



Govern d'Andorra



ESTUDI PER A L'ELABORACIÓ ANYAL DEL BALANÇ HÍDRIC DEL PRINCIPAT D'ANDORRA - ANY 2020 -



Març 2022



1	OBJECTIUS	3
2	DADES BASE DE PRECIPITACIÓ I TEMPERATURA	4
3	CÀLCUL DEL BALANÇ HÍDRIC	7
3.1	RESULTATS DEL BALANÇ HÍDRIC	7
4	CONTRAST DE RESULTATS	8
4.1	ANÀLISI DELS CABALS AFORATS	8
4.2	ANÀLISI DELS NIVELLS OBSERVATS	12
5	EL BALANÇ HÍDRIC EN LES UNITATS HIDROGEOLÒGIQUES	19
6	EL BALANÇ HÍDRIC EN DIFERENTS CONQUES HIDROGRÀFIQUES	34
7	CONCLUSIONS	39
7	BIBLIOGRAFIA	40
8	ANNEX DE DOCUMENTACIÓ. Càlcul del balanç hídric	41
8.1	Càlcul de l'evapotranspiració	42
8.1.1	Generalitats	42
8.1.2	Aplicació del mètode empíric de Thornthwaite	42
8.2	Càlcul de la pluja útil	45
8.3	Estimació del dèficit hídric	46
8.4	Evolució de la reserva d'aigua del sòl	47

1 OBJECTIUS

Des del 2006 el Departament de Medi Ambient i Sostenibilitat duu a terme un balanç hidrometeorològic que permet estimar valors mitjos mensuals i anuals de l'evapotranspiració potencial i real, pluja útil i dèficit hídric del Principat d'Andorra. Es tracta dels resultats obtinguts amb la metodologia de Thornthwaite a partir de les dades de precipitació i temperatura subministrades pel CENMA (Centre d'Estudis de la Neu i de la Muntanya d'Andorra).

El present estudi té per objectiu analitzar els resultats d'aquest balanç hídric calculat per l'any 2020.

Des del 2016 és el CENMA qui proporciona les dades base de precipitació (acumulació mensual) i temperatura (valors màxims i mínims diaris). Així mateix, el CENMA també facilita la distribució de la temperatura i precipitació per a un any mig (període 1981-2010).

Amb les dades de precipitació i temperatura mensuals, es vol caracteritzar el clima seguint els mateixos criteris que el CENMA i el Servei Meteorològic Nacional.

Els criteris són els següents:

Classificació Plugues	$P_{\text{període}}$ respecte mitjana climàtica	Classificació Temperatura	$T_{\text{període}}$ respecte mitjana climàtica
Molt plujós	$P_{\text{període}} > 190\%$	Molt càlid	$T_{\text{període}} \geq +3^{\circ}\text{C}$
Plujós	$110\% < P_{\text{període}} < 190\%$	Càlid	$+0,5^{\circ}\text{C} < T_{\text{període}} < +3^{\circ}\text{C}$
Normal	$90\% < P_{\text{període}} < 110\%$	Normal	$-0,5^{\circ}\text{C} < T_{\text{període}} < +0,5^{\circ}\text{C}$
Sec	$30\% < P_{\text{període}} < 90\%$	Fred	$-3^{\circ}\text{C} < T_{\text{període}} < -0,5^{\circ}\text{C}$
Molt sec	$P_{\text{període}} < 30\%$	Molt fred	$T_{\text{període}} \leq -3^{\circ}\text{C}$

Taula 1. Criteris de classificació de les pluges i temperatures anuals respecte la mitjana climàtica

Malgrat que el CENMA facilita els mapes base amb els límits administratius (territori andorrà, amb una superfície de 467,45 Km²), 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).

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: Aulus les Bains

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 2020.

El mapa de distribució de les precipitacions anuals permet veure que es tenen valors màxims de quasi 1550 mm al nord i est del país, i mínims per sota els 900 mm als fons de vall i sobretot al sud del país.

A nivell de país, el valor mig acumulat és de 1260 mm (límit administratiu).

En la **figura 1** es mostra el model de distribució de les precipitacions de l'any 2020.

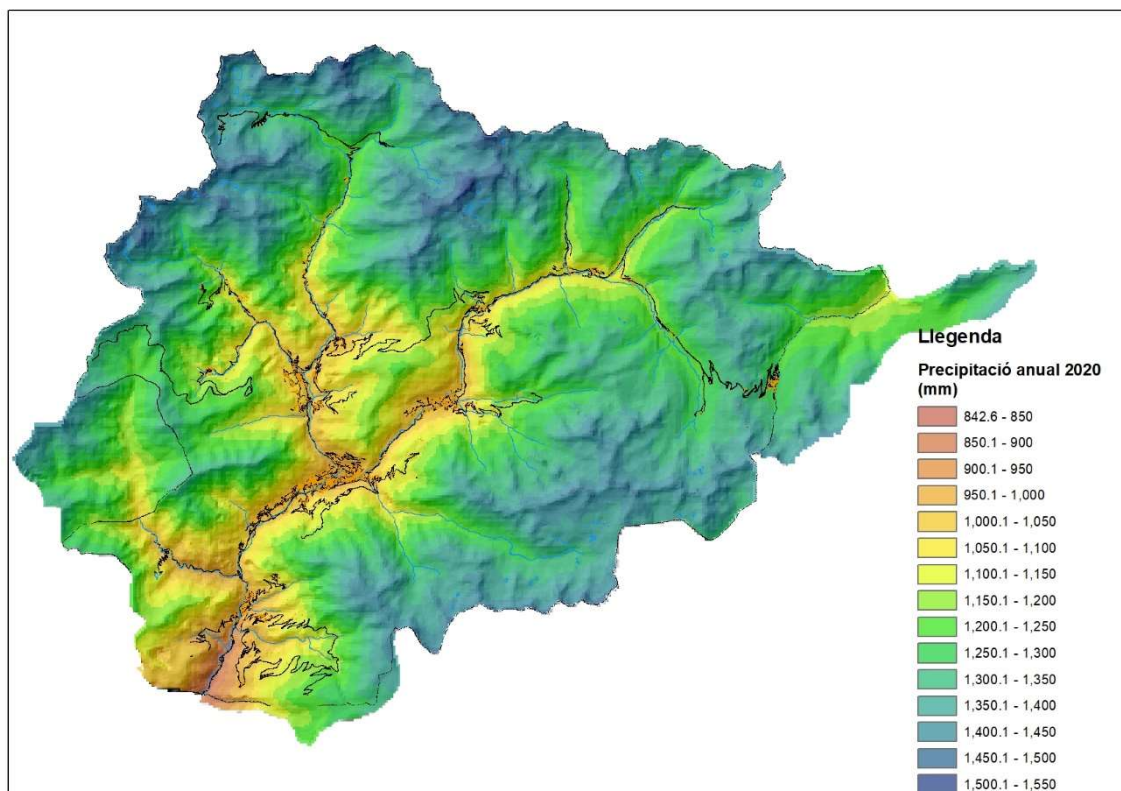


Figura 1. Mapa d'isohietes de les precipitacions acumulades el 2020. Dades base facilitades pel CENMA

Si es comparen les precipitacions acumulades el 2020 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 2020 amb la mitjana climàtica.

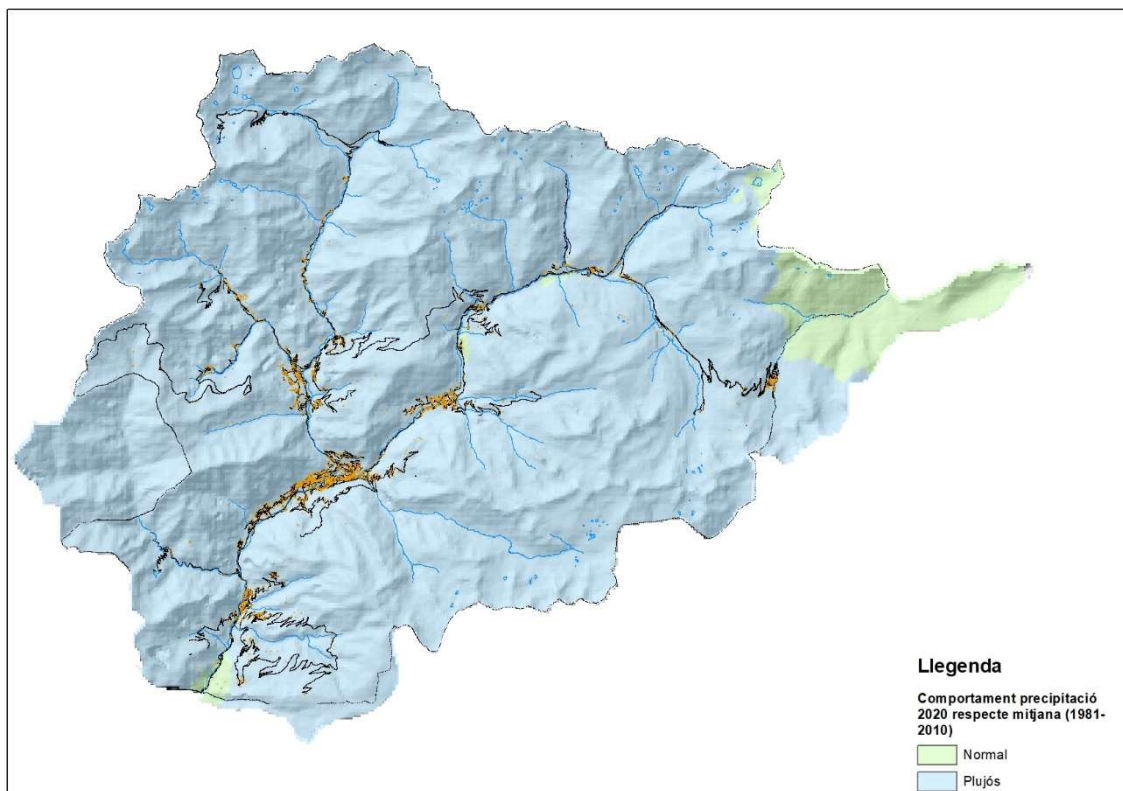


Figura 2. Mapa comparatiu de les quantitats acumulades registrades el 2020 i els corresponents valors mitjans.

En relació a la temperatura, l’any 2020 presenta una temperatura mitja anual a nivell de país de 5,9°C (límit administratiu). 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 2020.

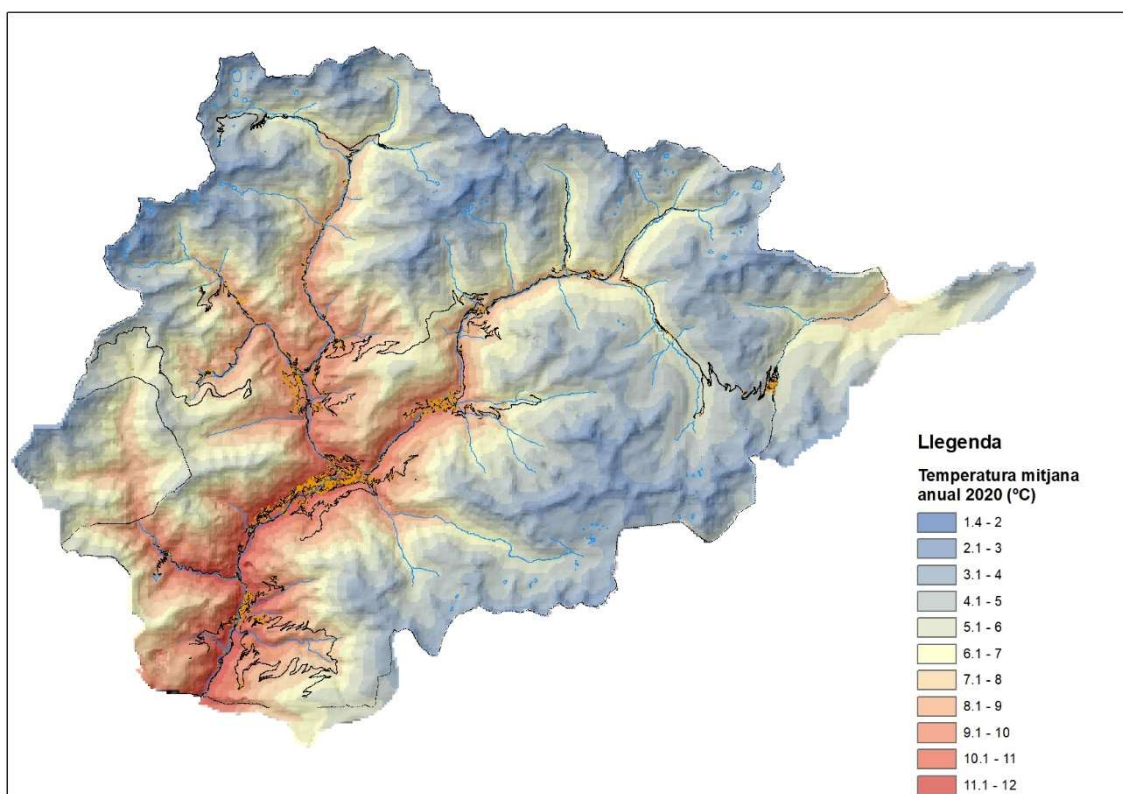
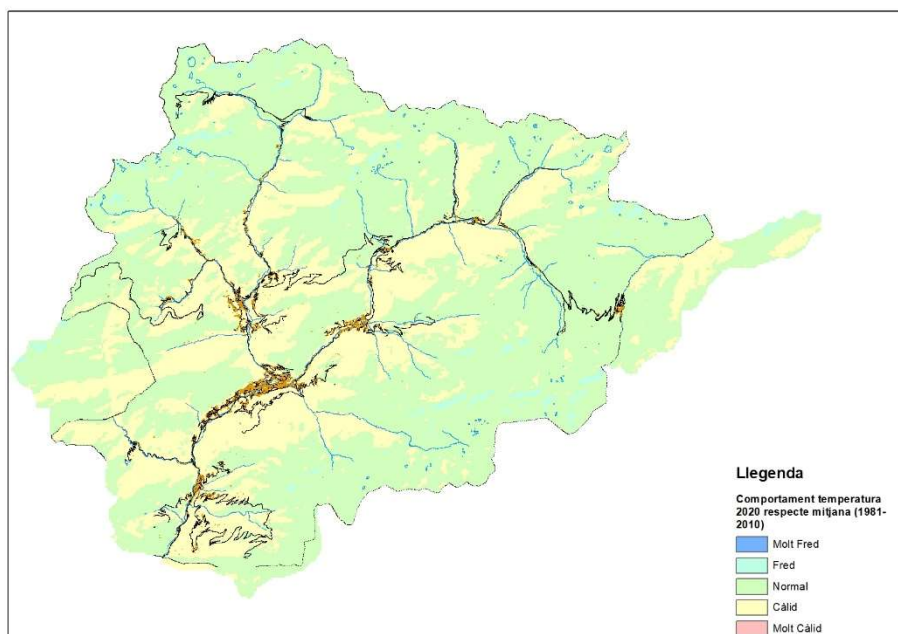


Figura 3. Mapa de distribució de les temperatures mitges del 2020. Dades base facilitades pel CENMA

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 2020 han estat normals al conjunt del Principat.

En la **figura 4** es mostra la relació entre la temperatura estimada pel 2020 i la mitjana climàtica.

Figura 4. Mapa de les diferències de temperatura de l'any 2020 respecte la mitja.



3 CÀLCUL DEL BALANÇ HÍDRIC

De cara a estimar els recursos hídrics del 2020, que potencialment poden ésser usats per les necessitats de l'home (també anomenada pluja útil), s'ha dut a terme un balanç hídrometeorològic.

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^*
5.9	1260	462	792	0

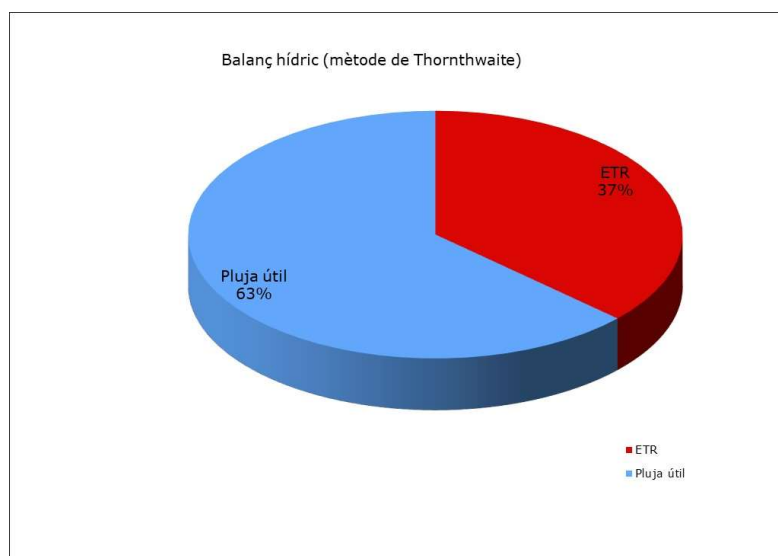
Taula 2. Resum balanç hídric en base al mètode de Thornthwaite. Superfície calculada=467,45 Km² (límit administratiu)(*) ΔR dada obtinguda directament del model. Cal saber que el ràster de precipitació (P) és d'una mida de cel.la de 90 x 90, en canvi el ràster del balanç (on hi intervé la ETR, els excedents, 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.

Les entrades al sistema són les precipitacions, amb un valor mig de 1260 mm/any. Les sortides al sistema es distribueixen en evapotranspiració, amb uns 462 mm i pluja útil amb 792 mm.

La reserva d'aigua en el sòl a finals d'any és màxima, amb el valor mig de 8.55mm 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.

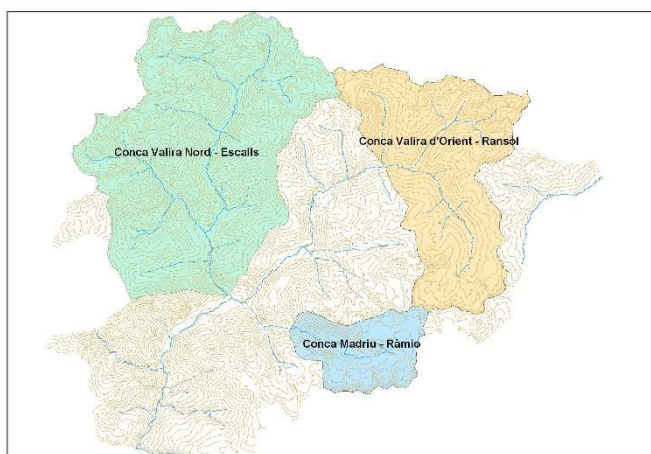
Donant per vàlid aquest supòsit, es contrasten els resultats de la pluja útil estimada amb el model de balanç hídric, i els cabals aforats.

Per a dur a terme aquest contrast de dades s'ha fet ús dels registres de cabal diaris recollits durant el 2020 de diferents rius, per part de FEDA, el CHE i Medi Ambient, i aquest any hi hem afegit també les estacions de Protecció Civil.

En la següent taula s'indica les coordenades de les estacions d'aforament utilitzades, del riu al què corresponen i la superfície de la conca hidrogràfica.

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_medi ambient	529639,5	16525,1	Gran Valira	445,77
La Bartra_PC	536468	25390	Riu Valira d'Orient	157,25
La Plana_PC	535498,2	23016,7	Riu Madriu	40,96
Arinsal_PC	529784	30927	Riu d'Arinsal	17,75
Pal_PC	529815	27573	Riu de Pal	7,82
Mina de Llorts_PC	533949	33635	Valira del nord	47,80
El Tarter_PC	543664	31204	Riu Valira d'Orient	64,94
Rigorder_PC	541060	26606	Riu Cortals	7,6
Òs de Civís_PC	527233	21319	Riu d'Òs	36,85
Prada Casadet_PC	533041	23107	Riu Gran Valira	355,2

Taula 3. Situació aproximada (coordenades Lambert III Andorra), riu aforat i superfície de la conca hidrogràfica de les estacions d'aforament utilitzades. PC: Protecció Civil



En les següents figures 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.

