



GOVERN D'ANDORRA
MINISTERI DE TURISME I MEDI AMBIENT

ESTUDI RELATIU A:

“LES AIGÜES SUBTERRÀNIES DEL PRINCIPAT D'ANDORRA”

Document: DOC 1. MODEL CLIMATOLÒGIC I BALANÇ HÍDRIC

Andorra la Vella, 30 d'agost de 2007

EXPED. DMA. 0423/05



ANNEX DE DOCUMENTACIÓ: ANÀLISI DEL BALANÇ HÍDRIC-CALIBRACIÓ	2
1 ESTACIONS METEOROLÒGIQUES.....	3
1.1 Recopilació i comprovació de les dades.....	4
1.2 Reconstrucció de sèries de dades meteorològiques	7
1.3 Precipitació.....	9
1.3.1 Distribució del mòdul pluviomètric	12
1.3.2 Règim pluviomètric	16
1.3.3 Gradient pluviomètric.....	17
1.3.4 Variació de la precipitació amb el temps.....	18
1.3.5 Càlcul de l'any sec i l'any humit	19
1.3.6 Intensitat de la pluja en 24 hores	20
1.4 Temperatures	21
1.4.1 Sèries i estacions de partida.....	21
1.4.2 Gradient tèrmic altitudinal	22
1.4.3 Reconstrucció de les sèries tèrmiques	23
1.4.4 Variabilitat de les temperatures mitjanes	24
1.4.5 Temperatures extremes.....	28
2 METODOLOGIA PER L'OBTENCIÓ DE MAPES CLIMATOLÒGICS	29
2.1. Mapes de temperatura	29
2.2. Mapes de precipitació	30
2.2.1. Determinació del gradient altimètric de la precipitació.....	31
2.2.2. Determinació de la influència de la orientació del vessant	31
2.2.3. Realització dels mapes de precipitació.....	31
3 CÀLCUL DEL BALANÇ HÍDRIC	35
3.1. Càlcul de la pluja útil o Excedents	35
3.1.1. Càlcul de l'evapotranspiració	35
3.1.1.1. Càlcul de l'evapotranspiració potencial i real pel mètode de Thornthwaite.....	37
3.1.2. Càlcul de la pluja útil.....	39
3.1.3. Càlcul del dèficit.....	42
3.1.4. Discussió del volum de la reserva del sòl a aplicar.....	42
3.2. Estimació de l'escolament directe. Nombre de corba	42
3.3. Determinació del tipus de precipitació	50
3.4. Ajust del mètode del nombre de corba	53
3.5. Mapes derivats del càlcul de balanç hídric.	53
4 BIBLIOGRAFIA.....	56

ANNEX DE DOCUMENTACIÓ: ANÀLISI DEL BALANÇ HÍDRIC-CALIBRACIÓ

1 ESTACIONS METEOROLÒGIQUES

El Principat d'Andorra com a país enclavat en la Serralada Pirinenca és un territori molt muntanyós, amb una altura mitjana rondant els 2000 metres i un elevat gradient altitudinal, en la qual la distribució de les valls i dels relleus dona lloc a una gran variabilitat d'orientacions, la qual cosa es tradueix en un clima força variat.

Per les seves característiques es pot incloure dins del tipus de clima entre muntanya mitjana i alta muntanya, amb influències mediterrànies en certes zones i influències atlàntiques en altres. Aquest tipus de clima ve marcat per la irregularitat i l'estacionalitat de les precipitacions, així com un gran contrast de temperatures.

De cara a elaborar el mapa de distribució de les precipitacions totals (líquides i sòlides) i temperatures s'ha procedit a recopilar totes les dades meteorològiques recollides al Principat d'estacions amb el 100% de dades del mes, així com en els països veïns (d'estacions emplaçades el més a prop de la zona d'estudi), des dels 1974 fins el 2005, a fi que quedin representades les condicions meteorològiques més recents, tal i com es recomana des de l'OMM. En la **taula 1** 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	534441.0	34868.7	1470	Ministeri d'Indústria
Roc St Pere	533783.6	23896.0	1090	Ministeri d'Indústria
Lycée	532521.2	23015.0	1000	Ministeri d'Indústria
Ansalonga	533104.7	30215.7	1307	Ministeri d'Indústria
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
La Seu d'Urgell	525529.6	8296.6	849	SMC
Das	561375.9	9888.5	1096	SMC
Bellver	553875.3	7769.2	1043	SMC
Hospitalet	555535.4	32202.4	1425	Météo France
Aulus les Bains	517231.5	55527	733	Météo France

Taula 1. 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), al Ministeri d'Indústria del 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.

La xarxa d'estacions meteorològiques i pluviòmetres del Principat no és gaire extensa. Tal com pot observar-se en la **figura 1** (situació de les estacions) s'aprecia com no queden cobertes totes les zones altitudinals i orientacions possibles, distingint-se àmplies àrees que no queden representades per cap estació.

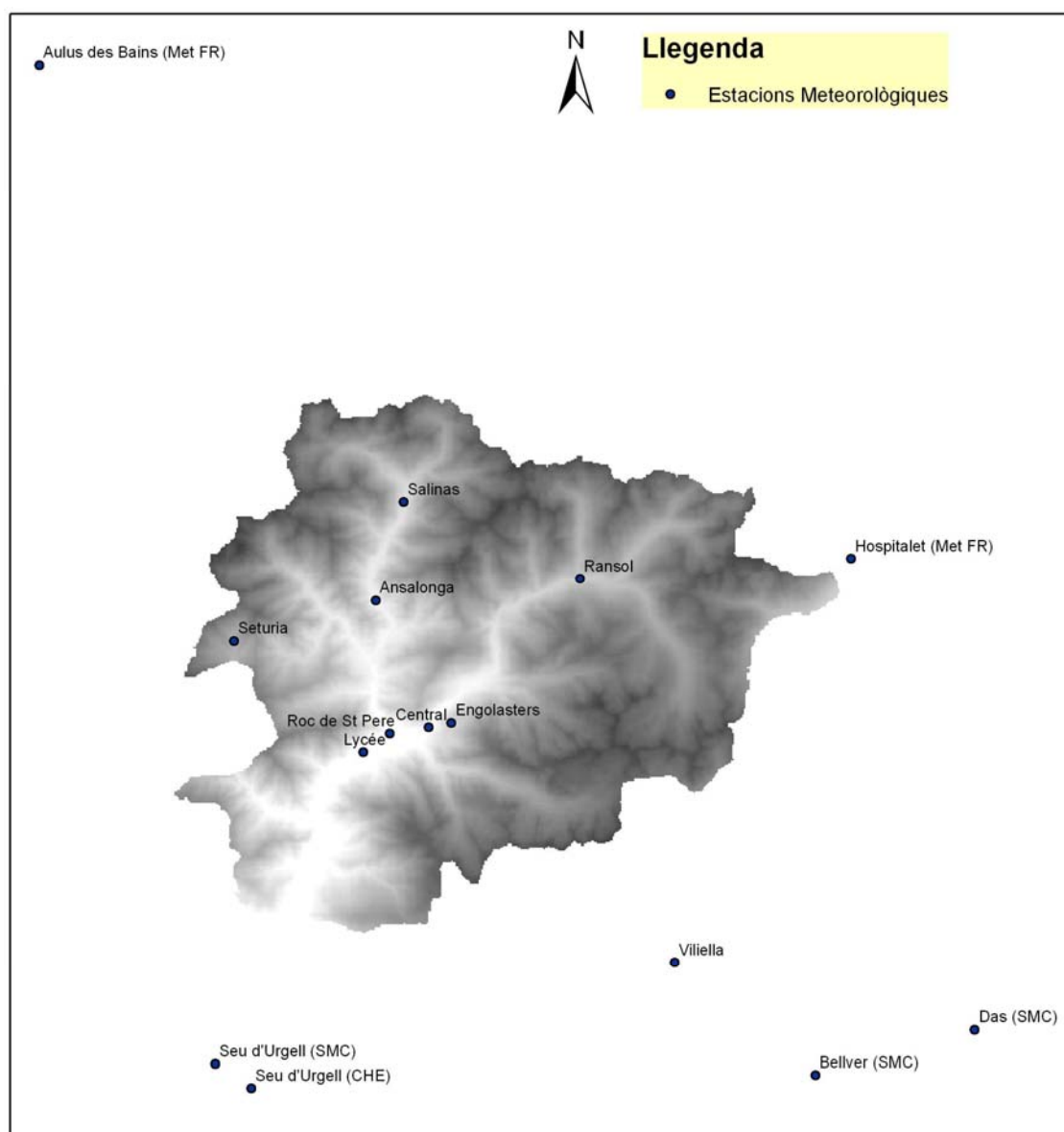


Figura 1. Situació de les estacions

Les estacions utilitzades en el present estudi han estat les recollides per les Forces Elèctriques d'Andorra (FEDA), pel Ministeri d'Indústria del Govern d'Andorra, i per la Confederación Hidrogràfica del Ebro (CHE), així com pel Servei Meteorològic de Catalunya (SMC), i el Service Météorologique de la France, totes les quals estan referenciades en les **taules 1 i 2**.

1.1 Recopilació i comprovació de les dades

Les sèries pluviomètriques i termomètriques obtingudes en aquests organismes són molt irregulars en quan a la seva extensió cronològica, així com també respecte a la cobertura en superfície de les estacions disponibles (**taula 2 i figura 1**).

Per a la determinació dels paràmetres hidrometeorològics necessaris per a la finalitat de l'estudi s'han utilitzat bàsicament les dades corresponents a les estacions de FEDA i del Ministeri d'Indústria d'Andorra, doncs són més llargues i completes cronològicament parlant, encara que presenten una menor densitat de cobertura superficial. Així mateix, per tenir dades extrapolables a tot el territori andorrà, s'ha precisat ampliar el nombre d'estacions, utilitzant-se les estacions de la xarxa del SMC, de la CHE i del Service Météorologique de la France situades a les rodalies del límit territorial d'Andorra.

Estació	Modul Pluviomètric	Anys
Ransol	1036.9	1974 - 2005
Engolasters	833.1	1974 - 2005
Central	840.8	1974 - 2005
Salines	818.3	1988 - 1991, 1993, 1995, 1999 - 2005
Roc St Pere	686.3	1986 - 1987, 1989, 1992 - 2005
Lycée	549.1	1989 - 1995
Ansalonga	821.4	1976 - 1995
Setúria	872.1	1998 - 2005
La Seu d'Urgell (CHE)	417.4	1998 - 2005
Viliella	533	2003 - 2005
La Seu d'Urgell (SMC)	592.6	1998 - 2003
Das	565.8	2002 - 2003
Bellver	538.1	1997 - 2002
Hospitalet	1194.8	1974 - 2005
Aulus les Bains	1635.8	1974 - 2005

Taula 2. Estacions meteorològiques utilitzades en l'estudi amb els anys de què es disposa i el valor del mòdul pluviomètric de cada estació.

En general les sèries de dades són força incompletes especialment pel que fa a certes estacions, algunes d'elles de zones de muntanya, de les que solament es disposa de dades de precipitació mensual i de molts pocs anys.

Amb l'objecte de comprovar la fiabilitat de les dades meteorològiques recopilades, s'ha procedit a un estudi complet de les precipitacions i temperatures de tot el Principat d'Andorra. L'objectiu d'aquest estudi és doble, per una banda comprovar la fiabilitat de les dades recollides i per l'altre verificar si s'han produït variacions significatives en els darrers anys.

El principal problema en l'anàlisi i tractament de les sèries de dades pluviomètriques i de temperatura és que són molt incompletes i de fiabilitat dubtosa en certs períodes temporals. Només les sèries de les tres estacions de FEDA són suficientment completes com per poder realitzar a partir d'elles càlculs i estimacions hidrometeorològiques de màxima fidelitat. Malauradament estan situades molt properes entre sí, per això ha estat necessari completar-les amb altres estacions, que no tenen però sèries tant completes. La qual cosa ha obligat a establir sèries virtuals a partir de les sèries completes de la FEDA mitjançant diferents mètodes de correlació de dades, seleccionant les estacions més representatives.

També s'ha tingut en compte en aquesta tria d'estacions i de longitud temporal de la sèrie, la influència de certes estacions sobre el total de la zona, ja sigui per la seva representativitat com per la seva situació respecte a les àrees de recàrrega. Així, s'han tractat amb especial cura les estacions de zona de muntanya, ja que per la seva situació es poden considerar com les més significatives a aquest respecte, tot i que alguna d'elles presenta seriosos dubtes en quan a la seva fiabilitat.

Per a comprovar la qualitat de les sèries pluviomètriques i de temperatura de les estacions s'ha utilitzat el mètode de les dobles acumulacions, que permet no tant sols detectar els errors produïts, sinó que a més proporciona informació sobre el possible origen dels mateixos.

L'ajust és òptim en pràcticament tots els observatoris utilitzats, com es pot apreciar en la **figura 2** on es presenta el gràfic de dobles acumulacions entre la precipitació anual de l'estació de Ransol i la d'Engolasters. S'observa com la correlació és molt elevada entre els anys 1974 – 1997 (tram inicial i central del gràfic), i com a partir d'aquest punt, que correspon als valors acumulats d'uns 25000 mm, s'aprecia una certa separació de la recta.

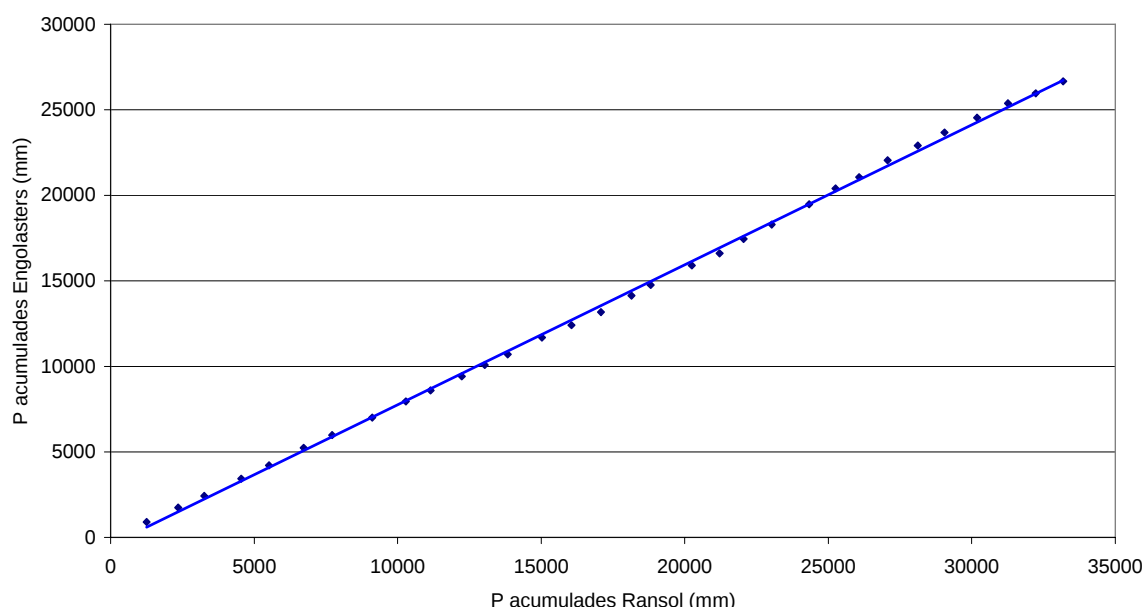


Figura 2. Gràfic de dobles acumulacions entre la precipitació anual a l'estació de Ransol i l'estació d'Engolasters

Aplicant mètodes de correlació lineal s'observa que la correlació entre estacions també és elevada, fins i tot, en estacions que estan sotmeses a règims climàtics contrastats. El valor del coeficient de correlació varia entre 0.55 en les estacions amb correlacions més baixes a valors superiors a 0.90 per les estacions més ben correlacionades (**figura 3**).

Per tant, s'han eliminat les sèries d'estacions meteorològiques que no ofereixen prou qualitat en quan a les seves sèries històriques, moltes d'elles corresponen a estacions situades en les pistes d'esquí. Aquestes estacions, que no s'han considerat, són les de Arcalís pistes, Arinsal, Pal, Soldeu, Grau Roig pistes, Pas de la Casa, Coma Arcalís i Envalira.

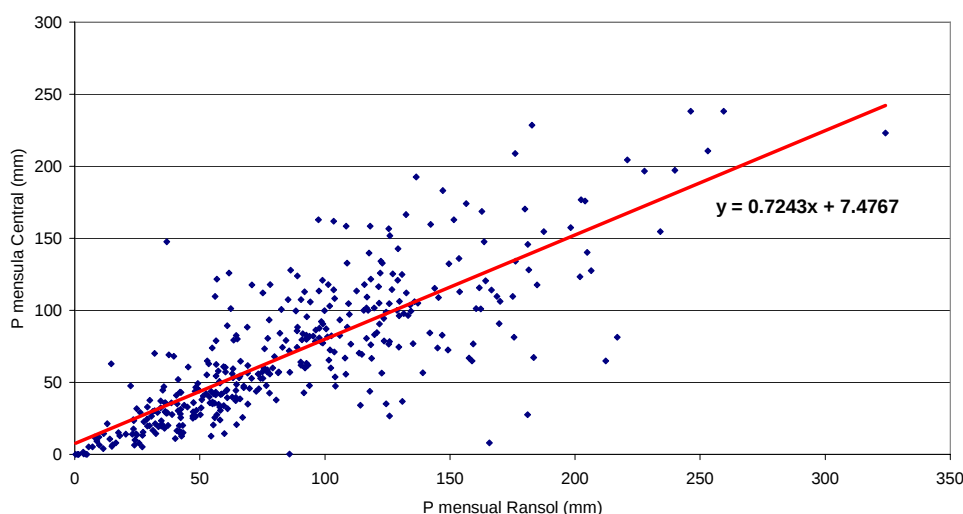


Figura 3. Gràfica de correlació lineal de la pluviometria mensual entre les estacions meteorològiques de Ransol i Central.

1.2 Reconstrucció de sèries de dades meteorològiques

Degut a la manca d'uniformitat de les sèries meteorològiques de les diferents estacions seleccionades, i per tractar-se de sèries poc completes, s'ha dut a terme una reconstrucció de les sèries històriques, prenent com a base les sèries més representatives de la zona i més completes temporalment.

La metodologia utilitzada ha estat l'habitual en aquests casos, basant-se en criteris de correlació simple o correlació múltiple a partir de les estacions més properes, en quan a l'espai i en quan a característiques climàtiques (**figura 3**).

Per a la reconstrucció de les sèries històriques de precipitació i de temperatura mensual s'ha escollit el període temporal que va de l'any 1974 al 2005. Malgrat que existeixen sèries històriques de dades pluviomètriques molt més llargues, que comencen a cap mitjans dels anys 30, com l'estació de Central (l'any 1929) o de Ransol (l'any 1935), s'ha seleccionat aquest període per les següents raons:

- Perquè supera la xifra de 25 – 30 anys que és el mínim que recomana l'Organització Meteorològica Mundial (OMM) per a realitzar estimacions i càlculs basats en dades climatològiques.
- Perquè és el període temporal més proper a l'època actual, i per tant amb major credibilitat pel que respecte a la fiabilitat de les mesures realitzades, criteri que no es pot traslladar a les mesures realitzades a començaments del segle XX o fins i tot poc després de la Guerra Civil espanyola o de la Segona Guerra Mundial.
- Perquè inclou, parcialment, el període 1961 – 1990, període utilitzat per l'OMM com a referència pel control dels canvis climàtics que tenen lloc a nivell del planeta.

- Perquè coincideix, en part, amb la sèrie utilitzada per Raso (1999) per fer estudi global del clima d'Andorra (El clima d'Andorra). En aquest cas va utilitzar el període recomanat per l'OMM entre 1961 i 1990.
- Perquè a més també inclou els darrers 10 anys de la dècada dels 90, que correspon segons dades de l'OMM a la dècada més calenta des de l'any 1860. Nou dels deu anys més calents des del 1860 pertanyen a aquesta dècada.

Tenint en compte aquests criteris, el procediment de reconstrucció de les sèries no complertes es realitza segons les següents etapes:

- 1) S'ha establert la correlació entre les diferents sèries pluviomètriques seleccionades, tant les més complertes (Ransol, Central i Engolasters), com les que només cobreixen alguns anys de la sèrie (Salines, Ansalonga, Roc de Sant Pere, Lycée, Ansalonga, La Seu d'Urgell, Setúria, etc.) (**taules 1 i 2**).

La matriu de correlació revela que la majoria de correlacions són elevades, tant entre les sèries complertes com entre aquestes i les altres sèries no complertes.

Quan hi havia alguna sèrie amb dos intervals de dades molt diferents, cas per exemple de l'estació de Salines, les correlacions s'establien de forma diferenciada per cada interval de dades existents, i es calculaven els valors de la sèrie reconstruïda en funció de la seva proximitat (temporal) respecte a la sèrie completa.

- 2) A partir de la sèrie completa que tenia un coeficient de correlació més elevat amb la sèrie a completar, i a més tenia una major semblança des del punt de vista fisiogràfic amb l'estació a completar, s'escollia aquesta sèrie com a patró o base per a dur a terme el procés de completar la sèrie incompleta.
- 3) A partir de la distribució de valors entre les dues sèries (x i y), s'ajusta una recta, que és la recta de regressió. S'estableix al voltant d'aquesta recta una banda d'ample tal que contingui més del 95 % dels individus de la mostra. Aquesta banda assenyala el nivell de significació del 5 % al voltant de la recta de regressió i s'anomena banda característica o banda de garantia.
- 4) En funció dels paràmetres de correlació ortogonal, especificats en l'equació de la recta de regressió, es completen els buits de la sèrie incompleta a partir dels valors de l'estació completa que es considera com estació base (**figura 2**). És a dir, s'estableix una simulació generant una sèrie equivalent a la original utilitzant el mateix algoritme de càlcul usat per completar la sèrie i comparació amb els valors reals.
- 5) Finalment, es comprovaven les sèries completades a partir de la comparació entre la sèrie original i la sèrie reconstruïda o completada. Comparació entre les mitjanes mensuals (**taula 3**) i distribució del mòdul pluviomètric (de forma gràfica) (**figura 4**).

