



Govern d'Andorra

ESTUDI PER A L'ELABORACIÓ ANYAL DEL BALANÇ HÍDRIC DEL PRINCIPAT D'ANDORRA - ANY 2018 -

(PERÍODE 2013-2018)



Novembre 2019

1	OBJECTIUS	3
2	DADES BASE DE PRECIPITACIÓ I TEMPERATURA	4
3	CÀLCUL DEL BALANÇ HÍDRIC	6
3.1	RESULTATS DEL BALANÇ HÍDRIC	7
4	CONTRAST DE RESULTATS	7
4.1	ANÀLISI DELS CABALS AFORATS	7
5	EL BALANÇ HÍDRIC EN LES UNITATS HIDROGEOLÒGIQUES	11
6	CONCLUSIONS	17
7	BIBLIOGRAFIA	18
8	ANNEX DE DOCUMENTACIÓ. Càlcul del balanç hídric	19
8.1	Càlcul de l'evapotranspiració	20
8.1.1	Generalitats	20
8.1.2	Aplicació del mètode empíric de Thornthwaite	20
8.2	Càlcul de la pluja útil	23
8.3	Estimació del dèficit hídric	24
8.4	Evolució de la reserva d'aigua del sòl	25
8.5	Comprovació resultats	27

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 2018, en base a un balanç hídic.

Per dur a terme el balanç hídic 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 2018.

El mapa de distribució de les precipitacions anuals permet veure que es tenen valors d'entre 1300 i 1500 mm a l'est del país, d'entre 1050 i 1300 mm al nord del país, i mínims entre 850 i 1000 mm als fons de vall i sobretot al sud del país.

A nivell de país, el valor mig és de 1160.4 mm (límit administratiu).

En la **figura 1** es mostra el model de distribució de les precipitacions de l'any 2018.

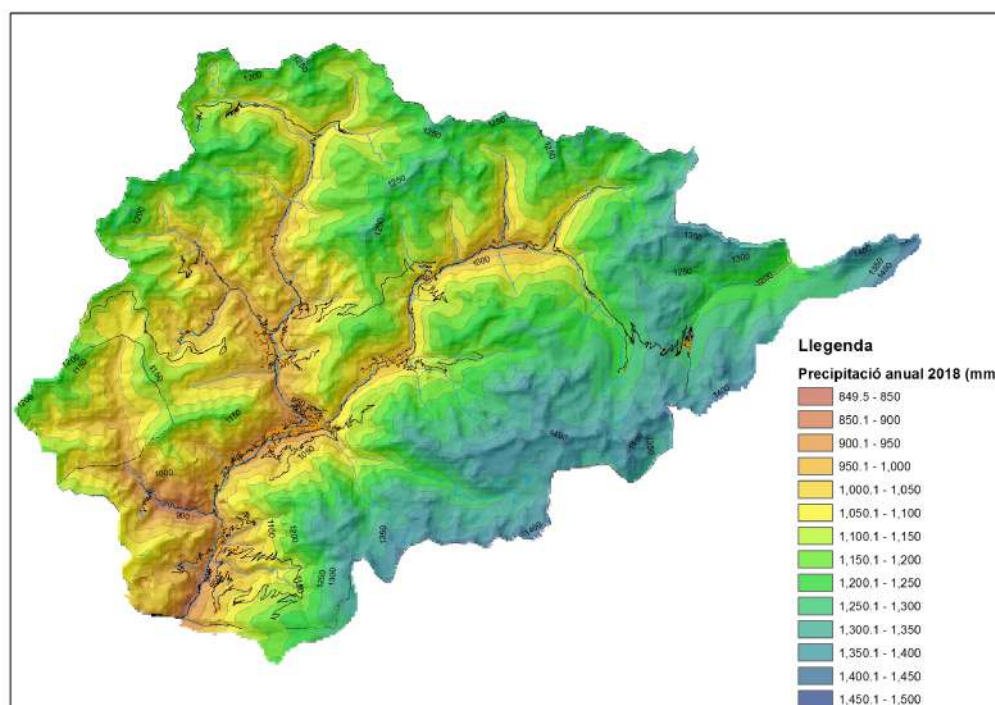
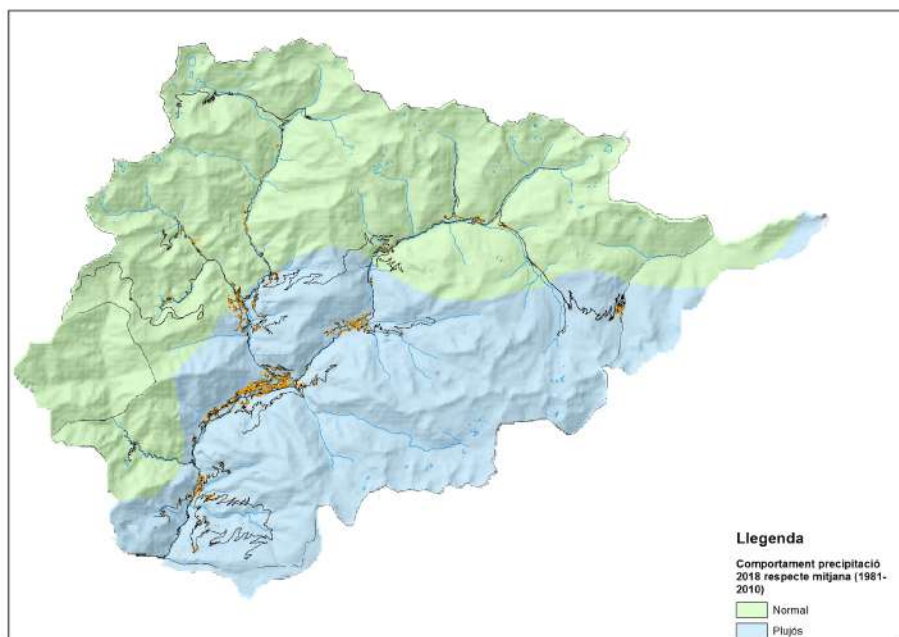


Figura 1. Mapa d'isohietes de les precipitacions acumulades el 2018. Dades base facilitades pel CENMA



Si es comparen les precipitacions acumulades el 2018 amb la mitjana climàtica de 30 anys –sèrie 1981-2010 (valorat amb 1054 mm, límit administratiu), s'observa que es tracta d'un any normal a la meitat occidental i nord del Principat, i plujós al quadrant sudoriental. En la **figura 2** es mostra el resultat de relacionar les precipitacions del 2018 amb la mitjana climàtica.

Figura 2. Mapa comparatiu de les quantitats acumulades registrades el 2018 i els corresponents valors mitjans.

En relació a la temperatura, l'any 2018 presenta una temperatura mitja anual a nivell de país de 5,06°C (límit administratiu), amb valors que oscil·len entre -1.1 i els +12°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 2018.