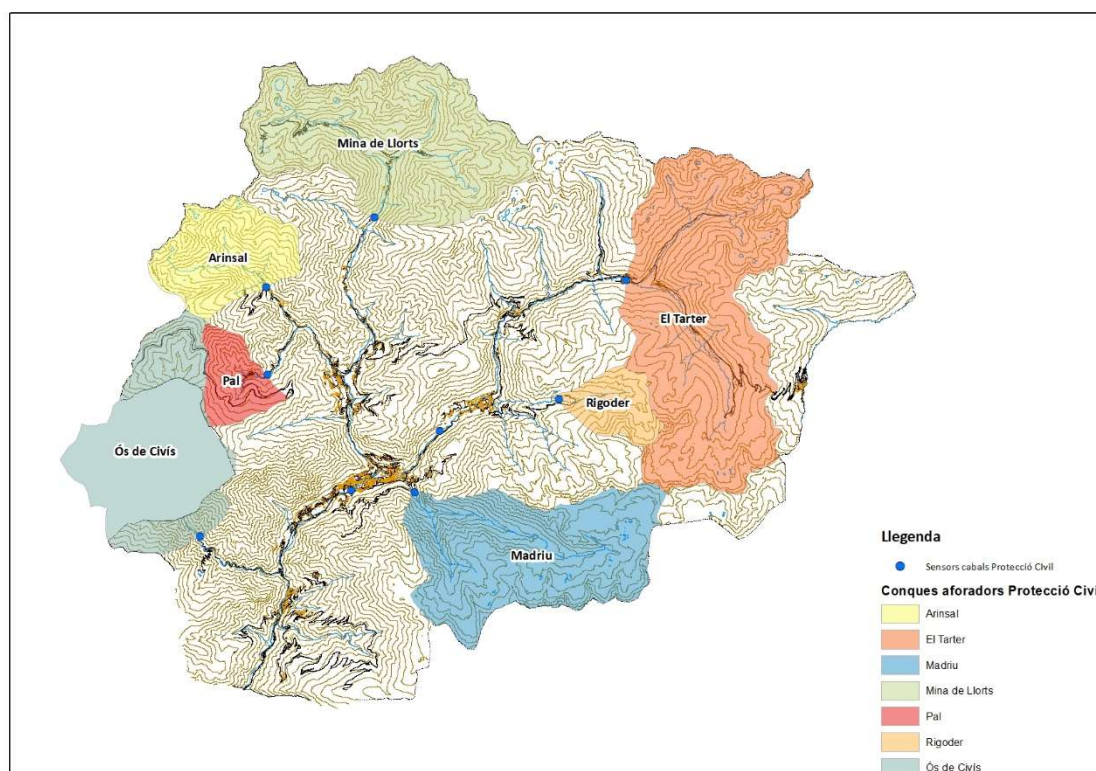


Figura 8. Mapa de situació de bona part de les conques que Protecció Civil recull

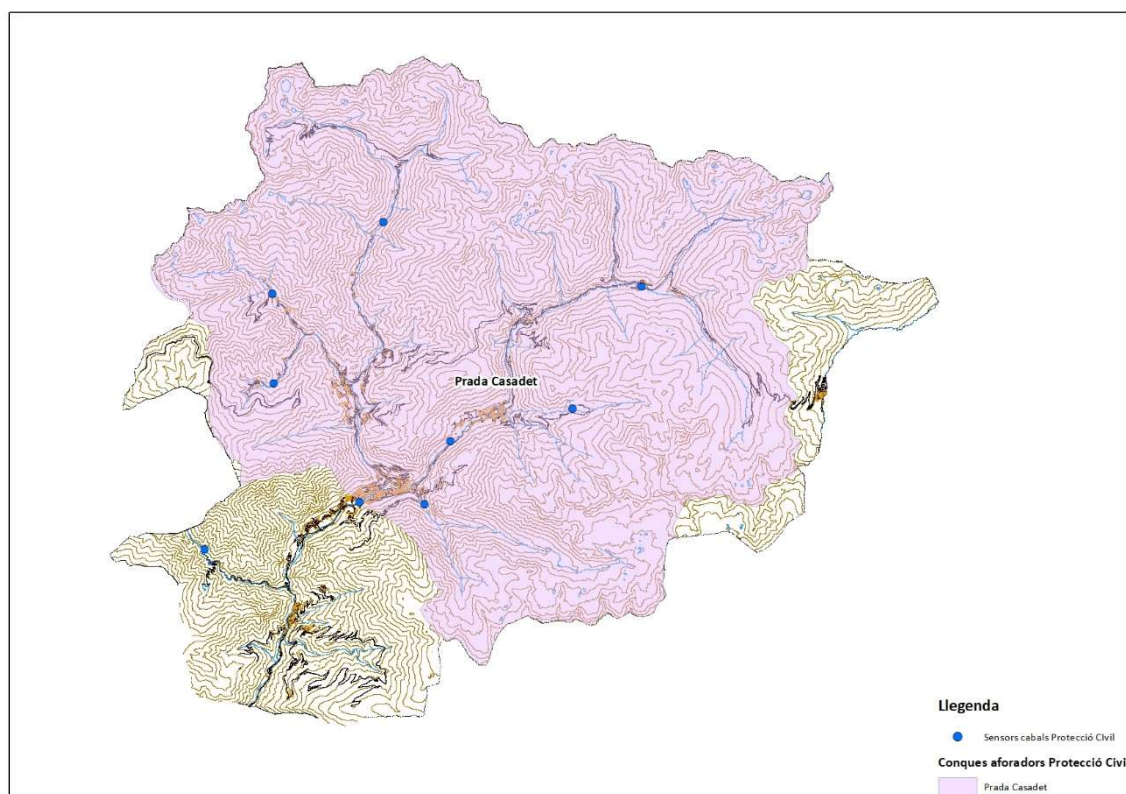


Figura 9. Mapa de situació de la conca Gran Valira a Prada Casadet

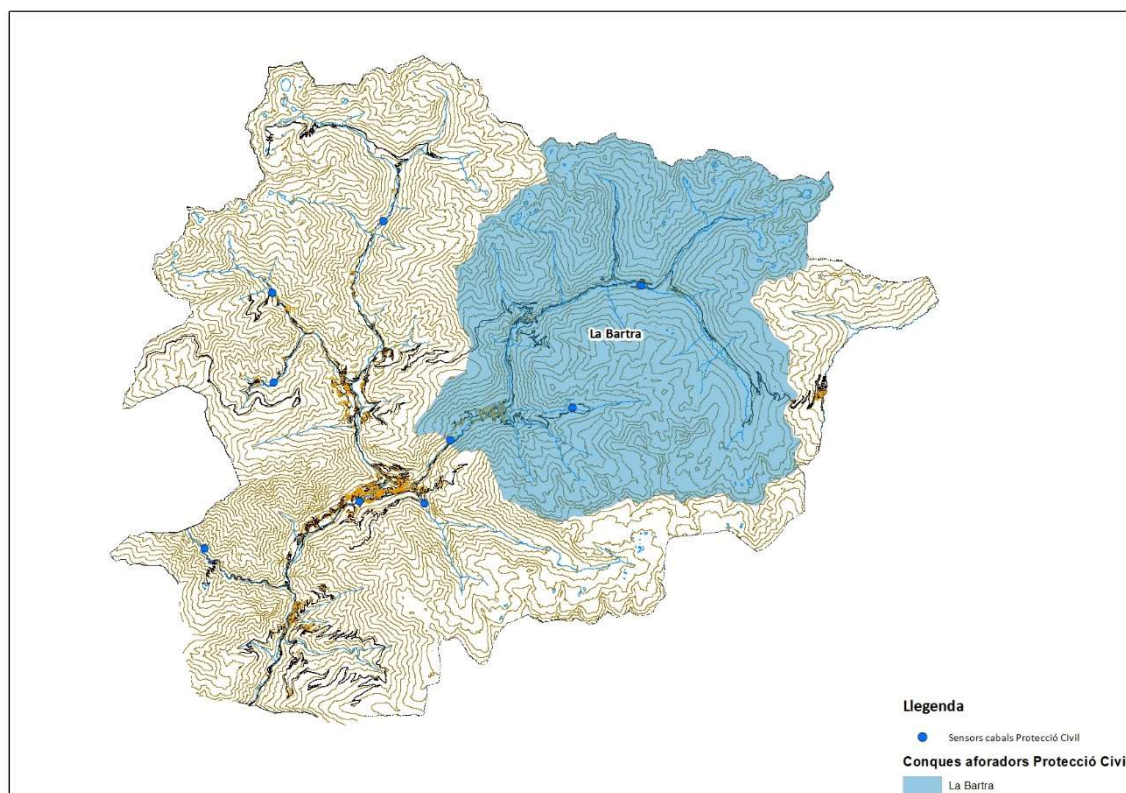


Figura 10. Mapa de situació de la conca del Valira d'Orient a la Bartra

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 2020, segons dades facilitades pel ministeri responsable del medi ambient, és de 0,46 m³/s. El cabal mig del riu Gran Valira durant el 2020 ha estat de 11.91 m³/s. Aquest cabal, sumat amb el procedent de l'EDAR, suposa uns 12.38 m³/s, o sigui 390 Hm³/any, que repartit per la superfície de la conca hidrogràfica suposa 875 L/m²*any.

El cabal del riu Valira del Nord, segons dades facilitades per la *Confederación Hidrológica del Ebro (CHE)* es calcula que és d'uns 3.56 m³/s, o sigui 112 Hm³/any. Aquest cabal, repartit per la superfície de la conca hidrogràfica suposa 771 L/m²*any.

El cabal del riu Valira d'Orient a Ransol, segons dades facilitades per FEDA es calcula que és d'uns 4.81 m³/s, o sigui 152 Hm³/any. Aquest cabal, repartit per la superfície de la conca hidrogràfica suposa 1852 L/m²*any.

El cabal del riu Madriu, segons dades facilitades per FEDA es calcula que és d'uns 1.27 m³/s, o sigui 40 Hm³/any. Aquest cabal, repartit per la superfície de la conca hidrogràfica suposa 1542 L/m²*any.

De les estacions de protecció civil, els cabals aforats mitjos són en conjunt molt alts, anòmalament alts, que s'assimilen amb cabals específics superiors als 4000 L/m²*any, excepte l'estació de Prada Casadet, que tenim valors de cabal de 10.79 m³/s, que suposa un cabal específic de 958 L/m²*any, i la Bartra, que amb els 5.17 m³/s, genera uns 1037 L/m²*any.

En la següent taula es resumeix els valors anteriorment comentats.

Comparació		Cabals aforats			balanç hídric	
Conca	Nom de l'estació	Cabals m ³ /s	Cabals Hm ³ /any	Cabal específic (Qe) L/m ² *any	Pluja útil estimada L/m ² *any	Variació respecte Cabal Qe (%)
Valira Orient	FEDA-Ransol	4,81	151,59	1851,83	869,80	-53
Madriu	FEDA Madriu -Ràmio	1,27	40,16	1541,70	936,84	-39
Valira Nord	CHE(A402)-Pont Escalls	3,56	112,36	771,25	781,14	1
Gran Valira (inclou EDAR)	Borda Sabater_medi ambient	12,38	390,26	875,48	788,16	-10
Riu Valira d'Orient	La Bartra_PC	5,17	163,07	1036,99	832,41	-20
riu Madriu	Carretera de la plana_PC	4,84	152,63	3726,42	913,09	-75
Riu d'Arinsal	Arinsal_PC	27,93	880,85	49625,52	904,90	-98
Riu de Pal	Pal_PC	11,19	352,84	45119,60	742,11	-98
Valira del nord	Mina de Llorts_PC	11,70	368,84	7716,31	889,43	-88
Riu Valira d'Orient	El Tarter_PC	7,27	229,14	3528,42	869,88	-75
Riu Cortals	Rigorder_PC	13,23	417,15	54888,32	893,80	-98
Riu d'Os	Os de Civís_PC	6,50	204,96	5561,95	794,15	-86
Riu Gran Valira	Prada Casadet_PC	10,79	340,17	957,68	812,33	-15

* en vermell s'indica les estacions d'aforament que no seran usades per contrastar els resultats de BH. Cabals

Taula 4. Resum dels cabals registrats durant el 2020 en diferents conques hidrogràfiques i pluja útil estimada per cada conca. PC: protecció civil

De les estacions que no són de protecció civil, aquest any observem que les dades de pluja útil estimades amb el balanç hídric han donat un valor força més baix a l'observat en la conca del Valira d'orient i al Madriu, amb valors d'entre un 53 i un 39% més petit, respectivament. En canvi, en conques com Gran Valira i Valira del Nord, es tenen valors del mateix ordre de magnitud.

Cal tenir present que els cabals aforats poden dur associats fins un $\pm 25\%$ d'error.

Així mateix, els aforadors de protecció civil estan dissenyats per conèixer el cabal màxim puntual, i tret de l'aforador de Prada Casadet, la resta d'aforadors mesuren el calat en una llera de riu no modificada i per tant, les mesures dels cabals baixos poden ser molt poc precises, ja que en funció de les avingudes d'aigua, el fons pot patir modificacions. La llera del riu de Prada Casadet està formigonada i és molt uniforme i per tant, podem considerar que es l'estació de Protecció Civil que disposa de dades més fiables. En el cas de l'aforador de Borda Sabater, els cabals màxims són els que no es poden calibrar i per tant, el valor mig global s'ha de prendre amb cautela.

En el cas dels aforadors de Protecció Civil, veient que els cabals mitjos aforats són i anòmals, i tenint present les limitacions que acabem de comentar, s'ha decidit prescindir d'aquestes dades, amb l'excepció de les de l'aforador de Prada Casadet.

A banda de les consideracions esmentades cal tenir en compte les següents limitacions en les anàlisis dutes a terme:

- 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.

4.2 ANÀLISI DELS NIVELLS OBSERVATS

També per contrastar els resultats del balanç hídric es fa ús dels registres de nivells de piezòmetres/pous de la xarxa de control de les aigües de la cubeta d'Andorra la Vella, i del pla de vigilància del CTR, que gestiona el Departament de Medi Ambient i Sostenibilitat. En la següent taula i mapa s'ubica cada punt de la xarxa de seguiment piezomètric.

Seguiment piezomètric	X	Y	Z
S1	532380,9	22666,79	999,34
S2	532506,8	22643,57	1025,2
S3	532973,6	22193,23	1150,33
pou torrent	532829,6	22715,62	1025,07
S5	532795,9	22434,49	1088,42
S8b (13)	531210,4	22005,8	975,1
S7b (20)	532609,2	23071,2	994,66

Taula 5. Taula amb les coordenades Lambert III dels piezòmetres de la xarxa de seguiment

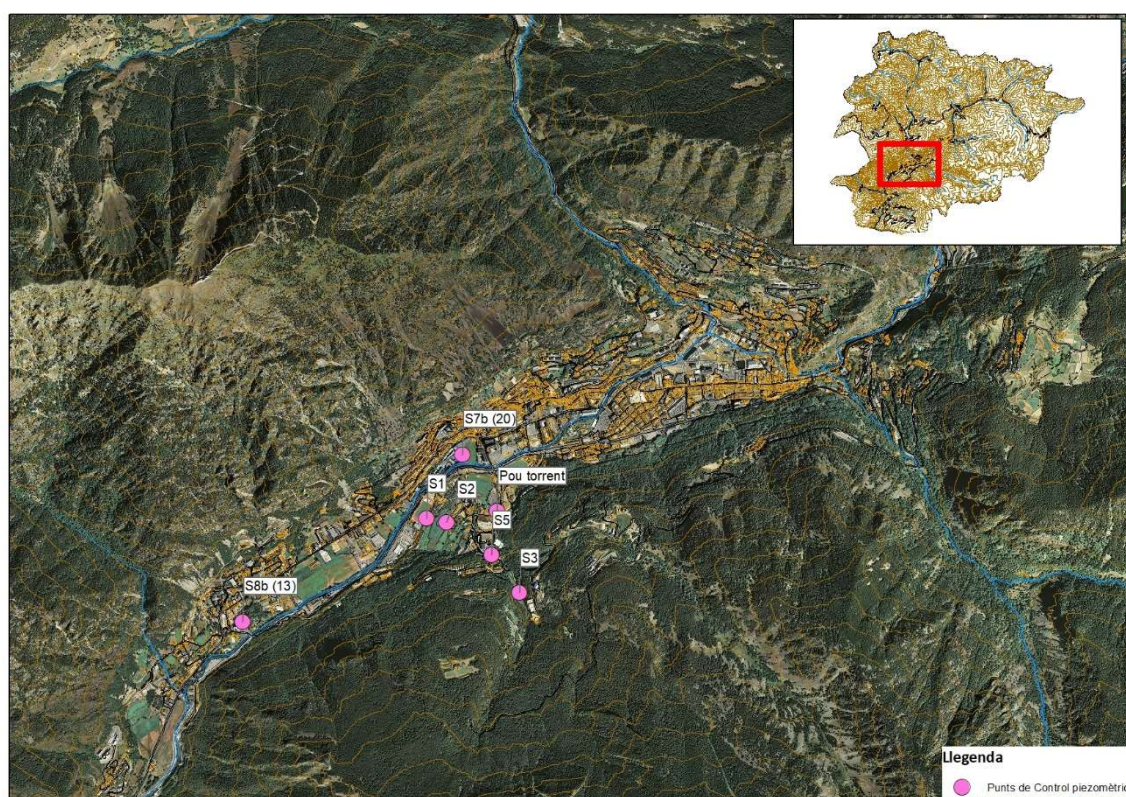


Figura 11. Mapa de situació de la xarxa de seguiment piezomètric

A continuació es presenten els gràfics amb el resum anual:

Els nivells mitjos anuals de l'S1 i S2, que s'ubiquen a fons de vall, tenen una evolució molt similar, amb una tendència a l'alça des del 2017. L'S3, ubicat sota les instal·lacions del CTR també té una tendència a l'alça. El pou del torrent, ubicat a fons de vall té tendència a l'alça, però més heterogènia amb els nivells del 2018 i 2020 més alts respecte als del 2016 i 2017 i 2019. L'S8, ubicat a fons de vall, a Santa Coloma i del qual només es disposa de dades dels darrers dos anys, té els nivells del 2019 i 2020 molt similars, tot i que la lectura del 2020 és lleugerament inferior. De l'S5, ubicat als Serradells, se'n veu una tendència molt oposada, a la baixa des del 2016 al 2019 i al 2020 es recupera. De l'S7b només es disposa d'una lectura, del 2019.

