

Títol del treball:

Anàlisi de l'impacte del canvi climàtic en els recursos hídrics de la Conca de l'Ebre

Estudiant: Mariona Tolosa Carnicé

Grau en Ciències Ambientals

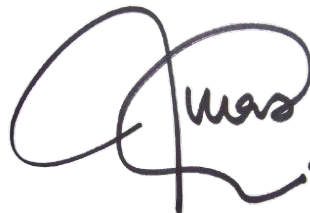
Correu electrònic: tolosa.95ona@gmail.com

Tutor: Josep Mas Pla

Cotutor*:

Empresa / institució:

Vistiplau tutor (i cotutor*):



Nom del tutor: Josep Mas Pla

Nom del cotutor*:

Empresa / institució:

Correu(s) electrònic(s): josep.mas@udg.edu

*si hi ha un cotutor assignat

Data de dipòsit de la memòria a secretaria de coordinació: 25 de Maig del 2018

RESUM

La disponibilitat del recurs hídic es veu amenaçada amb les prediccions sobre els efectes que comportarà el canvi climàtic i l'augment de la demanda d'aigua. L'objectiu d'aquest estudi és calcular un balanç hídic estacional que aporti una visió detallada del recurs disponible. L'estudi s'ha considerat per a les conques del Segre i del Cinca. La metodologia emprada ha sigut el càlcul del balanç hídic per saber la quantitat de recurs, d'on el valor de ETR (evapotranspiració vegetal) ha sigut calculat utilitzant l'equació de Zhang (Zhang et al. 2001) segons el percentatge d'usos del sòl. Els resultats actuals es comparen amb els d'un horitzó futur pel 2050 utilitzant les projeccions climàtiques de Calbó et al. 2016.

La variabilitat entre estacions disminueix fent que les condicions de altes temperatures, alta evapotranspiració potencial i període de poques pluges no sigui només el patró descriptiu del clima que correspon a l'estiu, sinó que també ho fa per primavera i tardor. Per als usos del sòl, la zona baixa de les conques es troba alterada per les canalitzacions i els embassaments fent que la disponibilitat d'aigua, recurs hídic, i els cabals es trobin alterats negativament amb una reducció considerable de la disponibilitat d'aigua a la capçalera, deixant els mesos de més calor amb una carència d'aigua. La falta de la seva disponibilitat durant els mesos de primavera provoca que disminueixi el període de recàrrega que necessita el cicle hídic. Aquesta falta d'aigua augmentarà encara més de cara a l'horitzó 2050. Els períodes de recàrrega es veuran afectats fent que es minimitzin especialment amb un fort impacte a les subconques baixes de l'interior.

En síntesi, en un horitzó futur es presenta una situació d'estrès hídic que amenaça la disponibilitat d'aigua necessària tant per a cobrir la demanda per consum humà com l'activitat agrícola. Es perd l'estacionalitat definida del clima mediterrani i s'haurà de millorar la gestió de regulació de l'aigua en embassaments on la recarrega dependrà dels episodis de pluges intenses.

RESUMEN

La disponibilidad del recurso hídrico se ve amenazada con las predicciones sobre los efectos que conllevarán el cambio climático y el aumento de la demanda de agua. El objetivo de este estudio es calcular un balance hídrico estacional que aporte una visión detallada del recurso disponible. El estudio se ha considerado para las cuencas del Segre y del Cinca. La metodología utilizada ha sido el cálculo del balance hídrico para

saber la cantidad de recurso, de donde el valor de ETR (evapotranspiración vegetal) ha sido calculado utilizando la ecuación de Zhang (Zhang et al. 2001) según el porcentaje de usos del suelo. Los resultados actuales se comparan con los de un horizonte futuro para el 2050 utilizando las proyecciones climáticas de Calbó et al. 2016.

La variabilidad entre estaciones disminuye haciendo que las condiciones de altas temperaturas, alta evapotranspiración potencial y período de pocas lluvias no sea sólo el patrón descriptivo del clima que corresponde al verano, sino que también lo hace por primavera y otoño. Para los usos del suelo, la zona baja de las cuencas se encuentra alterada por las canalizaciones y los embalses haciendo que la disponibilidad de agua, recurso hídrico, y los caudales se encuentren alterados negativamente con una reducción considerable de la disponibilidad de agua en el inicio, dejando los meses de más calor con una carencia de agua. La falta de su disponibilidad durante los meses de primavera provoca que disminuya el periodo de recarga que necesita el ciclo hídrico. Esta falta de agua aumentará aún más de cara al horizonte 2050. Los períodos de recarga se verán afectados haciendo que se minimicen especialmente con un fuerte impacto en las subcuencas bajas del interior.

En síntesis, en un horizonte futuro se presenta una situación de estrés hídrico que amenaza la disponibilidad de agua necesaria tanto para cubrir la demanda para consumo humano como la actividad agrícola. Se pierde la estacionalidad definida del clima mediterráneo y se deberá mejorar la gestión de regulación del agua en embalses donde la recarga dependerá de los episodios de lluvias intensas.

ABSTRACT

The availability of water resources is threatened by predictions of the effects of climate change and increased demand for water. The objective of this study is to calculate a seasonal water balance that provides a detailed view of the available resource. The study has been considered for the Segre and Cinca basins. The methodology used has been the calculation of the water balance to know the quantity of the resource, from where the ETR value (plant evapotranspiration) has been calculated using the Zhang equation (Zhang et al. 2001) according to the percentage of land uses. Current results are compared with those of a future horizon for 2050 using the climate projections of Calbó et al. 2016.

Seasonal variability decreases, making the conditions of high temperatures, high potential evapotranspiration and low rainfall period not the descriptive pattern of the climate that corresponds only to summer, also describe spring and autumn. For land use purposes, the lower part of the basins is altered by canalization and dams, causing the availability of water, water resources, and flows to be negatively altered with a considerable reduction in their volume, leaving the hottest months with a deficit of water. The lack of availability during the spring months causes the period of recharge required by the water cycle to disappear. This deficit of water will increase, more than now, by 2050. Recharge periods will be affected by making them be minimized, especially with a strong impact on the lower sub-basins of the interior.

In synthesis, in a future horizon a situation of water stress is presented that threatens the availability of water necessary to cover both the demand for human consumption and agricultural activity. The defined seasonality of the Mediterranean climate is lost and the management of water regulation in reservoirs where recharge will depend on episodes of heavy rainfall should be improved.

ÍNDEX

INTRODUCCIÓ	1
METODOLOGIA	3
RESULTATS	7
DISCUSSIÓ	24
SOSTENIBILITAT PER A NOVES MESURES	26
CONCLUSIONS	27
BIBLIOGRAFIA	28

INTRODUCCIÓ

Water is one of the most important resources on our planet because its presence determines life on it. Population is increasing fast and, consequently, the demand for water is growing. Although a few years ago water was still considered an unlimited resource, today its scarcity is the subject of disputes between territories. This is the cause of the negative impact that humanity has generated on water resources, causing alterations in the water cycle. This impact is represented by changes in land use, prolonged pollution, resource exploitation - the construction of dams (Batalla et al. 2004; Vicente-Serrano et al. 2017) and, lastly, climate change. These alterations have caused an increase in the variability of water resources and, therefore, good management is necessary in order to adapt to them.

If the quantity of water in the territory decreases some actions are affected: energy production, the interaction between surface and ground water, the quality of habitats and the transport of sediments.

Climate change compromises water flows and availability due to the expected increase in temperatures and the alteration of the rainfall regime. Already in recent years there has been a progressive increase in the number of droughts. This increase is causing the disappearance of the high mountain glaciers, a form of natural reserve that provides the maximum flow in spring during the thaw. The thaw is anticipated at the end of winter, producing a serious alteration in the water cycle and can cause a lack of water in spring, just before the hottest months of the year. The most severe negative runoff disturbances, for the annual average, occur at mid-latitudes and in most subtropical regions (Arnell et al. 1999). All these alterations due to the climate will be increased by other impacts as land use changes.

Mediterranean climate is characterized by certain variability between seasons (especially between winter and summer) and a water deficit during the warm part of the year. For this reason, the Mediterranean area is highly vulnerable to the effects of climate change that are anticipated (Mas et al. 2016).

To know the evolution of the climate and anticipate the consequences of climate change, climate projections are made. A climate projection is the simulated response of the climate system in front of a future scenario of emissions or concentration of gases with greenhouse effect and aerosols. These scenarios are linked to the hypotheses that are assumed in relation to socio-economic development. In the third report on

Climate Change in Catalonia (Calbó et al. 2016), present climate projections focused on precipitation and temperature, and their relationship with the water balance.

The objective of this work is to recalculate the water balance, according to the method proposed in the Third Report on Climate Change in the Segre and Cinca rivers to estimate their seasonal values that provide a more detailed view of the present available resource and those 2050. It will be compared with the flow recorded in the gauging stations of the studied basins. All this with the intention of describing how climate impacts affect the availability of water resources, and especially surface flows, and its impact on river connectivity in the basins.

STUDY AREA

Two specific basins have been considered as area of study of this work: the Cinca and Segre basins. Both are tributaries to the Ebro River. These two basins follow a similar model: their drainage network originates at the Pyrenees and they cover in an area of great agricultural exploitation in its lower parts before joining the Ebro River.

- CINCA: This River is administratively owned almost entirely in the Autonomous Community of Aragon. Begins in Monte Perdido (Huesca) and after 171 km it drains into the Segre on the right into the Granja d'Escarp (Segrià, Lleida) with an approximate contribution of 95 m³/s.
- SEGRE: This River, which belongs to the Autonomous Community of Catalonia. Its basins start in the Alta Cerdanya at an altitude of 2.844 m and ends in 9 km at the Ebro in Mequinenza, after a path of 265 km and providing an average of 200 m³/s. The drainage from the Pyrenees determines a regime based on a maximum from May to June and a minimum from January to January of snow retention, but, due to the autumn rains, after the dryness of summer, they draw a secondary maximum in November.

OBJECTIVES

The objective of this work is to calculate the seasonal water balance, according to the method proposed in the Third Report on Climate Change, in the Segre and Cinca Rivers provide a more detailed view of the present available resource and those for 2050. Results of available resources will be compared with the flow recorded in the gauging stations of the studied basins.

We look forward illustrating the effects of climate change on the hydrologic regime considering seasonal variations that will lastly affect stream flow and groundwater recharge.

METODOLOGIA

1.) Per a poder avaluar l'evolució del recurs hídic en l'horitzó de 2050, s'ha calculat el balanç hídic a partir de series de temperatura i precipitació mensuals del Servei Meteorològic de Catalunya (SMC), en el cas del Segre, i de l'Institut Estadístic d'Aragó (IDEA), per al Cinca. Les sèries de dades s'han considerat en funció de la seva disponibilitat (Taula 1). Per a la conca del Segre s'han utilitzat les sèries de dades del període 2007-2016 de la xarxa d'estacions EMA (estacions automatitzades). Pel que fa a la conca del Cinca, degut a la falta de dades en certes parts del territori, els períodes de registre de cada estació no coincideixen. La majoria de les estacions es representen dins el període de 2003-2014.

