



Govern d'Andorra

ESTUDI PER A L'ELABORACIÓ ANYAL DEL BALANÇ HÍDRIC DEL PRINCIPAT D'ANDORRA - ANY 2017 -

(PERÍODE 2013-2018)



Gener 2019

1	OBJECTIUS	3
2	DADES BASE DE PRECIPITACIÓ I TEMPERATURA	3
3	CÀLCUL DEL BALANÇ HÍDRIC	6
3.1	RESULTATS DEL BALANÇ HÍDRIC	6
4	CONTRAST DE RESULTATS	7
4.1	ANÀLISI DELS CABALS AFORATS	7
5	EL BALANÇ HÍDRIC EN LES UNITATS HIDROGEOLÒGIQUES	10
6	CONCLUSIONS	15
7	BIBLIOGRAFIA	16
8	ANNEX DE DOCUMENTACIÓ. Càlcul del balanç hídric	17
8.1	Càlcul de l'evapotranspiració	18
8.1.1	Generalitats	18
8.1.2	Aplicació del mètode empíric de Thornthwaite	18
8.2	Càlcul de la pluja útil	21
8.3	Estimació del dèficit hídric	22
8.4	Evolució de la reserva d'aigua del sòl	23
8.5	Comprovació resultats	25

1 OBJECTIUS

L'objectiu del present document, com el d'anys anteriors, és el d'estimar els recursos hídrics subterranis del Principat, en aquest cas, per l'any 2017, en base a un balanç hídric.

Per dur a terme el balanç hídric es tenen en compte dues dades bàsiques, per una banda els aportats d'aigua procedents de les precipitacions mensuals, i per l'altra la temperatura màxima i mínima diària. Des del 2016 és el CENMA –Centre d'estudis de la neu i de la muntanya d'Andorra– qui ens proporciona les dades base de precipitació i temperatura. Així mateix, el CENMA també ens ha facilitat la distribució de la temperatura i precipitació per a un any mig (període 1981-2010).

Malgrat que el CENMA facilita els mapes base amb els límits administratius (territori andorrà), per a l'estimació dels recursos hídrics es treballa amb els límits de conques hidrogeològiques, abastant una superfície de 522,26 Km², que inclou territori andorrà i transfronterer. Totes les figures que es presenten en el present document fan referència a aquests límits, tot i que es podrà observar que tant es donen resultats que tracten sobre el domini andorrà (límit administratiu) com sobre el domini d'estudi (conques hidrogeològiques).

Comentar, finalment que des de finals del 2017 ha canviat la superfície d'Andorra (límit administratiu): el Servei de Cartografia del Govern d'Andorra proporciona la dada de 467,45 Km², enlloc dels 467,7 Km² que hi havia fins al moment.

2 DADES BASE DE PRECIPITACIÓ I TEMPERATURA

Des del 2016 el model de precipitació i temperatura el proporciona el CENMA. S'elaboren mapes mensuals elaborats tenint en compte una àmplia xarxa d'estacions meteorològiques d'Andorra, amb registres en continu de dades climàtiques. Les estacions usades per aquest centre han estat:

- a) CENMA: Aixàs, bony neres, Sorteny, Perafita
- b) FEDA: Ransol, Central
- c) Govern: Roc sant Pere, Borda Vidal, La comella, Les Salines
- d) MeteoFrance: Hopitalet prè l'Andorre

Les dades recollides passen un control de qualitat. Per elaborar els mapes de temperatura i precipitació han utilitzat les estacions que presenten com a molt 3 dies consecutius o 5 dies no consecutius sense dades al mes, tot i que si se sap que no hi ha hagut precipitació en aquests dies, si que s'utilitza la informació del mes.

A continuació es donen els resultats de precipitació i temperatura del 2017.

El mapa de distribució de les precipitacions anuals permet veure que es tenen valors màxims superior als 1300 mm a l'est del país, i mínims inferiors als 650 mm als fons de vall del sud del país.

A nivell de país, el valor mig és de 1035 mm (límit administratiu).

En la **figura 1** es mostra el model de distribució de les precipitacions de l'any 2017.

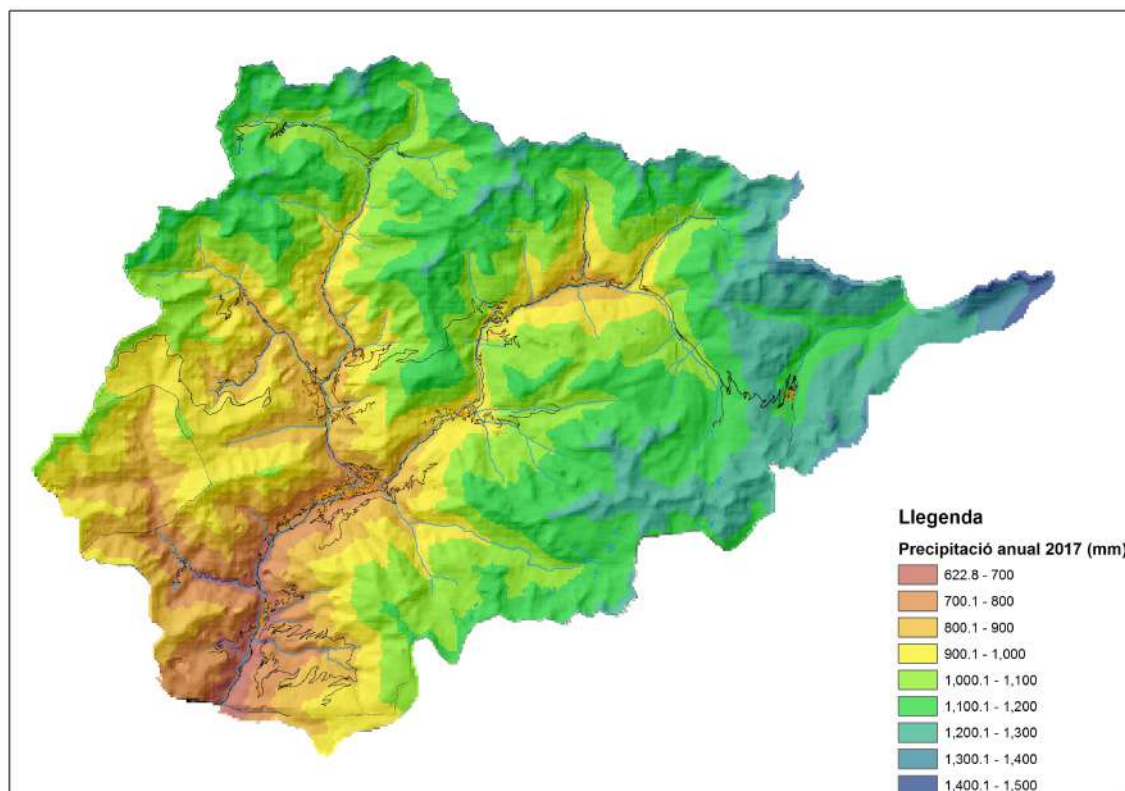
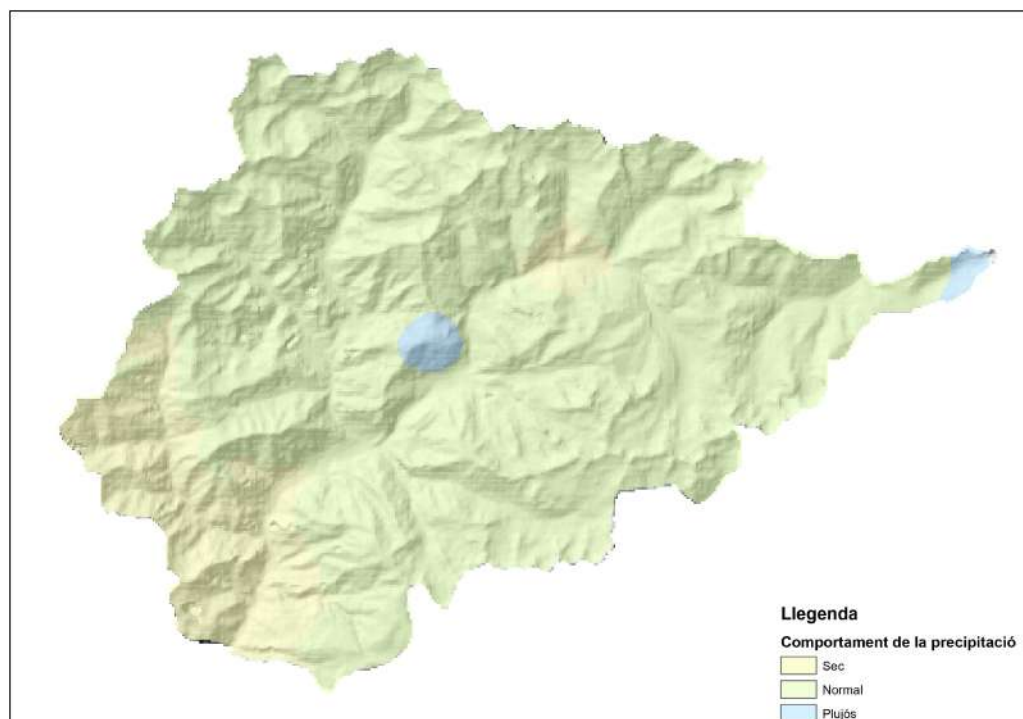


Figura 1. Mapa d'isohietes de les precipitacions acumulades el 2017. Dades base facilitades pel CENMA

Si es comparen les precipitacions acumulades el 2017 amb la mitjana climàtica de 30 anys – sèrie 1981-2010 (valorat amb 1054 mm, límit administratiu), s'observa que es tracta d'un any dominantment normal en el conjunt del país amb l'excepció del sector sud-oest que ha estat més sec.



