



Govern d'Andorra



Resultats del balanç hídric del Principat d'Andorra - any 2021 -

Ministeri de Medi Ambient, Agricultura i
Sostenibilitat

Andorra la Vella, Maig del 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	13
5	EL BALANÇ HÍDRIC EN LES UNITATS HIDROGEOLÒGIQUES	20
6	EL BALANÇ HÍDRIC EN DIFERENTS CONQUES HIDROGRÀFIQUES	35
7	CONCLUSIONS.....	41
8	BIBLIOGRAFIA.....	42
9	ANNEX DE DOCUMENTACIÓ. Càlcul del balanç hídric	43
9.1	Càlcul de l'evapotranspiració.....	44
9.1.1	Generalitats	44
9.1.2	Aplicació del mètode empíric de Thornthwaite	44
9.2	Càlcul de la pluja útil.....	47
9.3	Estimació del dèficit hídric	49
9.4	Evolució de la reserva d'aigua del sòl.....	50

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 l'ARI (Andorra Recerca i Innovació, abans CENMA)

El present estudi té per objectiu analitzar els resultats d'aquest balanç hídric calculat per l'any 2021.

Des del 2016 és l'ARI (Andorra Recerca i Innovació, abans CENMA) qui proporciona les dades base de precipitació (acumulació mensual) i temperatura (valors màxims i mínims diaris). Així mateix, l'ARI 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 l'ARI 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 l'ARI 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 l'ARI. 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) ARI: 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 2021.

El mapa de distribució de les precipitacions anuals permet veure que es tenen valors màxims de 1150 mm al nord i nord-est del país, i mínims per sota els 620 mm als fons de vall i sobretot al sud del país.

A nivell d'Andorra, el valor mig acumulat és de 932 mm (límit administratiu).

En la **figura 1** es mostra el model de distribució de les precipitacions de l'any 2021.

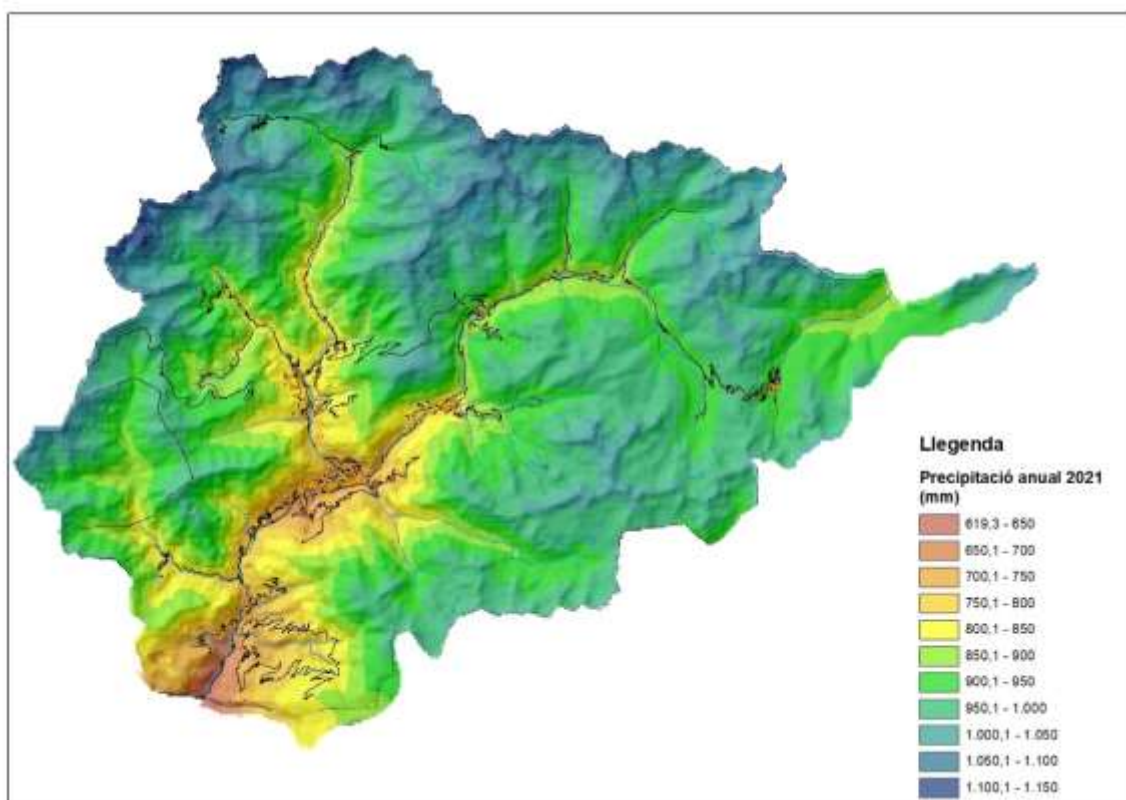


Figura 1. Mapa de distribució de les precipitacions acumulades el 2021. Dades base facilitades pel l'ARI

Si es comparen les precipitacions acumulades el 2021 amb la mitjana climàtica de 30 anys –sèrie 1981-2010 (valorat amb 1054 mm, límit administratiu), s’observa que es tracta d’un any sec, sobretot a la meitat oriental, sud i nord. En la **figura 2** es mostra el resultat de relacionar les precipitacions del 2021 amb la mitjana climàtica.

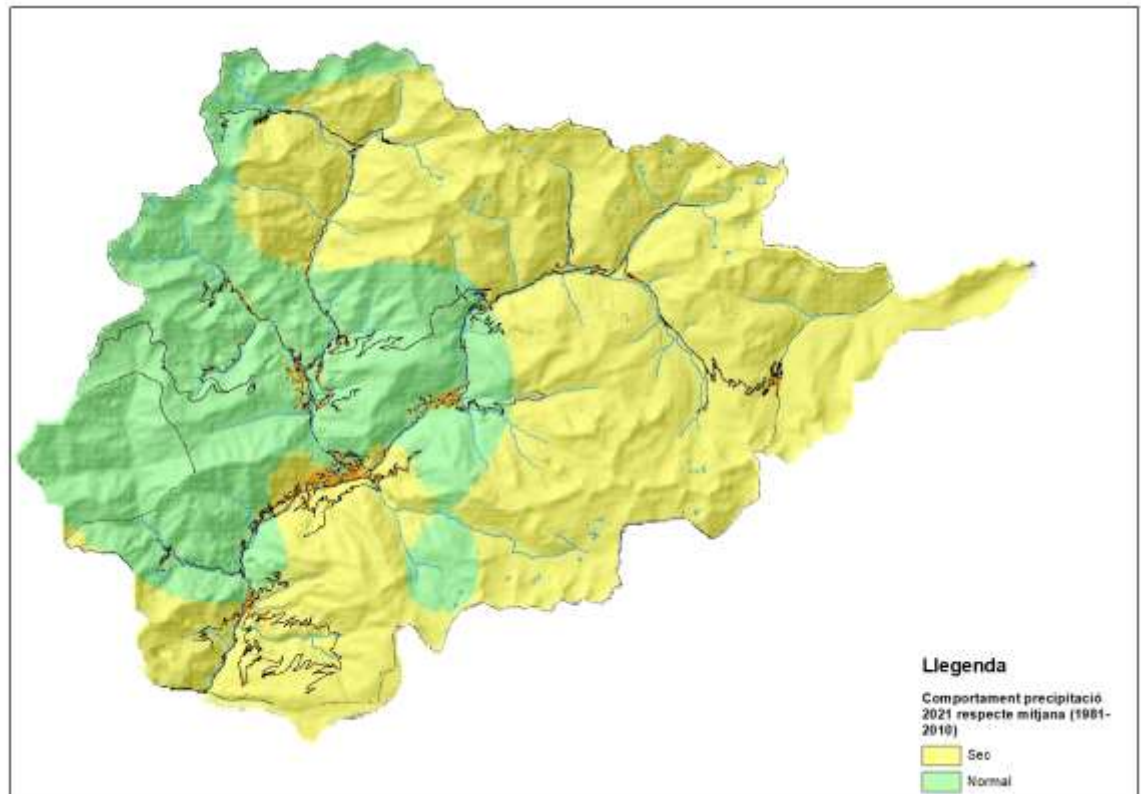


Figura 2. Mapa comparatiu de les quantitats acumulades registrades el 2021 i els corresponents valors mitjans.

En relació a la temperatura, l’any 2021 presenta un valor mig anual a nivell de país de 5,49°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 2021.

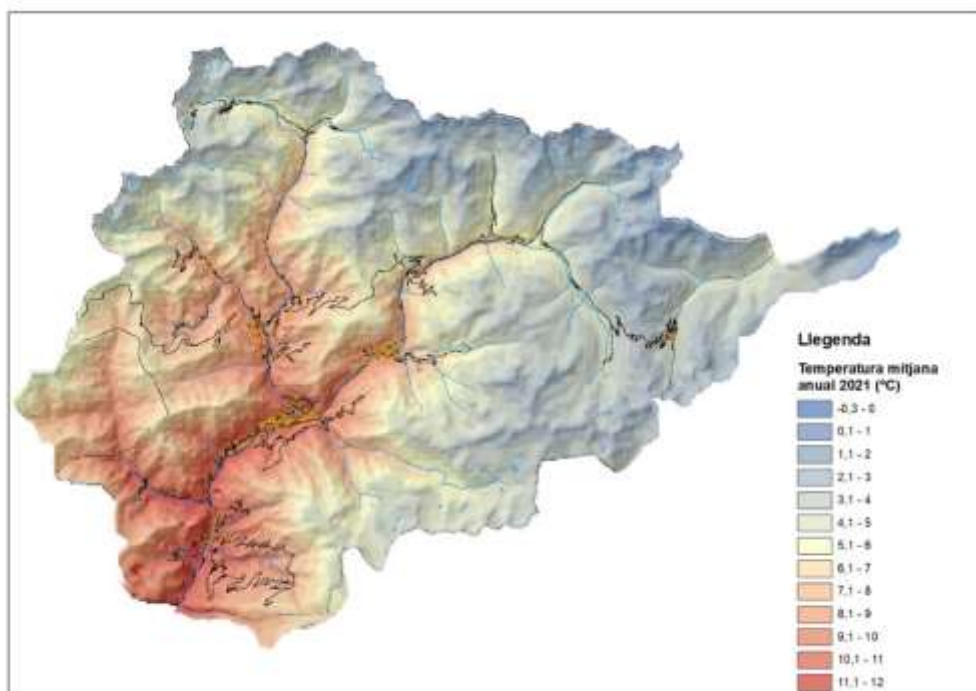


Figura 3. Mapa de distribució de les temperatures mitges del 2020. Dades base facilitades pel l'ARI

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 2021 han estat normals al conjunt del Principat, tot i que el detall permet veure que a la meitat sud occidental els valors han estat superiors o sigui es tracta d'una regió més càlida, i a la meitat nord oriental, més baixos o sigui més fredes.

En la **figura 4** es mostra la relació entre la temperatura estimada pel 2021 i la mitjana climàtica.

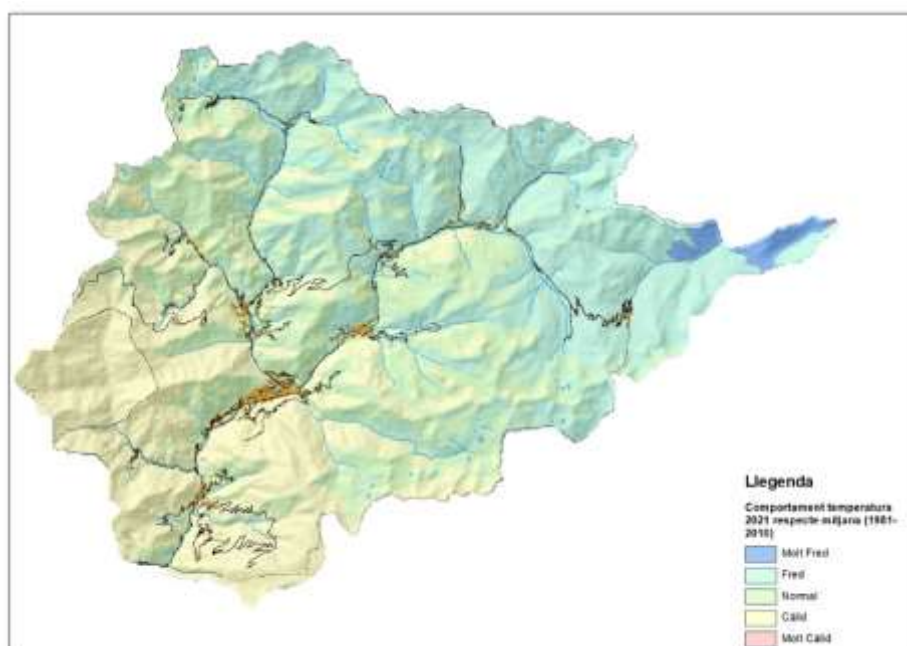


Figura 4. Mapa de les diferències de temperatura de l'any 2021 respecte la mitja.

3 CÀLCUL DEL BALANÇ HÍDRIC

De cara a estimar els recursos hídrics del 2021, que potencialment poden ésser usats per les necessitats de l'home (també anomenada pluja útil), s'ha dut a terme un balanç hidrometeorològic.

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^*
5,49	932,1	389,4	541,0	-0.1

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 932 mm/any. Les sortides del sistema es distribueixen en evapotranspiració, amb uns 389 mm i pluja útil amb 541 mm.

La reserva d'aigua en el sòl ha estat per sota els valors màxims durant tot l'any. El valor mig és negatiu, indicant que la reserva disminueix. En l'Annex 8.4 es mostra l'evolució històrica de la reserva.

Segons el mètode de Thornthwaite, l'evapotranspiració (ETR) suposa el 42% mentre que la pluja útil representa el 58%. En el següent gràfic es mostra la distribució de les sortides segons el mètode de càlcul utilitzat.

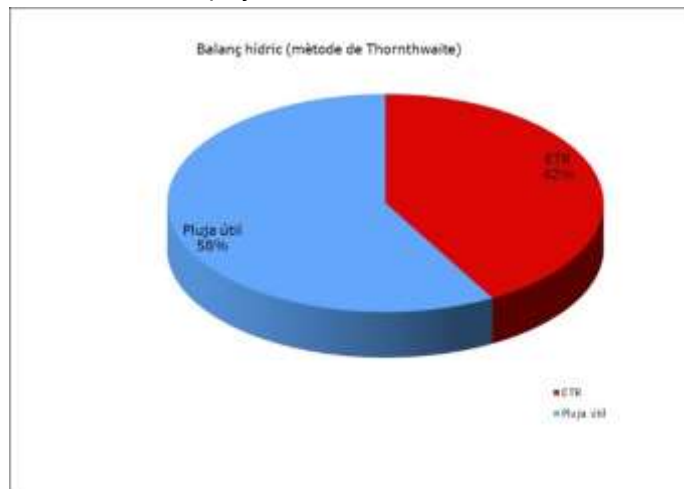


Figura 5. Balanç hídric segons Thornthwaite
(Calculat tenint en compte que la reserva d'aigua al sòl és variable segons la zona)

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, i que en un balanç anual es pot interpretar que tota la pluja útil acaba drenant cap als rius.

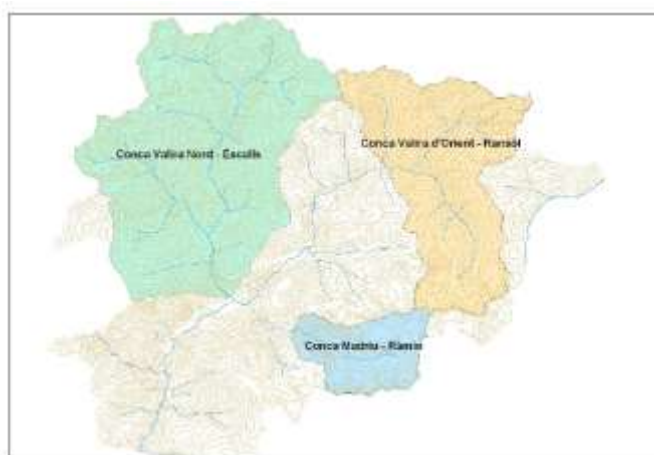
Donant per vàlid aquest supòsit, es contrasten els resultats de la pluja útil estimada amb el model de balanç hídric, i els cabals aforats.

Per a dur a terme aquest contrast de dades s'ha fet ús dels registres de cabal diaris recollits durant el 2021 de diferents rius, per part de FEDA, el CHE (Confederació hidrogràfica de l'Ebre), i del Govern d'Andorra (Departament de Medi Ambient i Sostenibilitat i 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
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.

