



ESTIMACIÓ DE LA PLUJA ÚTIL MITJANÇANT BALANÇ HÍDRIC. ANY 2007

**Núm. Doc: 02-08
Maig 2008**

1	OBJECTIUS	3
2	INTRODUCCIÓ.....	3
3	ESTACIONS METEOROLÒGIQUES	4
4	METODOLOGIA PER 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 2007	9
6	TRETS GENERALS DE LA TEMPERATURA DE L'ANY HIDROLÒGIC 2007	10
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 2007 en les diferents unitats	20
10	CONCLUSIONS	23
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.....	26
12.2	Càlcul de la pluja útil.....	28
12.3	Estimació del dèficit hídric.....	29

1 OBJECTIUS

L'objectiu del present estudi és el de resumir les precipitacions i temperatures recollides al Principat durant el 2007 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 2007 del territori andorrà mitjançant un balanç hídric de l'any hidrològic comprès entre l'1 de gener i el 31 de desembre del 2007.

2 INTRODUCCIÓ

De cara a elaborar el model de precipitació i temperatura de l'any 2007, s'han recollit els registres termopluiomètrics 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, Confederació hidrogràfica del Ebro (CHE), FEDA, Servei meteorològic de Catalunya i Meteo France.

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 termopluiomètrics 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	$P_{\text{període}}$ 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. Classificació climàtica segons el SMC

3 ESTACIONS METEOROLÒGIQUES

Les estacions meteorològiques que proporcionen dades diàries del 2007, 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
Envalira	549058,1	26136,9	2550	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

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) i al Service Météorologique de la France (Météo France) 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 2007	
	Registres de precipitacions	Registres de temperatures
Ransol	12	12
Engolasters	12	12
Central	12	12
Salines	8	8
Roc St Pere	7	7
Envalira	4	4
Les Pardines	12	0
Comella	12	12
Arcalís-CHE	12	12
Grau Roig-CHE	10	12
Setúria-CHE	11	12
La Seu d'Urgell CHE	12	12
Viliella-CHE	11	11
Salòria-SMC	10	10
La Seu d'Urgell SMC	12	11
Das-SMC	11	10
Hospitalet	12	12
Aulus les Bains	12	12
Nombre estacions:	18	17

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

La xarxa d'estacions se centra bàsicament en els eixos fluvials del Valira del Nord i Valira d'Orient, per la qual cosa el territori que queda exempt de dades és ampli, sobretot en el sector sud, sector del Madriu, Perafita, Claror, sector nord i nord-est, tal i com s'observa en la **figura 1**. Aquest fet dóna peu que el model de distribució de les precipitacions i temperatures sigui estrictament un model, sobretot si es té en compte que el territori estudiat presenta una orografia complexa formada per incidides valls i alts cims d'orientacions variants.

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

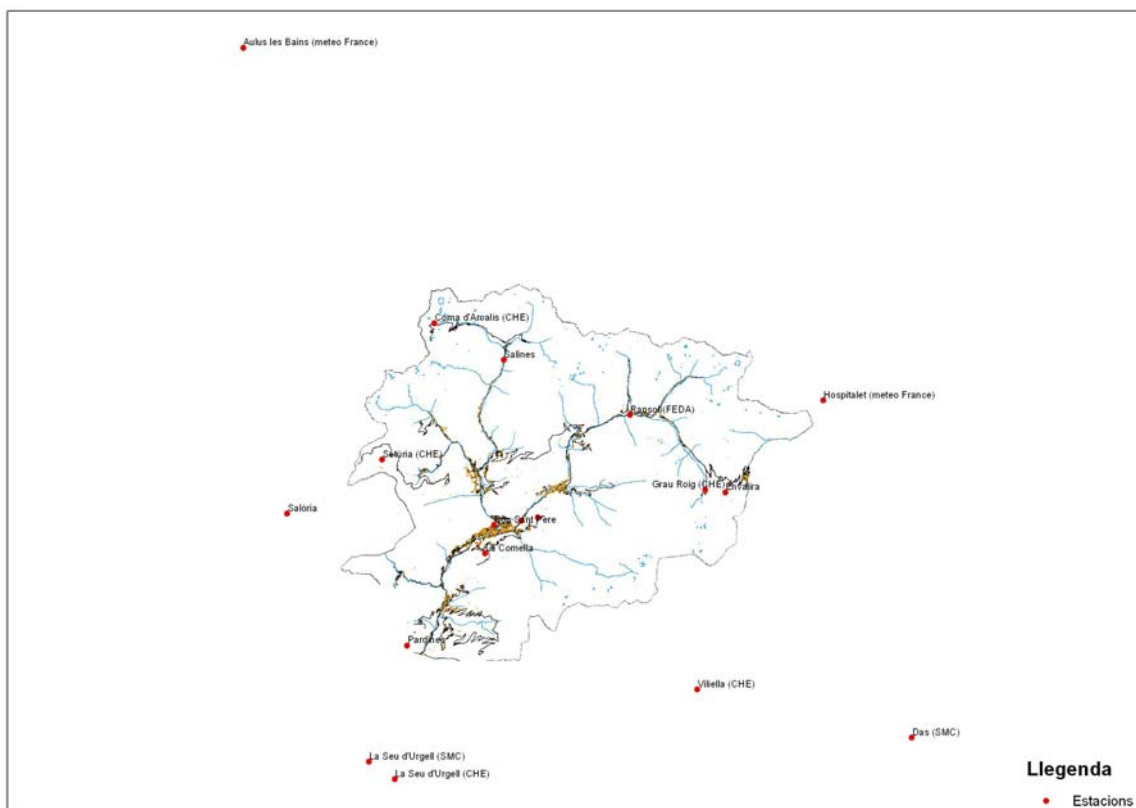


Figura 1. Situació de les estacions meteorològiques i estacions amb dades estimades usades en el present estudi

4 METODOLOGIA PER 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 utilitzat 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	542.751,9	31.243,7	1.640,0	21,4	48,3	88,7	61,5	122,3	79,2	40,4	76,2	14,9	19,6	46,5	19,4
Engolasters	536.681,5	24.408,0	1.640,0	15,0	46,0	23,8	49,6	65,0	42,9	22,6	80,9	7,1	32,4	29,2	10,3
Central	535.600,7	24.197,3	1.140,0	12,0	35,4	22,4	49,4	70,3	44,8	25,8	93,9	7,1	36,2	37,6	38,5
Salines	534.441,0	34.868,7	1.470,0	12,4	45,0	-	78,6	-	37,4	30,4	-	-	52,6	38,0	42,6
Roc St Pere	533.783,6	23.896,0	1.100,0	14,0	45,6	-	54,6	-	48,6	-	-	-	37,2	42,6	17,2
Coma Arcalis (CHE)	529.849,5	37.305,2	2.235,0	10,0	51,6	24,4	74,4	161,4	70,6	71,8	81,8	31,8	75,8	64,8	30,8
Setúria (CHE)	526.415,8	28.284,5	1.910,0	13,6	34,6	15,4	74,2	88,4	45,4	63,0	-	31,8	41,6	80,6	18,4
Grau-Roig (CHE)	547.722,7	26.302,4	2.100,0	8,6	29,8	13,6	74,8	73,2	48,0	-	-	21,0	40,8	40,6	14,2
Pardines	528.064,9	16.010,3	1.500,0	12,9	35,8	30,8	46,8	57,5	73,1	25,3	83,1	14,8	37,1	27,7	6,3
Envalira	549.058,1	26.136,9	2.550,0	2,6	25,6	-	-	-	37,4	19,2	-	-	-	-	-
La Seu d'Urgell (A022) CHE	527.232,2	7.154,7	696,8	12,6	18,8	13,0	40,8	57,0	33,2	17,6	126,6	38,8	50,2	16,8	1,8
P044 Vil·laella (CHE)	547.217,3	13.050,8	1.557,0	8,2	35,8	15,2	76,4	70,4	-	15,0	167,0	32,6	27,6	16,6	7,6
La Seu d'Urgell (SMC)	525.529,6	8.296,5	849,0	10,6	20,8	16,0	47,8	51,4	27,8	8,8	141,8	29,0	48,2	20,4	1,0
Das (SMC)	561.375,9	9.888,5	1.096,0	3,6	24,2	9,2	74,4	67,6	44,6	-	111,2	9,4	32,2	16,2	3,8
Hospitalet (meteo France)	555.535,4	32.202,4	1.425,0	13,9	103,9	96,8	164,1	207,0	61,5	32,0	75,5	41,3	90,1	24,7	89,1
Aulus les Bains (meteo France)	517.231,5	55.527,0	733,0	26,8	118,9	223,5	154,5	155,8	51,6	96,5	155,3	83,4	145,8	63,1	142,8
Salòria	520.143,8	24.663,5	2.445,0	19,1	49,6	99,4	76,3	69,5	-	-	62,1	34,1	39,7	71,0	12,7
Comella	533.197,0	22.055,0	1.262,0	23,0	45,4	31,8	56,2	95,4	62,6	22,7	91,9	21,0	47,6	36,4	11,6

