

# ANÀLISI DE PÈRDUES DE SÒL A LA CONCA HIDROGRÀFICA DEL TER.

## EQUACIÓ UNIVERSAL DE PÈRDUES DE SÒL REVISADA

El sòl és un recurs natural limitat que s'ha convertit en un dels bens més explotats. L'home sempre s'ha aprofitat dels seus recursos, però és en aquestes darreres dècades que s'ha explotat de forma molt més agressiva. L'agricultura ha passat de fer un ús racional del sòl a consumir-ne grans extensions i utilitzant tot tipus de recursos –artificials- per obtenir uns majors rendiments. I altres sectors que abans no exercien tanta pressió sobre el territori, ara s'han convertit en grans depredadors de sòl. Paral·lelament, el canvi climàtic també està comportant la transformació de certes zones, generalment en zones més àrides i seques, inutilitzant el sòl per a qualsevol tipus d'activitats.

Totes aquestes situacions que semblen tenir unes repercussions que no ens afecten també estan presents a casa nostra. Actualment ens trobem amb una situació on s'ha transformat i desaparegut molta part del nostre sòl i que difícilment serà recuperable. La península Ibèrica també està vivint aquest procés de desertificació i la pròpia dinàmica natural del sòl fa que per ell mateix es vagi consumint.

Tots aquests processos han significat que en els darrers anys, hagi crescut una consciència de que el sòl és un recurs natural el qual s'ha de preservar i protegir i que una gestió més sostenible pot ajudar a evitar els seus malbarataments. En aquest context, les eines SIG apareixen com un instrument de gran ajuda.

L'objectiu d'aquest treball és aplicar la fórmula mundialment coneguda de USLE per calcular la pèrdua de sòl en una conca hidrogràfica de Catalunya.

USLE significa Universal Soil Loss Equation. Aquesta equació calcula en una zona la pèrdua de sòl en tn/hac i any. Va ser desenvolupada aproximadament cap als anys seixanta per Wischmeier i Smith juntament amb el Departament d'Agricultura dels Estats Units. Originàriament, aquesta fórmula aglutina diverses teories individuals que havien anat apareixent des dels anys quaranta. No va ser fins a meitat dels anys noranta que el mateix Departament d'Agricultura publica la RUSLE, la Revised Universal Soil Loss Equation. Utilitza els mateixos fonaments però millora alguns algorismes. La RUSLE és una multiplicació de 6 variables:

$$A = R * K * L * S * C * P$$

- **A:** Pèrdua de sòl (tn/hac any)
- **R:** Erosivitat de la pluja ( $h^j * cm/m^2 * h * any$ )
- **K:** Erosionabilitat segons la litologia ( $tn * h * m^2 / hac * h^j * cm$ )
- **S:** Gradient de la pendent (**adimensional**)
- **L:** Longitud de la pendent (**adimensional**)
- **C:** Factor de cobertura (**adimensional**)
- **P:** Pràctica de conservació del sòl (**adimensional**)

Originàriament aquesta fórmula no va ser desenvolupada per aplicar en GIS, però per les seves característiques fa que sigui una eina molt útil.

La zona d'estudi seleccionada és la conca del riu Ter. Aquest riu, és un dels més importants de Catalunya, amb una llargada aproximada de 200 km, mentre que la seva conca fa uns 3.000 km<sup>2</sup>. Una de les peculiaritats d'aquesta conca respecte totes les altres és que segueix una direcció nord-sud i oest-est..

La metodologia utilitzada ha estat, en primer lloc, identificar i calcular cadascuna de les variables. En aquest procés s'ha hagut de discernir entre la gran quantitat d'informació i, triar aquella que s'ajusta més a l'àmbit d'estudi. Una de les peculiaritats de l'equació RUSLE és que els valors que es troben tabulats no són aplicables per l'estudi de totes les zones del planeta. Això fa que es puguin produir situacions de confusió alhora de triar entre quins valors escollir. Quan ja es tenen totes les variables calculades, el segon pas ha estat calcular el Factor A, és a dir, fer la multiplicació de totes les variables. I finalment, s'ha realitzat un anàlisi del resultat. En aquesta tercera fase, fent un canvi en la cartografia del factor C, es calcula quina és la tendència erosiva de la conca entre els anys 2005 i 2009.

