

Títol del treball:

Efecte del canvi climàtic a nivell estacional als recursos hídrics del sistema Ter-Llobregat-Besòs

Estudiant: Àngela Nemesio Quer

Grau en Ciències Ambientals

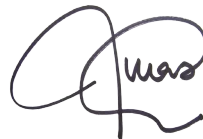
Correu electrònic: alegnanq@gmail.com

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 Maig 2018

ABSTRACT

On the 21st century, the hydrological cycle will bring strong quantitative variations at the horizon. Therefore, these variations will be affected by future forecasts in a seasonal level due to the climate change. Given the dependence on water supply in the Barcelona Metropolitan Area, in response to the global change in its Ter, Llobregat and Besòs basins, this work has been carried out with the aim of seasonally estimating the real behaviour of the water balance, and to contribute to the sustainable development of its resources.

To consider the effect of temperature on water in the horizons of 2021 and 2050, the water balance of several subbasins in the -Ter, Llobregat and Besòs catchments- has been estimated at seasonal level. The current actual evapotranspiration (ET_r) has been calculated using Zhang et al. (2001) equation, taking into account the type of vegetation cover and the values of seasonal precipitation (P) and potential evapotranspiration (ET₀). Using the water balance of each sub-basin and the ET_r values, the water balance for 2021 and 2050 is then recalculated. Finally, the current and future R / P ratios are calculated to estimate the availability of water resources.

The results show significant reductions in the availability of water resources, especially by 2050, which are indicated by the R / P ratios. All three basins will be affected by a decrease in water resources, although the Ter basin has a smaller water deficit. With regard to the supply capacity of the Barcelona Metropolitan Area, the indicative values are those corresponding to the Pyrenees, where it is stated that the contributions to the reservoirs that regulate each basin will be less reduced in the Ter basin than in the Llobregat and Besòs basins due to the effects of climate change.

In summary, climate projections, trends in land use change, the estimation of the quantity and variability of available water resources over the next few years is one of the main management and planning challenges for both environmental and economic development. Therefore, appropriate solutions are required for water conservation and where sustainable use is promoted.

RESUM

Les previsions de futur corresponents als efectes del canvi climàtic comportaran intenses variacions quantitatives del cicle hidrològic en l'horitzó del segle XXI a nivell estacional. Atesa la dependència de l'abastament hídic a l'Àrea Metropolitana de Barcelona, en la resposta al canvi global de les seves conques Ter, Llobregat i Besòs, aquest treball s'ha realitzat amb l'objectiu d'estimar de forma estacional el

comportament real del balanç hídric i contribuir al desenvolupament sostenible dels seus recursos.

Per tal de considerar l'efecte de la temperatura sobre l'aigua en els horitzons 2021 i 2050, s'ha estimat els balanç hídric de varies subconques de les conques –Ter, Llobregat i Besós- a nivell estacional. S'ha calculat l'evapotranspiració real actual (ET_r), mitjançant l'equació de Zhang et al. (2001), tenint en compte el tipus de coberta vegetal i els valors de la precipitació (P) i l'evapotranspiració potencial (ET₀) estacional. Utilitzant el balanç hídric de cada subconca i els valors de l'ET_r es recalcula el balanç hídric per als horitzons 2021 i 2050. Per últim, es calculen les relacions R/P actuals i futures per tal d'estimar la disponibilitat dels recursos hídrics.

Els resultats mostren reduccions importants de la disponibilitat de recursos hídrics, sobretot per 2050, els quals s'indiquen per la relació R/P. Totes tres conques es veuran afectades en una disminució dels recursos hídrics, tot i que, la conca del Ter presenta un dèficit hídric menor. Pel que respecta a la capacitat d'abastament a l'àrea metropolitana de Barcelona els valors indicatius són els corresponents al Pirineu on es manifesta que les aportacions als embassaments que regulen cada conca quedaran menys minvades a la conca del Ter que a la del Llobregat i Besós per efectes del canvi climàtic.

En resum, les projeccions climàtiques, les tendències en els canvi d'usos del sòl, l'estimació de la quantitat i la variabilitat dels recursos hídrics disponibles durant els propers anys és un dels reptes de gestió i planificació principals per al desenvolupament tant ambiental com econòmic. Per tant, es requereixen de solucions apropiades per a la preservació de l'aigua i on es promogui un ús sostenible.

RESUMEN

Las previsiones de futuro correspondientes a los efectos del cambio climático comportarán intensas variaciones cuantitativas del ciclo hidrológico en el horizonte del siglo XXI a nivel estacional. Dada la dependencia del abastecimiento hídrico en el Área Metropolitana de Barcelona, en la respuesta al cambio global de sus cuencas Ter, Llobregat y Besós, este trabajo se ha realizado con el objetivo de estimar de forma estacional el comportamiento real del balance hídrico y contribuir al desarrollo sostenible de sus recursos.

Para considerar el efecto de la temperatura sobre el agua en los horizontes 2021 y 2050, se ha estimado los balance hídrico de varias subcuencas de las cuencas -Ter, Llobregat y Besós- a nivel estacional. Se ha calculado la evapotranspiración real actual

(ET_r), mediante la ecuación de Zhang et al. (2001), teniendo en cuenta el tipo de cubierta vegetal y los valores de la precipitación (P) y la evapotranspiración potencial (ET_0) estacional. Utilizando el balance hídrico de cada subcuenca y los valores del ET_r , se recalcula el balance hídrico para los horizontes 2021 y 2050. Por último, se calculan las relaciones R / P actuales y futuras para estimar la disponibilidad de los recursos hídricos.

Los resultados muestran reducciones importantes de la disponibilidad de recursos hídricos, sobre todo para 2050, los cuales se indican por las relaciones R / P. Las tres cuencas se verán afectadas en una disminución de los recursos hídricos, aunque, la cuenca del Ter presenta un déficit hídrico menor. Por lo que respecta a la capacidad de abastecimiento en el Área Metropolitana de Barcelona los valores indicativos son los correspondientes al Pirineo donde se manifiesta que las aportaciones a los embalses que regulan cada cuenca quedarán menos mermadas en la cuenca del Ter que a la del Llobregat y Besós por efectos del cambio climático.

En resumen, las proyecciones climáticas, las tendencias en los cambios de usos del suelo, la estimación de la cantidad y la variabilidad de los recursos hídricos disponibles durante los próximos años es uno de los retos de gestión y planificación principales para el desarrollo tanto ambiental como económico. Por lo tanto, se requieren de soluciones apropiadas para la preservación del agua y donde se promueva un uso sostenible.

ÍNDEX

1. Introducció	1
2. Objectius	3
3. Metodologia	4
4. Resultats	6
5. Discussió.....	15
6. Sostenibilitat	19
7. Conclusions	19
8. Bibliografia	21

1. Introducció

L'aigua és de vital importància tant per a les necessitats humanes com per al manteniment dels ecosistemes, on rau com un element clau en la sostenibilitat territorial. Diversos estudis -Mas-Pla (2005), Ortuño et al. (2009), Gallart, F. (2009). - assenyalen que tant les variacions climàtiques com els efectes antròpics i els canvis en els usos del sòl, entre d'altres, determinaran els canvis en els processos hidrològics a Catalunya.