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	0,5	1,5	1,2	5,7	8,6	11,7	14,8	14,4	11,1	7,6	6,8	2,9
Engolasters	536.681,5	24.408,0	1.640,0	5,0	3,2	2,7	7,3	10,0	13,1	16,9	16,1	13,8	10,0	5,5	2,2
Central	535.600,7	24.197,3	1.140,0	4,9	5,3	5,5	9,8	12,5	15,8	18,9	18,2	15,1	11,7	2,7	-1,0
Salines	534.441,0	34.868,7	1.470,0	3,9	3,6	-	7,3	-	13,2	15,5	-	-	9,2	5,3	1,9
Roc St Pere	533.783,0	23.896,0	1.090,0	6,8	6,8	-	11,2	-	17,4	-	-	-	13,0	8,5	4,8
Coma Arcalis (CHE)	529.849,5	37.305,2	2.235,0	-1,1	-1,8	-3,2	1,7	4,0	7,8	10,7	10,0	7,4	3,6	-0,4	-3,7
Setúria (CHE)	526.415,8	28.284,5	1.910,0	0,5	-0,4	-1,5	3,1	5,8	8,3	11,2	10,5	8,2	4,8	1,3	-1,6
Grau-Roig (CHE)	547.722,7	26.302,4	2.100,0	0,0	-1,0	-2,8	2,2	5,0	8,7	11,7	12,4	9,4	5,8	1,6	-1,5
Envalira	549.058,1	26.136,9	2.250,0	0,4	-1,1	-	-	-	6,6	9,7	-	-	-	-	-
La Seu d'Urgell (A022) CHE	527.232,2	7.154,77	696,8	4,2	6,0	7,9	11,6	15,1	18,5	21,4	20,4	17,5	13,4	7,3	3,9
P044 Viliella (CHE)	547.217,3	13.050,8	1.557,0	3,9	3,6	2,5	7,1	10,3	-	16,7	15,5	12,6	8,8	5,2	1,7
La Seu d'Urgell (SMC)	525.529,6	8.296,5	849,0	5,6	6,9	7,2	11,6	15,0	18,6	21,5	20,0	17,0	-	6,8	4,2
Das (SMO)	561.375,9	9.888,5	1.096,0	3,7	5,1	5,7	9,6	12,2	15,6	-	17,5	13,8	9,7	4,4	1,1
Hospitalet (meteo France)	555.535,4	32.202,4	1.425,0	4,7	4,7	3,2	9,0	10,6	14,1	16,1	15,7	12,6	9,5	4,0	3,0
Aulus les Bains (meteo France)	517.231,5	55.527,0	733,0	3,9	6,1	6,1	11,6	13,4	16,2	17,8	17,0	14,0	11,1	4,7	1,9
Saloria	520.143,8	24.663,5	2.445,0	-0,9	-2,3	-4,3	1,0	3,0	-	-	9,1	6,9	2,7	-0,6	-3,5
Comella	533.197,0	22.055,0	1.262,0	4,9	5,8	5,6	10,2	13,0	16,2	19,6	18,8	16,3	12,0	7,6	2,9

Taula 5. Dades de temperatura usades

5 TRETOS GENERALS DE LA PLUVIOMETRIA DE L'ANY HIDROLÒGIC 2007

L'any 2007 presenta una pluvimetria que oscil·la entre els 1300 i els 302,6 mm. Els valors màxims es detecten al nord del Principat, en zones que estan sota la influència atlàntica, de capçalera i amb la presència de cims muntanyosos amb alçades superiors als 2700 metres, i els valors mínims cal trobar-los al sud i en les fondalades, que coincideix amb zones topogràficament inferiors, i d'influència mediterrània.

En la **figura 2** es mostra el model de distribució de les precipitacions de l'any 2007.

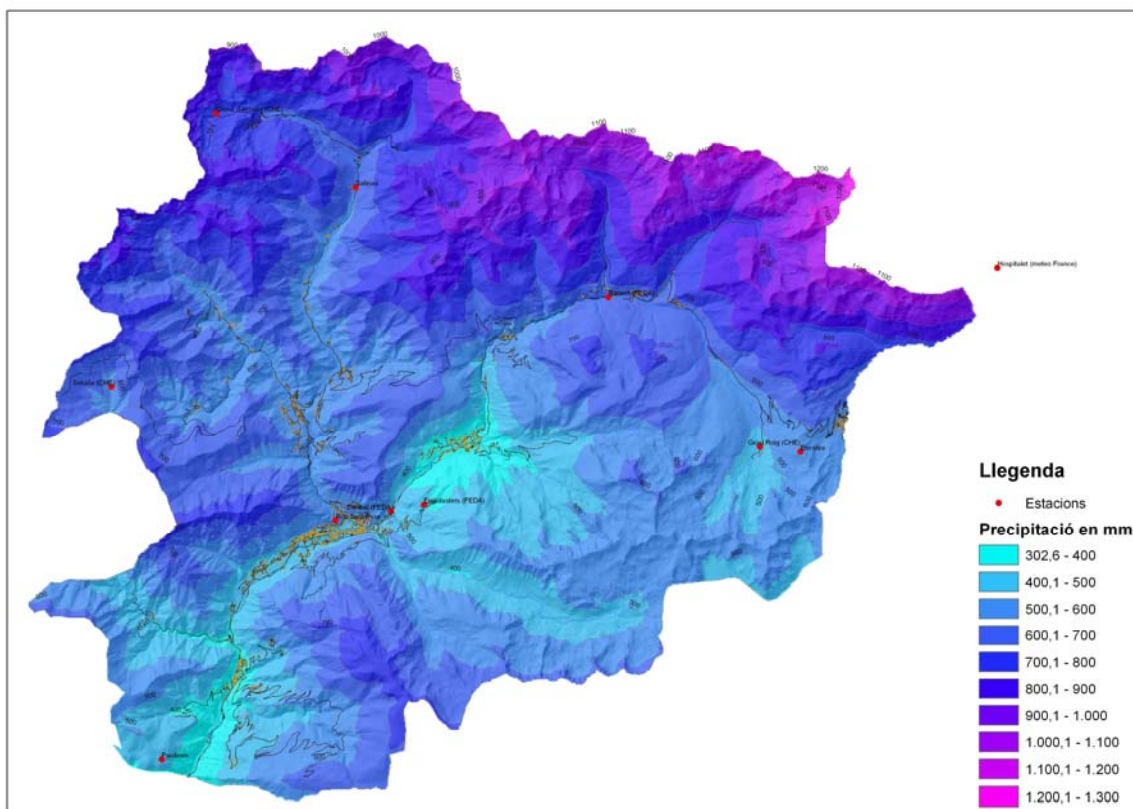


Figura 2. Mapa d'isoietes de les precipitacions acumulades el 2007.

La precipitació mitja del 2007 es calcula que és de 655,21 mm. Si es comparen les precipitacions acumulades el 2007 amb la mitjana climàtica (valorat amb 996,39 mm), s'observa que les precipitacions del 2007 representen el 66% de la mitjana climàtica, variant entre un 30 i un 90% segons l'indret. Aquesta dada permet classificar el 2007 com un any sec en tot el territori.

En la **figura 3** es mostra el dèficit pluviomètric obtingut de relacionar les precipitacions del 2007 amb la mitjana climàtica.

