

Lurralde	20	1997	p: 67-104	ISSN 0211-5891
----------	----	------	-----------	----------------

DETERMINACIÓN DE LA TASA DE EROSIÓN HÍDRICA EN FUNCIÓN DEL MANEJO FORESTAL: LA CUENCA DEL RÍO SANTA LUCÍA (GIPUZKOA)

Recibido: 1997-11-10

J. M. EDESO*, P. MARAURI**, A. MERINO*** y M^a. J. GONZALEZ****

* *Departamento de Ingeniería Minera, Metalúrgica y Ciencias de los Materiales. E.U.I.T.I. e I.T. en Topografía. Universidad del País Vasco. Nieves Cano, 12. 01006. Vitoria-Gasteiz.*

** *Universidad de Educación a Distancia de Bergara. Plaza San Martín de Agirre s/n. Bergara. 20570.*

*** *Departamento de Ciencias del Suelo y Química Agrícola. Escuela Politécnica Superior. Universidad de Santiago de Compostela. 27002. Lugo.*

**** *Departamento de Geografía. Universidad del País Vasco. Vitoria-Gasteiz*

RESUMEN

Las profundas transformaciones que ha experimentado el paisaje rural del territorio histórico de Gipuzkoa y la sustitución traumática de unas especies forestales por otras, ha supuesto una importante alteración de las particulares condiciones geomorfológicas de amplios espacios. Estas transformaciones, han favorecido los procesos erosivos, vinculados a la circulación superficial del agua y los movimientos en masa que constituyen uno de los procesos más activos en la actual dinámica morfogenética.

La U.S.L.E., se constituye como una de las principales herramientas, capaz de estimar la tasa erosiva media de un territorio. Sin embargo, debido a las limitaciones que presenta su aplicación en terrenos de fuerte pendiente, es preciso ajustar la ecuación a cada espacio concreto, así como considerar una serie de variables que no son tenidas en cuenta en el modelo paramétrico original. Entre otros, es preciso considerar los diversos microambientes existentes en una misma ladera y los distintos manejos/acondicionamientos que pueden acompañar a la explotación forestal.

La información así obtenida constituye la base imprescindible para una mejor gestión y explotación sostenida del territorio y una excelente guía para establecer los manejos más adecuados en cada caso.

Palabras clave: erosión, USLE, SIG, tasa erosiva, microambientes, manejo forestal, acondicionamiento, repoblación, ajuste de la ecuación.

ABSTRACT

In Gipuzkoa, the changes in the rural landscape and the commercial exploitation of forestlands have led to deep modifications in different geomorphologic conditions. Thus, the erosive processes, linked to high runoff and the mass movement, make up the most active mechanism of the geomorphological dynamics.

The Universal Soil Loss Equation (USLE) can be a valuable tool to estimate the mean erosion rate under different soil uses and managements. However, its application in steep forestlands is difficult because of the heterogeneity of the slopes, with different microenvironments produced during site preparation labours. A proper application of this methodology can be useful to planify the land for the sustainable use.

Key words: erosion, Basque Country, soil management, forest harvesting, soils.

1. INTRODUCCIÓN

El cultivo con fines comerciales de especies de rápido crecimiento, en amplias zonas del territorio vasco, ha provocado una profunda transformación de la fisonomía del paisaje natural, introduciendo una serie de elementos nuevos que han alterado las características geomorfológicas, hidrológicas, edáficas y botánicas de amplias zonas. La sustitución traumática de unas especies vegetales por otras, no supone, en sí misma, un problema geomorfológico grave. No obstante, las técnicas intensas, altamente mecanizadas de acondicionamiento del terreno, que acompañan la explotación comercial de plantaciones forestales pueden alterar drásticamente las propiedades de los suelos y, en muchos casos, la estabilidad de las laderas, favoreciendo su destrucción.

Con el fin de garantizar el establecimiento de la nueva rotación, se evita la competencia con cualquier otra especie vegetal, lo que se consigue utilizando técnicas agresivas que suponen la perturbación mecánica del suelo: subsolado lineal empleando "rippers", tala y eliminación de la vegetación, destocoado... Estos manejos, favorecen el desarrollo de importantes procesos erosivos susceptibles de dismantelar los espacios afectados por este tipo de acondicionamientos. Diferentes estudios (Edeso et al., 1.997), han demostrado incrementos notables de las tasas de erosión, después de las labores de preparación del terreno que siguen a la tala.

Existen diversos procedimientos y métodos para evaluar la tasa de erosión de un suelo, pero de todos ellos, es quizás la Ecuación Universal de Pérdidas de Suelo (USLE), la más aceptada entre las personas encargadas de la gestión de un territorio con fines de producción o de conservación. Dada la validez de este método para estimar la pérdida de suelo, debido a la acción hídrica, la ecuación ha sido empleada en todo el mundo para numerosos propósitos y para muy diferentes condiciones. Su uso es particularmente recomendado (TRAGSA, 1.994) para:

- Predecir la pérdida media anual de suelo en una parcela concreta, con un uso y ordenación determinados.
- Servir de guía en la selección de las medidas de conservación de un terreno determinado. Para ello, es preciso conocer la tolerancia de pérdidas de suelo del terreno, lo que a su vez nos permitirá efectuar la ordenación agrológica del espacio considerado.
- Estimar la reducción en las pérdidas del suelo que pueden obtenerse con distintas alternativas de cultivo y/o manejo.
- Definir cuál de las prácticas de conservación incluidas en el factor P es la más adecuada para el terreno.

Aunque la aplicación de la USLE en terrenos de fuerte pendiente presenta limitaciones considerables, este método puede ser empleado a nivel estimativo (Farrish et al., 1.993). La mayor parte de los autores que han trabajado con este modelo, están de acuerdo al señalar que es particularmente indicado para calcular el promedio de suelo removido por erosión laminar o en regueros de un territorio o de una cuenca. Otras formas de erosión, –barrancos, zonas inundadas, movimientos en masa, retroceso de cauces, erosión remontante...–, o bien son inexistentes en el espacio estudiado o, por el contrario, quedan fuera de los objetivos del presente trabajo.

2. OBJETIVOS Y MÉTODOS

El objetivo de este trabajo es evaluar la tasa erosiva media de un territorio, en función de los distintos manejos a los que éste puede ser sometido. Para ello, efectuaremos un cálculo de la erosión en toda la superficie de la cuenca, –excepto en las áreas urbanas/industriales–, estimando que toda ella ha sido sometida a diversos tipos de manejo/acondicionamiento, pudiendo diferenciar entre manejos sumamente intensos (TES), moderados (TE) y ligeros (T) (Edeso et al., 1.994).

2.1. Procedimiento Metodológico

El procedimiento a seguir a la hora de determinar los procesos erosivos, ha tenido en cuenta las siguientes variables:

- rasgos litológicos.
- pendiente topográfica.
- recubrimiento vegetal.
- manejos y acondicionamientos.
- tipo de suelo y parámetros físico-químicos.
- comportamiento hidrodinámico de las laderas.
- determinación de los valores pluviométricos.
- verificación y determinación de la tasa de erosión.

2.2. Tratamiento de la información: Implementación de la base de datos en un Sistema de Información Geográfica.

La metodología utilizada combina el trabajo de campo, el de laboratorio y el de gabinete, plasmando los resultados en una serie de documentos cartográficos y tablas alfanuméricas de fácil utilización y aplicación.

El trabajo de campo se centra en la obtención de muestras representativas de los diversos tipos de suelos existentes en la zona de estudio. El trabajo de laboratorio consiste en el análisis de las muestras tomadas en la fase anterior, estableciendo su textura y su contenido en materia orgánica.

Una vez efectuado el trabajo de campo y los pertinentes análisis de laboratorio, hemos elaborado una base de datos que a su vez, se ha implementado en un Sistema de Información Geográfica (S.I.G.), de estructura mixta. Con todos estos datos hemos determinada la tasa erosiva de la Cuenca del río Santa Lucía, estableciendo los tres tipos distintos de manejo, anteriormente descritos.

2.3. Obtención de las variables

La zona de estudio se caracteriza por poseer una abundante y contrastada información (Edeso et al., 1.994; 1.995; 1.996). La escala básica utilizada es la 1:25.000, –excepto en el caso del MTD que ha sido elaborado a partir de la 1:10.000–, siendo el formato digital “raster” el elegido. La información utilizada ha sido georreferenciada en un sistema de coordenadas UTM, con una resolución espacial de 30 x 30 metros (exactamente, una resolución de 29,99225 metros).

Las variables consideradas han sido las siguientes:

*** El Modelo Topográfico Digital**

El Modelo Topográfico Digital se ha efectuado a partir de la cartografía digital básica, a escala 1:10.000, utilizando las siguientes capas:

- * Curvas de nivel normales y maestras
- * Cotas puntuales altimétricas
- * Vías de comunicación con valor altimétrico
- * Red hidrográfica con valor altimétrico
- * Construcciones urbanas

La creación del Modelo Topográfico Digital se realizó a partir de los ficheros preparados anteriormente, utilizando y contrastando diversos procedimientos y algoritmos de interpolación: kriging y el método TIN o triangulación de Delauney, así como el método INTERPOL para puntos muestrales con cota altimétrica, empleando el procedimiento de las medias móviles con ponderación proporcional a la distancia, y el método INTERCON, que es un procedimiento de interpolación a partir de curvas de nivel rasterizadas.