### **Anàlisi dels factors**

Exceptuant el factor LS, el càlcul de cadascuna de les variables es fa de forma independent, ja que utilitzen cartografies i mètodes diferents.

#### Factor A

El factor A determina quina és l'erosió com a conseqüència de la intensitat de la pluja.

$$R = \sum E_I * I_{30}$$

Aquesta fórmula relaciona la intensitat de la pluja en 30 minuts amb l'energia que desprèn. La complicació d'aquesta expressió recau en trobar les dades d'intensitats de precipitació en 30 min.

L'any 1982, ICONA desenvolupa per Espanya una sèrie d'equacions que van destinades a millorar aquesta dificultat. Són tres equacions diferents que s'apliquen segons la localització peninsular.

En el cas d'estudi, per trobar el factor R s'utilitza el GEOPORTAL de Ministeri d'Agricultura, Alimentació i Medi Ambient. En aquest portal, entre altres informacions cartogràfiques, hi ha calculat el factor R per una sèrie d'estacions meteorològiques. Amb aquesta informació, es crea una taula Excel on hi ha les coordenades UTM de cada estació amb el corresponent valor de R. Aquesta taula s'exporta a ArcMap i a través del mètode d'interpolació SpLine, es crea una raster de 5x5 (mida píxel) del factor R per tota la conca del Ter. Per intentar obtenir uns resultats que s'ajustin més a la realitat, no només es tenen en compte les estacions meteorològiques internes, sinó que també es tenen en compte altres estacions que no formen part de la conca. En total s'utilitzen vint-i-cinc estacions.

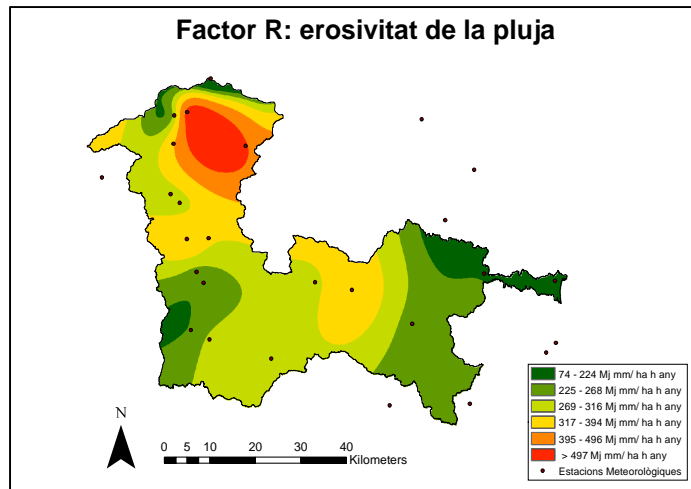


Figura 1. Representació del factor R

### Factor K

El factor K determina la susceptibilitat del sòl a perdre la seva matèria com a conseqüència de l'erosió, i varia en funció de les característiques edàfiques: textura, estructura, estabilitat d'agregats, rugositat superficial, etc.

Aquesta erosió superficial ve definida per l'acció directe de l'energia cinètica dels episodis plujosos, tenint en compte que:

- A major estabilitat dels elements agregats, més estabilitat de l'estructura porosa.
- A major capacitat del sòl per retenir aigua, més trigarà en haver escorrentia i minimitzarà la capacitat de destruir els agregats.
- A major capacitat del sòl de transmissió d'aigua (verticalment), menor serà la escorrentia generada i per tant la capacitat erosiva.

Per calcular aquesta erosió, la fórmula general per aquest factor és la següent:

$$100 * K = [10^{-2} * 2,7 * M^{1.14} * (12 - a) + 4,2 * (b - 2) + 3,2 * (c - 3)]$$

*M* textura del sòl. És el producte de la suma dels percentatges de llims i sorres molt fins amb la suma dels percentatges de sorra i llims. (%llims + sorra molt fina)\*(100-%argiles)

*a* = % de matèria orgànica

*b* = número corresponent a la estructura

*c* = valor de permeabilitat.

Però obtenir les dades d'aquestes 4 variables no és fàcil. Davant aquesta dificultat Wischmeier i Smith també van desenvolupar un nomograma, el qual duu el mateix nom. És una eina que va créixer amb la USLE, però avui en dia encara

continua sent àmpliament utilitzada. Tanmateix, requereix conèixer la granulometria del material.

