



Govern d'Andorra

ESTUDI PER A L'ELABORACIÓ ANYAL DEL BALANÇ HÍDRIC DEL PRINCIPAT D'ANDORRA - ANY 2019 -



Desembre 2020

1	OBJECTIUS.....	3
2	DADES BASE DE PRECIPITACIÓ I TEMPERATURA	4
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.....	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 2019, 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 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 de les Neres, Sorteny, Perafita
- b) FEDA: Ransol, Central
- c) Govern: Roc de sant Pere, Borda Vidal, La comella, Les Salines
- d) MeteoFrance: Hospitalet 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 2019.

El mapa de distribució de les precipitacions anuals permet veure que es tenen valors màxims d'entre 1300 i 1500 mm al nord i est del país, i mínims entre 830 i 1200 mm als fons de vall i sobretot al sud del país.

A nivell de país, el valor mig és de 1180 mm (límit administratiu).

En la **figura 1** es mostra el model de distribució de les precipitacions de l'any 2019.

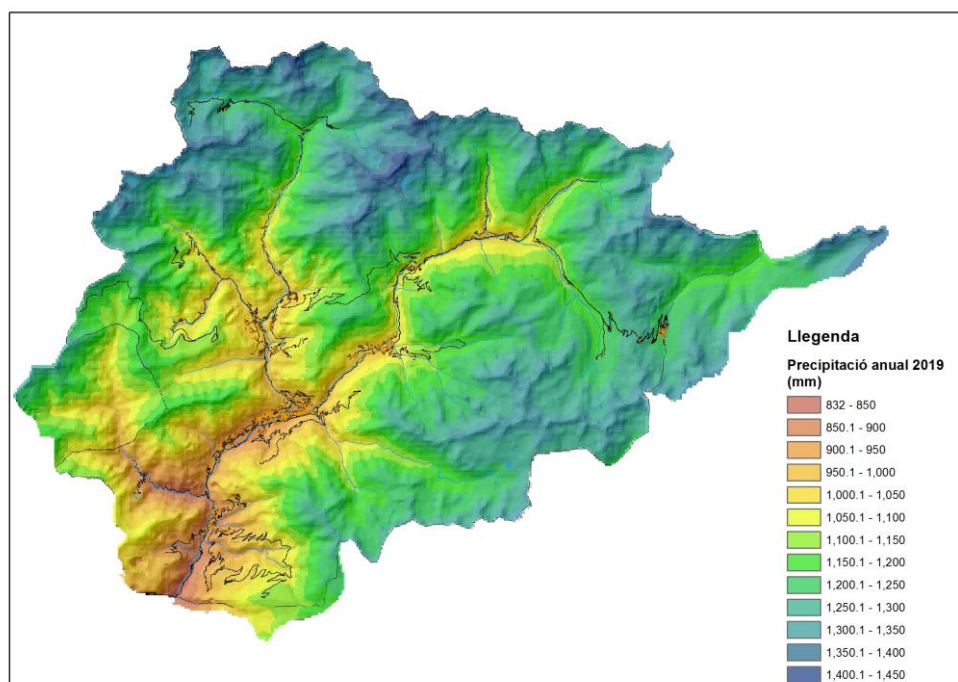
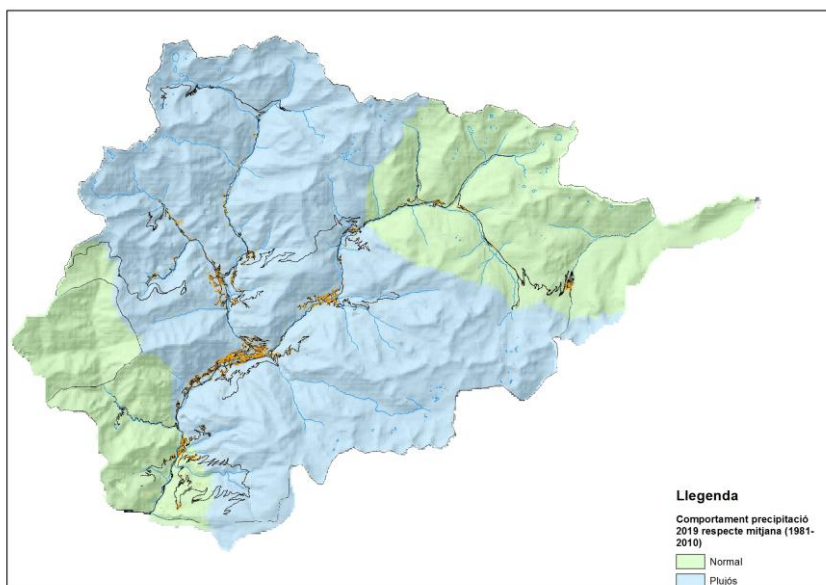


Figura 1. Mapa d'isohietes de les precipitacions acumulades el 2019. Dades base facilitades pel CENMA



Si es comparen les precipitacions acumulades el 2019 amb la mitjana climàtica de 30 anys –sèrie 1981-2010 (valorat amb 1054 mm, límit administratiu), s’observa que es tracta d’un any plujós. En la **figura 2** es mostra el resultat de relacionar les precipitacions del 2019 amb la mitjana climàtica.

Figura 2. Mapa comparatiu de les quantitats acumulades registrades el 2019 i els corresponents valors mitjans.

En relació a la temperatura, l’any 2019 presenta una temperatura mitja anual a nivell de país de 5,2°C (límit administratiu), amb valors que oscil·len entre -1,9 i els +13°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 2019.

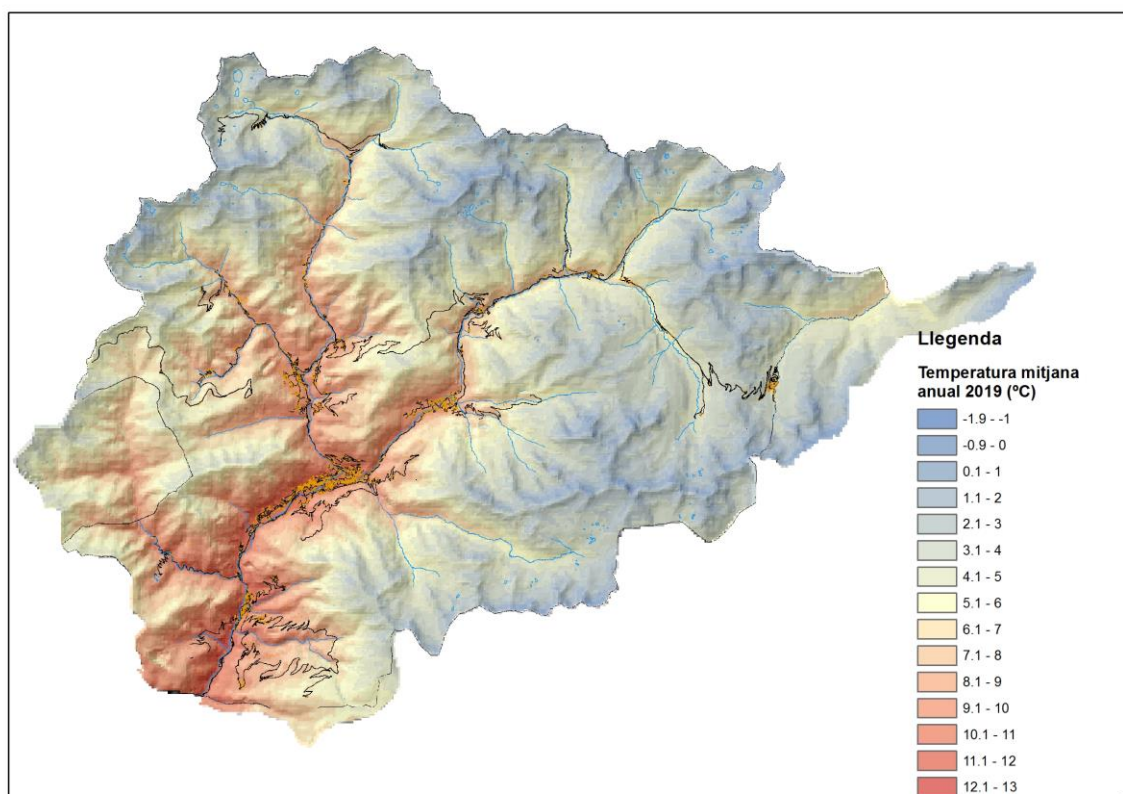


Figura 3. Mapa de distribució de les temperatures mitges del 2019. Dades base facilitades pel CENMA

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 2019 han estat normals, variant en conjunt poc respecte la mitjana.

