



Govern d'Andorra

**ESTUDI PER A L'ELABORACIÓ
ANYAL DEL BALANÇ HÍDRIC DEL
PRINCIPAT D'ANDORRA
- ANY 2011 -**

(PERÍODE 2008-2012)



Juliol 2012

1	OBJECTIUS	3
2	INTRODUCCIÓ	3
3	ESTACIONS METEOROLÒGIQUES	4
4	METODOLOGIA PER A L'OBTENCIÓ DE MAPES CLIMATOLÒGICS	6
4.1	MAPES DE PRECIPITACIÓ	6
4.1.1	Determinació del gradient altimètric de la precipitació	7
4.2	MAPES DE TEMPERATURA	8
5	TRETS GENERALS DE LA PLUVIOMETRIA DE L'ANY HIDROLÒGIC 2011	9
6	TRETS GENERALS DE LA TEMPERATURA DE L'ANY HIDROLÒGIC 2011	11
7	CÀLCUL DEL BALANÇ HÍDRIC	13
7.1	RESULTATS DEL BALANÇ HÍDRIC	13
8	CONTRAST DE RESULTATS	14
8.1	ANÀLISI DELS CABALS AFORATS	14
9	EL BALANÇ HÍDRIC EN LES UNITATS HIDROGEOLÒGIQUES	17
9.1	RESUM DELS RESULTATS DEL BALANÇ HÍDRIC DEL 2011 EN LES DIFERENTS UNITATS 19	19
10	CONCLUSIONS	22
11	BIBLIOGRAFIA	23
12	ANNEX DE DOCUMENTACIÓ. Càlcul del balanç hídric	24
12.1	Càlcul de l'evapotranspiració	25
12.1.1	Generalitats	25
12.1.2	Aplicació del mètode empíric de Thornthwaite	25
12.2	Càlcul de la pluja útil	28
12.3	Estimació del dèficit hídric	29
12.4	Evolució de la reserva d'aigua del sòl	30
12.5	Comprovació resultats	32

1 OBJECTIUS

L'objectiu del present estudi és el de resumir les precipitacions i temperatures recollides al Principat durant el 2011 respecte la mitja calculada en l'estudi de les *Aigües subterrànies del Principat d'Andorra* (Govern d'Andorra, 2007) i finalment establir un model de distribució de la pluja útil o excedents hídrics del 2011 del territori andorrà mitjançant un balanç hídric de l'any hidrològic comprès entre l'1 de gener i el 31 de desembre del 2011.

2 INTRODUCCIÓ

De cara a elaborar el model de precipitació i temperatura de l'any 2011, s'han recollit els registres termopluviomètrics d'estacions emplaçades tant al territori andorrà com en la resta del Pirineu més proper.

Es tracta d'estacions meteorològiques gestionades per diferents entitats: Govern d'Andorra, CEMNA, Confederación hidrogràfica del Ebro (CHE), FEDA, Servei meteorològic de Catalunya i Météo France. Les dades usades són les proporcionades per les diferents entitats; en el cas dels registres facilitats pel CENMA, pel CHE i pel departament d'Indústria del M.I. Govern d'Andorra es tracta de dades no validades.

Les diferents anàlisis que es duen a terme són mensuals, per aquest motiu només s'ha treballat amb les estacions que proporcionen el 100% dels registres diaris mensuals, acceptant però fins a un màxim de dos dies no consecutius sense dades. En el cas d'una estació amb mesos incomplets s'ha prescindit del mes en concret, no pas de la resta de mesos.

Els registres pluviomètrics amb els quals s'ha treballat corresponen a les precipitacions acumulades mensuals, tant de neu com de pluja, sense dur a terme cap correcció, per exemple associat a processos de sublimació, en el cas de la neu. En el cas dels registres de temperatura s'ha treballat amb la mitja mensual de la temperatura màxima i mínima diària.

S'ha comparat els registres termopluviomètrics amb els valors mitjans climàtics recollits en l'*Estudi de les aigües subterrànies del Principat d'Andorra* (Govern d'Andorra, 2007).

A l'hora de classificar el tipus d'any climatològic, respecte les variables de precipitació i temperatura s'han adoptat els següents criteris definits pel Servei meteorològic de Catalunya:

Classificació Plugues	P _{període} respecte mitjana climàtica	Classificació Temperatura	T _{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. Classificació climàtica segons el SMC

3 ESTACIONS METEOROLÒGIQUES

Les estacions meteorològiques que proporcionen dades diàries del 2010, tant del país com d'estacions emplaçades el més a prop de la zona d'estudi es donen en la següent taula.

En la **taula 2 i figura 1** es mostra les estacions considerades i la seva ubicació.

Estació	Lambert X	Lambert Y	Z	Organisme
Ransol	542751,9	31243,7	1640	FEDA
Engolasters	536681,5	24408,0	1640	FEDA
Central	535600,7	24197,3	1140	FEDA
Salines	534440,9	34868,7	1470	Govern d'Andorra
Roc St Pere	533783,6	23896,0	1090	Govern d'Andorra
Les Pardines	528064,9	16010,3	1500	Govern d'Andorra
La Comella	533197	22055	1262	Govern d'Andorra
Arcalís	529849,5	37305,2	2235	CHE
Grau Roig	547722,7	26302,4	2100	CHE
Setúria	526415,8	28284,5	1910	CHE
La Seu d'Urgell	527232,2	7154,7	696,8	CHE
Viliella	547217,3	13050,8	1557	CHE
Salòria	520143,8	24663,5	2445	SMC
La Seu d'Urgell	525529,6	8296,6	849	SMC
Das	561375,9	9888,5	1096	SMC
Hospitalet	555535,4	32202,4	1425	Météo France
Aulus les Bains	517231,5	55527,0	733	Météo France
Runer	528953,6	15457,7	850	Govern d'Andorra
Aixàs	529312,2	20810,6	1568	CENMA
Bony de les Neres	538158,4	28025,9	1777	CENMA
Comapedrosa	527252,2	33584,3	2630	CENMA
Perafita	538069,9	19072,5	2409	CENMA
Sorteny	537178,5	34943,9	2283	CENMA

Taula 2. Xarxa de les estacions meteorològiques d'Andorra i dels voltants pertanyents tant a les Forces Elèctriques d'Andorra (FEDA), Confederació Hidrogràfica de l'Ebre (CHE), M.I Govern d'Andorra, al Servei Meteorològic de Catalunya (SMC), al Service Météorologique de la France (Météo France) i al Centre d'estudis de la neu i de la Muntanya d'Andorra (CENMA) que s'han utilitzat en l'estudi.

Després del procés de selecció de les dades existents, el nombre de dades usades en cada estació queda de la següent manera:

Estació	Nombre de mesos usats de l'any 2011	
	Registres de precipitacions	Registres de temperatures
Ransol	12	12
Engolasters	11	11
Central	12	12
Salines		12
Roc St Pere	9	12
Les Pardines	12	5
Comella	12	12
Arcalís-CHE	12	12
Grau Roig-CHE	12	12
Setúria-CHE	12	12
La Seu d'Urgell CHE	12	12
Viliella-CHE	12	12
Salòria-SMC	12	12
La Seu d'Urgell SMC	12	12
Das-SMC	12	12
Hospitalet	12	12
Aulus les Bains	12	12
Runer	6	8
Aixàs	-	-
Bony de les Neres	-	12
Comapedrosa	-	12
Perafita	-	12
Sorteny	-	12
Nombre estacions:	17	22

Taula 3. Nombre de mesos usats en cada estació meteorològica.

És àmplia la xarxa d'estacions meteorològiques que hi ha implantada al Principat d'Andorra, tot i que fins a data d'avui, no en totes elles es mesura la totalitat de paràmetres meteorològics (precipitació i temperatura). El sector que queda al descobert d'aquesta àmplia xarxa d'estacions és el nord-est, vall del Madriu, Cortals d'Encamp i Pessons, tal i com s'observa en la **figura 1**

En el **capítol 4** es donen els registres usats per dur a terme la modelització.

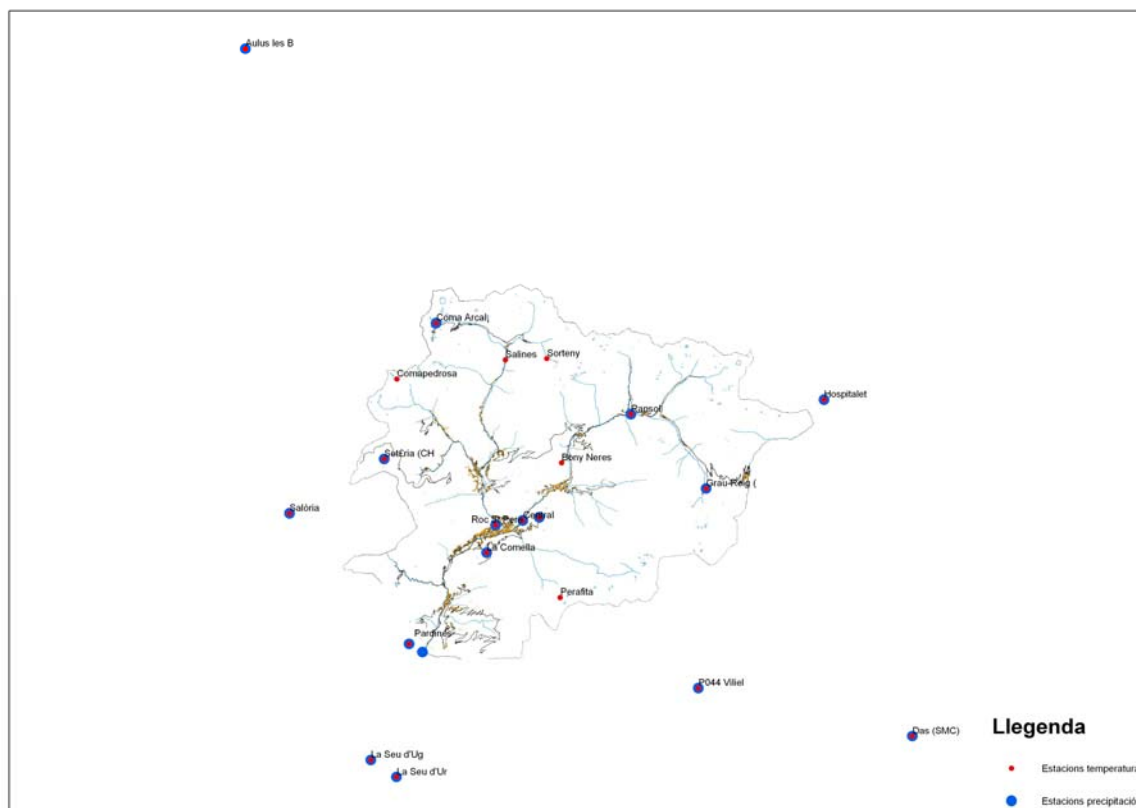


Figura 1. Situació de les estacions meteorològiques i estacions amb dades estimades usades en el present estudi

4 METODOLOGIA PER A L'OBTENCIÓ DE MAPES CLIMATOLÒGICS

Un dels avanços importants que suposa l'ús de la tecnologia GIS en el càlcul de paràmetres del terreny és la possibilitat de realitzar un gran volum de càlculs amb una duració radicalment inferior a la usada amb els mètodes clàssics. Així s'ha aprofitat aquesta tecnologia per realitzar un model climàtic amb GIS amb la realització de mapes de precipitació i temperatura amb cel·les de 25 metres x 25 metres (un total de 800.000 punts de càlcul a tot el principat) sense que el temps sigui un impediment per realitzar-los.

