



ESTIMACIÓ DE LA PLUJA ÚTIL MITJANÇANT BALANÇ HÍDRIC. ANY 2008

Núm. Doc: 01-08
Juny 2009

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 2008	9
6	TRETS GENERALS DE LA TEMPERATURA DE L'ANY HIDROLÒGIC 2008.....	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 2008 en les diferents unitats	20
10	CONCLUSIONS	23
11	BIBLIOGRAFIA	24
12	ANNEX DE DOCUMENTACIÓ. CàLCUL DEL BALANÇ HÍDRIC	25
12.1	Càlcul de l'evapotranspiració	26
12.1.1	Generalitats.....	26
12.1.2	Aplicació del mètode empíric de Thornthwaite.....	27
12.2	Càlcul de la pluja útil.....	29
12.3	Estimació del dèficit hídric.....	31

1 OBJECTIUS

L'objectiu del present estudi és el de resumir les precipitacions i temperatures recollides al Principat durant el 2008 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 2008 del territori andorrà mitjançant un balanç hídric de l'any hidrològic comprès entre l'1 de gener i el 31 de desembre del 2008.

2 INTRODUCCIÓ

De cara a elaborar el model de precipitació i temperatura de l'any 2008, 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, Confederación hidrogràfica del Ebro (CHE), FEDA, Servei meteorològic de Catalunya i Meteo France. Les dades usades són les proporcionades per les diferents entitats; en el cas dels registres facilitats 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 2008, 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 2008	
	Registres de precipitacions	Registres de temperatures
Ransol	12	12
Engolasters	12	12
Central	12	12
Salines*	12	12
Roc St Pere*	9	12
Envalira*	-	-
Les Pardines	11	0
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	10	10
La Seu d'Urgell SMC	12	12
Das-SMC	12	12
Hospitalet	12	12
Aulus les Bains	6	6
Nombre estacions:	17	17

Taula 3. Nombre de mesos usats en cada estació meteorològica. (*) El M.I. Govern d'Andorra no disposa de cap registre de l'estació d'Envalira. Els registres dels mesos d'octubre, novembre i desembre de les estacions de les Salines i Roc de St. Pere no estan validats.

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.

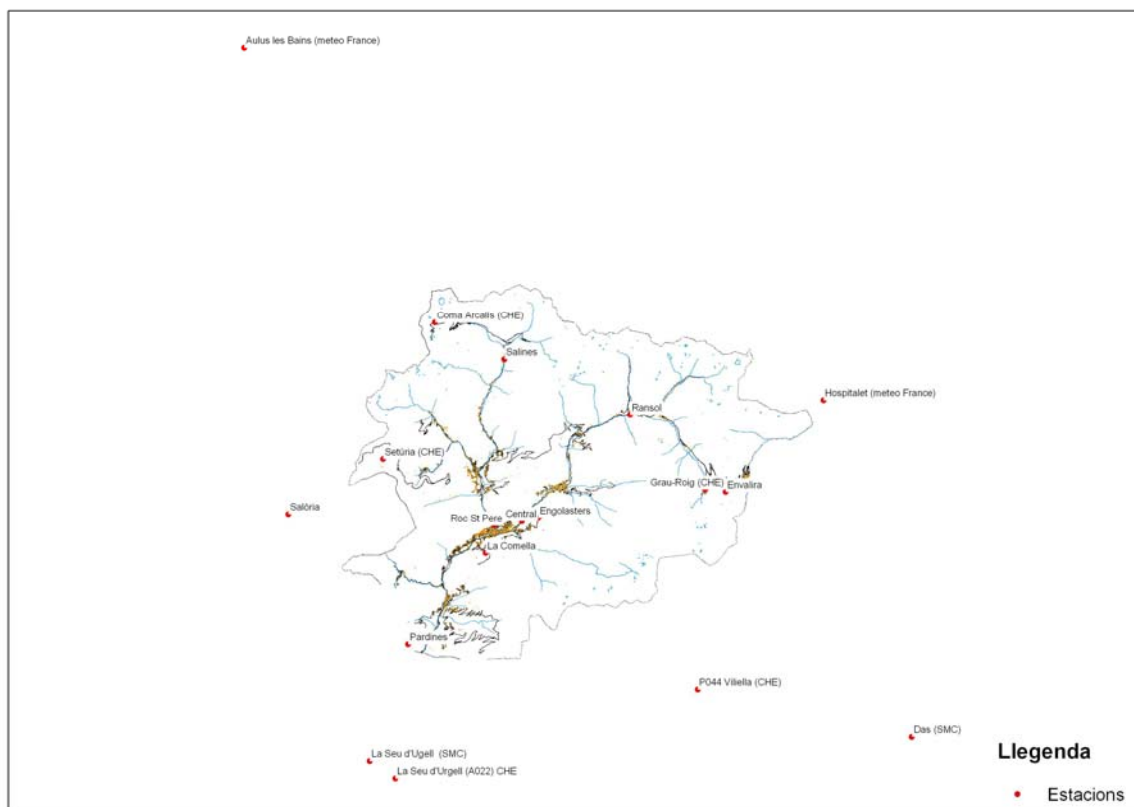


Figura 1. Situació de les estacions meteorològiques i estacions amb dades estimades usades en el present estudi

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
Bansol	542.751,0	31.243,7	1.840,0	55,0	32,0	81,9	151,6	190,3	85,6	62,8	8,9	79,6	33,6	135,4	17,8
Engolasters	536.691,5	24.409,0	1.840,0	10,7	1,2	45,4	92,2	174,8	103,7	44,9	16,9	78,7	35,2	129,4	19,6
Central	535.600,7	24.197,3	1.140,0	37,8	24,3	60,3	119,9	211,5	108,2	81,9	20,9	86,2	31,9	152,5	16,0
Salines	534.441,0	34.868,7	1.470,0	60,2	21,6	117,4	142,6	237,6	108,8	72,4	18,2	74,8	105,2	112,6	7,0
Roc St Pere	533.783,6	23.896,0	1.100,0	57,6	40,0	81,0	149,4	265,6	107,6	70,6	27,8	40,8			
Coma Arcaïls (CHE)	529.849,5	37.305,2	2.235,0	54,8	14,4	30,8	126,8	207,8	121,6	65,6	19,2	77,2	51,2	201,6	3,8
Setúria (CHE)	526.415,8	28.294,5	1.910,0	50,0	30,8	27,6	136,9	200,0	90,0	54,6	7,4	63,6	68,6	188,6	12,0
Grau-Roig (CHE)	547.722,7	26.302,4	2.100,0	29,4	9,4	29,6	65,4	152,2	37,2	57,4	33,2	83,8	34,4	59,6	18,0
Pardines	529.064,9	16.010,3	1.500,0	30,7	24,7	>38,5	129,5	202,8	69,0	46,4	54,9	86,3	85,3	85,4	22,6
Envalira	549.058,1	26.136,9	2.550,0												
La Seu d'Urgell (A022) CHE	527.232,2	7.154,7	696,8	23,4	15,0	38,2	102,0	166,4	42,4	38,6	6,4	52,0	60,2	92,6	26,4
P044 Villetta (CHE)	547.217,8	13.050,8	1.557,0	23,4	9,2	42,6	107,2	157,6	62,6	42,6	55,6	37,8	29,4	85,6	22,2
La Seu d'Urgell (SMC)	525.529,6	8.296,5	849,0	23,6	16,0	37,6	110,8	177,0	42,4	46,8	15,8	58,0	84,6	87,2	24,6
Das (SMC)	561.375,9	9.888,5	1.096,0	18,2	7,2	37,8	70,6	174,2	42,4	27,8	51,8	46,6	70,0	82,4	18,7
Hospitalet (meteo France)	555.535,4	32.202,4	1.425,0	78,1	25,3	119,3	140,6	189,3	93,7	83,8	53,9	74,2	116,8	205,6	80,7
Aulus les Bains (meteo France)	517.231,5	55.527,0	733,0	118,5	28,4	>172,9	>83,5	119,4	>251,5	>54,8	77,6	75,2	>114	256,0	>79,5
Salòria	520.143,8	24.663,5	2.445,0	67,1	45,2	88,0	>121,2	>280,5	95,5	40,9	8,9	61,2	128,2	149,2	24,2
La Comella	533.197,0	22.055,0	1.262,0	54,6	32,4	74,8	183,8	174,8	123,0	61,5	41,6	83,3	94,0	140,5	19,0

