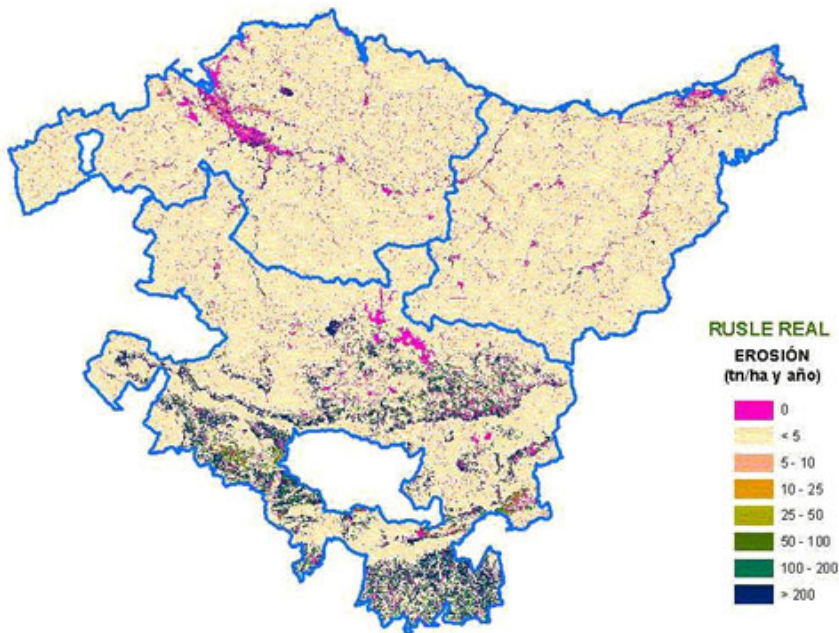


Mapa de erosión de suelos de la Comunidad Autónoma de Euskadi



lurraSUELO

2005



EUSKO JAURLARITZA



GOBIERNO VASCO

INGURUMEN ETA LURRALDE
ANTOLAMENDU SAILA

DEPARTAMENTO DE MEDIO AMBIENTE
Y ORDENACIÓN DEL TERRITORIO

 **ingurumena.net**

Documento: Mapa de erosión de suelos de la Comunidad Autónoma de Euskadi

Fecha de edición: 2005

Autor: IDER Ingeniería y Desarrollo Rural, S.A.

Propietario: Gobierno Vasco. Departamento de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio. Dirección de Biodiversidad y Participación Ambiental

ÍNDICE

1. OBJETO DEL TRABAJO	5
2. ANTECEDENTES	6
3. BASES DEL TRABAJO	7
4. METODOLOGÍA	9
4.1. FACTOR R: AGRESIVIDAD DE LA LLUVIA.	10
4.2. FACTOR K: SUSCEPTIBILIDAD DEL SUELO A LA EROSIÓN.	11
4.3. FACTOR L: LONGITUD DE LADERA.	14
4.4. FACTOR S: PENDIENTE.	14
4.5. FACTOR C: CUBIERTA VEGETACIÓN.	15
4.6. FACTOR P: PRÁCTICAS DE CONSERVACIÓN.	17
5. OBTENCIÓN DE DATOS	20
5.1. INFORMACIÓN CARTOGRÁFICA PREEXISTENTE.	20
5.2. BASES DE DATOS ALFANUMÉRICAS PREEXISTENTES.	23
5.3. DATOS ELABORADOS EXPRESAMENTE PARA EL TRABAJO.	24
6. TOMA DE DATOS DE CAMPO	25
6.1. MALLA DE MUESTREO.	25
6.2. REPLANTEO Y PUNTO DE MUESTREO.	26
6.3. RECURSOS PARA LA TOMA DE DATOS.	28
6.4. TOMA DE DATOS.	28
6.5. MEDIDAS PARA EVITAR VALORES “MISSING”.	33
6.6. REPETICIÓN DE PARCELAS VARIABLES.	34
6.7. ANÁLISIS DE LABORATORIO.	34
6.8. BASE DE DATOS.	35
7. IMPORTANCIA RELATIVA DE LOS FACTORES DE EROSIÓN	36
8. TRATAMIENTO ESTADÍSTICO Y EXTRAPOLACIÓN	39
8.1. CASUÍSTICA DE EXTRAPOLACIÓN DE VARIABLES.	39
8.1.1. <i>Asignación directa</i>	39
8.1.2. <i>Modelización estadística</i>	40
8.1.3. <i>Asignación estadística</i>	42
8.2. CONSIDERACIONES PARA LA MODELIZACIÓN ESTADÍSTICA.	43
8.2.1. <i>Análisis y modelos.</i>	43
8.2.2. <i>Esquema de trabajo para la modelización.</i>	43
8.2.3. <i>Variables cualitativas y cuantitativas.</i>	46
8.2.4. <i>Variables de confusión e interacción.</i>	47
8.2.5. <i>Otros problemas con las variables.</i>	48
8.2.6. <i>Mecanismos para evitar problemas con las variables.</i>	50
8.3. CONSIDERACIONES PARA LA ASIGNACIÓN ESTADÍSTICA.	52
9. LIMITACIONES PARA LA EXTENSIÓN DE VARIABLES	53
9.1.1. <i>Agrupación de datos de las parcelas.</i>	53
9.1.2. <i>Agrupación de datos de la cartografía litológica.</i>	55
9.1.3. <i>Agrupación de datos de la cartografía de vegetación.</i>	57

10.	CÁLCULO Y CARTOGRAFÍA DE LA EROSIÓN	63
10.1.	FACTOR R: AGRESIVIDAD DE LA LLUVIA.	63
10.1.1.	<i>Interpretación ecológica.</i>	64
10.1.2.	<i>Justificación del uso del modelo simplificado.</i>	64
10.1.3.	<i>Cálculo y extensión de los datos.</i>	66
10.1.4.	<i>Limitaciones del resultado.</i>	69
10.2.	FACTOR K: SUSCEPTIBILIDAD DEL SUELO A LA EROSIÓN.	69
10.2.1.	<i>Interpretación ecológica.</i>	70
10.2.2.	<i>Variabilidad anual.</i>	71
10.2.3.	<i>Modelización.</i>	73
10.2.4.	<i>Cálculo y extensión de los datos.</i>	79
10.2.5.	<i>Limitaciones del resultado.</i>	84
10.3.	FACTOR L: LONGITUD DE LADERA.	85
10.3.1.	<i>Interpretación ecológica.</i>	85
10.3.2.	<i>Determinación de los elementos de corte.</i>	86
10.3.3.	<i>Determinación de la dirección del flujo.</i>	87
10.3.4.	<i>Determinación de la longitud de ladera.</i>	87
10.3.5.	<i>Limitaciones del resultado.</i>	88
10.4.	FACTOR S: PENDIENTE.	88
10.5.	FACTOR C: CUBIERTA VEGETACIÓN.	89
10.5.1.	<i>Interpretación ecológica.</i>	91
10.5.2.	<i>Modelización.</i>	93
10.5.3.	<i>Cálculo y extensión de C para terrenos forestales según USLE.</i>	98
10.5.4.	<i>Cálculo y extensión de C para terrenos agrícolas según USLE.</i>	99
10.5.5.	<i>Cálculo y extensión del subfactor PLU en terrenos forestales según RUSLE.</i>	103
10.5.6.	<i>Cálculo y extensión del subfactor PLU en terrenos agrícolas según RUSLE.</i>	104
10.5.7.	<i>Cálculo y extensión del subfactor CC en terrenos forestales según RUSLE.</i>	109
10.5.8.	<i>Cálculo y extensión del subfactor CC en terrenos agrícolas según RUSLE.</i>	111
10.5.9.	<i>Cálculo y extensión del subfactor SC en terrenos forestales según RUSLE.</i>	114
10.5.10.	<i>Cálculo y extensión del subfactor SC en terrenos agrícolas según RUSLE.</i>	116
10.5.11.	<i>Cálculo y extensión del subfactor SR en terrenos forestales según RUSLE.</i>	119
10.5.12.	<i>Cálculo y extensión del subfactor SR en terrenos agrícolas según RUSLE.</i>	120
10.5.13.	<i>Cálculo y extensión del subfactor SM según RUSLE.</i>	122
10.5.14.	<i>Cálculo y extensión del factor C según RUSLE.</i>	124
10.6.	FACTOR P: PRÁCTICAS DE CONSERVACIÓN.	125
10.7.	ESCALA DE TRABAJO.	126
11.	EROSIÓN POTENCIAL Y REAL	127
11.1.	EROSIÓN POTENCIAL.	128
11.2.	EROSIÓN REAL.	131
11.3.	COMPARACIÓN DE LA EROSIÓN ACTUAL Y PASADA.	134
12.	PROCESOS EROSIVOS ACTIVOS.	137
12.1.	ESQUEMA CONCEPTUAL.	137
12.2.	PROCESO OPERATIVO.	138
12.3.	RESULTADO E INTERPRETACIÓN.	140
13.	CARTOGRAFÍA DE EROSIÓN	141
14.	PROGRAMA DE CÁLCULO DE EROSIÓN	144
15.	EROSIÓN Y GESTIÓN DEL TERRITORIO	145
15.1.	AGRESIVIDAD DEL CLIMA.	145

Mapa de Erosión de Suelos de la Comunidad Autónoma de Euskadi

15.2.	SUSCEPTIBILIDAD DEL SUELO. _____	146
15.3.	LONGITUD DE LADERA. _____	146
15.4.	PENDIENTE. _____	147
15.5.	VEGETACIÓN. _____	148
15.6.	PRÁCTICAS DE CONSERVACIÓN. _____	150
15.7.	MODELO USLE o RUSLE. _____	150
15.8.	EROSIÓN POTENCIAL Y REAL. _____	152
16.	CONTENIDO DEL TRABAJO Y AUTORES _____	153
17.	ANEJO Nº1: ESTACIONES METEOROLÓGICAS Y FACTOR R _____	154
18.	ANEJO Nº2: AGRUPACIÓN DE LITOLOGÍA PARA EL FACTOR K _____	158
19.	ANEJO Nº3: AGRUPACIÓN DE VEGETACIÓN PARA EL FACTOR C _____	182
20.	ANEJO Nº4: PARÁMETROS PARA CALCULAR EL FACTOR K _____	186
21.	ANEJO Nº5: MÉTODOS DE ANÁLISIS DE SUELOS EMPLEADOS _____	190

1. Objeto del trabajo

El presente trabajo forma parte de un contrato de consultoría y asistencia técnica. El anuncio para su contratación se publicó con fecha 11 de mayo de 2004 en el B.O.P.V y el título asignado al trabajo “Elaboración del mapa de erosión de suelos de la Comunidad Autónoma de Euskadi”. La empresa IDER, S.A. resultó ser la adjudicataria y se ha desarrollado entre los meses de octubre de 2004 y junio de 2005.

La finalidad del trabajo es elaborar una cartografía del grado de erosión hídrica de los suelos, de tipo laminar y en regueros, para todo el territorio de la Comunidad Autónoma de Euskadi, aplicando un método sencillo pero científicamente robusto.

La escala de trabajo exigida es 1:50.000 y el resultado del trabajo ha de ser tanto en soporte gráfico como digital, estimando los niveles de erosión real y potencial del territorio. No obstante la escala de trabajo real ha sido 1:25.000, ya que la información de partida tiene, al menos, ese nivel de detalle.

Con el resultado del trabajo se puede delimitar con precisión las posibles áreas prioritarias de actuación en la lucha contra la erosión y además se puede comparar la situación actual con la situación de hace unos años de la que se dispone de información, al objeto de analizar la evolución en el tiempo.

2. Antecedentes

El antecedente publicado más relevante de cartografía de erosión de suelos es el Mapa de Estados Erosivos, publicado por cuencas hidrográficas por el antiguo ICONA. El trabajo correspondiente a la cuenca hidrográfica del Norte se publicó en 1990 y el de la cuenca hidrográfica del Ebro en 1987.

Este trabajo se realizó a escala 1:400.000 y se empleó la metodología USLE de evaluación de la erosión de suelos, estimándose los niveles de erosión laminar y en regueros, al igual que se pretende hacer en la actualidad.

En la actualidad se está elaborando el Inventario Nacional de Erosión de Suelos a escala 1:50.000. Este trabajo se está elaborando por provincias y lo promueve el Ministerio de Medio Ambiente. Sin embargo no puede considerarse como un antecedente de este trabajo ya que en la actualidad no está realizado el correspondiente a los tres territorios históricos de la comunidad autónoma de Euskadi.

3. Bases del trabajo

Para evitar ambigüedades es necesario establecer una referencia en cuanto al modelo de evaluación de la erosión. Está claro que si los objetivos del trabajo son evaluar la erosión por un método sencillo de aplicar y científicamente robusto y además comparar con la situación de años anteriores para los que existe cartografía, se hace necesario emplear los modelos USLE para comparar, ya que este es el método que se ha venido empleando tradicionalmente, y RUSLE para predecir, ya que a pesar de ser más complejo su capacidad predictiva es mucho mayor.

En este sentido lo más razonable es emplear las ecuaciones y metodología publicadas en los siguientes textos.

USLE: Wischmeier, W.H. and D.D. Smith. 1978. Predicting rainfall erosion losses: A guide to conservation planning. Agriculture Handbook No. 537, US Dept. of Agric., Washington, DC.

RUSLE: Renard, K.G., G.R. Foster, G.A. Weesies, D.K. McCool, and D.C. Yoder (Coordinators). 1997. Predicting Soil Erosion by Water: A Guide to Conservation Planning With the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). USDA Agriculture Handbook No. 703, 404 pp.

Estos modelos fueron desarrollados por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos. Puesto que estas son las publicaciones originales, las ecuaciones y parámetros a emplear deben ser los que se indican en estos textos.

El establecer estas referencias no es caprichoso. Tiene su base en que existen multitud de publicaciones que son quizá algo más cómodas de leer, ya que

están traducidas, y en las que se habla de las ecuaciones USLE y RUSLE, recogiendo incluso tablas de referencia para calcular cada uno de los parámetros que integran estos modelos. Sin embargo muchas de ellas incorporan simplificaciones de los modelos originales que no tienen porqué ser válidas para las condiciones del medio natural de Euskadi, o que al menos se debe justificar su simplificación. Además existen otras publicaciones que contienen errores en la transcripción de los documentos originales.

Por tanto, si se toma como referencia los modelos originales, cualquier modificación de los mismos estará sometida a reflexión científica y a validación previa, sin tener que asumir las adaptaciones hechas por otros como si del modelo original se tratase.

4. Metodología

La metodología escogida no es otra que la aplicación de los modelos USLE y RUSLE a la totalidad del territorio al efecto de predecir la erosión, tanto real como potencial.

A modo de síntesis básicamente lo que se pretende es disponer de cada uno de los parámetros que intervienen en las ecuaciones USLE y RUSLE para la totalidad del territorio a modo de capa de información de un sistema de información geográfica. Una vez obtenidas estas capas es cuestión de aplicar operadores para combinarlas y obtener los valores de erosión, o suponer las condiciones más adversas para poder calcular la erosión potencial.

Para la obtención de estas capas temáticas es necesario realizar una campaña de toma de muestras en el terreno y análisis de laboratorio, de modo que se pueda modelizar la relación entre variables de interés y variables predictoras conocidas. Conocida la relación entre las variables de interés y otras para las que existe en la actualidad cartografía fiable, se pueden predecir y extender sus valores al resto del territorio, previa validación de los modelos matemáticos predictivos, y con ello calcular los valores de erosión.

A continuación se detallan cada uno de los parámetros de los que dependen las variables que forman parte de los modelos USLE y RUSLE. Estos parámetros serán los que se necesite modelizar para estimar las pérdidas de suelo por cualquiera de los dos modelos.

4.1. Factor R: agresividad de la lluvia.

La expresión para el modelo USLE es $R = \sum E_i \cdot I_{30}$, donde R es la agresividad de la lluvia, E_i es la energía del aguacero e I_{30} es la intensidad de un aguacero de duración 30 minutos. Para el cálculo de la energía se aplica la expresión $E = 0,119 + 0,0873 \cdot \log I_m$ en unidades europeas, donde I_m es la intensidad de la lluvia.

Como esta expresión requiere de datos pluviográficos y estos son en general escasos, se desarrolló con éxito una expresión que permite calcular el factor R. Para el País Vasco la expresión es $R = e^{-0,834 \cdot (PMEX)^{1,314} \cdot (MR)^{-0,388} \cdot (F24)^{0,563}}$, donde PMEX es el valor medio interanual de la precipitación del mes más lluvioso de cada año, MR es la precipitación media de octubre a mayo y 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.

Para obtener la distribución mensual de este parámetro se puede hacer el reparto mensual del factor R, según zonas aplicando la siguiente tabla, que se deriva de una serie de gráficos elaborados conjuntamente a la expresión anterior.

	MESES											
VERTIENTES	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Cantábrica	5	10	15	20	25	32	40	52	68	80	90	100
Mediterránea	5	8	12	20	30	40	60	70	80	90	95	100

La aplicación de esta tabla es necesaria para realizar los cálculos de erosión cuando los cultivos varían a lo largo del año.

La expresión para el modelo RUSLE varía respecto al modelo anterior. La expresión a utilizar es la siguiente $R = \sum(EI_{30})_i$, donde R es la agresividad de la lluvia, E es la energía cinética total de la tormenta e I_{30} es la intensidad máxima en una tormenta de duración 30 minutos. Para el cálculo de la energía se aplica la expresión $E = \sum e_r \cdot \Delta V_r$, en unidades europeas, donde e_r es la energía de la lluvia por unidad de incremento en altura de lluvia y ΔV_r es el incremento en altura de lluvia del hietograma. Para el cálculo de e_r se aplica la ecuación $e_r = 0,29 \cdot [1 - 0,72 \exp(-0,05 \cdot i_m)]$, donde i_m es la intensidad de la lluvia.

En la expresión RUSLE se realizan dos correcciones al valor del parámetro R. Por una parte, cuando se trata de precipitación en forma de nieve se considera como nula su energía de cara a la erosión. Por otra parte, para terrenos llanos susceptibles de encharcamiento se considera el efecto amortiguador del agua encharcada cuando recibe el golpeteo de la lluvia. Para terrenos encharcados el factor R ajustado se calcula por la expresión $R_c = \exp[0,49 \cdot (y-1)]$, expresión que está tabulada y se calcula con una tabla en la que se entra con los valores de la pendiente del terreno y el valor 10-yr-EI, que es el valor EI^{30} para la tormenta de mayor intensidad cuyo periodo de retorno es 10 años.

No obstante lo anterior y dado que la metodología RUSLE es mucho más compleja, se ha de comprobar las diferencias existentes por la aplicación de uno u otro método de evaluación del factor R, de modo que si no existieran diferencias significativas entre ambos, se podría simplificar los cálculos aplicando el sistema USLE para los dos.

4.2. Factor K: susceptibilidad del suelo a la erosión.

Según el modelo USLE, la susceptibilidad del suelo a ser erosionado se evalúa mediante la expresión $100 \cdot K = 10^{-4} \cdot 2,71 \cdot M^{1,14} \cdot (12-a) + 4,20 \cdot (b-2) + 3,23 \cdot (c-3)$; donde K es el factor a evaluar, "a" es el contenido en porcentaje de materia

orgánica del suelo, “b” es un parámetro tabulado que depende de la estructura del suelo, “c” es otro parámetro tabulado que depende de la permeabilidad y M es un factor relacionado con la granulometría.

El factor M se evalúa con la expresión $M=(100-\%arcilla)*[\%(limo+arena\ fina)]$, donde %arcilla es el porcentaje de partículas del suelo menores de 0,002 mm en la fracción de tierra fina (partículas menores de 2 mm) y %(limo+arena fina) es el porcentaje de partículas del suelo de tamaño entre 0,002 mm y 0,1 mm en la fracción de tierra fina. La ecuación del parámetro K es válida para suelos con contenido en limo menor del 70%, lo cual cubre en principio la inmensa mayoría de los casos. Para valores mayores de limo se usa directamente el nomograma diseñado al efecto.

Para el modelo RUSLE la expresión es la misma, pero hay que tener en cuenta que K depende además del contenido en humedad del suelo, del estado de la superficie en el momento de las lluvias, del contenido en fragmentos de roca dentro del perfil, de los afloramientos de roca y de las heladas sobre el suelo. Además K se considera un factor que varía con el tiempo, por lo que su valor para periodos del año distintos es diferente.

Para calcular el valor K y sus distintos valores a lo largo del tiempo es necesario en primer lugar calcular los siguientes valores: K_{nom} que es el valor de K obtenido por el nomograma o la ecuación general sin realizar ninguna corrección, t_{max} , que es el número de días en que se alcanza el mayor valor de K, contados desde el 1 de enero, y se calcula por la expresión $t_{max}=154-0,44*R$; donde R es el índice de agresividad de la lluvia en unidades americanas, t_{min} , que es el número de días en que se alcanza el menor valor de K, contados desde el 1 de enero, y se calcula por la expresión $t_{min}= t_{max}+\Delta t$; donde Δt es el periodo, en días, libre de heladas en el suelo hasta un valor máximo de 183.

$K_{max}=K_{nom}*(3-0,005*R)$; donde K_{max} es el valor máximo del factor K y $K_{min}=K_{max}/(8,60-0,019*R)$; donde K_{min} es el valor mínimo del factor K.

Con todo lo anterior, el valor de K_i para cada día del año se calcula por medio de las siguientes expresiones. Para cualquier día entre las fechas asociadas a t_{max} y t_{min} (es decir, si $t_{max}=114$ días y $t_{min}=254$ días, para cualquier día entre el 24 de abril y el 11 de septiembre) la expresión a emplear es $K_i=K_{max}(K_{min}/K_{max})^{(t_i-t_{max})/\Delta t}$; donde t_i es el número de días desde del inicio del año para dicha fecha (por ejemplo, para calcular el valor de K_i para el 15 de febrero, $t_i=46$).

Para el resto de días del año, existen dos posibilidades, si la temperatura media diaria (del aire, no del suelo) es superior a $-2,8^{\circ}\text{C}$, entonces $K_i=K_{min}*\exp[0,009(t_i-t_{max}+365*\delta)]$; donde $\delta=0$ para cualquier fecha anterior a t_{min} y $\delta=1$ para cualquier fecha posterior. Si la temperatura media diaria es inferior, entonces $K_i=K_{min}$.

Para calcular un valor medio para todo el año se emplea la siguiente expresión $K_{av}=\Sigma(EI_i)K_i/100$; es decir se hace una media ponderada de los valores de K para cada momento del año en función del parámetro energía intensidad de la lluvia para esos momentos del año. Los valores de EI_i varían desde 0 para el primer día del año, hasta 100 para el último.

Para aplicar la corrección por el contenido de fragmentos de roca se aplica la expresión $K_b=K_f*(1-R_w)$, donde K_b es el valor de K corregido, K_f es el valor de K sin corregir, tal y como sale de la expresión base y R_w es el porcentaje de partículas del suelo de tamaño mayor a 2 mm.

Por último, para aplicar la corrección por la presencia de afloramientos superficiales de roca se aplica la expresión $K_c=K_b*(1-R_s)$, donde K_c es el valor

de K corregido, K_b es el valor de K corregido por el contenido de fragmentos de roca en el perfil y R_c es el porcentaje superficial de afloramientos de roca o de fragmentos de roca en superficie.

No obstante lo anterior, el cálculo del factor K variable en el tiempo no tiene sentido para aquellas unidades del territorio en las que no se produzcan cambios en el resto de los parámetros del modelo predictivo de erosión de suelos, como pudiera ocurrir por ejemplo con la vegetación en los sistemas forestales.

4.3. Factor L: longitud de ladera.

En el modelo USLE, el factor longitud de ladera L se calcula la expresión $L=[\lambda/22.1]^{0.3}$; representando λ la longitud de ladera en proyección horizontal.

Para el modelo RUSLE, el factor L se estima por medio de la expresión $L=(\lambda/22.1)^m$; donde el exponente m es $m=\beta/(1+\beta)$; y donde β se evalúa por medio de la ecuación $\beta=(\text{sen}\theta/0,0896)/[3*(\text{sen}\theta)^{0.8}+0,56]$. Para esta última expresión θ es el ángulo de la pendiente.

4.4. Factor S: pendiente.

En el modelo USLE, el factor de pendiente S se calcula según dos expresiones. Para pendientes menores del 9% $S=[(0,43+0,30*s+0,043*s^2)/6,613]$ y para pendientes mayores del 9% $S=[s/9]^{1.3}$; representando en ambas expresiones "s" la pendiente.

Para el modelo RUSLE, el factor S se evalúa por medio de dos expresiones. Para pendientes inferiores al 9% $S=10,8*\text{sen}\theta+0,03$ y para pendientes

superiores al 9% $S=(\text{sen}\theta/0,0896)^{0,6}$; representando en ambas expresiones θ el ángulo de la pendiente del terreno.

4.5. Factor C: cubierta vegetación.

En el modelo USLE el factor C es un parámetro tabulado. Se consulta en tablas a partir de determinados valores de parámetros relacionados con la cubierta vegetal.

Para cubierta vegetal no permanente, en general cultivos agrícolas, el factor es variable a lo largo del año, por lo que su valor para todo el año se calcula como una media ponderada del valor parcial de cubierta vegetal para un periodo y el índice de agresividad de la lluvia para dicho periodo, es decir $C_{av}=\sum C_i * R_i$. Los valores según periodos de C_i se obtienen de tablas entrando con datos del tipo de cultivo, la alternancia de cultivos, el tipo de manejo y el nivel productivo.

Para cubierta vegetal permanente, el valor de C también se obtiene de tablas. Para bosques la tabla requiere información sobre el recubrimiento aéreo, el recubrimiento en contacto con el suelo y la existencia de pastoreo. Para pastizales, matorrales y arbustos la tabla ofrece el valor de C en función del tipo y altura de la cubierta vegetal, el recubrimiento y el tipo y porcentaje de restos vegetales en el suelo.

En el modelo RUSLE el grado de complejidad es mucho mayor para el cálculo del factor C. Se estima por medio del índice SLR, que puede tener distintos valores para distintos periodos del año. El valor total se calcula por medio de la expresión $C=(\sum SLR_i * EI_i)$; donde SLR_i es el índice de cubierta vegetal para cada periodo de estudio y EI_i es el porcentaje anual del índice energía intensidad de la lluvia para el periodo considerado.

El cálculo del factor SLR está a su vez compuesto por cinco índices, es decir, $SLR=PLU*CC*SC*SR*SM$. Cada uno de estos índices tiene su expresión que se detalla a continuación.

El índice PLU es el subfactor del uso principal del suelo. Su expresión es la siguiente $PLU=C_f*0,951*\exp[-(0,00199*B_{ur})+(0,000416*B_{us}/C_f^{0,5})]$; donde C_f es un factor de consolidación del suelo y varía en el tiempo mediante una expresión exponencial, desde el valor 1 para suelos recién removidos hasta el valor 0,45 que es el valor que alcanza un suelo que no se voltea desde hace 7 años. B_{ur} es la densidad de raíces vivas o muertas que hay en el suelo (en $libras*acre^{-1}*pulgada^{-1}$ de profundidad) y B_{us} es la densidad de residuos vegetales incorporados al suelo, expresado en unidades americanas igualmente. Esta expresión puede ser utilizada directamente con unidades europeas en $Kg*ha^{-1}*cm^{-1}$.