4.1 MAPES DE PRECIPITACIÓ

Per tal d'obtenir els mapes de precipitació del Principat d'Andorra s'han de tenir en compte dos fets molt importants.

La precipitació varia amb l'alçada, així no es pot fer una interpolació directa dels valors de precipitació obtinguts sense tenir en compte l'alçada a la que es troben. La variació de la precipitació amb l'alçada es descriu a la bibliografia com a la precipitació que augmenta a raó de centèsimes de mil·límetre per cada metre d'alçada. L'altre fet a tenir en compte és la variació de la precipitació, segons l'orientació del vessant.

L'orientació del vessant té la seva importància sobretot si es té en compte el fet que els vessants orientats al Sud afavoreixen els fenòmens convectius. S'ha de tenir present que els fenòmens convectius són els responsables de la major part de la precipitació durant el període estival, que ve a ser un dels períodes més plujosos.

4.1.1 Determinació del gradient altimètric de la precipitació

Segons la bibliografia el gradient altimètric varia molt segons la regió i el clima de la regió. Per exemple, en selves tropicals sud-americanes el valor del gradient altimètric arriba a superar els 100 mm / 100m, en canvi en la zona de Sierra Nevada, a la península Ibèrica, es defineixen uns gradients de 35 mm cada 100 metres. Estudis en el Pirineu ens donen gradients molt variables. Aquest fet es deu en part a que les variacions locals de la precipitació en una orografia com la pirinenca són molt importants, així, i sense tenir sèries de precipitació especialment llargues, els valors obtinguts de gradients pluviomètrics són molt diferents entre sí. Quan s'intenta determinar un gradient, pot ser que s'estigui determinant una variació local de la pluviometria.

En aquest cas com que l'objectiu és continuar amb els resultats obtinguts en l'*Estudi de les aigües subterrànies (Govern d'Andorra, 2007)*, s'ha cregut convenient utilitzar les mateixes dades de gradient pluviomètric que es van utilitzar. Així el gradient altitudinal utilitzat (anual) és de 25 mm cada 100 metres.

Per poder fer el càlcul de precipitacions, és precís que es tingui en compte la influència de l'alçada en les dades de precipitació obtingudes, o sigui el gradient altitudinal. Per fer el càlcul, el que s'ha fet és traslladar totes les estacions a la cota de 1000 metres d'alçada tenint en compte aquest gradient, descomptant (si eren estacions que es trobaven a més alçada) la precipitació X mm/100m o sumant (si eren estacions que es trobaven més baixes).

Com a limitació s'assumeix que no hi ha altres factors que comportin variacions de precipitació, factors com per exemple la posició respecte el vessant, orientació del vessant, etc.

Un cop realitzat aquest mapa de distribució de les precipitacions a una cota de 1000 metres, a partir d'una interpolació Spline, es torna a aplicar el gradient altimètric sobre cadascuna de les cel·les tenint en compte l'alçada a la que es troben.

Les dades utilitzades en el cas de precipitacions, es presenten a la taula següent.

	X	Y	Z	Gener	Febrer	Març	Abril	Maig	Juny	Juliol	Agost	Setembre	Octubre	Novembre	Desembre
Ransol	542751.9	31243.7	1640.0	11.1	23.1	91.0	29.8	108.8	89.0	37.0	58.5	34.7	38.0	118.2	19.9
Engolasters	536681.5	24408.0	1640.0	15.8	17.0	56.0		91.7	43.4	36.5	60.5	24.7	35.0	93.3	19.2
Central	535600.7	24197.3	1140.0	14.7	11.5	51.9	29.5	108.6	64.9	40.4	72.7	40.6	47.0	107.2	16.3
Roc St Pere	533783.64	23896.03	1100.0	15.6	9.4				63.0	61.6	70.2	37.4	50.4	110.4	6.6
Coma Arcalis (CHE)	529849.49	37305.22	2235.0	23.6	32.2	86.6	57.0	133.6	88.0	79.8	90.2	56.0	61.0	227.2	11.0
Seltonia (CHE)	525415.83	28284.46	1910.0	29.4	19.2	75.6	31.8	129.4	62.2	64.6	62.2	40.0	87.6	206.2	11.4
Grau-Roig (CHE)	547722.68	26302.36	2100.0	11.2	23.0	67.0	35.8	103.0	69.6	70.8	38.4	28.4	48.4	134.4	26.4
Pardines	528064.89	16010.33	1500.0	11.95	10.05	64.5	36.6	50.05	101.0	44.3	51.0	58.4	45.6	90.8	2.75
La Seu d'Urgell (A022) CHE	527232.22	7154.65	696.8	10.6	8.2	51.6	28.2	88.6	81.8	42.8	5.6	21.6	20.6	56.6	1.8
P044 Vilella (CHE)	547217.28	13050.76	1557.0	8.0	9.0	88.6	40.6	101.0	50.4	49.2	2.4	32.4	11.6	61.8	6.8
La Seu d'Urgell (SMC)	525529.6	8296.5	849.0	11.3	7.7	54.7	32.2	67.2	76.8	37.9	4.8	19.0	42.8	64.5	1.1
Das (SMC)	561375.9	9888.5	1096.0	10.5	6.6	94.0	27.0	53.4	54.1	53.1	9.8	53.3	23.3	53.5	4.3
Hospitalet (meteo France)	555535.4	32202.4	1425.0	26.8	66.0	182.6	41.0	87.2	90.3	65.8	54.9	40.8	75.6	185.8	140.9
Aulus les Bains (meteo France)	517231.5	55527.0	733.0	59.0	132.3	144.4	84.7	162.3	160.4	160.9	65.2	82.7	72.0	260.3	205.7
Sabina	520143.8	24663.5	2445.0	43.6	18.4	114.1	38.7	127.9	68.2	52.3	58.2	23.6	58.5	184.7	4.7
La Comella	533197.0	22059.0	1262.0	20.0	12.6	55.4	34.9	106.3	52.5	56.2	63.7	45.4	43.9	107.8	0.4
Runer	528953.83	15457.68	850.0	12.4	0.6	47.6	22.6		49.0					84.7	

Taula 4. Dades de precipitació usades

4.2 MAPES DE TEMPERATURA

Per a l'elaboració dels mapes de temperatura del principat d'Andorra s'ha partit de les sèries de temperatura recopilades en les estacions anteriorment comentades.

L'objectiu d'aquests càlculs és l'obtenció de mapes de temperatura mensual i de temperatura anual mitjana per tot el territori andorrà.

Per l'elaboració dels mapes cal en primer lloc establir un gradient de variació de la temperatura en alçada. Aquest gradient està molt més ben establert en el cas de la temperatura que en el cas de les precipitacions, ja que els fenòmens atmosfèrics, que regeixen la variació de temperatures estan menys influïts per paràmetres locals que els fenòmens atmosfèrics, que regeixen la variació de les precipitacions. Així, el gradient que s'ha establert és el que marca una disminució de la temperatura mitjana de 0,65 ° per cada 100 metres d'ascensió. Aquest gradient té un funcionament molt adequat sobretot pel que fa a períodes llargs de mesura, ja que els fenòmens d'inversió tèrmica típics de les situacions anticiclòniques a l'hivern, queden compensats per altres situacions. En aquest punt cal remarcar que en el càlcul de temperatures mitjanes mensuals, el gradient aplicat pot variar lleugerament enfront del gradient real. Aquesta variació, queda compensada, però, amb les dades dels altres mesos.

Per la realització dels mapes de temperatura, en primer lloc s'han traslladat totes les dades de temperatura a una mateixa alçada que s'ha fixat de 1000 metres, obtenint uns mapes de temperatures mitjanes a una mateixa alçada. Com a limitació s'assumeix que no hi ha altres factors que comportin variacions de temperatura, factors com per exemple la posició respecte el vessant, orientació del vessant, etc.

Un cop realitzat aquest mapa de distribució de temperatures a una cota de 1000 metres, a partir d'una interpolació Spline, es torna a aplicar el gradient altimètric sobre cadascuna de les cel·les tenint en compte l'alçada a la que es troben. Les dades utilitzades en el cas de temperatura, es presenten a la taula següent.

	X	Y	Z	Gener	Febrer	Març	Abril	Maig	Juny	Juliol	Agost	Setembre	Octubre	Novembre	Desembre
Ransol	542.751.9	31.243.7	1.640.0	-1.9	1.2	2.0	7.9	10.0	12.1	13.6	16.3	13.8	8.5	4.1	1.1
Engolasters	536.681.5	24.408.0	1.640.0	1.5	3.6	3.4		11.8	13.5	15.2	18.5	16.2	11.5	6.4	4.0
Central	535.600.7	24.197.3	1.140.0	2.5	5.2	5.7	12.0	13.8	16.1	17.5	20.0	17.7	12.7	8.1	4.8
Salines	534.441.0	34.868.7	1.470.0	-0.4	1.7	2.8	8.4	10.2	12.6	13.9	15.2	12.5	18.0	4.8	1.8
Roc St Pere	533.783.6	23.896.0	1.090.0	3.0	5.5	6.5	12.7	14.5	17.6	18.8	20.9	17.9	13.0	8.2	4.9
Coma Arcalis (CHE)	529.849.5	37.305.2	2.235.0	-4.4	-3.1	-2.0	3.6	6.1	8.3	9.1	12.4	10.1	5.3	0.5	-2.3
Selma (CHE)	526.415.8	28.284.5	1.910.0	-2.3	-0.9	-0.5	5.0	6.9	8.5	9.8	12.4	10.5	5.9	2.3	-0.1
Grav-Rosa (CHE)	547.722.7	26.302.4	2.100.0	-2.4	-1.4	-0.6	5.3	7.4	9.7	10.6	13.9	11.3	6.5	2.8	-0.4
La Seu d'Urgell (A022) CHE	527.232.2	7.154.7	696.8	3.5	6.0	8.0	13.5	16.2	18.5	20.1	22.3	19.4	14.3	9.8	5.0
PD44 Viladella (CHE)	547.217.3	13.050.8	1.557.0	1.4	3.5	3.6	9.4	11.4	13.4	14.7	17.9	15.2	10.5	6.3	3.4
La Seu d'Urgell (SMC)	525.529.6	8.296.5	849.0	3.4	6.1	7.4	13.3	15.9	17.7	19.7	22.2	19.3	13.9	9.2	5.1
Das (SMC)	561.375.9	9.888.5	1.096.0	0.7	3.1	4.8	9.9	12.4	15.2	16.4	18.5	15.7	10.3	6.7	2.6
Hospitalet (meteo France)	555.535.4	32.202.4	1.425.0	2.5	3.6	5.3	10.7	12.6	13.1	13.0	16.5	15.1	10.5	8.2	3.2
Aulus les Bains (meteo France)	517.231.5	55.527.0	733.0	2.9	4.9	7.9	12.4	14.1	15.4	16.6	19.0	16.9	11.7	9.0	3.9
Pardines	528.064.9	16.010.3	1.500.0					12.1	14.0	15.9	18.7				3.9
Salòria	520.143.8	24.663.5	2.445.0	-3.9	-2.8	-2.7	3.5	5.4	7.7	8.6	12.2	9.8	5.0	1.0	-1.8
Comella	533.197.0	22.055.0	1.262.0	1.7	4.3	5.3	11.7	13.1	18.2	17.5	19.9	17.1	12.2	7.2	3.8
Ruier	528.953.6	15.457.7	850.0	1.5	4.6	6.7	12.8	14.9	16.9		20.1			7.4	
Bony Neres	538.158.4	28.025.9	1.777.0	-0.9	0.5	0.9	6.8	8.7	10.6	11.8	15.4	12.9	7.8	3.8	1.1
Comapedrosa	527.252.2	33.584.3	2.630.0	-5.1	-4.4	-3.7	2.0	3.7	6.4	7.3	11.1	8.7	3.8	-0.5	-3.1
Perafita	538.069.9	19.072.5	2.409.0	-3.0	-1.9	-1.8	4.4	5.7	8.0	8.9	12.2	9.9	5.3	1.9	-1.1
Sorteny	537.178.5	34.943.9	2.283.0	-3.3	-1.9	-1.2	4.9	6.8	8.9	9.8	13.3	10.9	5.9	1.9	-1.2

Taula 5. Dades de temperatura usades

5 TRETOS GENERALS DE LA PLUVIOMETRIA DE L'ANY HIDROLÒGIC 2011

L'any 2011 presenta una pluviometria que oscil·la entre els 367 i els 1312 mm, amb un valor mig de 760 mm. Els valors màxims es detecten al Nord del Principat. En el sector oriental del país (entre Engolasters-Encamp i Grau Roig), es detecta una anomalia pluviomètrica amb unes precipitacions per sota de la mitjana, que potser cal associar a la manca d'estacions meteorològiques a la zona i a la pròpia complexitat de la distribució de les precipitacions.