Este último procedimiento ha resultado ser el más fiable, puesto que su error medio cuadrático se sitúa dentro de los límites de error medio admisibles establecidos por el USGS (Elasaal y Caruso, 1985). El coeficiente de correlación de Pearson es aceptable al verificar la relación entre los datos reales y los obtenidos tras la interpolación. No obstante, el modelo se ha mejorado superponiéndole las curvas de nivel y las cotas altimétricas, así como las líneas críticas del relieve, la red hidrográfica, red de carreteras, construcciones urbanas, etc., que, como ya hemos señalado anteriormente, al disponer de cota altimétrica, han servido como elementos de apoyo y ruptura y, por tanto, han logrado mejorar ostensiblemente el modelo digital obtenido.

*** Mapa de Pendientes**

Este documento se elabora automáticamente a partir del Modelo Topográfico Digital. Los valores obtenidos no se agrupan en intervalos porque para evaluar la USLE nos interesan los datos brutos, codificados en forma de variables continuas.

*** Mapa Litológico**

Este mapa se ha vectorizado a partir de la cartografía digital 1:25.000 editada por el Gobierno Vasco (Hoja 88-II, EVE, 1.992).

*** Mapa de Permeabilidad y de Formaciones Detríticas Superficiales**

El procedimiento utilizado es similar al descrito anteriormente. Estos mapas, una vez digitalizados, se exportaron a IDRISI, utilizándose como elementos de apoyo a la hora de efectuar el muestreo mencionado anteriormente.

*** Mapa de Vegetación**

Se ha obtenido a partir de la Cartografía Digital suministrada por el Gobierno Vasco, a escala 1:25.000 (Hoja 88-II, Gobierno Vasco, 1.991). En la mayor parte de

los casos, la vegetación existente, antes de efectuado el acondicionamiento, estaba representada por plantaciones maduras de coníferas exóticas.

* Mapa de Suelos (Sistema F.A.O.)

Se ha elaborado a partir de los Mapas en formato digital suministrados por el Gobierno Vasco. En el caso que nos ocupa, los suelos originales han sido alterados (excepto en el manejo convencional, T), convirtiéndose en Antrosolos, por lo que se procederá a caracterizar sus rasgos granulométricos, texturales y estructurales, mediante análisis.

3. LOCALIZACIÓN Y CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA ZONA DE ESTUDIO

El espacio investigado se localiza en el sector centro occidental del territorio histórico de Gipuzkoa, organizándose en torno al río Santa Lucía. Puede definirse éste, como un pequeño curso fluvio-torrencial que inscribe su cauce sobre el extremo oriental del Sinclinorio de Bizkaia, modelando un pequeño valle de dirección ONO-ESE que se extiende sobre una superficie de 24,34 km². El río nace en las proximidades de Zumarraga, estando su origen vinculado a la confluencia de una serie de arroyos (Estenda, Aeta, Urkiola...), de escaso caudal que, a la altura de Arane, configuran una pequeña corriente de agua responsable del modelado de un valle fluvial que se desarrolla hasta el núcleo de Ormaiztegi, donde vierte sus aguas al río Estanda.

DISTRIBUCIÓN ALTIMÉTRICA DE LA CUENCA DE SANTA LUCÍA				
GRUPO	INTERVALOS	FRECUENCIA RELATIVA	FRECUENCIA ABSOLUTA	ÁREA Km ²
1	100-200	0,37%	0,37%	0,09
2	200-300	26,15%	26,52%	6,37
3	300-400	34,50%	61,02%	8,40
4	400-500	22,01%	83,03%	5,36
5	500-600	11,27%	94,30%	2,74
6	600-700	4,31%	98,61%	1,05
7	700-800	0,74%	99,35%	0,18
8	800-900	0,37%	99,72%	0,09
9	900-1000	0,28%	100,00	0,06
TOTAL	–	100,00	100,00	24,34

Cuadro 1. Distribución altimétrica de la Cuenca del río Santa Lucía

a. Rasgos Morfotopográficos

Morfológicamente, la cuenca está flanqueada por una serie de colinas y medias montañas que no superan los 950 metros de altitud: Kanpine (523 m.), Bigurraín-Buru (712 m.), Gainzabala (390 m.), Urresparaz (740 m.), Argisano (603 m.), Aizeleku (812 m), etc.

La altura media de la cuenca oscila en torno a los 416 m., siendo el intervalo altimétrico desarrollado entre los 300 y los 400 m. el mejor representado (34,5% del territorio). Esta cifra se eleva al 82,64% si consideramos el intervalo comprendido entre los 200 y los 500 m de altura. La pendiente media se sitúa en el 33,25%, constatándose que el 13,09% del espacio investigado presenta valores superiores al 50%, mientras que el 18,35% no rebasa el 20% (ver cuadros 1 y 2).

DISTRIBUCIÓN DE LAS PENDIENTES EN LA CUENCA DEL RÍO SANTA LUCÍA					
GRUPO	INTERVALOS %	NÚMERO CELDAS	FRECUENCIA RELATIVA	FRECUENCIA ABSOLUTA	ÁREA Km ²
1	0-10	1.741	6,44 %	6,44 %	1,57
2	10-20	3.220	11,91 %	18,35 %	2,90
3	20-30	5.712	21,12 %	39,47 %	5,14
4	30-50	12.829	47,44 %	86,91 %	11,54
5	50-100	3.537	13,08 %	99,99 %	3,18
6	> 100	2	0,01 %	100,00 %	0,01
TOTAL	–	27.041	100,00 %	100,00 %	24,34

Cuadro 2. Superficie ocupada por cada intervalo de pendientes en la cuenca del río Santa Lucía

b. Marco Lito-estructural

Litológicamente, la cuenca del río Santa Lucía se inscribe sobre los materiales Cretácicos que articulan el extremo suroriental del Sinclinorio de Bizkaia, representado en esta zona por una serie detrítica alternante de lutitas, margas limosas y areniscas de edad Cenomaniense, que se extienden sobre una superficie de 15,84 km² (65,04% de la cuenca). Al Norte de este conjunto, se desarrolla el flysch calcáreo Campaniense, integrado por una alternancia de margas y margocalizas grises, con eventuales intercalaciones de calizas arenosas. Estos materiales ocupan alrededor de 7,73 km², lo que representa el 32,35% de la zona investigada.

El resto de la superficie está constituida por afloramientos de rocas ígneas (0,14 km², es decir, el 0,57%), que pueden definirse como sills Turonienses formados por rocas microgranudas, entre las que destacan las diabasas poco potentes (< 10 m). Se observan también areniscas Cenomanienses y depósitos fluviales de edad Cuaternaria, que en conjunto ocupan una superficie de 0,64 km² (ver cuadro 3).

DISTRIBUCIÓN DE LA LITOLOGÍA EN LA CUENCA DEL RÍO SANTA LUCÍA					
GRUPO	LEYENDA	NÚMERO CELDAS	FRECUENCIA RELATIVA	FRECUENCIA ABSOLUTA	ÁREA Km²
1	Rocas ígneas	155	0,57%	0,57	0,14
2	Margas	8.594	31,78%	32,35	7,73
3	Areniscas	4	0,01%	32,36	0,01
4	Rocas detríticas	17.588	65,04%	97,40	15,83
5	Dep. superficiales	700	2,60%	100,00	0,63
TOTAL	–	27.041	100,00 %	100,00 %	24,34

Cuadro 3. Distribución litológica de las diferentes formaciones que articulan la Cuenca del río Santa Lucía

Estructuralmente, la zona forma parte del Sinclinorio de Bizkaia y, más concretamente, de la Unidad del Oiz. Los principales elementos que pueden destacarse en la zona de estudio son:

* Falla de Angiozar-Olaberría. Dibuja un accidente subvertical que eleva el bloque Sur.

FORMACIONES DETRÍTICAS SUPERFICIALES					
CÓD	TIPO FORMACIÓN DETRÍTICA SUPERFICIAL.	Nº CELDAS	FRECUENCIA RELATIVA	FRECUENCIA ABSOLUTA	ÁREA Km²
1	Regolito 0-0,5 metros	3.733	13,80%	13,80%	3,36
2	Regolito 0,5-1 metros	17.747	65,63%	79,43%	15,97
3	Regolito 1-2 metros	2.117	7,83%	87,26%	1,91
4	Regolito 2-4 metros	17	0,06%	87,32%	0,02
5	Regolito > 4 metros	1.319	4,88%	92,20%	1,19
6	Coluvial, arenas mal graduadas	98	0,36%	92,56%	0,09
7	Coluvial mixto-poligénico. Arenas mal graduadas	172	0,64%	93,20%	0,15
8	Coluvial con gravas mal graduadas	21	0,08%	93,28%	0,02
9	Rellenos artificiales	88	0,33%	93,61%	0,08
10	Aluvial	325	1,20%	94,81%	0,29
11	Coluvial, limos inorgánicos y arenas	1.404	5,19	100,00%	1,26
TOTAL		27.041	100,00%	100,00%	24,34

Cuadro 4. Formaciones detríticas superficiales en la Cuenca del río Santa Lucía

* Fallas de Ormaiztegi. Limitan un bloque hundido que permite el afloramiento del Supraurgoniano y de la base del flysch Cretácico superior. Han sido aprovechadas por el río Santa Lucía para inscribir su cauce.

* Anticlinal de Zumarraga. Es el resultado de una tectónica tangencial responsable de la formación de pliegues vergentes al Norte, fallas inversas y cabalgamientos. Esta estructura presenta flancos simétricos y buzamientos en torno a los 45-60°. Las superficies axiales son subverticales o buzanan ligeramente al Sur.