Taula 1. Distribució d'estacions meteorològiques per conca i subconca, les estacions porten el nom del municipi de referència.

Conca	Font	Subconca	Estacions
Cinca	IDEA	1	Bielsa
		2	Torla
		3	Lafortunada, Ainsa, Mediano
		4	Naval, Graus, Grado
		5	Barcabo, Barbastro, Castejón del puente
		6	Monzón, Tamarite de Litera, Binefar, Fraga
Segre	SMC (EMA)	Noguera Ribagorçana Alta	Pont de Suert, Bohí
		Noguera Ribagorçana Baixa	Albesa
		Noguera Pallaresa Alta	Espot
		Noguera Pallaresa Baixa	La Pobla de Segur, Camarasa
		Alt Segre	Organyà, la Seu d'Urgell
		Segre mitjà	Vallfogona de Balaguer, Oliola, Oliana
		Plana de Lleida	Cervera, Tàrrega, Golmés, Castellnou de Seana, Lleida, Vilanova de Segrià
Baix Segre	Torres de Segre, Seròs, la Granadella, Alguaire		

2.) A partir de les dades mitjanes mensuals de la temperatura de la sèrie, s'obté l'evapotranspiració potencial (ETP) per conèixer la part d'aigua que retorna a l'atmosfera, ja vingui de l'evaporació o la transpiració vegetal. El càlcul es realitza amb les equacions de Thornthwaite (Dunne i Leopold, 1978).

$$I = \sum_{i=1}^{12} \left[\frac{T_{ai}}{5} \right]^{1.5} \quad \text{Índex tèrmic anual on:}$$

T_{ai} (i) = mitjana de la temperatura de l'aire (°C).

I = Suma dels valors mensuals.

$$ETP (ET_o) = 16\beta \left[\frac{10T_{ai}}{I} \right]^a \text{ (mm)}$$

$$a = 0.49 + 0.0179 I - 0.0000771 I^2 + 0.000000675 I^3$$

β = factor de latitud

Taula 2. Coeficient de latitud per a 40°N i per a cada mes (Dunne i Leopold, 1978).

Latitud	GEN	FEB	MAR	ABR	MAG	JUN	JUL	AGT	SET	OCT	NOV	DES
40°N	0,8	0,89	0,99	1,10	1,20	1,25	1,23	1,15	1,04	0,93	0,83	0,78

Aquest mètode utilitza la temperatura de l'aire com a índex de l'energia disponible per l'evapotranspiració potencial, assumint que és correlativa amb els efectes integrats de la radiació neta i altres controls de l'evapotranspiració. La variable d'ETP s'expressa en funció de la temperatura mitjana per estacions i anualment en base a les dades obtingudes de les sèries climàtiques.

3.) Com s'ha esmentat abans, l'evapotranspiració potencial estableix una relació amb la transpiració vegetal i, per això, el tipus d'ús o cobertura que hi hagi en un sòl condicionarà els valors d'evapotranspiració real (ETR). Amb la finalitat de calcular el valor d'ETR, Zhang et al.2001, associa l'ETP i la precipitació (P) amb els usos del sòl a partir d'una equació racional.

$$\frac{ET_z}{P} = \frac{1 + w \frac{ET_o}{P}}{1 + w \frac{ET_o}{P} + \left(\frac{ET_o}{P} \right)^{-1}}$$

On, w és el coeficient d'aigua disponible per a la vegetació i representa l'aigua del sòl que cal esperar que sigui accessible a diferents plantes per un cert valor de la precipitació anual.

Taula 3. Coeficient dels usos del sòl en funció de la seva cobertura vegetal (Mas-Pla et al.2016).

Cobertura del sòl	w
Bosc	1,75
Plantacions de pollancre	1,75
Conreu regadiu	1,50
Conreu secà	0,75
Vegetació escassa	0,40
Prat supraforestal	1,00
Aigua continental, zona urbanitzable, altres	0,00

Amb el programari de sistemes d'informació geogràfica ArcGis, es calcula la cobertura del sòl de cada una de les subconques prèviament definides i el percentatge que ocupa respecte a l'àrea total de la subconca. La informació de les cobertures s'obté de la capa ràster (capa de bits on es guarda la informació dins els píxels de la resolució del mapa) del projecte CORINE Land de 2006 de la Unió Europea. Tot i així, aquesta capa té gran varietat de categories i, per tal de adaptar-la al nostre treball, es reclassifica en una classificació més simple (Taula 3).

4.) L'evolució del recurs hídric disponible actualment ve determinat per l'equació:

$$R = \left(1 - \frac{ETz}{P}\right)P$$

Amb la finalitat de calcular el valor de R per a l'horitzó de 2050 es projecten les sèries publicades per Calbó et al. 2016 en el càlcul de ETP en funció de la T corresponent a 2050, i ETR, segons la fórmula de Zhang, amb l'esmentat valor de ETo i la P determinada per a 2050. L'estudi de Calbó i col·laboradors ha realitzat una aproximació per conjunts a partir dels resultats obtinguts dels últims projectes realitzats en projeccions climàtiques (MERCAT, ESTCENA, EuroCODEX, CMIP5 i DCP) on s'ha combinat resultats de tècniques de regionalització diferents en escenaris diferents per a determinar les zones climàtiques del país. En el nostre estudi, s'utilitza les regions de Catalunya i es determina les diferents regions d'ambdues conques a partir de la correspondència amb les zones d'interior i Pirineu establertes per al territori català.

Taula 4. Resum dels resultats de les projeccions per a l'horitzó 2050 (Calbó et al. 2016).

		<i>Hivern</i>	<i>Primavera</i>	<i>Estiu</i>	<i>Tardor</i>	<i>Anual</i>
<i>Interior</i>	ΔT (°C)	1,2	1,2	1,9	1,7	1,4
	ΔPPT (%)	-1,1	-11,5	-9,9	-8,9	-6,5
<i>Pirineu</i>	ΔT (°C)	1,4	1,4	1,9	1,8	1,6
	ΔPPT (%)	-1,8	-8,4	-9,0	-9,3	-5,3

5.) Finalment, es comparen els valors de R actuals amb els de futur i es valoren conjuntament amb les dades de cabals. Les dades de cabals s'han obtingut a partir de l'anuari de 2014 (amb rangs de dades variables depenent de la disponibilitat, normalment amb dades a partir de 1980 fins a 2014) de la Confederació de l'Ebre corresponents a les subconques dins el Segre i el Cinca. El motiu de treballar a nivell de subconques és per a distingir les projeccions climàtiques corresponents a les zones d'interior i Pirineu definides a les projeccions climàtiques. Alhora, ambdues zones presenten trets diferents, essent les zones Pirinenques amb un ús forestal del sòl dominant i les zones d'interior amb un ús agrícola, en gran part de regadiu depenent de la xarxa de canals que deriven dels embassaments ubicats a les dues conques.

RESULTATS

CONCA DEL CINCA

La relació entre ETP i la temperatura a la conca del riu Cinca, calculada amb la fórmula de Thornthwaite s'ha calculat a nivell anual i estacional segons els valors de temperatura de cada una de les conques estudiades (Figures 1 i 2).

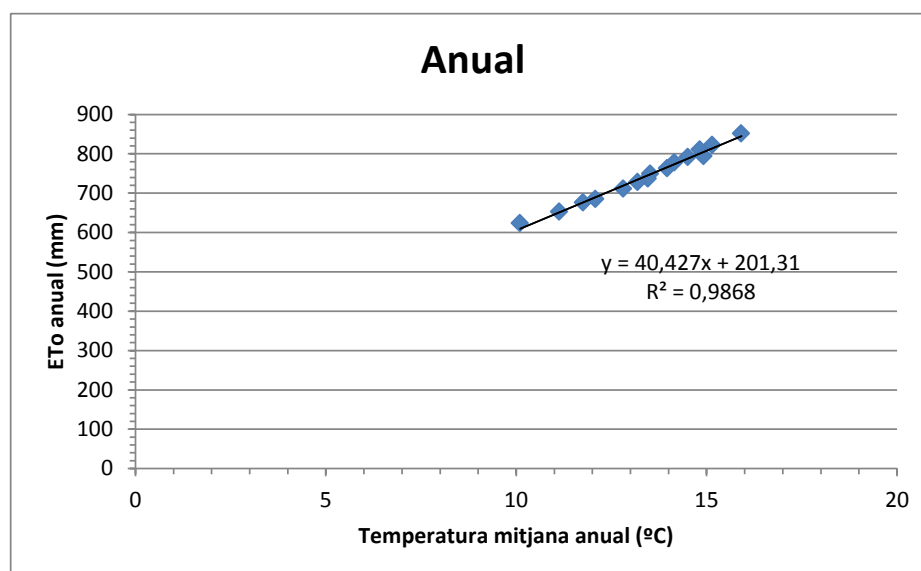


Figura 1. Relació anual entre la temperatura i l'ETP a partir de les sèries de dades extretes de IDEA per a la conca del Cinca.

Els gràfics mostren una tendència lineal on únicament l'hivern presenta una ETP molt baixa (ja que el valor no supera els 40 mm). Els valors d'ETP no superen els 200 mm en general, només durant l'estiu que arriba a 455 a l'estació de Fraga i la gràfica anual on es representa la suma de la variable per a totes les estacions de cada estació meteorològica.

També es presenta la relació entre ETR/P, és a dir, l'evapotranspiració calculada amb el coeficient de Zhang (w) a partir del tipus de vegetació a la cobertura del sòl i ETP/P, a nivell anual i estacional. Els valors s'expressen en forma de proporcions respecte a la precipitació de cada subconca (Figures 3 i 4). Es mostra ala gràfics una tendència lineal amb un valor de la correlació lineal, R^2 , superior a 0,90 amb una excepció de l'estiu on R^2 és 0,37. Cada un dels punts representa una subconca (Taula 5).

