



GOVERN D'ANDORRA
MINISTERI DE TURISME I MEDI AMBIENT

ESTUDI RELATIU A:

“LES AIGÜES SUBTERRÀNIES DEL PRINCIPAT D’ANDORRA”

Document: DOC 4. VULNERABILITAT INTRÍNSECA

Andorra la Vella, 30 d'agost de 2007

EXPED. DMA. 0423/05

1	VULNERABILITAT INTRÍNSECA	3
1.1	Índex DRASTIC	3
1.2	D-Profunditat de l'aigua.....	4
1.3	R-Recàrrega neta	6
1.4	A-Natura de l'aqüífer	6
1.5	S-Tipus de Sòl	8
1.6	T-Topografia	9
1.7	I-Impacte de la zona no saturada.....	11
1.8	C-Conductivitat hidràulica	14
1.9	Índex de ponderació.....	15
1.10	Mapa de vulnerabilitat intrínseca	16



1 VULNERABILITAT INTRÍNSECA

A fi de representar la vulnerabilitat de les masses d'aigua subterrània davant d'una contaminació, s'analitzarà des del punt de vista de les propietats intrínseques del medi, com ara tipus d'aquífer, cobertura, permeabilitat, profunditat, recàrrega, etc, per posteriorment poder analitzar el risc a patir contaminació, segons el tipus d'activitat que s'hi desenvolupi.

De metodologies per avaluar la vulnerabilitat intrínseca n'hi ha diversos, dels quals els més usats són el DRASTIC, el SINTACS, el GOD, l'EPIK, el Ekv i el $\Delta HT'$, escollint-se el mètode DRASTIC per ser el més complet i alhora simple, adequat per terrenys heterogenis.

1.1 Índex DRASTIC

Aquest índex va ser desenvolupat per Aller et al (1987) per estimar la vulnerabilitat intrínseca en medis de porositat intergranular, tot i que en medis càrstics i fissurats també s'ha usat. Es tracta d'un mètode paramètric, de ponderació i ordenació (mètode tipus MVPP).

S'assumeix que el contaminant entra a la zona saturada a través de l'aigua de recàrrega, incorporant-se a través de la superfície del terreny. La superfície mínima exigida és de 0,4Km².

Els paràmetres base usats en l'elaboració de l'índex són:

D: fondària de l'aigua o profunditat del nivell freàtic

R: recàrrega neta que rep l'aquífer

A: litologia i estructura del medi aquífer

S: tipus de sòl

T: topografia del terreny

I: natura de la zona badosa

C: conductivitat hidràulica

Cada paràmetre es puntua de l'1 al 10, i és ponderat, entre 1 i 5, a fi de buscar una millor relació entre la vulnerabilitat i els factors hidrogeològics i morfològics.

L'índex de vulnerabilitat DRASTIC es calcula mitjançant la següent equació:

ÍndexDRASTIC =

$$D_r \bullet D_w + R_r \bullet R_w + A_r \bullet A_w + S_r \bullet S_w + T_r \bullet T_w + I_r \bullet I_w + C_r \bullet C_w$$

en el que

r: valor del paràmetre

w: índex de ponderació del paràmetre

L'índex oscil.la entre 23 i 230, essent més vulnerable com més alt és l'índex.

1.2 D-Profunditat de l'aigua

Aquest paràmetre és funció del gruix no saturat. En funció de la fondària els valors del paràmetre són els següents:

Rang (m)	Valor
<1,5	10
1,5-4,5	9
4,5-9	7
9-15	5
15-22	3
22-30	2
30	1

Taula 1. Fondària del nivell freàtic

De cara a estimar la profunditat del nivell freàtic s'ha usat el mapa piezomètric elaborat en l'estudi *Avaluació inicial dels recursos hídrics subterranis del Departament de Medi Ambient - Igeotest (2004)*, calibrant-se amb l'inventari de punts d'aigua superficial permanents (fonts i rius), així com de punts d'aigua freàtica (**DOC 3: model hidrogeològic**).