En la **figura 2** es mostra el model de distribució de les precipitacions de l'any 2011.

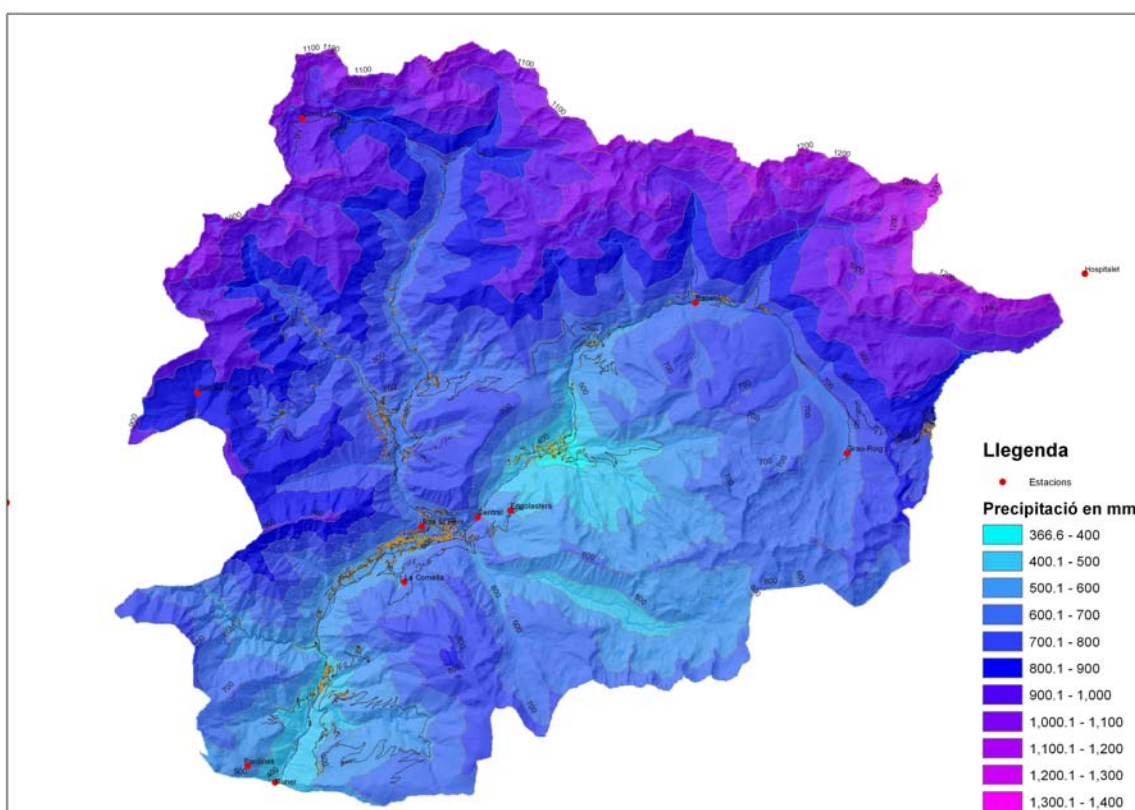


Figura 2. Mapa d'isoietes de les precipitacions acumulades el 2011.

La precipitació mitja del 2011 es calcula que és de 760 mm. Si es comparen les precipitacions acumulades el 2011 amb la mitjana climàtica (valorat amb 996,39 mm), s'observa que a grans trets en l'extrem occidental i ben al Nord del país les pluges han estat de l'ordre del 80-90% de les precipitacions mitjanes, mentre que en la part central, al Sud i a la meitat oriental han estat de l'ordre del 60-80%, amb l'excepció del sector dels Cortals d'Encamp que s'estaria amb valors que representen el 50-60% de la mitjana.

En la **figura 3** es mostra el resultat de relacionar les precipitacions del 2011 amb la mitjana climàtica.

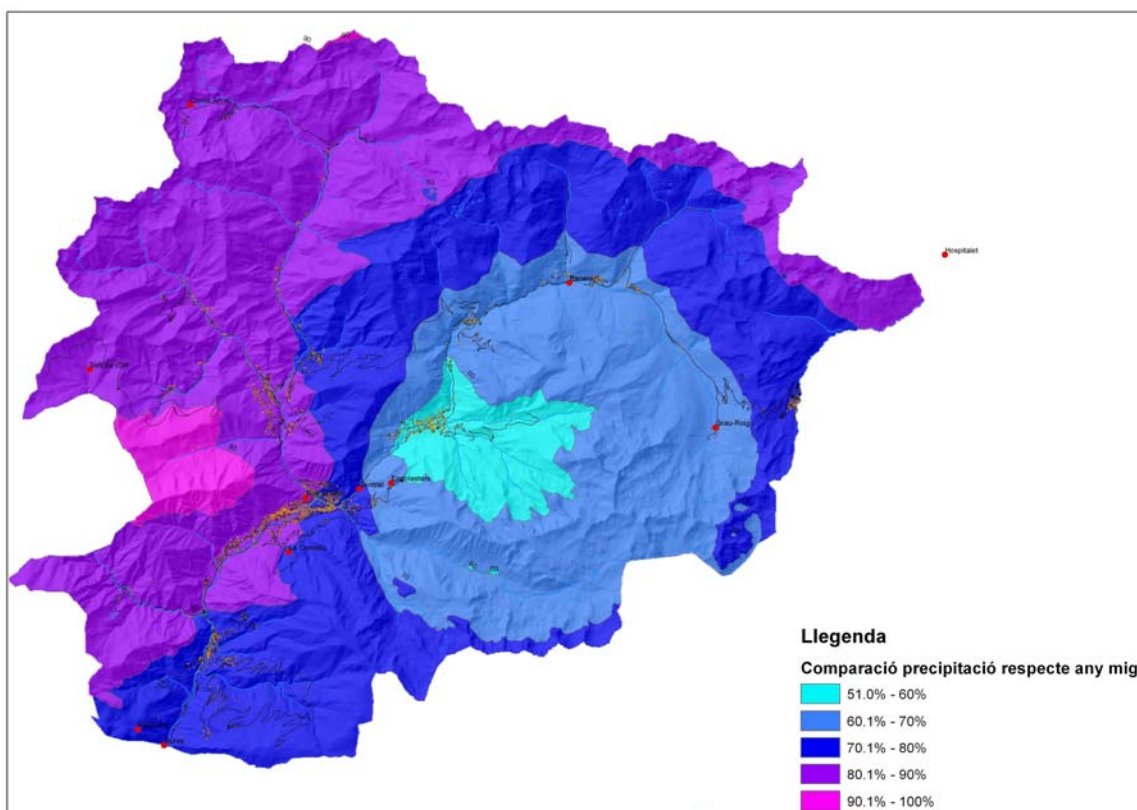
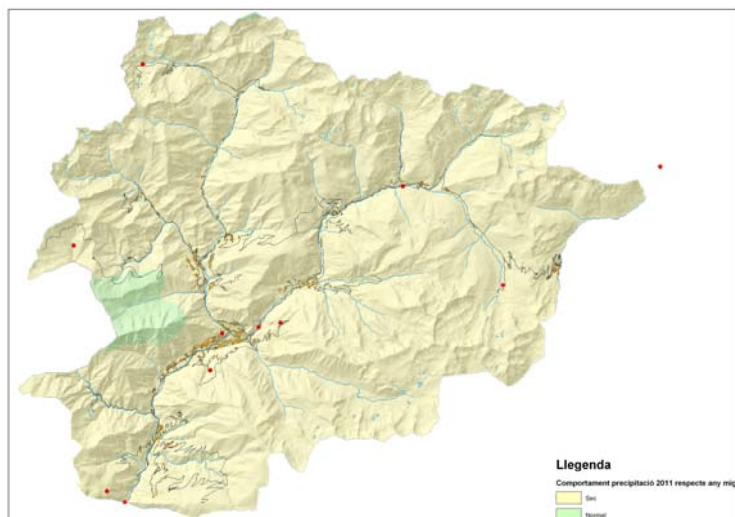


Figura 3. Mapa comparatiu de les quantitats acumulades registrades el 2011 i els corresponents valors mitjans.



Les precipitacions del 2011 en comparació amb la mitjana de 30 anys, han estat inferiors en tot el país. S'ha tractat d'un any sec.

Figura 4. Mapa de distribució de la valoració de les precipitacions de l'any 2010 respecte la mitjana

En base als informes del 2011 del Servei meteorològic català, en les comarques del Pirineu i Prepirineu que limiten amb el Principat d'Andorra, les precipitacions han estat inferiors a la mitjana, essent un any sec, amb precipitacions de l'ordre del 50-90% respecte la mitjana.

6 TRETOS GENERALS DE LA TEMPERATURA DE L'ANY HIDROLÒGIC 2011

L'any 2011 presenta una temperatura mitja anual que oscil·la entre els -0,41 i els 13°C. Els valors mínims es detecten al Nord i Est del Principat, en zones de capçalera i amb la presència de cims muntanyosos amb alçades superiors als 2700 metres, i els valors màxims es localitzen al Sud i fons de vall, que coincideix amb zones topogràficament inferiors.

En la **figura 5** es mostra el model de distribució de les temperatures de l'any 2011.