En la **figura 2** es mostra el resultat de relacionar les precipitacions del 2017 amb la mitjana climàtica.

Figura 2. Mapa comparatiu de les quantitats acumulades registrades el 2017 i els corresponents valors mitjans.

En relació a la temperatura, l'any 2017 presenta una temperatura mitja anual a nivell de país de 5,7°C (límit administratiu), amb valors que oscil·len entre -0,3 i els +12,5°C. Els valors mínims es detecten en el terç nord i est del Principat coincidint amb alta muntanya i les temperatures màximes es detecten en els fons de vall i sud del país.

En la **figura 3** es mostra el model de distribució de les temperatures de l'any 2017.

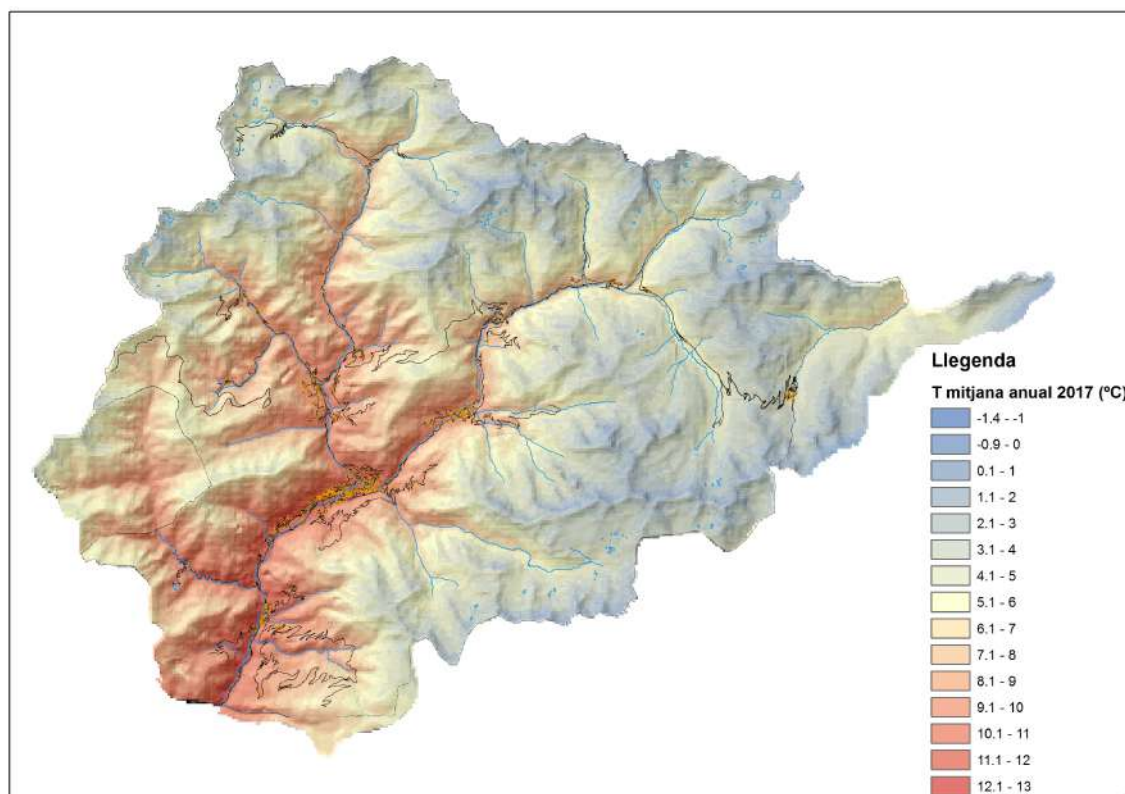
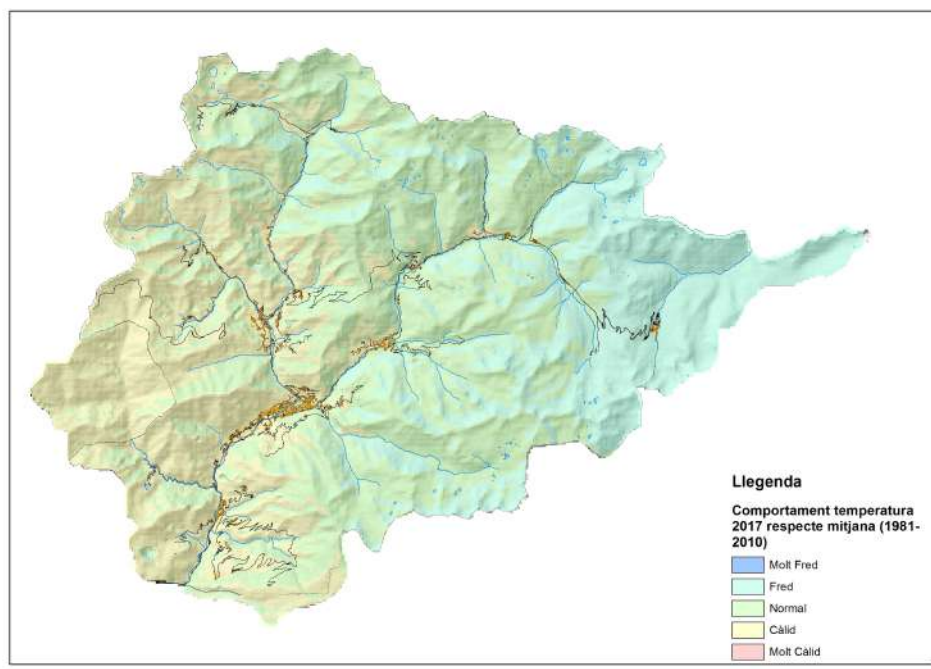


Figura 3. Mapa de distribució de les temperatures mitges del 2017. Dades base facilitades pel CENMA

Comparant la temperatura mitja anual amb la mitjana climàtica de 30 anys (període 1981-2010 valor de 5,6°C), s'observa que les temperatures del 2017 han estat normals al centre del país, més fredes cap a l'extrem oriental, i més càlides cap a l'extrem occidental. En conjunt es tracta d'un any normal.



En la **figura 4** es mostra la relació entre la temperatura estimada pel 2017 i la mitjana climàtica.

Figura 4. Mapa de les diferències de temperatura de l'any 2017 respecte la mitja.

3 CÀLCUL DEL BALANÇ HÍDRIC

De cara a estimar els recursos hídrics del 2017, que potencialment poden ésser usats per les necessitats de l'home (també anomenada pluja útil), s'ha dut a terme un balanç hídric.

L'expressió que permet deduir la pluja útil és la següent:

$$P = ETR + Pu \pm \Delta R \dots\dots\dots(1)$$

on:

P=Precipitació total: sòlida i líquida

ETR= Evapotranspiració real

Pu=Pluja útil o excedents

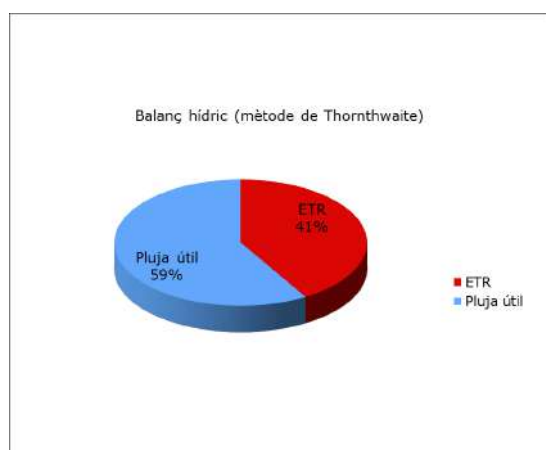
ΔR =Variació de la reserva d'aigua en el sòl

3.1 RESULTATS DEL BALANÇ HÍDRIC

En la següent taula es mostra un resum del balanç hídric segons la metodologia i càlculs que s'exposen en l'**Annex de documentació**.

T mitja	P acumulada	ETR	Pluja útil (excedents)	ΔR^*
5,7	1035 mm	428	606 mm	+2,7 mm

Taula 1. Resum balanç hídric en base al mètode de Thornthwaite. Superfície calculada=467,45 Km² (límit administratiu)(*) ΔR dada obtinguda directament del model



Les entrades al sistema són les precipitacions, amb un valor mig de 1035 mm/any. Les sortides al sistema es distribueixen en evapotranspiració, amb uns 428 mm i pluja útil amb 606mm.

La reserva d'aigua en el sòl a finals del 2017 ha augmentat en 2,7 mm si es compara amb com estava a finals del 2016. En l'**Annex 8.4** es mostra l'evolució històrica de la reserva.

Segons el mètode de Thornthwaite, l'evapotranspiració (ETR) suposa el 41% mentre que la pluja útil representa el 59%. En el següent gràfic es mostra la distribució de les sortides segons el mètode de

càlcul utilitzat.

Figura 5. Balanç hídric segons Thornthwaite (Calculat tenint en compte que la reserva d'aigua al sòl és variable segons la zona)

4 CONTRAST DE RESULTATS

4.1 ANÀLISI DELS CABALS AFORATS

Quan es parla de pluja útil s'està parlant de l'aigua que surt com a escolament superficial directe i com a escolament subterrani, que en un balanç anual es pot interpretar que tota la pluja útil acaba drenant cap als rius.