Per millorar l'accés al càlcul del factor K, es desenvolupen unes taules que relacionen el material litològic amb un coeficient de K.

En el cas d'estudi, s'utilitza la taula desenvolupada per Juan Manuel Gisbert i Sara Ibáñez, professors del Departament de Producció Vegetal de la Universitat Politècnica de València. El mapa litològic s'obté de l'Institut Geològic de Catalunya. Es reclassefiquen els valors litològics segons els valors de la taula i llavors es transforma l'arxiu vectorial amb una capa raster, amb mida del píxel de 5 x 5.

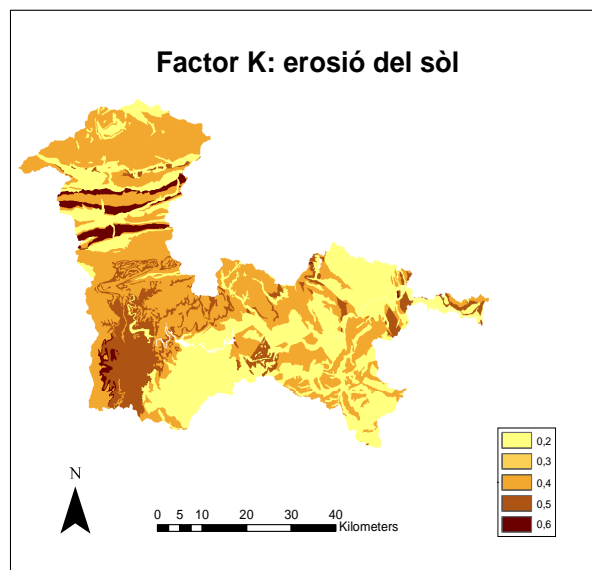


Figura 2. Representació del factor K

### Factor LS

El factor LS en realitat són dos factors, el L i el S, però sempre es calculen a l'hora. Representen la longitud i el gradient del pendent. Tant la longitud del vessant com el gradient d'aquest, influeixen considerablement en l'erosió del sòl. L'angle del pendent modifica el temps de permanència de la làmina d'aigua que circula per la superfície del sòl, independentment del volum d'escorrentia generat. En zones planes o de poca inclinació, l'aigua té més possibilitats d'infiltrar-se que en zones inclinades, on la escorrentia circula més ràpidament cap a zones més baixes. A la vegada, quan major sigui la longitud i l'angle d'inclinació d'una pendent, major serà l'energia cinètica de l'aigua que circula en superfície, augmentant la capacitat d'erosió.

Per calcular aquests dos factors, s'utilitzen les següent fórmules.

### Factor S

$$S = 10.8 \sin\theta + 0.03 \text{ per } s < 9\%$$

$$S = 16.8 \sin\theta - 0.5 \text{ per } s \geq 9\%$$

on  $\theta$  és l'angle del pendent

### Factor L

$$L = \left( \frac{\lambda}{22.13} \right)^m \quad m = \left( \frac{\beta}{1 + \beta} \right) \quad \beta = \frac{\left( \frac{\sin\theta}{\sin 5.143} \right)}{3 \sin^{0.8}\theta + 0.56}$$

$\lambda$  longitud de la pendent en projecció horitzontal

$m$  és un exponent longitud – pendent

$\beta$  és un valor que relaciona la escorrentia amb la erosió produïda per l'impacte d'una gota sobre el sòl. Pel càlcul de  $\beta$  s'utilitza la següent equació

$\theta$  és l'angle de la pendent.

Abans de començar a aplicar les fórmules, s'ha de descarregar el Model Digital del Terreny, fer un *Fill* i omplir les imperfeccions de superfície de MDT i calcular el *Slope* en graus. Amb el pendent calculat, amb la *raster calculator* s'apliquen totes les equacions:

$$1 - \beta = \frac{\left( \frac{\sin\theta}{\sin 5.143} \right)}{3 \sin^{0.8}\theta + 0.56} \quad 2 - m = \left( \frac{\beta}{1 + \beta} \right)$$

Amb la tercera equació, s'ha de buscar el *flow direction* i després el *flow accumulation* i utilitzar el mètode del drenatge acumulat (Desmet&Govers, 1996).

$$L_{(i,j)} = \frac{(A_{(i,j)} + D^2)^{m+1} - A_{(i,j)}^{m+1}}{x^m \cdot D^{m+2} \cdot (22.13)^m}$$