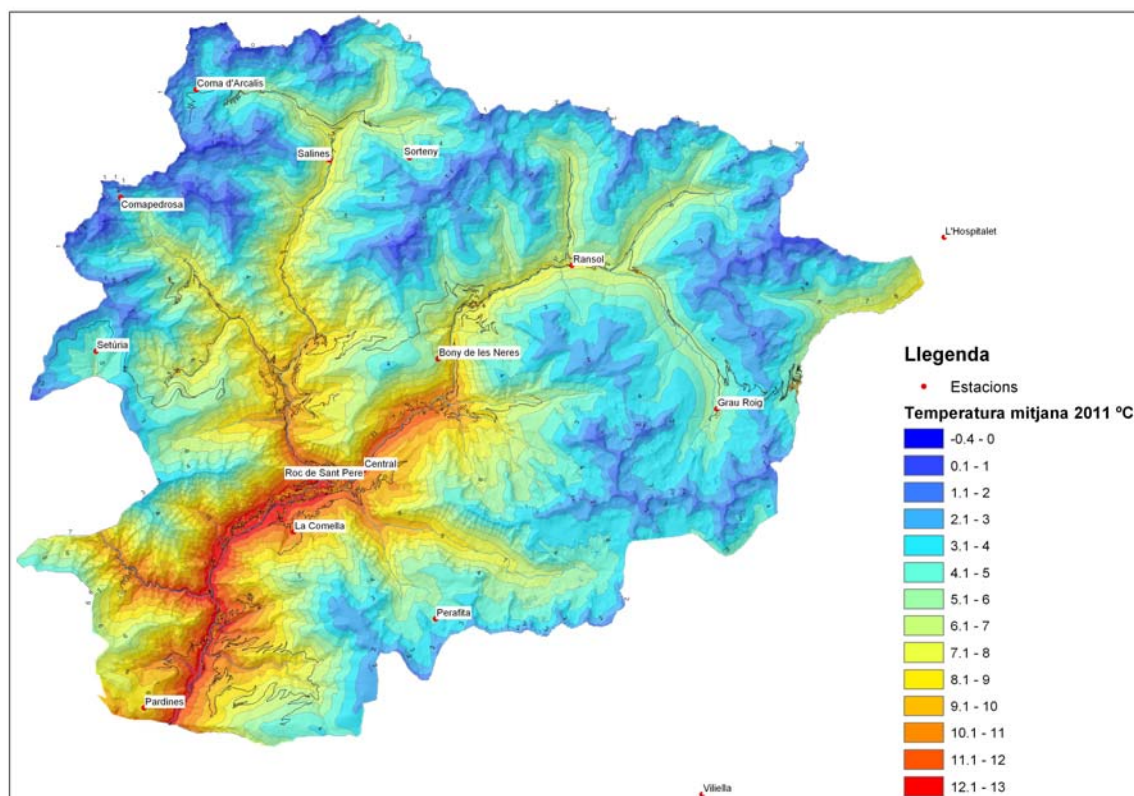


Figura 5. Mapa de distribució de les temperatures mitges del 2011

La temperatura mitja anual del 2011 ha estat de 5,34°C. Comparant la temperatura mitja anual amb la mitjana climàtica (valor de 4,08°C), s'observa que en la franja nordoccidental-central del país la temperatura es manté igual o fins a -1°C per sota la mitjana. Aquest fet es pot deure a que el model de distribució de les temperatures mitges, en aquesta franja es va fer interpolant dades, degut a la manca d'estacions meteorològiques.

Cap als extrems del país, la temperatura ha estat més alta, de fins a +3°C cap al sudoest. Al nord també s'identifica un augment de fins a +4°C que caldria associar més al fet que s'està extrapolant temperatures sense estacions per calibrar.

En la **figura 6** es mostra la relació entre la temperatura estimada pel 2011 i la mitjana climàtica.

En base als informes del 2011 del Servei meteorològic català, en les comarques del Pirineu i Prepirineu que limiten amb el Principat d'Andorra les temperatures mitges han estat superiors a la mitjana, al voltant d'1-2°C, que classifiquen l'any com a càlid.

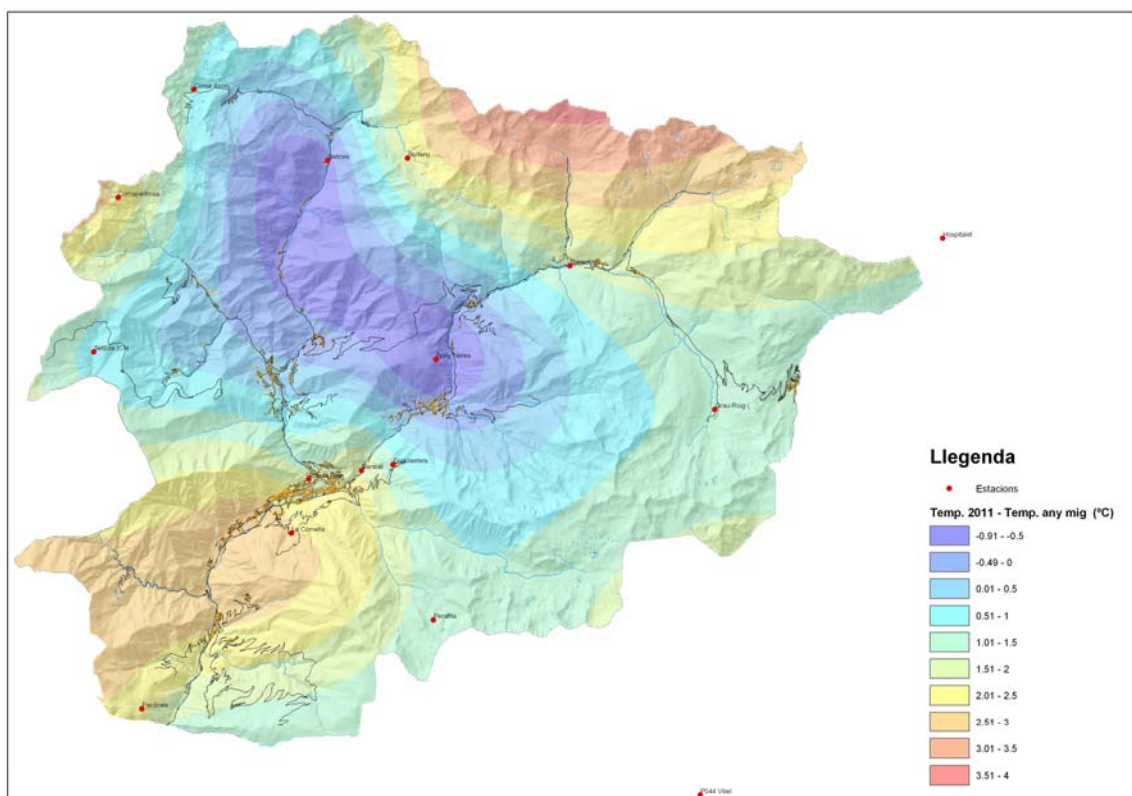


Figura 6. Mapa de les diferències de temperatura de l'any 2011 respecte la mitja.

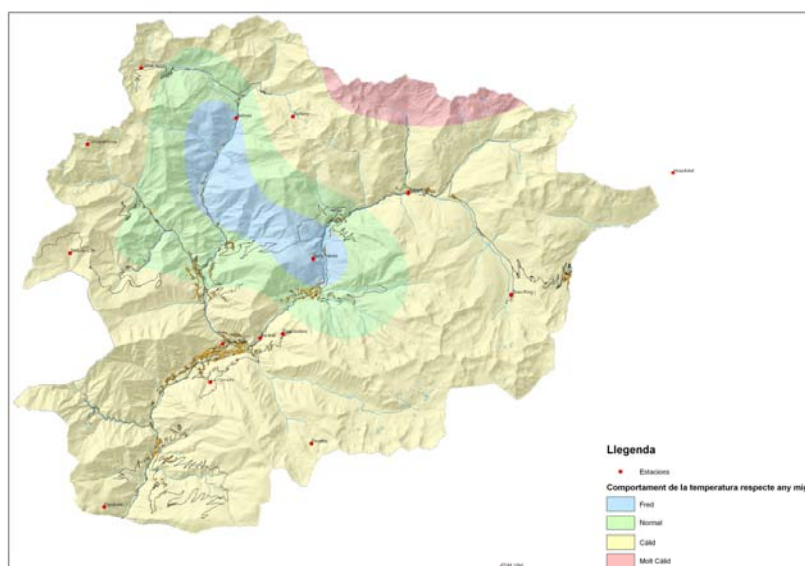


Figura 7. Mapa de classificació de les temperatures respecte la mitjana

En la **figura 7** es mostra el mapa amb les diferències de temperatures entre els registres del 2011 i la mitjana climàtica. Permet veure que l'any 2011 es pot classificar en el conjunt de càlid, excepte en la franja nordoccidental-central que ha estat un any fred, però que com s'ha dit pot ser una anomalia associada a la manca d'estacions meteorològiques.

7 CÀLCUL DEL BALANÇ HÍDRIC

De cara a estimar els recursos hídrics del 2011, que potencialment poden ésser usats per les necessitats de l'home (també anomenada pluja útil), s'ha dut a terme un balanç hídric.

L'expressió que permet deduir la pluja útil és la següent:

$$P = ETR + Pu \pm \Delta R \dots\dots\dots(1)$$

on:

P=Precipitació total: sòlida i líquida

ETR= Evapotranspiració real

Pu=Pluja útil o excedents

ΔR =Variació reserva d'aigua en el sòl

7.1 RESULTATS DEL BALANÇ HÍDRIC

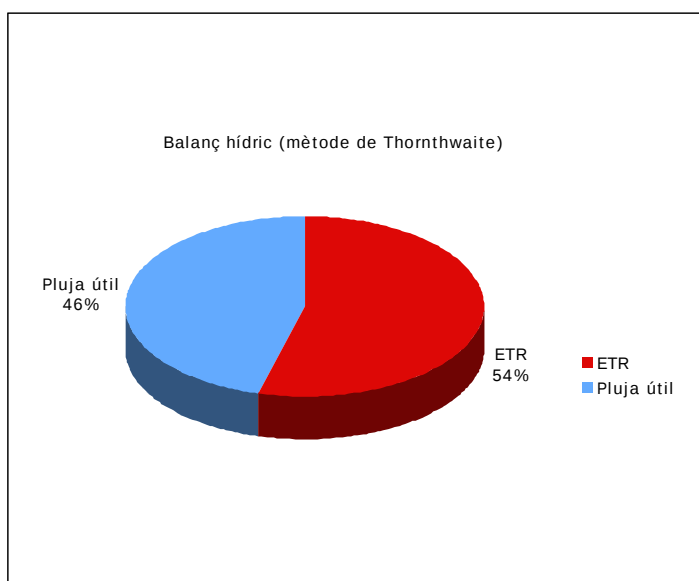
En la següent taula es mostra un resum del balanç hídric segons la metodologia i càlculs que s'exposen en l'**Annex de documentació**.

T mitja	P acumulada	ETR	Pluja útil (excedents)	ΔR
5,34°C	759,6 mm	411,9mm	348,6 mm	-0,9 mm

Taula 6. Resum balanç hídric en base al mètode de Thornthwaite. Superfície calculada=467,70 Km²

Les entrades al sistema són les precipitacions, amb un valor mig de 760 mm/any. Les sortides al sistema es distribueixen en evapotranspiració, pluja útil i variació anual de la reserva d'aigua del sòl. Aquest 2011 la reserva no queda plena. En l'**Annex 12.4** es mostra l'evolució

històrica de la reserva. Les altes temperatures han afavorit una alta demanda d'aigua -ETP, no obstant les baixes precipitacions han donat lloc a que no tota l'ETP s'hagi pogut cedir, donant lloc a aquesta disminució i no recuperació de la reserva d'aigua del sòl, que finalment comporta que hagi estat un any amb menys pluja útil, i amb menys reserva subterrània.



Segons el mètode de Thornthwaite, l'evapotranspiració (ETR) suposa el 54% mentre que la pluja útil representa el 46%. En el següent gràfic es mostra la distribució de les sortides segons el mètode de càlcul utilitzat.

Figura 8. Balanç hídric segons Thornthwaite (Reserva d'aigua al sòl màxim de 30mm)

8 CONTRAST DE RESULTATS

8.1 ANÀLISI DELS CABALS AFORATS

Quan es parla de pluja útil s'està parlant de l'aigua que surt com a escolament superficial directe i com a escolament subterrani, que en un balanç anual es pot interpretar que tota la pluja útil acaba drenant cap als rius.

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

Per a dur a terme aquest contrast de dades s'ha fet ús dels registres de cabal diaris recollits durant el 2011 del riu Gran Valira en l'estació d'aforament de la Borda Sabater, així com en el riu Madriu, riu Valira d'Orient a Ransol i al riu Valira del Nord en el pont dels Escalls. En la següent taula es donen les dades tècniques de cada estació d'aforament.