Donant per vàlid aquest supòsit, es contrasten els resultats de la pluja útil estimada amb el model de balanç hídric, i els cabals aforats.

Per a dur a terme aquest contrast de dades s'ha fet ús dels registres de cabal diaris recollits durant el 2017 del riu Gran Valira en l'estació d'aforament de la Borda Sabater, així com en el riu Madriu, riu Valira d'Orient a Ransol i al riu Valira del Nord en el pont dels Escalls. En la següent taula es donen les dades tècniques de cada estació d'aforament.

Estació d'aforament	X	Y	Riu aforat	Superfície conca hidrogràfica (Km ²)
FEDA-Ransol	542773,6	31220,0	Valira Orient	81,86
FEDA Madriu - Ràmio	537514,6	22164,2	Madriu	26,05
CHE(A402)-Pont Escalls	533986	24046	Valira Nord	145,68
Borda Sabater	529639,5	16525,1	Gran Valira	452,33

Taula 2. Situació aproximada (coordenades Lambert III Andorra), riu aforat, superfície de la conca hidrogràfica de les estacions d'aforament utilitzades.

En la següent figura es mostra l'abast hidrogràfic cada estació d'aforament.

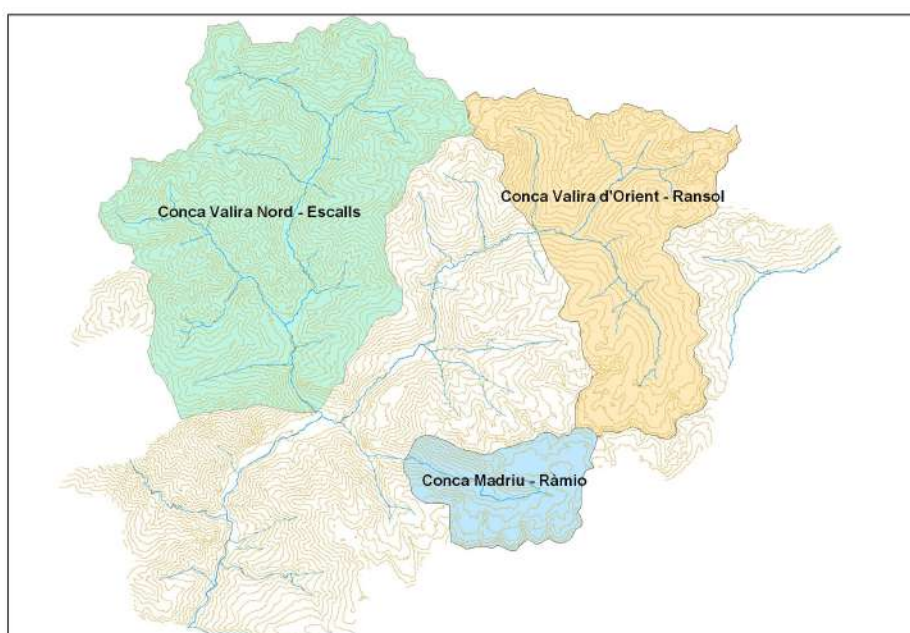


Figura 6.. Mapa de situació de les conques estudiades de Valira Nord - Escalls, Conca Valira Orient Ransol i Conca Ràmio - Madriu.



Figura 7. Mapa de situació de la conca Valira – Borda Sabater.

Donat que part dels cabals de fonts i torrents que drenen cap la riu Gran Valira són captats per a usos principalment domèstics i que les seves aigües no són directament abocades al riu Gran Valira si no a la xarxa de col·lectors d'aigües residuals de l'EDAR-SUD de St. Julià, s'ha tingut en compte també el cabal procedent d'aquesta EDAR.

El cabal d'entrada a l'EDAR-SUD de St. Julià durant el 2017, segons dades facilitades pel ministeri responsable del medi ambient, és de $0,39 \text{ m}^3/\text{s}$. El cabal mig del riu Gran Valira (segons el mateix ministeri) durant el 2017 ha estat de $7,10 \text{ m}^3/\text{s}$. Aquest cabal, sumat amb el procedent de l'EDAR, suposa uns $7,49 \text{ m}^3/\text{s}$, o sigui $236,20 \text{ Hm}^3/\text{any}$, que repartit per la superfície de la conca hidrogràfica suposa $529,88 \text{ L/m}^2\cdot\text{any}$.

El cabal del riu Valira del Nord, segons dades facilitades per la *Confederación Hidrológica del Ebro* es calcula que és d'uns $3,13 \text{ m}^3/\text{s}$, o sigui $98,71 \text{ Hm}^3/\text{any}$. Aquest cabal, repartit per la superfície de la conca hidrogràfica suposa $677,57 \text{ L/m}^2\cdot\text{any}$.

El cabal del riu Valira d'Orient a Ransol, segons dades facilitades per FEDA es calcula que és d'uns $3,85 \text{ m}^3/\text{s}$, o sigui $121,48 \text{ Hm}^3/\text{any}$. Aquest cabal, repartit per la superfície de la conca hidrogràfica suposa $1484 \text{ L/m}^2\cdot\text{any}$.

El cabal del riu Madriu, segons dades facilitades per FEDA es calcula que és d'uns $0,86 \text{ m}^3/\text{s}$, o sigui $26,97 \text{ Hm}^3/\text{any}$. Aquest cabal, repartit per la superfície de la conca hidrogràfica suposa $1035,32 \text{ L/m}^2\cdot\text{any}$.

En la següent taula es resumeix els valors anteriorment comentats.

Balanç hídric	Dades tècniques	Gran Valira (riu +EDAR)	Valira Nord	Valira Orient	Madriu
Cabals aforats	Cabals m³/s	7,49	3,13	3,85	0,86
	Cabals Hm³/any	236,20	98,71	121,48	26,97
	Cabal específic (Qe) L/m²*any	529,88	677,57	1484,00	1035,32
Mètode de Thornthwaite	Pluja útil estimada L/m²*any	594	586	730	734
	Variació respecte Cabal Qe (%)	-12	13	51	29

Taula 3. Resum dels cabals registrats durant el 2017 en diferents conques hidrogràfiques i pluja útil estimada per cada conca.

Aquest any en la majoria de les conques observades els valors d'excedents calculats mitjançant el model presenten valors inferiors (entre un 13 i un 51%) als observats al camp a través dels aforadors. En la conca del Gran Valira s'obtenen valors similars tot i que els observats al camp són lleugerament inferiors als estimats amb model.

Cal tenir present que els cabals aforats poden dur associats fins un $\pm 25\%$ d'error, i cal tenir en compte les següents limitacions en les anàlisis dutes a terme:

- S'ha dut a terme manualment els càlculs del balanç hídric en algunes estacions representatives del país (Ransol, i Central FEDA) per tal de comprovar que la resolució del model s'ha fet correctament, i s'obtenen valors similars (**Annex 8.5**).

- En les estacions de cabal de FEDA, diàriament es procedeix a fer un balanç d'entrades (procedents de Ransol, barrancs Cortals i de Ràmio) i sortides a l'estany d'Engolasters, existint un error que no se'ns ha facilitat.

- No es té la certesa que en els aforadors utilitzats es duiguin a terme les tasques de manteniment i neteja adequades per al bon funcionament d'aquest. Així mateix tampoc es té coneixement del grau d'error associat a la corba alçades versus cabals o taula de tarat.

- En el balanç hídric les precipitacions són totes líquides (pluges) que al mateix mes ja s'incorporen en el balanç com a excedents i ETR del mes, quan en realitat hi ha mesos que les precipitacions són en forma sòlida (neu) que no s'incorpora al balanç fins mesos més tard.

- L'efecte del vent com a variador dels gruixos de neu, o l'efecte de la sublimació no es té en compte; es tenen comptabilitzades precipitacions totals (suma de pluja i neu fosa) acumulades en els pluviòmetres.

- Segons se'ns ha comentat des del CENMA les lectures de precipitacions durant l'hivern no són sempre fiables perquè la mostra d'aigua/neu recollida en els pluviòmetres es gela i dona un registre poc real.

- La distribució de les precipitacions i temperatures es fa segons un model numèric, donat que no es disposa de suficients estacions meteorològiques.

Des del 2016, el model el proporciona el CENMA usant les estacions del territori andorrà, i l'estació de MeteoFrance de l'Hospitalet. En el cas del Model realitzat per Hidric, abans del 2016, es tenien en compte un total de 46 estacions andorranes, catalanes i franceses dels dos vessants del Pirineu. La comparació d'ambdós models (feta pel 2015) permet concloure que a nivell global els dos models presenten valors similars de P, T, ETR i excedents, però l'anàlisi detallat de cada paràmetre permet veure una distribució diferent en el país. Així, trobem diferències de valors, per exemple d'excedents, a nivell de conques específiques, sobretot les ubicades en els extrems del país: amb el model del CENMA les conques del nord presenten menys recursos o excedents, i les del sud n'aporten més. Es pot veure el resultat de la comparació entre els dos models en l'**annex 9 del document "Estudi per a l'elaboració anyal del balanç hídric del Principat d'Andorra. Any 2016"**.

- A l'hora de calcular la ETR es considera que tota la precipitació està disponible, no tenint-se en compte que part d'aquesta s'escapa per l'escolament superficial directe que directament alimenta a torrents i rius. En aquest sentit s'està sobrevalorant l'ETR.