En la **figura 4** es mostra la relació entre la temperatura estimada pel 2019 i la mitjana climàtica.

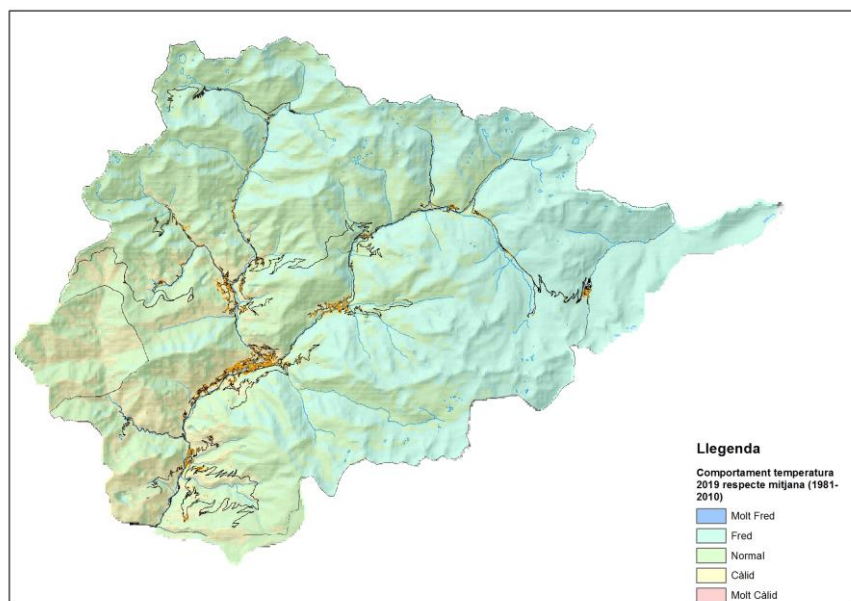


Figura 4. Mapa de les diferències de temperatura de l'any 2019 respecte la mitja.

3 CÀLCUL DEL BALANÇ HÍDRIC

De cara a estimar els recursos hídrics del 2019, 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^*
5,2	1180	396	783	+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, que és el valor que es dona a la taula.

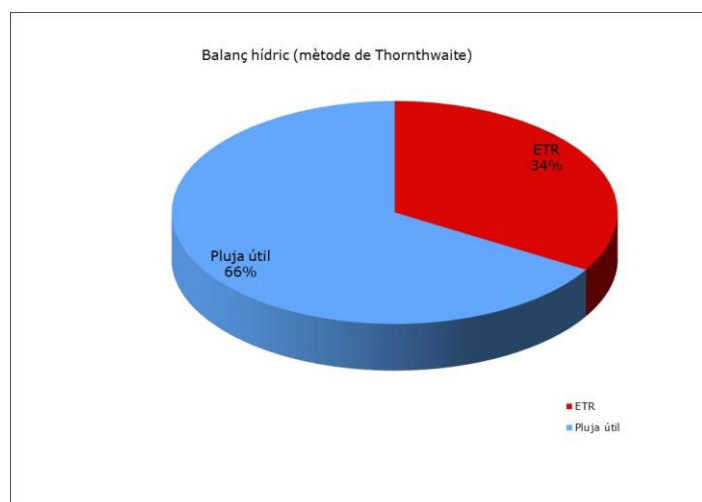


Figura 5. Balanç hídric segons Thornthwaite (Calculat tenint en compte que la reserva d'aigua al sòl és variable segons la zona)

Les entrades al sistema són les precipitacions, amb un valor mig de 1180 mm/any. Les sortides al sistema es distribueixen en evapotranspiració, amb uns 396 mm i pluja útil amb 783 mm.

La reserva d'aigua en el sòl a finals del 2019 té un balanç positiu, de +1,5. En l'**Annex 8.4** es mostra l'evolució històrica de la reserva.

Segons el mètode de Thornthwaite, l'evapotranspiració (ETR) suposa el 34% mentre que la pluja útil representa el 66%. En el següent gràfic es mostra la distribució de les sortides segons el mètode de càlcul utilitzat.

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 2019 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 (Km²)
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 Ràmiu – Madriu.

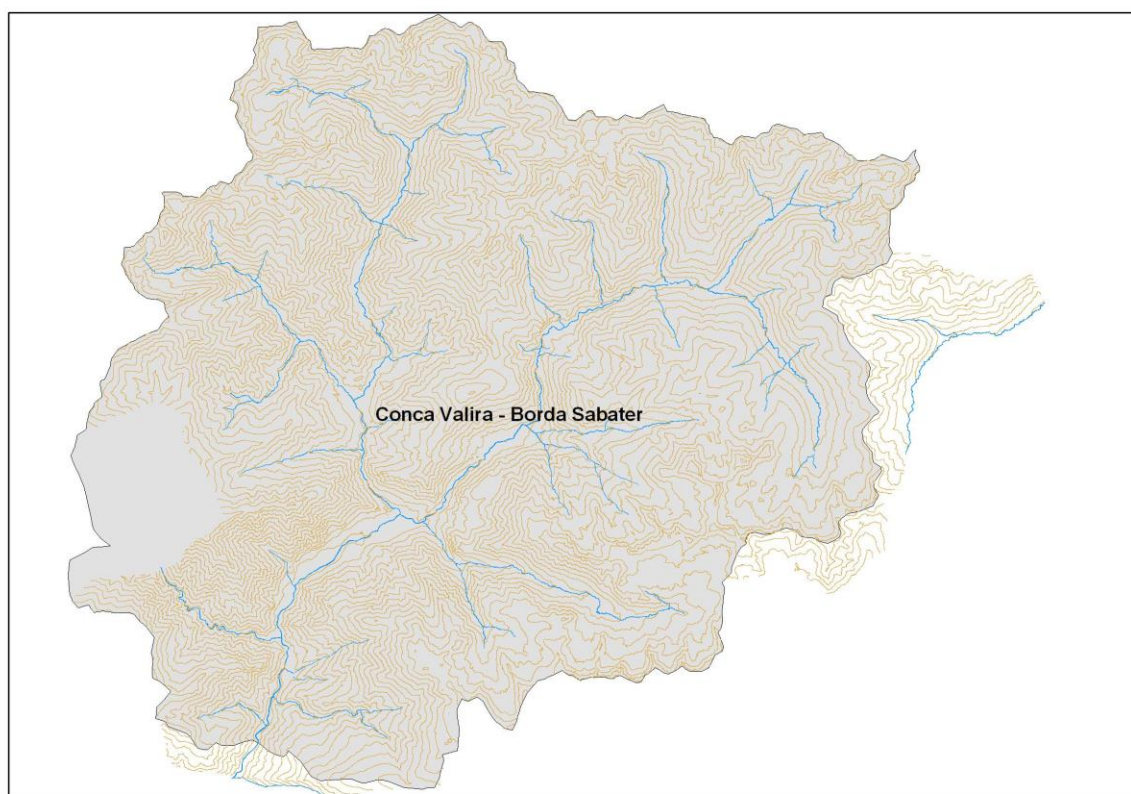
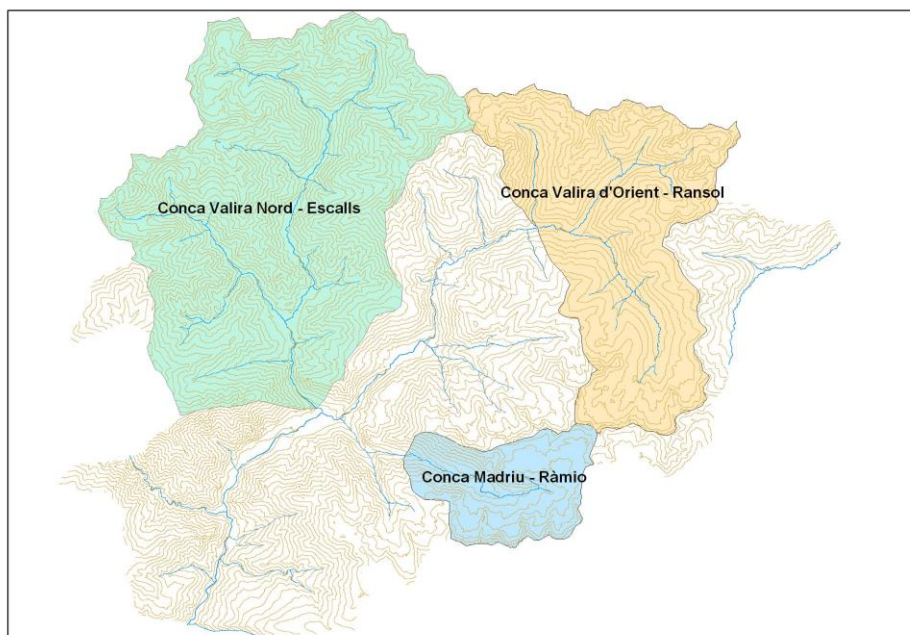