Sèries	gen	feb	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	oct	nov	des
sèrie completada	68.4	44.7	54.0	75.2	62.1	79.5	66.8	78.9	77.0	76.8	73.7	71.4
sèrie original	67.2	40.4	46.8	77.2	74.2	74.2	66.1	73.4	78.5	81.6	68.6	73.4
$\Delta \%$	1.7	10.2	14.3	2.5	17.6	6.9	1.2	7.2	1.9	6.0	7.2	2.7

Taula 3. Comparació entre les dades de la sèrie original de l'estació d'Ansalonga i la sèrie completada o reconstruïda. Diferències dels valors en percentatge (valors de precipitació mitjana mensual)

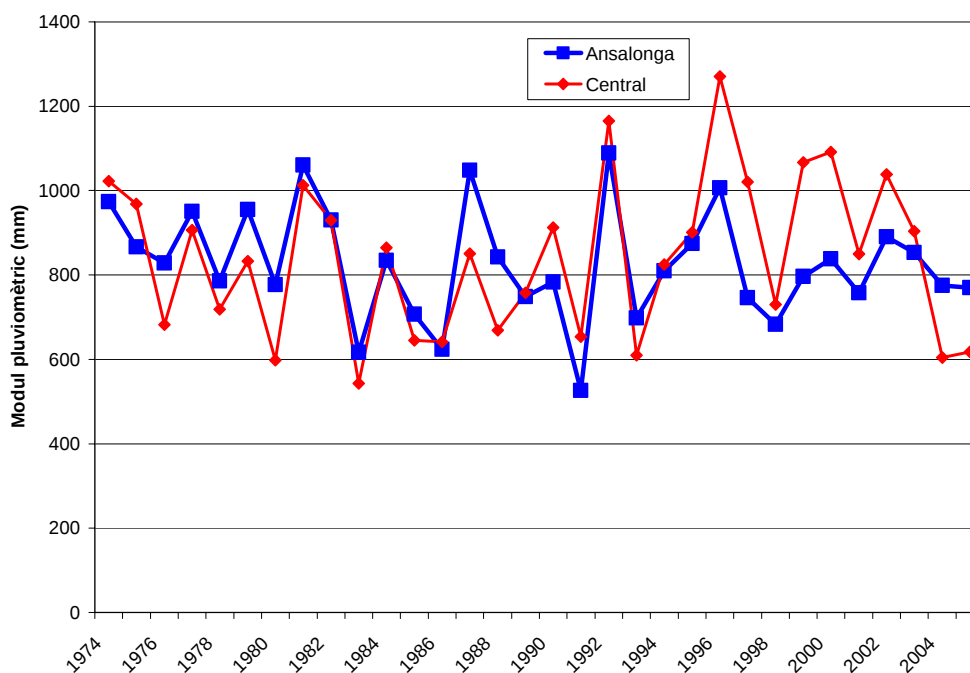


Figura 4. Distribució del mòdul pluviomètric de la sèrie reconstruïda de l'estació d'Ansalonga i l'estació Central

1.3 Precipitació

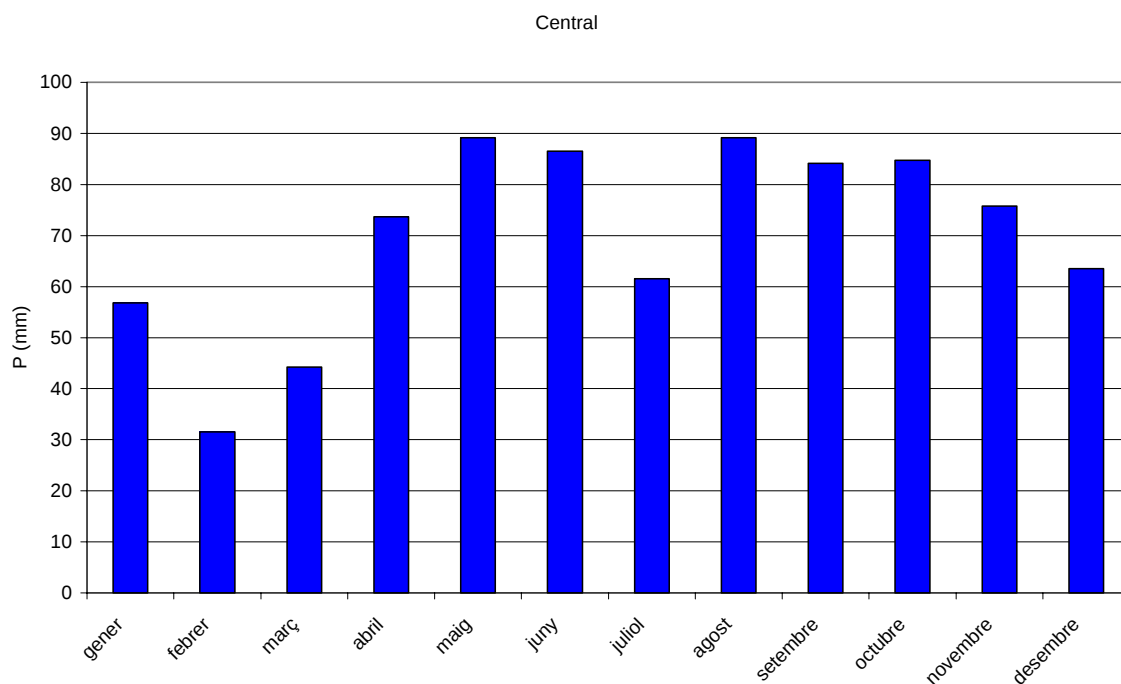
La distribució de les pluges i neu al llarg de l'any en el Principat d'Andorra com és habitual en aquest tipus de clima, segueix el patró característic del clima de muntanya mitjana a alta mediterrània, tal com es pot observar en el gràfic de la **figura 5 A**. Destaquen els màxims d'estiu (juny, juliol i agost) i tardor (mesos de setembre a novembre). Per altre banda els mínims es situen a l'hivern: febrer. El mes d'agost és el més plujós en la majoria d'estacions, excepte en les d'influència atlàntica, en que es superat pel mes de novembre. En general, el febrer és el més sec, excepte alguns anys en que ho és el juliol.

Si es compara les estacions meteorològiques d'influència atlàntica amb les d'influència mediterrània (que són la majoria) es pot apreciar que (**figura 5 B**):

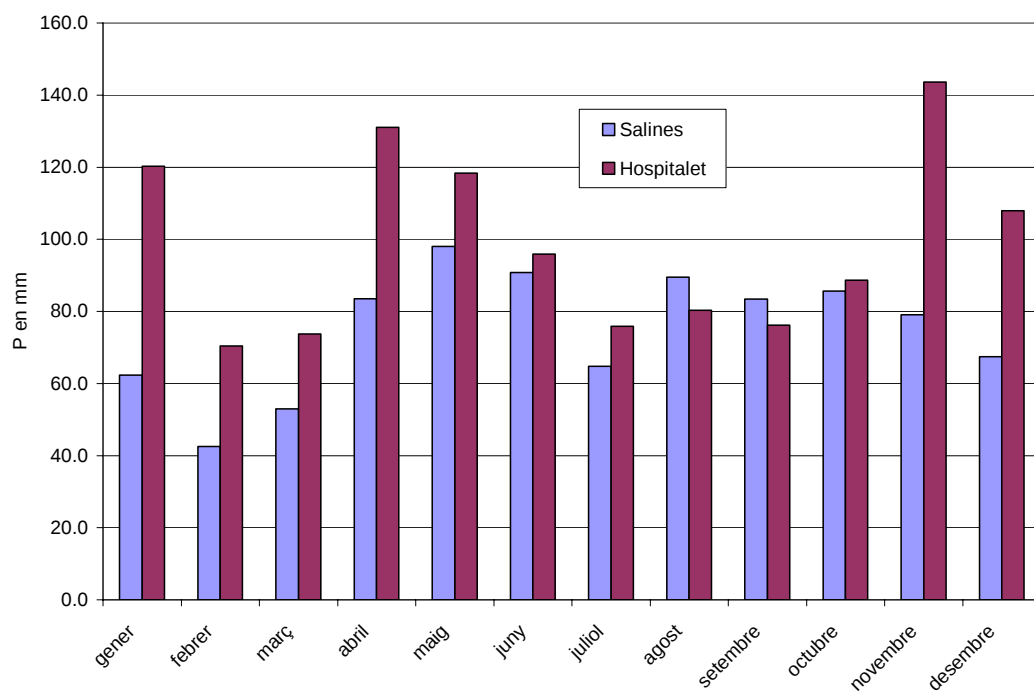
- El valor de la precipitació total és superior a la zona amb influència atlàntica que a la que té influència mediterrània.

- La distribució mensual també varia força, amb valors superiors a la tardor i en canvi menors a l'agost i setembre, que són els mesos en que solen dominar les tempestes de finals d'estiu, començament de tardor.

L'eixut estival no es produeix en gaire bé cap de les estacions andorranes, excepte les situades al sud o les catalanes de la Seu d'Urgell o Das.



A



B

Figura 5. Distribució mensual de les precipitacions. A) Al llarg d'un any i B) Comparació entre la vessant amb influència mediterrània (Salines) i atlàntica (Hospitalet).

Estació	Z	Mòdul pluviomètric
Ransol	1640	1036.9
Engolasters	1640	833.1
Central	1140	840.8
Salines	1470	818.3
Roc St Pere	1090	686.3
Lycée	1000	549.1
Ansalonga	1307	821.4
Setúria	1910	872.1
La Seu d'Urgell	696.8	417.4
Viliella	1557	533
La Seu d'Urgell	849	592.6
Das	1096	565.8
Bellver	1043	538.1
Hospitalet	1425	1194.8
Aulus les Bains	733	1635.8

Taula 4. Precipitacions anuals de les estacions meteorològiques d'Andorra i de les seves rodalies, amb el valor de les seves cotes respectives

Pel que fa al valor global de la precipitació, el valor promig de les precipitacions anuals de les 15 estacions que s'han utilitzat en aquest estudi és de 795.7 mm, i el promig mensual és de 69.3 mm, valors propis d'un clima mediterrani subhúmit (**taula 4**).

Aquests valors promig són gaire bé idèntics si només es consideren les 8 estacions meteorològiques de dintre del territori andorrà, el valor promig de les precipitacions anuals passa a ser de 807.3 mm, i el mensual a 69.9 mm. Aquesta elevada similitud es deu a que els valors elevats de les estacions de la banda atlàntica queden compensades pels menors valors de les estacions de la banda de Catalunya.

1.3.1 Distribució del mòdul pluviomètric

La distribució dels mòduls pluviomètrics anuals mostra variacions, amb valors mínims al sud del país i màxim a la meitat nord oriental, tal i com s'observa en la **figura 6, 7 i 8**.

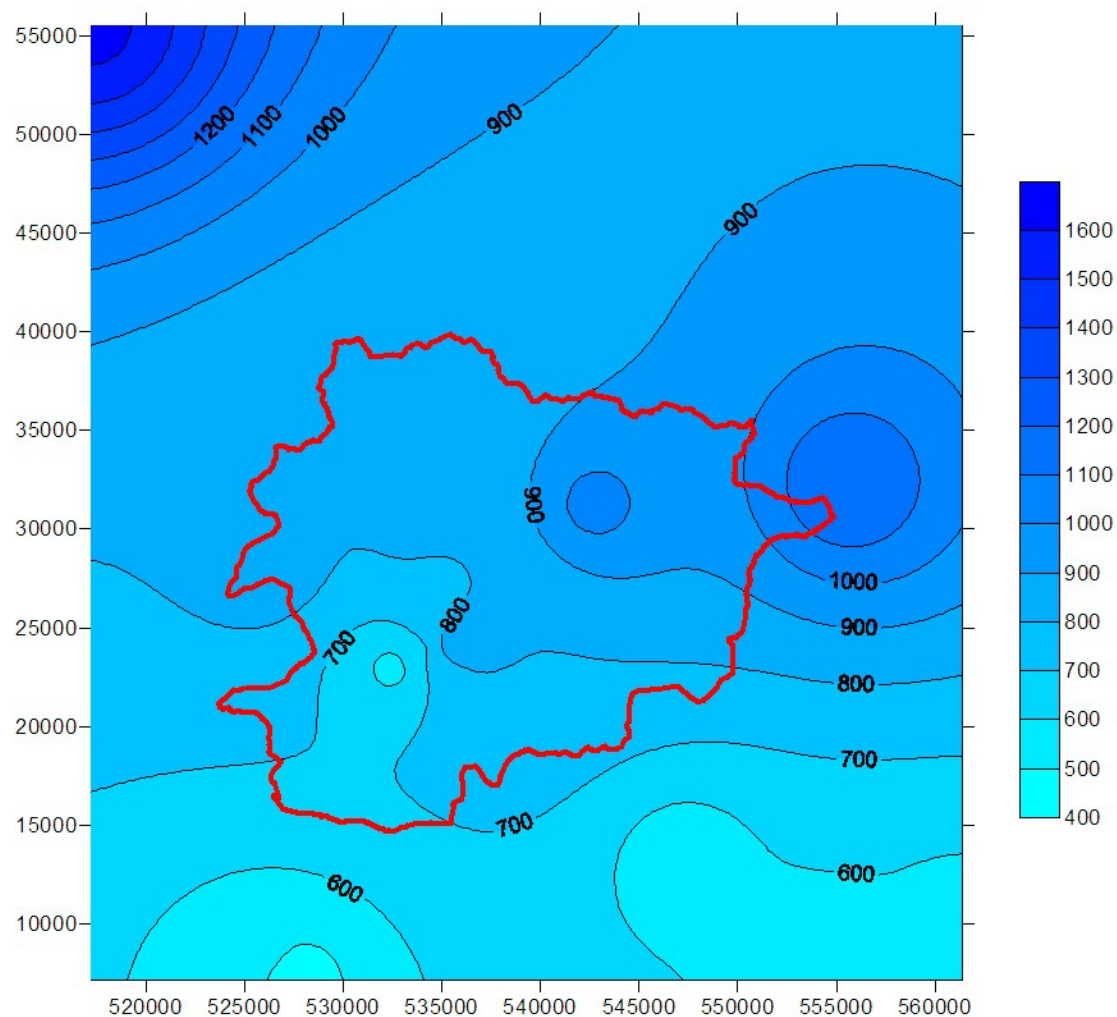


Figura 6. Mapa d'isoietes del mòdul pluviomètric de totes les estacions utilitzades per l'anàlisi de la precipitació. Aquest mapa està realitzat amb el mòdul pluviomètric de cada estació, sense cap correcció a causa de l'alçada a la que es troben.

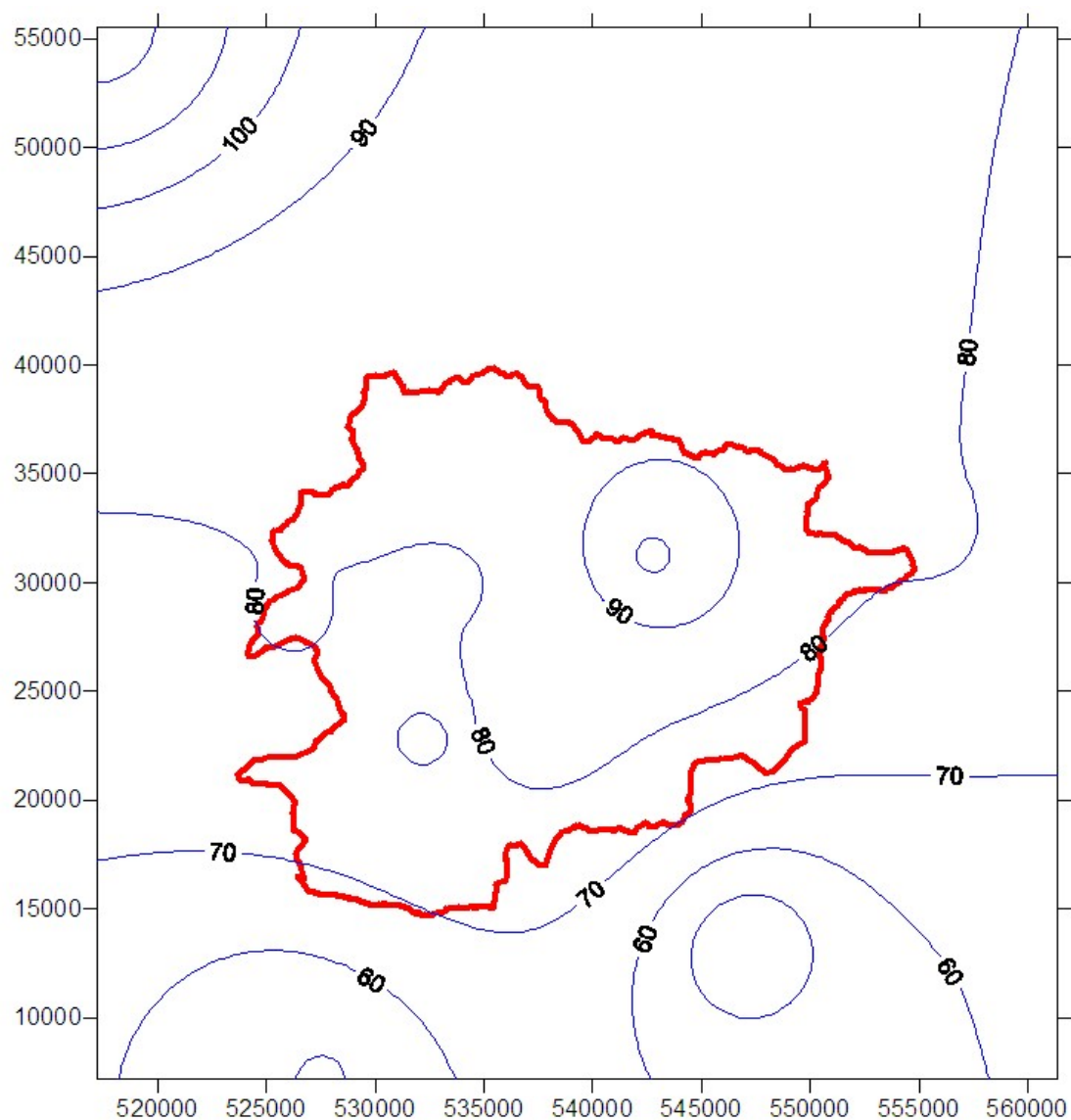


Figura 7. Distribució de la precipitació mensual a Andorra i estacions dels voltants. Mes de febrer (valors en mm). Aquest mapa està realitzat amb el mòdul pluviomètric de cada estació, sense cap correcció a causa de l'alçada a la que es troben.

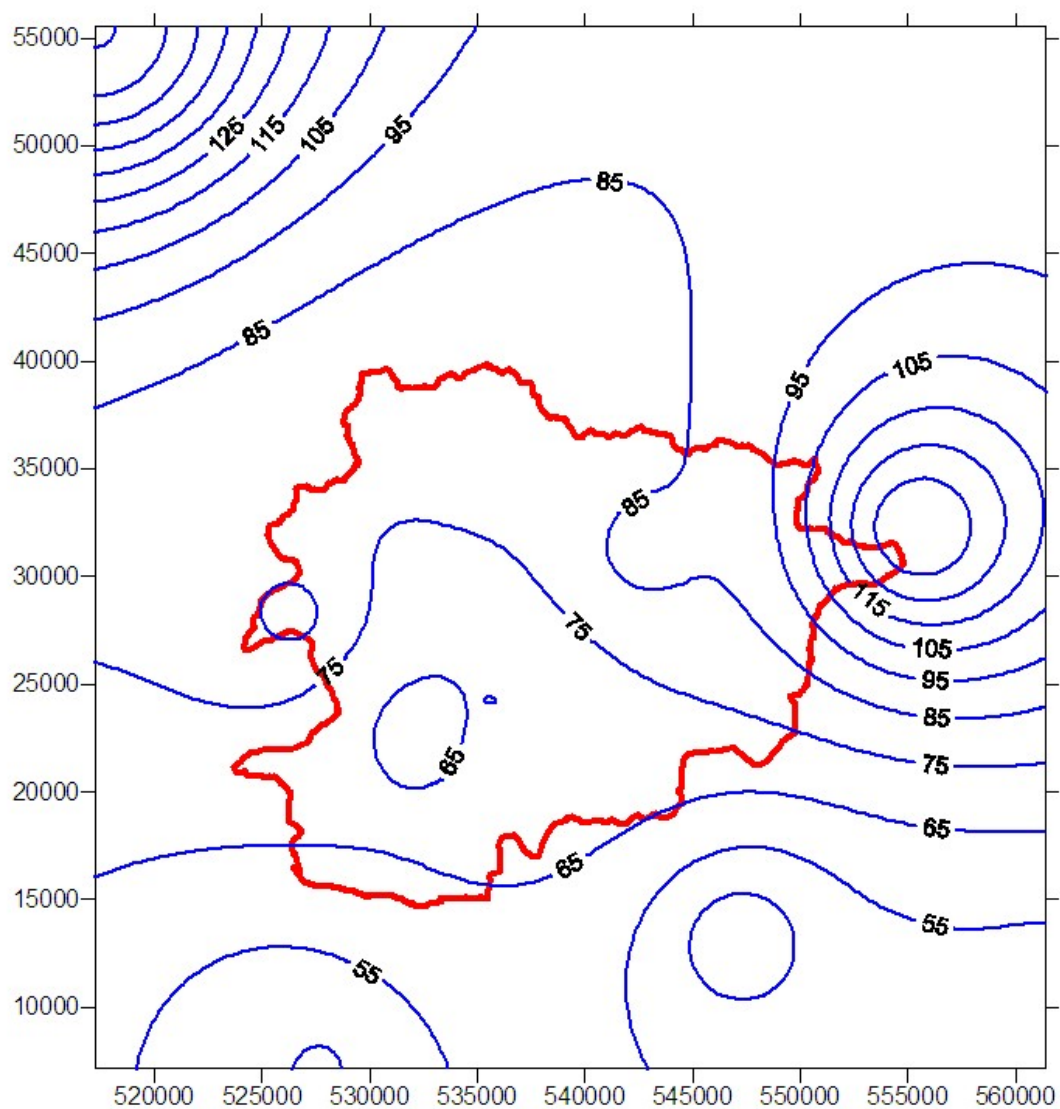


Figura 8. Distribució de la precipitació mensual a Andorra i estacions dels voltants. Mes de novembre (valors en mm). Aquest mapa està realitzat amb el mòdul pluviomètric de cada estació, sense cap correcció a causa de l'alçada a la que es troben.