Per tant, cal tenir un coneixement exhaustiu de la quantitat i qualitat dels recursos hídrics disponibles i de les necessitats econòmiques, socials i ambientals que s'hi associen per tal de satisfer les diferents demandes i el manteniment del bon estat hidromorfològic i ecològic dels rius, tal com indica la Directiva marc de l'aigua (Directiva 2000/60/CE). Els escenaris climàtics previstos per a Catalunya indiquen de manera clara que l'escassetat de recursos hídrics serà el principal objectiu al qual caldrà adaptar les polítiques de gestió hídrica i ambiental. Catalunya no és aliena al canvi climàtic i els seus efectes. Les projeccions apunten a un augment de temperatura en els propers decennis i també a una lleugera disminució de la precipitació, que serà més marcada cap a mitjan segle, amb un increment de la probabilitat de pluges més intenses i un increment del nombre i la durada de les sequeres (ACA, 2015).

En aquest treball s'han estudiat les conques Ter, Llobregat i Besòs, l'àrea d'estudi es mostra a la figura 1, per tal de relacionar l'àrea metropolitana més gran de Catalunya, Barcelona, amb la seva gestió de l'aigua. L'abastament actual d'aigua a l'àrea metropolitana de Barcelona depèn en un 85% dels recursos superficials derivats de les conques del Llobregat i Ter (essent un 45% del Llobregat i un 55% del Ter) i dels recursos propis d'origen subterrani (15%) explotats bàsicament en els aqüífers ubicats als deltes del Llobregat i del Besòs (Mas-Pla et al., 2016).

Atesa la importància de la variabilitat estacional al clima mediterrani evidenciada per les projeccions climàtiques de (Calbó et al. 2016) l'estudi s'ha centrat a escala estacional. La gestió dels recursos no es pot entendre sense els canvis estacionals i els canvis de freqüència de les precipitacions màximes, ja que totes dues modifiquen el règim hidrològic i l'accessibilitat als recursos hídrics. Cal tenir en compte que les previsions de la precipitació dels models climàtics per al territori català són molt més

incertes que les previsions de la temperatura i que es preveu que la precipitació es reduirà poc en els mesos més freds i hidrològicament més eficaços (Christensen et al., 2007).

De manera similar, el cicle hidrològic també es veurà afectat per un canvi en l'estacionalitat. Els valors mitjans mensuals, els quals s'empren habitualment, deixaran de tenir significat i caldrà gestionar els recursos des d'una incertesa més gran, especialment pel que fa a les entrades al sistema. Aquesta estacionalitat, és fonamental en els esquemes de gestió (ACA, 2015).

L'anomenat *canvi global* no engloba solament el clima, sinó també els canvis en els usos del sòl i la gestió de les conques, els rius i els aqüífers. Aquests canvis, han modificat el balanç hídric global, regional i de conca (Mas-Pla et al., 2016). Aquest treball es centra a escala regional, l'Àrea Metropolitana de Barcelona, on es determinen les alteracions de la dinàmica hidrogeològica en una zona on l'aigua superficial és una font de subministrament indispensable.

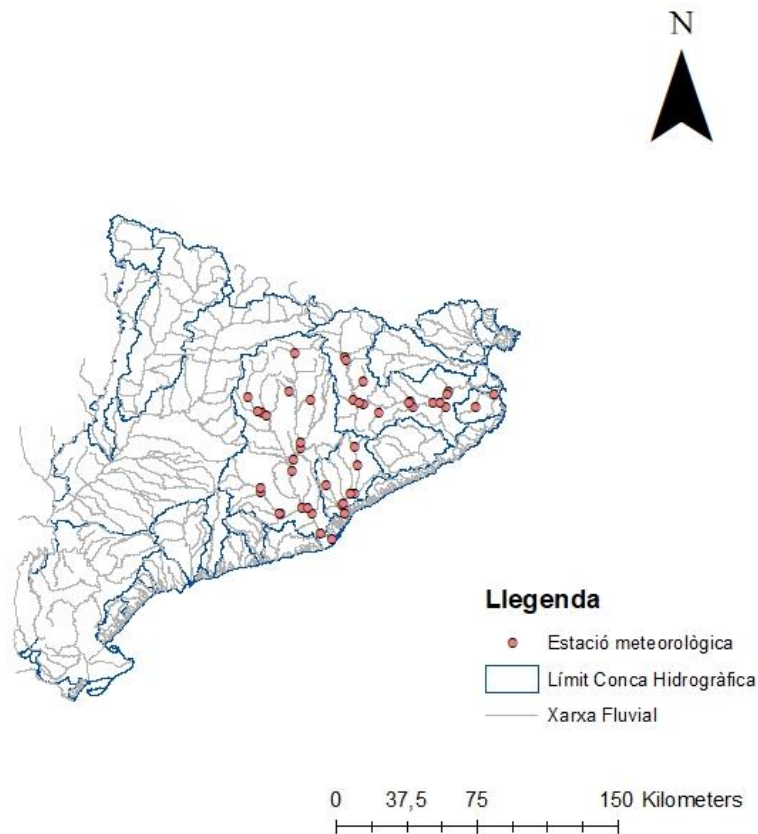


FIGURA 1. Distribució de les tres subconques (Ter-Llobregat-Besòs) i localització de es estacions meteorològiques del Servei Meteorològic de Catalunya emprats en el càlcul dels recursos d'aigua disponibles.

2. Objectius

Based on the approach used by the “*Tercer Informe sobre el Canvi Climàtic a Catalunya*” to calculate the effect of climate change upon the availability of water resources, this study intends to estimate such effects on the water balance at a seasonal level to reflect the actual behavior in Mediterranean areas.

In particular, this estimation is conducted at the Ter-Llobregat-Besòs fluvial system, which supplies the water demand to the Barcelona Metropolitan Area, the Girona-Costa Brava area and other nearby municipalities. This study looks forward a more detailed analysis of the water regimes that satisfy water needs of this dense populated

area in Catalonia with the aim to contribute to the sustainable development of its water resources.

3. Metodologia

Per poder valorar els efectes del canvi climàtic a les tres conques estudiades -Ter, Llobregat i Besòs- s'han inclòs tant les projeccions climàtiques elaborades per Calbó et al. (2016), distribuint les conques en tres zones: pirineus, litoral i interior, com els usos del sòl i l'afecció al balanç hídric. Per tant, s'han elaborat diferents cartografies basades en la metodologia següent:

- 1) A partir de les dades mensuals -període 2000 a 2016-, obtingudes del Servei Meteorològic de Catalunya de temperatura mitjana, precipitació i evapotranspiració per a cada estació meteorològica de les subconques de les tres conques, s'han calculat els valors estacionals per a la temperatura (T), precipitació (P) i evapotranspiració (ETP). Aquests càlculs, s'han realitzat amb el programa estadístic R, on mitjançant un *script*, que ha permès la selecció de les quatre estacions anuals: hivern (desembre, gener i febrer), primavera (març, abril i maig), estiu (juny, juliol i agost) i tardor (setembre, octubre i novembre), s'han calculat les mitjanes estacionals de cada subconca un cop fet el promig de les estacions de cadascuna d'elles.

El càlcul de l'evapotranspiració potencial (ET_0) s'ha realitzat mitjançant l'equació de Thornthwaite, que consisteix amb el càlcul de l'Índex tèrmic anual, i amb ell i el coeficient alfa, el valor final de la ET_0 :

$$I = \sum_{i=1}^{12} \left[\frac{T_{ai}}{5} \right]^{1.5} \quad \begin{array}{l} T_{ai} = \text{temperatura mitjana (}^\circ\text{C)}. \\ I = \text{Suma dels valors mensuals} \end{array}$$

$$ET_0 = 16 \beta \left[\frac{10 T_{ai}}{I} \right]^a \quad (\text{mm})$$

L'equació de Thornthwaite utilitza la temperatura de l'aire com a índex de l'energia disponible per l'evapotranspiració, assumint que la temperatura de

l'aire és correlativa amb els efectes integrats de la radiació neta i altres controls de l'evapotranspiració (Dunne i Leopold, 1978).

