



Govern d'Andorra



Resultats del balanç hídric del Principat d'Andorra - any 2024 -

Ministeri de Medi Ambient, Agricultura i Ramaderia

Andorra la Vella, 6 de maig del 2025

Informe

1	OBJECTIUS.....	3
2	DADES BASE DE PRECIPITACIÓ I TEMPERATURA	4
3	CÀLCUL DEL BALANÇ HÍDRIC	7
3.1	RESULTATS DEL BALANÇ HÍDRIC	8
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 ..	36
7	CONCLUSIONS.....	42
8	BIBLIOGRAFIA	43
9	ANNEX DE DOCUMENTACIÓ. CàLCUL DEL BALANÇ HÍDRIC	44
9.1	CàLCUL DE L'EVAPOTRANSPIRACIÓ.....	45
9.1.1	Generalitats.....	45
9.1.2	Aplicació del mètode empíric de Thornthwaite	45
9.2	CàLCUL DE LA PLUJA ÚTIL	48
9.3	ESTIMACIÓ DEL DÈFICIT HÍDRIC	50
9.4	EVOLUCIÓ DE LA RESERVA D'AIGUA DEL SÒL	51

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 2024.

Des del 2016 és l'ARI 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 d'Andorra: 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 2024.

El mapa de distribució de les precipitacions anuals permet veure que es tenen valors màxims propers als 1400 mm a l'est del país, i mínims per sota els 780 mm sobretot al sud-oest del país i fons de vall.

A nivell d'Andorra, el valor mig acumulat és de 1104 mm (límit administratiu).

En la **figura 1** es mostra el model de distribució de les precipitacions de l'any 2024.

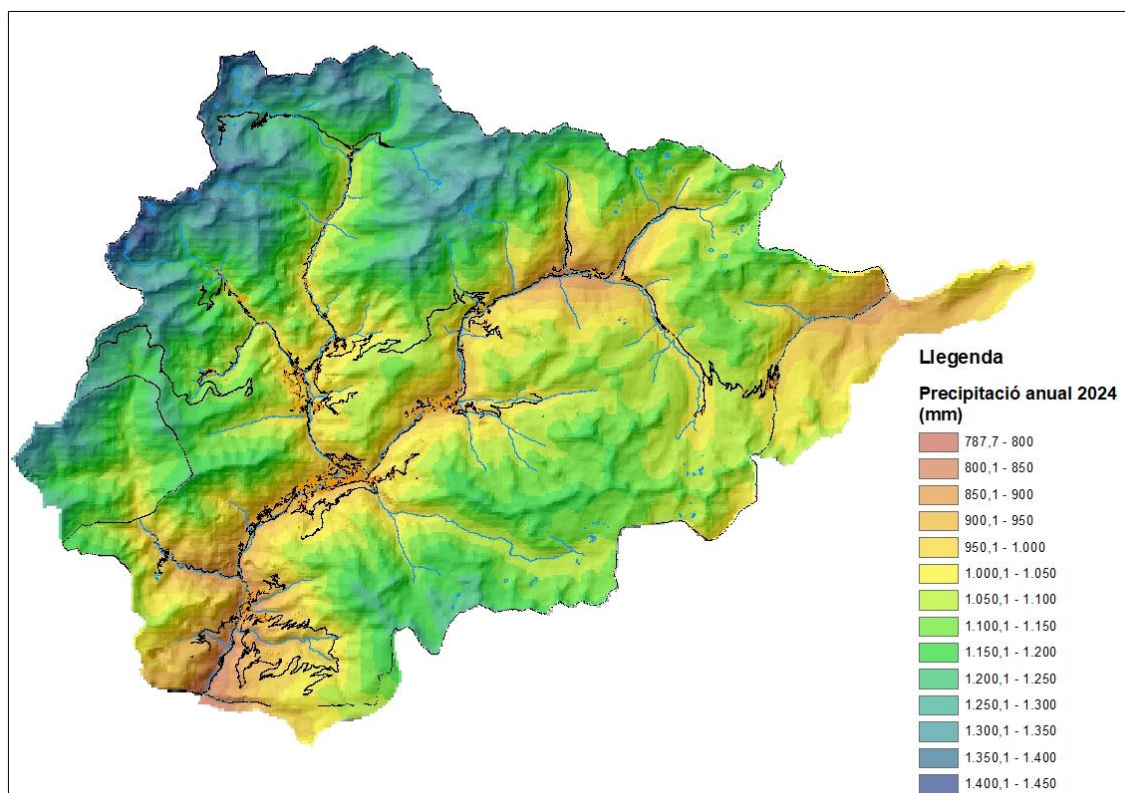


Figura 1. Mapa de distribució de les precipitacions acumulades el 2024. Dades base facilitades pel l'ARI

Si es comparen les precipitacions acumulades el 2024 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 a l'extrem nord-oriental i humit a l'occidental. La resta del territori estudiat presenta valors *normals*. En la **figura 2** es mostra el resultat de relacionar les precipitacions del 2024 amb la mitjana climàtica.

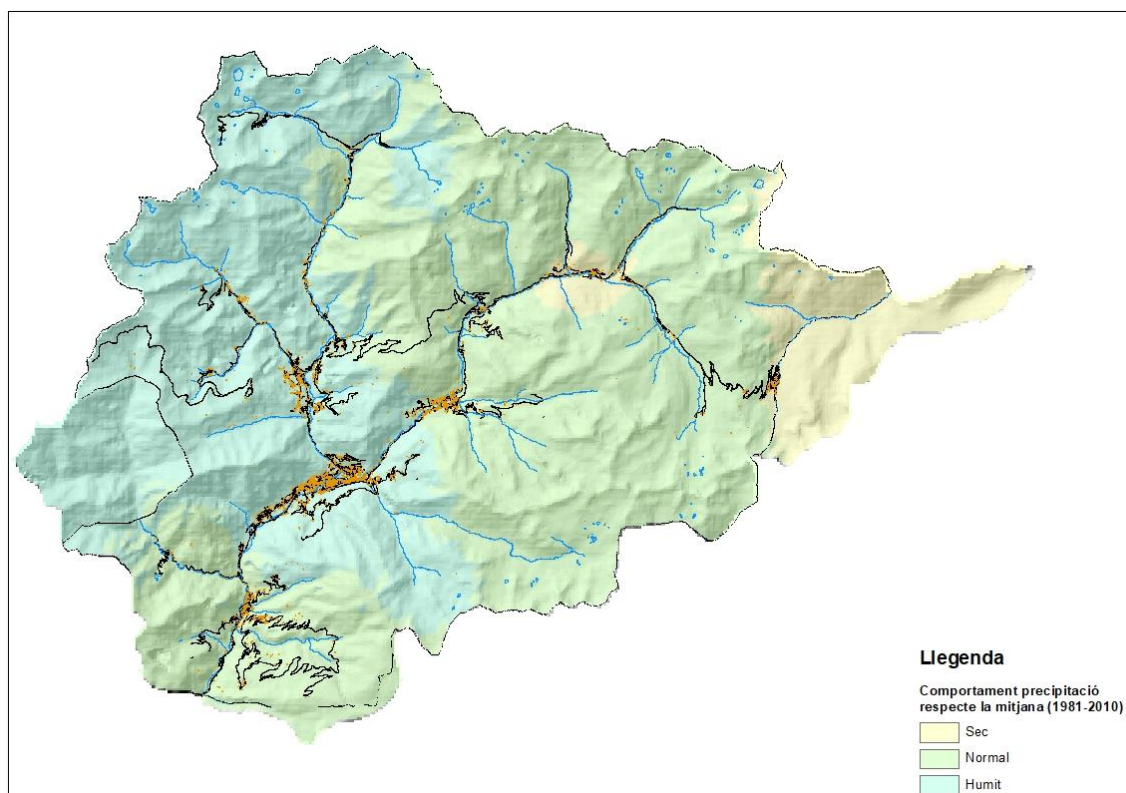


Figura 2. Mapa comparatiu de les quantitats acumulades registrades el 2024 i els corresponents valors mitjans.

En relació a la temperatura, l'any 2024 presenta un valor mig anual a nivell de país de 6.63°C (límit administratiu). Els valors mínims es detecten en el terç nord i est del Principat coincidint amb alta muntanya, amb valors mínims de 0.5°C, i les temperatures màximes es detecten al sud-oest, amb valors de fins a 13°C. En la **figura 3** es mostra el model de distribució de les temperatures de l'any 2024.

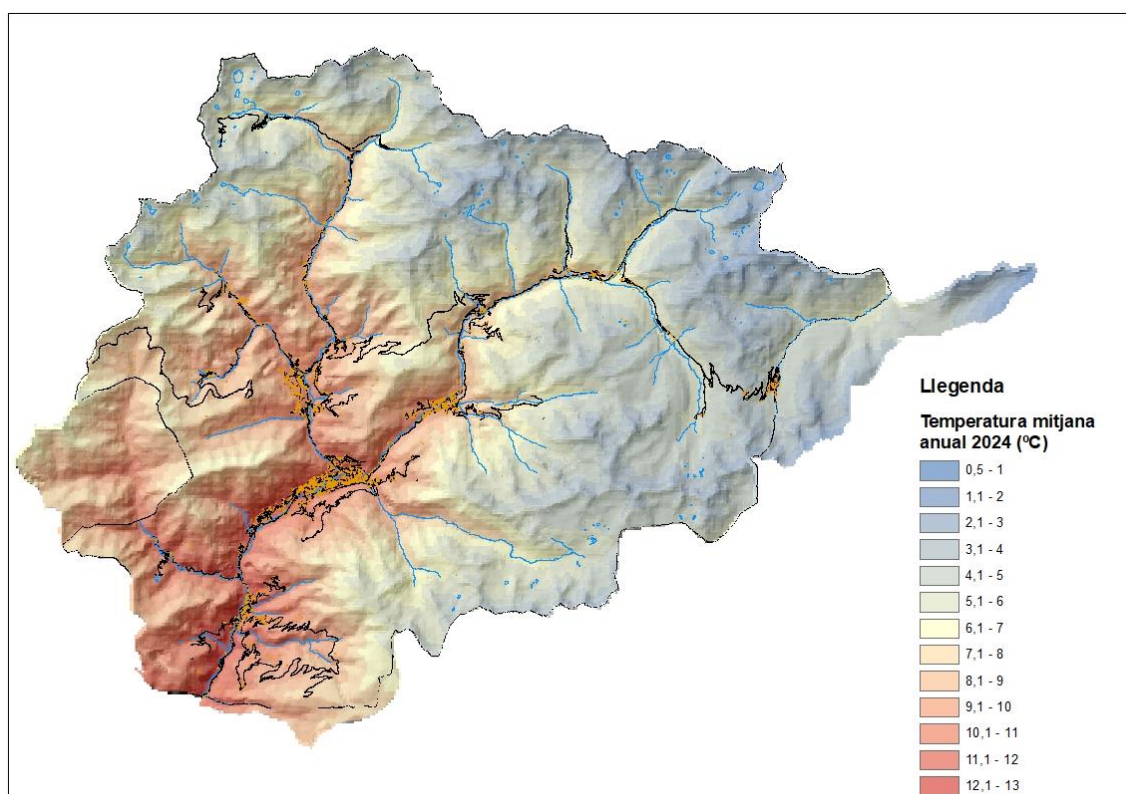


Figura 3. Mapa de distribució de les temperatures mitges del 2024. Dades base facilitades pel l'ARI

Comparant la temperatura mitjana anual amb la mitjana climàtica de 30 anys (període 1981-2010 valor de 5.6°C), s'observa que les temperatures del 2024 han estat en conjunt superiors a la mitjana; s'ha tractat d'un any calorós, amb l'excepció del sector nord-oriental que han sigut normals o fins i tot més baixes.

En la **figura 4** es mostra la relació entre la temperatura estimada pel 2024 i la mitjana climàtica.

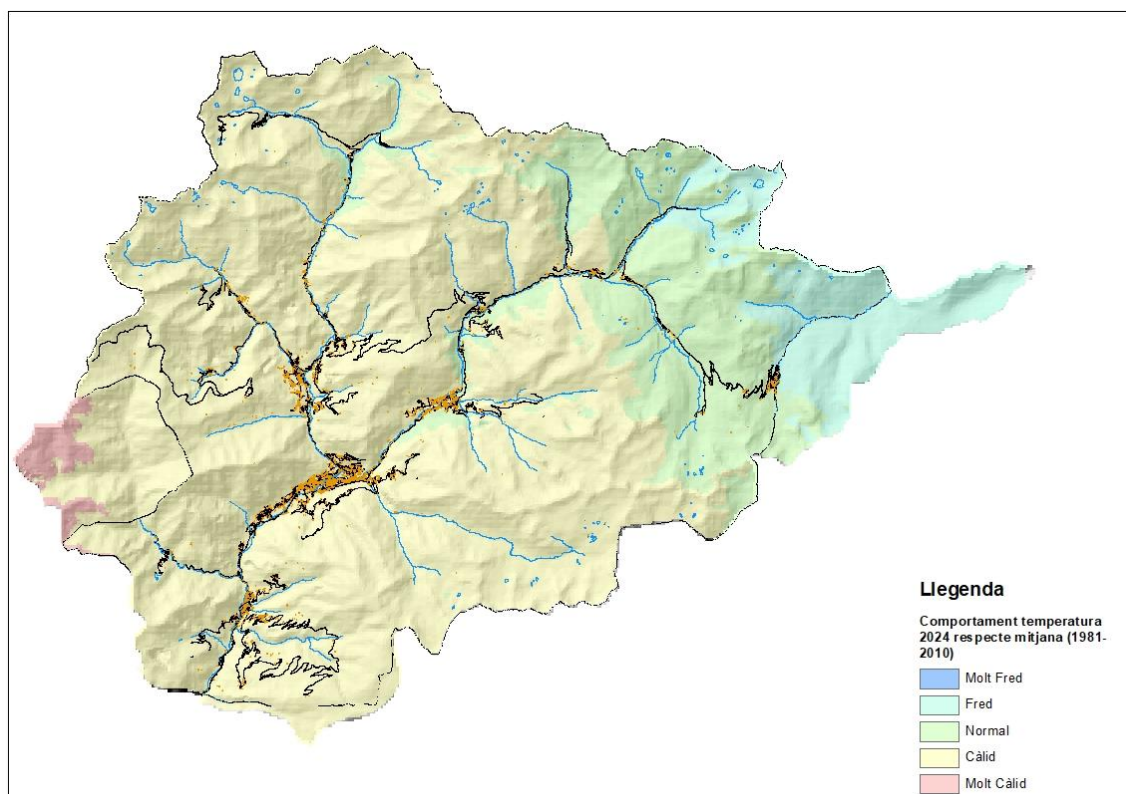


Figura 4. Mapa de les diferències de temperatura de l'any 2024 respecte la mitjana.

3 CÀLCUL DEL BALANÇ HÍDRIC

De cara a estimar els recursos hídrics del 2024, que potencialment poden ésser usats per les necessitats de l'home (també anomenats *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 mitjana	P acumulada	ETR	Pluja útil (excedents)	ΔR^*
6.6	1104	464	635	4.6

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.

Les entrades al sistema són les precipitacions, amb un valor mig de 1104 mm/any. Les sortides es distribueixen en evapotranspiració, amb uns 464 mm i pluja útil amb 635 mm.

La reserva d'aigua en el sòl ha estat per sota els valors màxims del juny fins al novembre, i s'ha arribat a esgotar al juliol. En l'Annex 9.4 es mostra l'evolució històrica de la reserva.

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

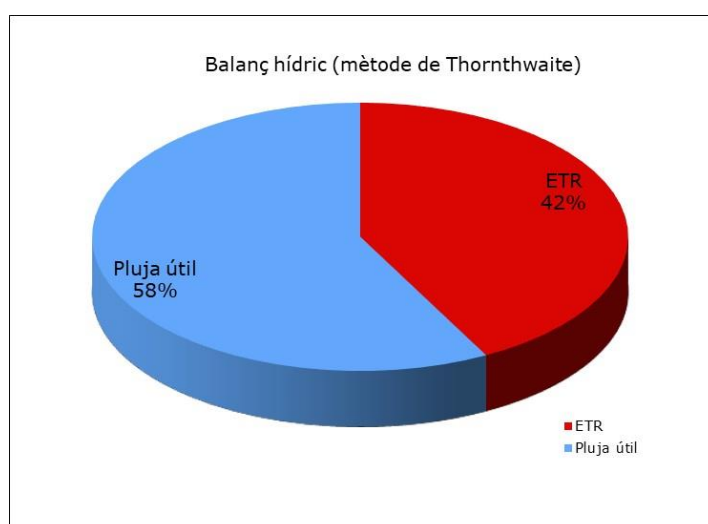


Figura 5. Balanç hídric segons Thornthwaite (Calculat tenint en compte que la reserva d'aigua al sòl és variable segons la zona)

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.

Si es dona 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 2024 de diferents rius, per part de Forces Elèctriques d'Andorra (FEDA), la Confederació Hidrogràfica de l'Ebre (CHE), i del Departament de Medi Ambient (DMAS) i de Protecció Civil (PC) del Govern d'Andorra.

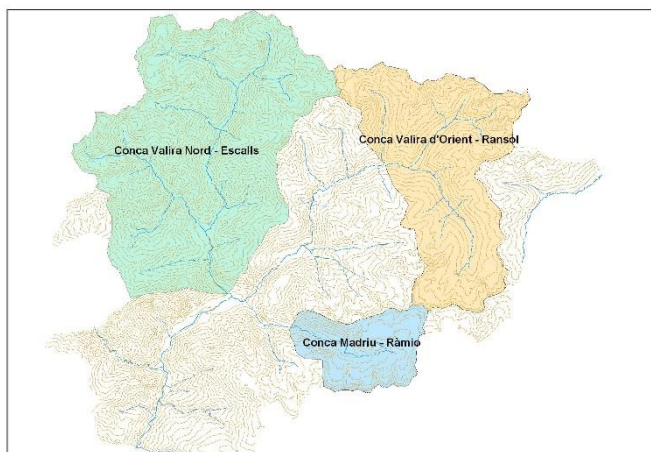
Protecció Civil té varies estacions d'aforaments, no obstant, són estacions dissenyades per detectar les grans avingudes i per tant no estan pensades ni per donar dades dels cabals mínims ni

mitjos. Així mateix, en tots els casos menys en l'estació de Prada Casadet la llera del riu on hi ha l'estació és natural, això vol dir, irregular, pel que les lectures del calat, sobretot, en moments de cabals mínims, tenen molt error. En canvi al sector de Prada Casadet la llera és regular, formigonada, i per tant és de preveure que els valors de cabals mínims siguin més aproximats. Per això, i donat l'objectiu del present document, només s'usarà l'estació de Prada Casadet.

En la següent taula s'indiquen les coordenades de les estacions d'aforament utilitzades, del riu al qual 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
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.

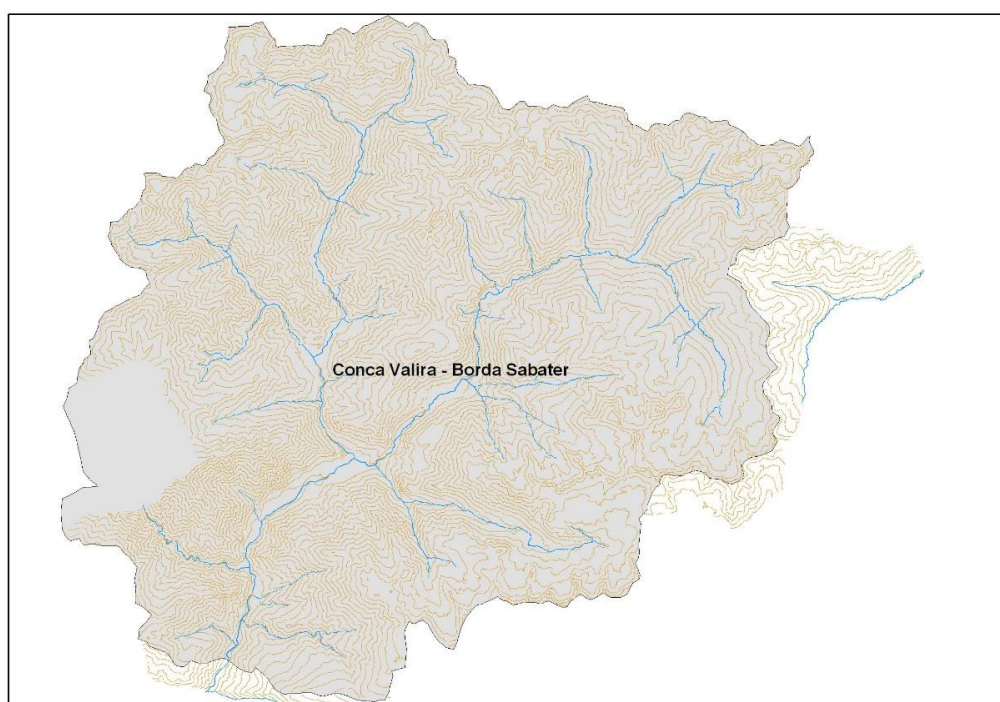


Figura 7. Mapa de situació de la conca Valira – Borda Sabater.