- Limitacions associades al càlcul de l'ETP segons Thornthwaite que es basa exclusivament en la variable temperatura mitja mensual.

- S'està suposant que la conca és tancada, sense entrades o sortides de fora la conca, i que l'any hidrològic està tancat, o sigui que totes les precipitacions acaben descarregant o sortint de la conca al mateix any.

5 EL BALANÇ HÍDRIC EN LES UNITATS HIDROGEOLÒGIQUES

De les diferents unitats hidrogeològiques identificades en l'estudi de les *Aigües subterrànies del Principat d'Andorra* (Govern d'Andorra, 2007) es mostra una taula resum amb els resultats del balanç hídric dut a terme.

El mètode de càlcul per estimar la pluja útil de cada unitat ha estat mitjançant el càlcul de l'ETP segons Thornthwaite.

En el conjunt del territori estudiat (que tal i com s'ha comentat es treballa a nivell de conques hidrogeològiques que inclouen tota la conca hidrogràfica del Valira i conca hidrogràfica del riu de l'Ariege, i és de 522 Km²) la pluja útil ha estat el 2017 d'uns 320 Hm³/any, calculats mitjançant el balanç hídric amb el mètode de Thornthwaite, i d'aquests, 288 Hm³/any són disponibles, doncs es fixa la xifra del 10% de la pluja útil com a aigua destinada als ecosistemes aquàtics -cabals ecològics-.

Repartit entre el territori andorrà (467 Km²), la pluja útil estimada mitja del 2017 representa uns 283 Hm³/any. D'aquests, 255 Hm³/any serien disponibles, reservant-se el 10% com a cabals "ecològic".

Nom	Superfície (m2)	ETR (mm)	Excedents (mm)	P (mm)	T (°C)	Precipitació (Hm3/any)	ETR (Hm3/any)	Excedents (Hm3/any)	Cabal disponible (Hm3/any)	Comportament segons P	Comportament segons T
Arinsal	16.551.736	416	644	1061	5,2	18	7	11	10	Normal	Càlid
Ariège	45.628.658	391	861	1253	3,4	57	18	39	35	Normal	Molt Fred
Coll de la Gallina	17.321.678	429	367	795	8,5	14	7	6	6	Sec	Càlid
Conca d'Ers	15.149.624	485	447	933	7,6	14	7	7	6	Normal	Càlid
Conca de Setúria	6.664.367	462	515	977	6,2	7	3	3	3	Normal	Càlid
Cubeta Encamp	768.145	525	404	930	9,7	1	0	0	0	Normal	Normal
Cubeta d'Andorra	2.268.309	490	235	725	11,7	2	1	1	0	Normal	Càlid
Cubeta d'Incles	399.509	478	507	986	6,2	0	0	0	0	Normal	Normal
Dels Orris	12.728.986	432	648	1080	4,9	14	6	8	7	Normal	Normal
El Forn	2.632.292	489	533	1021	6,3	3	1	1	1	Normal	Normal
Encamp	9.831.249	493	563	1056	7,2	10	5	6	5	Normal	Normal
Enclar	16.449.982	447	377	825	9,2	14	7	6	6	Sec	Càlid
Engolasters-Pessons	23.004.376	415	673	1087	4,6	25	10	15	14	Normal	Normal
Estall Serrer	256.290	450	600	1050	5,7	0	0	0	0	Normal	Normal
Juclar	17.448.266	379	817	1197	3,2	21	7	14	13	Normal	Molt Fred
La Bartra	227.795	497	345	843	10,1	0	0	0	0	Normal	Normal
La Cortinada-Sornàs	240.504	522	356	879	9,6	0	0	0	0	Normal	Càlid
Llorts - Arans	434.936	526	378	904	9,1	0	0	0	0	Normal	Càlid
Madriu	40.121.361	404	687	1091	4,3	44	16	28	25	Normal	Normal
Montmalús	7.594.231	374	843	1218	3,0	9	3	6	6	Normal	Molt Fred
Ordino	16.960.119	491	517	1008	7,1	17	8	9	8	Normal	Normal
Padern	6.040.215	506	366	874	9,6	5	3	2	2	Normal	Càlid
Pardines	5.125.714	450	277	727	9,9	4	2	1	1	Sec	Càlid
Pla de l'Inglà	96.831	437	649	1086	5,2	0	0	0	0	Normal	Normal
Prat Primer	13.956.182	454	439	893	7,4	12	6	6	6	Normal	Normal
Pui Olivesa - Runer	400.976	451	179	630	12,0	0	0	0	0	Sec	Càlid
Riu Muntaner	6.750.483	461	440	900	7,2	6	3	3	3	Normal	Normal
Ràmio	231.213	475	461	936	7,7	0	0	0	0	Normal	Normal
Salines	18.401.587	429	652	1081	5,4	20	8	12	11	Normal	Normal
Sant Julià	33.250.793	441	433	875	7,6	29	15	14	13	Normal	Càlid
Sornàs-Pont d'Ordino	259.304	532	338	870	10,0	0	0	0	0	Normal	Càlid
Valira del Nord	45.880.845	401	716	1117	4,6	51	18	33	30	Normal	Normal
Os de Civís	22.777.602	438	475	913	6,8	21	10	11	10	Sec	Càlid
Coma Ransol	98.513	463	519	982	5,7	0	0	0	0	Normal	Normal
Valira d'Orient	77.701.777	404	695	1099	3,9	85	31	54	49	Normal	Normal
Montaup	16.994.093	445	647	1092	5,5	19	8	11	10	Normal	Normal
Cubeta Montaup	286.720	435	588	1023	4,6	0	0	0	0	Normal	Normal
Aldosa	7.713.967	494	489	984	7,8	8	4	4	3	Normal	Normal
Conca de Sispony	11.643.665	474	442	915	7,6	11	6	5	5	Normal	Càlid
Cubeta de la Massana	1.970.611	514	328	842	10,1	2	1	1	1	Normal	Càlid
Limits conques	522.263.506	427	612	1039	5,6	543	223	320	288	Normal	Normal
Limits administratius	467.451.287	428	606	1035	5,7	484	200	283	255	Normal	Normal

Taula 4. Resum balanç hídric de les unitats hidrogeològiques any 2017. Mitja del període 1981-2010

La distribució de les precipitacions, ETR i pluja útil en les diferents unitats hidrogeològiques es mostra en les següents figures. En relació a les precipitacions s'observa el següent:

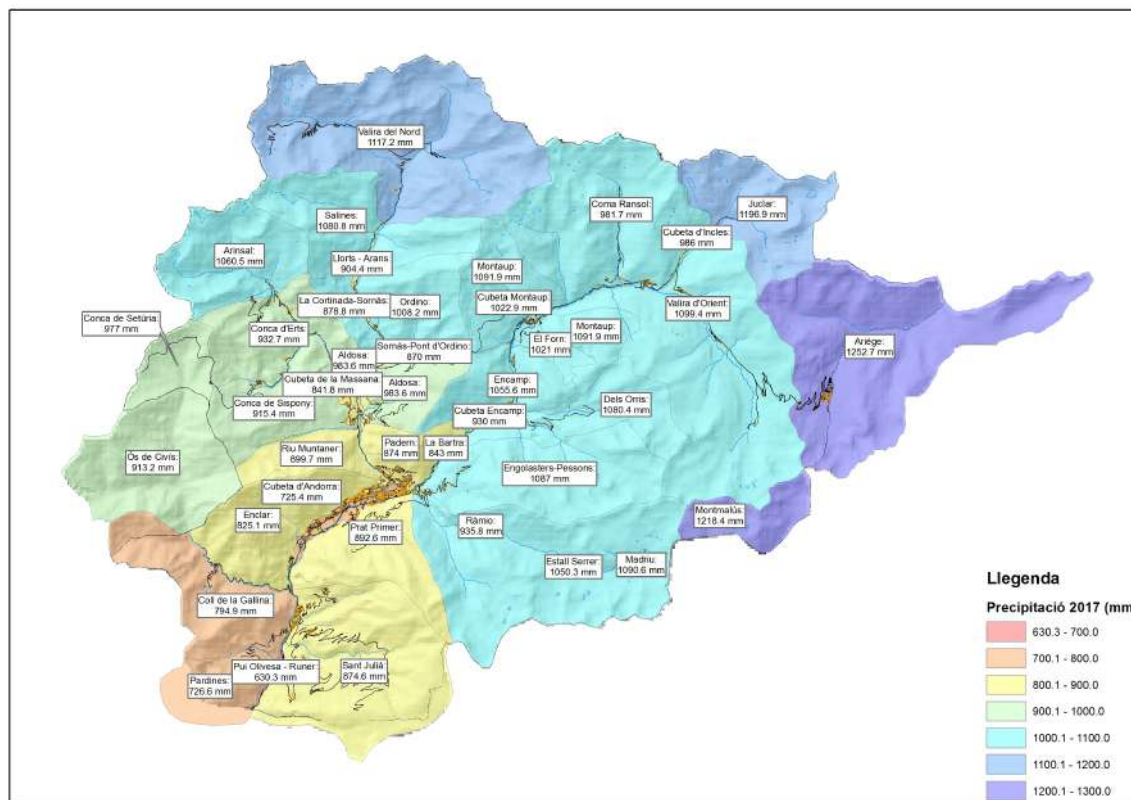


Figura 8. Mapa de distribució de les precipitacions en les diferents unitats hidrogeològiques descrites en l'estudi del M.I. Govern, 2007

Les unitats del nord i oest del Principat, com de l'Ariege, Montmalús, Juciar, Valira del nord i Valira d'Orient, Engolasters, i Madriu entre altres, presenten valors de precipitacions superiors a 1000 mm, mentre que a l'altre extrem tenim les unitats del Pui d'Olivesa, cubeta d'Andorra la vella, Pardines i Coll de la Gallina amb valors mínims, per sota els 800 mm.