- 2) Càlcul de l'evapotranspiració real estacional (ET_r), mitjançant l'equació proposada per Zhang et al. (2001), tenint en compte el tipus de coberta vegetal i ús del sòl i els valors de la precipitació (P) i l'evapotranspiració potencial (ET_0) estacional:

$$\frac{ET_z}{P} = \frac{1 + w \frac{ET_0}{P}}{1 + w \frac{ET_0}{P} + \left(\frac{ET_0}{P}\right)^{-1}}$$

L'índex w és el coeficient d'aigua disponible per a la vegetació. El qual representa l'aigua del sòl que cal esperar que sigui accessible a diferents planes per a un cert valor de la precipitació estacional.

Els valors de l'índex w emprats per a diferents usos del sòl es representen a la taula 1.

TAULA 1. Valors del coeficient w (Mas-Pla et al. 2016)

Ús del sòl	w
Bosc	1,75
Plantacions de pollancre	1,75
Conreu reg	1,50
Conreu secà	0,75
Vegetació escassa	0,40
Prat supraforestal	1,00
Aigua continental	0,00
Zona urbanitzable	0,00
Altres	0,00

- 3) Càlcul de la relació ET_r/P amb l'expressió de Zhang et al. (2001) per a cada subconca i estació (hivern, primavera, estiu i tardor), segons els valors de T , P i ET_0 , de manera proporcional a la distribució d'usos del sòl.
- 4) Per últim, es calcula el valor de la relació R/P i es repeteix aquest càlcul amb els valors de P i T estimats per Calbó et al. (2016) per als horitzons de 2021 i

2050, on la distribució dels usos a les conques resta invariable. Els càlculs de ET_0 i el quocient ET_r/P pels dos horitzons climàtics s'han realitzat mitjançant les funcions de regressió obtingudes a partir dels càlculs realitzats per al període 2007-2017. Aquest període s'indicarà al treball com a 2016, atès que és el darrer any del període.

Finalment, els recursos disponibles en relació amb la precipitació (R/P) està expressat per:

$$\frac{R}{P} = 1 - \frac{ET_r}{P}$$

4. Resultats

Atès a la metodologia explicada, a continuació s'enumeren els resultats obtinguts. Aquests resultats expliquen quins seran els efectes del canvi climàtic a les conques Ter-Llobregat-Besos.

4.1.- Relacions $ET_0 - T$

Atès a la figura 2 s'observa com varia l'estacionalitat en relació a l'evapotranspiració potencial respecte a la temperatura mitjana de cada estació.

L'hivern, primavera i tardor s'observa com l'evapotranspiració potencial té valors màxims de fins a 200, mentre que, a l'estiu l'evapotranspiració potencial arriba a valors majors de 400, com és propi de les temperatures més elevades

L'hivern destaca per les seves baixes temperatures i, conseqüentment, una ET_0 relativament inferior a les altres estacions. La seva recta assenyala una correlació entre aquests dos paràmetres, corresponent a una r^2 del 0,809. L'hivern és l'estació on aquesta correlació és més baixa.

A la primavera i a la tardor es destaca notablement la bona correlació entre aquests dos paràmetres, amb dues funcions on la seva r^2 és del 0,974.

4.2.- Relacions $ET_r/P - ET_0/P$

La figura 3, mostra com les variables hidrològiques expressades pels quocients R/P varien respecte els valors de ET_0/P a cadascuna de les tres conques estudiades.

L'hivern, primavera i tardor té valors de evapotranspiració real respecte la precipitació de fins a 0,8 mentre que a l'estiu oscil·la fins a 1,2. En canvi, l'evapotranspiració potencial respecte la temperatura a l'estiu arriba a 5 mentre que als altres tres mesos a 1,2.

Les correlacions mostren valors de r^2 d'entre 0,918 i 0,961 amb funcions logarítmiques que s'ajustaven millor. Mentre que a l'estiu es va trobar una funció, diferent a la resta d'estacions, que millorava substancialment la seva correlació. En aquest cas es va preferir maximitzar el coeficient de correlació que mantenir la coherència entre les funcions de regressió.

4.3.-Projeccions climàtiques estacionals expressades pel quocient R/P

Els resultats amb els valors actuals i de les projeccions climàtiques estacionals pels horitzons dels anys 2021 i 2050, expressades pel quocient R/P, es representen a la taula 2. I els quocients entre els valors R/P projectats per aquests anys amb el valor actual es troben a la taula 3.

A més a les taules 4, 5 i 6, es pretén comparar l'estudi Mas-Pla i Menció-Domingo (2016) on s'han estudiat els recursos hídrics de l'àrea metropolitana de Barcelona. Aquest estudi s'endinsa en estudiar quins seran els efectes del canvi climàtic a Barcelona en relació a l'abastament d'aigua.

TAULA 2 .Valors dels quocients R/P actuals (2016) i per a les projeccions climàtiques per als escenaris del 2021 i 2050 per a les tres conques.

SUBCONQUES	HIVERN			PRIMAVERA			ESTIU			TARDOR		
	R/P (actual)	R/P 2021	R/P 2050	R/P (actual)	R/P 2021	R/P 2050	R/P (actual)	R/P 2021	R/P 2050	R/P (actual)	R/P 2021	R/P 2050
TER												
R. Fresser	0.764	0.816	0.762	0.660	0.626	0.582	0.274	0.276	0.220	0.592	0.578	0.531
R. Ter després Ripoll	0.570	0.552	0.516	0.437	0.429	0.401	0.256	0.225	0.194	0.422	0.405	0.369
R. Ter a Roda de Ter	0.589	0.551	0.522	0.402	0.384	0.363	0.154	0.143	0.126	0.341	0.334	0.308
Riera Sorreig	0.599	0.551	0.522	0.416	0.384	0.363	0.163	0.143	0.126	0.355	0.334	0.308
R. Gurri	0.569	0.536	0.508	0.429	0.377	0.357	0.164	0.128	0.113	0.387	0.341	0.315
R. Ges	0.579	0.551	0.522	0.388	0.384	0.363	0.138	0.143	0.126	0.326	0.334	0.308
Riera Major Osormort	0.669	0.704	0.668	0.601	0.582	0.544	0.126	0.132	0.119	0.534	0.517	0.477
R. Llémena	0.530	0.526	0.510	0.414	0.403	0.382	0.079	0.097	0.084	0.372	0.356	0.341
R. Brugent	0.542	0.535	0.519	0.439	0.425	0.403	0.090	0.105	0.091	0.352	0.338	0.324
Riera d'Ossor	0.667	0.704	0.668	0.599	0.582	0.544	0.123	0.132	0.119	0.531	0.517	0.477
R. Ter a Susqueda	0.541	0.630	0.595	0.437	0.489	0.457	0.092	0.120	0.107	0.350	0.403	0.366
R. Onyar a Quart	0.667	0.625	0.607	0.421	0.386	0.365	0.070	0.073	0.061	0.421	0.378	0.363
R. Güell a Girona	0.616	0.544	0.527	0.399	0.358	0.337	0.122	0.095	0.082	0.467	0.403	0.388
R. Terri	0.551	0.518	0.502	0.427	0.380	0.360	0.098	0.089	0.077	0.430	0.372	0.358
R. Daró	0.602	0.563	0.547	0.375	0.353	0.333	0.050	0.057	0.046	0.376	0.341	0.327
R. Ter a Sant Julià de Ramis	0.587	0.535	0.518	0.376	0.357	0.337	0.074	0.085	0.072	0.439	0.398	0.383
R. Ter a Torroella de Montgrí	0.585	0.564	0.548	0.360	0.342	0.322	0.042	0.045	0.034	0.366	0.329	0.314
Mitjana Ter:	0.602	0.589	0.562	0.446	0.426	0.401	0.124	0.123	0.106	0.415	0.393	0.368
BESÒS												
R. Avencó a Aiguafreda	0.480	0.630	0.590	0.597	0.568	0.530	0.106	0.124	0.111	0.573	0.575	0.530
R. Ripoll a Castellar del Vallès	0.659	0.617	0.596	0.391	0.381	0.360	0.133	0.127	0.111	0.397	0.365	0.349
R. Congost a la Garriga	0.545	0.507	0.490	0.359	0.342	0.322	0.055	0.060	0.049	0.408	0.369	0.354
R. Mogent a Montornès	0.515	0.468	0.452	0.324	0.306	0.287	0.077	0.075	0.063	0.323	0.283	0.270
R. Ripoll a Montcada	0.656	0.575	0.556	0.371	0.341	0.320	0.160	0.128	0.112	0.363	0.308	0.293
R. Besós a Montmeló	0.592	0.529	0.513	0.379	0.339	0.319	0.082	0.072	0.061	0.384	0.326	0.312
R. Besós a Montcada	0.580	0.529	0.513	0.362	0.339	0.319	0.072	0.072	0.061	0.367	0.326	0.312
R. Besós a Barcelona	0.384	0.395	0.382	0.324	0.291	0.272	0.055	0.051	0.041	0.331	0.290	0.278
Mitjana Besòs:	0.551	0.531	0.512	0.388	0.363	0.341	0.093	0.089	0.076	0.393	0.355	0.337
LLOBREGAT												
R. Llobregat a Guardiola	0.668	0.618	0.579	0.668	0.586	0.543	0.178	0.166	0.148	0.400	0.394	0.357
R. Aiguador a Cardona	0.621	0.568	0.531	0.621	0.532	0.492	0.113	0.123	0.111	0.358	0.361	0.326