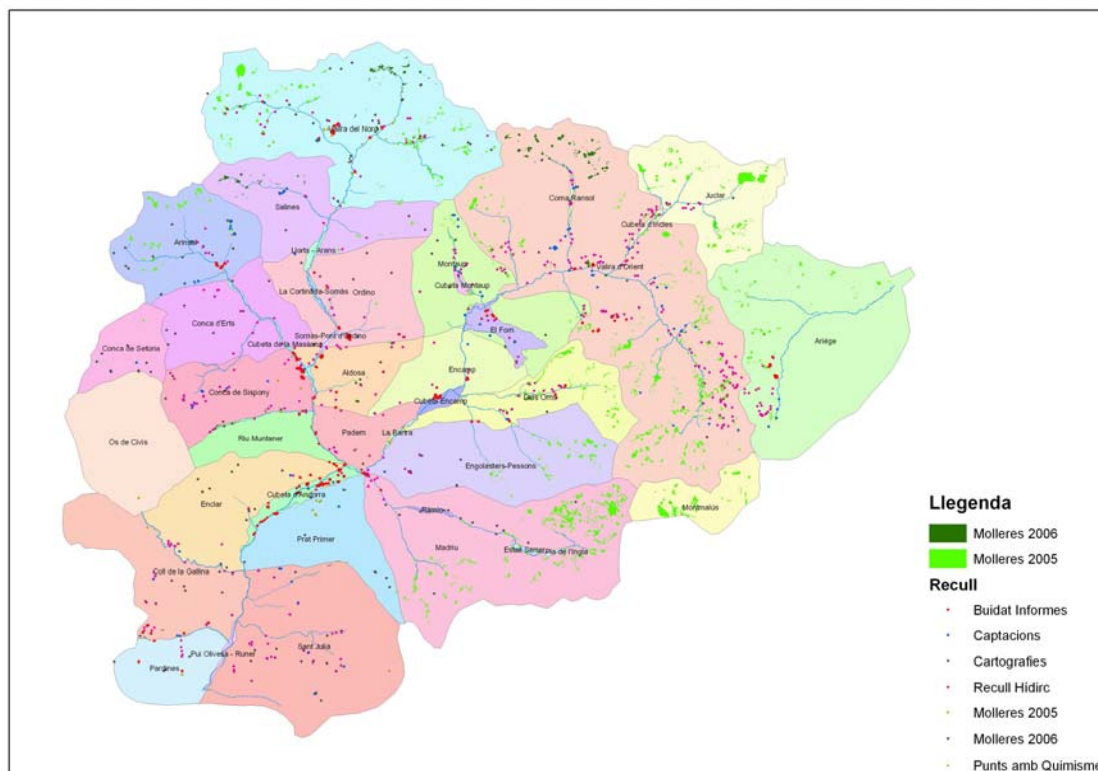


Figura 1. Mapa dels punts d'aigua utilitzats per a la realització del mapa piezomètric

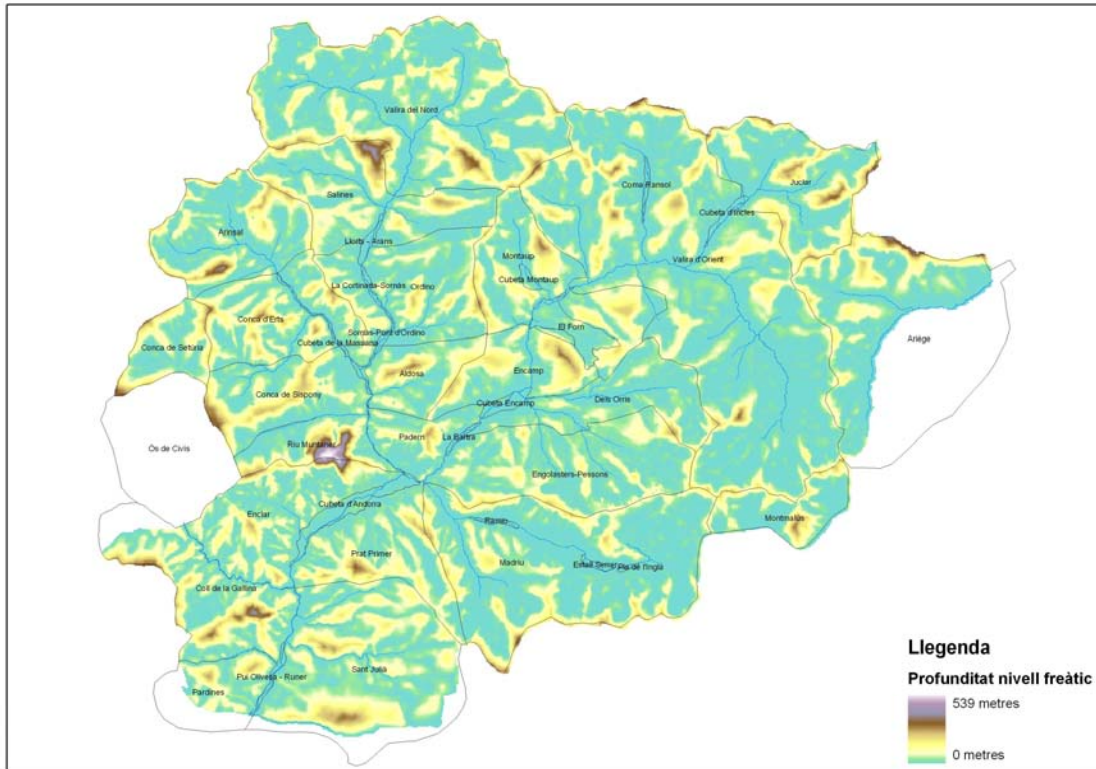


Figura 2. Mapa de profunditats del nivell freàtic.