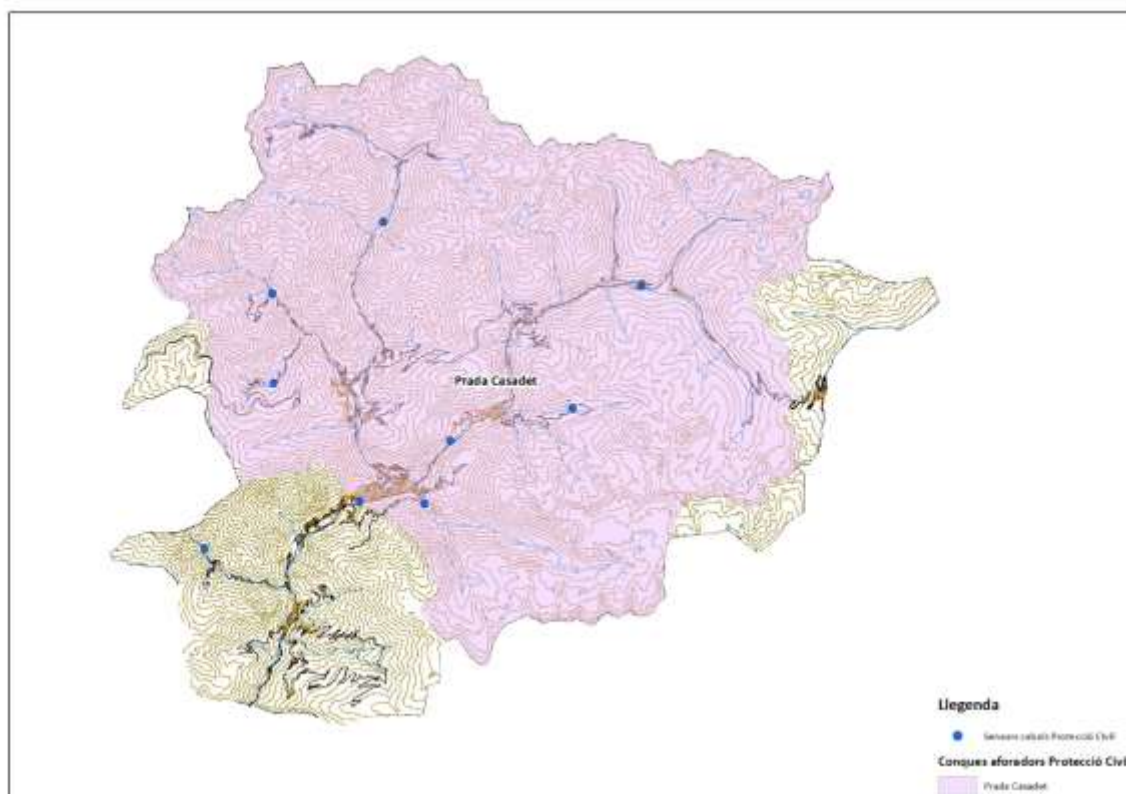


Figura 8. Mapa de situació de la conca Gran Valira a Prada Casadet

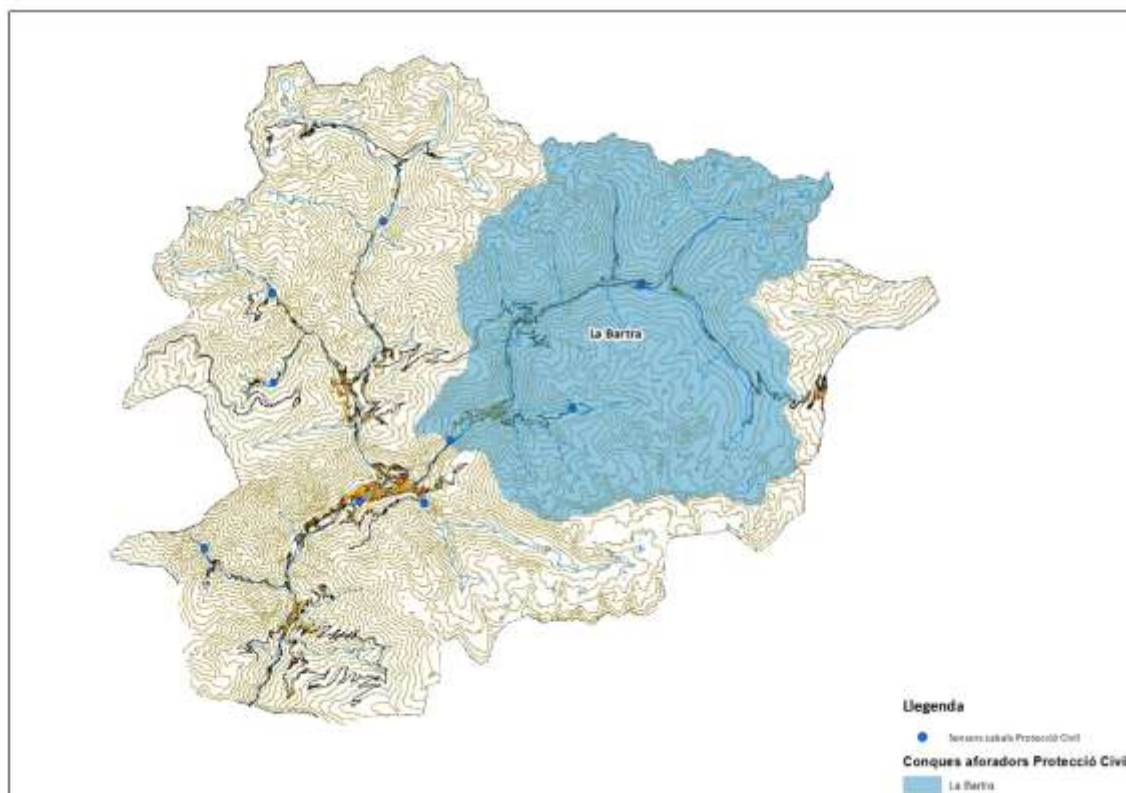


Figura 9. Mapa de situació de la conca del Valira d'Orient a la Bartra

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 2021, segons dades facilitades pel ministeri responsable del medi ambient, és de 1401.24 m³/h. El cabal mig del riu Gran Valira durant el 2021 ha estat de 8.78 m³/s. Aquest cabal, sumat amb el procedent de l'EDAR, suposa uns 9.17 m³/s, o sigui 289.3 Hm³/any, que repartit per la superfície de la conca hidrogràfica suposa 650 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 2.67 m³/s, o sigui 84.2 Hm³/any. Aquest cabal, repartit per la superfície de la conca hidrogràfica suposa 578 L/m²*any.

El cabal del riu Valira d'Orient a Ransol, segons dades facilitades per FEDA es calcula que és d'uns 3 m³/s, o sigui 95 Hm³/any. Aquest cabal, repartit per la superfície de la conca hidrogràfica suposa 1155 L/m²*any.

El cabal del riu Madriu, segons dades facilitades per FEDA es calcula que és d'uns 0.79 m³/s, o sigui 25 Hm³/any. Aquest cabal, repartit per la superfície de la conca hidrogràfica suposa 955 L/m²*any.

De les estacions de protecció civil, en l'estació de Prada Casadet, tenim valors de cabal de 6.7 m³/s, que suposa un cabal específic de 591 L/m²*any, i a la Bartra, amb els 2.3 m³/s, s'estima uns 465 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	3,00	94,55	1155,06	657,56	-43
Madriu	FEDA Madriu -Ràmio	0,79	24,87	954,55	620,58	-35
Valira Nord	CHE(A402)-Pont Escalls	2,67	84,20	577,99	543,08	-6
Gran Valira (inclou EDAR)	Borda Sabater _medi ambient	9,17	289,27	648,91	535,12	-18
Riu Valira d'Orient	La Bartra_PC	2,32	73,19	465,44	613,17	32
Riu Gran Valira	Prada Casadet_PC	6,66	210,03	591,30	572,29	-3

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

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

Observem una bona relació en les conques del Valira del Nord, Gran Valira (Prada Casadet i Borda Sabater), i una mica infravalorat a la conca del Valira d'Orient-Ransol i Madriu, i una mica exagerat en els càlculs del riu Valira d'Orient a la Bartra.

Cal saber que els aforadors de protecció civil estan dissenyats per conèixer el cabal màxim puntual, així mateix, en el cas de La Bartra es mesura 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 és 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.

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 duuin 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

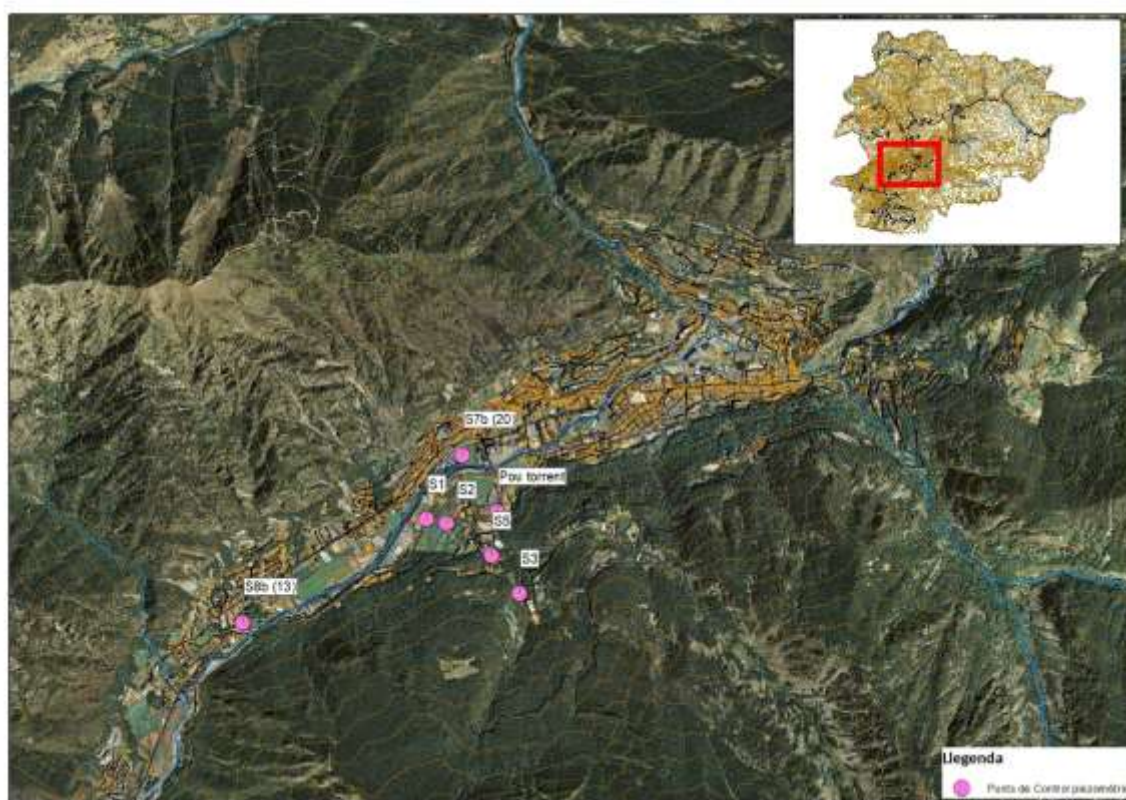


Figura 10. Mapa de situació de la xarxa de seguiment piezomètric

A continuació es presenten els gràfics amb el resum anual:

L'evolució anual dels excedents (i precipitacions) s'inicia amb valors baixos al 2016-2017, augmenten fins al 2020 i disminueixen una mica al 2021.

Els nivells mitjos anuals de l'S1, S2 i pou del Torrent, que s'ubiquen al fons de vall, tenen una evolució molt similar, amb una tendència en serra, que parteix d'uns nivells mínims absoluts al 2016 i de manera sinusoidal tendeixen a augmentar, fins a l'octubre del 2020, moment que s'inverteix la tendència, fins assolir valors mínims al desembre del 2021. Veiem que en el cas del pou del Torrent presenta una major oscil·lació amplitud.

L'S8, ubicat a fons de vall, a Santa Coloma i del qual només es disposa de dades dels darrers anys, té els nivells molt constants, amb una certa tendència a l'alça en les lectures dels darrers mesos tal i com també s'observa en l'S7, ubicat al fons de vall al centre de la cubeta, quan s'analitza l'evolució mensual del 2021 (**gràfic 20**).

L'S3, ubicat sota les instal·lacions del CTR també té una tendència a l'alça, fins al 2020, ja que al 2021 disminueix el nivell 4 metres (la impermeabilització de la llera del riu sembla que pot haver aguditzat el descens).

De l'S5, ubicat als Serradells, s'observa una tendència a la baixa des del 2016 i una recuperació a partir del 2019.

Veient que les precipitacions i els excedents han estat al 2021 més baixos, poden ser els causants de la baixada detectada en alguns pous.

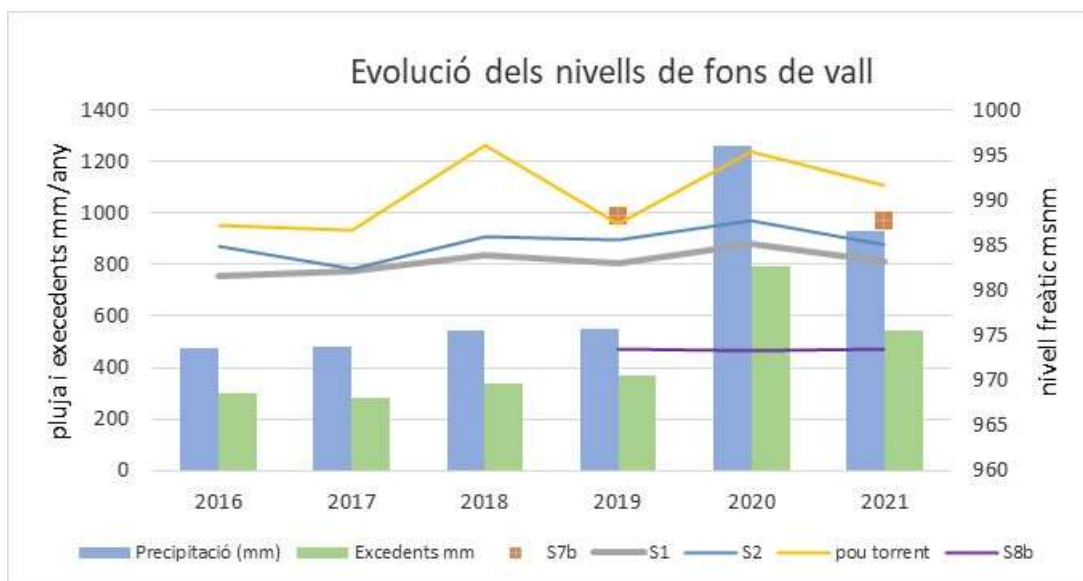


Figura 11. Evolució dels nivells piezomètrics dels punts S7b, S1, S2, pou del Torrent i S8b

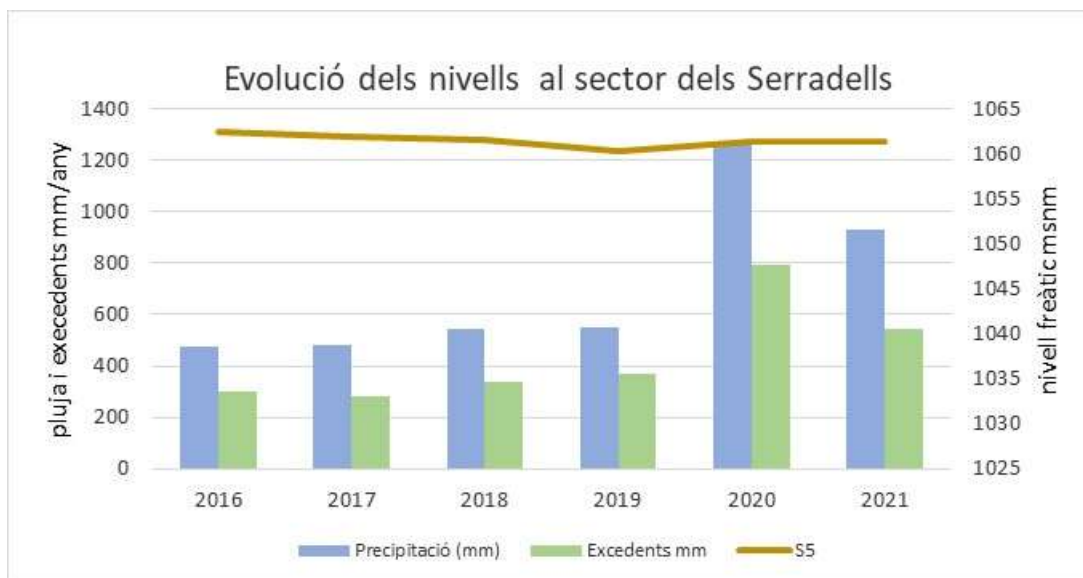


Figura 12. Evolució dels nivells piezomètrics dels punts S5

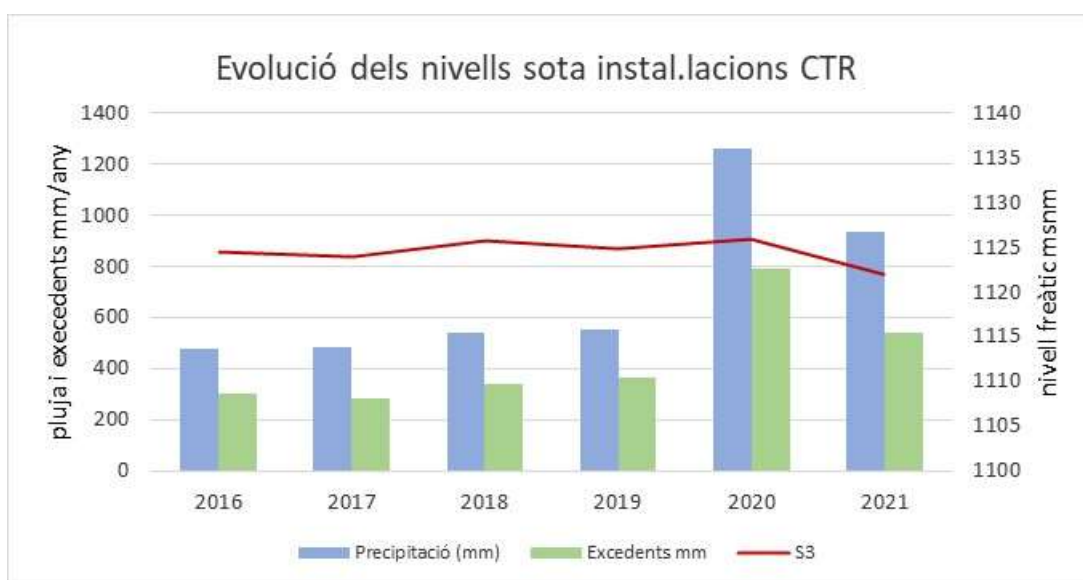


Figura 13. Evolució dels nivells piezomètrics dels punts S3

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. Així mateix disposem de l'estimació dels excedents mensuals.

Dels excedents mensuals observem que tenen una evolució en dents de serra amb tendència a la baixa entre 2020 i 2021. Observem que presenta valors màxims a la tardor i puntualment a la primavera. Aquests valors no tenen en compte l'efecte de la neu, que distorsiona la recàrrega (en moments de baixes temperatures, a l'hivern, el recurs disponible en forma de neu, no és realment disponible fins que fon, una part al mateix mes i la resta en els mesos posteriors i per tant s'incorpora l'aigua fosa al medi uns dies-mesos més tard, al llarg de la primavera).

L'anàlisi mensual en l'S1 i S2, permet veure que tenen una evolució molt similar. S'inicia el seguiment amb valors mínims al gener del 2018, pugen fins al juliol del 2018 i es mantenen alts fins al gener del 2019, baixen lleugerament fins a l'abril del 2020, i tornen a pujar fins al desembre del 2020. Al llarg del 2021 els nivells baixen.

No hi ha una relació directa entre els nivells i els excedents o pluja útil. Caldrà anar seguint mes a mes, tot i que de moment, als darrers mesos sembla que encaixi que els nivells es relacionen amb l'aigua infiltrada 5 mesos enrere.