Pel que fa a la distribució de les pluges en tota l'àrea es pot apreciar en els mapes d'isoietes del mòdul pluviomètric, com s'aprecia un gradient del sud cap al nord (**figura 6, 7 i 8**), que tradueix la diferència pluviomètrica que existeix entre el vessant sud dels Pirineus, amb influència mediterrània, del vessant nord molt més afectat per les borrasques atlàntiques.

També s'observen variacions en la distribució d'isoietes quan s'analitzen les pluges segons els diferents mesos de l'any. El mes d'agost que representa un mes dels considerats més humits, presenta una distribució diferent, els valors elevats també es concentren al vessant nord, amb la presència de diferents màxims, un cap al NW que correspondria a la situació de l'estació d'Aulus les Bains, i un altre màxim molt més intens al NE que correspondria a la situació de l'estació de l'Hospitalet.

1.3.2 Règim pluviomètric

L'anàlisi del règim pluviomètric d'una estació meteorològica té una gran importància, ja que permet conèixer la distribució de les pluges al llarg de l'any, la qual cosa és especialment delicada en climes mediterranis.

Es considera el total pluviomètric estacional com la suma dels valors de precipitació de tres mesos: els de primavera són març, abril i maig; els d'estiu són juny, juliol i agost; els de tardor són setembre, octubre i novembre; i els d'hivern són desembre, gener i febrer.

Els règims pluviomètrics estacionals es poden esquematitzar mitjançant les sigles de les lletres inicials de les quatre estacions ordenades de la més plujosa a la menys. Així un observatori amb unes sigles TPHE vol dir que l'estació més plujosa és la tardor, seguida de la primavera i la menys plujosa és l'estiu, inicials que correspondrien a un clima típicament mediterrani costaner o de muntanya baixa.

El mòdul pluviomètric als diferents observatoris d'Andorra té una distribució desigual segons les diferents estacions de l'any. El total de precipitacions estacionals presenta un màxim a l'estiu en totes les estacions meteorològiques (**taula 5**), l'altre màxim és a la tardor, i el mínim correspon a l'hivern.

El règim pluviomètric de les estacions meteorològiques d'Andorra i de les seves rodalies, tant les que tenen influència més mediterrània com les que tenen una major influència atlàntica, és estiu – tardor – primavera – hivern (ETPH). Aquesta distribució del règim pluviomètric estacional és coherent amb el Mapa de Règim Pluviomètric Estacional del Departament de Medi Ambient i Habitatge de la Generalitat de Catalunya. En aquest mapa s'observa com al voltant del Principat d'Andorra hi ha una banda amb un règim ETPH. En altres zones de la Serralada Pirenènica, els règims dominants són EPTH o PTHE, especialment en el sector oriental dels Pirineus.

Estacions Meteorològiques	P	E	T	H	Règim Pluvio.
Ransol	264.3	308.8	290.0	208.5	ETPH
Engolasters	208.6	246.9	235.2	155.3	ETPH
Central	207.1	249.4	237.2	151.9	ETPH
Salinas	231.2	268.1	249.7	168.2	ETPH
Roc de Sant Pere	190.7	225.2	220.0	144.0	ETPH
Lycée	174.8	204.5	193.0	141.0	ETPH
Ansalonga	191.3	216.8	208.4	184.5	ETPH
Seu d'Urgell (CHE)	118.6	135.0	134.2	89.2	ETPH
Seturia	192.5	223.1	203.9	183.0	ETPH
Viliella	153.3	182.5	176.9	64.8	ETPH
Seu d'Urgell (SMC)	139.0	162.5	159.2	92.6	ETPH
Bellver (SMC)	114.9	146.0	143.0	86.7	ETPH
Hospitalet (Meteo FR)	323.1	345.3	290.1	298.5	ETPH
Aulus des Bains (Meteo FR)	443.0	464.0	405.3	424.2	ETPH
Das (SMC)	127.4	148.7	143.1	104.5	ETPH

Taula 5. Distribució de les precipitacions estacionals de les diferents estacions meteorològiques d'Andorra i de les seves rodalies, amb l'anagrama de la distribució del règim pluviomètric

1.3.3 Gradient pluviomètric

Les observacions realitzades en diversos llocs del món mostren que per regla general hi ha un augment del mòdul pluviomètric en augmentar l'altura d'una estació, aquest comportament es segueix de forma lineal fins a una certa alçada, denominada l'òptim pluvial, a partir del qual el mòdul disminueix. Aquesta alçada varia segons les característiques del massís muntanyós considerat. Al Pirineu, com en els Pre-Alps l'altura de l'òptim pluvial es sol considerar als 2000 metres.

S'han establert nombroses fórmules empíriques per calcular l'augment del mòdul pluviomètric anual en funció de l'alçada, el que es coneix com gradient pluviomètric, així com l'alçada de l'òptim pluvial. Aquestes fórmules no tenen una aplicació general, ja que estan molt afectades per la diferent exposició dels vessants, l'orientació de les valls, la proximitat al mar, la influència atlàntica o mediterrània, etc. El millor, és realitzar el càlcul amb dades reals, i si és el cas, utilitzar-les per completar sèries o realitzar altres determinacions climàtiques.

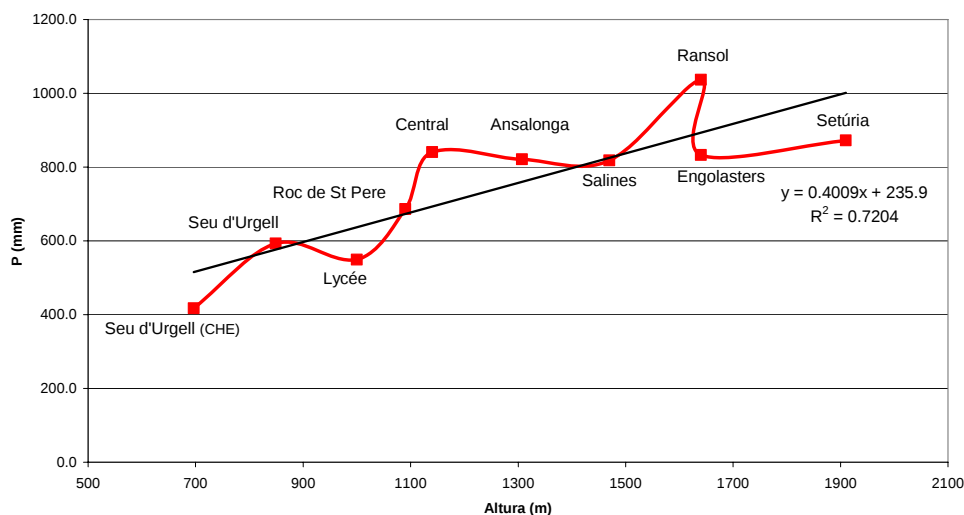


Figura 9. Variació del mòdul pluviomètric amb respecte a l'altura de cada estació considerada. S'observa que encara que els valors del mòdul presenten una certa variabilitat la tendència és a augmentar en funció de l'altura.

S'ha analitzat aquesta variació a les estacions d'Andorra (**figura 9**), i s'observa que encara que amb certes variacions entre unes estacions i altres, hi ha una certa tendència a augmentar el mòdul pluviomètric en augmentar l'alçada. El valor d'aquest gradient que és el pendent de la recta de tendència, és de 0.4 mm per metre d'alçada. És un valor similar al trobat en altres serralades d'Europa, però inferior al citat pels Alps: 1.5 mm per metre.

1.3.4 Variació de la precipitació amb el temps

Una de les qüestions que s'han plantejat en el present estudi, és si les precipitacions han disminuït a la zona d'Andorra en els darrers anys. Les sèries més completes d'aquesta zona corresponen a les estacions del Ransol, Central i Engolasters amb més de 70 anys de mesures. Per tant, per poder apreciar aquest efecte de variació en el règim pluviomètric s'ha de remetre necessàriament a aquestes tres estacions.

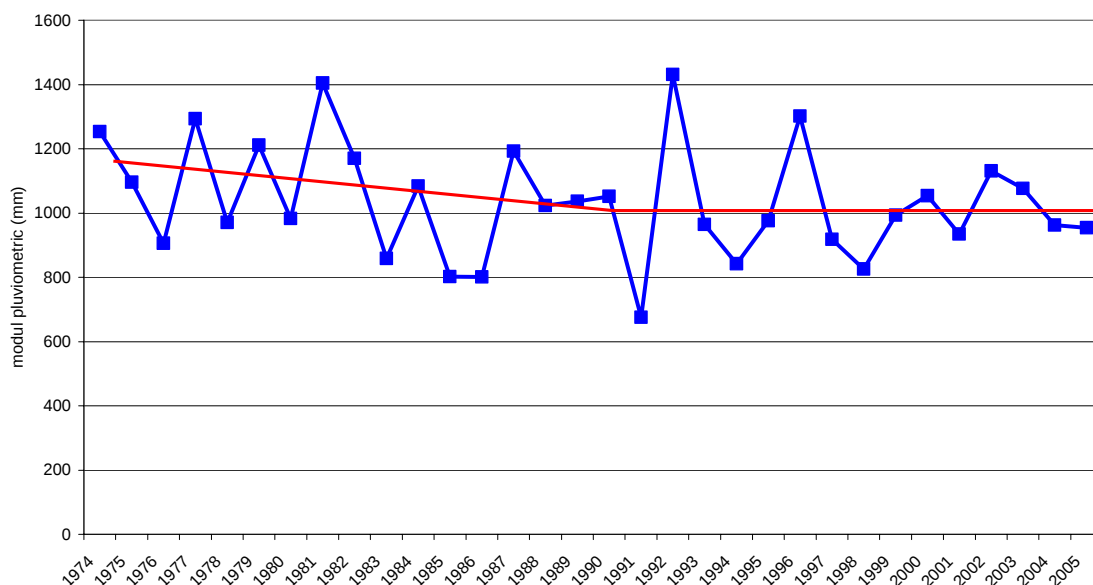


Figura 10. Evolució del mòdul pluviomètric de l'estació de Ransol, on s'aprecia l'elevada variabilitat d'aquest paràmetre. S'observa que entre els anys 1974 i 1990 la tendència és cap a la disminució, del 1990 fins a l'actualitat el mòdul té tendència a mantenir-se constant tot i les fluctuacions habituals

De l'anàlisi d'aquestes sèries i la seva comparació s'observa que en el cas de l'estació de Ransol, quan es considera tota la sèrie de 31 anys, si bé s'aprecia clarament la irregularitat de la sèrie, no s'aprecien variacions significatives en el global, en canvi quan la sèrie es divideix en dues parts, una entre 1974 i 1990, i l'altra entre 1990 i l'actualitat (**figura 10**), sí que s'aprecia mentre que pel període 1990 -2005 no s'observa cap variació en la línia de tendència.

1.3.5 Càlcul de l'any sec i l'any humit

Com a conseqüència de les grans variacions interanuals que presenta la precipitació i per facilitar els càlculs hidrometeorològics s'ha establert l'any més sec, l'any més humit i l'any mig. S'ha partit de les sèries pluviomètriques reconstituïdes des de 1974 fins al 2005 i per a totes les estacions meteorològiques seleccionades. Com a valor de comparació s'ha pres la mitjana de precipitació anual per a cada estació.

El resultat del càlcul ha donat com a anys més característics de les diferents estacions analitzades, els següents anys hidràulics:

- Anys més humits: 1996 i 1992
- Anys més secs: 1991 i 2005
- Anys migs: variables

	Any Humit	Any Sec	Any Mig
Ransol	1992	1991	1989
Engolasters	1996	2004	1994
Central	1996	1983	2001
Salines	2000	1991	2001
Roc de St Pere	1996	2005	1987
Lycée	1992	1991	1995
Ansalonga	1992	1991	1976
Seu d'Urgell	1996	2004	2003
Setúria	1996	2005	2000

Taula 6. Relació de l'any més humit, més sec i any mig per cadascuna de les estacions meteorològiques d'Andorra i de les seves rodalies.

1.3.6 Intensitat de la pluja en 24 hores

Un altre paràmetre que és de gran importància en el moment d'avaluar els recursos hídrics d'una àrea, és la intensitat de les pluges, doncs de la intensitat de la pluja en depèn la recàrrega dels aqüífers.

S'ha disposat de les dades de precipitació diària d'algunes de les estacions de la xarxa de la FEDA. , encara que aquestes darreres tenen una longitud cronològica molt menor, doncs es basa en les dades recollides per Raso, 1999.

	Engolasters	Ransol	Ansalonga
gener	43.3	57.2	47.2
febrer	43	63.1	65.3
març	46.7	54.5	26.6
abril	53	62.5	38
maig	50	80.6	44.8
juny	73.7	75.7	72.2
juliol	70.2	49.6	55.1
agost	56.5	75	82.2
setembre	79.3	73.6	73.2
octubre	61.2	71	52
novembre	135	151	91.6
desembre	69.5	60	54.2

Taula 7. Precipitacions màximes en 24 hores de les estacions de la xarxa de la FEDA (Dades extretes de El Clima d'Andorra, 1999)

S'observa a la **taula 7** com es poden enregistrar precipitacions de gran magnitud en el període de 24 hores, que a la pràctica pel tipus de tempestes que les provoquen poden reduir

notablement la seva durada, és a dir, aquests valors poden correspondre perfectament a durades de 3 o 4 hores o fins i tot menys. També s'observa com aquestes precipitacions extremes es concentren en el mes d'agost, però sobretot al novembre.

1.4 Temperatures

El nombre d'estacions meteorològiques amb registre de temperatures és molt menor que el d'estacions amb dades de precipitació. A més, la seva distribució en l'espai tampoc cobreix de forma regular l'àmbit del Principat d'Andorra. Amb tot, es disposa del registre de 8 estacions amb series termomètriques força completes que permeten l'objectiu de càlcul de les variables hidrològiques d'interès per l'estudi. Aquestes estacions pertanyen tant a la FEDA, com al Servei Meteorològic de Catalunya o al Météo France.

1.4.1 Sèries i estacions de partida

S'han seleccionat 10 estacions d'entre totes les existents amb dades. El motiu de la selecció es basa concretament en que es tracta de les sèries més complertes d'entre les analitzades. Només s'han considerat les estacions que disposaven de més de 5 anys complets (taula 8).

Les estacions seleccionades han estat:

- Ransol situada a 1640 m en la vall principal del Valira d'Orient, entre els nuclis de població de Canillo i Soldeu, en una vall orientada a l'oest.
- Engolasters situada també a 1640 m per sobre del nucli urbà d'Andorra La Vella-Escalades Engordany.
- Central situada a 1140 m sota mateix de l'estació d'Engolasters, al fons de vall.

Aquestes tres estacions són les més complertes.

També s'han seleccionat unes altres set estacions, encara que els registres existents són molt més reduïts:

- Salines situada a 1470 en la part alta de la vall del Valira del Nord, en una vall orientada cap al Sud.
- Roc de Sant Pere situada a 1090 al peu del vessant oriental del massís d'Enclar.
- Lycée situada a 1000 m d'alçada en la cubeta d'Andorra la Vella.
- Seu d'Urgell situada en la mateixa població, a 849.
- Bellver, a la cara sud del Pirineu, al sudest del Principat, a 1043 metres.
- Hospitalet, a la cara nord del Pirineu, al nord est del Principat, a 1425 metres.
- Aulus les Bains, també a la cara nord del Pirineu, al nordoest d'Andorra, a 733 metres

Estació	Temperatura Mitjana	Anys
Ransol	5.85	1974 - 2005
Engolasters	8.33	1974 - 2005
Central	9.43	1974 - 2005
Salines	8.19	1988 - 1995, 2000 - 2005
Roc St Pere	10.34	1986 - 1987, 1989, 1992 - 2004
Lycée	10.07	1989 - 1996
La Seu d'Urgell (SMC)	11.5	1990 - 2005
Bellver	8.6	1990 - 2005
Hospitalet	7.82	1974 - 2005
Aulas les Bains	10.13	1974 - 2005

Taula 8. Estacions meteorològiques del Principat d'Andorra i les seves rodalies amb dades de temperatura mitjana mensual

1.4.2 Gradient tèrmic altitudinal

Els climes de muntanya es comporten com a regions climàtiques aïllades i diferenciades respecte a les de l'entorn. El paràmetre més afectat per l'existència del relleu i els contrastos que aquest genera és la temperatura. Generalment es produeix una davallada d'aquesta en augmentar l'alçada.

Aquest descens de la temperatura en augmentar l'altitud es coneix com a **gradient tèrmic altitudinal** i per càlculs a diferents punts del planeta s'estima d'uns 0.65 ° C per cada 100 metres.

De les diferents estacions considerades, la del Lycée, Roc de Sant Pere i Central estan situades en la mateixa vall d'Andorra en diferents alçades però seguint la direcció de la vall. A partir d'aquestes estacions es podran calcular **gradients de fons de vall**.

L'estació de la Central i Engolasters estan situades una a la part alta de la vall i l'altre a sota mateix, separades entre sí per una diferència d'alçades de 500 m. Amb aquestes dues estacions s'ha pogut calcular el gradient de temperatura degut a la diferència d'alçada en les vessants oest de la vall d'Andorra la Vella.

S'ha calculat el **gradient mensual de temperatura** entre l'estació de Lycée i de Roc de Sant Pere (**taula 9**), situades en la mateixa vall però amb una diferencia de cota de 90 metres. Per això s'ha partit de les sèries de temperatures mitjanes mensuals calculades a partir de la mitjana entre la temperatura màxima del mes i la mínima del mes a partir de la mitjana de les mitges diàries

	gen	feb	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	oct	nov	des
Central i Engolasters	0,004	0,186	0,315	0,468	0,411	0,309	0,275	0,232	0,194	0,194	0,083	0,023
Central i Ransol	0,708	0,680	0,738	0,781	0,759	0,747	0,786	0,732	0,685	0,621	0,669	0,689
Roc de St. Pere i Central	4,149	3,687	4,210	3,772	3,426	3,428	2,528	2,816	3,501	3,717	3,882	3,635
Lycée i Central	1,815	2,679	2,839	3,085	2,063	1,973	1,686	1,712	2,560	2,548	3,082	1,536
Lycée i Roc de Sant Pere	0,573	1,709	1,277	1,686	0,760	0,826	1,204	1,321	2,011	1,319	1,590	0,065

Taula 9. Gradients de temperatura per cada 100 m d'alçada, calculat entre les estacions de Central, Engolasters, Roc de Sant Pere, Lycée i Ransol (valors en ° C)

També s'ha calculat el gradient entre l'estació de Lycée i Central, així com entre les estacions de Roc de Sant Pere i Central (**taula 9**). S'observa com els valors són molt variables segons el mes de l'any que considerem, i els valors de gradients també són força diferents entre els parells de estacions comparats. Aquest darrer fenomen es deu probablement a les diferents orientacions que poden tenir aquestes estacions dintre de la mateixa vall.

Entre les estacions de Central i la d'Engolasters, situades aproximadament en les mateixes coordenades X-Y però amb una diferència d'alçades de 500 m, s'ha pogut calcular el gradient en la vall principal d'Andorra (**taula 9**). Els valors es pot observar són molt més reduïts i uniformes en els diferents mesos que en els casos anteriors perquè en aquest punt el que s'està comparant són estacions amb una mateixa orientació, encara que amb alçades diferents.

Entre les estacions de Central i la de Ransol, situades en valls diferents i amb una diferència d'alçades d'aproximadament uns 500 m, s'observa com el gradient altitudinal de temperatura és pràcticament coincident amb el gradient mundial. I aquest valor es manté gairebé constants durant tots els mesos de l'any .

1.4.3 Reconstrucció de les sèries tèrmiques

Aquests gradients tèrmics altitudinals mensuals (**taula 10**) s'han utilitzat per completar les sèries de les tres estacions amb manca de dades: Salines, Roc de Sant Pere i Lycée.

Els valors de les noves sèries s'han comparat amb els valors de les sèries sense completar o "naturals", pel que fa als valors mensuals mitjans s'observa que no hi ha grans variacions entre una sèrie i l'altre.

	gen	feb	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	oct	nov	des
sèr.sense completar	0,63	1,62	3,43	4,73	8,41	12,72	14,71	14,86	11,22	7,72	3,05	0,67
sèr. completada	-0,10	1,00	3,05	4,63	8,12	12,42	15,05	14,84	11,80	7,75	2,93	0,44

Taula 10. Comparació entre les temperatures mitjanes mensuals de la sèrie sense completar ("natural") i la sèrie completada a l'estació de Salines.