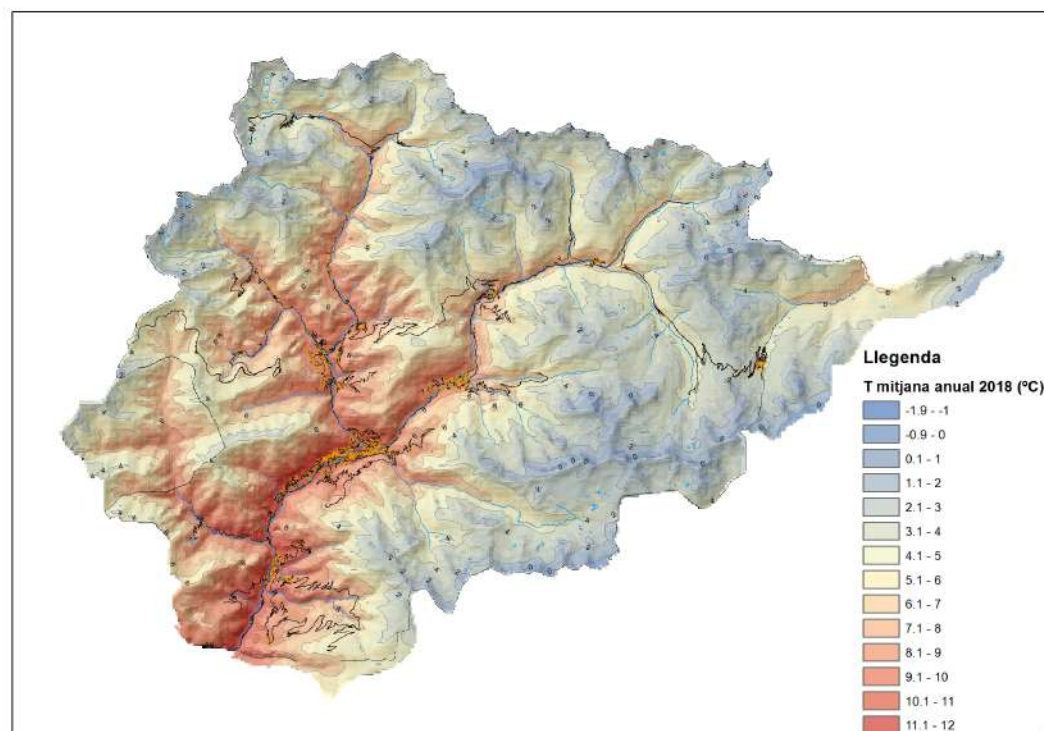


Figura 3. Mapa de distribució de les temperatures mitges del 2018. Dades base facilitades pel CENMA

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 2018 han estat normals a la meitat occidental i nord del Principal i més aviat fredes al sector més oriental.

En la **figura 4** es mostra la relació entre la temperatura estimada pel 2018 i la mitjana climàtica.

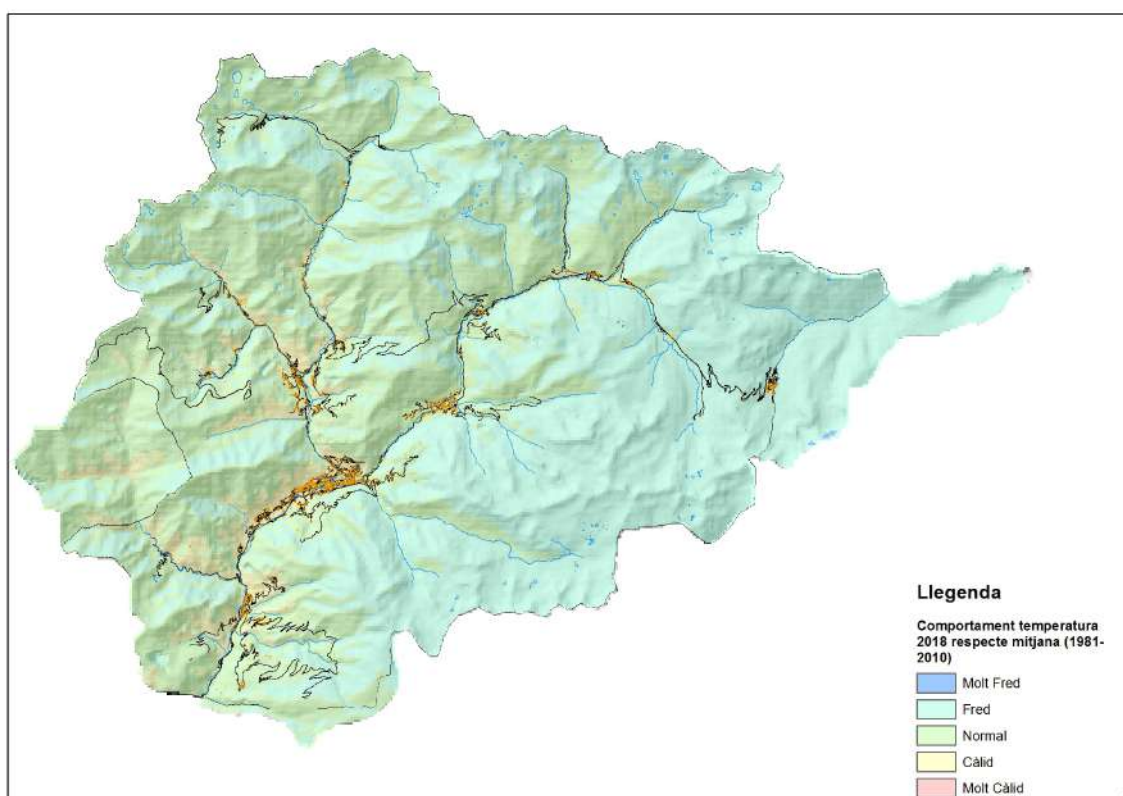


Figura 4. Mapa de les diferències de temperatura de l'any 2018 respecte la mitja.

3 CÀLCUL DEL BALANÇ HÍDRIC

De cara a estimar els recursos hídrics del 2018, 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

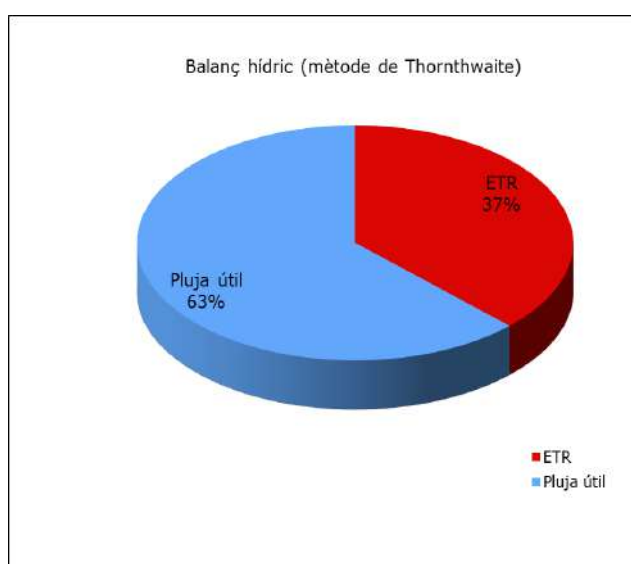
ΔR =Variació de la reserva d'aigua en el sòl

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^*
5.1	1160	435	726	-1.5

Taula 1. Resum balanç hídric en base al mètode de Thornthwaite. Superfície calculada=467,45 Km² (límit administratiu)(*) ΔR dada obtinguda directament del model. 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, si es calcula la R amb l'equació 1 usant les dades de la taula 1 tindrem un valor orientatiu de la reserva. El valor més exacte serà el que donarà el model numèric.



Les entrades al sistema són les precipitacions, amb un valor mig de 1160 mm/any. Les sortides al sistema es distribueixen en evapotranspiració, amb uns 435 mm i pluja útil amb 726 mm.

La reserva d'aigua en el sòl a finals del 2018 ha disminuït en 1.5 mm si es compara amb com estava a finals del 2017. En l'**Annex 8.4** es mostra l'evolució històrica de la reserva.