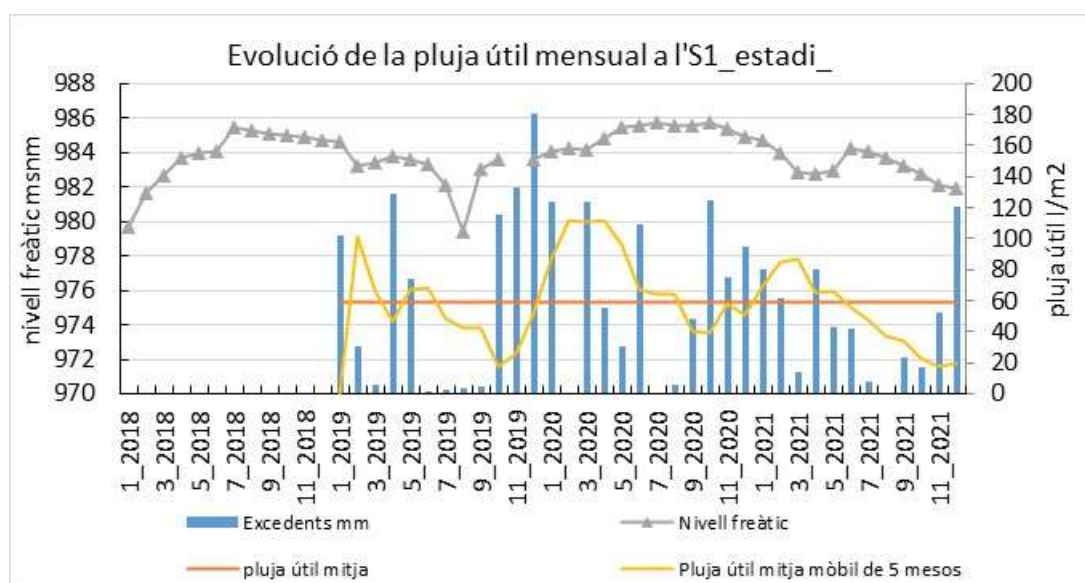


Figura 14. Evolució mensual dels nivells de l'S1 i dels excedents estimats (mitja país)

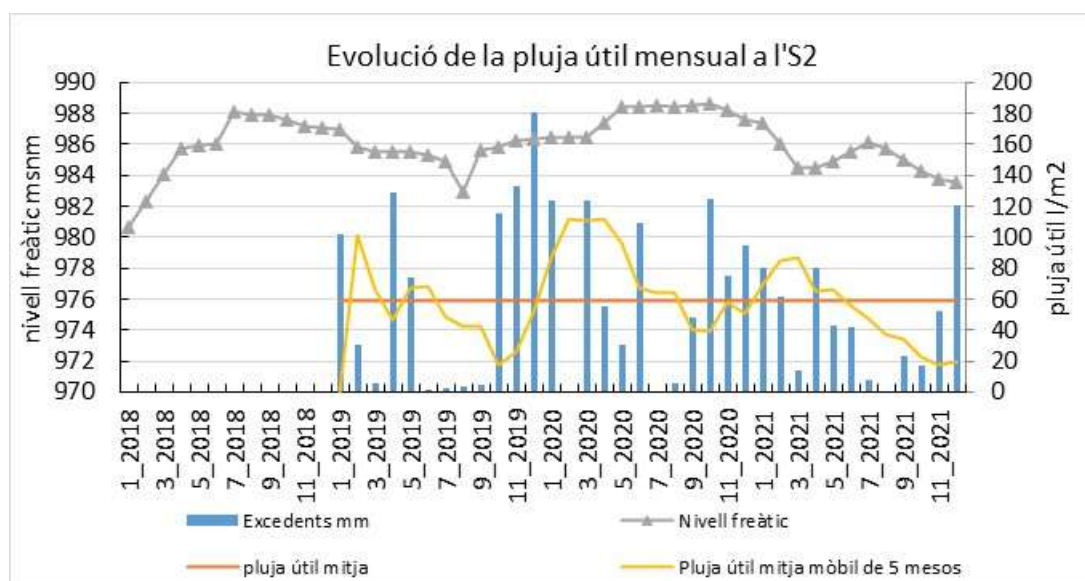


Figura 15. Evolució mensual dels nivells de l'S2 i dels excedents estimats (mitja país)

En el cas del pou del torrent, té un patró similar a l'S1 i S2, amb valors més baixos abans del maig del 2020 i alts fins a finals del mateix 2020. En detall es tenen nivells baixos des del març del 2019 fins al desembre del 2019. Pugen suaument fins al març del 2020 i més intensament fins al maig del 2020, que s'estabilitzen fins a l'octubre del 2020. S'inicia un descens suau fins al maig del 2021 i més fort fins al juliol. Després sembla recuperar-se fins al setembre i tornen a caure fins a finals d'any. Amb les dades que tenim sembla que hem d'augmentar el temps de trànsit de l'aigua infiltrada a 8 mesos. En tot cas, el futur seguiment permetrà anar ajustant aquesta dada.

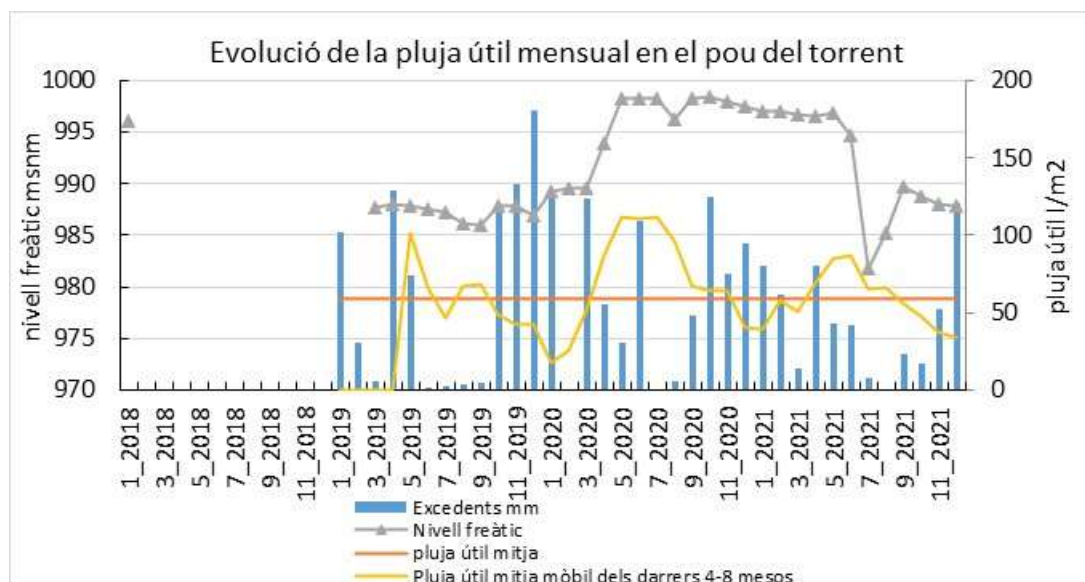


Figura 16. Evolució mensual dels nivells el pou del torrent i dels excedents estimats (mitja país)

L'S3 i S5 semblen tenir un mateix patró, tot i que en l'S3 els nivells oscil·len més.

En l'S3 es parteix d'un nivell mínim al gener del 2018 i tendeix a augmentar fins al març del 2020, tot i que entre aquestes dates hi ha també moments d'alts (primavera del 2018 i 2019) i baixos (estiu del 2019). Des de l'abril del 2020 fins al desembre del 2021 el nivell tendeix a disminuir, presentant a finals d'any valors similars als del gener del 2018.

La canalització del torrent del Forn, on s'ubica el pou S3 i S5, té lloc durant el 2019.

En l'S5 es parteix al gener del 2018 amb valors baixos, que pugen durant la primavera del 2018. El nivell va pujant i baixant, suaument fins a l'estiu del 2019 que baixa més pronunciadament. Puja el nivell a la tardor del 2019, es manté estable -tendint a descendre-, fins al desembre del 2021 que presenta valors similars als del gener del 2018. La lectura mitja del maig 2021 es veu com a anòmala.

En el cas del seguiment fet a l'S3 i S5 sembla que els nivells i els excedents s'ajusten força, si apliquem una mitja mòbil de 5 mesos, o sigui si suposem que els nivells detecten una aigua barreig d'aigües dels darrers mesos. Amb més dades hauríem de poder ajustar-ho.

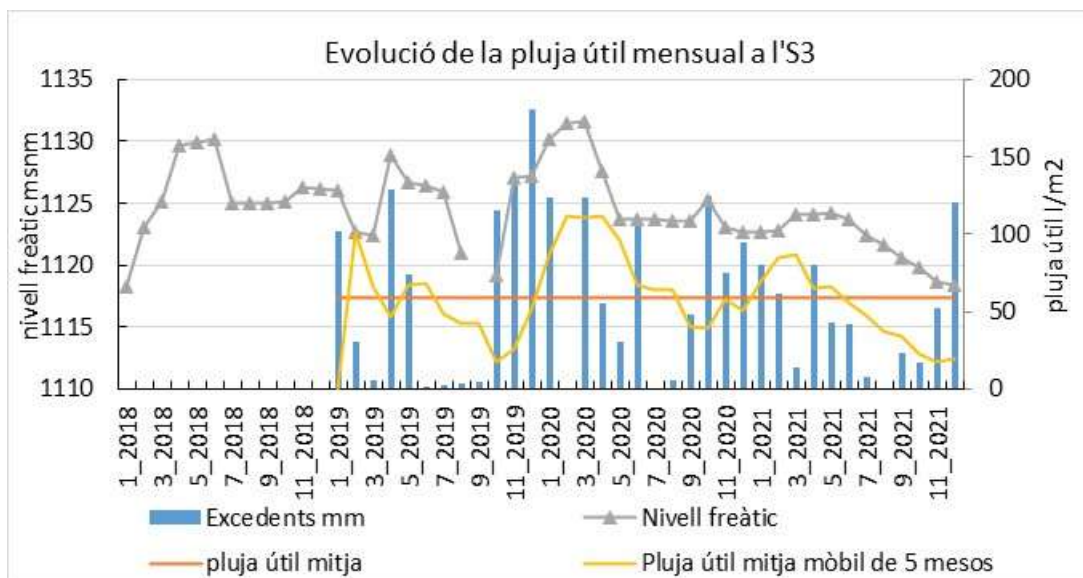


Figura 17. Evolució mensual dels nivells de l'S3 i dels excedents estimats (mitja país)

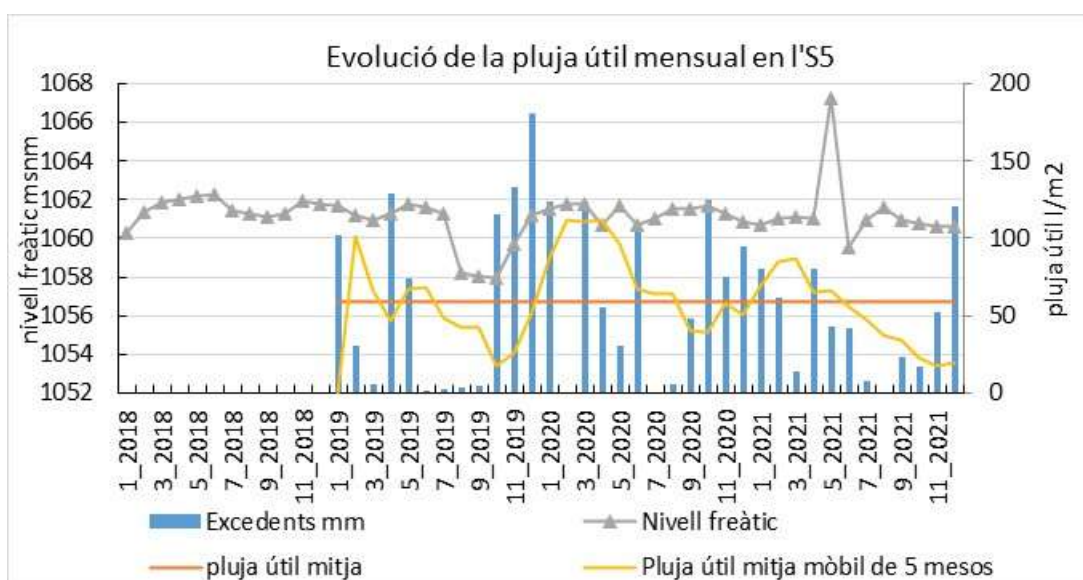


Figura 18. Evolució mensual dels nivells de l'S5 i dels excedents estimats (mitja país)

En el cas de l'S8, es parteix de nivells alts al gener del 2018, tendeix a baixar fins al maig del 2020 i a pujar fins al desembre del 2021. No segueix gens el patró d'altres pous de fons de vall com S1, S2 i pou del Torrent. 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.

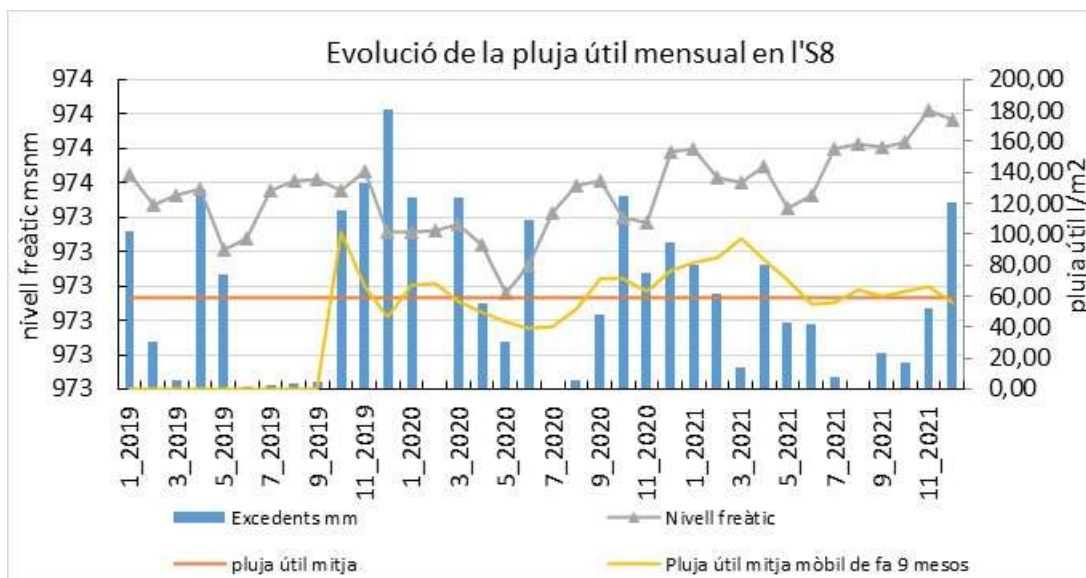


Figura 19. Evolució mensual dels nivells de l'S8b i dels excedents estimats (mitja país)

Finalment en l'S7, també com amb l'S8 els darrers mesos indiquen un augment del nivell (a diferència dels altres pous) i tampoc no s'ha pogut establir cap relació bona amb els excedents, amb la falta de dades del 2020. Esperem que al 2021 i en endavant podem ajustar-ho.

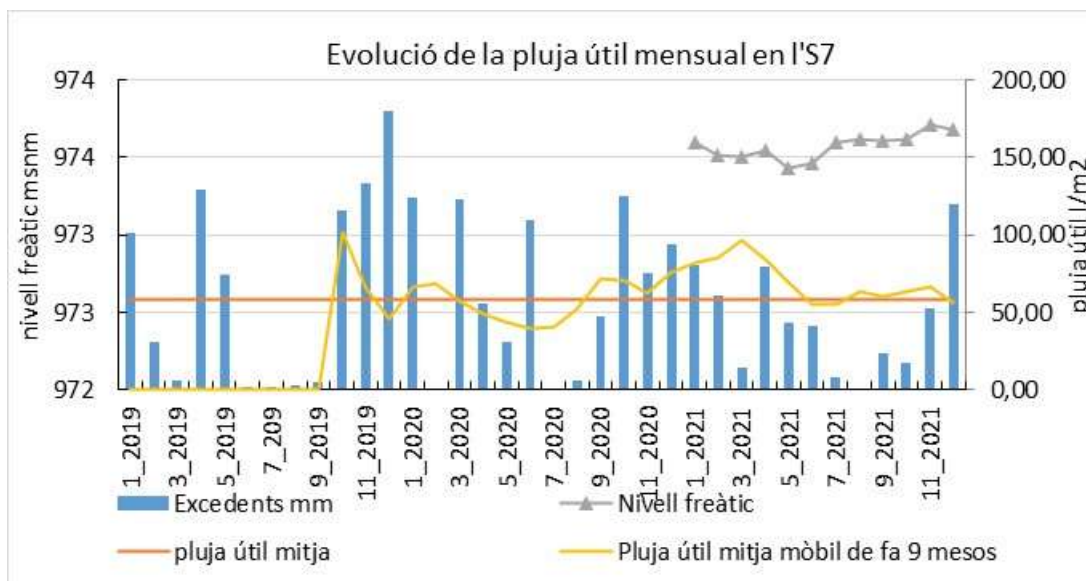


Figura 20. Evolució mensual dels nivells de l'S7b i dels excedents estimats (mitja país)

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 2021 d'uns 285 Hm³/any, calculats mitjançant el balanç hídric amb el mètode de Thornthwaite, i d'aquests, 256 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 2021 representa uns 253 Hm³/any. D'aquests, 228 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	361,02	658,23	1021,85	4,86	16,91	5,98	10,89	9,81	91,06%	0,41	Normal	Normal
Ariège	45.628.658,41	251,28	708,33	959,63	2,70	43,79	11,47	32,32	29,09	80,62%	-2,04	Sec	Fred
Coll de la Gallina	17.321.678,00	502,28	342,78	849,57	9,28	14,72	8,70	5,94	5,34	90,21%	1,66	Normal	Càlid
Conca d'Erts	15.149.624,07	471,37	434,18	908,14	7,34	13,76	7,14	6,58	5,92	91,22%	0,43	Normal	Normal
Conca de Setúria	6.664.367,23	447,49	533,85	986,27	6,08	6,57	2,98	3,56	3,20	91,41%	0,96	Normal	Càlid
Cubeta Encamp	768.145,17	478,95	342,17	821,05	8,74	0,63	0,37	0,26	0,24	95,09%	-0,49	Normal	Normal
Cubeta d'Andorra	2.268.308,61	494,10	223,54	718,16	10,76	1,63	1,12	0,51	0,46	89,44%	0,31	Sec	Normal
Cubeta d'Incles	399.509,12	380,94	521,94	902,90	4,76	0,36	0,15	0,21	0,19	86,62%	-1,59	Sec	Fred
Dels Orris	12.728.986,14	372,83	563,49	937,08	4,98	11,93	4,75	7,17	6,46	88,41%	-0,18	Sec	Normal
El Forn	2.632.292,26	434,80	487,55	922,72	5,91	2,43	1,14	1,28	1,16	90,09%	-0,29	Normal	Normal
Encamp	9.831.249,34	435,58	489,20	926,42	6,78	9,11	4,28	4,81	4,33	95,06%	-0,29	Normal	Normal
Enclar	16.449.982,02	483,41	377,93	864,80	8,86	14,23	7,95	6,22	5,60	93,74%	0,70	Normal	Càlid
Engolasters-Pessons	23.004.376,30	375,21	551,91	928,48	5,34	21,36	8,63	12,70	11,43	88,94%	0,33	Sec	Normal
Estall Serrer	256.289,80	376,33	525,51	902,42	5,39	0,23	0,10	0,13	0,12	87,97%	-0,21	Sec	Normal
Juclar	17.448.266,46	295,49	713,81	1009,97	2,34	17,62	5,16	12,45	11,21	85,62%	-1,71	Sec	Fred
La Bartra	227.795,13	481,65	270,14	754,00	9,77	0,17	0,11	0,06	0,06	91,20%	0,06	Normal	Normal
La Cortinada-Sornàs	240.503,74	511,14	321,82	832,94	8,47	0,20	0,12	0,08	0,07	91,18%	-0,35	Normal	Normal
Llorts - Arans	434.935,60	515,32	322,61	837,91	8,02	0,36	0,22	0,14	0,13	89,25%	-0,43	Sec	Normal
Madriu	40.121.360,95	350,48	586,75	938,70	4,85	37,66	14,06	23,54	21,19	88,39%	0,28	Sec	Normal
Montmalús	7.594.231,04	272,55	697,08	970,22	2,79	7,37	2,07	5,29	4,76	84,37%	-0,82	Sec	Fred
Ordino	16.960.118,50	463,69	453,37	918,67	6,67	15,58	7,86	7,69	6,92	91,91%	-0,12	Normal	Normal
Padem	6.040.215,34	484,68	306,51	795,25	9,01	4,80	2,93	1,85	1,67	91,43%	0,08	Normal	Normal
Pardines	5.125.714,31	528,40	190,70	719,53	10,05	3,69	2,71	0,98	0,88	82,14%	0,93	Sec	Càlid
Pla de l'Inglà	96.831,14	353,08	562,28	916,08	4,83	0,09	0,03	0,05	0,05	86,89%	-0,29	Sec	Normal
Prat Primer	13.956.181,56	444,08	378,63	825,26	8,35	11,52	6,20	5,28	4,76	88,10%	1,27	Sec	Càlid
Pui Olivesa - Runer	400.975,76	545,21	100,24	645,53	11,54	0,26	0,22	0,04	0,04	81,45%	0,52	Sec	Càlid
Riu Muntaner	6.750.482,65	471,44	395,48	869,62	8,28	5,87	3,18	2,67	2,40	91,00%	1,44	Normal	Càlid
Ràmio	231.213,47	437,49	393,05	830,68	7,47	0,19	0,10	0,09	0,08	89,89%	0,14	Sec	Normal
Salines	18.401.587,26	386,53	581,55	968,99	4,98	17,83	7,11	10,70	9,63	88,88%	-0,18	Sec	Normal
Sant Julià	33.250.793,13	458,06	354,22	815,91	8,13	27,13	15,23	11,78	10,60	85,27%	1,09	Sec	Càlid
Sornàs-Pont d'Ordino	259.304,35	518,23	303,93	822,44	8,83	0,21	0,13	0,08	0,07	92,94%	-0,33	Normal	Normal
Valira del Nord	45.880.845,18	351,30	660,03	1012,03	3,85	46,43	16,12	30,28	27,25	89,21%	-0,60	Sec	Fred
Òs de Civís	22.777.602,33	451,59	492,12	949,86	7,20	21,64	10,29	11,21	10,09	91,27%	1,47	Normal	Càlid
Coma Ransol	98.512,69	397,87	527,91	925,68	4,85	0,09	0,04	0,05	0,05	87,74%	-1,01	Sec	Fred
Valira d'Orient	77.701.776,81	331,02	636,51	968,29	3,51	75,24	25,72	49,46	44,51	86,29%	-0,83	Sec	Fred
Montaup	16.994.092,97	393,84	584,90	980,31	4,62	16,66	6,69	9,94	8,95	90,79%	-0,60	Normal	Fred
Cubeta Montaup	286.720,34	391,30	553,69	945,99	4,83	0,27	0,11	0,16	0,14	87,63%	0,02	Sec	Normal
Aldosa	7.713.967,17	469,50	417,80	889,42	7,63	6,86	3,62	3,22	2,90	94,36%	0,22	Normal	Normal
Conca de Sispony	11.643.664,71	474,82	420,24	898,49	7,57	10,46	5,53	4,89	4,40	91,42%	0,80	Normal	Càlid
Cubeta de la Massana	1.970.611,14	509,41	295,14	806,00	9,15	1,59	1,00	0,58	0,52	92,23%	-0,01	Normal	Normal
Nous Límits	522.263.506,11	385,91	545,01	932,97	5,46	487,26	201,55	284,64	256,18	88,50%	-0,11	Sec	Normal
Límits administratius	467.451.286,71	389,36	541,03	932,10	5,49	435,71	182,01	252,91	227,62	88,00%	-0,06	Sec	Normal