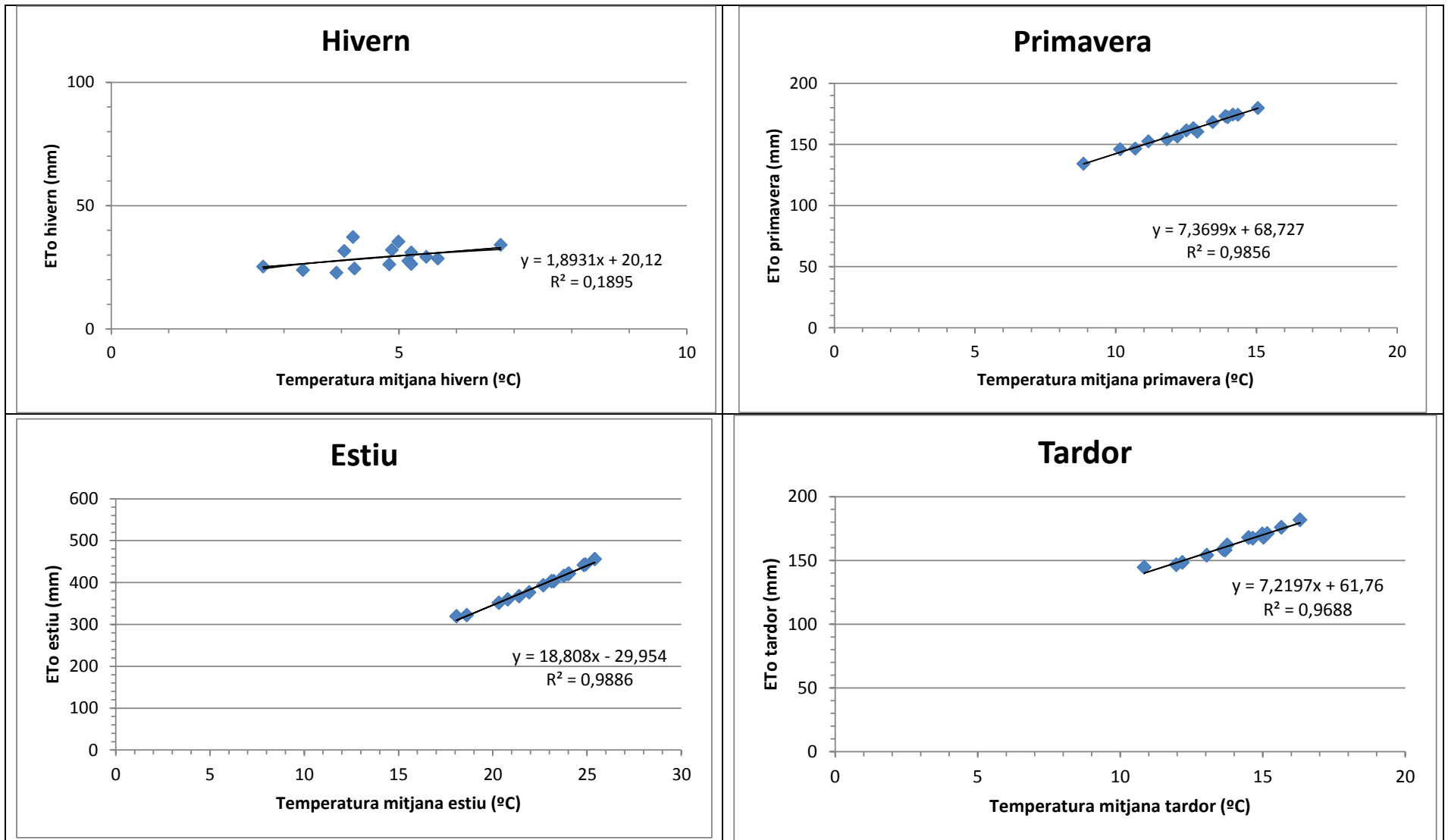


Figura 2. Relació per estacions entre la temperatura i ETP a partir de les sèries de dades extretes de IDEA per a la conca del CINCA.

Taula 5. Referència de les subconques en el territori aragonès.

ID subconca	Territori
1	Subconca zona Pineta
2	Subconca Pirineu (zona Torla)
3	Subconca Alt Cinca (Lafortunda fins a emb. El Mediano)
4	Subconca Cinca mitjà (El Mediano fins El Grado)
5	Subconca Vero
6	Subconca Baix Cinca

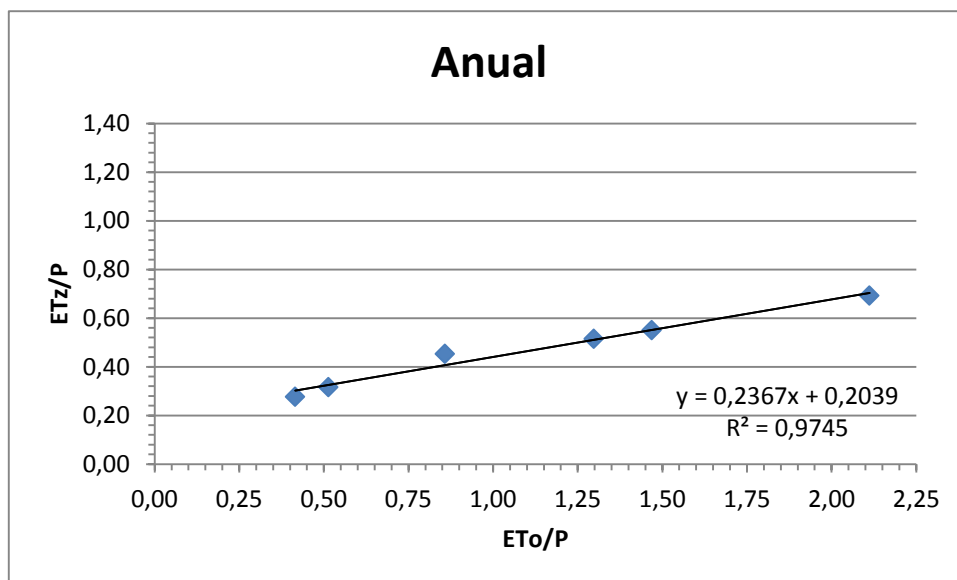


Figura 3. Relació anual entre les variables hidrològiques expressades en quocients ETz/P (Zhang, w amb els usos del sòl) i els valors de ETo estimats amb les dades meteorològiques per cada subconca.

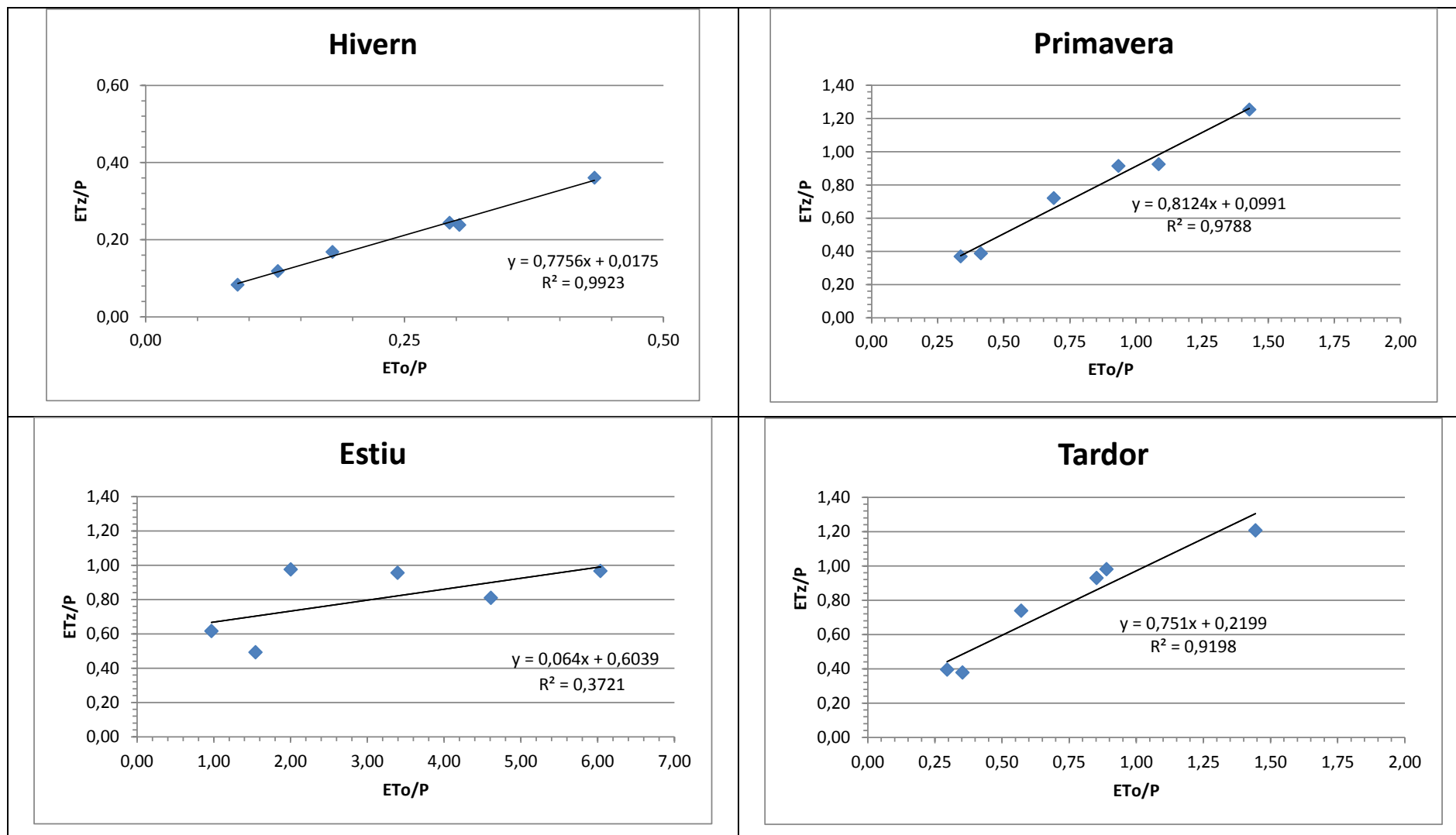


Figura 4. Relació estacional entre les variables hidrològiques expressades en quocients ETz/P (Zhang, w amb els usos del sòl) i els valors de ETo estimats amb les dades meteorològiques per cada subconca.

Taula 6. Projeccions de les variables de temperatura, precipitació, ETP i ETR per a l'horitzó 2050 al Cinca a partir de les projeccions de l'estudi de Calbó et al. 2016.

Subconca	Rang	T2016 (T°C)	T2050 (T°C)	P2016 (mm)	P2050 (mm)	ETP2050	ETP/P2050	ETR/P2018	ETR/P2050	Zona
1	Anual	10,11	11,71	1501,07	1421,52	674,52	0,47	0,27	0,32	PIRINEU
	H	2,64	4,04	284,363	279,244	27,77	0,10	0,10	0,09	
	P	8,86	10,26	397,99	364,55	144,35	0,40	0,34	0,42	
	E	18,08	19,98	329,04	299,42	345,74	1,15	0,56	0,68	
	T	10,85	12,65	489,69	444,15	153,06	0,34	0,42	0,48	
2	Anual	11,14	12,74	1270,69	1203,34	716,54	0,60	0,31	0,34	PIRINEU
	H	4,20	5,60	291,38	286,130	30,72	0,11	0,14	0,10	
	P	10,17	11,57	353,30	323,62	153,97	0,48	0,36	0,49	
	E	18,63	20,53	208,54	189,77	356,16	1,88	0,45	0,72	
	T	11,58	13,38	417,48	378,65	158,38	0,42	0,39	0,53	
3	Anual	12,75	14,15	834,72	780,46	773,30	0,99	0,45	0,44	INTERIOR
	H	4,04	5,24	145,41	143,81	30,04	0,21	0,19	0,18	
	P	11,96	13,16	227,47	201,31	165,75	0,82	0,69	0,77	
	E	21,80	23,70	188,11	169,49	415,86	2,45	0,92	0,76	
	T	13,18	14,88	273,73	249,37	169,22	0,68	0,78	0,73	
4	Anual	13,64	15,04	578,72	541,11	809,49	1,50	0,57	0,56	INTERIOR
	H	4,90	6,10	98,03	96,95	31,66	0,33	0,31	0,27	
	P	12,86	14,06	174,85	154,74	172,36	1,11	0,98	1,00	
	E	22,86	24,76	116,97	105,39	435,67	4,13	0,99	0,87	
	T	13,96	15,66	188,87	172,06	174,82	1,02	1,08	0,98	
5	Anual	13,58	14,98	513,65	480,27	807,08	1,68	0,57	0,60	INTERIOR
	H	4,70	5,90	95,43	94,38	31,29	0,33	0,29	0,27	
	P	12,78	13,98	150,17	132,90	171,74	1,29	0,91	1,15	
	E	22,98	24,88	87,35	78,70	437,92	5,56	0,81	0,96	
	T	13,89	15,59	180,71	164,62	174,28	1,06	1,05	1,01	
6	Anual	14,88	16,28	381,96	357,14	859,42	2,41	0,67	0,77	INTERIOR
	H	5,71	6,91	69,83	69,07	33,19	0,48	0,40	0,39	
	P	14,06	15,26	120,29	106,46	181,16	1,70	1,15	1,48	
	E	24,39	26,29	71,29	64,23	464,50	7,23	0,93	1,07	
	T	15,37	17,07	120,55	109,82	184,97	1,68	1,19	1,48	

Taula 7. Quantificació del recurs disponible a nivell de subconca amb m³ i relació amb els cabals en m³/s.