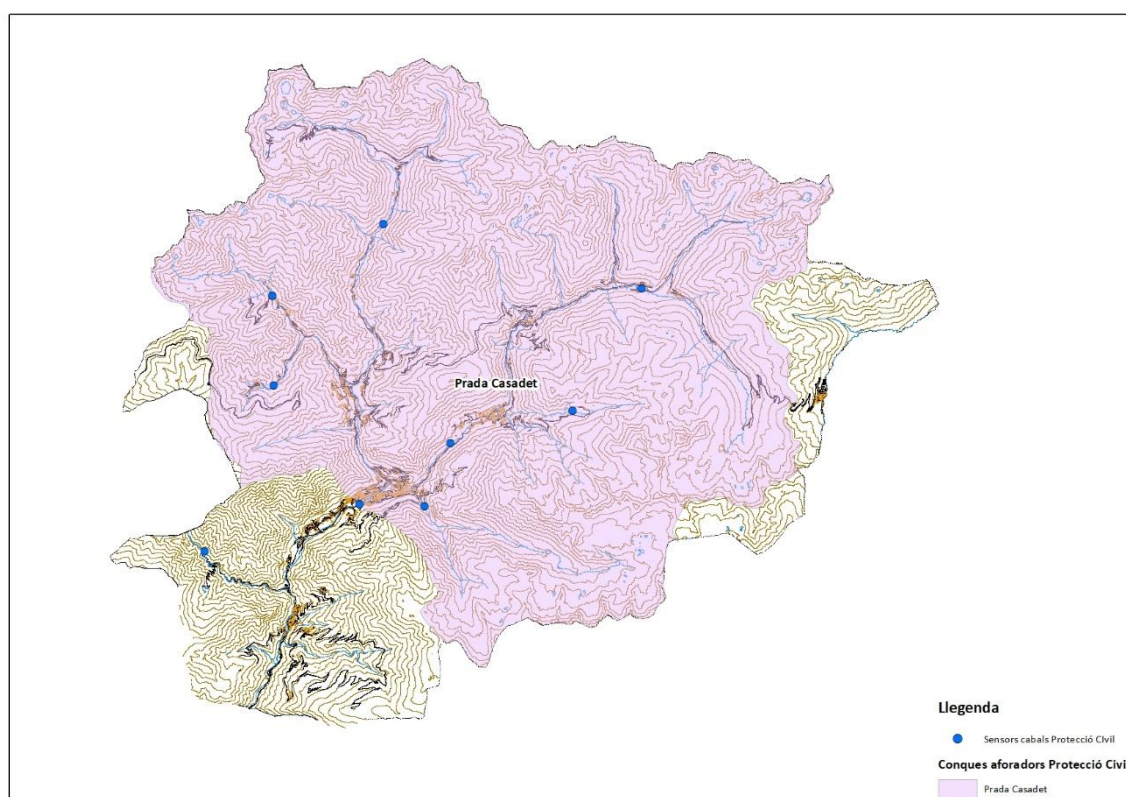


Figura 8. Mapa de situació de la conca Gran Valira a Prada Casadet (PC)

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 sinó 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 2024, segons dades facilitades pel ministeri responsable del medi ambient, ha estat de 0.4 m³/s. El cabal mig del riu Gran Valira durant el 2024 ha estat de 10.67 m³/s. Aquest cabal, sumat amb el procedent de l'EDAR, suposa uns 11.07 m³/s, o sigui 349 Hm³/any, que repartit per la superfície de la conca hidrogràfica suposa 783 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 1.47 m³/s, o sigui 46 Hm³/any. Aquest cabal, repartit per la superfície de la conca hidrogràfica suposa 300 L/m²*any. S'observa, però, que les dades del CHEBRO són molt incompletes i per tant, no es prendran com a vàlides.

El cabal del riu Valira d'Orient a Ransol, segons dades facilitades per FEDA, es calcula que és d'uns 3.29 m³/s, o sigui 103.6 Hm³/any. Aquest cabal, repartit per la superfície de la conca hidrogràfica suposa 1266 L/m²*any.

El cabal del riu Madriu, segons dades facilitades per FEDA, es calcula que és d'uns 0.93 m³/s, o sigui 29.4 Hm³/any. Aquest cabal, repartit per la superfície de la conca hidrogràfica suposa 1129 L/m²*any.

Finalment en l'estació de Prada Casadet del riu Gran Valira, segons dades facilitades per Protecció Civil (PC), tenim valors de cabal de 6.69 m³/s, que suposa un cabal específic de 594 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	3,29	103,61	1265,69	670,00	-47
Madriu	FEDA Madriu -Ràmio	0,93	29,41	1128,94	688,00	-39
Valira Nord	CHE(A402)-Pont Escalls	1,47	46,36	318,22	700,00	120
Gran Valira (inclou EDAR)	Borda Sabater _medi ambient	11,07	349,10	783,15	667,00	-15
Riu Gran Valira	Prada Casadet_PC	6,69	210,98	593,96	667,00	12

Taula 4. Resum dels cabals registrats durant el 2024 en diferents conques hidrogràfiques i pluja útil estimada per cada conca.

Observem en quasi tots els casos que els excedents són molt inferiors als cabals observats.

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

En el cas de l'aforador de Borda Sabater, els cabals màxims no es poden calibrar i per tant, el valor mig global s'ha de prendre amb cautela. En el cas de l'aforador del Valira del Nord, hi ha molts dies sense dades, fins i tots mesos, pel que el seu valor, tal com s'ha comentat, no es prendrà de referència.

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 duuguin a terme les tasques de manteniment i neteja adequades per al bon funcionament d'aquest. Així mateix tampoc es té coneixement del grau d'error associat a la corba alçades versus cabals o taula de tarat.

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

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

- Segons se'ns ha comentat des de l'ARI 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 mitjana 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

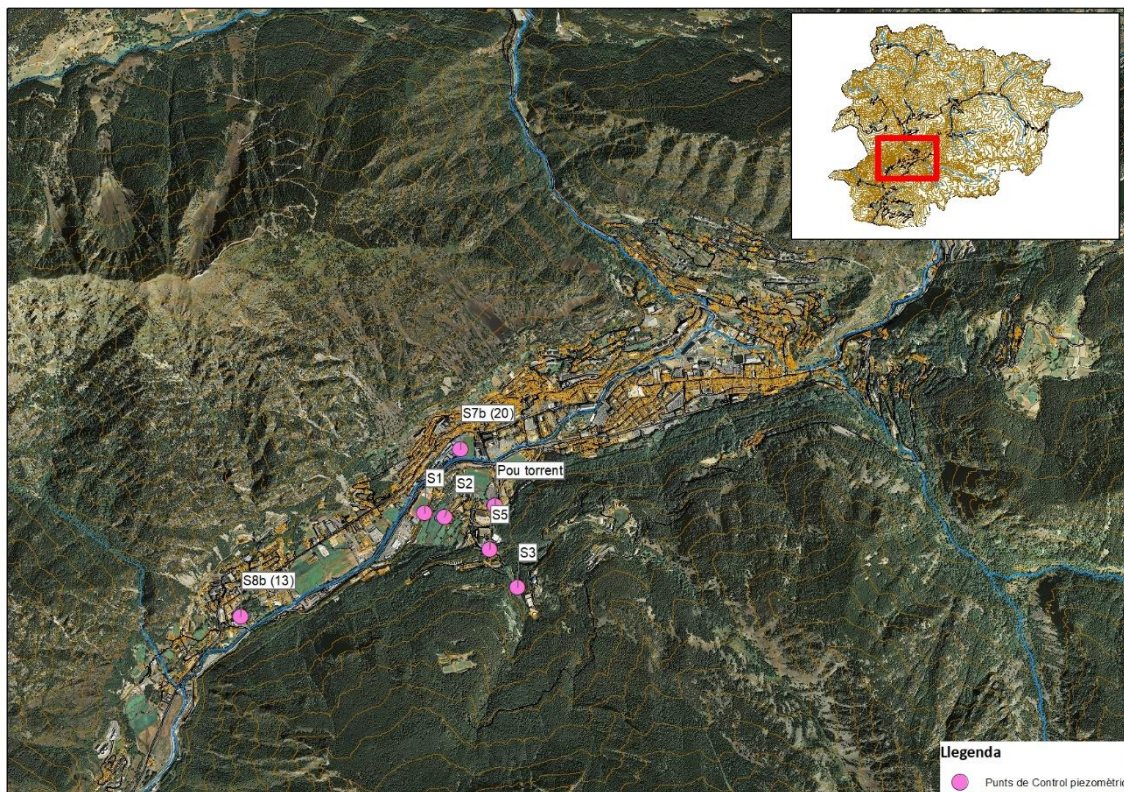


Figura 9. Mapa de situació de la xarxa de seguiment piezomètric

A continuació es presenten els gràfics amb el resum anual:

Es pot observar en l'evolució dels excedents (i precipitacions) que es tenen valors baixos entre el 2016 i el 2019 i també al 2022 i 2023 (excedents), i valors més alts al 2020, 2021 i 2024. En canvi els nivells freàtics segueixen dos models d'evolució, l'S8b que es manté molt constant al llarg dels anys, i l'S1, S2 i pou del torrent descriuen un moviment oscil·latori amb mínims al 2017 i 2022. El pou del torrent és el que presenta més variació, i també presenta valors baixos al 2019 i al 2022, i al 2024 segueix la tendència a l'alça. En cap pou sembla observar-se una bona relació amb les precipitacions/excedents, en tot cas no abans del 2020.

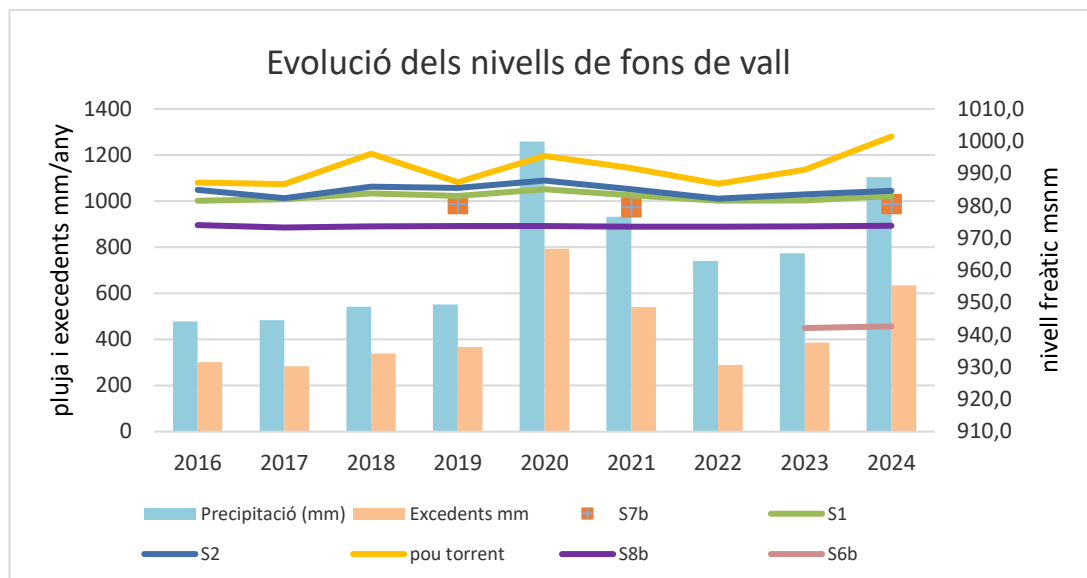


Figura 10. Evolució dels nivells piezomètrics dels punts S7b, S1, S2, pou del Torrent i S8b

De l'S5, ubicat als Serradells, s'observa una tendència a la baixa del nivell freàtic des del 2016 fins al 2019, al 2020 i al 2021 remunta per baixar lleugerament al 2022 i tornar a recuperar-se al 2023 i 2024.

L'S3, ubicat sota les instal·lacions del CTR, té una lleugera tendència a l'alça fins al 2020. Al 2021 s'impermeabilitza la llera del torrent del Forn, i observem que els nivells baixen, fins a valors mínims al 2023 (fins i tot es va observar el pou sec en algun moment), amb un descens de més de 5 metres respecte els observats al 2016, i al 2024 sembla recuperar-se, malgrat que també hi ha hagut mesures amb el pou sec.

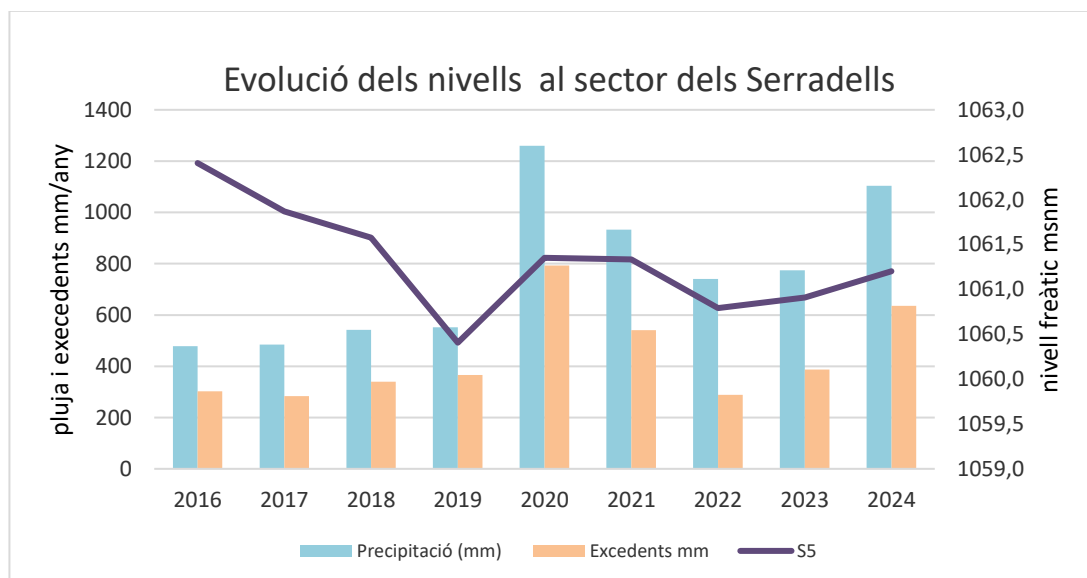


Figura 11. Evolució dels nivells piezomètrics dels punts S5

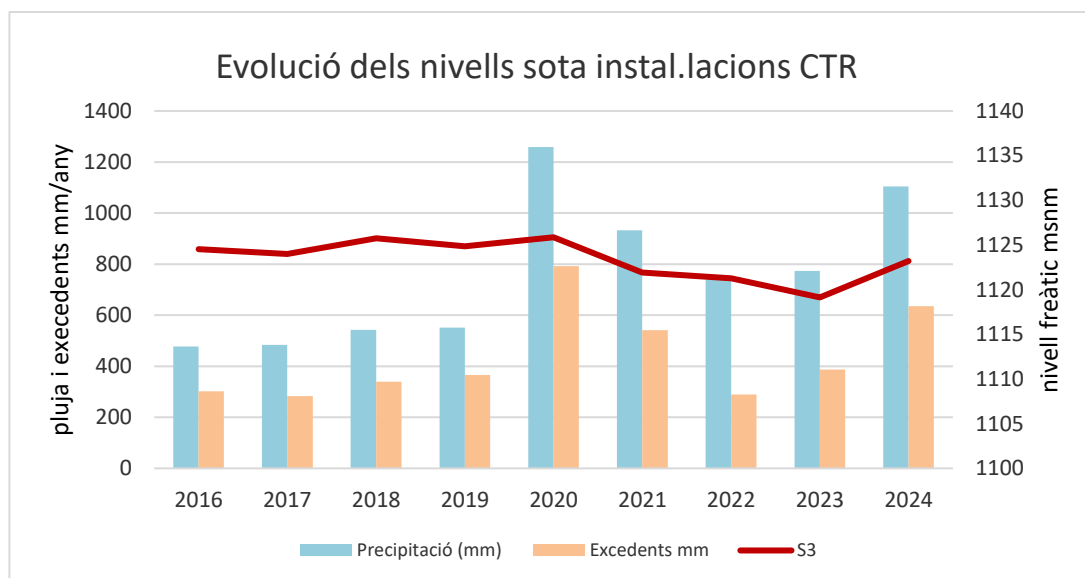


Figura 12. Evolució dels nivells piezomètrics dels punts S3

Amb més detall, els excedents mensuals tenen una evolució en dents de serra amb tendència a la baixa a partir del 2020. Observem que presenten valors màxims a la tardor i puntualment a la primavera. Aquests valors no tenen en compte l'efecte de la neu: 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 de l'S1 i S2, permet veure que tenen una evolució molt similar. Tenen un comportament també en dents de serra, irregular, però a l'alça fins a mitjans del 2020 i a la baixa a partir d'aleshores, fins al 2024.

No s'observa una relació directa i immediata entre els nivells i els excedents o pluja útil. Els nivells sembla que responen a un model exponencial de recàrrega, en el qual van incorporant l'aigua infiltrada de diferents distàncies i temps de trànsit. Amb les dades del moment, podríem parlar d'aigües que de mitjana poden tenir fins i tot un any, encara que també encaixa força amb temps de trànsit de 5-6 mesos.

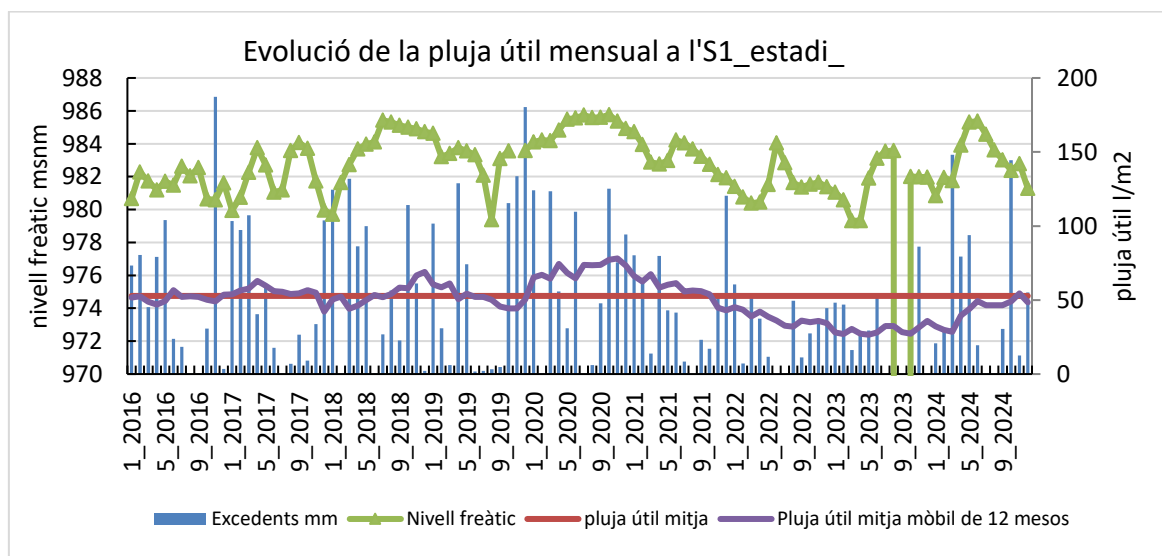


Figura 13. Evolució mensual dels nivells de l'S1 i dels excedents estimats (mitjana país)

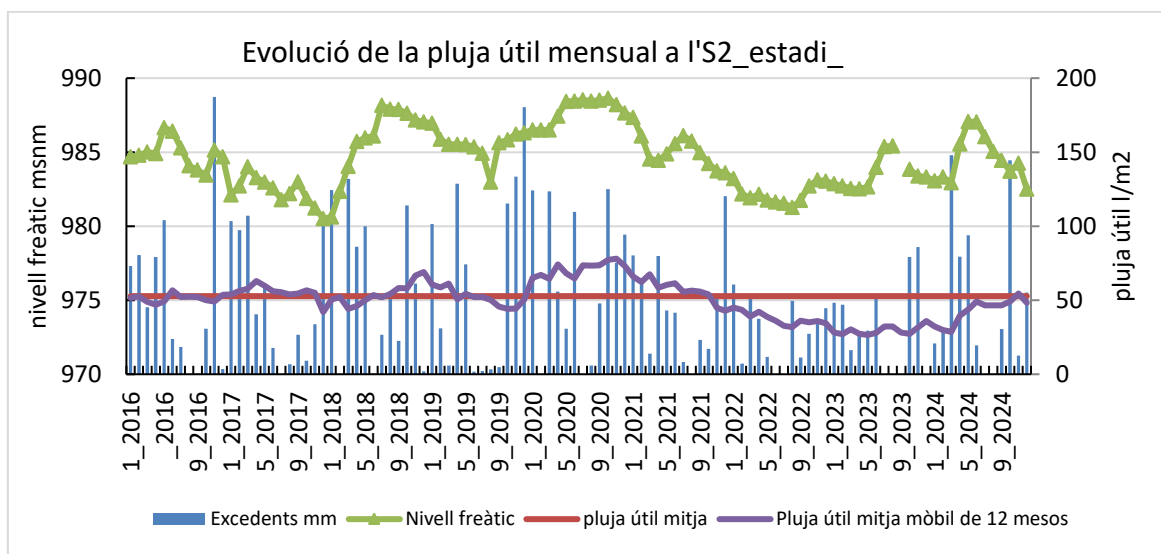


Figura 14. Evolució mensual dels nivells de l'S2 i dels excedents estimats (mitjana país)

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 dels inicis del 2016 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, moment que s'inicia un descens suau fins al maig del 2021 i més fort fins al juliol. Després semblen recuperar-se fins al setembre del 2021 i tornen a caure fins al mes de maig del 2023. A l'estiu (fins al juliol) del 2023 es recuperen amb valors similars als del 2020, i fins a finals del 2023 disminueixen suaument, per tornar a remuntar fins assolir valors màxims històrics al 2024.