R. Cardener a Cardona	0.628	0.568	0.539	0.628	0.483	0.454	0.091	0.084	0.072	0.300	0.287	0.262
R. de Clarà a Casserres	0.554	0.587	0.559	0.554	0.553	0.521	0.233	0.198	0.170	0.416	0.394	0.367
R. Cardener a Olius	0.576	0.553	0.519	0.576	0.495	0.459	0.077	0.093	0.083	0.274	0.287	0.254
R. Negre a Clariana de Cardener	0.589	0.553	0.519	0.589	0.495	0.459	0.088	0.093	0.083	0.293	0.287	0.254
R. Carne a la Pobla de Claramunt	0.520	0.489	0.463	0.520	0.462	0.434	0.091	0.087	0.075	0.331	0.302	0.278
R. Llobregat al Pont de Vilomara	0.517	0.484	0.457	0.517	0.425	0.399	0.069	0.077	0.066	0.291	0.286	0.261
R. Cardener a Manresa	0.539	0.505	0.478	0.539	0.456	0.428	0.068	0.081	0.070	0.339	0.327	0.302
R. Llobregat a Castellbell i el Vilar	0.547	0.489	0.463	0.547	0.409	0.384	0.061	0.074	0.064	0.265	0.263	0.239
R. Calders a Navarces	0.539	0.485	0.458	0.539	0.424	0.397	0.064	0.080	0.069	0.294	0.293	0.268
R. Merlès a Sta Maria de Merlès	0.600	0.583	0.553	0.600	0.554	0.520	0.195	0.183	0.159	0.387	0.381	0.354
R. Anoia a Vilanova del Camí	0.488	0.478	0.454	0.488	0.451	0.425	0.078	0.080	0.069	0.330	0.303	0.279
R. Anoia a St Sadurní	0.501	0.501	0.478	0.501	0.404	0.380	0.061	0.057	0.047	0.347	0.309	0.285
R. Riudebitlles a St Sadurní	0.538	0.519	0.495	0.538	0.400	0.376	0.049	0.046	0.037	0.331	0.300	0.277
R. Gavarresa a Artés	0.519	0.502	0.475	0.519	0.447	0.420	0.090	0.099	0.087	0.348	0.329	0.303
R. Anoia a Martorell	0.503	0.495	0.470	0.503	0.395	0.371	0.070	0.063	0.052	0.341	0.299	0.275
R. de Rubí a El Papiol	0.545	0.504	0.481	0.545	0.388	0.364	0.054	0.052	0.042	0.327	0.294	0.271
R. Llobregat a Martorell	0.484	0.473	0.456	0.484	0.394	0.369	0.061	0.062	0.051	0.319	0.289	0.274
R. Llobregat a St Joan Despí	0.449	0.428	0.414	0.449	0.327	0.305	0.056	0.052	0.041	0.357	0.315	0.301
R. Llobregat al Prat	0.457	0.428	0.414	0.457	0.327	0.305	0.062	0.052	0.041	0.367	0.313	0.299
Mitjana Llobregat:	0.542	0.515	0.488	0.542	0.448	0.419	0.091	0.091	0.078	0.334	0.315	0.290

FIGURA 2. Relacions entre les variables meteorològiques, evapotranspiració potencial-temperatura de les tres conques.