Segons el mètode de Thornthwaite, l'evapotranspiració (ETR) suposa el 37% mentre que la pluja útil representa el 63%. 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 2018 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.

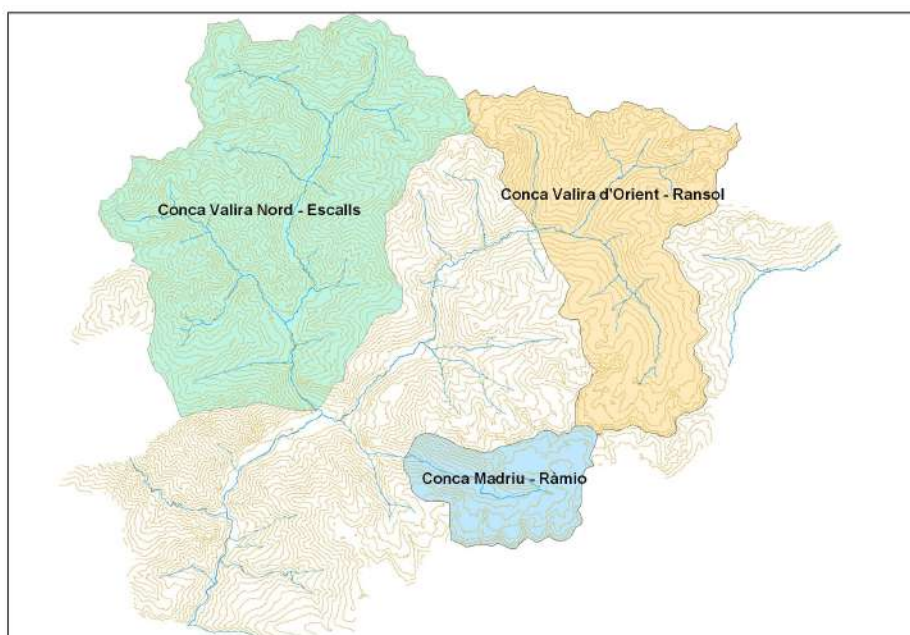


Figura 6.. Mapa de situació de les conques estudiades de Valira Nord – Escalls, Conca Valira Orient Ransol i Conca Ràmio – Madriu.

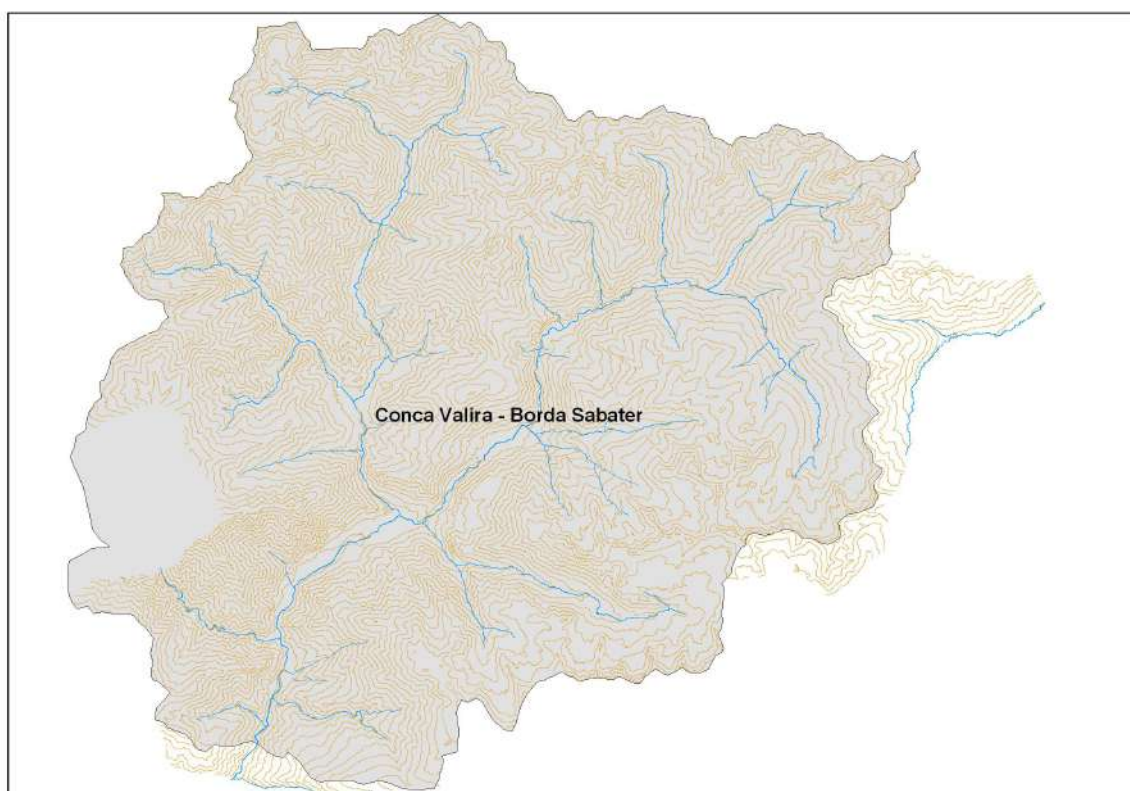


Figura 7. Mapa de situació de la conca Valira – Borda Sabater.

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 2018, segons dades facilitades pel ministeri responsable del medi ambient, és de $0.42 \text{ m}^3/\text{s}$. El cabal mig del riu Gran Valira (segons el mateix ministeri) durant el 2018 ha estat de $16.14 \text{ m}^3/\text{s}$. Aquest cabal, sumat amb el procedent de l'EDAR, suposa uns $16.56 \text{ m}^3/\text{s}$, o sigui $522 \text{ Hm}^3/\text{any}$, que repartit per la superfície de la conca hidrogràfica suposa $1172 \text{ L/m}^2 \cdot \text{any}$.

El cabal del riu Valira del Nord, segons dades facilitades per la *Confederación Hidrológica del Ebro* es calcula que és d'uns $5.02 \text{ m}^3/\text{s}$, o sigui $158 \text{ Hm}^3/\text{any}$. Aquest cabal, repartit per la superfície de la conca hidrogràfica suposa $1087 \text{ L/m}^2 \cdot \text{any}$.

El cabal del riu Valira d'Orient a Ransol, segons dades facilitades per FEDA es calcula que és d'uns $5.48 \text{ m}^3/\text{s}$, o sigui $173 \text{ Hm}^3/\text{any}$. Aquest cabal, repartit per la superfície de la conca hidrogràfica suposa $2112 \text{ L/m}^2 \cdot \text{any}$.

El cabal del riu Madriu, segons dades facilitades per FEDA es calcula que és d'uns $1.24 \text{ m}^3/\text{s}$, o sigui $39 \text{ Hm}^3/\text{any}$. Aquest cabal, repartit per la superfície de la conca hidrogràfica suposa $1495 \text{ L/m}^2 \cdot \text{any}$.

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 m ³ /s	16.56	5.02	5.48	1.24
	Cabals Hm ³ /any	522.24	158.31	172.90	38.95
	Cabal específic (Qe) L/m ² *any	1171.54	1086.70	2112.14	1495.20
Mètode de Thornthwaite	Pluja útil estimada L/m ² *any	715.95	659.45	824.69	956.09
	Variació respecte Cabal Qe (%)	39	39	61	36

Taula 3. Resum dels cabals registrats durant el 2018 en diferents conques hidrogràfiques i pluja útil estimada per cada conca.