Com en el cas de l'S1 i S2 el decalatge entre les pluges i la recàrrega de l'aqüífer no sembla immediat, i s'interpreta que pot ser de varis mesos.

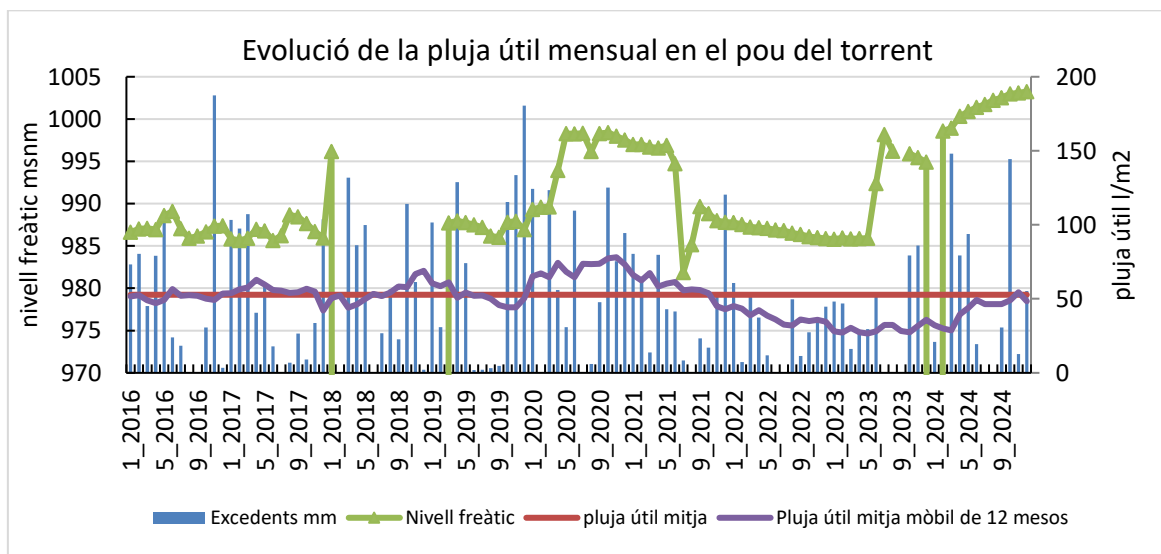


Figura 15. Evolució mensual dels nivells el pou del torrent i dels excedents estimats (mitjana país)

En l'S3 s'inicia el seguiment amb nivells mitjos que remunten de manera irregular fins a la primavera del 2017 moment que inicien un descens fins a un nivell mínim al gener del 2018. 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). A partir de finals d'hivern del 2020 els nivells comencen a baixar, irregularment, fins a principis del 2024 que novament tendeixen a remuntar, també irregularment amb alts (mes de maig i novembre) i baixos (mes de setembre). Fem notar que el pou s'ha trobat eixut bona part del 2023 i puntualment al 2024.

En l'S5 la tendència del nivell és a la baixa des de l'inici del seguiment fins a finals del 2022, tot i que presenta una evolució sinusoidal amb moments de nivells més alts. A partir del 2022 sembla que s'inicia un cicle de recuperació, també oscil·latori amb un màxim puntual al maig del 2024.

En el cas del seguiment fet a l'S3 i S5 sembla que els nivells i els excedents infiltrats també tenen un decalatge d'uns mesos, però no tan dilatat com en l'aquífer de l'S1 i S2.

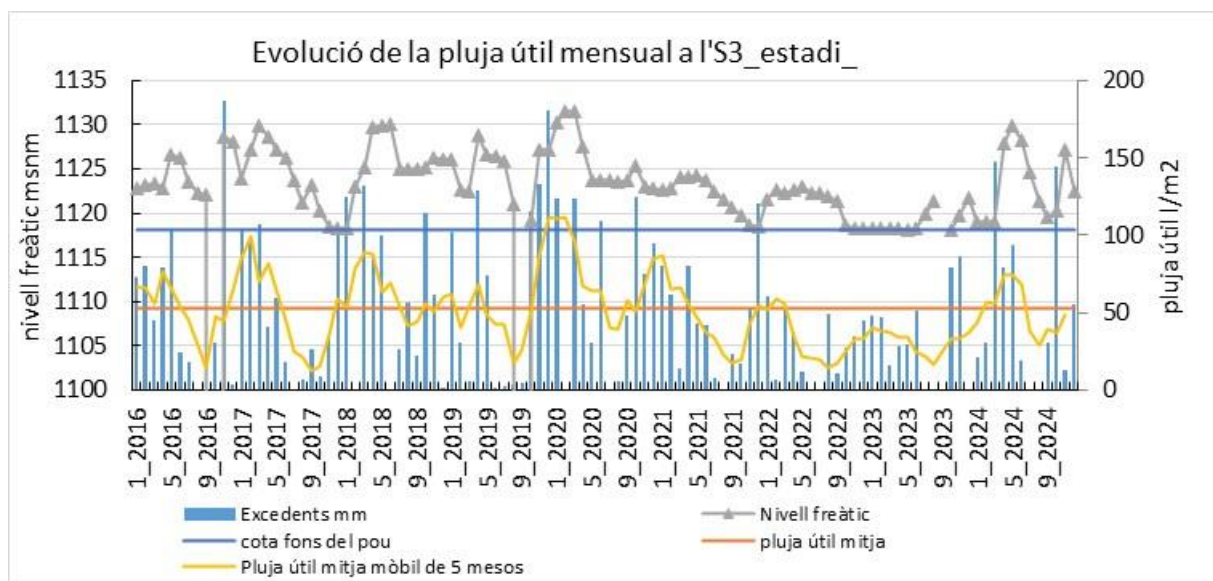


Figura 16. Evolució mensual dels nivells de l'S3 i dels excedents estimats (mitjana país)

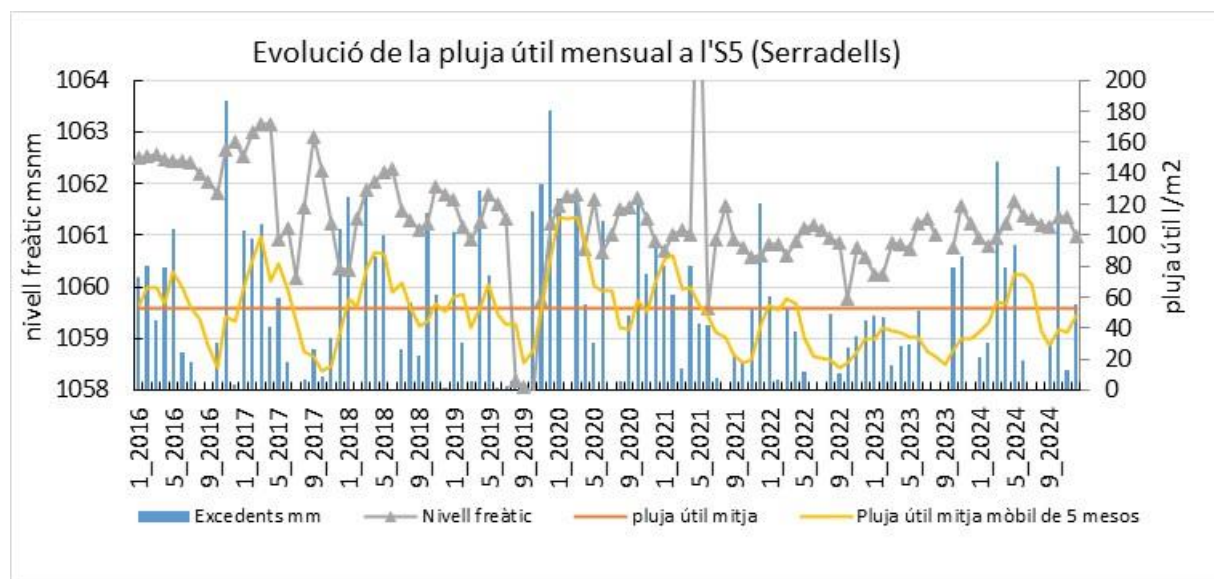


Figura 17. Evolució mensual dels nivells de l'S5 i dels excedents estimats (mitjana país)

En el cas de l'S8b es parteix de nivells alts al gener del 2016 i van baixant, amb certes remuntades puntuals, fins a principis del 2023, moment que es passen a recollir dades manualment, i els nivells es recuperen amb valors similars als del 2019 i es mostren força estables, amb una certa oscil·lació.

Amb les dades que tenim no acabem de trobar l'ajust entre infiltració i nivells, però si ens quedem amb les darreres lectures del nivell, sembla que hi ha un bon encaix amb un temps de trànsit de l'aigua infiltrada, de pocs mesos, com també s'observa en l'S7b i S6b.

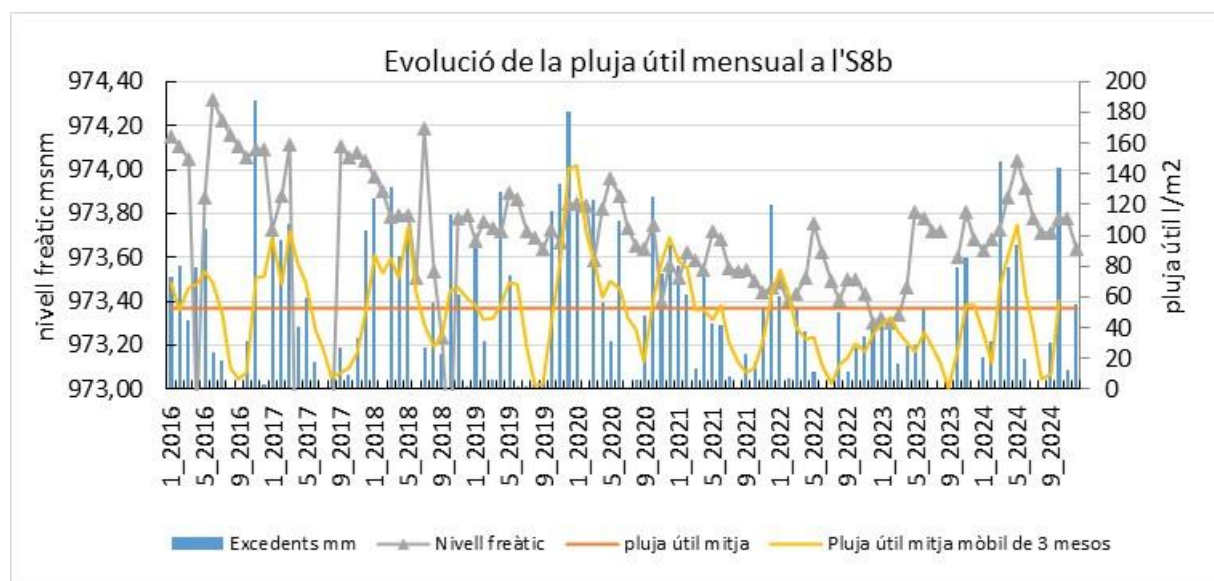


Figura 18. Evolució mensual dels nivells de l'S8b i dels excedents estimats (mitjana país)

L'S7b i S6b només tenim registres amb certa continuïtat a partir del 2023 coincidint amb la recollida manual de dades. S'observa en ambdós pous que al llarg del 2024 presenta una marcada oscil·lació estacional, entre l'hivern (valors mínims) i la primavera (valors màxims).

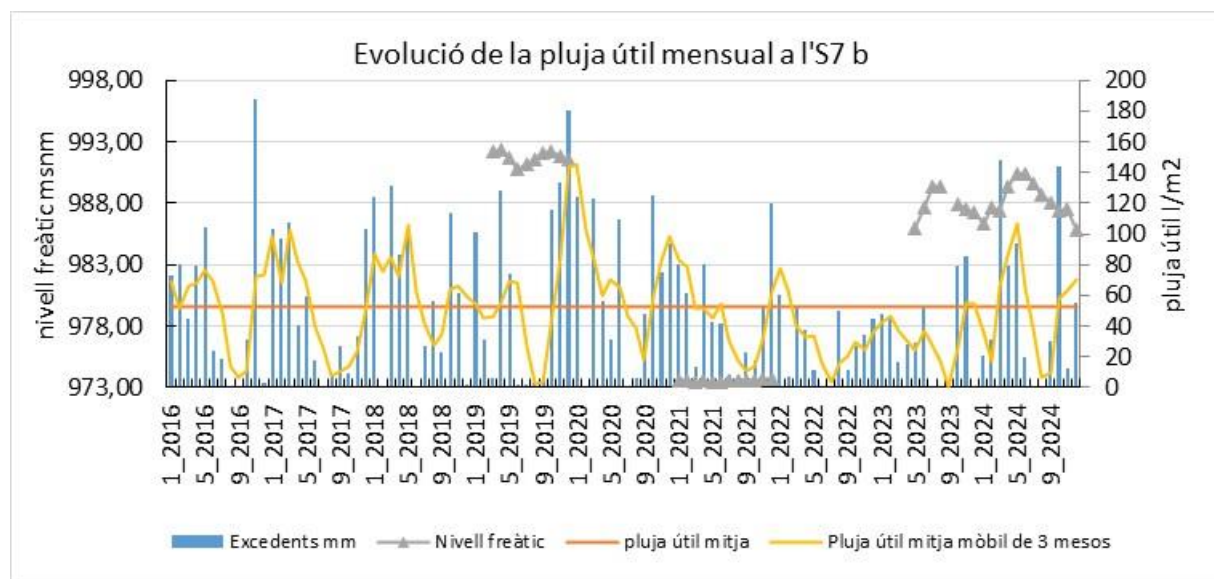


Figura 19. Evolució mensual dels nivells de l'S7b i dels excedents estimats (mitjana país)

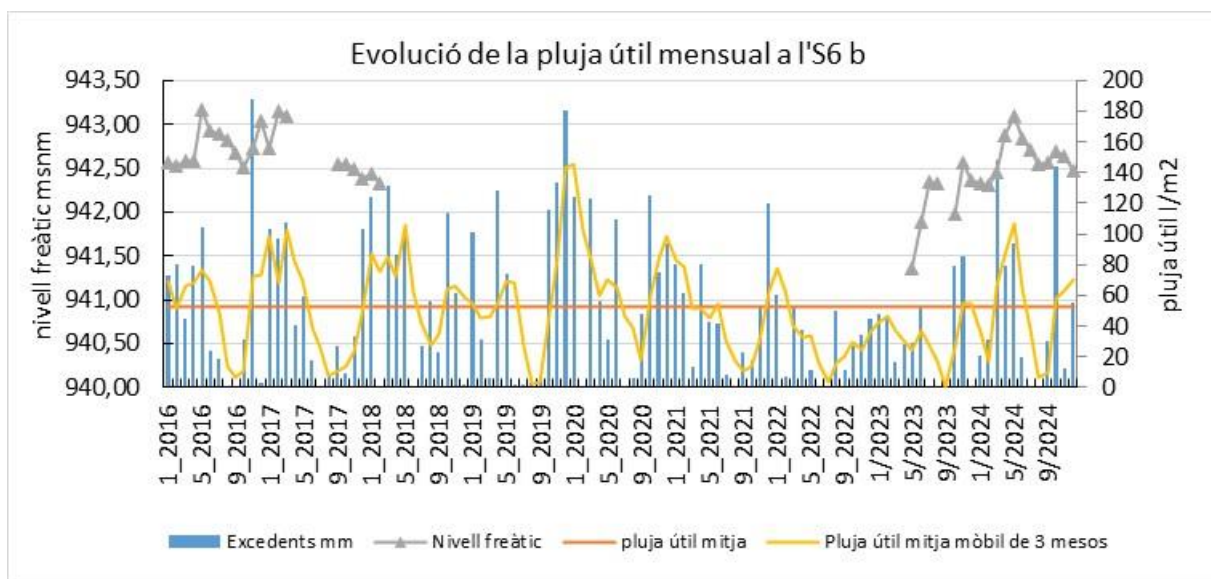


Figura 20. Evolució mensual dels nivells de l'S6b i dels excedents estimats (mitjana país)

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 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'Arieja, i és de 522 Km²) la pluja útil ha estat el 2024 d'uns 331 Hm³/any, calculats mitjançant el balanç hídric amb el mètode de Thornthwaite, i d'aquests, 298 Hm³/any són disponibles, doncs es fixa la xifra del 10% de la pluja útil com a aigua destinada als ecosistemes aquàtics -cabals ecològics mínims estimats-.

Repartit entre el territori andorrà (467 Km²), la pluja útil estimada mitjana del 2024 representa uns 297 Hm³/any. D'aquests, 267 Hm³/any serien disponibles, reservant-se el 10% com a cabals "ecològics mínims estimats".

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	457,48	827,40	1288,49	6,48	21,33	7,57	13,69	12,33	114,82%	2,03	Plujós	Càlid
Ariège	45.628.658,41	400,17	608,71	1010,13	3,79	46,09	18,26	27,77	25,00	84,86%	-0,95	Sec	Fred
Coll de la Gallina	17.321.678,00	526,12	492,21	1024,59	9,92	17,75	9,11	8,53	7,67	108,79%	2,30	Normal	Càlid
Conca d'Ertis	15.149.624,07	520,75	610,97	1139,43	8,57	17,26	7,89	9,26	8,33	114,46%	1,66	Plujós	Càlid
Conca de Setúria	6.664.367,23	499,74	734,39	1244,98	7,58	8,30	3,33	4,89	4,40	115,39%	2,46	Plujós	Càlid
Cubeta Encamp	768.145,17	534,69	393,37	931,74	9,85	0,72	0,41	0,30	0,27	107,91%	0,62	Normal	Càlid
Cubeta d'Andorra	2.268.308,61	585,01	338,05	925,71	11,95	2,10	1,33	0,77	0,69	115,29%	1,50	Plujós	Càlid
Cubeta d'Incles	399.509,12	452,66	504,26	961,64	6,16	0,38	0,18	0,20	0,18	92,26%	-0,19	Normal	Normal
Dels Orris	12.728.986,14	447,72	604,81	1055,88	5,89	13,44	5,70	7,70	6,93	99,62%	0,73	Normal	Càlid
El Forn	2.632.292,26	483,56	528,29	1018,04	6,87	2,68	1,27	1,39	1,25	99,40%	0,68	Normal	Càlid
Encamp	9.831.249,34	487,17	534,31	1027,36	7,86	10,10	4,79	5,25	4,73	105,42%	0,79	Normal	Càlid
Enclar	16.449.982,02	531,56	491,61	1027,99	10,17	16,91	8,74	8,09	7,28	111,43%	2,01	Plujós	Càlid
Engolasters-Pessons	23.004.376,30	453,95	638,81	1096,51	6,02	25,22	10,44	14,70	13,23	105,04%	1,01	Normal	Càlid
Estall Serrer	256.289,80	484,85	582,87	1073,05	6,69	0,28	0,12	0,15	0,13	104,61%	1,08	Normal	Càlid
Juclar	17.448.266,46	381,09	711,94	1095,11	3,56	19,11	6,65	12,42	11,18	92,84%	-0,49	Normal	Normal
La Bartra	227.795,13	563,75	392,79	960,79	10,51	0,22	0,13	0,09	0,08	116,21%	0,79	Plujós	Càlid
La Cortinada-Sornàs	240.503,74	559,12	457,72	1023,38	9,76	0,25	0,13	0,11	0,10	112,03%	0,94	Plujós	Càlid
Llorts - Arans	434.935,60	558,51	476,88	1043,12	9,30	0,45	0,24	0,21	0,19	111,11%	0,85	Plujós	Càlid
Madriu	40.121.360,95	448,48	678,03	1129,68	5,79	45,32	17,99	27,20	24,48	106,38%	1,22	Normal	Càlid
Montmalús	7.594.231,04	405,67	671,86	1079,37	4,27	8,20	3,08	5,10	4,59	93,86%	0,66	Normal	Càlid
Ordino	16.960.118,50	509,68	580,05	1098,71	7,86	18,63	8,64	9,84	8,85	109,92%	1,07	Normal	Càlid
Padern	6.040.215,34	563,69	441,52	1011,66	10,20	6,11	3,40	2,67	2,40	116,31%	1,28	Plujós	Càlid
Pardines	5.125.714,31	557,72	350,61	901,44	11,31	4,62	2,86	1,80	1,62	102,90%	2,19	Normal	Càlid
Pla de l'Inglà	96.831,14	469,54	601,57	1075,49	6,30	0,10	0,05	0,06	0,05	102,01%	1,19	Normal	Càlid
Prat Primer	13.956.181,56	519,84	526,92	1050,69	8,75	14,66	7,26	7,35	6,62	112,16%	1,67	Plujós	Càlid
Pui Olivesa - Runer	400.975,76	593,09	225,38	818,13	12,51	0,33	0,24	0,09	0,08	103,23%	1,48	Normal	Càlid
Riu Muntaner	6.750.482,65	511,93	574,47	1092,03	8,52	7,37	3,46	3,88	3,49	114,28%	1,68	Plujós	Càlid
Ràmio	231.213,47	533,64	489,76	1028,95	8,59	0,24	0,12	0,11	0,10	111,34%	1,27	Plujós	Càlid
Salines	18.401.587,26	465,81	738,96	1209,41	6,42	22,26	8,57	13,60	12,24	110,94%	1,27	Plujós	Càlid
Sant Julià	33.250.793,13	520,98	482,72	1007,83	9,07	33,51	17,32	16,05	14,45	105,33%	2,02	Normal	Càlid
Sornàs-Pont d'Ordino	259.304,35	569,84	421,20	998,70	10,17	0,26	0,15	0,11	0,10	112,86%	1,00	Plujós	Càlid
Valira del Nord	45.880.845,18	438,43	816,86	1259,97	5,41	57,81	20,12	37,48	33,73	111,07%	0,96	Plujós	Càlid
Òs de Civís	22.777.602,33	502,42	653,96	1165,16	8,59	26,54	11,44	14,90	13,41	111,95%	2,86	Plujós	Càlid
Coma Ransol	98.512,69	445,30	562,07	1012,84	5,96	0,10	0,04	0,06	0,05	96,00%	0,10	Normal	Normal
Valira d'Orient	77.701.776,81	409,94	661,88	1074,46	4,69	83,49	31,85	51,43	46,29	95,75%	0,36	Normal	Normal
Montaup	16.994.092,97	457,60	674,68	1137,44	6,22	19,33	7,78	11,47	10,32	105,34%	0,99	Normal	Càlid
Cubeta Montaup	286.720,34	431,26	591,56	1026,80	5,53	0,29	0,12	0,17	0,15	95,11%	0,72	Normal	Càlid
Aldosa	7.713.967,17	515,02	530,27	1053,74	8,53	8,13	3,97	4,09	3,68	111,79%	1,12	Plujós	Càlid
Conca de Sispony	11.643.664,71	516,95	601,17	1127,02	8,62	13,12	6,02	7,00	6,30	114,68%	1,86	Plujós	Càlid
Cubeta de la Massana	1.970.611,14	566,76	432,17	1006,33	10,37	1,98	1,12	0,85	0,77	115,15%	1,21	Plujós	Càlid
Nous Límits	522.263.506,11	462,95	633,36	1101,08	6,58	575,06	241,78	330,78	297,70	104,45%	1,01	Normal	Càlid
Límits administratius	467.451.286,71	464,06	634,97	1103,66	6,63	515,91	216,92	296,82	267,13	104,20%	1,07	Normal	Càlid