Figura 7. Mapa de situació de la conca Valira – Borda Sabater.

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 2019, segons dades facilitades pel ministeri responsable del medi ambient, és de 0,45 m³/s. El cabal mig del riu Gran Valira (segons el mateix ministeri) durant el 2019 ha estat de 9,8 m³/s. Aquest cabal, sumat amb el procedent de l'EDAR, suposa uns 10,25 m³/s, o sigui 323 Hm³/any, que repartit per la superfície de la conca hidrogràfica suposa 725 L/m²*any.

El cabal del riu Valira del Nord, segons dades facilitades per la *Confederación Hidrológica del Ebro* es calcula que és d'uns 2,64 m³/s, o sigui 83 Hm³/any. Aquest cabal, repartit per la superfície de la conca hidrogràfica suposa 571 L/m²*any.

El cabal del riu Valira d'Orient a Ransol, segons dades facilitades per FEDA es calcula que és d'uns 3,4 m³/s, o sigui 108 Hm³/any. Aquest cabal, repartit per la superfície de la conca hidrogràfica suposa 1321 L/m²*any.

El cabal del riu Madriu, segons dades facilitades per FEDA es calcula que és d'uns 0,8 m³/s, o sigui 26 Hm³/any. Aquest cabal, repartit per la superfície de la conca hidrogràfica suposa 985 L/m²*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	10,25	2,64	3,43	0,81
	Cabals Hm ³ /any	323,16	83,26	108,10	25,65
	Cabal específic (Qe) L/m ² *any	724,95	571,49	1320,55	984,64
Mètode de Thornthwaite	Pluja útil estimada L/m ² *any	777,34	779,56	856,13	892,66
	Variació respecte Cabal Qe (%)	-7	-36	35	9

Taula 3. Resum dels cabals registrats durant el 2019 en diferents conques hidrogràfiques i pluja útil estimada per cada conca.