* Zona plegada de Usurbe. Es una zona sumamente deformada en la que predominan pliegues apretados de escala hecto-kilométrica (figuras en “caja de huevos”).

c. Características edáficas

La diversidad edáfica del territorio estudiado es reducida, ya que únicamente se detectan cuatro formaciones distintas:

a. Luvisoles órticos-Luvisoles gleicos-Cambisoles éutricos: LoLgBe.

Representan alrededor del 30,12% de la superficie investigada, lo que supone algo más de 7,33 km². Los luvisoles son suelos con una acumulación por iluviación, es decir, constan de un horizonte de iluviación de arcilla (árgico), con alta saturación de bases (> 50%) y elevada capacidad de intercambio catiónico: CIC \geq 24 cmol (+) kg⁻¹ arcilla. Dentro de este grupo, los luvisoles órticos, –desarrollados sobre materiales carbonatados–, poseen un horizonte A de color pardo a pardo rojizo y un horizonte Bt argílico, con estructura bien desarrollada.

Los luvisoles gleicos presentan drenajes impedidos y evidentes problemas de hidromorfía, con horizontes moteados. Estos suelos, junto con los Cambisoles éutricos alcanzan su máximo desarrollo sobre materiales margosos. Presentan buenas propiedades químicas, aunque las físicas son bastante inferiores, lo que favorece el desarrollo de los movimientos en masa.

b. Luvisoles gleicos-Acrisoles húmicos-Luvisoles órticos y Cambisoles dístricos: LgAhLoBd.

Son los suelos mejor representados, ya que esta asociación caracteriza al 62,29% de la cuenca, lo que supone alrededor de 15,16 km². Su mayor dominio coincide con los afloramientos de la serie detrítica (lutitas, margas y areniscas). Los Cambisoles dístricos se caracterizan por presentar un horizonte A ócrico y un horizonte B cámbico. Son suelos ácidos, con un bajo grado de saturación de bases y un moderado espesor.

Los Acrisoles son suelos con endopedión árgico, caracterizados por su baja saturación de bases (V < 50%) y CIC \leq 24 cmol (+) kg⁻¹ arcilla.

c. Litosoles: I

Los litosoles son suelos que están limitados en profundidad por roca continua, coherente y dura, localizada a menos de 10 cm por debajo de la superficie. Este tipo

de suelos apenas representan el 0,38% (0,09 km²), quedando relegados a las zonas más escarpadas, donde los procesos erosivos impiden su desarrollo.

d. Luvisoles órticos y Fluvisoles éútricos: LoJe

Ocupan el fondo de valle, configurando una estrecha banda dispuesta a ambos lados del río Santa Lucía. Se identifican con Fluvisoles éútricos (sólidos o mezclados con luvisoles), que pueden definirse como suelos jóvenes desarrollados sobre materiales aluviales recientes, de ahí que presenten perfiles deposicionales más que edafogénicos. Son suelos estratificados, no consolidados, siendo su textura franco-limosa (arenosa en los niveles inferiores), lo que determina un drenaje bueno.

Topográficamente, conforman zonas más o menos planas o de escasa/reducida pendiente por lo que se dedican a cultivos o a otros usos distintos de los forestales.

Los fluvisoles éútricos son suelos aluviales con propiedades flúvicas. Son ricos en bases ($V \geq 50\%$), permeables, bien drenados y no calizos. Presentan rasgos hidromórficos a más de 50 cm de profundidad debidos a la capa freática. Constan de un horizonte A, rico en materia orgánica y un horizonte C constituido por materiales aluviales. Los luvisoles presentan un perfil con horizontes A ócrico y Bt argílico, con abundante pedregosidad.

Ambos tipos representan el 6,12% de la cuenca, lo que supone alrededor de 1,49 km².

TIPOS DE SUELOS					
CÓDIGO	SUELOS	Nº CELDAS	FRECUENCIA RELATIVA	FRECUENCIA ABSOLUTA	ÁREA Km ²
1	LgAhLoBd	16.845	62,29%	62,29%	15,16
2	S/suelo	296	1,09%	63,38%	0,27
3	LoJe	1.653	6,12%	69,50%	1,49
4	I	103	0,38%	69,88%	0,09
5	LoLgBe	8.144	30,12%	100,00%	7,33
TOTAL	–	27.041	100,00%	100,00%	24,34

Cuadro 5. Distribución de los diversos tipos de suelos en la Cuenca del río Santa Lucía

d. Características pluviométricas

La caracterización pluviométrica de la zona estudiada se ha efectuado a partir de los datos suministrados por el pluviómetro totalizador de Ordizia (período 1.956-1.986). El volumen pluviométrico medio se sitúa en torno a los 1.352,9 mm., con un máximo muy nítido en diciembre y noviembre (186,5 y 160,7 mm, respectivamente) y otro secundario en marzo y abril (139,4 y 128,4 mm).

Los registros más bajos se sitúan en julio, recogándose un total de 43 mm. El número de días de precipitación oscila en torno a los 125,5, lo que supone una intensidad media diaria de 10,8 mm. Los valores más altos se registran en diciembre (14,2 mm/día), noviembre (12,6 mm/día) y octubre (11,6 mm/día).

Sin embargo, hemos podido constatar que los valores estadísticos medios no se ajustan a los valores reales de precipitación, detectándose elevados volúmenes pluviómetros en cortos intervalos de tiempo. El cálculo del factor R de la Ecuación, sitúa este valor en torno a 237.

4. ECUACIÓN UNIVERSAL DE PÉRDIDAS DE SUELO (U.S.L.E.)

Existen diversos procedimientos y métodos para evaluar la tasa de erosión de un suelo, pero de todos ellos, es quizás la Ecuación Universal de Pérdidas de Suelo (U.S.L.E.), la más aceptada con fines de producción o de conservación. Originalmente, el modelo USLE fue diseñado para su aplicación en parcelas, siendo posteriormente modificado con objeto de poder ser aplicado en cuencas vertientes. Como señala González del Tanago et al. (1.991), “en la aplicación de la USLE a parcelas o pequeñas cuencas es posible asumir condiciones homogéneas de clima, suelo, relieve y vegetación que permiten el cálculo de cada uno de los factores de erosión de forma integrada, con una única solución de la Ecuación para toda la cuenca”.

No obstante, en la actualidad, se considera que el modelo debe ser ajustado a las condiciones específicas del lugar en las que se emplea, mediante la introducción de diversas modificaciones.

La correcta gestión de un territorio, –en lo que a erosión se refiere–, debe tener en cuenta dos aspectos de sumo interés:

a. Cuantificar la tasa bruta de erosión, detectando las zonas susceptibles de experimentar una mayor pérdida de suelos.

b. Evaluar, cómo cambios de usos en una acción futura de ordenación de los recursos pueden incidir en las pérdidas de suelo. La base es evaluar la erosión potencial, suponiendo que la intervención humana significa la desaparición de la cubierta vegetal y, en muchos casos, la perturbación mecánica del suelo original.

La Ecuación Universal de Pérdidas de Suelo (USLE), puede definirse como un modelo paramétrico capaz de evaluar las pérdidas ligadas a la erosión laminar y a la erosión en regueros. La forma simplificada de la USLE, se resume en la siguiente expresión:

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

Siendo:

A la pérdida de suelo por unidad de superficie ($t\ ha^{-1}$)

R es el factor lluvia o índice de erosión pluvial ($J. m^{-2} cm\ hora^{-1}$).

K es el factor erosionabilidad del suelo ($t\ m^2. hora/ha.J.cm.$).

L es el factor longitud de pendiente.

S es la pendiente.

C es el factor cultivo y/o ordenación.

P es el factor prácticas de cultivo.

Los factores L.S. se agrupan en un sólo factor (LS) denominado factor topográfico, que al igual que los demás está tabulado. Además, el factor P es prescindible al no realizarse en la zona de estudio prácticas de conservación de suelos.

– **Índice de erosión pluvial: erosionabilidad de los aguaceros.**

El índice de erosión pluvial o factor de erosionabilidad de los aguaceros se define como el producto de la energía cinética de una precipitación por su máxima intensidad en 30 minutos. Este factor está determinado por la cantidad total de precipitación anual y por la forma en que éstas se producen, siendo más erosivas cuanto mayor cantidad de agua cae en un menor espacio de tiempo.

El valor de R correspondiente a un año, será la suma de los valores de R de cada una de las lluvias registradas en ese tiempo. Evidentemente, para obtener un valor representativo de R es necesario computar un ciclo de al menos 10 años.

Su determinación, en la zona que nos ocupa, se ha efectuado a partir de los datos suministrados por el pluviómetro totalizador de Ordizia (período 1.951-1.986), obteniéndose un valor medio de 237. La determinación de este índice, se ha realizado utilizando la siguiente fórmula (ICONA, 1.988):

$$R = e^{-0,834}(\text{PMEX})^{1,314}(\text{MR})^{-0,388}(\text{F24})^{0,563}$$

siendo:

PMEX el valor de la media anual de la máxima lluvia mensual (mm).

MR es la precipitación media del período octubre-mayo

F24 es el valor medio de los cocientes entre la lluvia máxima en 24 horas de cada año, elevada al cuadrado, y la suma de las máximas en 24 horas de todos los meses de ese mismo año.