1.4.4 Variabilitat de les temperatures mitjanes

La distribució de les temperatures en la zona estudiada al llarg de l'any segueix la pauta característica típica dels climes mediterranis, amb mínims a l'hivern (desembre o gener) i màxims estivals (juliol o agost), **figura 11 i 12**.

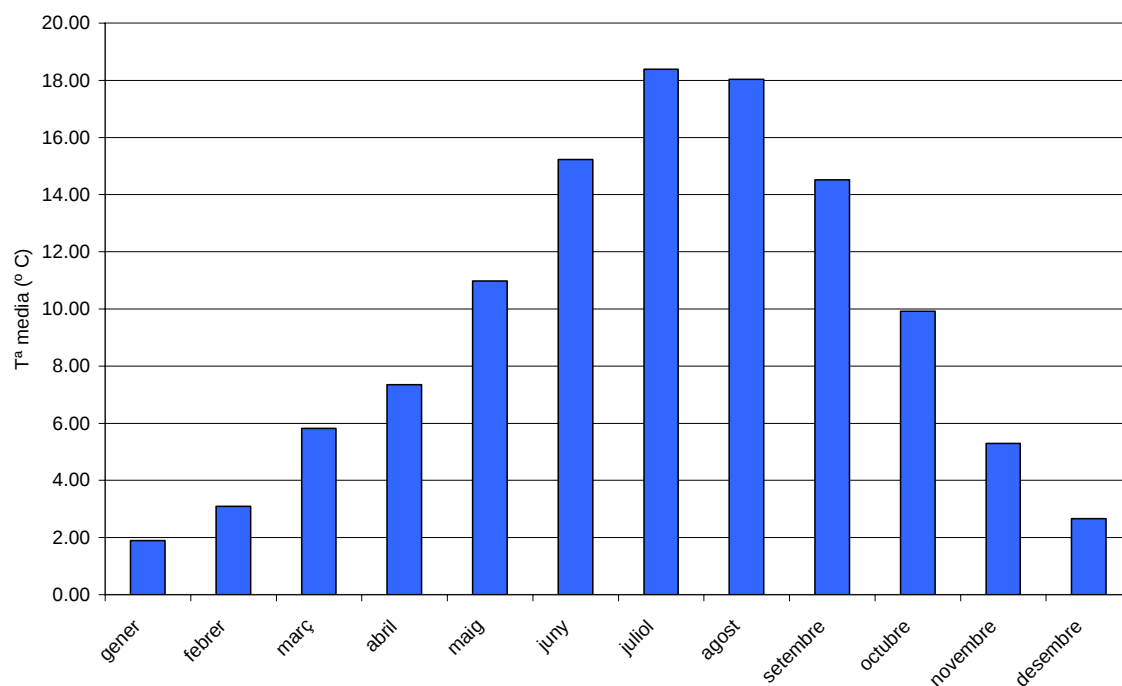


Figura 11. Distribució de les temperatures mitjanes mensuals a l'estació de Central situada a la part central d'Andorra

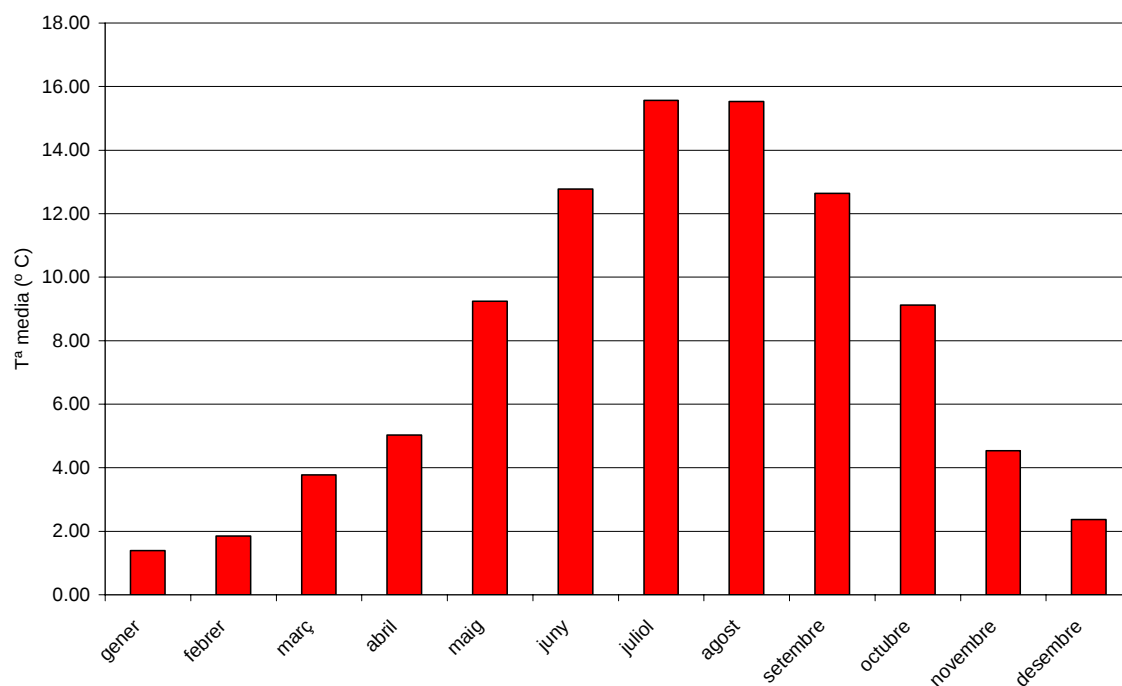


Figura 12. Distribució de les temperatures mitjanes mensuals a l'estació de l'Hospitalet situada a la part francesa (vessant nord dels Pirineus)

També s'observa un gradient altitudinal molt marcat com queda reflectit en el gràfic de la **figura 13** entre les estacions d'Andorra i de les seves rodalies. Com es pot apreciar la distribució de temperatures al llarg de l'any és molt similar encara que amb un decalatget d'alguns graus (**figura 13**). Així, les corbes termomètriques segueixen amb una gran aproximació les corbes de nivell topogràfiques.

En funció d'aquest gradient de temperatura s'han calculat les temperatures mitjanes mensuals de les diferents estacions meteorològiques.

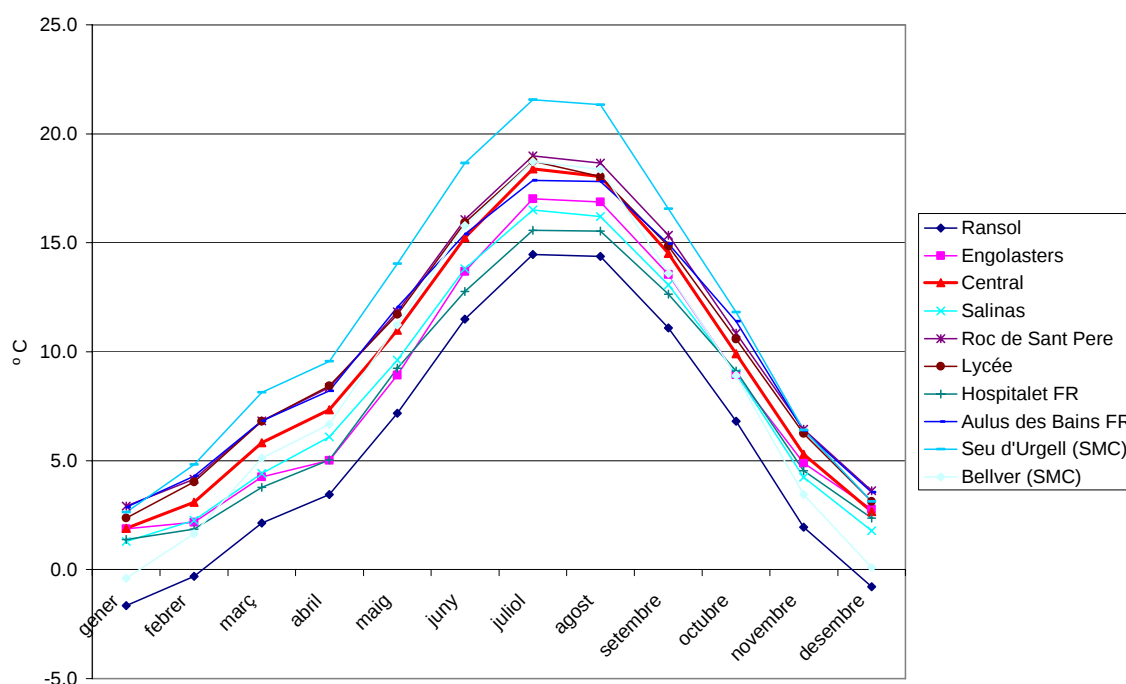


Figura 13. Gradient termomètric existent entre les estacions meteorològiques d'Andorra i les seves rodalies.

Si es compara les estacions meteorològiques de la vessant sud amb les del nord o de cotes més altes, es pot apreciar que (**figura 11 i 12**):

- El valor de la temperatura mensual és lleugerament superior al vessant sud que al nord.
- La distribució mensual de temperatures és gaire bé idèntica en els dos vessants, amb els mínims enregistrats coincidents al gener i el màxim en el vessant nord a l'agost, i en canvi a la vessant sud es situa al juliol.
- El gradient altitudinal no és tan marcat en el vessant nord com en el sud. En l'àrea que drena cap el Valira, el gradient, queda emmascarat pel fenomen de l'inversió tèrmica que es produeix en algunes estacions meteorològiques situades a les parts baixes d'aquesta conca vessant.

En el cas de la distribució de les temperatures també s'ha plantejat si aquestes han augmentat al Principat d'Andorra en els darrers anys. Les sèries termomètriques més completes d'aquesta zona també corresponen a les estacions de Ransol, Engolasters i Central amb 31 anys de mesures. Per tant, per poder apreciar aquest efecte de variació en el règim termomètric s'ha de remetre necessàriament a aquestes tres estacions.

De l'anàlisi de les sèries de Ransol i Central i la seva comparació s'observa com en el cas de la Central hi ha un augment molt notable, com es posa de manifest per la seva línia de tendència, l'estació de Ransol, també presenta una tendència al augment encara que en menor proporció que les temperatures a Ransol (**figura 14**). En totes dues estacions s'observa la irregularitat dels registres en anys successius.

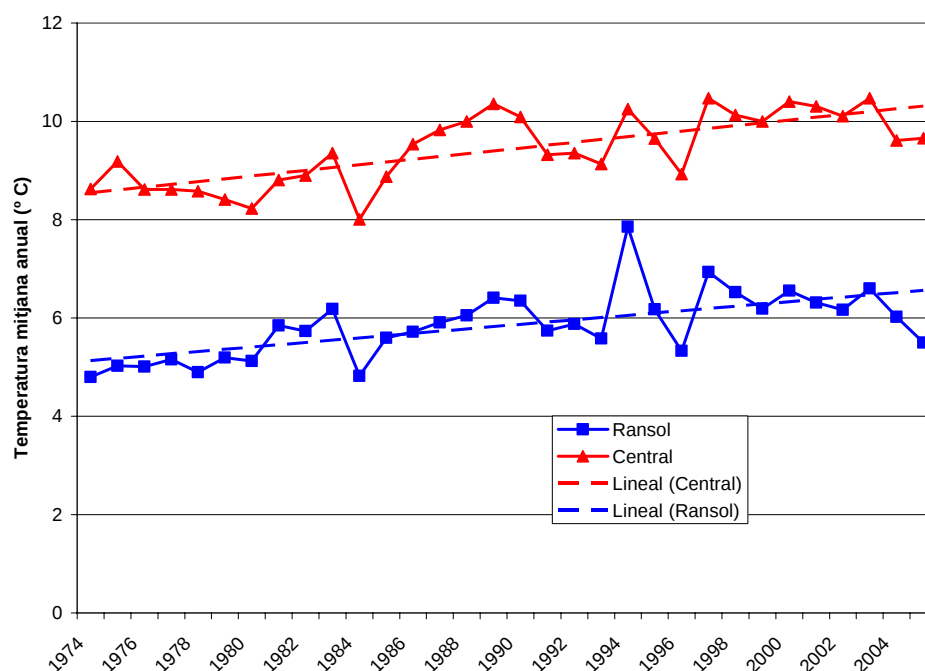


Figura 14. Evolució de les temperatures mitjanes anuals a les estacions meteorològiques de Ransol i Central

1.4.5 Temperatures extremes

En la següent taula (**taula 11**) es mostra per cada estació les temperatures màximes i mínimes.

Estació	Temperatura Màxima	Temperatura Mínima	Cota
Ransol	19.7	-5.9	1640
Engolasters	20.4	-2.9	1640
Central	21.6	-2.2	1140
Salines	20.34	-5.3	1470
Roc St Pere	23.35	-2.2	1090
Lycée	24	-2.2	1000
La Seu d'Urgell (SMC)	24.64	-0.23	849
Bellver	22	-5.1	1043
Hospitalet	19.6	-4.3	1425
Aulus les Bains	21.05	-2	733

Taula 11. Estacions meteorològiques del Principat d'Andorra i les seves rodalies amb dades de temperatures màximes i mínimes

2 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 un 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.

2.1. Mapes de temperatura

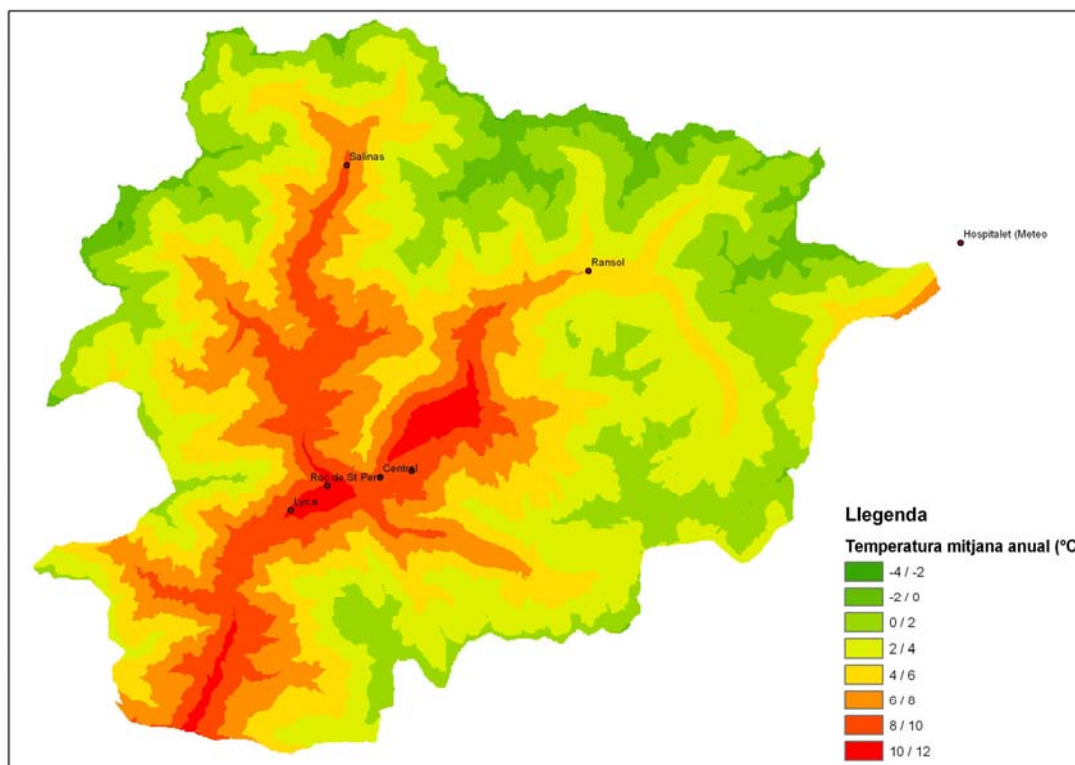
Per l'elaboració dels mapes de temperatura del principat d'Andorra s'ha seguit una metodologia similar que per l'elaboració dels mapes de precipitació. S'ha partit de les sèries de temperatura restituïdes a partir de les dades disponibles, segons s'ha comentat en capítols anteriors.

L'objectiu d'aquests càlculs és l'obtenció de mapes de temperatura mensual mitjana 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. El resultat és un mapa de temperatura mensuals i anual (**mapa 2**).



Mapa 1. Distribució de les temperatures mitges anuals de la sèrie 1974-2005

El rang de temperatures oscil·la entre els -2,3°C i els +11,5°C. La temperatura màxima es registra al fons de vall, essent els punts més càlids Sant Julià, Andorra la Vella i Encamp. La temperatura mínima es registra en les capçaleres, essent el factor altitudinal el que fixa la distribució dels valors mínims. La temperatura mitjana al país és de 4,08°C

L'estudi més complet que tracta el tema de les precipitacions i temperatures del Principat d'Andorra és El clima d'Andorra (Raso, J.M 1999). En aquest monogràfic, la sèrie usada per l'elaboració dels mapes de precipitació i temperatura és la de 1961-1990, i es basa exclusivament amb les dades de les estacions de FEDA (Central, Engolasters i Ransol). En relació a la temperatura, parla d'un gradient de 0,7°C/100metres i el mapa que presenta és de temperatures mitges anuals entre valors inferiors a -4°C i valors superiors a +12°C, registrant-se els valors màxims en el sector de Sant Julià. Els valors mínims queden distribuïts en les parts altes, emplaçades en cotes més altes, pel que malgrat usar una sèrie d'anys diferents i basar-se amb menys estacions proporciona valors relativament similars.

2.2. 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 podem fer una interpolació directe dels valors de precipitació obtinguts sense tenir en compte l'alçada a la que es troben. L'altre fet a tenir en

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

2.2.1. 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 sudamericanes el valor del gradient altimètric arriba a superar els 100 mm / 100m, en canvi en la zona de Sierra Nevada, a la península Ibèrica, és 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 estiguem determinant una variació local de la pluviometria. Aquest és per exemple el cas de les estacions de la Central de Feda i Engolasters. Sobre el mapa, aquestes estacions estan allunyades uns pocs centenars de metres, i tenen una diferència d'alçada de 500 metres. Si suposem un gradient pluviomètric de 25 mm cada 100 metres d'alçada, la pluja mitjana anual a Engolasters hauria de ser 150 mm més cada any. Tot i així, si observem les dades de precipitació mitja ens trobem que, sorprenentment, la Central de FEDA té més precipitació que l'estació d'Engolasters.

Així, com que el que es tracta és d'estimar la pluja mitjana de tot el territori andorrà, l'objectiu és determinar un gradient que no es desviï gaire de la realitat en cada punt del país, i que ens serveixi de valor mitjà. Per determinar el gradient hem realitzat diferents mapes de precipitació en els que hem aplicat gradients diferents, i ens hem basat en els resultats obtinguts per decidir quin gradient proporciona resultats més satisfactoris.

2.2.2. Determinació de la influència de la orientació del vessant

La bibliografia consultada remarca la dificultat per quantificar la influència de l'orientació del vessant respecte la pluviometria. Així, després d'una anàlisi acurada, i tenint en compte que una conca hidrològica té vessant amb totes les orientacions, s'ha pensat que l'error que es pugui cometre en el càlcul minimitzant la pluja en els vessants sud, es corregirà amb la maximització de la precipitació en els vessants Nord.

2.2.3. Realització dels mapes de precipitació

Per poder fer el càlcul de precipitacions, i tal com hem apuntat anteriorment, és precís que es descompti la influència de l'alçada en les dades de precipitació obtingudes. Per fer aquest pas és important tenir la cota precisa a la que es troba l'estació meteorològica. Aquí és on entra

en joc el gradient altimètric de la precipitació. Per fer el càlcul, el que s'ha fet és traslladar totes les estacions a 1000 metres d'alçada, 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) **taula 12**.

	X	Y	Z	P	P_1000_25	P_1000_50
Ransol	542751,90	31243,70	1646	1036,9	875,36	713,86
Engolasters	536681,50	24408,00	1639	833,1	673,32	513,57
Central	535600,70	24197,30	1131	840,8	808,00	775,25
Salinas	534440,95	34868,70	1475	882,2	763,40	644,65
Roc de St Pere	533783,64	23896,03	1093	766,8	743,55	720,30
Lycée	532521,21	23014,95	993	683,4	685,18	686,93
Ansalonga	533104,70	30215,70	1309	828,6	751,39	674,14
Seu d'Urgell (CHE)	527232,22	7154,65	697	502,3	578,07	653,82
Setúria	526415,83	28284,46	1911	939,2	711,40	483,65
Viliella	547217,28	13050,76	1557	486,8	347,56	208,31
Seu d'Urgell (SMC)	525529,59	8296,53	849	562,7	600,43	638,18
Bellver (SMC)	553875,26	7769,16	1043	500,2	489,43	478,68
Hospitalet (Meteo FR)	555535,36	32202,37	1425	1194,8	1088,59	982,34
Aulus des Bains (Meteo FR)	517231,51	55527,04	733	1635,8	1702,57	1769,32
Das (SMC)	561375,91	9888,48	1096	535,2	511,21	487,21

Taula 12. En aquesta taula es mostren les diferències de precipitació un cop aplicats els gradients pluviomètrics. La precipitació de totes les estacions ha estat traslladada als 1000 metres d'alçada suposant uns gradients pluviomètrics determinats. Aquest exercici està fet amb dos gradients diferents, amb 25mm/100m i 50 mm/100m. (mapa 3).