El índice CC es el subfactor de la cubierta aérea. Su valor se obtiene de la expresión $CC=1-F_c*\exp(-0,03024*H)$; donde F_c es la fracción de cabida cubierta y H es la altura en metros de caída de las gotas de lluvia una vez que interceptan la cubierta aérea de la vegetación.

El índice SC es el subfactor de la cubierta superficial. Su valor se obtiene de la expresión $SC=\exp[-b*S_p*(0,24/R_c)^{0,08}]$; donde b es un coeficiente que mide la efectividad de la cubierta superficial y su valor depende del tipo de cubierta, variando entre 0,025 y 0,07. S_p es el porcentaje del suelo que está cubierto y R_c es el factor de rugosidad superficial, que se define junto al siguiente subfactor.

El índice SR es el subfactor de la rugosidad superficial. Su valor se obtiene de la expresión $SR=\exp[-0,66*(R_c-0,24)]$; donde R_c es el factor de rugosidad superficial que se calcula por la expresión $R_c=0,22*RI_n$; donde RI_n es el rango

de variación altitudinal (en pulgadas) que existe en la superficie del terreno para un transecto de 2 metros.

Por último el índice SM es el subfactor de la humedad del suelo. Su valor es 1 para un suelo saturado de agua o con humedad próxima a su capacidad máxima de retención de agua. Su valor es 0 para un suelo seco, próximo al punto de marchitez. Se puede estimar a través de la expresión $SM=R_i/CRA$; donde CRA es la capacidad de retención de agua del suelo y R_i es la reserva de agua del suelo para el periodo considerado (generalmente un mes). La capacidad de retención de agua en el suelo se puede calcular en función de la granulometría, el contenido de materia orgánica y la pendiente. La reserva de agua se calcula conociendo la precipitación, evapotranspiración potencial y capacidad de retención de agua.

4.6. Factor P: prácticas de conservación.

En el modelo USLE el factor de prácticas de conservación se evalúa directamente a través de una tabla, a partir de datos de pendiente del terreno y del tipo de práctica de conservación que se desarrolle, cultivo a nivel, fajas o terrazas, bien de desagüe, bien de infiltración.

Para el modelo RUSLE nuevamente se complica la situación, existen cuatro posibilidades de práctica de conservación, que se describen a continuación.

Para cultivos siguiendo curvas de nivel el cálculo del factor P se realiza por medio de la siguiente expresión, $P=1-[(1-P_b)*(1-P_m)/(1-P_{mb})]$; donde P_{mb} es un valor que se obtiene de unas tablas a partir de la altura de los caballones de cultivo, P_m y P_b tienen su metodología de cálculo particular que se detalla a continuación.

Para el cálculo del factor P_m es necesario estimar el valor de escorrentía que se produce en la zona a estudiar. Para ello se emplea el método del número de curva. La escorrentía se obtiene por medio de la siguiente expresión $Q=(P-0,2*S)^2/(P+0,8*S)$; donde P es la precipitación y S es un factor que está en función del número de curva $S=254*[(100/N)-1]$; siendo N el número de curva, el cual se elige a partir de una tablas entrando con el valor del grupo hidrológico (que es función de la textura del suelo) y del tipo de cultivo (según 7 clases establecidas)

Para el cálculo de P_b se utiliza alguna de las siguientes expresiones. $P_b=a(s_m-s_c)^b+P_{mb}$; para $s_c < s_m$, estando s_c relacionado con la pendiente del terreno y el resto de valores están tabulados para una altura de caballón dado. $P_b=c(s_c-s_m)^d+P_{mb}$; para $s_c \geq s_m$, estando s_c relacionado con la pendiente del terreno e igualmente el resto de valores están tabulados para una altura de caballón dado. $P_b=1$ para $s_c \geq s_e$.

Hay que tener en cuenta que $s_c=s$; es decir, que el factor s_c es igual a la pendiente del terreno "s" cuando $s \leq s_m$. Sin embargo, si la pendiente del terreno $s > s_m$, entonces el valor de s_c será $s_c=[(s-s_m)*(s_{eb}-s_m)/(s_e-s_m)]+s_m$; donde de nuevo todos los valores están tabulados para una altura de caballón dada.

Para cultivos en fajas la expresión que estima el factor P es $P=(g_p-B)/g_p$; donde $g_p=\sum Dn_i$, siendo "n" el número de fajas y $Dn_i=\xi_i(x_i^n-x_{i-1}^n)$; donde el exponente "n" y ξ_i están tabulados y "x" es la distancia desde la cima hasta la parte baja de la faja. El cálculo de B se afronta mediante la expresión $B=\sum M_i(1-x_{i-1}^{1,5})$; siendo $M_i=g_i-g_{i-1}+Dn_i$; donde $g_i=g_{i-1}+Dn_i$

Para la situación en la que las prácticas de conservación existentes son las terrazas, la expresión a emplear es la siguiente. $P=1-B(1-P_y)$; donde B está tabulado según el espaciamiento entre terrazas y P_y tiene el valor de 1 para

pendientes del terreno mayores o iguales a 0,9%. Para pendientes inferiores tiene el siguiente valor $P_y=0,1*\exp[2,4-s]$, donde s es la pendiente del terreno.

Para la existencia de la práctica de conservación drenaje superficial, el factor P se considera con un valor constante e igual a 0,6.

Por último, para zonas de matorral el modelo RUSLE también considera la influencia de prácticas de conservación. La expresión a aplicar es la siguiente $P=D_y/D_e$; donde $D_y=[(15*33,18*s*\sigma*r_f)+D_e]/16$, siendo s la pendiente del terreno, $D_e=0,45+1,45*[(1-\sigma)/f_{ri}]$, con f_{ri} tabulado para distintas actuaciones de prácticas de conservación; $\sigma=1-[f_{ri}*\exp((-t_d/t_c)\ln 0,05)]$, siendo t_d y t_c factores igualmente tabulados en función del tipo de intervención de conservación. Por último $r_f=0,23*r_i^{-1,18}$; donde r_i es el factor de rugosidad del terreno.

5. Obtención de datos

En este sentido, cabe definir las fuentes de datos principales de las que se va a surtir el trabajo, así como las precauciones a seguir para garantizar la calidad de la información de entrada a los modelos.

5.1. Información cartográfica preexistente.

Cualquier modelización que se realice sobre variables del territorio dependerá de la información de partida disponible. Si la cartografía en la que se apoye el trabajo no tiene la suficiente calidad, por muy bueno que sea el muestreo que se pueda diseñar, por muy fina que sea la toma de datos de campo y por muy válido que sea estadísticamente el modelo, no se ajustará a la realidad.

La calidad de la cartografía previa es independiente de la calidad con la que se realizó el trabajo cartográfico correspondiente, es decir, que un trabajo cartográfico pudo haberse hecho perfectamente para el objetivo para el que fue diseñado, pero no ser válido para elaborar el mapa de erosión que se pretende.

Por tanto, cada capa de información cartográfica requiere de verificación previa a su utilización. Para ello es necesario responder a varias preguntas, como por ejemplo ¿la cartografía a utilizar es aplicable para un trabajo que requiere una escala 1:50.000 ó a mayor detalle?, ¿responde fielmente a la realidad del territorio?, ¿se ha comprobado el resultado y la metodología?, ¿existe una descripción del significado de cada unidad cartográfica?, ¿cuál es el tamaño mínimo de un elemento del territorio para ser representado?.

Con todo lo anterior, en un primer análisis la cartografía disponible y que puede ser de utilidad es la siguiente:

- Vegetación
- Litología
- Formaciones superficiales
- Espesor del regolito
- Geomorfológico
- Suelos
- Modelo digital del terreno
- Líneas o elementos que corten la ladera
- SIGPAC
- Tercer Inventario forestal nacional (datos para Euskadi)
- Mapa forestal de España
- Mapa de cultivos y aprovechamientos
- Inventario Forestal del País Vasco
- Cartografía del Plan forestal del País Vasco.
- Cartografía topográfica.

De todo lo anterior sólo se dispone de la cartografía de vegetación, de la litológica, del modelo digital del terreno y de la cartografía topográfica. El resto de referencias o no se dispone de ellas o su contenido no es fiable, lo cual se detalla a continuación.

La cartografía de formaciones superficiales puede ofrecer pistas sobre la presencia de depósitos y por tanto de la ausencia del fenómeno erosivo neto. Sin embargo, tanto el modelo USLE como RUSLE no evalúan el proceso neto de erosión, sino las emisiones de sedimentos. Además, la información que podría obtenerse sobre geomorfología se deduce con mayor precisión a partir del modelo digital del terreno.

La cartografía de espesor de regolito podría ser útil para detectar afloramientos rocosos en aquellas zonas con espesor cero, pero no recoge esta categoría. El mapa geomorfológico tampoco aporta información adicional respecto a la que pueda obtenerse a partir del modelo digital del terreno y del mapa litológico.

La cartografía de suelos se ha elaborado combinando un mapa de pendientes y el geomorfológico, por lo que tampoco aporta información adicional.

La cartografía de líneas o elementos que corten la ladera se elabora a partir de la cartografía topográfica digital, seleccionando las capas adecuadas.

La cartografía del SIGPAC, del plan forestal del País Vasco y del inventario forestal del País Vasco no se ha empleado por no disponer de ella a tiempo para la realización del trabajo. No obstante se considera que el uso de la cartografía de vegetación puede suplir suficientemente a esos otros documentos cartográficos.

El mapa forestal del España no tiene una escala adecuada para ser utilizada para este trabajo. El mapa de cultivos y aprovechamientos no está actualizado ni disponible en formato digital. Por tanto, como en el caso anterior, se considera que el uso de la cartografía de vegetación puede suplir suficientemente a esos otros documentos cartográficos.

Por último, los datos del tercer inventario forestal nacional relativos a Euskadi, no están elaborados a la fecha de realización del presente trabajo, por lo que no se pueden emplear.

Sin que pueda calificarse exclusivamente como información gráfica preexistente, existe un trabajo que puede emplearse y que se indica a continuación:

Ortubay Fuente, Amelia. *Relación clima-vegetación en la Comunidad Autónoma del País Vasco*. Servicio Central de Publicaciones del Gobierno Vasco. Vitoria-Gasteiz, 1995. 504 p. Tesis doctorales, Gobierno Vasco, Departamento de Industria, Agricultura y Pesca; nº27.

En esta tesis doctoral aparece un anexo cartográfico con 66 mapas de Euskadi en los que se reflejan distintas variables climáticas y de vegetación. Su utilidad para realizar los mapas de erosión no radica tanto en la representación cartográfica de las variables estudiadas sino en las conclusiones que aporta sobre clima y vegetación, que pueden ser aplicables a la hora de modelizar el factor C.

5.2. Bases de datos alfanuméricas preexistentes.

Los datos relativos al Inventario Forestal Nacional y al Inventario Forestal del País Vasco son útiles en tanto en cuanto se dispone de los datos de las parcelas levantadas, más que de la cartografía derivada. Igualmente, los análisis de suelos del mapa de suelos de la Comunidad Autónoma del País Vasco son igualmente más útiles que el propio mapa. No obstante, esta información no ha estado disponible para la realización del mapa de erosión, bien por no estar elaborada a tiempo o bien por no existir.

Para las fuentes de datos meteorológicos existe el Servicio Vasco de Meteorología, que aporta bases de datos previa solicitud, con los que calcular el factor R. También se puede utilizar los datos del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación en lo relativo a los valores del factor R por estaciones meteorológicas.

5.3. Datos elaborados expresamente para el trabajo.

Respecto a la información que se elabore expresamente para la realización del trabajo hay que indicar que la fuente de información es doble. Por una parte la toma de datos de campo según una malla de muestreo y el análisis posterior de esta información es una fuente de datos fundamental. Por otra parte se hace necesario conocer las características de manejo del territorio y que en una observación puntual no se pueden detectar.

Los datos a tomar en el campo están condicionados por la información previa disponible y por los requisitos del modelo USLE y del modelo RUSLE. Es decir, se hace necesario recopilar datos de todos los parámetros que piden las ecuaciones predictoras de la erosión así como de los parámetros para los que existe información previa, al objeto de poder modelizar los nuevos parámetros medidos y extenderlos a la totalidad del territorio. En este sentido se detalla un apartado específico respecto a la toma de datos de campo.

Los datos genéricos de manejo del territorio han de recopilarse por medio de consulta directa a los responsables de las administraciones públicas de las materias en las que tienen la competencia y a los propios habitantes de cada zona en el trabajo de campo, puesto que ellos también tienen una visión directa y de primera mano de lo que hacen con el territorio.

6. Toma de datos de campo

Los datos recabados y la metodología aplicada se detalla a continuación, al objeto de poder obtener una herramienta para conocer las variables necesarias para las ecuaciones USLE y RUSLE en cada punto del territorio.

6.1. Malla de muestreo.

Se ha empleado una malla de 5 por 5 kilómetros de lado, es decir, una parcela por cada 25 kilómetros cuadrados. Puesto que la Comunidad Autónoma de Euskadi tiene una superficie de 7.234 kilómetros cuadrados, es de esperar que se realicen en torno a 300 parcelas, lo que en principio es un número suficiente de datos para crear modelos estadísticos predictivos suficientemente fiables.

Esta malla tiene la misma densidad que la empleada en el Inventario Nacional de Erosión de Suelos. Sin embargo su ubicación estará desplazada respecto de la misma lo máximo posible, es decir, 2.500 metros en sentido norte sur y en sentido este oeste. El motivo es evitar el problema de autocorrelación o dependencia de datos que puedan participar en el modelo. Si las parcelas se tomasen en el mismo punto que las del inventario nacional y se quisiera utilizar los dos tipos de datos para perfeccionar el modelo predictivo, se estaría ante un problema, puesto que la información que se recabe en segundo lugar no es independiente de la información recabada en primer lugar, es más, en pura teoría sería idéntica salvo para aquellos parámetros que tengan variaciones en el tiempo más o menos rápidas.

Puesto que la ubicación de la malla tiene una componente de azar, o dicho de otro modo, puesto que la distribución de usos del territorio no está condicionada por las coordenadas UTM del mismo, es de esperar que los

aproximadamente 300 puntos de muestreo aporten información sobre las características del territorio de forma proporcional a su frecuencia de aparición.

Los puntos del territorio con las peculiaridades relativas a la erosión más abundantes estarán más representadas en el muestreo puesto que será más probable que caiga una parcela en ellos. Con este sistema se garantiza el tener más información de lo más abundante, que por otra parte será lo que más representación tenga en la cartografía final de erosión de suelos.

Una vez replanteada la malla en el terreno, el reparto al azar ha propiciado la presencia de 82 parcelas en Guipuzkoa, 90 en Bizkaia y 121 en Alava.

6.2. Replanteo y punto de muestreo.

Para la localización de los puntos de muestreo, se utilizan dos herramientas, por una parte la cartografía topográfica digital actualizada y por otra la utilización de un GPS en modo diferencial.

La cartografía permite acceder al punto en un entorno de no más de 20 metros, respecto de la malla representada, utilizando topografía y ortofotografía, además de vehículos todo terreno. Puesto que es de interés llegar al punto preciso, se utiliza un GPS con precisión decimétrica trabajando en tiempo real para llegar hasta el punto exacto con un error de replanteo inferior a un metro.

Ahora bien, es necesario tener presente que si bien el punto exacto tiene la virtud de no estar condicionado por factores subjetivos de las personas del equipo de muestreo, puede tener la desventaja de recabar información excesivamente local, lo cual impedirá realizar un modelo matemático adecuado.

Por tanto, una vez ubicado el equipo de muestreo en el punto exacto, para la toma de muestras y descripción del lugar, esta ha de hacerse de modo que la información recogida represente fielmente las características medias del entorno, para lo que se pueden seguir dos estrategias, desplazar el punto de toma de muestras hasta un lugar representativo o tomar varias muestras en el entorno de modo que se puedan eliminar valores anómalos.

Para este trabajo se opta por el primer sistema, es decir, desplazar el punto de toma de muestras hasta un lugar representativo. Esta es la única manera de garantizar que los datos que se toman como “condicionantes de la erosión” sean los responsables de los datos que se toman como “efectos de la erosión”. Si se toman datos de varios puntos y se intenta promediar, aparentemente puede resultar más objetivo, sin embargo puesto que existen situaciones extremas en cuanto a la complejidad de la vegetación, contactos entre litologías, etc. promediar valores puede que no sea fiel reflejo de la situación a la que se pretende asignar.

El objeto es garantizar la correspondencia entre “efectos de la erosión” y “condicionantes de la erosión”, por lo que este vector de datos es el que se ha de recopilar. Dicha situación se consigue desplazando en punto de muestreo ligeramente, para que el dato sea representativo. Para ello el equipo de personas que toman los datos de campo son expertos en esta metodología, de modo que se maximice la probabilidad de dicha correspondencia.

No obstante todas las variables ambientales siempre tienen un grado de variabilidad más o menos alta, lo que implica que los parámetros descriptivos y analíticos de una muestra pueden tener diferencias en función del punto de muestreo elegido. La forma de combatir esta fuente de variabilidad es con la abundancia de datos y la modelización estadística, de modo que la repetición de datos sea la que permita obtener una estimación de las variables, pero

dicha repetición no es necesario realizarla en el mismo punto, sino que el conjunto total de muestras para todo el territorio será el que lleve implícito esa variabilidad espacial, incluso a nivel local.

6.3. Recursos para la toma de datos.

Respecto a los recursos humanos, se utilizan equipos compuestos por dos personas, en los que siempre participará al menos un especialista en erosión de suelos y las variables que los condicionan.

Respecto a los recursos materiales se emplean herramientas manuales para la toma de muestras de suelos, bolsas para recoger las muestras y enviarlas al laboratorio perfectamente etiquetadas, aparatos de medición para evaluar parámetros como la altura y cobertura de la vegetación o las dimensiones de los caballones. También se utilizan cámaras digitales para tomar imágenes del lugar de muestreo.

6.4. Toma de datos.

La toma de datos se ha desarrollado entre la segunda mitad de octubre y la primera de diciembre de 2004. Se ha desarrollado una segunda campaña de repetición de algunas parcelas a finales del mes de abril de 2005.

Para garantizar la homogeneidad en la captura de datos, los primeros días los equipos trabajan sobre las mismas parcelas, al efecto de que al trabajar posteriormente por separado se sigan los mismos criterios de recolección de datos. Se comienza por la zona más nororiental a tomar datos, al objeto de empezar por una zona que se prevé más sencilla para que los equipos de trabajo coordinen criterios. Posteriormente se sigue por las zonas en las que

las condiciones meteorológicas puedan ser más adversas, al objeto de realizar la toma de datos lo antes posible y evitar que el invierno dificulte esta tarea. Se avanza hacia las zonas más bajas conforme avance la campaña de toma de muestras.

Uno de los datos más importantes que se toman es las imágenes del lugar por medio de fotografías digitales que posteriormente se incorporan a la base de datos. Las fotos que se toman deben reflejar las características del punto de muestreo y las del entorno, por lo que se toman dos tipos de imágenes reflejando estas situaciones. La primera aporta información sobre características locales y la segunda sobre características generales del entorno o de la unidad ambiental a la que pertenece.

Los datos que se toman son todos los que requieren las ecuaciones USLE y RUSLE, así como los datos de la cartografía temática ambiental existente y que servirá de base para realizar la modelización. La ficha que se muestra a continuación es la empleada para la toma de datos. Los datos aparecen agrupados por los conceptos a los que hacen referencia.

DATOS GENERALES	
Equipo	
Fecha	
Hora	
Meteorología	
Antecedente meteoro	
Cond erosiv ladera	
Observaciones	
DATOS UBICACIÓN DE LA PARCELA	
Parcela	
Coordenada X	

Mapa de Erosión de Suelos de la Comunidad Autónoma de Euskadi

Coordenada Y	
Altitud	
Término municipal	
Hoja 1:50.000	
Desplazamiento	
Observaciones	
DATOS GEOLÓGICOS	
Pendiente	
Exposición	
Litología	
Geomorfología	
Forma línea max pen	
Forma curva nivel	
Posición orográfica	
Afloramientos roca	
Buzamiento capas	
Ángulo Bz y Pendient	
Observaciones	
DATOS VEGETACIÓN NO AGRÍCOLA	
Especie árbol princ	
Especie árbol secun	
Altura med árbol	
Variación interanual	
% aéreo árbol	
% superficie árbol	
Especie matorral prin	
Especie matorral sec	
Altura med matorral	
Variación interanual	

Mapa de Erosión de Suelos de la Comunidad Autónoma de Euskadi

% aéreo matorral	
% superficie matorral	
Altura med herbácea	
Variación anual	
% superf herbácea	
Manejo antrópico	
Pastoreo	
Antigüedad del uso	
Método repoblación	
Angulo labores	
% suelo desnudo	
Observaciones	
DATOS CULTIVO AGRÍCOLA	
Años abandono cultiv	
Especie principal	
% suelo desnudo	
Especie alternativa	
Rotación anual	
% año suelo desnudo	
Regadío	
Método riego	
Tipo laboreo	
Práctica consevación	
Dimensiones	
Permanencia	
Manejo de restos	
Observaciones	
DATOS SUELOS	
% cubierta contacto	

Mapa de Erosión de Suelos de la Comunidad Autónoma de Euskadi

Altura cubierta cont	
Tipo cubierta contact	
Compactación superf	
Espesor horiz sup	
% raíces no muestrea	
Dimensiones muestra	
% suelo no muestreo	
Identifica muestra epi	
Percepción textura	
Estructura	
Espesor total suelo	
Permeab endopedión	
Identif muestra endo	
Hidromorfía	
Observaciones	
DATOS EROSIÓN	
Indicios laminar	
Indicios regueros	
Indicios cárcavas	
Indicios barrancos	
Indicios torrentes	
Otros tipos erosión	
Obstácul deposición	
Rugosidad deposició	
% escalones ladera	
Observaciones	

6.5. Medidas para evitar valores “missing”.

La toma de datos de campo puede resultar estéril si por una incorrecta manipulación de la información se pierden valores o se computan valores anómalos como válidos, de modo que en el proceso de datos posterior puede hacer que la variable en cuestión pierda valor predictivo. Otro problema de gran importancia que pueden plantear este tipo de ausencia de información es confundirla con el valor cero.

La primera estrategia a seguir es utilizar una base de datos para procesar toda la información, en la que se imponga la condición de que todos los campos de la misma tengan un valor requerido, de modo que no se pueda avanzar en la recopilación de datos sin introducir el valor de un campo. Esto evita que se no se compute un valor por olvido, puesto que imposibilita avanzar en la toma de datos.

Otra estrategia adicional a seguir para evitar valores anómalos es generar máscaras de entrada y expresiones de validación para todos los campos a procesar. Una máscara de entrada en una base de datos es una condición al formato de entrada, de modo que se homogeneiza la información recabada, por ejemplo en lo relativo al número de decimales a incluir, expresiones en tanto por ciento, etc. Las expresiones de validación son del tipo “mayor de 2”, “menor de 100”, “sólo son válidos los valores azul, rojo o verde”, de modo que si los datos introducidos no concuerda con los requisitos prefijados la base de datos advierte de ello.

Por último, la estrategia que realmente puede ser más eficaz es que el personal que se encarga de la toma de datos en el campo es el mismo que realiza posteriormente el proceso de datos, por lo que al ser conocedor de la

información que requiere para realizar el trabajo, es prácticamente imposible que se pierdan valores.

Todos los datos recabados han sido procesados diariamente, de modo que si se hubiese producido la ausencia o irregularidad de algún dato se habría acudido de nuevo a la parcela y se hubiera repetido la toma de datos.

6.6. Repetición de parcelas variables.

La toma de datos de parcelas es una operación puntual, que para muchos de los datos a recabar es suficiente dado su constancia en el tiempo. Sin embargo, existen otros datos que varían a lo largo del año por lo que es necesario conocer su evolución.

A este objeto se ha repetido un total de 15 parcelas, todas ellas con él denominador común de tener usos agrícolas o asimilables a estos. El espacio de tiempo transcurrido entre a toma de datos entre las dos repeticiones ha sido de entre cinco y seis meses. Los datos recabados en cada parcela son los susceptibles de variación a lo largo del año, fundamentalmente los relativos a la cubierta vegetal y su manejo, rugosidad del terreno, etc.

6.7. Análisis de laboratorio.

A partir de las muestras recogidas de suelo, los análisis del laboratorio permiten evaluar los siguientes parámetros:

- Capacidad de retención de agua.
- % tierra fina.
- % Arena en tierra fina.

- % Arena muy fina en tierra fina.
- % Arena gruesa en tierra fina.
- % Limo en tierra fina.
- % Arcilla en tierra fina.
- % Materia orgánica.
- Permeabilidad.
- Contenido de raíces.
- Contenido de restos incorporados al suelo.

Estos dos últimos parámetros se han evaluado de forma conjunta sin posibilidad de confundir los datos para cada parámetro, puesto que por la fecha de toma de muestras en las parcelas de usos forestales sólo aparecen raíces y en las agrícolas sólo restos incorporados al suelo.

Los métodos analíticos a emplear serán los que requieran los modelos USLE y RUSLE, que se refieren a los aprobados por el USDA (Departamento de Agricultura de los Estados Unidos). En general coinciden con los métodos aprobados por el Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación en 1994. No obstante se incluye un anejo con las referencias exactas de los métodos analíticos empleados.

6.8. Base de datos.

Con toda la información anterior se ha elaborado una base de datos en formato de Microsoft Access, donde se recoge toda la información de las parcelas, tanto la que se toma directamente en el campo, como la que se evalúa con análisis posteriores de laboratorio.

7. Importancia relativa de los factores de erosión

Previamente a la realización de los modelos predictivos que permitan extender las variables necesarias al conjunto del territorio de estudio, es conveniente conocer la importancia relativa de cada uno de los parámetros dentro de las ecuaciones USLE y RUSLE. Esta operación es muy interesante, ya que permite racionalizar esfuerzos en precisar más aquellos parámetros que más peso tienen en las ecuaciones predictivas de la erosión.

Para realizar este análisis se ha partido de la expresión USLE, ya que en tanto en esta expresión como en la RUSLE la importancia de cada factor ha de ser la misma y es más sencilla la primera expresión. No se ha considerado el factor P, puesto que sólo aparecería en los usos agrícolas y prácticamente no se da en todo el territorio.

El parámetro C se obtiene por medio de unas tablas y entre los valores que ofrece, las variaciones pueden llegar a hacer que el resultado final se multiplique o divida entre 100.

El factor R, para los valores que aparecen en la zona de estudio y alrededores, podría llegar a hacer que el resultado final se multiplique o divida entre 10, aunque lo habitual es que dicho incremento o reducción no suponga un factor mayor de 3 .