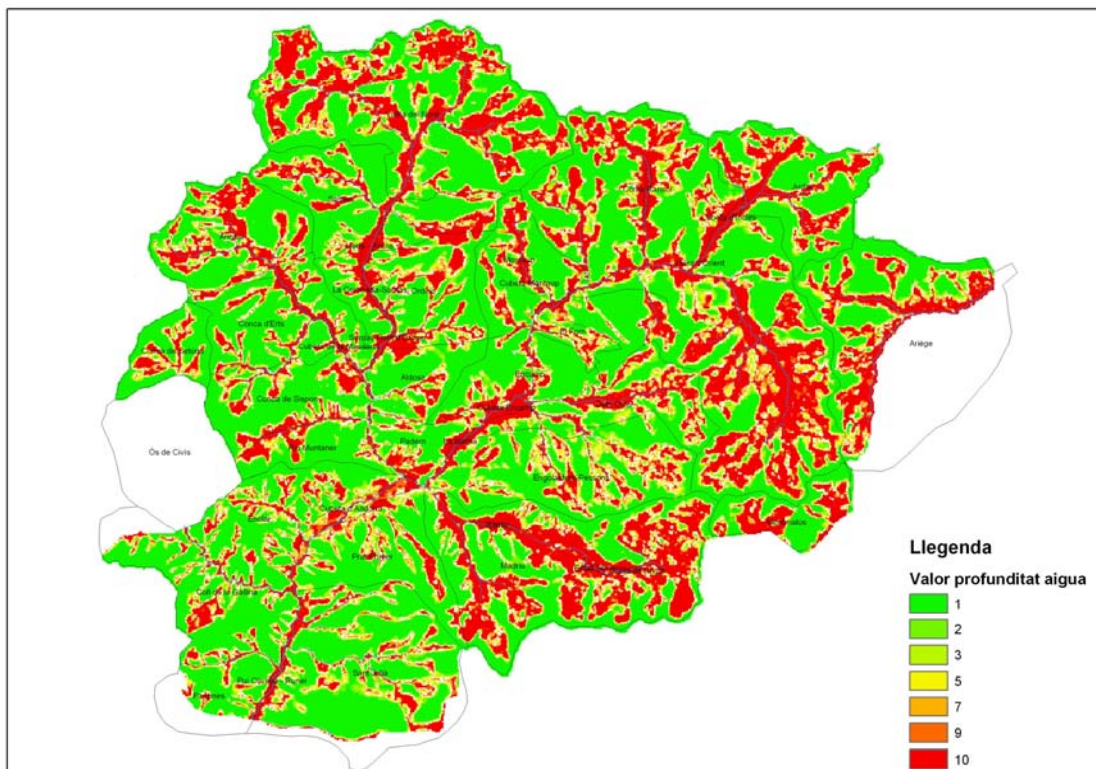


Figura 3. Mapa del valor assignat a cada cel.la del ràster en el càlcul de l'Índex DRASTIC per a la profunditat de l'aigua.

1.3 R-Recàrrega neta

En aquest paràmetre es quantifica la recàrrega neta o infiltració que té lloc sobre el territori andorrà. Els valors assignats per cada recàrrega són els següents:

Rang (mm)	Valor
0-51	1
51-102	3
102-178	6
178-254	8
>254	9

Taula 2. Recàrrega neta

Les dades usades han estat les obtingudes de l'anàlisi hidrometeorològic (DOC1: model climatològic i balanç hídric)

1.4 A-Natura de l'aquífer

En aquest paràmetre es té en compte la textura i el grau de fracturació del medi.

Els valors que se li assignen a aquest paràmetre són:

Descripció	Valor
Aplites Roques àcides Quarsites Pòfir granodiorític i quarsític Pegmatites i granits de dues miques Lampròfirs Intercalacions de roques bàsiques Intercalacions de quarsites, gresos i conglomerats Pissarres grises (frm Fonchanina) Limotites grises (frm Ansovell) Intercalacions de pissarres fosques	2
Sèries gresopelites Conglomerats i microconglomerats (de la Rabassa) Microconglomerats, gresos i lutites (frm Cava)	3

Pissarres i calcàries negres Milonites	4
Granodiorites amb biotita i horblenda Granodiorita amb biotita Gneis	6
Alternances de calcàries i pissarres (frm Rueda) Margocalcàries i pissarres virolades (frm Griotte de Manyanet) Intercalacions de roques carbonàtiques Intercalacions de roques carbonatades Pissarres grises amb intercalacions primes de calcàries i gresos (frm Civís)	8
Calcàries i pissarres Calcàries massises (frm Castanesa) Calcàries i calcàries margoses	8
Dipòsits al.luvials, glaciofluvials i fluviotorrencials i poligènics Grans moviments de vessant	8

Taula 3. Natura de l'aquífer

Per dur a terme aquesta classificació s'ha partit de les litologies cartografiades en el mapa geològic d'Andorra, a escala 1/50000 (CRECIT, 2002). Les litologies en les quals es té coneixement d'una certa carstificació s'han valorat amb la puntuació més alta, tot i que no s'ha inclòs dins el grup de calcàries carstificades donat que els carsts existents no estan molt desenvolupats.