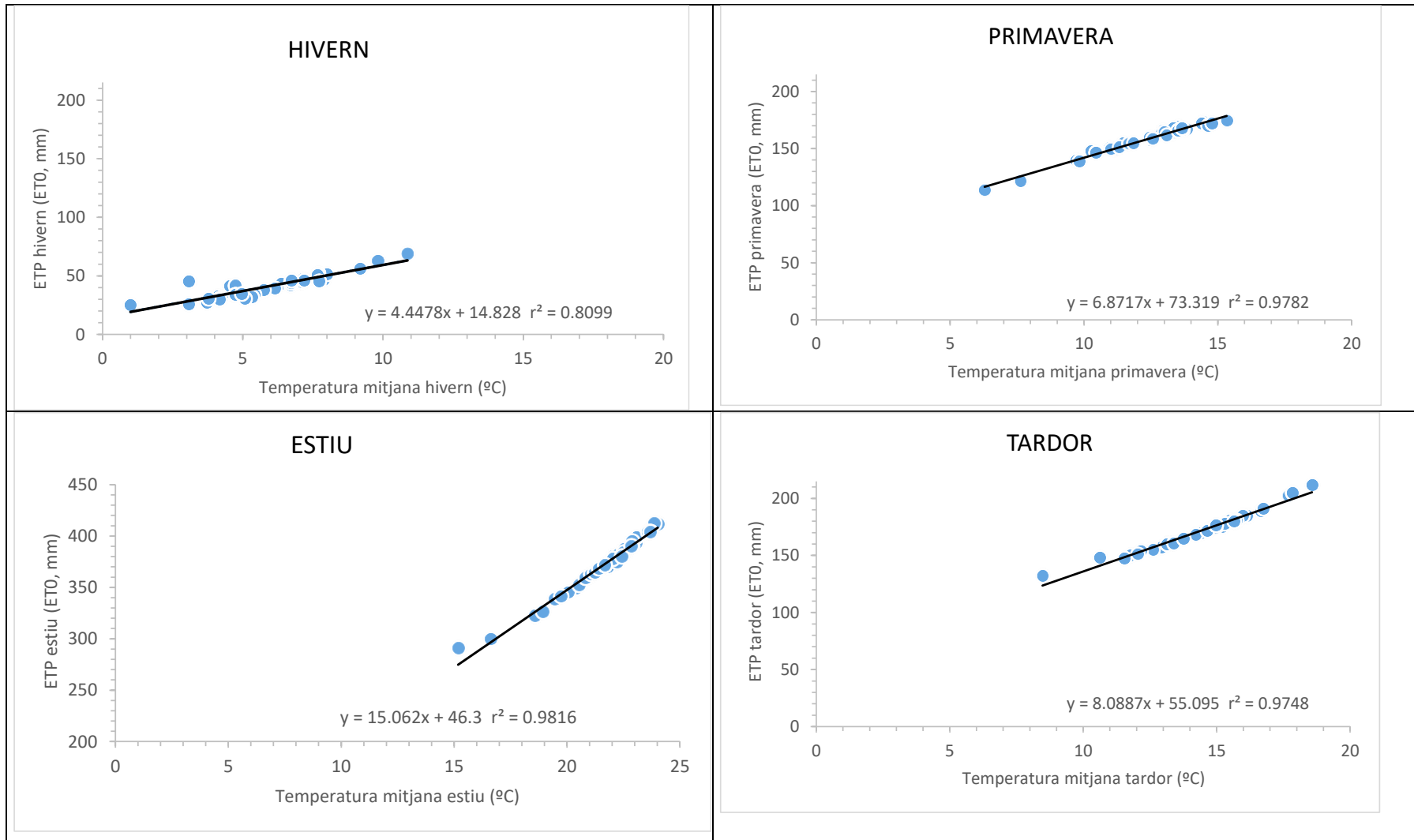
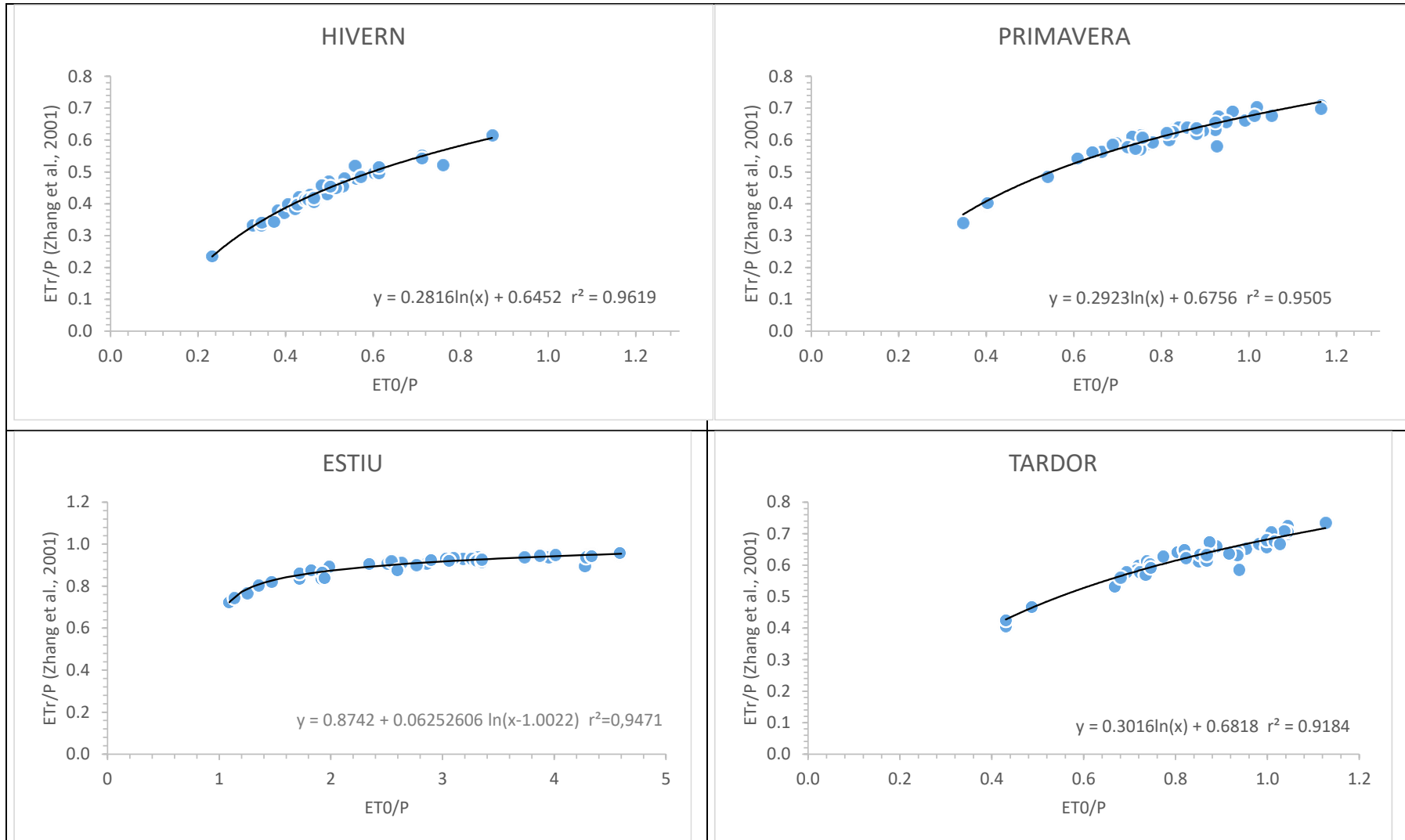


FIGURA 3. Relacions entre les variables hidrològiques expressades pels quocients ET/P (estimat per l'equació Zhang et al., 2001) i els valors de ETO/P (estimats a partir de les dades meteorològiques) a les tres conques.



TAULA 3. Quocients entre els valors de R/P projectats per a 2021 i 2050 amb el valor actual.