Nota: en cursiva s'indica valors no utilitzats en el model

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
Ransol	542.751,9	31.243,7	1.640,0	1,2	1,2	1,7	4,0	7,0	11,2	14,6	15,3	10,8	7,0	0,9
Engolasters	536.681,5	24.408,0	1.640,0	4,4	3,6	3,2	5,4	8,0	14,4	16,2	17,2	12,2	8,6	2,7
Central	535.600,7	24.197,3	1.140,0	4,8	5,1	5,7	8,2	10,7	15,2	18,1	18,7	13,9	10,5	4,8
Salines	534.441,0	34.868,7	1.470,0	3,7	3,6	2,9	6,0	8,7	12,7	15,5	15,9	11,5	8,3	2,7
Roc St Pere	533.783,6	23.896,0	1.090,0	6,4	6,7	6,6	9,4	12,1	16,6	19,6	20,5	15,8	12,0	5,9
Coma Arcalis (CHE)	529.849,5	37.305,2	2.235,0	-1,1	-1,8	-3,5	-0,2	2,6	6,9	11,1	11,2	6,5	3,2	-3,4
Setúria (CHE)	526.415,8	28.284,5	1.910,0	0,4	-0,6	-1,3	1,4	4,0	8,1	11,1	11,4	7,0	4,0	-2,0
Grau-Roig (CHE)	547.722,7	26.302,4	2.100,0	1,3	0,5	-1,4	2,1	5,5	9,5	13,1	13,5	8,6	5,5	-1,3
Envalira	549.058,1	26.136,9	2.250,0											
La Seu d'Urgell (A022) CHE	527.232,2	7.154,7	696,0	5,3	6,6	7,2	10,4	13,5	17,6	21,0	21,4	16,6	12,4	5,8
PD44 Vilella (CHE)	547.217,3	13.050,8	1.557,0	3,9	3,5	2,8	6,0	8,5	12,8	16,1	16,7	11,7	8,4	2,5
La Seu d'Ugell (SMC)	525.529,6	8.296,5	849,0	5,6	6,4	7,0	10,1	13,3	17,6	21,0	21,7	16,3	12,3	5,7
Das (SMC)	561.375,9	9.888,5	1.096,0	3,1	4,2	4,4	7,6	10,6	14,2	17,8	18,6	13,5	9,6	3,2
Hospitalet (meteo France)	555.535,4	32.202,4	1.425,0	5,0	6,4	3,2	7,2	10,7	13,5	16,0	16,6	12,2	9,6	2,7
Aulus les Bains (meteo France)	517.231,5	55.527,0	733,0	4,5	6,5			13,2			17,3	14,6		4,2
Salòna	520.143,8	24.663,5	2.445,0	-0,7	-1,0	-4,2	-0,9	2,2	6,5	10,7	11,0	6,0		
Comella	533.197,0	22.055,0	1.262,0	5,4	5,9	6,0	8,8	8,0	15,9	19,0	19,7	14,7	11,3	5,2

Taula 5. Dades de temperatura usades

5 TRETES GENERALS DE LA PLUVIOMETRIA DE L'ANY HIDROLÒGIC 2008

L'any 2008 presenta una pluviometria que oscil·la entre els 504 i els 1700 mm, amb un valor mig de 997,76 mm. En el conjunt del territori s'interpreta valors entre mitjos i alts, tot i com és d'esperar els valors màxims es detecten al nord del Principat, coincidint amb l'existència dels cims més alts. No obstant es detecta una anomalia pluviomètrica amb unes precipitacions per sota de la mitjana en el sector comprès entre Engolasters i Grau Roig. En l'anàlisi mensual dut a terme per elaborar el model anual de distribució de les precipitacions s'observa que l'estació d'Engolasters presenta valors en conjunt inferiors als de Central-FEDA i Ransol-FEDA, i que l'estació de Grau Roig té valors intermitjos entre l'estació catalana de Viliella i l'estació de Ransol-FEDA.

Amb l'objectiu de contrastar el model s'ha consultat les dades no oficials facilitades per les estacions d'esquí de Soldeu i del Pas de la Casa, i les dades facilitades pel CENMA de l'estació de Perafita que encara està en període de proves. Cap de les dades no han donat valors que contradiguin el model obtingut.

En la **figura 2** es mostra el model de distribució de les precipitacions de l'any 2008.

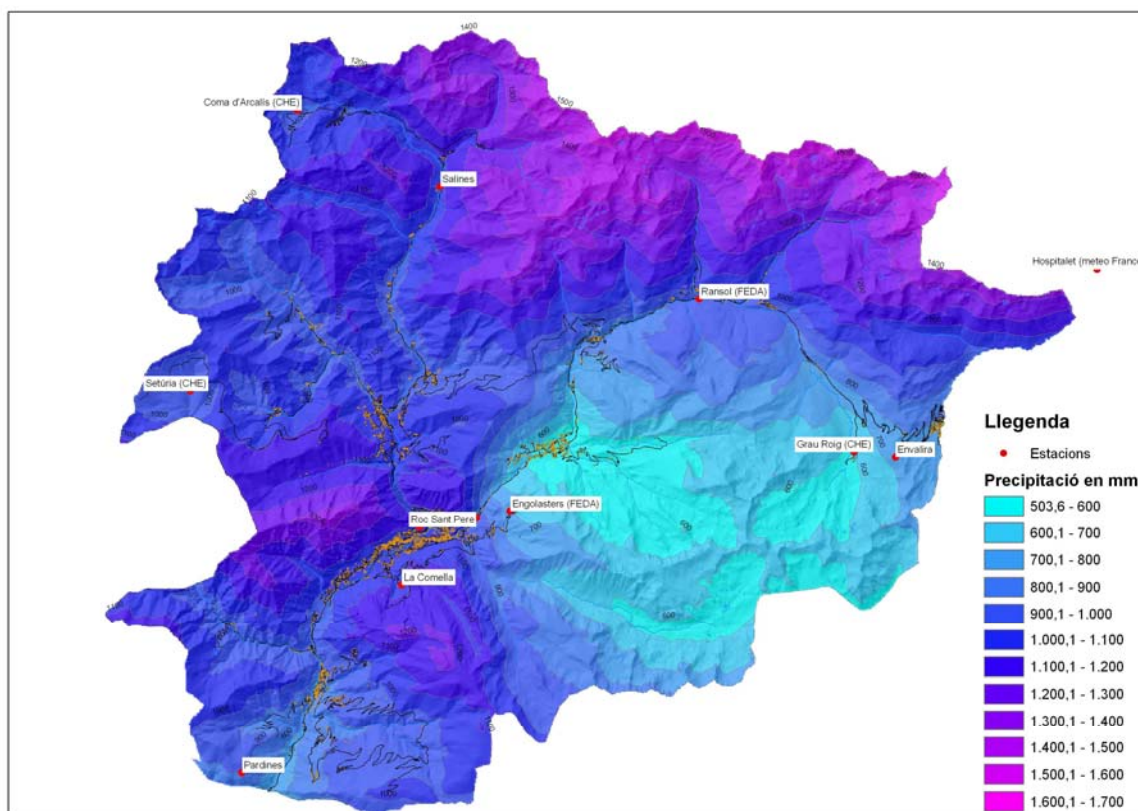


Figura 2. Mapa d'isoietes de les precipitacions acumulades el 2008.

La precipitació mitja del 2008 es calcula que és de 997,76 mm. Si es comparen les precipitacions acumulades el 2008 amb la mitjana climàtica (valorat amb 996,39 mm), s'observa que les precipitacions del 2008 són entre un 57 i un 100% en el sector Est del territori, i entre un 100 i 160% en la resta del territori, sobretot en una franja central Nord-Sud.

En la **figura 3** es mostra el resultat de relacionar les precipitacions del 2008 amb la mitjana climàtica.

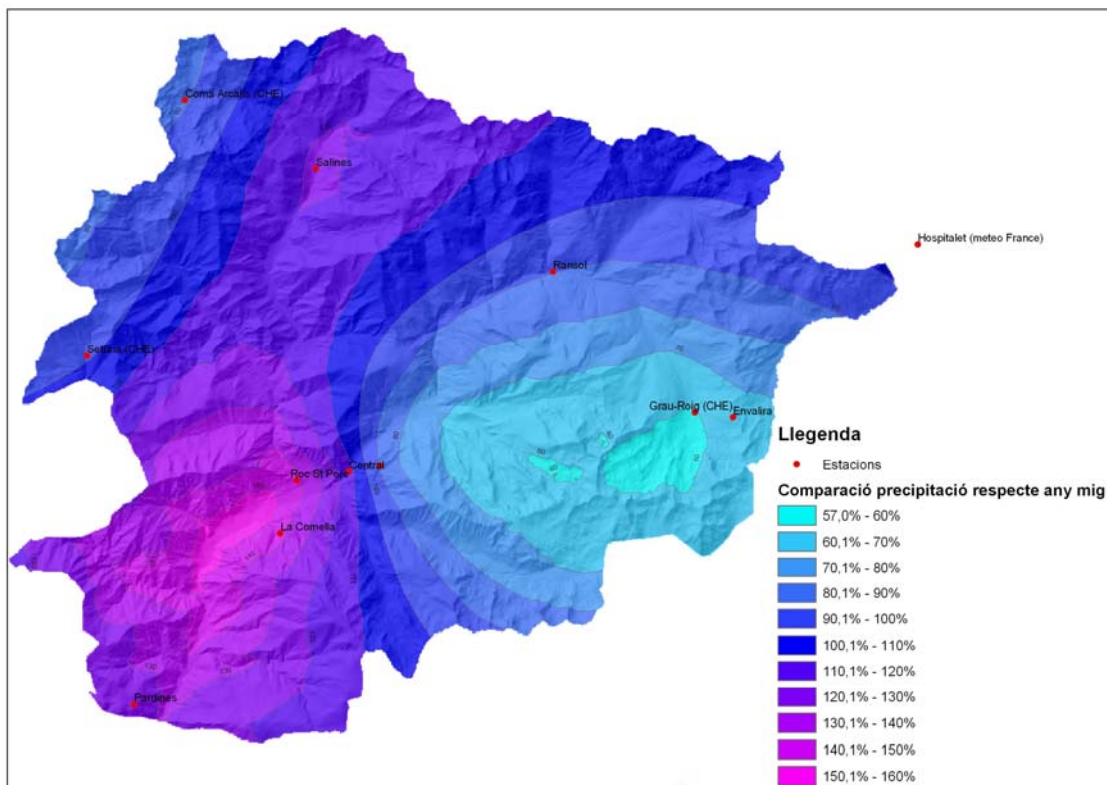


Figura 3. Mapa comparatiu de les quantitats acumulades registrades el 2008 i els corresponents valors mitjans.