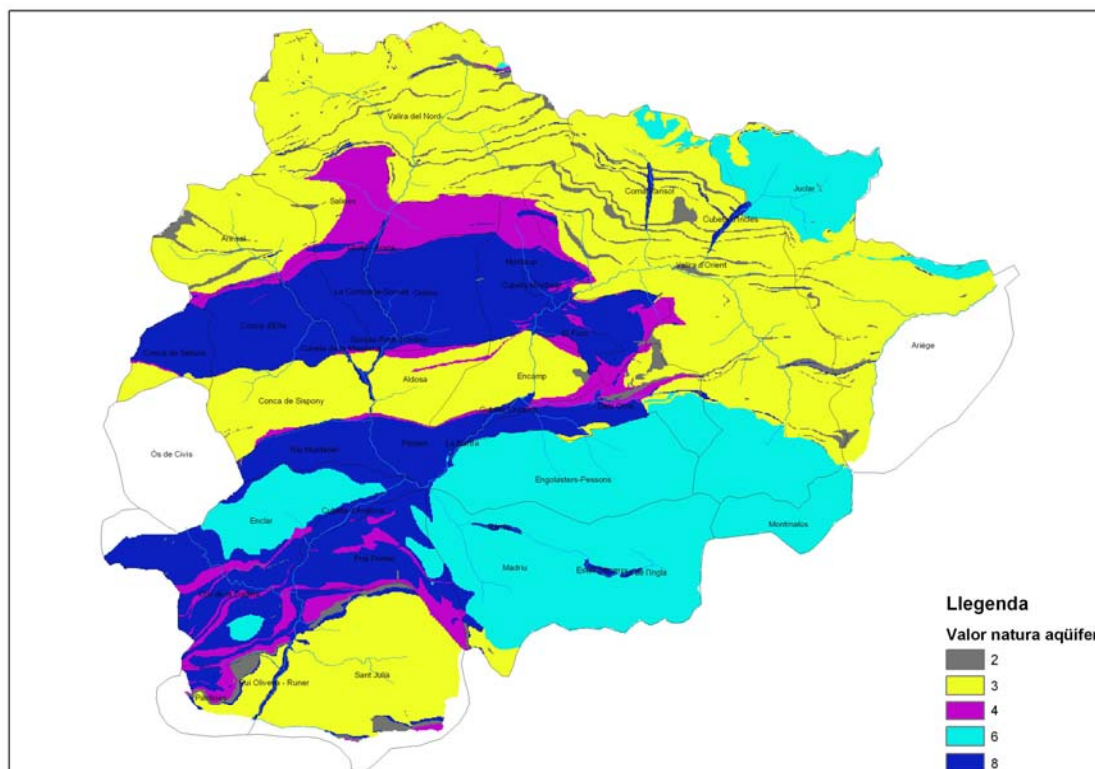


Figura 4. Mapa del valor assignat a cada cel·la del raster en el càlcul de l'Índex DRASTIC per a la natura de l'aqüífer.

1.5 S-Tipus de Sòl

Aquest paràmetre caracteritza el sòl, segons la seva textura, matèria orgànica, contingut en argila. Els valors que se li assignen són:

Natura del sòl	Valor
Calcaris bruns	2
Silícic bruns	2
Calcaris rendzines	4
Silícic rànkers	6
Calcaris litosòls	10
Silícic litosòls	10

Taula 4. Tipus de sòl

Aquest paràmetre s'ha estimat en base al mapa pedològic de Laberche, assumint que els sòls més desenvolupats (bruns) són els més protectors, mentre que els menys desenvolupats i litosòls són els més vulnerables.

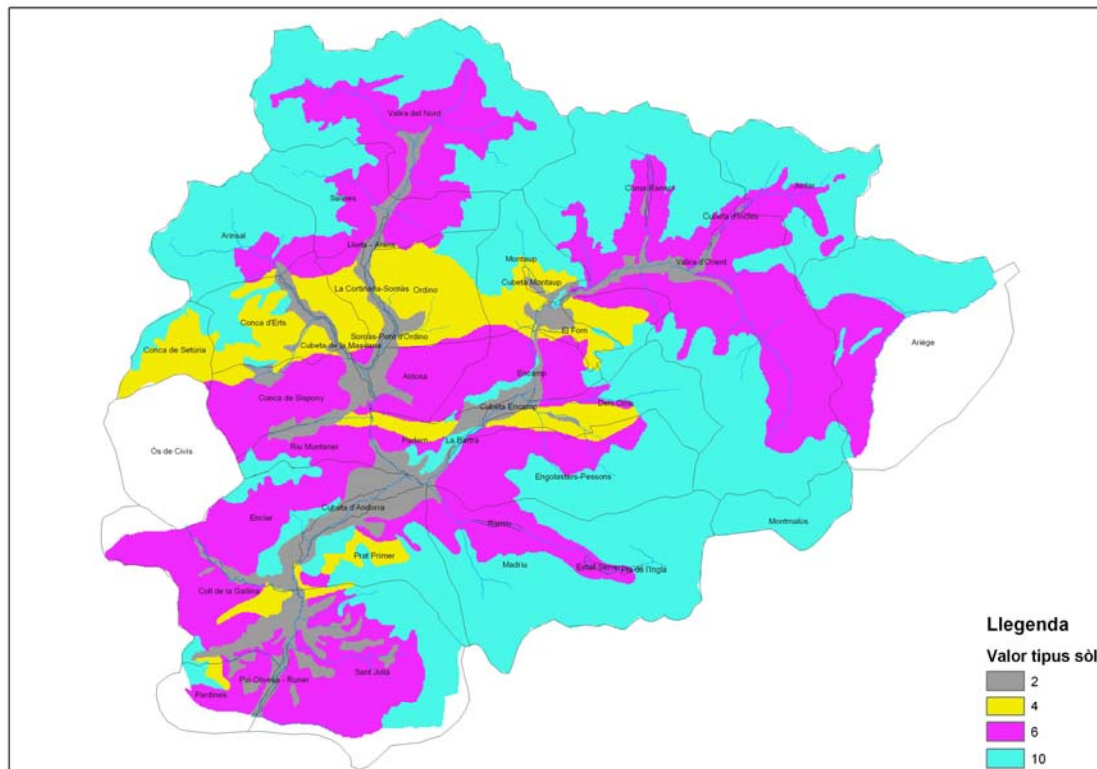


Figura 5. Mapa del valor assignat a cada cel·la del ràster en el càlcul de l'Índex DRASTIC pel tipus de sòl.