– **Índice de erosionabilidad del suelo: factor K**

El factor K se ha evaluado a partir de un muestreo selectivo efectuado en base a los diversos suelos existentes en la zona estudiada y en áreas limítrofes, más o menos próximas. En todos los casos, se han tomado 3 submuestras superficiales utilizando para ello unos cilindros de 12 cm de longitud que son introducidos en el suelo a golpe de martillo. Las tres muestras obtenidas se homogeneizan, procediéndose a continuación a evaluar su contenido en materia orgánica y sus características texturales y estructurales.

El factor K se calcula a partir de una ecuación de regresión en función de las variables representativas de las propiedades físicas del suelo.

Los valores para el % limo + arena muy fina, % Arena (0,1-2 mm), % de Materia orgánica y estructura, se toman de los 15-20 cm. superiores del perfil edáfico, mientras que los referidos a la permeabilidad tienen en cuenta todo el perfil. Estos análisis se realizaron inmediatamente después de acondicionado el terreno y son el resultado de una serie de trabajos de investigación que se iniciaron hace más de siete años (Edeso et al., 1.994; 1.995, 1.996 Y 1.997).

Dependiendo del tipo de manejo supuesto, hemos establecido tres valores para el factor K, diferenciando:

* K₁. Refleja el valor del índice K en aquellas situaciones en las que las labores de acondicionamiento han sido particularmente agresivas, implicando corta a hecho, destocoado, decapado, apertura de pistas, retirada de la vegetación muerta y subsoado lineal con la consiguiente destrucción del suelo.

* K₂. Este índice refleja situaciones menos agresivas. Las labores de acondicionamiento/manejo implican corta a hecho, destocoado, apertura de pistas y destrucción parcial del suelo por tránsito de maquinaria pesada y durante las labores de decapado/retirada de la vegetación muerta.

* K₃. Este valor se asigna a los manejos menos agresivos, es decir, aquellos que únicamente implican cortas a hecho, destocoado parcial y retirada parcial de la vegetación muerta y de los restos de tala. El suelo no se altera, conservando más o menos sus características originales.

Utilizando estos tres valores, hemos determinado el cálculo de la USLE suponiendo que toda la cuenca ha experimentado la pérdida de su cubierta vegetal, siendo posteriormente sometida a diversos manejos y acondicionamientos. El procedimiento seguido consiste en clasificar el territorio en base a una división previa de los tipos de suelo, tomándose en cada una de las categorías, un número conveniente de muestras con objeto de determinar el valor de K en las mismas.

En total se han analizado 43 puntos distintos, obteniéndose los siguientes valores medios:

VALORES MEDIOS DEL FACTOR K EN FUNCIÓN DEL MANEJO			
SUELOS	FACTOR K ₁	FACTOR K ₂	FACTOR K ₃
LgAhLoBd	0,32	0,21	0,19
Sin suelo	–	–	–
LoJe	0,27	0,16	0,11
I	0,30	0,15	0,10
LoLgBe	0,36	0,25	0,16

Cuadro 6. Valores medios del factor K en la Cuenca del río Santa Lucía

El factor K determina la susceptibilidad del suelo frente a la erosión, aunque este extremo depende del grado de saturación del mismo en el momento de producirse la precipitación y del grado de resistencia al splash y a la arroyada.

La erodibilidad del suelo está condicionada por la textura y la estructura. La primera, viene determinada por los respectivos porcentajes de arena, limo y arcilla contenidos en el suelo, mientras que la segunda está definida por la existencia de glomérulos de distinto tamaño, lo que a su vez depende de su contenido en materia orgánica y del estado floculado o disperso de los coloides.

Las diversas comprobaciones hechas en el campo, ponen de manifiesto la necesidad de introducir ajustes, tanto en el valor C como en el K. Éste último debe ser

corregido teniendo en cuenta la pedregosidad, la existencia de rodadas y microdepressiones que funcionan como trampas de sedimentos y como obstáculos a las aguas de escorrentía.

– Factor Topográfico (L.S)

Este parámetro se ha determinado a partir de las tablas elaboradas por la Cátedra de Hidráulica e Hidrología de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes de Madrid.

GRUPOS DE PENDIENTES EN %	FACTOR LS
0-3	0,3
3-12	1,5
12-18	3,4
18-24	5,6
24-30	8,7
30-60	14,6
60-70	20,2
70-100	25,2
> 100	28,5

Cuadro 7. Valor del factor L.S en función de la pendiente

– Factor cobertura vegetal del suelo: factor C

Para determinar el factor C, existen unas tablas publicadas por Wischmeier (1.978) que definen los valores de C para los tipos más comunes de cultivos, así como de las áreas forestales. En el caso que nos ocupa, se ha tenido en cuenta la paulatina colonización vegetal de las laderas, en los distintos momentos del año, diferenciando una serie de períodos en los que el índice va modificándose a medida que la ladera va siendo cubierta por el tapiz vegetal. En este sentido, hemos establecido cuatro momentos diferentes.

* Período A. Se corresponde con la etapa inmediatamente posterior al acondicionamiento de la ladera. Se estima que tiene una duración de 3 meses, con una cubierta inferior al 5%, por lo que le asignamos un valor de 0,45.

* A medida que transcurre el tiempo, la vegetación tiende a colonizar estas laderas, de ahí que durante los dos meses siguientes, dicha cubierta oscila en torno al 20%, aplicándose un valor de C en torno a 0,20.

* Los dos meses siguientes nos muestran una cubierta vegetal en torno al 40%, de ahí que se le aplique un índice de cobertura estimado del 0,10.

* Durante los últimos 5 meses, aproximadamente el 80% de la superficie ha sido colonizada, de ahí que el valor de C oscila en torno a 0,013.

Todo ello determina un valor medio de C que se sitúa en 0,168.

– **Factor prácticas de conservación de suelos: Factor P**

Puesto que en la cuenca de Santa Lucía no se observan prácticas de conservación, este factor toma siempre un valor de 1.

– **Ajuste de la Ecuación a la zona de estudio**

La determinación de la tasa erosiva mediante la Ecuación Universal de Pérdidas de Suelo es un procedimiento que, aplicado directamente en la zona de estudio, arroja unas cifras erosivas muy elevadas, sobre todo en parcelas sometidas a manejos TES, que no se corresponden con los valores reales de pérdidas de suelo establecidas mediante parcelas experimentales (Edeso et al., 1.994; 1.996, 1.997).

Es indiscutible que la USLE representa una metodología práctica y de resultados cuantitativos para estimar la erosión laminar y en regueros, siendo determinante la influencia que tienen sobre ella los diferentes usos del suelo. La desviación de los valores paramétricos con las mediciones reales efectuadas en parcelas experimentales, nos sugieren que es preciso introducir diversas ajustes para mejorar la asignación que toman algunos de los parámetros.

La USLE tiende a sobrevalorar la tasa erosiva, sin tener en cuenta que pequeñas variaciones en el manejo, en la longitud de la pendiente o erosividad de las precipitaciones, pueden modificar sensiblemente los resultados finales. Como señala Ruiz Flaño, (1.993), “ la USLE tiende a desprestigiar la extraordinaria importancia que tiene la heterogeneidad topográfica para explicar la diversidad hidromorfológica de las áreas de montaña”. Además, la USLE no considera la posibilidad de la existencia de almaceñas intermedias de sedimentos, que tanta importancia revisten a lo largo de una ladera. Ello da lugar a grandes cantidades de materiales retenidos, definitiva o temporalmente, en zonas de acumulación intermedia originadas por las frecuentes rupturas de pendiente, depresiones e irregularidades. Las microredes también constituyen importantes áreas de acumulación.

Actualmente, la USLE tiende a ser sustituida por la RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation), la cual introduce diversas correcciones de sumo interés. Uno de los valores que más se modifica es el factor K, siendo la pedregosidad uno de los elementos que más inciden en su reducción, ya que las piedras y los fragmentos de roca incrementan la rugosidad y protegen al suelo de los impactos de las gotas de lluvia actuando como un pavimento protector. También el factor cultivo (C) se ve modificado.

Dissmeyer y Foster (in TRAGSA, 1.994), señalan que a la hora de evaluar estos factores, debemos tener en cuenta los siguientes aspectos:

- * porcentaje de suelo desnudo
- * grado de consolidación del suelo
- * incremento de la materia orgánica a lo largo del tiempo
- * existencia de restos vegetales muertos

* capacidad de acumulación/retención de sedimentos en las irregularidades del terreno (rodadas de las excavadoras) y al abrigo de macrorestos vegetales y fragmentos rocosos.

* influencia de la microtopografía y de la rugosidad, ya que ambos factores pueden frenar los flujos hídricos y favorecer la acumulación en rellanos y zonas deprimidas.

La aplicación de las tablas de Dissmeyer y Foster (1.989), nos proporcionan valores de C (y K) menores a los obtenidos por Wischmeier y Smith (1.978).

Al margen de las observaciones señaladas anteriormente, el ajuste de la U.S.L.E. se ha efectuado a partir de un exhaustivo trabajo de campo desarrollado entre 1.992 y 1.996. En este período se instalaron 168 parcelas experimentales, efectuándose el control de la tasa erosiva mediante una serie de procedimientos de medición diversos, entre los que podemos destacar: clavos de erosión, tablas de splash, canales Gerlach y cajas Morgan y microparcels con colectores de sedimento.

Al mismo tiempo, en todas ellas se calculó la U.S.L.E., comparándose posteriormente los resultados obtenidos mediante la aplicación de los diversos métodos experimentales, con los cálculos teóricos derivados de la aplicación de la ecuación. El análisis de ambos datos nos permitió establecer una correlación entre unos y otros y, en consecuencia, ajustar la U.S.L.E. a los tratamientos de preparación usualmente empleados en Gipuzkoa.