Subconca	Rang	R/P 2016	R/P 2050	R 2018 (m ³)	R 2050 (m ³)	R 2016 (mm)	Q (m ³ /s)
1	Anual	0,73	0,68	42540,04	37711,63	1096,46	nd
	H	0,90	0,91	9939,51	9808,84	256,19	nd
	P	0,66	0,58	10154,38	8192,40	261,73	nd
	E	0,44	0,32	5559,04	3742,99	143,28	nd
	T	0,58	0,52	11078,34	8982,86	285,54	nd
2	Anual	0,69	0,66	46315,71	41457,12	880,77	7,47
	H	0,86	0,90	13168,03	13530,04	250,41	3,28
	P	0,64	0,51	11983,13	8753,65	227,88	9,17
	E	0,55	0,28	6042,19	2754,09	114,90	11,21
	T	0,61	0,47	13312,25	9278,13	253,15	6,24
3	Anual	0,55	0,56	35434,92	33718,16	460,60	15,45
	H	0,81	0,82	9019,49	9077,01	117,24	9,86
	P	0,31	0,23	5491,28	3593,45	71,38	17,78
	E	0,08	0,24	1203,85	3117,17	15,65	20,30
	T	0,22	0,27	4713,00	5188,67	61,26	13,85
4	Anual	0,43	0,44	16210,06	15588,19	248,71	35,31
	H	0,69	0,73	4422,80	4607,87	67,86	26,55
	P	0,02	0,00	221,05	-40,28	3,39	44,85
	E	0,01	0,13	48,31	903,45	0,74	38,30
	T	-0,08	0,02	-1038,16	191,62	-15,93	31,55
5	Anual	0,43	0,40	32094,66	27793,19	220,91	1,84
	H	0,71	0,73	9790,65	9946,56	67,39	2,26
	P	0,09	-0,15	1888,94	-2875,65	13,00	2,31
	E	0,19	0,04	2462,68	457,13	16,95	1,08
	T	-0,05	-0,01	-1428,90	-357,48	-9,84	1,72
6	Anual	0,33	0,23	22981,07	14804,98	125,56	75,06
	H	0,60	0,61	7671,66	7707,67	41,92	71,47
	P	-0,15	-0,48	-3346,79	-9383,00	-18,29	93,55
	E	0,07	-0,07	944,70	-784,25	5,16	68,14
	T	-0,19	-0,48	-4240,88	-9744,68	-23,17	67,06

Els cabals expressats són la mitjana dels mesos per a cada estació dins un període de 1980 a 2014. Les nd simbolitzen un no data de cabals per a la zona degut a falta de dades.

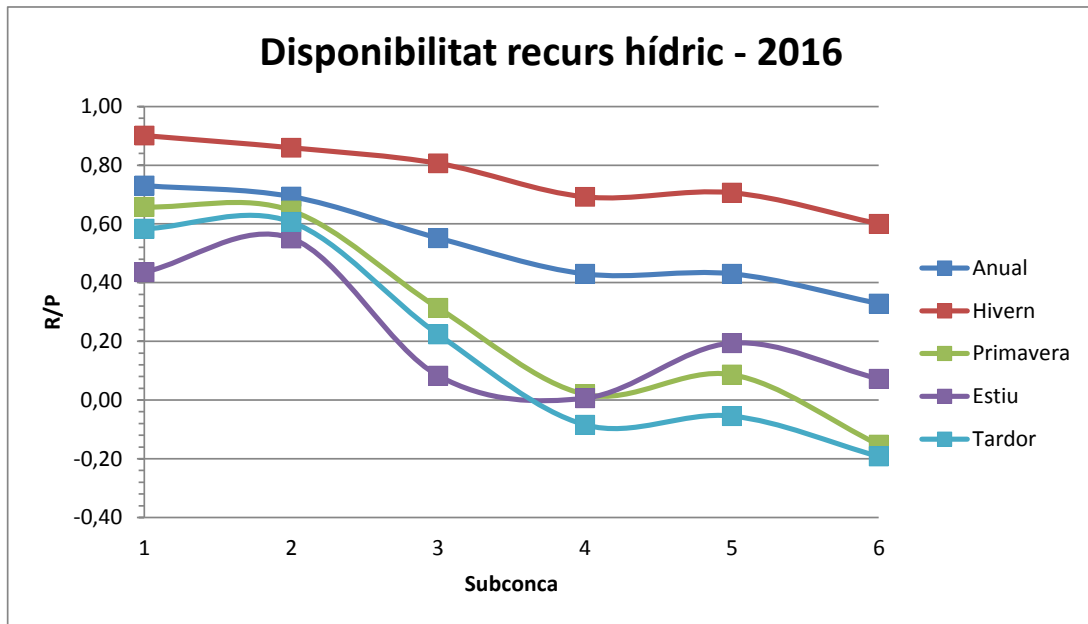


Figura 5. Disponibilitat del recurs hídic en tant per 1 en relació amb les subconques que es presenten des de subconca 1 al Pirineu fins a subconca 6 a la desembocadura del Cinca, dades actuals.

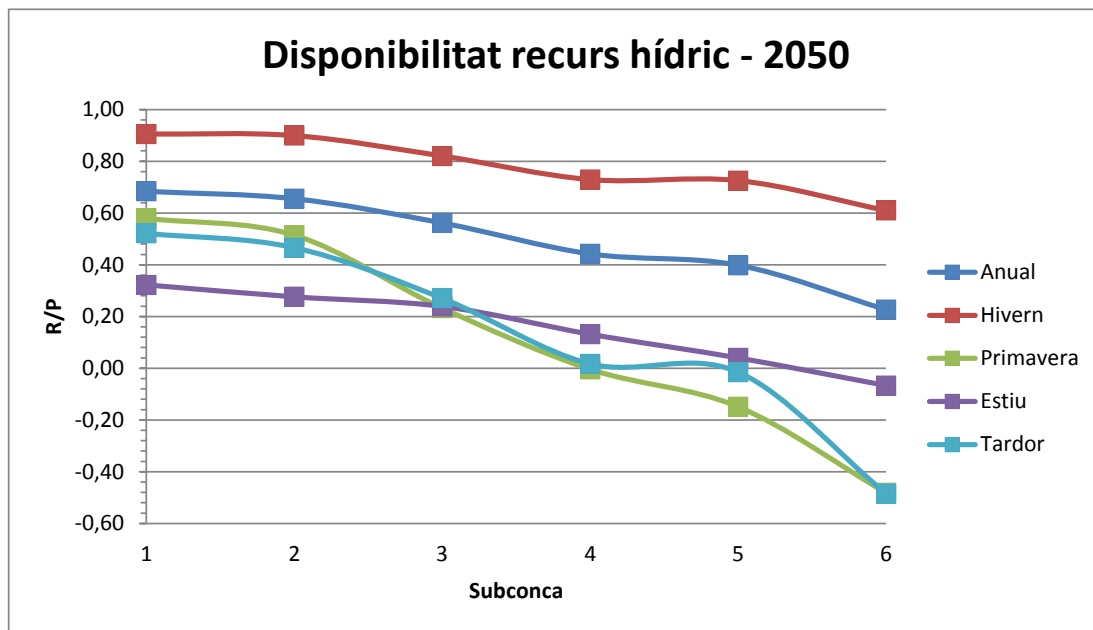


Figura 6. Disponibilitat del recurs hídic en tant per 1 en relació amb les subconques que es presenten des de subconca 1 al Pirineu fins a subconca 6 a la desembocadura del Cinca, horitzó 2050.

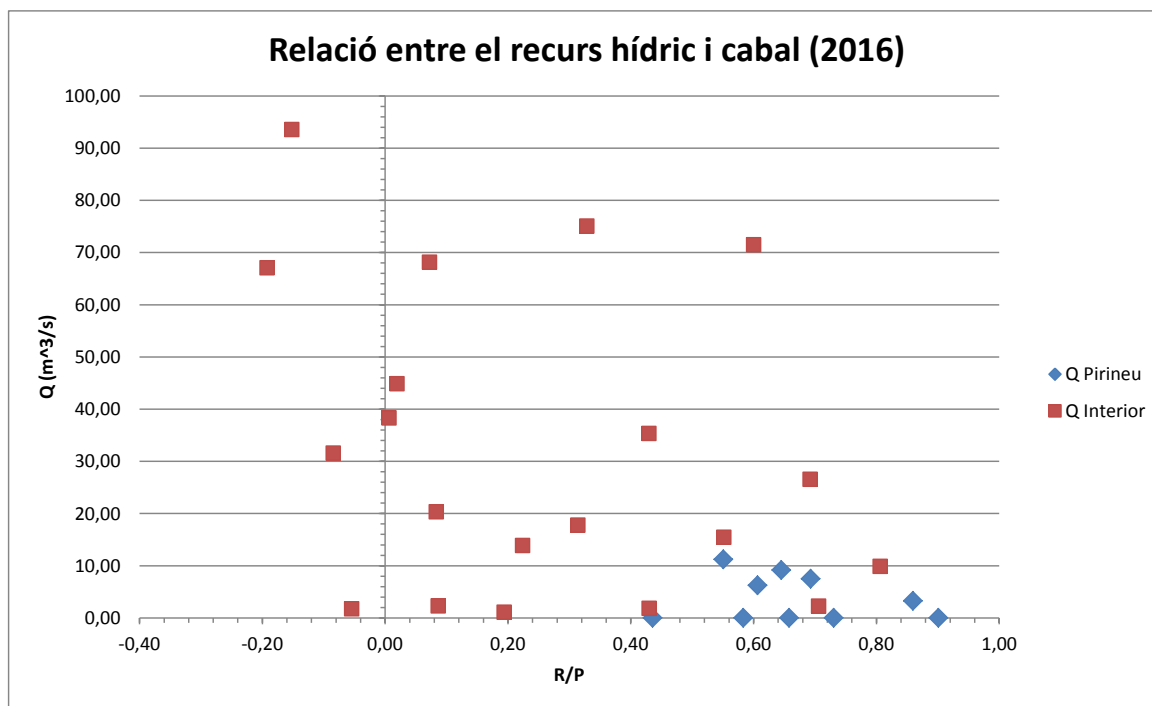


Figura 7. Relació entre R/P i el cabal mitjà de les estacions de cada subconca.