Aquest any observem una bona relació en el sector del Madriu i Gran Valira, mentre que a la conca del Valira del Nord el cabal estimat és un 36% més petit i la conca del Valira d'Orient és un 35% més alt que els cabals 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 duuguin 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 2019 d'uns 410 Hm³/any, calculats mitjançant el balanç hídric amb el mètode de Thornthwaite, i d'aquests, 369 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 2019 representa uns 366 Hm³/any. D'aquests, 329 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)	Comportament segons P	Comportament segons T
Arinsal	16.551.735,91	399,33	852,09	1253,94	4,47	20,75	6,61	14,10	12,69	111,75%	0,02	Plujós	Normal
Ariège	45.628.658,41	371,88	898,28	1269,96	3,28	57,95	16,97	40,99	36,89	106,69%	-1,46	Normal	Fred
Coll de la Gallina	17.321.678,00	401,36	599,61	1003,90	8,02	17,39	6,95	10,39	9,35	106,59%	0,41	Normal	Normal
Conca d'Erts	15.149.624,07	451,40	661,85	1116,13	7,10	16,91	6,84	10,03	9,02	112,12%	0,19	Plujós	Normal
Conca de Setúria	6.664.367,23	427,70	751,68	1184,26	5,51	7,89	2,85	5,01	4,51	109,76%	0,39	Normal	Normal
Cubeta Encamp	768.145,17	428,51	599,51	1028,20	9,45	0,79	0,33	0,46	0,41	119,09%	0,22	Plujós	Normal
Cubeta d'Andorra	2.268.308,61	436,98	473,83	911,50	11,34	2,07	0,99	1,07	0,97	113,52%	0,89	Plujós	Càlid
Cubeta d'Incles	399.509,12	446,26	663,50	1110,19	5,98	0,44	0,18	0,27	0,24	106,51%	-0,36	Normal	Normal
Dels Orris	12.728.986,14	380,99	815,42	1197,21	4,51	15,24	4,85	10,38	9,34	112,95%	-0,65	Plujós	Fred
El Forn	2.632.292,26	426,25	721,48	1148,03	5,89	3,02	1,12	1,90	1,71	112,09%	-0,30	Plujós	Normal
Encamp	9.831.249,34	408,73	731,28	1142,25	6,85	11,23	4,02	7,19	6,47	117,21%	-0,22	Plujós	Normal
Enclar	16.449.982,02	416,80	586,51	1008,02	8,76	16,58	6,86	9,65	8,68	109,27%	0,60	Normal	Càlid
Engolasters-Pessons	23.004.376,30	364,75	842,37	1208,34	4,22	27,80	8,39	19,38	17,44	115,76%	-0,79	Plujós	Fred
Estall Serrer	256.289,80	387,18	777,91	1166,00	5,37	0,30	0,10	0,20	0,18	113,67%	-0,23	Plujós	Normal
Juclar	17.448.266,46	371,29	893,69	1265,54	2,80	22,08	6,48	15,59	14,03	107,29%	-1,25	Normal	Fred
La Bartra	227.795,13	429,47	566,75	998,79	9,77	0,23	0,10	0,13	0,12	120,81%	0,06	Plujós	Normal
La Cortinada-Sornàs	240.503,74	482,20	561,71	1044,44	9,24	0,25	0,12	0,14	0,12	114,34%	0,41	Plujós	Normal
Llorts - Arans	434.935,60	506,31	572,41	1079,19	8,69	0,47	0,22	0,25	0,22	114,95%	0,24	Plujós	Normal
Madriu	40.121.360,95	352,39	860,80	1214,49	3,94	48,73	14,14	34,54	31,08	114,36%	-0,63	Plujós	Fred
Montmaíús	7.594.231,04	332,42	957,90	1291,80	2,77	9,81	2,52	7,27	6,55	112,33%	-0,85	Plujós	Fred
Ordino	16.960.118,50	450,05	701,44	1153,80	6,67	19,57	7,63	11,90	10,71	115,43%	-0,12	Plujós	Normal
Padern	6.040.215,34	443,67	590,00	1038,72	9,24	6,27	2,68	3,56	3,21	119,42%	0,31	Plujós	Normal
Pardines	5.125.714,31	406,95	533,13	940,99	9,73	4,82	2,09	2,73	2,46	107,42%	0,61	Normal	Càlid
Pla de l'Inglà	96.831,14	373,39	820,85	1195,67	4,89	0,12	0,04	0,08	0,07	113,41%	-0,22	Plujós	Normal
Prat Primer	13.956.181,56	390,34	671,82	1064,36	6,93	14,85	5,45	9,38	8,44	113,62%	-0,15	Plujós	Normal
Pui Olivesa - Runer	400.975,76	435,34	408,08	843,88	11,90	0,34	0,17	0,16	0,15	106,48%	0,87	Normal	Càlid
Riu Muntaner	6.750.482,65	410,18	669,58	1081,02	6,65	7,30	2,77	4,52	4,07	113,12%	-0,19	Plujós	Normal
Ràmio	231.213,47	408,99	671,29	1080,54	7,36	0,25	0,09	0,16	0,14	116,93%	0,03	Plujós	Normal
Salines	18.401.587,26	426,99	830,38	1258,63	4,84	23,16	7,86	15,28	13,75	115,45%	-0,32	Plujós	Normal
Sant Julià	33.250.793,13	381,35	676,92	1062,16	7,29	35,32	12,68	22,51	20,26	111,01%	0,25	Plujós	Normal
Sornàs-Pont d'Ordino	259.304,35	474,44	545,04	1020,01	9,73	0,26	0,12	0,14	0,13	115,27%	0,56	Plujós	Càlid
Valira del Nord	45.880.845,18	409,44	889,47	1299,27	3,95	59,61	18,79	40,81	36,73	114,53%	-0,50	Plujós	Normal
Òs de Civís	22.777.602,33	402,36	719,51	1127,84	6,15	25,69	9,16	16,39	14,75	108,37%	0,42	Normal	Normal
Coma Ransol	98.512,69	443,92	687,65	1131,96	5,35	0,11	0,04	0,07	0,06	107,29%	-0,51	Normal	Fred
Valira d'Orient	77.701.776,81	381,60	842,16	1224,51	3,57	95,15	29,65	65,44	58,89	109,13%	-0,76	Normal	Fred
Montaup	16.994.092,97	418,49	813,37	1233,76	5,00	20,97	7,11	13,82	12,44	114,26%	-0,23	Plujós	Normal
Cubeta Montaup	286.720,34	392,29	785,62	1178,83	4,18	0,34	0,11	0,23	0,20	109,19%	-0,63	Normal	Fred
Aldosa	7.713.967,17	422,27	683,80	1108,65	7,38	8,55	3,26	5,27	4,75	117,62%	-0,03	Plujós	Normal
Conca de Sispony	11.643.664,71	430,39	666,27	1099,84	7,04	12,81	5,01	7,76	6,98	111,91%	0,27	Plujós	Normal
Cubeta de la Massana	1.970.611,14	460,08	544,00	1005,51	9,75	1,98	0,91	1,07	0,96	115,06%	0,60	Plujós	Càlid
Límits administratius	467.000.000,00	396,11	782,60	1180,39	5,21	551,24	184,98	365,47	328,93	111,97%	-0,36	Plujós	Normal
Nous Límits	522.263.506,11	394,77	784,54	1181,18	5,18	616,89	206,18	409,74	368,76	111,52%	-0,38	Plujós	Normal

Taula 4. Resum balanç hídric de les unitats hidrogeològiques any 2019. 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:

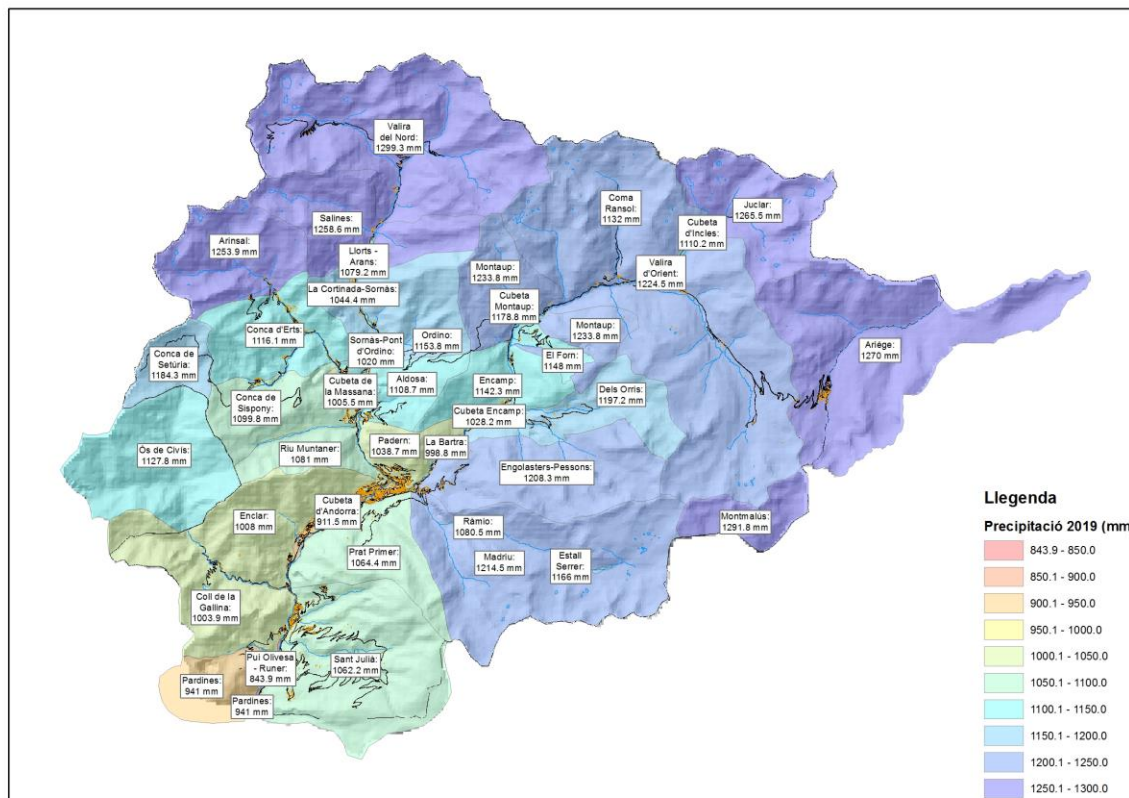


Figura 8. Mapa de distribució de les precipitacions en les diferents unitats hidrogeològiques descrites en l'estudi del M.I. Govern, 2007

Les unitats amb precipitacions superiors són les del Valira del Nord, amb 1300 mm i la unitat amb un valor menor és Pui d'Olivesa amb 844 mm.

En relació a l'ETR, trobem valors màxims a la unitat de Llorts-Arans, amb 506 mm, i mínim de 332 mm a la unitat de Montmalús.