Con toda esta información, hemos establecido unos índices para cada una de las situaciones supuestas, utilizando para ello:

a. Existencia de distintos microambientes que generan cantidades distintas de escorrentía y, en consecuencia, tasas erosivas diferentes.

b. Evaluación de las zonas en las que se produce acumulación de sedimento. La existencia de obstáculos en la ladera, las rupturas de pendiente y la presencia de microdepressiones interrumpen la normal circulación de los flujos sobre la ladera, favoreciendo la acumulación del sedimento.

La evaluación de este factor se ha establecido mediante muestreo, lo que nos permite reseñar que alrededor del 1,89% de la superficie (en el caso de las laderas TES), sufren acumulaciones, mientras que esta cifra se eleva al 4,96% en las parcelas TE y al 7,15% en las T.

c. Zonas no afectadas por la erosión. La recuperación de la cubierta vegetal en microambientes mejor conservados es mucho más rápida que en el resto de la ladera, pudiendo estimar que suponen el 5,45% en el caso de los manejos TES, el 16,29% en el TE y el 36% en las situaciones tipo T.

Evaluando estos parámetros, podemos determinar los siguientes índices de corrección:

* 0,90143 para situaciones en las que se ha efectuado corta a hecho, destocado, apertura de pistas, retirada de la vegetación muerta y subsolado: TES

* 0,7839 en aquellos casos en los que se ha realizado corta a hecho, destocado parcial o total, retirada de la vegetación muerta, apertura de pistas y (no es imprescindible), subsolado sin mezcla de horizontes del suelo: TE

* 0,65583 en las parcelas que sólo han sufrido corta a hecho, retirada parcial de la vegetación muerta, apertura de pistas y, a lo sumo, destocoado parcial: T.

Estos valores se multiplican por el guarismo obtenido al aplicar la USLE bruta, es decir, sin ningún tipo de corrección.

5. LABORES DE ACONDICIONAMIENTO

La mayoría de las repoblaciones efectuadas en el País Vasco pueden definirse como repoblaciones genéricas de producción. Con el fin de conseguir la máxima rentabilidad posible, se recomiendan efectuar diversas tareas de acondicionamiento del terreno, dependiendo dichas técnicas de las pendientes existentes en cada caso.

La preparación del terreno tiene como objetivo crear en el suelo la situación idónea para que la planta que en él se instala tenga una mayor facilidad para el arraigo y un mejor desarrollo posterior. Todo ello supone la eliminación de la vegetación con el fin de evitar la competencia y, al mismo tiempo, favorecer la penetración y el desarrollo de las raíces. La ruptura del perfil del suelo supone un aumento de la capacidad de retención del agua y la eliminación de la posible escorrentía, al aumentar la permeabilidad.

Antes de preparar el terreno, se efectúan una serie de labores con el fin de eliminar factores o condiciones que impidan o dificulten la implantación y/o posterior arraigo por exceso de humedad. En este sentido, podemos reseñar la eliminación de la vegetación preexistente con el fin de evitar la competencia que puede suponer para la planta en lo referente a luz, humedad, nutrientes, etc, utilizando para ello el decapado del horizonte superior del suelo, la roza con desbrozadora o el subsolado. Otras técnicas de manejo son el destocoado, el arrastre de la vegetación muerta, la apertura de hoyos....

Las labores se hacen siguiendo las líneas de máxima pendiente. Posteriormente, al realizar la plantación se efectúa una pequeña banqueta manual que recoge la escorrentía y evita la erosión (Tragsatec, 1.994).

Una vez acondicionada la ladera, se efectúa la plantación, que es la colocación de plantas en el terreno a repoblar, incluyendo el enterramiento del sistema radical. Se realiza a raíz desnuda, por lo que requiere una profundidad superior a los 30 cm.

Teniendo en cuenta las diversas tareas de acondicionamiento, hemos establecido tres situaciones diferentes, en función de la mayor o menor intensidad de las operaciones y manejos efectuados.

* TES. En estos casos, suponemos que las parcelas han sido sometidas a subsolado con destocoado total, retirada de la vegetación muerta, apertura de pistas, decapado y destrucción del suelo original por mezcla de sus horizontes. Normalmente, el sustrato rocoso se ve afectado por las labores de acondicionamiento, fragmentándose, lo que contribuye a incrementar la pedregosidad del Antrosol resultante.

* TE. En estos casos, no se realiza subsolado, o a lo sumo, éste afecta a la capa más superficial del suelo, lo que determina la coexistencia de zonas en las que el suelo se ha destruido, junto a otras en las que se conserva relativamente bien.

Evidentemente, en estas situaciones también se produce la apertura de pistas, el decapado parcial, destocoado y retirada de la vegetación muerta.

T. Es la situación menos destructiva de todas. El suelo primitivo suele conservarse sin demasiados cambios, ya que no se emplea el subsolado, ni se efectúa destocoado. La vegetación muerta se retira parcialmente, aunque la ladera aparece surcada por numerosas pistas forestales utilizadas para extraer la madera cortada.

La evaluación de los procesos erosivos se ha efectuado teniendo en cuenta estas tres situaciones distintas, calculándose tres valores de USLES (y tres valores de K) diferentes que coinciden con cada uno de los acondicionamientos reseñados anteriormente.

6. MICROAMBIENTES

La respuesta de una ladera ante los procesos erosivos, difiere sensiblemente de unos puntos a otros, ya que el grado de destrucción/conservación no es homogéneo en toda su superficie, pudiendo existir algunos enclaves en los que el suelo alcanza mayor desarrollo, la pendiente es más reducida o la cubierta vegetal surge más rápidamente.

La determinación de los distintos microambientes geomorfológicos se ha efectuado siguiendo las indicaciones de Ruiz-Flaño (1.993), aunque con algunas variantes y mejoras respecto al método original (Edeso et al., 1.994). El procedimiento seguido, consiste en la selección de 15 laderas para cada una de las tres situaciones mencionadas anteriormente (TES, TE y T), procediendo a continuación a evaluar los distintos microambientes existentes en ellas, prestando una atención especial a las zonas de acumulación y a las áreas sin huellas visibles de erosión.

En cada caso concreto, se han realizado tres transectos perpendiculares a la pendiente topográfica, consignando en cada uno de ellos los distintos microambientes existentes. Estos transectos se localizan en los tramos superior, medio e inferior de cada una de las laderas analizadas, pudiendo diferenciar los siguientes ámbitos erosivos:

a. **Zonas no erosionadas/erosión nula.** En estas zonas incluimos aquellos enclaves en los que no se observan huellas de erosión hídrica superficial, ni movimientos en masa rápidos. Generalmente, estos espacios se encuentran asociados a zonas que mantienen una moderada cubierta vegetal, compuesta por gramíneas, helechos, argomas y/o zarzas. También se engloban aquí los sectores cuya superficie está cubierta por abundante vegetación muerta o aquellos enclaves que conservan su suelo original.

En estos microambientes el splash se ve frenado por la vegetación viva o muerta y por la pedregosidad, al mismo tiempo que la energía cinética de la lluvia es absorbida por el suelo cuando éste se ha conservado más o menos inalterado. Estos mismos elementos frenan o dificultan el desarrollo de flujos y, al mismo tiempo, potencian la acumulación del material arrastrado en otros puntos de la ladera.

b. **Áreas afectadas por erosión difusa débil.** Este tipo de procesos afecta a superficies desnudas y lisas, en las que el splash y la circulación de laminillas de agua provocan la evacuación de los elementos más finos. Estos procesos son importantes

inmediatamente después de acondicionada una ladera, sobre todo cuando se han utilizado técnicas de subsolado, siendo los “interfluvios”, los ámbitos más afectados. En cualquier caso, los arrastres son discretos, pudiendo afectar incluso a las zonas cubiertas por el helechal.

c. Zonas dominadas por la erosión difusa fuerte. En estos casos, la arroyada difusa fuerte es el mecanismo erosivo principal (incluimos aquí los microdescalces), aunque también el splash y la erosión difusa débil son importantes. Estos mecanismos afectan a laderas sin cobertura vegetal, en las que la pedregosidad es elevada y la evacuación de materiales importante. En estos espacios, la superficie del suelo se encuentra compactada y las piedras se apoyan en pequeños pedestales de tierra que la escorrentía no ha conseguido todavía evacuar.