Aquest any en totes les conques observades els valors d'excedents calculats mitjançant el model presenten valors inferiors (entre un 36 i un 61%) als observats al camp a través dels aforadors.

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 duguin 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.

- 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 2018 d'uns 382.3 Hm³/any, calculats mitjançant el balanç hídric amb el mètode de Thornthwaite, i d'aquests, 344.1 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 2018 representa uns 339.4 Hm³/any. D'aquests, 305.5 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)	Precipitació respecte mitjana (%)	Temperatura respecte mitjana (°C)	C
Arinsal	16.551.735,91	404,49	743,10	1146,46	4,33	18,98	6,70	12,30	11,07	102,17%	-0,12	N
Ariège	45.628.658,41	396,65	909,43	1293,27	3,46	59,01	18,10	41,50	37,35	108,65%	-1,28	N
Coll de la Gallina	17.321.678,00	496,08	523,66	1003,86	7,75	17,39	8,59	9,07	8,16	106,59%	0,14	N
Conca d'Ertis	15.149.624,07	497,13	552,81	1047,20	7,01	15,86	7,53	8,37	7,54	105,19%	0,10	N
Conca de Setúria	6.664.367,23	452,66	664,89	1112,39	5,21	7,41	3,02	4,43	3,99	103,10%	0,08	N
Cubeta Encamp	768.145,17	553,71	467,59	1021,28	9,38	0,78	0,43	0,36	0,32	118,28%	0,15	P
Cubeta d'Andorra	2.268.308,61	598,76	336,60	934,26	11,21	2,12	1,36	0,76	0,69	116,36%	0,06	P
Cubeta d'Incles	399.509,12	481,19	591,35	1073,22	6,13	0,43	0,19	0,24	0,21	102,96%	-0,22	N
Dels Orris	12.728.986,14	416,34	787,40	1202,72	4,34	15,31	5,30	10,02	9,02	113,47%	-0,82	P
El Forn	2.632.292,26	477,41	635,29	1112,12	5,82	2,93	1,26	1,67	1,51	108,58%	-0,37	N
Encamp	9.831.249,34	484,23	637,48	1120,25	6,79	11,01	4,76	6,27	5,64	114,95%	-0,28	P
Enclar	16.449.982,02	517,51	496,99	1011,91	8,49	16,65	8,51	8,18	7,36	109,69%	0,33	N
Engolasters-Pessons	23.004.376,30	396,22	851,13	1245,64	3,92	28,66	9,11	19,58	17,62	119,33%	-1,09	P
Estall Serrer	256.289,80	444,90	818,74	1263,13	5,03	0,32	0,11	0,21	0,19	123,14%	-0,57	P
Judcar	17.448.266,46	380,67	858,65	1240,05	2,94	21,64	6,64	14,98	13,48	105,13%	-1,11	N
La Bartra	227.795,13	548,97	482,51	1028,89	9,67	0,23	0,13	0,11	0,10	124,45%	-0,05	P
La Cortinada-Sornàs	240.503,74	565,06	406,83	972,45	9,28	0,23	0,14	0,10	0,09	106,46%	0,45	N
Llorts - Arans	434.935,60	563,37	422,72	986,41	8,79	0,43	0,25	0,18	0,17	105,06%	0,35	N
Madriu	40.121.360,95	386,13	918,34	1303,46	3,53	52,30	15,49	36,85	33,16	122,74%	-1,04	P
Montmalús	7.594.231,04	358,83	1008,26	1366,90	2,48	10,38	2,73	7,66	6,89	118,86%	-1,13	P
Ordino	16.960.118,50	494,29	589,24	1082,51	6,66	18,36	8,38	9,99	8,99	108,30%	-0,13	N
Padern	6.040.215,34	542,55	491,16	1030,91	9,10	6,23	3,28	2,97	2,67	118,53%	0,18	P
Pardines	5.125.714,31	523,54	459,75	980,61	9,27	5,03	2,68	2,36	2,12	111,94%	0,15	P
Pla de l'Inglà	96.831,14	424,48	865,25	1289,26	4,48	0,12	0,04	0,08	0,08	122,29%	-0,63	P
Prat Primer	13.956.181,56	476,18	644,95	1118,12	6,55	15,60	6,65	9,00	8,10	119,36%	-0,53	P
Pui Olivesa - Runer	400.975,76	564,75	325,94	890,63	11,51	0,36	0,23	0,13	0,12	112,38%	0,48	P
Riu Muntaner	6.750.482,65	471,58	586,64	1053,89	6,35	7,11	3,18	3,96	3,56	110,28%	-0,49	P
Ràmio	231.213,47	487,88	653,81	1142,04	7,11	0,26	0,11	0,15	0,14	123,58%	-0,21	P
Salines	18.401.587,26	434,57	708,06	1141,86	4,86	21,01	8,00	13,03	11,73	104,74%	-0,29	N
Sant Julià	33.250.793,13	473,22	661,77	1124,89	6,91	37,40	15,73	22,00	19,80	117,56%	-0,13	P
Sornàs-Pont d'Ordino	259.304,35	575,67	393,87	969,64	9,68	0,25	0,15	0,10	0,09	109,57%	0,52	N
Valira del Nord	45.880.845,18	409,09	744,67	1153,53	4,04	52,92	18,77	34,17	30,75	101,69%	-0,41	N
Òs de Civís	22.777.602,33	451,78	643,05	1115,27	5,37	25,40	10,29	14,65	13,18	107,16%	-0,36	N
Coma Ransol	98.512,69	461,96	600,08	1062,30	5,50	0,10	0,05	0,06	0,05	100,69%	-0,36	N
Valira d'Orient	77.701.776,81	397,16	802,12	1198,78	3,54	93,15	30,86	62,33	56,09	106,83%	-0,79	P
Montaup	16.994.092,97	437,21	722,99	1158,38	4,97	19,69	7,43	12,29	11,06	107,28%	-0,26	N
Cubeta Montaup	286.720,34	419,06	719,32	1136,89	4,09	0,33	0,12	0,21	0,19	105,31%	-0,72	N
Aldosa	7.713.967,17	496,47	578,09	1073,33	7,23	8,28	3,83	4,46	4,01	113,87%	-0,18	P
Conca de Sispony	11.643.664,71	486,93	576,56	1058,89	6,79	12,33	5,67	6,71	6,04	107,75%	0,03	N
Cubeta de la Massana	1.970.611,14	565,77	402,35	966,57	9,64	1,90	1,11	0,79	0,71	110,60%	0,48	P
Nous Límits. Estadística	522.263.506,11	434,10	732,05	1164,90	5,01	608,38	226,71	382,32	344,09	110,50%	-0,56	P
Límits administratius. Estadística	467.451.286,71	435,40	726,10	1160,40	5,06	542,43	203,53	339,42	305,47	109,56%	-0,49	N

Taula 4. Resum balanç hidric de les unitats hidrogeològiques_ any 2018. 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:

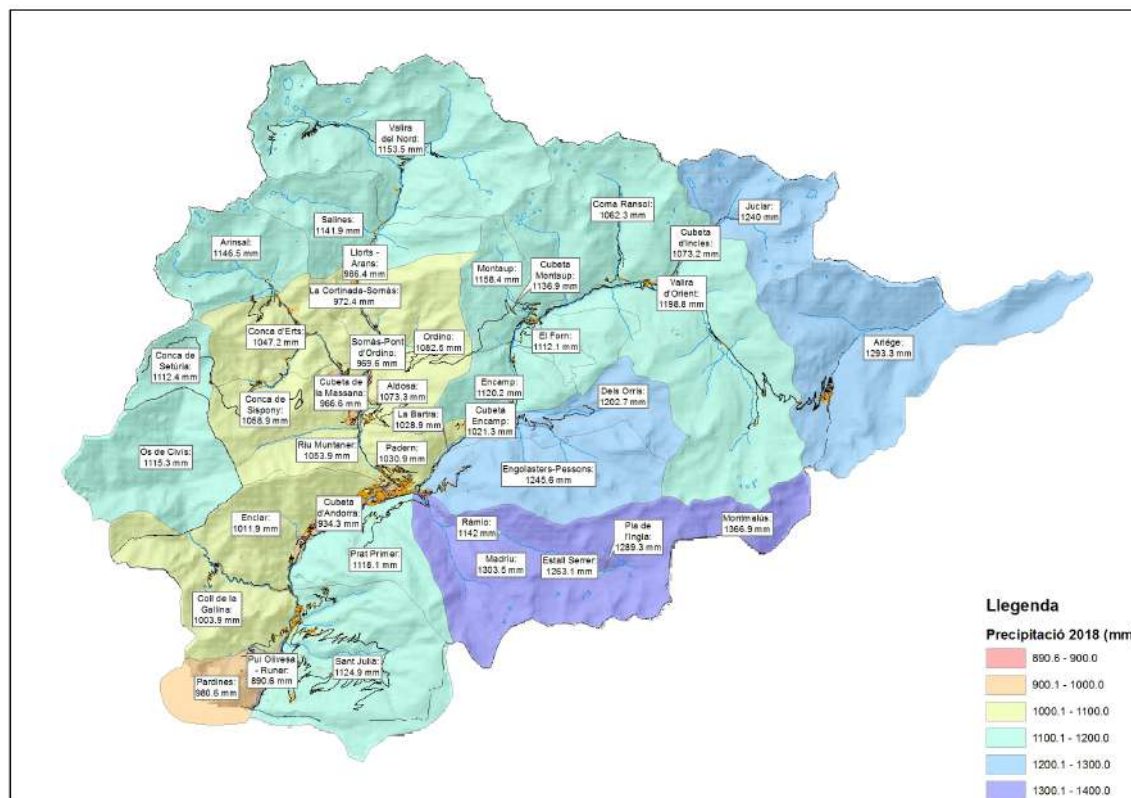


Figura 8. Mapa de distribució de les precipitacions en les diferents unitats hidrogeològiques descrites en l'estudi del M.I. Govern, 2007

D'entre les unitats més extenses, l'unitat del Madriu, Engolasters-Pessons, Ariège i Juclar són les que donen valors de precipitacions superiors, amb 1200-1400 mm. A l'altre extrem hi ha les unitats de les Pardines, Coll de la Gallina, Enclar, Muntaner, Padern, Sornàs-Pont d'Ordino, Ordino, Sispony, Erts, entre altres que presenten valors al voltant per sota els 1000 mm.

En relació a l'ETR, les unitats del nord i est del país són les que presenten valors inferiors a 200 mm, essent els valors més baixos. Totes les unitats emplaçades al centre, sud i oest del Principat és on s'observen els valors més alts, per sobre els 500 mm.

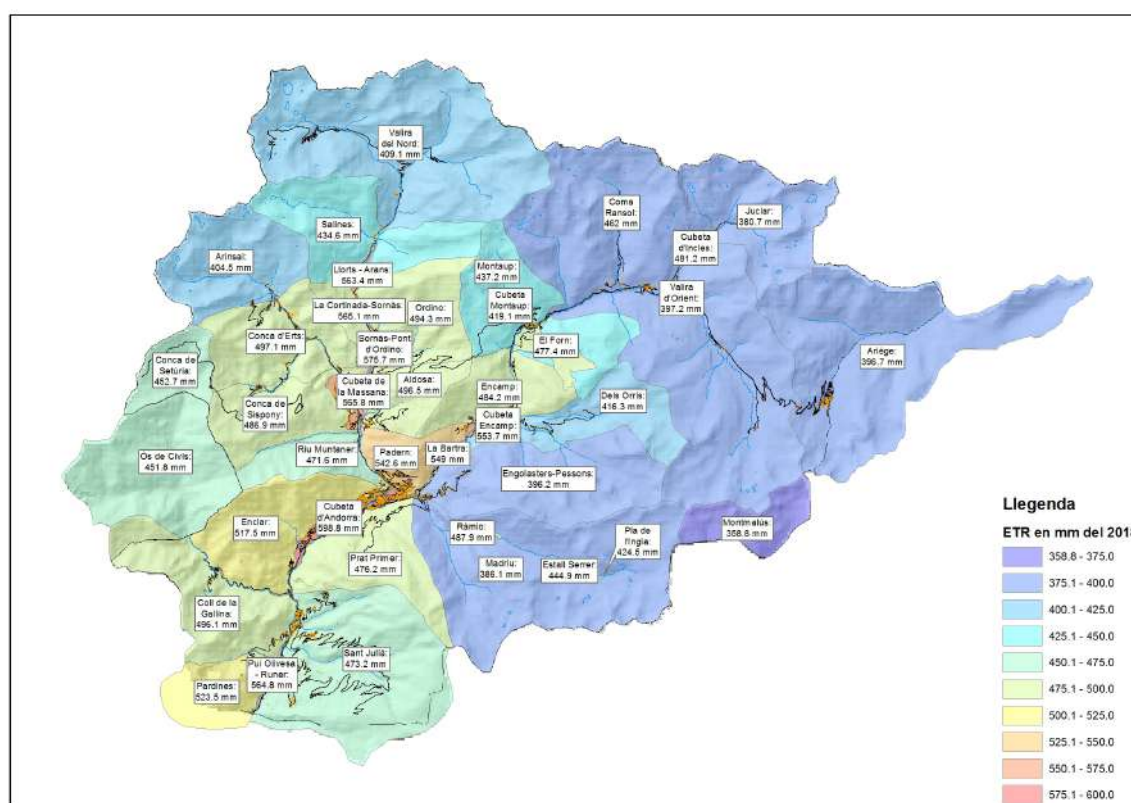


Figura 9. Mapa de distribució de l'ETR en les diferents unitats hidrogeològiques descrites en l'estudi del M.I. Govern, 2007

Les unitats hidrogeològiques amb majors excedents, superiors als 900 mm, coincideixen amb les que presenten major precipitacions i menor ETR, o sigui les ubicades a la meitat oest del Principat, entre les quals hi ha Valira d'Orient, Madriu, Engolasters-Pessons i Arriège, en detriment de les unitats com Pardines, Coll de la Gallina i Enclar, que presenten valors per sota els 600 mm, tal i com es veu en la següent figura.