A la Taula 7 es marca en vermell dins les columnes de R/P, els valors iguals o inferiors a 0 per a poder identificar les situacions d'estrès hídric.

$$\frac{R}{P} \leq Q$$

A les gràfiques (Figures 5 i 6) es representa l'evolució de la disponibilitat d'aigua en les subconques ordenades a l'eix d'abscisses en funció de la seva altitud; és a dir, des del Pirineu fins a la zona central de la depressió de l'Ebre.

La representació de cabal respecte R/P conclou que no hi ha relació entre les variables (Figura 7). Els cabals corresponents a la zona del Pirineu es mantenen en valors positius de R/P. Aquesta manca de relació, altrament esperable, es deu a la influència de la gestió dels embassaments que condiciona el règim de cabals i l'allunya de mostrar un "comportament natural" i, per tant, de la possibilitat d'establir alguna relació entre els recursos disponibles i el cabal circulant.

CONCA DEL SEGRE

Representació de la ETP en funció de la temperatura per a cada estació meteorològica al llarg de la conca del Segre (Figures 8 i 9). Igual que al Cinca, a la gràfica anual els valors màxims arriben fins a 900 mm d'ETP. Estacionalment, totes les relacions presenten una R^2 superior a 0,90.

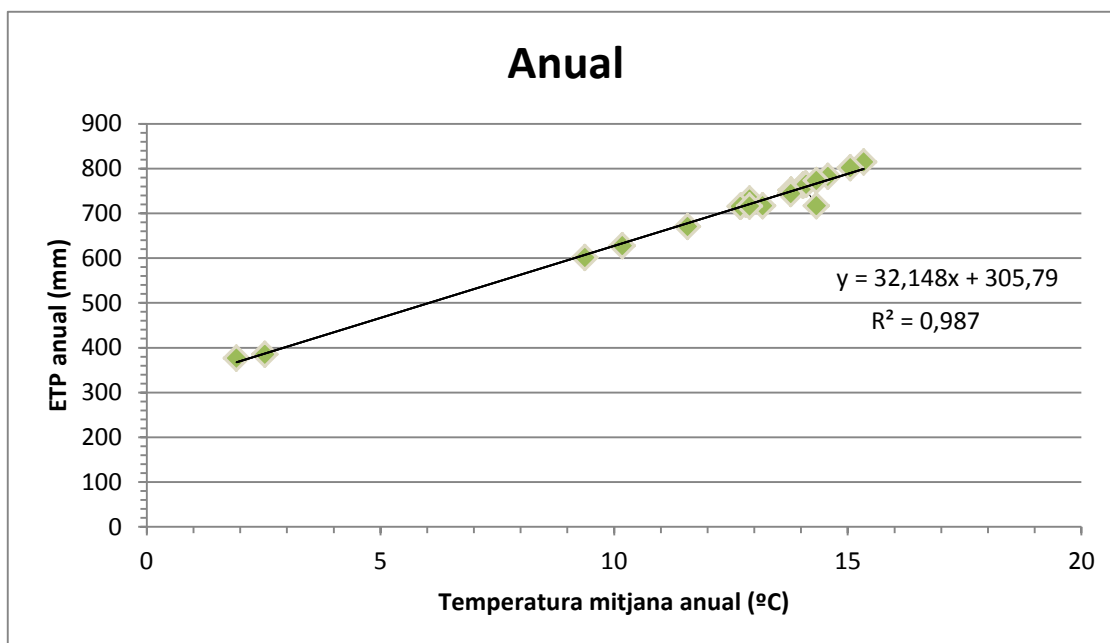


Figura 8. Relació anual entre la temperatura i l'ETP a partir de les sèries de dades extretes del SMC per a la conca del Segre.

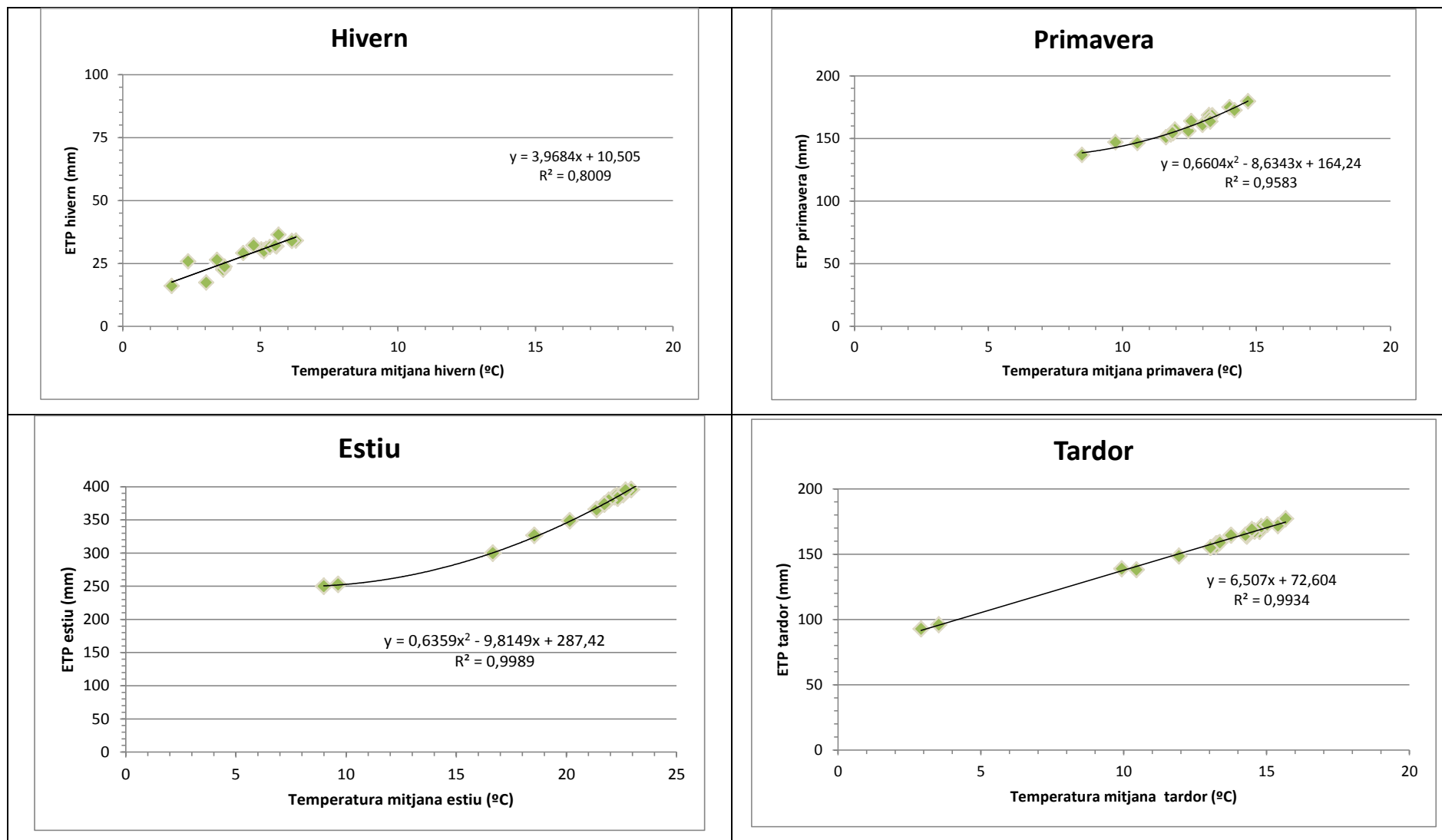


Figura 9. Relació per estacions entre la temperatura i ETP a partir de les sèries de dades extretes del SMC per a la conca del Segre.

A la primavera i a l'estiu s'ha aplicat una tendència no lineal, les dades de les estacions mostren una tendència corba, s'expressa una equació polinòmica de segon grau per obtenir un valor de correlació notablement més elevat. Els valors de ETP més baixos es presenten a l'hivern i els més alts a l'estiu, igual que amb la conca del Cinca, en funció de la temperatura estacional.

Taula 8. Referència de les subconques en el territori català (Lleida).

ID subconca	Territori
1	Alta Noguera Ribagorçana
2	Baixa Noguera Ribagorçana
3	Alta Noguera Pallaresa
4	Baixa Noguera Pallaresa
5	Alt Segre
6	Segre mitjà
7	Plana de Lleida
8	Baix Segre

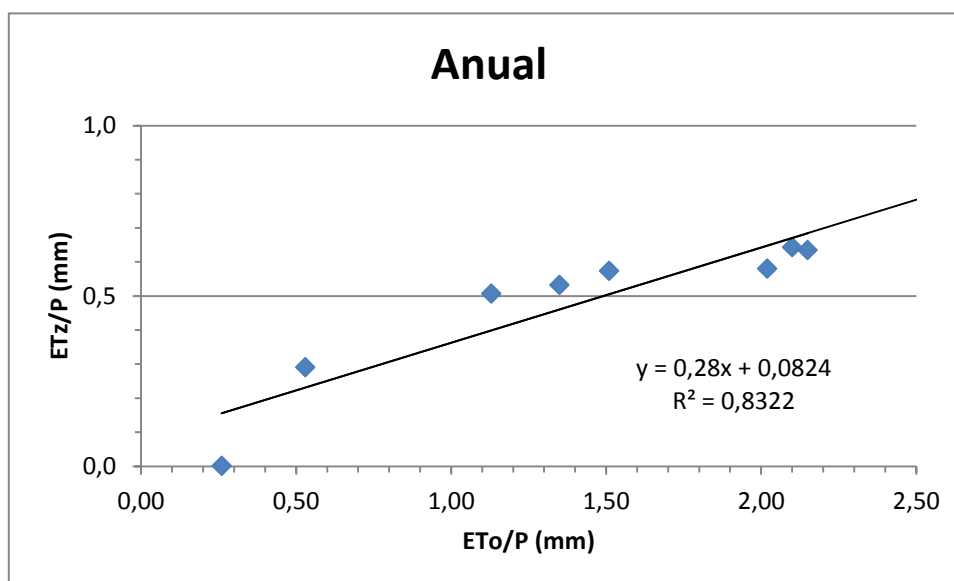


Figura 10. Relació anual entre les variables hidrològiques expressades en quocients ETz/P (Zhang, w amb els usos del sòl) i els valors de ETo estimats amb les dades meteorològiques per cada subconca.