Los parámetros L y S suelen evaluarse de forma conjunta, puesto que hacen referencia al factor topográfico, longitud de ladera y pendiente. Empleando la ecuación propuesta en el modelo USLE para pendientes superiores a 9%, el valor que ofrece para valores bajos de longitud de ladera y de pendiente, como podría ser 4% y 10 metros es 0,275. Sin embargo, para una longitud de ladera de 200 metros y una pendiente de 70%, que siendo valores muy grandes no

son excepcionales en determinadas zonas de Euskadi, el factor topográfico arroja un valor de 27,9 lo que implica, igual que para otros factores, que sus valores pueden hacer que el resultado final de cuantificación de la erosión por medio de la ecuación USLE se multiplique o divida entre 100.

No obstante, a pesar del grado de variación elevado para los factores C, L y S y en menor medida para el factor R, cuando se aplica a un caso concreto la variación posible del parámetro es muy pequeña, puesto que si se dispone de los datos para el cálculo, se puede asignar con relativa facilidad un valor preciso a cada unidad del territorio.

Para el cálculo de L y S, disponiendo de un modelo digital del terreno es improbable cometer un error que llegue a duplicar el valor final. Para el cálculo de C disponiendo de cartografía de vegetación es improbable cometer un error que llegue a duplicar su valor final, aunque la cartografía de vegetación puede que no contemple todas las características necesarias de las formaciones vegetales. Para el factor R, disponiendo de datos de estaciones meteorológicas es improbable cometer un error que incremente en un 20% su valor final.

El parámetro K es relativo al suelo y es en este donde existe un mayor desconocimiento, porque no está tabulado, como le ocurre al parámetro C, no está regionalizado como le ocurre al parámetro R y no tiene una expresión sencilla como le ocurre a los parámetros L y S.

En un estudio realizado en Asturias sobre este parámetro (Rodríguez Roncero, F. *et al.* 2004. "Errores en la estimación de la erosión al calcular el parámetro K de erodibilidad de los suelos de la ecuación USLE", Actas de la VIII Reunión Nacional de Geomorfología, Toledo) se determinó que el rango de variación teórico de este parámetro es del orden de 100, como en los factores C, L y S. Sin embargo, al estimar este parámetro a partir de simplificaciones puede llevar

a cometer errores que quintuplique el valor final de la erosión predicha, mientras que para los otros factores sólo se llegaría a duplicar.

Por tanto puede deducirse que la importancia relativa de cada uno de los factores es la siguiente:

1º Factor K. Variación teórica x100. Variación probable x5.

2º Factor C. Variación teórica x100. Variación probable x2.

3º Factor LS. Variación teórica x100. Variación probable x2.

4º Factor R. Variación teórica x3. Variación probable x1,2.

Con estas conclusiones, parece razonable que los mayores esfuerzos se hagan en la determinación del parámetro K y los menores en el del parámetro R.

8. Tratamiento estadístico y extrapolación

El tratamiento estadístico de la información es la base fundamental del trabajo de cartografía, puesto que es imposible recorrer absolutamente todos los rincones del territorio. Por tanto se requiere de un método que sea capaz de extrapolar información puntual al conjunto de la Comunidad Autónoma.

8.1. Casuística de extrapolación de variables.

Para poder aplicar las ecuaciones predictivas de la erosión, se hace necesario conocer la distribución espacial de los distintos parámetros que en ellas intervienen. No obstante dichos parámetros pueden tener una distribución conocida o sencilla de modelizar, o bien tener que estimarse a partir de información puntual que mediante algún método estadístico se pueda hacer extensible a la totalidad del territorio y además conocer el grado de verosimilitud que dicho modelo presenta.

A continuación se detallan las tres situaciones posibles que se pueden presentar a la hora de modelizar y extender las variables al conjunto del territorio, que son la asignación directa para valores conocidos, la modelización estadística y la asignación por grupos

8.1.1. Asignación directa

Un parámetro sencillo, con una distribución conocida o sencilla de modelizar, es la pendiente del terreno y con ello el factor S. Ésta se puede extender a la totalidad del territorio sin más que utilizar de forma adecuada un modelo digital de elevaciones en un sistema de información geográfica.

Para el factor L ocurre algo parecido, puesto que aplicando un algoritmo de cálculo en un sistema de información geográfica a partir de un modelo digital del terreno, se puede calcular este factor para cada punto del territorio.

8.1.2. Modelización estadística

Para poder extender a la totalidad del territorio determinadas variables que se muestrean de forma puntual y que por la propia metodología del trabajo requieren de un modelo continuo en el espacio, el procedimiento a emplear se describe a continuación.

En primer lugar se realizará una caracterización ambiental del territorio, de modo que a cada dato puntual se le pueda asignar un conjunto de variables, tanto cualitativas como cuantitativas (vegetación, litología, pendiente, etc.). Posteriormente se generan los vectores de datos de entrada al modelo, que tendrán la siguiente forma: $v = (A_1, A_2, \dots, A_n, T)$. En ellos aparece el dato observado de la variable a modelizar T y los valores de las distintas variables de las que depende o por las que puede estar condicionado A_n y que serán las que caractericen ambientalmente del territorio.

Con este conjunto de vectores se crea un modelo estadístico predictivo, mediante la aplicación de técnicas de estadística multivariante, de modo que se pueda asignar el valor de máxima verosimilitud a cada lugar del territorio para el parámetro a modelizar. Los métodos a aplicar serán, por una parte, la regresión multivariante, tanto lineal como no lineal, cuando la variable dependiente sea una variable cuantitativa, y por otra el análisis de clusters cuando la variable dependiente sea una variable cualitativa.

Estos métodos permiten predecir la variable modelizada para cada punto del territorio sin más que conocer las variables ambientales que lo caracterizan. Sin

embargo, puesto que a priori no se conoce cuales de estas variables son las que tendrán mayor poder predictivo, se utilizarán métodos de incorporación de variables paso a paso, para garantizar que sólo aquellas variables que tienen capacidad para explicar una parte importante de la varianza entren en el modelo, de modo que se maximice la robustez del mismo.

Ahora bien, dado que la estadística es una ciencia que permite realizar inferencias y además conocer el grado de precisión o fiabilidad que dichas predicciones tendrán, se hace necesario comprobar el grado de validez de los modelos, para saber cuan exactas son las predicciones realizadas y por tanto cuan verosímiles son los resultados obtenidos. Al objeto de realizar estas comprobaciones se utilizan los siguientes métodos o estadísticos.

Para los métodos de análisis de clusters se aplican dos sistemas de comprobación del modelo. Por una parte el test de validación cruzada, que permite comprobar para el conjunto de datos de partida, el porcentaje de sucesos en los que el dato observado coincide con el dato predicho, así como conocer que tipo de asignación realiza cuando se equivoca. Por otra parte se realizará una comprobación del modelo dato a dato sin la participación del mismo, es decir, se trata de comprobar si el modelo creado con $n-1$ datos es capaz de asignar un cluster correcto al valor n ésimo, que es el valor que queda fuera.

Para los métodos de regresión multivariante se utilizarán los coeficientes de correlación y porcentaje de varianza explicada. Estos permiten conocer el grado de adecuación de las predicciones a la realidad.

Una vez conocido el grado de acierto de cada modelo, se rechaza o se acepta el mismo. En el primer caso será necesario volver a tomar información de partida y elaborar de nuevo el modelo. En el segundo caso se aplicará a cada

punto del territorio y con ello se podrá conocer el valor de la variable predicha para la totalidad del espacio a cartografiar.

8.1.3. Asignación estadística

El método de modelización estadística es el más adecuado para las variables que se han muestreado de forma puntual y es necesario extenderlas al conjunto del territorio. Sin embargo, puede ocurrir que al intentar crear un modelo predictivo la variable dependiente no quede explicada por el conjunto de valores disponibles para su extrapolación. Dicho de otro modo, la modelización no puede realizarse con todas las variables disponibles, puesto que dicha operación puede aportar modelos matemáticos precisos pero inútiles si no existe la cartografía de las variables independientes de las que depende.

Además, aún existiendo dicha cartografía, es posible que el modelo que se cree no sea adecuado o suficientemente válido, tanto desde el punto de vista estadístico como ecológico.

En estas situaciones, la forma de actuar será la asignación estadística, de modo que se calcule un estimador insesgado de la variable a estimar por grupos homogéneos de los que se disponga de cartografía. Por ejemplo, si no se puede modelizar el contenido en arcillas del horizonte superficial del suelo, se puede suponer que este estará relacionado con la litología, lo que se puede comprobar mediante un análisis de varianza, y asignar un valor para cada categoría de litología.

El estimador insesgado que se emplea es la mediana, puesto que el valor media puede estar condicionada por la presencia de valores puntuales anómalos.

8.2. Consideraciones para la modelización estadística.

A continuación se detallan una serie de aspectos relevantes de la modelización estadística de las variables para las que sea posible su realización.

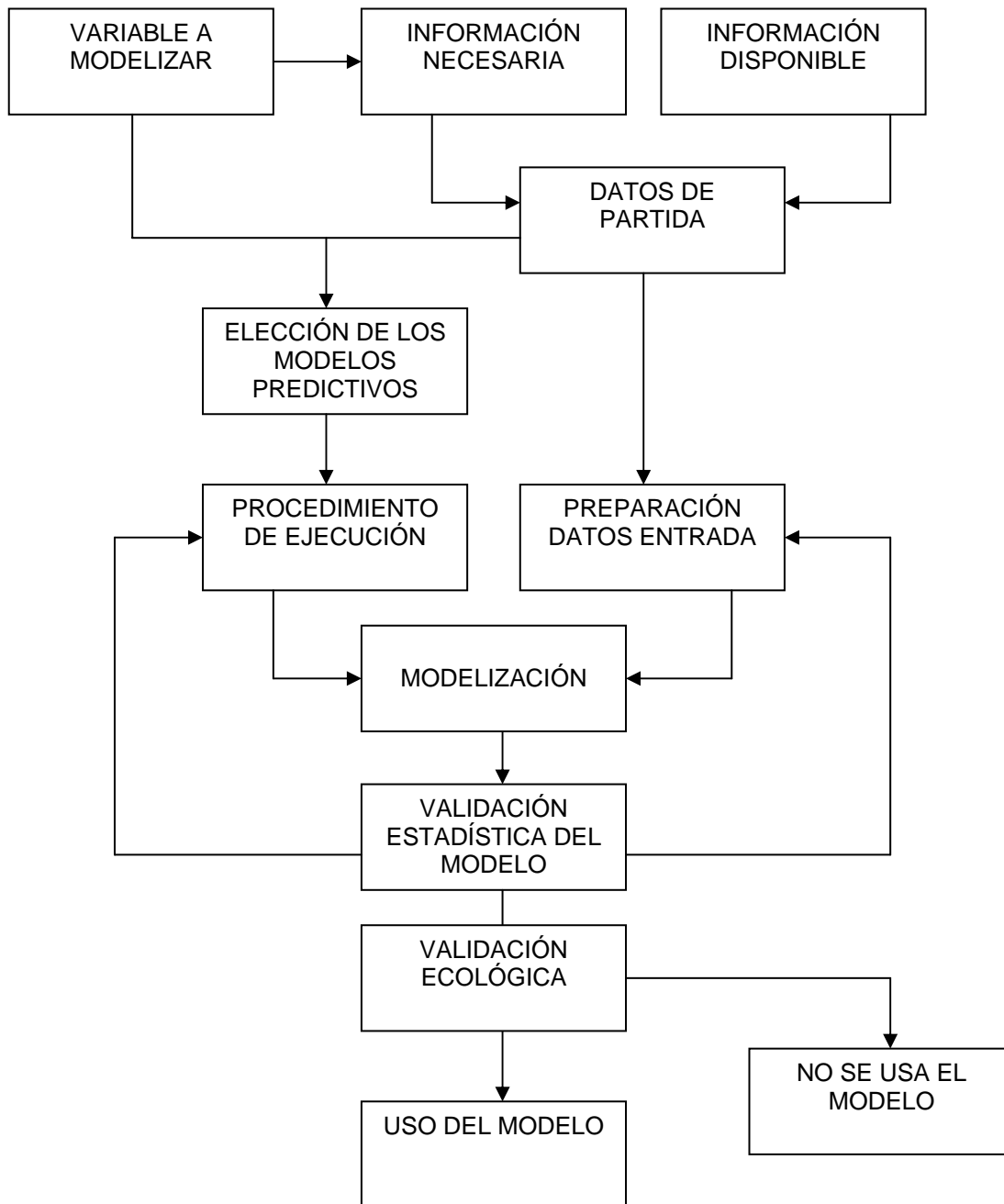
8.2.1. Análisis y modelos.

No se puede precisar con antelación qué modelo es el que mejor se ajusta. Puede intentarse con regresión lineal múltiple, regresión múltiple no lineal, modelos Log-Lineales, regresión logística, regresión de Poisson, etc. Además, trabajando con variables categóricas será necesario recurrir a la creación de ecuaciones discriminantes y análisis cluster, tanto jerárquico como con algoritmo k-medias.

Por tanto, se ha de intentar ajustar todo el abanico de modelos posibles que la ciencia estadística permite. No obstante, siempre se ha de elaborar un informe para cada modelo ajustado en el que se especifique los modelos probados, los resultados obtenidos y bondad del ajuste de cada uno de ellos, así como la justificación de la selección del más adecuado.

8.2.2. Esquema de trabajo para la modelización.

A continuación y a modo de resumen se indica el proceso que se sigue para realizar la modelización. El siguiente esquema ayuda a comprender mejor el proceso.



Conocida la variable a modelizar el primer paso a dar es el estudio de las variables de las que depende y de cuales de ellas se tiene información para todo el territorio. Esas variables son las que definen los datos de partida y será en función de estos datos iniciales a partir de los cuales se defina el modelo o modelos predictivos a aplicar, ya que según se trate de variables cualitativas o cuantitativas los modelos pueden ser unos u otros.

Establecido los modelos a adoptar es necesario preparar los datos para la modelización, comprobando si cumplen con los requisitos del modelo, por ejemplo si siguen una distribución normal para aplicar un modelo de regresión lineal múltiple. También puede ser necesario realizar transformaciones en los datos de modo que cumplan con los requisitos de entrada, por ejemplo elevar los valores al cuadrado o calcular su logaritmo. Cuando se trate de variables categóricas la preparación de los datos de entrada no requiere de estas comprobaciones.

Se define el procedimiento de ejecución, de modo que la persona que esté realizando la modelización deje siempre un registro de lo realizado y de las decisiones que se toman, de modo que se garantice la repetibilidad del proceso en las mismas condiciones.

El modelo siempre se va a realizar mediante la incorporación y salida de las variables paso a paso, de modo que el propio proceso de cálculo sea el que decida sobre la inclusión o no de determinadas variables en función de su significación en el modelo final.

Elaborado el modelo matemático, un primer paso es la validación estadística. En este sentido existen dos posibilidades según se trate de modelos con variables cualitativas o cuantitativas. Sin embargo, esta validación requiere de

una validación ecológica, puesto que si se pretende predecir el valor de un parámetro ecológico, es necesario que el modelo estadístico tenga sentido. Se trata de leer en la expresión matemática su significado ambiental y justificar el mismo.

Si se supera esta segunda prueba el modelo es válido y por tanto directamente aplicable. En caso contrario no se podrá utilizar y habrá que replantearse el proceso desde el principio.

8.2.3. Variables cualitativas y cuantitativas.

Para el proceso estadístico se trabaja con dos tipos de variables, cualitativas o categóricas y cuantitativas o numéricas. Las variables cuantitativas tienen menos problemas a la hora de trabajar con ellas, puesto que al tratarse de valores numéricos continuos, su incorporación a modelos matemáticos es mucho más sencilla.

Sin embargo, trabajar con variables cuantitativas es más complejo, por lo que existen dos alternativas, realizar una serie de transformaciones para convertirlas en variables cuantitativas o crear modelos en los que tienen cabida estas variables cualitativas.

Cuando se trate de variables cuantitativas para las que sólo cabe dos alternativas, por ejemplo presencia o ausencia de un elemento en el suelo, se puede convertir en variable numérica sin más que asignar los valores 1 a la presencia y 0 a la ausencia.

Cuando se trate de variables cuantitativas para las que cabe pocos valores, por ejemplo vegetación herbácea, matorral y arbolado, puede convertirse en variables numéricas creando tantas variables ficticias como valores menos uno

existan en la variable original y asignando igualmente valores 1 y 0 a la presencia y ausencia. Para el ejemplo propuesto, sería necesario sustituir la variable original “vegetación” por otras dos variables, que podrían ser “veg.arbolado” y “veg.matorral”, de modo que un terreno con arbolado tendría los valores (1;0), un terreno con matorral tendría los valores (0;1) y un terreno con vegetación herbácea tendría los valores (0;0).

8.2.4. Variables de confusión e interacción.

Los problemas de interacción y confusión son muy importantes cuando el objetivo del modelo es determinar la relación entre variables, pero no lo es tanto cuando el objetivo del modelo es la predicción, siendo este el caso para el que se va a realizar la modelización en la cartografía de erosión.

Una variable de interacción es aquella que al incluirla en un modelo modifica la relación entre el factor de estudio que se pretende predecir y el conjunto de variables de las que depende, según niveles de la variable introducida.

Una variable de confusión es aquella que al incluirla en un modelo modifica significativamente la relación entre el factor de estudio que se pretende predecir y el conjunto de variables de las que depende.

Para el ajuste de regresión, se produce confusión cuando la relación $T=a_0+a_1*A_1$ y la relación $T=a_0+a_1*A_1+a_2*A_2$, tienen un valor del coeficiente a_1 diferente, siendo A_n las variables independientes a incluir en el modelo y a_n los coeficientes de la ecuación. Esto es un problema de cara a conocer la relación entre dos variables, pero no para realizar una predicción, puesto que si al incluir una variable de confusión el valor predicho del modelo es mayor, entonces ese modelo es mejor.

Para el ajuste de regresión, se produce interacción cuando la relación $T=a_0+a_1*A_1+a_2*A_2$, respecto de la relación $T=a_0+a_1*A_1+a_2*A_2+a_3*A_1*A_2$, es diferente y tiene un valor del coeficiente a_3 no nulo y significativamente distinto de cero. Como en el caso anterior, esto puede ser un problema de cara a conocer la relación entre dos variables, puesto que la relación entre las variables T y A_1 es diferente para los diferentes niveles de A_2 . Sin embargo esto no es un problema para realizar una predicción.

Primero debe contrastarse la presencia de interacción entre variables y después, en caso de que no exista, se ha de comprobar la presencia de variables de confusión.

8.2.5. Otros problemas con las variables.

Existen otros problemas que puede hacer que los modelos predictivos no sean válidos y cuya relevancia es mucho mayor que los problemas de interacción y confusión para la regresión. Estos problemas se comentan a continuación.

Multicolinealidad: introducción de variables correlacionadas, es decir, que se metan en el modelo variables presuntamente predictivas y que sean combinación lineal de otras que también participan en el modelo. Este podría ser el caso en el que se introduce una variable cartográfica (por ejemplo suelos) que para su elaboración se emplearon otras variables cartográficas (por ejemplo geomorfología y pendientes) y además estas también se incluyen en el modelo (siguiendo con el ejemplo, en el modelo se incluyen suelos, geomorfología y pendientes).

Este problema se detecta con un análisis de componentes principales de las variables independientes. De hecho, para modelos predictivos las componentes principales son las variables independientes ideales. Las componentes

principales son combinaciones lineales de las variables originales mutuamente independientes y su varianza, que es máxima, se denomina autovalores. La detección de autovalores nulos detecta el problema de colinealidad y además permite conocer cuales son las variables correlacionadas.

Falta de normalidad: la diferencia entre los valores predichos y los valores reales han de seguir una distribución normal. En caso contrario puede ser reflejo de la existencia de observaciones heterogéneas, de errores en la toma de datos o de asimetría en la distribución, lo cual se puede solucionar haciendo una transformación de la variable respuesta.

Homocedasticidad: varianza de los residuos constante sin que dependa de los diferentes niveles del factor. Esta hipótesis ha de cumplirse y se comprueba a través de gráficos que representan residuos frente a otros valores o por medio de pruebas o contrastes específicos. En caso de que no se cumpla se deben realizar transformaciones en la variable respuesta al objeto de eliminar este problema.

Independencia de observaciones: las observaciones que se introduzcan en el modelo han de ser independientes. Este problema puede aparecer cuando se trabaja con datos que provienen del mismo punto del territorio pero que se recaban en momentos temporales distintos, puesto que los valores de la segunda medición, están condicionados por los de la primera. El uso de una malla de muestreo garantiza esta hipótesis, puesto que a pesar de una vez elegido un punto, todos los demás quedan automáticamente determinados, al colocar el primer punto al azar en el territorio, los demás se pueden suponer colocados al azar sin problemas a estos efectos.

Valores atípicos: determinación de observaciones muestrales cuya inclusión cambia significativamente el modelo. Puede tratarse de errores de muestreo,

patrones de comportamiento atípico o poblaciones distintas que deban estratificarse.

Independencia de los residuos: el valor de los residuos no ha de depender del valor de la variable a estimar. Esta situación trae problemas sobre todo con la ineficacia de las predicciones. Su detección pasa por el análisis de gráficos en los que se representan los residuos frente a otros elementos y la aplicación de determinados contrastes. La solución pasa generalmente por cambiar el modelo de ajuste.

Autocorrelación: covarianza de las perturbaciones no nula, es decir, existe relación entre los errores. Este problema está relacionado con datos que dependen del tiempo, pero también puede existir autocorrelación espacial. Esta característica igualmente ha de ser comprobada antes de dar por bueno un modelo.

Normalidad de las variables de entrada: para algunos métodos multivariantes, un requisito es que los valores de cada una de las variables de entrada al modelo tengan una distribución normal. Esto ha de comprobarse previamente a realizar el ajuste del modelo, puesto que dicho ajuste no es válido sin que se cumpla esta hipótesis, independientemente de que otros indicadores pudieran hacer suponer que el ajuste sí que lo es.

8.2.6. Mecanismos para evitar problemas con las variables.

Aunque existen diferentes procedimientos para escoger el modelo sólo hay tres mecanismos básicos. Primero, comenzar con una sola variable dependiente e ir añadiendo nuevas variables según un criterio prefijado, procedimiento hacia adelante. Segundo, empezar con el modelo máximo e ir eliminando de él variables según un criterio prefijado, procedimiento hacia atrás. El tercer

método, combina los dos anteriores y en cada paso se puede tanto añadir una variable como eliminar otra que ya estaba en la ecuación, procedimiento paso a paso.

Esta técnica de incorporación de variables paso a paso es la que se pretende aplicar. Los criterios de admisión de variables son los que requieren las hipótesis básicas de los modelos (multicolinealidad, homocedasticidad, etc.), pero además se establecen otros, como el nivel de significación de una variable cuando entra en el modelo o cuando sale y el coeficiente de correlación parcial al entrar o al salir del modelo.

Por otra parte, es necesario indicar que la estratificación de la información evita problemas de interacción de variables. Sin embargo, cuando se trabaja en estadística multivariante al objeto de realizar predicciones y no de conocer el grado de relación entre estas, la estratificación de la información de partida no es necesaria, y sólo en caso de detectarse este problema se puede realizar dicha estratificación a posteriori.

La estratificación como método de homogeneización de variables ambientales no controladas es igualmente un método que puede evitar problemas con las variables. En ocasiones no se puede incluir en los modelos todas las variables independientes de las que depende la variable dependiente, bien por falta de datos, bien por desconocimiento de estas. Al trabajar con elementos del medio natural esto es frecuente, ya que muchas veces hay parámetros que condicionan una variable pero no se conocen o no se pueden incluir por falta de información.

A modo de ejemplo, para predecir el contenido en arcillas del horizonte superficial de un suelo, podría intentar modelizarse a partir de datos de litología, pendiente y altitud. Sin embargo, puede darse el caso de que una

variable relacionada con el clima, como por ejemplo la oscilación térmica anual, tuviese un gran poder predictivo al incluirse en el modelo, ya que podría aportar información sobre la actividad biológica y esta incide en el contenido de arcillas.

Lógicamente si no se conoce previamente esta circunstancia no se puede incluir en el modelo, pero aún conociéndola, puede ser complicado obtener este dato para modelizarlo, simplemente por la escasa disponibilidad de estaciones meteorológicas. Si se realiza una estratificación del territorio de modo que las ecuaciones predictivas sean varias en función de las zonas de donde se tomen los datos, es posible que en esos subgrupos no existieran diferencias para el parámetro climático y por tanto, aunque no se incluya en el modelo, implícitamente estuviese considerado. Dicho de otro modo, si se crean dos modelos, uno para la zona atlántica y otro para la zona continental, aunque no esté en el modelo la variable oscilación térmica, dentro de los dos grupos se minimizan las diferencias y se maximizan entre grupos, con lo que ni siquiera sería necesario conocer esta variable para tener incluidos sus efectos.

8.3. Consideraciones para la asignación estadística.

La asignación es un recurso por el que se opta como segunda opción, cuando falle la modelización. En este caso se ha de realizar en primer lugar una división de la información en grupos lo más homogéneos posibles, pero además han de ser grupos para los que exista cartografía que permita su extensión a la totalidad del territorio.

El primer paso será realizar un análisis de varianza, al objeto de conocer la existencia de diferencias significativas para cada uno de los grupos utilizados. El segundo paso será el cálculo del valor mediana para el conjunto de datos, que será el que se asigne a cada uno de los grupos por considerarse un estimador de tendencia central insesgado.

9. Limitaciones para la extensión de variables

En el apartado donde se analiza la obtención de datos se ha reflejado las fuentes de información utilizadas para la realización del mapa de erosión de suelos. Respecto a la información cartográfica, son cuatro los elementos que se han considerado para el trabajo y por tanto serán los que condicionen los modelos y la metodología a aplicar para la extrapolación de variables. La cartografía considerada es la siguiente.

- Vegetación.
- Litología.
- Modelo digital del terreno.
- Cartografía topográfica.

Si bien se trata de información limitada, en el trabajo de toma de datos de campo y en el proceso previsto de modelización se recopilan datos y se dejan sentadas las bases para que si en el futuro se mejora la información de partida, se pueda mejorar el resultado del mapa de erosión.

A continuación se detallan los aspectos más importantes que se derivan de las limitaciones para la extensión de variables y conocimiento de los parámetros que caracterizan el territorio. No sólo las derivadas de la cartografía, sino también las que son consecuencia de la campaña de toma de datos.

9.1.1. Agrupación de datos de las parcelas.

Toda la información recabada en la realización de las parcelas del trabajo de campo se agrupa en cuatro bloques según su uso principal. Por una parte están las parcelas agrícolas o de usos asimilables a los agrícolas, por implicar una remoción del terreno más o menos reciente. Por otra parte están las

parcelas de usos forestales o asimilables, en las que la implantación de la vegetación no requiere de la remoción mayoritaria de la superficie del suelo. Por otra parte están las parcelas de usos urbanos en las que no existe fenómeno erosivo por tratarse de terreno con edificaciones, asfaltados, etc. Por último aparecen otras parcelas con condiciones especiales, que si bien son susceptibles de sufrir procesos erosivos, sus características no permiten que a partir de los datos que se obtienen de ellas se puedan extrapolar al resto del territorio o utilizar para su modelización.