Taula 6. Resum balanç hídric de les unitats hidrogeològiques. Any 2024. Mitjana del període 1981-2010

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

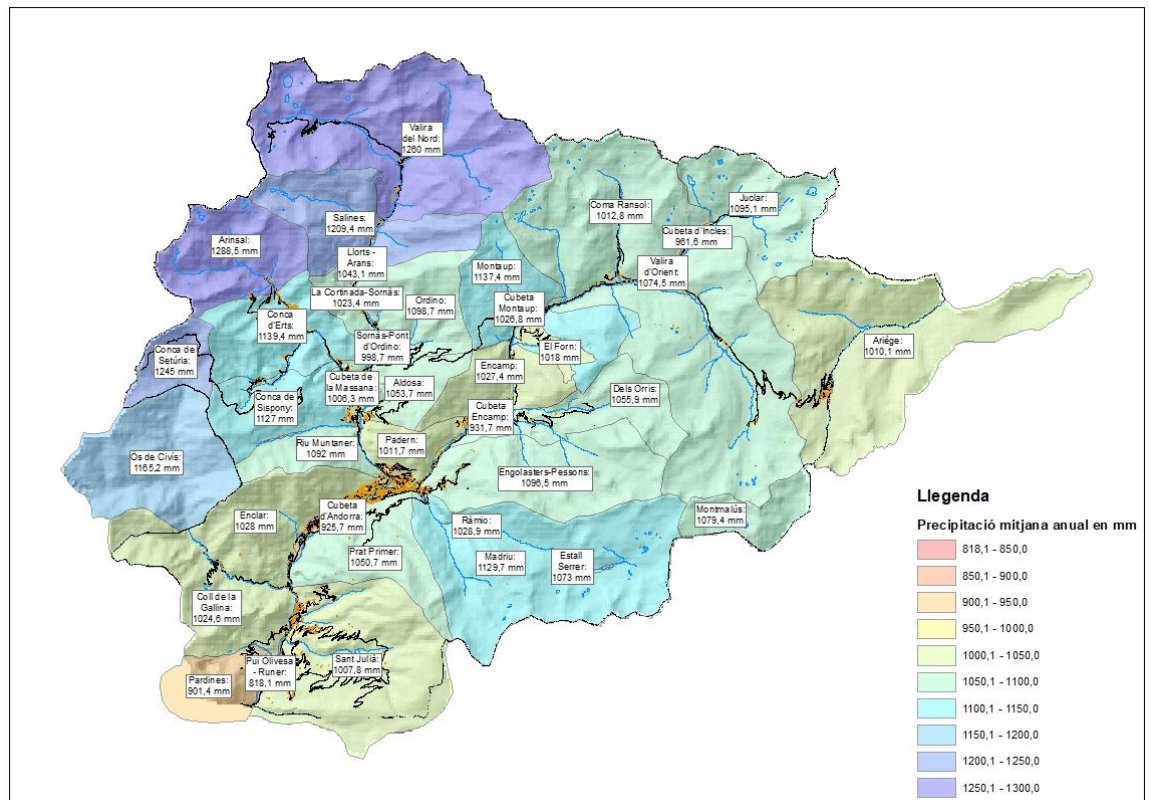


Figura 21. Mapa de distribució de les precipitacions en les diferents unitats hidrogeològiques descrites en l'estudi del M.I. Govern, 2007

Les unitats amb precipitacions superiors són les ubicades a l'oest del país, com les del Valira del nord i Arinsal, amb 1200 mm/any, i les que han presentat valors més baixos, són les del sud, per exemple a la unitat de les Pardines, amb 900 mm.

Si ho comparem amb la mitjana climàtica de 30 anys 1981-2010 observem que es tracta d'un any normal en el conjunt del territori excepte al marge occidental que ha estat més humit i al sector més nord-oriental (UH de l'Arieja) que ha estat més sec.

Comportament de la precipitació anual per Unitat hidrogeològiques. Any 2024

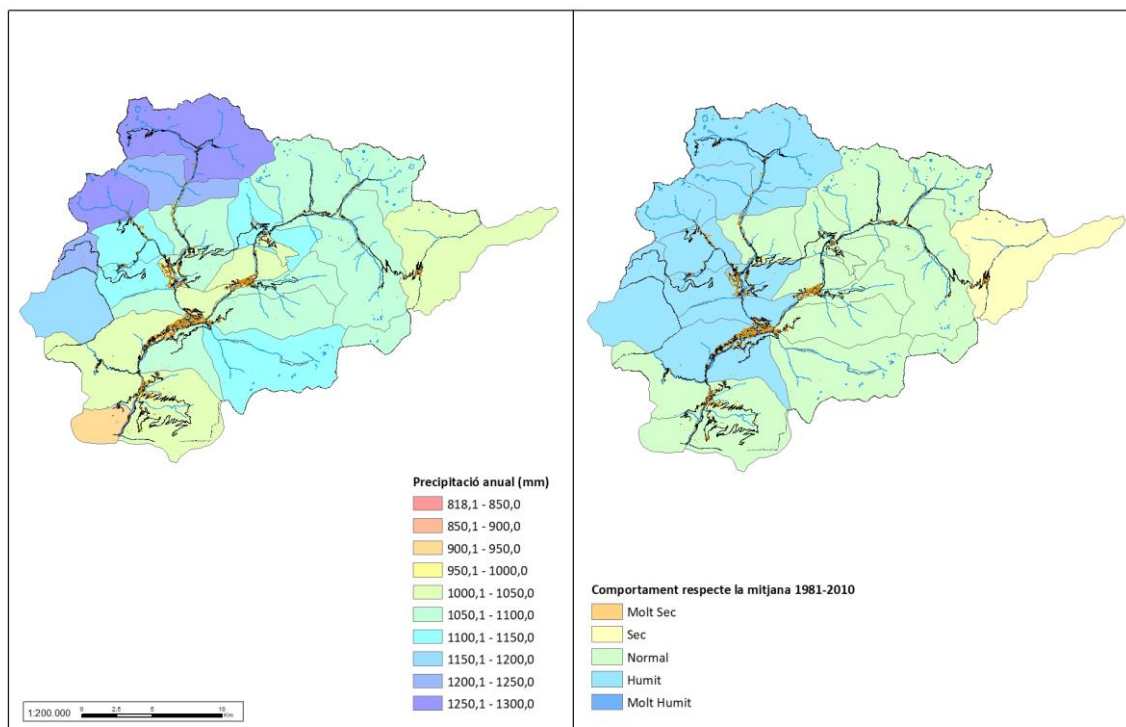


Figura 22. Mapa comparatiu de les precipitacions del 2024 amb la mitjana climàtica 1981-2010 en les diferents unitats hidrogeològiques

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 ha estat de molt humit (a l'oest) a sec (nord-est) a l'hivern, d'humit (sector occidental) a normal a la primavera, a l'estiu ha estat entre sec (sector oriental) i normal, i a la tardor ha estat normal excepte al sud-oest que ha estat sec.

Comportament de la precipitació hivern per unitats hidrogeològiques. Any 2024

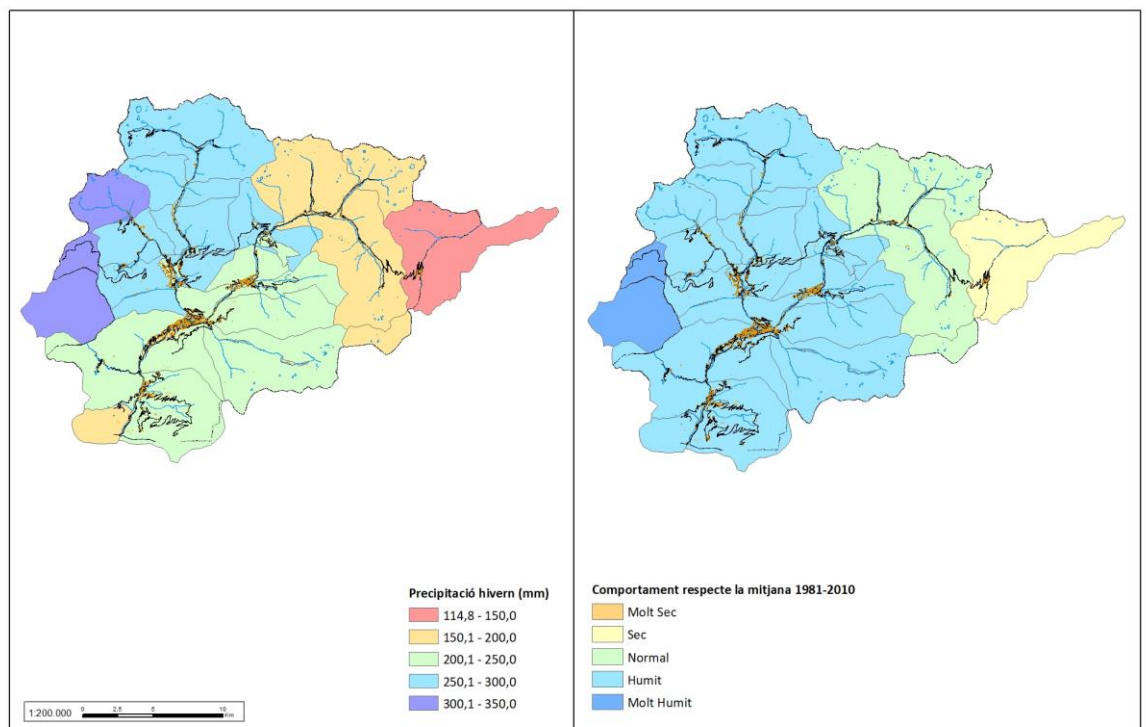


Figura 23. Mapa comparatiu de les precipitacions de l'hivern del 2024 amb la mitjana climàtica 1981-2010 en les diferents unitats hidrogeològiques

Comportament de la precipitació primavera per unitats hidrogeològiques. Any 2024

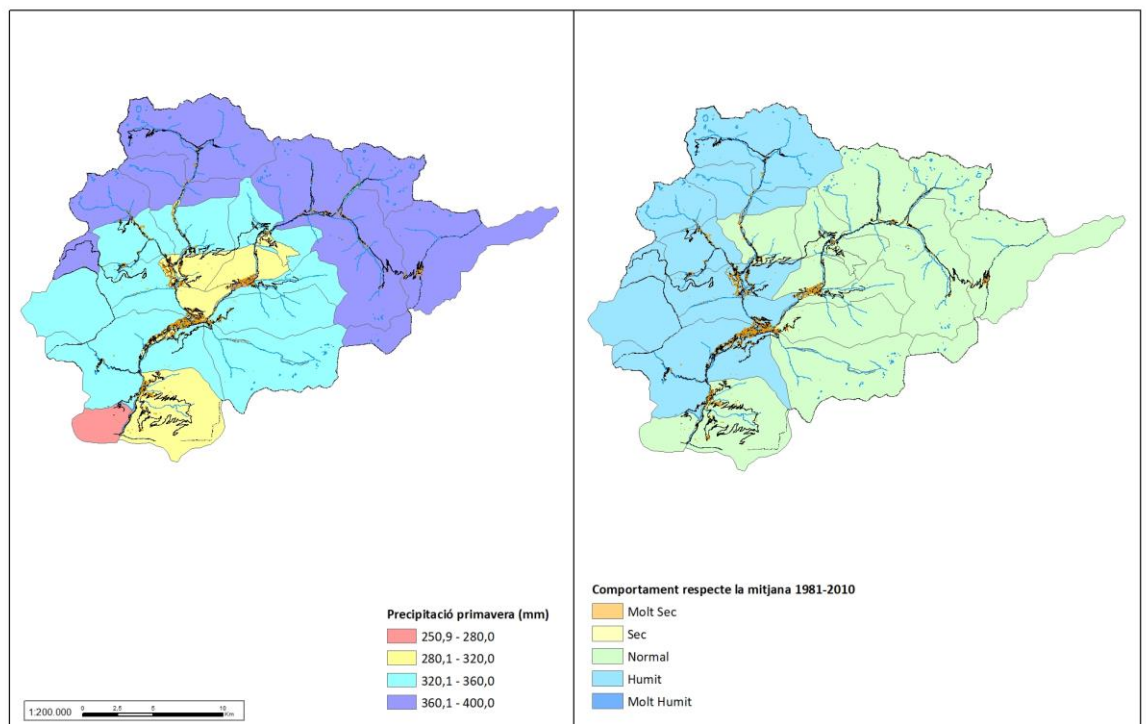


Figura 24. Mapa comparatiu de les precipitacions de la primavera del 2024 amb la mitjana climàtica 1981-2010 en les diferents unitats hidrogeològiques

Comportament de la precipitació estiu per unitats hidrogeològiques. Any 2024

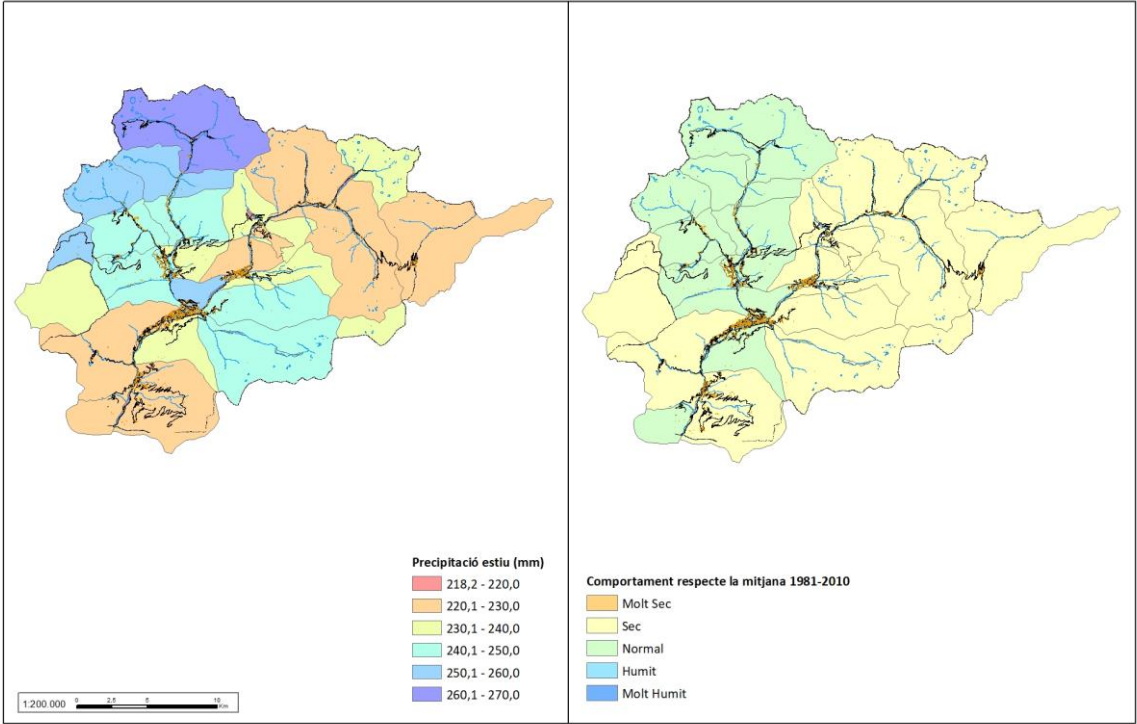


Figura 25. Mapa comparatiu de les precipitacions de l'estiu del 2024 amb la mitjana climàtica 1981-2010 en les diferents unitats hidrogeològiques

Comportament de la precipitació tardor per unitats hidrogeològiques. Any 2024

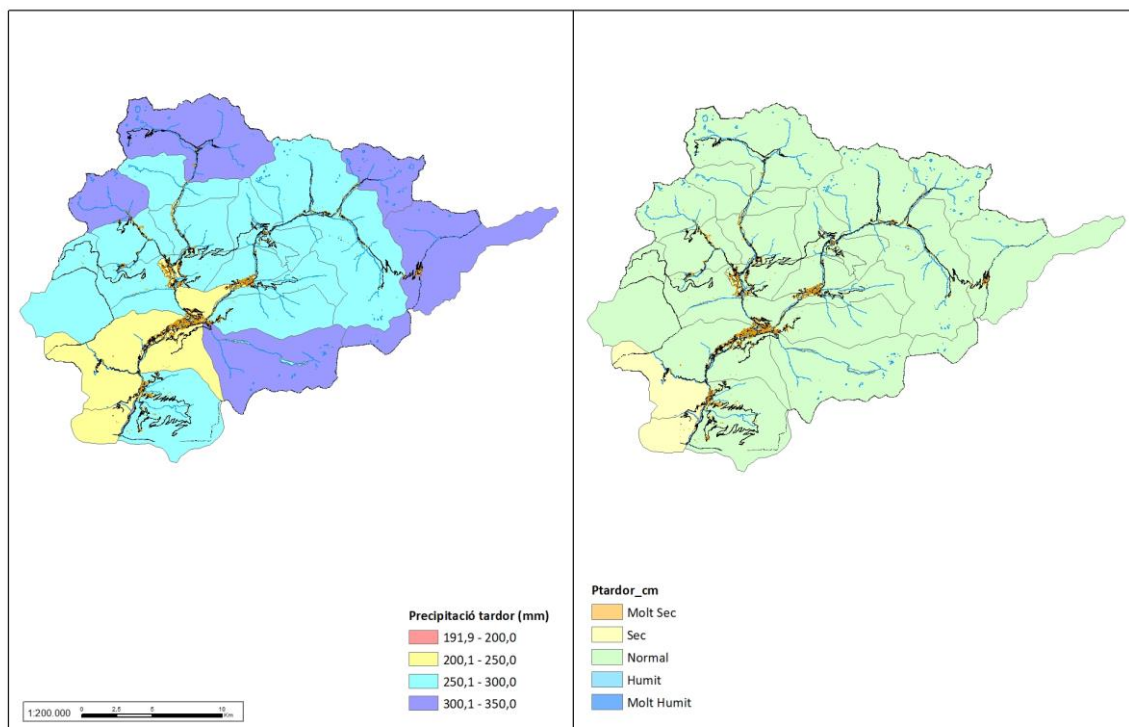


Figura 26. Mapa comparatiu de les precipitacions de la tardor del 2024 amb la mitjana climàtica 1981-2010 en les diferents unitats hidrogeològiques

Si mirem el mapa de temperatures de l'hivern, s'observa que de mitjana s'arriba a -6.4°C , i la franja amb una temperatura mitjana per sota els 0°C se situa en la part més oriental, fora dels fons de vall.