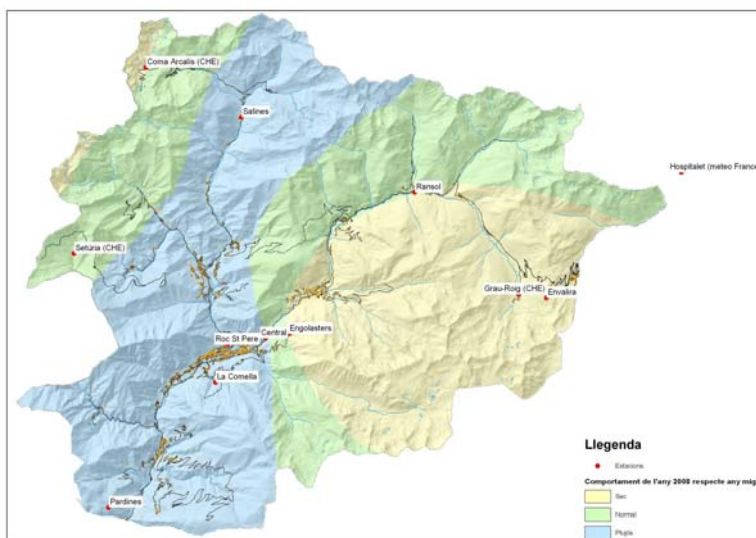


Figura 4. Mapa de distribució de la valoració de les precipitacions de l'any 2008 respecte la mitjana

Segons el model de distribució de les precipitacions de l'any 2008 s'ha enregistrat valors variables segons la zona, així mentre en el sector oriental el model indica que les precipitacions han estat menors a les mitjanes, podent-se classificar com un any sec, la franja Nord-Sud es classifica com plujosa, i la resta del territori s'interpreta que ha tingut un any normal.

En base als informes del Servei meteorològic català, en el Pirineu català occidental, l'any 2008 s'han registrat precipitacions variables. Mentre que la primavera va ser plujosa, l'estiu es classifica com a sec i la tardor com a normal.

6 TRETOS GENERALS DE LA TEMPERATURA DE L'ANY HIDROLÒGIC 2008

L'any 2008 presenta una temperatura mitja anual que oscil·la entre els -3 i els 13°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.

En la **figura 5** es mostra el model de distribució de les temperatures de l'any 2008.

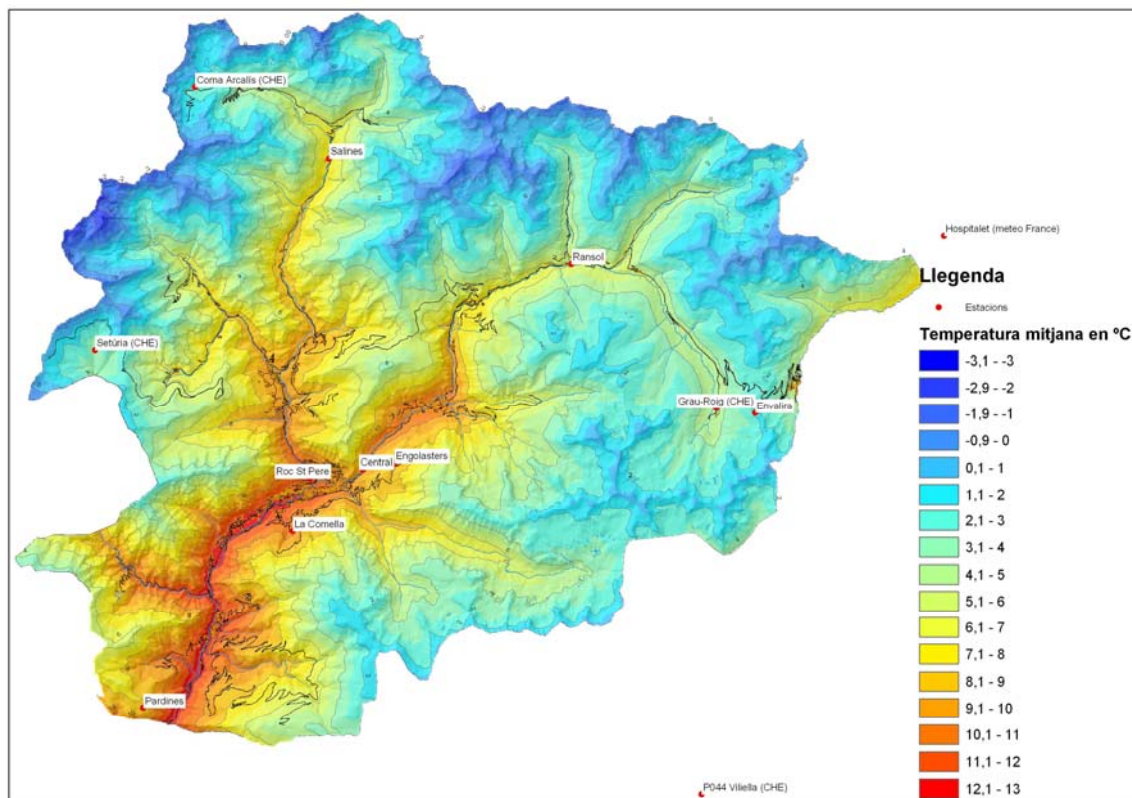


Figura 5. Mapa de distribució de les temperatures mitges del 2008

La temperatura mitja anual del 2008 es calcula que és de 4,41°C. Comparant la temperatura mitja anual amb la mitjana climàtica (valor de 4,08°C), s'observa dos sectors ben diferenciats, per una banda una franja NordOest-SudEst en la qual el 2008 ha presentat unes temperatures entre -0,8 i 0,5°C respecte la mitjana, i un segon sector, sobretot al Sud del país, que es caracteritza per haver tingut una temperatura entre 0,5 i 2,5°C per sobre la mitjana.

En la **figura 6** es mostra la relació entre la temperatura estimada pel 2008 i la mitjana .

Segons el servei meteorològic de Catalunya l'any 2008, les temperatures en el Pirineu occidental català han estat de normal-fredes.