Taula 6. Resum balanç hídric de les unitats hidrogeològiques. Any 2021. Mitja del període 1981-2010

Comportament de la precipitació anual per Unitat hidrogeològiques. Any 2021

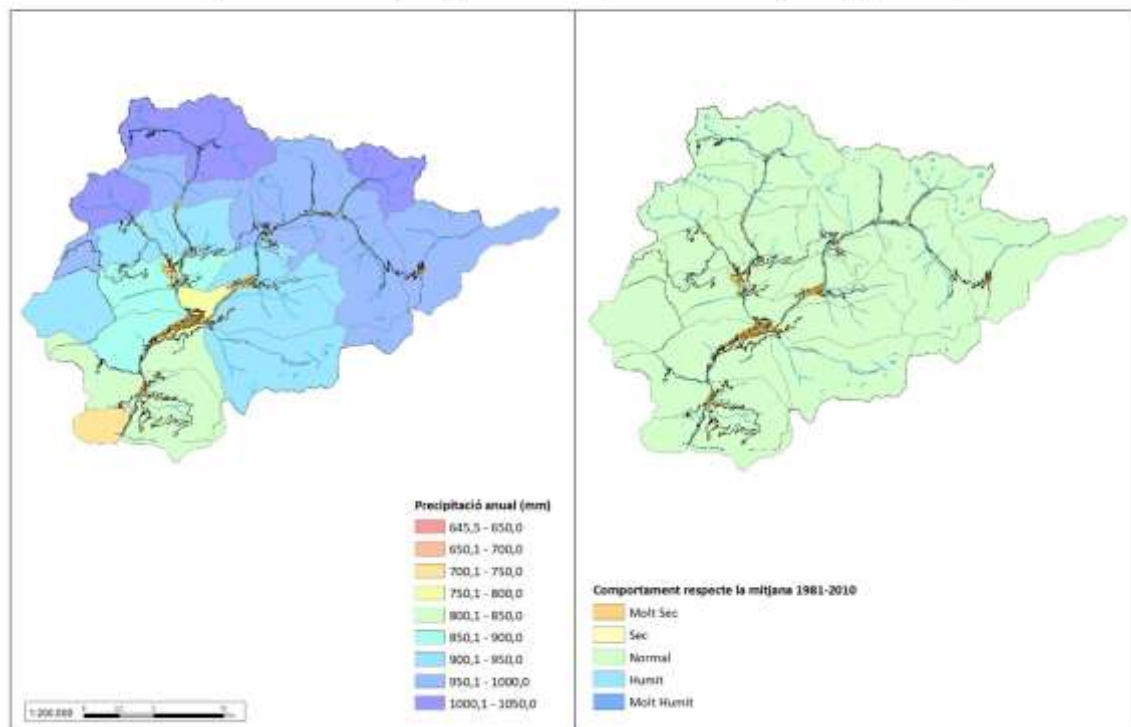


Figura 22. Mapa comparatiu de les precipitacions del 2021 amb la mitjana climàtica 1981-2010 en les diferents unitats hidrogeològiques

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 l'hivern, la meitat oriental ha estat més humida i la sud occidental més seca., essent en comparació amb la mitjana, normal a la meitat oest i humida a l'est.

A la primavera en canvi observem que el sector oest és més plujós, i comparant amb la mitjana s'ha tractat d'un sector més humit, i al sud, nord i a la meitat est ha estat més seca, tot i que respecte la mitjana, s'ha tractat d'un període normal.

Comportament de la precipitació hivern per unitats hidrogeològiques. Any 2021

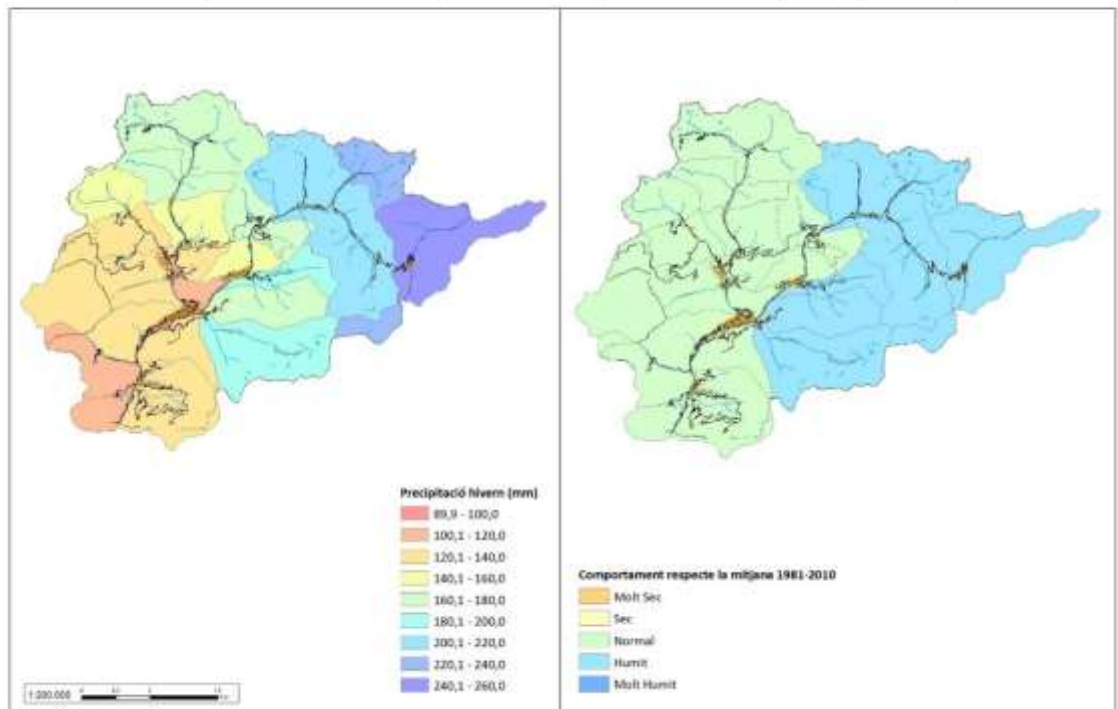


Figura 23. Mapa comparatiu de les precipitacions de l'hivern del 2021 amb la mitjana climàtica 1981-2010 en les diferents unitats hidrogeològiques

Comportament de la precipitació primavera per unitats hidrogeològiques. Any 2021

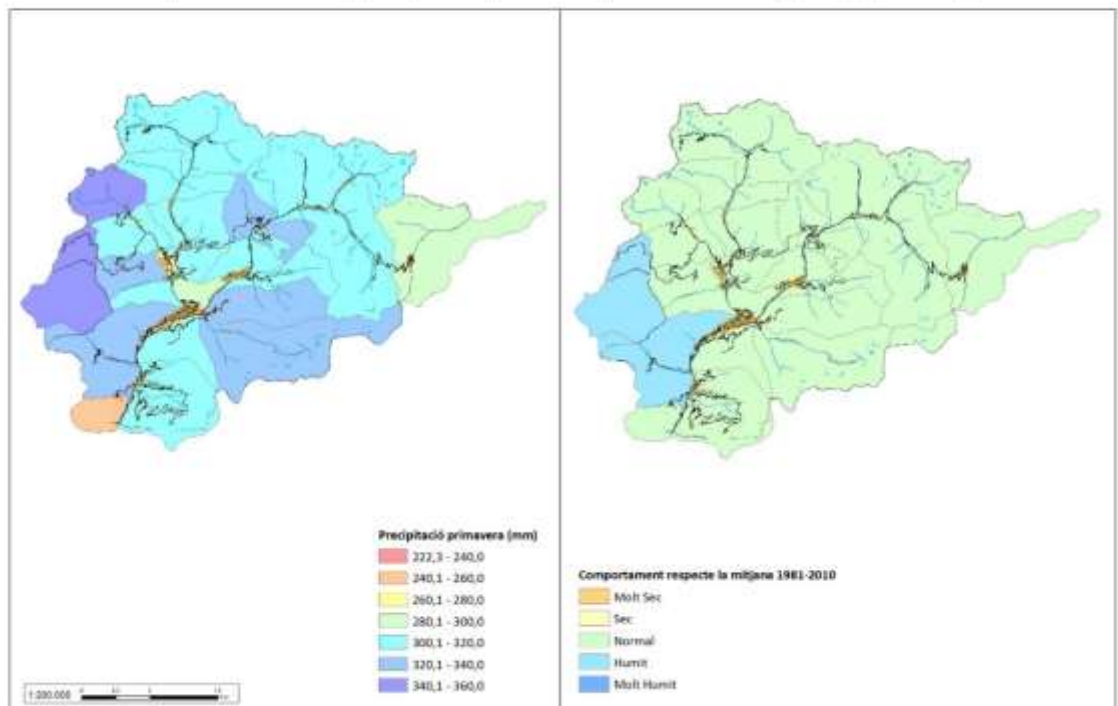


Figura 24. Mapa comparatiu de les precipitacions de la primavera del 2021 amb la mitjana climàtica 1981-2010 en les diferents unitats hidrogeològiques

Comportament de la precipitació estiu per unitats hidrogeològiques. Any 2021

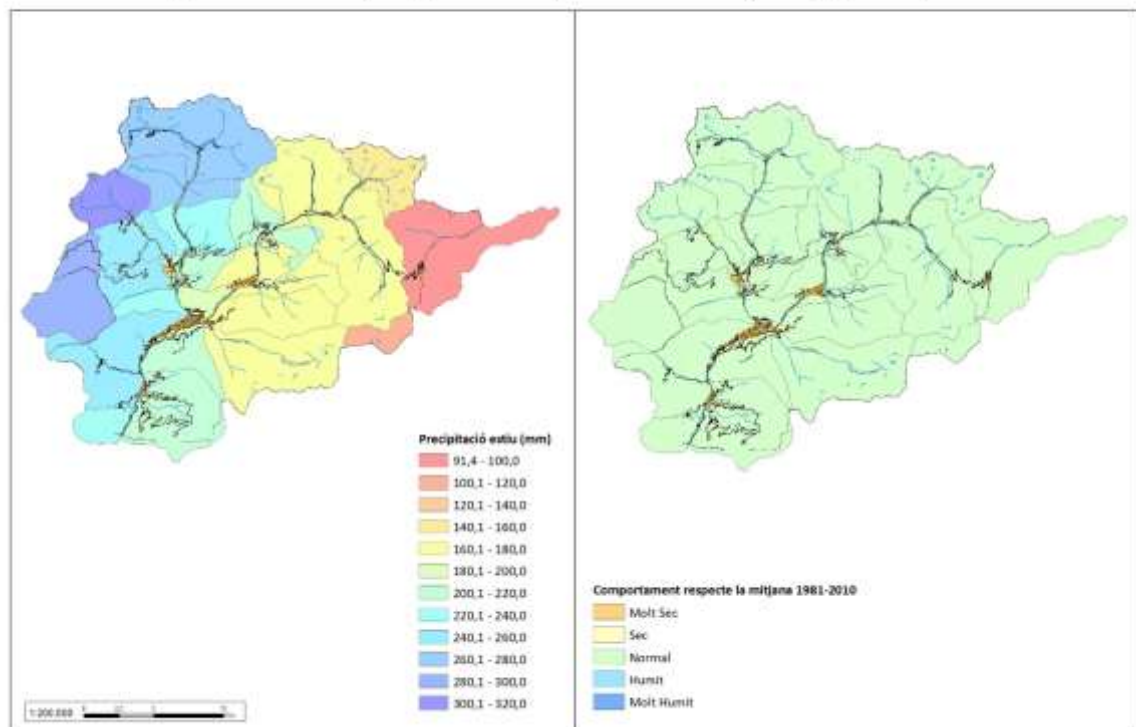


Figura 25. Mapa comparatiu de les precipitacions de l'estiu del 2021 amb la mitjana climàtica 1981-2010 en les diferents unitats hidrogeològiques

Comportament de la precipitació tardor per unitats hidrogeològiques. Any 2021

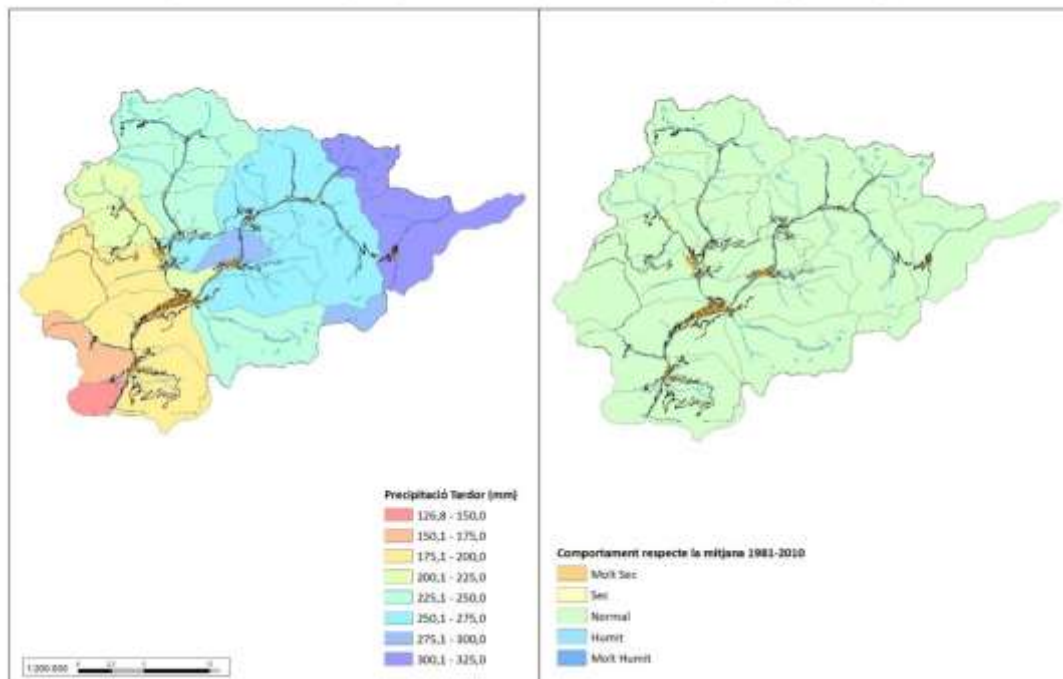


Figura 26. Mapa comparatiu de les precipitacions de la tardor del 2021 amb la mitjana climàtica 1981-2010 en les diferents unitats hidrogeològiques

Les pluges de l'estiu han estat més abundants a la meitat occidental i escasses a la meitat oriental, amb la UH de l'Ariege com a la més seca, i en canvi a la tardor, és a l'inversa, amb la UH de les Pardines i Coll de la Gallina amb valors mínims, però tot el territori, respecte la mitjana, ha estat un període amb pluges normals tant a l'estiu com a la tardor.

Les temperatures, quan també les comparem amb la mitjana 1981-2010 veiem han estat més fredes al nord i est del país, i càlides al sud i oest.

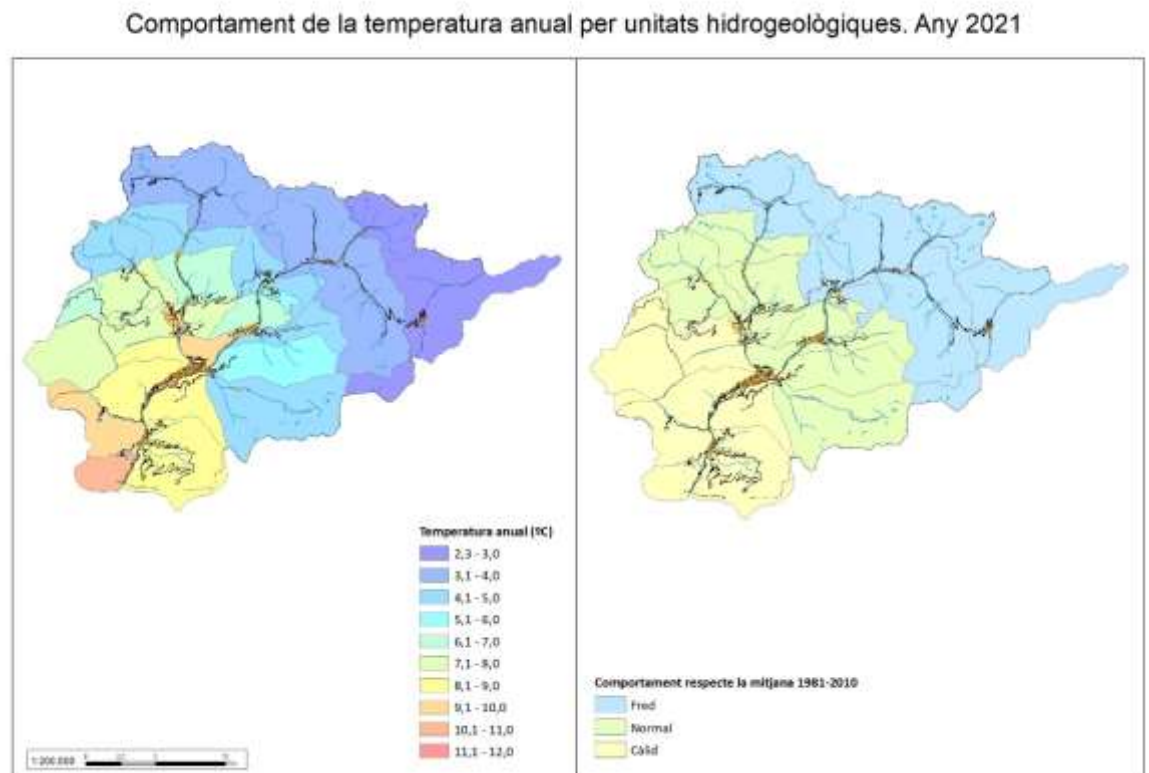


Figura 27. Mapa comparatiu de la temperatura del 2021 amb la mitjana climàtica 1981-2010 en les diferents unitats hidrogeològiques

Estacionalment, veiem que l'hivern ha estat càlid a tota la meitat sud i part del nord oest, i més fred al nord est.