Los flujos de agua se subdividen al encontrar un obstáculo y comienzan a socavar el material que se encuentra en los márgenes del mismo. El agua se concentra en los bordes de las piedras o matas, incrementando su energía y su turbulencia, lo que facilita el arranque de las partículas.

d. Afloramientos rocosos del sustrato. Son zonas que han perdido totalmente su recubrimiento edáfico. Englobamos aquí las pistas forestales, los lugares utilizados para extraer la madera (se utiliza un cable, arrastrando los troncos cortados) y algunos puntos en los que la erosión ha eliminado totalmente el suelo. En estos enclaves, la escorrentía es máxima al ser la infiltración reducida; frecuentemente, las pistas tienden a concentrar los drenajes superficiales y subsuperficiales de la ladera, llegando incluso a conformar flujos hídricos importantes.

d. Áreas dominadas por la arroyada concentrada. La circulación concentrada determina el modelado de una serie de surcos y regueros que pueden superar los 20 cm de profundidad. Las aguas de arroyada aprovechan las irregularidades (marcas de los dientes, rodadas de las orugas...) dejadas por la maquinaria pesada o por los “rippers” en la ladera, modelando una serie de incisiones a través de las cuales se evacúa el sedimento erosionado. La variabilidad de formas es importante, pudiendo destacar los regueros de 1 o 2 cm de profundidad y los surcos de trazado groseramente rectilíneo que pueden alcanzar incluso los 40 cm de anchura y los 20-25 cm de profundidad. Entre ambos extremos encontramos una variada gama de tipos y dimensiones de incisiones.

e. Áreas de enlosado de piedras. En ellas, las piedras cubren la mayor parte de la superficie del suelo (80-90%), formando una capa, más o menos continua de cantos pequeños y medios (entre 2 y 12 cm). Esta capa de cantos se forma cuando la ladera experimenta un importante lavado de finos, sobre todo si en ella se han practicado tareas intensas de acondicionamiento que han fragmentado el sustrato rocoso subyacente y han mezclado los horizontes del suelo. En este tipo de laderas no suelen dibujarse incisiones, aunque en ocasiones hemos observado algunas formas longitudinales que funcionan como colectores de escorrentía y a través de las cuales se produce la evacuación de los cantos.

f. Zonas de acumulación. En términos generales, es el material fino el afectado por la movilización, aunque en ocasiones también los fragmentos rocosos de tamaño heterométrico pueden ser movilizados. La reducción de la energía y de la velocidad de las aguas de escorrentía debido al incremento de la rugosidad del terreno o como consecuencia de la suavización de la pendiente, provoca la deposición de una parte del material transportado por las aguas de escorrentía.

Las zonas de acumulación más frecuentes se sitúan en la parte baja de la vertiente, así como en las depresiones y en los puntos situados aguas arriba de los diversos obstáculos y matorrales existentes en la ladera. Estos elementos frenan la velocidad de los flujos, favoreciendo la acumulación del material transportado por ellos.

g. **Movimientos en masa.** Afectan casi exclusivamente a las pistas forestales. Son más frecuentes en zonas dominadas por materiales limo-arcillosos.

7. CÁLCULO DE LA TASA DE EROSIÓN

La determinación de la tasa de erosión se ha efectuado mediante la aplicación de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE/RUSLE), aunque matizada mediante la introducción de diversas correcciones.

Los cálculos referidos a la pérdida de suelo, se han elaborado diferenciando tres tipos de manejo/acondicionamiento distintos, procediendo, en cada caso, a la evaluación de la erosión. Las tres situaciones supuestas son las siguientes:

a. Manejo/Acondicionamiento intenso, del tipo TES

En este caso partimos de la base de que la ladera ha sido sometida a manejos intensos que incluyen la retirada de la cubierta vegetal y de la vegetación muerta y el decapado del horizonte orgánico del suelo y el subsolado.

El resultado final de todas estas tareas y labores de acondicionamiento y manejo, determinan la mezcla de los horizontes del suelo, la importante reducción de su contenido en materia orgánica y, al menos inicialmente, la preparación de abundante material suelto que opone una escasa resistencia a la circulación hídrica superficial.

b. Manejo y acondicionamiento moderado: TE

En este supuesto, el manejo/acondicionamiento del suelo ha sido menos intenso que el reseñado anteriormente. En estos casos, también se produce la corta a hecho, así como la apertura de pistas y el arrastre mediante cables y cadenas de los troncos recién cortados. Sin embargo, el destocoado suele ser parcial y el subsolado, –si se produce–, es muy ligero. Todo ello determina la mezcla parcial de los horizontes del suelo, aunque éste se conserva relativamente bien en numerosos puntos. El contenido en materia orgánica es más elevado que en el caso anterior, mientras que las características físico-químicas del suelo original se mantienen relativamente inalteradas.

c. Manejo y acondicionamiento ligero: T

Es la situación menos “destructiva” de todas, ya que en estos casos no se utilizan técnicas agresivas de subsolado, lo que determina una buena conservación del suelo, manteniendo éste elevados porcentajes de materia orgánica, así como características texturales y estructurales similares a las originales. Las actuaciones más agresivas son la apertura de pistas y la retirada parcial de la vegetación muerta.

La evaluación de estos tres tipos de manejos se plasman en tres valores diferentes del índice de erosionabilidad, que vienen definidos por la letra K. Así, K_1 refleja el valor en el caso de manejos/acondicionamientos del tipo TES; K_2 recoge el valor de TE y K_3 refleja el índice en el caso de T.

Sea cual sea el manejo/acondicionamiento efectuado, la respuesta de la parcela ante los procesos erosivos no es homogénea, coexistiendo diversos microambientes geomorfológicos. Por ello, hemos efectuado una valoración de estos microambientes, eligiendo 15 parcelas del tipo TES, 15 del tipo TE y 15 del tipo T. La elección de estos enclaves se ha efectuado en parcelas recién acondicionadas, puesto que los distintos microambientes experimentan una rápida evolución.

El factor corrector establecido ha tenido en cuenta las irregularidades que accidentan la ladera, –máximas en los manejos del tipo T y mínimas en el caso de TES–, ya que éstas se comportan como zonas de acumulación de sedimento, no funcionando como áreas de alimentación de material susceptible de ser erosionado. En segundo lugar, se ha considerado la existencia de microambientes en los que no se detectan huellas que denoten procesos erosivos. Teniendo en cuenta todos estos factores se han confeccionado una serie de índices correctores que se han multiplicado por el valor obtenido mediante la aplicación de la Ecuación al territorio investigado.

TES	-----	0,90143
TE	-----	0,78390
T	-----	0,65583

El resto de los parámetros, –C, L.S y R–, no han experimentado ningún tipo de corrección.

Los resultados obtenidos se plasman en la tabla adjunta (cuadro 8), en la cual se recogen los valores de erosión de TES, TE y T .

7.1. Pérdidas de suelo en TES

En este supuesto, partimos de la hipótesis de que toda la cuenca ha sido sometida a manejos sumamente agresivos, lo que determina la completa desaparición de la cubierta vegetal, la modificación de la topografía preexistente, la destrucción de la red de drenaje y la mezcla de los horizontes edáficos, lo que a su vez determina el descenso del contenido en materia orgánica del suelo.

Al quedar la superficie del terreno totalmente desprotegida, se producen importantes procesos erosivos, pudiendo superarse incluso las 200 tm/ha/año. Se desarrollan fenómenos de arroyada capaces de movilizar ingentes masas de sedimento, sobre todo, inmediatamente después de acondicionada la ladera.

El cálculo de la USLE en estas condiciones, nos refleja una tasa erosiva media de 106 tm/ha/año, oscilando ésta entre las 0 y las 383 tm. Las fuertes pendientes que caracterizan estos espacios, junto con la importante agresividad climática y las drásticas técnicas de acondicionamiento, determinan elevadas tasas erosivas. Concretamente, el 61,82% del territorio presenta pérdidas elevadas y/o críticas (> 100 tm/ha), mientras que la erosión nula apenas afecta al 2,11%.

PÉRDIDAS DE SUELO: USLE AJUSTADA			
MANEJO/ACONDICIONAMIENTO			
RANGO	TES	TE	T
t ha⁻¹año⁻¹	%	%	%
> 200	2,49	0,01	0,00
100-200	59,33	10,07	0,27
50-100	18,87	56,66	36,89
25-50	9,28	17,07	40,02
5-25	7,93	11,86	16,41
0-5	2,11	4,33	6,41
TOTAL	100,00	100,00	100,00

Cuadro 8. Pérdidas de suelo en función del manejo

7.2. Manejo/Acondicionamiento del tipo TE

El empleo de técnicas menos agresivas supone una evidente mejora, puesto que la tasa erosiva media oscila en torno a las 62,2 tm/ha/año (las pérdidas más elevadas alcanzan las 231 tm). Tal y como se observa en el cuadro adjunto, el 56,66% del territorio presenta tasas que oscilan entre las 50 y las 100 tm/ha. Por el contrario, la erosión nula apenas caracteriza al 4,33% y la severa se observa en el 10,08%. Las tasas más elevadas se detectan en el sector más septentrional de la cuenca, mientras que las más bajas coinciden con el fondo de valle.

7.3. Manejo/Acondicionamiento del tipo T

En este tercer supuesto, la tasa erosiva media oscila en torno a las 41,1 tm/ha/año, con un máximo erosivo que se sitúa alrededor de las 125 tm/ha. El análisis del cuadro adjunto, nos permite afirmar que el 76,91% del territorio presenta pérdidas que oscilan entre las 25 y las 100 tm/ha., lo que pone de manifiesto la importancia de los procesos erosivos en esta zona. La erosión nula o baja caracteriza al 22,82% del territorio, siendo el fondo de valle del río Santa Lucía el espacio menos afectado por el desmantelamiento erosivo. Cifras por encima de las 50 tm/ha (erosión alta y severa), caracterizan al 37,16% de la cuenca, siendo sobre todo la zona septentrional la que mayores tasas registra.

7.4. Tolerancia de los suelos a la erosión

La evaluación de tolerancias de pérdidas de suelo en un terreno, depende de varios factores, entre los que podemos destacar la profundidad del suelo, sus propiedades físicas, el desarrollo de los sistemas radicales de la vegetación, su contenido en materia orgánica, nutrientes, etc.

A falta de datos representativos referidos a esta zona, podemos utilizar los valores aportados por otros autores. Así, Wischmeier estima, que en suelos profundos, de textura media, permeabilidad moderada y con un subsuelo favorable a la vida de las plantas, pueden admitirse pérdidas en torno a las 12,5 t ha⁻¹ año⁻¹.