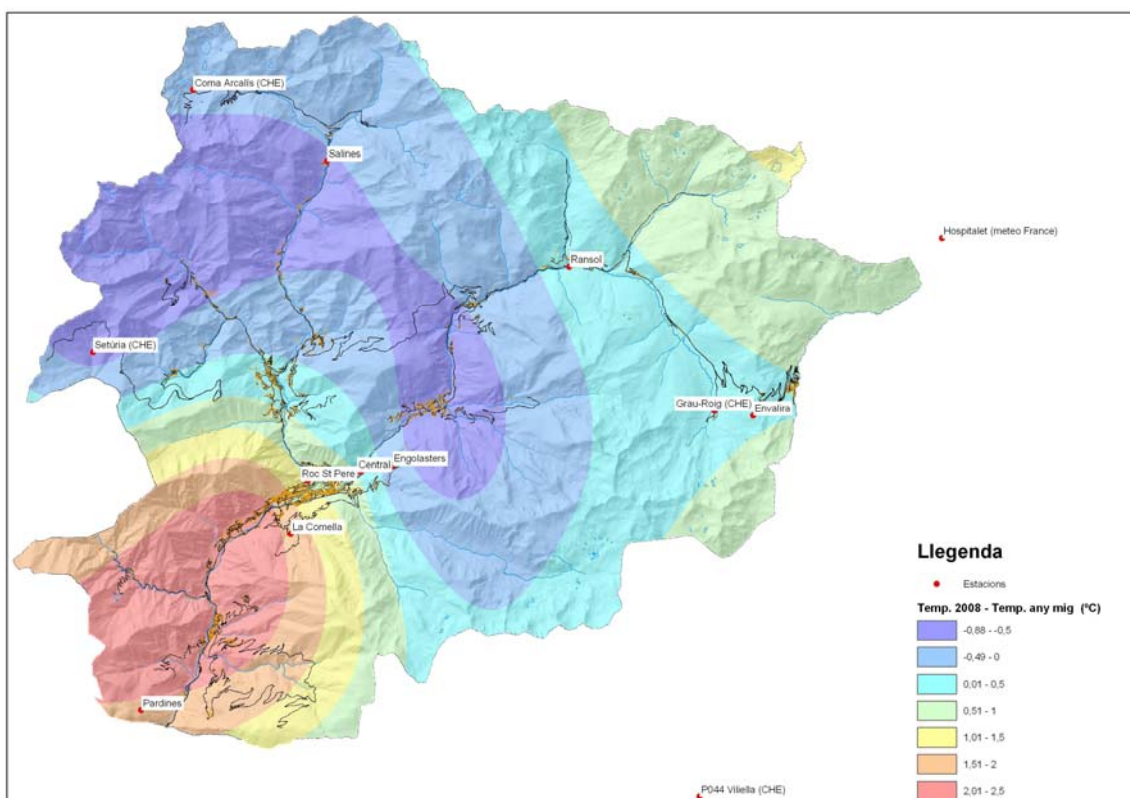
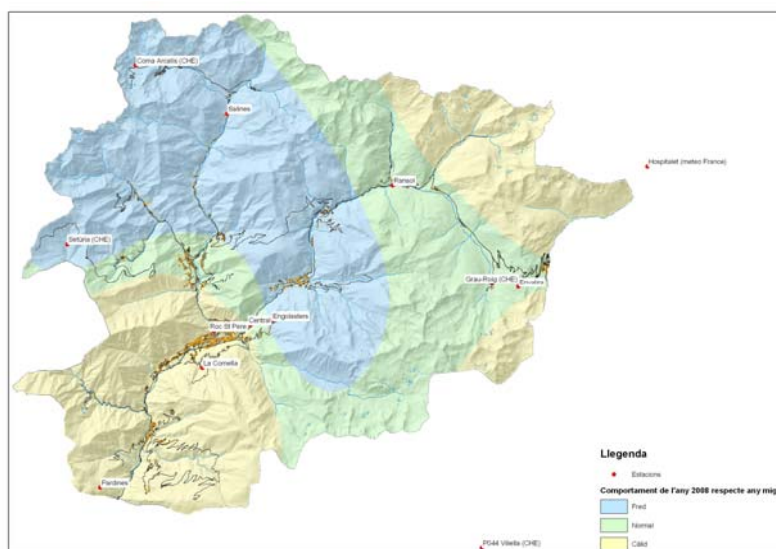


Figura 6. Mapa de les diferències de temperatura de l'any 2008 respecte la mitja.



En la **figura 7** es mostra el mapa amb les diferències de temperatures entre els registres del 2008 i la mitjana climàtica. Permet veure que l'any 2008 es pot classificar de normal-fred en la franja NordOest-SudEst (parròquies de la Massana, Ordino, Canillo i Encamp), i de càlid al sector Sud principalment (parròquia de Sant Julià i Andorra la vella).

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

7 CÀLCUL DEL BALANÇ HÍDRIC

De cara a estimar els recursos hídrics del 2008, 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
4,41°C	997,76 mm	365,73mm	631,22 mm	5,04 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 997,76 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 37% i la pluja útil el 63%. En el següent gràfic es mostra la distribució de les sortides segons el mètode de càlcul utilitzat.

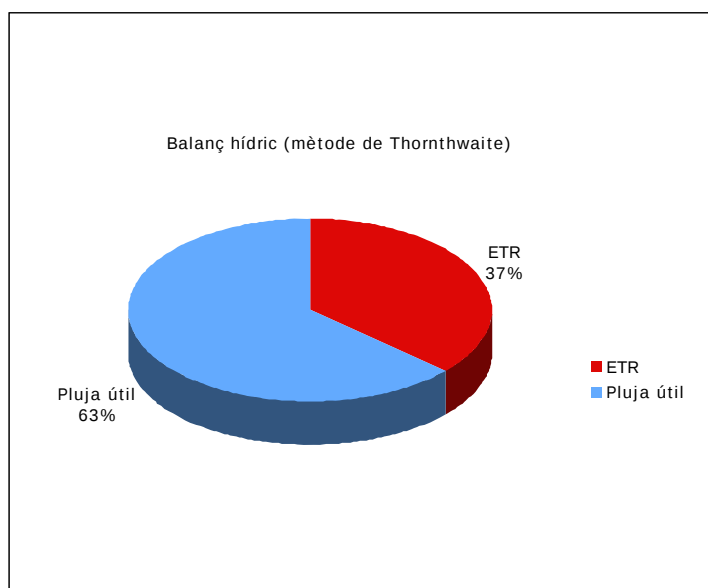


Figura 8. Balanç hídric segons Thornthwaite

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 2008 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(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.

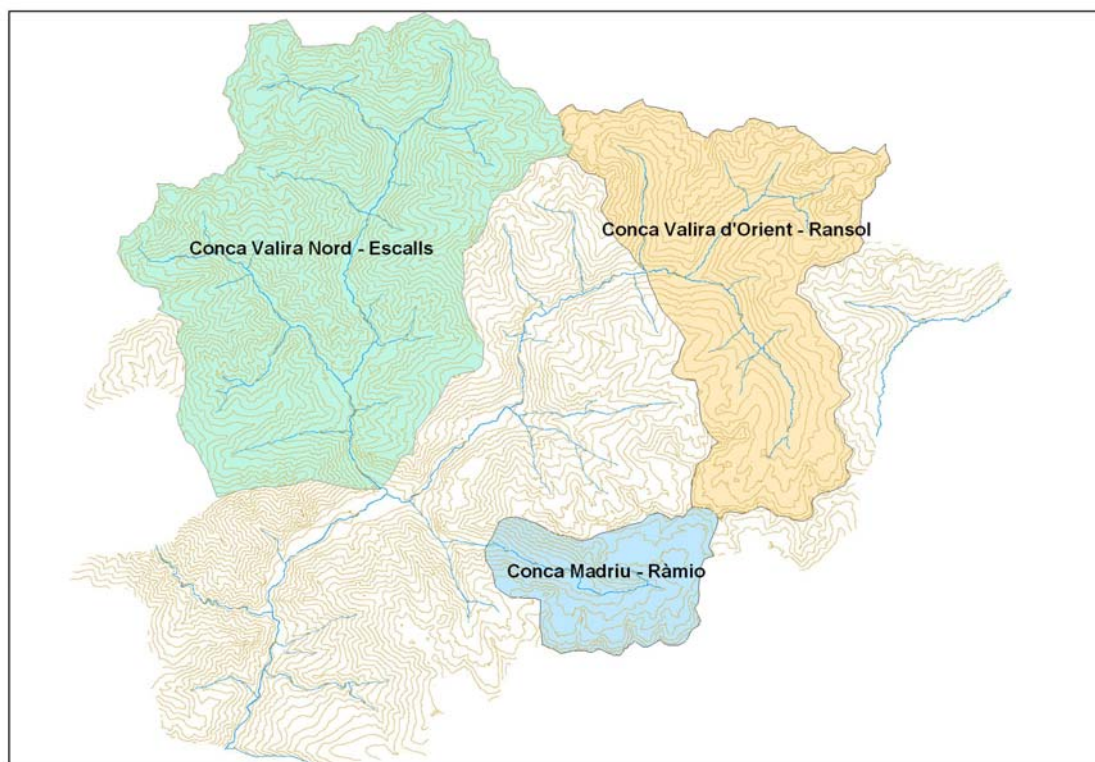


Figura 9. Mapa de situació de les conques estudiades de Valira Nord – Escalls, Conca Valira Orient Ransol i Conca Ràmiu – Madriu.

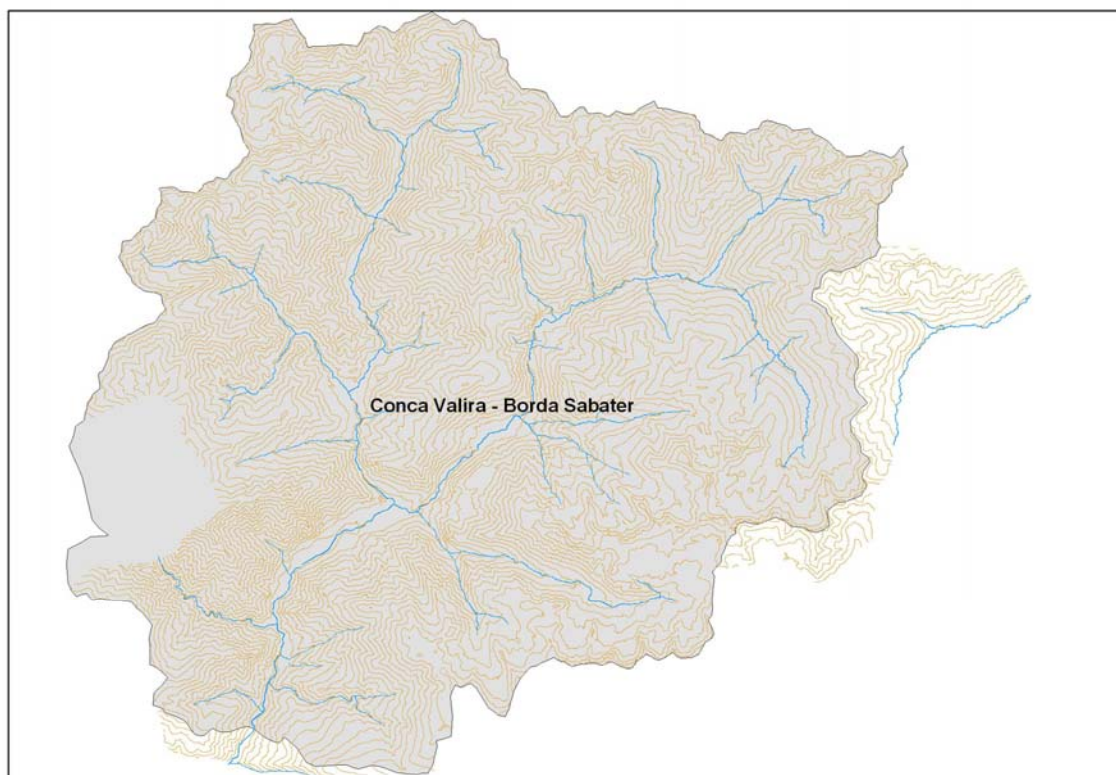


Figura 10. Mapa de situació de la conca Valira – Borda Sabater.