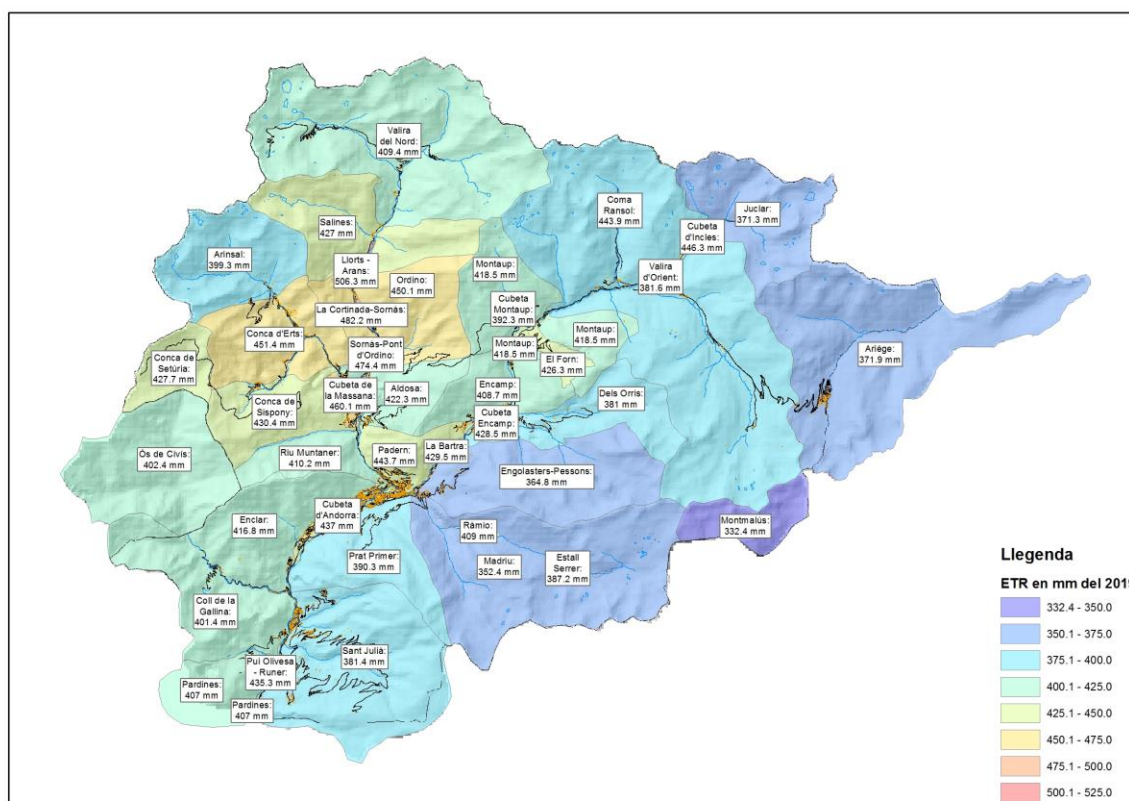


Figura 9. Mapa de distribució de l'ETR en les diferents unitats hidrogeològiques descrites en l'estudi del M.I. Govern, 2007

La unitat hidrogeològica amb major excedent d'aigua ha estat Montmalús amb 958 mm, i on s'ha registrat un valor més petit ha estat a la unitat del Pui d'Olivesa, amb 409 mm.

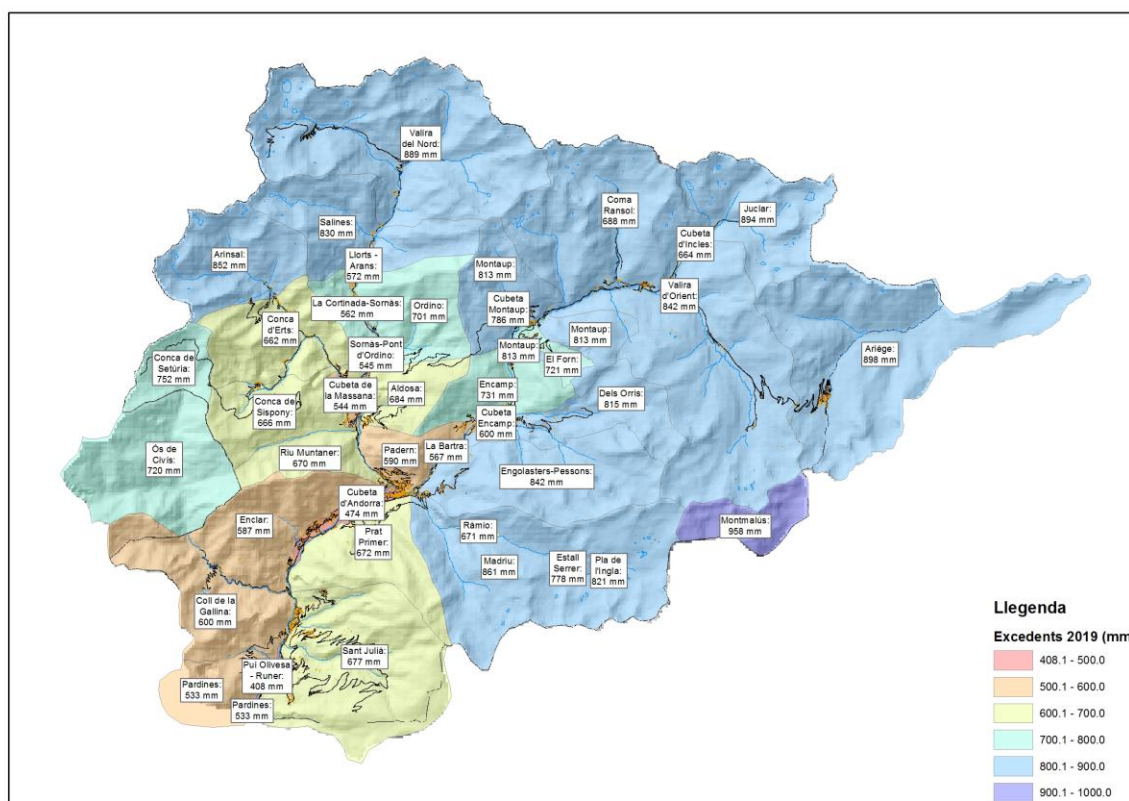


Figura 10. Mapa de distribució de la pluja útil en les diferents unitats hidrogeològiques descrites en l'estudi del M.I. Govern, 2007

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.

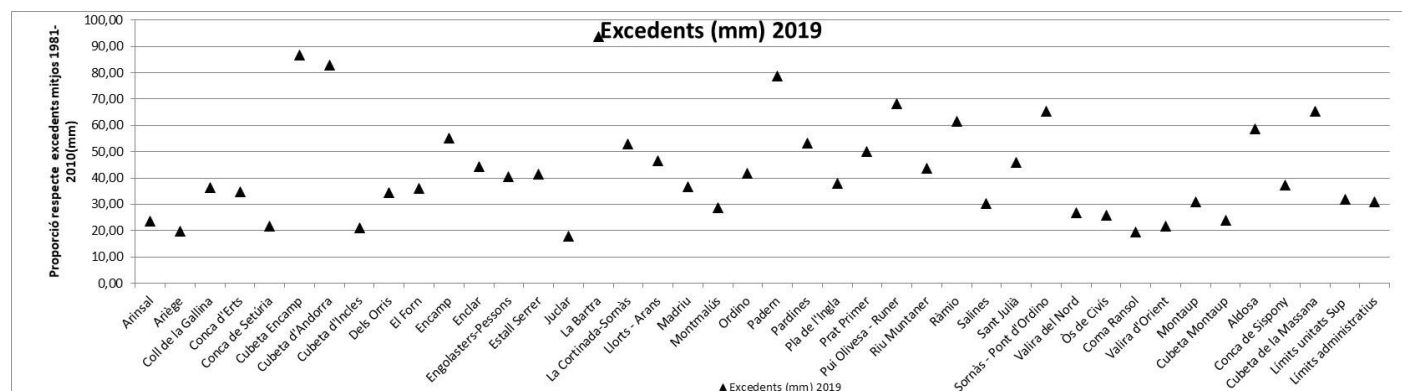


Figura 11. Gràfic de distribució dels excedents en les diferents unitats hidrogeològiques descrites en l'estudi del M.I. Govern, 2007