Si mirem el mapa de temperatures de l'hivern, veiem que es tenen valors per sota els 0°C de mitjana en les capçaleres.

Comportament de la temperatura hivern per unitats hidrogeològiques. Any 2021

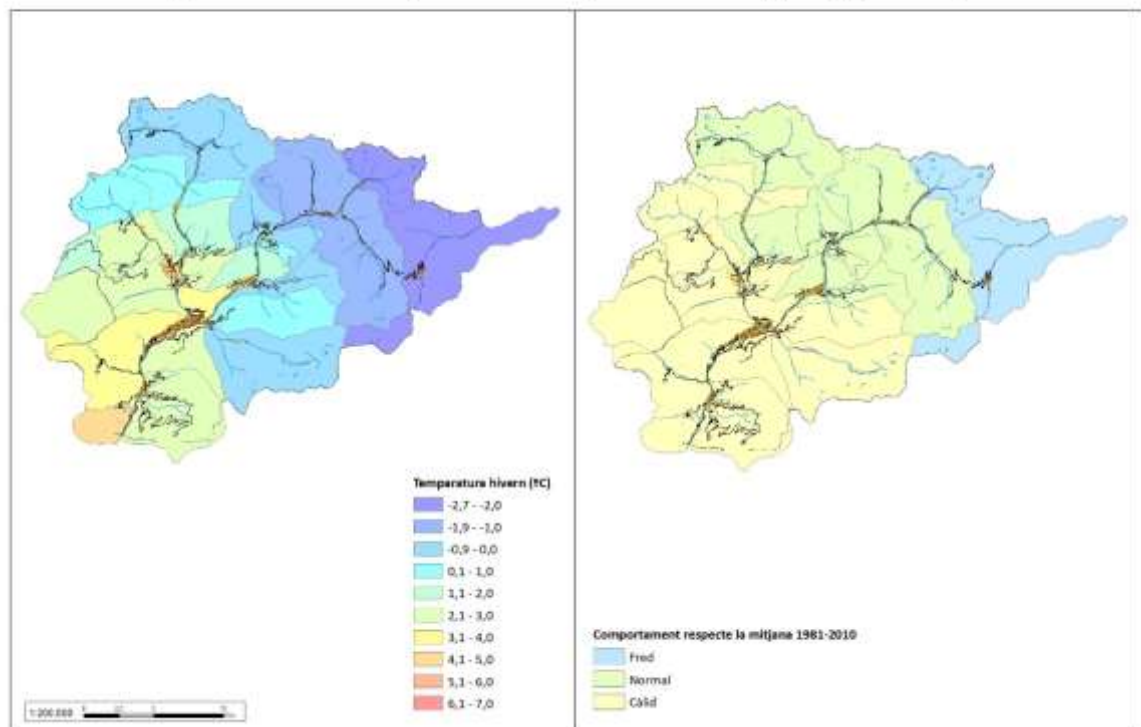


Figura 28. Mapa comparatiu de la temperatura de l'hivern del 2021 amb la mitjana climàtica 1981-2010 en les diferents unitats hidrogeològiques

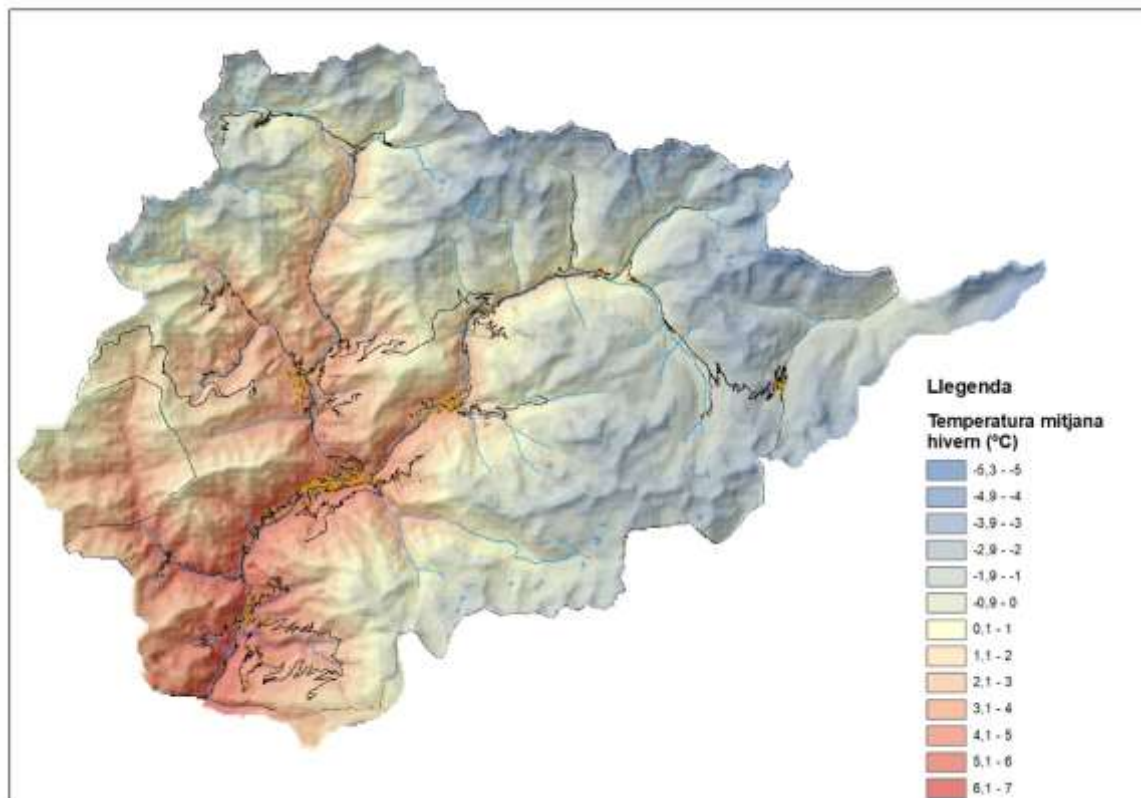


Figura 29. Mapa de distribució de la temperatura mitja de l'hivern del 2021

En tots els quatre trimestres, s'observa valors més baixos al sector nord oriental (Ariege, Juclar, Montmalús), i més alts al sud i oest (Pardines, coll de la Gallina) i si es compara amb la mitjana veiem que han estat uns trimestres càlids al sud i oest del país, normals en la franja nordoest sudest i freds al nord-nordest.

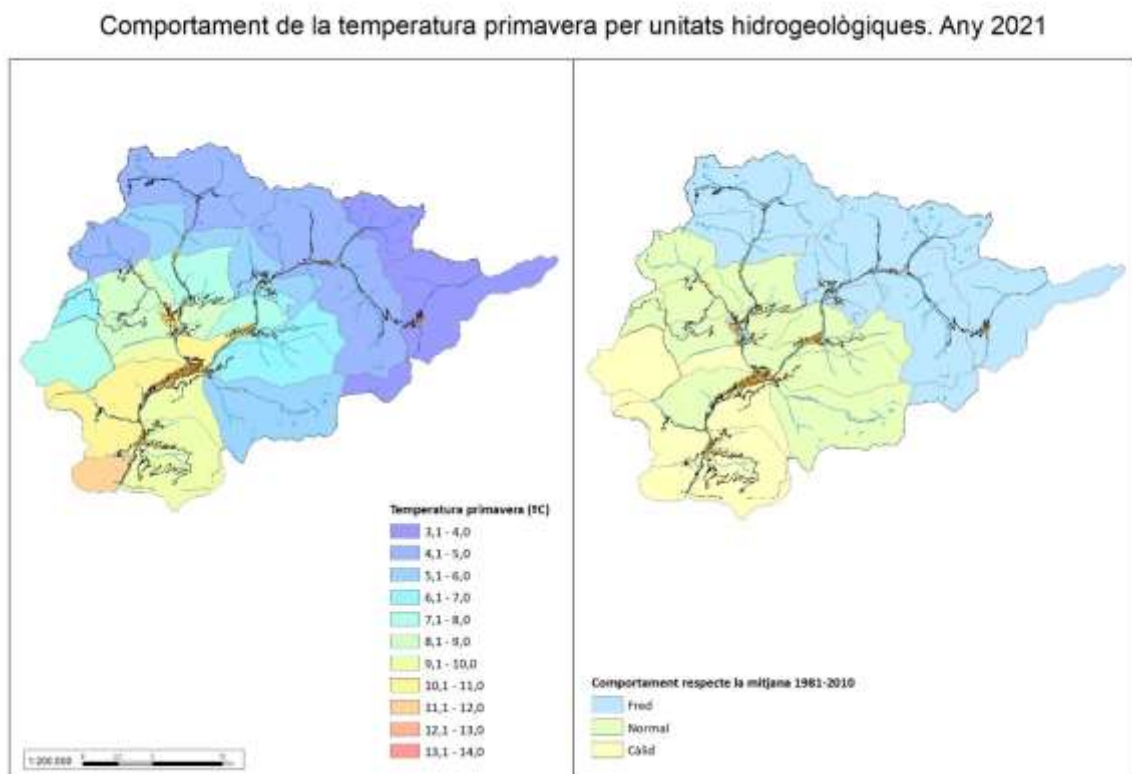


Figura 30. Mapa comparatiu de la temperatura de la primavera del 2021 amb la mitjana climàtica 1981-2010 en les diferents unitats hidrogeològiques

Comportament de la temperatura estiu per unitats hidrogeològiques. Any 2020

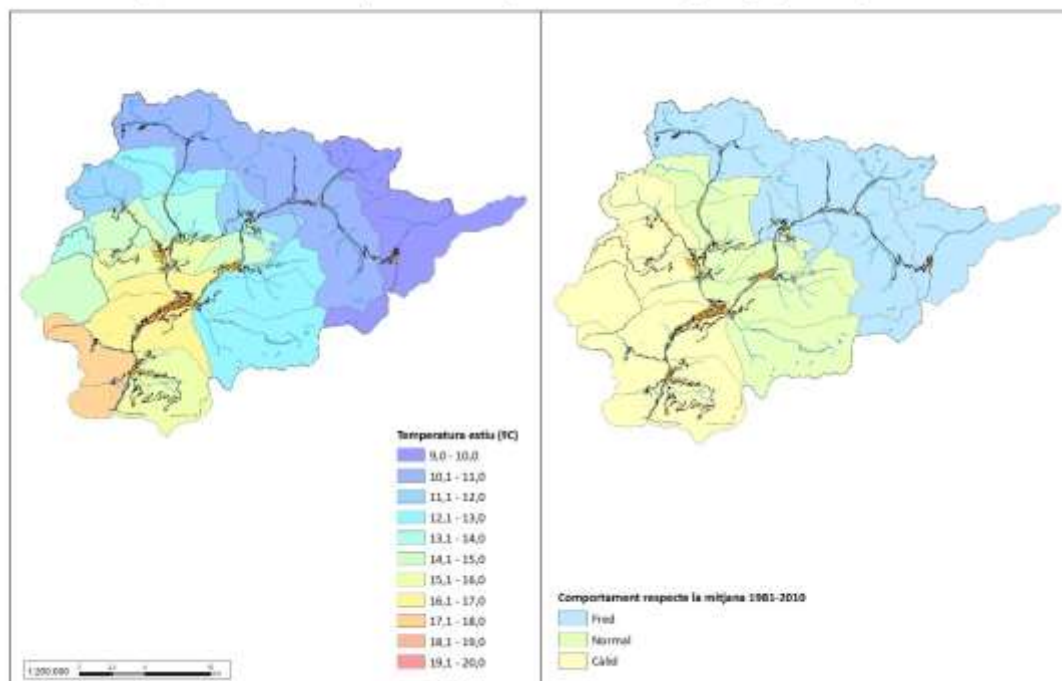


Figura 31. Mapa comparatiu de la temperatura de l'estiu del 2021 amb la mitjana climàtica 1981-2010 en les diferents unitats hidrogeològiques

Comportament de la temperatura hivern per unitats hidrogeològiques. Any 2021

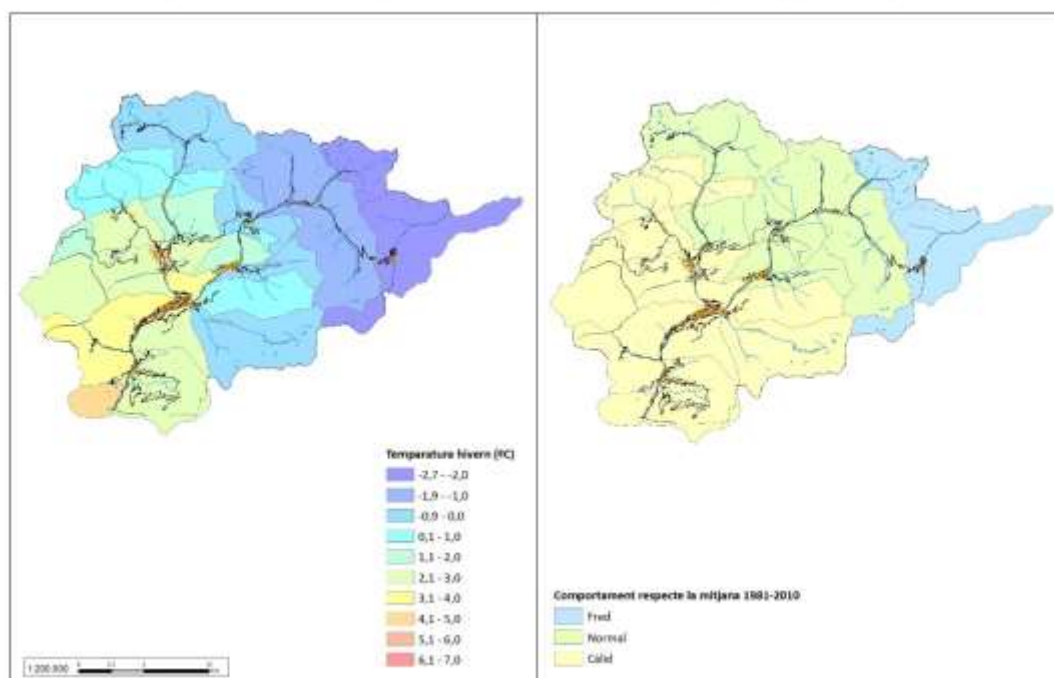


Figura 32. Mapa comparatiu de la temperatura de la tardor del 2021 amb la mitjana climàtica 1981-2010 en les diferents unitats hidrogeològiques

Leyenda

ETR en mm del 2021

251,3 - 275,0
275,1 - 300,0
300,1 - 325,0
325,1 - 350,0
350,1 - 375,0
375,1 - 400,0
400,1 - 425,0
425,1 - 450,0
450,1 - 475,0
475,1 - 500,0
500,1 - 525,0
525,1 - 550,0

La unitat hidrogeològica amb major excedent d'aigua ha estat la de Juclar, seguida de l'Ariege, Montmalús, Valira del Nord i Arinsal, i en canvi, on els excedents han estat menors correspon al Pui, Pardines, La cubeta d'Andorra-Escalades, la Bartra, Sornàs, i Padern.

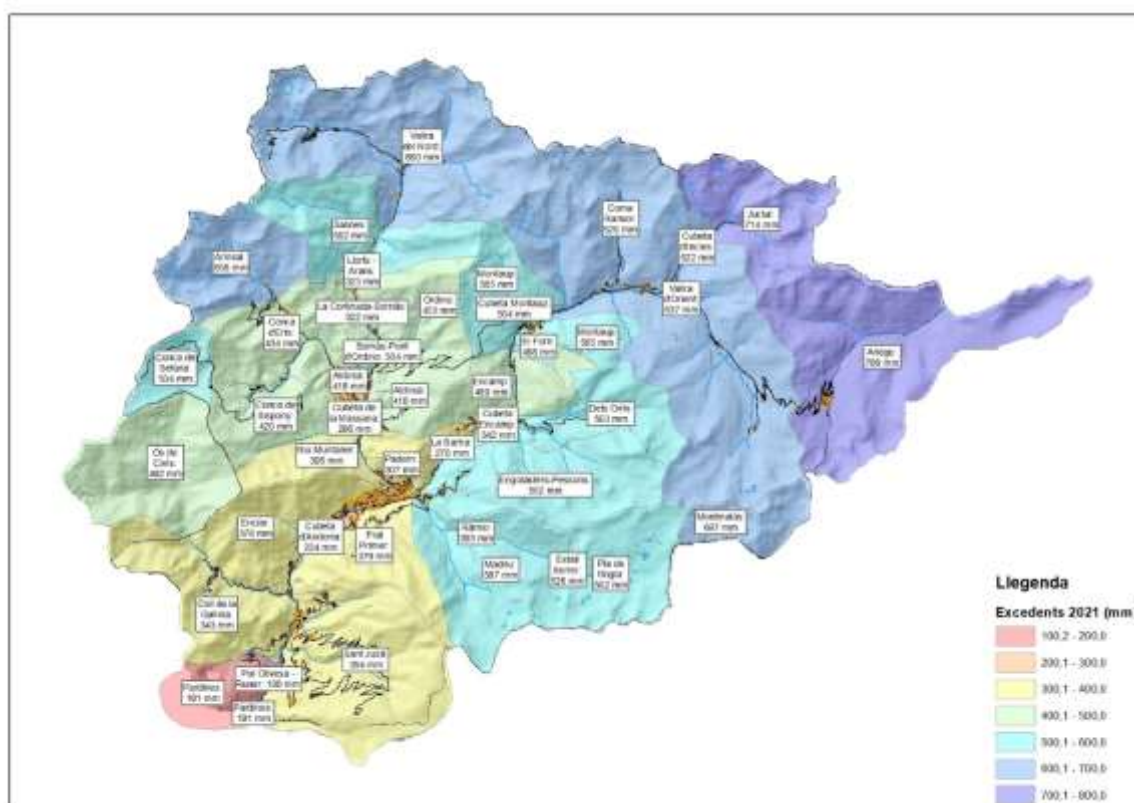


Figura 34. Mapa de distribució de la pluja útil en les diferents unitats hidrogeològiques descrites en l'estudi del M.I. Govern, 2007

La figura 35 representa els excedents de cada conca com a percentatge de desviació respecte el valor mig de la mateixa per al període 1981-2010. Es pot observar que en la majoria de UH els excedents han estat per sota la mitjana, al voltant d'un 10% menys. A la UH de les Pardines, els excedents han estat un 45% inferiors i al Pui d'Olivesa un 59%.