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 2008, segons dades facilitades pel ministeri responsable del medi ambient, és de 0,39 m³/s. El cabal del riu Gran Valira durant el 2008 vindria a ser d'11,1 m³/s. Aquest cabal, sumat amb el procedent de l'EDAR, suposa uns 11,49 m³/s, o sigui 362,3 Hm³/any, que repartit per la superfície de la conca hidrogràfica suposa 812,9 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 4,69 m³/s, o 147,9 Hm³/any. Aquest cabal, repartit per la superfície de la conca hidrogràfica suposa 1015,3 L/m²*any.

El cabal del riu Valira d'Orient a Ransol, segons dades facilitades per FEDA es calcula que és d'uns 2,52 m³/s, o sigui 79,43 Hm³/any. Aquest cabal, repartit per la superfície de la conca hidrogràfica suposa 970,3 L/m²*any.

El cabal del riu Madriu, segons dades facilitades per FEDA es calcula que és d'uns 0,49 m³/s, o sigui 15,4 Hm³/any. Aquest cabal, repartit per la superfície de la conca hidrogràfica suposa 591 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	11,49*	4,69	2,52	0,49
	Cabals Hm ³ /any	362	147,90	79,43	15,4
	Cabal específic (Qe) L/m ² *any	812,9	1015,3	970,3	591
Mètode de Thornthwaite	Pluja útil estimada L/m ² *any	636,43	769,39	728,63	320,00
	Variació respecte Cabal Qe (%)	-22%	-24,2%	-25%	-45,8%

Taula 8. Resum dels cabals registrats durant el 2008 en diferents conques hidrogràfiques i pluja útil estimada per cada conca. (*) Cabal del riu Gran Valira obtingut amb la mitja dels cabals de gener a novembre a falta de dades del mes de desembre del 2008. No s'ha vist convenient estimar el cabal mig del desembre en base a registres d'anys anteriors (2005, 2006, 2007) per què van ser anys amb unes precipitacions molt inferiors a les del 2008.

La pluja útil calculada mitjançant el mètode de Thornthwaite és en tots els casos analitzats inferior als cabals aforats, entre un -22 i -46% per sota. En els punts amb cabals superiors (Valira del Nord i Valira d'Orient) s'obté valors de pluja útil superiors. En el punt del Madriu, amb cabals baixos, s'obté valor de pluja útil baix.

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:

- 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.

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 2008 d'uns 329,39 Hm³/any, calculats mitjançant el balanç hídric amb el mètode de Thornhwaite, i d'aquests, 296,45 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 2008 representa uns 295,22 Hm³/any. D'aquests, 265,7 Hm³/any serien disponibles, reservant-se el 10% com a cabals "ecològic".

**Taula 9. Resum
balanç hídric de les unitats
hidrogeològiques de l'any
2008**

Nom	Superfície (Km2)	P_2008 (mm)	ETR_2008 (mm)	Pluja útil o Excedents_2008 (mm)	Pluja útil. Any mig (mm)	Pluja útil_2008 (Hm3/any)	*Pluja útil disponible_2008 (Hm3/any)
Arinsal	16,55	1016,9	272,0	752,2	838,57	12,451	11,2
Ariège	40,30	1064,8	368,4	697,8	650,19	28,123	25,3
Coll de la Gallina	17,32	1004,6	454,8	543,2	277,70	9,410	8,5
Conca d'Ers	15,15	1016,6	387,9	654,6	420,17	9,916	8,9
Conca de Setúria	6,66	986,6	277,8	720,5	582,19	4,802	4,3
Cubeta Encamp	0,77	571,1	360,9	186,3	141,65	0,143	0,1
Cubeta d'Andorra	2,27	1033,2	530,3	484,9	143,52	1,100	1,0
Cubeta d'Incles	0,40	1115,9	397,0	723,7	705,14	0,289	0,3
Dels Orris	12,73	622,4	305,1	293,7	471,98	3,739	3,4
El Forn	2,63	787,7	375,1	379,4	433,85	0,999	0,9
Encamp	9,83	756,3	382,4	354,3	343,92	3,483	3,1
Enclar	16,45	1121,9	461,8	666,2	300,84	10,959	9,9
Engolasters-Pessons	23,00	637,1	328,4	275,8	414,34	6,345	5,7
Estall Serrer	0,26	591,7	349,8	182,9	280,36	0,047	0,0
Juclar	17,45	1367,5	334,2	1033,3	980,47	18,030	16,2
La Bartra	0,23	757,9	467,6	288,6	163,84	0,066	0,1
La Cortinada-Sornàs	0,24	968,6	471,5	528,0	221,49	0,127	0,1
Llorts - Arans	0,43	983,8	472,9	542,7	241,94	0,236	0,2
Madriu	40,12	763,5	341,9	406,6	444,54	16,315	14,7
Montmalús	7,59	618,7	290,4	329,7	595,26	2,504	2,3
Ordino	16,96	1061,9	420,8	664,0	427,74	11,262	10,1
Padern	6,04	1038,4	487,4	571,6	299,86	3,453	3,1
Pardines	8,81	885,9	469,0	386,2	195,53	3,401	3,1
Pla de l'Ingla	0,10	578,1	333,5	187,3	323,32	0,018	0,0
Prat Primer	13,96	1112,1	460,4	650,2	368,68	9,074	8,2
Pui Olivesa - Runer	0,40	777,8	491,0	257,7	95,12	0,103	0,1
Riu Muntaner	6,75	1193,3	432,5	788,1	381,21	5,320	4,8
Ràmio	0,23	725,9	429,6	247,5	219,18	0,057	0,1
Salines	18,40	1140,8	358,3	791,0	580,04	14,555	13,1
Sant Julià	33,32	986,7	439,3	533,7	331,97	17,783	16,0
Sornàs-Pont d'Ordino	0,26	968,0	475,7	522,3	205,33	0,135	0,1
Valira del Nord	45,88	1226,2	336,2	892,4	693,98	40,946	36,9
Òs de Civís	17,17	1161,6	353,0	824,9	429,94	14,167	12,8
Coma Ransol	0,10	1204,4	378,1	826,6	719,38	0,081	0,1
Valira d'Orient	77,70	995,6	319,2	676,9	752,28	52,597	47,3
Montaup	16,99	1098,1	353,8	745,7	615,61	12,672	11,4
Cubeta Montaup	0,29	868,4	330,9	528,7	491,54	0,152	0,1
Aldosa	7,71	1029,7	443,7	614,1	372,61	4,737	4,3
Conca de Sispony	11,64	1113,0	399,3	742,5	397,20	8,645	7,8
Cubeta de la Massana	1,97	1030,9	475,1	585,4	215,24	1,154	1,0
RESUM	Superfície (Km2)	P (mm)	ETR (mm)	Pu_2008 (mm)	Pu_mitja(mm)	Pu_2007 (Hm3)	Pu disponible (Hm3)
	515,08	997,76	362,49	645,13	562,79	329,39	296,45