Estació d'aforament	X	Y	Riu aforat	Superfície conca hidrogràfica (Km²)
FEDA-Ransol	542773,6	31220,0	Valira Orient	81,86
FEDA Madriu - Ràmio	537514,6	22164,2	Madriu	26,05
CHE(A402)-Pont Escalls	533986	24046	Valira Nord	145,68
Borda Sabater	529639,5	16525,1	Gran Valira	445,77

Taula 7. Situació aproximada (coordenades Lambert III), riu aforat, superfície de la conca hidrogràfica de les estacions d'aforament utilitzades.

En la següent figura es mostra l'abast hidrogràfic cada estació d'aforament.

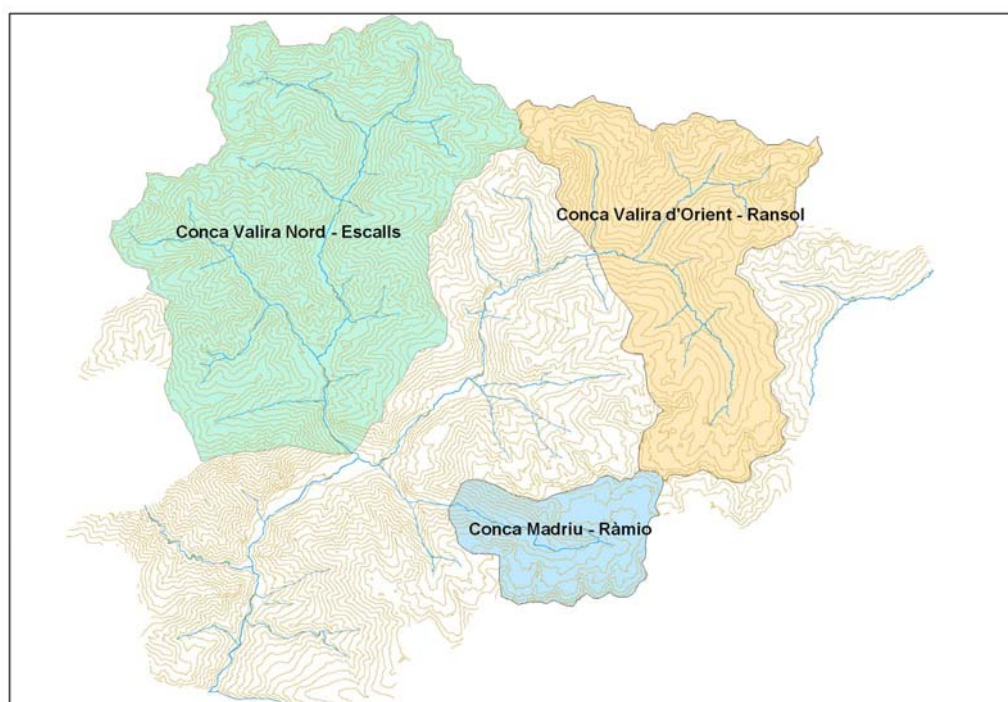


Figura 9. Mapa de situació de les conques estudiades de Valira Nord – Escalls, Conca Valira Orient Ransol i Conca Ràmiu – Madriu.

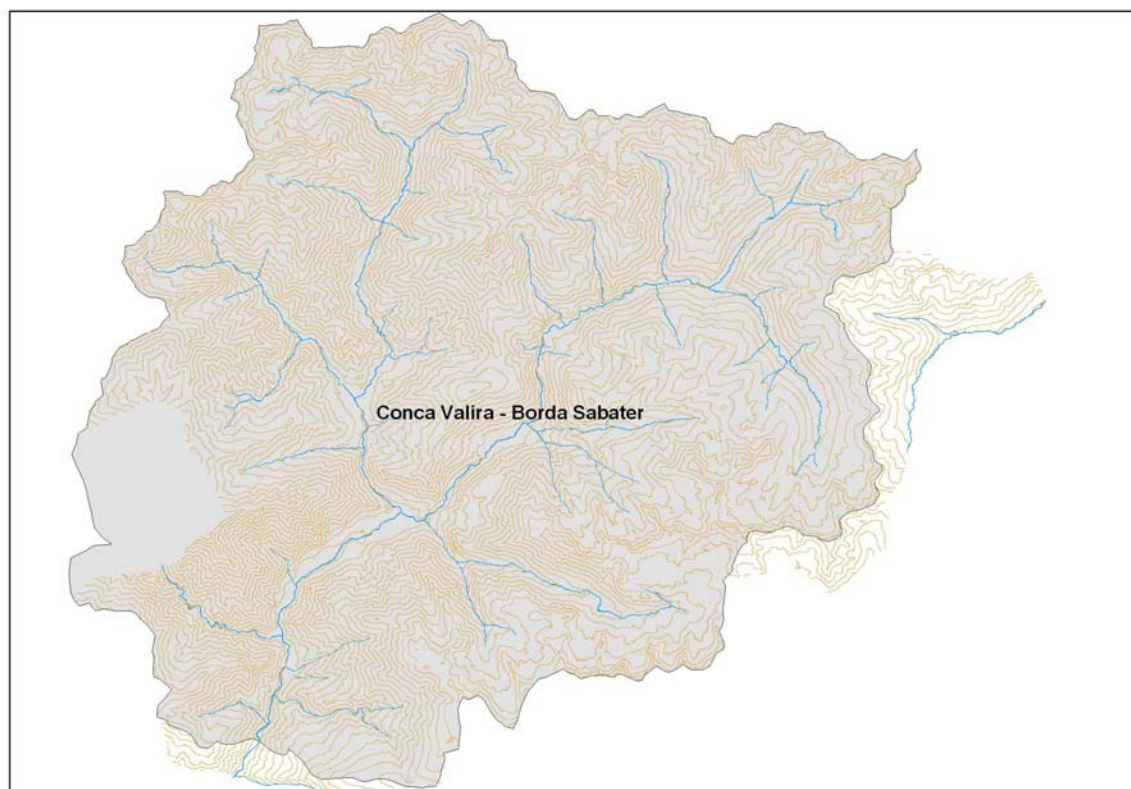


Figura 10. Mapa de situació de la conca Valira – Borda Sabater.

Donat que part dels cabals de fonts i torrents que drenen cap la riu Gran Valira són captats per a usos principalment domèstics i que les seves aigües no són directament abocades al riu Gran Valira si no a la xarxa de col·lectors d'aigües residuals de l'EDAR-SUD de St. Julià, s'ha tingut en compte també el cabal procedent d'aquesta EDAR.

El cabal procedent de l'EDAR-SUD de St. Julià durant el 2011, segons dades facilitades pel ministeri responsable del medi ambient, és de 0,37 m³/s. El cabal del riu Gran Valira durant el 2011 ha estat de 4,3 m³/s. Aquest cabal, sumat amb el procedent de l'EDAR, suposa uns 4,67 m³/s, o sigui 147,3 Hm³/any, que repartit per la superfície de la conca hidrogràfica suposa 330,4 L/m²*any.

El cabal del riu Valira del Nord, segons dades facilitades per la confederació hidrològica del Ebro es calcula que és d'uns 10,61 m³/s, o sigui 334,6 Hm³/any. Es tracta d'una xifra exageradament alta. No la tindrem en compte.

El cabal del riu Valira d'Orient a Ransol, segons dades facilitades per FEDA es calcula que és d'uns 2,32 m³/s, o sigui 73,16 Hm³/any. Aquest cabal, repartit per la superfície de la conca hidrogràfica suposa 893,76 L/m²*any.

El cabal del riu Madriu, segons dades facilitades per FEDA es calcula que és d'uns 0,4 m³/s, o sigui 12,61 Hm³/any. Aquest cabal, repartit per la superfície de la conca hidrogràfica suposa 484,24 L/m²*any.

En la següent taula es resumeix els valors anteriorment comentats.

Balanç hídric	Dades tècniques	Gran Valira (riu +EDAR)	Valira Nord	Valira Orient	Madriu
Cabals aforats	Cabals m ³ /s	4,67	10,61	2,32	0,4
	Cabals Hm ³ /any	147,26	334,60	73,16	12,61
	Cabal específic (Qe) L/m ² *any	330,36	-	893,76	484,24
Mètode de Thornthwaite	Pluja útil estimada L/m ² *any	341,8	416,2	470,2	234,5
	Variació respecte Cabal Qe (%)	+3%	-	-47%	-52%

Taula 8. Resum dels cabals registrats durant el 2011 en diferents conques hidrogràfiques i pluja útil estimada per cada conca.

La pluja útil calculada mitjançant el mètode de Thornthwaite és variable, entre un +3 i -52%. Els cabals aforats poden dur associats fins un $\pm 25\%$ d'error, i cal tenir en compte les següents limitacions en les anàlisis dutes a terme:

- S'ha dut a terme manualment els càlculs del balanç hídric en algunes estacions representatives del país que disposen de 12 mesos amb dades de precipitació i temperatura (central-Feda, Ransol-Feda, Setúria, Grau Roig i Arcalís) per tal de comprovar que la resolució del model s'ha fet correctament, i s'obtenen valors molt similars (**Annex 12.5**).

- En les estacions 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 cert error que

no s'ha calculat numèricament (Estudi de les aigües subterrànies del Principat d'Andorra, Govern d'Andorra, 2007)

- 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.

- A l'hora de calcular la ETR es considera que tota la precipitació està disponible, no tenint-se en compte que part d'aquesta se n'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.

9 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 les unitats hidrogeològiques que no es disposa d'informació (degut a que cau en territori no andorrà) s'ha estimat empíricament la pluja útil i ETR. En el cas de la unitat d'Òs de Civís s'ha procedit a estimar els paràmetres, en base a les unitats veïnes, mentre que en el cas de la unitat de l'Ariège s'ha traslladat la informació que es té del sector andorrà, a tota la unitat.

En el conjunt del territori analitzat (conca hidrogràfica del Valira i conca hidrogràfica del riu del Pas), que és de 515,08 Km², la pluja útil ha estat el 2011 d'uns 179,6 Hm³/any, calculats mitjançant el balanç hídric amb el mètode de Thornthwaite, i d'aquests, 161,6 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 (467,7 Km²), la pluja útil estimada mitja del 2011 representa uns 163,1 Hm³/any. D'aquests, 146,7 Hm³/any serien disponibles, reservant-se el 10% com a cabals "ecològic".