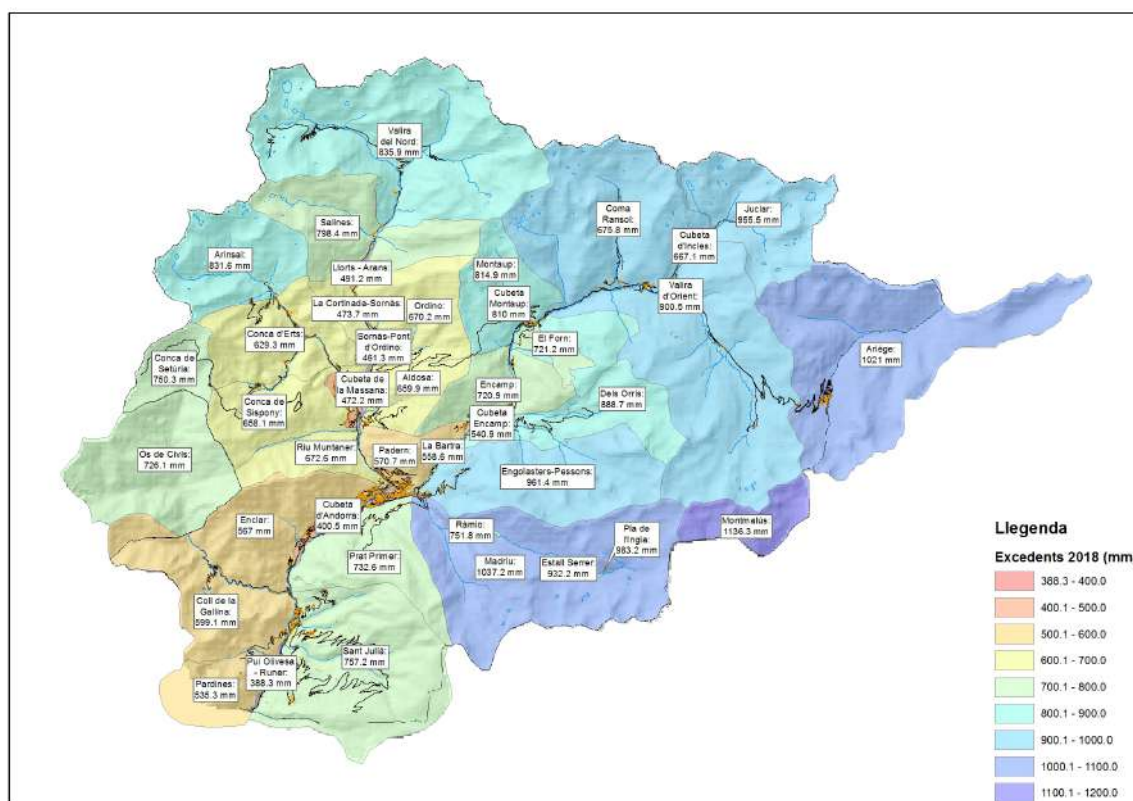


Figura 10. Mapa de distribució de la pluja útil en les diferents unitats hidrogeològiques descrites en l'estudi del M.I. Govern, 2007

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. Aquest any totes les unitats presenten valors superiors a la mitjana.

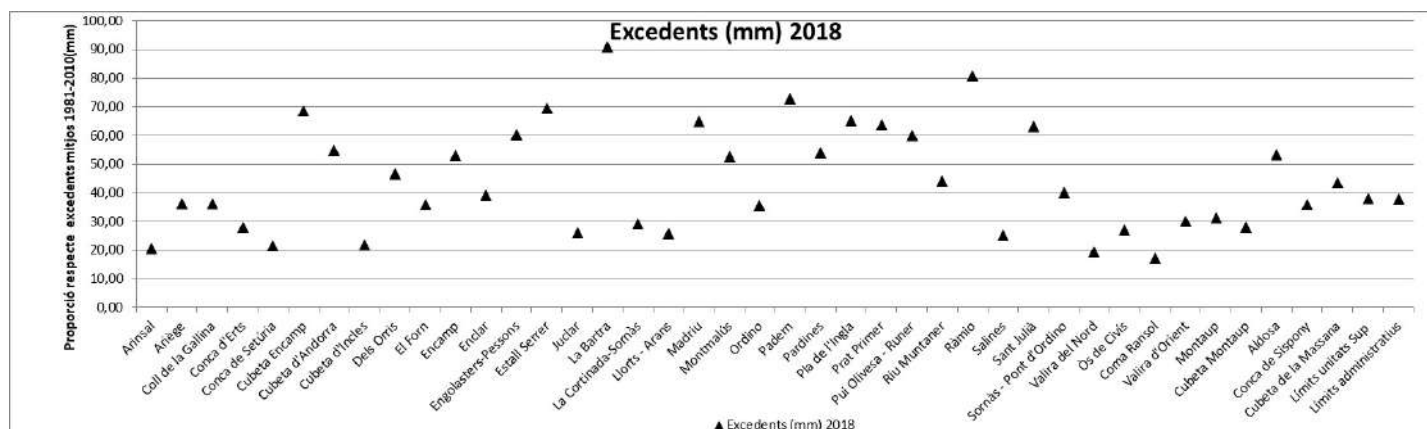


Figura 11. Gràfic de distribució dels excedents en les diferents unitats hidrogeològiques descrites en l'estudi del M.I. Govern, 2007

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*
167.8	96	69.6	41.4	18

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

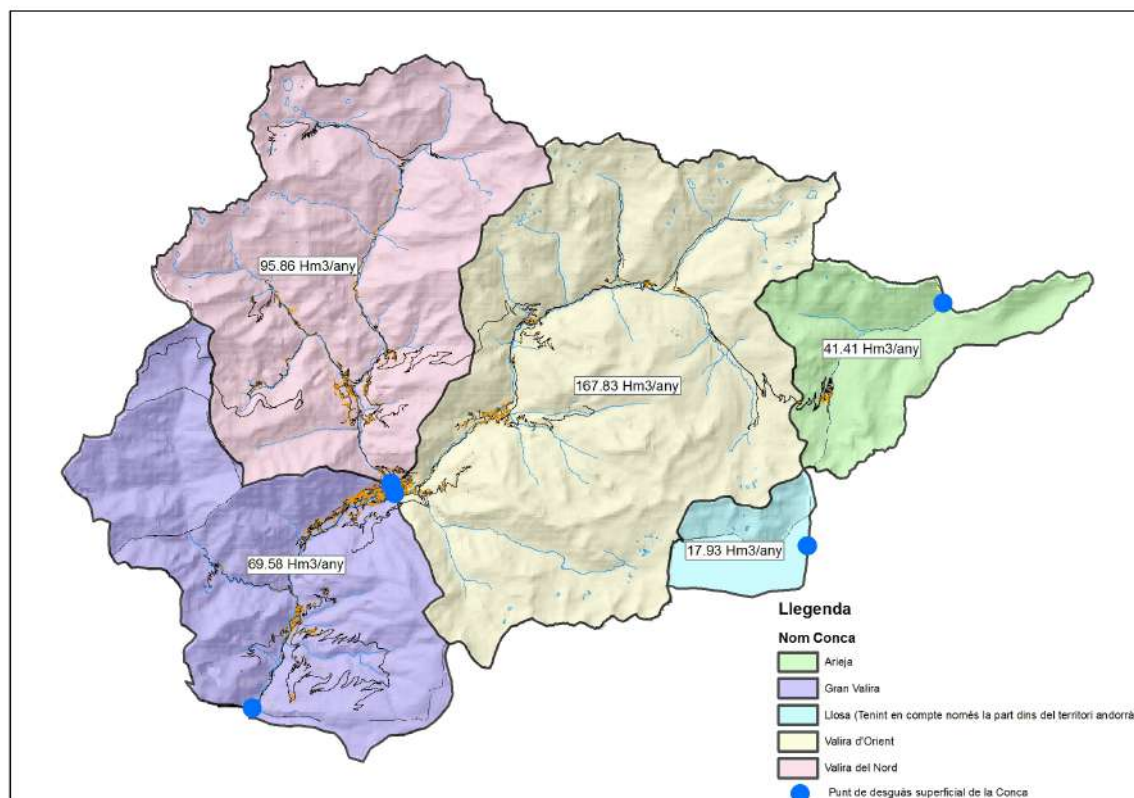


Figura 12. Mapa de distribució de la pluja útil en les grans conques hidrogràfiques.