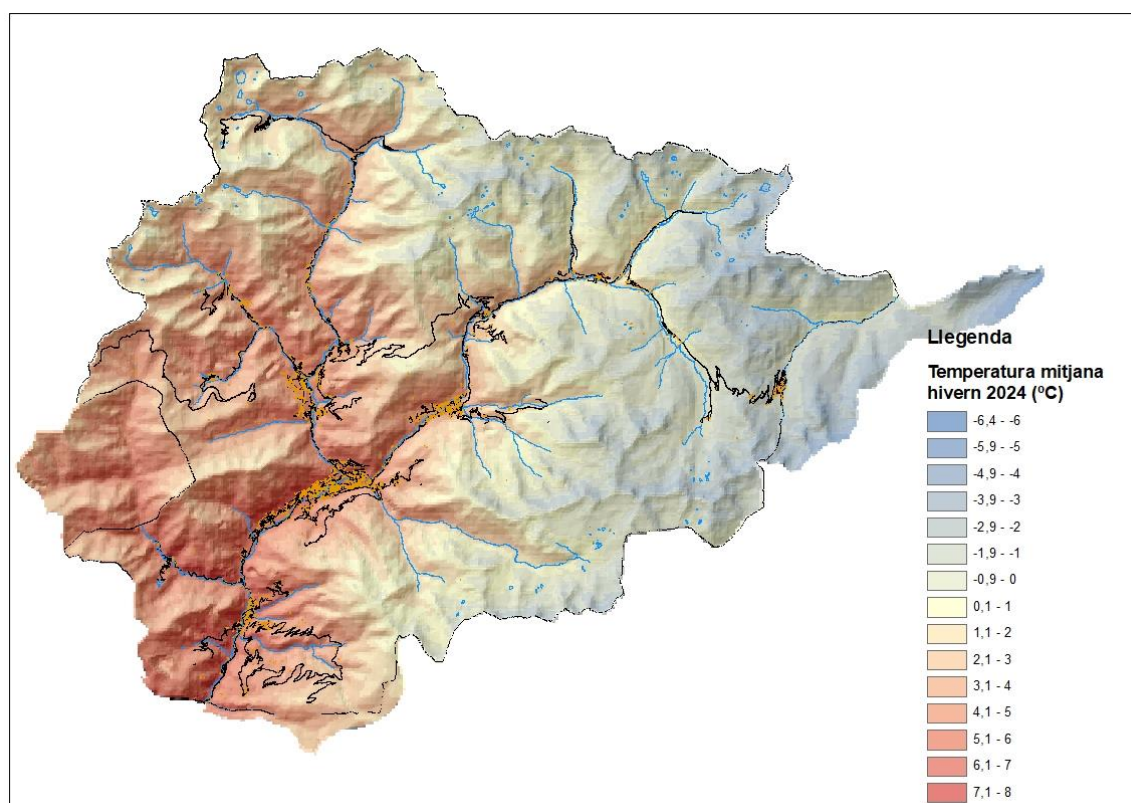


Figura 27. Temperatura a l'hivern del 2024

Les temperatures, quan també les comparem amb la mitjana 1981-2010 veiem que han estat càlides al conjunt del territori, tendint a normals i fredes cap a l'extrem nord-oriental.

Comportament de la temperatura anual per unitats hidrogeològiques. Any 2024

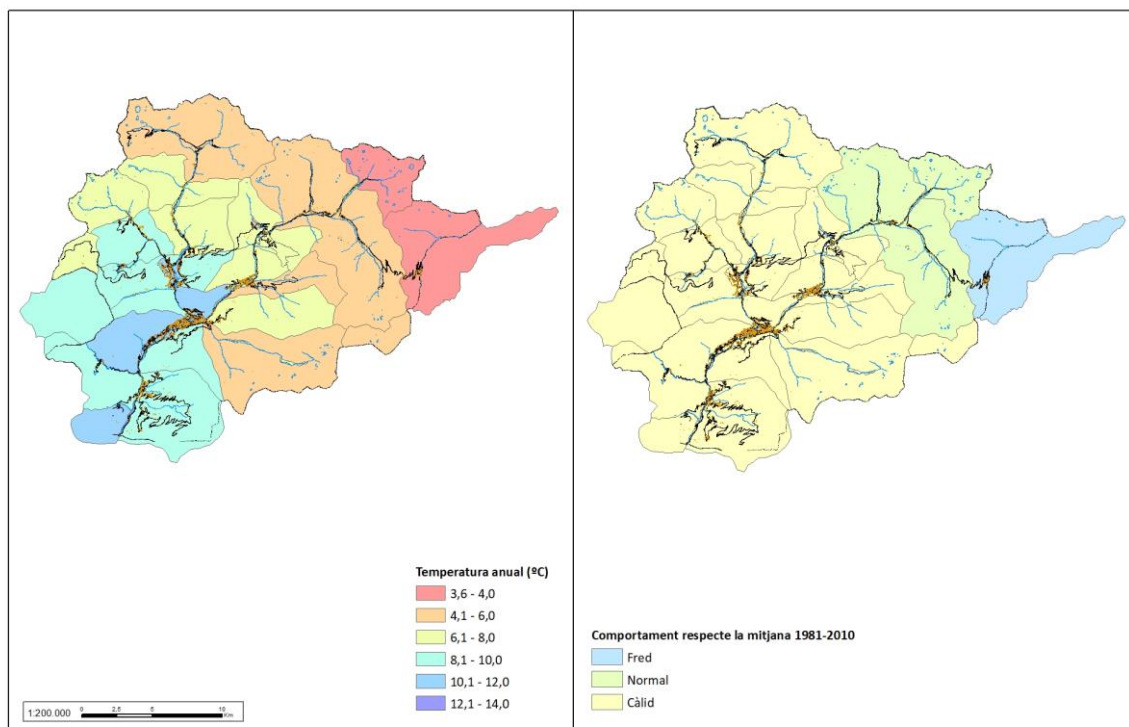


Figura 28. Mapa comparatiu de la temperatura del 2024 amb la mitjana climàtica 1981-2010 en les diferents unitats hidrogeològiques

Trimestralment, s'observa que al conjunt del territori les temperatures han estat més càlides a la meitat sud, normals a la meitat nord i fins i tot més fredes a l'extrem nord-oriental (UH Arieja) amb l'excepció de l'hivern que ha estat molt càlid a les UH més occidentals i càlid a la pràctica totalitat del país.

Comportament de la temperatura hivern per unitats hidrogeològiques. Any 2024

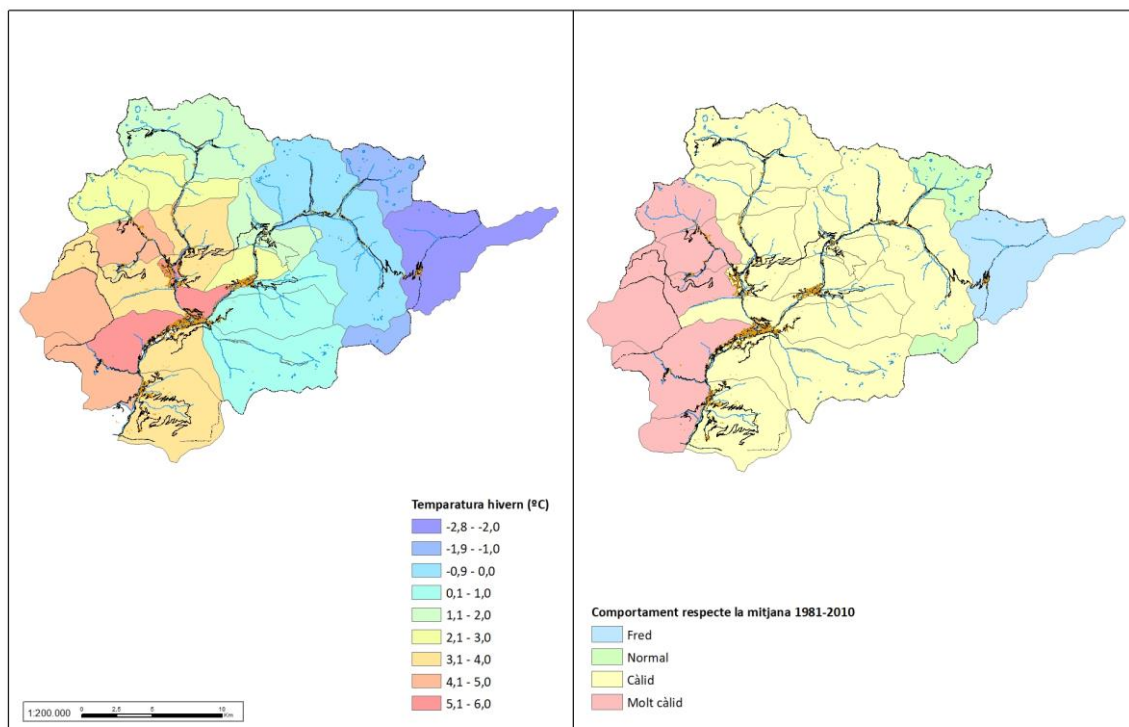


Figura 29. Mapa comparatiu de la temperatura de l'hivern del 2024 amb la mitjana climàtica 1981-2010 en les diferents unitats hidrogeològiques

Comportament de la temperatura primavera per unitats hidrogeològiques. Any 2024

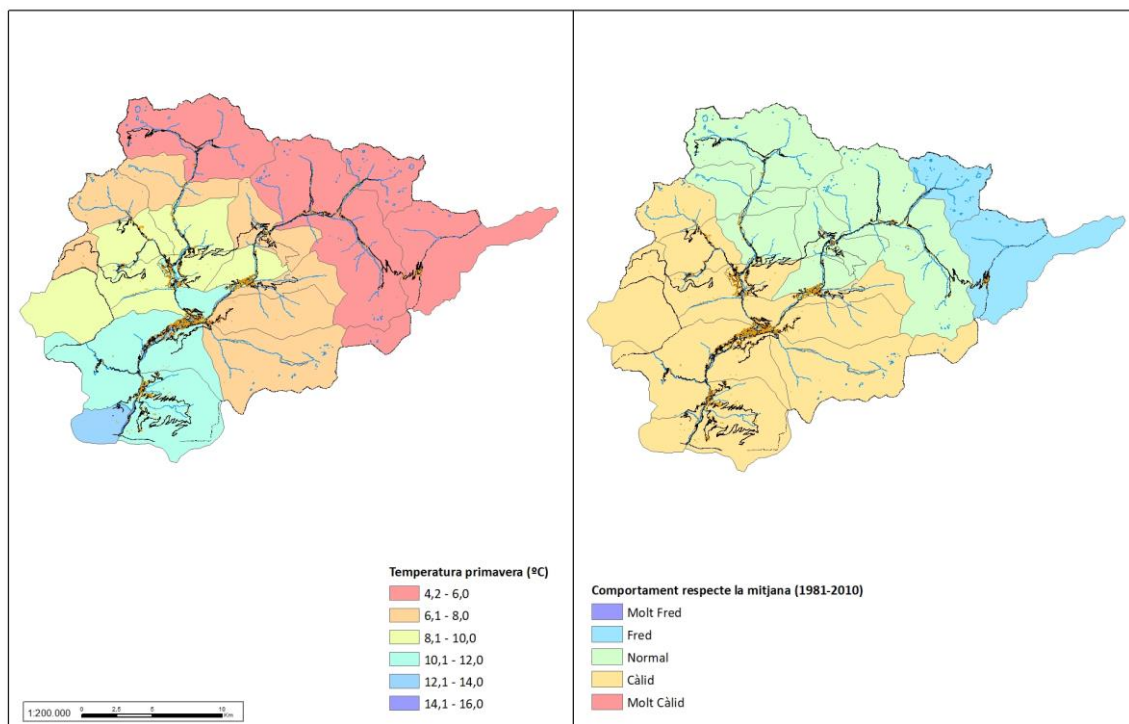


Figura 30. Mapa comparatiu de la temperatura de la primavera del 2024 amb la mitjana climàtica 1981-2010 en les diferents unitats hidrogeològiques

Comportament de la temperatura estiu per unitats hidrogeològiques. Any 2024

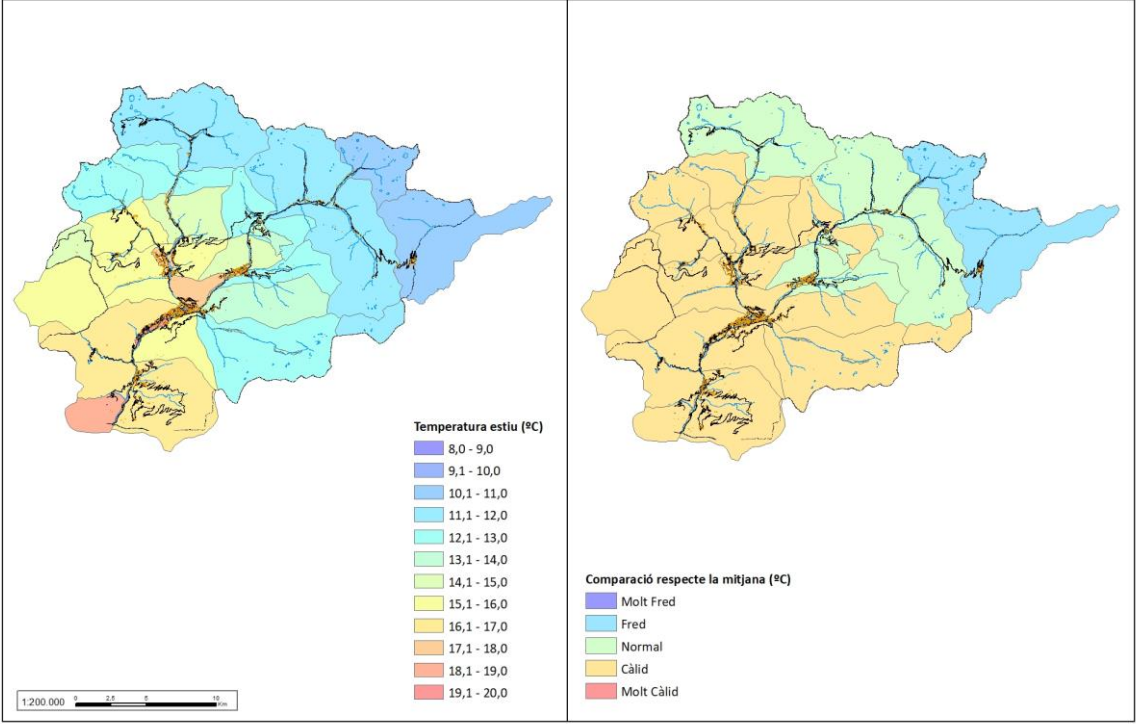


Figura 31. Mapa comparatiu de la temperatura de l'estiu del 2024 amb la mitjana climàtica 1981-2010 en les diferents unitats hidrogeològiques

Comportament de la temperatura tardor per unitats hidrogeològiques. Any 2024

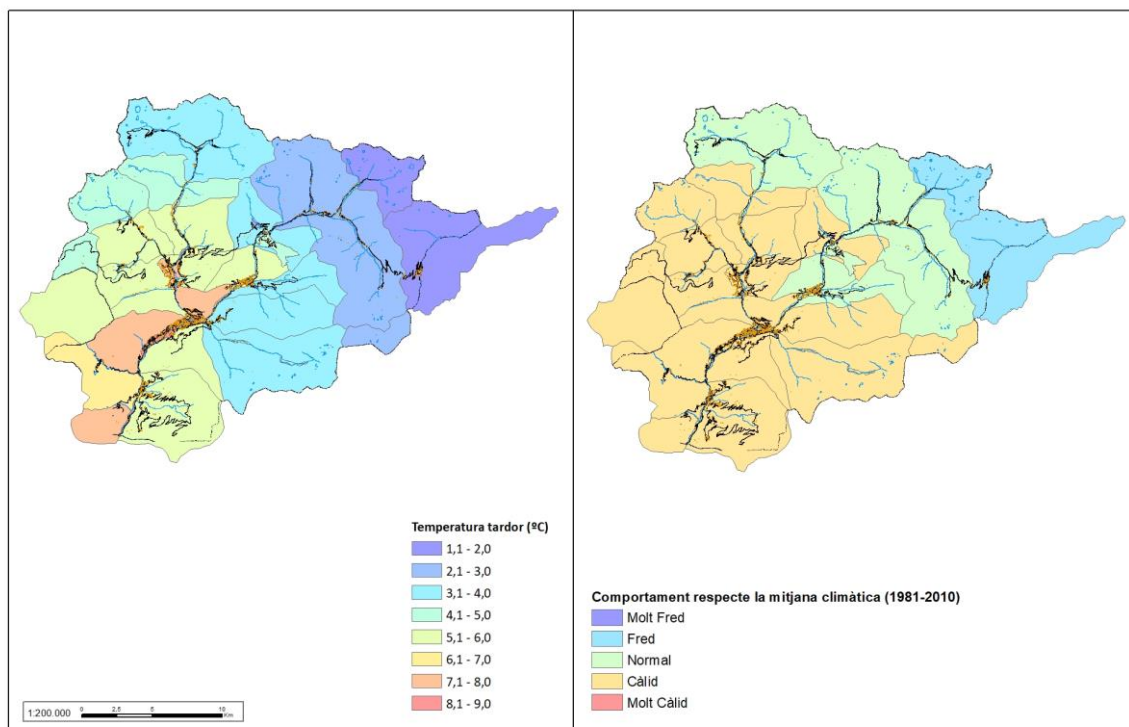


Figura 32. Mapa comparatiu de la temperatura de la tardor del 2024 amb la mitjana climàtica 1981-2010 en les diferents unitats hidrogeològiques

En relació a l'ETR, trobem valors màxims en les unitats de fons de vall i centre i sud del país, per exemple a la UH de Sant Julià i Pardines, amb valors al voltant dels 550 mm, i valors més baixos en les unitats del nord-est, com Arieja i Valira d'Orient, al voltant dels 400 mm.

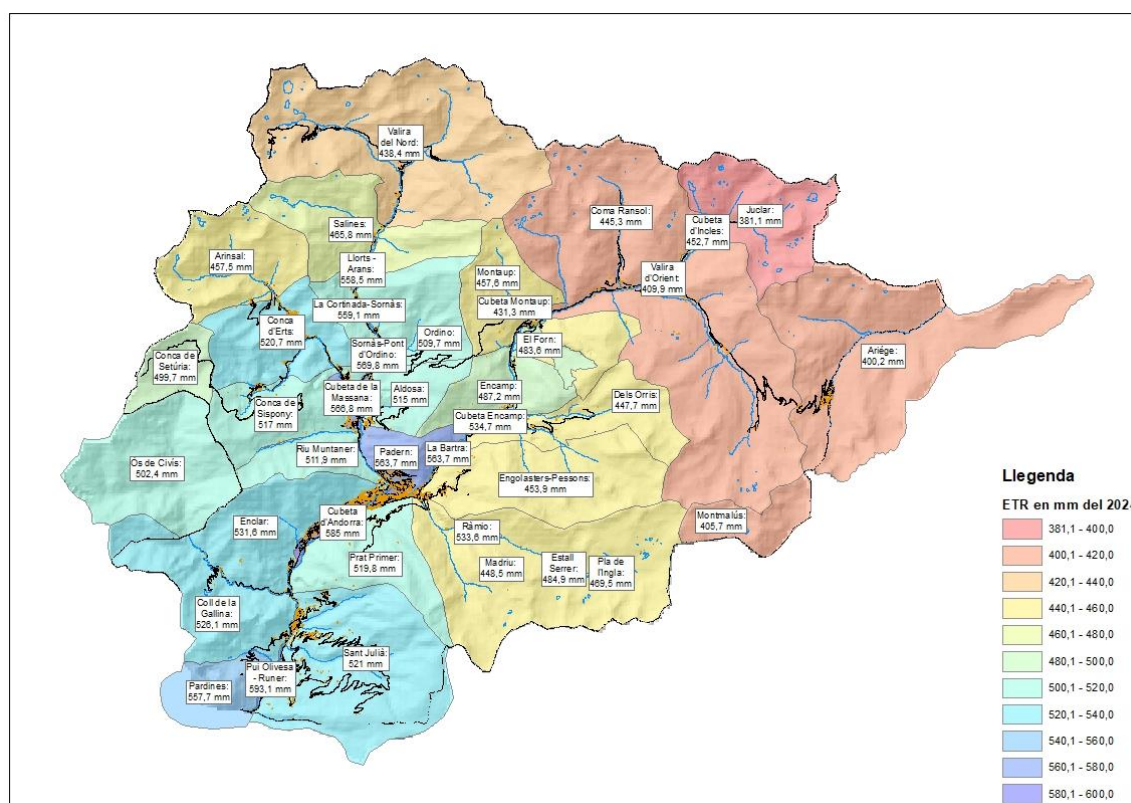


Figura 33. Mapa de distribució de l'ETR en les diferents unitats hidrogeològiques descrites en l'estudi del M.I. Govern, 2007

En relació als excedents d'aigua, les unitats hidrogeològiques amb valors superiors són les ubicades a l'extrem més nord-occidental, en contraposició amb les que presenten valors més baixos, en les del sud, com a la UH de les Pardines.