Nom	Superfície (m2)	P (mm)	ETR (mm)	Excedents (mm)	Pluja útil. Any mig (mm)	Pluja útil (Hm3/any)	Cabal disponible (Hm3/any)
Arinsal	16,551,735.91	925.5	404.6	521.2	838.57	8.63	7.76
Ariège	40,299,856.06	967.3	412.8	554.5	650.19	22.34	20.11
Coll de la Gallina	17,321,677.99	624.1	458.9	174.0	277.70	3.01	2.71
Conca d'Ers	15,149,624.07	805.0	455.1	350.7	420.17	5.31	4.78
Conca de Setúria	6,664,367.29	874.2	399.4	474.9	582.19	3.16	2.85
Cubeta Encamp	768,145.17	392.0	363.4	39.5	141.65	0.03	0.03
Cubeta d'Andorra	2,268,308.61	566.2	496.8	81.1	143.52	0.18	0.17
Cubeta d'Incles	399,509.12	833.4	455.6	377.8	705.14	0.15	0.14
Dels Oris	12,728,986.14	553.8	343.7	211.3	471.98	2.69	2.42
El Forn	2,632,292.26	586.3	384.0	202.5	433.85	0.53	0.48
Encamp	9,831,249.34	560.0	388.6	172.9	343.92	1.70	1.53
Enclar	16,449,982.02	693.0	482.2	216.6	300.84	3.56	3.21
Engolasters-Pessons	23,004,376.30	543.0	346.2	196.9	414.34	4.53	4.08
Estall Serrer	256,289.80	476.8	332.6	144.2	280.36	0.04	0.03
Juclar	17,448,266.46	1083.5	416.4	667.1	980.47	11.64	10.48
La Bartra	227,795.13	500.1	444.3	59.6	163.84	0.01	0.01
La Cortinada-Sornàs	240,503.74	667.5	482.9	191.9	221.49	0.05	0.04
Llorts - Arans	434,935.60	678.7	476.7	211.0	241.94	0.09	0.08
Madriu	40,121,360.95	595.9	357.1	238.8	444.54	9.58	8.62
Montmalús	7,594,231.04	675.3	348.4	326.9	595.26	2.48	2.23
Ordino	16,960,118.50	748.0	446.7	302.0	427.74	5.12	4.61
Padern	6,040,215.34	676.9	503.2	174.3	299.86	1.05	0.95
Pardines	8,805,068.39	535.6	442.9	107.1	195.53	0.94	0.85
Pla de l'Inglà	96,831.14	495.6	321.9	173.7	323.32	0.02	0.02
Prat Primer	13,956,181.56	670.6	461.1	213.2	368.68	2.98	2.68
Pui Olivesa - Runer	400,975.76	415.9	381.4	55.0	95.12	0.02	0.02
Riu Muntaner	6,750,482.65	790.3	488.4	302.3	381.21	2.04	1.84
Ràmio	231,213.47	494.6	394.7	100.7	219.18	0.02	0.02
Salines	18,401,587.26	863.7	415.0	449.1	580.04	8.26	7.44
Sant Julià	33,321,867.90	602.3	407.7	200.9	331.97	6.70	6.03
Sornàs-Pont d'Ordino	259,304.35	651.3	491.5	164.2	205.33	0.04	0.04
Valira del Nord	45,880,845.18	945.2	424.5	520.8	693.98	23.90	21.51
Os de Civis	17,174,609.03	783.6	440.8	345.8	429.94	5.94	5.34
Coma Ransol	98,510.05	846.5	460.2	386.4	719.38	0.04	0.03
Valira d'Orient	77,701,776.81	814.3	396.4	417.8	752.28	32.47	29.22
Montaup	16,994,092.97	774.0	403.4	370.6	615.61	6.30	5.67
Cubeta Montaup	286,720.34	672.3	376.2	296.1	491.54	0.08	0.08
Aldosa	7,713,967.17	715.6	470.9	244.8	372.61	1.89	1.70
Conca de Sispony	11,643,664.71	811.1	465.6	345.6	397.20	4.02	3.62
Cubeta de la Massana	1,970,611.14	686.3	507.4	180.6	215.24	0.36	0.32
RESUM 2011	Superfície (m2)	P (mm)	ETR (mm)	Pu (mm)	Pu mitja(mm)	Pu (Hm3)	Pu disponible (Hm3)
	515082136.7	759.6	411.9	348.6	562.8	179.6	161.6

Taula 9. Resum balanç hídric de les unitats hidrogeològiques

9.1 RESUM DELS RESULTATS DEL BALANÇ HÍDRIC DEL 2011 EN LES DIFERENTS UNITATS

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

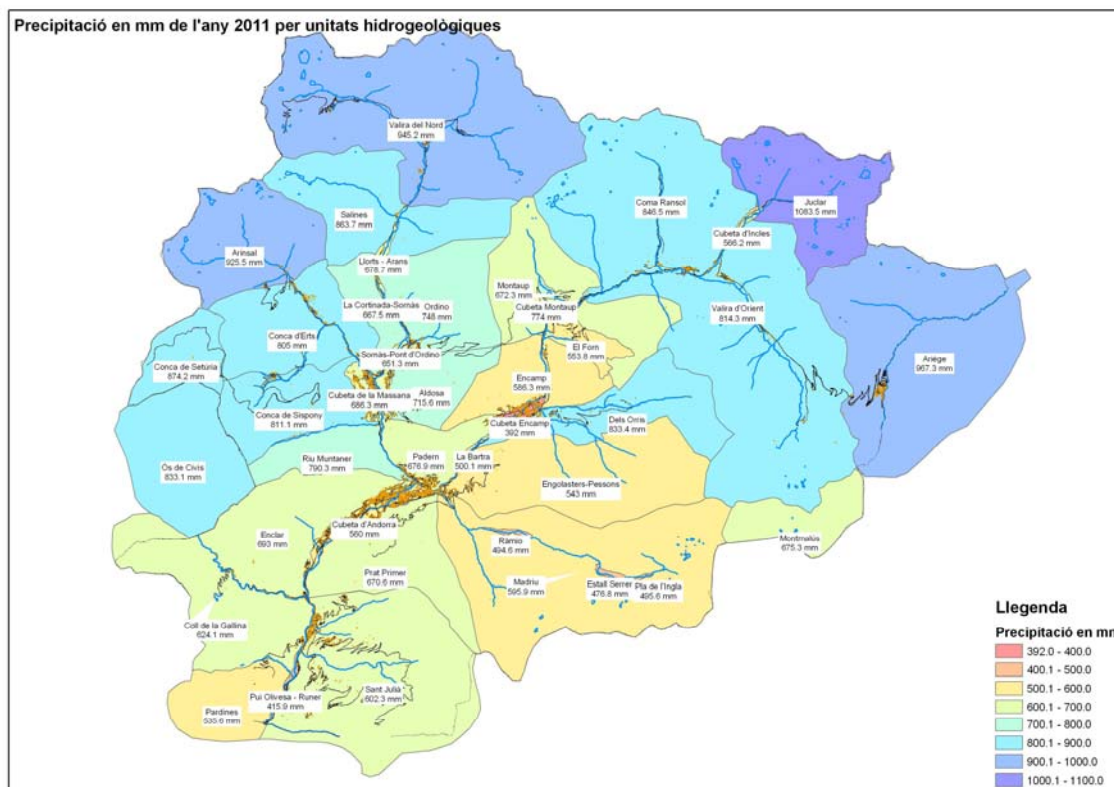


Figura 11. Mapa de distribució de les precipitacions en les diferents unitats hidrogeològiques descrites en l'estudi del M.I. Govern, 2007

Les unitats amb precipitacions més baixes són les de fons de vall del sud del país, i unitats emplaçades en la part central-oriental del país. Les unitats amb valors màxims són les emplaçades al nord del país.

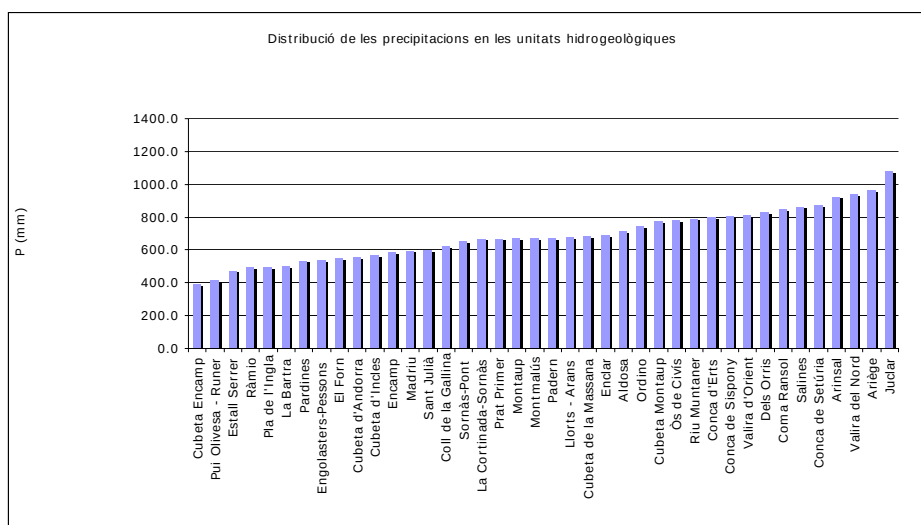
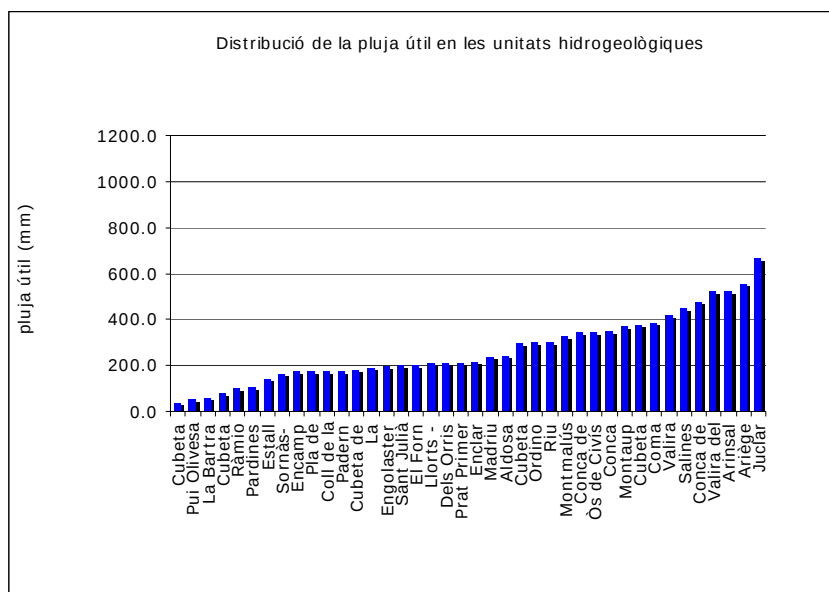


Figura 12. Gràfic de distribució de les precipitacions



Les unitats amb valors de pluja útil inferior són les mateixes que les que presenten una baixa precipitació. Es tracta d'unitats emplaçades al sud i part central-oriental del país.

Figura 15. Gràfic de distribució de la Pluja útil

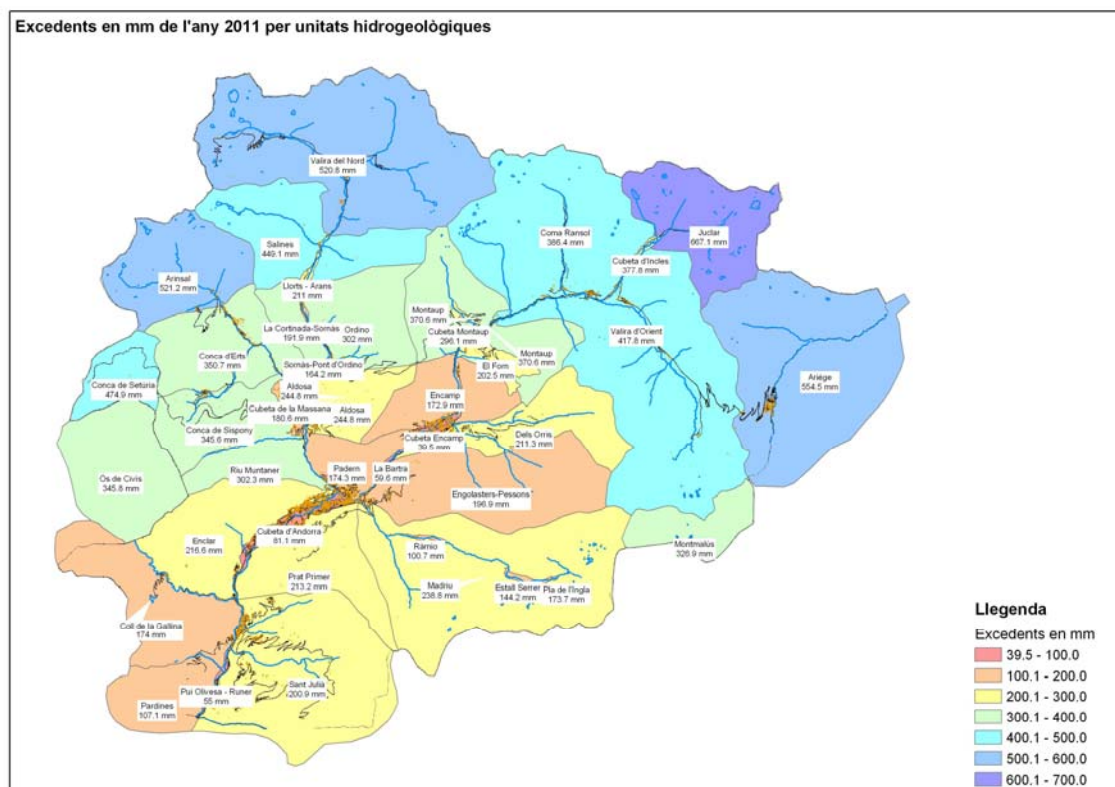


Figura 16. Mapa de distribució de la pluja útil en les diferents unitats hidrogeològiques descrites en l'estudi del M.I. Govern, 2007

10 CONCLUSIONS

El mòdul de precipitació mig del territori estudiat s'estima que és de 760 mm, quan la mitja de 30 anys és d'uns 996 mm. El 2011 ha estat un **any en conjunt sec** si es compara amb la mitjana de precipitacions de 30 anys (*Estudi de les aigües subterrànies del Principat d'Andorra, M.I. Govern d'Andorra 2007*), amb precipitacions de l'ordre d'un 60-80% del valor mig.