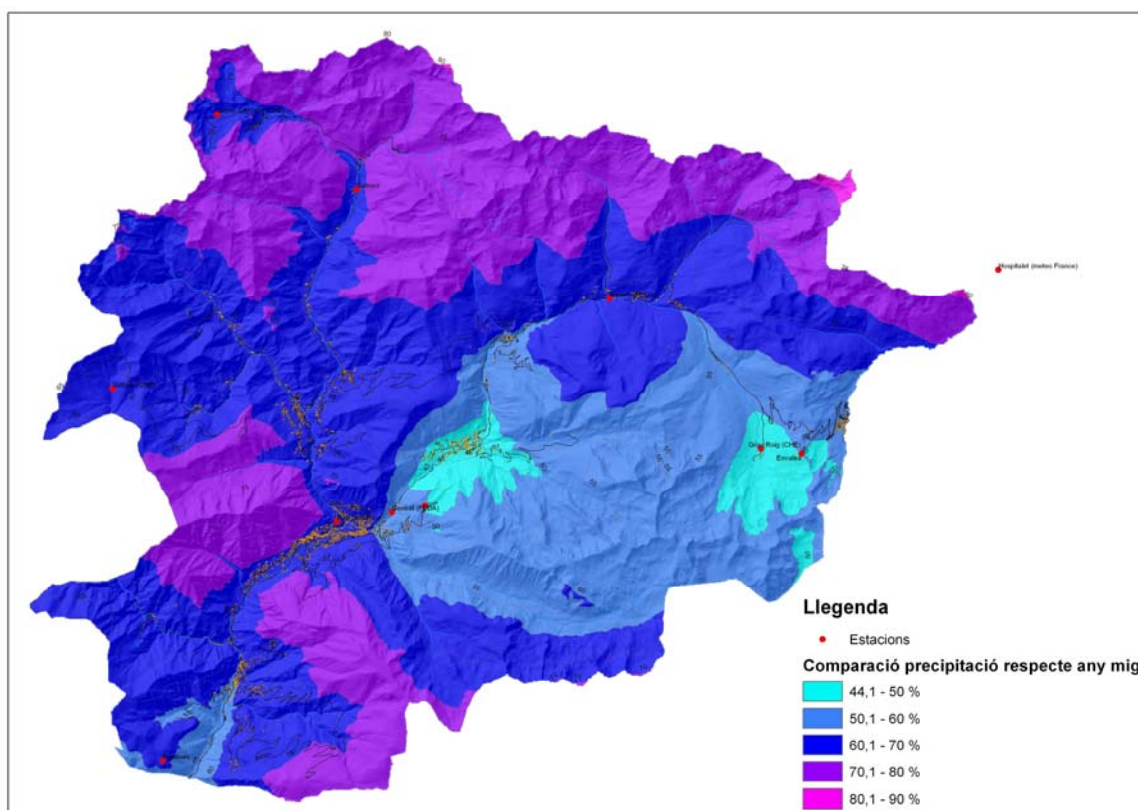


Figura 3. Mapa comparatiu de les quantitats acumulades registrades el 2007 i els corresponents valors mitjans.

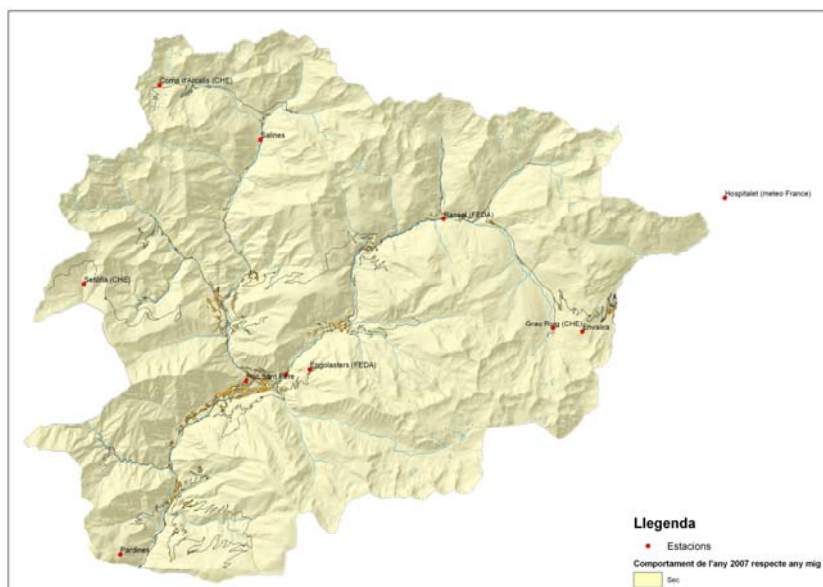


Figura 4. Mapa de distribució de la valoració de les precipitacions de l'any 2007 respecte la mitjana

Segons el servei meteorològic de Catalunya en l'any 2007 s'ha enregistrat valors inferiors a la mitjana climàtica, en tot el territori català excepte les terres de l'Ebre; el conjunt del 2007 és considerat com a sec en totes les comarques del Pirineu i Prepirineu, amb precipitacions inferiors al 70-90% de la mitjana. En aquest sentit les baixes precipitacions registrades al Principat no es tracten d'un fet aïllat si no general en el Pirineu central.

En la figura 4 s'observa que el conjunt del territori es classifica com a sec.

6 TRETOS GENERALS DE LA TEMPERATURA DE L'ANY HIDROLÒGIC 2007

L'any 2007 presenta una temperatura mitja anual que oscil·la entre els -2,5 i els 14°C. Així 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 al sud i fons de vall, que coincideix amb zones topogràficament inferiors.

La temperatura mitja anual del 2007 és calcula que és de 5,08°C. Comparant la temperatura mitja anual amb la mitjana climàtica (valor de 4,08°C), s'observa que el conjunt del territori presenta temperatures de fins a 3°C per sobre la mitjana i puntualment de fins a 3,5°C. Aquest fet permet classificar el 2007 com un any en conjunt normal-càlid, i puntualment molt càlid. Els sectors que no han experimentat un augment de la temperatura mitja anual es troben a Envalira i capçalera del riu Valira del Nord i Setúria, mentre que els sectors amb un augment de més de 3°C respecte la mitjana, es localitzen al sud-oest del país.

Segons el servei meteorològic de Catalunya l'any 2007, les temperatures en el conjunt del territori català es poden considerar de normals, o sigui sense variació significativa de la temperatura respecte la mitjana, tot i que en el sector de l'Alt Urgell s'interpreta valors lleugerament inferiors a la mitjana.

En la **figura 5** es mostra el model de distribució de les temperatures de l'any 2007.

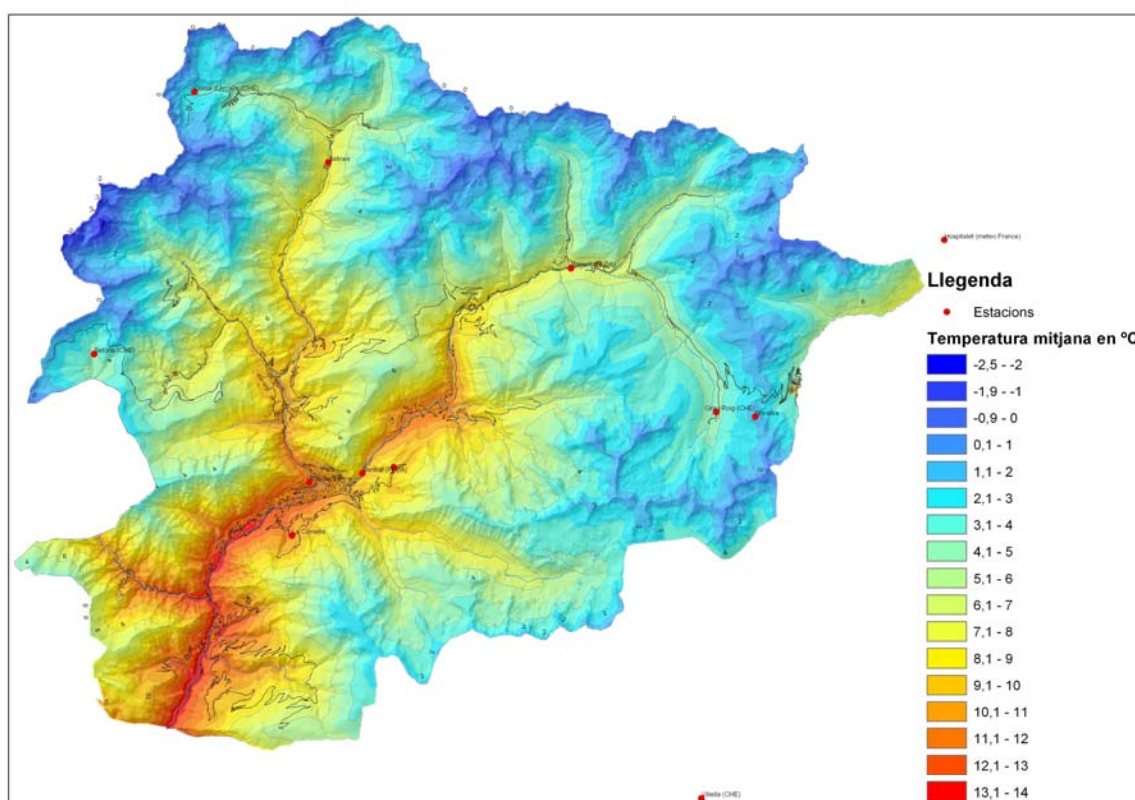


Figura 5. Mapa de distribució de les temperatures mitges del 2007

En la **figura 6** es mostra la relació entre la temperatura estimada pel 2007 i la mitjana .