1.6 T-Topografia

La topografia intervé en afavorir l'escolament superficial/infiltració i desenvolupament del sòl. A pendent superior menor vulnerabilitat.

El rang establert és el següent:

Rang (% pendent)	Valor
0-2	10
2-6	9
6-12	5
12-18	3
>18	1

Taula 5. Pendent topogràfic

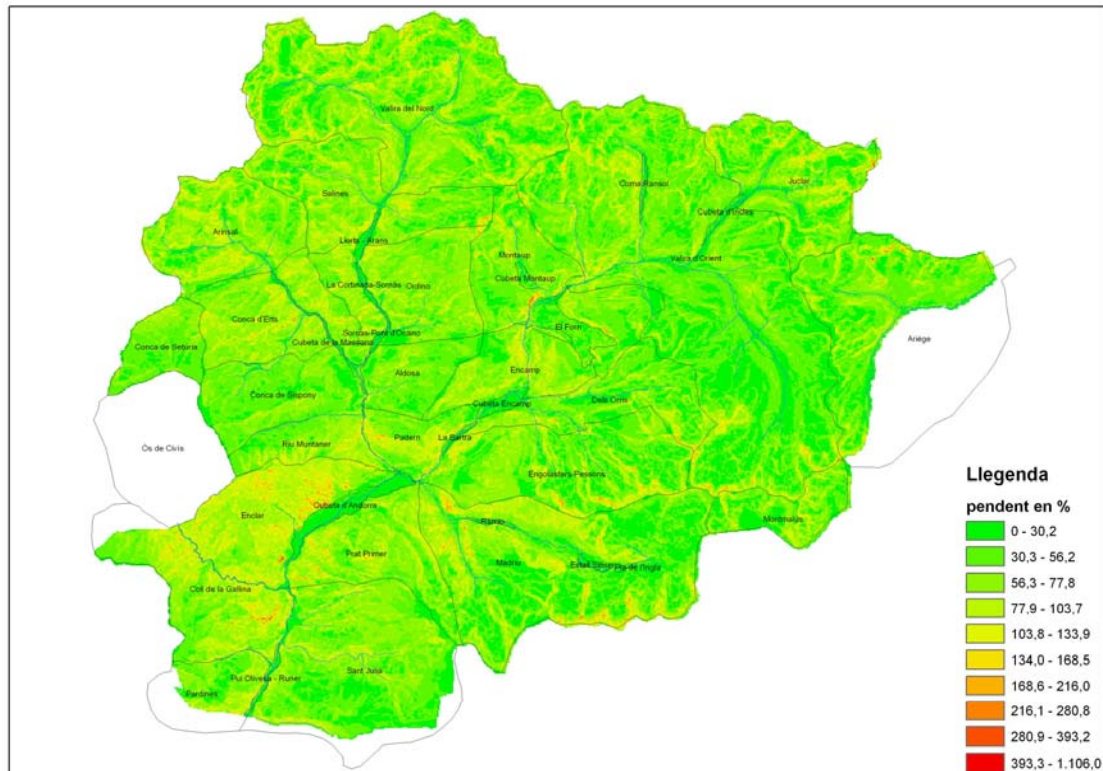


Figura 6. Mapa de pendents del principat.



Figura 7. Mapa del valor assignat a cada cel·la del ràster en el càlcul de l'Índex DRASTIC pel pendent.

1.7 I-Impacte de la zona no saturada

Aquest paràmetre reflecteix la mida del gra, el grau de fracturació i l'estructura dels materials que constitueixen la zona no saturada.

Els valors que se li han assignat són els següents:

Detall	Valor
Allites Roques àcides Quarsites Porfir granodiorític i quarsític Pegmatites i granits de dues miques Lampròfirs Intercalacions de roques bàsiques Intercalacions de quarsites, gresos i conglomerats Pissarres grises (frm Fonchanina) Limotites grises (frm Ansovell) Intercalacions de pissarres fosques	3
Sèries gresopelites Conglomerats i microconglomerats (de la Rabassa) Microconglomerats, gresos i lutites (frm Cava)	6 (3)
Pissarres i calcàries negres Milonites	5
Granodiorites amb biotita i horblenda Granodiorita amb biotita Gneis	7
Alternances de calcàries i pissarres (frm Rueda) Intercalacions de roques carbonàtiques Intercalacions de roques carbonatades Pissarres grises amb intercalacions primes de calcàries i gresos (frm Civís)	8
Calcàries i pissarres Margocalcàries i pissarres violades (frm Griotte de Manyanet)	8 (3)

Dipòsits fluvio-torrencials Dipòsits de vessant estratificat Dipòsits glaciofluvials Calcàries massises (frm Castanesa) Calcàries i calcàries margoses	8
Dipòsits glacials Col.luvions Grans moviments de vessant Dipòsits poligènics	7
Tarteres	10
Dipòsits glaciolacustres	2

Taula 6. Característiques de la zona no saturada. En parèntesi s'indica els valors mínims que li correspondria segons el valor de permeabilitat obtinguda mitjançant l'anàlisi estructural de la roca aflorant (basat en Hoek i Bray -1992-).