En la taula 5 es mostra els excedents, passats a unitats de cabal, en Hm³/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*
172,3	113,4	76,3	40,9	17,0

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

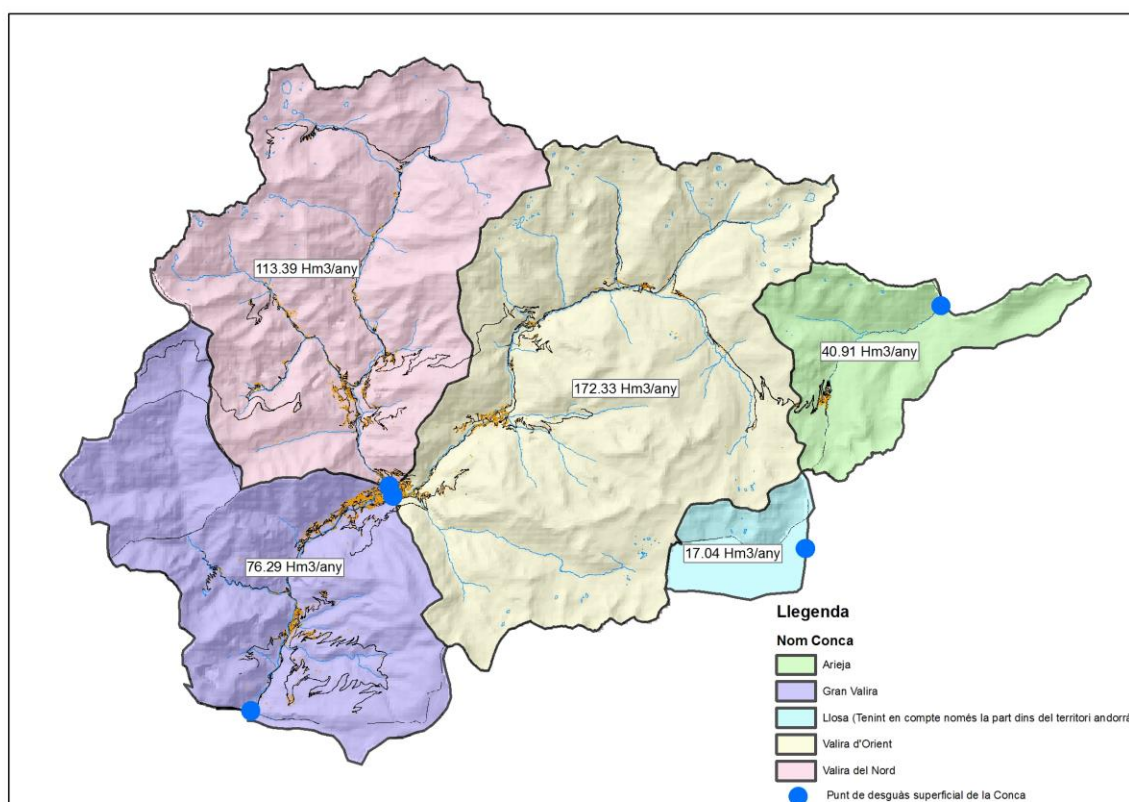


Figura 12. Mapa de distribució de la pluja útil en les grans conques hidrogràfiques.

En els següents gràfics es mostra l'evolució que segueixen els excedents estimats entre el 2016 i el 2019 de cada subconca. S'observa valors baixos al 2016 i 2017 i alts al 2018 i 2019, essent el 2019 l'any amb excedents més alts, excepte per a les subconques perifèriques de l'Ariege i de la Llosa, que és al 2018 l'any amb valors més alts.