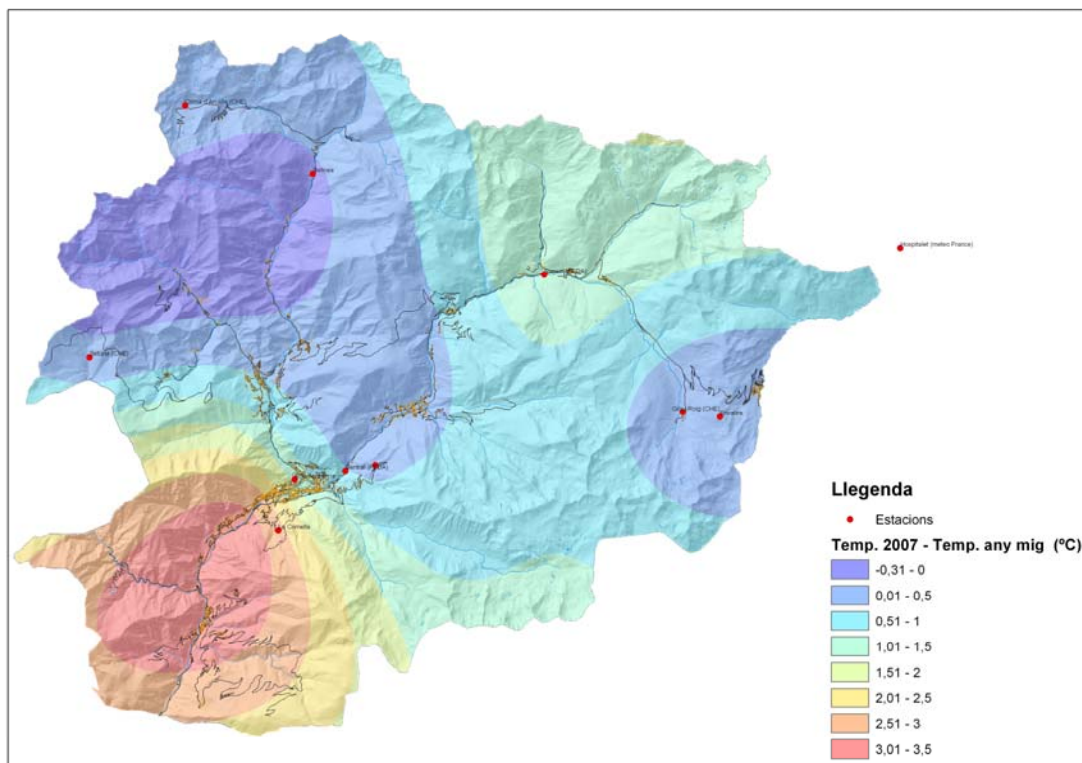


Figura 6. Mapa de les diferències de temperatura de l'any 2007 respecte la mitjana.

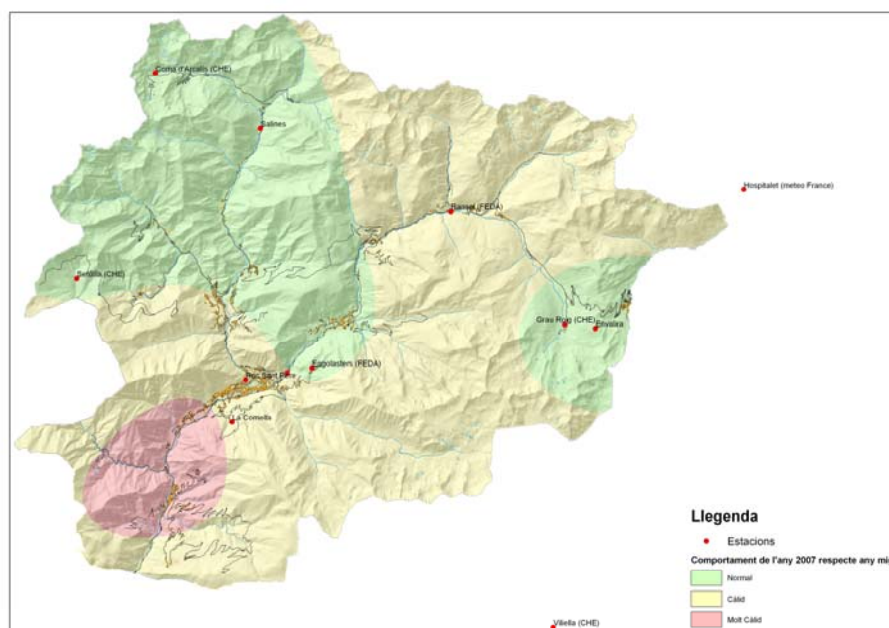


Figura 7. Mapa de classificació de les temperatures respecte la mitjana

En la **figura 7** es mostra el mapa amb les diferències de temperatures entre els registres del 2007 i la mitjana climàtica. Permet veure que l'any 2007 es pot classificar de normal-càlid en conjunt.

7 CÀLCUL DEL BALANÇ HÍDRIC

De cara a estimar els recursos hídrics del 2007, 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
5,08°C	655,21 mm	384,96mm	273,25 mm	-3 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 655,21 mm/any. Les sortides al sistema es distribueixen en ETR, pluja útil i variació anual de la reserva d'aigua del sòl.

Segons el mètode de Thornthwaite, l'ETR suposa el 58,8% i la pluja útil el 41,2%. En els següents gràfics es mostra la distribució de les sortides segons el mètode de càlcul utilitzat.

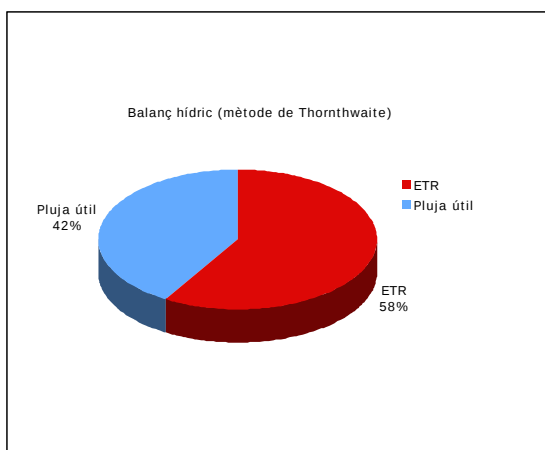


Figura 8. Balanç hídric segons Thornthwaite

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 dur a terme aquest contrast de dades s'ha fet ús dels registres de cabal diaris recollits durant el 2007 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 (Km ²)
FEDA-Ransol	542773,6	31220,0	Valira Orient	81,86
FEDA Madriu - Ràmio	537514,6	22164,2	Madriu	26,05
CHE-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.