Les figures 10 i 11 expressen la relació entre ETR/P en funció de ETP/P, segons la fórmula de Zhang i col·laboradors. Totes les rectes de tendència, tant l'annual com les estacionals, presenten una R^2 superior a 0,70. A l'estiu es mostra una relació entre les

dos variables casi inexistents amb un pendent molt baixa de la recta amb coeficient negatiu. Aquesta correlació indica que, independentment de l'alta temperatura estiuenca, hom espera una evapotranspiració real quasi constant, $ETR \approx 1.2 P$; és a dir, superior a la pròpia precipitació. El fet que sigui superior no és estrany, només indica que les necessitats hídriques pel tipus de conreu/vegetació és superior a la recàrrega natural. El que és rellevant a la gràfica de l'estiu és que en cap cas hi ha una dependència de la temperatura i l'ETR/P esdevé constant.

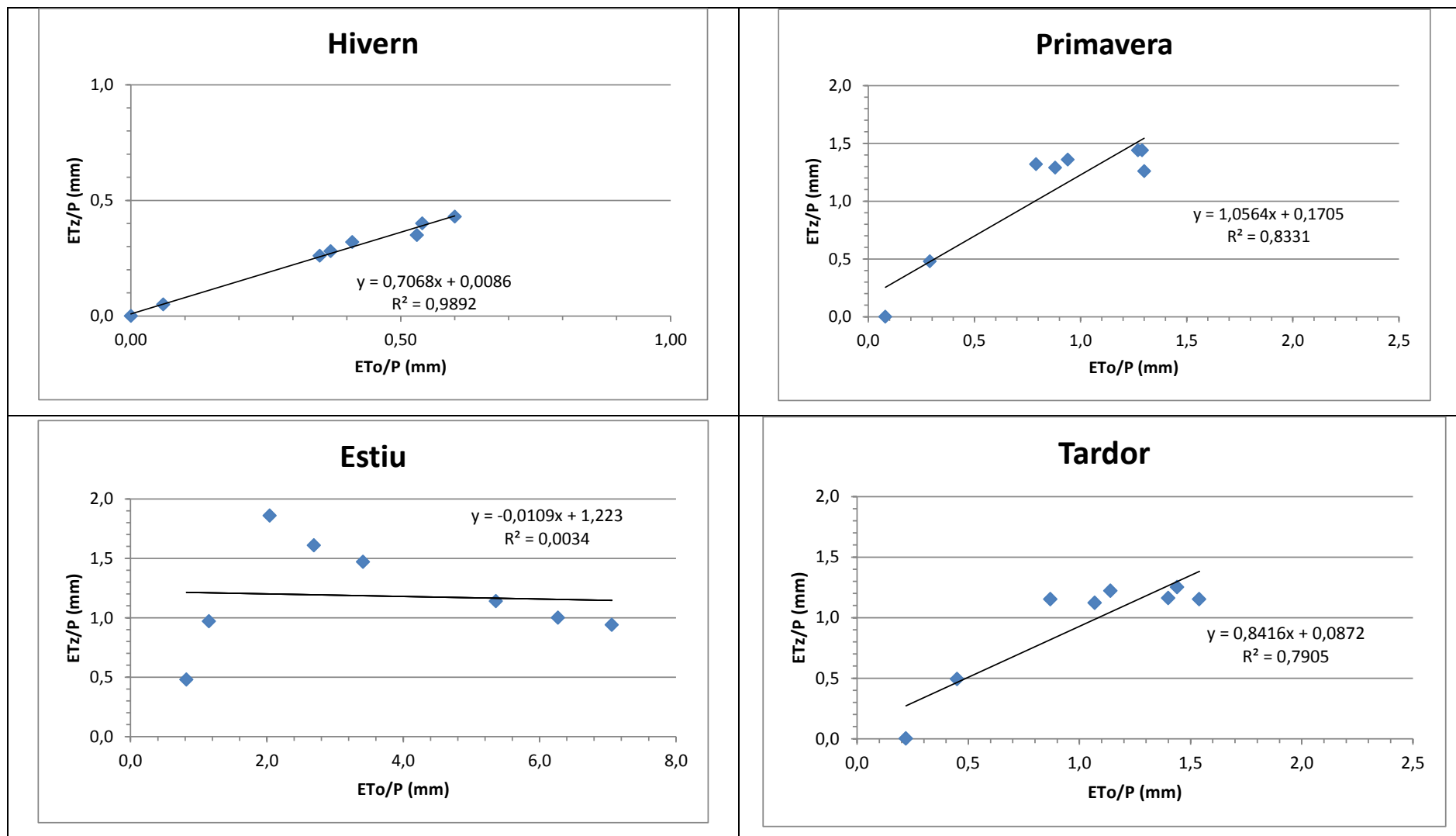


Figura 11. Relació estacional entre les variables hidrològiques expressades en quocients ETz/P (Zhang, w amb els usos del sòl) i els valors de ETo estimats amb les dades meteorològiques per cada subconca.

Taula 9. Projeccions de les variables de temperatura, precipitació, ETP i ETR per a l'horitzó 2050 al Segre a partir de les projeccions de l'estudi de Calbó.

Subconca	Rang	T2016	T2050	P2016	P2050	ETP2050	ETP/P2050	ETR/P2016	ETR/P2050	ZONA
1	Anual	6,00	7,60	951,95	901,50	550,25	0,61	0,29	0,25	PIRINEU
	H	-1,02	0,38	138,350	135,860	12,03	0,09	0,05	0,07	
	P	4,57	5,97	306,95	281,17	136,23	0,48	0,48	0,68	
	E	13,78	15,68	250,00	227,50	289,90	1,27	0,97	1,21	
	Tardor	6,68	8,48	256,65	232,78	127,81	0,55	0,49	0,55	
2	Anual	14,05	15,45	378,49	353,89	802,32	2,27	0,58	0,72	INTERIOR
	H	5,14	6,34	56,04	55,42	35,65	0,64	0,35	0,46	
	P	13,26	14,46	127,44	112,78	177,47	1,57	1,26	1,83	
	E	23,20	25,10	74,91	67,49	441,62	6,54	1,14	1,15	
	Tardor	14,59	16,29	120,10	109,41	178,58	1,63	1,16	1,46	
3	Anual	2,53	4,13	1488,10	1409,23	438,67	0,31	0,00	0,17	PIRINEU
	H	-3,03	-1,63	289,30	284,093	4,02	0,01	0,00	0,02	
	P	-0,03	1,37	447,00	409,45	153,67	0,38	0,00	0,57	
	E	9,67	11,57	309,90	282,01	258,97	0,92	0,48	1,21	
	Tardor	3,53	5,33	441,90	400,80	107,31	0,27	0,00	0,31	
4	Anual	12,86	14,26	536,82	501,93	764,18	1,52	0,53	0,51	INTERIOR
	H	3,71	4,91	66,60	65,86	29,99	0,46	0,26	0,33	
	P	12,22	13,42	180,70	159,92	167,26	1,05	1,29	1,28	
	E	22,21	24,11	143,03	128,87	420,39	3,26	1,61	1,19	
	Tardor	13,30	15,00	146,49	133,46	170,22	1,28	1,12	1,16	
5	Anual	12,09	13,69	612,84	580,35	745,84	1,29	0,51	0,44	PIRINEU
	H	3,57	4,97	67,20	65,985	30,21	0,46	0,28	0,33	
	P	11,26	12,66	193,25	177,01	160,75	0,91	1,32	1,13	
	E	21,04	22,94	178,18	162,14	396,97	2,45	1,86	1,20	
	Tardor	12,49	14,29	174,22	158,01	165,58	1,05	1,15	0,97	
6	Anual	12,80	14,20	477,00	446,00	762,17	1,71	0,57	0,56	INTERIOR
	H	4,03	5,23	62,52	61,84	31,24	0,51	0,32	0,37	
	P	11,77	12,97	163,03	144,28	163,38	1,13	1,36	1,37	
	E	21,95	23,85	111,27	100,25	415,03	4,14	1,47	1,18	
	Tardor	13,44	15,14	140,19	127,71	171,09	1,34	1,22	1,21	

7	Anual	13,92	15,32	360,64	337,20	798,21	2,37	0,64	0,75	INTERIOR
	H	5,21	6,41	57,99	57,36	35,96	0,63	0,40	0,45	
	P	13,18	14,38	131,21	116,12	176,69	1,52	1,44	1,78	
	E	22,82	24,72	62,84	56,62	433,46	7,66	1,00	1,14	
	Tardor	14,45	16,15	108,59	98,93	177,67	1,80	1,15	1,60	
8	Anual	14,50	15,90	363,59	339,96	817,06	2,40	0,63	0,76	INTERIOR
	H	5,86	7,06	56,75	56,13	38,53	0,69	0,43	0,49	
	P	13,58	14,78	129,31	114,44	180,90	1,58	1,44	1,84	
	E	23,48	25,38	57,75	52,03	447,87	8,61	0,94	1,13	
	Tardor	15,09	16,79	119,78	109,12	181,88	1,67	1,25	1,49	

Taula 10. Quantificació del recurs disponible a nivell de subconca amb m³ i relació amb els cabals en m³/s. Els cabals pertanyen a una mitjana mensual per estacions per un període de 1980-2014.

Subconca	Rang	R/P 2016	R/P 2050	R 2016 (hm ³)	R 2050 (hm ³)	R 2016 (mm)	Q (m ³ /s)
1	Anual	0,71	0,75	445,08	443,09	676,17	8,5
	H	0,95	0,93	86,51	83,06	131,43	5,4
	P	0,52	0,32	105,06	58,79	159,61	9,9
	E	0,03	-0,21	4,94	-31,31	7,50	11,5
	Tardor	0,51	0,45	86,16	69,06	130,89	7,2
2	Anual	0,42	0,28	194,08	121,92	159,31	nd
	H	0,65	0,54	44,38	36,24	36,43	nd
	P	-0,26	-0,83	-40,37	-114,43	-33,13	nd
	E	-0,14	-0,15	-12,78	-12,47	-10,49	nd
	Tardor	-0,16	-0,46	-23,41	-61,43	-19,22	nd
3	Anual	1,00	0,83	2515,54	1978,29	1488,10	0,3
	H	1,00	0,98	489,04	471,30	289,30	0,1
	P	1,00	0,43	755,63	299,71	447,00	0,4
	E	0,52	-0,21	272,41	-101,54	161,15	0,5
	Tardor	1,00	0,69	747,01	465,79	441,90	0,2
4	Anual	0,47	0,49	223,70	219,18	251,69	41,1
	H	0,74	0,67	43,80	39,20	49,28	31,1
	P	-0,29	-0,28	-46,58	-39,14	-52,40	50,6
	E	-0,61	-0,19	-77,55	-21,47	-87,25	52,3
	Tardor	-0,12	-0,16	-15,62	-19,06	-17,58	30,2
5	Anual	0,49	0,56	433,08	462,37	303,19	19,7
	H	0,72	0,67	69,11	62,95	48,38	13,5
	P	-0,32	-0,13	-88,33	-32,83	-61,84	29,8
	E	-0,86	-0,20	-218,88	-45,47	-153,23	21,2
	Tardor	-0,15	0,03	-37,33	6,98	-26,13	14,3