Respecto a las parcelas agrícolas se han realizado 62, sin contar las 15 que se han repetido para tener información a lo largo del año, que entonces serían 77. Las parcelas forestales son las más abundantes, coincidiendo lógicamente con la distribución de usos del suelo del territorio de Euskadi, realizándose un total de 220. Las parcelas urbanas o no erosionables han sido 9. Las parcelas de usos especiales han sido 2, una en el vertedero de residuos sólidos urbanos de Bilbao y otra en un relleno de material granular cerca de la localidad de Idiazabal en Gipuzkoa. La distribución por provincias se muestra en la siguiente tabla.

USO DEL SUELO	TERRITORIO		
	ÁLAVA	BIZKAIA	GIPUZKOA
ESPECIAL	-	1	1
FORESTAL	77	74	69
AGRÍCOLA	43	13	6
URBANO	1	2	6

Esta división condiciona el tratamiento de la información anterior, puesto que es evidente que el fenómeno erosivo es diferente en cada uno de ellos.

9.1.2. Agrupación de datos de la cartografía litológica.

Respecto a la cartografía litológica los grupos realizados se recogen en un anejo al final del presente documento.

GRUPOS	SUPERFICIE
ARENISCAS	7,0%
CALIZA	19,3%
IGNEA	1,5%
LUTITAS	1,7%
LUTITAS Y ARENISCAS	26,2%
MARGA	36,0%
MIXTA	8,4%

A continuación se detallan las limitaciones más importantes de cada grupo respecto al tipo de litología que lo integra. La descripción se hace de mayor a menor porcentaje de superficie, entendiéndose que a menor proporción de superficie ocupada por una categoría, menor importancia tendrá de cara a la cuantificación global de la erosión y por tanto mayor tolerancia se puede consentir respecto a las limitaciones en cuanto a sus características.

- MARGA 36,0%: se incluyen todas las categorías litológicas en las que la presencia de margas es mayoritaria.
- LUTITAS Y ARENISCAS 26,2%: se incluyen todas las categorías litológicas en las que la presencia de una mezcla íntima de lutitas y areniscas es mayoritaria y en las que no se puede separar ambos tipos de rocas, debido a la dinámica sedimentaria de su formación.
- CALIZA 19,3%: se incluyen todas las categorías litológicas en las que la presencia de caliza es mayoritaria. También aparecen dolomías u otras rocas similares a las calizas. La separación entre el grupo MARGA y

CALIZA no siempre es sencilla, puesto que depende del contenido en arcilla y en muchas formaciones aparecen en estratos contiguos sin posibilidad de separarlas. El criterio para su asignación en un grupo u otro ha sido la presencia mayoritaria de caliza o marga.

- MIXTA 8,4%: se incluyen todas las categorías litológicas en las que aparecen mezclas de litologías sin que se pueda asignar a ninguno de los restantes grupos. Generalmente se trata de conglomerados mixtos silíceo calcáreos o depósitos terciarios o cuaternarios con mezcla de materiales, como terrazas fluviales, glaciares, conos de deyección, etc.
- ARENISCA 7,0%: se incluyen todas las categorías en las que la roca dominante es la arenisca. Se diferencia de la categoría LUTITAS Y ARENISCAS en que en estas zonas sí que es posible separar las dos rocas, debido a la dinámica sedimentaria en su formación.
- LUTITAS 1,7%: se incluyen todas las categorías en las que la roca dominante es la lutita. Se diferencia de la categoría LUTITAS Y ARENISCAS en que en estas zonas sí que es posible separar las dos rocas, debido a la dinámica sedimentaria en su formación, al igual que ocurre con las areniscas.
- IGNEA 1,5%: dominan las rocas volcánicas y granitos o similares, cuyo origen está en el enfriamiento de un magma, ya que no se trata de rocas sedimentarias como todas las demás categorías.

Las parcelas tienen una distribución de litologías según se indica en la tabla siguiente para los dos grupos de usos con los que se trabaja, es decir, parcelas agrícolas o forestales.

LITOLOGÍA	USO DEL SUELO	
	AGRÍCOLA	FORESTAL
ARENISCAS	3	28
CALIZA	4	58
IGNEA	0 (*)	4
LUTITAS	0	8
LUTITAS Y ARENISCAS	12	71
MARGA	33	43
MIXTA	10	7

En realidad, existe una parcela con litología ígnea dentro del grupo de los usos agrícolas. Sin embargo se ha asignado como de litología mixta ya que extraer conclusiones a partir de un único dato puede desvirtuar mucho las previsiones.

Por otra parte, se han eliminado los datos de una parcela próxima a la localidad de Ribera Baja en Álava, para evitar que igualmente desvirtúen los resultados. En esta parcela tiene como terreno un relleno con la finalidad de edificar en un polígono industrial, por lo que se ha optado por eliminarla.

9.1.3. Agrupación de datos de la cartografía de vegetación.

Respecto a la cartografía de vegetación, los grupos realizados se recogen en un anejo al final del presente documento. En la tabla siguiente se muestra el porcentaje de superficie que ocupa cada uno de los grupos respecto al total del territorio.

GRUPOS	SUPERFICIE
ALBAR	1,5%
BORTAL	0,6%
BREZAL	8,7%
CARRASCAL	2,3%
CEREAL PATATA REMOLACHA	13,9%
CULTIVO ARBOREO	0,1%
ENCINAR	1,1%
ENEBRO	2,4%
FRONDOSA	0,6%
HAYEDO	6,5%
MARCESCENTES	4,7%
PASTO	1,9%
PRADERA	4,4%
PRADO	15,7%
RADIATA	28,7%
ROBLEDAL	4,7%
SIN VEGETACION	0,6%
VIÑEDO	1,6%

A continuación se detallan las limitaciones más importantes de cada grupo respecto al tipo de vegetación que lo integra. La descripción se hace de mayor a menor porcentaje de superficie, entendiéndose que a menor proporción de superficie ocupada por una categoría, menor importancia tendrá de cara a la cuantificación global de la erosión y por tanto mayor tolerancia se puede consentir respecto a las limitaciones en cuanto a sus características.

- **RADIATA 28,7%:** se incluyen todas las plantaciones forestales que mayoritariamente están pobladas por pino radiata. El mapa de vegetación

no distingue otras especies abundantes como por ejemplo el abeto douglas (*Pseudotsuga menziessii*), que podrían tener características diferentes, aunque no demasiado. Se han unido a este grupo las formaciones de pino marítimo (*Pinus pinaster*), por tener características y manejo similares a las de radiata.

- PRADO 15,7%: se incluyen todas las formaciones herbáceas cuyo origen es antrópico, bien por cultivo o manejo. Es un grupo relativamente homogéneo y más propio de las zonas de clima atlántico.
- CEREAL, PATATA, REMOLACHA 13,9%: el mapa de vegetación no distingue entre estos tres tipos de cultivos, los cuales tienen características muy diferentes de cara a su comportamiento frente a la erosión. Sin embargo es razonable que el mapa no los distinga puesto que se trata muchas veces de cultivos que se van sucediendo en una misma finca a lo largo del tiempo. Dentro de este grupo se ha unido otra categoría del mapa de vegetación de gran extensión, las zonas de vegetación ruderal nitrófila, que son zonas de núcleos habitados, baldíos y similares, ocupando una extensión de unas 27.000 ha, del orden del 3,7% del total del territorio. Se ha unido por su similitud en cuanto a las características de manejo y vegetación.
- BREZAL 8,7%: se incluyen todas las formaciones de brezal y prebrezal, sean de la especie que sean.
- HAYEDO 6,5%: se incluyen todas las formaciones de hayedo, bien sean calcícolas o acidófilos.
- ROBLEDAL 4,7%: se incluyen todas las formaciones de robledal, bien sean calcícolas o acidófilos, independientemente de la especie que se trate. No se ha unido con los hayedos, puesto que a pesar de ser formaciones arbóreas de hoja caduca, la composición del sotobosque del hayedo es muy diferente a la del robledal.
- MARCESCENTES 4,7%: se incluyen todas las formaciones de marojo o rebollo (*Quercus pyrenaica*) y quejigo (*Quercus faginea*), bien sean

calcícolas o acidófilos, de zonas atlánticas o mediterráneas. Se ha distinguido de los robledales, puesto que a pesar de ser formaciones con sotobosque bien desarrollado, la presencia de hojas secas en las copas del arbolado durante el invierno le confiere unas características muy diferentes a la del robledal respecto a la interacción con la lluvia.

- PRADERA 4,4%: se incluyen todas las formaciones de origen natural que implican una cubierta prácticamente total y permanente de vegetación herbácea durante todo el año.
- ENEBRO 2,4%: en esta categoría se incluyen una serie de formaciones vegetales de hoja perenne, asociadas mayoritariamente a zonas de clima mediterráneo o con gran influencia de este y en las que la cubierta de arbustiva es más o menos abierta. Se incluyen las formaciones de enebro, boj y romero.
- CARRASCAL 2,3%: se incluyen las formaciones mayoritariamente arbóreas de encina de zonas de clima mediterráneo o con gran influencia de este. También se incluyen formaciones similares en cuanto a su comportamiento con la erosión con son las formaciones de coscoja y de pino carrasco (*Pinus halepensis*).
- PASTO 1,9%: se incluyen todas las formaciones herbáceas de origen natural en las que la cubierta generalmente no es total ni permanente durante todo el año. En general son zonas de clima mediterráneo y la cubierta vegetal tiene poco desarrollo.
- VIÑEDO 1,6%: se incluye la única categoría que así viene definida en el mapa de vegetación.
- ALBAR 1,5%: se incluye la única categoría que así viene definida en el mapa de vegetación para el pino albar (*Pinus sylvestris*). No se ha agrupado dentro de la categoría RADIATA porque su comportamiento de cara a la erosión es totalmente distinto.
- ENCINAR 1,1%: se incluye la única categoría que así viene definida en el mapa de vegetación. Se trata de bosques cerrados del encinar cantábrico,

generalmente asociado a terrenos calizos. No se incluye dentro del grupo CARRASCAL a pesar de estar poblado igualmente por encina (*Quercus ilex*), ya que se trata de formaciones muy cerradas y densas, por tanto totalmente distintas.

- SIN VEGETACIÓN 0,6%: se incluyen las zonas que están cubiertas por agua o zonas donde el terreno está urbanizado.
- FRONDOSA 0,6%: se incluyen todas las formaciones con vegetación arbórea de frondosas caducifolias que no han sido incluidas en otras categorías ni tienen entidad suficiente para formar un grupo propio. Aparecen zonas con abedul, álamo, aliso, olmo, fresno y bosques de frondosas mixtos.
- BORTAL 0,6%: se incluyen todas las formaciones con vegetación arbustiva con especies termoatlánticas. Aparecen zonas de bortal propiamente dichas, espino, zarza o sauce. La mezcla de especies es heterogénea, pero su reducida extensión, así como la dificultad para incluirlo en otros grupos lo justifica.
- CULTIVO ARBÓREO 0,1%: se incluyen los olivares y los cultivos de almendro.

Las parcelas tienen una distribución de grupos de vegetación según se indica en la tabla siguiente para los dos grupos de usos con los que se trabaja, es decir, parcelas agrícolas o forestales.

Mapa de Erosión de Suelos de la Comunidad Autónoma de Euskadi

LITOLÓGÍA	PARCELAS	
	AGRÍCOLA	FORESTAL
ALBAR	-	7
BORTAL	-	4
BREZAL	-	15
CARRASCAL	-	13
ENCINAR	-	3
ENEBRO	-	7
FRONDOSA	-	14
HAYEDO	-	20
MARCESCENTE	-	12
PASTO	-	3
PRADERA	-	21
RADIATA	-	80
ROBLEDAL	-	20
CULTIVOS ARBOREOS	3	-
CEREAL, PATATA, REMOLACHA	29	-
PRADO	23	-
VIÑEDO	7	-

10. Cálculo y cartografía de la erosión

A continuación se describe el proceso de cálculo para cada una de las variables necesarias en la estimación de los parámetros de los modelos USLE y RUSLE. Se detalla el proceso seguido, la información de partida, los resultados obtenidos y sus limitaciones.

10.1. *Factor R: agresividad de la lluvia.*

En la ecuación USLE su estimación depende de la energía del aguacero y la intensidad de lluvia del periodo considerado para dicho aguacero. Su cálculo anual supone la suma de todos los aguaceros de un año.

Esta expresión tiene un problema y es la dependencia de datos pluviográficos. Puesto que de lo que se dispone siempre es de datos pluviométricos, su aplicación es complicada por la falta de datos. Para simplificar su cálculo existe una ecuación desarrollada por el antiguo ICONA que depende de 3 factores, el valor medio anual de la máxima lluvia mensual, la precipitación media del periodo octubre a mayo y del 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.

Estos datos se obtienen de las estaciones meteorológicas y se puede extender su valor a todo el territorio mediante modelización geoestadística.

Para la ecuación RUSLE también depende de la energía del aguacero y la intensidad de lluvia del periodo considerado, pero se produce un cambio en el modo de evaluar la energía. Como la expresión es distinta, el resultado es

distinto y hay que considerar un nuevo valor de R o comprobar que las diferencias con el modelo USLE son asumibles.

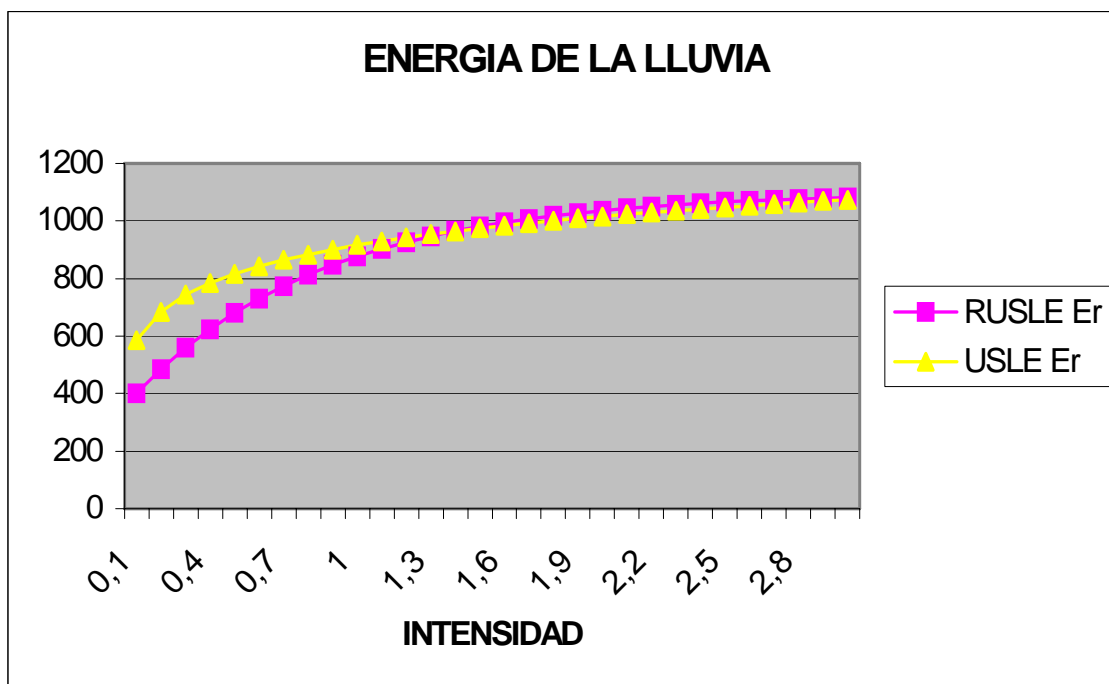
10.1.1. Interpretación ecológica.

Este parámetro recoge la influencia en la erosión que tiene la energía de la lluvia y su capacidad para disgregar y/o arrancar las partículas del suelo para ser transportadas. En este sentido influye la cantidad de lluvia total que cae así como la intensidad de la misma, de modo que a mayor cantidad de lluvia y a mayor intensidad de los fenómenos tormentosos, mayor capacidad de arranque tendrá el agua.

10.1.2. Justificación del uso del modelo simplificado.

La primera operación a realizar es la comparación de su cálculo por el método USLE (sin simplificar) y por el método RUSLE. Si no hay diferencias, podrá aplicarse la ecuación simplificada para ambos métodos, máxime cuando se ha comprobado que el factor R es que menos influye en el total de la expresión del cálculo de la erosión.

En el siguiente gráfico se recoge los resultados obtenidos para el cálculo de la energía de la lluvia según distintas intensidades de aguacero.



Los dos valores no difieren en más del 2% cuando la intensidad de la precipitación es mayor de 1,2 pulgadas/hora (30 mm/hora). Es decir, que para las tormentas grandes, que son las responsables de los fenómenos erosivos de mayor cuantía, ambos métodos son similares, con lo que la simplificación del ICONA del método USLE podría ser un buen método para calcular el factor R.

Se ha realizado una comparación con los datos pormenorizados en cuatro estaciones meteorológicas de Euskadi, aplicando las fórmulas originales sin simplificación a los datos de todo un año en fracciones de 10 minutos. Las estaciones analizadas se ha procurado que sean muy diferentes, para recoger todas las situaciones posibles. Los resultados obtenidos se muestran en la tabla siguiente, para los datos del año 2003.

ESTACIÓN	R USLE	R RUSLE
Derio	74,69	81,82
Navarrete	61,49	50,42
Gorbea	65,39	50,92
Zarautz	82,30	67,68

Las diferencias están entre el 10 y el 30%, por lo que teniendo en cuenta que se trata del parámetro que menor importancia tiene, que para valores altos de precipitación no hay diferencias, que no hay registros de datos pluviográficos suficientes para aplicar las expresiones exactas a periodos de tiempo largos y que los datos de las expresiones exactas son relativamente parecidos, se utiliza tanto para la estimación de la erosión por el método USLE como para el método RUSLE la simplificación del ICONA.

10.1.3. Cálculo y extensión de los datos.

Para el cálculo del parámetro se ha empleado el método simplificado del ICONA. Los datos de las estaciones meteorológicas empleados son los que tiene publicados el Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, para las estaciones de Euskadi y algunas próximas para poder extender los datos al conjunto del territorio sin que queden sombras.

El conjunto de datos se muestra en un anejo al final del presente documento. En total se han empleado 72 estaciones dentro de Euskadi y 28 limítrofes, lo que supone un total de datos de 100 estaciones meteorológicas.

El reparto del factor R para cada mes se ha realizado aplicando los porcentajes acumulados que se dan en las tablas para cada vertiente y que se detallan en la descripción de la metodología.

Una vez obtenido el valor de R para cada punto se ha procedido a su extensión al resto del territorio. Para ello se ha probado con dos técnicas, el krigado ordinario esférico y la interpolación ponderada por el inverso de la distancia, en ambos casos empleando un sistema de información geográfica.

El método de krigado en principio debería ofrecer mejores ajustes, puesto que minimiza la varianza total del modelo. Sin embargo, en el entorno de las estaciones meteorológicas es donde aparecen las mayores diferencias entre los valores predichos y los observados. Puesto que las estaciones meteorológicas generalmente están en el entorno de núcleos de población o en lugares donde se concentra la actividad humana, es en estas zonas donde interesa que el modelo predictivo se separe lo menos posible de los valores observados, aún a riesgo de que la predicción global pudiera tener menor precisión en zonas alejadas de las estaciones meteorológicas.

Por tanto, el método con el que se ha realizado la extensión del factor R al conjunto del territorio ha sido la interpolación ponderada por el inverso de la distancia. La técnica empleada asigna para cada punto del territorio un valor en función de las 8 estaciones meteorológicas más cercanas, ponderado en función del inverso de la distancia y utilizando un radio variable ya que la distribución de las estaciones meteorológicas no se corresponde con una malla regular.

Ahora bien, este método por sí sólo no es preciso, puesto que hay que tener en cuenta el relieve a la hora de extrapolar los datos, ya que el factor R depende directamente de las precipitaciones y estas de la altitud.

Para corregir esta situación se ha aplicado el siguiente razonamiento. Cada 100 metros de altitud se asume que la precipitación se incrementa en un 8%,

excepto para los fenómenos tormentosos, para los que se supone que no dependen de la altitud. La relación entre las precipitaciones en un punto P_A que está a una altitud H_A y un punto P_B que está a una altitud H_B es la siguiente.

$$P_B = P_A * [1 + (0,08 * (H_B - H_A) / 100)]$$

En la expresión para el cálculo del factor R participan la precipitación del mes más lluvioso (PMEX), la de octubre a mayo (MR) y un cociente entre precipitaciones máximas en 24 horas (F24). De estos parámetros hay dos que no se pueden atribuir a fenómenos tormentosos (PMEX y MR) y uno que sí (F24). Por tanto, la diferencia entre el valor del factor R que se produce en un punto y el que se produce en el mismo lugar a la misma cota sería el siguiente.

$$R_{\text{correg}} = e^{-0,834} * (PMEX * [1 + (0,08 * (H_B - H_A) / 100)])^{1,314} * (MR * [1 + (0,08 * (H_B - H_A) / 100)])^{-0,388} * (F24)^{0,563}$$

A partir de la expresión anterior se realizan una serie de cálculos que se reproducen a continuación.

$$R_{\text{co}} = e^{-0,834} * PMEX^{1,314} * [1 + (0,08 * (H_B - H_A) / 100)]^{1,314} * MR^{-0,388} * [1 + (0,08 * (H_B - H_A) / 100)]^{-0,388} * (F24)^{0,563}$$

$$R_{\text{co}} = e^{-0,834} * PMEX^{1,314} * MR^{-0,388} * (F24)^{0,563} * [1 + (0,08 * (H_B - H_A) / 100)]^{1,314} * [1 + (0,08 * (H_B - H_A) / 100)]^{-0,388}$$

$$R_{\text{co}} = R * [1 + (0,08 * (H_B - H_A) / 100)]^{1,314} * [1 + (0,08 * (H_B - H_A) / 100)]^{-0,388}$$

$$R_{\text{co}} = R * [1 + (0,08 * (H_B - H_A) / 100)]^{0,926}$$

De lo que se deduce que para corregir el factor R con la altitud es suficiente con multiplicar al valor conocido a una determinada altitud por el factor de corrección $[1 + (0,08 * (H_B - H_A) / 100)]^{0,926}$.

Con el cálculo extendido al conjunto del territorio se ha procedido a corregir con la altitud aplicando el factor anterior mediante el siguiente procedimiento. Se ha realizado una extensión de la altitud de cada estación meteorológica por el mismo método que el empleado para extender el valor de R, con lo que se

tiene un valor de altitud ficticia que es el que le corresponde al valor R extendido inicialmente. A partir del modelo digital del terreno se conoce la altitud real de cada punto del territorio, con lo que la diferencia de altitudes es la que se aplica al factor de corrección anterior para conocer el verdadero valor de R en cada punto teniendo en cuenta las variaciones de las precipitaciones con la altitud.

10.1.4. Limitaciones del resultado.

A pesar de que se ha realizado una simplificación para el cálculo del factor R, se demuestra que el resultado es válido y no tiene limitaciones para su aplicación en el cálculo de la erosión.

10.2. Factor K: susceptibilidad del suelo a la erosión.

En el modelo USLE este factor depende de cuatro variables, contenido en materia orgánica, granulometría, textura y estructura del horizonte superficial del suelo. En el modelo RUSLE se complementa con valores de pedregosidad, afloramientos rocosos y considerando una variabilidad del factor a lo largo del año en función del contenido de humedad y la presencia de heladas.

Para modelizar estas propiedades es necesario un mapa de propiedades edáficas. No obstante, como no se dispone de ello se modelizan estos parámetros a partir de la información recabada en las parcelas elaboradas y el resultado se extiende al conjunto del territorio utilizando los mapas de vegetación y litología.

10.2.1. Interpretación ecológica.

Este parámetro recoge la influencia que tiene la susceptibilidad del suelo para ser erosionado en el cálculo total de la erosión. La interpretación ecológica de cada uno de los factores que intervienen en su cálculo puede hacerse del siguiente modo.

- Cuanto mayor cantidad de materia orgánica tenga el horizonte superficial del suelo, mayor agregación presentarán sus partículas y menos susceptible a la erosión será.
- Cuanto más fuerte sea la estructura del suelo, más difícil será que sus partículas se separen y sean arrastradas por el agua de lluvia.
- Cuanto mayor permeabilidad tenga el suelo, menor cantidad de agua circulará por escorrentía y por tanto menor erosión se producirá.
- Cuanto mayor sea la proporción de partículas del suelo de tamaño intermedio, menor será la susceptibilidad a la erosión, ya que la abundancia de arcilla hace que estas partículas se apelmacen y la abundancia de arena aumenta el peso relativo de las partículas a arrastrar.

Los elementos que incorpora el modelo RUSLE tienen también su interpretación ecológica que se realiza a continuación.

- Cuanto mayor es la cantidad de afloramientos superficiales de roca, menor es la cantidad de suelo sometida al proceso erosivo.
- Cuanto mayor proporción de elementos gruesos dentro del perfil del suelo, al igual que en caso anterior, menor es la cantidad de tierra fina sometida al proceso erosivo.
- Si la variabilidad del valor del parámetro K hace que su valor en un momento dado sea significativamente distinto del valor medio anual, puede ocurrir que en ese momento se produzcan las mayores pérdidas de suelo si

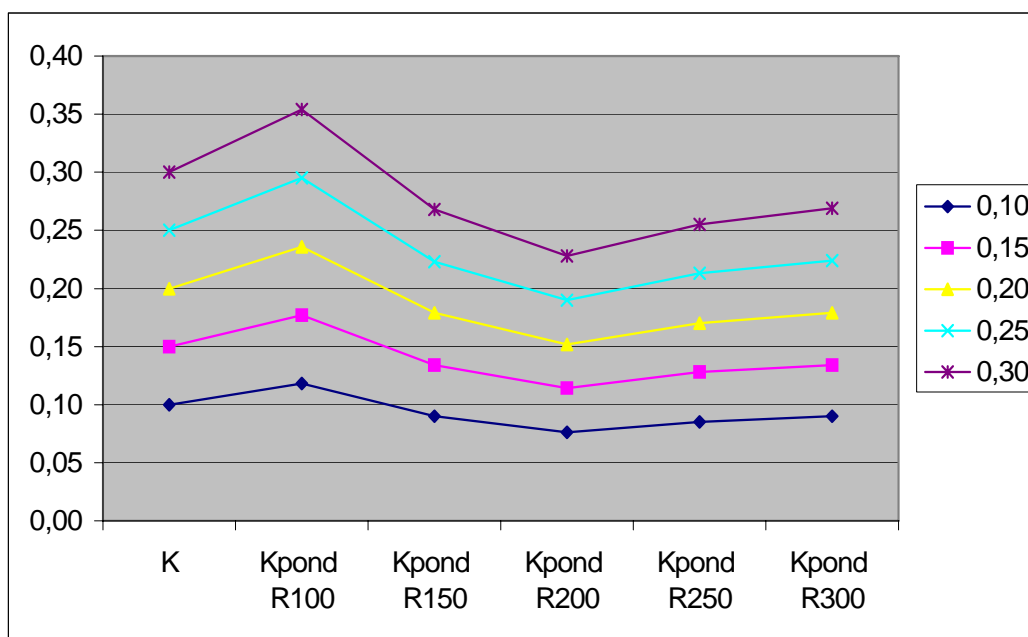
coincide con elevados valores de otros parámetros, como la agresividad de la lluvia o una reducida cubierta vegetal.