SUBCONQUES	HIVERN		PRIMAVERA		ESTIU		TARDOR	
	Rati, % (R/P) ₂₀₂₁ / (R/P) _{actual}	Rati, % (R/P) ₂₀₅₀ / (R/P) _{actual}	Rati, % (R/P) ₂₀₂₁ / (R/P) _{actual}	Rati, % (R/P) ₂₀₅₀ / (R/P) _{actual}	Rati, % (R/P) ₂₀₂₁ / (R/P) _{actual}	Rati, % (R/P) ₂₀₅₀ / (R/P) _{actual}	Rati, % (R/P) ₂₀₂₁ / (R/P) _{actual}	Rati, % (R/P) ₂₀₅₀ / (R/P) _{actual}
TER								
R. Fresser	1.068	0.998	0.949	0.882	1.006	0.802	0.976	0.897
R. Ter després Ripoll	0.967	0.905	0.983	0.917	0.881	0.759	0.961	0.875
R. Ter a Roda de Ter	0.936	0.886	0.954	0.903	0.928	0.820	0.978	0.903
Riera Sorreig	0.920	0.871	0.922	0.873	0.876	0.775	0.939	0.867
R. Gurri	0.942	0.892	0.879	0.833	0.781	0.690	0.881	0.814
R. Ges	0.951	0.900	0.989	0.937	1.036	0.916	1.025	0.946
Riera Major Osormort	1.052	0.999	0.967	0.904	1.048	0.941	0.968	0.893
R. Llémèna	0.993	0.963	0.975	0.923	1.229	1.061	0.958	0.919
R. Brugent	0.987	0.957	0.968	0.918	1.157	1.003	0.961	0.920
Riera d'Ossor	1.055	1.001	0.971	0.908	1.075	0.965	0.974	0.898
R. Ter a Susqueda	1.165	1.100	1.117	1.044	1.300	1.165	1.150	1.045
R. Onyar a Quart	0.936	0.910	0.916	0.865	1.051	0.879	0.898	0.863
R. Güell a Girona	0.884	0.855	0.895	0.844	0.776	0.669	0.863	0.831
R. Terri	0.940	0.912	0.891	0.843	0.908	0.779	0.866	0.832
R. Daró	0.935	0.909	0.943	0.890	1.144	0.920	0.906	0.869
R. Ter a Sant Julià de Ramis	0.912	0.883	0.950	0.896	1.141	0.973	0.906	0.873
R. Ter a Torroella de Montgrí	0.964	0.937	0.951	0.895	1.078	0.820	0.898	0.859
Mitjana Ter:	0.977	0.934	0.954	0.899	1.024	0.879	0.948	0.888
BESÓS								
R. Avencó a Aiguafreda	1.312	1.230	0.951	0.887	1.177	1.052	1.002	0.925
R. Ripoll a Castellar del Vallès	0.937	0.905	0.974	0.920	0.955	0.833	0.919	0.879
R. Congost a la Garriga	0.929	0.899	0.952	0.896	1.101	0.896	0.905	0.869
R. Mogent a Montornès	0.908	0.879	0.946	0.887	0.965	0.813	0.878	0.836
R. Ripoll a Montcada	0.876	0.847	0.918	0.864	0.799	0.698	0.849	0.809
R. Besós a Montmeló	0.894	0.866	0.894	0.841	0.880	0.737	0.849	0.812
R. Besós a Montcada	0.913	0.884	0.938	0.883	1.002	0.840	0.890	0.851
R. Besós a Barcelona	1.029	0.996	0.899	0.841	0.934	0.737	0.877	0.838
Mitjana Besós:	0.975	0.938	0.934	0.877	0.977	0.826	0.896	0.852

LLOBREGAT								
R. Llobregat a Guardiola	0.926	0.867	0.877	0.813	0.932	0.833	0.986	0.894
R. Aiguador a Cardona	0.915	0.856	0.857	0.793	1.091	0.982	1.009	0.912
R. Cardener a Cardona	0.905	0.858	0.769	0.723	0.921	0.795	0.958	0.874
R. de Clarà a Casserres	1.061	1.010	0.999	0.940	0.851	0.732	0.946	0.880
R. Cardener a Olius	0.960	0.901	0.859	0.796	1.207	1.075	1.048	0.928
R. Negre a Clariana de Cardener	0.938	0.881	0.840	0.778	1.053	0.937	0.980	0.867
R. Carme a la Pobla de Claramunt	0.939	0.889	0.887	0.835	0.956	0.830	0.913	0.840
R. Llobregat al Pont de Vilomara	0.935	0.884	0.822	0.771	1.122	0.963	0.980	0.898
R. Cardener a Manresa	0.938	0.888	0.846	0.795	1.189	1.025	0.964	0.891
R. Llobregat a Castellbell i el Vilar	0.894	0.846	0.749	0.702	1.225	1.049	0.994	0.904
R. Calters a Navarcles	0.900	0.850	0.786	0.737	1.258	1.085	0.996	0.913
R. Merlès a Sta Maria de Merlès	0.972	0.921	0.923	0.867	0.937	0.815	0.983	0.914
R. Anoia a Vilanova del Camí	0.979	0.929	0.924	0.870	1.026	0.884	0.918	0.845
R. Anoia a St Sadurní	0.999	0.953	0.806	0.758	0.947	0.780	0.890	0.821
R. Riudebitlles a St Sadurní	0.965	0.920	0.744	0.699	0.948	0.750	0.908	0.836
R. Gavarresa a Artés	0.967	0.915	0.861	0.809	1.098	0.962	0.944	0.871
R. Anoia a Martorell	0.983	0.934	0.785	0.737	0.901	0.752	0.877	0.806
R. de Rubí a El Papiol	0.926	0.883	0.712	0.669	0.972	0.790	0.898	0.827
R. Llobregat a Martorell	0.977	0.943	0.813	0.763	1.015	0.829	0.905	0.860
R. Llobregat a St Joan Despí	0.953	0.922	0.729	0.680	0.927	0.733	0.880	0.843
R. Llobregat al Prat	0.935	0.905	0.715	0.667	0.835	0.661	0.857	0.821
Mitjana Llobregat:	0.951	0.903	0.824	0.772	1.020	0.870	0.944	0.869

TAULA 4. Mitjanes dels valors dels quocients R/P actuals i per als escenaris del 2021 i 2050 a les quatre estacions.

SUBCONQUES	HIVERN			PRIMAVERA			ESTIU			TARDOR		
	R/P (actual)	R/P 2021	R/P 2050	R/P (actual)	R/P 2021	R/P 2050	R/P (actual)	R/P 2021	R/P 2050	R/P (actual)	R/P 2021	R/P 2050
Mitjana Ter:	0.602	0.589	0.562	0.446	0.426	0.401	0.124	0.123	0.106	0.415	0.393	0.368
Mitjana Besòs:	0.551	0.531	0.512	0.388	0.363	0.341	0.093	0.089	0.076	0.393	0.355	0.337
Mitjana Llobregat:	0.951	0.903	0.824	0.772	1.020	0.870	0.944	0.869	0.951	0.903	0.824	0.772

TAULA 5. Mitjanes dels quocients entre els valors de R/P projectats per a 2021 i 2050 amb el valor actual.

SUBCONQUES	HIVERN		PRIMAVERA		ESTIU		TARDOR	
	Rati, % (R/P) ₂₀₂₁ / (R/P) _{actual}	Rati, % (R/P) ₂₀₅₀ / (R/P) _{actual}	Rati, % (R/P) ₂₀₂₁ / (R/P) _{actual}	Rati, % (R/P) ₂₀₅₀ / (R/P) _{actual}	Rati, % (R/P) ₂₀₂₁ / (R/P) _{actual}	Rati, % (R/P) ₂₀₅₀ / (R/P) _{actual}	Rati, % (R/P) ₂₀₂₁ / (R/P) _{actual}	Rati, % (R/P) ₂₀₅₀ / (R/P) _{actual}
	Mitjana Ter:	0.977	0.934	0.954	0.899	1.024	0.879	0.948
Mitjana Besòs:	0.975	0.938	0.934	0.877	0.977	0.826	0.896	0.852
Mitjana Llobregat:	0.951	0.903	0.824	0.772	1.020	0.870	0.944	0.869

TAULA 6. Mitjanes anuals dels quocients R/P actuals i per als escenaris del 2021 i 2050 i quocients entre els valors de R/P projectats per a aquests anys amb el valor actual.

ANUAL					
SUBCONQUES	R/P (actual)	R/P 2021	Rati (R/P) ₂₀₂₁ /(R/P) _{actual}	R/P 2050	Rati (R/P) ₂₀₅₁ /(R/P) _{actual}
Mitjana Llobregat:	0.245	0.222	0.909	0.213	0.869
Mitjana Ter:	0.320	0.307	0.962	0.288	0.901

5. Discussió

La importància de l'estacionalitat indica a quina o quines estacions l'augment de la temperatura serà més rellevant i en conseqüència l'evapotranspiració potencial serà major. La rellevància de l'evapotranspiració potencial (ETP) rau en el fet que determina per cada escenari climàtic el volum de recursos que no seran disponibles, és a dir, la proporció d'aigua verda potencial del sistema.