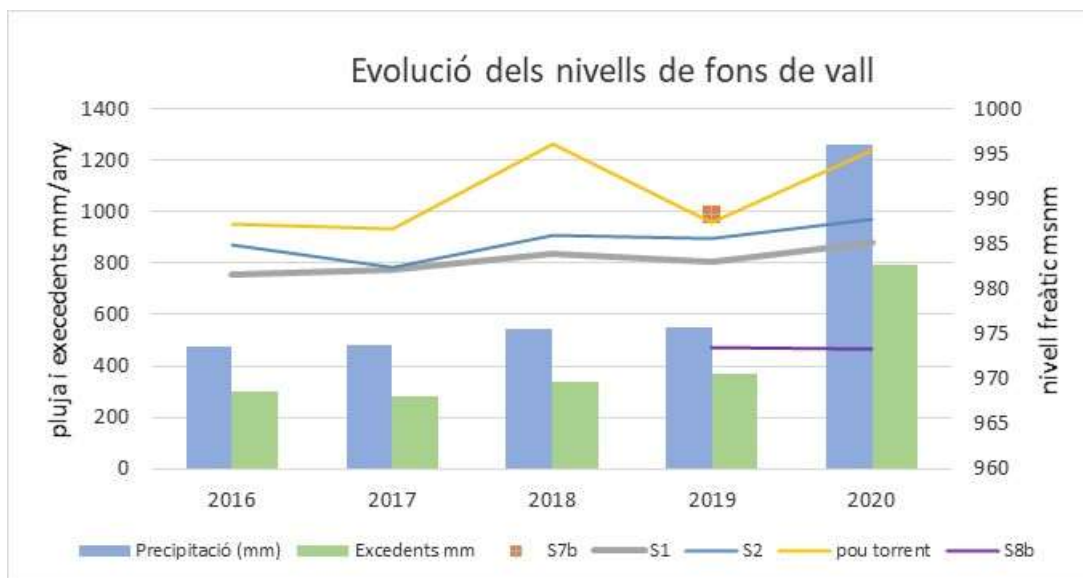


Figura 12. Evolució dels nivells piezomètrics dels punts S7b, S1, S2, pou del Torrent i S8b

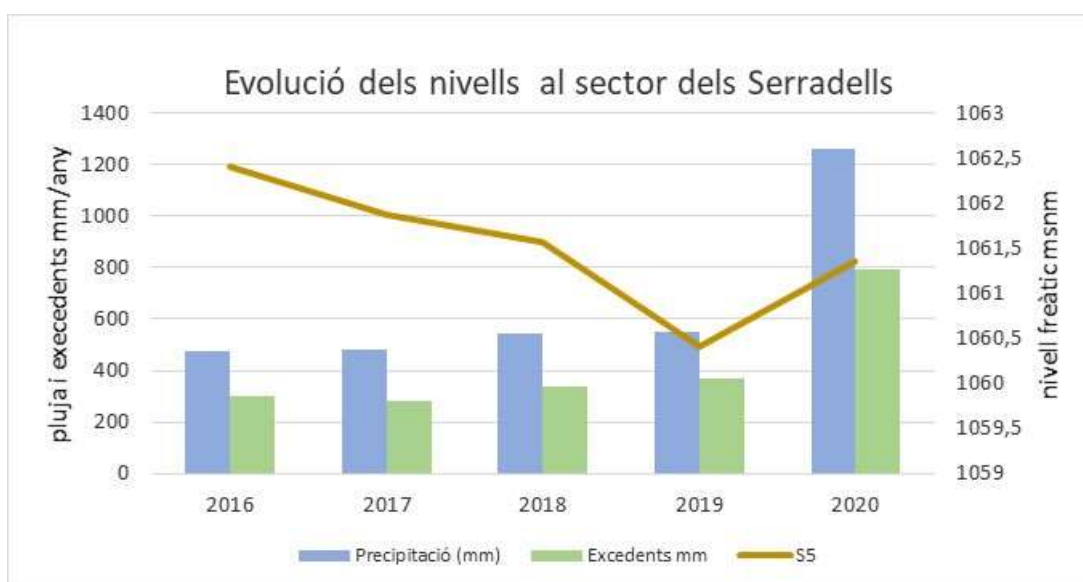


Figura 13. Evolució dels nivells piezomètrics dels punts S5

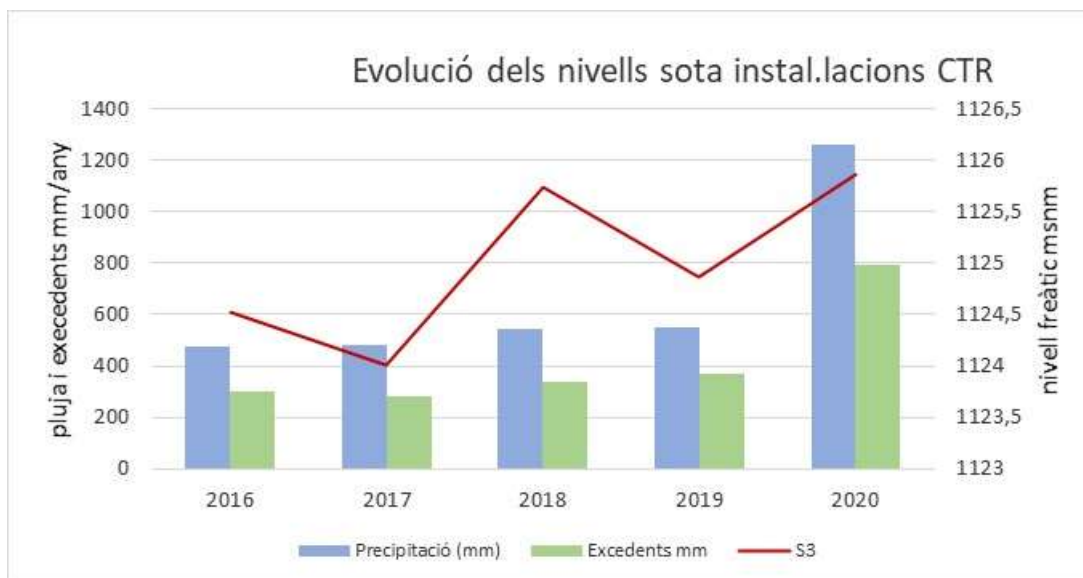


Figura 14. Evolució dels nivells piezomètrics dels punts S3

Disposem dels resultats del balanç hídric mensual des del 2019. En l'S1, S2, S3, pou del torrent i S5 es tracta de mesures preses puntualment, unes dues vegades al mes. En el cas del punts S7 i S8 són lectures preses automàticament amb una periodicitat 10 minutal.

L'anàlisi mensual en l'S1 i S2 permet veure que si bé hi ha moments de l'any, com el de l'estiu del 2019 que els nivells i la mitja mòbil dels excedents coincideixen en presentar valors mínims, en la resta de dades no s'observa una relació evident, tampoc decalatge entre infiltració i augment del nivell. Esperem que amb la recollida i anàlisi de més anys, canviï.

Els nivells de IS1 i S2 segueixen una evolució molt similar.

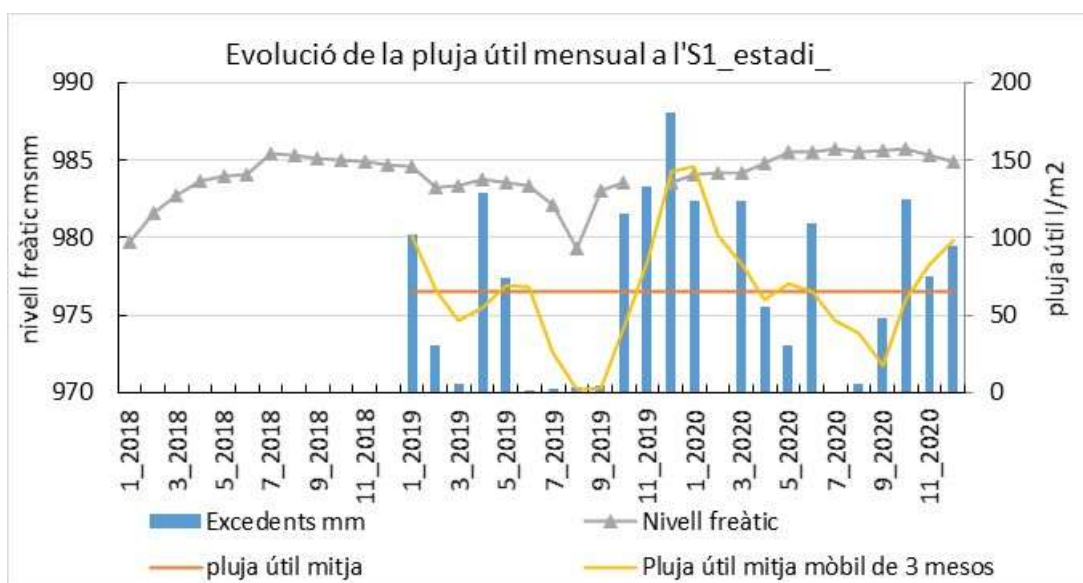


Figura 15. Evolució mensual dels nivells de l'S1 i dels excedents estimats (mitja país)

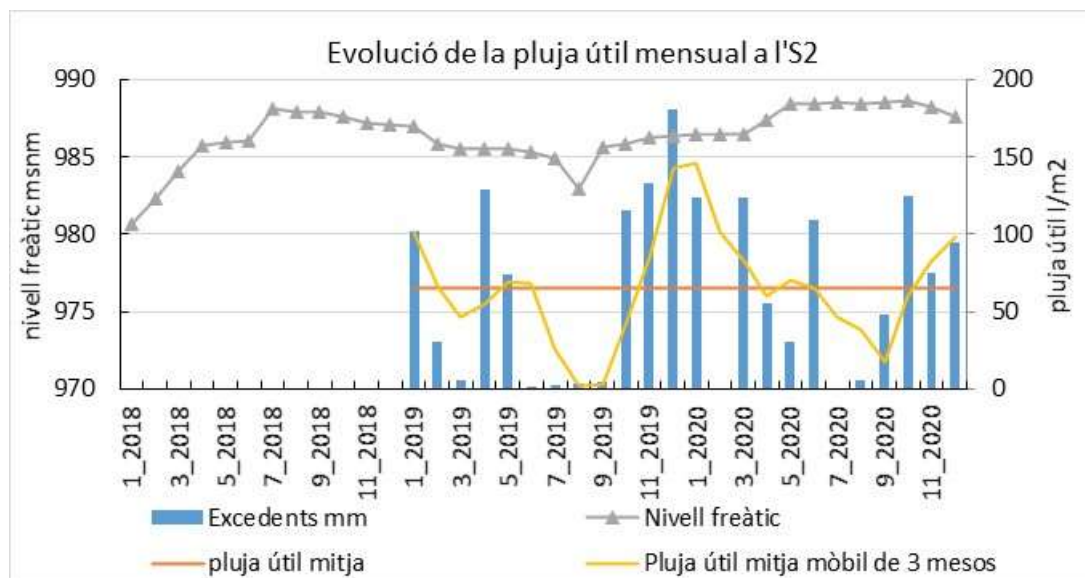


Figura 16. Evolució mensual dels nivells de l'S2 i dels excedents estimats (mitja país)

En el cas del seguiment fet a l'S3 sembla que els nivells i els excedents s'ajusten, si apliquem una mitja mòbil de 5 mesos, observant que els nivells mínims de l'estiu del 2019, encaixen amb els excedents que hi ha hagut els darrers 5 mesos, i també hi ha un bon ajust entre els nivells màxims de la primavera del 2020, i els excedents infiltrats des de la tardor anterior.

En l'S5, l'ajust no és complet, sembla que encara no tenim prou dades per establir el decalatge entre la infiltració i el nivell freàtic, tot i que amb els 5 mesos s'aconsegueix un bon ajust entre l'augment del nivell de l'hivern del 2020 i la infiltració estimada des del mes de novembre anterior.

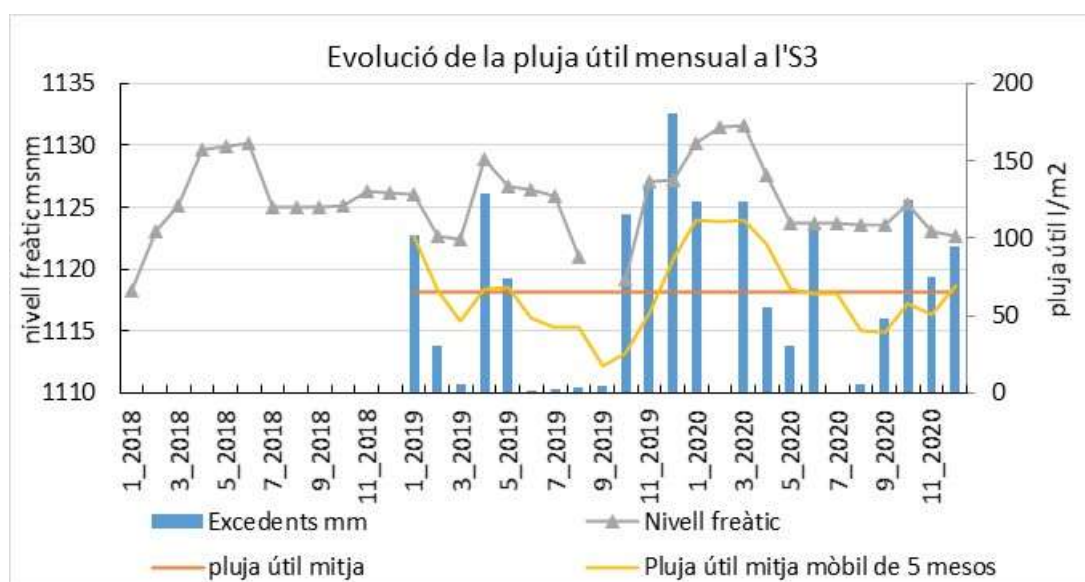


Figura 17. Evolució mensual dels nivells de l'S3 i dels excedents estimats (mitja país)

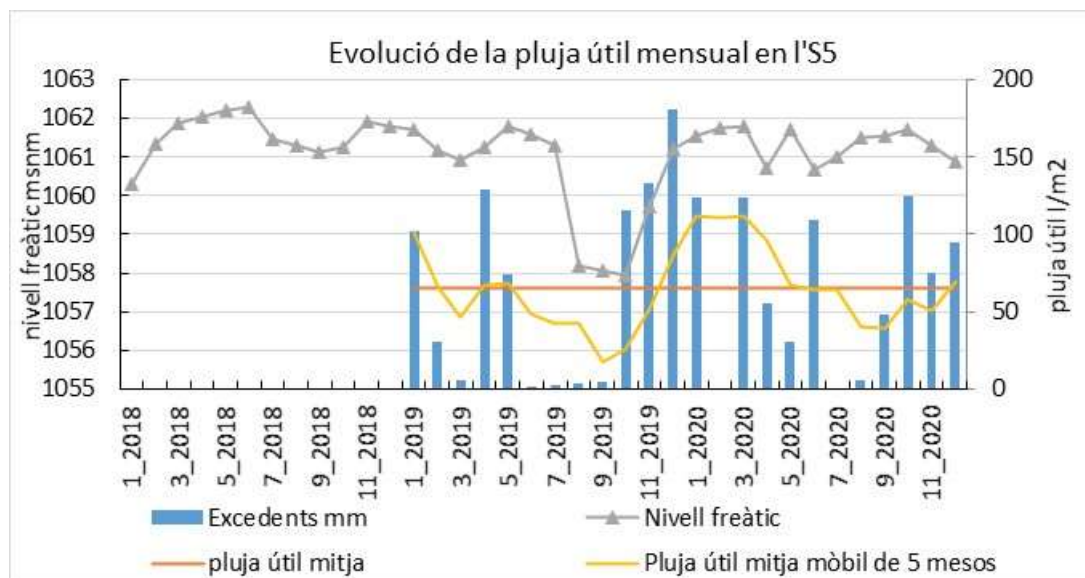


Figura 18. Evolució mensual dels nivells de l'S5 i dels excedents estimats (mitja país)

En el cas del pou del torrent, amb les dades que tenim sembla que hem d'augmentar el temps de trànsit de l'aigua infiltrada a 10 mesos. En tot cas, el futur seguiment permetrà anar ajustant aquesta dada.

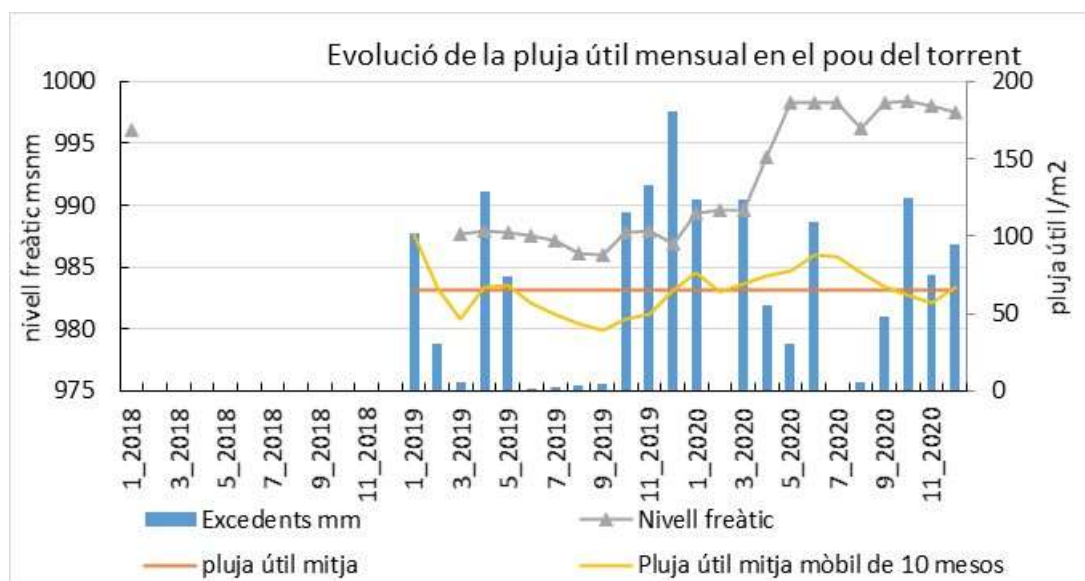


Figura 19. Evolució mensual dels nivells el pou del torrent i dels excedents estimats (mitja país)

En el cas de l'S8, tampoc amb les dades que tenim acabem de trobar l'ajust entre infiltració i nivells, en el següent gràfic s'ha pensat en un decalatge de 9 mesos, veient-se una certa bona relació a la primavera i a l'estiu del 2020.

En tot cas, el futur seguiment també permetrà anar ajustant aquesta dada.

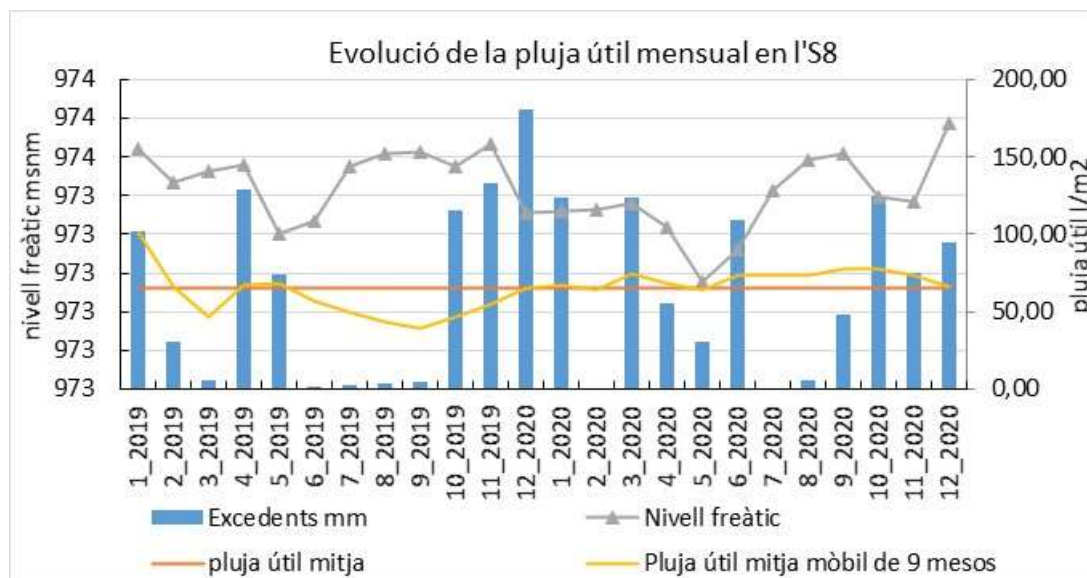


Figura 20. Evolució mensual dels nivells de l'S8b i dels excedents estimats (mitja país)

Finalment en l'S7, no s'ha pogut establir cap relació, amb la falta de dades del 2020. Esperem que al 2021 i en endavant podem tornar a disposar de dades.