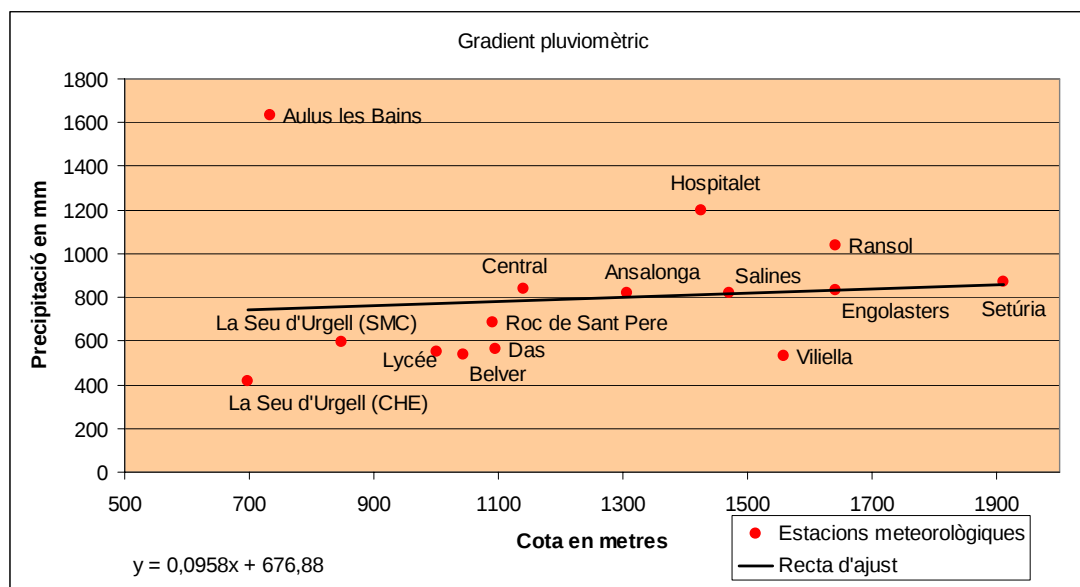


Figura 15. Gradient pluviomètric de totes les estacions

Figura 16. Gradient pluviomètric de les estacions andorranes i catalanes (vessant sud).

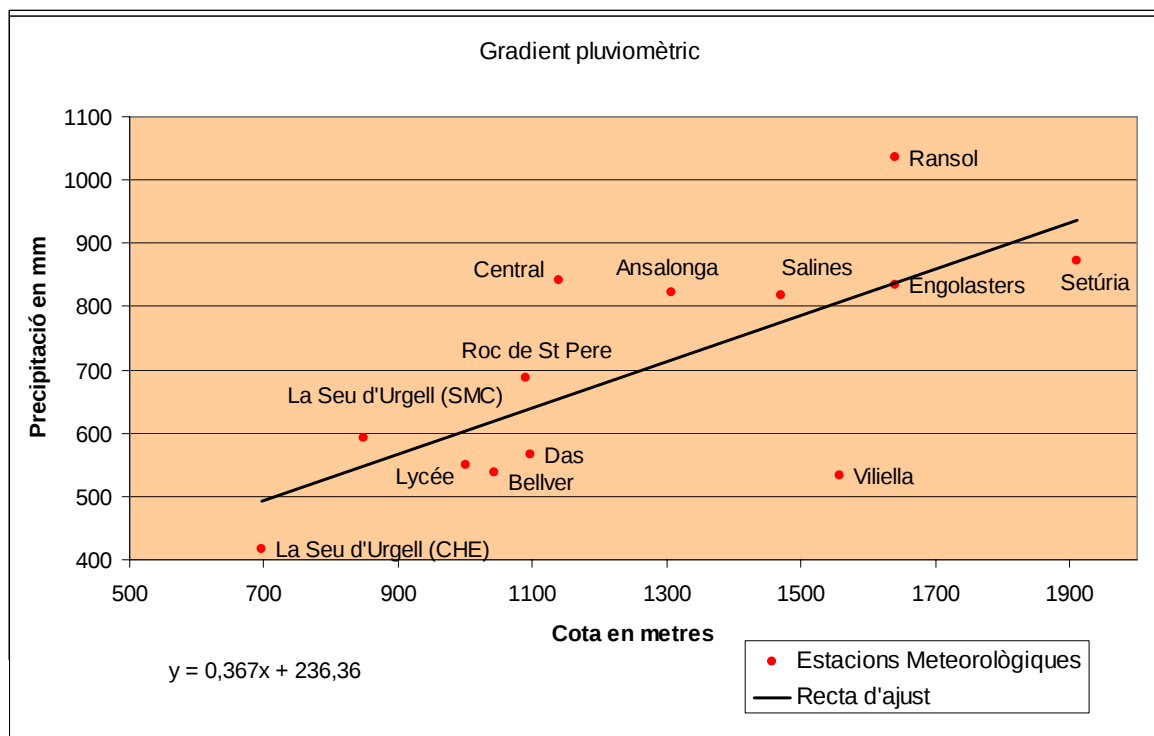


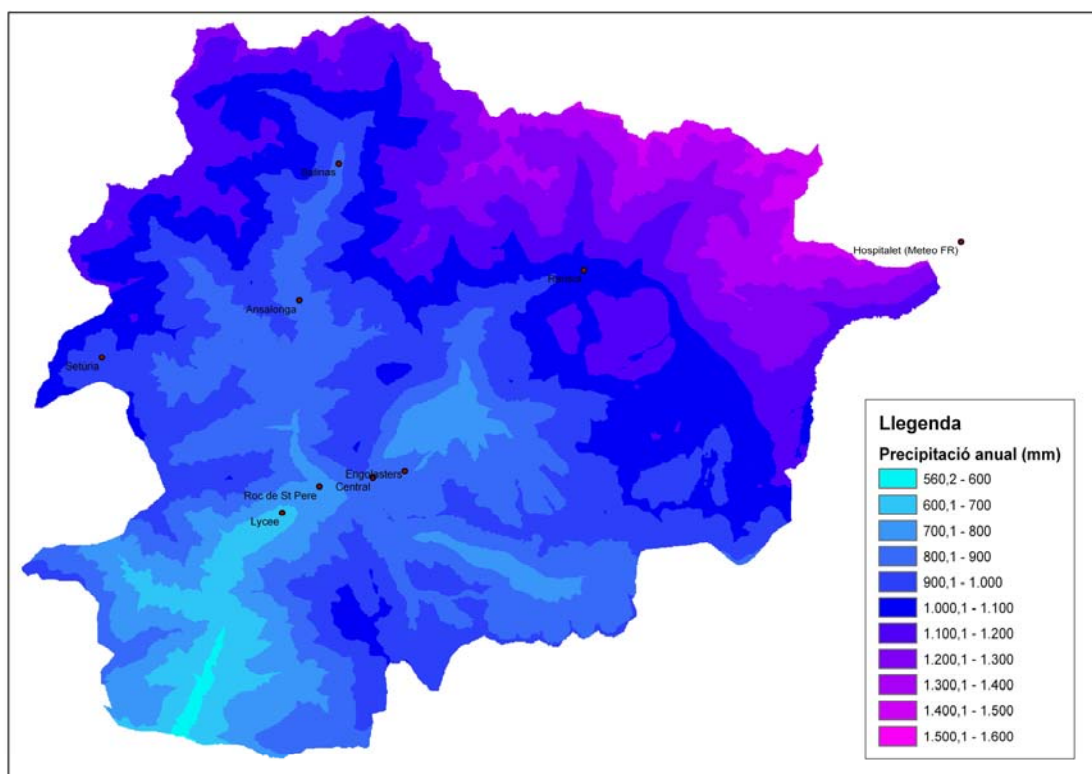
Figura 17. Gradient pluviomètric de les estacions andorranes.

El valor del gradient altimètric varia segons quines siguin les estacions usades. A continuació es presenten els valors de gradients trobats amb totes les estacions, amb les estacions Andorranes i Catalanes i tan sols amb les estacions Andorranes. Establir un gradient altimètric presenta una gran dificultat. Cal tenir disponibles dades de moltes estacions meteorològiques per poder establir el gradient pluviomètric d'una zona. Així, en el nostre cas, disposem d'un bon nombre d'estacions, però estan totes ubicades en els fons de vall. D'aquesta manera és arriscat extrapolar els gradients obtinguts en el fons de vall a vessants altes. De totes maneres, com que no es disposa de més dades, i els gradients que es presenten a continuació no s'allunyen molt dels que s'apliquen en altres zones, hem decidit escollir un gradient a partir de les dades disponibles.

En el primer gràfic representem la relació entre alçada i la precipitació per totes les estacions estudiades. En aquest cas el gradient altimètric resultant és de 9,5 mm/100 m. En aquest cas es barregen les estacions meteorològiques amb influència atlàntica i les estacions amb influència mediterrània (**figura 15**). En el segon cas s'han eliminat les estacions franceses. El gradient resultant és de 36,7 mm/100 m (**figura 16**). En el tercer cas s'han eliminat les estacions no andorranes, quedant només les que es troben en el principat. En aquest cas el gradient obtingut ha estat de 31 mm/100 m (**figura 17**).

Amb aquestes dades s'ha d'escollir el gradient pluviomètric a aplicar en el model meteorològic. El gradient mig calculat amb les estacions del territori andorrà és 31 mm/100m. Cal remarcar però que la majoria de les estacions tenen una clara influència mediterrània, així la influència atlàntica es troba poc representada. En la **figura 15** podem observar que quan tenim en compte totes les estacions meteorològiques, les franceses (clarament atlàntiques) i les catalanes (clarament mediterrànies), el gradient pluviomètric baixa de manera clara fins els 9,5 mm/100m. Així, pensem que utilitzar un gradient pluviomètric de 31 mm/100m ens portaria a

sobredimensionar les precipitacions de les capçaleres del nord del país. S'ha pres la decisió de fer els càlculs amb un gradient de 25 mm/100m per moure'ns sempre pel costat conservador en els càlculs, i no sobrevalorar les precipitacions pel que fa al càlcul dels recursos hídrics. Hem escollit un gradient de 25 mm/100m per no allunyar-nos molt del gradient calculat en les estacions d'Andorra però sense córrer el risc d'obtenir un model amb precipitacions anuals molt elevades.



Mapa 2. Distribució de les precipitacions anuals de la sèrie 1974-2005

Els resultats obtinguts són de precipitacions mínimes de l'ordre de 560mm, registrats al fons de vall. Associat a les estacions del Pirineu català, que presenten valors baixos, l'abast de les baixes precipitacions és important en la meitat sud, així com també en la meitat occidental (Valira del Nord) i bona part del fons de vall del Valira d'Orient, fins a l'alçada de Meritxell. Els valors màxims presenten valors de fins a 1524mm, en bona part associat a la presència de les estacions del Pirineu francès, molt plujoses. El sector amb més precipitació es situa a la meitat nord, destacant el sector oriental. Les precipitacions mitjanes al país són de 996mm.

Segons Raso, J.M (1999), el mapa de precipitacions elaborat tant sols amb les dades de les estacions de FEDA (Central, Engolasters i Ransol) i d'Ansalonga per la sèrie 1961-1990 presenta uns valors mínims per sobre dels trobats, de 850mm registrats al fons de vall, tot i que a tota la meitat occidental i sud del país destaca per presentar valors baixos, i uns valors màxims per sota dels trobats, de 1100mm, registrats al nord del país. Si bé es coincideix amb la distribució dels valors màxims i mínims, la principal diferència entre els dos resultats rau en el nombre d'estacions utilitzats, i potser en menor mesura per la diferència d'anys usats.

3 CÀLCUL DEL BALANÇ HÍDRIC

(En l'Annex de documentació s'adjunta un document en el qual s'aprofundeix més en l'estudi del balanç hídric)

3.1. Càlcul de la pluja útil o Excedents

En un balanç anual-plurianual, l'escolament total o pluja útil ve donat per la precipitació que no queda retinguda en el sòl i que escapa a l'evapotranspiració com a escolament superficial directe i com a escolament subterrani.

El terme de pluja útil ve donat perquè es tracta de la pluja que pot ésser usada per les necessitats de l'home.

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

$$P = ETR + Ex \quad (1)$$

$$Ex = E + I \quad (2)$$

on:

P = Precipitació total: sòlida i líquida

ETR = Evapotranspiració real

Ex = Pluja útil o escolament totals (excedents)

E = Escolament superficial directe

I = Infiltració

3.1.1. Càlcul de l'evapotranspiració

Una gran part de l'aigua que precipita sobre la superfície terrestre torna a l'atmosfera en forma de vapor a través de l'acció combinada de l'evaporació, la transpiració i la sublimació, que són tres variants d'un únic procés degut a l'acció de l'energia solar, que és un dels motors que manté el cicle hidrològic.

Així, l'aigua del sòl, després de períodes de pluja, és eliminada per un doble procés d'assecat:

- 1) **Evaporació** directe a l'aire lliure en la superfície del sòl (progressivament s'estén a nivells inferiors) i penetració lliure de l'aire al sòl (entrada i sortida per variacions de la pressió atmosfèrica). Aquest procés només afecta als primers 30 cm de sòl durant l'estació seca.
- 2) Les plantes absorbeixen l'aigua d'infiltració a través de les nombroses i finíssimes arrels. Aquesta aigua després d'ascendir per la tija i les branques penetra a les fulles a on es

descarregat a través dels porus en el procés denominat **transpiració** (com a mitja les fulles tenen 10.000 estomes o porus per cm^2).

Tant l'un com l'altre seran funció del poder evaporant de l'atmosfera, i per tant, de l'insolació, de la temperatura, de el grau d'humitat de l'aire i de la velocitat del vent.

En els estudis d'hidrogeologia i del clima s'utilitza el terme evapotranspiració que comprèn la combinació de pèrdua d'humitat per evaporació directe i per transpiració de les plantes. Aquesta suma es considera com un sol component degut a la dificultat que existeix a la pràctica a realitzar el càlcul per separat de cadascun d'aquests dos paràmetres.

La importància de l'evapotranspiració respecte el total d'aigua rebuda en una zona és freqüentment de l'ordre del 70 % i pot arribar al 90 %. A l'Espanya peninsular les pèrdues totals per evapotranspiració s'estimen de l'ordre de 3 vegades superiors a les pèrdues al mar pels rius.

La proporció d'evapotranspiració es redueix a mesura que disminueix la humitat en el sòl durant els períodes secs, ja que les plantes usen diferents mètodes per reduir la transpiració quan aquesta disminueix.

Per tant es poden definir 2 formes d'evapotranspiració: a) **evapotranspiració potencial** (ETP en mm), que és la màxima pèrdua possible d'aigua en les condicions d'humitat i cobertura vegetal idònies, i b) **evapotranspiració real** (ETR en mm), que és la que realment es produeix o s'observa en funció de les condicions climàtiques de la zona i la humitat real del sòl.

Existeixen diferents mètodes per a realitzar el càlcul de l'evapotranspiració, des de mètodes de camp amb mesures directes en parcel·les experimentals o en petites conques instrumentades, fins a mètodes empírics amb diferents fórmules deduïdes generalment de treballs de camp en zones específiques, però que es poden extrapolar a d'altres àrees amb característiques semblants.

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 base 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, l'humitat relativa de l'aire i la radiació solar. Així mateix, mitjançant una relació directe 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 mensual

Les variables climàtiques que necessiten tenir els primers mètodes no són comunes en les estacions meteorològiques del país. Si bé alguna estació en els darrers anys amplia el ventall de dades recollides tot registrant paràmetres com la velocitat del vent, humitat, etc, es tracta de mesures encara massa puntuals, de pocs mesos, tot i que algunes d'aquestes variables es poden determinar empíricament a partir de la situació geogràfica de l'estació en la qual es realitza el càlcul, com per exemple les hores de sol.

Entre el 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.

Mitjançant l'ETP mensual i les precipitacions mensuals, s'obté l'ETR mitjançant la realització d'un balanç mes a mes, o anual, de l'aigua en el sòl.

3.1.1.1. Càlcul de l'evapotranspiració potencial i real pel mètode de Thornthwaite

Per dur a terme els càlculs de balanç s'ha iniciat l'any hidrològic en el moment que totes 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 Desembre.

L'evapotranspiració potencial ETP s'estima per cada mes, utilitzant les dades de temperatura, segons les expressions següents (Thornthwaite, 1948, 1951, 1957):

$$E_{pa} = 16(10T/I)^a \quad (3)$$

On E_{pa} 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

$$i = (T/5)^{1.514} \quad (4)$$

a és un exponent que s'obté a partir de l'expressió c

$$a = 0.000000675 * I^3 - 0.0000771 * I^2 + 0.01792 * I + 0.49239 \quad (5)$$

La correcció de l'EPA a ETP es fa segons l'expressió següent:

$$ETP \text{ (mm/mes)} = EPA(N/12) * (NDM/30) \quad (6)$$

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 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, 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.

De cara a estimar la ETR s'ha realitzat un balanç hídric per cada cel·la de 25×25 , duent-se a terme les següents suposicions:

- Pel càlcul de l'evapotranspiració real es suposa que 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 100mm, segons reculls bibliogràfics (Raso, J.M, 1999) i en 30mm, per tal de tenir resultats en situacions extremes. 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 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, la ETR serà inferior a l'ETP i aleshores es parla de dèficit hídric.

El mapa de distribució de l'ETR anual presenta valors màxims de 640mm, mínims de 310mm i valors mitjos de 453 mm en el cas de $R = 100$ i valors màxims de 570 mm, mínims de 310 mm i mitjos de 434 en el cas de $R = 30$. Mentre que els valors màxims es troben al fons de vall principalment del centre del país i sud, els valors mínims cal situar-los en les capçaleres, sobretot de la part oriental.

Existeix una altra fórmula, més directa per estimar la ETR anual. Es tracta del mètode de Turc.

Amb la fórmula de Turc les úniques variables són la temperatura mitja anual i la precipitació total anual, segons la relació (7):

$$ETR = \left[\frac{P}{\sqrt{0,9 + \frac{P^2}{L^2}}} \right] \quad (7)$$

on ETR = evapotranspiració real en mm/any
 P = precipitació total en mm/any

$$L = 300 + 25t + 0,05t^3 \quad (8)$$

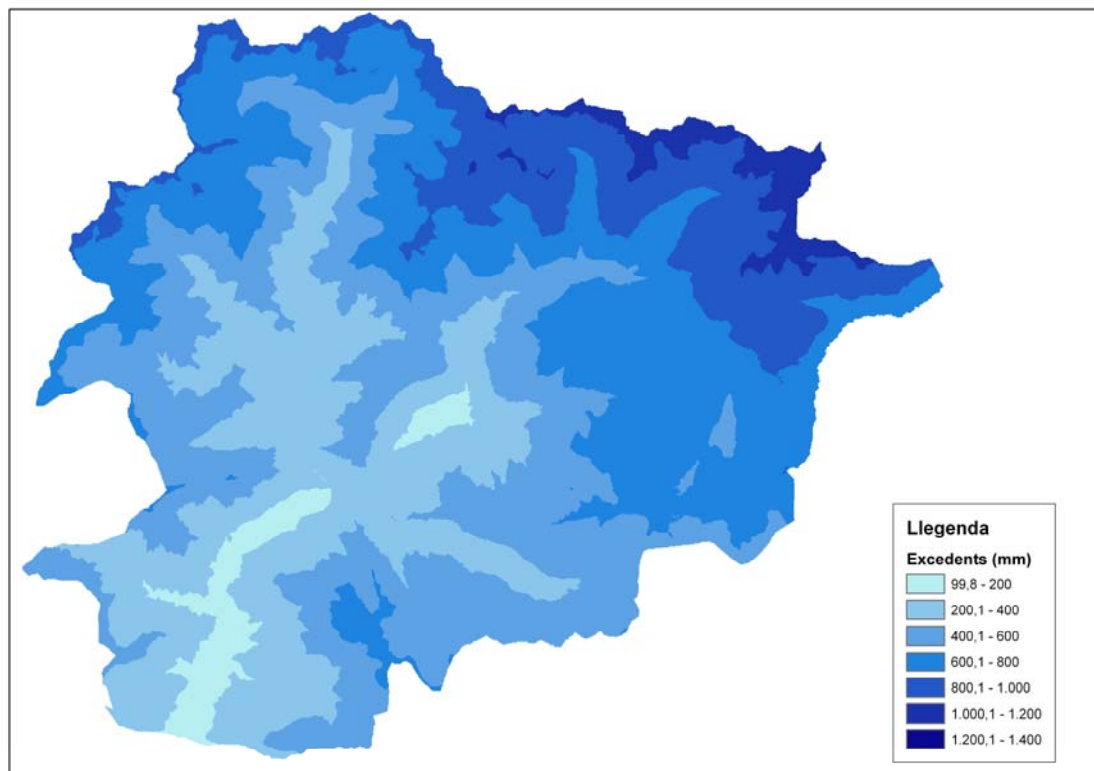
t= temperatura mitja anual en °C

El mapa de distribució de l'ETR anual segons Turc mostra valors màxims de 500mm que s'emporten al fons de vall de la part central del país, mentre que els valors mínims són de 236mm que es troben en les capçaleres.