6	Anual	0,43	0,44	545,55	523,40	204,13	30,8
	H	0,68	0,63	113,63	104,82	42,52	25,2
	P	-0,36	-0,37	-156,85	-141,43	-58,69	41,4
	E	-0,47	-0,18	-139,76	-47,66	-52,30	33,5
	Tardor	-0,22	-0,21	-82,43	-73,28	-30,84	23,2
7	Anual	0,36	0,25	186,43	124,09	129,07	74,0
	H	0,60	0,55	50,26	45,42	34,80	68,2
	P	-0,44	-0,78	-83,39	-130,47	-57,73	91,1
	E	0,00	-0,14	0,00	-11,41	0,00	74,8
	Tardor	-0,15	-0,60	-23,53	-85,55	-16,29	62,0
8	Anual	0,37	0,24	232,02	144,70	133,35	82,9
	H	0,57	0,51	56,28	49,43	32,35	81,2
	P	-0,44	-0,84	-98,99	-167,34	-56,90	98,7
	E	0,06	-0,13	6,03	-11,69	3,46	79,4
	Tardor	-0,25	-0,49	-52,10	-93,02	-29,94	72,5

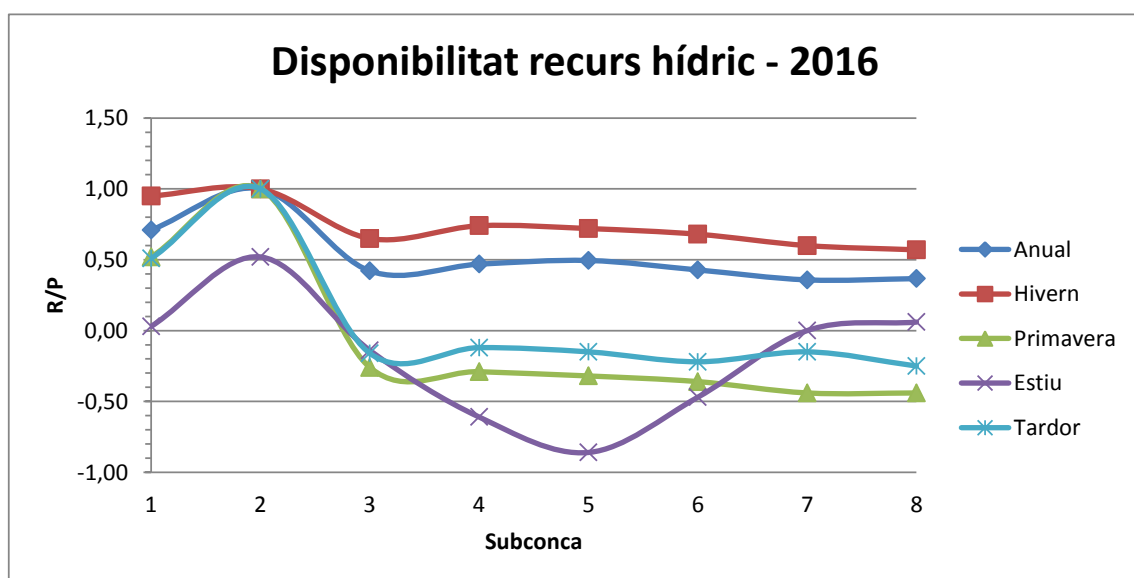


Figura 12. Disponibilitat del recurs hídic en tant per 1 en relació amb les subconques que es presenten ordenades en funció de la seva latitud. 1: Noguera Ribagorçana Alta, 2: Noguera Pallaresa Alta, 3: Noguera Ribagorçana Baixa, 4: Noguera Pallaresa Alta, 5: Alt Segre, 6: Segre mitjà, 7:Plana de Lleida i 8: Segre Baix.

En la taula de dades amb recursos i cabals (Taula 10) es veu un increment de les situacions d'estrès hídic. La disponibilitat del recurs hídic disminueix en comparació amb les dades obtingudes per a la conca del Cinca. L'estiu arriba als valors més baixos amb -0,86 (Figura 12).

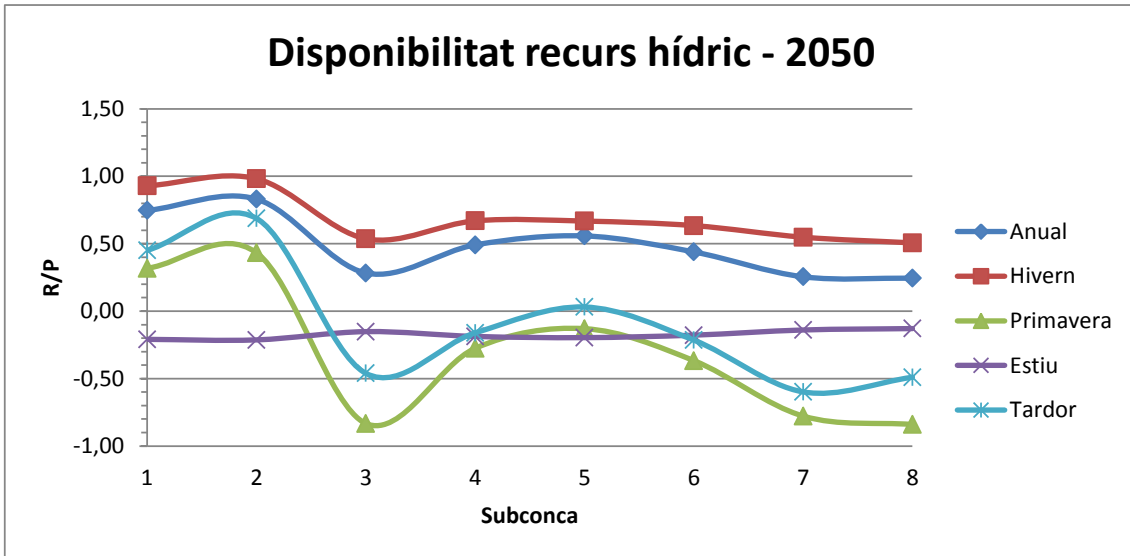


Figura 13. Disponibilitat del recurs hídic en tant per 1 en relació amb les subconques que es presenten ordenades en funció de la seva latitud. 1: Noguera Ribagorçana Alta, 2: Noguera Pallaresa Alta, 3: Noguera Ribagorçana Baixa, 4: Noguera Pallaresa Alta, 5: Alt Segre, 6: Segre mitjà, 7:Plana de Lleida i 8: Segre Baix.

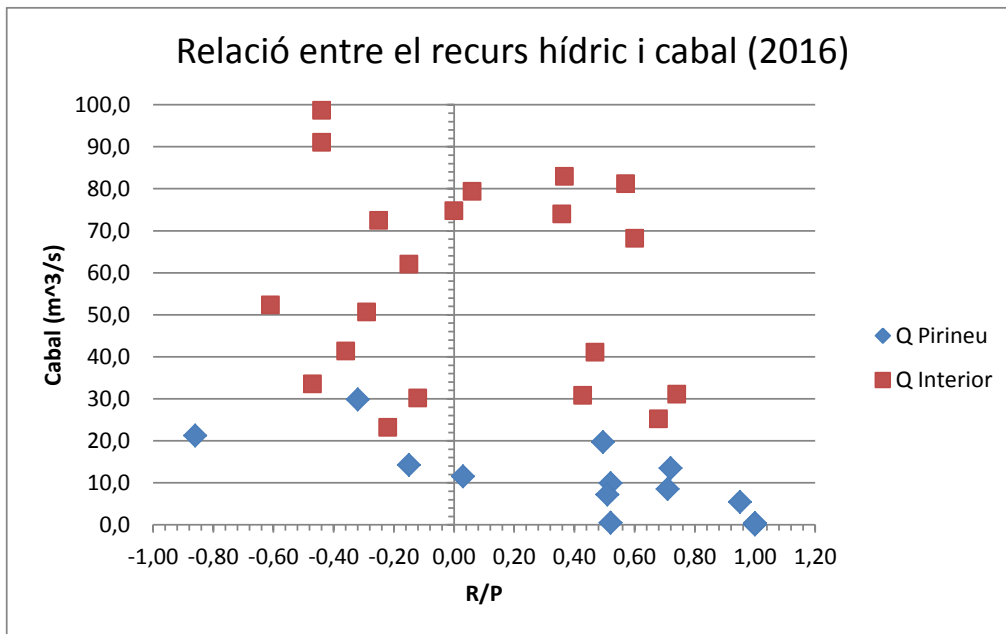


Figura 14, Relació entre R/P i el cabal mitjà de les estacions de cada subconca.

Per a l'horitzó 2050 (Figura 13) es veu una caiguda de la disponibilitat del recurs hídic durant la primavera i la tardor, i les seves corbes són inferiors a la corba de l'estiu. Per les mateixes raons que les comentades pel riu Cinca, el cabal registrat a les diferents estacions d'aforament del riu Segre no mostra relació amb el recurs hídic (R/P) (Figura 14). Els valors més grans de R/P pertanyen al Pirineu. En el cas del Segre trobem que hi ha valors negatius de R/P que pertanyen a subconques dels Pirineus.

DISCUSSIÓ

Al Cinca, ETP es proporcional a la creixença de la temperatura a primavera, estiu i tardor amb una R^2 superior a 0,95 (Figura 2). L'estiu es desmarca arribant a una ETP de 455 mm. Al gràfic de l'hivern els punts es troben més dispersats respecte la línia de tendència i el pendent de l'equació és inferior. Això es deu a que les baixes temperatures dels mesos de fred fan que hi hagi poca ETP.

Al Segre, també hi ha la proporcionalitat on primavera, estiu i tardor tenen R^2 més gran de 0,5. A l'estiu ETP no sobrepassa els 400 mm al contrari de la conca del Cinca i la gràfica de l'hivern té un pendent més elevat fent que els punts s'ajustin més a la tendència lineal encara que la seva R^2 és de 0,80 (Figura 9). Als mesos de primavera i estiu no hi ha tendència lineal, es marca com una corba que resulta en una expressió polinòmica. Anualment, l'evapotranspiració es presenta de forma similar per ambdues conques arribant a una ETP que sobrepassa els 800 mm. Tot i així, estacionalment la conca del Segre presenta menys evapotranspiració que la conca del Cinca.

Si es relaciona la ETP estudiada amb ETR, que incorpora les dades dels usos del sòl, la conca del Cinca segueix una tendència lineal durant hivern, primavera i tardor (Figura 4). A l'hivern els valors són més ajustats a la recta degut a que correspon als mesos de fred. La gràfica de l'estiu té un pendent molt més petit respecte les altres estacions i R^2 no arriba a 0,50. Això s'explica degut a que els punts representats són les subconques de la conca del Cinca i la seva distribució es entre Pirineu i Interior. Al Pirineu les temperatures no pugen tant com a l'Interior durant l'estiu (Torla en comparació amb Fraga), fent que hi hagi un gradient ampli dins la variació entre subconques que condiciona el resultat. Els valors de ETR/P no superen 1,40, amb un hivern inferior a 0,40. En el cas de la conca del Segre, l'única estació que segueix una tendència lineal ajustada a la recta és l'hivern amb una R^2 de 0,9892 (figura 11). Primavera i tardor tenen R^2 superior a 0,75. A l'estiu no hi ha casi tendència amb un pendent negatiu que decreix molt poc, la relació es mínima. La variació entre estacions de ETR és gran. Anualment, ETR/P arriba a uns valors de màxim similars als de la conca del Cinca que es situen a 0,70. Estacionalment, els valors de ETR/P són més elevats que a la conca del Cinca. Això es pot explicar degut a que els usos del sòl són més variables a la conca del Segre que a la conca del Cinca, hi ha més superfícies de terra de conreus.