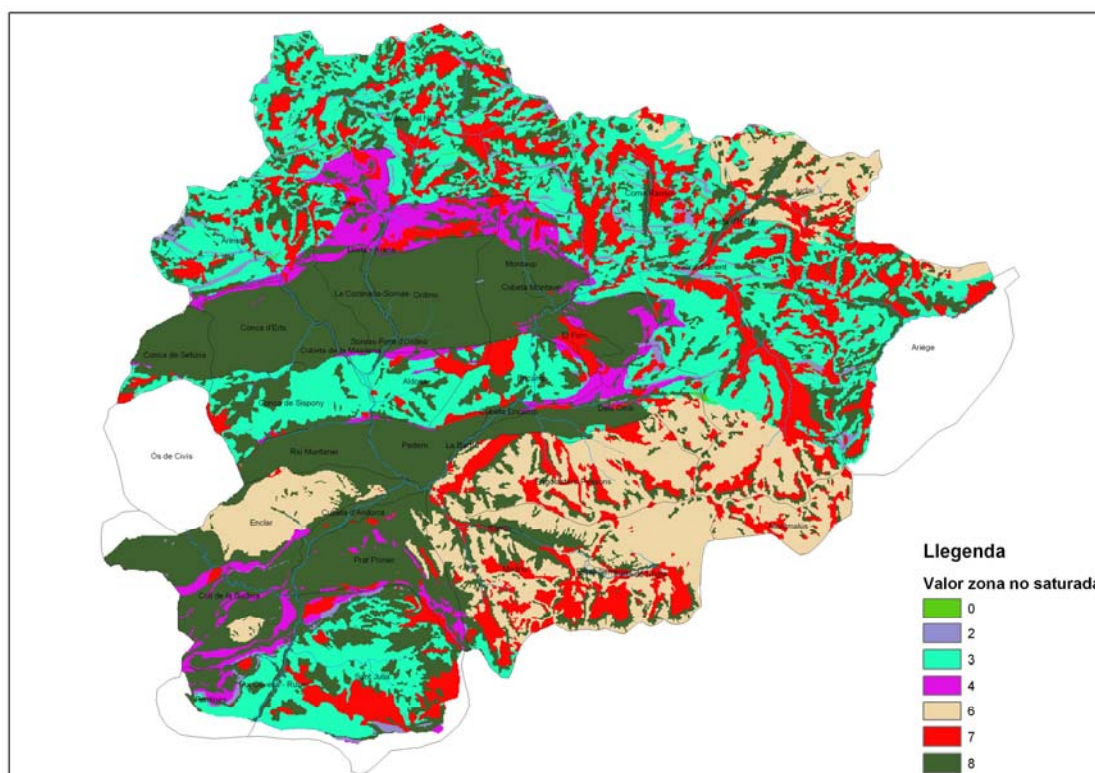


Figura 8. Mapa del valor assignat a cada cel·la del ràster en el càlcul de l'Índex DRASTIC per a la zona no saturada.

Per dur a terme aquesta classificació s'ha partit de les litologies cartografiades en el mapa geològic d'Andorra, a escala 1/50000 (CRECIT, 2002) i mapa geomorfològic, a escala 1/50000 (CRECIT, 2006). Les litologies en les quals es té coneixement d'una certa carstificació s'han valorat amb la puntuació més alta. Els dipòsits quaternaris s'han classificat en base a la seva granulometria. En parèntesi s'indica els valors mínims que li correspondria segons el valor de permeabilitat obtinguda mitjançant l'anàlisi estructural de la roca aflorant (basat en Hoek i Bray - 1992-), resumits en la següent taula (**taula 7**). Aquests valors són orientatius, i no s'han usat a l'hora de fer els càlculs.