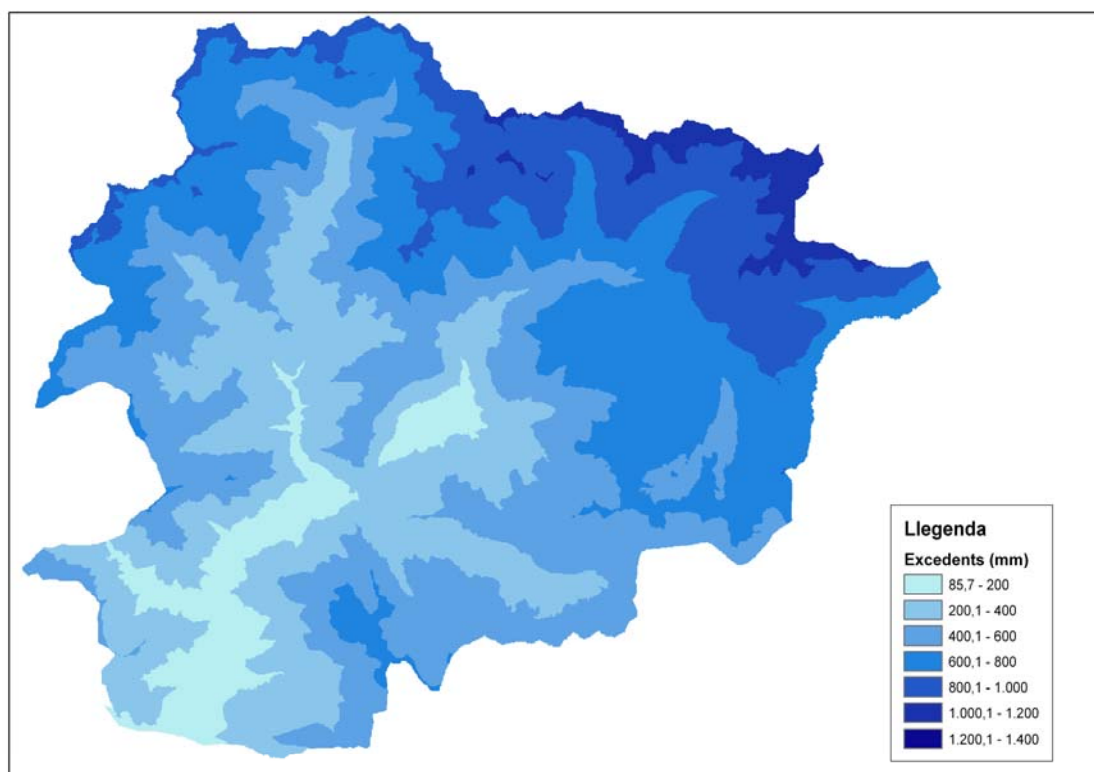
3.1.2. Càlcul de la pluja útil

Tal i com s'ha comentat, es parla d'excedents a la precipitació que escapa de l'evapotranspiració, el que alguns autors anomenen pluja útil. Parlar d'excedents és referir-se a aigua que surt com a escolament superficial directe i com a escolament subterrani. En un balanç anual o plurianual, tots els excedents acaben drenant cap als rius.

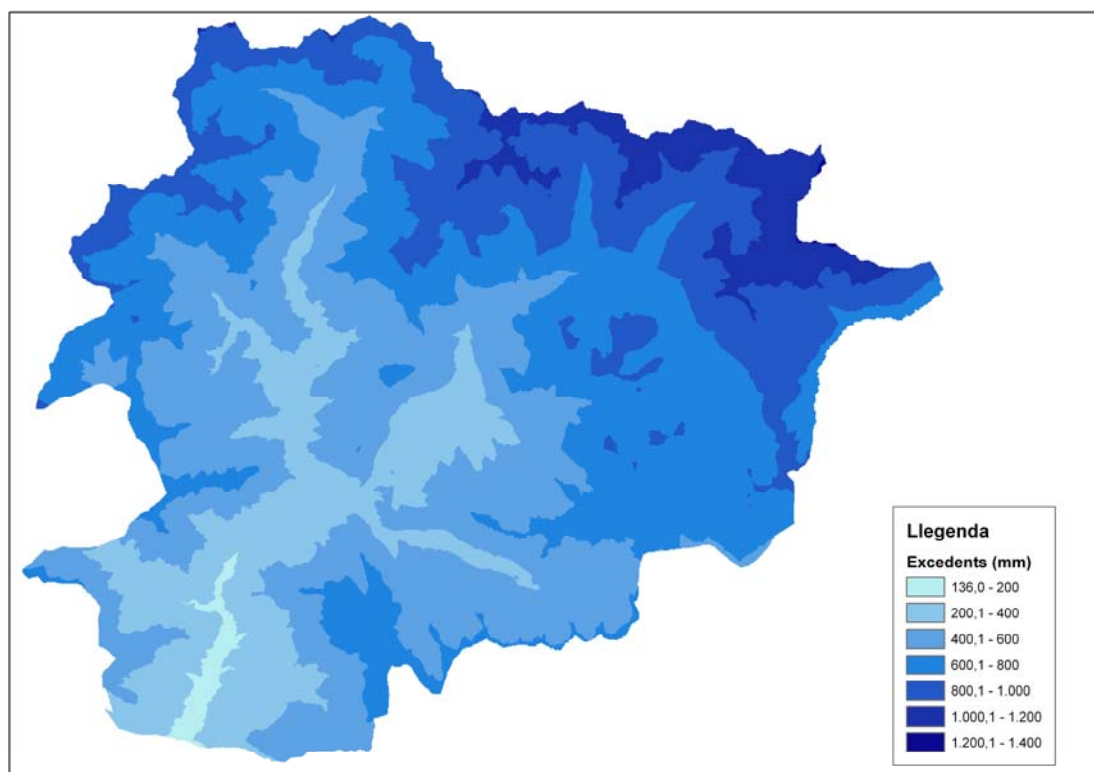
Els mapes de distribució dels excedents anuals segons Thornthwaite (mapa 3) mostren les següents distribucions de resultats. El mapa d'excedents realitzat tenint en compte una reserva del sòl de 100 mm, presenta un valor mig és de 546 mm, un valor mínim de 29 mm, els mínims es situen principalment al fons de vall i meitat occidental del país, i el valors màxim és de 1212 mm. Els valors màxims es situen en les capçaleres de la meitat nord-oriental del país. En el cas de la reserva del sòl a 30 mm, el valor mig és de 563 mm, la distribució de valors és similar però amb un mínim de 99 mm i un màxim de 1212 mm. El valor mig dels excedents és superior en el cas de la reserva fixada a 30 mm ja que en moments de sequera, baixa precipitació o alta evapotranspiració, la reserva d'aigua s'esgota ràpidament, i s'entra abans en situació de dèficit, moment en que no hi ha aigua disponible per satisfer l'evapotranspiració potencial. En canvi en el cas de la reserva fixada a 100 mm, sempre hi ha aigua disponible per satisfer la demanda de l'evapotranspiració, però per contra, llavors es necessita més aigua per reomplir la reserva després d'un període de sequera.



Mapa 3. Mapa d'excedents anuals amb la reserva de 30 mm seguint el mètode de Thornthwaite



Mapa 4. Mapa d'excedents anuals amb la reserva a 100 mm seguint el mètode de Thornthwaite.



Mapa 5. Mapa d'excedents anuals segons Turc.

El mapa de distribució dels excedents segons Turc presenta un valor mig per tot el principat de 428 mm, mostra valors mínims de 136 mm, situats principalment al fons de vall i meitat occidental del país, i els valors màxims són de 1256 mm, distribuïts en les capçaleres del nord est del país, similarmet al que s'observa amb Thornthwaite.

El fet que en l'anàlisi del balanç hídric s'hagi partit de precipitacions totals, com a suma de pluja i neu acumulada a cada mes, dona peu a que en els mesos on les precipitacions són en forma de neu, que no fon fins els següents mesos, s'estigui comptabilitzant dins el mateix mes, quan en realitat serien aport, excedents de posteriors mesos.

La manca d'estacions amb sèries diàries llargues amb diferenciació de les precipitacions sòlides de les líquides no permet acabar d'ajustar el balanç hídric.

De cara a estimar el grau de fiabilitat de cada mètode s'ha procedit a calcular els excedents anuals segons Turc i segons Thornthwaite, en dos punts concrets: estació d'Engolasters i estació Central.

Mentre segons Turc els excedents són de l'ordre dels 45% a Engolasters, segons Thornthwaite són de l'ordre del 29%. En el cas de la Central, segons Turc els excedents són del 42%, mentre que segons Thornthwaite són de l'ordre del 26%.

Segons l'estudi d'avaluació dels recursos hídrics subterranis, fase I (Igeotest, 2004), les variacions entre els dos mètodes eren mínimes. Cal comentar que es basava amb dades d'un any, 2005 i que comparava l'ETR segons Turc amb l'ETP segons Thornthwaite, pel que el valor de la reserva no es va tenir en compte.

Ahora de decantar-se per algun dels dos mètodes, pel fet de tenir més en compte la realitat mes a mes, i pel fet de ser més conservatiu, i pel fet que Thornthwaite és àmpliament usat, s'ha considerat com a vàlid els resultats obtinguts per Thornthwaite.

S'han fet els càlculs d'excedents tenint en compte també les precipitacions de l'any més plujós de la sèrie (1996) i l'any més sec de la sèrie (2005) amb la reserva a 30 mm i les temperatura mitjana de tota la sèrie. En el primer cas els excedents són de 863,86 mm, i en els cas de l'any més sec de 383,96 mm de mitjana al país. El valor mitjà de tots els anys de la sèrie és de 562,79 mm. Per tant el volum total d'excedents pot arribar a variar més d'un 50% per augment o per defecte. Així pensem que la tria del mètode de càlcul no ens ha de fer perdre de vista que la variabilitat de precipitacions anual pot superar amb escreix l'error que es pugui cometre en la elecció del mètode de càlcul del balanç hídric.

3.1.3. Càlcul del dèficit

Tal i com s'ha comentat, en el moment que les precipitacions i la reserva del sòl no poden garantir que l'ETR sigui igual a l'ETP es parla de dèficit.

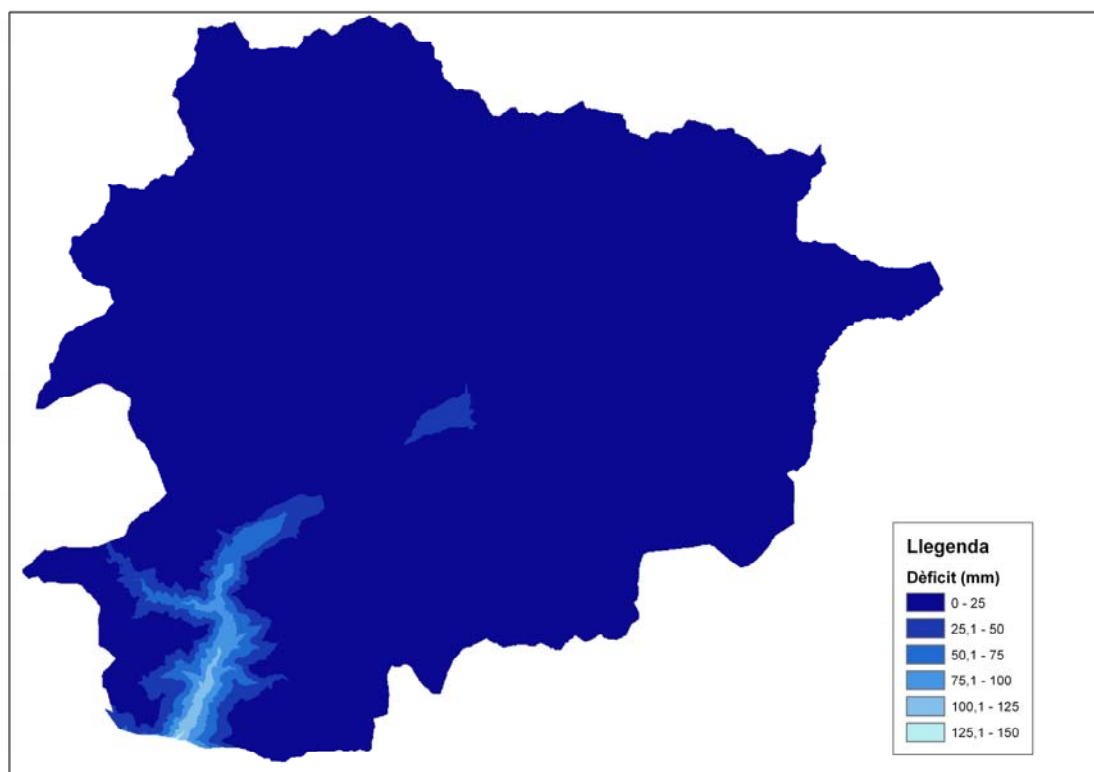
El mapa de dèficits anual, segons Thornthwaite permet veure que només existeix dèficit a la cubeta d'Encamp i al fons de vall del sud del país. Es pot observar que en el cas de la reserva a 100 mm, el dèficit és molt inferior, ja que en els mesos en que les precipitacions són inferiors, la evapotranspiració consumeix part de la reserva. Com que la reserva de 30 mm s'esgota abans, el dèficit hídric augmenta (Mapa 6 i Mapa 7).

3.1.4. Discussió del volum de la reserva del sòl a aplicar.

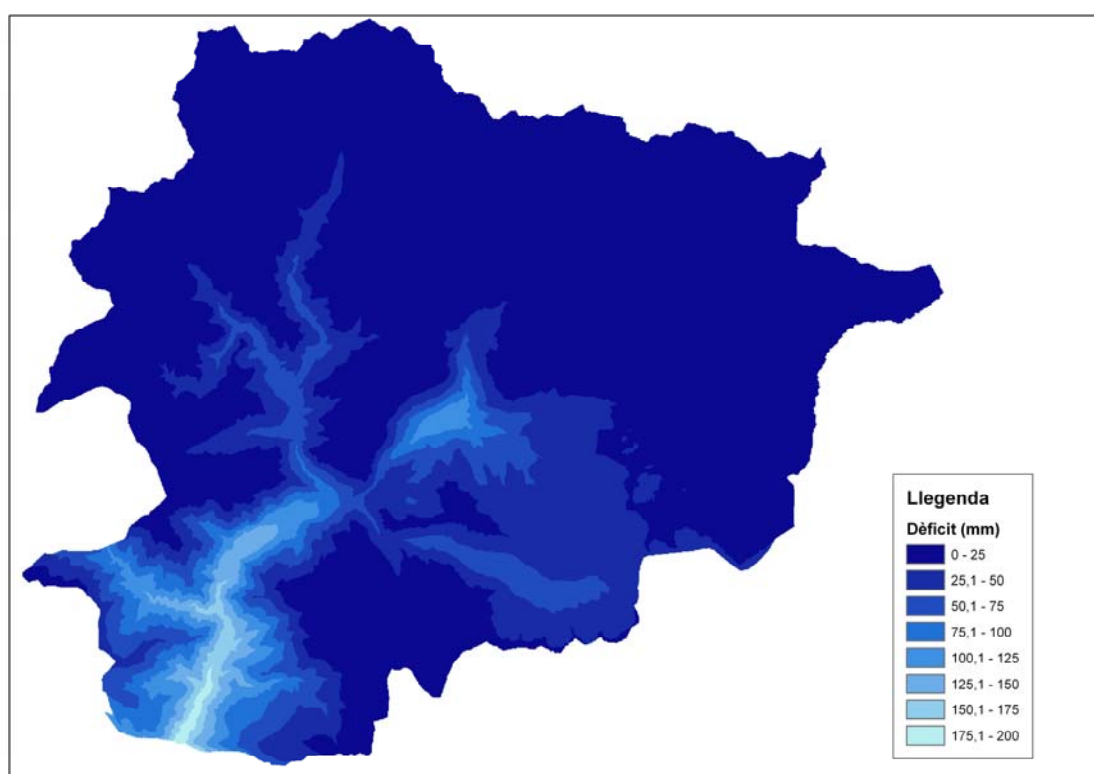
Amb els resultats observats en el càlcul del balanç, hem convingut a usar a partir d'ara les dades de càlcul del balanç segons Thornthwaite amb la reserva del sòl de 30 mm. En el càlcul realitzat amb la reserva del sòl a 100 mm hem observat que en un any mig la reserva no està plena al finalitzar l'any hidrològic, a més per la bibliografia consultada, en molts casos una reserva de 100 mm està considerada excessiva. Observant les dades d'excedents amb els dos valors de la reserva, cal remarcar que el dèficit amb un valor de la reserva de 100 mm és gairebé nul (Mapa 6), en canvi el dèficit amb un valor de la reserva de 30 és major (Mapa 7), fet que sembla més aproximat a la realitat climàtica del país. Amb els resultats observats en el càlcul del balanç, hem convingut a usar a partir d'ara les dades del càlcul del balanç segons Thornthwaite amb la reserva del sòl de 30 mm.

3.2. Estimació de l'escolament directe. Nombre de corba

Davant una precipitació P , la part que no genera escolament directe queda com a retenció superficial i/o infiltració. De cara a quantificar l'escolament directe que es generarà amb la pluja, o pluja neta o efectiva, P_e , segons alguns autors, s'ha usat el mètode del nombre de corba dissenyat pel U.S. Soil Conservation Service. Dels distints mètodes per representar el comportament hidrològic del terreny, s'ha optat per aquest ja que té en compte les característiques del terreny (tipus de sòl, coberta vegetal, ús del sòl, condicions hidrològiques), i és un dels més utilitzats, pel que permet trobar un ampli ventall d'estudis per comparar paràmetres.



Mapa 6. Mapa del dèficit hídric anual en mm. Segons el mètode de Thornthwaite amb la reserva a 100 mm.



Mapa 7. Mapa del dèficit hídric anual en mm. Segons el mètode de Thornthwaite amb la Reserva a 30 mm.

Existeix una relació entre la pluja esdevinguda i la pluja efectiva (P_e) mitjançant les corbes mostrades a la figura següent.

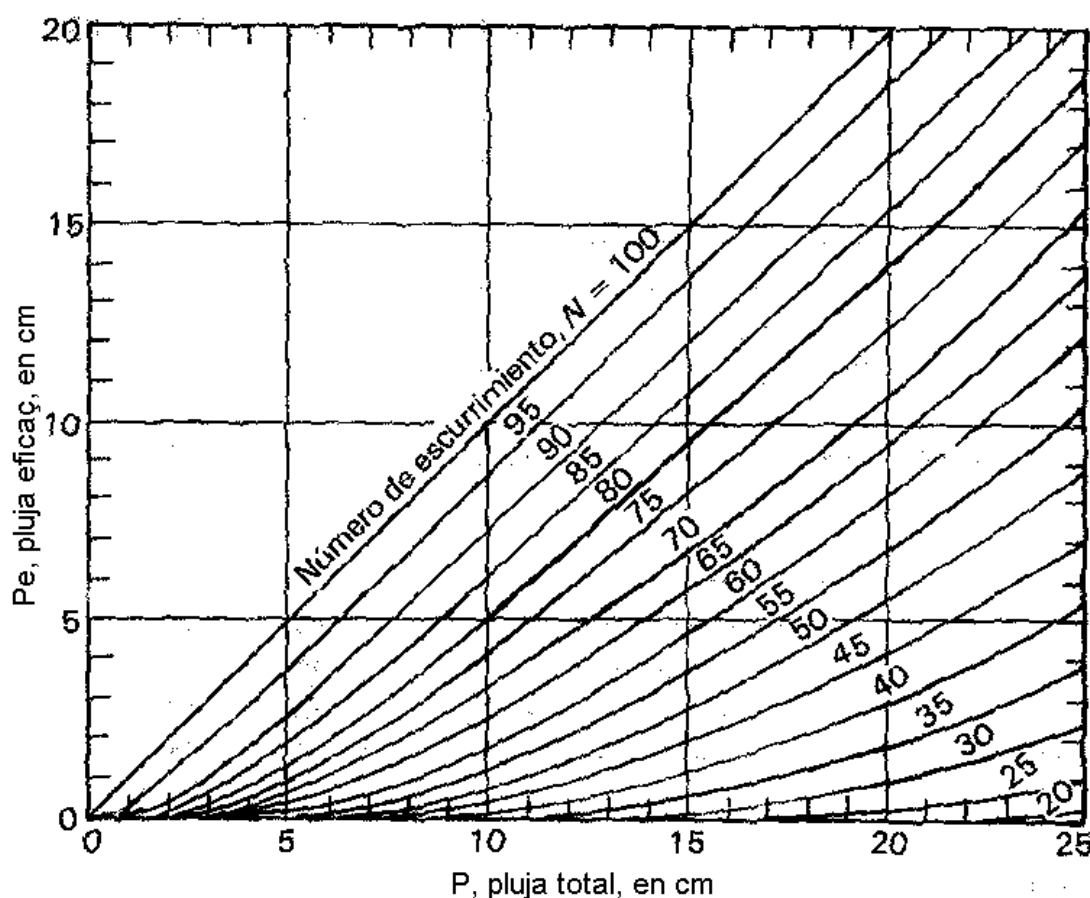


Figura 18. Relació entre la pluja total P i la pluja efectiva o útil Pe i els nombres de corba o corbes d'escolament (US Soil Conservation Service)

Aquestes corbes es poden expressar algebraicament mitjançant l'equació:

$$Pe = \frac{\left[\frac{508}{P - \frac{508}{NC} + 5.08} \right]^2}{2032} \quad (9)$$

$$P + \frac{20.32}{NC}$$

Que resulta més pràctica que utilitzar el diagrama de la figura anterior, especialment per valors de P petits.

NC és el nombre d'escolament o nombre de corba el valor del qual depèn del tipus de sòl, la cobertura vegetal, el pendent del terreny i les precipitacions anteriors, entre d'altres factors.

Un dels factors a tenir en compte és les condicions d'humitat inicials del sòl. Segons aquest s'aplica una correcció que fa passar de valors mínims a màxims el valor de N obtingut. Donat que no es disposa d'aquestes dades, s'ha procedit a no tenir-se en compte, pel que els valors obtinguts es poden considerar de mitjos.