La temperatura mitja del 2011 s'estima que ha estat de 5,34°C, quan la mitja de 30 anys és de 4,08°C. Comparant la temperatura mitja anual amb la mitjana climàtica (valor de 4,08°C), es tracta d'un **any càlid**, tot i que s'observa que en la franja nordoccidental-central del país la temperatura es manté igual o fins a -1°C per sota la mitjana, mentre que cap l'extrem sudoest del país, la temperatura ha estat més alta, de fins a +3°C.

En base als informes del 2011 del Servei meteorològic català, en les comarques del Pirineu i Prepirineu que limiten amb el Principat d'Andorra les precipitacions han estat inferiors a la mitjana, essent un any sec, amb precipitacions de l'ordre del 50-90%, amb temperatures mitges superiors, al voltant d'1°C, que classifiquen l'any com a sec. En el sector francès també es tracta d'un dels anys més càlids i més secs, segons Météo France.

El balanç hídric s'ha dut a terme en base a un balanç hídric emprant el mètode de Thornthwaite. Segons aquest mètode l'ETR mitja/2011 és de 411,9 mm/any, i la pluja útil mitja és de 348,6 mm, amb valors mínims de 32 i màxims de 1000 mm. Respecte la mitjana de 30 anys, els recursos hídrics del 2011 són inferiors als recursos mitjos calculats, que es van avaluar en 563 mm.

Repartit entre el territori andorrà (467,7 Km²), la pluja útil estimada mitja del 2011 representa uns 163,1 Hm³/any. D'aquests, 146,7 Hm³/any serien disponibles, reservant-se el 10% com a cabals "ecològic".

Per unitats hidrogeològiques s'observa que les emplaçades en el sector sud, i en la franja central-oriental, són les que presenten uns excedents amb valors inferiors a 300mm/any, associat a que han patit altes temperatures i baixes precipitacions.

11 BIBLIOGRAFIA

Servei meteorològic de Catalunya (2009). Butlletí climàtic de l'any 2011

M.I. Govern, 2007. Estudi de les aigües subterrànies del Principat d'Andorra

M.I. Govern, 2011. Estudi per a l'elaboració anual del balanç hídric del Principat d'Andorra
.Any 2010

Àurea Ponsa i Vidales
Llicenciada en Geologia, d'Hídric
NºDecret: 42142/2005

Pau Ferrer i Roura (col.laborador)
Llicenciat en Geologia, d'Eurogeotècnica

Sant Julià de Lòria, 4 de juliol del 2012

12 ANNEX DE DOCUMENTACIÓ. CÀLCUL DEL BALANÇ HÍDRIC

12.1 CÀLCUL DE L'EVAPOTRANSPIRACIÓ

12.1.1 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.

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).

12.1.2 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 25*25, 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 la reserva d'aigua del sòl estigui plena. La reserva màxima del sòl que correspon a la d'un sòl saturat s'ha fixat en 30 mm, en base a les conclusions de l'estudi de les Aigües subterrànies del Principat d'Andorra (Govern d'Andorra, 2007).
- S'inicia l'any hidrològic 2011 amb la reserva del darrer mes de l'any hidrològic anterior (any 2010). El valor de la reserva al mes de desembre del 2010 era de 30 mm segons l'estudi *Estimació de la pluja útil mitjançant balanç hídric. Any 2010*. Govern d'Andorra (2011).

El mapa de distribució de l'ETR anual (**figura 17**) presenta valors màxims de 550 mm, mínims de 255 mm i valors mitjos de 412 mm en el cas de $R = 30$. Els valors mínims es troben en les capçaleres del Nord donat per unes baixes temperatures mitjanes, però també en el sector oriental del territori, associat a que les precipitacions han estat baixes i no s'ha pogut satisfer la demanda d'aigua a les plantes i sòl (ETP). Les zones amb alta ETR es troben en el fons de les valls i meitat occidental del país, principalment.

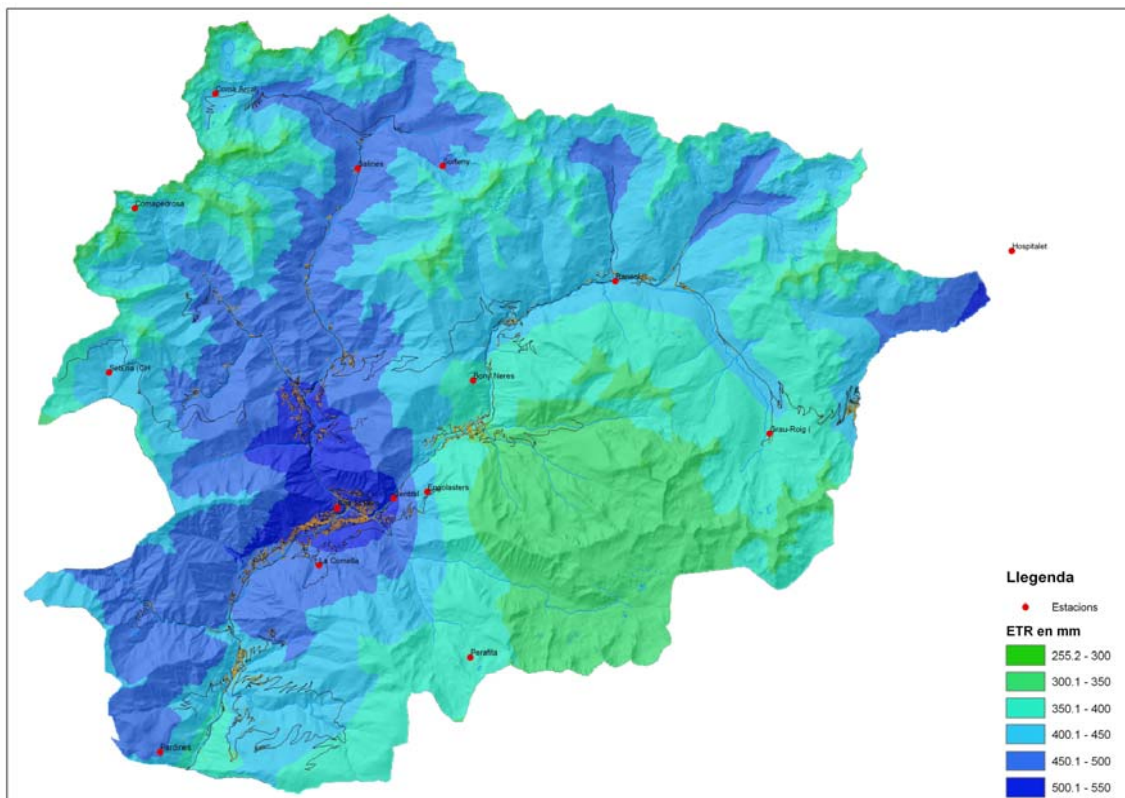


Figura 17. Mapa de distribució de l'ETR estimada per l'any 2011, segons el mètode de Thornthwaite.

L'anàlisi de l'ETP i ETR mitjançant Thornthwaite permet estimar que el darrer mes de l'any hidrològic 2011 (desembre 2011) finalitza amb una **reserva de 28,56 mm**, valor lleugerament per sota del valor màxim (30 mm).

12.2 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 18**).

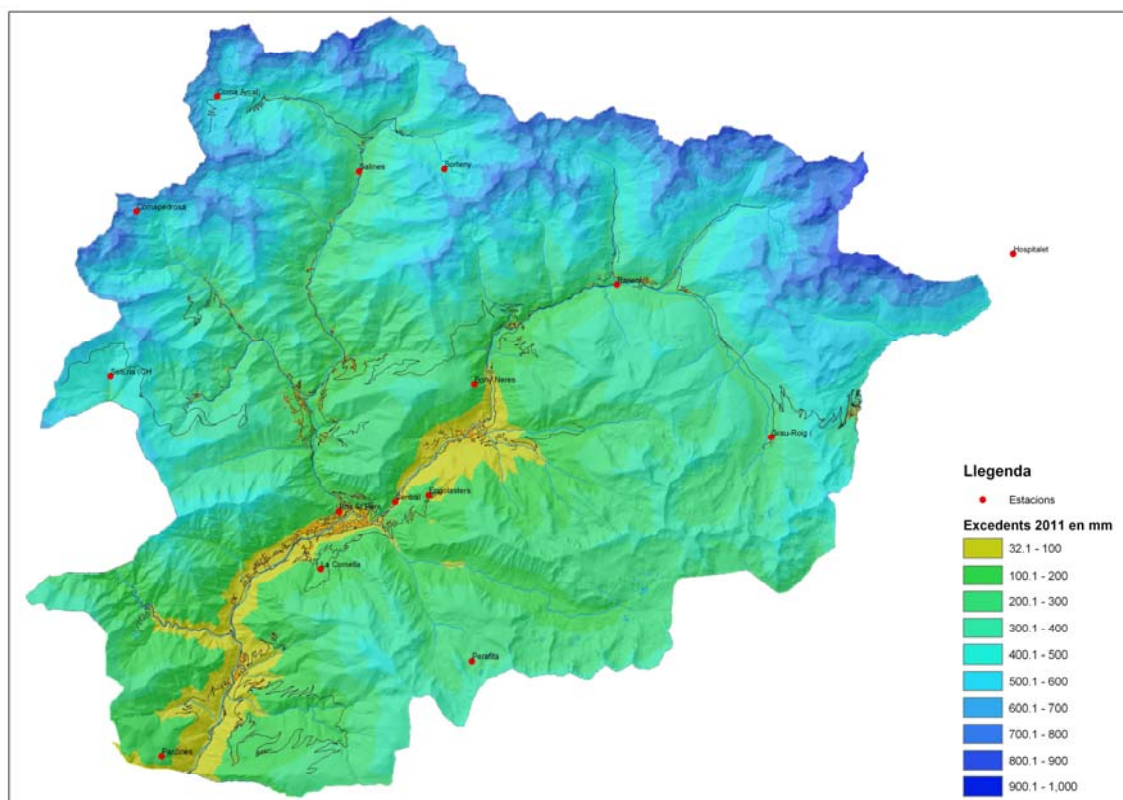


Figura 18. Mapa de distribució de la pluja útil o excedents estimats per l'any 2011. R= 30 mm seguint el mètode de Thornthwaite

El mapa d'excedents realitzat tenint en compte una reserva del sòl de 30 mm, presenta un valor mig és de 349 mm, un valor mínim de 32 mm, i el valor màxim és de 1000 mm. Els valors baixos avarquen quasi la totalitat del territori, sobretot en la meitat sud. Els valors màxims s'ubiquen a l'extrem nord del país.