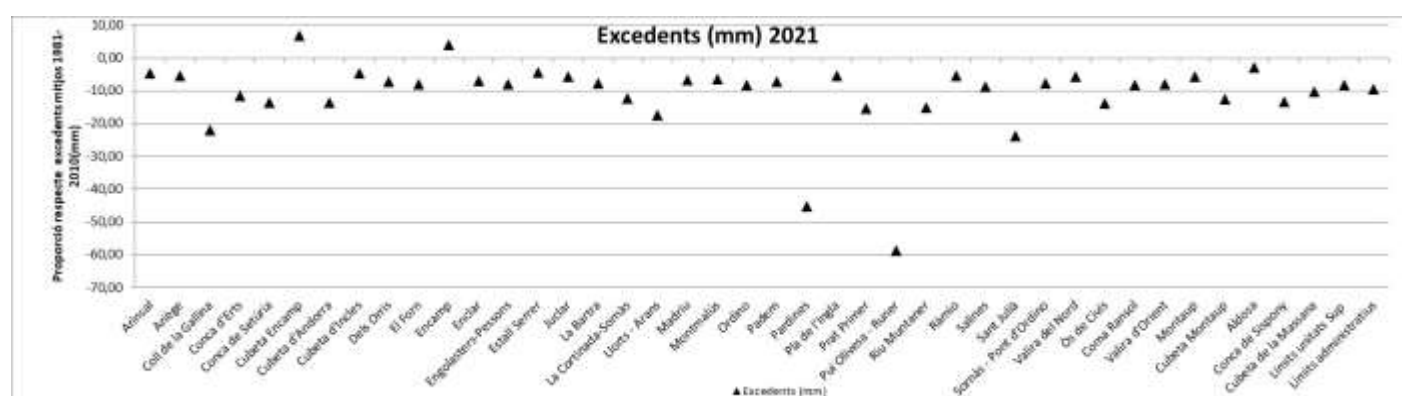


Figura 35. Gràfic de distribució dels excedents en les diferents unitats hidrogeològiques descrites en l'estudi del M.I. Govern, 2007. Si el valor mig representa el 100%, els valors del gràfic representen el percentatge per sobre o per sota la mitjana.

En detall, si comparem els excedents del 2021 amb la mitjana veiem que ha estat un any sec a la meitat sud oest i normal a la resta del país.

Comportament dels excedents anuals per unitats hidrogeològiques. Any 2021

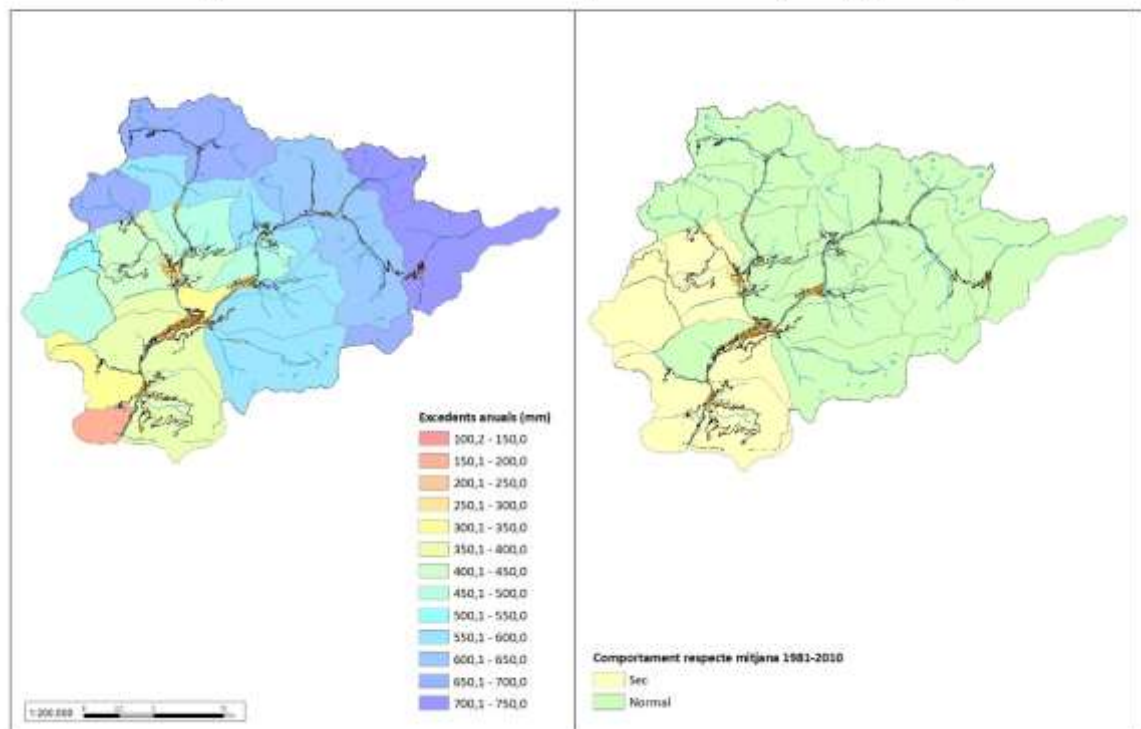


Figura 36. Mapa comparatiu dels excedents estimats del 2021 amb la mitjana climàtica 1981-2010 en les diferents unitats hidrogeològiques

Estacionalment, veiem que l'hivern ha estat normal a la meitat oest i humit a la meitat est.

Comportament dels excedents hivern per unitats hidrogeològiques. Any 2021

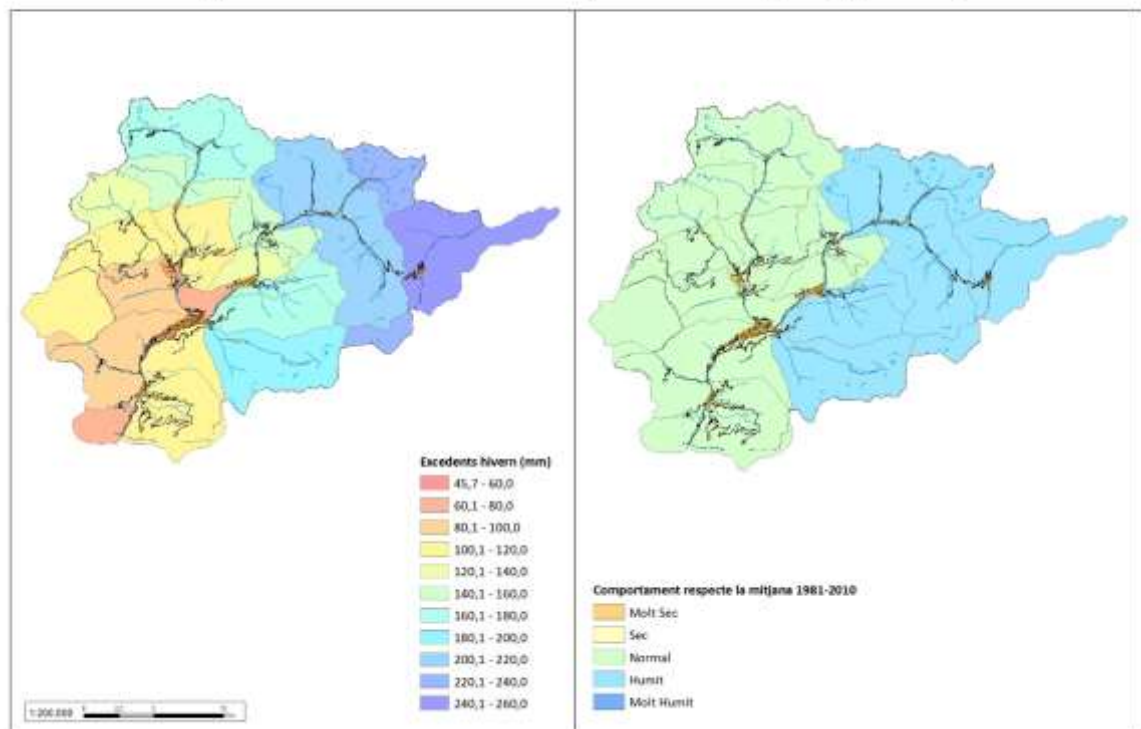


Figura 37. Mapa comparatiu dels excedents estimats a l'hivern del 2021 amb la mitjana climàtica 1981-2010 en les diferents unitats hidrogeològiques

Comportament dels excedents primavera per unitats hidrogeològiques. Any 2021

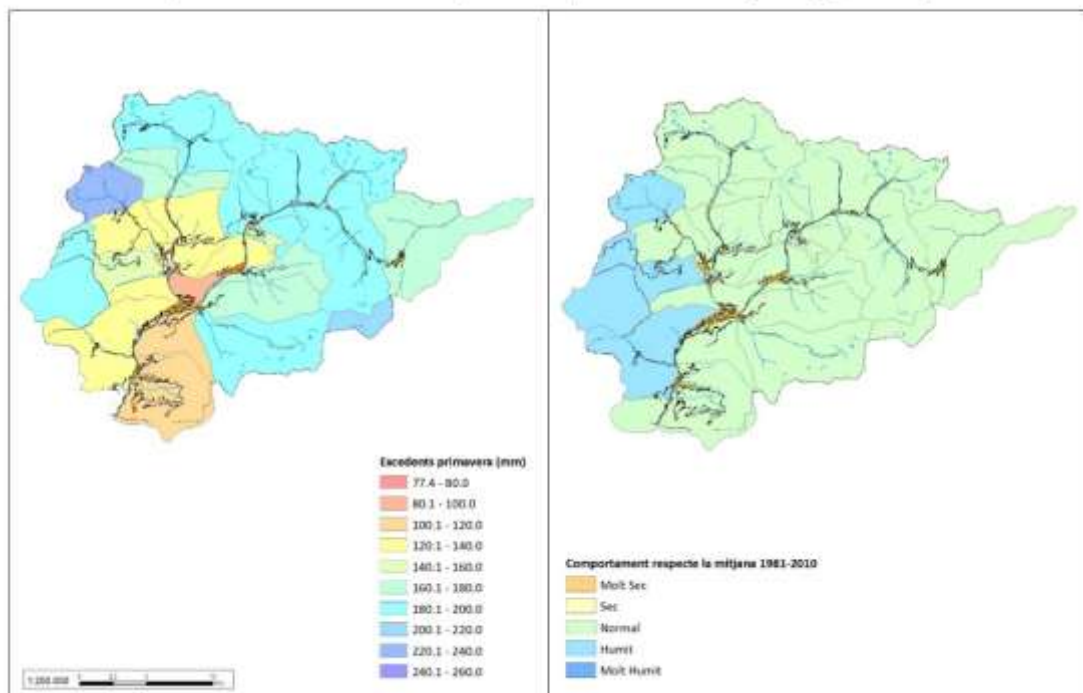


Figura 38. Mapa comparatiu dels excedents estimats a la primavera del 2021 amb la mitjana climàtica 1981-2010 en les diferents unitats hidrogeològiques

Comportament dels excedents estiu per unitats hidrogeològiques. Any 2021

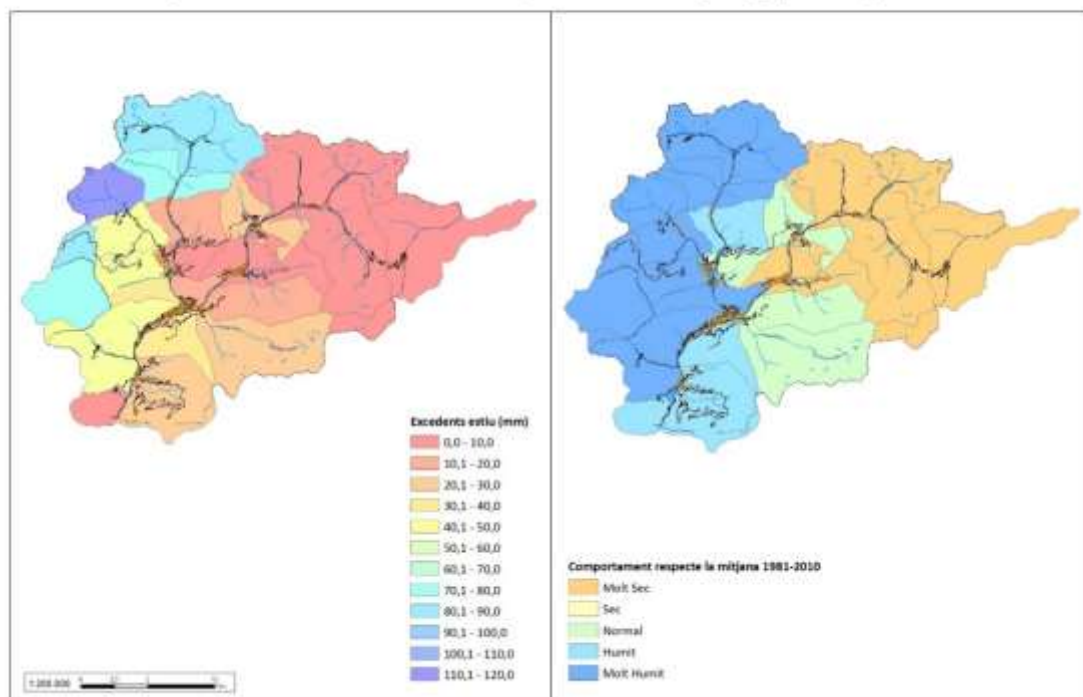


Figura 39. Mapa comparatiu dels excedents estimats a l'estiu del 2021 amb la mitjana climàtica 1981-2010 en les diferents unitats hidrogeològiques

Comportament dels excedents tardor per unitats hidrogeològiques. Any 2021

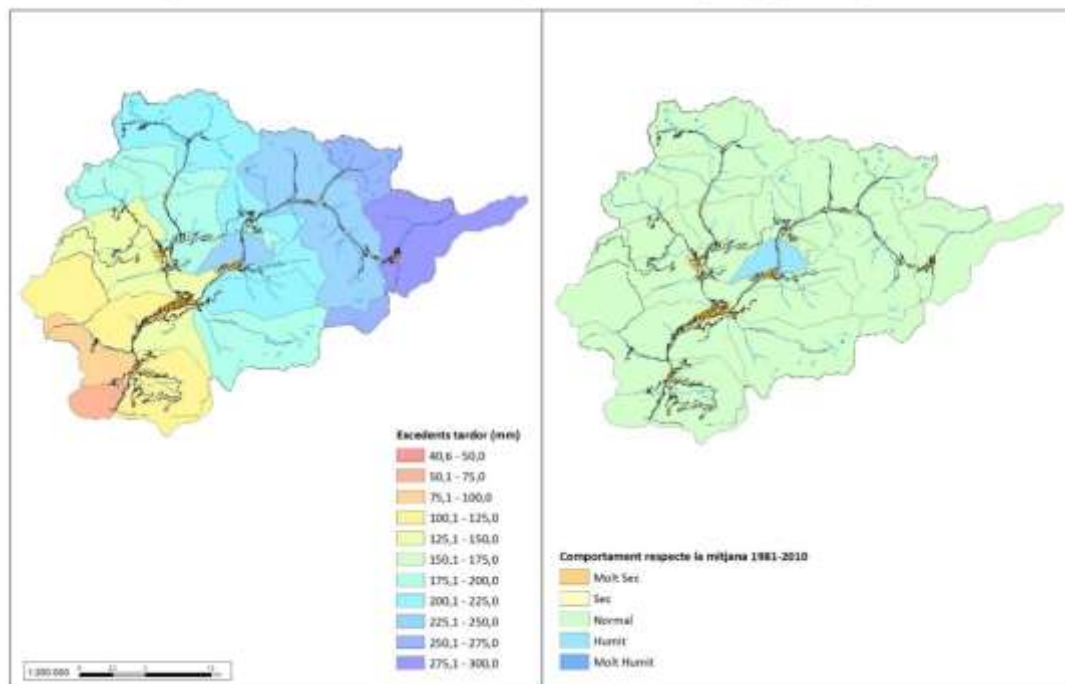


Figura 40. Mapa comparatiu dels excedents estimats a la tardor del 2021 amb la mitjana climàtica 1981-2010 en les diferents unitats hidrogeològiques

A la primavera en canvi, els excedents han estat normals en el conjunt del país, excepte en una franja reduïda de l'oest que ha estat més humida.

A l'estiu es tenen valors alts en el sector nord oriental i en la resta es tenen valors molt baixos o baixos, fet que es tradueix en un trimestre molt sec al nord-est i normal al centre i sud-est, i humit i molt humit a la meitat oest.

A la tardor els valors més baixos es tenen al sud oest, però comparant amb la mitjana es tracta d'un trimestre normal en conjunt.

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,

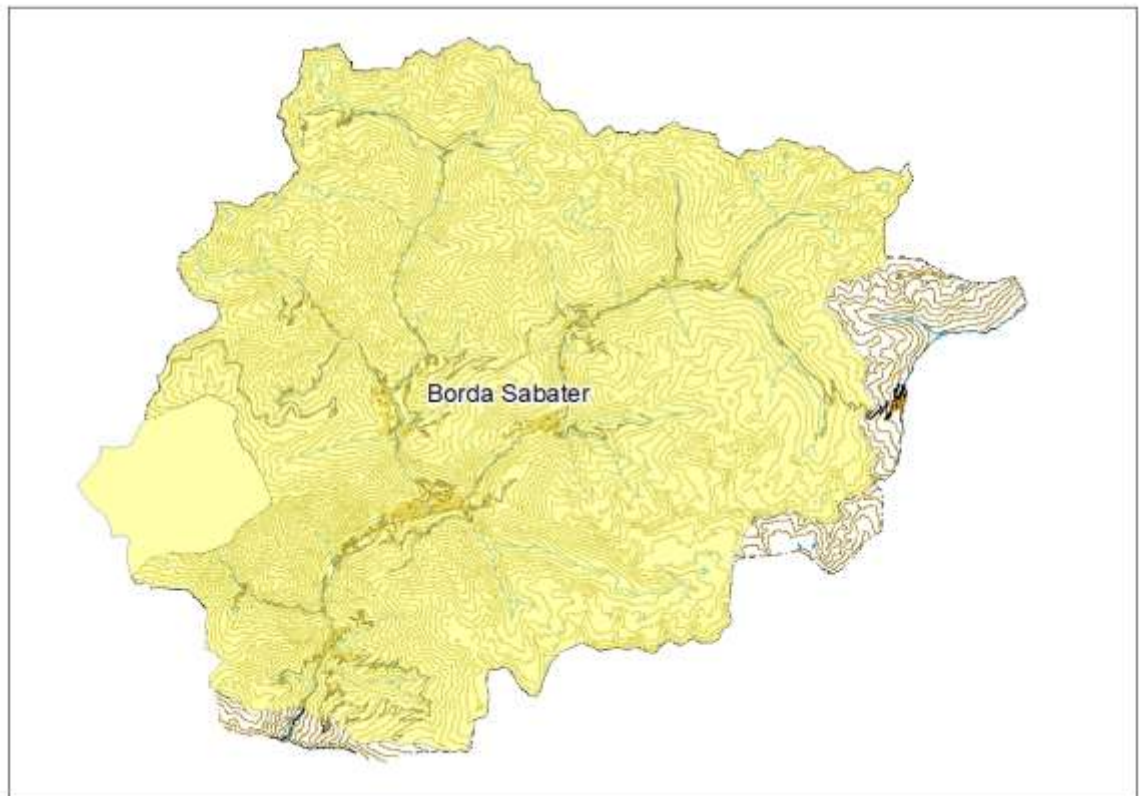


Figura 41. Mapa de situació de les diferents conques analitzades: Borda sabater

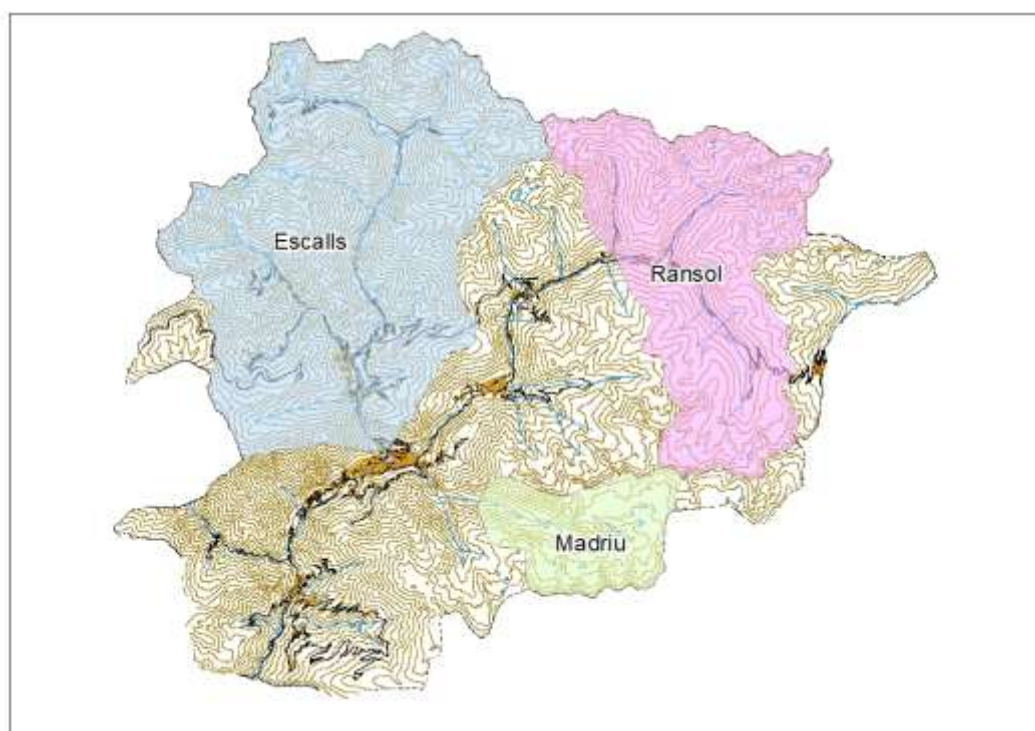


Figura 42. Mapa de situació de les diferents conques analitzades: Escalls, Madriu feda, Ransol-Valira Orient