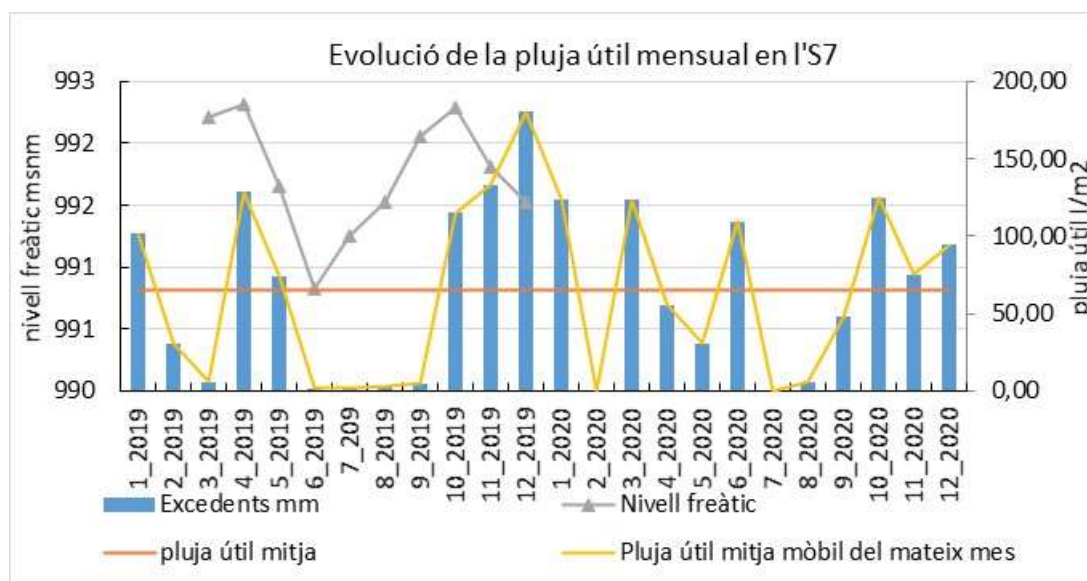


Figura 21. Evolució mensual dels nivells de l'S7b i dels excedents estimats (mitja país)

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 2020 d'uns 415 Hm³/any, calculats mitjançant el balanç hídric amb el mètode de Thornhwaite, i d'aquests, 373 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 2020 representa uns 370 Hm³/any. D'aquests, 333 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	426,99	906,76	1353,68	4,46	22,41	7,07	15,01	13,51	120,63%	0,01	Plujós	Normal
Ariège	45.628.658,41	435,20	855,67	1298,55	4,86	59,25	19,86	39,04	35,14	109,09%	0,12	Normal	Normal
Coll de la Gallina	17.321.678,00	499,16	645,43	1127,99	8,19	19,54	8,65	11,18	10,06	119,77%	0,58	Plujós	Càlid
Conca d'Erts	15.149.624,07	510,05	683,10	1190,86	7,38	18,04	7,73	10,35	9,31	119,62%	0,46	Plujós	Normal
Conca de Setúria	6.664.367,23	468,97	824,41	1300,71	5,30	8,67	3,13	5,49	4,94	120,56%	0,18	Plujós	Normal
Cubeta Encamp	768.145,17	557,21	468,66	1000,72	10,10	0,77	0,43	0,36	0,32	115,90%	0,87	Plujós	Càlid
Cubeta d'Andorra	2.268.308,61	589,26	456,37	1011,86	11,44	2,30	1,34	1,04	0,93	126,02%	0,99	Plujós	Càlid
Cubeta d'Incles	399.509,12	504,51	675,17	1168,36	6,87	0,47	0,20	0,27	0,24	112,09%	0,53	Plujós	Càlid
Dels Orris	12.728.986,14	456,01	789,70	1247,70	5,58	15,88	5,80	10,05	9,05	117,72%	0,42	Plujós	Normal
El Forn	2.632.292,26	514,13	650,36	1158,19	6,91	3,05	1,35	1,71	1,54	113,08%	0,72	Plujós	Càlid
Encamp	9.831.249,34	495,16	638,13	1121,75	7,48	11,03	4,87	6,27	5,65	115,10%	0,42	Plujós	Normal
Enclar	16.449.982,02	502,75	653,71	1137,78	8,50	18,72	8,27	10,75	9,68	123,33%	0,34	Plujós	Normal
Engolasters-Pessons	23.004.376,30	444,79	830,69	1281,58	5,44	29,48	10,23	19,11	17,20	122,77%	0,43	Plujós	Normal
Estall Serrer	256.289,80	468,60	808,07	1281,48	5,81	0,33	0,12	0,21	0,19	124,93%	0,21	Plujós	Normal
Juclar	17.448.266,46	420,90	891,84	1323,01	4,28	23,08	7,34	15,56	14,00	112,16%	0,23	Plujós	Normal
La Bartra	227.795,13	554,42	494,18	1026,11	10,55	0,23	0,13	0,11	0,10	124,11%	0,84	Plujós	Càlid
La Cortinada-Sornàs	240.503,74	572,88	509,30	1070,48	9,60	0,26	0,14	0,12	0,11	117,19%	0,77	Plujós	Càlid
Llorts - Arans	434.935,60	581,80	536,38	1117,37	9,15	0,49	0,25	0,23	0,21	119,01%	0,70	Plujós	Càlid
Madriu	40.121.360,95	422,41	906,59	1341,11	4,70	53,81	16,95	36,37	32,74	126,29%	0,14	Plujós	Normal
Montmalús	7.594.231,04	386,47	984,38	1388,06	3,31	10,54	2,93	7,48	6,73	120,70%	-0,30	Plujós	Normal
Ordino	16.960.118,50	518,39	659,46	1178,37	7,30	19,99	8,79	11,18	10,07	117,89%	0,51	Plujós	Càlid
Padern	6.040.215,34	546,45	540,35	1072,30	9,47	6,48	3,30	3,26	2,94	123,29%	0,55	Plujós	Càlid
Pardines	5.125.714,31	505,45	510,53	995,11	9,43	5,10	2,59	2,62	2,36	113,60%	0,31	Plujós	Normal
Pla de l'Inglà	96.831,14	445,65	856,01	1309,63	5,17	0,13	0,04	0,08	0,07	124,22%	0,06	Plujós	Normal
Prat Primer	13.956.181,56	504,62	715,03	1206,12	7,87	16,83	7,04	9,98	8,98	128,75%	0,79	Plujós	Càlid
Pui Olivesa - Runer	400.975,76	559,58	350,00	874,67	11,69	0,35	0,22	0,14	0,13	110,37%	0,66	Plujós	Càlid
Riu Muntaner	6.750.482,65	505,30	676,23	1172,41	7,79	7,91	3,41	4,56	4,11	122,69%	0,95	Plujós	Càlid
Ràmio	231.213,47	513,92	662,09	1168,55	7,96	0,27	0,12	0,15	0,14	126,45%	0,63	Plujós	Càlid
Salines	18.401.587,26	470,14	835,52	1332,34	5,30	24,52	8,65	15,37	13,84	122,21%	0,14	Plujós	Normal
Sant Julià	33.250.793,13	484,84	698,96	1176,14	7,43	39,11	16,12	23,24	20,92	122,92%	0,39	Plujós	Normal
Sornàs-Pont d'Ordino	259.304,35	581,73	471,68	1034,22	9,98	0,27	0,15	0,12	0,11	116,87%	0,81	Plujós	Càlid
Valira del Nord	45.880.845,18	448,65	890,62	1370,79	4,60	62,89	20,58	40,86	36,78	120,84%	0,15	Plujós	Normal
Òs de Civís	22.777.602,33	459,85	801,11	1260,72	6,01	28,72	10,47	18,25	16,42	121,14%	0,28	Plujós	Normal
Coma Ransol	98.512,69	489,61	718,64	1202,56	6,42	0,12	0,05	0,07	0,06	113,98%	0,56	Plujós	Càlid
Valira d'Orient	77.701.776,81	431,55	862,51	1300,53	4,57	101,05	33,53	67,02	60,32	115,90%	0,23	Plujós	Normal
Montaup	16.994.092,97	455,87	805,00	1270,27	5,29	21,59	7,75	13,68	12,31	117,64%	0,07	Plujós	Normal
Cubeta Montaup	286.720,34	463,72	768,10	1230,09	5,44	0,35	0,13	0,22	0,20	113,94%	0,63	Plujós	Càlid
Aldosa	7.713.967,17	519,89	604,88	1114,06	8,17	8,59	4,01	4,67	4,20	118,19%	0,76	Plujós	Càlid
Conca de Sispony	11.643.664,71	503,07	697,51	1194,18	7,33	13,90	5,86	8,12	7,31	121,51%	0,57	Plujós	Càlid
Cubeta de la Massana	1.970.611,14	570,22	492,40	1042,90	9,99	2,06	1,12	0,97	0,87	119,33%	0,83	Plujós	Càlid
Nous Límits	522.263.506,11	461,24	794,29	1261,04	5,84	658,59	240,89	414,83	373,34	119,62%	0,27	Plujós	Normal
Límits administratius	467.451.286,71	462,23	792,25	1259,50	5,88	588,75	216,07	370,34	333,30	118,91%	0,33	Plujós	Normal

Taula 6. Resum balanç hídric de les unitats hidrogeològiques any 2020. 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:

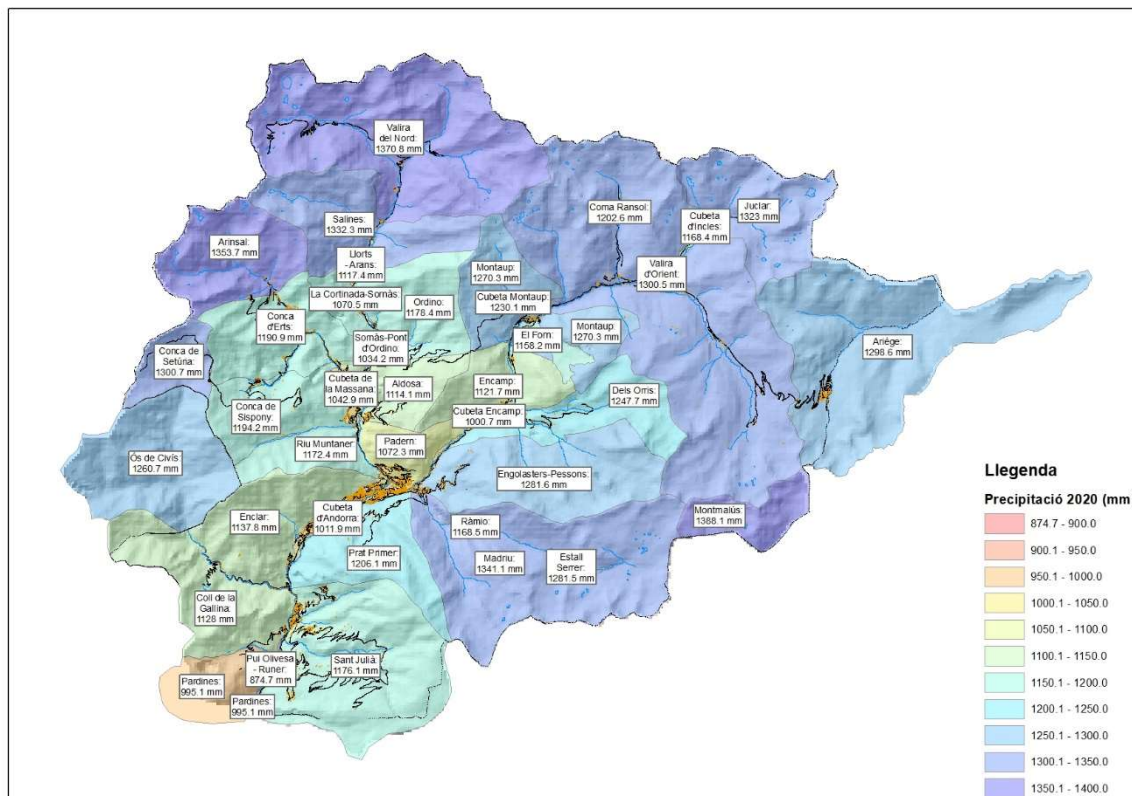


Figura 22. Mapa de distribució de les precipitacions en les diferents unitats hidrogeològiques descrites en l'estudi del M.I. Govern, 2007

Les unitats amb precipitacions superiors són les de Montmalús i Valira del Nord, amb valors per sobre els 1300 mm i la unitat amb un valor menor és al Pui d'Olivesa i a les Pardines amb valors per sota els 1000 mm.

Si ho comparem amb la mitjana climàtica de 30 anys 1981-2010 observem que es tracta d'un any plujós, excepte a la unitat de l'Arieja que ha estat normal.

Comportament de la precipitació anual per Unitat hidrogeològiques. Any 2020

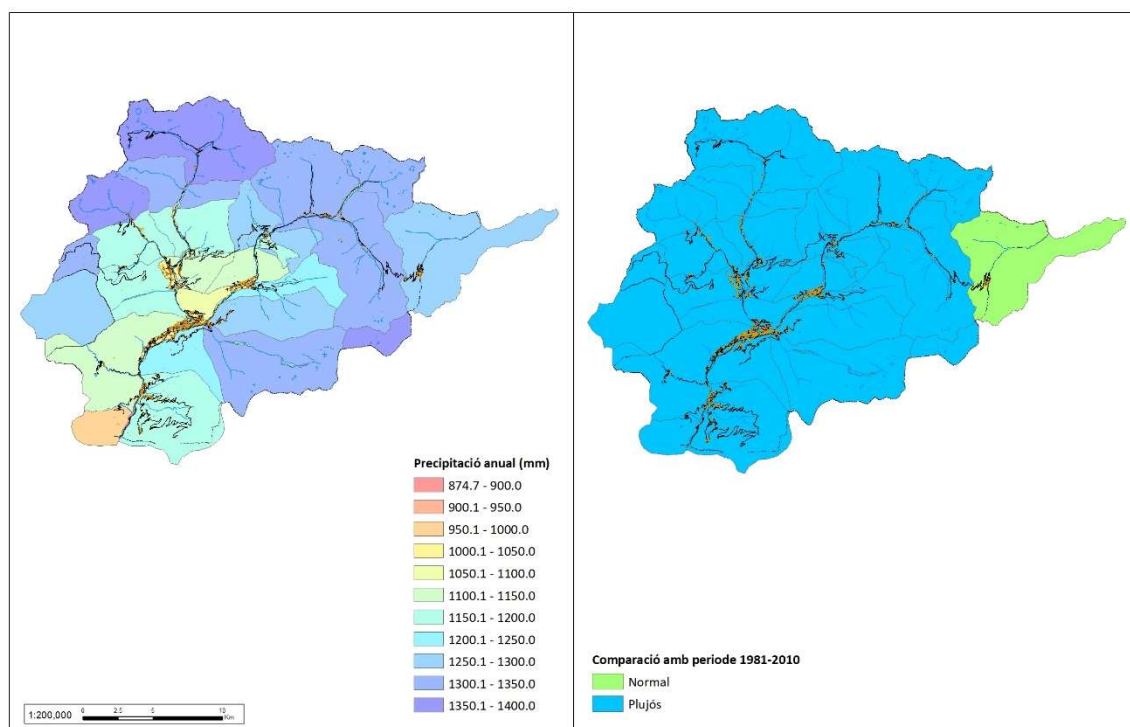


Figura 23. Mapa comparatiu de les precipitacions del 2020 amb la mitjana climàtica 1981-2010 en les diferents unitats hidrogeològiques

L'anàlisi estacional (hivern correspon a les lectures del mes de gener-març, la primavera a les lectures d'abril-juny, l'estiu a les del juliol-setembre, i les de la tardor a octubre-desembre) i comparant amb la mitjana 1981-2010, permet veure que a l'hivern es manté plujós al conjunt del Principat excepte al quadrant sud oriental (unitats de Sant Julià, Prat Primer i Madriu) que ha estat molt plujós.

En canvi a la primavera es manté normal a la meitat nord del país i a la resta, plujosa.

Comportament de la precipitació hivern per unitats hidrogeològiques. Any 2020

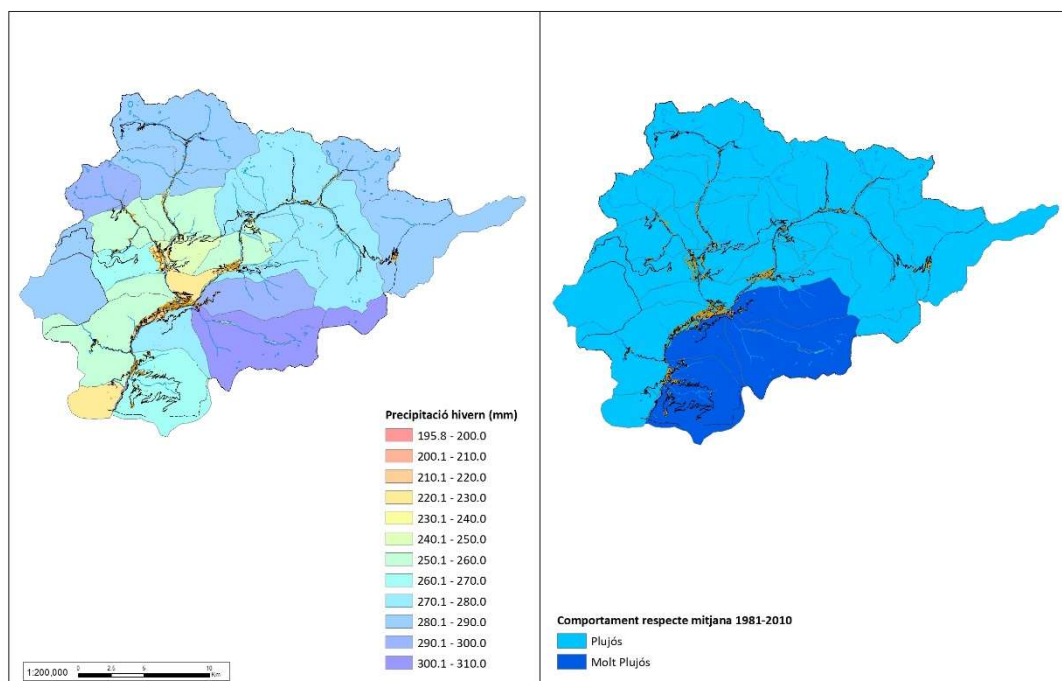


Figura 24. Mapa comparatiu de les precipitacions de l'hivern del 2020 amb la mitjana climàtica 1981-2010 en les diferents unitats hidrogeològiques

Comportament de la precipitació primavera per unitats hidrogeològiques. Any 2020

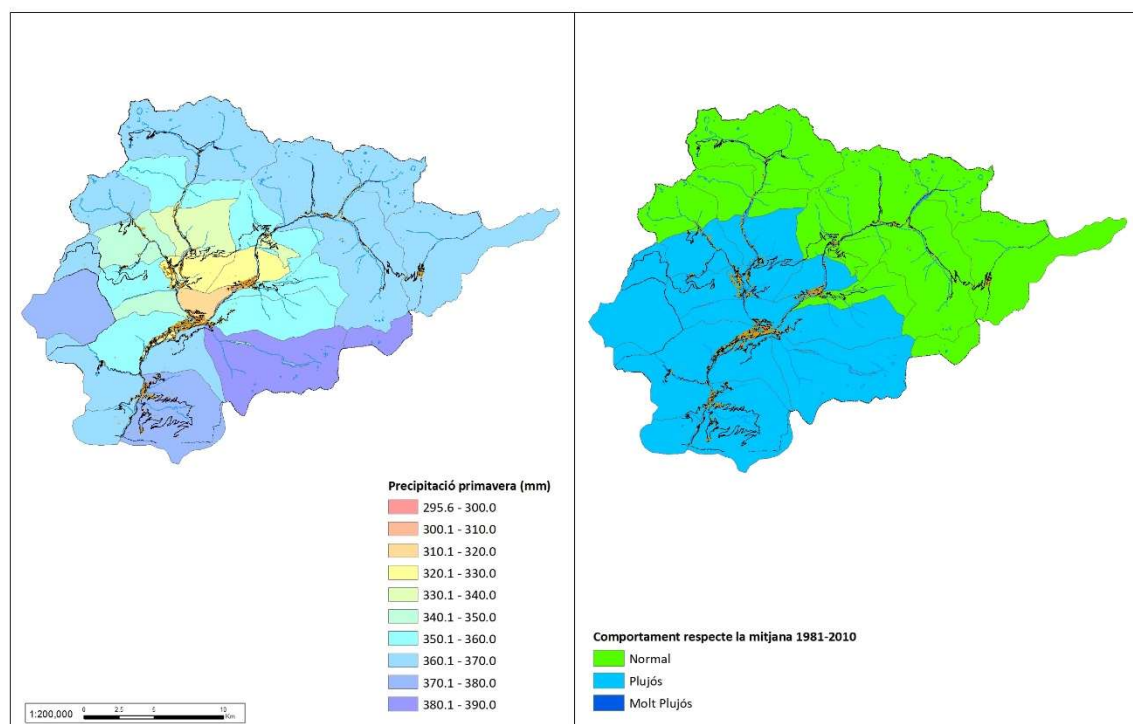


Figura 25. Mapa comparatiu de les precipitacions de la primavera del 2020 amb la mitjana climàtica 1981-2010 en les diferents unitats hidrogeològiques

Comportament de la precipitació estiu per unitats hidrogeològiques. Any 2020

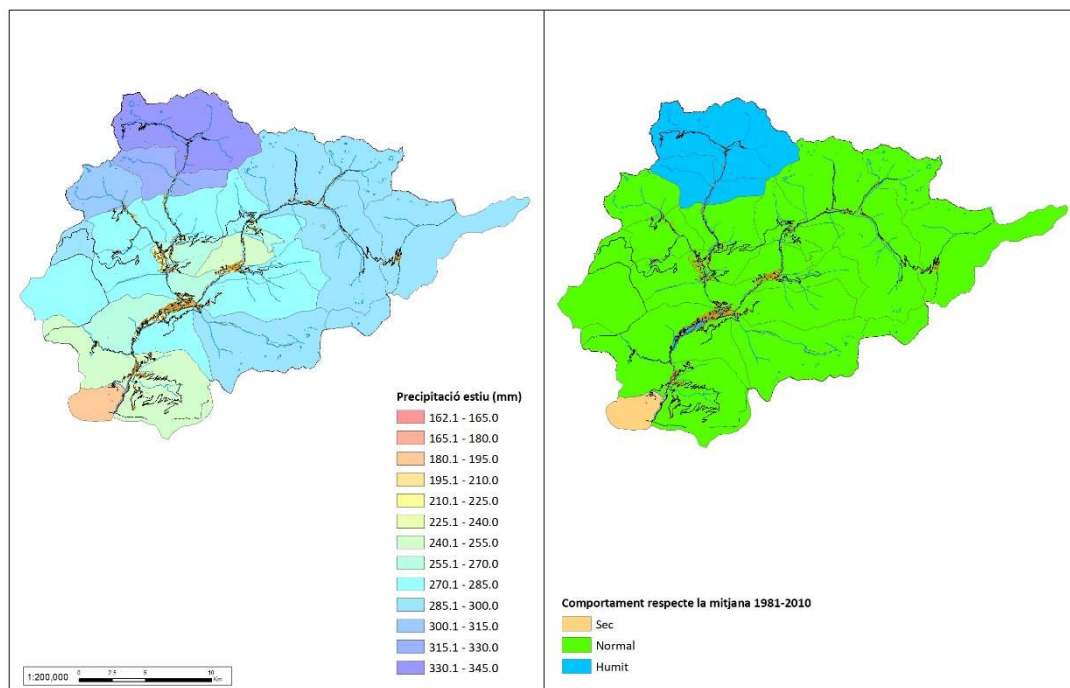


Figura 26. Mapa comparatiu de les precipitacions de l'estiu del 2020 amb la mitjana climàtica 1981-2010 en les diferents unitats hidrogeològiques