El resultat d'aquesta tercera equació és el factor L

Per calcular el factor S s'ha de tenir el *Slope* calculat i amb el *raster calculator* s'aplica el condicional.

$$S = 10.8 \sin\theta + 0.03 \text{ per } s < 9\%$$

$$S = 16.8 \sin\theta - 0.5 \text{ per } s \geq 9\%$$

Quan ja es tenen els dos factors calculats, és multipliquen entre ells i ja s'obté el factor LS

$$\text{factor } L * \text{factor } S$$

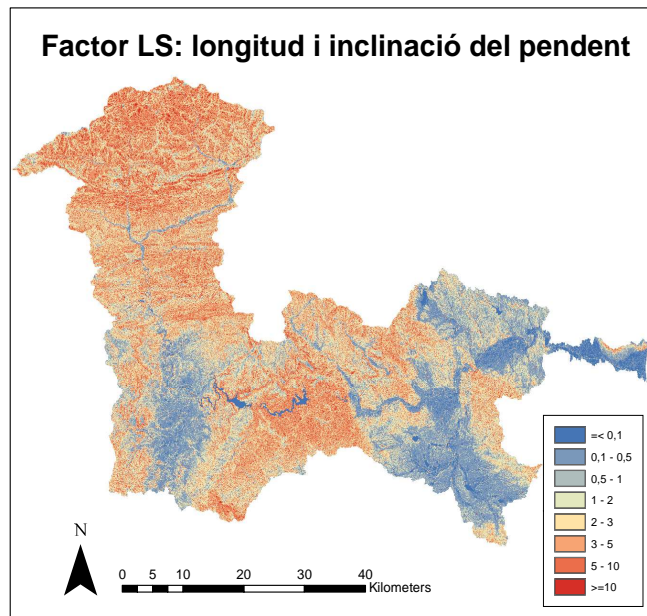


Figura 3. Representació del factor LS

### Factor C

El factor C determina la capacitat de les plantes com a capa protectora del sòl respecte la precipitació i el flux de l'escorrentia superficial.

Per calcular aquest factor un dels mètodes més aplicats és a través del càlcul dels subfactors. Aquests càlcul s'expressa a través de la següent equació

$$C = (\sum slr_i * EI_i)$$

$EI_i$  intensitat de precipitació per un període de temps determinat.

$\sum slr_i$  és l'índex vegetal de cada període d'estudi

$$SLR = PLU * CC * SC * SR * SM$$

S'anomena subfactors per aquestes 5 variables:

PLU - Subfactors d'ús principal del sòl

CC – Subfactor de coberta aèria

SC – Subfactor de coberta superficial

SR – Subfactor de rugositat superficial

SM – Subfactor de rugositat del sòl.

Cadascun d'aquests 5 subfactors comporta el càlcul d'una equació. De la mateixa manera que succeeix pel cas del factor K, molts dels valors que es necessiten són complicats d'obtenir i fins i tot poden necessitar de treball de camp.

Paral·lelament a aquest mètode, Wischmeier i Smith desenvolupen unes taules que segons els tipus de vegetació, se'ls hi assigna un valor C. Aquestes taules però no

són d'aplicació universal i depèn de la zona a aplicar-se. En el 1982, ICONA (Institut per a la Conservació de la Naturalesa), desenvolupa unes taules d'aplicació dins de la Península. Tot i que avui continuen tenint vigència, s'han creat noves taules sent més específiques segons el tipus de vegetació. L'any 2012, Sara Ibáñez, Héctor Moreno i Juan Manuel Gisbert del Departament de Producció Vegetal de la UPV, ordenen aquesta informació segons el tipus de cultiu, en la publicació "El Factor C de la Ecuación Universal de Pérdidas de Suelo":

- Cultius anuals: Quan el sòl es dedica a cultius anuals, la protecció que ofereix la vegetació a aquest, pot arribar a ser molt variable al llarg del any (no sempre es cultiva el mateix, poden haver camps en repòs, la planta té un cicle de creixement, etc.). Extreu la taula del document del càlcul de la USLE per Andalusia, document del Departament de Medi Ambient.
- Cultius llenyosos: En aquest cas es considera que la protecció que ofereixen aquest tipus de vegetació és més continua durant l'any. El propis autors desenvolupen la taula fent una adaptació dels valors de Wischmeier i Smith.
- Vegetació d'origen natural. Quan el terreny no va destinat a cap tipus de cultiu en concret. Són moltes les particularitats que s'han de tenir en compte: existència de restes vegetals, cobertura del sotabosc, alçada de les copes, etc. Utilitzen la mateixa taula desenvolupada per ICONA en el 1982.