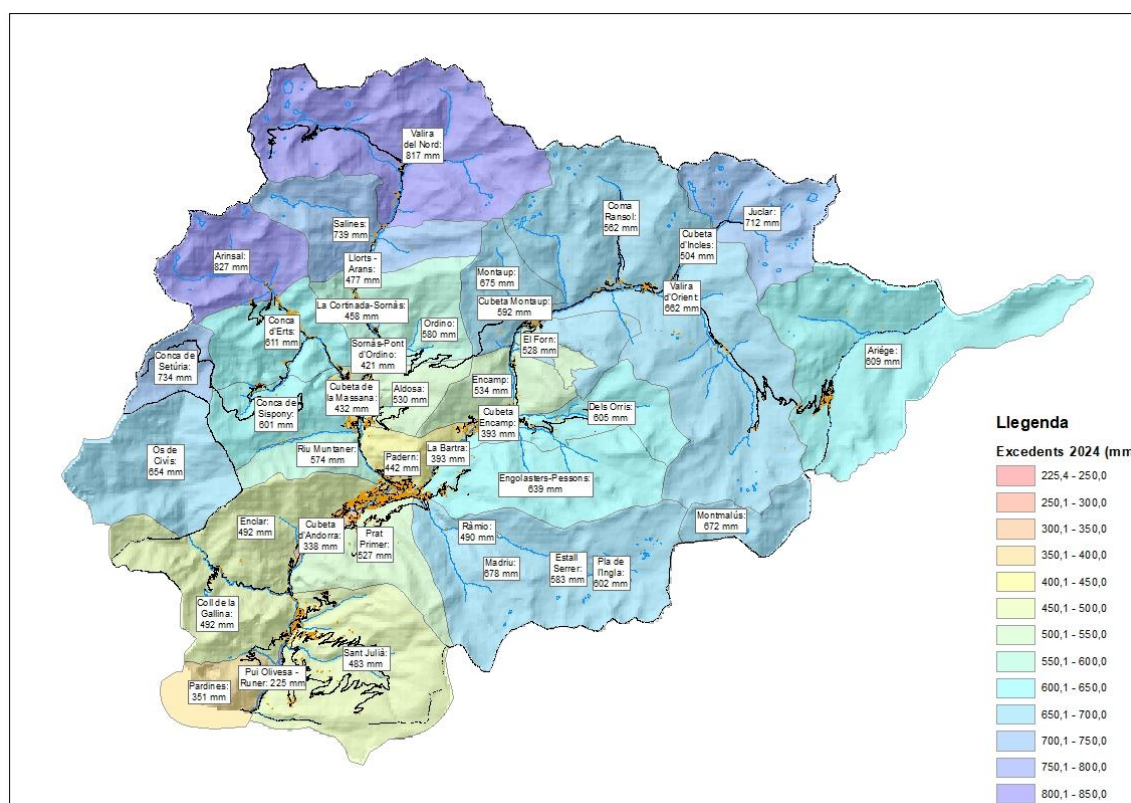


Figura 34. Mapa de distribució de la pluja útil en les diferents unitats hidrogeològiques descrites en l'estudi del M.I. Govern, 2007

En la següent figura es representen els excedents de cada conca com a percentatge de desviació respecte el valor mig per al període 1981-2010. Es pot observar que en la majoria de UH els excedents han estat per sobre la mitjana, entre un 20 i un 30%.

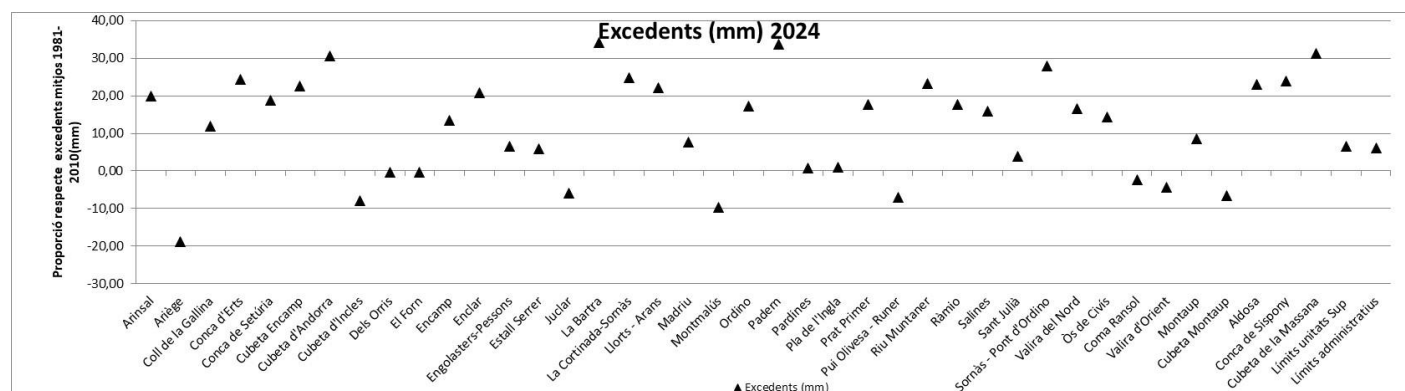


Figura 35. Gràfic de distribució dels excedents en les diferents unitats hidrogeològiques descrites en l'estudi del M.I. Govern, 2007. Si el valor mig representa el 100%, els valors del gràfic representen el percentatge per sobre o per sota la mitjana.

En detall, si comparem els excedents del 2024 amb la mitjana veiem que ha estat un any sec-normal a la franja més oriental i sud, i humit a la franja més occidental.

Comportament dels excedents anuals per unitats hidrogeològiques. Any 2024

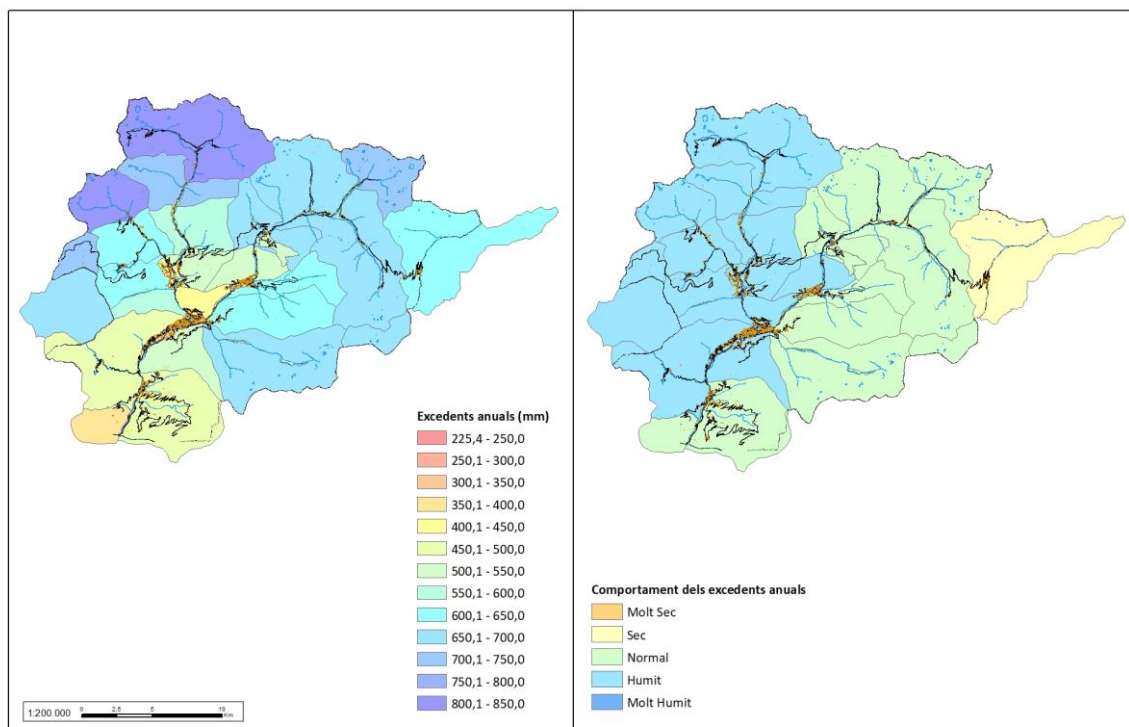


Figura 36. Mapa comparatiu dels excedents estimats del 2024 amb la mitjana climàtica 1981-2010 en les diferents unitats hidrogeològiques

Estacionalment, s'observa que a l'hivern ha estat humit a la meitat occidental, sector central i també al sud, i normal-sec a una franja més petita del nord-est. A la primavera, en canvi, els excedents han estat superiors (més humit) a bona part de la meitat occidental i normals a la meitat oriental i sud. A l'estiu trobem una franja d'humida-molt humida (meitat occidental) i seca-molt seca a la meitat oriental. Finalment, a la tardor s'observa una franja amb excedents normals entre el nord-oest i el sud-est, i la resta del país es manté amb valors normals.

Comportament dels excedents hivern per unitats hidrogeològiques. Any 2024

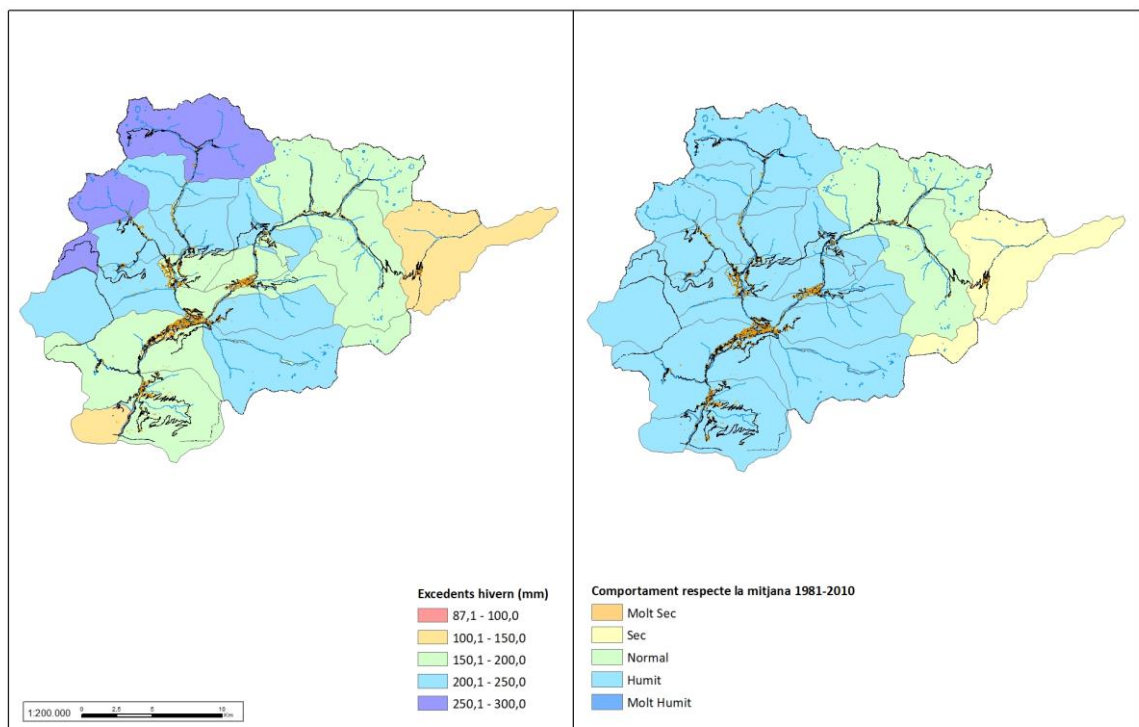


Figura 37. Mapa comparatiu dels excedents estimats a l'hivern del 2024 amb la mitjana climàtica 1981-2010 en les diferents unitats hidrogeològiques

Comportament dels excedents primavera per unitats hidrogeològiques. Any 2024

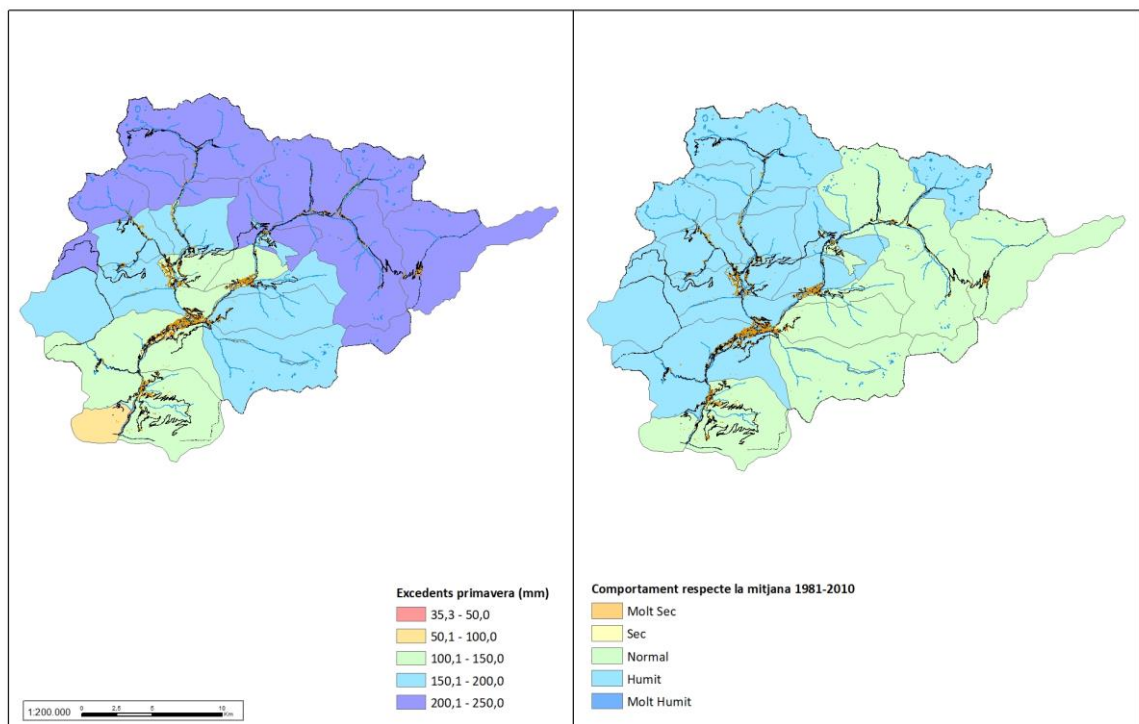


Figura 38. Mapa comparatiu dels excedents estimats a la primavera del 2024 amb la mitjana climàtica 1981-2010 en les diferents unitats hidrogeològiques

Comportament dels excedents estiu per unitats hidrogeològiques. Any 2024

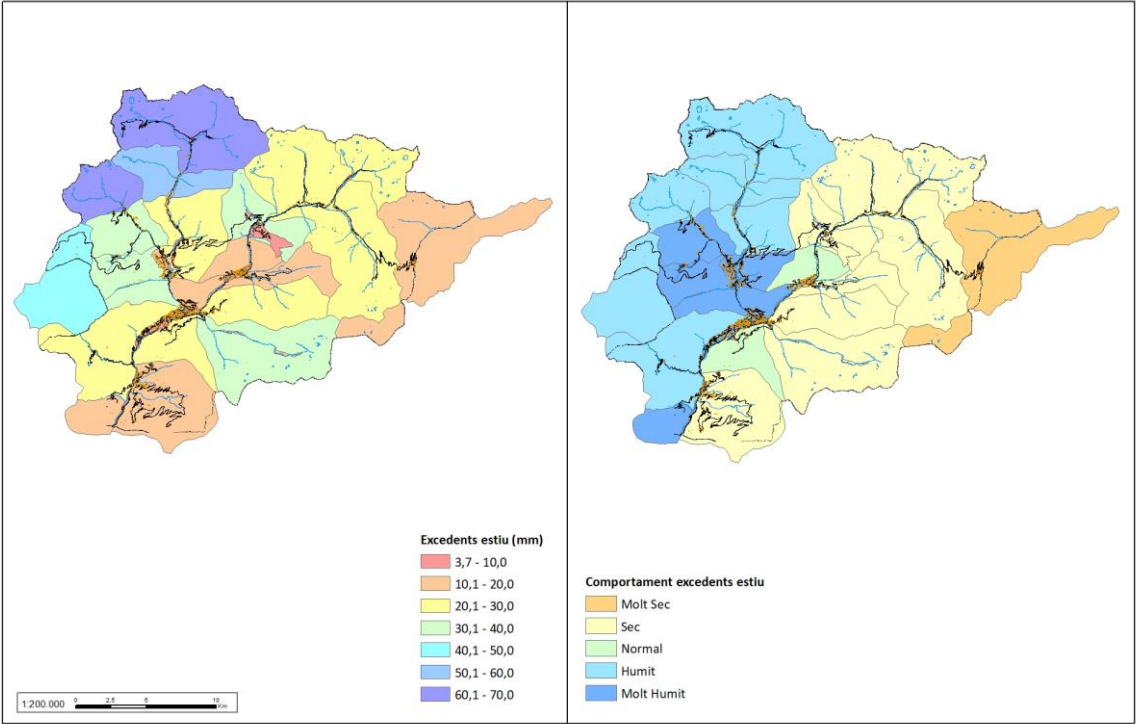


Figura 39. Mapa comparatiu dels excedents estimats a l'estiu del 2024 amb la mitjana climàtica 1981-2010 en les diferents unitats hidrogeològiques

Comportament dels excedents tardor per unitats hidrogeològiques. Any 2024

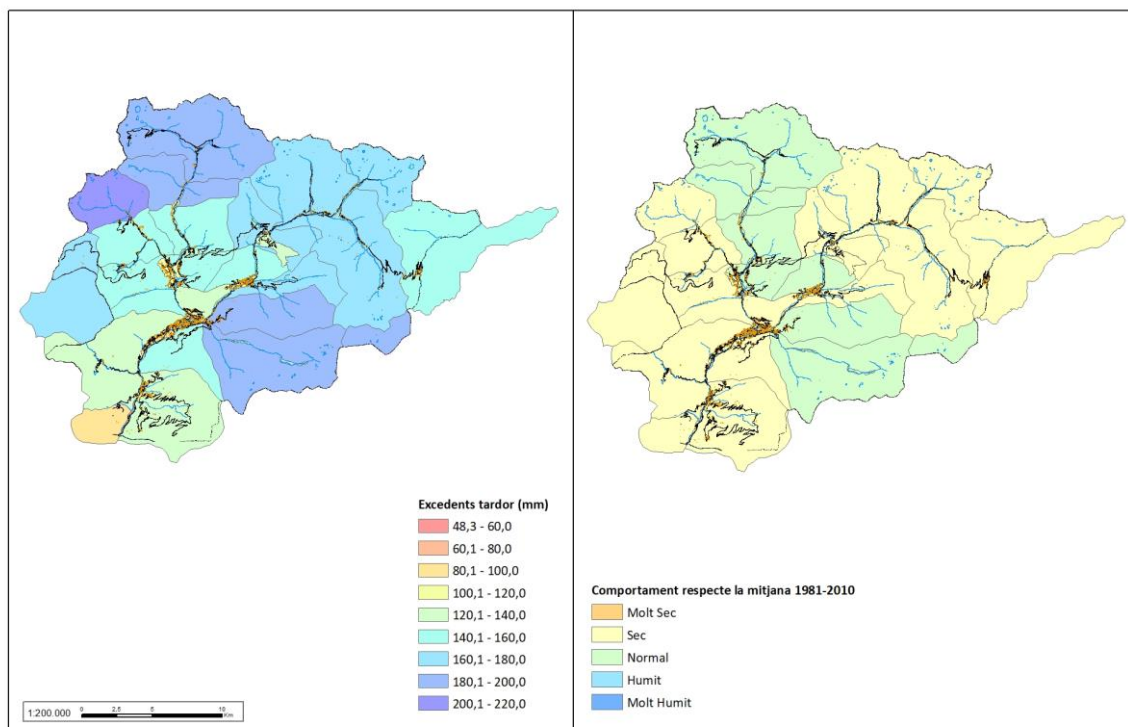


Figura 40. Mapa comparatiu dels excedents estimats a la tardor del 2024 amb la mitjana climàtica 1981-2010 en les diferents unitats hidrogeològiques