Comportament de la precipitació tardor per unitats hidrogeològiques. Any 2020

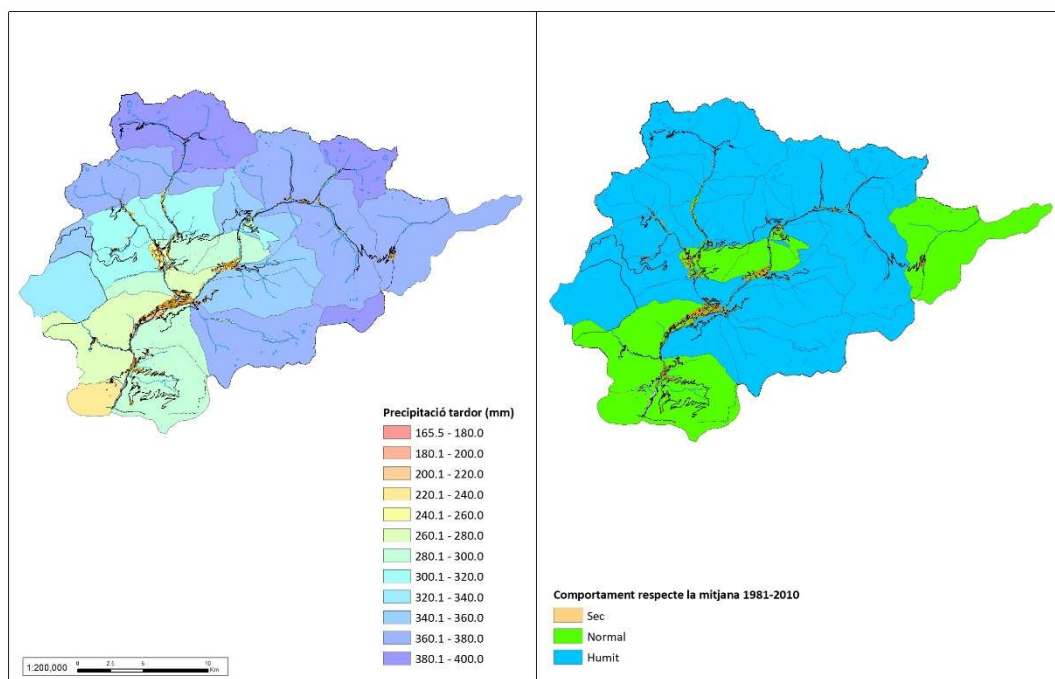


Figura 27. Mapa comparatiu de les precipitacions de la tardor del 2020 amb la mitjana climàtica 1981-2010 en les diferents unitats hidrogeològiques

Les pluges de l'estiu han estat bàsicament normals excepte a la unitat de les Pardines (sud oest) que ha estat sec, i al sector de Valira del Nord i a les Salines que s'ha registrat humit.

A la tardor el comportament de les pluges ha estat humit amb l'excepció del nord est, centre i sud oest que ha estat normal.

Les temperatures, quan també les comparem amb la mitjana 1981-2010 veiem que en conjunt s'ha tractat d'un any normal, amb alguns sectors càlids, del centre i sud del país.

Comportament de la temperatura anual per unitats hidrogeològiques. Any 2020

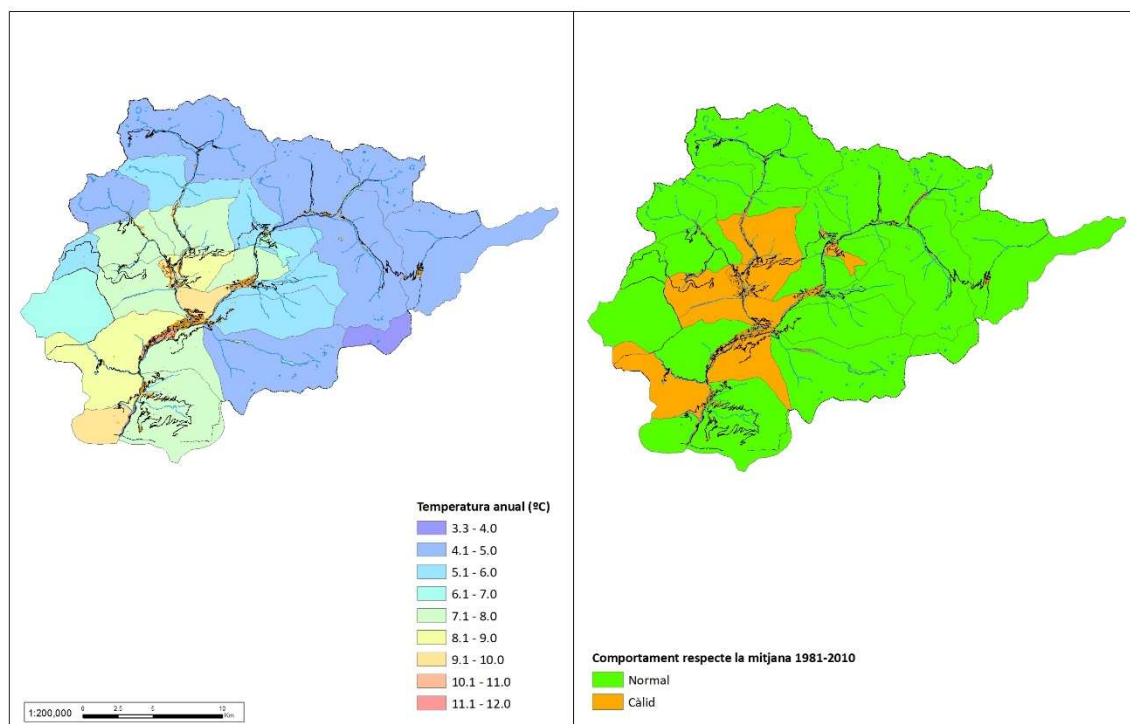


Figura 28. Mapa comparatiu de la temperatura del 2020 amb la mitjana climàtica 1981-2010 en les diferents unitats hidrogeològiques

Estacionalment, veiem que l'hivern ha estat càlid a tot el país, amb temperatures per sobre els 0°C de mitjana en totes les unitats. De fet, si mirem el mapa de temperatures de l'hivern, veiem que només en capçalera la temperatura mitja es manté per sota els 0°C.

Comportament de la temperatura hivern per unitats hidrogeològiques. Any 2020

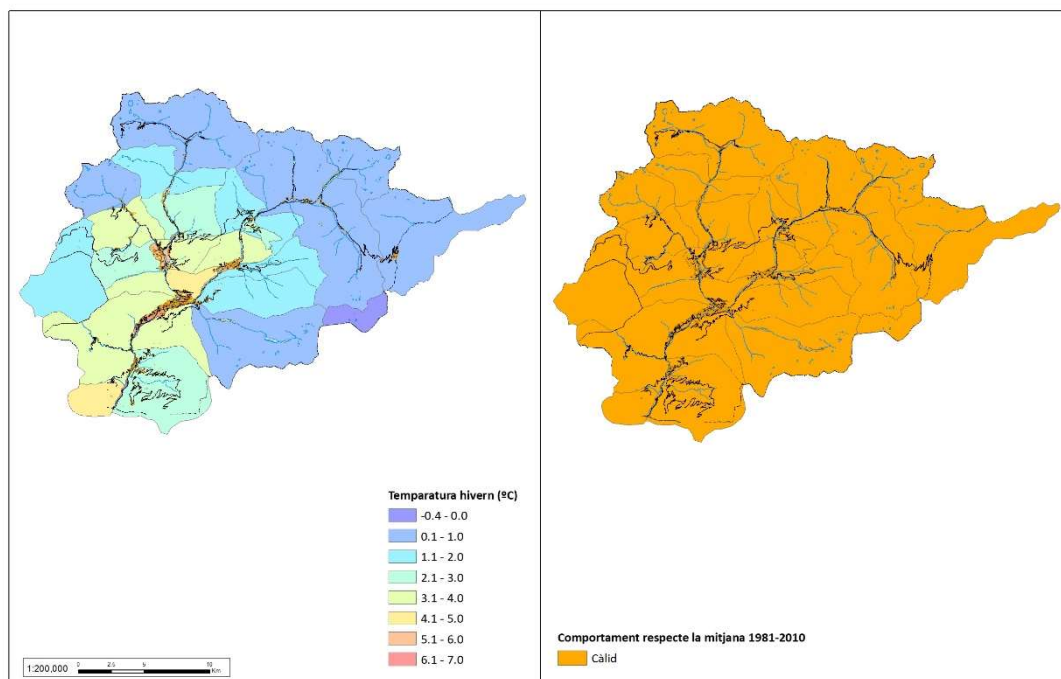


Figura 29. Mapa comparatiu de la temperatura de l'hivern del 2020 amb la mitjana climàtica 1981-2010 en les diferents unitats hidrogeològiques

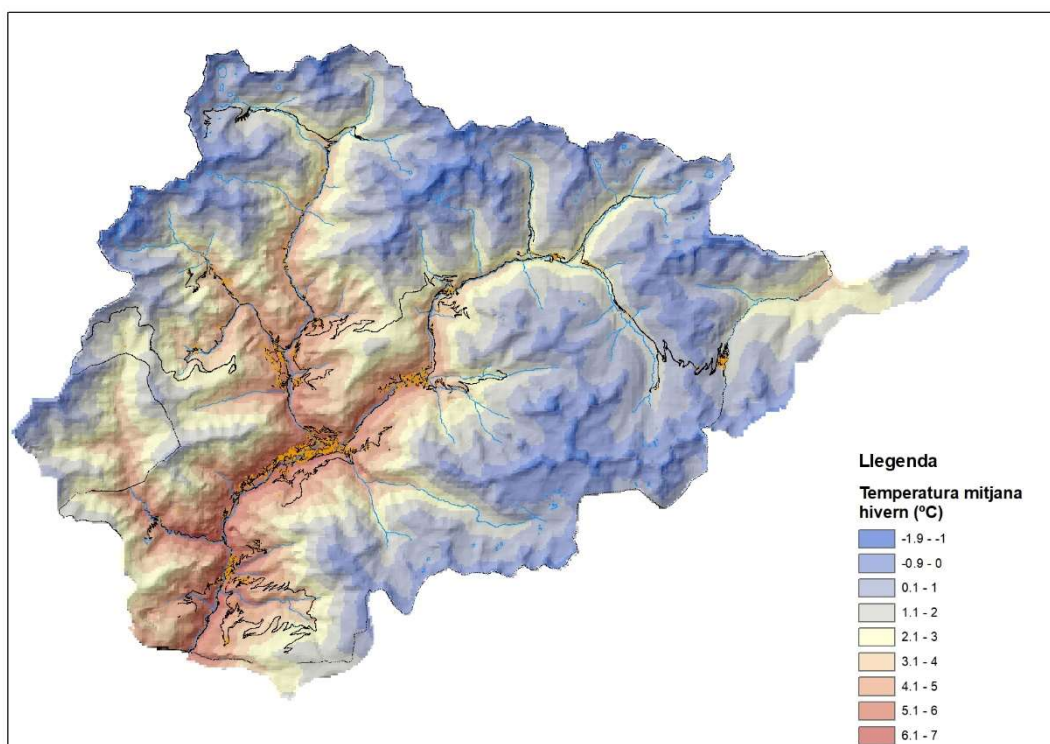


Figura 30. Mapa de distribució de la temperatura mitja de l'hivern del 2020

A la primavera la temperatura ha estat sobretot normal a les unitats perimetrals, excepte al sud, i al nord i a la resta del país que trobem unitats amb temperatures càlides.

A l'estiu, el conjunt de territori ha presentat valors normals.

Comportament de la temperatura primavera per unitats hidrogeològiques. Any 2020

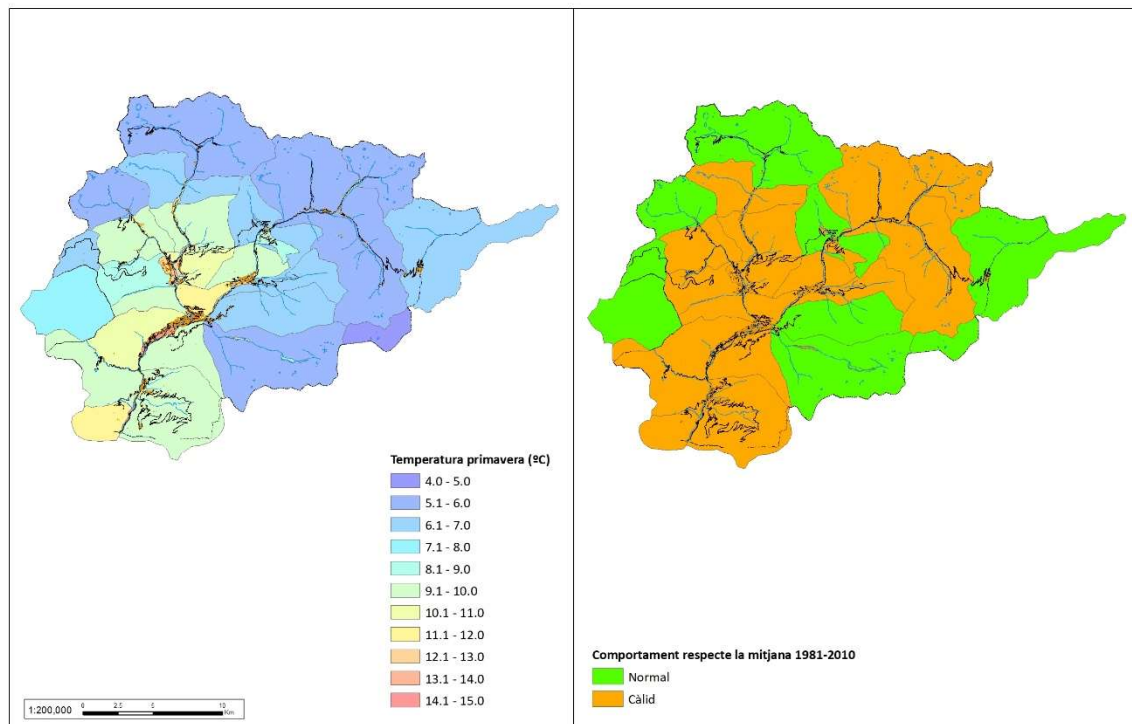


Figura 31. Mapa comparatiu de la temperatura de la primavera del 2020 amb la mitjana climàtica 1981-2010 en les diferents unitats hidrogeològiques

A la tardor, les temperatures han estat fredes, excepte en la unitat de Prat Primer i de Muntaner que han tingut valors normals.

Comportament de la temperatura estiu per unitats hidrogeològiques. Any 2020

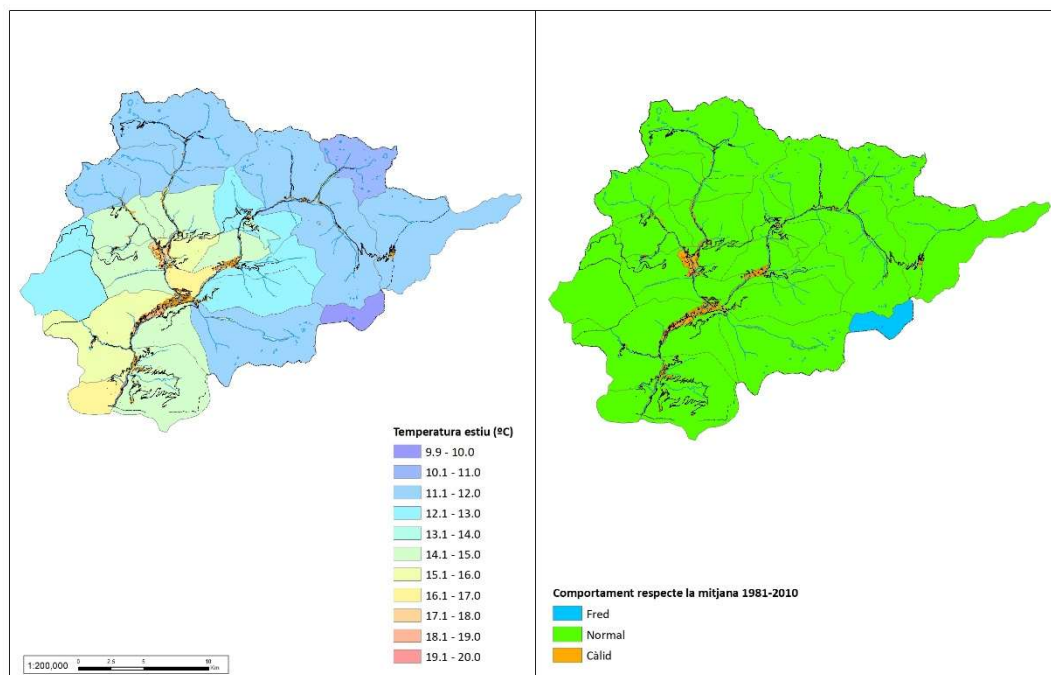


Figura 32. Mapa comparatiu de la temperatura de l'estiu del 2020 amb la mitjana climàtica 1981-2010 en les diferents unitats hidrogeològiques

Comportament de la temperatura tardor per unitats hidrogeològiques. Any 2020

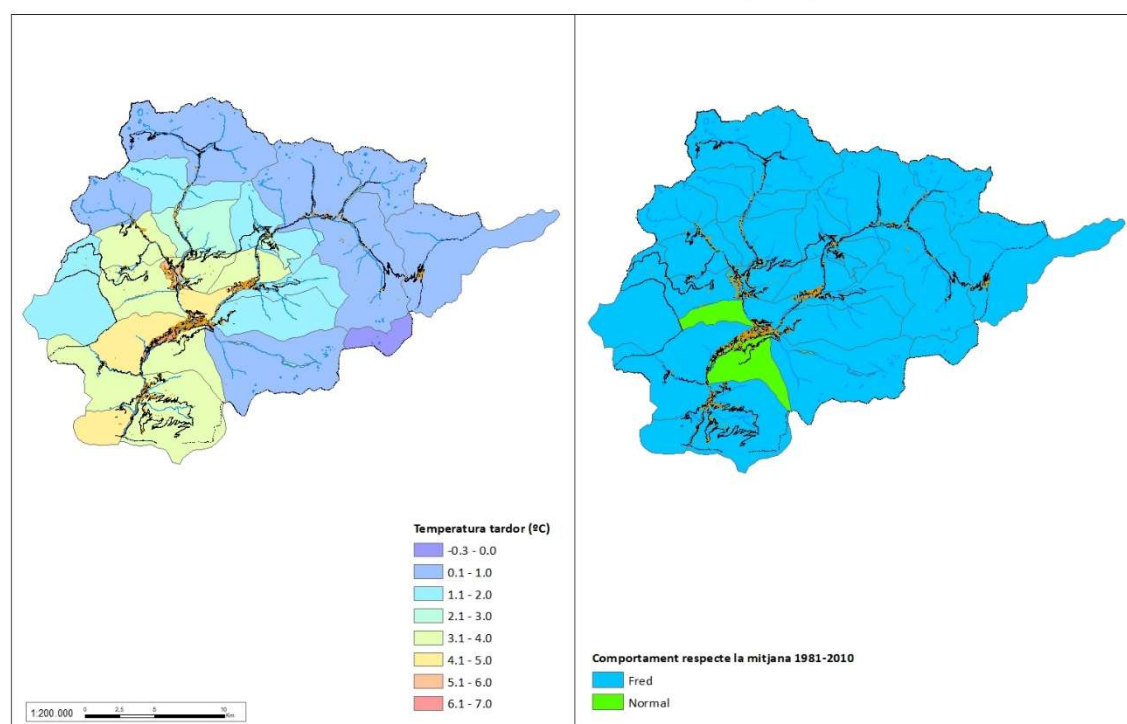


Figura 33. Mapa comparatiu de la temperatura de la tardor del 2020 amb la mitjana climàtica 1981-2010 en les diferents unitats hidrogeològiques

En relació a l'ETR, trobem valors màxims a la unitat de de la cubeta d'Andorra la Vella amb 589 mm, i mínim de 386 mm a la unitat de Montmalús.