12.3 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 en base al càlcul de l'ETR amb el mètode de Thornthwaite (**figura 19**), permet veure que ha estat de 0 a 50 mm en la quasi totalitat del territori. Només en els fons de vall del valira d'Orient, Cortals d'Encamp, Madriu i Gran Valira és on es calcula dèficits més destacables, amb valors de fins a 350 mm de dèficit.

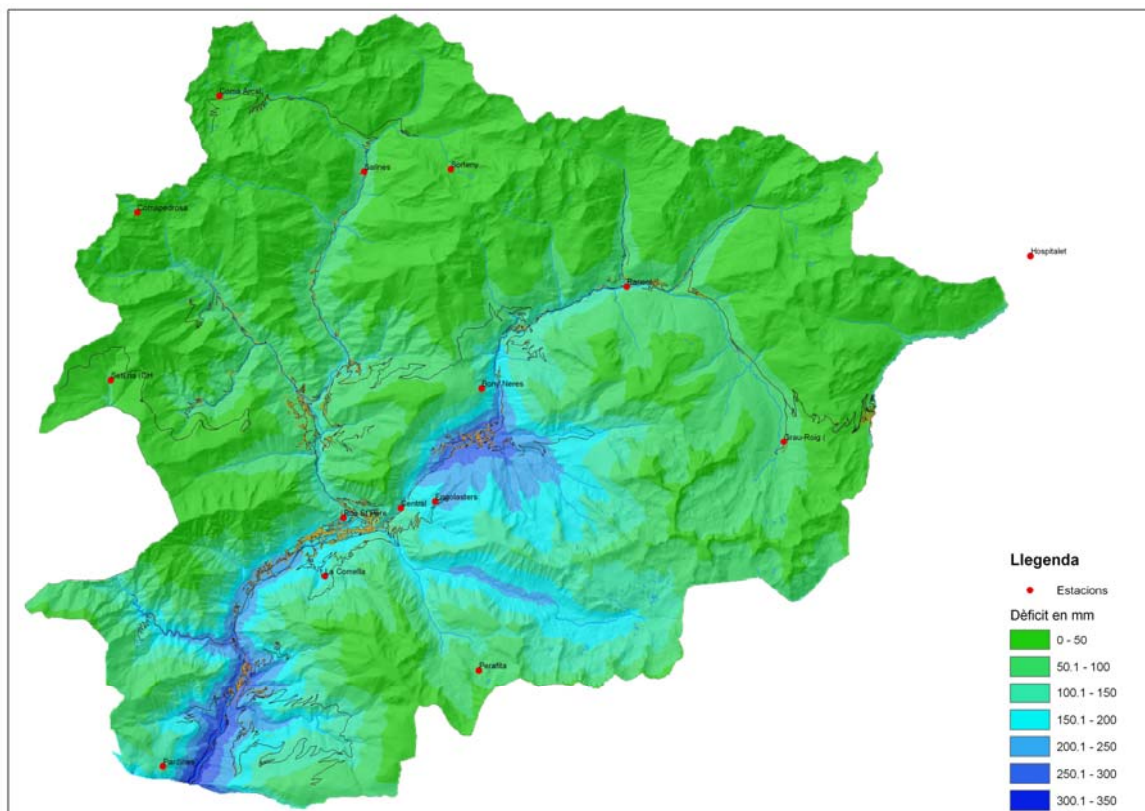


Figura 19. Mapa de distribució dels dèficits estimats per l'any 2011. $R=30$ mm seguint el mètode de Thornthwaite. El mètode de càlcul ha consistit en la diferència entre ETP i ETR quan no hi ha reserva disponible.

12.4 EVOLUCIÓ DE LA RESERVA D'AIGUA DEL SÒL

S'ha representat gràficament l'evolució de la reserva mitja mensual d'aigua del sòl, des del 2006 fins al 2011. El valor màxim de la reserva és de 30 mm.

En el període 2006-2011 hi ha marcats 6 anys hidrològics, de gener a desembre. Cada any hidrològic hauria de venir definit per acabar l'any amb la reserva al màxim, i per tant començar el següent any amb les mateixes condicions.

El cicle per a un any climatològicament normal vindria a ser el següent: de mitjans de tardor fins a inici d'estiu la reserva està plena, al màxim. A l'estiu es va buidant, fins a nivells mínims, podent esgotar-se del tot. A finals d'estiu-mitjans de tardor es torna a omplir. Aquest model es compleix en l'any 2009 i 2010.

En els anys més secs, es trenca aquesta ciclicitat, durant l'estiu es buida fins a esgotar-se la reserva i a la tardor hi ha recuperació però no és completa, com succeeix al 2006, 2007, 2008 i 2011.

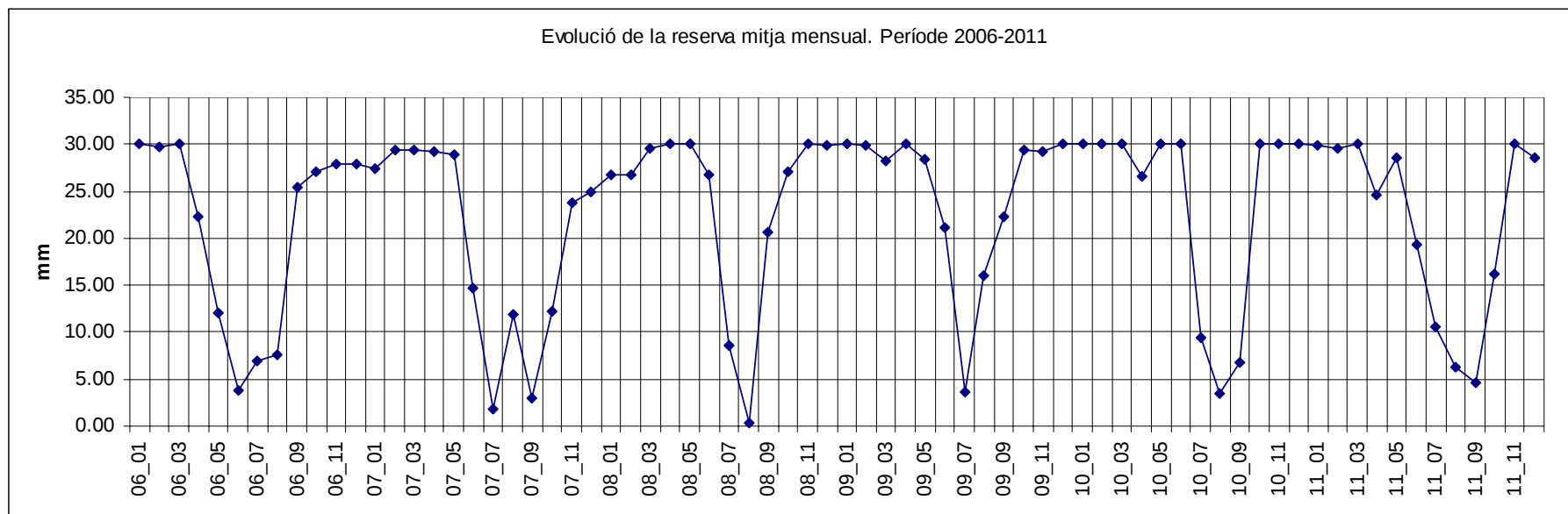


Figura 20. Evolució de la reserva mitja mensual d'aigua del sòl des del 2006 fins al 2011

12.5 COMPROVACIÓ RESULTATS

valor	ransol		setúria		arcalís		central-feda		grau roig	
	model	a mà	model	a mà	model	a mà	model	a mà	model	a mà
etr_00	435.89	452.86	413.99	424.05	426.15	465.54	510.87	505.44	392.95	404.58
etr_01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	6.26	6.10	0.00	0
etr_02	5.96	5.73	0.00	0.00	0.00	0.00	15.68	15.78	0.00	0
etr_03	11.90	12.17	0.00	0.00	0.00	0.00	21.23	22.27	0.00	0
etr_04	48.37	51.21	41.66	43.19	32.71	35.73	57.87	59.50	40.86	42.9883683
etr_05	65.72	72.69	58.23	63.08	53.06	59.84	74.32	84.10	57.88	63.4461882
etr_06	81.80	88.35	73.51	77.65	70.53	76.94	93.50	89.40	75.11	80.2318366
etr_07	66.95	67.00	78.14	79.15	74.06	83.46	41.84	40.40	79.40	87.8604264
etr_08	58.47	58.50	66.10	62.20	87.49	97.83	72.78	72.70	54.55	40.707737
etr_09	34.67	34.70	39.60	40.00	67.35	65.77	40.75	40.60	28.47	28.4
etr_10	37.96	38.00	38.70	41.70	35.78	40.38	47.05	47.00	38.85	42.4582383
etr_11	18.82	19.30	17.07	17.08	5.16	5.59	26.36	27.59	17.84	18.4857346
etr_12	5.26	5.22	0.98	0.00	0.00	0.00	13.23	13.69	0.00	0
excedents_00	222.84	206.24	401.18	389.35	499.73	433.50	94.32	86.20	264.50	251.8
excedents_01	11.07	11.10	29.05	29.40	23.56	23.60	8.37	8.60	11.24	11.20
excedents_02	17.11	17.37	18.83	19.20	32.19	32.20	0.00	0.00	23.06	23.00
excedents_03	79.07	78.83	75.26	75.60	86.59	86.60	26.27	25.35	67.11	67.00
excedents_04	0.00	0.00	0.00	0.00	24.28	21.27	0.00	0.00	0.00	0.00
excedents_05	24.45	14.70	60.55	54.93	80.49	73.76	5.80	0.00	40.14	32.37
excedents_06	7.18	0.65	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
excedents_07	0.00	0.00	0.00	0.00	3.17	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
excedents_08	0.00	0.00	0.00	0.00	2.69	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
excedents_09	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
excedents_10	0.00	0.00	18.53	15.90	13.76	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
excedents_11	69.35	68.90	188.89	182.92	221.99	185.03	50.85	49.61	96.38	91.86
excedents_12	14.62	14.68	10.05	11.40	11.00	11.00	3.04	2.61	26.56	26.40
reserva_01	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30
reserva_02	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	25.71	25.72	30.00	30
reserva_03	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30
reserva_04	11.39	8.59	19.76	18.61	30.00	30.00	1.46	0.00	24.95	22.8116317
reserva_05	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	24.50	30.00	30
reserva_06	30.00	30.00	18.25	14.55	27.44	21.06	1.60	0.00	24.62	19.3681634
reserva_07	0.00	0.00	4.30	0.00	30.00	17.40	0.00	0.00	16.06	2.30773696
reserva_08	0.00	0.00	0.00	0.00	30.00	9.77	0.00	0.00	0.00	0
reserva_09	0.00	0.00	0.00	0.00	18.63	0.00	0.00	0.00	0.00	0
reserva_10	0.00	0.00	30.00	30.00	30.00	20.62	0.00	0.00	9.63	5.94176169
reserva_11	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30
reserva_12	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30

Taula 10.. Taula comparativa del balanç hídric resolt amb el model numèric i resolt manualment, usant les dades de precipitació i temperatura mensual, aplicant Thornthwaite i suposant R màxima de 30 mm. Any 2011



www.mediambient.ad