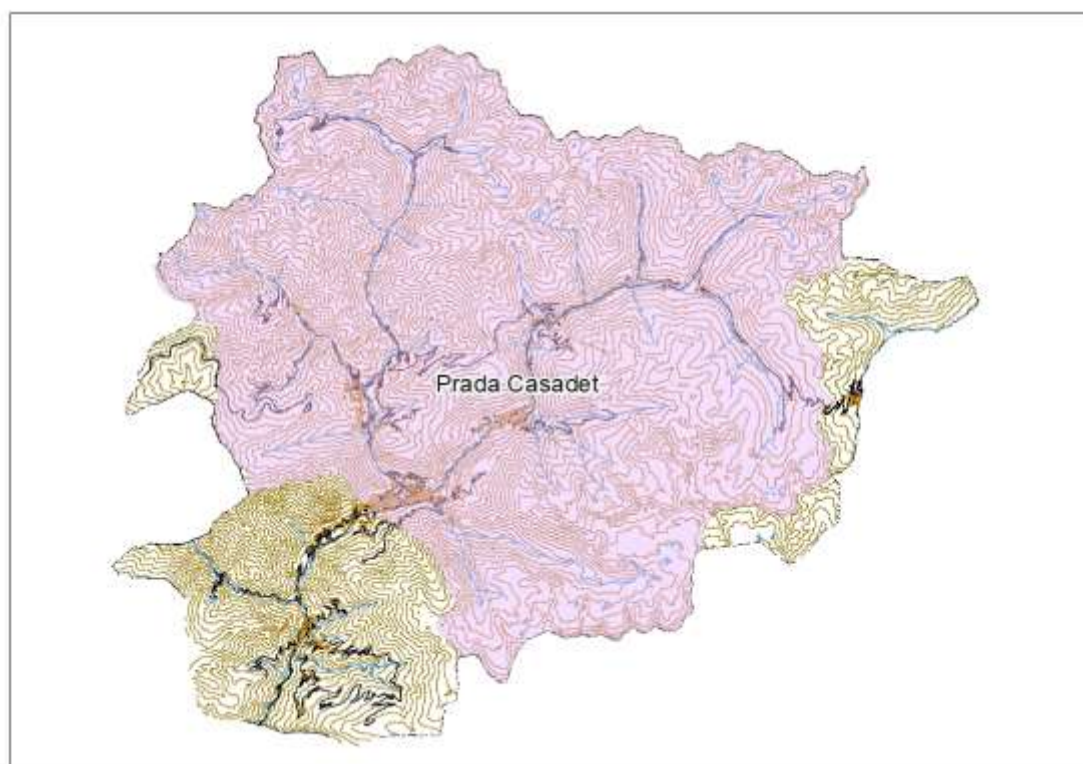


Figura 43. Mapa de situació de les diferents conques analitzades: Prada Casadet

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 -gener-març-, el segon, de la primavera -abril-juny-, el tercer, a l'estiu -juliol-setembre- i el quart, a la tardor -octubre-desembre.

Els cabals estimats (excedents transformats a cabals) aquest 2021 són similars als valors mitjos o una mica menors. Estacionalment veiem que a l'hivern i primavera també són similars, en canvi a l'estiu presenten valors més alts a la mitjana a Escalls i més baixos a Ransol. A la tardor s'estimen valors més baixos a Borda Sabater, a Prada Casadet i a Escalls.

En relació a les precipitacions, anualment veiem que han estat inferiors en totes les conques estudiades, i estacionalment a l'hivern també ha estat així (excepte en la conca dels Escalls), a la primavera en canvi es tenen valors més alts, i a l'estiu i tardor, com a l'hivern, més baixos que la mitjana.

Sobre la temperatura, observem valors anuals normals o més baixos en el cas de Ransol. A l'hivern, també a Ransol es tenen valors més baixos respecte la mitjana, però més altes en la resta de conques, amb increments de fins a $+0.69^{\circ}\text{C}$. A la primavera es tenen valors normals o més baixos (a Ransol fins a -1.11°C). A l'estiu i tardor es tenen valors similars o una mica més baixos. En tots els trimestres, Ransol és on es detecten valors mitjos més baixos respecte la mitjana.

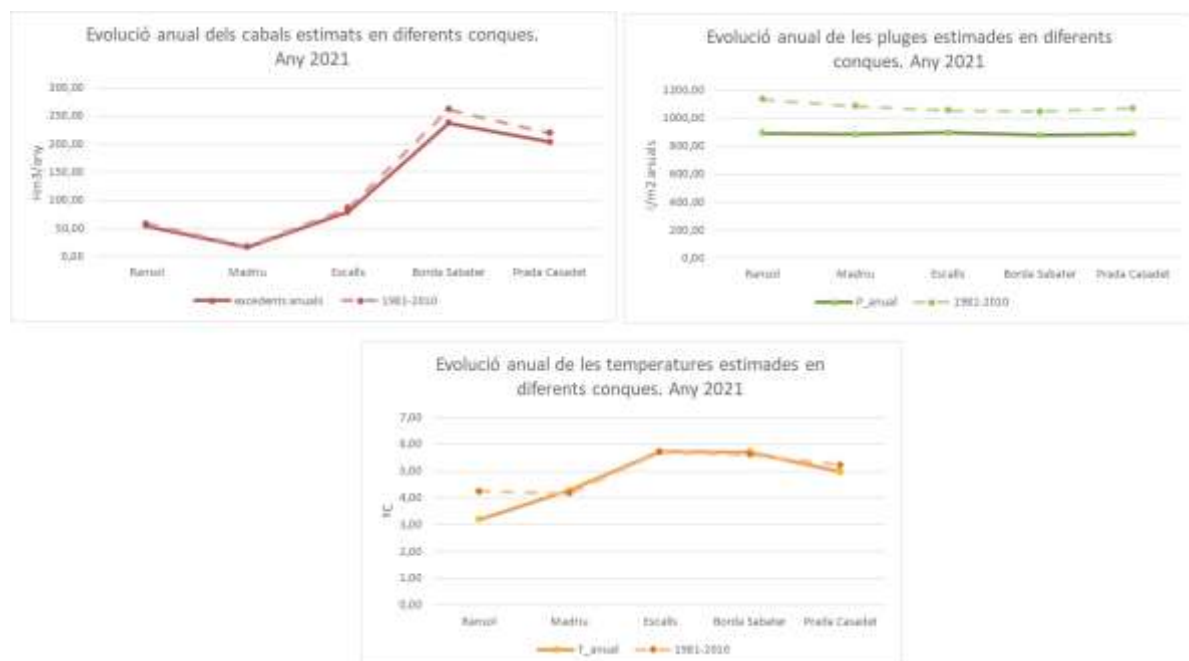


Figura 44. Anàlisi anual dels cabals estimats, de les precipitacions i de la temperatura en les diferents conques.

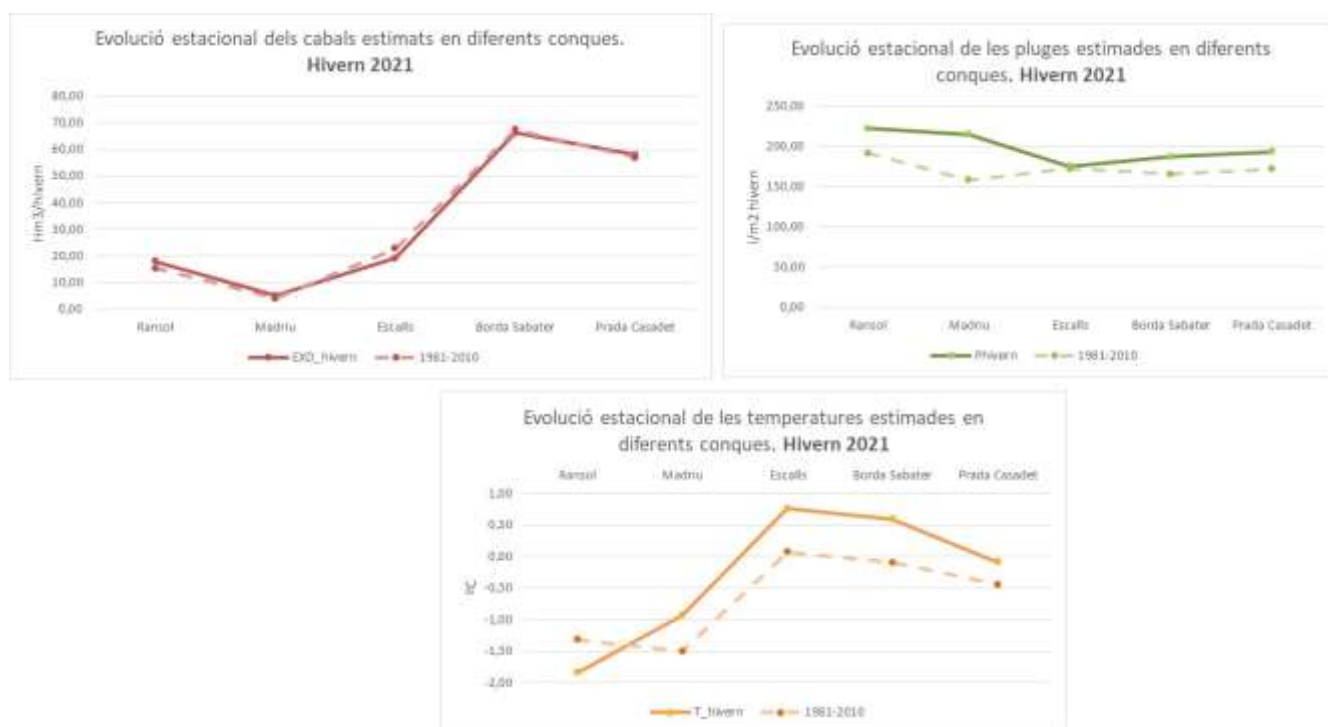


Figura 45. Anàlisi de l'hivern dels cabals estimats, de les precipitacions i de la temperatura en les diferents conques.

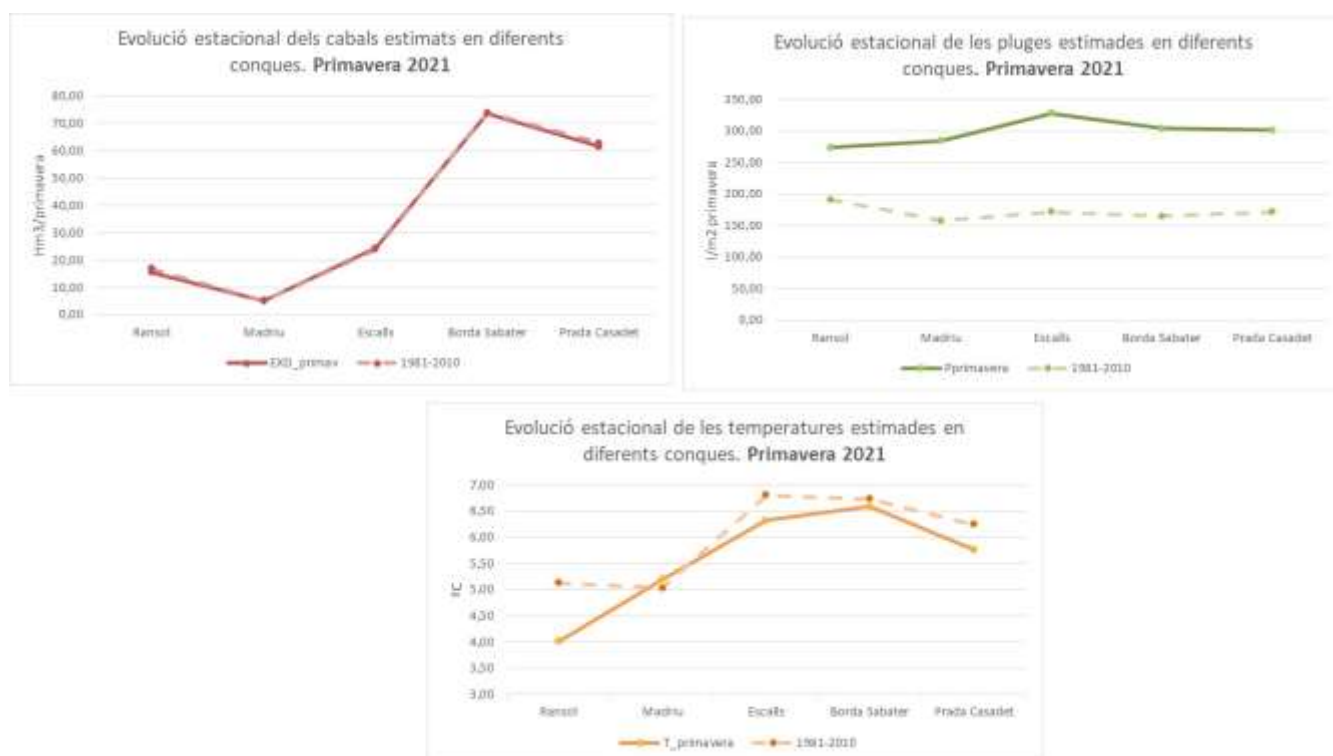


Figura 46. Anàlisi de la primavera dels cabals estimats, de les precipitacions i de la temperatura en les diferents conques.

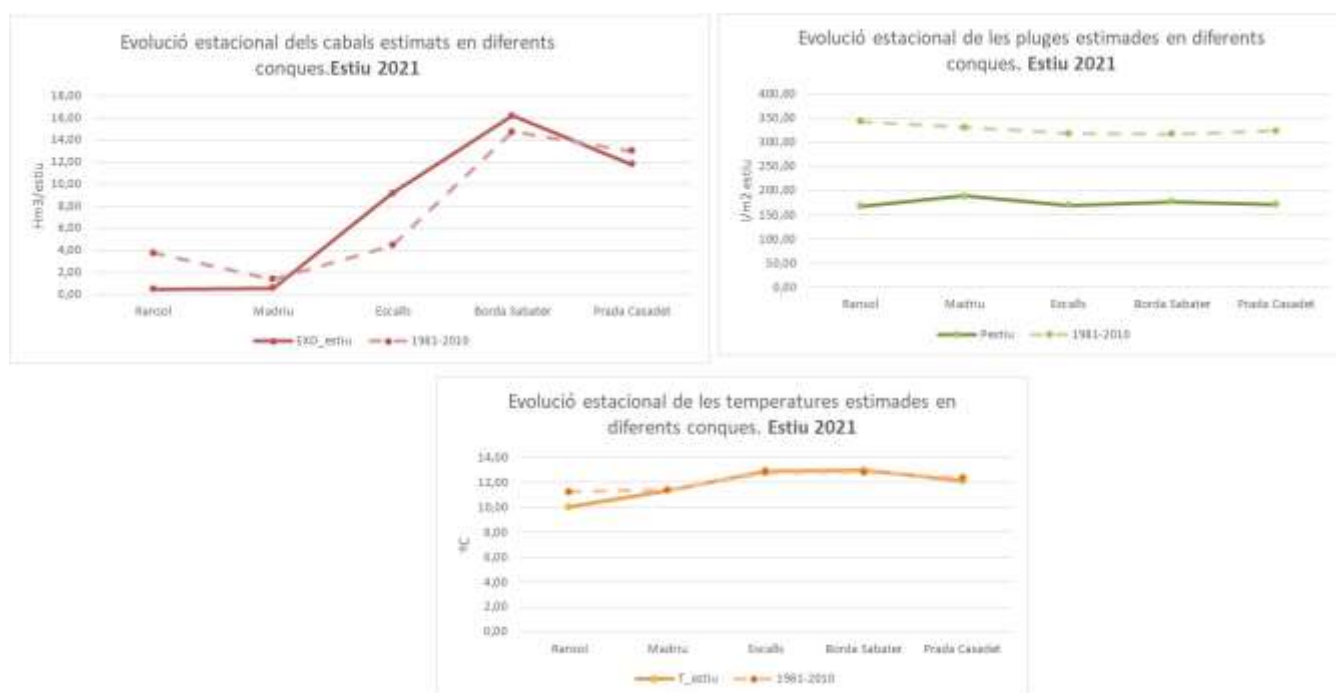


Figura 47. Anàlisi de l'estiu dels cabals estimats, de les precipitacions i de la temperatura en les diferents conques.