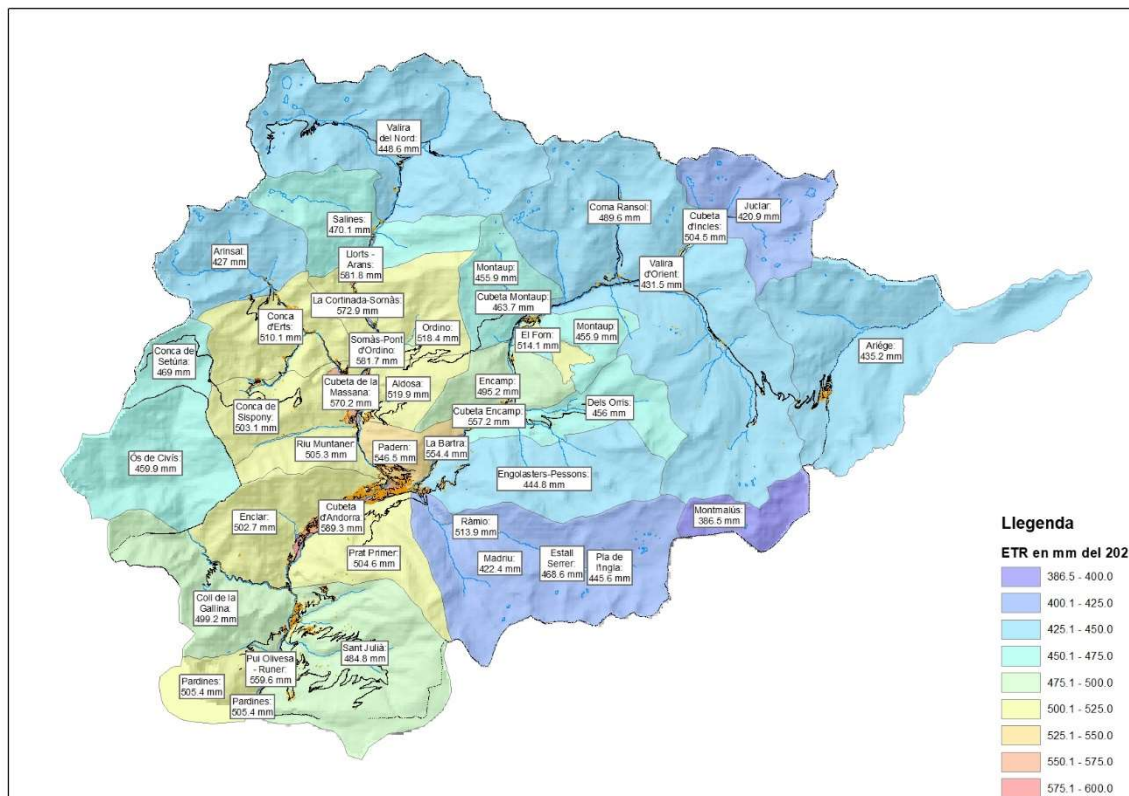


Figura 34. Mapa de distribució de l'ETR en les diferents unitats hidrogeològiques descrites en l'estudi del M.I. Govern, 2007

La unitat hidrogeològica amb major excedent d'aigua ha estat Montmalús, Arinsal i Madriu, amb valors per sobre els 900 mm, i on s'ha registrat un valor més baix ha estat a la unitat del Pui d'Olivesa, amb 350 mm.

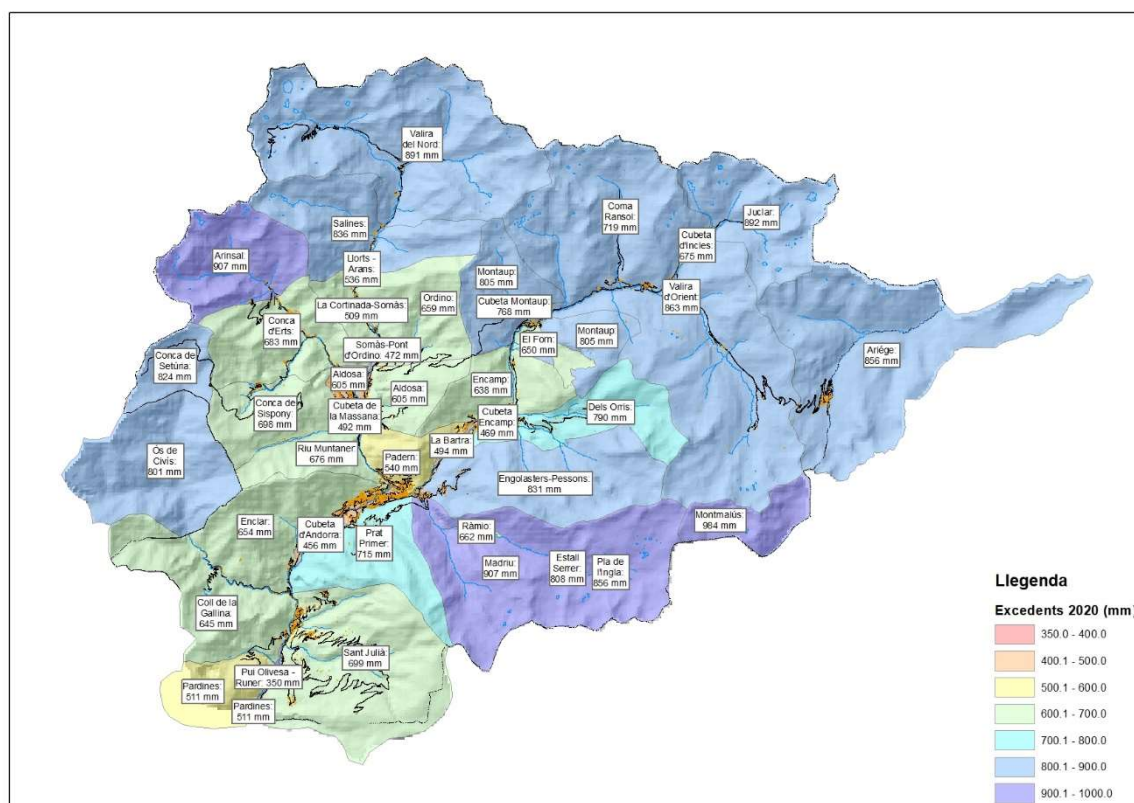


Figura 35. Mapa de distribució de la pluja útil en les diferents unitats hidrogeològiques descrites en l'estudi del M.I. Govern, 2007

La **figura 36** 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, entre el 10 i el 80% per sobre.

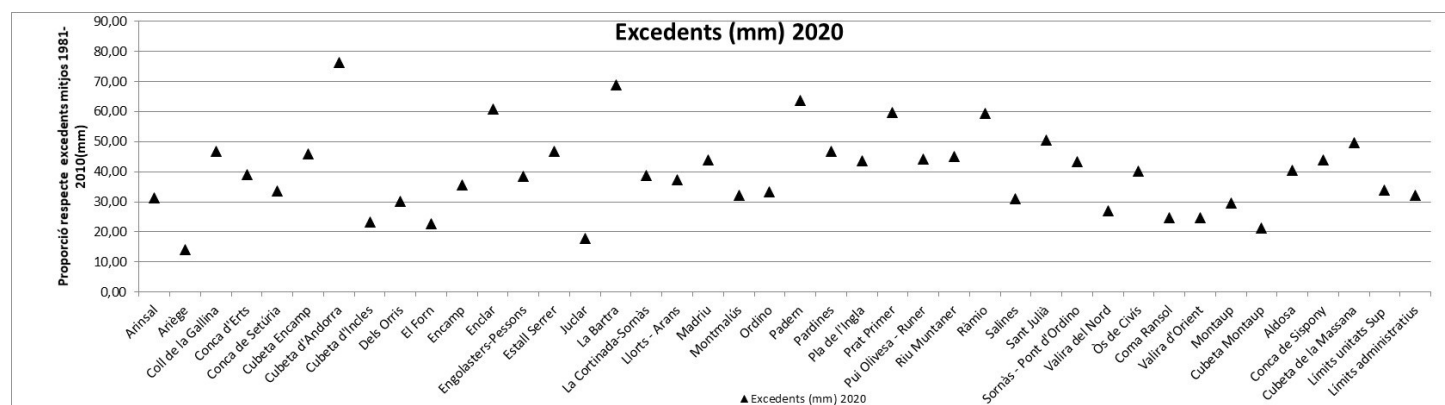


Figura 36. Gràfic de distribució dels excedents en les diferents unitats hidrogeològiques descrites en l'estudi del M.I. Govern, 2007. Si el valor mig representa el 100%, els valors del gràfic representen el percentatge per sobre o per sota la mitjana.

En base al comentat, si comparem els excedents del 2020 amb els obtinguts en el període de 30 anys de referència 1981-2010 veiem que es tracta d'un any humit.

Comportament dels excedents anuals per unitats hidrogeològiques. Any 2020

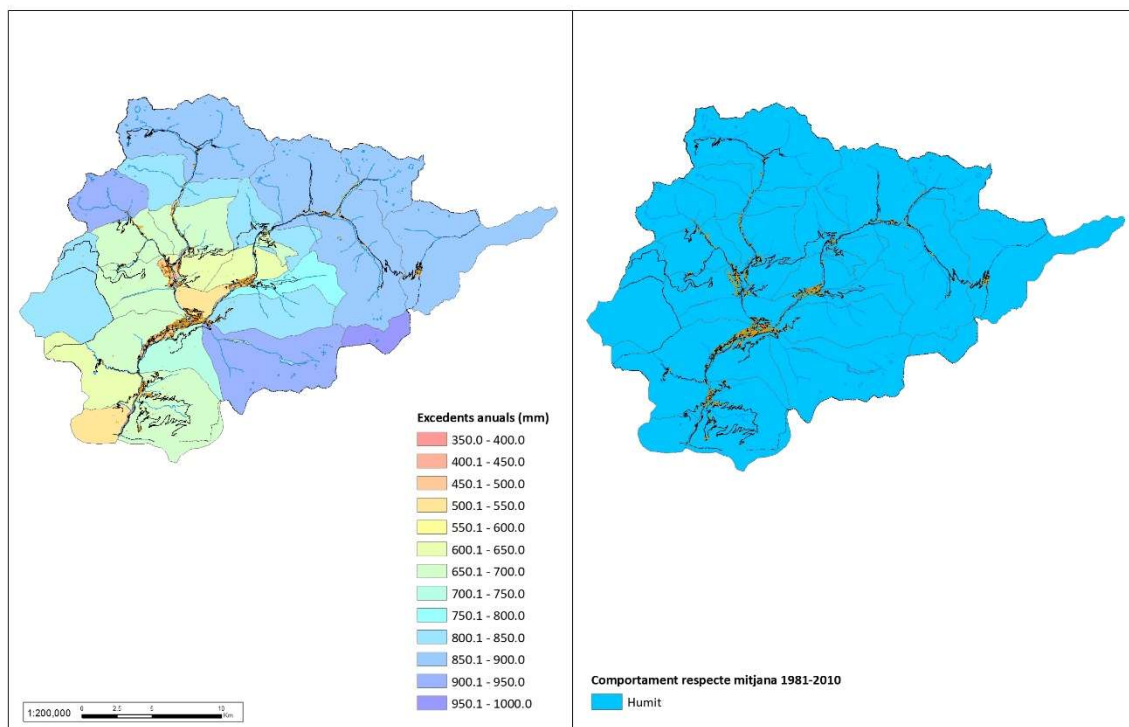


Figura 37. Mapa comparatiu dels excedents estimats del 2020 amb la mitjana climàtica 1981-2010 en les diferents unitats hidrogeològiques

Estacionalment, veiem que l'hivern el 2020 ha estat molt humit al sector sud est i humit a la resta de país.

Comportament dels excedents hivern per unitats hidrogeològiques. Any 2020

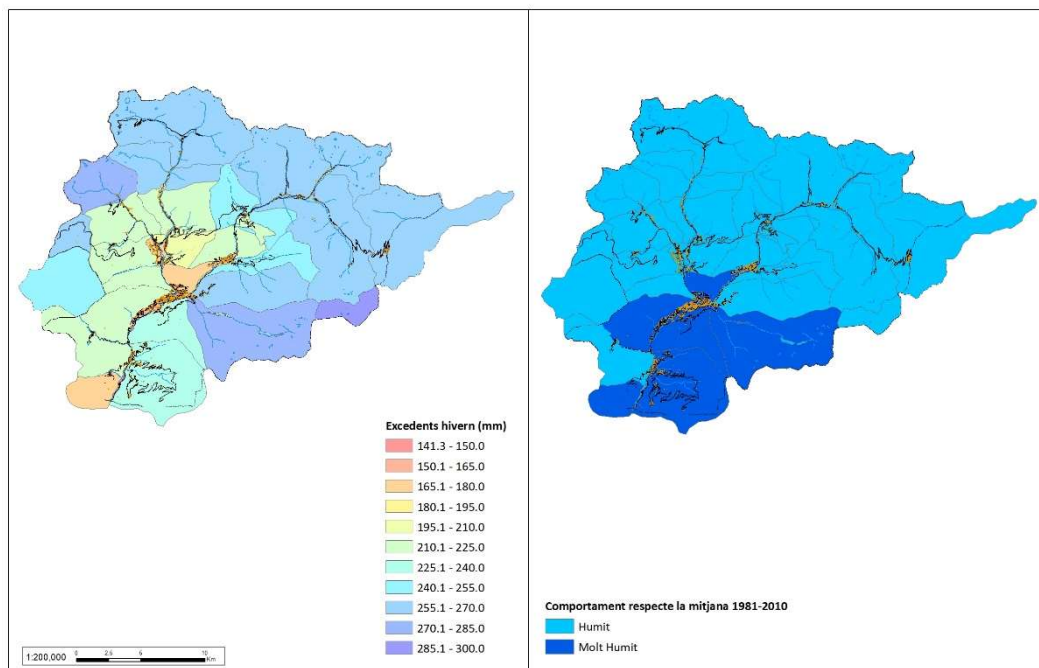


Figura 38. Mapa comparatiu dels excedents estimats a l'hivern del 2020 amb la mitjana climàtica 1981-2010 en les diferents unitats hidrogeològiques

Comportament dels excedents primavera per unitats hidrogeològiques. Any 2020

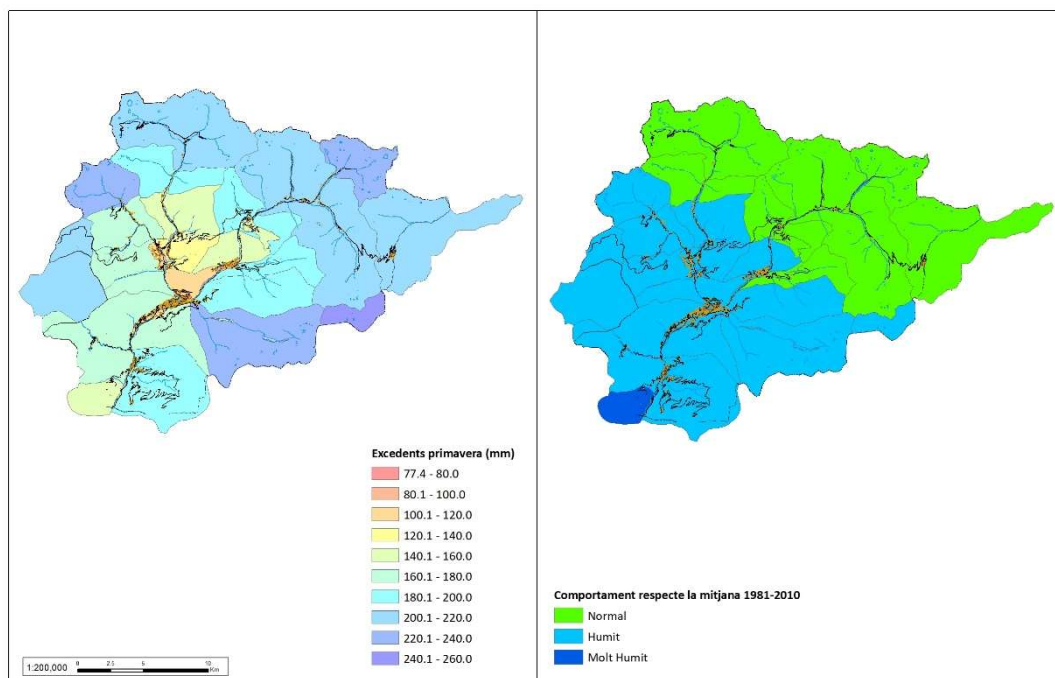


Figura 39. Mapa comparatiu dels excedents estimats a la primavera del 2020 amb la mitjana climàtica 1981-2010 en les diferents unitats hidrogeològiques

Comportament dels excedents estiu per unitats hidrogeològiques. Any 2020

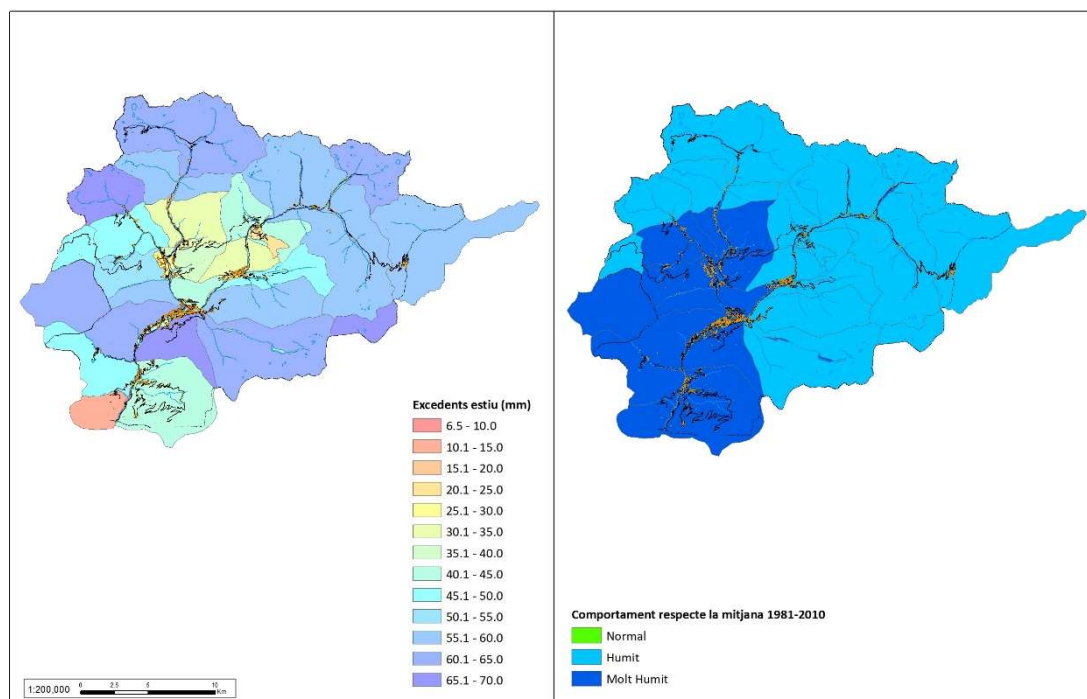


Figura 40. Mapa comparatiu dels excedents estimats a l'estiu del 2020 amb la mitjana climàtica 1981-2010 en les diferents unitats hidrogeològiques

Comportament dels excedents tardor per unitats hidrogeològiques. Any 2020

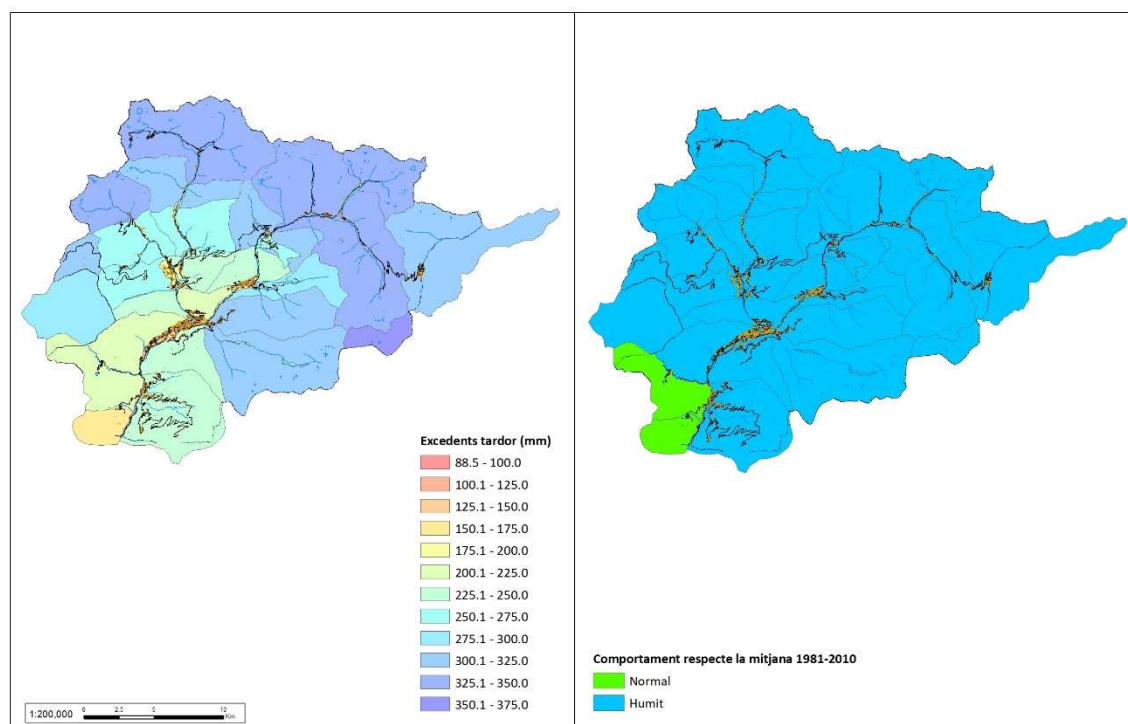


Figura 41. Mapa comparatiu dels excedents estimats a la tardor del 2020 amb la mitjana climàtica 1981-2010 en les diferents unitats hidrogeològiques

A la primavera en canvi, els excedents han estat normals al nord del país, i humits a la resta, excepte a la unitat de les Pardines que s'estima que ha estat molt humit.