Per a l'horitzó de 2050, realitzat amb les projeccions climàtiques es veu un augment de les temperatures major en els mesos de primavera i estiu, que es relacionen amb una disminució de les precipitacions (Kenawy et al. 2015). L'augment significatiu de la temperatura en els mesos de primavera significa que s'avançarà l'època seca (estrès

hídric) i que disminueix el temps de recàrrega per al cicle hídric (Taula 6-Cinca). Els valors de ETR/P augmenten anualment per la conca del Cinca entre l'horitzó actual i el del 2050 amb increments significatius a l'estiu, menys a les subconques 3 i 4 on a l'estiu es produeix una disminució de l'ETR. Dins la conca del Segre (Taula 9-Segre) anualment hi ha increment per a ETR/P entre els dos horitzons menys a les subconques 4, 5 i 6 que corresponen en territori a la Noguera Pallaresa baixa, l'Alt Segre i el Segre mitjà (Pirineu i intermedis entre Pirineu i interior). Les variacions podrien ser degudes a les alteracions dels usos del sòl, just en la part baixa de la Noguera Pallaresa. Tant a nivell general com estacionalment, la tendència més representativa és a augmentar l'evapotranspiració de cara a l'horitzó de 2050 i amb valors més alts a la primavera i l'estiu, i tardor a les conques sud de l'interior.

Respecte al recurs, la conca del Cinca (Taula 7) no es veu tant alterada com la conca del Segre (Taula 10). Al Cinca hi haurà possibles situacions d'estrès hídric a les conques més d'interior que afectarà els mesos de primavera i tardor. Els cabals si que perillen de cara a un futur, des de primavera fins a tardor, quedant únicament l'hivern amb certa regularitat. Tal com es veu gràficament e les figures 5 i 6 el recurs es troba més disponible en les subconques que pertanyen als Pirineus ja que les baixes temperatures (baixa ETR) i la possible reserva de neu fan que hi hagi més disponibilitat d'aigua. En un horitzó 2050 les línies de les gràfiques corresponents a primavera i tardor presenten una tendència a la baixa que s'explica amb l'augment de les temperatures, la disminució de l'època de recàrrega del sistema i l'augment de les situacions d'estrès hídric. Al Segre (Taula 10), la situació és més acusada. Les situacions d'estrès hídric afecten a totes les subconques i només les capçaleres Pirinenques presenten una disponibilitat real de recurs amb excepció de l'Alt Segre. Aquesta situació comporta que aquesta conca necessitarà una adaptació de la seva gestió per cobrir la demanda d'aigua degut a que el propi sistema natural no serà capaç de fer-ho. Les davallades més fortes de la disponibilitat de recurs es troben a l'estiu i a la primavera. Els cabals es veuen alterats des de primavera fins a tardor en les gràfiques d'interior. La disponibilitat del recurs (Figures 12 i 13) no es veu que pateixi grans variacions molt grans entre Pirineu i interior. Si que en la subconca de la Noguera Ribagorçana baixa pateix, per als dos horitzons, una davallada i m'entrés que actualment la disponibilitat a l'estiu és més petita a les subconques intermèdies, de cara al 2050 és mantindrà constant. La primavera es troba amb una davallada per ambdós horitzons sent inferior a la disponibilitat d'aigua a la tardor.

Per últim, els cabals (Figures 7 i 14) en les dos conques no presenten una relació amb el recurs hídric disponible per a l'actualitat, doncs aquest està condicionat per a la gestió que es fa dels embassaments per a alliberar aigua pels regadius. Atès que no s'observa cap relació, no es poden fer projeccions per a veure els canvis de cabal per al 2050. Per tant, es troben lligats a la regulació i la gestió dels embassaments per mantenir el règim d'aigua i als grans períodes de pluja que es preveuen lligats com a conseqüència del canvi climàtic (Llasat et al. 2016, 6, TICC).

SOSTENIBILITAT PER A NOVES MESURES

A la introducció, s'ha esmentat els impactes negatius damunt la xarxa hídrica de les conques estudiades i la importància d'una bona gestió. La continuïtat futura de la disponibilitat de recurs dependrà del tipus de gestió i accions que s'apliquin a la conca. Les noves mesures o programes han de buscar un equilibri entre l'explotació i la disponibilitat del recurs. Tant per a la conca del Cinca com per a la conca del Segre, quan arriben a les planes cap al final del seu recorregut, la població depèn pràcticament del sector agrícola. A aquests problemes s'hi suma el clima propi de les planes del Segrià i el Baix Cinca. Durant els mesos d'estiu, les temperatures poden arribar a elevar-se fins als 35 °C o arribar als 40 °C, fet que es produeixi una demanda important d'aigua per a no perdre els conreus. Per últim trobem que les dos conques tenen sectors amb un control administratiu diferent que pot arribar a generar conflictes en l'execució d'accions destinades a la gestió de l'aigua.

De cara a les noves mesures de gestió, s'ha d'aconseguir un equilibri sostenible que englobi els efectes futurs del canvi climàtic, els canvis en usos del sòl, la biodiversitat lligada als cursos fluvials i el canvi social de l'abandonament de les zones rurals. Les explotacions han de ser proporcionals a les entrades de la xarxa hídrica. En aquest moment, les glaceres disminueixen fent que els cabals de primavera també ho facin. Si les diferències són elevades respecte anys de normalitat, s'ha de considerar reduir les explotacions d'aigua durant els mesos de sequera o millorar la regulació dels embassaments per tindre una reserva just en aquests mesos d'estiu. Sempre tenint com a referència el balanç hídric de la zona on s'aplicarà la mesura.

La construcció de canals també es un impacte important que necessita una millor gestió o normativa de regulació. Els canals poden produir nombrosos efectes secundaris com un efecte barrera de la biodiversitat, una alteració del règim fluvial característic del riu i erosions o canvis en la infiltració del terreny. Trobem dins aquest

cas, el canal Segarra-Garrigues dins la conca del Segre, just en el tram final. La finalitat d'aquest canal era regar les comarques de la Noguera, Pla d'Urgell, Garrigues, Segarra, Segrià i Urgell. Avui en dia encara es troba en construcció. El problema que genera aquest canal a nivell hídric és que alteraria l'aportació de cabal del Segre a l'Ebre.

A nivell de normativa és necessari que les mesures s'adaptin a la directiva Marc de l'Aigua (2000/60/CE) aprovada pel Parlament Europeu, que estableix un marc comunitari d'actuació en l'àmbit de la política d'aigües i la seva transposició a l'ordenament jurídic nacional.

En definitiva, qualsevol nou programa de gestió per a la xarxa hídrica ha de valorar el medi natural (tenint en compte la variabilitat futura que es presenta, el factor social (demanda i usos) i la disponibilitat econòmica de la que disposa (per no trobar-se amb situacions d'aplicar mesures sense poder acabar-les). Actualment, el màxim gestor de les conques estudiades en aquest treball és la Confederació Hidrogràfica de l'Ebre. Aquesta entitat disposa de plans que inclouen les problemàtiques que impacten sobre les conques i la xarxa hídrica. Tot i així, la millor gestió ha d'incloure els pagesos degut a que és la part de la població que hi treballa i pot detectar qualsevol alteració o necessitat amb gran rapidesa.

CONCLUSIONS

Based on the results obtained in this study it's concluded that all the interior zone is influenced by the increase of evapotranspiration and temperature for 2050. Specifically, hydrological changes in this area will have the strongest impact of the agricultural activity and the highest demand. Water shortage situations will increase in spring and autumn (Segre is already produced in the current season), making it possible to lose the variability between seasons that is typical of the Mediterranean climate. At Cinca basin the situation is not so critical and it can be influenced by the temperature of the oceanic climate. In the Segre basin, especially in the lower parts of the Noguera Ribagorçana and Noguera Pallaresa rivers, jointly with the middle of Segre area, there are great numbers of dams that alter the water flow regime downstream to its mouth. It is also proposed, in order to have a more detailed view, to study more sub-basins in the area of the Noguera Ribagorçana and the Noguera Pallaresa basins to avoid that the results are altered by the difference between the high mountain and the inland regions.

In future, resource availability might depend on the foreseen periods of intensive rainfall. Finally, it is proposed that all new management measures should be consider climate predictions in order to adapt to climate variability and improve water management.

BIBLIOGRAFIA

Arnell, Nigel W. (1999). Climate change and global water resources. *Global Environmental Change*, 9, S31-S49. ISSN 0959-3780.

Batalla, R.J; Gómez, C.M.; Kondolfc, M.G. (2004) Reservoir-induced hydrological changes in the Ebro River basin (NE Spain). *Journal of Hydrology*, 290: 117-136. doi:10.1016/j.jhydrol.2003.12.002

General Institute of Water Resources and Hydropower Planning and Design; i World Wildlife Fund. (2016). *River restoration: A strategic approach to planning and management*. (1ra ed.). Paris: the United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization.

Gobierno de Aragón (2018). Instituto Aragonés de Estadística, Medio Ambiente y Energía. Recuperat a http://www.aragon.es/DepartamentosOrganismosPublicos/Institutos/InstitutoAragonEstadistica/AreasTematicas/14_Medio_Ambiente_Y_Energia

Institut d'estudis Catalans, Generalitat de Catalunya. (Setembre de 2016) *Tercer Informe sobre canvi climàtic a Catalunya*. Fundació "la caixa", Barcelona. 551.583(460.23).

kenawy, A; López-Moreni, J.I.; McCabe, M.F; Brunsell, N.A.; Vicente-Serrano, S.M. (2015) Daily temperature changes and variability in ENSEMBLES regional models predictions: Evaluation and intercomparison for the Ebro Valley (NE Iberia). *Atmospheric Research*, 155: 141-157. DIGITAL.CSIC.

SAIHEbro (2002-2018). Sistema Automático de Información Hidrológica de la Cuenca Hidrográfica del Ebro. Zaragoza. Recuperat a <http://www.saihebro.com/saihebro/index.php>

Servei Meteorològic de Catalunya (2018). Climatologia. Barcelona. Recuperat a <http://www.meteo.cat/wpweb/climatologia/>

Thomas, D.; Luna, B. Leopold (1978). *Water in environmental Planning* (1ed.) Freeman and Company.

Vicente-Serrano, S.M.; Zabalza-Martínez, J.; Borràs, G.; López-Moreno, J.I.; Pla, E.; Pascual, D; Savé, R.; Biel, C.; Funes, I.; Martín-Hernández, N.; Peña-Gallardo, M.; Beguería, S.; i Tomas-Burguera, M. (2017) Effect of reservoirs on streamflow and river regimes in a heavily regulated river basin of Northeast Spain. *Catena*, 149: 727–741

Zhang, L.; Dawes, W.R.; Walker, G.R. (2001) Response of mean annual evapotranspiration to vegetation changes at catchment scale. *Water resources research*, 37, NO.3: 701-708.