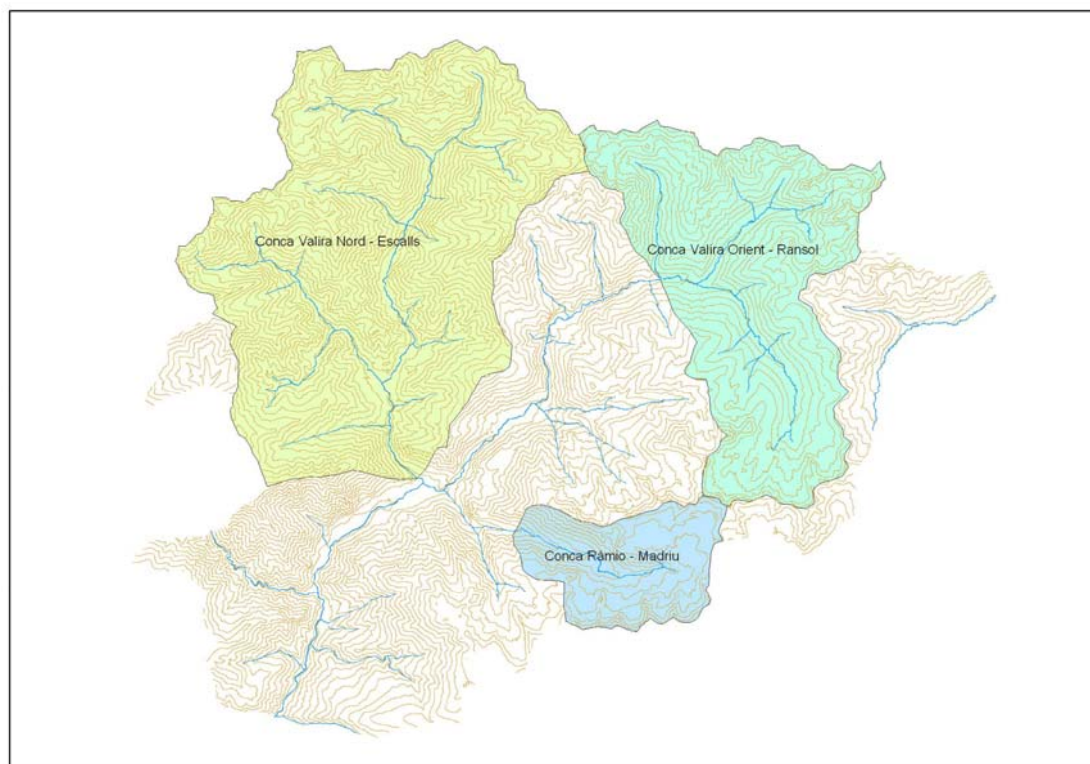


Figura 9. Mapa de situació de les conques estudiades de Valira Nord – Escalls, Conca Valira Orient Ransol i Conca Ràmio – Madriu.

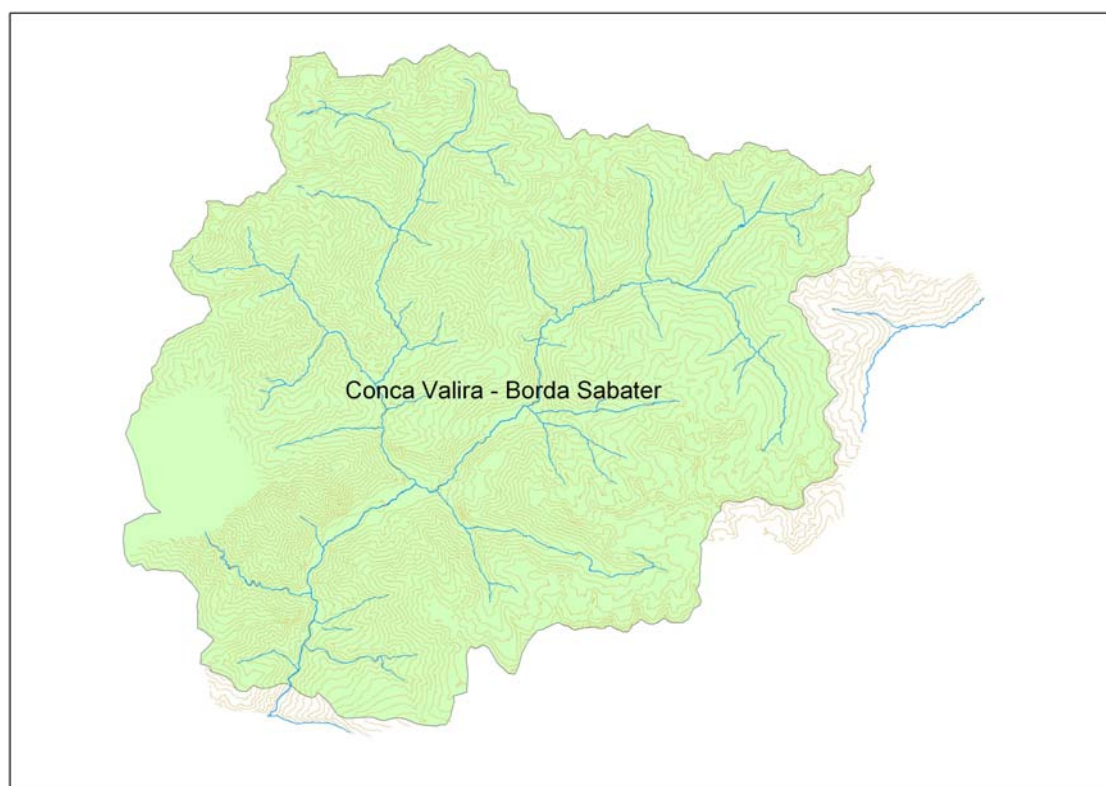


Figura 10. Mapa de situació de la conca Valira – Borda Sabater.

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 2007, segons dades facilitades pel ministeri responsable del medi ambient, és de 0,33 m³/s. El cabal del riu Gran Valira durant el 2007 vindria a ser de 7,1 m³/s, o sigui 223,2 Hm³/any. Aquest cabal, sumat amb el procedent de l'EDAR, suposa uns 7,43 m³/s, que repartit per la superfície de la conca hidrogràfica suposa 525,63 L/m²*any.

El cabal del riu Valira del Nord, segons dades facilitades per la Confederació hidrogràfica de l'Ebre, es calcula que és d'uns 2,29 m³/s, o 72,10 Hm³/any. Aquest cabal, repartit per la superfície de la conca hidrogràfica suposa 494,96 L/m²*any.

El cabal del riu Valira d'Orient a Ransol, segons dades facilitades per FEDA es calcula que és d'uns 1,80 m³/s, o sigui 56,88 Hm³/any. Aquest cabal, repartit per la superfície de la conca hidrogràfica suposa 694,8 L/m²*any.

El cabal del riu Madriu, segons dades facilitades per FEDA es calcula que és d'uns 0,31 m³/s, o sigui 9,74 Hm³/any. Aquest cabal, repartit per la superfície de la conca hidrogràfica suposa 373,9 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	7,43	2,29	1,80	0,31
	Cabals Hm ³ /any	233,52	72,10	56,88	9,74
	Cabal específic (Qe) L/m ² *any	525,63	495,0	694,8	373,9
Mètode de Thornthwaite	Pluja útil estimada L/m ² *any	268,57	317,38	419,96	173,09
	Variació respecte Cabal Qe (%)	-49%	-36%	-39%	-54%

Taula 8. Resum dels cabals registrats durant el 2007 en diferents conques hidrogràfiques i pluja útil estimada per cada conca.

La pluja útil calculada mitjançant el mètode de Thornthwaite és en tots els casos analitzats inferior als cabals aforats, entre un -36 i -54% per sota.

Els cabals aforats poden dur associats fins un $\pm 25\%$ d'error. En l'any estudiat, en tots quatre aforadors s'observen diferències substancials, no obstant, cal tenir en compte les següents limitacions en les anàlisis dutes a terme:

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

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

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

- 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.

Les unitats hidrogeològiques que configuren les cubetes del quaternari, se suposa que el recurs disponible no és el procedent de les precipitacions sinó que ve donat pel propi magatzem o reservori que constitueix la cubeta (Govern d'Andorra, 2007).

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 2007 d'uns 140,62 Hm³/any, calculats mitjançant el balanç hídric amb el mètode de Thornthwaite, i d'aquests, només 126,56 Hm³/any són disponibles, doncs es fixa la xifra del 10% de la pluja útil com a aigua destinada als ecosistemes aquàtics -cabals ecològics-. Ara bé, si tenim en compte el reservori hídric de les cubetes, el recurs hídric disponible en el conjunt del territori és de 276,17 Hm³/any (veure taula següent).

Repartit entre el territori andorrà (467,7 Km²), la pluja útil estimada mitja del 2007 representa uns 127,68 Hm³/any (2007). D'aquests 127,68 Hm³/any (2007), només 114,91Hm³/any (2007) serien disponibles, reservant-se el 10% com a cabals "ecològic".