A l'estiu, s'observa que excepte la meitat occidental (excepte la nord) que ha estat molt humida, a la resta, ha estat un estiu humit.

Els excedents de la tardor indiquen que s'han tingut valors normals, excepte a la unitat del Coll de la Gallina i les Pardines que ha estat normal.

6 EL BALANÇ HÍDRIC EN DIFERENTS CONQUES HIDROGRÀFIQUES

Els resultats del balanç hídric també han permès estimar els recursos per a diferents conques hidrogràfiques. En les següents figures es mostra la ubicació de les conques analitzades,

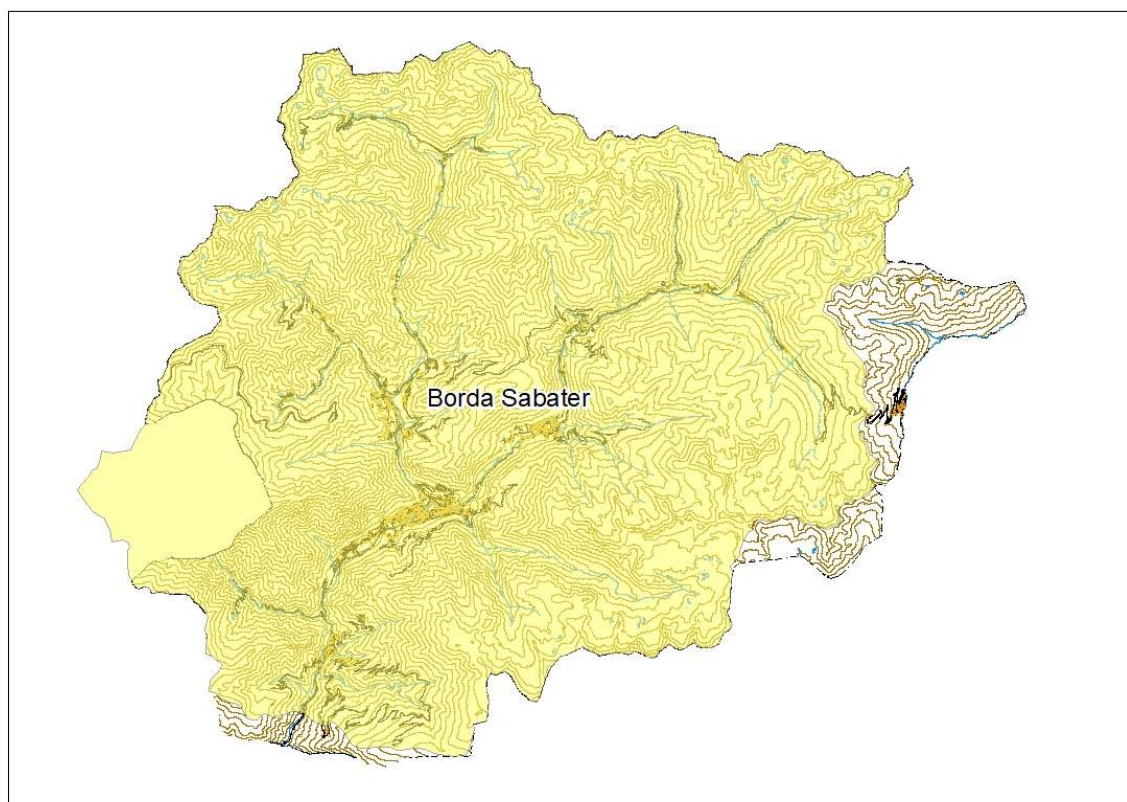


Figura 42. Mapa de situació de les diferents conques analitzades: Borda sabater

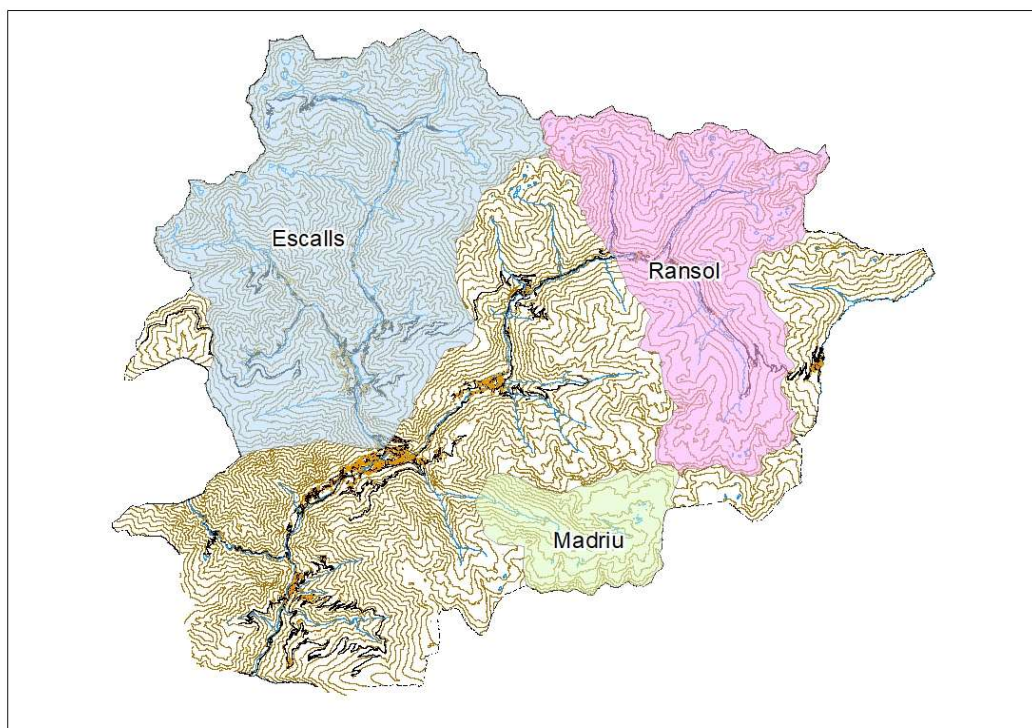


Figura 43. Mapa de situació de les diferents conques analitzades: Escalls, Madriu feda, Ransol-Valira Orient

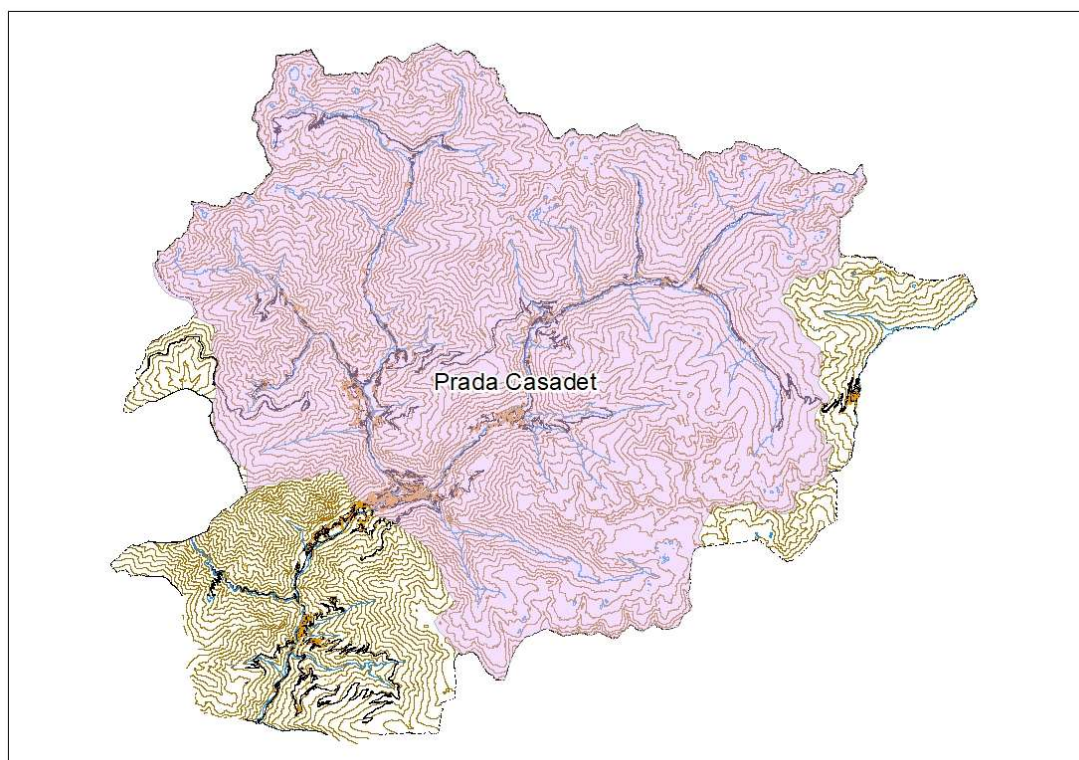


Figura 44. Mapa de situació de les diferents conques analitzades: Prada Casadet

En els següents gràfics es dona el valor de la precipitació, temperatura i cabals estimats per diferents conques hidrogràfiques i es compara amb els seus corresponents valors mitjos (1981-2010). La representació es fa anualment, i trimestralment. En el cas de l'anàlisi trimestral, s'ha considerat el primer trimestre com a representatiu de l'hivern, el segon, de la primavera, el tercer, a l'estiu i el quart, a la tardor.

Els cabals estimats (excedents transformats a cabals) aquest 2020 han estat superiors en les conques del riu Gran Valira, i similars a la mitjana en la conca del Madriu, del Valira del Nord i del Valira d'Orient. En l'anàlisi estacional s'observa el mateix, a la primavera els cabals són similars en totes les conques al valor mig 1981-2010.

L'anàlisi anual permet veure que les precipitacions al 2020 han estat superiors en totes les conques. En l'anàlisi estacional s'observa pràcticament el mateix, només que a l'hivern, l'increment de pluges és més alt, amb un valor màxim de +152 mm, i l'estiu es pot dir els valors són els mateixos que els valors mitjos de 30 anys. A la tardor l'increment és més modest, com a la primavera, amb valors de fins a +70 mm.

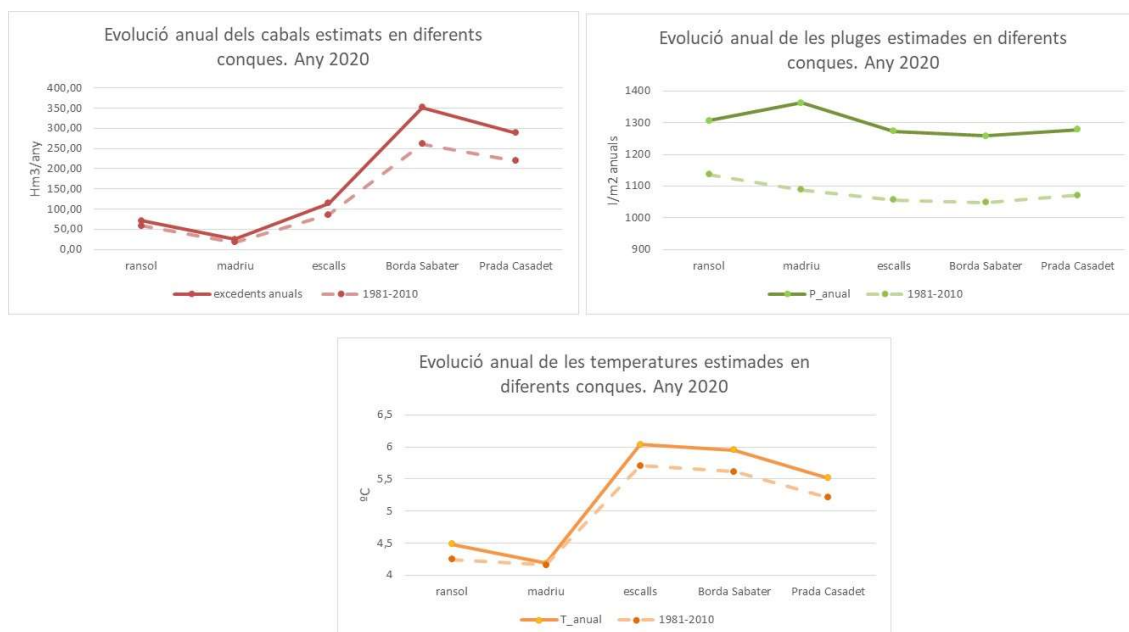


Figura 45. Anàlisi anual dels cabals estimats, de les precipitacions i de la temperatura en les diferents conques.

L'anàlisi de la temperatura mitja anual de cada conca del 2020 és superior o similar al valor mig 1981-2010, amb un increment màxim de +0.34°C (Valira del Nord i Gran Valira).

A l'hivern aquesta variació és més exagerada i uniforme en totes les conques, amb un increment de fins a +1.91°C i mentre el valor mig de la temperatura, de cada conca per la sèrie de 30 anys està per sota els 0°C, al 2020, en totes les conques està per sobre els zero °C i acaba essent el moment de l'any on les temperatures han estat més altes respecte la mitja de 30 anys. A la primavera els valors són també superiors als de la mitja 1981-2010 però amb un increment màxim de fins a +0.68°C. A l'estiu, en canvi, la temperatura del 2020 és lleugerament més baixa que la mitja de 30 anys (fins a -0.54°C) i a la tardor també, amb una disminució màxima de fins a -1.34°C, essent el moment de l'any que les temperatures han estat més baixes respecte la mitja de 30 anys.

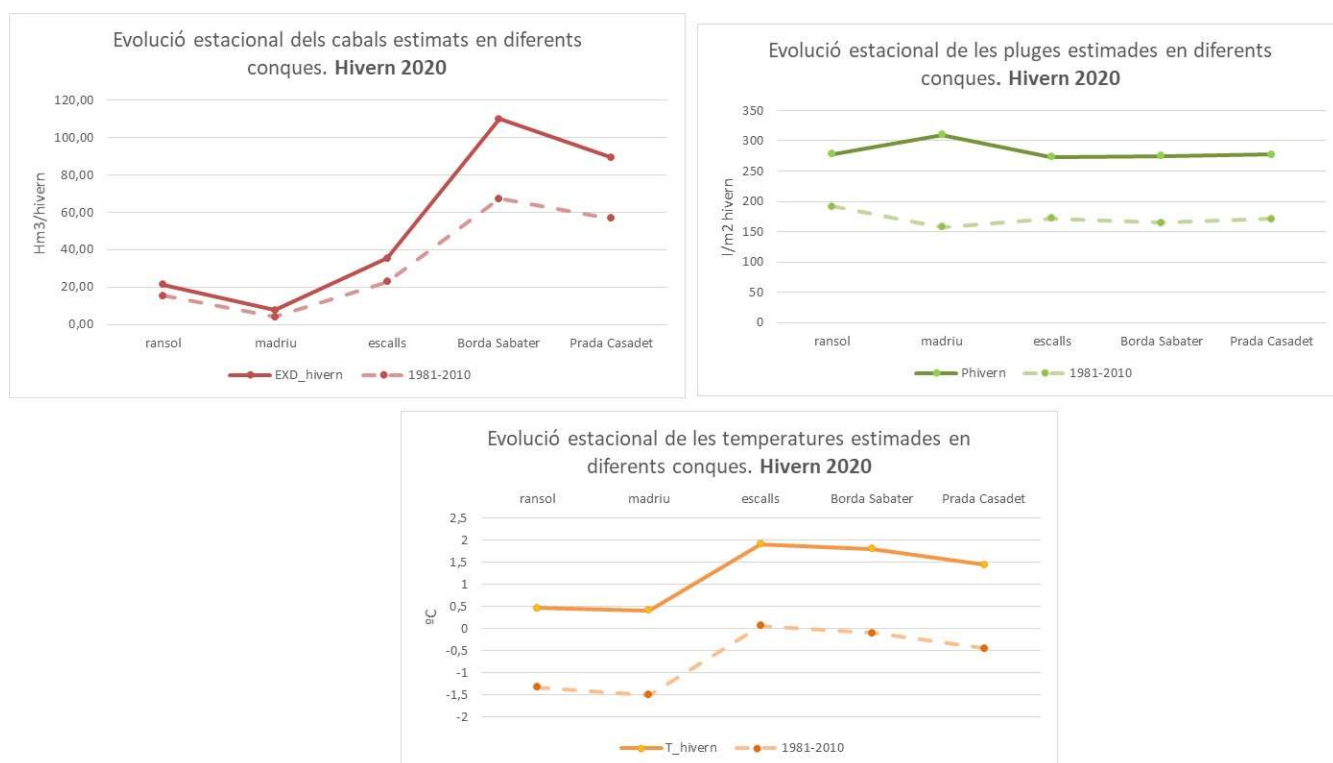


Figura 46. Anàlisi de l'hivern dels cabals estimats, de les precipitacions i de la temperatura en les diferents conques.

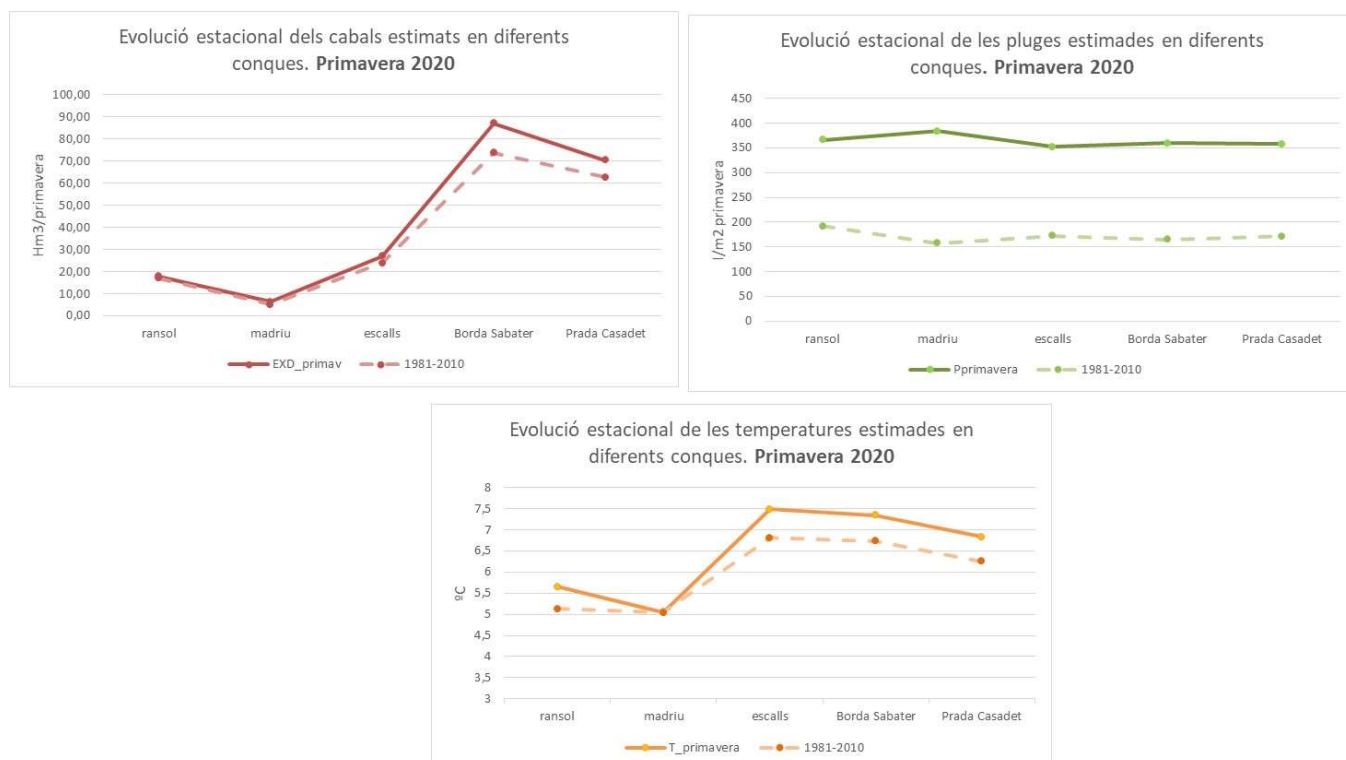


Figura 47. Anàlisi de la primavera dels cabals estimats, de les precipitacions i de la temperatura en les diferents conques.