En el cas de l'estudi s'utilitzen aquestes tres taules per establir la relació. La informació cartogràfica que s'utilitza és el MCSC 2009 (Mapa de Cobertes del Sòl de Catalunya) desenvolupada pel CREAM. Es crea un nou mapa reclassificat segons els valors de les taules. Hi ha dues categories que s'estableixen com un "NoData". Aquestes són les masses d'aigua i les construccions artificials. Es deixa aquest valor perquè en la recerca bibliogràfica es troben publicacions que li donen un 0 i altres un 1, però sense explicar el per què. S'entén que 1 s'utilitza per zones totalment desprotegides de coberta vegetal i els valors pròxims a 0 són valors amb molta coberta vegetal. Amb el nou mapa vectorial, es transforma a un raster amb un valor de píxel de 5 x 5.

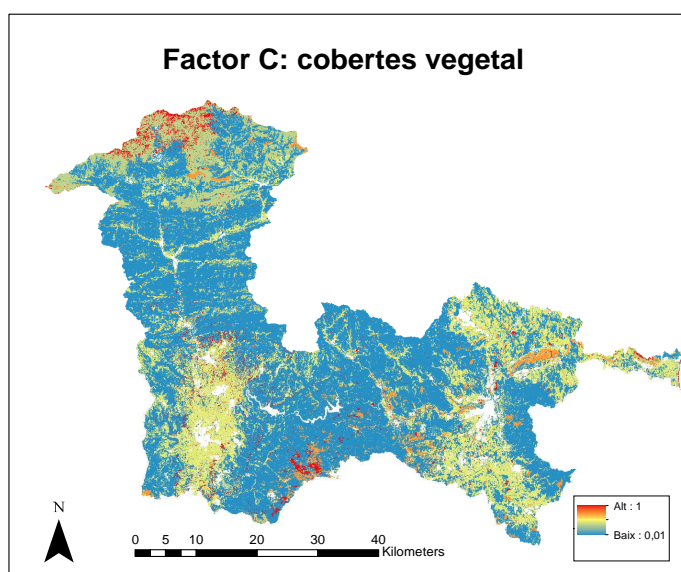


Figura 4. Representació factor C

## Factor P

El factor P s'utilitza per valorar totes aquelles pràctiques de conservació del sòl. En molts casos no es disposa d'aquesta informació i quan això succeeix, RUSLE recomana que s'apliqui el valor de 1 per a tota la zona d'estudi.

Existeixen nombrosos procediments que actuen sobre la coberta vegetal, en el control d'escorrentia o sobre el propi vessant. Els més simples consisteixen en seleccionar el tipus de vegetació més efectiva per la fixació del sòl, combinar cultius, cultivar en franges sobre una vessant, o establir-hi barreres vegetals.

Quan aquestes mesures no són suficients, es construeixen terrasses amb canals de drenatge que permeten l'evacuació de l'aigua de forma controlada. Quan es tracte de zones muntanyoses amb vessants molt inclinades, es poden construir bancals.

En el cas que s'intenti valorar aquest tipus d'actuacions, existeixen nombroses taules que relacionen les estructures de bancals, terrasses i altres amb els valors corresponents del factor P.

En el cas d'estudi, el MCSC disposa un grup de categories que descriuen els correus en bancals. S'utilitza aquesta categoria com a terrasses. Combinant-ho amb el mapa de pendents, es coneix cada terrassa en quin pendent es troba, i segons això, ja es pot categoritzar. Es crea un nou mapa on només apareixen els bancals. Es transforma en raster de 5 x 5.