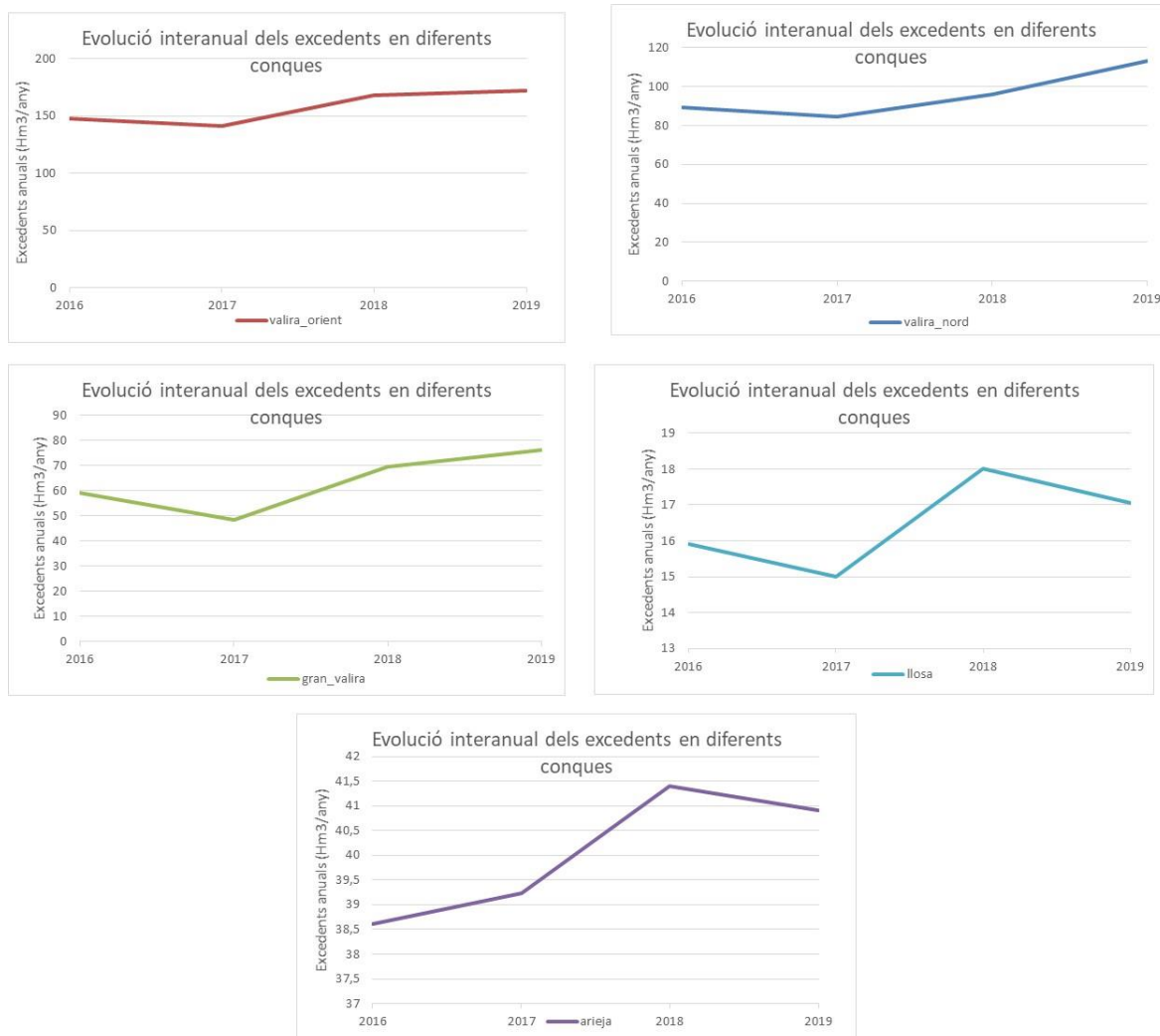


Figura 13. Evolució dels excedents en cada subconca entre 2016 i 2019

6 CONCLUSIONS

Aquest 2019 el mòdul de precipitació mig del territori andorrà s'estima que és de 1180 mm quan la mitja de 30 anys és d'uns 1054 mm. El 2019 ha estat un **any 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 2019 s'estima que ha estat de 5,2 °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 2019 d'uns 410 Hm³/any, calculats mitjançant el balanç hídric amb el mètode de Thornhwaite, i d'aquests, 369 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 2019 representa uns 366 Hm³/any. D'aquests, 329 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, Gener 2019. Estudi de per a l'elaboració anyal del balanç hídric del Principat d'Andorra. Any 2017
- Govern d'Andorra, Novembre 2019. Estudi de per a l'elaboració anyal del balanç hídric del Principat d'Andorra. Any 2018
- 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

Sant Julià de Lòria, 21 de desembre del 2020

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 2019 s'inicia amb la reserva del desembre del 2018, que era de **7.1 mm** i finalitza el desembre del 2019 amb la reserva a **8.6 mm**.

El mapa de distribució de l'ETR anual (**Figura 14**) presenta un valor mig de 396 mm/any, amb valors màxims al voltant dels 550 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.

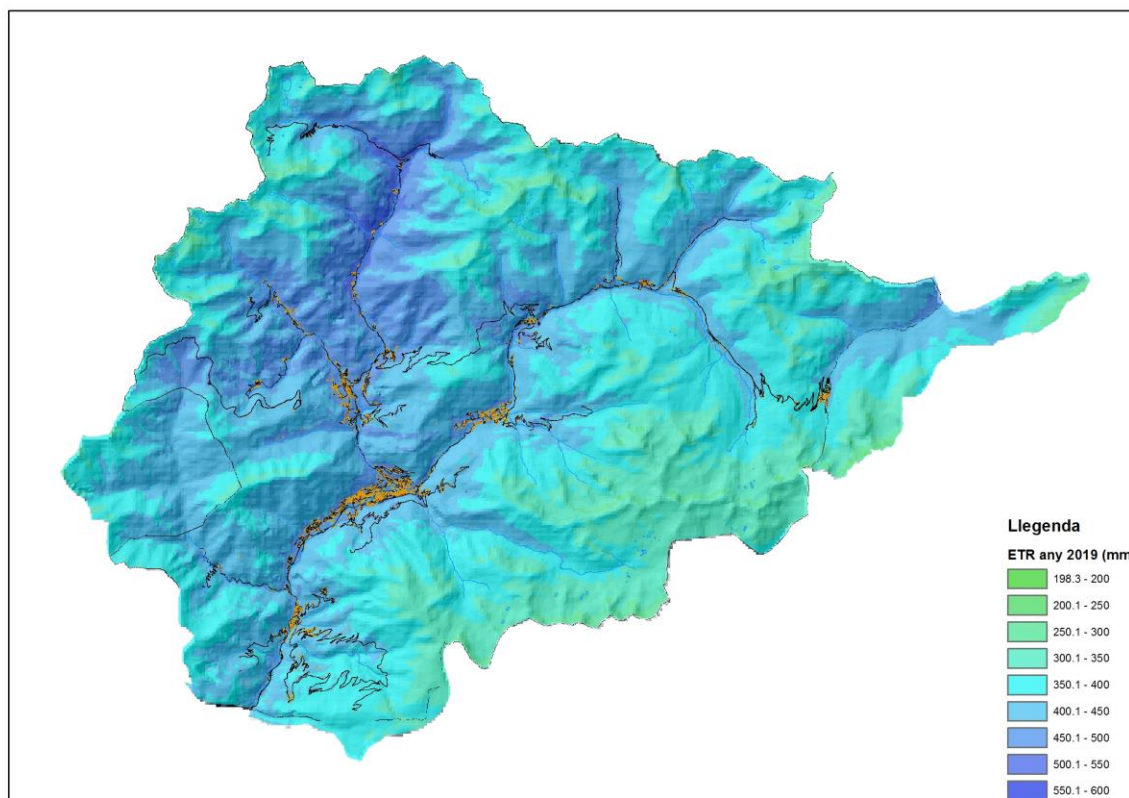


Figura 14. : Mapa de distribució de l'ETR_2019

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 15**).

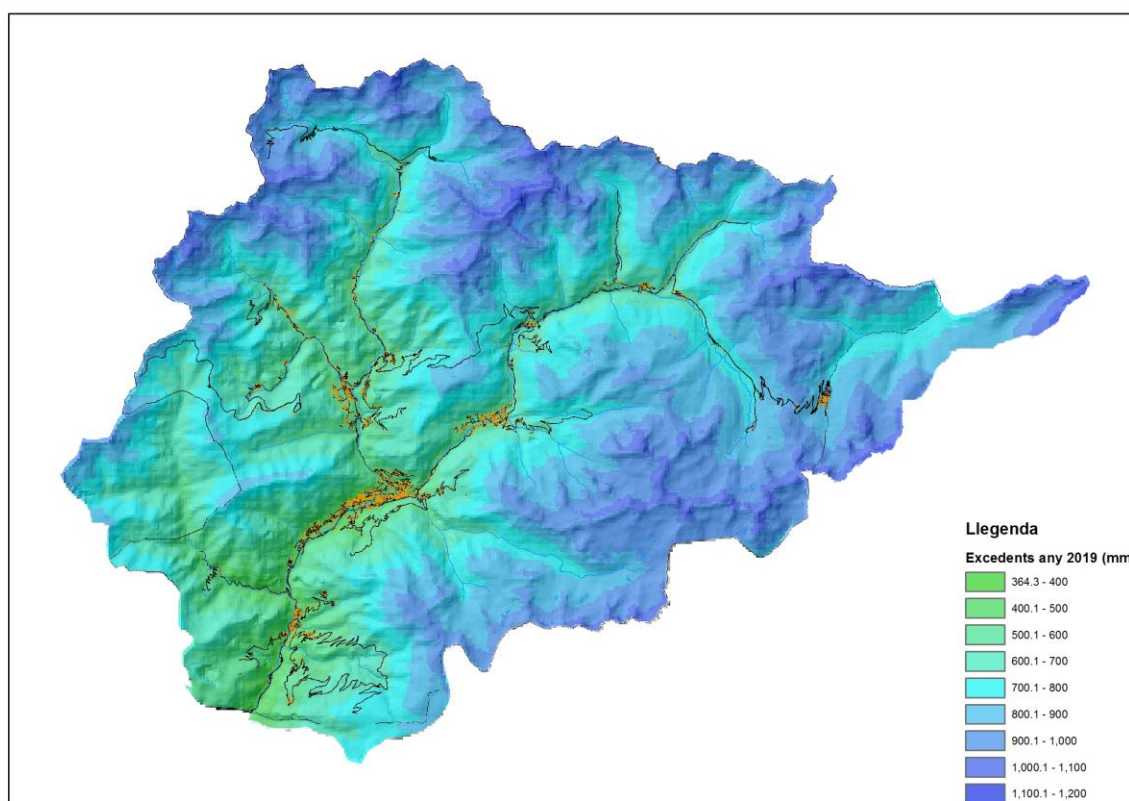


Figura 15. Mapa de distribució de la pluja útil o excedents estimats per l'any 2019

La pluja útil o excedents estimats presenten un valor mig de 783 mm. Els valors màxims són 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 350 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 16), permet veure que en termes mitjos el dèficit ha estat baix en les parts més muntanyoses o elevades, amb valors per sota els 50 mm, i és més alt en els fons de vall, amb valors de fins a 350 mm.