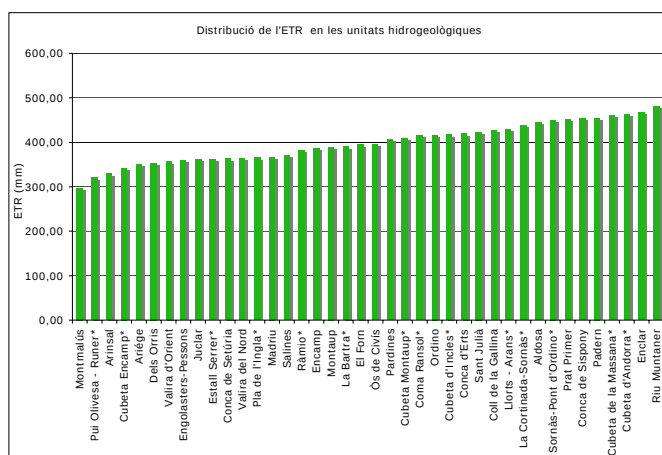
Taula 9. Resum balanç hídric de les unitats hidrogeològiques de l'any 2007

Nom	Superfície (Km2)	P_2007 (mm)	ETR_2007 (mm)	Pluja útil o Excedents 2007 (mm)	Pluja útil. Any mig (mm)	Pluja útil_2007 (Hm3/any)	**Pluja útil disponible_2007 (Hm3/any)	Magatzem hídric Hm3 (cubetes)	***Pluja útil_2007 (Hm3/any)	***Recurs disponible_2007 (Hm3/any)
Aldosa	8,17	595,81	445,30	150,52	372,61	1,23	1,11		1,23	1,11
Arinsal	16,55	724,13	329,60	394,52	838,57	6,53	5,88		6,53	5,88
Ariège	40,30	811,44	350,40	455,20	650,19	18,34	16,51		18,34	16,51
Coll de la Gallina	17,32	487,77	427,43	63,54	277,70	1,10	0,99		1,10	0,99
Coma Ransol*	0,30	797,06	416,02	381,05	719,38	0,12	0,10	6,80	6,80	6,80
Conca d'Ers	14,86	614,80	419,72	195,08	420,17	2,90	2,61		2,90	2,61
Conca de Setúria	6,66	644,74	363,13	281,62	582,19	1,88	1,69		1,88	1,69
Conca de Sispony	12,81	621,17	454,03	167,22	397,20	2,14	1,93		2,14	1,93
Cubeta Encamp*	0,77	325,44	342,30	2,47	141,65	0,00	0,00	5,40	5,40	5,40
Cubeta Montaup*	0,35	638,68	409,24	232,63	491,54	0,08	0,07	4,90	4,90	4,90
Cubeta d'Andorra*	2,27	462,14	462,49	2,43	143,52	0,01	0,00	74,90	74,90	74,90
Cubeta d'Incles*	0,40	763,61	417,09	346,52	705,14	0,14	0,12	18,20	18,20	18,20
Cubeta de la Massana*	0,66	529,29	459,89	69,69	215,24	0,05	0,04	5,10	5,10	5,10
Dels Orris	12,73	509,73	353,63	172,96	510,40	2,20	1,98		2,20	1,98
El Forn	2,63	555,89	394,88	187,48	433,85	0,49	0,44		0,49	0,44
Encamp	9,83	496,73	386,52	131,92	343,92	1,30	1,17		1,30	1,17
Enclar	16,45	561,75	466,86	99,34	300,84	1,63	1,47		1,63	1,47
Engolasters-Pessons	23,00	482,34	359,80	142,46	414,34	3,28	2,95		3,28	2,95
Estall Serrer*	0,26	437,38	361,84	105,54	280,36	0,03	0,02	7,49	7,49	7,49
Juclar	17,45	1007,12	361,74	645,38	980,47	11,26	10,13		11,26	10,13
La Bartra*	0,23	386,76	390,55	7,00	163,84	0,00	0,00	2,30	2,30	2,30
La Cortinada-Sornàs*	0,24	534,51	438,56	95,95	221,49	0,02	0,02	4,20	4,20	4,20
Llorts - Arans*	0,43	550,99	429,36	121,63	241,94	0,05	0,05	7,20	7,20	7,20
Madriu	40,12	539,68	367,17	180,13	444,54	7,23	6,50		7,23	6,50
Montaup	16,93	695,38	389,35	311,32	615,61	5,27	4,74		5,27	4,74
Montmalús	7,59	513,84	297,42	207,79	427,74	1,58	1,42		1,58	1,42
Ordino	16,96	637,96	416,74	221,24	471,98	3,75	3,38		3,75	3,38
Padern	6,04	552,88	454,38	101,16	299,86	0,61	0,55		0,61	0,55
Pardines	8,81	417,57	406,69	20,71	195,53	0,18	0,16		0,18	0,16
Pla de l'Inglà*	0,10	457,70	365,08	122,62	323,32	0,01	0,01	4,20	4,20	4,20
Prat Primer	13,96	598,77	450,95	148,35	368,68	2,07	1,86		2,07	1,86
Pui Olivesa - Runer*	0,40	320,16	320,16	0,00	95,12	0,00	0,00	2,50	2,50	2,50
Riu Muntaner	6,75	642,31	481,15	162,36	381,21	1,10	0,99		1,10	0,99
Ràmio*	0,23	406,51	382,55	48,49	219,18	0,01	0,01	2,40	2,40	2,40
Salines	18,40	736,70	371,06	365,64	580,04	6,73	6,06		6,73	6,06
Sant Julià	33,32	550,86	423,34	128,78	331,97	4,29	3,86		4,29	3,86
Sornàs-Pont d'Ordino*	0,26	521,94	450,47	71,47	205,33	0,02	0,02	4,70	4,70	4,70
Valira del Nord	45,88	824,91	364,22	460,68	752,28	21,14	19,02		21,14	19,02
Valira d'Orient	77,50	727,35	356,80	370,03	693,98	28,68	25,81		28,68	25,81
Os de Civís	17,17	566,26	395,28	172,58	425,71	2,96	2,67		2,96	2,67
RESUM	Superfície (Km2)	P (mm)	ETR (mm)	Pu_2007 (mm)	Pu_mitja(mm)	Pu_2007 (Hm3)	Pu disponible (Hm3)		Pu_2007 (Hm3)	Recurs disponible (Hm3)
	515,08	655,21	384,96	273,25	562,79	140,62	126,56		290,15	276,17

* Unitats del quaternari que tenen un reservori hídric estimat (Estudi aigües subterrànies, 2007)

**Quan es té en compte el cabal ecològic (del 10%) es parla de pluja útil disponible

*** Recurs hídric disponible. En les cubetes quaternàries s'ha tingut en compte el magatzem hídric de cadascuna, mentre que en la resta d'unitats es té en compte la pluja útil calculada



En relació a l'ETR, s'observa que és més alta en les unitats interiors, com ara en la unitat del Muntaner, Enclar, Cubeta d'Andorra la Vella, cubeta de la Massana, Padern, Sispony, amb valors entre 454 i 481 mm, i és més baixa en les unitats del nord i est del país, com en les unitats de Montmalús, Arinsal, Ariège, amb valors per sota els 350 mm. En les unitats del Pui olivesa, Pardines, Cubeta Encamp es troben valors baixos associat al dèficit hídric

que han patit.

Figura 13. Gràfic de distribució de l'ETR

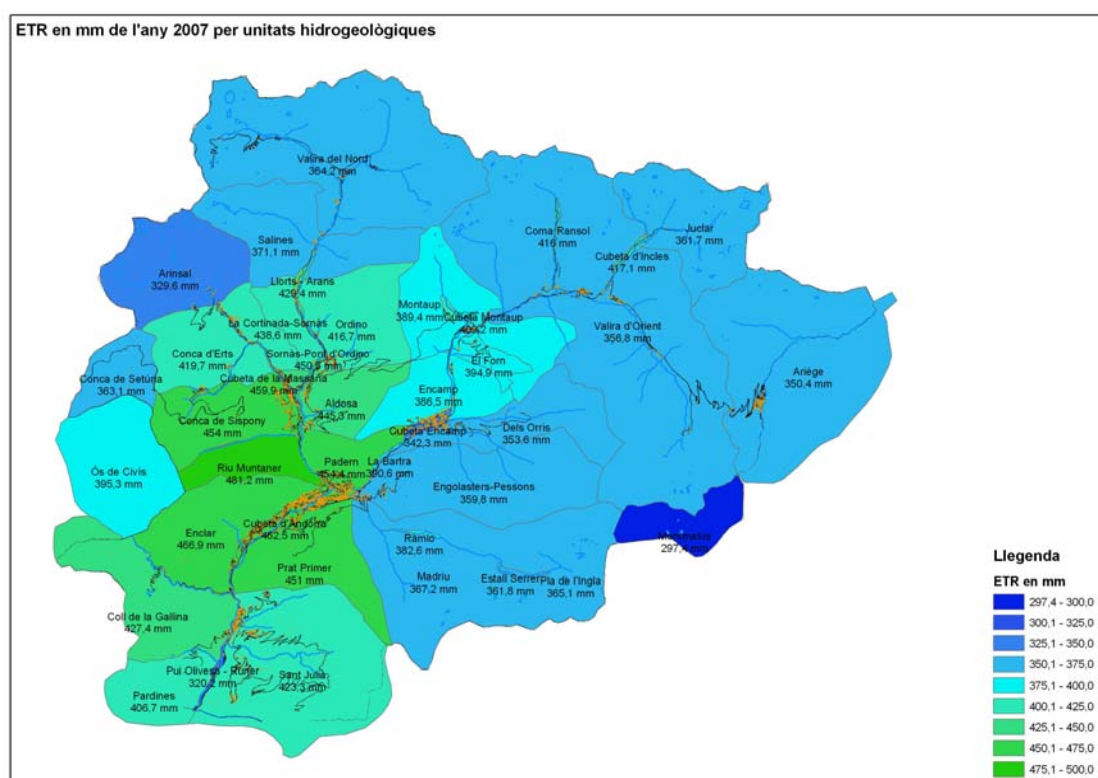
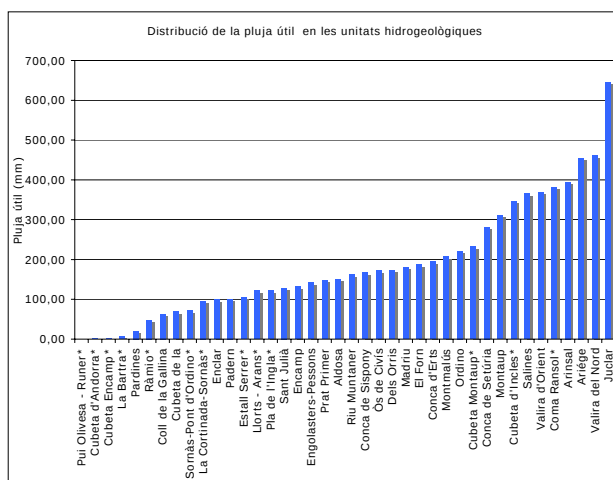