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

9.1 Resum dels resultats del balanç hídric del 2008 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:

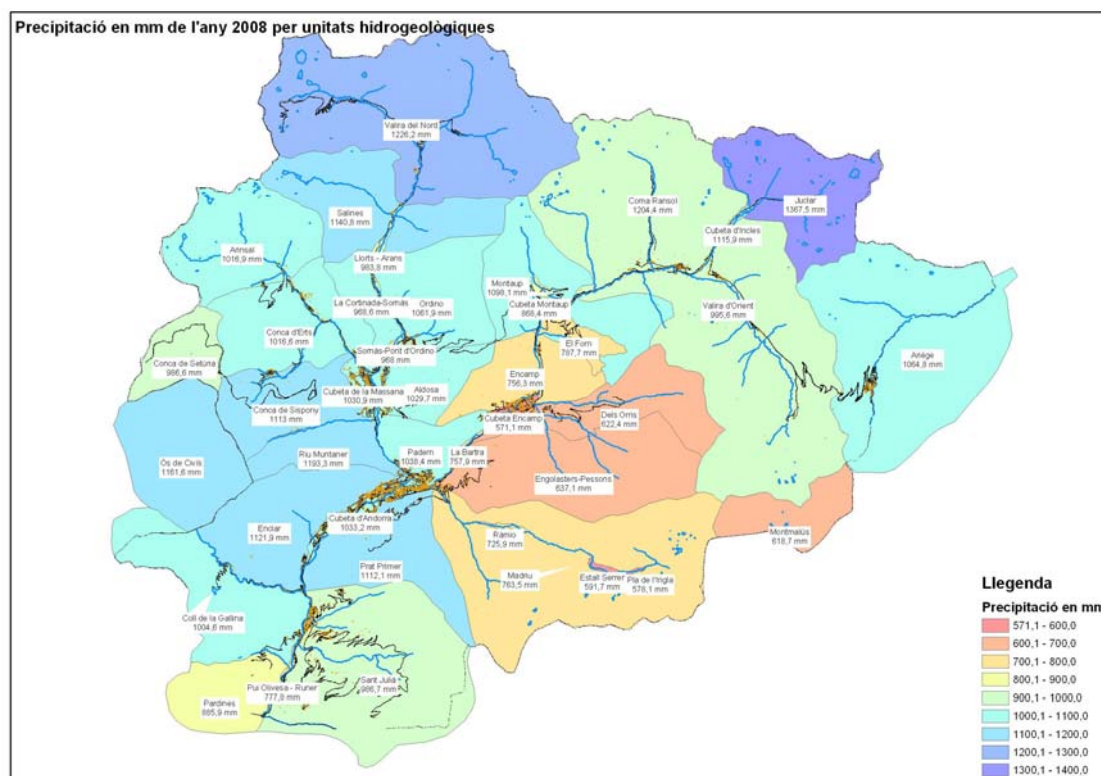
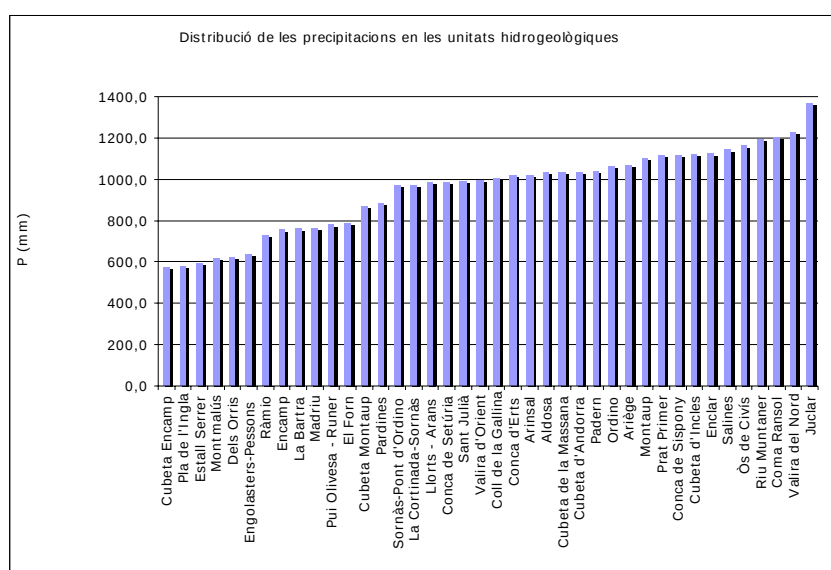
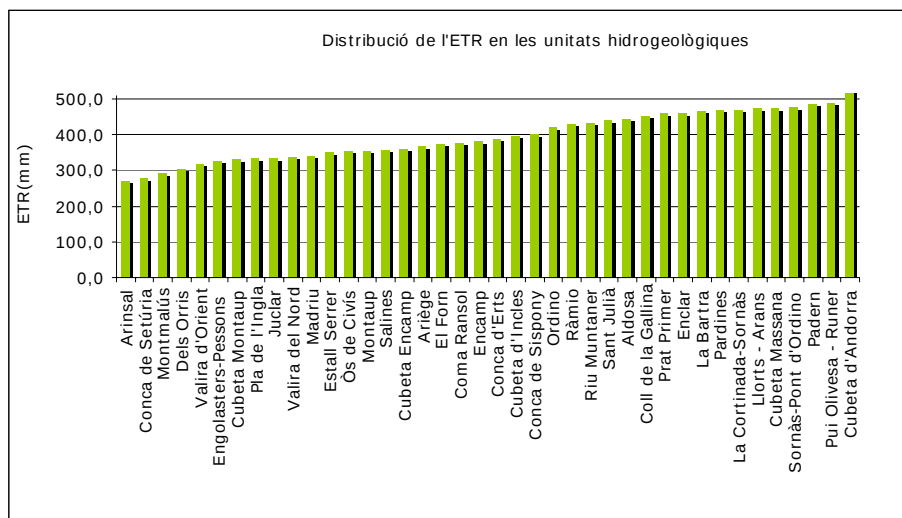


Figura 11. Mapa de distribució de les precipitacions en les diferents unitats hidrogeològiques descrites en l'estudi del M.I. Govern, 2007



Les unitats amb precipitacions més baixes són les de fons de vall i les emplaçades entre Engolasters, el Madriu i Grau Roig. Les unitats amb valors màxims són les que avarquen el massís d'Enclar i els cims més alts del nord.

Figura 12. Gràfic de les precipitacions



En relació a l'ETR, s'observa que és més alta en les unitats del Sud i centre del país, amb valors per sobre dels 430 mm, com ara Muntaner, Sant Julià, Pardines, Coll de la Gallina, Enclar, Prat Primer, Padern, i de fons de vall, com cubeta d'Andorra la Vella, cubeta de la Massana, cubeta de Llorts-Arans.

Figura 13. Gràfic de distribució de l'ETR

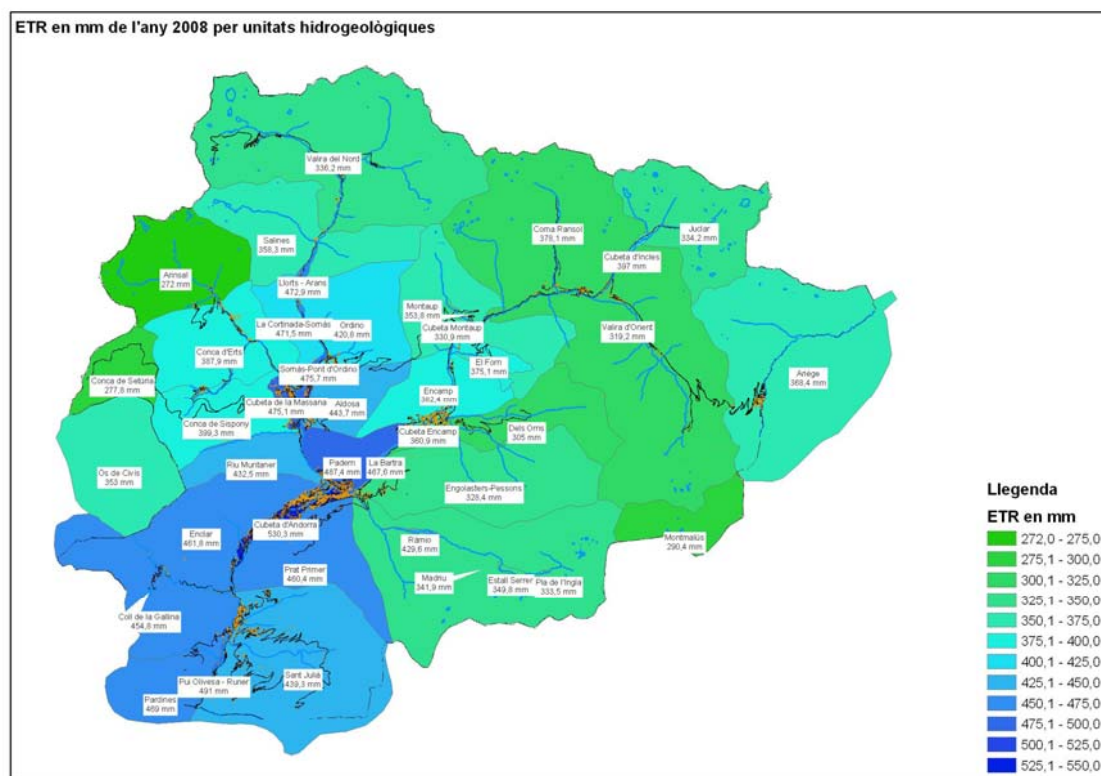
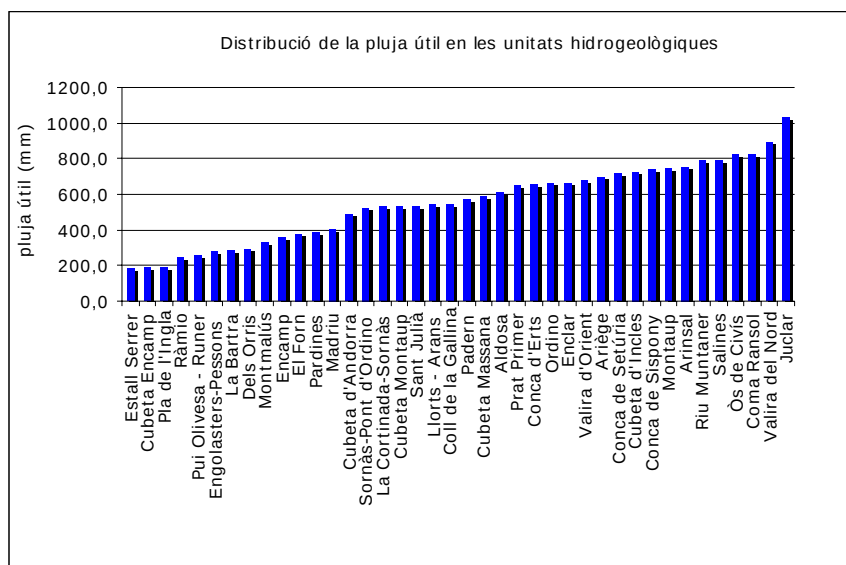