En relació a l'ETR, es tenen valors alts, per sobre els 500 mm en les unitats del centre del país com Padern, cubeta de la Massana, La Cortinada, i cubeta d'Encamp entre altres, i els mínims es detecten en unitats com Montmalús, Juciar i Ariege amb valors inferiors als 400 mm.

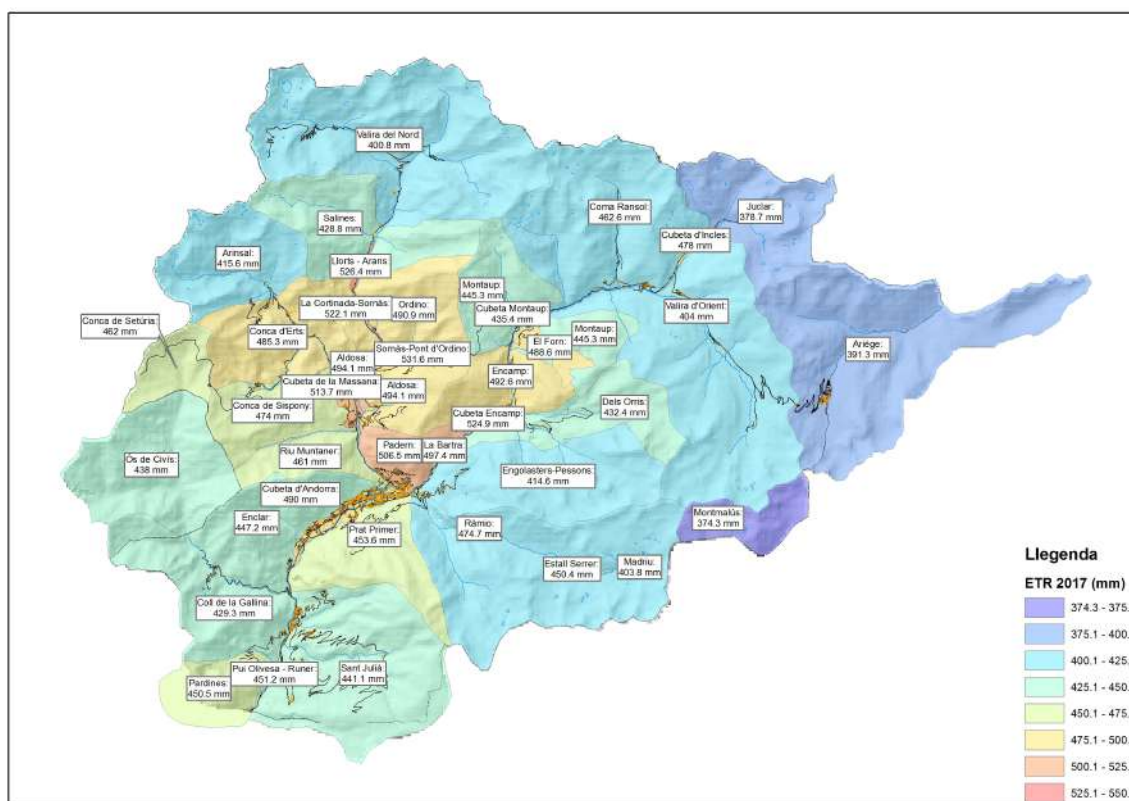


Figura 9. Mapa de distribució de l'ETR en les diferents unitats hidrogeològiques descrites en l'estudi del M.I. Govern, 2007

Les unitats hidrogeològiques amb majors excedents són les ubicades del nord i oest del país, com ara Juclar, Montmalús i Ariege, amb valors per sobre els 800mm. Les unitats amb excedents menors, per sota dels 300 mm, s'ubiquen al sud, amb les cubetes del Pui d'Olivesa, cubeta d'Andorra la vella i Pardines (**figura 10**).

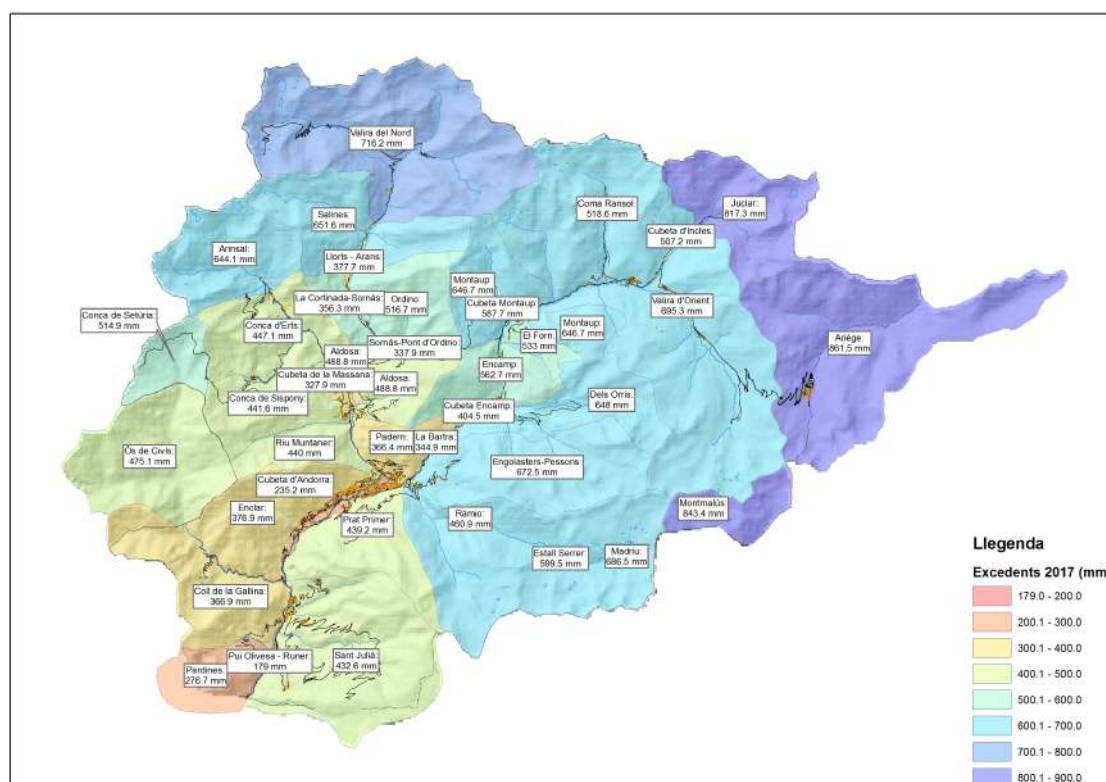


Figura 10. Mapa de distribució de la pluja útil en les diferents unitats hidrogeològiques descrites en l'estudi del M.I. Govern, 2007

La **figura 11** representa els excedents de cada conca com a percentatge de desviació respecte el valor mig de la mateixa per al període 1981-2010. Unitats com Ariege, la cubeta d'Encamp, Encamp i la Bartra han presentat uns excedents superiors a la mitja, i les unitats com Pui d'Olivesa, Pardines, Coll de la Gallina, Setúria i Ós de Civis han presentat valors inferiors.

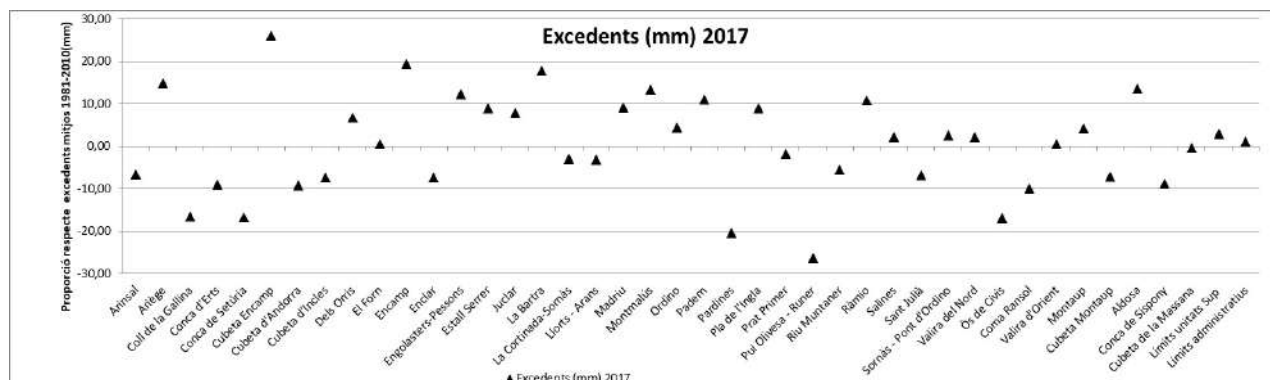


Figura 11. Gràfic de distribució dels excedents en les diferents unitats hidrogeològiques descrites en l'estudi del M.I. Govern, 2007

En la **taula 5** es mostra els excedents, passats a unitats de cabal, en Hm^3/any , que s'haurien de registrar en els torrents de les conques hidrogràfiques analitzades: Valira del Nord, Valira d'Orient, Gran Valira, Ariege, i la Llosa.