A la figura 3.1, durant l'estiu ens indica com aquest augment de la temperatura influencia a l' ET_0 incrementant-ho fins al doble respecte a la resta de l'any. Amb relació la figura 3.2 ens confirma que els quocients de ET_0 i ET_r respecte P és durant l'estiu on son més elevats.

La influència de l'evapotranspiració potencial i real en el canvi climàtic és determinant per avaluar els recursos disponibles, atesa la importància que té l'evapotranspiració en el balanç hidrològic. A la taula 4.1. s'observa com aquests recursos disponibles variaran en les tres conques respecte 2021 i 2050.

La distribució dels recursos d'aigua disponibles a Catalunya, els quals s'expressen pel quocient R/P, mostra una diferència entres les tres conques estudiades.

Conca del Ter

Actualment a la Conca del Ter durant l'hivern, els valors de R/P de les mesures actuals oscil·len entre 0,541-0,764 mentre que per l'escenari 2021, presenta valors similars que van de 0,502-0,816 o fins i tot mostren un lleuger augment al 2021. Tant és així, que es pot afirmar que la Conca del Ter durant l'hivern tendirà a una resiliència més gran als efectes climàtics, ja que, en l'escenari de 2050 els valors són gairebé iguals als actuals, 0,502-0,762, al menys en el seu límit superior del rang.

Les ratios durant l'hivern ens mostren valors igual o superiors al 1%, fet que ens assenyala que durant l'hivern a la conca del Ter no disminuiran significativament els recursos.

Els mesos de primavera i tardor mostren valors actuals de R/P similars, d'entre 0,660 i 0,350. A diferència de l'hivern, durant la primavera i tardor la tendència per als horitzons 2021 i 2050 va a la baixa, arribant a valors d'entre 0,582 i 0,308. Les ratios durant aquests mesos, assenyalen valors propers al 1%, on tot i no tenir valors superiors com a l'hivern, no hi haurà variacions significatives de R/P.

És a l'estiu on hi trobem la lleugera disminució de R/P respecte a l'actualitat en l'horitzó 2050. Similar a l'hivern, en l'horitzó 2021, s'hi mostra un petit augment, tot i que va a la baixa per al 2050. Valors actuals de 0,274-0,042 que disminuirien per 2050 a 0,220-0,034. Aquest fet, es degut, al augment significatiu de les temperatures de cara als propers anys.

Conca del Besós

La conca del Besós és la conca més petita de les tres estudiades i hi comprèn vuit subconques. De manera paral·lela a la conca del Ter, durant l'hivern, al Besós hi continua la tendència per al 2021 al augment, amb ratis de R/P de fins 1,31%. En canvi, per a l'horitzó 2050, hi disminueixen però no tant significativament com a l'anterior conca, valors actuals d'entre 0,659-0,384 passarien al 2050 a 0,590-0,382, es per això, que les ratis es mantindrien al voltant del 1%.

La primavera i la tardor tenen una tendència ja més a la baixa tant a l'horitzó 2021 com el 2050. Amb valors actuals durant la primavera de 0,324 passant pel 2021 a 0,291 i arribant a 0,272 al 2050, fet que suposa ratis que queden llunyanes al 1% i es queden a un 0,85%.

L'estiu al Besós, no varia, respecte al Ter, es manté la tendència de R/P disminuint, arribant a ratis de 0,90% respecte l'actual.

Conca del Llobregat

Durant l'hivern al Llobregat a diferència de les dues conques, Ter i Besós, no s'hi mostra cap augment, tot al contrari, el quocient R/P actual respecte als dos futurs escenaris mostra una disminució i uns ratis del 0,85%.

La diferència al Llobregat també es mostra entre la primavera i la tardor. Les dues conques anteriors els valors entre aquestes dues estacions eren similars, al Llobregat durant la primavera s'hi troben valors actuals d'entre 0,668 i 0,449 mentre que a la tardor els valors són inferiors, oscil·len entre 0,416 i 0,265. L'estacionalitat en aquesta conca es troba ben marcada, mentre a les altres conques durant la primavera els ratis eren del 1% en aquesta conca es troben al voltant del 0,70%.

L'estiu a aquesta conca, mostra la tendència esperada, l'augment de les temperatures i la disminució de les precipitacions previstes, donen lloc a valors de R/P d'entre 0,0170- 0,037 per al 2050 respecte al 0,233-0,054 actual.

Com es pot comprovar, el Ter i el Llobregat mostren unes relacions més marcades entre els dos escenaris i la situació actual. D'entre les dos conques és el Llobregat el

que es veurà més afectat i el que pot ocasionar més problemes a l'abastament urbà de l'Àrea Metropolitana de Barcelona ja que es el que més quantitat d'aigua aporta.

Tanmateix, el quocient entre els valors de R/P corresponents als escenaris climàtics i els registrats actualment tendiran a disminuir a totes tres conques. No obstant, al Ter, sobretot que es troba al nord-est del país, pot mostrar un lleuger augment del valor de R/P el 2021 en relació amb el moment actual, amb quocients superiors a l'1. Aquest augment es pot justificar si s'entén que la variació de la temperatura, i, per tant de l'evapotranspiració, no implica una pèrdua de recursos tant elevada com la disminució de la precipitació prevista per al 2021. Per tant, s'entén que en aquest primer horitzó no hi haurà variacions significatives dels valors de R/P i dels recursos disponibles. Atesa la importància de l'estacionalitat es veurà marcada una reducció dels cabals els mesos d'estiu i un augment de precipitacions en episodis més concentrats.

El 85% del subministrament, per abastir a l'àrea metropolitana de Barcelona, procedeix de recursos superficials, derivats de les extraccions del riu Llobregat o del riu Ter. Essent els recursos superficials especialment vulnerables als factors del canvi global, l'abastament a l'àrea metropolitana de Barcelona esdevé una qüestió estratègica.

Per tant, la seva dependència del sistema Ter-Llobregat, esdevé un problema a gran escala en el l'escassetat de l'aigua s'haurà de gestionar conjuntament amb totes les necessitats de tots els usuaris d'ambdues conques. La variació del quocient R/P estudiada, mostra l'evidència del decreixement del recurs disponible, així, com també, dels diferents comportaments a les tres conques hidrogràfiques estudiades. Tot i que la conca del Ter presenta un dèficit hídric menor, pel que respecta a la capacitat d'abastament a l'àrea metropolitana de Barcelona els valors indicatius són els corresponents al Pirineu on es manifesta que les aportacions als embassaments que regulen cada conca quedaran més minvades a la conca del Ter que a la del Llobregat i Besós per efectes del canvi climàtic.

Pel que fa a la comparació, dels resultats dels quocients R/P i les seves ratios, anuals respecte a estacionals, es troben algunes diferències.

A la conca del Ter, anualment s'estima que hi ha una R/P actual de 0,320 mentre que estacionalment no hi ha cap valor proper. El valor més pròxim a l'anual es troba entre R/P de l'estiu situat a 0,124 i el de la tardor a 0,415. Això també es veu, en els horitzons, al 2050 anualment es situa a 0,288 mentre que estacionalment, els valors es troben molt per sobre a aquest, excepte l'estiu que es trobaria a 0,106. Les ratis estacionals, però, es troben dintre del rang anual tant per a l'horitzó 2021, 0,96%, com

el 2050, 0,9%. Aquesta diferència pot deure's al comportament que l'estacionalitat ens marcarà de cara als propers anys.