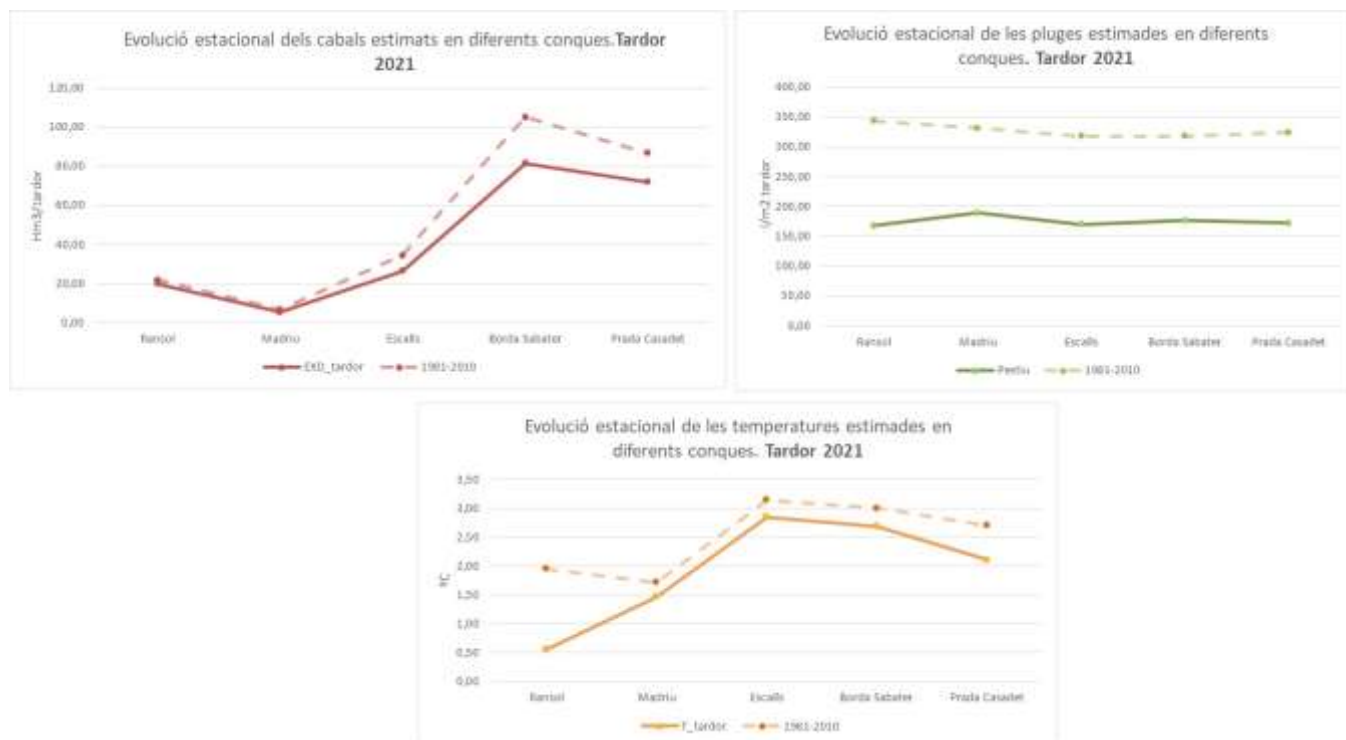


Figura 48. Anàlisi de la tardor dels cabals estimats, de les precipitacions i de la temperatura en les diferents conques.

Interanualment, en aquestes conques observem un descens en la precipitació, en els excedents i també en la temperatura mitjana anual entre el 2020 i el 2021.

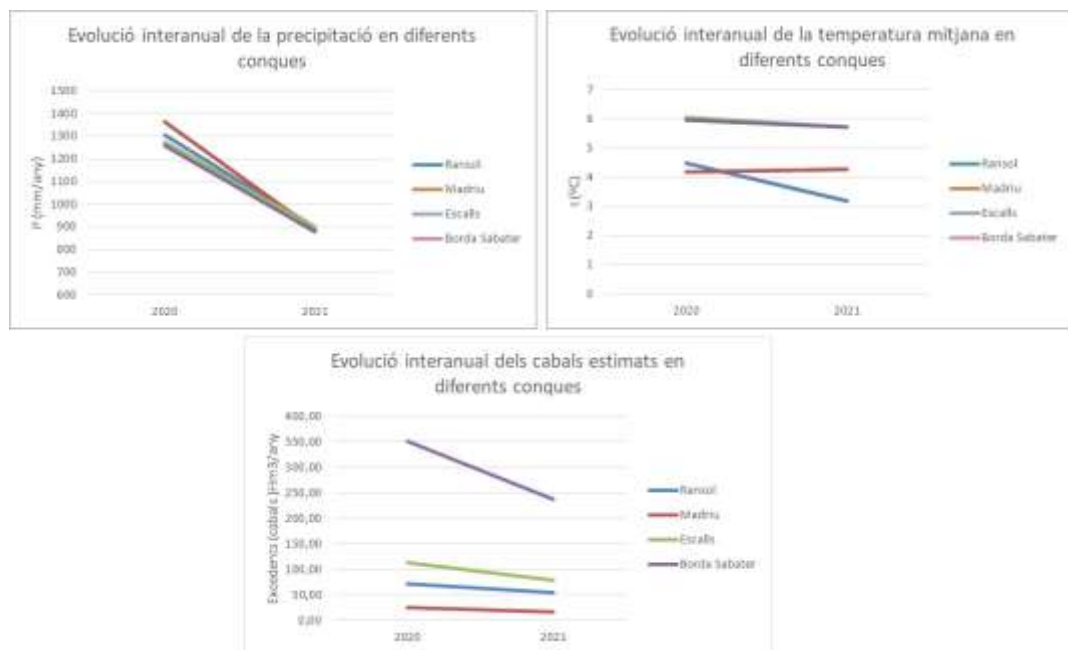


Figura 49. Evolució interanual de la precipitació, temperatura i excedents en les diferents conques

7 CONCLUSIONS

Aquest 2021 el mòdul de precipitació mig del territori andorrà s'estima que és de 932 mm quan la mitja de 30 anys és d'uns 1054 mm. El 2021 ha estat un **any sec al nord, est i sud del país** 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 2021 s'estima que ha estat de 5.49 °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 càlid a l'extrem sud i oest, i fred al nord i oest i molt fred en alguns punts del nordoest**.

L'anàlisi estacional duta a terme de la temperatura i precipitació comparant-la amb la mitjana climàtica de 30 anys permet observar que aquest 2021 ha sigut un hivern amb precipitacions normals i temperatures càlides a la meitat oest (sobretot al sud) i humit -fred a la meitat est. A la primavera, a l'estiu i a la tardor han estat més fredes al nord i nordest, i amb temperatures normals en la franja nordoest-sudest i càlides al sud i sudoest. En canvi les precipitacions han estat normals (amb l'excepció de la primavera, que ha tingut en uns sectors del sudoest amb valors més alts).

El mètode de càlcul per estimar la pluja útil de cada unitat ha estat mitjançant el càlcul de l'ETP segons Thornthwaite, 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 2021 d'uns 285 Hm³/any, calculats mitjançant el balanç hídric amb el mètode de Thornthwaite, i d'aquests, 256 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 2021 representa uns 253 Hm³/any. D'aquests, 228 Hm³/any serien disponibles, reservant-se el 10% com a cabals "ecològic". El 2021 s'ha tractat d'un any sec d'excedents a la meitat sud oest i normal a la resta del país.

Estacionalment, els excedents, veiem que l'hivern han estat normal a la meitat est i sec a la meitat oest. A la primavera en canvi, els excedents han estat normals en el conjunt del país, excepte en una franja reduïda de l'oest que ha estat més humida. A l'estiu es tenen valors alts en el sector nord oriental i en la resta es tenen valors molt baixos o baixos, fet que es tradueix en un trimestre molt sec al nord i normal al centre i sudest, i humit i molt humit a la meitat oest. A la tardor els valors més baixos es tenen al sud oest, però comparant amb la mitjana es tracta d'un trimestre normal en conjunt.

8 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, març 2022. Estudi de per a l'elaboració anyal del balanç hídric del Principat d'Andorra. Any 2020

Custodio, E. i Llamas, M.R. 2001. Hidrología subterránea- segunda edición, ed Omega

Àurea Ponsa i Vidales

Llicenciada en Geologia, d'Hídric

Num. Decret: 42142/2005

Pau Ferrer i Roura (col·laborador)

Llicenciat en Geologia

Sant Julià de Lòria, 13 de maig del 2022

9 ANNEX DE DOCUMENTACIÓ. CÀLCUL DEL BALANÇ HÍDRIC

9.1 CÀLCUL DE L'EVAPOTRANSPIRACIÓ

9.1.1 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).

9.1.2 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 2020, que era de **8.6 mm** i finalitza el desembre del 2021 amb la reserva a **8.5 mm**.

El mapa de distribució de l'ETR anual (**Figura 50**) presenta un valor mig de 386 mm/any, amb valors màxims al voltant dels 600 mm i mínims inferiors als 150 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.

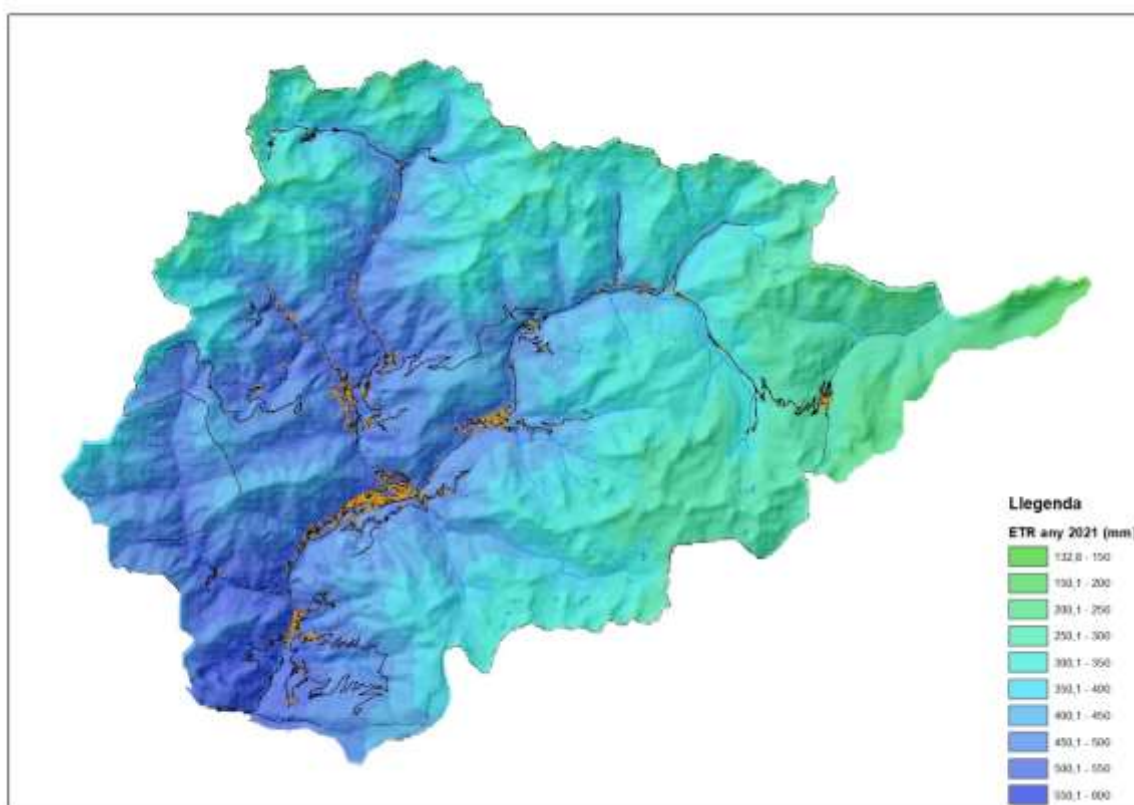


Figura 50. Mapa de distribució de l'ETR_2021

9.2 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**).

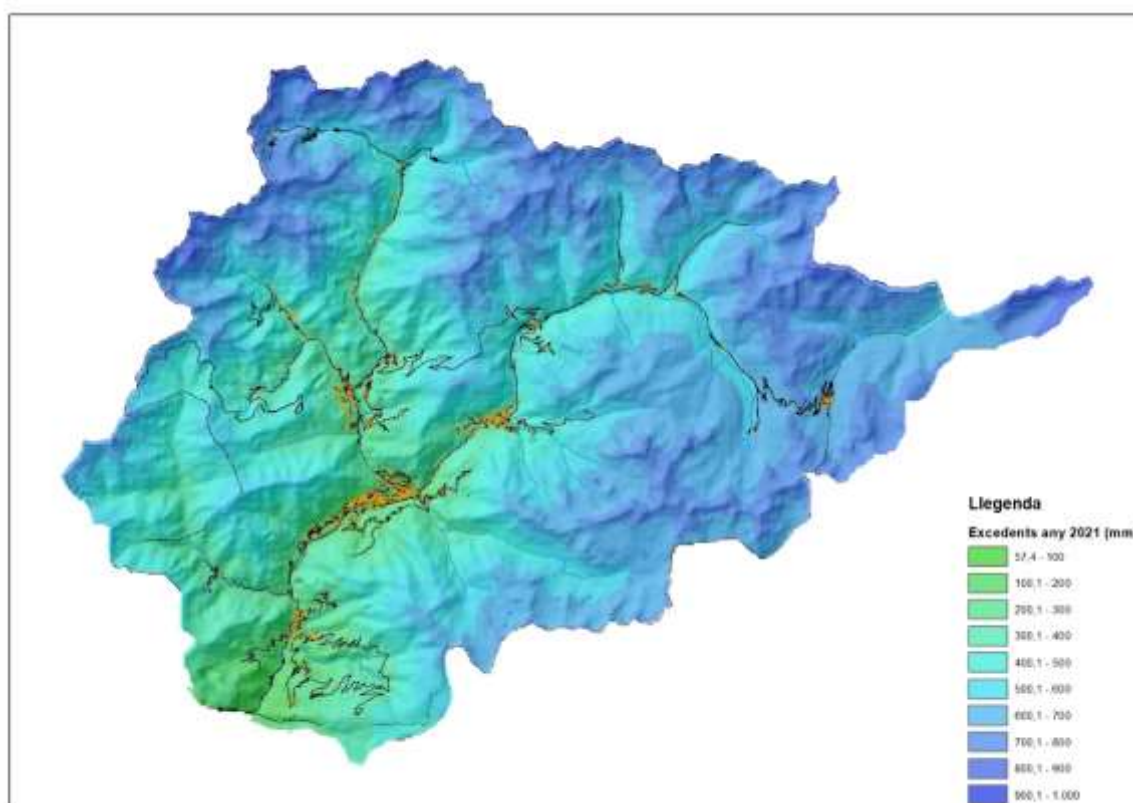


Figura 51. Mapa de distribució de la pluja útil o excedents estimats per l'any 2021

La pluja útil o excedents estimats presenten un valor mig de 545 mm. Els valors màxims són d'uns 900 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 són al voltant de 50 mm, s'emplacen cap al sud i en tots els fons de vall.

9.3 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 al nord i oest del país sobretot i en canvi al sud, fons de vall i part nordoriental ha estat més alta.

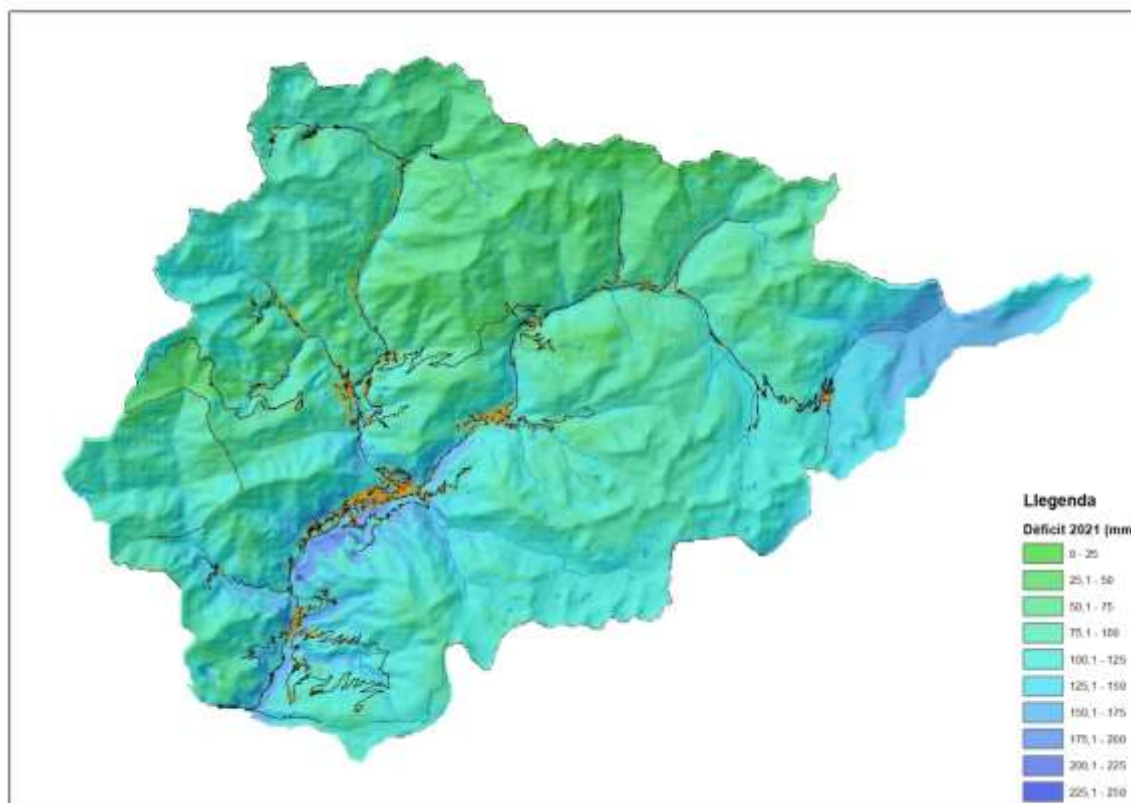
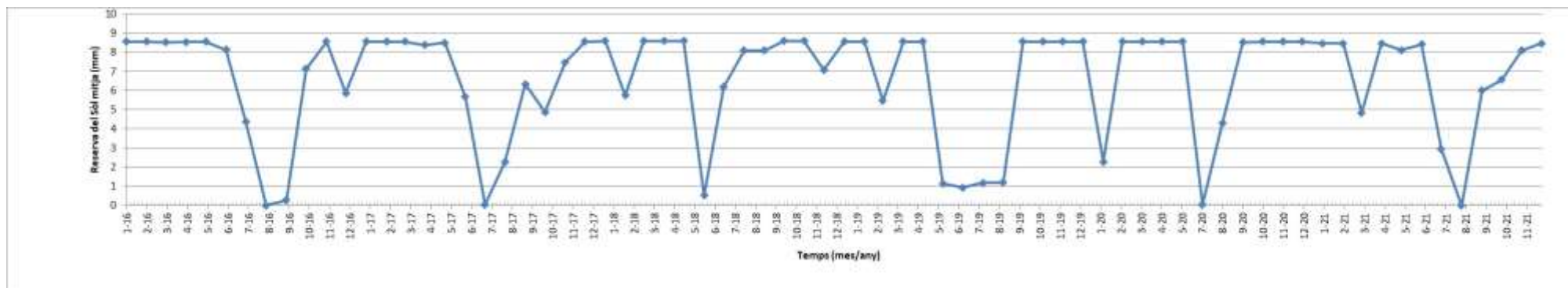


Figura 52. Mapa de distribució dels dèficits estimats per l'any 2021. R= variable, seguint el mètode de Thornthwaite El mètode de càlcul ha consistit en la diferència entre ETP i ETR quan no hi ha reserva disponible.

9.4 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, 2018 i també al 2021.



Any	Variació de la reserva (mm)
2015	-6,12
2016	3,69
2017	2,68
2018	-1,46
2019	1,46
2020	0,00
2021	-0,10

Figura 53. Evolució de la reserva mitja mensual d'aigua del sòl des del 2016 fins al desembre del 2021. 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.



Govern d'Andorra

Informe

www.mediambient.ad