Valoració de la permeabilitat segons Hoek i Bray			
Situació	Litologia	K (hoek i bray) cm/s	Valoració
Davant túnel 2 Valires	Granodiorita	136,25	molt permeable
Davant túnel 2 Valires	Granodiorita	0	impermeable
La Massana	Pissarres i fil.lites del Cambroordovicià	0	impermeable
La Massana	Pissarres i fil.lites del Cambroordovicià	0	impermeable
La Massana	Pissarres i fil.lites del Cambroordovicià	0	impermeable
Anyós	Fil.lites carbonatades del Devonianà	0	impermeable
Anyós	Fil.lites carbonatades del Devonianà	0	impermeable
Anyós	Fil.lites carbonatades del Devonianà	0	impermeable
Anyós	Fil.lites carbonatades del Devonianà	0	impermeable
Bordes Envalira	Quarsfil.lites del Cambroordovicià	20,4375	poc permeable
Bordes Envalira	Quarsfil.lites del Cambroordovicià	60,11029412	mig permeable
aixirivall	Gresos i fil.lites de l'Ordovicià	17,03125	poc permeable
aixirivall	Gresos i fil.lites de l'Ordovicià	148,6363636	permeable
aixirivall	Gresos i fil.lites de l'Ordovicià	148,6363636	permeable
Bassers del corb (Ordino)	Quarsfil.lites del Cambroordovicià	20,4375	poc permeable
Bassers del corb (Ordino)	Quarsfil.lites del Cambroordovicià	148,6363636	permeable
Bassers del corb (Ordino)	Quarsfil.lites del Cambroordovicià	163,5	permeable
Bassers del corb (Ordino)	Quarsfil.lites del Cambroordovicià	18,57954545	poc permeable
Can Diumenge	Cornubianita i corneanes pel.líftiques del Devonianà	0	impermeable
Can Diumenge	Cornubianita i corneanes pel.líftiques del Devonianà	0	impermeable
Can Diumenge	Cornubianita i corneanes pel.líftiques del Devonianà	0	impermeable
Can Diumenge	Cornubianita i corneanes pel.líftiques del Devonianà	32,7	mig permeable
Arinsal	Calcàries del Devonianà	17,03125	poc permeable
Arinsal	Calcàries del Devonianà	0,000125769	impermeable
Arinsal	Calcàries del Devonianà	0,00008175	impermeable
Vial Margineda	Calcàries i calcoesquists del Devonianà	0,000233571	impermeable
Vial Margineda	Calcàries i calcoesquists del Devonianà	545	molt permeable
Vial Margineda	Calcàries i calcoesquists del Devonianà	0	impermeable
Racons	Calcàries	0	impermeable
Racons	Calcàries	125,7692308	permeable
Racons	Calcàries	0	impermeable
Racons	Calcàries	0	impermeable
Racons	Fil.lites	0	impermeable
Racons	Fil.lites	29,19642857	mig permeable
Racons	Fil.lites	0	impermeable
Racons	Fil.lites	0	impermeable
Roc de Caldes	Granodiorita	0,0327	impermeable
Roc de Caldes	Granodiorita	0,0327	impermeable
Roc de Caldes	Granodiorita	0,0327	impermeable
Roc de Caldes	Granodiorita	4,0875	poc permeable

Taula 7. Permeabilitat de la roca segons Hoek i Bray

1.8 C-Conductivitat hidràulica

En base al recull de paràmetres hidrogeològics, s'observa que la conductivitat hidràulica del substrat rocós, és en conjunt baixa, per sota de la unitat (expressat en m/dia), excepte en punts concrets on s'identifica un substrat més alterat, tal i com s'ha analitzat en el **DOC 3: model hidrogeològic**

Donat el caràcter regional de l'estudi, d'àmbit nacional, i en base al que s'ha comentat, s'ha procedit a classificar els materials aquífers en base a si són materials consolidats (substrat rocós) o si són materials no consolidats (formació superficial porosa), tal i com es mostra:

Material	Rang	valor
Consolidat	<1m/dia	1
No consolidat	>1 m/dia	2

Taula 8. Conductivitat hidràulica

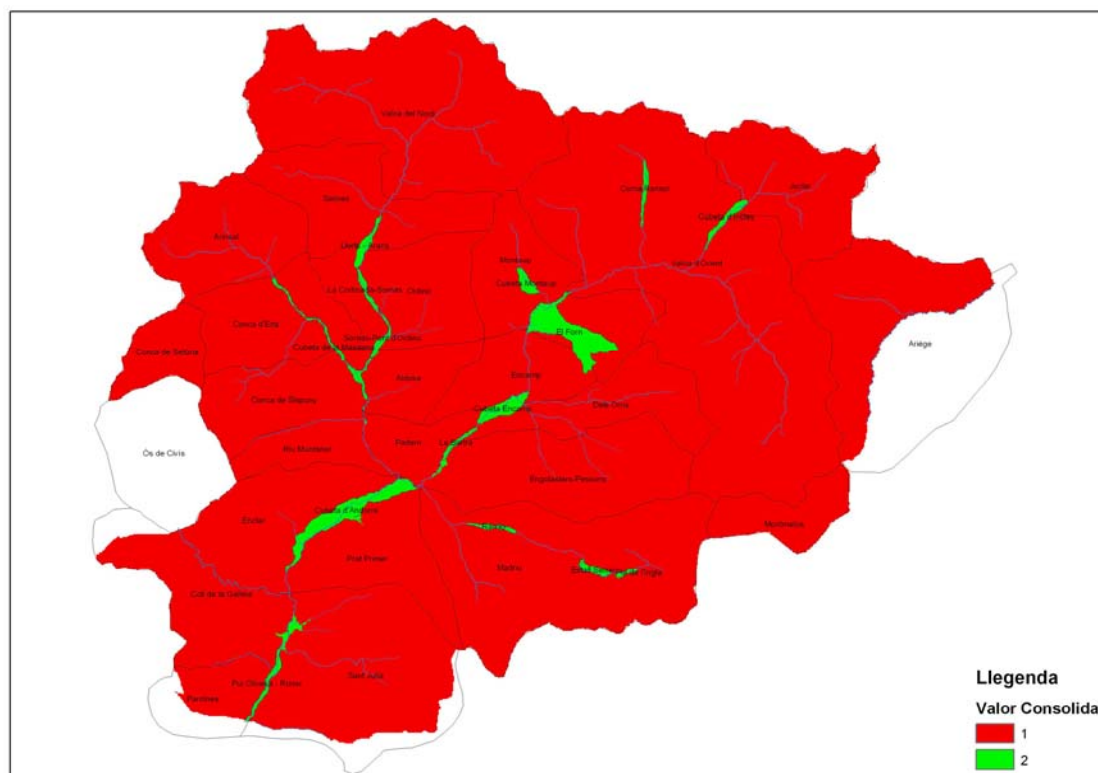


Figura 9. Mapa del valor assignat a cada cel·la del ràster en el càlcul de l'Índex DRASTIC per la conductivitat hidràulica.