10.2.2. Variabilidad anual.

De todos los parámetros que intervienen en el cálculo del factor K el único que complica de forma importante su determinación es la consideración de su variabilidad anual para el modelo RUSLE, puesto que obliga a considerar a su vez el valor del factor R en cada punto del territorio.

Se ha calculado el valor del parámetro K sin considerar la variabilidad anual y considerándola, para un suelo sin afloramientos de roca y con el 100% de tierra fina. Se ha considerado también el máximo del periodo libre de heladas de 183 días, que es el valor máximo que permite el modelo y se ajusta bien a las características de Euskadi. Se ha calculado para los valores típicos del factor K que aparecen en el territorio de estudio y para un rango de valores de R igualmente representativos de los que aparecen en Euskadi. Para la ponderación se ha considerado la variabilidad del factor R en las zonas de clima mediterráneo, ya que en las zonas atlánticas la variabilidad es menor. El resultado obtenido es el siguiente.

K	Kpond R100	Kpond R150	Kpond R200	Kpond R250	Kpond R300
0,10	0,118	0,090	0,076	0,085	0,090
0,15	0,177	0,134	0,114	0,128	0,134
0,20	0,236	0,179	0,152	0,170	0,179
0,25	0,295	0,223	0,190	0,213	0,224
0,30	0,354	0,268	0,228	0,255	0,269



Como puede observarse en la tabla y en el gráfico las diferencias no son importantes entre el valor de K sin considerar la variabilidad anual y considerándola. Por tanto, para el cálculo del factor K del modelo RUSLE no se considera la variabilidad anual. Esta decisión se justifica además con otros dos argumentos.

Por una parte, hay que tener en cuenta que en los terrenos forestales el resto de parámetros del modelo predictivo de erosión se consideran constantes a lo largo del año, por lo que darle mayor peso al valor que tiene el factor K durante alguno de los meses del año no se corresponde con la ponderación del cálculo del resto de factores.

Por otra parte, incluir un factor de variabilidad en el factor K basado en los valores del factor R, cuando este factor ya tiene su apartado propio en los modelos de cálculo de la erosión y además recoge el factor del clima, puede hacer que aparezcan diferencias, aunque poco importantes, debidas a la meteorología en un factor típicamente edáfico.

10.2.3. Modelización.

Para extrapolar los valores de los parámetros de los que depende el factor K al conjunto del territorio se ha intentado crear modelos matemáticos predictivos. El resultado de los mismos no es satisfactorio, por lo que se ha recurrido a la asignación estadística en vez de a la modelización como método de extensión territorial de los datos.

No obstante se considera de interés reflejar los modelos probados para que futuras mejoras del presente trabajo consideren los caminos fallidos que han sido evaluados, para que así puedan centrar sus esfuerzos en otras direcciones.

Los parámetros que es necesario extrapolar son todos numéricos. Se trata de los contenidos en materia orgánica, arcilla, limo, arena fina, la estructura, la permeabilidad, el porcentaje de afloramientos y el porcentaje de tierra fina.

La primera operación realizada es seleccionar las variables de las que puede depender cada uno de los factores a predecir, puesto que no deben entrar en el modelo aquellas variables que no tengan una significación ecológica a pesar de que pudieran tener significación estadística. A continuación se detalla cada uno de ellos, así como la justificación de su posible relación ecológica con los parámetros a predecir.

- Altitud: condiciona las temperaturas y por tanto los procesos edafogenéticos.
- Pendiente: limita la formación del suelo y por tanto puede estar relacionada con la granulometría.
- Orientación: es un estimador de la energía del sol recibida y por tanto de la intensidad de los procesos biológicos asociados a los edafogenéticos.
- Litología: condiciona el substrato base.
- Vegetación: es uno de los agentes formadores de suelos.
- Cubierta aérea de la vegetación: podría estimar el grado de desarrollo de la vegetación y por tanto la intensidad con que se manifiesta este agente formador. Se considera los valores de los tres estratos como tres variables separadas para arbolado, matorral y herbáceo. Para usos agrícolas este parámetro no se considera ya que es variable en el tiempo.
- Porcentaje de suelo desnudo: su interpretación podría ser similar al parámetro anterior, pero considerando además la presencia de restos sobre el suelo. Para usos agrícolas este parámetro no se considera ya que es variable en el tiempo.
- Espesor total del suelo: podría informar sobre el grado de evolución de los suelos y por tanto podría estar relacionado con sus características granulométricas.
- Años de abandono del cultivo: para cultivos agrícolas podría informar sobre la evolución del contenido en materia orgánica y la estructura del suelo.

Con todos los parámetros anteriores se intenta ajustar un modelo matemático para predecir las variables que permitirán estimar los valores del factor K. El modelo que se intenta es la regresión lineal multivariante paso a paso, fijando como umbral de admisión de variables a incorporar al modelo un valor mayor de 4 del estadístico F de Snedecor y fijando un umbral de exclusión de variables del modelo un valor menor de 4 del estadístico F de Snedecor. Este

proceso de va haciendo simultáneamente, de modo que las variables entran o salen del modelo según se va perfeccionando el mismo.

Para poder realizar esta modelización es necesario convertir todos los parámetros en variables numéricas. A continuación se detallan los pasos realizados.

El método empleado para convertir la variable orientación en una variable numérica es asignar el valor 0 a las orientaciones de umbría y el valor 1 a las de solana, pasando por todos los valores intermedios. De este modo se tendría un estimador de la energía recibida por el sol a modo de porcentaje. Los valores asignados son: noreste 0; norte y este 0,25; sureste y noroeste 0,5; oeste y sur 0,75; suroeste 1.

El método empleado para convertir la variable litología en una variable numérica es crear n variables ficticias, siendo n el número de categorías de la variable litología. De modo que se han creado 7 variables del tipo “litología caliza”, “litología arenisca”, etc. de modo que para una parcela cuya litología fuese caliza aparecería como valor 1 en el campo de su variable ficticia y 0 en las demás variables ficticias relativas a la litología interpretándose como una variable binomial de presencia ausencia.

El método empleado para convertir la variable vegetación en una variable numérica es el mismo que para la litología. Como toda la información se ha trabajado en dos bloques, las parcelas agrícolas y las parcelas de usos forestales, el tratamiento estadístico se ha hecho igualmente separado, ya que se considera que ambos sistemas tienen características lo suficientemente dispares como para conferir al terreno caracteres propios. Los resultados obtenidos se detallan a continuación.

Parcelas de uso forestal:

Materia orgánica	R ² (ajustado) 0,0459
6,662173+ALTITUD*0,001486-PENDIENTE*0,039911	
Arcilla	R ² (ajustado) 0,2023
28,382189-ALTITUD*0,007808-VEGETACIÓN_ALBAR*6,733357- VEGETACIÓN_PRADERA*4,383421-LITOLOGÍA_ARENISCA*6,960087	
Limo	R ² (ajustado) 0,1712
36,424591-ALTITUD*0,015466-VEGETACIÓN_ENEBRO*10,52953- SUELO_DESNUDO*0,133878	
Arena fina	R ² (ajustado) 0,1458
20,200885+ALTITUD*0,014836+SUELO_DESNUDO*0,177702	
Estructura	R ² (ajustado) 0,1255
2,369415-LITOLOGÍA_ARENISCA*0,507011+FCC_ÁRBOL*0,004097- LITOLOGÍA_ÍGNEA*0,886887-SUELO_DESNUDO*0,007251	
Permeabilidad	R ² (ajustado) 0,2157
4,540584-ALTITUD*0,000846-VEGETACIÓN_ALBAR*0,810977- VEGETACIÓN_PRADERA*0,360147- LITOLOGÍA_ARENISCA*0,606817+LITOLOGÍA_CALIZA*0,257919	
Afloramientos	R ² (ajustado) 0,4923
4,519314+PENDIENTE*0,301311- VEGETACIÓN_ALBAR*8,819694+VEGETACIÓN_CARRASCAL*13,359218+ VEGETACIÓN_ENCINAR*34,490614+VEGETACIÓN_ENEBRO*11,666219+LIT OLOGÍA_CALIZA*11,198146+LITOLOGÍA_MIXTA*16,981771- ESPESOR_SUELO*0,117833	
Tierra fina	R ² (ajustado) 0,1906
98,731954-PENDIENTE*0,559423-RADIACIÓN*0,718705- LITOLOGÍA_ÍGNEA*17,838864+LITOLOGÍA_MARGA*7,576731	

Parcelas de uso agrícola

Materia orgánica	R ² (ajustado) 0,0000
No entra ninguna variable en el modelo	
Arcilla	R ² (ajustado) 0,2228
32,971945-LITOLOGÍA_ARENISCA*9,438612-LITOLOGÍA_CALIZA*8,863343-VEGETACIÓN_PRADO*6,234409	
Limo	R ² (ajustado) 0,1375
23,218644+VEGETACIÓN_CULTIVOSARBOREOS*18,914689	
Arena fina	R ² (ajustado) 0,0879
37,12587-PENDIENTE*0,867969	
Estructura	R ² (ajustado) 0,2086
2,380388-LITOLOGÍA_ARENISCA*0,921336-VEGETACIÓN_VIÑEDO*0,688578	
Permeabilidad	R ² (ajustado) 0,1252
4,777778-LITOLOGÍA_ARENISCA*0,777778-VEGETACIÓN_PRADO*0,386473	
Afloramientos	R ² (ajustado) 0,0889
7,24+LITOLOGÍA_LUTITA_ARENISCA*11,926667	
Tierra fina	R ² (ajustado) 0,1414
89,864967-LITOLOGÍA_LUTITA_ARENISCA*14,592989-VEGETACIÓN_CEREAL*7,765934	

Los resultados en general son bastante malos. El coeficiente de correlación r^2 ajustado puede dar una idea de la bondad del ajuste en función de su proximidad a la unidad. En el mejor de los casos el valor obtenido es 0,49 presentando la mayoría de los modelos unos valores entre 0,1 y 0,2. El modelo que presenta un ajuste de $r^2(\text{ajustado})=0,49$ ni siquiera podría emplearse razonablemente, ya que el modelo predice la presencia de afloramientos de

roca con la participación de muchas variables relacionadas con la vegetación y no con la litología como cabría esperar.

A la vista de estos resultados se opta por extender a la totalidad del territorio los valores de los parámetros que permiten el cálculo del factor K mediante asignación estadística, es decir, creando grupos homogéneos en función de alguna variable ambiental para la que exista cartografía y asignar el valor mediana de las parcelas a esos grupos homogéneos.

El fracaso en la modelización no debe entenderse como un fracaso en el resultado del trabajo, puesto que la asignación estadística ofrece resultados con la misma calidad que la modelización, siempre y cuando los grupos sean lo suficientemente homogéneos.

De hecho, este puede ser uno de los motivos del fracaso en la modelización, ya que si los grupos son muy homogéneos y no existe un gradiente entre ellos, no existirá modelo posible que se ajuste a los datos y sin embargo sí que se podrá asignar un valor correcto a cada grupo. La separación de los datos en dos bloques, los que provienen de usos agrícolas y los usos forestales puede ser una división lo suficientemente homogénea que hace que otros subgrupos dentro de estos dos grandes bloques no presenten gradientes de variación suficientes como para conseguir su modelización.

No obstante también cabe pensar que la modelización puede fracasar porque la naturaleza es mucho más compleja de lo que un modelo estadístico es capaz de explicar y es posible que cada punto del territorio tenga unas características ambientales que no siempre es posible predecir.

10.2.4. Cálculo y extensión de los datos.

Puesto que la cartografía existente para poder extender los valores del factor K a la totalidad del territorio son los mapas de vegetación y litología, es en función de estos dos parámetros respecto de los cuales se calculan todas las variables que influyen en el valor del factor K, agrupando los datos de las parcelas en dos bloques, las de usos forestales y las de usos agrícolas. La agrupación de todas las categorías aparece en sendos anejos al presente documento.

Se ha calculado el valor mediana para cada conjunto homogéneo de vegetación y litología de cada uno de los factores que intervienen en el cálculo del factor K, aplicando tanto la metodología USLE como la RUSLE. Para aquellos grupos para los que no existen datos se les ha asignado el valor mediana de la categoría de vegetación o de litología a la que pertenecen, decantándose por una u otra en función de la mayor o menor relación que puedan tener con el parámetro a estimar.

Es decir, que si para estimar el contenido en materia orgánica de la categoría “Carrascal sobre Areniscas” no existen parcelas y por tanto no existen datos para esa combinación, se le asigna el valor mediana para las formaciones vegetales de “Carrascal”, ya que el contenido en materia orgánica está más relacionado con la vegetación que con la litología. La misma estrategia se ha seguido con la estructura de los suelos, asignando el valor mediana de la formación vegetal cuando no hay datos para una determinada combinación. Para todos los demás parámetros, es decir, para el contenido en arcilla, limo, arena fina, permeabilidad, afloramientos y contenido en tierra fina, se ha asignado el valor mediana de la litología cuando no existen datos para una determinada combinación.

Los resultados se recogen en un anejo al final del presente documento, donde para cada combinación de litología y vegetación, tanto para las parcelas de usos agrícolas como de usos forestales, se les asigna un valor de los parámetros que permiten calcular K. A continuación se justifican los razonamientos estadísticos que dan validez a los resultados.

En primer lugar se ha realizado un análisis de varianza para detectar la presencia de diferencias significativas entre grupos para cada parámetro, realizando este análisis para cada uno de los grupos, parcelas agrícolas y parcelas forestales.

En las tablas siguientes se recoge el resultado obtenido, por vegetación y por litología. En ellas se recoge el nivel de significación del análisis, pudiendo asumirse que las diferencias son significativas al 95% de probabilidad cuando dicho nivel de significación sea inferior a 0,05. Este resultado se resalta en negrita.

PARÁMETROS POR VEGETACIÓN O CULTIVO	ANALISIS VARIANZA	
	AGRÍCOLA	FORESTAL
MATERIA ORGÁNICA	,6742	,1005
ARCILLA	,0497	,0328
LIMO	,0029	,0023
ARENA FINA	,0391	,0165
ESTRUCTURA	,0118	,2564
PERMEABILIDAD	,2113	,0036
AFLORAMIENTOS	,2060	,0000
TIERRA FINA	,1380	,0555

PARÁMETROS POR LITOLOGÍA	ANÁLISIS VARIANZA	
	AGRÍCOLA	FORESTAL
MATERIA ORGÁNICA	,3029	,6288
ARCILLA	,0489	,0003
LIMO	,6456	,0935
ARENA FINA	,6711	,1813
ESTRUCTURA	,0610	,0014
PERMEABILIDAD	,1706	,0002
AFLORAMIENTOS	,3289	,0000
TIERRA FINA	,1502	,0123

En función de los resultados de las tablas anteriores puede asegurarse que existen diferencias significativas entre los valores del contenido en arcilla para las distintas categorías de litología dentro de los usos forestales ($0,0003 < 0,05$), pero no se puede asegurar que existan diferencias significativas entre los distintos valores de permeabilidad para cada grupo de cultivo dentro de los usos agrícolas ($0,2113 > 0,05$).

No obstante estas relaciones pueden inducir a confusión. Es suficiente con que uno de los grupos sea muy diferente a los demás para que en análisis de varianza lo detecte. Dicho de otro modo, del ejemplo comentado en el que existen diferencias significativas para los contenidos de arcilla, el grupo de litología arenisca presenta unos valores muy diferentes al resto de categorías, pero estas entre sí tienen unos valores mucho más parecidos de lo que podría pensarse a partir de un resultado del análisis de varianza tan rotundo.

Por tanto, el siguiente paso es realizar el análisis de varianza para cada parámetro comparando con un grupo y los demás. Por ejemplo, se analiza si para el contenido en limo, la categoría arenisca presenta diferencias

significativas respecto a las demás categorías litológicas en su conjunto. En las siguientes tablas se muestra el nivel de significación que presenta el análisis de varianza para cada grupo enfrentado a los demás, resaltando en negrita el nivel significativo. El análisis se ha realizado, como en el caso anterior, para los dos bloques de parcelas agrícolas y forestales por separado.

PARÁMETROS POR LITOLOGÍA	ANÁLISIS VARIANZA PARCELAS AGRÍCOLAS				
	AREN	CALIZA	LUT ARE	MARGA	MIXTA
MATERIA ORGÁNICA	,0714	,2741	,4823	,5466	,1954
ARCILLA	,1500	,0498	,3631	,0295	,0734
LIMO	,3146	,2557	,2192	,7629	,4748
ARENA FINA	,2141	,8110	,2366	,4050	,5068
ESTRUCTURA	,0015	,9821	,6348	,1151	,8452
PERMEABILIDAD	,0700	,2236	,3168	,1523	,2492
AFLORAMIENTOS	,9577	,9131	,0106	,2095	,3572
TIERRA FINA	,2036	,5326	,0083	,0992	,3995

PARÁMETROS POR LITOLOGÍA	ANÁLISIS VARIANZA PARCELAS FORESTALES						
	AREN	CALIZ	IGN	LUT	L ARE	MAR	MIXT
MATERIA ORGÁNICA	,9676	,2610	,5328	,2789	,1487	,4436	,8823
ARCILLA	,0000	,9035	,6040	,0862	,4117	,0443	,9493
LIMO	,0271	,1242	,8822	,7488	,0195	,3535	,6031
ARENA FINA	,0419	,1585	,8531	,8181	,0367	,3754	,7638
ESTRUCTURA	,0013	,9976	,0384	,8896	,0009	,8059	,4972
PERMEABILIDAD	,0000	,7835	,9026	,0770	,1307	,3649	,7288
AFLORAMIENTOS	,0862	,0000	,5643	,2329	,0007	,1158	,7726
TIERRA FINA	,0851	,7964	,0215	,2612	,9238	.0048	,6083

Mapa de Erosión de Suelos de la Comunidad Autónoma de Euskadi

PARÁMETROS POR VEGETACIÓN	ANÁLISIS VARIANZA PARCELAS AGRÍCOLAS			
	CEREAL,...	CULT ARB	PRADO	VIÑEDO
MATERIA ORGÁNICA	,4292	,5350	,3647	,5758
ARCILLA	,1180	,8832	,0071	,1438
LIMO	,1364	,0018	,2326	,1244
ARENA FINA	,2505	,0123	,4103	,2562
ESTRUCTURA	,3894	,8570	,2685	,0009
PERMEABILIDAD	,1090	,8364	,0327	,5832
AFLORAMIENTOS	,2428	,2533	,1419	,2431
TIERRA FINA	,1249	,3009	,0651	,2785

PARÁMETROS POR VEGETACIÓN	ANÁLISIS VARIANZA PARCELAS FORESTALES												
	ALB	BOR	BRE	CAR	ENC	ENE	FRO	HAY	MAR	PAS	PRA	RAD	ROB
MATERIA ORGÁNICA	,4432	,0537	,4761	,0884	,2401	,8781	,0780	,9011	,0667	,3604	,6636	,0701	,6069
ARCILLA	,0119	,1884	,5687	,8973	,6060	,5459	,3134	,0221	,2836	,4318	,1304	,0609	,1934
LIMO	,0274	,3938	,4768	,0026	,3602	,2366	,3048	,0078	,2866	,8120	,1344	,4108	,1555
ARENA FINA	,2179	,6247	,2788	,0073	,1850	,8668	,5481	,0020	,8744	,8865	,0873	,4797	,3359
ESTRUCTURA	,4972	,1792	,4503	,2121	,0301	,4972	,5555	,8212	,8637	,7454	,1167	,4620	,1161
PERMEABILIDAD	,0055	,1373	,2319	,8774	,5066	,1649	,2107	,0119	,0681	,5066	,2206	,0764	,3388
AFLORAMIENTOS	,2726	,3684	,1602	,0000	,0000	,0279	,7638	,2068	,5768	,4362	,9428	,0008	,7580
TIERRA FINA	,0503	,4119	,7479	,8383	,0761	,5747	,1150	,1734	,3712	,7250	,0071	,1199	,9787

De las tablas anteriores puede deducirse que para algunos parámetros sí que existen diferencias significativas para alguna de las categorías de vegetación y/o litología, pero evidentemente no para todas. Por tanto, la asignación estadísticas será un buen método de extensión de los valores de los parámetros, puesto que para los grupos que sean significativamente distintos a los demás, el valor mediana también será diferente y para aquellos grupos en los que no exista diferencias, el valor mediana no será mejor estimador que el

valor mediana del grupo general de vegetación o litología, pero al menos no será peor.

10.2.5. Limitaciones del resultado.

Para cada combinación de litología y vegetación se ha calculado un valor del parámetro K, según la metodología USLE y la RUSLE. Por tanto, sean cuales sean el resto de condiciones ecológicas del terreno, a igualdad de litología y vegetación se le asigna el mismo valor de K.

En función de los resultados obtenidos, el parámetro K no presenta un rango muy grande de variación para el territorio estudiado como a priori podría pensarse. En la tabla siguiente se recogen los valores máximos y mínimos para cada una de las combinaciones de vegetación y litología según las dos metodologías USLE y RUSLE y para los usos agrícolas y forestales, eliminando el 10% de los valores extremos para evitar que valores puntuales muy alejados hagan percibir al conjunto de datos como más variable de lo que realmente son.

	AGRÍCOLA		FORESTAL	
	K _{USLE}	K _{RUSLE}	K _{USLE}	K _{RUSLE}
MÍNIMO	0,251	0,201	0,145	0,102
MÁXIMO	0,399	0,341	0,325	0,284

Por tanto, a pesar de que se asigne un único valor a la misma combinación de litología y vegetación, este parámetro no aporta mucha variabilidad al valor total de la erosión y aunque se dispusiera de una modelización que permitiera ajustar más la predicción de K, su contribución a la estimación del valor final de la erosión no lo mejoraría significativamente.

10.3. Factor L: longitud de ladera.

En la ecuación USLE este factor se evalúa mediante expresiones que consideran la longitud de ladera. En la ecuación RUSLE este factor se evalúa mediante expresiones que consideran la pendiente del terreno y la longitud de ladera.

Por tanto, es necesario utilizar, por medio de un sistema de información geográfica, un modelo digital del terreno y cartografía de líneas o elementos que corten la ladera (pistas, carreteras, red hidrográfica, poblaciones, etc.), puesto que estas modifican la longitud de la ladera.

10.3.1. Interpretación ecológica.

Este parámetro recoge la influencia en la erosión que tiene la longitud de la ladera. A mayor longitud de ladera mayor capacidad de arrastre del flujo de escorrentía, puesto que mayor cantidad de energía potencial se convierte en energía cinética. Por tanto cuanto más larga sea una ladera sin interrupciones del flujo de circulación del agua, mayor potencial erosivo tendrá el agua que corre ladera abajo.

El flujo del agua no se inicia en la parte más alta de la ladera, pero sí muy próximo a ella, puesto que es necesario la existencia de unos metros de recorrido del agua para que se genere escorrentía. El flujo de agua se interrumpe al llegar a los cauces, sean permanentes o estacionales, o a las vaguadas, ya que en este caso el fenómeno erosivo deja de ser laminar para convertirse en erosión concentrada.

No obstante, el flujo de agua puede ser interrumpido de forma artificial por infraestructuras como caminos o edificaciones, así como por cualquier otro elemento artificial que frene la circulación del agua.

10.3.2. Determinación de los elementos de corte.

A partir de la cartografía digital actualizada del gobierno vasco a escala 1:5.000 del año 2002 se ha seleccionado todos los elementos que se considera que pueden interrumpir el flujo del agua en la ladera. Estos elementos son las edificaciones, las vías de comunicación y los ríos.

Con todo ello se ha generado una capa cartográfica de información en formato raster con resolución 5x5 metros, asignando el valor 1 a la presencia de obstáculos y 0 al resto del territorio.

Respecto a las edificaciones, para tener en cuenta los elementos artificiales que pudieran estar incluidos en el interior de los núcleos de población y que no están cartografiados, se ha procedido a considerar como terreno urbanizado aquellas porciones del territorio que estando situadas entre dos edificios distan menos de 25 metros a alguno de ellos. Para ello se ha asignado a cada pixel el mayor valor de los que aparecen en una matriz de 11x11 píxeles de la cual el pixel objetivo es el centro y posteriormente se le asigna a cada pixel el menor valor de los que aparecen en una matriz de 11x11 píxeles de la cual el pixel objetivo es el centro.

Con las vías de comunicación se ha hecho algo similar, pero considerando una distancia de 10 metros, de modo que el terreno que pudiera estar en el interior de la mediana de una autopista, por ejemplo, se considera como terreno urbanizado y por tanto que interrumpe el flujo. Las operaciones de asignar valores máximos y mínimos se ha realizado en este caso con matrices de 5x5 píxeles.

10.3.3. Determinación de la dirección del flujo.

A partir del modelo digital del terreno del gobierno vasco de resolución 5x5 del año 2002 se ha calculado la dirección del flujo del agua, teniendo en cuenta para cada pixel del territorio los ocho que le rodean (flowdirection). En función de esto existen dos posibles resultados, o bien el agua no circula por tratarse de un terreno llano o bien se conoce para cada punto la dirección que seguirá el agua de escorrentía.

Puesto que esta circulación del agua puede ser interrumpida con los elementos de corte, el resultado de dirección de flujo anterior se corrige con estos elementos, de modo que a la configuración del terreno se le une los elementos antrópicos que interrumpen el flujo.

El resultado es una capa de información geográfica en formato raster donde se utilizan una serie de códigos que indican la dirección del flujo donde el valor más alto asignado (255) significa interrupción de la escorrentía.

10.3.4. Determinación de la longitud de ladera.

A partir del resultado anterior, conocida la dirección del flujo y los elementos que lo interrumpen, el paso siguiente consiste en contar, para cada punto del territorio, los píxeles que hay aguas arriba siguiendo la dirección del flujo hasta el inicio del mismo y convertirlos en unidades métricas.

Cabe indicar que la práctica totalidad de la información bibliográfica consultada respecto al cálculo de este parámetro mediante sistemas de información geográfica tiene errores a la hora de realizar esta operación, puesto que utilizan una orden que calcula el caudal de agua acumulado (flowaccumulation) para toda la cuenca vertiente aguas arriba y no la longitud recorrida (flowlength), de

modo que si en un punto se cruzan las líneas de dos o más flujos, erróneamente se calcula la suma de todas las longitudes de ellos en vez de asignar la longitud máxima.

Por último, se realiza una corrección sobre el resultado bruto anterior, consistente en suavizar el resultado obtenido para evitar que el nivel de detalle tan elevado del modelo digital del terreno ofrezca un resultado que no se adecue a la realidad.

En el resultado bruto se detectan pequeños flujos de ladera que se inician en medio de ella y terminan en lugares inesperados, lo cual se ha filtrado asignando a cada pixel el mayor valor de la matriz de 5x5 píxeles de la cual es el centro. A dicho resultado, una vez convertido en unidades métricas, se le resta el valor 12 (dimensión diagonal de dos píxeles contiguos) para no sobrestimar el valor longitud de ladera. El valor de esta resta no se aplica a aquellos píxeles cuyo valor sea inferior a 12, a los que se le asigna directamente el valor cero, consiguiendo así corregir el desfase entre zonas de inicio de la pendiente y lugar de inicio del flujo.