Figura 14. Mapa de distribució de l'ETR en les diferents unitats hidrogeològiques descrites en l'estudi del M.I. Govern, 2007



Les unitats amb valors de pluja útil inferior són les emplaçades en el sector Sud i Est del país, com es veu en la unitat d'estall serrer, cubeta d'Encamp, Pla de l'Ingla, Ràmio, la Bartra, Engolasters-Pessons, Pui Olivesa, ràmio, Orris, Pardines, i fons de vall com Sornàs-Pont d'Ordino i la Cortinada-Sornàs amb valors per sota dels 500 mm.

Figura 15. Gràfic de distribució de la Pluja útil

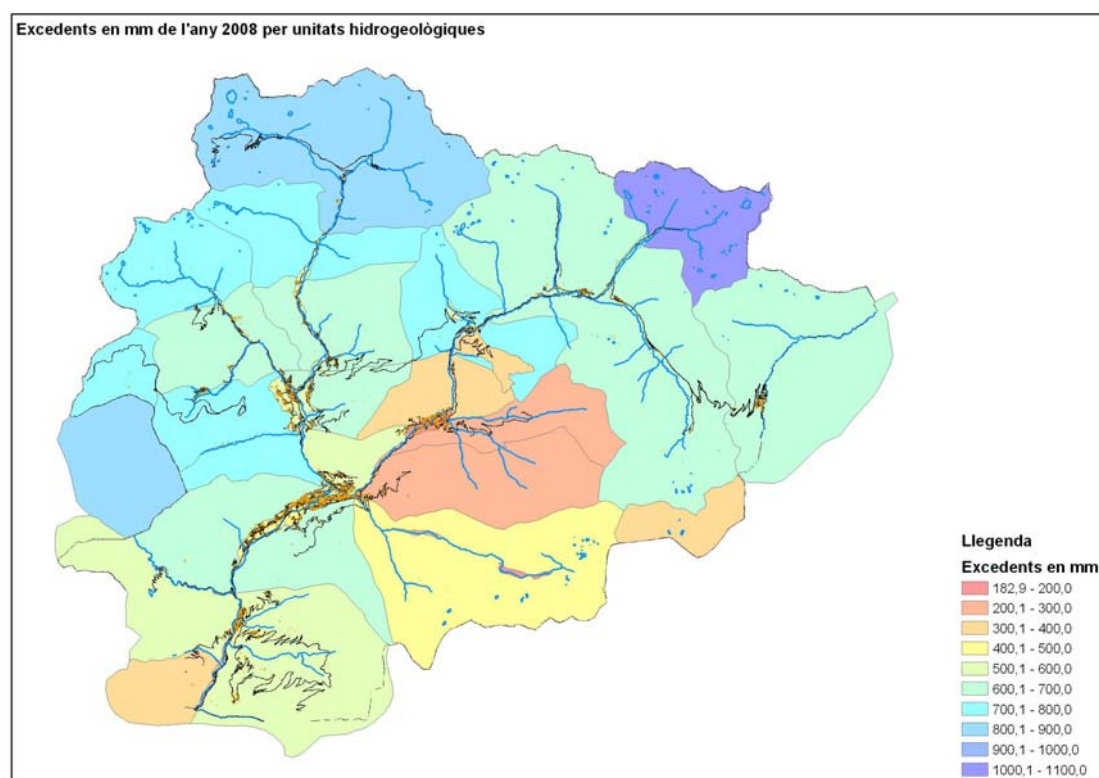


Figura 16. Mapa de distribució de la pluja útil en les diferents unitats hidrogeològiques descrites en l'estudi del M.I. Govern, 2007

10 CONCLUSIONS

L'any 2008 ha estat de normal-plujós en la franja Nord-Sud, i de sec en la franja més oriental del país, respecte la mitja de precipitacions de 30 anys (*Estudi de les aigües subterrànies del Principat d'Andorra, M.I. Govern d'Andorra 2007*) i de normal-fred en la franja NordOest-SudEst, i de càlid al sector Sud, respecte la mitja de temperatures de 30 anys.

S'ha estimat que les precipitacions del 2008 han estat respecte la mitjana de 30 anys d'entre un 57% i un 100% en el sector Est del territori, i entre un 100 i 160% en la resta del territori, sobretot en una franja central Nord-Sud. El mòdul de precipitació mig del territori estudiat s'estima que és de 997,76 mm, quan la mitja de 30 anys és d'uns 996,39 mm.

En relació a les temperatures s'observa dos sectors ben diferenciats, per una banda una franja NordOest-SudEst en la qual el 2008 ha presentat unes temperatures entre -0,8 i 0,5°C respecte la mitjana, i un segon sector, sobretot al Sud del país, que es caracteritza per haver tingut una temperatura entre 0,5 i 2,5°C per sobre la mitjana. La temperatura mitja del 2008 s'estima que és de 4,41°C quan la mitja de 30 anys és de 4,08°C.

En la resta del Pirineu català occidental, en relació a les precipitacions ha estat un any variable, amb períodes més plujosos (primavera), secs (estiu) i normals (tardor). En relació a les temperatures, en aquesta mateixa zona, s'ha tractat d'un any amb temperatures normals-fredes, 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/2008 és de 365,7 mm/any, i la pluja útil mitja és de 631,2 mm, amb valors mínims de 147 i màxims de 1390 mm. Respecte la mitjana de 30 anys, els recursos hídrics del 2008 han representat ser un 123% dels recursos mitjos calculats, que es van avaluar en 511,1 mm.

Repartit entre el territori andorrà (467,7 Km²), la pluja útil estimada mitja del 2008 representa uns 295,22 Hm³/any. D'aquests, 265,7 Hm³/any serien disponibles, reservant-se el 10% com a cabals "ecològic".

Per unitats hidrogeològiques s'observa que les emplaçades al Sud i Est del país així com unitats de fons de vall, són les que presenten valors de recàrrega d'aigua inferior, per sota dels 500 mm/any, associat a unes altes temperatures i baixes precipitacions.

11 BIBLIOGRAFIA

Àrea de Climatologia-Servei meteorològic de Catalunya. Informe sobre la precipitació mesurada a Catalunya durant l'any pluviomètric 2007-2008

Àrea de Climatologia-Servei meteorològic de Catalunya. Butlletí climàtic estacional. Hivern de 2007-2008

Àrea de Climatologia-Servei meteorològic de Catalunya. Butlletí climàtic estacional. Primavera de 2008

Àrea de Climatologia-Servei meteorològic de Catalunya. Butlletí climàtic estacional. Estiu de 2008

Àrea de Climatologia-Servei meteorològic de Catalunya. Butlletí climàtic estacional. Tardor de 2008

Govern d'Andorra (2008). Estimació de la pluja útil mitjançant balanç hídric. Any 2007

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

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, 12 de juny del 2009

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 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 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 2008 amb la reserva del darrer mes de l'any hidrològic anterior (any 2007). El valor de la reserva al mes de desembre del 2007 era de 24,91 mm segons l'estudi *Estimació de la pluja útil mitjançant balanç hídric. Any 2007*. Govern d'Andorra (2008).

El mapa de distribució de l'ETR anual (**figura 17**) presenta valors màxims de 550 mm, mínims de 127 mm i valors mitjos de 365,7 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. Les zones amb alta ETR es troben en el fons de les valls principalment.