1.9 Índex de ponderació

Tal i com s'ha comentat, a cada paràmetre se li aplica un factor de ponderació, que és funció de la fiabilitat del paràmetre i dels factors hidrogeològics i morfològics; cada element presenta el següent valor:

Paràmetre	Índex ponderació
D	4
R	5
A	3
S	2
T	2
I	5
C	3

Taula 9. Índex de ponderació

1.10 Mapa de vulnerabilitat intrínseca

Aquest mètode no estableix una classificació de l'índex final de vulnerabilitat (alta, mitja o baixa), pel que els rangs de vulnerabilitat alta, mitja i baixa són graduals, representats semafòricament amb els colors vermells com a valors de vulnerabilitat alta, i colors verds, com a valors de vulnerabilitat baixa.

En el següent mapa es mostra els resultats obtinguts.

S'observa que els sectors amb vulnerabilitat més baixa s'emporten en tres franges d'est-oest: al sud del país, al centre i al nord, coincidint amb la presència de materials del cambroordovicià. Les unitats de Sant Julià, Sispony, Aldosa, Encamp, Arinsal, Salines, Valira Nord, Valira Orient (sectors baixos i mitjos), Ariege són les que més franges de vulnerabilitat baixa tenen.

Els terrenys mitjanament i molt vulnerables s'emporten principalment en dues amples franges d'est-oest entre la meitat sud i meitat nord, englobant aquells sectors on aflora un substrat calcari i dipòsits quaternaris molt porosos, principalment. Les unitats amb més presència de sectors mitjanament i molt vulnerables són: Setúria, Erts, Ordino, Montaup, El Forn, Muntaner, Padern, Enclar, Els Orris, Madriu, Engolasters-Pessons, Montmalús, Prat Primer, Coll de la Gallina, Valira Orient (capçaleres) i cubetes.

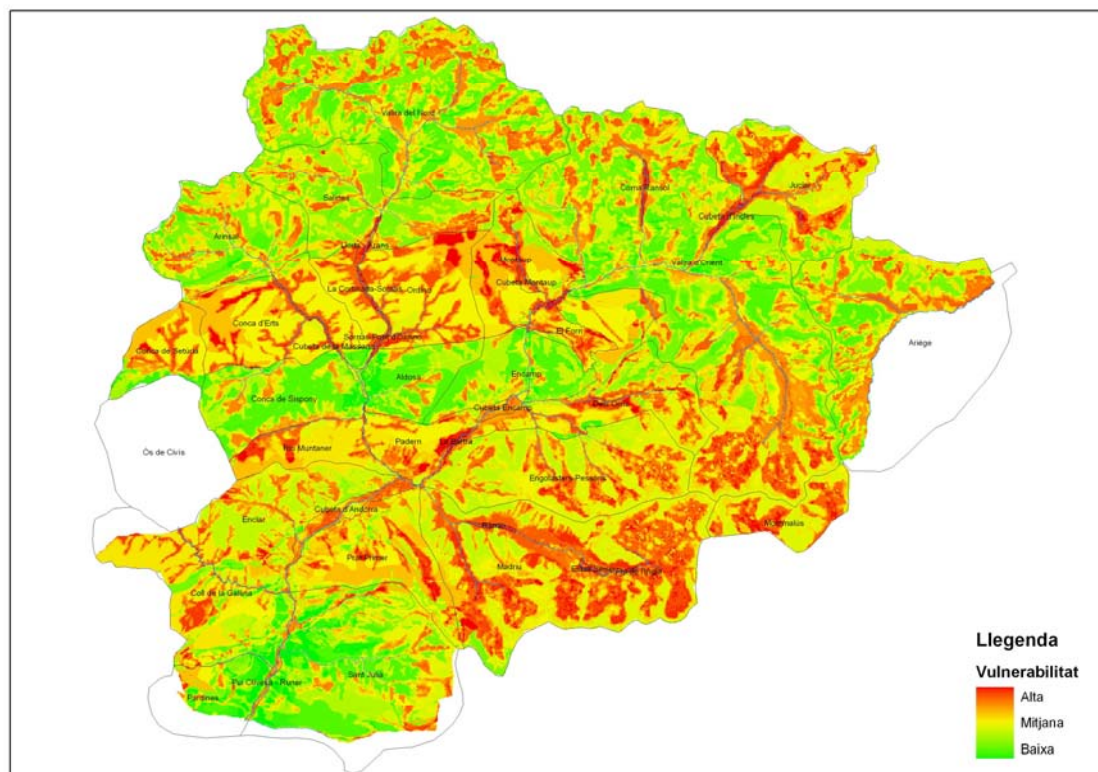


Figura 10. Mapa de vulnerabilitat.