Figura 14. Mapa de distribució de l'ETR en les diferents unitats hidrogeològiques descrites en l'estudi del M.I. Govern, 2007



Les unitats amb valors de pluja útil inferior són les sud i fons de valls, on s'ha vist que es detecten valors de precipitacions inferiors, i alta ETR, com ara la unitat del Pui d'Olivessa, cubeta d'Encamp, La Bartra, Cubeta d'Andorra, les Pardines, amb valors entre 0 i 21 mm. Les unitats amb majors excedents durant el 2007 són les del nord del país, on les precipitacions han estat superiors, com ara Juciar, Valira del Nord, Ariège, Coma de Ransol amb valors entre 381 i 645 mm.

Figura 15. Gràfic de distribució de la Pluja útil

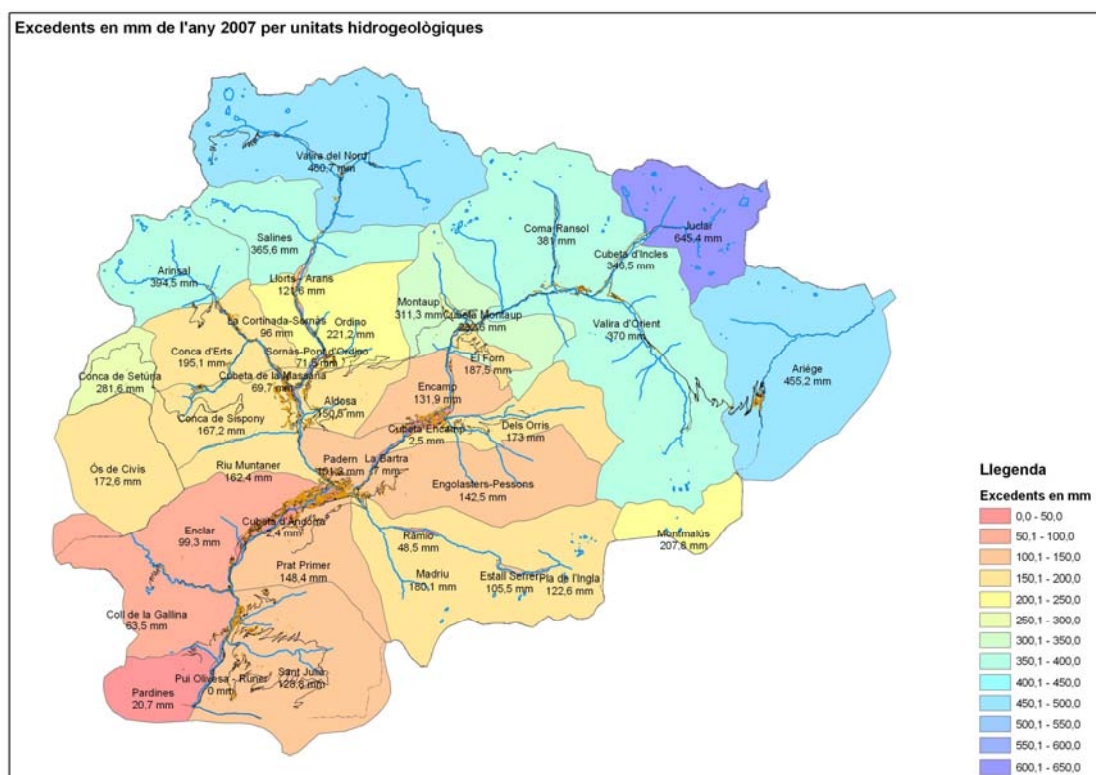


Figura 16. Mapa de distribució de la pluja útil en les diferents unitats hidrogeològiques descrites en l'estudi del M.I. Govern, 2007

10 CONCLUSIONS

L'any 2007 ha estat sec respecte la mitja de precipitacions de 30 anys (*Estudi de les aigües subterrànies del Principat d'Andorra, M.I.Govern d'Andorra 2007*) i calurós-normal respecte la mitja de temperatures de 30 anys.

Es tracta d'un any menys plujós (entre el 30 i el 90% de precipitacions respecte la mitja de 30 anys). El mòdul de precipitació mig del territori estudiat s'estima que és de 655,21 mm, quan la mitja de 30 anys és d'uns 996,39 mm. En relació a les temperatures, es tracta d'un any normal-càlid (en conjunt fins a 3°C superior a la mitja de 30 anys). La temperatura mitja del 2007 s'estima que és de 5,08°C quan la mitja de 30 anys és de 4,08°C.

En la resta del Pirineu català també es registra una disminució de les precipitacions, sobretot en tot el territori català, excepte el sector de les terres de l'Ebre, mentre que les temperatures es poden considerar de normals en el conjunt de territori, segons dades publicades pel servei meteorològic de Catalunya.

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/2007 és de 384,96 mm/any, i la pluja útil mitja és de 273,25 mm, amb valors mínims de 0 i màxims de 1000 mm. Respecte la mitjana de 30 anys, els recursos hídrics el 2007 han estat de l'ordre d'un 48,6% inferiors als recursos mitjos, que es van avaluar en 562,79 mm.

Repartit entre el territori andorrà (468 Km²), la pluja útil estimada mitja representa uns 127,68 Hm³/any (2007). D'aquests 127,68 Hm³/any (2007), només 114,91 Hm³/any (2007) serien disponibles, doncs es fixa la xifra del 10% de la pluja útil com a aigua destinada als ecosistemes aquàtics -cabals ecològics-.

Per unitats hidrogeològiques s'observa que les emplaçades al sud i fons de valls (cubeta Pui Olivesa, cubeta Andorra, cubeta Encamp, cubeta de La Bartra, unitat de les Pardines), són les que presenten valors de recàrrega d'aigua inferior, associat a unes altes temperatures i baixes precipitacions.

11 BIBLIOGRAFIA

Àrea de Climatologia-Servie meteorològic de Catalunya. Butlletí climàtic de l'any 2007
M.I.Govern, 2007. Balanç hídric de l'any hidrològic 2006.
M.I. Govern, 2007. Estudi de les aigües subterrànies del Principat d'Andorra

Àurea Ponsa i Vidales
Llicenciada en Geologia, d'Hídric

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

NºDecret: 42142/2005

Sant Julià de Lòria, 14 de maig del 2008

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 $P = ETP + \text{Pluja útil} - \text{Déficit hídric}$

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 en el moment que les precipitacions sòlides de la temporada hi quedin incloses, i suposant que la reserva d'aigua del sòl estarà al 100%. L'inici de l'any hidrològic s'ha fixat al mes de gener.