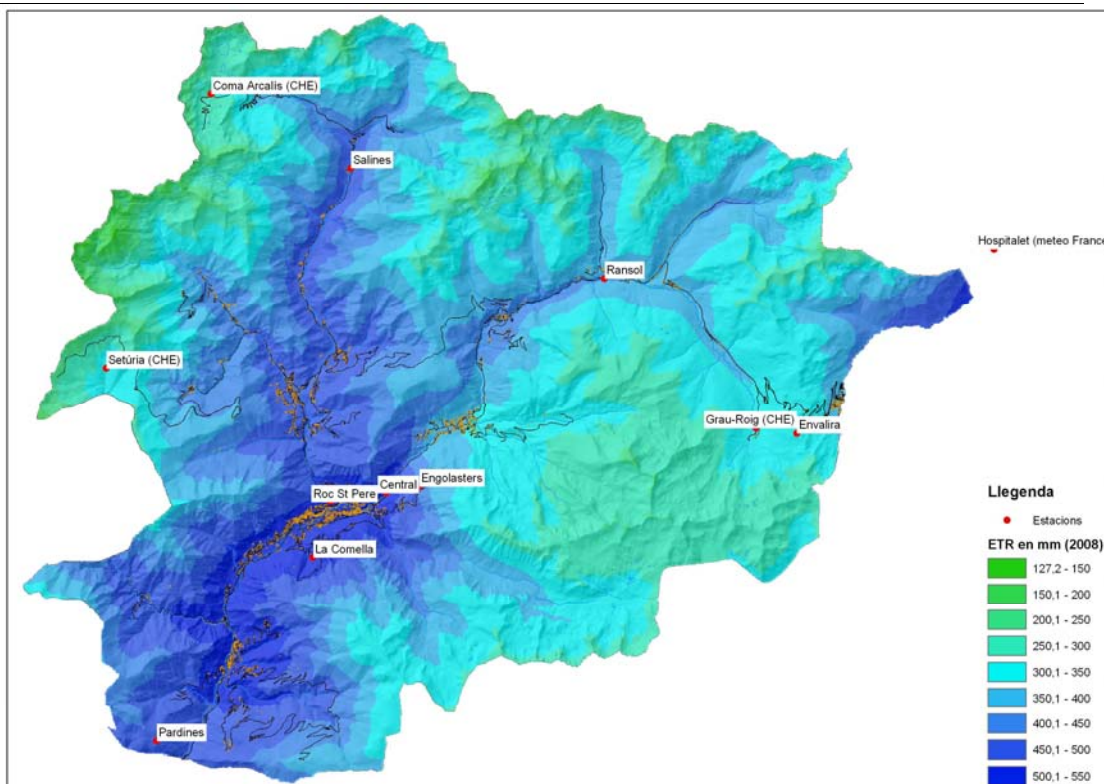


Figura 17. Mapa de distribució de l'ETR estimada per l'any 2008, segons el mètode de Thornthwaite.

L'anàlisi de l'ETP i ETR mitjançant Thornthwaite permet estimar que el darrer mes de l'any hidrològic 2008 (desembre 2008) finalitza amb una reserva de 29,95 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**).

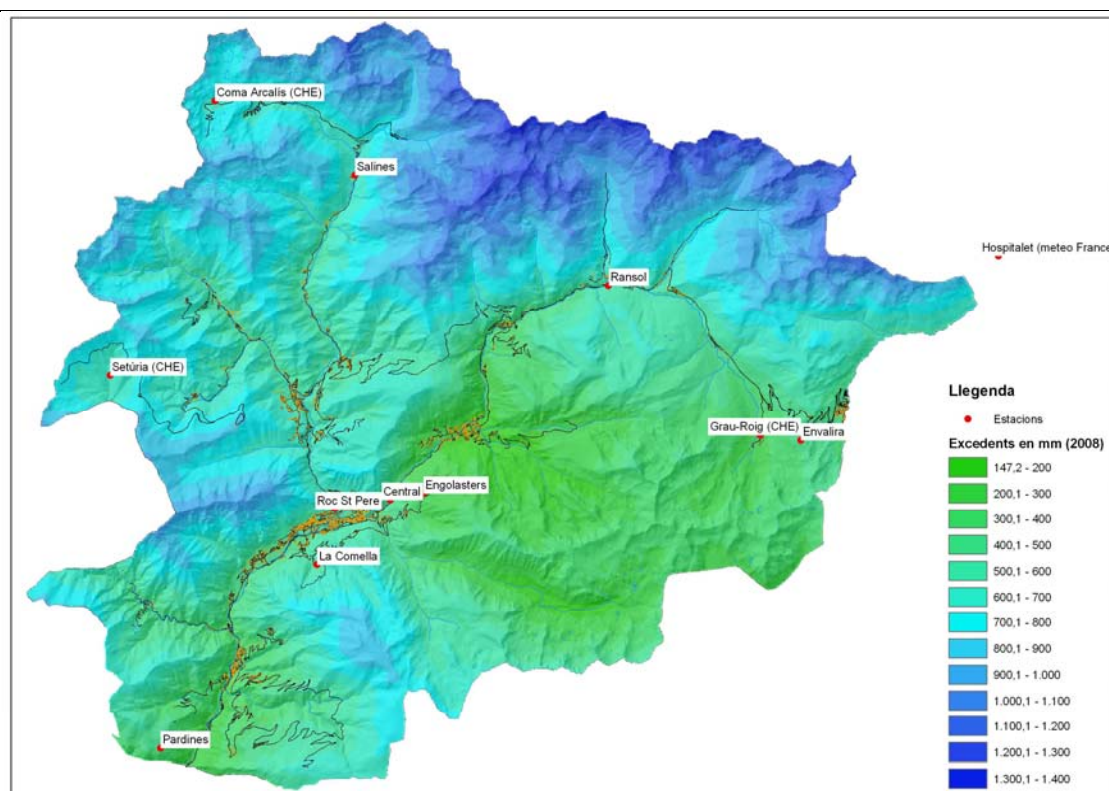


Figura 18. Mapa de distribució de la pluja útil o excedents estimats per l'any 2008. R= 30 mm seguint el mètode de Thornthwaite

El mapa d'excedents realitzat tenint en compte una reserva del sòl de 30 mm, presenta un valor mig és de 631,22 mm, un valor mínim de 147 mm, i el valor màxim és de 1390 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 ha estat mínim en la quasi totalitat del territori. Només en els fons de vall del valira d'Orient i Gran Valira és on es calcula dèficits més destacables, així com fons de vall del Madriu i sector dels Cortals d'Encamp, amb valors de fins als 288 mm, a la zona dels Cortals d'Encamp, i Encamp.

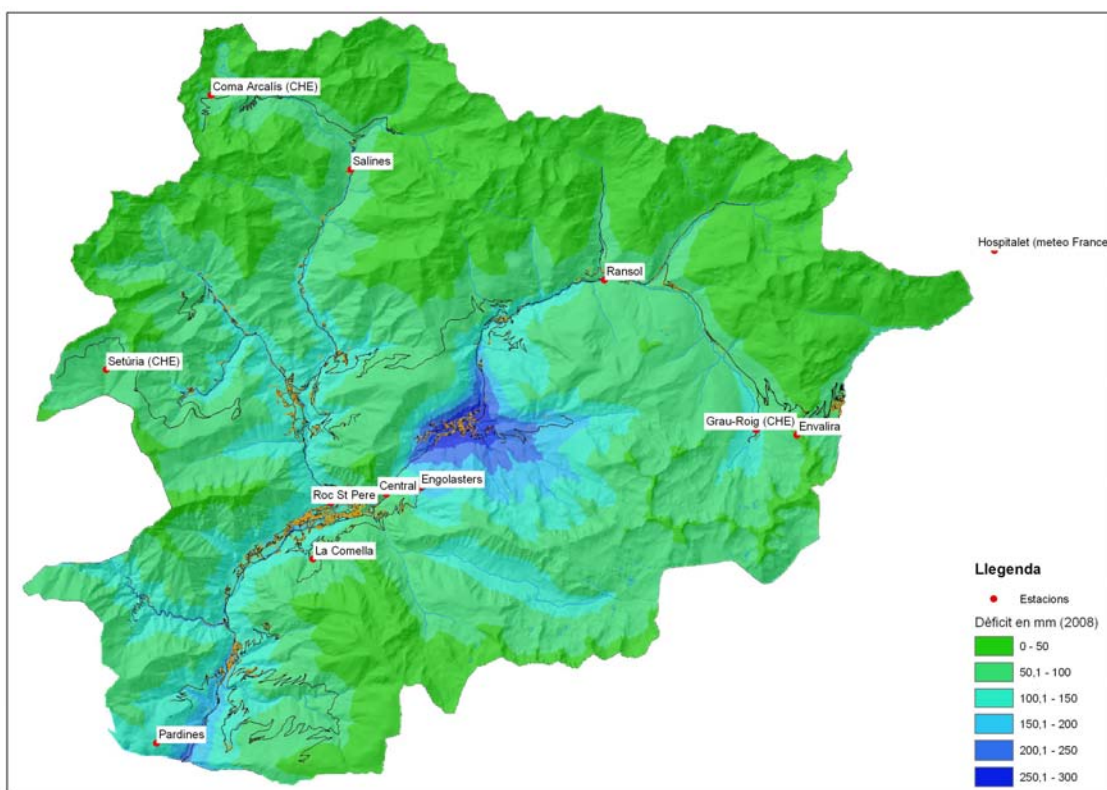


Figura 19. Mapa de distribució dels dèficits estimats per l'any 2008. $R = 30$ mm seguint el mètode de Thornthwaite. El mètode de càlcul ha consistit en la diferència entre ETP i ETR quan no hi ha reserva disponible.