10.3.5. Limitaciones del resultado.

El resultado es directamente aplicable a la totalidad del territorio y no tiene limitaciones para su aplicación en el cálculo de la erosión.

10.4. Factor S: pendiente.

Tanto para la ecuación USLE como para la RUSLE este factor se evalúa mediante expresiones que consideran la pendiente del terreno, en porcentaje para la primera ecuación y en grados para la segunda.

Por tanto, con un modelo digital del terreno es suficiente para proceder a su cálculo a través de un sistema de información geográfica, con la precaución de que en las expresiones trigonométricas es frecuente que haya que trabajar con los ángulos en radianes.

La obtención de este parámetro es inmediata y no tiene limitaciones para su aplicación en el cálculo de la erosión. Su interpretación ecológica se realiza en términos de energía del agua, puesto que a mayor pendiente mayor será la capacidad del arrastre del agua.

10.5. Factor C: cubierta vegetación.

En la ecuación USLE el factor C factor depende de distintos parámetros según los usos del suelo. Para cultivos agrícolas, este factor depende de los ciclos de cultivos, tipos de cultivo y manejo de los residuos de las cosechas. Para pastizales, matorrales y arbustos depende del tipo y altura de la cubierta vegetal, del tipo de recubrimiento que tiene la vegetación y de los restos vegetales sobre el suelo, en tipo y porcentaje. Para bosques depende de la cubierta arbórea, de la cubierta en contacto con el suelo y del control o no del pastoreo. No obstante está tabulado y para asignar un valor a una determinada situación de vegetación es suficiente con consultar las tablas que proporciona el modelo.

La determinación del factor C para la ecuación RUSLE es muchísimo más compleja, porque depende de 5 parámetros que a su vez dependen de muchos más valores.

El problema está en extender estas variables al conjunto del territorio, puesto que para ello sólo se dispone de un mapa de vegetación en el que tan sólo se

tiene información de la formación vegetal, sin conocerse el resto de valores que se necesitan para el cálculo del factor C.

Cometer errores cuando se conocen todos los parámetros de los que depende C tendría una magnitud muy pequeña, puesto que sería consecuencia de introducir en las tablas o en las ecuaciones un valor cercano cuando en realidad el verdadero valor podría ser otro. Sin embargo, cuando no se conocen las condiciones y estas han de predecirse, los errores pueden ser muy grandes. Sirva como ejemplo la aplicación de las tablas del modelo USLE para el cálculo de C en un bosque que se detalla a continuación.

Para un bosque con un porcentaje de cabida cubierta de entre 40 y 75% y un porcentaje de cubierta en contacto con el suelo de entre 90 y 75%, las tablas ofrecen dos posibilidades como valores de C en función del control de pastoreo que se ejerce sobre dichos bosques, proponiendo un rango de 0,002 a 0,004 para bosques con estricto control del pastoreo y un rango de 0,01 a 0,04 para bosques sin control del pastoreo. En definitiva, una variación que puede llegar a ser del orden de 20 veces sobre un parámetro del que no existe cartografía y que no se puede predecir.

Otro ejemplo que abunda en la situación anterior puede ser el de una zona de matorral de 2 metros de altura con una cabida cubierta del 50% del terreno. Suponiendo que se conoce la cubierta en contacto con el suelo de vegetación herbácea y de restos de plantas sin descomponer, no hay error posible ya que se consulta en la tabla correspondiente y se obtiene el valor de C. Para una cubierta en contacto con el suelo del 100% el valor de C es de 0,011. Sin embargo, como podría existir una zona del matorral donde esa cubierta en contacto con el suelo fuese del 60%, el valor de C sería de 0,081, lo que supone casi 8 veces más sin posibilidad de predecir donde hay una cubierta del 60% y donde la hay del 100%.

10.5.1. Interpretación ecológica.

La cobertura vegetal es uno de los parámetros más importantes cuando se conoce con precisión todas las variables de las que depende. Lo es aún más cuando no se conocen con precisión y hay que asumir valores genéricos para una misma unidad de vegetación, ya que las situaciones reales pueden hacer variar mucho el verdadero valor de C.

La interpretación ecológica del factor C está en el efecto protector que tiene la vegetación sobre la erosión. En este sentido existen dos situaciones claramente diferenciadas en función del uso del suelo, puesto que en los terrenos forestales la variación anual de las condiciones de la vegetación es prácticamente nula en relación con la variación que se produce en los terrenos agrícolas.

Para el modelo USLE y los cultivos agrícolas, se tiene en cuenta el grado de desarrollo de la vegetación, el tipo y el ciclo de cultivo, puesto que esto condiciona las fechas en las que la cubierta tiene un mayor o menor grado de desarrollo. Para los usos forestales se tiene en cuenta el tipo de vegetación y la cobertura tanto aérea como superficial, para definir los valores de C. Según este modelo ofrece mayor protección los terrenos con mayor grado de desarrollo de la vegetación aérea, protegiendo más los terrenos arbolados que los de matorral y estos más que los cubiertos por matas y plantas herbáceas. También protegen más los terrenos con mayor cobertura en contacto con el suelo.

Para el modelo RUSLE hay que interpretar cada uno de los 5 parámetros en los que subdivide el factor C. El subfactor PLU representa el efecto que tiene sobre la erosión el contenido de raíces del suelo y de restos vegetales

incorporados al mismo, asumiendo que cuanto mayor sea el contenido de raíces y/o el de restos vegetales incorporados menor erosión habrá.

El subfactor CC tiene en cuenta la cobertura vegetal aérea, de modo que cuanto mayor cobertura menor erosión se producirá y cuanto más baja sea esta cobertura menor erosión, puesto que las gotas de lluvia retenidas por la vegetación caen al suelo de nuevo y podrían alcanzar la misma fuerza que antes de ser frenadas por la vegetación si esta fuese muy alta.

El subfactor SC representa la cobertura que existe en contacto con el suelo de hojas y restos vegetales, formando un colchón protector que reduce la erosión. El subfactor SR representa la rugosidad de la superficie del suelo, de modo que si un terreno es relativamente liso, la velocidad que puede alcanzar el mayor y también lo será su capacidad de arrastre de partículas del suelo. Sin embargo si existe gran rugosidad, como ocurre por ejemplo en un campo recién labrado, la dificultad para que el agua circule es mucho mayor y por tanto el nivel de erosión será menor.

Por último, el subfactor SM representa el efecto que tiene la humedad en el suelo, de modo que si un suelo está seco la erosión que se produce será menor puesto que este mismo suelo tenderá a retener el agua y a no dejarla circular hasta que se produzca su saturación.

La variabilidad anual en los usos agrícolas, tanto para el modelo USLE como para el modelo RUSLE obliga a ponderar los valores de cada mes según la variabilidad del factor R, distinguiendo las zonas de clima mediterráneo de las de clima atlántico, ya que la ponderación que se hace de cada mes es distinta. Esta ponderación es necesaria para poder calcular un valor anual.

10.5.2. Modelización.

Para extrapolar los valores de los parámetros de los que depende el factor C al conjunto del territorio se ha intentado crear modelos matemáticos predictivos. El resultado de los mismos no es satisfactorio, por lo que se ha recurrido a la asignación estadística en vez de a la modelización como método de extensión territorial de los datos.

No obstante se considera de interés, al igual que se hizo con la modelización fallida de los parámetros de los que depende el factor K, reflejar los modelos probados para que futuras mejoras del presente trabajo consideren los caminos sin éxito que han sido evaluados, para que así puedan centrar sus esfuerzos en otras direcciones.

Los parámetros que es necesario extrapolar son los relativos al modelo RUSLE, puesto que en el modelo USLE se asigna un valor de C en función de la vegetación o el tipo de cultivo directamente según categorías que ofrece el modelo en unas tablas. Los parámetros a extrapolar son todos numéricos, se trata de los contenidos de raíces y restos vegetales en el suelo, fracción de cubda cubierta de cada estrato de vegetación, altura media de cada estrato de vegetación, altura de la cubierta de restos sobre el suelo, proporción de suelo cubierto por restos vegetales y rugosidad superficial.

La primera operación realizada es seleccionar las variables de las que puede depender cada uno de los factores a predecir, puesto que no deben entrar en el modelo aquellas variables que no tengan una significación ecológica a pesar de que pudieran tener significación estadística. A continuación se detalla cada uno de ellos, así como la justificación de su posible relación ecológica con los parámetros a predecir.

- Altitud: condiciona el desarrollo de la vegetación.
- Pendiente: limita la formación del suelo y por tanto puede condicionar la presencia de determinadas formaciones vegetales o cultivos.
- Orientación: es un estimador de la energía del sol recibida y por tanto condiciona la distribución de la vegetación.
- Litología: condiciona la distribución territorial de la vegetación.
- Vegetación: es la variable más importante, puesto que el factor C pretende recoger su comportamiento como factor frente a la erosión.
- Cubierta aérea de la vegetación: podría condicionar las características de la cubierta superficial. Se considera los valores de los tres estratos como tres variables separadas para arbolado, matorral y herbáceo. Para usos agrícolas este parámetro no se considera ya que es variable en el tiempo. Lógicamente no se considera para el modelo predictivo de la fracción de cubierta porque es lo mismo.
- Porcentaje de suelo cubierto por restos vegetales: desde luego condiciona las características de la cubierta de restos superficial. Para usos agrícolas este parámetro no se considera ya que es variable en el tiempo.
- Altura de restos vegetales del suelo: la justificación es similar a la del parámetro anterior. Para usos agrícolas este parámetro no se considera ya que es variable en el tiempo.
- Espesor total del suelo: podría informar sobre el grado de evolución de los suelos y por tanto podría estar relacionado con la distribución de ciertas formaciones vegetales.

Con todos los parámetros anteriores se intenta ajustar un modelo matemático para predecir las variables que permitirán estimar los valores del factor C según el modelo RUSLE. El modelo que se intenta es la regresión lineal multivariante paso a paso, fijando como umbral de admisión de variables a incorporar al modelo un valor mayor de 4 del estadístico F de Snedecor y fijando un umbral de exclusión de variables del modelo un valor menor de 4 del estadístico F de

Snedecor. Este proceso de va haciendo simultáneamente, de modo que las variables entran o salen del modelo según se va perfeccionando el mismo. Es el mismo proceso que se ha aplicado en la modelización del factor K.

Para poder realizar esta modelización es necesario convertir todos los parámetros en variables numéricas, exactamente igual que se hizo con la modelización del factor K. Como toda la información se ha trabajado en dos bloques, las parcelas agrícolas y las parcelas de usos forestales, el tratamiento estadístico se ha hecho igualmente separado, ya que se considera que ambos sistemas tienen características lo suficientemente dispares como para conferir al terreno caracteres propios. Los resultados obtenidos se detallan a continuación, de los que sólo aparecen los relativos a las parcelas de uso forestal, puesto que para las parcelas de uso agrícola los factores a predecir son variables a lo largo del año.

Raíces y restos vegetales en el suelo	R ² (ajustado) 0,0662
1967,221658+LITOLOGÍA_ARENISCA*1516,906736+VEGETACIÓN_MARCE SCENTE*2006,134991+VEGETACIÓN_ALBAR*2494,349771	
FCC estrato arbóreo	R ² (ajustado) 0,6980
49,737233-VEGETACIÓN_BORTAL*53,888319- VEGETACIÓN_BREZAL*55,185638- VEGETACIÓN_ENEBRO*48,416579+VEGETACIÓN_HAYEDO*13,232221- VEGETACIÓN_PASTO*48,335203- VEGETACIÓN_PRADERA*49,367914+CUBIERTA*0,314775- FCC_HERBÁCEA*0,192393	
FCC estrato arbustivo	R ² (ajustado) 0,4048
50,474696-VEGETACIÓN_ENCINAR*59,895018- VEGETACIÓN_HAYEDO*43,43518-VEGETACIÓN_PASTO*38,55196- VEGETACIÓN_PRADERA*39,627401+CUBIERTA*0,199685- FCC_HERBÁCEA*0,232382	

FCC estrato herbáceo	R ² (ajustado) 0,3902
92,806737-PENDIENTE*0,545662+LITOLOGÍA_MARGA*14,111157- ALTURA_CUBIERTA*1,012744-FCC_ARBOLADO*0,369688- FCC_ARBUSTIVO*0,252049	
Altura estrato arbóreo	R ² (ajustado) 0,5662
0,53083+VEGETACIÓN_RADIATA*3,147657- VEGETACIÓN_MARCESCENTE*3,922606+FCC_ÁRBOL*0,144076	
Altura estrato arbustivo	R ² (ajustado) 0,3174
0,553122+VEGETACIÓN_ALBAR*0,813022+VEGETACIÓN_BORTAL*1,25345 4+VEGETACIÓN_CARRASCAL*0,726896- VEGETACIÓN_PRADERA*0,553122+FCC_MATORRAL*0,008868	
Altura estrato herbáceo	R ² (ajustado) 0,2653
3,133288-ALTITUD*0,010281-VEGETACIÓN_PASTO*15,970417- VEGETACIÓN_PRADERA*8,868063+CUBIERTA*0,089597+FCC_HERBÁCEA *0,159051	
Altura restos	R ² (ajustado) 0,3042
0,527902+VEGETACIÓN_HAYEDO*3,466925+VEGETACIÓN_RADIATA*1,44 7674+CUBIERTA*0,047494-FCC_HERBÁCEA*0,024018	
Proporción de suelo cubierto de restos	R ² (ajustado) 0,3042
43,987775-VEGETACIÓN_CARRASCAL*29,04835- VEGETACIÓN_ROBLEDAL*17,504934+ALTURA_CUBIERTA*1,433734+FCC _ÁRBOL*0,356883+ESPESOR_SUELO*0,128234	
Rugosidad superficial	R ² (ajustado) 0,3784
3,23505+PENDIENTE*0,074659+VEGETACIÓN_ENCINAR*30,774051	

El coeficiente de correlación r^2 ajustado puede dar una idea de la bondad del ajuste en función de su proximidad a la unidad. En función de esto, el mejor modelo es el que predice la fracción de cabida cubierta del estrato arbóreo. Sin embargo, la mayoría de las variables que entran en el modelo son variables ficticias que provienen de la conversión de las categorías de vegetación, luego

el modelo no es aplicable y lo que realmente indica es que el parámetro a estimar tiene correlación con la vegetación. Las variables que entran en el modelo y que no son relativas a la vegetación son variables para las que no se conoce su distribución espacial.

A los modelos que predicen la fracción de cubierta del estrato arbustivo, la del estrato herbáceo y la altura del estrato arbóreo les ocurre lo mismo. El resto de modelos tienen un ajuste malo.

Los resultados en general son bastante malos. Por tanto se opta por extender a la totalidad del territorio los valores de los parámetros que permiten el cálculo del factor C mediante asignación estadística, es decir, creando grupos homogéneos en función de la vegetación y asignar el valor mediana de las parcelas a esos grupos homogéneos.

El fracaso en la modelización no debe entenderse como un fracaso en el resultado del trabajo, puesto que la asignación estadística ofrece resultados con la misma calidad que la modelización, siempre y cuando los grupos sean lo suficientemente homogéneos.

De hecho, este puede ser uno de los motivos del fracaso en la modelización, ya que si los grupos son muy homogéneos y no existe un gradiente entre ellos, no existirá modelo posible que se ajuste a los datos y sin embargo sí que se podrá asignar un valor correcto a cada grupo. La separación de los datos en dos bloques, los que provienen de usos agrícolas y los usos forestales puede ser una división lo suficientemente homogénea que hace que otros subgrupos dentro de estos dos grandes bloques no presenten gradientes de variación suficientes como para conseguir su modelización.

No obstante también cabe pensar que la modelización puede fracasar porque la naturaleza es mucho más compleja de lo que un modelo estadístico es capaz de explicar y es posible que cada punto del territorio tenga unas características ambientales que no siempre es posible predecir.

10.5.3. Cálculo y extensión de C para terrenos forestales según USLE.

El cálculo es sencillo puesto que existen tablas que permiten asignar un valor del parámetro C en función de varias categorías de vegetación. Los valores asignados así como las hipótesis asumidas para definir cada uno de los valores se recogen en la siguiente tabla.

VEGETACIÓN	CUBIERTA AÉREA		CUBIERTA SUPERFICIAL		PASTOREO	C
	TIPO	%	TIPO	%		
ALBAR	Bosque	75-40	-	90-75	NO	0,003
BORTAL	Matorral	75	Restos	50	-	0,011
BREZAL	Matorral	75	Restos	50	-	0,011
CARRASCAL	Bosque	75-40	-	90-75	NO	0,003
ENCINAR	Bosque	100-75	-	100-90	NO	0,001
ENEBRO	Matorral	25	Restos	80	-	0,042
FRONDOSA	Bosque	100-75	-	100-90	NO	0,001
HAYEDO	Bosque	100-75	-	100-90	NO	0,001
MARCESCENTE	Bosque	100-75	-	100-90	NO	0,001
PASTO	Herbáceas	75	Restos	100	-	0,011
PRADERA	Herbáceas	75	Humus	100	-	0,003
RADIATA	Bosque	100-75	-	100-90	NO	0,001
ROBLEDAL	Bosque	100-75	-	100-90	NO	0,001

10.5.4. Cálculo y extensión de C para terrenos agrícolas según USLE.

Puesto que el mapa de vegetación ha sido agrupado en cuatro categorías de usos agrícolas, estas son las que han de caracterizarse.

Para la categoría “Cereal, Patata, Remolacha” se ha calculado el valor del factor C para cada uno de esos cultivos y posteriormente se ha asignado la media de los tres a la categoría de vegetación.

Para los cultivos de cereal se ha asumido como ciclo más parecido al que sigue en la zona de estudio el que facilita la tabla para “cereales pequeños sin siembra de praderas: después de barbecho de verano de residuos de cereales pequeños, Residuos sobre la superficie en el momento de la siembra 0 a 200 Kg/ha. Eliminación de tallos o residuos similares”. Combinando los valores propuestos del factor C para cada periodo de cultivo con las proporciones del factor R de cada mes se obtiene el valor de C para cultivos de cereal.

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
C mensual	,55	,06	,06	,06	,06	,06	,20	,20	,20	,20	,90	,55

Con ello, el valor anual de C para cultivos de cereal en las zonas de clima mediterráneo es de 0,221 y para las zonas de clima atlántico es de 0,285.

Para los cultivos de patata se ha asumido la recomendación del modelo USLE de asimilar el ciclo de este tubérculo con el del maíz, eligiendo de entre todos los ciclos que propone asimilar al cultivo de la patata el definido como “maíz en rotación, 2º año de maíz después de gramíneas o leguminosas forrajeras, se dejan en el suelo los restos de la cosecha precedente, en primavera labor con arado de vertedera, cultivo normal, producción de paja inferior a 2 t/ha y producción de grano de 0,7 a 1,3 m³/ha”. No obstante, se propone que para el

periodo de establecimiento del cultivo, se asigne el valor de otro ciclo del maíz, el definido como “maíz en rotación, 2º año de maíz después de gramíneas o leguminosas forrajeras, se dejan en el suelo los restos de la cosecha precedente, en primavera labor con arado de vertedera, cultivo normal, producción de paja entre 2 y 4 t/ha y producción de grano de 1,4 a 2,0 m³/ha”.

Combinando los valores propuestos del factor C para cada periodo de cultivo con las proporciones del factor R de cada mes se obtiene el valor de C para cultivos de patata.

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
C mensual	1	1	1	,55	,66	,60	,60	,28	,28	1	1	1

Con ello, el valor anual de C para cultivos de patata en las zonas de clima mediterráneo es de 0,666 y para las zonas de clima atlántico es de 0,699.

Para los cultivos de remolacha no existe valor alguno que proporcionen las tablas. Por tanto se ha asumido que los valores del factor C son los mismos que los de la patata pero cambiando los meses en que aparece cada uno de los valores en función del ciclo productivo que se aplica en la zona. Con ello, combinando los valores propuestos del factor C para cada periodo de cultivo con las proporciones del factor R de cada mes se obtiene el valor de C para cultivos de remolacha.

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
C mensual	1	1	,55	,66	,60	,28	,28	,28	,28	,28	1	1

Con ello, el valor anual de C para cultivos de remolacha en las zonas de clima mediterráneo es de 0,423 y para las zonas de clima atlántico es de 0,544.

Por tanto, con los resultados anteriores se obtiene como valor medio del factor C para la categoría “Cereal, Patata, Remolacha”, en las zonas de clima mediterráneo 0,437 y para las zonas de clima atlántico es de 0,510.

Para los cultivos de viñedo tampoco proporcionan las tablas ningún valor. Como su variabilidad es prácticamente nula en comparación con los cultivos anteriores, se ha supuesto que el 75% de la superficie de un viñedo se comporta como un terreno de cubierta vegetal inapreciable y sin restos vegetales sobre su superficie, para el que las tablas le asignan el valor 0,45. También se supone que el 25% restante se comporta como un terreno con plantas herbáceas y matorrales de 0,5 metros de altura que cubren el 50% del terreno con el suelo cubierto por plantas herbáceas y restos vegetales sin descomponer que cubren el 20% de suelo, situación para la que las tablas le asignan el valor 0,16. Con los dos valores de C y ponderando por la superficie que ocupa cada uno de ellos, el valor total del factor C es de 0,380.

Con los prados la situación es más sencilla, puesto que al tener un periodo de resiembra plurianual se puede considerar con un uso permanente para los que existe un valor en las tablas. Asumiendo la categoría de cultivo “praderas establecidas de gramíneas y leguminosas con una producción de paja de más de 7 t/ha” el valor que le asigna es de 0,004.

Para los cultivos arbóreos existen dos situaciones, los olivares y los cultivos de almendro. Para ninguno de ellos existe valor en las tablas, así que se hace una estimación similar a la realizada para los viñedos.

En los olivares se supone que el 85% de suelo se comporta como un terreno de cubierta vegetal inapreciable y sin restos vegetales sobre su superficie, para el que las tablas le asignan el valor 0,45. El 15% restante se comporta como un terreno arbolado con un 75% de cubierta aérea con el suelo cubierto por

plantas herbáceas y restos vegetales sin descomponer que cubren el 80% de suelo, situación para la que las tablas le asignan el valor 0,041. Con los dos valores de C y ponderando por la superficie que ocupa cada uno de ellos, el valor total del factor C para el olivar es de 0,389.

En los cultivos de almendro se supone que el 75% de suelo se comporta como un terreno de cubierta vegetal inapreciable y sin restos vegetales sobre su superficie, para el que las tablas le asignan el valor 0,45. El 25% restante se comporta como un terreno arbolado con un 75% de cubierta aérea con el suelo cubierto por plantas herbáceas y restos vegetales sin descomponer que cubren el 80% de suelo, situación para la que las tablas le asignan el valor 0,041. Con los dos valores de C y ponderando por la superficie que ocupa cada uno de ellos, el valor total del factor C para el olivar es de 0,348.

Por tanto, el valor medio del factor C para la categoría de los “cultivos arbóreos” es de 0,369.

Como resumen de todo lo anterior se adjunta una tabla donde aparece el valor del factor C para cada uno de los grupos de cultivos analizados.

VEGETACIÓN	C mediterráneo	C atlántico
Cereal, patata, remolacha	0,437	0,510
Cultivo arbóreo	0,369	0,369
Prado	0,004	0,004
Viñedo	0,380	0,380

10.5.5. Cálculo y extensión del subfactor PLU en terrenos forestales según RUSLE.

La expresión para el cálculo, utilizando unidades del sistema internacional es la siguiente $PLU=C_f*0,951*\exp-[(0,00199*B_{ur})+(0,000416*B_{us}/C_f^{0,5})]$. Los valores que se consideran para su aplicación en terrenos forestales son los siguientes.

- C_f es un factor de consolidación del suelo y se considera como 0,45 que es el valor que alcanza un suelo que no se voltea desde hace 7 años.
- B_{ur} es la densidad de raíces vivas o muertas que hay en el suelo (en kg/ha y cm de profundidad).
- B_{us} es la densidad de residuos vegetales incorporados al suelo. Este valor se considera nulo, ya que en los terrenos forestales no se produce una remoción del terreno en la que se incorporen al terreno los restos vegetales.

Por tanto, la expresión queda así: $PLU=0,428*\exp-[0,00199*B_{ur}]$. Aplicando esta expresión al contenido en raíces de cada una de las parcelas forestales se obtiene el valor de PLU de cada parcela. Para poder aplicarla a cada grupo de vegetación es suficiente con calcular el valor mediana de PLU para cada grupo de vegetación. Los resultados se muestran en la siguiente tabla.

VEGETACIÓN	PLU
ALBAR	0,00033
BORTAL	0,00182
BREZAL	0,00725
CARRASCAL	0,00440
ENCINAR	0,08555
ENEBRO	0,04775
FRONDOSA	0,04390
HAYEDO	0,00892
MARCESCENTE	0,00825
PASTO	0,17408
PRADERA	0,01312
RADIATA	0,02622
ROBLEDAL	0,02937

Sobre este resultado se ha realizado un análisis de varianza para confirmar si las diferencias entre grupos son significativas. El resultado, al 95% de nivel de confianza, es que no son significativamente distintos los valores obtenidos (nivel de significación $0,2179 > 0,05$). Dicho de otro modo, la variabilidad que aparece dentro de cada grupo es mayor que la que existe entre grupos, con lo que los valores del contenido de raíces podrían variar mucho de unas situaciones a otras aún dentro del mismo grupo de vegetación.

10.5.6. Cálculo y extensión del subfactor PLU en terrenos agrícolas según RUSLE.

La expresión para el cálculo, utilizando unidades del sistema internacional es la siguiente $PLU = C_f \cdot 0,951 \cdot \exp[-(0,00199 \cdot B_{ur}) + (0,000416 \cdot B_{us} / C_f^{0,5})]$. Los valores que se consideran para su aplicación en terrenos agrícolas son los siguientes.

C_f es un factor de consolidación del suelo y se considera como 1 en los terrenos que se voltean todos los años y 0,45 en suelos que no se voltean desde hace 7 años. Como el modelo RUSLE dice que la reducción del valor es exponencial, la ecuación que se ajusta a este modelo sería $C_f = \exp(-0,114 * \text{Años})$, donde "Años" representa el número de años que pasan entre volteos del terreno consecutivos, de modo que si se voltea cada 2 años el valor que habría que considerar es 1, puesto que estos son los años que hay entre dos volteos consecutivos.

Por tanto, para todos los cultivos se considera $C_f=1$, salvo para los prados donde se asume que cada 4 años se podría producir la resiembra y por tanto el valor que le corresponde es $C_f=0,81$ que es el promedio de los valores de los 4 años de ciclo de cultivo.

Respecto al parámetro B_{us} , que es la densidad de residuos vegetales incorporados al suelo, se considera más o menos constante en el tiempo, puesto que lo habitual en los cultivos de la zona de estudio es extraer los restos vegetales de la cosecha. Luego la presencia de estos será debida al aporte que se produce como consecuencia del laboreo del suelo para otros fines y en los que algunos restos vegetales pueden incorporarse al horizonte superficial en pequeñas cantidades. Para los cultivos de prados, al igual que ocurre con los terrenos forestales, se considera nulo puesto que la remoción del terreno es plurianual. Por tanto, los valores a emplear de este parámetro en kilos por hectárea y centímetro son los valores mediana de cada grupo para las parcelas agrícolas y que se recogen en el siguiente cuadro.