Excedents estimats (Hm^3/any)				
Valira d'Orient	Valira del Nord	Gran Valira*	Ariege*	La Llosa*
141,42	84,73	48,28	39,24	15,01

Taula 5. Estimació dels excedents per diferents conques hidrogràfiques. (*) es tracta de conques parcials –veure figura 12-

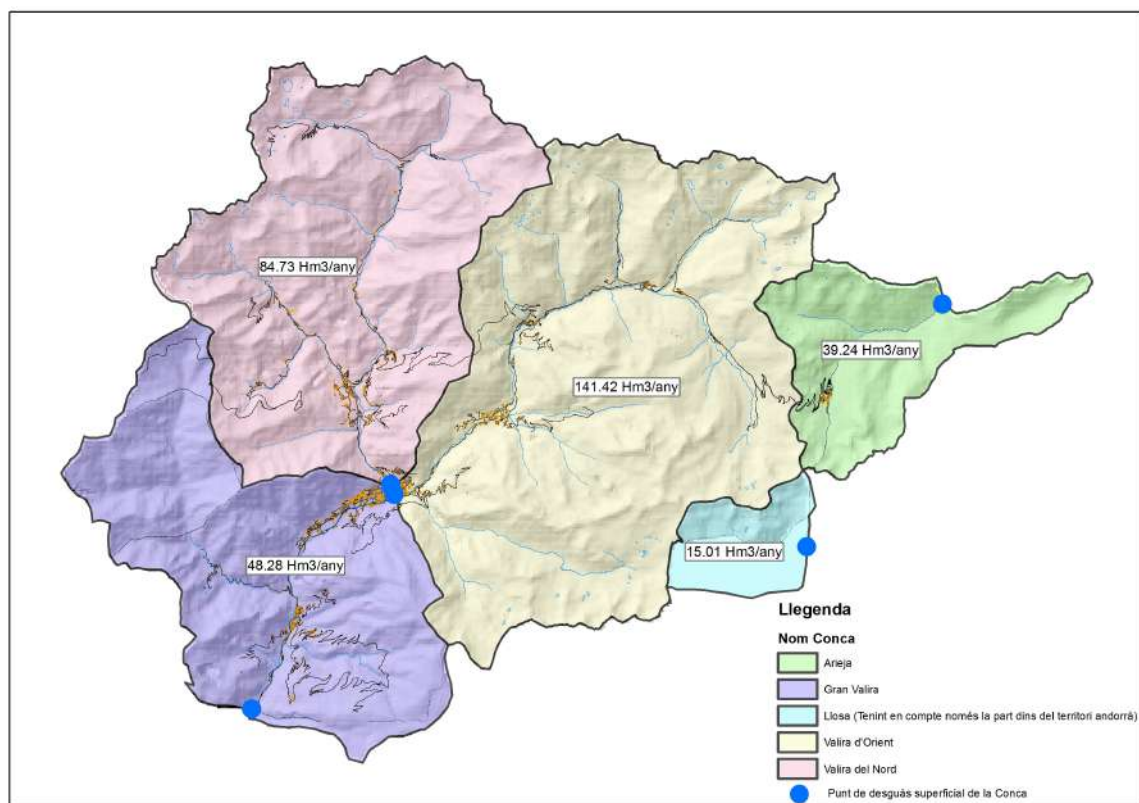


Figura 12. Mapa de distribució de la pluja útil en les grans conques hidrogràfiques.

6 CONCLUSIONS

Aquest 2017 el mòdul de precipitació mig del territori andorrà s'estima que és de 1035 mm quan la mitja de 30 anys és d'uns 1054 mm. El 2017 ha estat un **any normal** si es compara amb la mitjana de precipitacions de 30 anys pel període 1981-2010, segons dades base facilitades pel CENMA.

La temperatura mitja del 2017 s'estima que ha estat de 5,7 °C, quan la mitja de 30 anys és de 5,6 °C. Comparant la temperatura mitja anual amb la mitjana climàtica, es tracta d'un **any normal**.

El mètode de càlcul per estimar la pluja útil de cada unitat ha estat mitjançant el càlcul de l'ETP segons Thornthwaite.

En el conjunt del territori estudiat (que tal i com s'ha comentat es treballa a nivell de conques hidrogeològiques que inclouen tota la conca hidrogràfica del Valira i conca hidrogràfica del riu de l'Ariege, i és de 522 Km²) la pluja útil ha estat el 2017 d'uns 320 Hm³/any, calculats mitjançant el balanç hidric amb el mètode de Thornthwaite, i d'aquests, 288 Hm³/any són disponibles, doncs es fixa la xifra del 10% de la pluja útil com a aigua destinada als ecosistemes aquàtics -cabals ecològics-.

Repartit entre el territori andorrà (467 Km²), la pluja útil estimada mitja del 2017 representa uns 283 Hm³/any. D'aquests, 255 Hm³/any serien disponibles, reservant-se el 10% com a cabals "ecològic".

7 BIBLIOGRAFIA

- Govern d'Andorra, 2007. Estudi de les aigües subterrànies del Principat d'Andorra
- Govern d'Andorra, 2015. Estudi de per a l'elaboració anyal del balanç hídric del Principat d'Andorra. Període 1971-2000 i 2006-2012
- Govern d'Andorra, 2016. Estudi de per a l'elaboració anyal del balanç hídric del Principat d'Andorra. Any 2015
- Govern d'Andorra, 2017. Estudi de per a l'elaboració anyal del balanç hídric del Principat d'Andorra. Any 2016
- Custodio, E. i Llamas, M.R. 2001. Hidrología subterránea- segunda edición, ed Omega

Àurea Ponsa i Vidales
Llicenciada en Geologia, d'Hídric
NºDecret: 42142/2005

Pau Ferrer i Roura (col.laborador)
Llicenciat en Geologia, d'Eurogeotècnica

Sant Julià de Lòria, 10 de gener del 2019

8 ANNEX DE DOCUMENTACIÓ. CÀLCUL DEL BALANÇ HÍDRIC

8.1 CÀLCUL DE L'EVAPOTRANSPIRACIÓ

8.1.1 Generalitats

Existeixen diferents mètodes per a realitzar el càlcul de l'evapotranspiració, des de mètodes de camp, fins a mètodes empírics. Entre els mètodes més comuns per elaborar els mapes d'evapotranspiració potencial destaquen els següents:

- Radiació: aquest mètode precisa disposar de dades mensuals de temperatura mitja, humitat relativa mitja, nombre d'hores de sol i velocitat del vent diürn.
- Penman: aquest mètode requereix disposar de temperatures mitges mensuals, humitats relatives mitja i màxima, nombre d'hores de sol, velocitat del vent i estimació de la relació entre velocitats del vent diürnes i nocturnes.
- Blaney-Criddle: es basa en les dades de temperatura mitja, humitat relativa mínima, nombre d'hores de sol i velocitat diürna del sol.
- Turc: Permet estimar l'evapotranspiració potencial en base a la humitat disponible del sòl i del poder evaporant de l'atmosfera, intervenint en els càlculs la temperatura mitja, la humitat relativa de l'aire i la radiació solar. Així mateix, mitjançant una relació directa entre les precipitacions i les temperatures mitges anuals, permet estimar l'evapotranspiració real anual.
- Thornthwaite: tan sols requereix les dades de temperatura mitja mensuals, i permet calcular l'evapotranspiració potencial (ETP) mensual. El càlcul de la pluja útil parteix de la següent expressió $P = ETP + \text{Pluja útil} - \text{Dèficit hídric}$

Entre els mètodes més utilitzats, per la seva simplicitat per al càlcul de l'evapotranspiració hi ha el mètode de Thornthwaite. El mètode de Thornthwaite és un dels mètodes empírics més pràctics per a realitzar càlculs detallats de balanços anuals i mensuals d'aigua, i àmpliament usat, destacant l'aplicació que en fan des de la Conferència hidrogràfica del Ebro, amb bona part de la conca emplaçada al Pirineu. El mètode de Thornthwaite aporta valors acceptables en zones més o menys humides, en canvi no funciona bé per a les zones àrides o semiàrides (Custodio. E et al 2001).

La manca d'informació d'observacions meteorològiques de paràmetres com la humitat, la radiació, la velocitat del vent, etc. i el fet que es disposi d'una xarxa d'estacions termopluviomètriques amb registres diaris, ha conduït a estimar l'evaporació i el balanç hídric mitjançant l'aplicació del mètode empíric de Thornthwaite (1948).

8.1.2 Aplicació del mètode empíric de Thornthwaite

Per dur a terme els càlculs de balanç hídric s'ha iniciat l'any hidrològic al mes de gener, s'ha considerat la reserva d'aigua del sòl del desembre de l'any anterior, i s'ha tingut en compte les precipitacions totals, suma de pluja i neu registrada al mateix mes.

L'evapotranspiració potencial ETP s'estima per cada mes, utilitzant les dades de temperatura, segons les expressions següents (Thornthwaite, 1948, 1951, 1957):

$$Epa = 16 * \left(\frac{10T}{I} \right)^a \quad (2)$$

On

Epa és l'evapotranspiració potencial no corregida, calculada per un dia amb 12 hores de sol.