6 CONCLUSIONS

Aquest 2018 el mòdul de precipitació mig del territori andorrà s'estima que és de 1160 mm quan la mitja de 30 anys és d'uns 1054 mm. El 2018 ha estat un **any normal/plujós** 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 2018 s'estima que ha estat de 5,1 °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/ fred**.

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 2018 d'uns 382.3 Hm³/any, calculats mitjançant el balanç hídric amb el mètode de Thornthwaite, i d'aquests, 344.1 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 2018 representa uns 339.4 Hm³/any. D'aquests, 305.5 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
- Govern d'Andorra, 2019. Estudi de per a l'elaboració anyal del balanç hídric del Principat d'Andorra. Any 2017
- 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, 18 de novembre 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 2017, que era de **8.5 mm** i finalitza el desembre del 2018 amb la reserva a **7.1 mm**.

El mapa de distribució de l'ETR anual (**Figura 13**) presenta valors màxims al voltant dels 640 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.

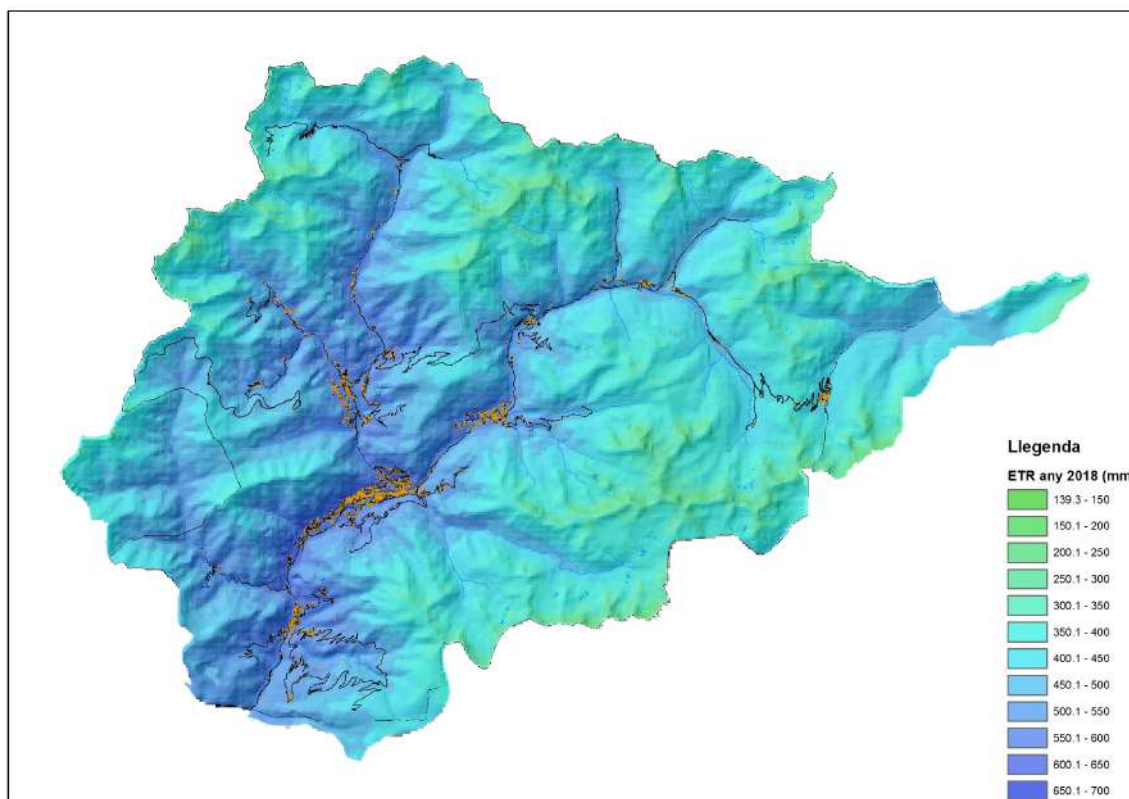


Figura 13. : Mapa de distribució de l'ETR_2018

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**).

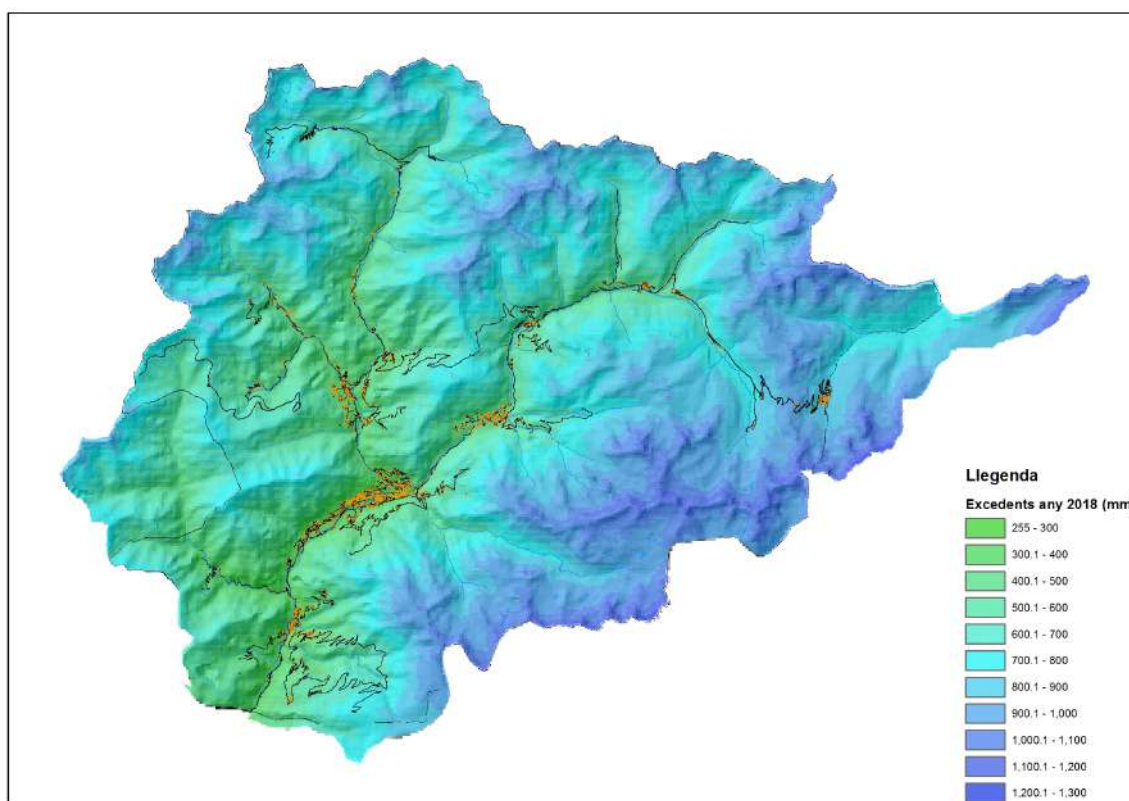


Figura 14. Mapa de distribució de la pluja útil o excedents estimats per l'any 2018

La pluja útil o excedents estimats presenten els valors màxims superiors als 1200 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 300 mm, s'emplacen cap al sud i en tots els fons de vall.