A continuació es detalla les dades usades i les fonts d'informació de cara al càlcul de N:

Dades	Font
Model digital d'elevacions	Ministeri de Medi Ambient del MI Govern d'Andorra
Mapa de pendents	Ministeri de Medi Ambient del MI Govern d'Andorra
Mapa de cobertores de sòl d'Andorra	Ministeri de Medi Ambient del MI Govern d'Andorra
Mapa de sòls	Ministeri de Medi Ambient del MI Govern d'Andorra
Mapa de permeabilitats	Ministeri de Medi Ambient del MI Govern d'Andorra
Mapa Geològic del Principat d'Andorra	Crecit
Mapa d'usos agrícoles	Ministeri de d'Agricultura del MI Govern d'Andorra

El mètode del nombre de corba pretén classificar els tipus de sòls segons les seves característiques pedològiques, composicionals, o l'ús que se'n fa. Per tant s'ha seguit una metodologia per establir el nombre de corba per a cadascuna de les parcel·les en les que s'ha dividit el mapa d'Andorra, que com s'ha dit, es tracta de parcel·les de 5*5 metres, el que correspon a unes 20.000.000 cel·les per tot el territori andorrà. Els càlculs posteriors s'han realitzat amb cel·les de 25*25 metres, davant la lentitud i dels càlculs i la mida dels fitxers procedents d'aquests càlculs.

En primer lloc, cal classificar els sòls segons la seva permeabilitat. En el mètode del nombre de corba es defineixen 4 tipus de sòl segons les seves característiques:

Tipus de Sòl	Característiques
A	Sòls amb un baix potencial d'escolament per la seva gran permeabilitat i la seva elevada capacitat d'infiltració, fins i tot quan estan humits. Es tracta principalment de sòls profunds amb textures grosses (arenoses o areno-llimoses)
B	Sòls amb moderada capacitat d'infiltració quan estan saturat. Principalment consisteixen en sòls de mitjana a alta profunditat amb un bon drenatge. Les seves textures van de moderadament fines a moderadament grosses
C	Sòls a escassa capacitat d'infiltració una vegada saturats. La seva textura va de moderadament fina a fina. També s'inclouen en aquest punt sòls que presenten horitzons superficials bastant impermeables.
D	Sòls molt argilosos amb elevat potencial d'escolament, i per tant amb molt baixa capacitat d'infiltració quan estan saturats. També s'inclouen aquí els sòls que presenten una capa d'argila somera i molt impermeable així com sòls joves de escàs espessor sobre roca impermeable, certs sòls salins i sòls amb el nivell freàtic alt.

Per poder definir els tipus de sòls establerts en la figura anterior, cal trobar una correspondència que ens permeti passar del nostres mapes de sòls i de permeabilitats a la classificació de sòls. El primer criteri establert és el que fa referència al mapa de permeabilitat. Aquest mapa, que comprèn tan sols una part del territori (parcel·les amb pendent inferior al 20%) ens permet fer una correspondència entre el mapa de permeabilitats de sòls i el mapa de tipus de sòls pel càlcul del nombre de corba.



Tipus de Sòl	Segons el mapa de permeabilitats segons Ministeri de Medi Ambient
A	$K > 10$ m/dia
B	$1 < K < 10$ m/dia
C	$0,01 < K < 1$ m/dia
D	$K < 0,01$ m/dia

El segon criteri establert és el que fa referència al mapa pedològic i la seva relació amb el tipus de sòl.

Tipus de Sòl	Segons el mapa pedològic
B	Rànquers sobre granits i Litosòls sobre granit i esquists
C	Rànquers (excepte sobre granits i pissarres del Silurià) i Rendzines
D	Litosòls sobre calcàries i sobre pissarres del Silurià i rànquers sobre pissarres del Silurià

Cal tenir en compte que en el mapa pedològic no diferencia la mida de gra de la roca que produeix els sòls, sinó només en base al tipus de substrat, segons si és calcari o silícic, i segons el grau de maduresa del sòl. Un litosòl sobre granit no té la mateixa textura que un litosòl sobre pissarres del Silurià tot i que els dos tipus de sòl són litosòls silícics. Així, abans de transformar el mapa pedològic en un mapa de tipus de sòl per al càlcul del nombre de corba ha calgut fer un pas previ. Hem utilitzat el mapa geològic per conèixer bé la mida de gra de roca. Així la classificació de sòls ha estat la següent:

Amb el mòdul de Geoprocessing Wizard, una unió és un procés que permet sumar les formes geogràfiques i la informació de la taula de dades de dues capes diferents. D'aquest procés en surt un mapa que combina les dades de composició i textura del sòl. Les categories resultants d'aquest mapa són les següents.

Per fer la conversió del mapa de sòls i del mapa de permeabilitat al mapa de tipus de sòls, caldrà dividir el mapa d'Andorra en dos: la zona d'Andorra en la qual es tenen mesures de permeabilitat del fons de vall amb pendent inferiors al 20% i la zona d'Andorra d'on no es tenen mesures de permeabilitat. En la zona d'on no es tenen mesures de permeabilitat es treu el tipus de sòl (A, B, C, D) a través de la seva composició, en canvi de la zona d'on sí que es tenen mesures de permeabilitat, les usarem per fer la classificació del sòl. La taula de conversió de permeabilitats a tipus de sòl NC i de característiques del sòl a tipus de sòl NC han estat les següents:

Tipus de sòl NC	Permeabilitat mesurada (m/dia)
A	$K > 10$
B	$1 < K < 10$
C	$0,01 < K < 1$
D	$K < 0,01$

Tipus de Sòl NC	Composició del sòl
B	Litosòls Silícics de gra gros
B	Rànkers Silícics de gra gros
C	Rendzines Calcàries
C	Rànkers calcàries
C	Rendzines Silícic de gra fi
C	Rendzines Silícic de gra gros
D	Altres tipologies



Litologia	Composició
Aplites	Silícic gra gros
Intercalacions de pissarres fosques	Calcàries
Intercalacions de roques carbonàtiques	Calcàries
Sèries gresopelítiques rítmiques	Silícic gra fi
Sèries gresopelítiques inferiors	Silícic gra fi
Intercalacions de roques bàsiques	Silícic gra gros
Intercalacions de roques carbonatades	Calcàries
Intercalacions de quarsites, gresos i conglomerats	Silícic gra gros
Calcàries i pissarres	Calcàries
Calcàries massisses (formació de Castanesa)	Calcàries
Pissarres grises amb intercalacions primes de calcàries i gresos (formació de Civis)	Silícic gra fi
Pissarres grises (formació de Fonchanina)	Silícic gra fi
Margocalcàries i pissarres virolades (formació Griotte de Manyanet)	Calcàries
Alternances de calcàries i pissarres marrons (formació de Rueda)	Calcàries
Gneis blanc de gra fi (Gneis Blanc)	Silícic gra gros
Granodiorites amb biotita	Silícic gra gros
Granodiorites amb biotita i hornblenda	Silícic gra gros
Gneis ocellar (Gneis de l'Ospitalet)	Silícic gra gros
Lampròfirs	Silícic gra gros
Milonites	Silícic gra gros
Limolites grises (formació d'Ansovell)	Silícic gra fi
Quarsites (quarsita de Bar)	Silícic gra gros
Microconglomerats, gresos i lutites versicolors (formació de Cava)	Silícic gra gros
Calcàries i calcàries margoses (formació d'Estana)	Calcàries
Conglomerats i microconglomerats (conglomerats de la Rabassa)	Silícic gra gros
Pegmatites i granits de dues miques	Silícic gra gros
Pòrfirs granodiorítics i quarsítics	Silícic gra gros
Roques àcides	Silícic gra gros
Pissarres i calcàries negres	Silícic gra fi

Un cop realitzades aquestes transformacions, utilitzant el geoprocessing wizard, realitzem un merge de les dues capes amb la informació del tipus de sòl NC de tot el territori andorrà.

Un altre dels factors que intervenen en el nombre de corba és l'ús del sòl. Per això s'ha fet servir el mapa d'usos agrícoles i el mapa de cobertes del sòl.

El mapa d'usos agrícoles permet distingir erms (ERM), farratge i peixaders combinats (FPE), conreu de patates (PA), horts (HO), tabac (TA), prats de dall (DA) i zones peixaderes (PE).

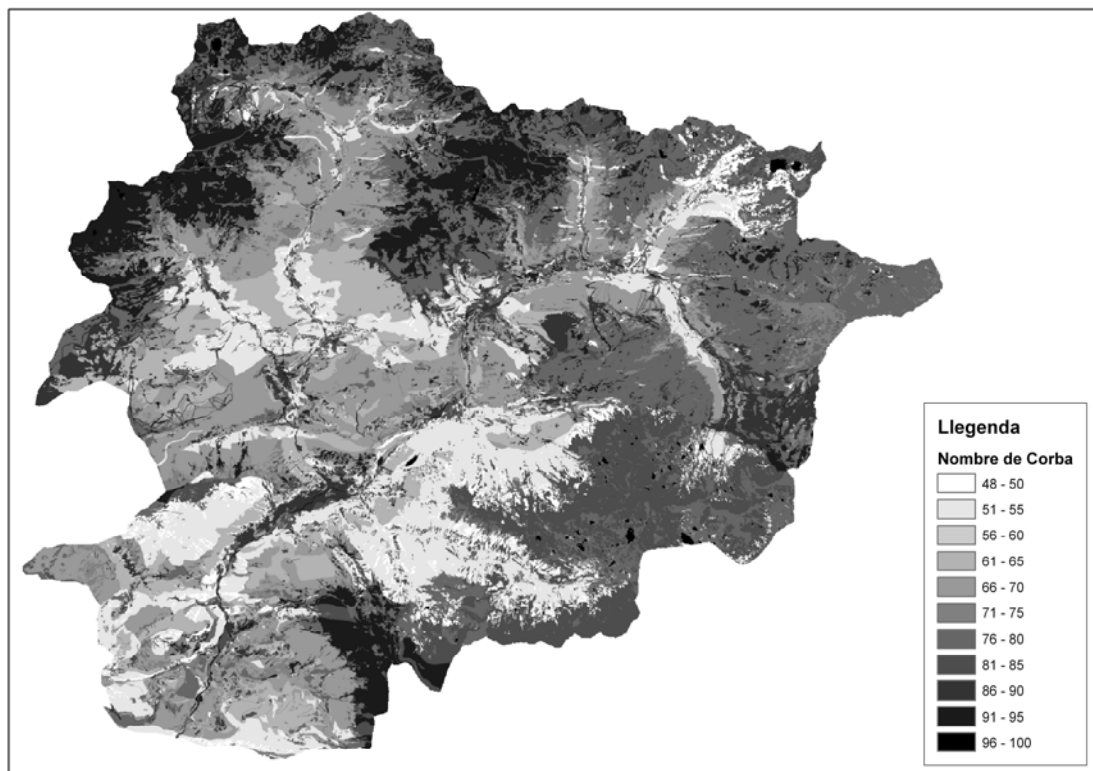
El mapa de cobertes del sòl permet diferenciar els següents camps: arbrat dens (b), conreus (c), vies de comunicació (K), matollars (m), zones nues (n), prats i herbissars (p), roquissars (r), tarteres (t), zones urbanitzades (u), arbrat clar (v) i aigües continentals (W).

Un altre dels factors que incideix en el nombre de corba és el pendent del terreny. S'ha fet una divisió del territori entre les zones amb un pendent superior la 3 % i zones amb el pendent inferior. La classificació ha estat la següent:

Ús agrícola	Nombre de corba segons el tipus de sòl				Pendent
	A	B	C	D	
TA i PA	66	76	83	87	<3%
	71	80	85	89	>3%
HO	62	71	78	81	<3%
	66	74	80	82	>3%
PE i DA	30	53	68	78	<3%
	30	53	68	78	>3%
FPE	55	69	78	83	<3%
	64	75	83	86	>3%
ERM	77	86	91	94	<3%
	77	86	91	94	>3%

Després s'ha aplicat la classificació amb les dades del mapa de cobertores de sòl. La classificació aplicada és la següent:

Cobertura	Nombre de corba segons el tipus de sòl				Pendent
	A	B	C	D	
c	65	75	82	85	<3%
	69	78	84	87	>3%
v	46	68	78	84	<3%
	46	68	78	84	>3%
p	39	61	74	80	<3%
	68	79	86	89	>3%
b	26	52	62	69	<3%
	26	53	62	69	>3%
u	89	92	94	95	<3%
	73	83	89	91	>3%
k	59	74	82	86	<3%
	59	74	82	86	>3%
w	99	99	99	99	<3%
	99	99	99	99	>3%
m	30	48	65	73	<3%
	30	48	65	73	>3%
n / r / t	74	84	90	92	<3%
	74	84	90	92	>3%
d / s	59	74	82	86	<3%
	59	74	82	86	>3%



Mapa 8. Mapa del Valor del Nombre de Corba. Cal notar que a nombre de corba més alt més petita és la precipitació llindar. La precipitació llindar és la precipitació a partir de la qual comença l'escolament superficial. Així, un nombre de corba més alt més escolament superficial per la mateixa precipitació.

3.3. Determinació del tipus de precipitació

Per tal de poder analitzar aquests valors, i com que el càlcul d'avingudes amb el nombre de corba s'aplica a episodis individuals de pluja (tempestes), hem de transformar les dades mensuals de precipitació en dades de precipitació diàries. Per realitzar aquest pas hem recorregut a la monografia sobre les característiques de la precipitació al Pirineu Andorrà editada pel CRECIT. En aquesta monografia es fa un anàlisi molt exhaustiu de les característiques de la precipitació a Andorra pel que s'ha aprofitat aquest anàlisi per mirar de definir les precipitacions diàries al principat.

En primer lloc, cal saber quin és el número de dies de precipitacions que es produeixen a Andorra cada mes. Observant les dades de la monografia, i centrant-nos en les sèries pluviomètriques amb més dades (les sèries de les estacions de FEDA-FHASA), podem observar que hi ha una certa diferència en el nombre de dies de precipitació en el territori. Tot i així, considerant que les diferències són petites (**taula 12**), hem considerat que el nombre de dies de pluja mensual diària és el mateix a tot el principat.

Mes	Ransol	Engolasters	Central	Mitjana
Gener	11,7	11,2	9,2	11
Febrer	11,4	10,4	8,6	10
Març	12,3	11,2	9,2	11
Abril	15	13,8	11,8	14
Maig	15,8	16	14,5	15
Juny	13,4	13,4	12,5	13
Juliol	9,8	9,5	9,1	9
Agost	11,4	11,2	10,5	11
Setembre	10,4	9,9	9,3	10
Octubre	12,3	11,5	10,6	11
Novembre	12,3	11,1	9,7	11
Desembre	12	10,7	9	11

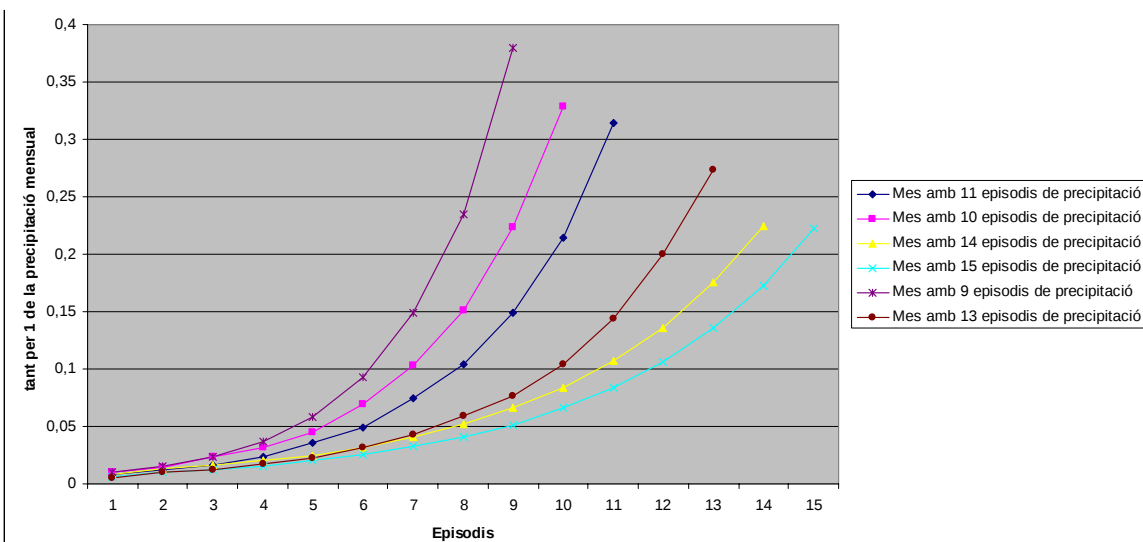
Taula 12. Dies de precipitació mitjana per a cadascun dels mesos de l'any

A continuació ha calgut distribuir la pluja mensual entre els dies de pluja totals de cada mes. Per fer aquest pas hem assumit que la relació entre els dies de pluja i la quantitat de precipitació, segueix un ajust exponencial. Així hem completat la següent taula que ens mostra la contribució en tant per 1 de cada episodi de pluja respecte el total de pluja del mes.

Mes	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	total
Gener	0,0086	0,0121	0,0164	0,0233	0,0354	0,0492	0,0743	0,10	0,1486	0,2143	0,3141					1
Febrer	0,01	0,0147	0,0232	0,032	0,0449	0,0691	0,10	0,1512	0,2238	0,3283						1
Març	0,0086	0,0121	0,0164	0,0233	0,0354	0,0492	0,0743	0,10	0,1486	0,2143	0,3141					1
Abril	0,0086	0,013	0,0164	0,02	0,025	0,032	0,0406	0,0518	0,0665	0,0838	0,11	0,1356	0,1754	0,2242		1
Maig	0,0065	0,0097	0,0124	0,0157	0,02	0,0254	0,0324	0,0405	0,05	0,0659	0,0836	0,11	0,1355	0,1728	0,2225	1
Juny	0,005	0,01	0,0121	0,0173	0,0225	0,032	0,0432	0,0587	0,0769	0,10	0,1443	0,2	0,2735			1
Juliol	0,01	0,0156	0,0233	0,0371	0,0579	0,09	0,1486	0,2351	0,38							1
Agost	0,0086	0,0121	0,0164	0,0233	0,0354	0,0492	0,0743	0,10	0,1486	0,2143	0,3141					1
Setembre	0,01	0,0147	0,0232	0,032	0,0449	0,0691	0,10	0,1512	0,2238	0,3283						1
Octubre	0,0086	0,0121	0,0164	0,0233	0,0354	0,0492	0,0743	0,10	0,1486	0,2143	0,3141					1
Novembre	0,0086	0,0121	0,0164	0,0233	0,0354	0,0492	0,0743	0,10	0,1486	0,2143	0,3141					1
Desembre	0,0086	0,0121	0,0164	0,0233	0,0354	0,0492	0,0743	0,10	0,1486	0,2143	0,3141					1

Taula 13. Contribució en tant per 1 de cada episodi de pluja respecte el total de pluja del mes

Les dades utilitzades per fer la taula d'episodis de precipitació han estat realitzades després de realitzar un ajust exponencial de les dades de precipitació. Aquest ajust s'ha fet seguint dues premisses, la suma de totes les contribucions ha de ser igual a 1 i els valors s'han d'ajustar a una corba exponencial d'ajust proporcionada per l'Excel. Els gràfics d'ajust es presenten a continuació.



Tal com es pot observar, i a causa de l'ajust exponencial del programa Excel, com més episodis de precipitació té un mes, menys contribució en la precipitació mensual hi ha per a cada episodi. Per aquest fet els mesos amb menys dies de precipitació són els que tenen dies amb més precipitació en relació al total mensual.