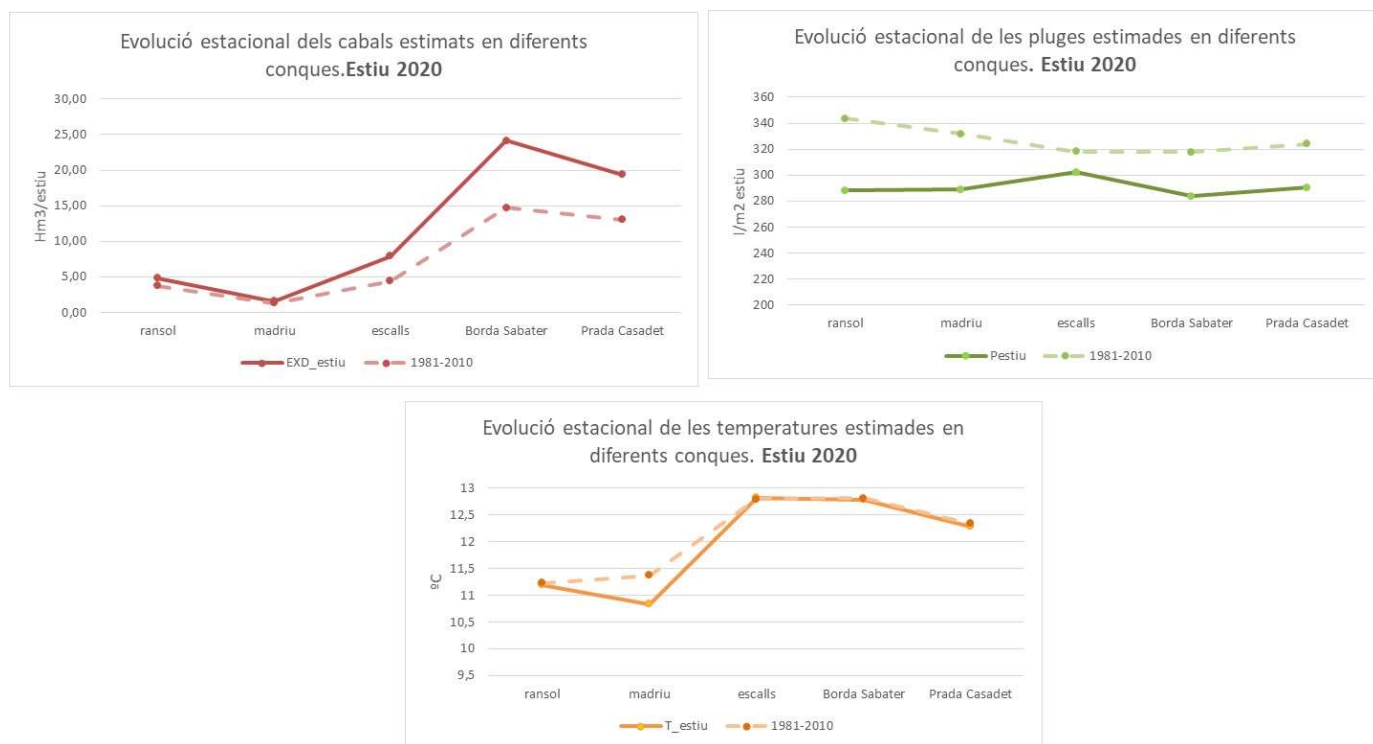


Figura 48. Anàlisi de l'estiu dels cabals estimats, de les precipitacions i de la temperatura en les diferents conques.

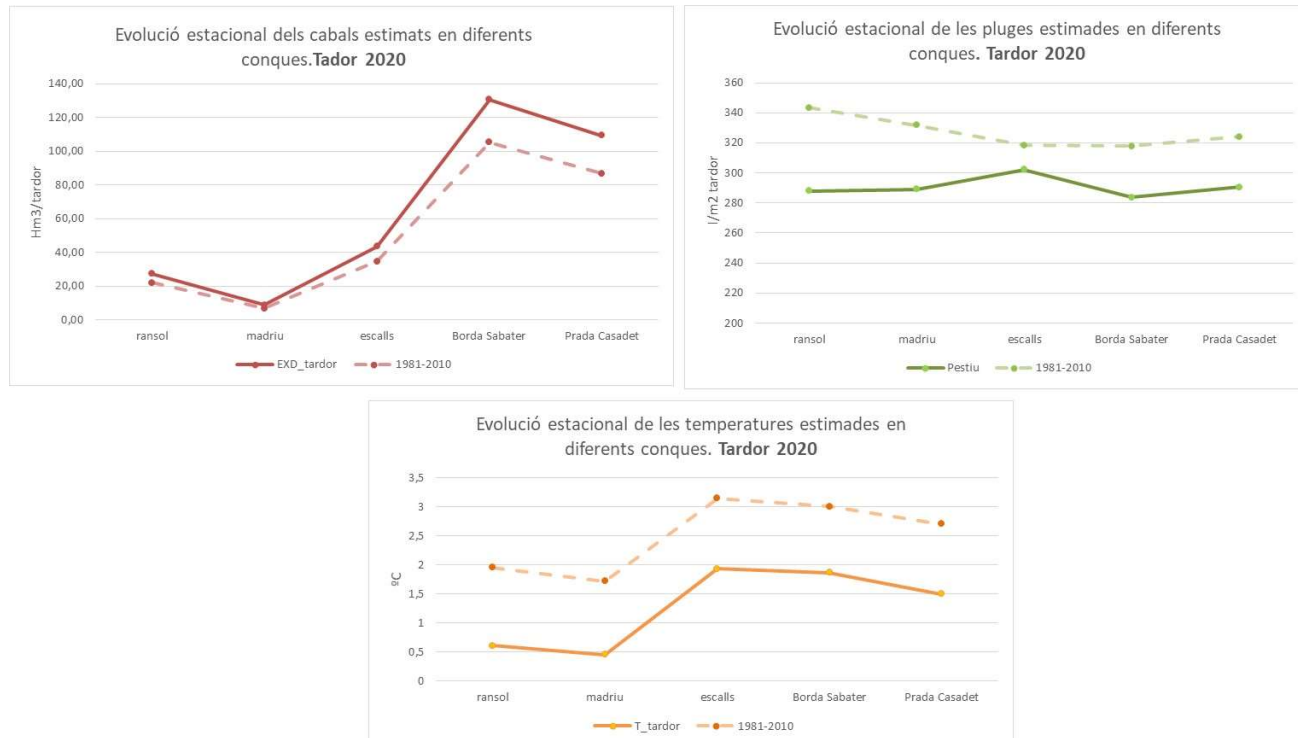


Figura 49. Anàlisi de la tardor dels cabals estimats, de les precipitacions i de la temperatura en les diferents conques.

7 CONCLUSIONS

Aquest 2020 el mòdul de precipitació mig del territori andorrà s'estima que és de 1260 mm quan la mitja de 30 anys és d'uns 1054 mm. El 2020 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 2020 s'estima que ha estat de 5,9 °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**.

L'anàlisi estacional dut a terme de la temperatura i precipitació comparant-la amb la mitjana climàtica de 30 anys permet observar que aquest 2020 ha tingut un hivern càlid (sense temperatures mitges per sota els 0 °C en totes les unitats hidrogeològiques) i plujós. La primavera ha estat entre normal i càlida per a les temperatures, i entre plujosa i també normal, pel que fa a les pluges. A l'estiu la temperatura s'ha mantingut normal i les precipitacions també, mentre que a la tardor les pluges han estat superiors a la mitjana i la temperatura ha estat més freda.

El mètode de càlcul per estimar la pluja útil de cada unitat ha estat mitjançant el càlcul de l'ETP segons Thornthwait, a través d'un balanç hidrometeorològic.

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 2020 d'uns 415 Hm³/any, calculats mitjançant el balanç hídric amb el mètode de Thornhwaite, i d'aquests, 373 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 2020 representa uns 370 Hm³/any. D'aquests, 333 Hm³/any serien disponibles, reservant-se el 10% com a cabals "ecològic". El 2020 s'ha tractat d'un any en conjunt amb majors excedents que la mitjana (valorat amb 598 mm/any -límit administratiu-)

L'anàlisi estacional dels excedents comparant-los amb la mitjana climàtica de 30 anys permet observar que aquest 2020 han estat a l'hivern, estiu i tardor superiors a la mitjana i a la primavera també però no homogèniament, hi ha hagut sectors amb excedents normals.

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, 20. Estudi de per a l'elaboració anyal del balanç hídric del Principat d'Andorra. Període 2013-2018
- Govern d'Andorra, Desembre 2020. Estudi de per a l'elaboració anyal del balanç hídric del Principat d'Andorra. Any 2019
- 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, 8 de març del 2022

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 **8.6 mm** 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 2020 s'inicia amb la reserva del desembre del 2019, que era de **8.6 mm** i finalitza el desembre del 2020 amb la reserva a **8.6 mm**.

El mapa de distribució de l'ETR anual (**Figura 50**) presenta un valor mig de 461 mm/any, amb valors màxims al voltant dels 600 mm i mínims inferiors als 350 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.

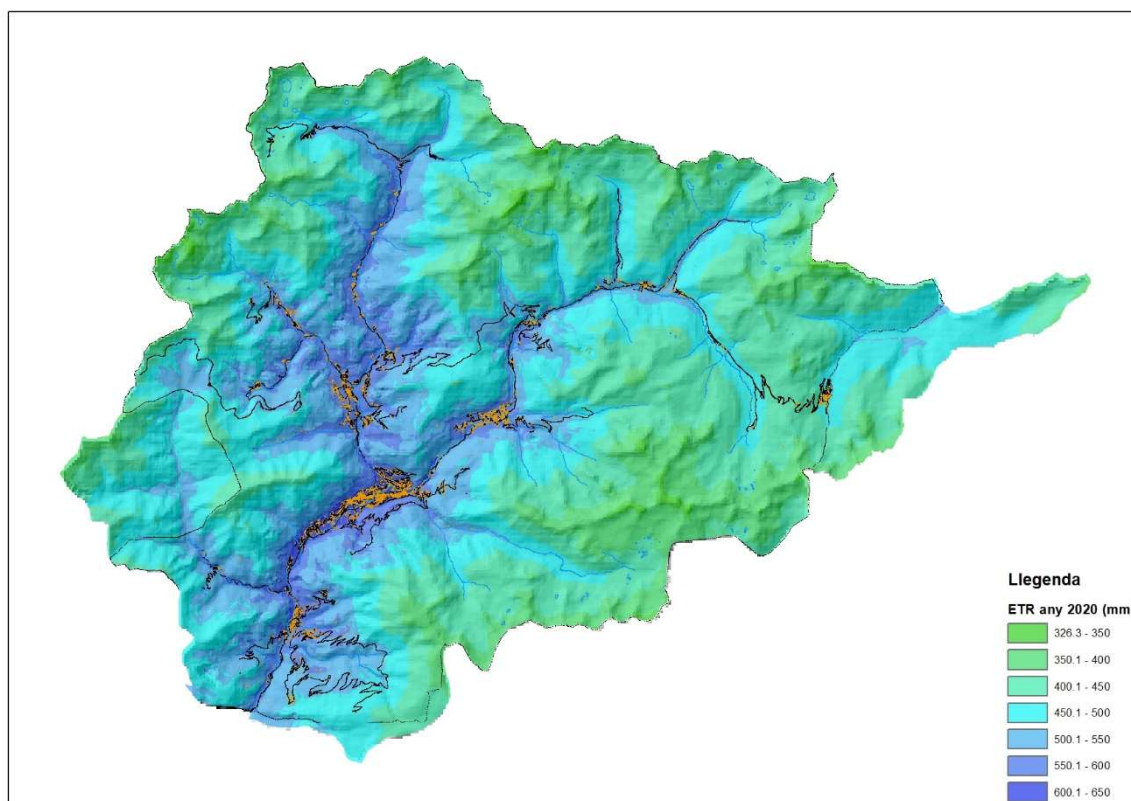


Figura 50. : Mapa de distribució de l'ETR_2020

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 51**).

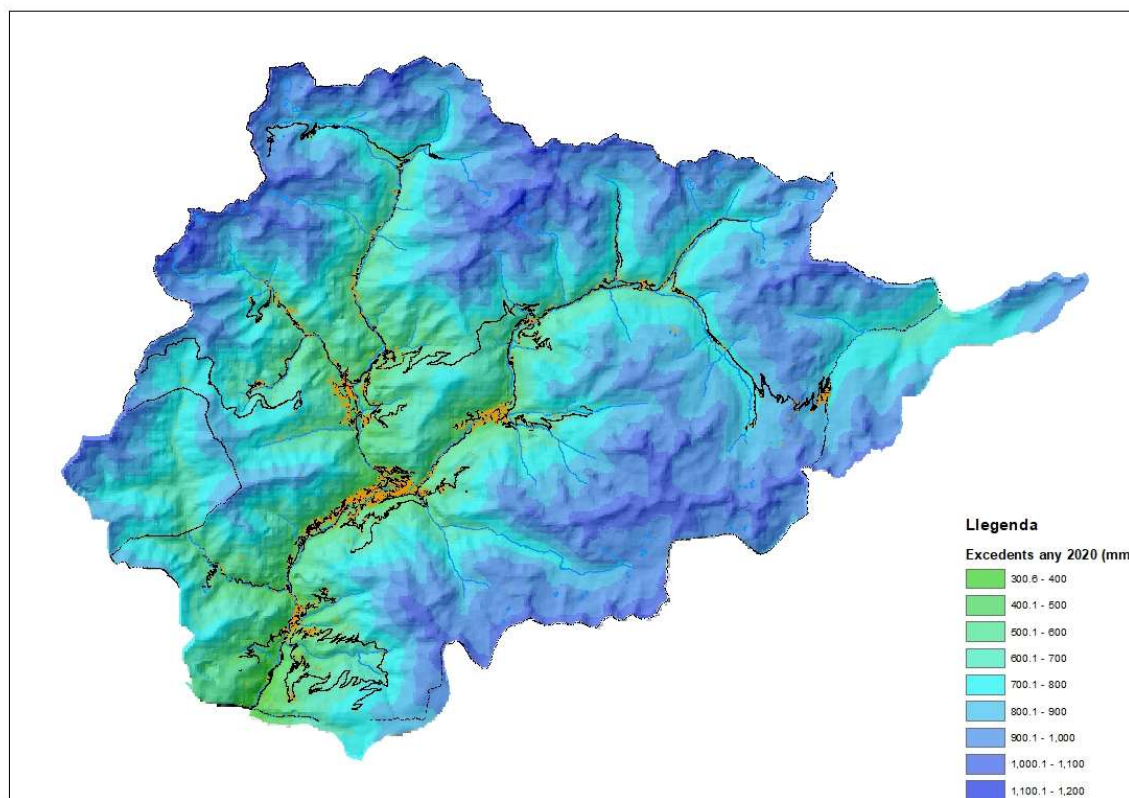


Figura 51. Mapa de distribució de la pluja útil o excedents estimats per l'any 2020

La pluja útil o excedents estimats presenten un valor mig de 794 mm. Els valors màxims són superiors als 1100 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 400 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 52), permet veure que en termes mitjos el dèficit ha estat baix en quasi tot el país, excepte al fons de vall del sud del país.

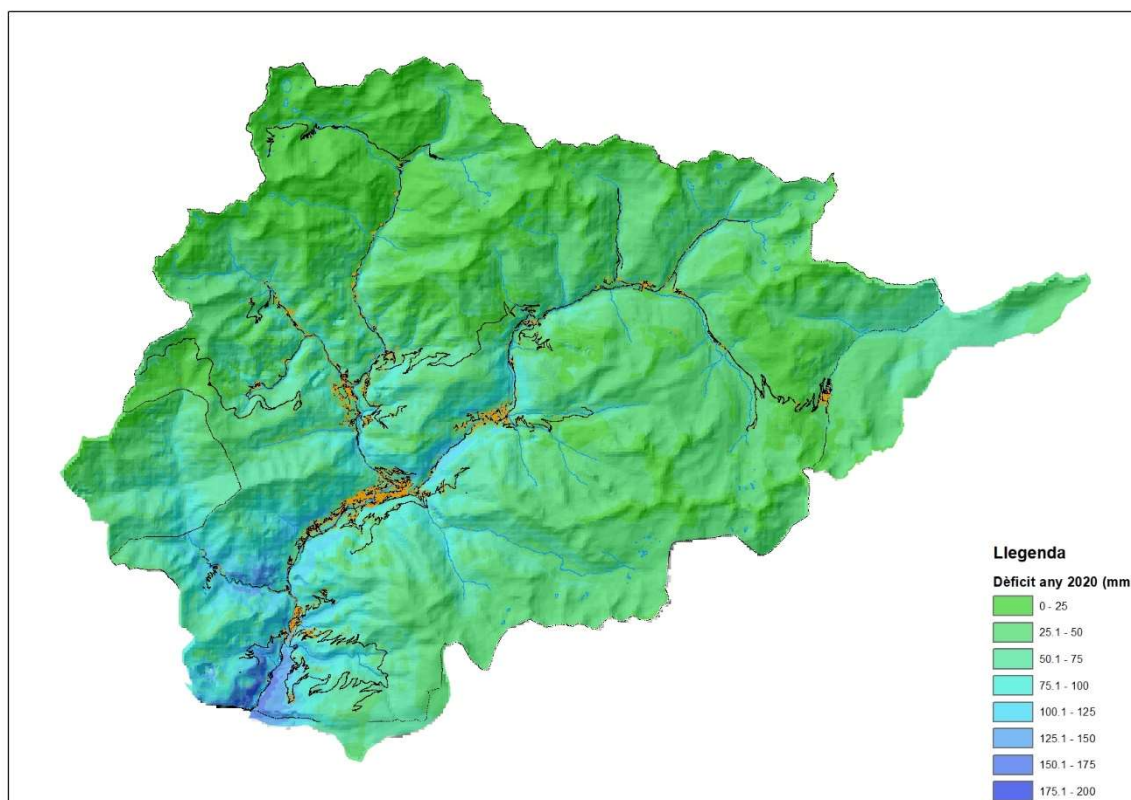
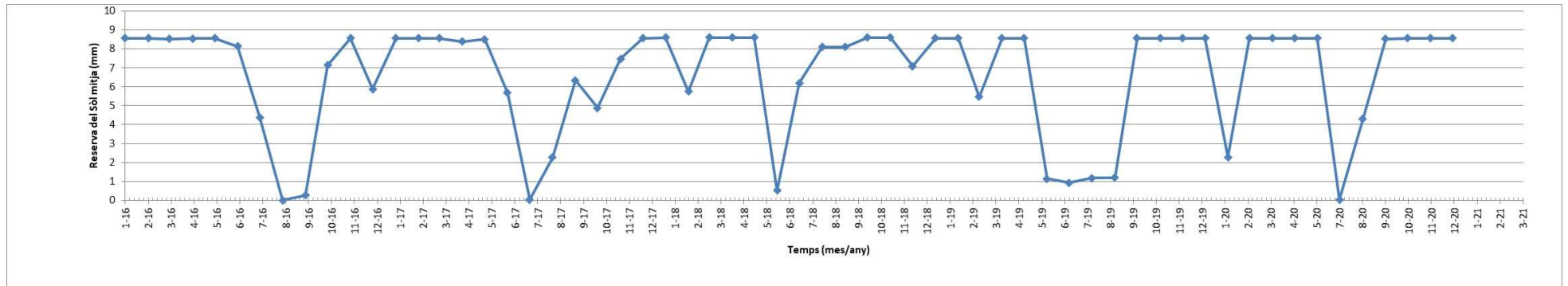


Figura 52. Mapa de distribució dels dèficits estimats per l'any 2020. R= variable, seguint el mètode de Thornthwaite El mètode de càlcul ha consistit en la diferència entre ETP i ETR quan no hi ha reserva disponible.

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 2017, 2019 i 2020, 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 2016 i 2018.



Any	Variació de la reserva (mm)
2015	-6,12
2016	3,69
2017	2,68
2018	-1,46
2019	1,46
2020	0,00

Figura 53. Evolució de la reserva mitja mensual d'aigua del sòl des del 2016 fins al desembre del 2020. Dades obtingudes del balanç hídric efectuat a nivell de límit administratiu (S=467.45Km²)

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.



www.mediambient.ad