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 en tot el país, amb valors en quasi tot el país inferiors a 50 mm, i puntualment valors de de l'ordre de 150 mm a l'extrem sud i vall d'os de civís.

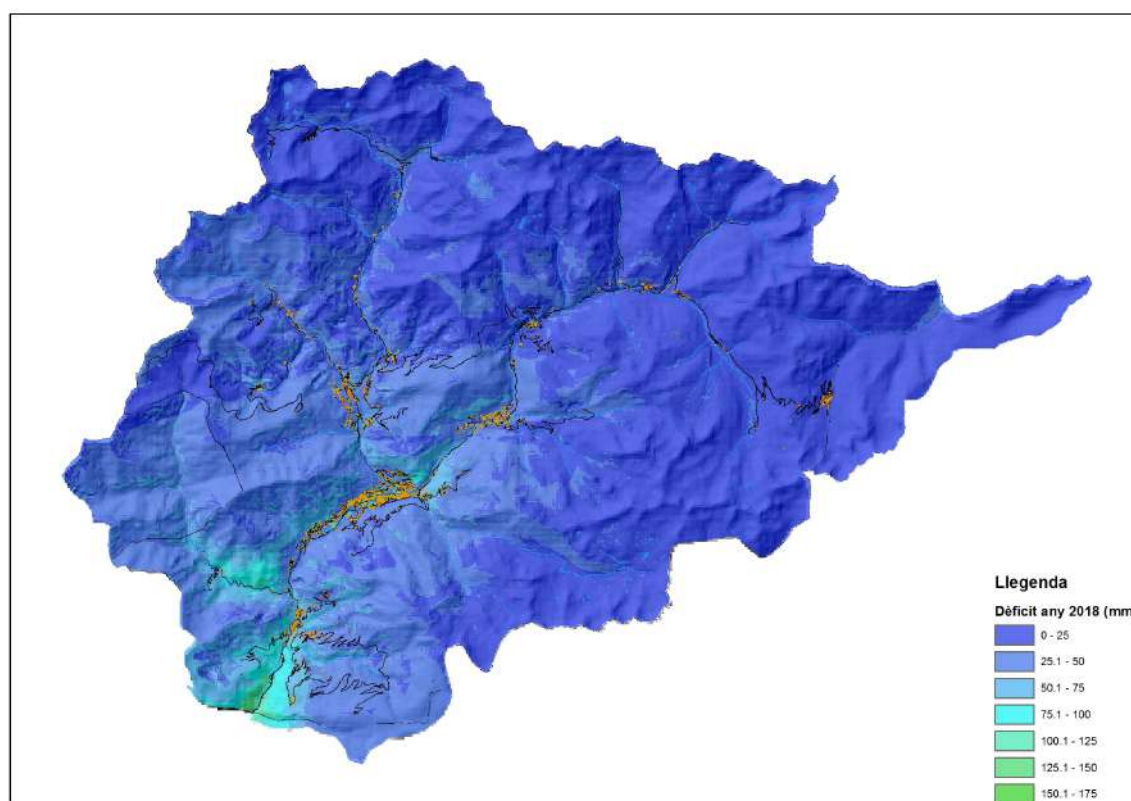
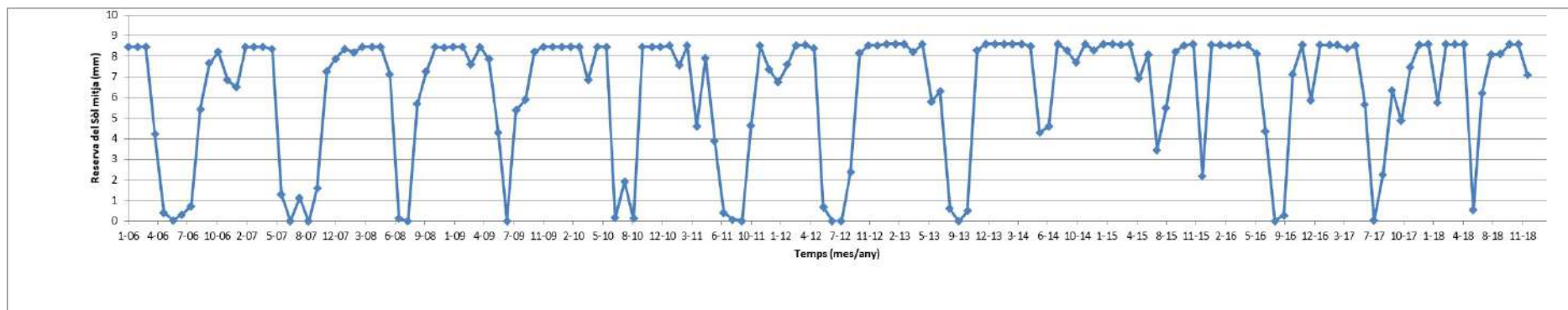


Figura 15. Mapa de distribució dels dèficits estimats per l'any 2018. R= variable, seguint el mètode de Thornthwaite. El mètode de càlcul ha consistit en la diferència entre ETP i ETR quan no hi ha reserva disponible.

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. Aquest 2018 tot i que la reserva a la tardor s'ha recuperat, s'observa que al desembre, degut a les baixes precipitacions i a temperatures superiors als zero graus, s'ha usat la reserva per satisfer la ETP, provocant un descens en aquesta.



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	-6,1
2016	3,7
2017	2,7
2018	-1,5

Figura 16. Evolució de la reserva mitja mensual d'aigua del sòl des del 2006 fins al desembre del 2018. 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	504,8	550,6	564,6	621,5
etr_01	0,0	0,0	9,2	9,3
etr_02	0,0	0,0	0,8	0,7
etr_03	3,1	3,1	16,2	16,8
etr_04	39,1	41,3	48,1	51,2
etr_05	52,2	57,3	64,2	71,5
etr_06	85,7	90,0	52,4	52,4
etr_07	103,9	117,2	113,2	130,6
etr_08	92,5	103,3	101,3	115,6
etr_09	72,5	78,6	80,0	88,3
etr_10	38,0	41,7	44,2	49,0
etr_11	7,4	7,4	19,5	20,0
etr_12	10,2	10,7	15,3	16,1
excedents_00	460,24	417,62	489,04	432,84
excedents_01	107,0	107,0	76,8	76,7
excedents_02	0,0	0,0	0,0	0,0
excedents_03	85,1	88,3	97,5	97,1
excedents_04	39,1	36,9	44,3	41,2
excedents_05	56,3	51,2	51,9	44,6
excedents_06	0,0	0,0	0,0	0,0
excedents_07	0,0	0,0	0,0	0,0
excedents_08	63,9	35,5	75,5	43,8
excedents_09	1,9	0,0	19,1	10,8
excedents_10	62,7	54,8	87,2	82,4
excedents_11	41,8	41,8	36,8	36,3
excedents_12	2,6	2,1	0,0	0,0
reserva_01	44,0	44,0	28,4	28,4
reserva_02	40,8	44,0	27,8	28,0
reserva_03	44,0	44,0	28,4	28,4
reserva_04	44,0	44,0	28,4	28,4
reserva_05	44,0	44,0	28,4	28,4
reserva_06	4,3	0,0	0,0	0,0
reserva_07	25,9	8,3	18,9	1,5
reserva_08	44,0	44,0	28,4	28,4
reserva_09	44,0	39,8	28,4	28,4
reserva_10	44,0	44,0	28,4	28,4
reserva_11	44,0	44,0	28,4	28,4
reserva_12	44,0	44,0	23,0	22,2

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 2018



www.mediambient.ad