Mes	P_mitja	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Gener	56,8	0,5	0,7	0,9	1,3	2,0	2,8	4,2	5,9	8,4	12,2	17,9				
Febrer	31,6	0,3	0,5	0,7	1,0	1,4	2,2	3,2	4,8	7,1	10,4					
Març	44,2	0,4	0,5	0,7	1,0	1,6	2,2	3,3	4,6	6,6	9,5	13,9				
Abril	73,7	0,6	1,0	1,2	1,5	1,8	2,4	3,0	3,8	4,9	6,2	7,9	10,0	12,9	16,5	
Maig	89,2	0,6	0,9	1,1	1,4	1,8	2,3	2,9	3,6	4,6	5,9	7,5	9,4	12,1	15,4	19,8
Juny	86,5	0,4	0,9	1,0	1,5	1,9	2,8	3,7	5,1	6,7	9,0	12,5	17,3	23,7		
Juliol	61,5	0,6	1,0	1,4	2,3	3,6	5,7	9,1	14,5	23,4						
Agost	89,1	0,8	1,1	1,5	2,1	3,2	4,4	6,6	9,2	13,2	19,1	28,0				
Setembre	84,1	0,8	1,2	2,0	2,7	3,8	5,8	8,6	12,7	18,8	27,6					
Octubre	84,7	0,7	1,0	1,4	2,0	3,0	4,2	6,3	8,8	12,6	18,2	26,6				
Novembre	75,7	0,7	0,9	1,2	1,8	2,7	3,7	5,6	7,9	11,3	16,2	23,8				
Desembre	63,5	0,5	0,8	1,0	1,5	2,2	3,1	4,7	6,6	9,4	13,6	19,9				

Taula 14. Exemple d'episodis de pluja en el cas de les dades mitjanes mensuals de l'observatori la Central de FEDA

Mes	P_mitja	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Gener	77,5	0,7	0,9	1,3	1,8	2,7	3,8	5,8	8,0	11,5	16,6	24,3				
Febrer	48,6	0,5	0,7	1,1	1,6	2,2	3,4	5,0	7,3	10,9	16,0					
Març	58,5	0,5	0,7	1,0	1,4	2,1	2,9	4,3	6,1	8,7	12,5	18,4				
Abril	94,5	0,8	1,2	1,5	1,9	2,4	3,0	3,8	4,9	6,3	7,9	10,1	12,8	16,6	21,2	
Maig	111,3	0,7	1,1	1,4	1,7	2,2	2,8	3,6	4,5	5,7	7,3	9,3	11,8	15,1	19,2	24,8
Juny	103,0	0,5	1,0	1,2	1,8	2,3	3,3	4,5	6,0	7,9	10,8	14,9	20,6	28,2		
Juliol	75,7	0,8	1,2	1,8	2,8	4,4	7,0	11,2	17,8	28,8						
Agost	101,0	0,9	1,2	1,7	2,4	3,6	5,0	7,5	10,5	15,0	21,6	31,7				
Setembre	95,5	1,0	1,4	2,2	3,1	4,3	6,6	9,8	14,4	21,4	31,4					
Octubre	100,8	0,9	1,2	1,7	2,3	3,6	5,0	7,5	10,5	15,0	21,6	31,7				
Novembre	87,9	0,8	1,1	1,4	2,0	3,1	4,3	6,5	9,1	13,1	18,8	27,6				
Desembre	82,5	0,7	1,0	1,4	1,9	2,9	4,1	6,1	8,6	12,3	17,7	25,9				

Taula 15. Exemple d'episodis de pluja en el cas de les dades mitjanes mensuals de l'observatori Ransol

La relació exponencial que compleix cada un dels mesos és diferent, i depèn del nombre de dies de precipitació mensual. En aquest punt cal assumir que tal i com s'han repartit les contribucions de precipitació s'han minimitzat els dies de pluja molt copiosa o extraordinària. Per exemple en els episodis de pluja de l'any mitjà obtingut, la pluja més abundant a Ransol és de 31,7 mm. És molt probable que en un any hi hagi pluges superior en aquest punt del país, però al tractar-se de l'estudi d'un any mig, aquests episodis no han quedat reflectits. A més ja havíem mencionat anteriorment que l'ajust exponencial serveix per a valors de precipitació baixos, però que no s'obtenia una correlació tant bona per a valors de pluja alts. Hem de tenir en compte però que la sèrie que tenim és de 39 anys, però que segons Estrada (2004) el període de retorn d'una pluja diària com la de 1982 a Ransol (151 mm) és de gairebé 500 anys, i per aquest fet és possible que la sèrie sigui massa curta per poder veure la distribució real de tots els valors, sobretot els valors de precipitació més alts. Cal tenir en compte que minimitzant els episodis de precipitació molt copiosos o extraordinaris, estem infravalorant l'escolament superficial directe, ja que és durant aquest tipus d'episodis on es produeix major escolament superficial, i per tant menys infiltració per a cada mm de pluja caiguda.

Per comprovar la validesa dels valors hem calculat la mitjana de precipitacions a Ransol de la següent manera: per a cada mes de la sèrie 1974-2005, hem ordenat les precipitacions de més a menys quantitat. I hem fet la mitjana aritmètica d'aquests valor, obtenint, un llistat de precipitacions de cada mes (taula 16). Aquestes precipitacions mitjanes, si es comparen amb els valors obtinguts en el model, sobretot les més quantioses, que són les que més influència tenen en el càlcul de l'escolament directe, observem que el model s'ajusta molt bé a les precipitacions mitjanes (taula 17).

Mitjana de les precipitacions en mm a Ransol entre 1974 i 2005

Gener	Febrer	Març	Abril	Maig	Juny	Juliol	Agost	Setembre	Octubre	Novembre	Desembre
23,30	16,48	18,05	23,34	28,66	27,99	23,87	29,96	35,26	30,69	33,46	25,05
13,93	9,91	12,79	16,01	18,20	17,31	14,16	20,21	21,43	18,81	17,25	16,57
9,49	6,12	8,00	11,91	13,25	12,84	10,50	13,64	13,22	12,55	11,33	10,92
6,84	4,39	6,14	9,99	10,77	10,35	8,20	9,34	9,18	9,64	8,03	7,50
5,01	3,31	4,06	8,24	8,77	7,97	6,31	7,35	5,94	7,91	6,21	5,41
3,96	2,48	3,19	6,67	7,15	6,42	4,35	5,30	4,06	6,00	4,46	4,17
3,27	1,79	2,18	5,06	5,89	5,00	2,85	4,11	3,02	4,08	3,22	3,04
2,30	1,14	1,65	3,83	4,56	3,88	1,96	3,10	1,68	3,03	2,01	2,46
1,83	0,93	1,15	2,91	3,52	2,95	1,50	2,40	1,14	2,23	1,62	1,82
1,47	0,74	0,81	2,33	2,91	2,24	0,80	1,77	0,83	1,67	1,14	1,45

Precipitacions en mm segons el model aplicat a l'estació de Ransol

Gener	Febrer	Març	Abril	Maig	Juny	Juliol	Agost	Setembre	Octubre	Novembre	Desembre
24,33	15,95	18,39	21,19	24,76	28,18	28,77	31,73	31,35	31,67	27,62	25,90
16,60	10,87	12,54	16,58	19,23	20,61	17,80	21,65	21,37	21,61	18,84	17,67
11,51	7,35	8,70	12,81	15,08	14,87	11,25	15,01	14,44	14,98	13,07	12,25
8,03	4,99	6,07	10,12	11,77	10,77	7,00	10,47	9,82	10,46	9,12	8,55
5,76	3,36	4,35	7,92	9,30	7,92	4,38	7,50	6,60	7,49	6,53	6,13
3,81	2,18	2,88	6,28	7,33	6,05	2,81	4,97	4,29	4,96	4,33	4,06
2,74	1,55	2,07	4,90	5,71	4,45	1,76	3,58	3,06	3,57	3,11	2,92
1,81	1,13	1,36	3,84	4,51	3,30	1,18	2,35	2,22	2,35	2,05	1,92
1,27	0,71	0,96	3,02	3,61	2,32	0,76	1,66	1,40	1,65	1,44	1,35
0,94	0,49	0,71	2,36	2,83	1,78	0,00	1,22	0,96	1,22	1,06	1,00

Taules 16 i 17. Taules de comprovació de la validesa del model de precipitacions aplicat.

Amb els valors de contribució de la precipitació de cada episodi en el total de pluja mensual, hem creat els mapes de precipitació mensual diària. Aquests mapes s'han obtingut a partir dels mapes de precipitació mensual. Cada cel·la del mapa de precipitació mensual ha estat multiplicada pel valor de la contribució de cadascun dels episodis de precipitació. Així s'han obtingut els mapes de precipitació per a cada episodi. La simplificació en aquest punt és evident. Considerem que cada episodi produeix la mateixa contribució en la pluja mensual exactament igual en cada punt del país.

Amb els mapes de precipitació diària, s'han aplicat les fórmules per obtenir el valor de l'escolament superficial en cada cel·la del mapa i per cada episodi.

$$Q = (P - 0,2 \cdot S)^2 / (P + 0,8 \cdot S) \text{ Si } P > 0,2 \cdot S \quad Q = 0 \quad (10)$$

on $S = (25400 / NC) - 254$ on NC és el valor de Nombre de Corba de la cel·la.

Així sumant tots els mapes d'escolament superficial, obtenim un mapa de pluja neta, per cada mes de precipitació mitja, per a cada cel·la de 5 per 5 metres.

3.4. Ajust del mètode del nombre de corba

Els valors del nombre de corba assignats a cada tipus de terreny s'han ajustat amb els valors de cabals mesurats. Un cop confeccionat un primer mapa del nombre de corba, s'han realitzat els càlcul per les conques on hi ha estacions d'aforament per poder calibrar el mètode. La manera de procedir ha estat la següent. Hem fet servir les dades de precipitació de setembre i octubre. Hem escollit aquests dos mesos per l'absència gairebé total de neu (precipitada i en forma de coberta). Hem decidit descartar el més d'agost ja que tot i que la presència de neu a les capçaleres és molt infreqüent, per eliminar totalment la influència d'aquest element que pot alterar la calibració. Els resultats del cabals mensuals provocats per l'escolament directe a causa de les pluges han estat els següents.

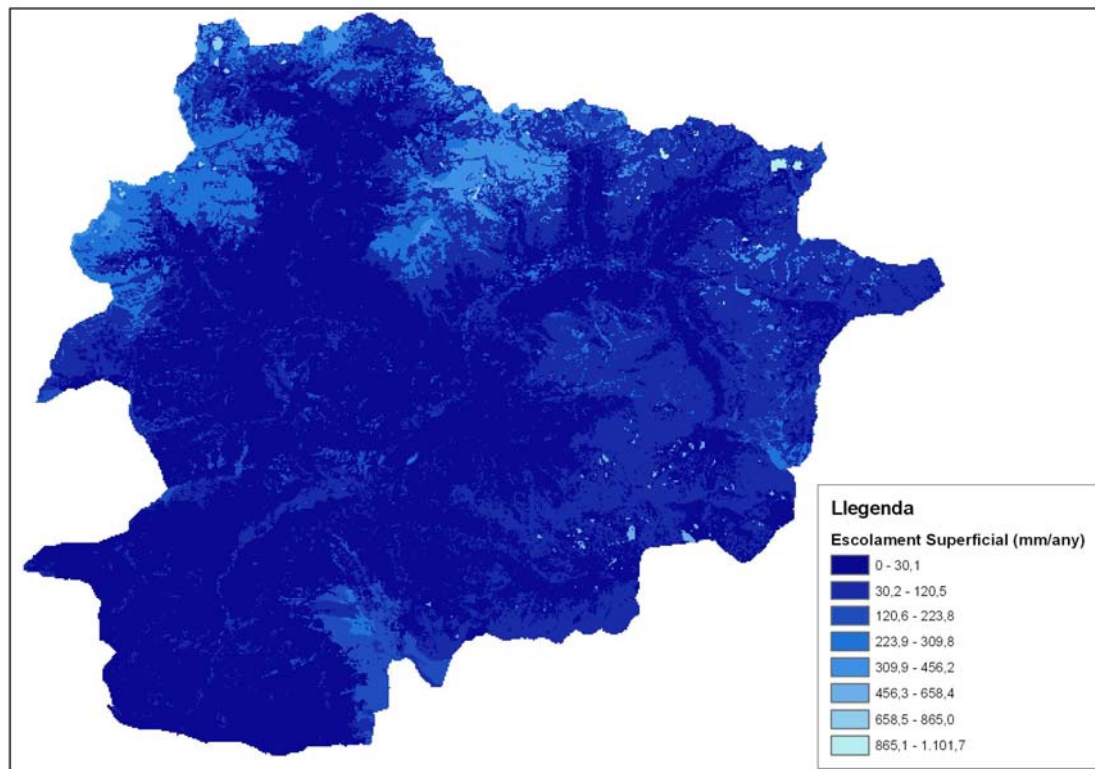
Nom de la Conca	Escolament directe mesurat amb aforaments (Hm3/2mesos)	Escolament directe calculat amb el NC i les pluges mitges de setembre i octubre (Hm3)	Escolament directe calculat amb una pluja de 60 mm a tota la conca (Hm3)
Valira-Ransol	2,2±0,55	1.47	1.5
Madriu-Ràmio	0,7±0,18	0.26	0.21
Valira Nord-Escalls	6,8±1,7	2.89	2.54
Valira-Borda Sabater	19,1±4,77	6.48	7.05

Cal tenir en compte que s'ha usat una distribució de pluges mitges, i que en aquest mètode, la intensitat de la precipitació és fonamental per ajustar els càlculs. Tal com s'havia comentat anteriorment, les precipitacions mitjanes calculades no contemplen precipitacions molt copioses, per tant a la taula s'hi ha inclòs una columna amb les dades d'escolament superficial provocat per una precipitació de 60 mm diaris a tota la conca. Cal fer notar que les dades d'aforaments tenen un error de mesura que ronda el 25 %. Per tant, amb els ajustos aconseguits ens donem per plenament satisfets i validem els valors assignats per cada tipus de terreny en el mètode del nombre de corba (S'adjunta l'Annex **Anàlisi del balanç hídric: Calibració** on s'amplia aquest apartat).

3.5. Mapes derivats del càlcul de balanç hídric.

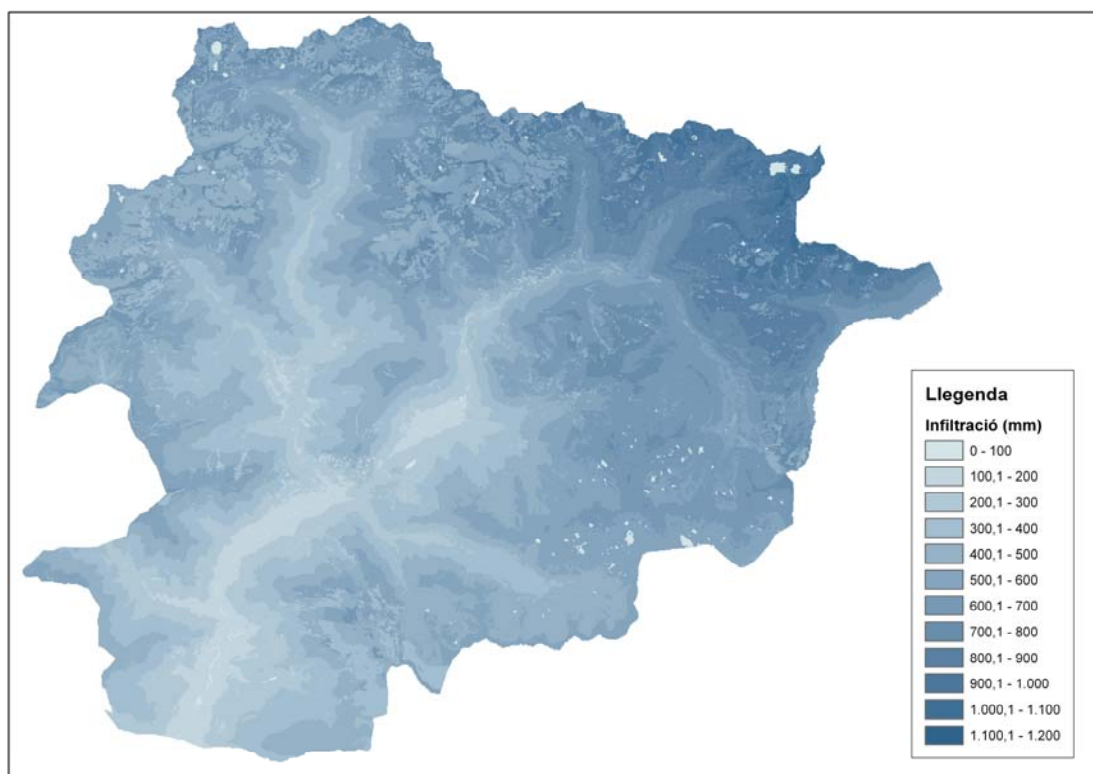
Amb l'aplicació del mètode del nombre de corba per cadascun dels 137 episodis de precipitació mitjos, s'obté un mapa d'escolament superficial mig en el país. El valor mig d'escolament anual al país és de 57,19 mm. Tenint en compte que la precipitació mitjana al país

és de 996,39 mm, l'escolament superficial anual és d'un 5,74 % de la precipitació. Tal com s'observa en el mapa 9, les zones amb un escolament superficial major, són les capçaleres dels rius amb tarteres de les sèries gresopelítiques del cambroordovicià i amb pissarres i calcàries negres del Silurià.

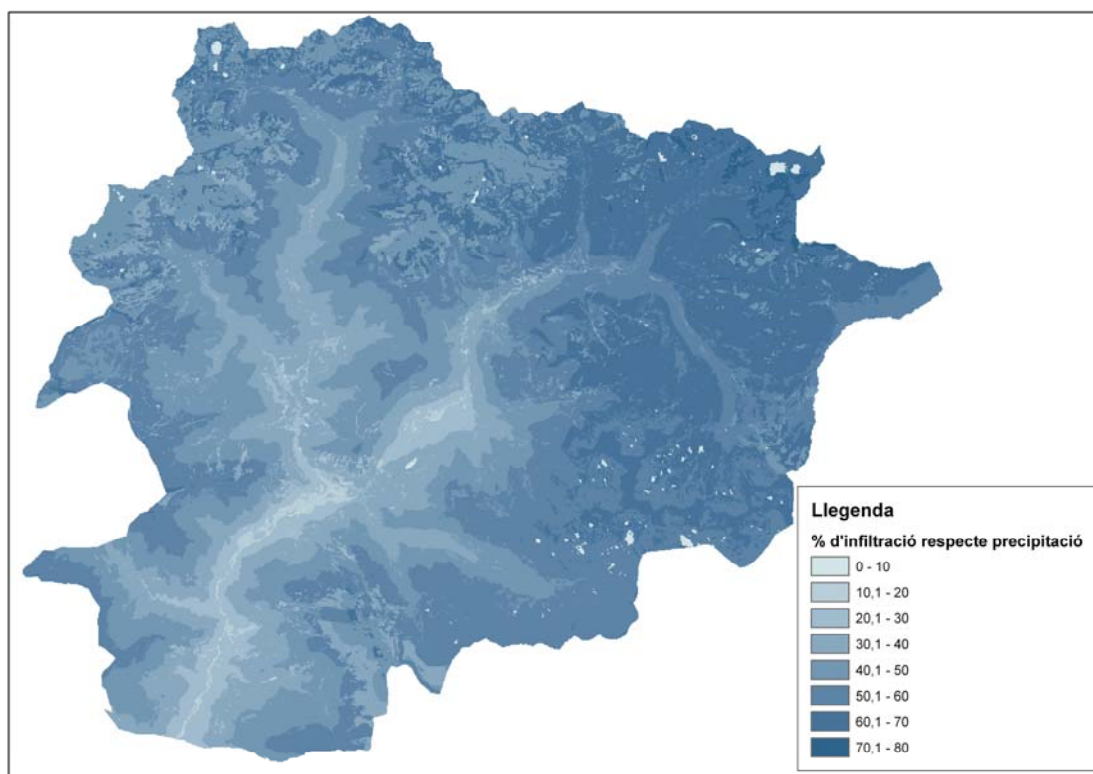


Mapa 9. Mapa d'escolament superficial directe anual en mm. El càlcul s'ha realitzat amb el mètode del nombre de corba. S'ha calculat la contribució de l'escolament superficial de cada episodi de precipitació durant l'any.

El mapa que s'ha generat en base al nombre de corba i al balanç hídric és el d'infiltració (mapa 10) anual. Segons aquest, els valors màxims són de 1127.1mm, i cal situar-los en les capçaleres gnéssiques (vall d'Incles) a causa del material, de la coberta vegetal i de la quantitat de precipitació. Així mateix els valors mínims es situen en el fons de vall antropitzat i en les aigües continentals, amb valors d'infiltració nuls en el segon cas i molt baixos en el primer. El valor mig de la infiltració és de 511,48 mm. El que representa un 51 % de la precipitació. Cal tenir en compte com s'ha dit anteriorment que el mètode aplicat en la realització de les precipitacions diàries no ha tingut en compte les precipitacions molt copioses, que són les que produeixen més escolament superficial, així, és probable que la infiltració estigui sobrevalorada.



Mapa 10. Distribució de la infiltració anual en mm. El càlcul s'ha realitzat restant de la precipitació la ETR segons Thornthwaite amb la reserva a 30 i l'escolament superficial segons el mètode del nombre de corba.



Mapa 11. Distribució de la infiltració en % respecte la precipitació.

4 BIBLIOGRAFIA

Estrada, J. (2002). Activitat tempestuosa. Estudi sobre l'activitat tempestuosa a la vall central del Principat d'Andorra (cubeta Escaldes – Andorra la Vella). *Horitzó*, 1: 12 – 19.

Coma Guillén, J.E. (1979). *Mapa hidrogeológico nacional: explicación de los mapas de lluvia útil, de reconocimiento hidrogeológico y síntesis de los sistemas acuíferos*. IGME

Estrada, J. (2005). Variabilitat de la precipitació al Pirineu andorrà. *Horitzó*, 7: 30 – 36.

Estrada, J. (2004). Característiques climatològiques de la precipitació al Pirineu andorrà. Monografies del CRECIT. 64p.

Heras, R. (1983). *Recursos hidráulicos. Síntesis, metodología y normas*. Pub. Colegio Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Madrid. 380 p.

Igeotest (2004). *Avaluació dels recursos hídrics subterranis del Principat d'Andorra. Fase I*. Ministeri de Medi Ambient

Jardí, M. (1997). *Les aigües d'Andorra*. Monogràfics de Geografia nº 4. Ministeri d'Educació, Joventut i Esports. Govern d'Andorra. 108 p.

Martín Vide, X. (1985). Pluges i inundacions a la Mediterrània. Col. El Ventall nº 5. Ed. Ketres. 132 p.

Ministeri de Medi Ambient, 2005. *Reglament de protecció dels hàbitats aquàtics*. BOPA núm 19- any 17-9.3.2005

Raso, J.M. (1999). *El clima d'Andorra*. Monogràfics de Geografia nº 5. Ministeri d'Educació, Joventut i Esports. Govern d'Andorra. 139 p.

Ponsa, A i Planas, X. (2002). Evolució de la temperatura i de les precipitacions a Andorra. *Horitzó*, 1: 4 – 11.

Remenieras, G. (1974). *Tratado de Hidrología Aplicada*. Editores Técnicos Asociados, SA. Barcelona, 515 p