Hudson, eleva esta cifra a 13-15 t ha⁻¹ año⁻¹, mientras que la FAO-UNESCO-PNUMA, estima las siguientes tasas erosivas:

PÉRDIDAS DE SUELO TOLERABLES (FAO-UNESCO-PNUMA)	
PÉRDIDAS t ha⁻¹ año⁻¹	GRADO DE EROSIÓN HÍDRICA
< 10	Ninguna o ligera
10-50	Moderada
50-200	Alta
> 200	Muy Alta

En las laderas de fuerte pendiente, donde los suelos tienen una escasa profundidad y son especialmente sensibles a la erosión, estimamos que no son admisibles tasas por encima de las 10 t ha⁻¹. Considerando este límite, advertimos que en el supuesto de suelos sometidos a manejos del tipo TES, sólo el 6,48% de las situaciones se encontraría dentro de los límites tolerables de erosión. Esta cifra se eleva al 9,84%, en los manejos del tipo TE y al 13,53%, en los acondicionamientos del tipo T.

Situando, en el mejor de los casos, el umbral tolerable en torno a las 25 t ha⁻¹ año⁻¹, podemos concluir que el porcentaje de parcelas comprendido dentro de este margen varía en función del tipo de manejo/acondicionamiento empleado.

* Con manejos/acondicionamientos del tipo TES sólo el 10,53% de las parcelas muestreadas se situarían por debajo de este umbral.

* En el caso de efectuarse manejos del tipo TE, este porcentaje oscila en torno al 22,19%.

* En los acondicionamientos menos agresivos esta cifra se eleva al 56,51% del total.

Si establecemos el umbral en las 50 toneladas por hectárea (erosión nula y moderada), advertimos que estas cifras se elevan al 27,40% en el primer caso, al 61,49% en el segundo y al 88,64% en el tercer supuesto.

8. OTRAS CONSECUENCIAS DE LAS LABORES FORESTALES

Los diversos muestreos efectuados en la zona investigada y el seguimiento de numerosas laderas sometidas a explotación forestal, nos permiten establecer las siguientes características:

a. Fuertes pendientes medias, superando, en la mayor parte de los casos, el 35%. El predominio de laderas muy acentuadas determina el desarrollo de suelos poco evolucionados, así como el incremento de la pedregosidad, potenciando, “a priori”, su erosionabilidad.

b. Marcado carácter arcilloso de los suelos. Este hecho, junto con las reducidas proporciones de materia orgánica, son los factores que acentúan la susceptibilidad a la erosión. El carácter arcilloso determina serias limitaciones al uso y conservación de estos suelos. Las finas texturas que exhiben la mayor parte de ellos, se traducen en una marcada densidad; la estructura se hace más masiva cuando el suelo está húmedo, impidiendo la aireación y la circulación del agua a través de ellos. Así, en laderas o en espacios dominados por pendientes suaves y/o moderadas, se originan situaciones de drenaje impedido en la sección cercana a la superficie, mientras que en aquellas dominadas por fuertes pendientes, la zona de mal drenaje se sitúa en una profundidad intermedia.

La baja conductividad hidráulica y los problemas de hidromorfía favorecen el desarrollo de procesos de arroyada concentrada, –modelándose profundos surcos que siguen las líneas de máxima pendiente–, laminar y difusa. Estos procesos alcanzan su máximo desarrollo sobre los suelos “gley”, pudiendo situarse el umbral pluviométrico capaz de generar escorrentía, en torno a los 10 mm/día.

c. La ausencia de cobertura vegetal, en laderas dominadas por fuertes pendientes, determinan elevados riesgos de erosión. Las aproximaciones recientes al proceso erosivo, reconocen que la vegetación desempeña un papel más complejo de lo que inicialmente se había supuesto, ya que el tapiz vegetal constituye un sistema dinámico que interactúa con los procesos físico-químicos asociados a la formación del suelo y a los procesos de erosión y sedimentación (Puigdefábregas, 1.996).

9. SÍNTESIS Y DISCUSIÓN

La Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE), es uno de los procedimientos estimativos más fiables a la hora de evaluar la erosión hídrica superficial de un territorio, aunque su aplicación a diferentes ambientes geomorfológicos, requiere la introducción de determinados parámetros correctores. La observación directa de la realidad y la cuantificación de la erosión mediante parcelas experimentales (Edeso et al., 1.994, 1.996), nos permite reseñar que de todos ellos, es el manejo/acondicionamiento uno de los factores que más incide en la ecuación.

Tres han sido los manejos considerados, –TES, TE y T–, siendo su influencia decisiva sobre el contenido en materia orgánica del suelo, sobre su pedregosidad y sobre su textura. Evidentemente, estas modificaciones afectan al factor K de la USLE, pero también modifican el factor C, al imponer diversas etapas en el crecimiento de la vegetación. Otros aspectos que deben ser tenidos en cuenta son los diversos microambientes existentes en una ladera, puesto que inmediatamente después de acondicionada ésta, se constatan zonas de acumulación (microdepresiones, rellanos, rugosidades, rupturas de pendiente y obstáculos), zonas en las que no se liberan sedimentos junto a otras sumamente activas.

La evaluación numérica de todas estas situaciones, nos ha permitido establecer tres índices distintos que ajustan el valor de la USLE en función del manejo/acon-

dicionamiento y de los distintos microambientes observados. Somos conscientes que todavía existen algunos aspectos que deberán ser corregidos en el futuro, aunque creemos que los cálculos actuales están lo suficientemente ajustados como para ser utilizados como herramienta de gestión y planificación del territorio.

El análisis de los resultados obtenidos pone de manifiesto que la acusada orografía de la cuenca del río Santa Lucía, junto con la desaparición de la vegetación y el predominio de suelos poco desarrollados o con evidentes problemas de hidromorfía, determinan elevadas tasas erosivas, independientemente del manejo.

Las transformaciones edáficas vinculadas con la explotación forestal suponen la destrucción del suelo original y el desarrollo de Antrosoles (excepto en los manejos menos agresivos), el incremento de la pedregosidad superficial, la disminución del contenido en nutrientes en superficie debido, posiblemente, a la rápida mineralización de la materia orgánica y posterior lavado de nutrientes liberados y el incremento del aluminio, altamente tóxico.

Independientemente del tipo de suelo y del material geológico de partida, el contenido de materia orgánica de los horizontes superficiales presenta importantes reducciones, sobre todo en aquellas laderas en las que el manejo/acondicionamiento ha sido particularmente intenso, observándose una relación directa entre el tipo de manejo y el contenido en materia orgánica. Al igual que ocurre con la materia orgánica, estas mismas labores de acondicionamiento determinan importantes reducciones en el contenido de nitrógeno y azufre de los suelos analizados.

La relación entre la textura, estructura y materia orgánica, se plasma en el factor K. Los suelos que muestran mayores valores del factor K, –y en consecuencia, mayor vulnerabilidad a la erosión–, son los que presentan labores más agresivas de acondicionamiento (TE y TES). La mayor susceptibilidad de estos suelos a la erosión se encuentra relacionada con la reducción en el contenido de la materia orgánica que se produce durante las labores de acondicionamiento. Por el contrario, los valores más bajos corresponden a los suelos con mayores contenidos en materia orgánica. Como señala Fullen (1.995), niveles de C orgánico inferiores al 2% se asocian siempre a procesos severos de erosión en suelos sometidos a laboreo.

En los últimos años, se viene empleando una técnica de preparación del terreno altamente mecanizada, que consiste en un “arado profundo” a favor de la pendiente, que se realiza después de la retirada total de restos de tala, destocoado y decapado del horizonte orgánico. Los productores creen que estas labores mejoran el establecimiento de la nueva plantación porque potencian la conductividad hidráulica. Sin embargo, a pesar de que la mayor parte de las plantaciones se encuentran en pendientes superiores al 30-35%, esta práctica se realiza sin ninguna medida de conservación, por lo que se producen graves problemas de movimientos en masa y erosión superficial (Edeso et al., 1.994).

A tenor de lo observado anteriormente, podemos afirmar que existe una estrecha relación entre la tasa erosiva y las técnicas de acondicionamiento/manejo, utilizadas en la explotación forestal. Los manejos más agresivos, –TES–, se caracterizan porque en ellos el suelo experimenta una importante alteración, lo que se traduce en una drástica disminución de su contenido en materia orgánica. En estas situaciones, la arroyada se define como el proceso geomorfológico dominante, desarrollándose una serie de surcos y regueros que siguen la línea de máxima pendiente y, a través de los

cuales se evacúan ingentes masas de sedimento. En el pasado, se ha defendido el empleo del subsolado alegando que la potencialidad climática de la región cantábrica determina la rápida colonización de las laderas "roturadas", lo que impide el desarrollo de procesos erosivos importantes. Esta afirmación no es cierta, puesto que la observación de la realidad, pone de manifiesto que las laderas afectadas por este tipo de acondicionamientos son sometidas a un intenso lavado que impide el desarrollo de especies encespantes y rizomatosas durante un prolongado período de tiempo. Diferentes trabajos realizados en otras zonas de la Península, han demostrado también aumentos importantes de la erosión en zonas forestales sometidas a intensas labores de preparación (Ortigosa, 1.989; Ternan et al., 1.996).