A la conca del Llobregat, anualment la R/P actual és de 0,245 i estacionalment els valors de R/P es situen per sobre de 0,9. En els horitzons 2021 i 2050, les ratis es troben força relacionades tant anualment com estacionalment, 0,9% i 0,85% respectivament.

6. Sostenibilitat

L'AMB està emmarcada en el Pla de Sostenibilitat 2014-2020 i en matèria climàtica (Estratègies de mitigació i pla d'adaptació, Pacte d'Alcaldes i Alcaldesses per l'Energia i el Clima, etc.), on destaca la pròpia Declaració pel Clima de l'AMB que potencia i amplia els compromisos de l'AMB amb l'objectiu de reduir el 40% de les emissions de CO2 el 2030 i la transició a un nou sistema energètic a més de vetllar per la resiliència del territori. Amb aquests plans que l'AMB té establerts i mitjançant aquest treball es pretén que amb els resultats obtinguts ajudin a que la gestió sigui més acurada tenint les possibles dades futures.

A partir dels estudis realitzats per l'AMB (Mas-Pla i Menció, 2016), els resultats d'aquest estudi estacional aporten un valoració més detallada de l'impacte del canvi climàtic a les conques hidrogràfiques que abasteixen la metròpolis barcelonina. Malgrat les valoracions, cal insistir en el fet de donar importància a l'explotació dels recursos locals (especialment per usos no domèstics), de fomentar l'estalvi en l'ús de l'aigua i, especialment, de minimitzar la pèrdua de recurs a través d'una deficient xarxa de distribució. Per la seva magnitud, la realització d'inversions en fomentar i millorar aquests aspectes seran una aportació determinant per a suplir els recursos que minvaran per causa del canvi climàtic.

7. Conclusions

The work presents a water analysis based on seasonal and land use data using climate projections for the horizons of 2021 and 2050, with the aim of determining the current availability of water resources and how it will change in the mentioned horizons.

The study area, the basins that supply water resources to the Metropolitan Area of Barcelona and nearby regions as well, is defined by Mediterranean climate conditions where it is marked by seasonality until now. The water balance conducted in this work is reflected in the seasons, where there will be months when the recharge will be much greater than in others and rainfall will be concentrated in shorter and less frequent periods, but these is expected to be very intense (Llasat i Corominas,2010).

With this work, water resources in the Ter-Llobregat-Besós system basins have been calculated in the current climate scenarios and those for the 2021 and 2050 horizons. It has then been possible to quantify a decrease in the availability of the resource.

With the data obtained, the decrease and possible lack of the resource for the 2050 horizon is confirmed. In order to satisfy this future lack, the water balance in both the metropolitan area and the basins of origin of the resource will have to be managed taking into consideration the results of this study. Special emphasis must be focused on water availability changes on the basins headwaters.

A comparison with the Mas-Pla et al. (2016) results estimated at an annual term with those of this study shows a larger deficit for the 2021 and 2050 projections than expected.

Despite the regional perspective required by this study, adaptation solutions must be developed at the local, municipal or supra-municipal level, but with actions that are appropriate for water conservation and ultimately promote sustainable use.

This work shows that, in the face of sustainable water management, actions will have to be focused on some seasons more than on others, in order to improve efficiency in both the distribution of resources and their use, always with the dual aim of guaranteeing the supply for urban uses and ecosystem services.

8. Bibliografia

AGÈNCIA CATALANA DE L'AIGUA (2015). *Pla de Gestió del Districte de Conca Fluvial de Catalunya 2016-2021*. Barcelona: Generalitat de Catalunya. Agència Catalana de l'Aigua.

Calbó J, Gonçalves M, Barrera Escoda A, García-Serrano J, Doblas-Reyes F, Guemas V, Cunillera J, Altava V (2016). Projeccions climàtiques i escenaris de futur. En Martín Vide J, ed, *Tercer Informe sobre el Canvi Climàtic a Catalunya*. Publicat pel Consell Assessor per al Desenvolupament Sostenible i l'Institut d'Estudis Catalans, pp 113-133.

Christensen, J. H.; Hewitson, B.; Busuioc, A. [et al.] (2007). *Regional climate projections*. A: IPCC = Intergovernmental Panel on Climate Change. Climate change 2007: The physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fourth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (AR5). Cambridge, etc.: Cambridge University Press.

Gallart, F. (2009). *Canvis temporals observats en les sèries de cabals*. A: Agència Catalana de l'Aigua. Aigua i canvi climàtic: Diagnosi dels impactes previstos a Catalunya. Barcelona: Generalitat de Catalunya. Agència Catalana de l'Aigua, p. 105-114.

IPCC = Intergovernmental Panel on Climate Change (2014). *Climate Change 2014: Impacts, adaptation, and vulnerability*. Part A: Global and sectoral aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (AR5). Edició de C. Field, V. R. Barros, K. J. Dokken [et al.]. Cambridge, etc.: Cambridge University Press. També disponible en línia a: [Consulta: 17 maig 2018]

Llasat, M. C.; Corominas, J. (2010). «Riscos associats al clima». A: Llebot, J. E. (ed.). *Segon informe sobre el canvi climàtic a Catalunya*. Barcelona: Generalitat de Catalunya: Institut d'Estudis Catalans, p. 243-307.

Manzano, A. (2009a). *Exemples de modelització hidrològica en règim mitjà dels rius catalans en escenaris futurs*. A: Agència Catalana de l'Aigua. Aigua i canvi climàtic: Diagnosi dels impactes previstos a Catalunya. Barcelona: Generalitat de Catalunya. Agència Catalana de l'Aigua, p. 127-141.

Mas-Pla, J. (2005). *Recursos hídrics, dinàmica hidrològica i canvi climàtic*. A: Llebot, J. E. (ed.) Informe sobre el canvi climàtic a Catalunya. Barcelona: Consell Assessor per al Desenvolupament Sostenible: Institut d'Estudis Catalans, p. 485-516.

Mas-Pla, J. (2010). *Vulnerabilitat territorial dels recursos hidrològics al canvi climàtic*. A: Llebot, J. E. (ed.) Segon informe sobre el canvi climàtic a Catalunya. Barcelona: Consell Assessor per al Desenvolupament Sostenible: Institut d'Estudis Catalans, p. 309-342

Mas-Pla J, Batalla RJ, Cabello A, Gallart F, Llorens P, Pascual D, Pla E, Pouget L, Sánchez A, Termes M, Vergonyós L (2016). Recursos hidrològics. En Martin Vide J, ed, *Tercer Informe sobre el Canvi Climàtic a Catalunya*. Publicat pel Consell Assessor per al Desenvolupament Sostenible i l'Institut d'Estudis Catalans, pp 161-187.

Mas-Pla J, Menció-Domingo A (2016). *Efectes del canvi climàtic en l'abastament d'aigua a l'Àrea Metropolitana de Barcelona*. Direcció de Serveis Ambientals de l'AMB.

Ortuño, F.; Jódar, J.; Carrera, J. (2009). *Canvi climàtic i recàrrega d'aqüífers a Catalunya*. A: Agència Catalana de l'Aigua. Aigua i canvi climàtic. Diagnosi dels impactes previstos a Catalunya. Barcelona: Generalitat de Catalunya: Agència Catalana de l'Aigua, p. 143-152.

Thomas D, Leopold L.B. (1978). *Water in environmental Planning*. (1 ed.) San Francisco: W. H. Freeman and Company.

Zhang, L.; Dawes, W. R.; Walker, G. R. (2001). *Response of mean annual evapotranspiration to vegetation changes at catchment scale*. Water Resources Research, 37, p. 701-708.