T és la temperatura mitjana mensual

I és un índex anual de calor i equival a la $\sum i$ pels 12 mesos de l'any.

i és l'índex de calor mensual (3)

$$i = \left(\frac{T}{5} \right)^{1,514} \quad (3)$$

a és un exponent que s'obté a partir de l'expressió (4)

$$a = 0,000000675 * I^3 - 0,0000771 * I^2 + 0,01792 * I + 0,49239 \quad (4)$$

La correcció de l'EPA a ETP es fa segons l'expressió següent:

$$ETP(mm/mes) = Epa \frac{N}{12} * \frac{NDM}{30} \quad (5)$$

on *N* és el nombre d'hores d'insolació (està tabulat en funció de la latitud, ajustant-se a latitud de 42°)

NDM és el nombre de dies considerat

Una de les correccions que s'ha hagut de dur a terme és el de suposar que a temperatures mitges mensuals inferiors o iguals a zero, l'EPA és nul·la.

Per a l'estimació de l'evapotranspiració s'ha tingut en compte les precipitacions totals, de la pluja i neu. El desconeixement sobre com la neu intervé en el balanç hídric és important (relació entre acumulació de neu i neu que arribi a fondre, a sublimar, la distribució del gruix de neu al Principat, efectes del vent sobre la coberta de neu, etc.) per això s'ha tractat la neu conjuntament amb la pluja, com a precipitacions totals, que és com les estacions meteorològiques proporcionen les dades, i sense aplicar cap correcció.

De cara a estimar l'ETR s'ha realitzat un balanç hídric per cada cel·la de 27.5 m*27.5 m, duent-se a terme les següents suposicions:

- Mentre les precipitacions i la reserva del sòl ho permetin, l'ETR serà igual a l'ETP. Quan això és possible, es parla d'excedents (o pluja útil) si l'ETR no esgota totes les precipitacions. Quan les precipitacions no són prou importants, s'usa aigua de la reserva del sòl fins a esgotar-la, si és necessari; quan la reserva està buida, l'ETR serà inferior a l'ETP i aleshores es parla de dèficit hídric.
- Per al càlcul de l'evapotranspiració real se suposa que aquesta és igual a la potencial sempre i quan hi hagi aigua disponible; ja sigui procedent de les precipitacions o bé de la reserva útil. La reserva màxima del sòl que correspon a la d'un sòl saturat és variable en funció de la pedologia i del pendent topogràfic. En termes mitjos s'obté un valor de **8.6mm** per al país (M.I.Govern d'Andorra, 2015).
- Cada any hidrològic s'inicia amb la reserva del darrer mes de l'any anterior. L'any 2017 s'inicia amb la reserva del desembre del 2016, que era de **5.8 mm** i finalitza el desembre del 2017 amb la reserva a **8.5 mm**.

El mapa de distribució de l'ETR anual (**Figura 13**) presenta valors màxims superiors als 560 mm i mínims inferiors als 200 mm. L'ETR es troba condicionada per la temperatura, i l'aigua disponible, ja sigui en forma de precipitacions o bé en forma de reserva en el sòl. Els valors mínims es detecten en les capçaleres, on la temperatura és menor a causa de l'alçada de la zona. Igualment, en aquests punts el sòl és de tipus litosòl, fet que comporta una baixa reserva d'aigua.

Per contra, les zones amb alta ETR acostumen a aparèixer en els fons de valls, on tant la temperatura com la reserva del sòl és més elevada, tot i tenir precipitacions significativament inferiors respecte a cotes altes.

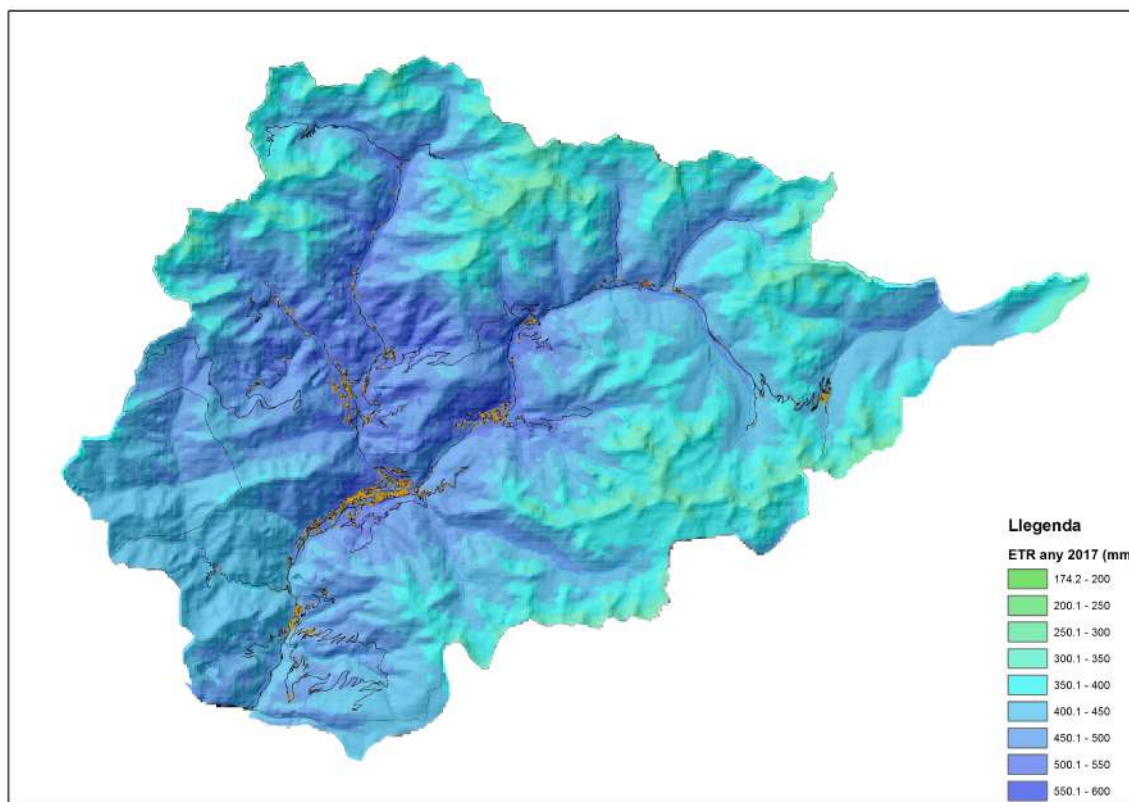


Figura 13. : Mapa de distribució de l'ETR_2017

8.2 CÀLCUL DE LA PLUJA ÚTIL

Tal i com s'ha comentat, es parla de pluja útil o excedents a la precipitació que escapa de l'evapotranspiració i de la reserva del sòl.

Quan es parla de pluja útil és refereix a aigua que surt com a escolament superficial directe i com a escolament subterrani. En un balanç anual es pot interpretar que els excedents acaben drenant cap als rius més tard o més d'hora.

Els mapes de distribució dels excedents anuals, estimant l'ETP segons Thornthwaite mostren les següents distribucions de resultats (**figura 14**).

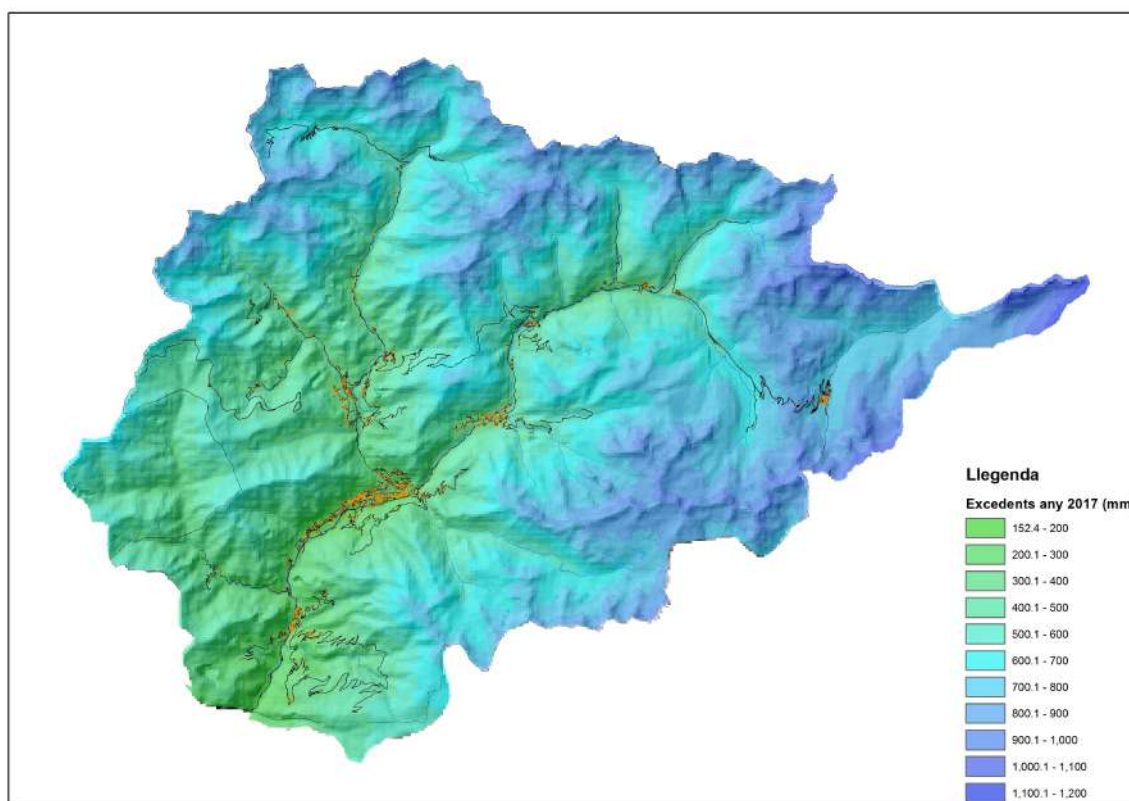


Figura 14. Mapa de distribució de la pluja útil o excedents estimats per l'any 2017

La pluja útil o excedents estimats presenten els valors màxims de 1085 mm a l'extrem nord i est del país, coincidint amb sectors emplaçats en cotes altes, amb una major precipitació, menor temperatura i baixa ETR, els valors més baixos, per sota els 200 mm s'emplacen en els fons de vall del sud del país.