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,

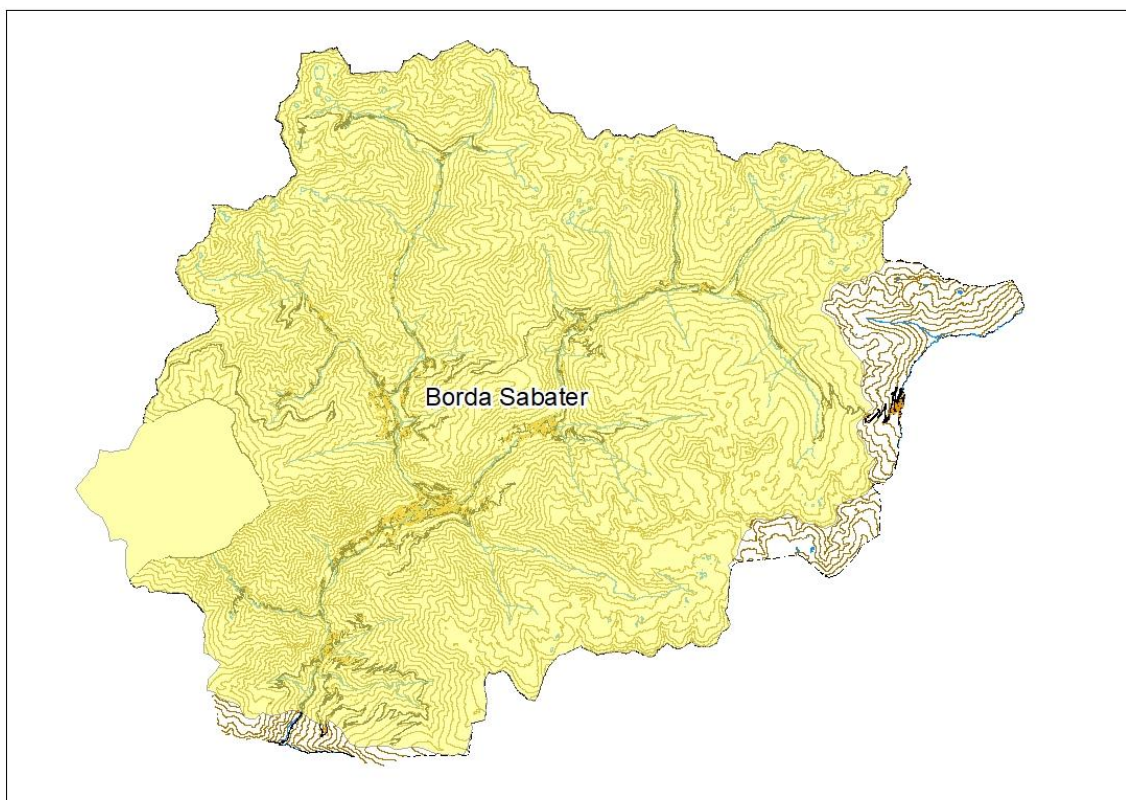


Figura 41. Mapa de situació de les diferents conques analitzades: Borda sabater

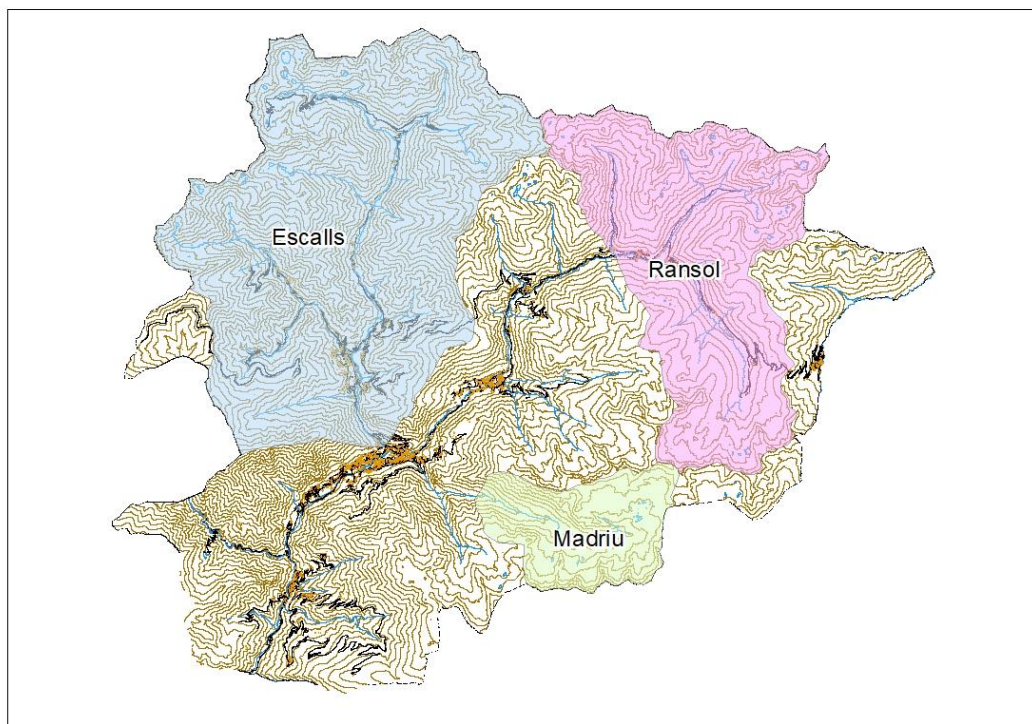


Figura 42. Mapa de situació de les diferents conques analitzades: Escalls, Madriu feda, Ransol-Valira Orient

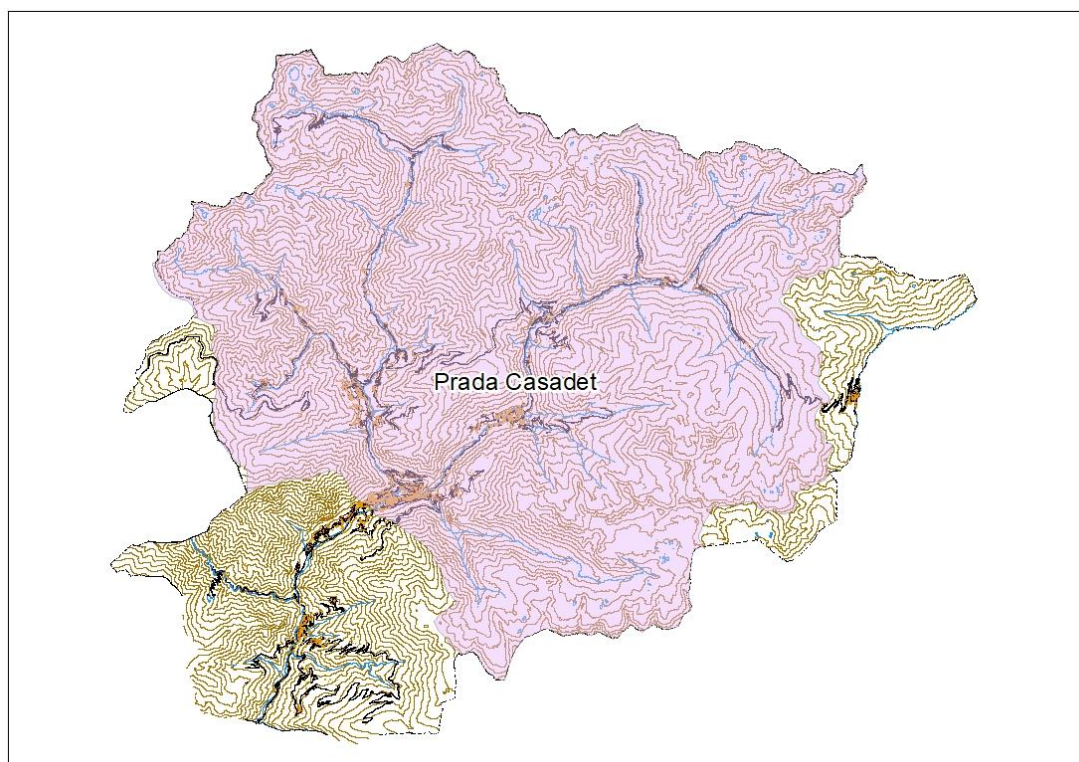


Figura 43. Mapa de situació de les diferents conques analitzades: Prada Casadet

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 2024 són similars a la mitjana climàtica en totes les conques. Estacionalment també segueixen el mateix patró.

En relació a les precipitacions, anualment veiem que han augmentat en totes les conques excepte a Ransol, que presenta valors inferiors. Estacionalment observem que a l'hivern les pluges han estat força superiors en totes les conques, en canvi a l'estiu presenten valors similars a la mitjana, i a la primavera i a la tardor s'observen valors força inferiors, excepte al Madriu.

Sobre la temperatura, observem valors més alts en totes les conques, o similars a la conca de Ransol. Estacionament es manté aquest patró a la tardor, mentre que a l'hivern i primavera es troben valors superiors en totes les conques i a l'estiu s'han trobat valors similars a la mitjana climàtica també en totes les conques.

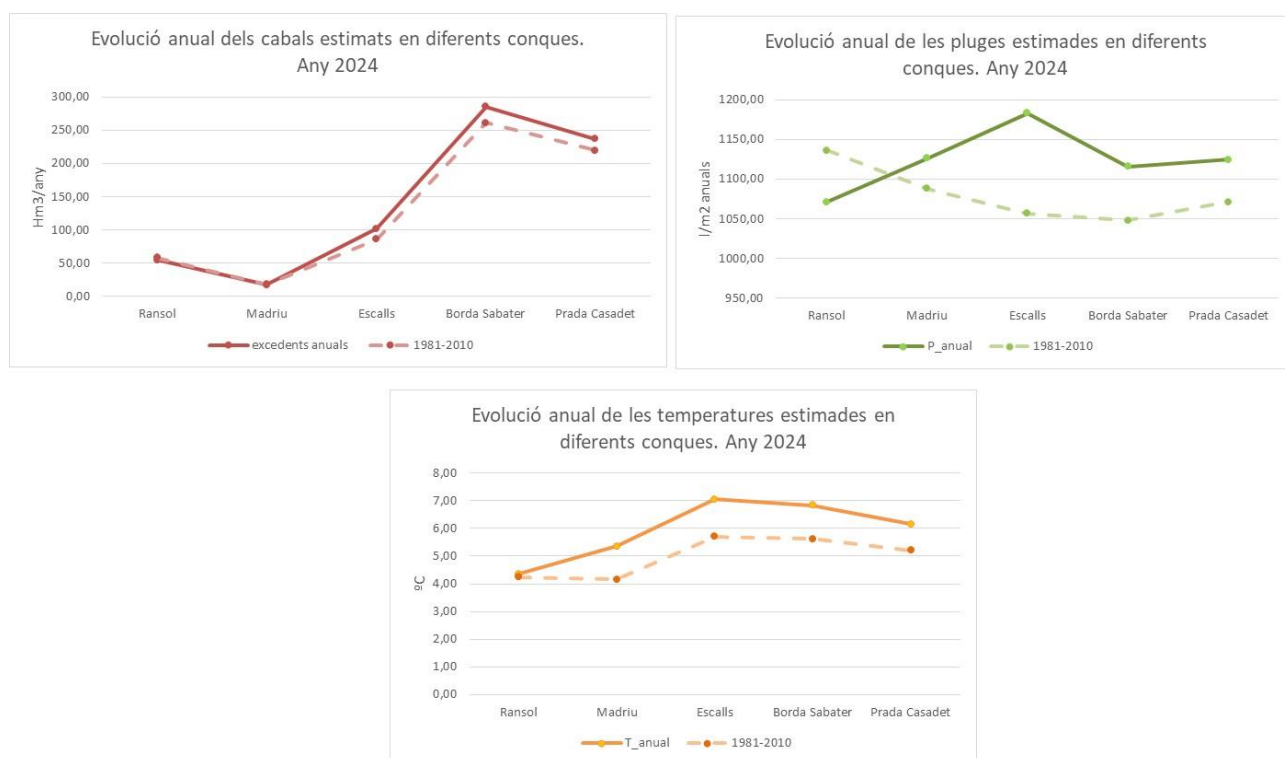


Figura 44. Anàlisi anual dels cabals estimats, de les precipitacions i de la temperatura en les diferents conques.

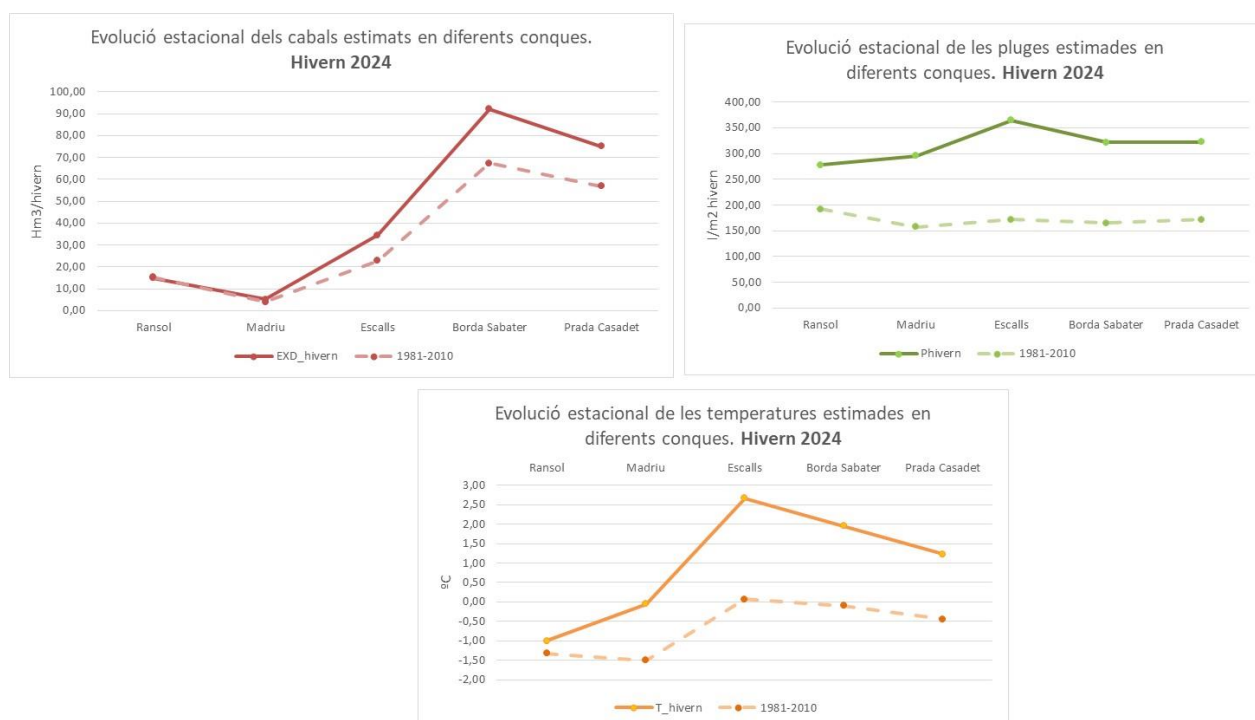


Figura 45. Anàlisi de l'hivern dels cabals estimats, de les precipitacions i de la temperatura en les diferents conques.

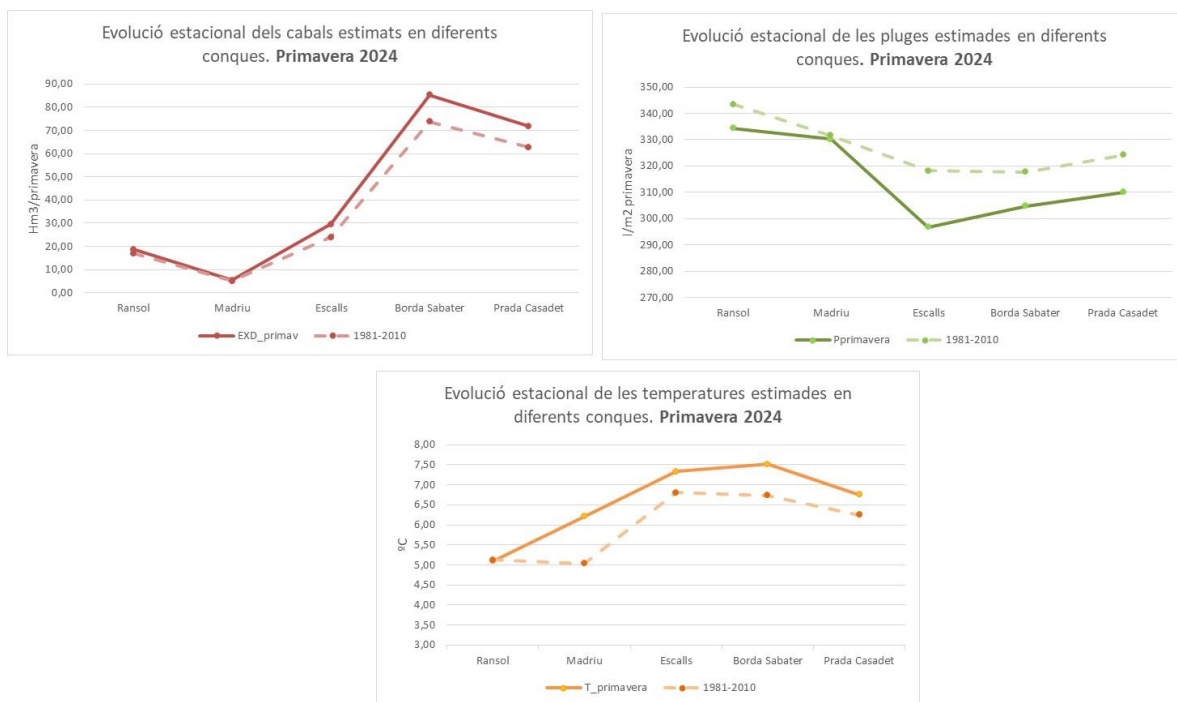


Figura 46. Anàlisi de la primavera dels cabals estimats, de les precipitacions i de la temperatura en les diferents conques.

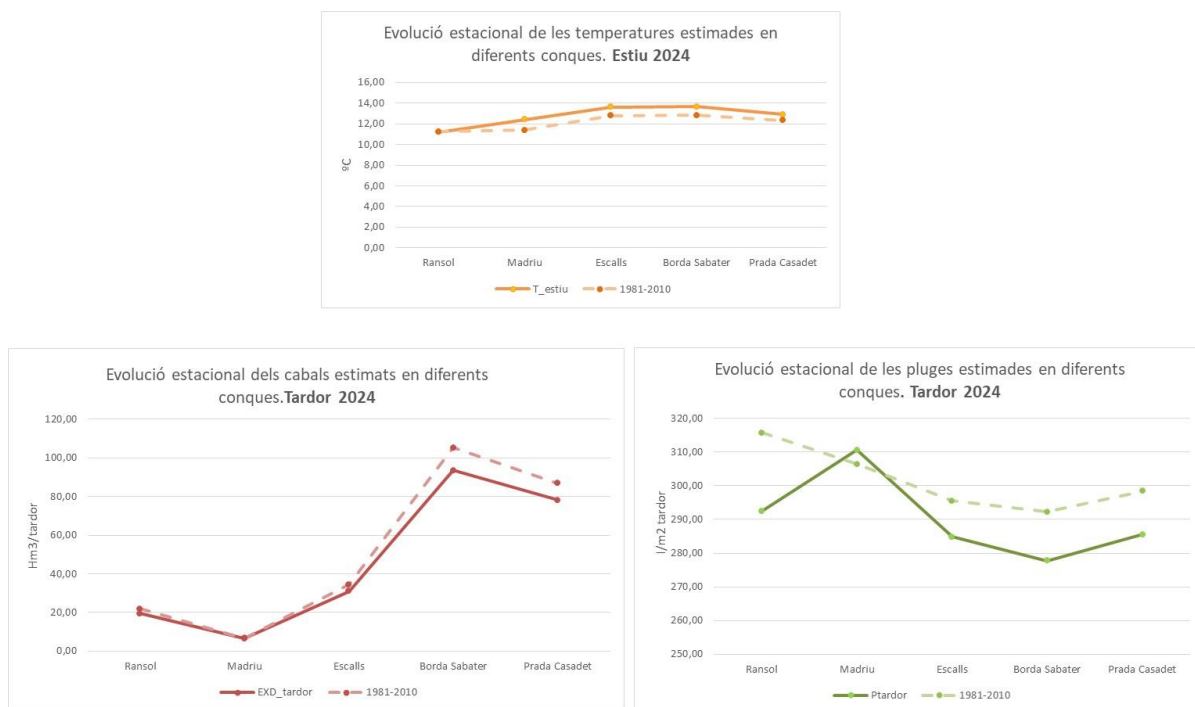


Figura 47. Anàlisi de l'estiu dels cabals estimats, de les precipitacions i de la temperatura en les diferents conques.