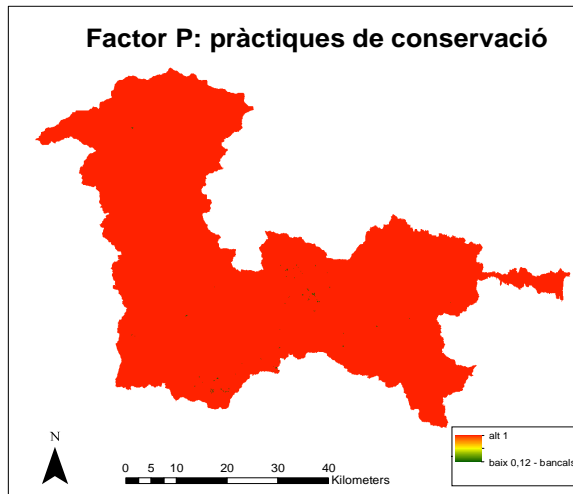


Figura 5. Representació factor P



## Factor A:

El factor A és la multiplicació final de tots 5 rasters, amb un ample de cel·la de 5 x 5. El resultat expressa l'erosió en pèrdua de sòl en Tn/ha i any.

perdues de sòl Tn/ha any		
<0,5		erosió molt baixa o nul·la
0,5	1	
1	2	
2	5	
5	10	
10	20	erosió moderada
20	50	
50	100	erosió alta
100	200	
> 200		erosió molt alta

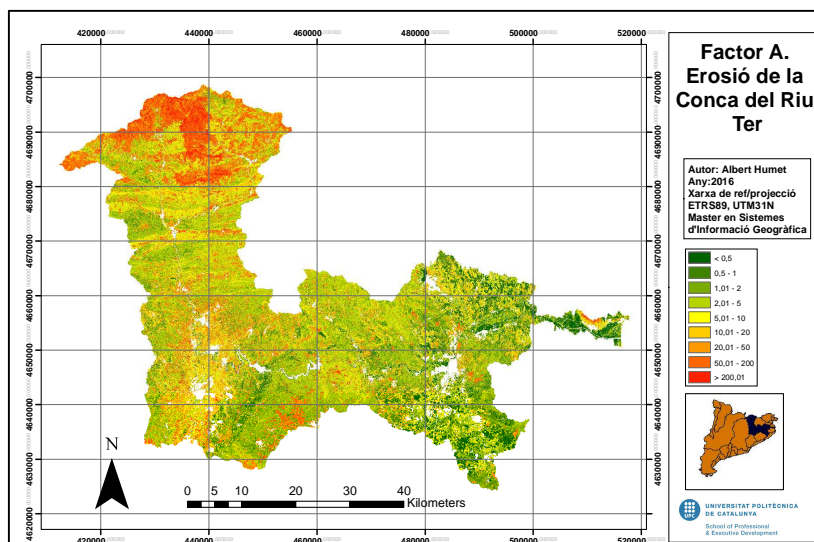


Figura 6. Representació del factor A

## Resultats

En un primer anàlisi dels resultats, s'observa que a la zona alta de la conca, més concretament la que es localitza en els Pirineus, és la que té una erosió més alta, amb valors que superen les 200 Tn/ha i any. En aquesta zona, es dona la característica de que per un cantó és la que té un factor P més alt i a la vegada, en moltes zones no hi ha coberta vegetal, és a dir, la roca està nua. La combinació d'aquests dos factors juntament amb un factor LS prou important, sobretot pel gradient de la pendent, fa que tingui un dels índex d'erosió més alts.

A l'altre extrem d'aquesta situació es troba la part baixa de la conca, aquella més pròxima a la desembocadura. Aquesta és la que presenta uns índex d'erosió més baixos. Es reuneixen les condicions de que el factor LS no és molt important, amb pendents molt moderats i poca longitud. Els nivells del factor P són dels més baixos del conjunt de la conca i el factor C de coberta vegetal és força variable, però

predominant aquells valors relacionats amb l'agricultura. Aquesta combinació dona un índex que en moltes zones és inferior a 2 Tn/ha i any.

Cap a la zona intermitja de la conca, hi ha una situació boscosa important juntament amb un conjunt de figures que representen uns penya-segats. L'anàlisi dels penya-segats dona uns valors d'LS molt alts, en molts casos superiors a la zona dels Pirineus, ja que es tracta de roca nua amb un gradient del pendent de 90 graus. En canvi, la zona boscosa té un valor del Factor C força baix com a conseqüència de la coberta protectora que ofereix el bosc, mentre que el valor del factor LS és important per la longitud del pendent i no pas pel gradient. En aquesta zona intermitja, l'índex del factor A se situa per sobre de les 10Tn/ha i any.