El trabajo de campo desarrollado en los últimos 7 años, nos permite afirmar que en el caso de acondicionamientos agresivos, el 29% de las parcelas investigadas (más de 45), no recuperan su cubierta vegetal hasta varios años después de haberse producido su explotación forestal. Este hecho se explica fácilmente, si tenemos en cuenta las fuertes pendientes sobre las que se efectúan explotaciones forestales, así como la elevada agresividad climática y el predominio de suelos con evidentes problemas de hidromorfía, en los que la conductividad hidráulica es muy baja (Edeso et al., 1.994 y 1.996).

La U.S.L.E. establece que los manejos del tipo TES experimentan pérdidas de suelos por encima de las 100-200 t ha⁻¹ año⁻¹ (59,33%), superándose incluso las 200 t ha⁻¹ año⁻¹ (2,49%). Por el contrario, las tasas débiles y moderadas apenas alcanzan el 10,04%. Estos valores nos sugieren que el suelo está siendo sometido a un importante proceso de degradación, del cual tardará muchísimo tiempo en recuperarse, si es que lo consigue. Evidentemente, las tasas erosivas más elevadas acaecen inmediatamente después de acondicionada la ladera, al coincidir los meses más húmedos del año con el momento de mínima cohesión del sedimento, junto con la nula cubierta vegetal. Todo ello determina el desarrollo de importantes flujos superficiales capaces de evacuar importantes masas de material fino. A medida que transcurre el tiempo, el suelo se compacta (a menudo sufre la formación de costras superficiales), iniciándose su recuperación vegetal, lo que determina el mantenimiento de elevadas escorrentías pero con una menor carga detrítica.

Los acondicionamientos intermedios, muestran una evolución similar a la reseñada anteriormente, aunque con algunas matizaciones importantes que es preciso destacar. En primer lugar, hay que mencionar que el suelo original se conserva parcialmente, ya que el manejo es menos agresivo que en el caso anterior, no empleándose subsolado. En estas condiciones, la recuperación vegetal es más rápida, –al menos en aquellos sectores en los que el suelo se ha conservado–, lo que determina el desarrollo de diversos microambientes geomorfológicos.

La arroyada sigue siendo el mecanismo erosivo dominante, aunque la liberación del sedimento se ve condicionada por el grado de conservación del suelo (el contenido de materia orgánica es importante y la textura similar a la original) y por la mayor o menor cobertura vegetal. En estas circunstancias, la pendiente desempeña un papel sumamente importante, advirtiéndose tasas erosivas medias que oscilan entre las 50 y las 100 t ha⁻¹ año⁻¹ (56,66%). Las situaciones de erosión severa o crítica disminuyen sensiblemente, mientras que las pérdidas moderadas o bajas apenas se incrementan hasta alcanzar un exiguo 16,19%. Las diversas observaciones efectuadas, ponen de manifiesto que la recuperación de la vegetación es muy rápida, no constatándose más que algunas calvas en las que la destrucción del suelo ha sido completa.

En el supuesto de considerar un manejo poco agresivo, –T–, hay que reseñar que el suelo apenas experimenta transformaciones importantes, manteniendo elevadas tasas de materia orgánica, así como características físicas similares a las que poseía originalmente. En estas condiciones, la recuperación vegetal es muy rápida, lo que determina el predominio de microambientes poco erosionables, siendo escasa/moderada la producción de sedimentos, aunque la escorrentía puede llegar a ser importante.

La tasa erosiva media dominante se sitúa entre las 25 y las 50 t ha⁻¹ año⁻¹ (40,02%), siendo prácticamente inexistentes las pérdidas severas/críticas.

En definitiva, el análisis de los datos recogidos en los cuadros adjuntos, pone de manifiesto que la tasa erosiva media establecida mediante la aplicación de la U.S.L.E. es, en general, muy elevada, aunque es preciso establecer diversas diferencias en función del manejo. Así, son los manejos agresivos los que experimentan pérdidas importantes, mientras que los menos agresivos se sitúan en una posición próxima a los valores considerados como tolerables. Entre ambos extremos se observa una situación intermedia que presenta cifras medias.

10. BIBLIOGRAFIA

- * EDESO, J. M.; GONZALEZ, M. J.; MERINO, A.; MARAURI, P.; LARRION, J. A. (1.994). Primeros datos sobre las pérdidas de suelo en explotaciones forestales en la vertiente cantábrica del País Vasco, 21-30 p. En: J. M. García Ruiz; T. Lasanta (editores), Efectos Geomorfológicos del Abandono de Tierras. Sociedad Española de Geomorfología. Zaragoza.
- * EDESO, J. M.; MARAURI, P. M. (1.995). Aplicaciones de los S.I.G. en los estudios Geomorfológicos y Medioambientales: El Mapa Sintético de Riesgos Potenciales y el Mapa de Erosión. Lurralde. Investigación y Espacio, 18. 257-291 p. San Sebastián.
- * EDESO, J. M.; GONZALEZ, M^a J.; MARAURI, P. M^a, MERINO, A.; LARRION, J. A. (1.996). Evaluación Ecológica de las medidas contempladas en el P.R.U.G. de Urdaibai. Gobierno Vasco. Departamento de Urbanismo, Vivienda y Medio Ambiente. Inédito.
- * EDESO, J.M.; MERINO, A.; GONZALEZ, M.J.; MARAURI, P.M. (1.997). Soil erosion under different harveting management in steep forestlands of northern Spain. Soil Technology (en prensa).
- * ELASSAL, A.; CARUSO, V.M. (1.985). Digital elevation models. U.S. Geological Survey. Circular 895-b.
- * Ente Vasco de la Energía (1.992). Hoja 88-II. Zumarraga. Escala 1:25.000.
- * FAO-PNUMA-UNESCO (1.980). Metodología provisional para la evaluación de la degradación de suelos. Publicaciones FAO. Roma.

- * FARRISH, K.W.; ADAMS, J. C.; THOMPSON, C. V. (1.993). Soil conservation practices on clearcut forestlands in Louisiana. *J. Soil and Water Cons.* 48. 136-139.
- * FOSTER MC. COOL. RENARD AND MOLDENHAVEL (1.989). Conversion for USLE to S.I. metric units. *Transaction of the A.S.A.E.*
- * FROEHLICH, H. A. (1.979). Soil compaction from logging equipment: effects on growth of young ponderosa pine. *J. Soil Water Conserv.*, 34. 276-278.
- * FROEHLICH, H. A.; MILES, D. W. R.; ROBBINS, R. W. (1.985). Soil bulk density on compacted skid trails in Central Idaho. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 49. 1.015-1.017.
- * FULLER, R. D.; DAVID, M. B.; DRISCOLL, C. T. (1.985). Sulfate adsorption relationships in forested spodosols of the Northeastern USA. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 49. 1.034-1.040.
- * GONZALEZ, J. C. (1.996). Los índices de agresividad de la lluvia y su aplicación en la valoración de la erosión del suelo. *Cuadernos Técnicos de la S.E.G.* 10. Geoforma ediciones. Logroño.
- * GONZALEZ DEL TANAGO, M. (1.991). La USLE: pasado, presente, futuro. *Ecología*, nº 5.
- * ICONA; INTECSA (1.989). *Agresividad de la lluvia en España*. ICONA, Madrid.
- * LASANTA, T. & GARCIA, J. M. (Editores) (1.996). *Erosión y recuperación de tierras en áreas marginales*. Instituto de Estudios Riojanos-Sociedad Española de Geomorfología. Logroño.
- * MERINO, A.; AZBITARTE, I.; LARUMBE, I. (1.995). Influence of the characteristics of soils and their management on the quality of the waters of Añarbe's reservoir (N Spain), 86-88. En *European Society Soil Conservation (Editor), Proceedings of the Meeting on the Soil as Strategic Resource: Degradation Processes and Conservation Measures*. Tenerife.
- * MERINO, A.; GEY, M. P.; MARTINEZ CORTIZAS, A. (1.991). Propiedades de los suelos desarrollados sobre argilitas de Gipuzkoa. *Munibe*, 43, 73-83.
- * MERINO, A.; GONZALEZ, M^a J.; EDESO, J. M. Y MARAURI, P. M^a (1.995). Modificación en los caracteres de los suelos de la vertiente Cantábrica del País Vasco producidos por prácticas forestales. *Lurralde*. Investigación y espacio. San Sebastián.
- * MERINO, A.; EDESO, J.M.; GONZALEZ, M.J.; MARAURI, P. (1.997). Soil properties in a hilly area following different harvesting management practices. *For. Ecol. Manag.* (En prensa).
- * ORTIGOSA, L. (1.989). Microtopographic evolution and erosion on afforested mountain slopes. *Pirineos*, 133; 77-98.
- * PUIGDEFABREGAS, J. (1.996). El papel de la vegetación en la conservación del suelo en ambientes semiáridos. En *Erosión y recuperación de tierras en áreas marginales*. T. Lasanta & J.M. García Ruiz Editores. Sociedad Española de Geomorfología.
- * RUIZ FLAÑO, P. (1.993). *Procesos de erosión en campos abandonados del Pirineo*. Geoforma Ediciones. Logroño.

- * TRAGSATEC (1.994). Restauración hidrológico forestal de cuencas y control de la erosión. Ediciones Mundiprensa. Madrid.
- * TERNAN, J.L., WILLIAMS, A. G., ELMES, A AND FITZJOHN, C. (1.996). The effectiveness of bench-terracing and afforestation for erosion control on Raña sediments in Central Spain. Land Degrad. Develop., 7: 337-351.
- * WISCHMEIER, W.H. and SMITH, D.D. (1.978). Predicting rainfall erosion losses. Agriculture Handbook, nº 537. Washington D.C.