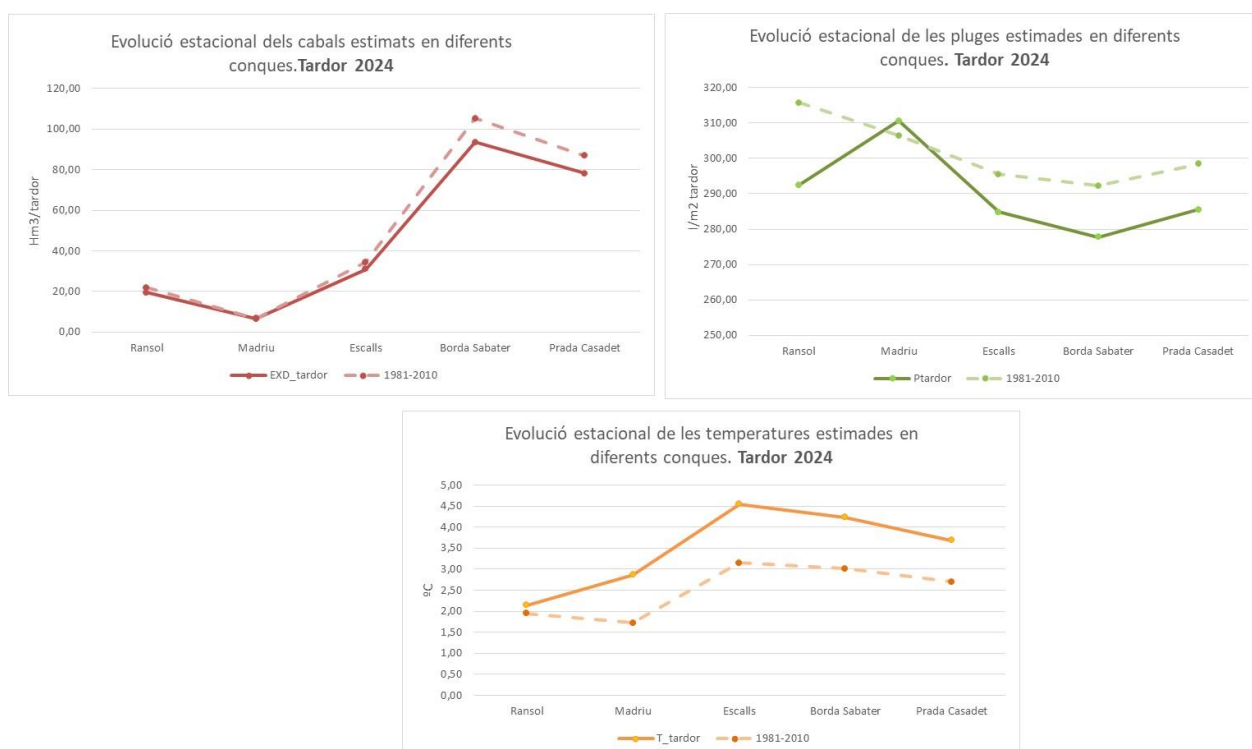


Figura 48. Anàlisi de la tardor dels cabals estimats, de les precipitacions i de la temperatura en les diferents conques.

Interanualment, en aquestes conques observem un augment en la precipitació, en els excedents al 2024, així com en la temperatura.

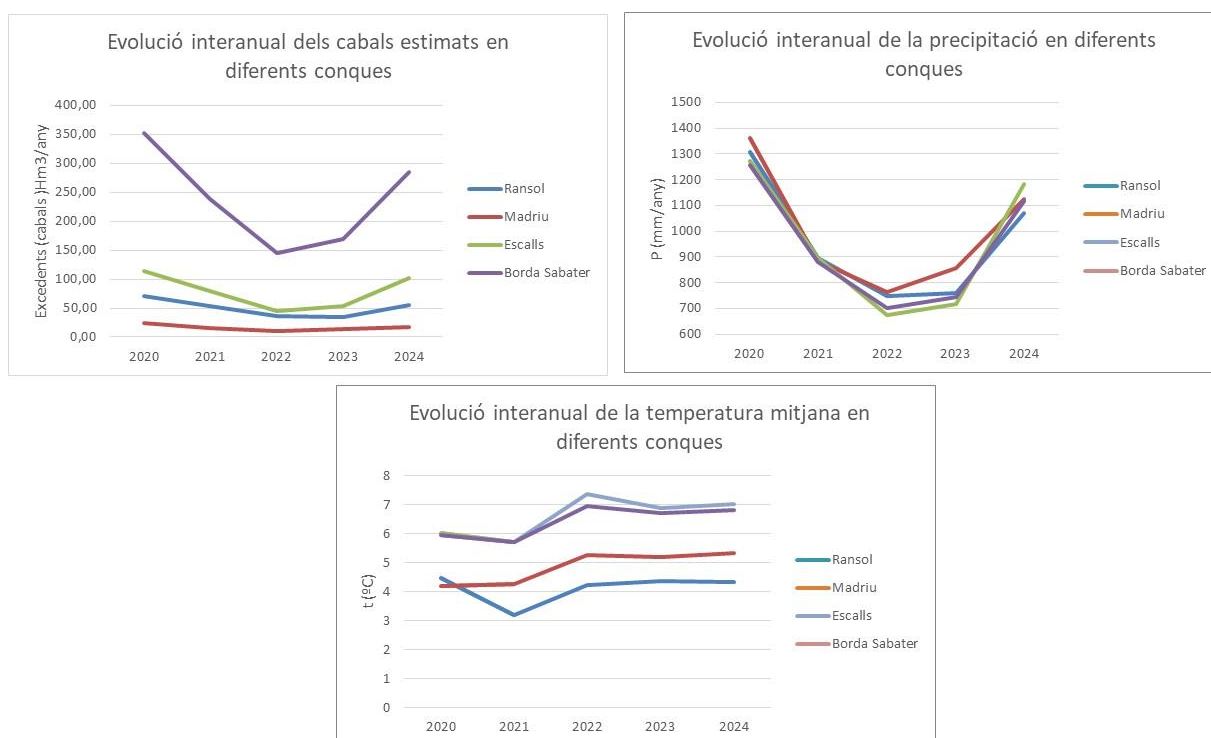


Figura 49. Evolució interanual de la precipitació, temperatura i excedents en les diferents conques

7 CONCLUSIONS

Aquest 2024 el mòdul de precipitació mig del territori andorrà s'estima que és de 1104 mm quan la mitjana de 30 anys se situa als 1054 mm. Ha estat un **any sec a l'extrem nord-oriental, humit a la franja més occidental i normal a la resta del territori** si es compara amb la mitjana de precipitacions de 30 anys pel període 1981-2010, segons dades base facilitades per l'ARI.

La temperatura mitjana del 2024 s'estima que ha estat de 6.63 °C, quan la mitjana de 30 anys és de 5.6 °C. Comparant la temperatura mitjana anual amb la mitjana climàtica, s'observa que les temperatures d'aquest any han estat en conjunt de superiors a la mitjana, **s'ha tractat d'un any calorós**, amb l'excepció del sector nord-oriental que han sigut normals o fins i tot més baixes.

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 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'Arieja, i és de 522 Km²) la pluja útil ha estat el 2024 d'uns 331 Hm³/any, calculats mitjançant el balanç hídric amb el mètode de Thornthwaite, i d'aquests, 298 Hm³/any són disponibles, doncs es fixa la xifra del 10% de la pluja útil com a aigua destinada als ecosistemes aquàtics -cabals ecològics mínims estimats-.

Repartit entre el territori andorrà (467 Km²), la pluja útil estimada mitjana del 2024 representa uns 297 Hm³/any. D'aquests, 267 Hm³/any serien disponibles, reservant-se el 10% com a cabals "ecològics mínims estimats".

Estacionalment, ha estat un any entre molt humit (franja occidental) a sec (franja nord-oriental) a l'hivern, humit (sector occidental) i normal a la primavera, mentre que a l'estiu ha estat entre sec (sector oriental) i normal (resta del territori), i a la tardor ha estat normal excepte al sud-oest que ha estat sec. Les temperatures veiem que han estat càlides al conjunt del territori, tendint a normals i fredes cap a l'extrem nord-oriental, amb l'excepció de l'hivern que ha estat molt càlid a les UH més occidentals i càlid a la pràctica totalitat del país. A l'hivern, s'observa que la temperatura mitjana més baixa arriba a -6.4°C.

En relació als excedents, el 2024 ha estat un any sec-normal a la franja més oriental i sud, i humit a la franja més occidental.

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, març 2024. Estudi de per a l'elaboració anyal del balanç hídric del Principat d'Andorra. Any 2023

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, 6 de maig de 2025

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 mitjana, humitat relativa mitjana, nombre d'hores de sol i velocitat del vent diürn.
- Penman: aquest mètode requereix disposar de temperatures mitges mensuals, humitats relatives mitjana 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 mitjana, 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 mitjana, 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 mitjana 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 2023 s'inicia amb la reserva del desembre del 2023, que era de **4.1 mm** i finalitza el desembre del 2024 amb la reserva a **8.4 mm**.

El mapa de distribució de l'ETR anual presenta un valor mig de 463 mm/any, amb valors màxims al voltant dels 630 mm i mínims inferiors als 300 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 valor 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.

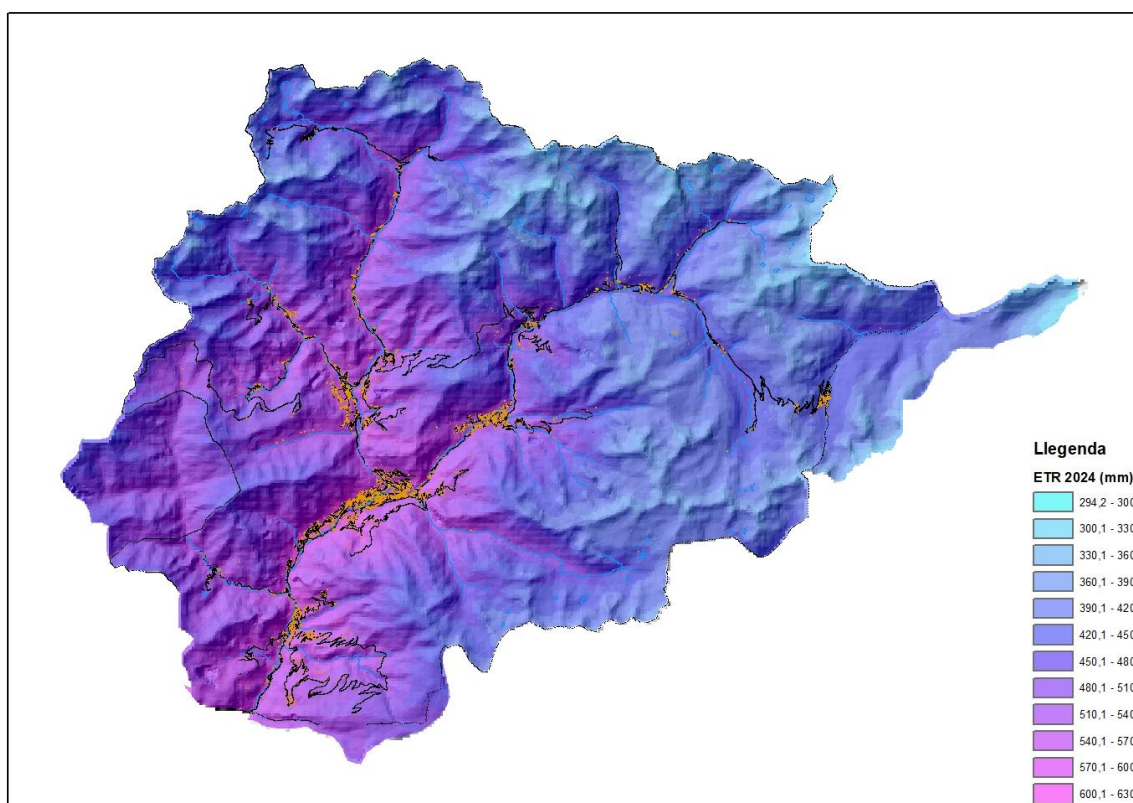


Figura 50. Mapa de distribució de l'ETR_2024

9.2 CÀLCUL DE LA PLUJA ÚTIL

Tal 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.

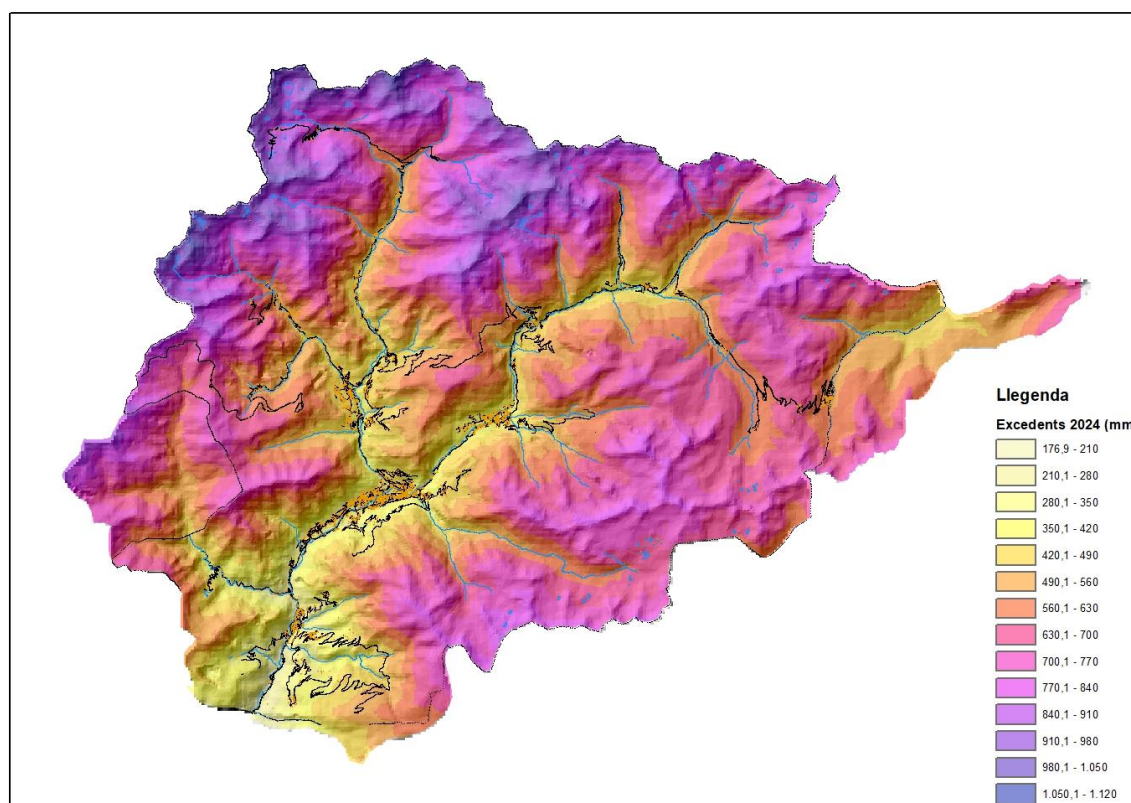


Figura 51. Mapa de distribució de la pluja útil o excedents estimats per l'any 2024

La pluja útil o excedents estimats presenten un valor mig de 633 mm. Els valors màxims són d'uns 1100 mm a l'extrem nord-oest 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 170 mm, s'emplacen cap al sud i extrem nord-oriental 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, permet veure que en termes mitjos el dèficit ha estat baix a l'extrem nord-est, amb valors per sota els 20 mm. En la resta del territori trobem valors màxims de 160 mm al sud i fons de la vall.

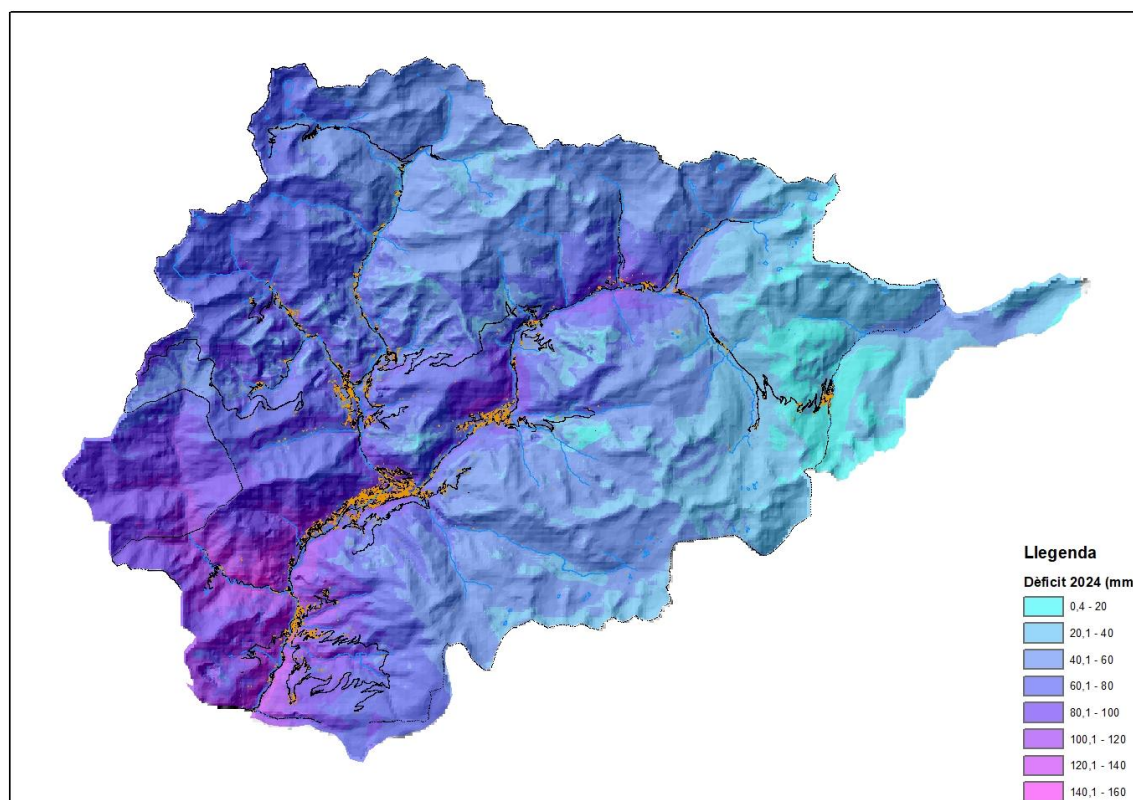
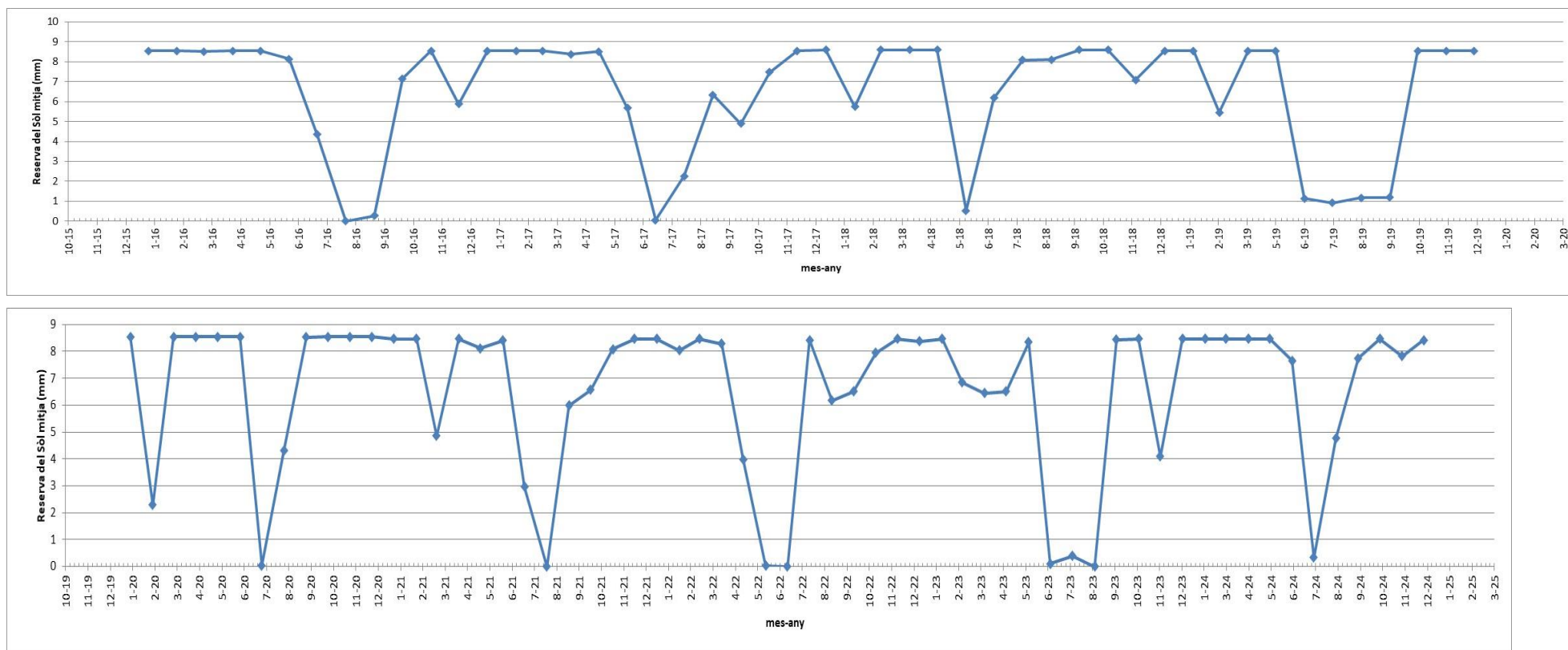


Figura 52. Mapa de distribució dels dèficits estimats per l'any 2024. R= variable, seguint el mètode de Thornthwaite El mètode de càlcul ha consistit en la diferència entre ETP i ETR quan no hi ha reserva disponible.

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, 2020 i 2022 i 2024, tal com es veu representat en el següent gràfic. La metodologia de càlcul de la reserva mitjana 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 i 2023.



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
2022	0,00
2023	-4,37
2024	4,33

Figura 53. Evolució de la reserva mitjana mensual d'aigua del sòl des del 2016 fins al desembre del 2024. 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