VEGETACIÓN	B _{us}
Cereal, patata, remolacha	261
Cultivo arbóreo	374
Prado	0
Viñedo	88

Respecto al parámetro B_{ur} que es la densidad de raíces vivas o muertas que hay en el suelo, en kg/ha y cm de profundidad, es un parámetro muy variable a lo largo del año salvo para los prados donde se puede considerar como un valor constante. Para los prados su valor se ha obtenido como valor mediana de los obtenidos en las parcelas agrícolas de muestreo y es 535.

Para los cultivos de cereal, el modelo RUSLE propone unos valores de contenido en raíces a lo largo del año para cereales pequeños de invierno. Los valores los aporta por quincenas y en unidades americanas. Transformando las unidades y considerando una variación mensual, los valores propuestos son los siguientes.

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
B _{ur} mensual	34,1	35,2	35,2	35,2	36,3	58,3	121	0	0	0	0	8,25

Con esto, se puede calcular el valor de PLU mensual para los cultivos de cereal. Ponderándolo con las proporciones del factor R de cada mes se obtiene el valor anual, que para el cereal es de 0,789 para zonas de clima mediterráneo y 0,816 para zonas de clima atlántico.

Para los cultivos de patata se considera que el contenido en raíces a lo largo del año es prácticamente nulo puesto que aunque evidentemente la planta tiene raíces, el peso de las raíces finas que son las que pueden retener el suelo

una vez descontado el peso del tubérculo es muy reducido. No se puede considerar como medida del contenido de raíces el peso de la propia patata porque no es capaz de retener suelo y se estaría falseando la estimación.

Por tanto el valor de PLU para los cultivos de patata es $PLU_{patata}=1*0,951*exp-[0,000416*261]$, es decir, 0,853. Aún considerando como contenido de raíces $B_{us}=35$, que es el mismo que presentan los cereales entre enero y mayo, circunstancia que se aleja mucho de la realidad puesto que los cereales tienen un gran contenido en raíces, el valor que se obtendría de PLU es del orden de 0,8, lo que ratifica aún más la hipótesis asumida.

Para la remolacha el razonamiento es idéntico al de la patata, luego su valor del subfactor PLU es 0,853. Teniendo en cuenta que en la cartografía de vegetación estos tres cultivos están medidos en la misma unidad, los valores a aplicar serán los valores medios de los tres cultivos, es decir, para las zonas de clima mediterráneo 0,832 y para las zonas de clima atlántico 0,841.

Para los prados, el valor de PLU se puede obtener como $PLU_{prado}=0,81-0,951*exp-[0,00199*535]$, lo que supone un valor de 0,267.

Para los viñedos se ha supuesto que en el 75% del terreno no existe raíces y su contenido de restos es de 88 kg/ha y cm. Para el 25% del terreno restante que es donde están las cepas de viñedo, desde el punto de vista de sus raíces se supone que su comportamiento es como el de los brezales, ya que son matorrales con raíces similares. Luego $PLU_{brezal(25\%)}=0,00725$ y $PLU_{desnudo(75\%)}=1*0,951*exp-[0,000416*88]=0,917$. Ponderando por el porcentaje de ocupación de cada uno de ellos se obtiene $PLU_{viñedo}=0,00725*0,25+0,917*0,75=0,689$.

Si en vez de asumir que los viñedos se comportan, en lo relativo a sus raíces, como un brezal se hubiese asumido que se comportan como la unidad Bortal, el resultado hubiese sido $0,00182*0,25+0,917*0,75=0,688$, lo que ratifica aún más el resultado obtenido anteriormente.

Para los cultivos arbóreos se analiza la situación de olivares y plantaciones de almendro, aplicando posteriormente el valor medio para el grupo de cultivo.

Los cultivos de olivo se suponen que tienen un reparto de 85% de suelo desnudo y 15% de olivos. Suponiendo que el comportamiento de las raíces del olivar es similar al de la formación vegetal “carrascal”, el resultado obtenido es $PLU_{carrascal(15\%)}=0,0044$, $PLU_{desnudo(85\%)}=1*0,951*exp-[0,000416*374]=0,814$, ponderando según superficies se obtiene $PLU_{olivar}=0,0044*0,15+0,814*0,85$ lo que supone un valor de 0,693. Si en vez de coger el valor del carrascal se hubiese considerado el valor de la formación “marcescente” el resultado sería el mismo 0,693 lo que confirma la validez de las hipótesis asumidas.

Los cultivos de almendro se supone que tienen un 75% de suelo desnudo y 25% de olivar. Suponiendo que el comportamiento de las raíces del almendro es similar al de la formación vegetal “bortal”, el resultado obtenido es $PLU_{bortal(25\%)}=0,00182$, $PLU_{desnudo(75\%)}=1*0,951*exp-[0,000416*374]=0,814$, ponderando según superficies se obtiene $PLU_{almendro}=0,00182*0,25+0,814*0,75$ lo que supone un valor de 0,611. Si en vez de coger el valor del bortal se hubiese considerado el valor de la formación “frondosa” el resultado sería el mismo 0,621 lo que confirma la validez de las hipótesis asumidas.

Por tanto, para los cultivos arbóreos, el valor de PLU que se obtiene es la media del obtenido para el almendro y el olivo, es decir, 0,652. Como resumen a todo lo anterior se recoge los valores calculados para todos los cultivos en la siguiente tabla.

VEGETACIÓN	PLU mediterráneo	PLU atlántico
Cereal, patata, remolacha	0,832	0,841
Cultivo arbóreo	0,625	0,625
Prado	0,267	0,267
Viñedo	0,689	0,689

10.5.7. Cálculo y extensión del subfactor CC en terrenos forestales según RUSLE.

La expresión para el cálculo, utilizando unidades del sistema internacional es la siguiente $CC=1-F_c \cdot \exp(-0,03024 \cdot H)$; donde F_c es la fracción de cabida cubierta en tanto por uno y H es la altura en metros de caída de las gotas de lluvia una vez que interceptan la cubierta aérea de la vegetación.

El modelo RUSLE se ha concebido para una única cubierta de vegetación y no considera la situación de formaciones vegetales pluriestratificadas, situación por otra parte tremendamente habitual en los terrenos forestales. Para el cálculo se ha considerado tres estratos, arbóreo, matorral y herbáceo. Se realizó el cálculo para cada uno de ellos y se han integrado mediante el producto de sus valores, de modo que $CC=CC_{\text{arboreo}} \cdot CC_{\text{matorral}} \cdot CC_{\text{herbáceo}}$.

La justificación de este razonamiento está en que evidentemente habrá un menor grado de erosión en una zona con tres estratos de cubierta vegetal que con sólo uno de ellos, a igualdad de otros factores. Como en su cálculo interviene la altura de la vegetación y el grado de cubierta sobre el suelo mediante una relación exponencial, tampoco se puede sumar el grado de cubierta de cada uno de los estratos ni promediar las alturas de estos.

El término $F_c \cdot \exp(-0,03024 \cdot H)$ de la expresión para el cálculo de CC se puede interpretar como una medida del rendimiento o eficiencia de la cubierta vegetal

como protectora de la erosión, puesto que a mayor cobertura y menor altura de la vegetación, mayor valor alcanza el término. Luego podría interpretarse como $CC=1$ -Eficiencia de la vegetación. Si aparecen tres estratos, evidentemente cada uno de ellos aportará protección para la erosión y cada uno de ellos tendrá su nivel de eficiencia. Luego bajo esta concepción de rendimientos, la forma de añadir el rendimiento de varios factores es siempre mediante su producto. Cuando no aparezca vegetación de alguno de los estratos su valor CC será 1, ya que su eficiencia para proteger frente a la erosión será 0.

Por tanto, aplicando esta expresión a la cubierta aérea vegetal y a su altura para cada uno de los estratos en cada una de las parcelas forestales se obtiene el valor de CC de cada parcela. Para poder aplicarla a cada grupo de vegetación es suficiente con calcular el valor mediana de CC para cada grupo de vegetación. Los resultados se muestran en la siguiente tabla.

VEGETACIÓN	CC
ALBAR	0,08983
BORTAL	0,13474
BREZAL	0,10241
CARRASCAL	0,11927
ENCINAR	0,19078
ENEBRO	0,07036
FRONDOSA	0,03532
HAYEDO	0,24376
MARCESCENTE	0,05653
PASTO	0,00151
PRADERA	0,00151
RADIATA	0,10368
ROBLEDAL	0,12512

Sobre este resultado se ha realizado un análisis de varianza para confirmar si las diferencias entre grupos son significativas. El resultado, al 95% de nivel de confianza, es que son significativamente distintos los valores obtenidos (nivel de significación $0,0013 < 0,05$). Por tanto, el valor mediana representa bien el factor CC para cada uno de los grupos de vegetación.

10.5.8. Cálculo y extensión del subfactor CC en terrenos agrícolas según RUSLE.

La expresión para el cálculo, utilizando unidades del sistema internacional es la siguiente $CC = 1 - F_c \cdot \exp(-0,03024 \cdot H)$; donde F_c es la fracción de cabida cubierta en tanto por uno y H es la altura en metros de caída de las gotas de lluvia una vez que interceptan la cubierta aérea de la vegetación. Para los cultivos agrícolas se considera un único estrato de vegetación, con cambios sustanciales entre los distintos meses del año.

Para los cultivos de cereal, el modelo RUSLE propone unos valores de cobertura de la vegetación y de altura de caída de las gotas de lluvia para cereales pequeños de invierno. Los valores los aporta por quincenas y en unidades americanas. Transformando las unidades y considerando una variación mensual, los valores propuestos son los siguientes.

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
F_c mensual	35	35	35	35	37	75	100	0	0	0	0	12
H mensual	,06	,06	,06	,06	,11	,35	,46	0	0	0	0	,05

Con esto, se puede calcular el valor de CC mensual para los cultivos de cereal. Ponderándolo con las proporciones del factor R de cada mes se obtiene el valor anual, que para el cereal es de 0,616 para zonas de clima mediterráneo y 0,769 para zonas de clima atlántico.

Para el cultivo de la patata no se aportan datos en el modelo RUSLE. No obstante, a partir del conocimiento del ciclo de cultivo en el área de estudio se puede estimar los valores de cobertura y altura de caída según lo que se refleja en la tabla siguiente.

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
F _c mensual	0	0	0	0	10	50	75	60	0	0	0	0
H mensual	0	0	0	0	,05	,25	,50	,15	0	0	0	0

Al igual que con los cereales, ponderando con las proporciones del factor R de cada mes se obtiene el valor anual, que para la patata es de 0,733 para zonas de clima mediterráneo y 0,829 para zonas de clima atlántico.

Con la remolacha se ha procedido igual que con el cultivo de la patata, ya que el modelo RUSLE tampoco aporta sus valores. Por tanto, en la tabla siguiente se recogen los valores mensuales de altura de caída de gotas de lluvia y de cobertura aérea de la vegetación.

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
F _c mensual	0	0	0	0	0	20	40	60	80	80	0	0
H mensual	0	0	0	0	0	,05	,20	,30	,40	,40	0	0

Ponderando con los valores mensuales de R, el valor del subfactor CC para la remolacha es de 0,683 para zonas de clima mediterráneo y 0,662 para zonas de clima atlántico.

Por tanto, el valor para la unidad de vegetación “Cereal, patata, remolacha” el valor medio de CC será de 0,677 para zonas de clima mediterráneo y 0,753 para zonas de clima atlántico.

Para los prados se puede suponer que durante todo el año la cobertura es del 100% y por tanto $F_c=1$. También se puede suponer que la altura media de caída de las gotas de agua es de 20 centímetros y por tanto $H=0,2$. Con estos valores $CC=0,006$.

Para los viñedos se supone que el 75% del terreno está desnudo y el 25% tiene cobertura que se puede asimilar a la del brezal. Con esto, los valores de cada zona serían $CC_{\text{brezal}}=0,10241$ y $CC_{\text{desnudo}}=1$, ponderando con sus proporciones superficiales se obtiene $CC_{\text{viñedo}}=0,10241*0,25+1*0,75=0,776$.

Para los cultivos arbóreos se analizan las dos situaciones presentes. Para los olivares se supone un 85% del suelo desnudo y 15% del suelo con una cobertura similar a la del carrascal. Con esto, $CC_{\text{carrascal}}=0,11927$ y $CC_{\text{desnudo}}=1$, ponderando con sus proporciones superficiales se obtiene $CC_{\text{olivar}}=0,11927*0,15+1*0,85=0,868$. Para los almendros se supone un 75% del suelo desnudo y 25% del suelo con una cobertura similar a la del bortal. Con esto, $CC_{\text{bortal}}=0,13474$ y $CC_{\text{desnudo}}=1$, ponderando con sus proporciones superficiales se obtiene $CC_{\text{almendro}}=0,13474*0,25+1*0,75=0,784$. El promedio de los dos valores es el que se asume para los cultivos arbóreos, teniendo un valor de $CC_{\text{cultivos arbóreos}}=0,826$.

Como resumen a todo lo anterior se recoge los valores calculados para todos los cultivos en la siguiente tabla.

VEGETACIÓN	CC mediterráneo	CC atlántico
Cereal, patata, remolacha	0,677	0,753
Cultivo arbóreo	0,826	0,826
Prado	0,006	0,006
Viñedo	0,776	0,776

10.5.9. Cálculo y extensión del subfactor SC en terrenos forestales según RUSLE.

La expresión para el cálculo, utilizando unidades del sistema internacional es la siguiente $SC = \exp[-b \cdot S_p \cdot (0,24/R_c)^{0,08}]$; donde b es un coeficiente que mide la efectividad de la cubierta superficial, S_p es el porcentaje del suelo que está cubierto y R_c es el factor de rugosidad superficial.

Respecto al factor b, en el modelo RUSLE no se ha establecido el modo que este factor varía. Se conoce que para los cultivos agrícolas en general oscila entre 0,025 y 0,07, según el tipo de cubierta. Sin embargo, necesariamente ha de influir el espesor de la cubierta vegetal, puesto que para las formaciones forestales, la efectividad de la cubierta vegetal será tanto mayor cuanto mayor espesor tenga dicha cubierta.

A partir de las parcelas realizadas, se ha determinado que el 80% de las que tienen usos forestales tienen una altura de la cubierta vegetal igual o inferior a 5 centímetros. Por tanto se considera que ese valor será el que se corresponda con el mayor nivel de protección del factor b previsto para los cultivos agrícolas. Para una cubierta de altura prácticamente nula se asigna como valor de b el menor previsto para los cultivos agrícolas. Para el resto de valores se realiza una interpolación lineal, obteniendo por tanto la expresión $b = 0,024 + 0,0092 \cdot h$, donde h es la altura de la cubierta de hojas y restos vegetales sobre el suelo en centímetros.

El factor R_c de rugosidad superficial se evalúa a través de la expresión $R_c = 0,22 \cdot RI_n / 2,54$, donde RI_n es el factor de rugosidad medido en campo como el desnivel máximo respecto a una recta tangente a la superficie de longitud dos metros, expresado en centímetros.

Con todo lo anterior y aplicando las expresiones a los valores de altura de restos, porcentaje de cubierta de restos y rugosidad superficial se obtiene el valor de SC de cada parcela. Para poder aplicarla a cada grupo de vegetación es suficiente con calcular el valor mediana de SC para cada grupo de vegetación. Los resultados se muestran en la siguiente tabla.

VEGETACIÓN	SC
ALBAR	0,01288
BORTAL	0,29903
BREZAL	0,23043
CARRASCAL	0,55593
ENCINAR	0,00049
ENEBRO	0,23043
FRONDOSA	0,01875
HAYEDO	0,00012
MARCESCENTE	0,03372
PASTO	0,17181
PRADERA	0,20324
RADIATA	0,00470
ROBLEDAL	0,11531

Sobre este resultado se ha realizado un análisis de varianza para confirmar si las diferencias entre grupos son significativas. El resultado, al 95% de nivel de confianza, es que son significativamente distintos los valores obtenidos (nivel de significación $0,0000 < 0,05$). Por tanto, el valor mediana representa bien el factor SC para cada uno de los grupos de vegetación.

10.5.10. Cálculo y extensión del subfactor SC en terrenos agrícolas según RUSLE.

La expresión para el cálculo, utilizando unidades del sistema internacional es la siguiente $SC = \exp[-b \cdot S_p \cdot (0,24/R_c)^{0,08}]$; donde b es un coeficiente que mide la efectividad de la cubierta superficial, S_p es el porcentaje del suelo que está cubierto y R_c es el factor de rugosidad superficial. El factor b ha sido modelizado como $b = 0,024 + 0,0092 \cdot h$, donde h es la altura de la cubierta de rastrojos, hojas y/o restos vegetales sobre el suelo en centímetros. El factor R_c de rugosidad superficial se evalúa a través de la expresión $R_c = 0,22 \cdot RI_n / 2,54$, donde RI_n es el factor de rugosidad medido en campo como el desnivel máximo respecto a una recta tangente a la superficie de longitud dos metros, expresado en centímetros.

Para los cereales, la variación a lo largo del año de la rugosidad, altura de restos y cubierta de restos es la que se propone en la tabla siguiente, elaborada a partir del conocimiento de los ciclos de cultivo en la zona.

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
h mensual	0	0	0	0	0,5	0,5	0,5	8	8	8	0	0
S_p mensual	0	0	0	0	5	10	15	30	30	30	0	0
RI_n mensual	3	3	3	3	3	3	3	3	3	10	3	3

Con esto y ponderando con las proporciones del factor R de cada mes se obtiene el valor anual, que para el cereal es de 0,611 para zonas de clima mediterráneo y 0,572 para zonas de clima atlántico.

De forma similar se ha procedido para el cálculo del subfactor SC en los cultivos de patata. Los valores de los parámetros mensuales son los que se muestran en la tabla siguiente.

Mapa de Erosión de Suelos de la Comunidad Autónoma de Euskadi

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
h mensual	0	0	0	0	0,5	0,5	0,5	0,5	0	0	0	0
S _p mensual	0	0	0	0	5	20	30	30	0	0	0	0
Rl _n mensual	3	3	3	3	15	15	15	15	20	20	10	3

Al ponderar con las proporciones del factor R de cada mes se obtiene el valor anual, que para la patata es de 0,791 para zonas de clima mediterráneo y 0,861 para zonas de clima atlántico.

También se ha seguido un razonamiento similar para los cultivos de remolacha. Los valores mensuales de los parámetros para el cálculo del subfactor SC se muestran en la siguiente tabla.

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
h mensual	0	0	0	0	0	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0	0
S _p mensual	0	0	0	0	0	5	10	20	30	30	0	0
Rl _n mensual	3	3	3	3	3	4	4	6	8	8	20	3

Tras la ponderación se obtiene el valor anual, que para la remolacha es de 0,788 para zonas de clima mediterráneo y 0,769 para zonas de clima atlántico.

Con todo lo anterior, el valor medio para el grupo “Cereal, patata, remolacha” es de 0,730 para zonas de clima mediterráneo y 0,734 para zonas de clima atlántico.

Para los prados se puede asumir que sus valores son más o menos constantes a lo largo del año. A partir de los valores mediana de las parcelas realizadas en este tipo de usos agrícolas, se determina que h=0,5 centímetros, Rl_n=2 centímetros y S_p=20%. Con esto, SC_{prado}=0,556.

Para los viñedos se supone que el 75% del terreno se corresponde a un suelo desnudo y que el 25% restante se comporta como las formaciones de bortal en lo relativo a la cubierta superficial. Con ello $SC_{\text{bortal}(25\%)}=0,29903$ y $SC_{\text{desnudo}(75\%)}=1$. Ponderando con las proporciones superficiales se obtiene $SC_{\text{viñedo}}=0,825$. Si se hubiese considerado que el comportamiento del viñedo se asemeja más al del brezal en cuanto a su cubierta superficial, entonces el valor que se hubiese obtenido sería 0,808.

Para los cultivos arbóreos el razonamiento es similar. En los olivares se supone un 85% del suelo desnudo y 15% del suelo con una cobertura similar a la del carrascal. Con esto, $SC_{\text{carrascal}}=0,55593$ y $SC_{\text{desnudo}}=1$, ponderando con sus proporciones superficiales se obtiene $SC_{\text{olivar}}=0,55596*0,15+1*0,85=0,933$. Para los almendros se supone un 75% del suelo desnudo y 25% del suelo con una cobertura similar a la del bortal. Con esto, $SC_{\text{bortal}}=0,29903$ y $SC_{\text{desnudo}}=1$, ponderando con sus proporciones superficiales se obtiene $SC_{\text{almendro}}=0,29903*0,25+1*0,75=0,825$. El promedio de los dos valores es el que se asume para los cultivos arbóreos, por tanto $SC_{\text{cultivos arbóreos}}=0,879$.

Como resumen a todo lo anterior se recoge los valores calculados para todos los cultivos en la siguiente tabla.

VEGETACIÓN	SC mediterráneo	SC atlántico
Cereal, patata, remolacha	0,730	0,734
Cultivo arbóreo	0,879	0,879
Prado	0,556	0,556
Viñedo	0,825	0,825

10.5.11. Cálculo y extensión del subfactor SR en terrenos forestales según RUSLE.

La expresión para el cálculo, utilizando unidades del sistema internacional es la siguiente $SR = \exp[-0,66 \cdot (R_c - 0,24)]$; donde R_c es el factor de rugosidad superficial que se calcula por la expresión $R_c = 0,22 \cdot RI_n / 2,54$; donde RI_n es el rango de variación altitudinal en centímetros que existe en la superficie del terreno para un transecto de 2 metros.

La rugosidad del terreno es un factor que necesariamente está relacionado con el tipo de formación vegetal, puesto que con el desarrollo de las raíces el terreno va adoptando una configuración u otra. Por tanto, aplicando las expresiones a los valores rugosidad se obtiene el valor de SR de cada parcela. Para poder aplicarla a cada grupo de vegetación es suficiente con calcular el valor mediana de SR para cada grupo de vegetación. Los resultados se muestran en la siguiente tabla.

VEGETACIÓN	SR
ALBAR	0,98699
BORTAL	0,96271
BREZAL	0,93215
CARRASCAL	1,04505
ENCINAR	0,11905
ENEBRO	0,98699
FRONDOSA	0,98860
HAYEDO	1,04505
MARCESCENTE	0,98699
PASTO	1,04505
PRADERA	0,98699
RADIATA	0,93215
ROBLEDAL	0,90625

Sobre este resultado se ha realizado un análisis de varianza para confirmar si las diferencias entre grupos son significativas. El resultado, al 95% de nivel de confianza, es que son significativamente distintos los valores obtenidos (nivel de significación $0,0000 < 0,05$). Por tanto, el valor mediana representa bien el factor SR para cada uno de los grupos de vegetación.

10.5.12. Cálculo y extensión del subfactor SR en terrenos agrícolas según RUSLE.

La expresión para el cálculo, utilizando unidades del sistema internacional es la siguiente $SR = \exp[-0,66 \cdot (R_c - 0,24)]$; donde R_c es el factor de rugosidad superficial que se calcula por la expresión $R_c = 0,22 \cdot RI_n / 2,54$; donde RI_n es el rango de variación altitudinal en centímetros que existe en la superficie del terreno para un transecto de 2 metros.

El modelo RUSLE no facilita este valor para cada tipo de cultivo. En función de las medidas puntuales que se han realizado en el trabajo de campo y del conocimiento de los ciclos de cultivo de la zona de estudio se establecen los siguientes valores para cada cultivo. Estos valores son los mismos que los utilizados para el cálculo del subfactor SC.

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
R _n cereal	3	3	3	3	3	3	3	3	3	10	3	3
R _n patata	3	3	3	3	15	15	15	15	20	20	10	3
R _n remolacha	3	3	3	3	3	4	4	6	8	8	20	3

Con esto, los valores que se obtienen son $SR_{\text{cereal}}=0,954$; $SR_{\text{patata}}=0,603$ y $SR_{\text{remolacha}}=0,875$ para las zonas de clima mediterráneo y $SR_{\text{cereal}}=0,948$; $SR_{\text{patata}}=0,626$ y $SR_{\text{remolacha}}=0,830$ para las zonas de clima atlántico. El valor medio por tanto será de 0,811 para las zonas de clima mediterráneo y 0,801 para las zonas de clima atlántico.

Para los prados, con $R_n=2$ centímetros se obtiene $SR_{\text{prado}}=1,045$. Para los viñedos, suponiendo que el 75% del terreno se corresponde a un suelo desnudo, el cual está sometido a gradeos periódicos que le confieren una rugosidad del orden de $R_n=7$ centímetros y que el 25% restante se comporta como las formaciones de brezal en lo relativo a la rugosidad superficial. Con ello $SR_{\text{brezal}(25\%)}=0,93215$ y $SR_{\text{desnudo}(75\%)}=0,785$. Ponderando con las proporciones superficiales se obtiene $SR_{\text{viñedo}}=0,822$.

Para los cultivos arbóreos el razonamiento es similar. En los olivares se supone un 85% del suelo desnudo con las mismas condiciones que el suelo desnudo del viñedo y un 15% del suelo con una rugosidad similar a la del carrascal. Con esto, $SR_{\text{carrascal}}=1,04505$ y $SR_{\text{desnudo}}=0,785$ que ponderando con sus

proporciones superficiales se obtiene $SR_{\text{olivar}}=1,04505*0,15+0,785*0,85=0,824$. Para los almendros se supone un 75% del suelo desnudo y 25% del suelo con una rugosidad similar a la del bortal. Con esto, $SR_{\text{bortal}}=0,96271$ y $SR_{\text{desnudo}}=0,785$ que ponderando con sus proporciones superficiales se obtiene $SR_{\text{almendro}}=0,96271*0,25+0,785*0,75=0,829$. El promedio de los dos valores es el que se asume para los cultivos arbóreos, por tanto $SR_{\text{cultivos arbóreos}}=0,826$.

Como resumen a todo lo anterior se recoge los valores calculados para todos los cultivos en la siguiente tabla.

VEGETACIÓN	SR mediterráneo	SR atlántico
Cereal, patata, remolacha	0,811	0,801
Cultivo arbóreo	0,826	0,826
Prado	1,045	1,045
Viñedo	0,822	0,822

10.5.13. Cálculo y extensión del subfactor SM según RUSLE.

El subfactor SM tiene en cuenta la humedad del suelo, de modo que su valor es 1 para un suelo saturado de agua o con humedad próxima a su capacidad máxima de retención de agua y 0 para un suelo seco, próximo al punto de marchitez. El modelo RUSLE reconoce que no se sabe muy bien cómo es esta variación y propone que se asuma como lineal hasta tener mejor estudiado el subfactor.

En las zonas de clima atlántico, que en general se pueden asimilar a los territorios de Gipuzkoa y Bizkaia, los suelos no padecen sequía y en general siempre hay humedad suficiente en ellos como para que su se producen precipitaciones estas tengan capacidad de arrastre y no queden absorbidas en los huecos del suelo. Por tanto, en estos terreno el valor de SM será 1.