Els factors K i P, es podria dir que tenen un pes bastant constant en tota la conca, això fa que a l'hora d'analitzar les dades, no siguin dels més importants. En el cas del factor P però, és interessant analitzar aquelles àrees en les que hi ha terrasses. En aquests polígons, s'observa una disminució de l'erosionabilitat respecte el context de la zona. Les terrasses i/o bancals estan representats per uns coeficients molt baixos, fent disminuir molt el valor de l'erosió.

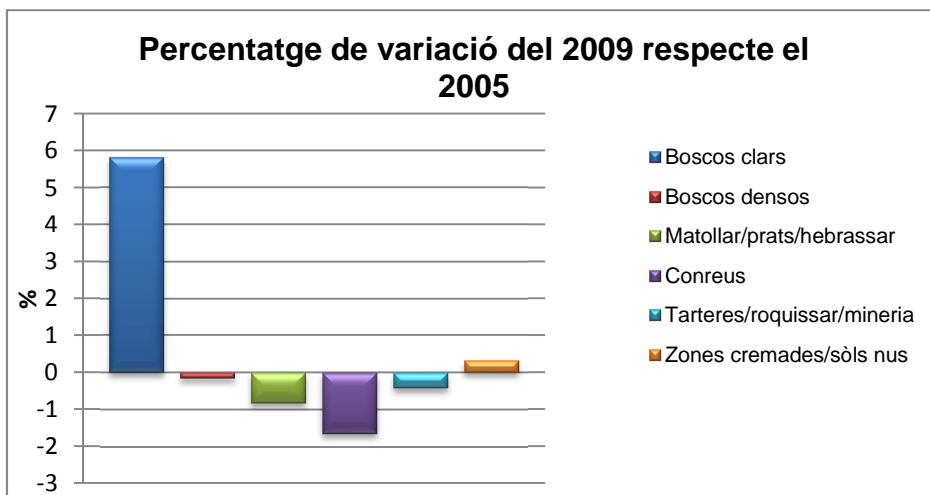
Un altre objectiu que es va plantejar, va ser veure quina era la tendència de la conca. Per fer-ho, ha calgut canviar el MCSC del 2009 pel del 2005. Aquest canvi permet actualitzar el factor C i el factor P. El procediment és el descrit fins ara, amb aquests dos canvis, es torna a calcular novament el factor A, i llavors es fa la diferència entre l'any 2005 i 2009. El resultat és un mapa raster amb valors negatius, positius i valors de 0. El 0 significa que no hi ha diferència entre el 2005 i el 2009, els valors positius indiquen que hi ha hagut una disminució de l'erosivitat, mentre que els negatius signifiquen que hi ha un augment.

Visualitzar aquests canvis és complicat, perquè són àrees molt petites i molt distribuïdes per una conca bastant gran. Per obtenir un millor resultat, es calcula l'àrea d'aquests canvis. Es reclassifica el raster de manera que només hi hagi 3 valors, un per les zones que millora, un altre per les que empitjora i un tercer pels valors que es mantenen igual. Amb el nou raster, es sumen tots els polígons i és multiplica per l'àrea.

VALUE	COUNT	àrea píxel	m <sup>2</sup>	Km <sup>2</sup>
1 (empitjora)	916922	25	22923050	22,92
2 (igual)	109530997	25	2738274925	2738,27
3 (millora)	1169869	25	29246725	29,24

D'aquesta manera se sap que en el conjunt de la conca, hi ha hagut una millora en l'erosivitat de l'any 2009, respecte el 2005, en més de 6 km<sup>2</sup>.

Per saber quines són aquelles categories del MCSC que més han variat, s'ha de treballar directament sobre la mateixa taula d'atributs d'aquesta cartografia. D'aquesta manera es poden obtenir els percentatges de quins usos varien més d'un any respecte l'altre. S'han agrupat els usos en grans categories.



D'aquesta manera s'observa què, tots aquelles usos relacionats amb els boscos clars són les que més guanyen, casi un 6 % més respecte el 2005, mentre que els boscos densos disminueixen però en un percentatge molt baix, un 0.2%. La categoria que més disminueix és la de conreus, en més de un 1,5%. En aquest grup entren tant el conreus d'hortalisses com aquells més llenyosos. Finalment també s'observa que respecte l'any 2005, hi ha un augment de les zones cremades o sòls nus, sent aquest un dels grups amb més risc d'erosió del sòl.