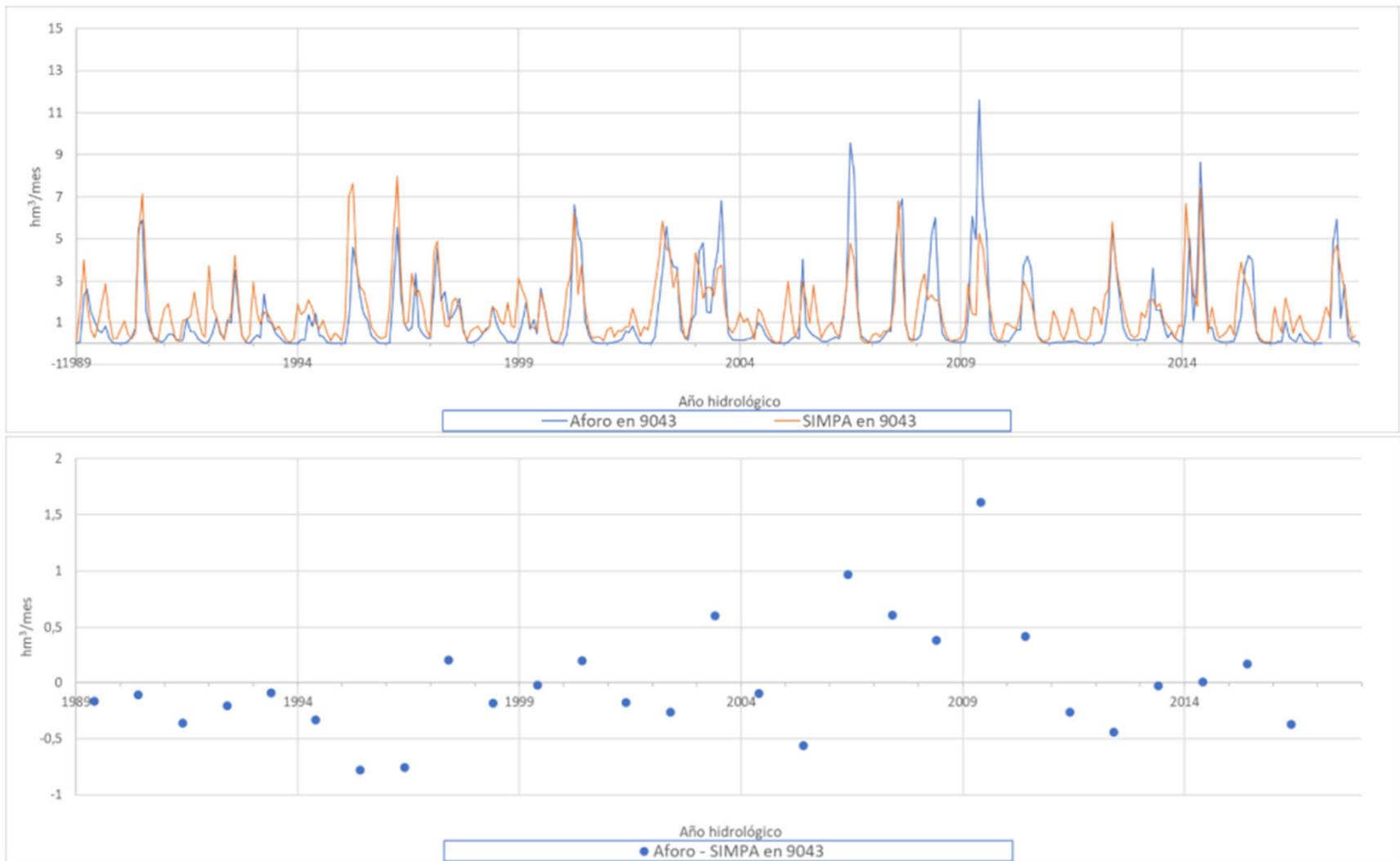


Figura 11. Comparación de la serie de aportación registrada en la estación 9043 Río Linares en San Pedro Manrique con la simulada mediante SIMPA

3) CONCLUSIONES

1) Estamos lejos todavía de disponer una cuantificación precisa de la disminución de recursos hídricos por el incremento de la superficie forestal en la cuenca del Ebro. Divergencia de resultados:

	Periodo	Total merma en aportación media	Tasa anual de descenso	Comentario
CHE 2003	1970-1991	792 hm ³ /a	36 hm³/a	Un descenso tan acusado trasladado a un periodo más largo 1950-2018 debería ser más palpable en los datos hidrológicos
CHE 2023	1995-2018	76 hm³/a	2.6 hm ³ /a	Debe considerarse límite mínimo (iparámetro C excedentes en SIMPA, interceptación)

2) Es, por tanto, necesario seguir estudiando el fenómeno para lograr cuantificar con mayor precisión los efectos, reduciendo las múltiples incertidumbres de cálculo y discriminando todos los factores que afectan al volumen de recursos hídricos.

3) En el momento actual se dispone de mayor información para profundizar en el análisis que en el pasado: series de teledetección y periodos más largos de datos climatológicos e hidrológicos. A ello se suma una clara identificación de series de aforos no alteradas por usos humanos que pueden servir de elemento de estudio.

3) CONCLUSIONES

4) La superficie forestal y de matorral es ya el uso del suelo mayoritario en la cuenca del Ebro (46,9%, frente al 44,2% de la agrícola, según CLC 2018). Su papel sobre los recursos hídricos se torna pues cada vez más relevante.

5) La disminución de recursos hídricos por causa del incremento de la superficie forestal es un tema importante, pero todavía no somos capaces de precisar la magnitud de esa importancia.

6) Cualquier consideración sobre la disminución de recursos hídricos por las masas forestales no debe descontextualizarse del extraordinario valor de los bosques como proveedores de múltiples servicios ecosistémicos (biodiversidad, formación y retención de suelo, captación de CO₂, lucha contra la erosión y la colmatación de embalses, etc).



Gracias

che
CONFEDERACIÓN
HIDROGRÁFICA
EBRO