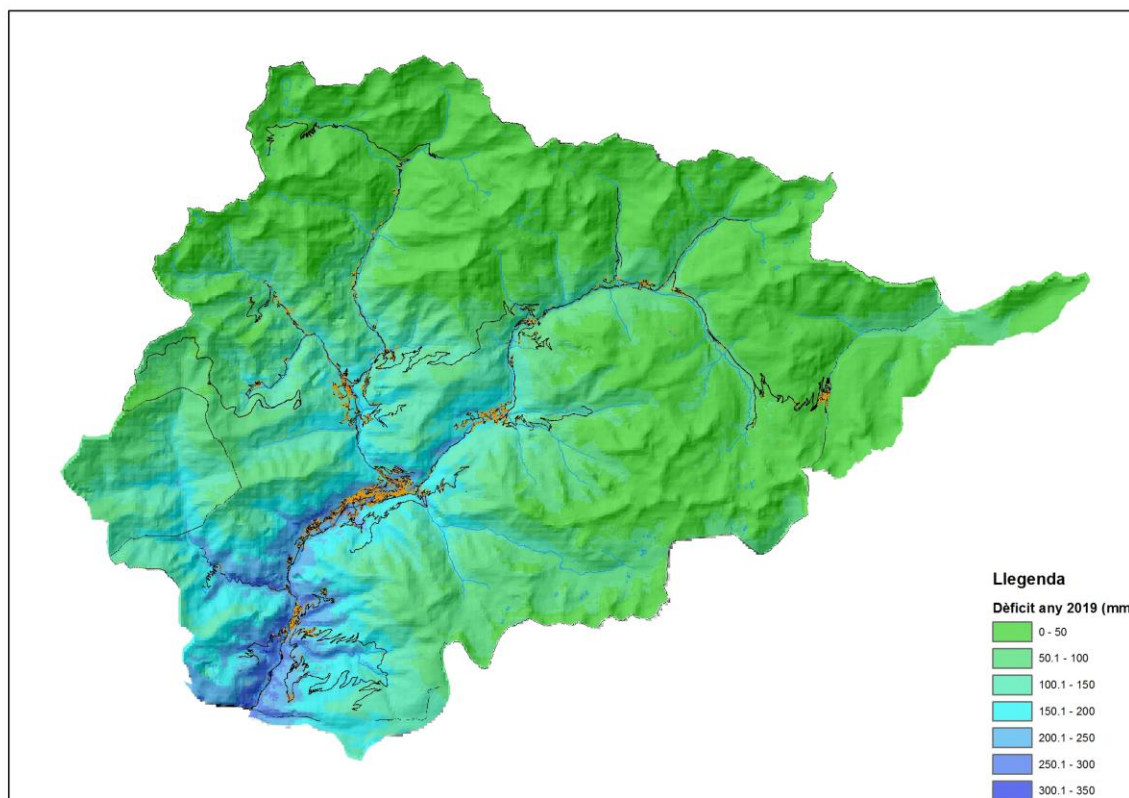
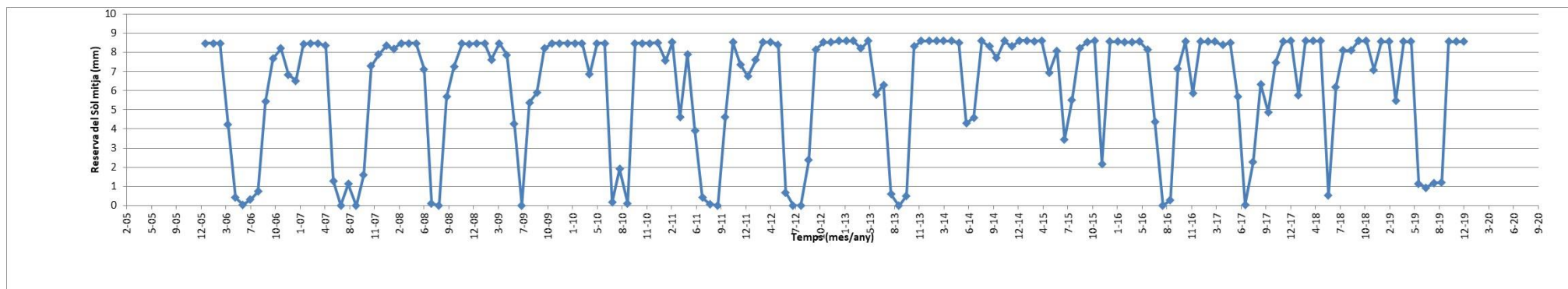


Figura 16. Mapa de distribució dels dèficits estimats per l'any 2019. R= variable, seguint el mètode de Thornthwaite El mètode de càlcul ha consistit en la diferència entre ETP i ETR quan no hi ha reserva disponible.

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, 2017 i 2019, 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 i 2018.



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
2019	1,5

Figura 17. Evolució de la reserva mitja mensual d'aigua del sòl des del 2006 fins al desembre del 2019. Dades obtingudes del balanç hídric efectuat a nivell de límit administratiu ($S=467.7\text{Km}^2$)

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	445,7	455,9	461,9	475,3
etr_01	0,0	0,0	7,6	9,1
etr_02	1,4	5,1	13,9	13,2
etr_03	18,9	24,6	30,5	32,1
etr_04	28,0	26,6	36,2	34,7
etr_05	48,7	51,7	60,2	67,4
etr_06	90,4	92,0	72,4	72,4
etr_07	84,7	84,0	58,0	58,0
etr_08	71,0	71,0	73,0	73,0
etr_09	52,0	52,0	34,0	34,0
etr_10	43,9	44,0	50,6	55,9
etr_11	0,0	0,0	12,9	12,9
etr_12	6,8	4,9	12,5	12,5
excedents_00	575,3	566,1	512,7	502,7
excedents_01	101,0	101,0	64,9	69,9
excedents_02	31,6	27,9	10,1	10,8
excedents_03	0,0	0,0	0,0	0,0
excedents_04	103,1	98,8	98,3	98,2
excedents_05	45,3	42,3	18,8	10,6
excedents_06	0,0	0,0	0,0	0,0
excedents_07	0,0	0,0	0,0	0,0
excedents_08	0,0	0,0	0,0	0,0
excedents_09	0,0	0,0	0,0	0,0
excedents_10	51,1	51,0	103,0	96,7
excedents_11	105,0	105,0	83,1	82,1
excedents_12	138,2	140,1	134,5	134,5
reserva_01	44,0	44,0	28,4	28,4
reserva_02	44,0	44,0	28,4	28,4
reserva_03	32,1	26,4	10,9	9,3
reserva_04	44,0	44,0	28,4	28,4
reserva_05	44,0	44,0	28,4	28,4
reserva_06	0,7	0,0	0,0	0,0
reserva_07	0,0	0,0	0,0	0,0
reserva_08	0,0	0,0	0,0	0,0
reserva_09	0,0	0,0	0,0	0,0
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	28,4	28,4

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 2019



www.mediambient.ad