8.3 ESTIMACIÓ DEL DÈFICIT HÍDRIC

Es parla de dèficit quan les precipitacions i la reserva del sòl no poden garantir que l'ETR sigui igual a l'ETP.

El mapa de dèficit anual calculat en base a l'ETR obtinguda amb el mètode de Thornthwaite (**figura 15**), permet veure que en termes mitjos el dèficit ha estat baix a la meitat nord i est del país, mentre que en el quadrant sud-oest es tenen valors de fins a 307mm de dèficit.

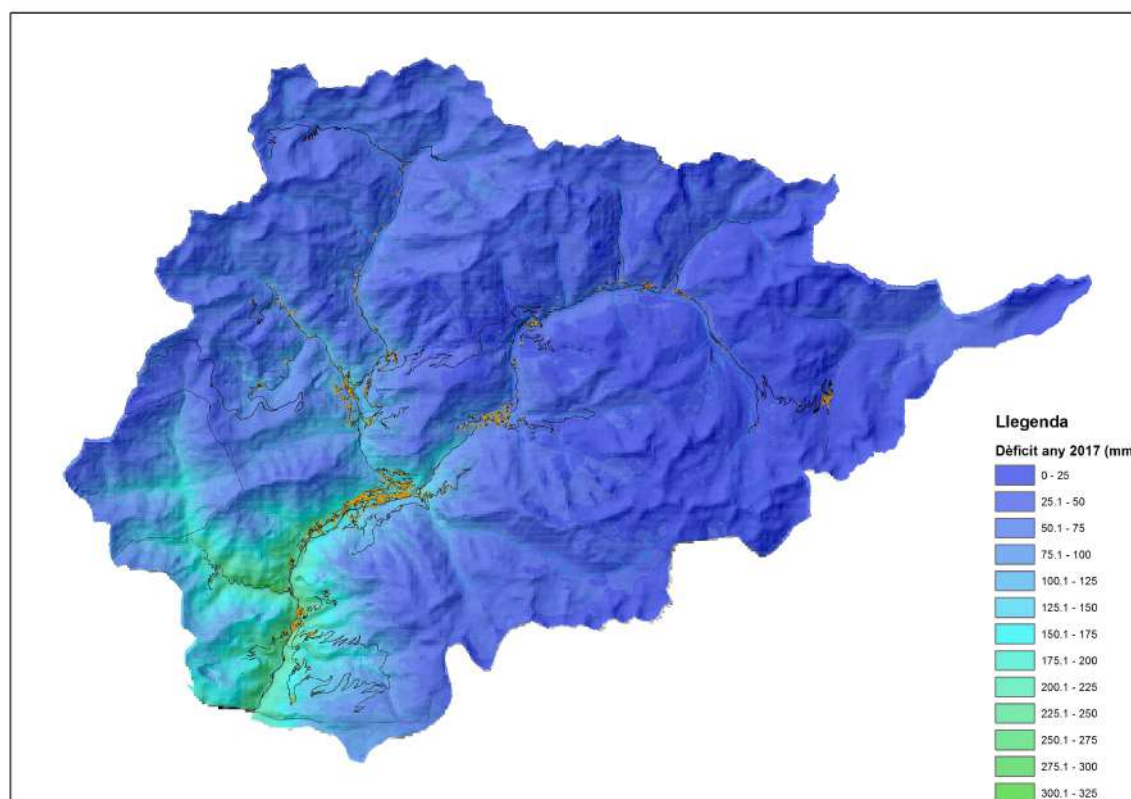
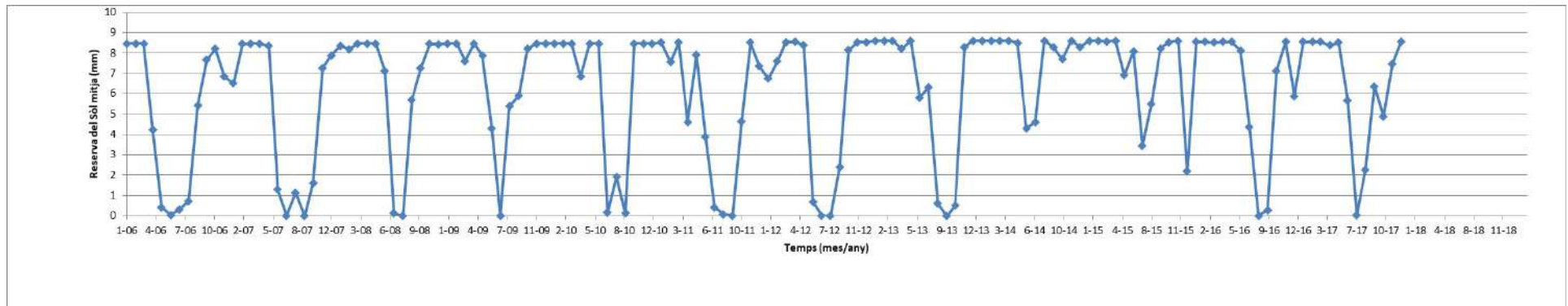


Figura 15. Mapa de distribució dels dèficits estimats per l'any 2017. R= variable, seguint el mètode de Thornthwaite El mètode de càlcul ha consistit en la diferència entre ETP i ETR quan no hi ha reserva disponible.

8.4 EVOLUCIÓ DE LA RESERVA D'AIGUA DEL SÒL

El cicle per a un any climatològicament normal vindria a ser el següent: de mitjans de primavera fins a inici d'estiu la reserva està plena, al màxim. A l'estiu es va buidant, fins a nivells mínims, podent esgotar-se del tot. A finals d'estiu-mitjans de tardor es torna a omplir. Aquest model es compleix en l'any 2009, 2010, 2012, 2013 i 2017, tal i com es veu representat en el següent gràfic. La metodologia de càlcul de la reserva mitja del sòl s'explica en *Govern d'Andorra, 2015*.

En els anys més secs, es trenca aquesta ciclicitat, durant l'estiu es buida fins a esgotar-se la reserva i a la tardor hi ha recuperació però no és completa, com succeeix al 2006, 2007, 2008, 2011, 2012, 2014, 2015 i 2016.



Any	Variació de la reserva (mm)
2006	-1,63
2007	1,37
2008	0,09
2009	0
2010	0
2011	-1,15
2012	1,78
2013	0
2014	-0,3
2015	-6,4
2016	3,7
2017	2,7

Figura 16. Evolució de la reserva mitja mensual d'aigua del sòl des del 2006 fins al desembre del 2017. Dades obtingudes del balanç hídric efectuat a nivell de límit administratiu (S=467.7Km²)

NOTA: Aquest valor de reserva es calcula en base al càlcul del balanç hídric (modelització). Cal saber que el ràster de precipitació (P) és d'una mida de cel.la de 90 x 90, en canvi el ràster del balanç (on hi intervé la ETR, els excedents, la reserva) està fet a 27 x 27.

8.5 COMPROVACIÓ RESULTATS

	ransol		central-feda	
valor	model	manual	model	manual
etr_00	447,31	527,04	478,77	547,99
etr_01	0,00	0,00	2,85	2,54
etr_02	5,52	7,91	14,41	14,55
etr_03	22,60	25,02	32,00	34,85
etr_04	33,66	35,92	42,10	48,82
etr_05	64,41	72,68	74,32	83,52
etr_06	83,70	110,17	67,40	96,20
etr_07	67,00	84,63	41,90	41,90
etr_08	74,00	74,20	79,10	79,60
etr_09	52,50	57,84	61,40	67,26
etr_10	39,50	49,97	41,80	56,44
etr_11	4,41	8,69	16,29	17,02
etr_12	0,00	0,00	5,20	5,30
excedents_00	382,59	303,36	318,63	254,91
excedents_01	74,60	74,60	69,05	70,96
excedents_02	59,78	57,19	66,39	66,75
excedents_03	74,00	71,68	74,60	72,15
excedents_04	21,84	19,58	0,00	0,00
excedents_05	14,49	6,22	27,68	12,36
excedents_06	0,00	0,00	0,00	0,00
excedents_07	0,00	0,00	0,00	0,00
excedents_08	0,00	0,00	0,00	0,00
excedents_09	28,20	0,00	19,90	0,00
excedents_10	0,00	0,00	0,00	0,00
excedents_11	34,09	0,00	2,51	0,00
excedents_12	75,60	74,10	58,50	32,69

Taula 6. Taula comparativa del balanç hídric resolt amb el model numèric i resolt manualment, usant les dades de precipitació i temperatura mensual, aplicant Thornthwaite. Any 2017



www.mediambient.ad