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

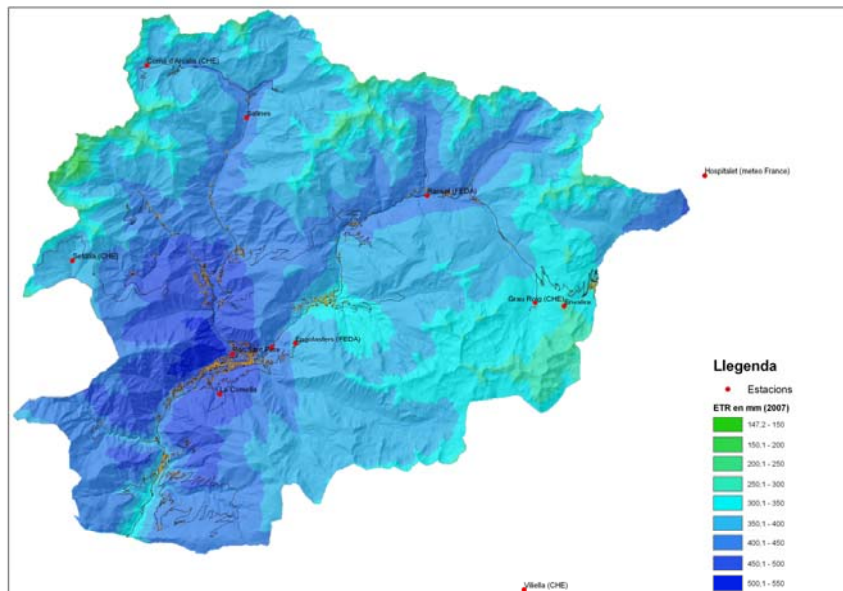
Una de les correccions que s'ha hagut de dur a terme és el de suposar que a temperatures mitges mensuals inferiors o iguals a zero, l'EPA és nul·la.

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 30mm, 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 2007 amb la reserva del darrer mes de l'any hidrològic anterior 2006. El valor de la reserva al mes de desembre del 2006 era de 27,91 mm segons l'estudi de *Balanç hídric de l'any hidrològic 2006*, Govern d'Andorra, 2007.

El mapa de distribució de l'ETR anual (**figura 17**) presenta valors màxims de 550 mm,



mínims de 140 mm i valors mitjos de 384,96 mm en el cas de $R = 30$. Els valors mínims es troben en les capçaleres del nord i est del territori donat per unes baixes temperatures, i al sud del país, associat a un dèficit hídric per les altes temperatures i baixes precipitacions. Les zones amb alta ETR es troben en el fons de les valls principalment.

Figura 17. Mapa de distribució de l'ETR estimada per l'any 2007, segons el mètode de Thornthwaite.

L'anàlisi de l'ETP i ETR mitjançant Thornthwaite permet estimar que el darrer mes de l'any hidrològic 2007 (desembre 2007) finalitza amb una reserva de 24,91 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**).

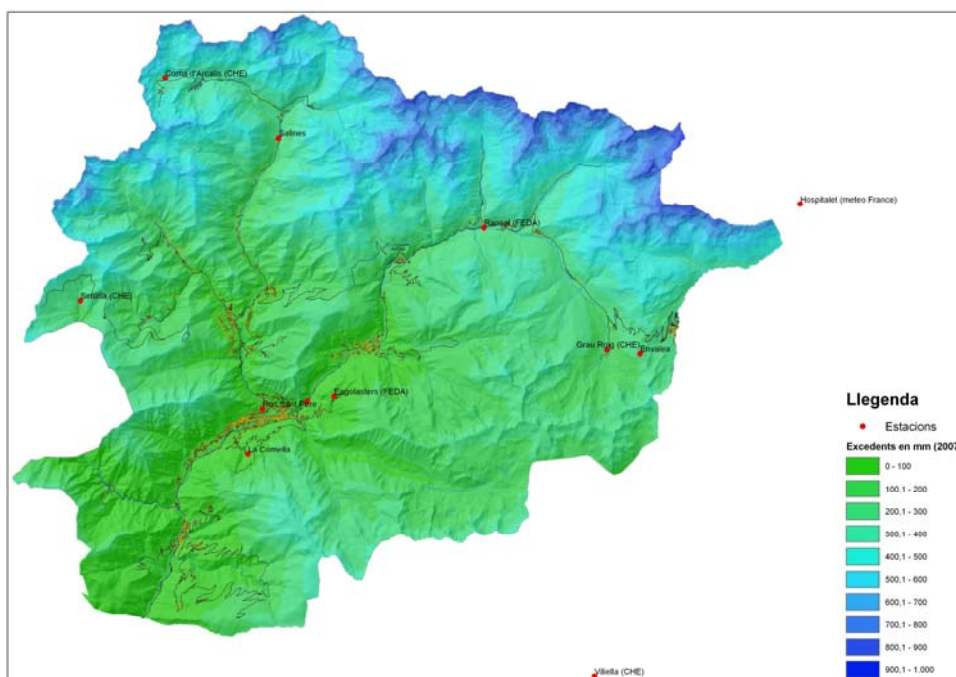


Figura 18. Mapa de distribució de la pluja útil o excedents estimats per l'any 2007. $R = 30$ mm seguint el mètode de Thornthwaite

El mapa d'excedents realitzat tenint en compte una reserva del sòl de 30 mm, presenta un valor mig és de 273,25 mm, un valor mínim de 0 mm, i el valor màxim és de 1000 mm. Els valors mínims abarquen principalment el conjunt del territori, excepte el terç nord del país. Els valors màxims se situen en les capçaleres del terç 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 és sobretot molt important al sud del país (sector de St Julià), en el fons de vall i en el sector d'Encamp, també en fons de vall, presentant valors de fins a 400 mm/any, essent el valor mig anual de 79,22 mm.

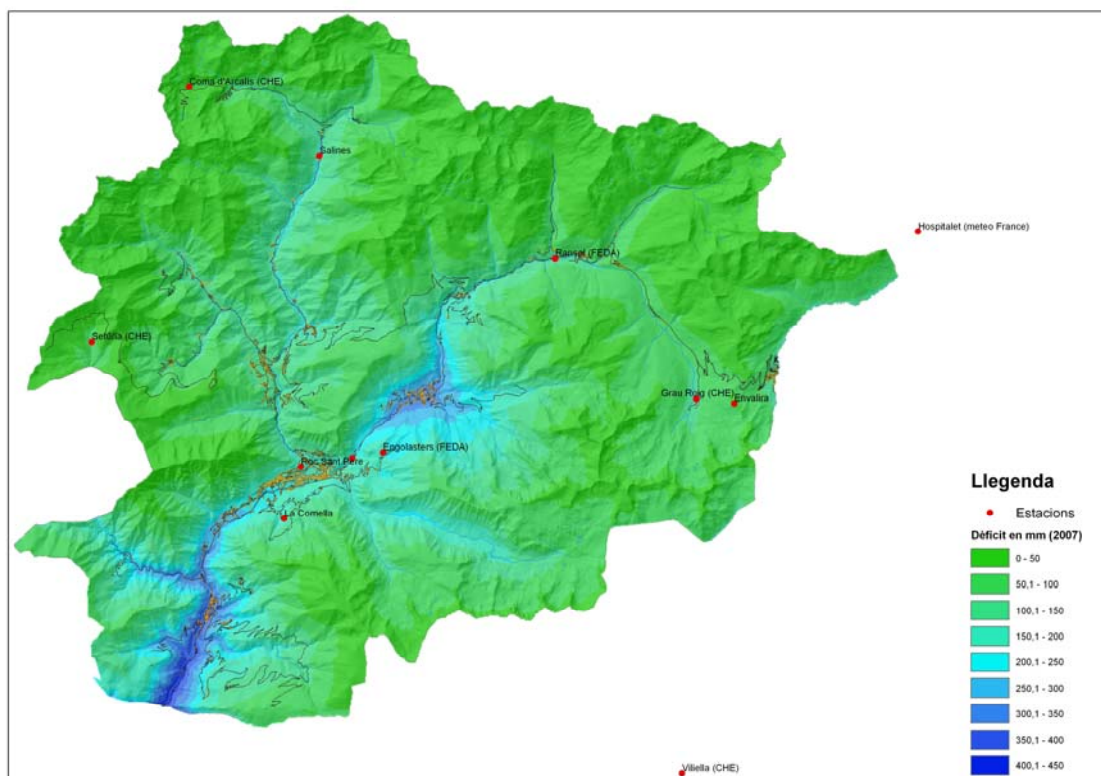


Figura 19. Mapa de distribució dels dèficits estimats per l'any 2007. $R = 30$ mm seguint el mètode de Thornthwaite. El mètode de càlcul ha consistit en la diferència entre ETP i ETR quan no hi ha reserva disponible.