Por otra parte en las zonas de clima mediterráneo, pero de montaña o con altitud elevada, la situación será similar a la de las zonas de clima atlántico, puesto que en general los suelos no padecerán sequía. Ocurre lo mismo fuera del periodo de verano, donde la precipitación compensa a la evapotranspiración.

Para los usos forestales, los primeros centímetros del suelo se puede considerar que siempre van a estar saturados de agua, puesto que la presencia de una cubierta vegetal o de restos hace que se retenga más la humedad, a lo que contribuye significativamente la cubierta aérea de las copas de árboles y matorrales creando un microclima de mayor humedad. Por tanto su valor puede asumirse como 1. Algo parecido le ocurre a los cultivos agrícolas que tienen una cubierta vegetal densa en determinados momentos del año, como los cereales en primavera, la remolacha en verano o los prados durante todo el año.

En definitiva, el factor SM sólo tendría valores distintos de 1 en algunos cultivos agrícolas de las zonas de valle en clima mediterráneo y durante los meses de verano. En esas situaciones las precipitaciones son muy reducidas, ya que es en verano cuando menos llueve en esas zonas y por tanto cuando la erosión es muy reducida. Por tanto, se considera como 1 el valor de SM para todo el territorio de estudio.

Muchos de los razonamientos aquí expuestos se apoyan en resultados obtenidos en el trabajo: Ortubay Fuente, Amelia. *Relación clima-vegetación en la Comunidad Autónoma del País Vasco*. Servicio Central de Publicaciones del Gobierno Vasco. Vitoria-Gasteiz, 1995. 504 p. Tesis doctorales, Gobierno Vasco, Departamento de Industria, Agricultura y Pesca; nº27.

Mapa de Erosión de Suelos de la Comunidad Autónoma de Euskadi

10.5.14. Cálculo y extensión del factor C según RUSLE.

Todos los valores necesarios para el cálculo del factor C han sido calculados en los apartados anteriores. Teniendo en cuenta que el valor de C es el producto de los 5 subfactores que lo componen, el resultado es el que se muestra en la siguiente tabla.

GRUPO	VEGETACIÓN	PLU	CC	SC	SR	SM	C
FORESTAL	ALBAR	0,00033	0,08983	0,01288	0,98699	1	0,000000377
FORESTAL	BORTAL	0,00182	0,13474	0,29903	0,96271	1	0,000070596
FORESTAL	BREZAL	0,00725	0,10241	0,23043	0,93215	1	0,000159480
FORESTAL	CARRASCAL	0,00440	0,11927	0,55593	1,04505	1	0,000304889
FORESTAL	ENCINAR	0,08555	0,19078	0,00049	0,11905	1	0,000000952
FORESTAL	ENEBRO	0,04775	0,07036	0,23043	0,98699	1	0,000764101
FORESTAL	FRONDOSA	0,04390	0,03532	0,01875	0,9886	1	0,000028741
FORESTAL	HAYEDO	0,00892	0,24376	0,00012	1,04505	1	0,000000273
FORESTAL	MARCESCENTE	0,00825	0,05653	0,03372	0,98699	1	0,000015521
FORESTAL	PASTO	0,17408	0,00151	0,17181	1,04505	1	0,000047197
FORESTAL	PRADERA	0,01312	0,00151	0,20324	0,98699	1	0,000003974
FORESTAL	RADIATA	0,02622	0,10368	0,00470	0,93215	1	0,000011910
FORESTAL	ROBLEDAL	0,02937	0,12512	0,11531	0,90625	1	0,000384013
AGRÍCOLA	CULT. ARBÓREO	0,65200	0,82600	0,87900	0,82600	1	0,391017834
AGRÍCOLA	CEREAL MEDIT.	0,83200	0,67700	0,73000	0,81100	1	0,333469186
AGRÍCOLA	CEREAL ATLAN.	0,84100	0,75300	0,73400	0,80100	1	0,372322728
AGRÍCOLA	PRADO	0,26700	0,00600	0,55600	1,04500	1	0,000930794
AGRÍCOLA	VIÑEDO	0,68900	0,77600	0,82500	0,82200	1	0,362582392

10.6. Factor P: prácticas de conservación.

En el modelo USLE este factor depende de la pendiente y tipo de cultivo que se realice. Por tanto se trata de formas de manejo que pueden estar asociadas a la vegetación. Es necesario un mapa de vegetación y de cultivos.

En el modelo RUSLE se requieren más datos de la morfología de estas prácticas de conservación, como pueda ser la altura de los caballones. Depende de los mismos factores que para el modelo USLE.

Sin embargo, a consecuencia del trabajo de muestreo de campo realizado se ha observado que estas prácticas de conservación no existen en los cultivos de Euskadi. Seguramente no hay tradición en su realización por ser una región en la que los procesos erosivos, salvo en zonas puntuales, no se perciben en breves espacios de tiempo. Por tanto, este parámetro a efectos del cálculo de la erosión se considera como constante y con valor 1.

No se ha considerado el aterrazado del terreno como práctica de conservación porque es posible detectarlo a través del modelo digital del terreno debido a su alta resolución, con lo que se evalúa por medio del parámetro S de la pendiente.

En el caso de que apareciesen pequeños cultivos que por sus dimensiones no fuese posible la detección de esta práctica por medio del modelo digital del terreno, seguramente tampoco aparecerán cartografiados en el mapa de vegetación, puesto que este tiene una escala de trabajo mucho menor detallada que el modelo digital del terreno.

10.7. Escala de trabajo.

El pliego de condiciones que rige el presente trabajo exige que se realice el mismo a escala 1:50.000. Sin embargo, puesto que se ha elaborado o bien se dispone de una información de partida de gran calidad y nivel de resolución, el trabajo final se puede garantizar que tiene una escala de un nivel de detalle 1:25.000 o mayor.

Puesto que los modelos de erosión, tanto el RUSLE como el USLE, se obtienen mediante la combinación de una serie de factores de los que dependen, la escala del producto final será la del factor que tenga un menor nivel de detalle.

Los factores L y S han sido elaborados a partir del modelo digital de elevaciones que tiene una resolución de 5x5 metros. Teniendo en cuenta que el ojo humano no puede apreciar en un plano elementos menores de 0,2 mm, los 5 metros de resolución del modelo digital convertidos en 0,2 mm suponen una escala de 1:25.000.

Para la elaboración del factor K también ha sido necesario emplear el modelo digital de elevaciones combinado con los datos de las estaciones meteorológicas, por lo que puede aceptarse igualmente que su escala será 1:25.000. Para los factores C y K la resolución viene condicionada por la escala de los mapas de vegetación y litológico, que es 1:25.000.

En función de lo anterior, puede asegurarse que el mapa de erosión tendrá una escala mínima de 1:25.000. Sin embargo para algunas de sus aplicaciones podrá emplearse con escala de mayor detalle, puesto que si al usuario le fuese suficiente con tener una precisión gráfica de, por ejemplo, 1 mm, entonces la escala del trabajo podría considerarse como 1:5.000.

11. Erosión potencial y real

Una vez que se conocen los valores de cada uno de los parámetros que participan en el cálculo de la erosión, bien sea mediante el modelo USLE o el modelo RUSLE, se puede proceder al cálculo de la erosión para cada punto del territorio.

Sin embargo, hay que tener precaución y emplear las unidades adecuadas de cada uno de los parámetros, para evitar que el valor total presente errores. Respecto a los parámetros P, C, L y S no hay problemas de unidades ya que se trata de parámetros adimensionales. La única pega que podría aparecer es si en las ecuaciones para su estimación se hubiesen mezclado unidades americanas con las del sistema internacional (acres con hectáreas, pulgadas con centímetros, etc.), circunstancia con la que se han extremado las precauciones y se han hecho las comprobaciones pertinentes para evitarla.

Los dos parámetros restantes, K y R sí que tienen dimensiones y por tanto han de ser coherentes. Las dimensiones con las que se suele trabajar del factor R son $\text{MegaJulios} \cdot \text{milímetro} \cdot \text{hora}^{-1} \cdot \text{hectárea}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$. Las dimensiones con las que se suele trabajar para el factor K son $\text{toneladas} \cdot \text{hectárea} \cdot \text{hora} \cdot \text{MegaJulios}^{-1} \cdot \text{milímetro}^{-1} \cdot \text{hectárea}^{-1}$, de modo que al multiplicar los factores se obtenga la estimación de la erosión en $\text{toneladas} \cdot \text{hectárea}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$.

En el cálculo y estimación realizadas para cada uno de los parámetros, el factor R sí que se ha trabajado con las unidades requeridas. Sin embargo, la ecuación que permite estimar el factor K es necesario multiplicarla por 10 para conseguir las unidades requeridas.

Por tanto, para poder calcular el valor de la erosión se realiza el producto de todos los factores y se multiplica por 10 para homogeneizar unidades.

$$A \text{ (t/ha y año)} = 10 * K * R * L * S * C * P$$

11.1. Erosión potencial.

El concepto de erosión potencial es la que se produciría si se elimina la vegetación. Este valor es tremendamente importante de cara a la gestión del territorio, puesto que permite analizar cómo afecta, en lo relativo a la erosión, la eliminación de la cubierta vegetal.

Se ha elaborado el mapa de erosión vegetal considerando para todo el territorio el valor del parámetro C como la unidad y respetando el resto de parámetros con los valores que posee. Esta situación sería asumible para predecir la erosión en terrenos recientemente deforestados y en los que no se hubiese producido una remoción del horizonte superficial del suelo.

Sin embargo, no será la situación real puesto que si se elimina la vegetación sin remover el suelo seguramente se deba a aprovechamientos forestales mediante cortas a hecho en las que siempre quedará algo de vegetación arbustiva, herbácea y tocones de la vegetación arbórea. Por otra parte si un cambio de uso del suelo implica eliminar completamente la vegetación, necesariamente se ha de remover el suelo. A pesar de no ser la situación real, se trata de una aproximación razonable o de un valor máximo al que se podría llegar.

El mapa de erosión potencial es de gran utilidad para tener una idea del grado de protección que ofrece la vegetación y de la importancia de su conservación en cada zona del territorio desde el punto de vista de los procesos erosivos.

La cartografía elaborada permite conocer la magnitud de la erosión potencial para cada punto del territorio con una precisión de 5x5 metros, que es la unidad mínima con la que se ha trabajado. Por lo tanto, su manejo mediante un sistema de información geográfica permite explotar al máximo toda su potencialidad. No obstante, en el siguiente cuadro se ofrece una cuantificación de los niveles erosivos por categorías para todo el territorio, según cada una de las metodologías empleadas.

EUSKADI				
PÉRDIDAS DE SUELO POTENCIALES	METODOLOGÍA			
	SUPERFICIE (ha)		PORCENTAJE	
	USLE	RUSLE	USLE	RUSLE
0 (t/ha y año)	65.427	57.819	9,0	8,0
0 a 5 (t/ha y año)	2.015	4.049	0,3	0,6
5 a 10 (t/ha y año)	2.869	29.312	0,4	4,0
10 a 25 (t/ha y año)	18.068	24.290	2,5	3,3
25 a 50 (t/ha y año)	24.355	2.121	3,3	0,3
50 a 100 (t/ha y año)	15.029	5.217	2,1	0,7
100 a 200 (t/ha y año)	18.070	21.552	2,5	3,0
Más de 200 (t/ha y año)	579.995	580.631	79,9	80,1

La primera de las categorías comprende todas las superficies de terreno no susceptible a la erosión, como pueda ser núcleos de población o láminas de agua. Incluye también todas aquellas zonas no sometidas a erosión laminar, como puedan ser los cauces de los ríos, donde la erosión es de otro tipo. Además incluye aquellos otros lugares que presentando una configuración del terreno susceptible de ser erosionado, la predicción de los modelos arroja un valor exacto de cero.

En las siguientes tablas se ofrecen los resultados anteriores pero por territorios históricos.

ÁLAVA				
PÉRDIDAS DE SUELO POTENCIALES	METODOLOGÍA			
	SUPERFICIE (ha)		PORCENTAJE	
	USLE	RUSLE	USLE	RUSLE
0 (t/ha y año)	26.631	23.670	8,7	7,7
0 a 5 (t/ha y año)	320	3.862	0,1	1,3
5 a 10 (t/ha y año)	1.359	28.000	0,4	9,1
10 a 25 (t/ha y año)	16.430	8.157	5,4	2,7
25 a 50 (t/ha y año)	17.488	966	5,7	0,3
50 a 100 (t/ha y año)	6.884	4.601	2,2	1,5
100 a 200 (t/ha y año)	11.699	16.417	3,8	5,4
Más de 200 (t/ha y año)	226.101	221.134	73,7	72,1

GIPUZKOA				
PÉRDIDAS DE SUELO POTENCIALES	METODOLOGÍA			
	SUPERFICIE (ha)		PORCENTAJE	
	USLE	RUSLE	USLE	RUSLE
0 (t/ha y año)	16.403	15.102	8,2	7,5
0 a 5 (t/ha y año)	1.764	172	0,9	0,1
5 a 10 (t/ha y año)	1.471	804	0,7	0,4
10 a 25 (t/ha y año)	999	7.926	0,5	4,0
25 a 50 (t/ha y año)	2.421	705	1,2	0,4
50 a 100 (t/ha y año)	3.201	452	1,6	0,2
100 a 200 (t/ha y año)	4.819	1.373	2,4	0,7
Más de 200 (t/ha y año)	169.184	173.519	84,5	86,7

BIZKAIA				
PÉRDIDAS DE SUELO POTENCIALES	METODOLOGÍA			
	SUPERFICIE (ha)		PORCENTAJE	
	USLE	RUSLE	USLE	RUSLE
0 (t/ha y año)	20.782	17.791	9,6	8,2
0 a 5 (t/ha y año)	14	74	0,0	0,0
5 a 10 (t/ha y año)	135	602	0,1	0,3
10 a 25 (t/ha y año)	750	8.273	0,3	3,8
25 a 50 (t/ha y año)	4.559	537	2,1	0,2
50 a 100 (t/ha y año)	5.124	298	2,4	0,1
100 a 200 (t/ha y año)	2.026	4.103	0,9	1,9
Más de 200 (t/ha y año)	183.507	185.087	84,6	85,4

11.2. Erosión real.

El mapa de erosión real resulta de la combinación de todos los factores que intervienen en los modelos USLE y RUSLE con los valores estimados para cada situación del territorio.

La precisión y potencialidad de la cartografía elaborada es la misma que para la erosión potencial. Igualmente se adjunta un cuadro con la cuantificación de los niveles erosivos por categorías para todo el territorio, según cada una de las metodologías empleadas.

EUSKADI				
PÉRDIDAS DE SUELO REALES	METODOLOGÍA			
	SUPERFICIE (ha)		PORCENTAJE	
	USLE	RUSLE	USLE	RUSLE
0 (t/ha y año)	65.089	55.556	9,0	7,7
0 a 5 (t/ha y año)	288.306	592.395	39,7	81,7
5 a 10 (t/ha y año)	121.643	10.222	16,8	1,4
10 a 25 (t/ha y año)	109.963	1.598	15,2	0,2
25 a 50 (t/ha y año)	39.532	5.010	5,4	0,7
50 a 100 (t/ha y año)	28.070	12.009	3,9	1,6
100 a 200 (t/ha y año)	29.268	20.296	4,0	2,8
Más de 200 (t/ha y año)	43.526	27.977	6,0	3,9

Al igual que para la erosión potencial, en la primera de las categorías comprende todas las superficies de terreno no susceptible a la erosión, como pueda ser núcleos de población o láminas de agua. Incluye también todas aquellas zonas no sometidas a erosión laminar, como puedan ser los cauces de los ríos, donde la erosión es de otro tipo. Además incluye aquellos otros lugares que presentando una configuración del terreno susceptible de ser erosionado, la predicción de los modelos arroja un valor exacto de cero.

En las siguientes tablas se ofrecen los resultados anteriores pero por territorios históricos.

Mapa de Erosión de Suelos de la Comunidad Autónoma de Euskadi

ÁLAVA				
PÉRDIDAS DE SUELO REALES	METODOLOGÍA			
	SUPERFICIE (ha)		PORCENTAJE	
	USLE	RUSLE	USLE	RUSLE
0 (t/ha y año)	26.941	23.027	8,8	7,5
0 a 5 (t/ha y año)	126.594	224.715	41,2	73,2
5 a 10 (t/ha y año)	37.786	500	12,3	0,2
10 a 25 (t/ha y año)	35.504	877	11,6	0,3
25 a 50 (t/ha y año)	13.517	4.708	4,4	1,5
50 a 100 (t/ha y año)	12.848	10.881	4,2	3,5
100 a 200 (t/ha y año)	19.158	18.857	6,2	6,1
Más de 200 (t/ha y año)	34.858	23.237	11,3	7,6

GIPUZKOA				
PÉRDIDAS DE SUELO REALES	METODOLOGÍA			
	SUPERFICIE (ha)		PORCENTAJE	
	USLE	RUSLE	USLE	RUSLE
0 (t/ha y año)	16.668	15.670	8,3	7,8
0 a 5 (t/ha y año)	72.076	175.712	36,1	87,8
5 a 10 (t/ha y año)	41.518	5.556	20,8	2,8
10 a 25 (t/ha y año)	40.649	453	20,3	0,2
25 a 50 (t/ha y año)	13.924	73	7,0	0,0
50 a 100 (t/ha y año)	7.513	233	3,8	0,1
100 a 200 (t/ha y año)	4.513	469	2,3	0,2
Más de 200 (t/ha y año)	3.018	1.881	1,5	0,9

BIZKAIA				
PÉRDIDAS DE SUELO REALES	METODOLOGÍA			
	SUPERFICIE (ha)		PORCENTAJE	
	USLE	RUSLE	USLE	RUSLE
0 (t/ha y año)	20.320	16.367	9,4	7,5
0 a 5 (t/ha y año)	89.526	191.127	41,3	88,1
5 a 10 (t/ha y año)	42.219	4.156	19,5	1,9
10 a 25 (t/ha y año)	33.589	265	15,5	0,1
25 a 50 (t/ha y año)	12.037	229	5,6	0,1
50 a 100 (t/ha y año)	7.693	896	3,6	0,4
100 a 200 (t/ha y año)	5.598	971	2,6	0,4
Más de 200 (t/ha y año)	5.569	2.855	2,6	1,3

11.3. Comparación de la erosión actual y pasada.

Sólo puede compararse los niveles de erosión actuales y los niveles de erosión de otros trabajos que se hubiesen realizado en Euskadi si se utiliza la misma metodología. En ese sentido, el único patrón de comparación válido es el Mapa de Estados Erosivos, publicado por cuencas hidrográficas por el antiguo ICONA. El trabajo correspondiente a la cuenca hidrográfica del Norte se publicó en 1990 y el de la cuenca hidrográfica del Ebro en 1987.

Este trabajo se realizó a escala 1:400.000 y se empleó la metodología USLE de evaluación de la erosión de suelos, estimándose los niveles de erosión laminar y en regueros, con lo que en principio sería comparable. No obstante existen algunos problemas para poder comparar los resultados, los cuales se detallan a continuación.

- El trabajo del ICONA se hizo por cuencas hidrográficas y no ofrece sus resultados por comunidades autónomas ni por provincias. Los datos a modo de tablas están referidos a toda la cuenca hidrográfica por niveles de erosión o, en el mejor de los casos, referidos a los estratos de vegetación utilizados para estimar los valores de erosión.
- La escala de trabajo fue de 1:400.000 mientras que la escala de trabajo del presente documento es 1:25.000, aunque para la mayoría de los parámetros se ha trabajado con mayor nivel de detalle.
- La intensidad de muestreo de parcelas en el trabajo del ICONA fue de una parcela por cada más de 10.700 ha de territorio. En el presente trabajo se han realizado un parcela por cada 2.500 ha lo que supone cuatro veces más de esfuerzo de muestreo.
- El factor R se obtuvo a partir de una interpolación lineal con una escala de trabajo 1:1.000.000 en el trabajo del ICONA. En el presente trabajo se ha modelizado a partir de datos de estaciones meteorológicas, con lo que la escala de trabajo es la misma que la del mapa y teniendo en cuenta además el efecto de la variación del factor con la altitud, solventando los problemas que genera la interpolación lineal.
- El factor topográfico LS fue calculado de forma conjunta para cada parcela en el trabajo del ICONA y luego extrapolado a cada estrato en función del valor medio del conjunto de parcelas que pertenecen a un mismo estrato. En el presente trabajo se ha calculado los valores del factor L y del factor S para cada punto del territorio, lo cual es mucho más preciso, sobre todo en lo relativo al factor L, el cual varía desde la parte alta a la parte baja de una ladera.
- En el cálculo del factor LS no se tuvieron en cuenta los elementos de corte del flujo en la ladera en el trabajo del ICONA, como puedan ser pistas forestales, carreteras o similar, las cuales cambian sustancialmente los valores de L.

- Las categorías de usos del suelo o vegetación utilizadas son mucho más simples y heterogéneas que las del presente trabajo. En el del ICONA se emplearon 9 categorías, Improductivo, cultivos de regadío, cultivos arbóreos y viñedos, cultivos herbáceos de secano, erial matorral disperso y arbolado con cubierta menor del 20%, pastizales permanentes, arbustos y matorral, arbolado con cubierta entre el 20% y el 70%, arbolado con cubierta mayor del 70%. En el presente trabajo se han empleado 18 categorías de usos del suelo o vegetación.
- Las categorías litológicas utilizadas son mucho más simples y heterogéneas que las del presente trabajo. En el del ICONA se emplearon 5 categorías, reconociéndose en dicho trabajo que la agrupación litológica podría quedar mal definida. En el presente trabajo se han empleado 7 categorías litológicas a partir de información específica para Euskadi y no para toda la cuenca hidrográfica del Norte y del Ebro.

Teniendo en cuenta lo anterior no es posible realizar una comparación estricta, porque a pesar de que la metodología sea la misma, existen diferencias importantes en su aplicación, seguramente por tratarse el mapa actual de un trabajo realizado muchos años después y con más información de partida o con más medios.

12. Procesos erosivos activos.

Como parte integrante del trabajo del mapa de erosión de suelos de Euskadi y de forma complementaria a la cartografía de pérdidas de suelo por el método USLE y el método RUSLE, se ha elaborado una cartografía para todo el territorio sobre los procesos erosivos activos. El proceso de cálculo y elaboración, así como la interpretación de los resultados se muestra a continuación.

12.1. Esquema conceptual.

Un proceso erosivo activo es aquel en el que el balance entre pérdidas de suelo y aportes por sedimentación o generación de material fino a partir de la roca subyacente arroja un saldo negativo. Si se pierde más suelo del que se deposita o se genera, se puede considerar un proceso activo.

Teniendo en cuenta lo anterior, la práctica totalidad del terreno está sometido a procesos erosivos laminares activos, exceptuando aquellas zonas que desde el punto de vista geomorfológico se pueden considerar como depósitos (coluviones, llanuras aluviales, conos de deyección, terrazas fluviales, etc.) y por tanto el propio mapa geomorfológico es un reflejo de los procesos erosivos activos.

Sin embargo, la definición de proceso erosivo activo se puede restringir a aquellos procesos en los que la erosión se concentra. Deja de ser erosión laminar y se puede apreciar de forma visible, creándose en el terreno inicialmente incisiones por las que se concentra el flujo de la escorrentía y posteriormente cárcavas, barrancos o cauces si el flujo es más o menos permanente.

La cartografía elaborada refleja las zonas de erosión activa empleando una escala relativa, teniendo en cuenta, para cada punto del territorio, la relación entre la longitud del flujo de agua y el flujo acumulado, a igualdad del resto de los factores.

Para cada punto del territorio se conoce la distancia que hay hasta el lugar donde comienza la circulación de agua de escorrentía. Para ese mismo punto se puede calcular la superficie de la cuenca vertiente que hay hasta ese punto. El cociente entre ambos parámetros es un estimador de la capacidad que tiene la morfología del terreno para concentrar el flujo de agua de escorrentía, de modo que cuanto mayor sea dicho cociente, mayor será la capacidad incisiva del agua y por tanto mayor será la magnitud del fenómeno de incisión erosiva.

12.2. *Proceso operativo.*

Para la elaboración de esta cartografía se ha utilizado el modelo digital del terreno del gobierno vasco de resolución 5x5 metros del año 2002, operando siempre a través de un sistema de información geográfica.

La primera operación realizada es el suavizado del modelo de elevaciones, puesto que en función de las altitudes que aparecen en el mismo podría haber sumideros o puntos del territorio rodeados en su totalidad de otros de mayor altitud en una distancia muy reducida. Para proceder al suavizado se ha asignado a cada pixel del modelo la altitud media de las cinco filas y cinco columnas de píxeles que le rodean, es decir, se le asigna el valor medio de las 25 altitudes que aparecen en un cuadrado de 25x25 metros.

Con el modelo suavizado se ha calculado la dirección del flujo del agua, teniendo en cuenta para cada pixel del territorio los ocho que le rodean

(flowdirection). En función de esto existen dos posibles resultados, o bien el agua no circula por tratarse de un terreno llano o bien se conoce para cada punto la dirección que seguirá el agua de escorrentía.

Con el modelo de direcciones anterior, se calcula para cada punto del territorio la longitud recorrida (flowlength) por el flujo de agua que circula por la ladera. Además se calcula para cada punto el área que existe aguas arriba y que drena hasta ese punto (flowaccumulation). Ambos resultados han de tener las unidades adecuadas, por ello es necesario multiplicar por 25 el área, ya que el valor que ofrece el sistema de información geográfica es el número de píxeles y no los metros cuadrados. Sin embargo la longitud recorrida sí que se obtiene directamente en metros.

El cociente entre área y longitud es un indicador de la erosión activa, el cual nunca puede ser inferior a la unidad. El resultado obtenido tiene una resolución demasiado grande con lo que no es operativo para su consulta. Por ello se ha realizado un proceso de filtrado al objeto de eliminar recintos pequeños. Para ello se ha asignado a cada punto del territorio el valor máximo de los que aparecen en una matriz de 5x5 píxeles y luego se repite la misma operación sobre ese resultado pero asignando ahora el valor mínimo de una matriz del mismo tamaño. Con ello se eliminan los recintos de pequeño tamaño que dificultan la comprensión del resultado.

Como se ha trabajado en formato raster, el resultado se ha transformado en una capa vectorial en formato shape, al objeto de que ocupe menos y sea mucho más fácil su manejo. Para realizar esta conversión se han establecido cinco grupos, los cuales se detallan en la siguiente tabla.

PROCESOS EROSIVOS ACTIVOS	
CATEGORÍA	MAGNITUD
0 a 5	Muy baja
5 a 10	Baja
10 a 15	Media
15 a 20	Alta
Más de 20	Muy alta

12.3. Resultado e interpretación.

El cociente entre área y longitud es un indicador de la erosión activa, el cual nunca puede ser inferior a la unidad. Para cocientes bajos, es decir, para valores de cuencas vertientes no muy grandes respecto a la longitud del flujo drenante, el poder incisivo del agua será bajo y por tanto el proceso activo erosivo será nulo o de baja intensidad. Esto puede interpretarse como cuencas vertiente pequeñas o muy alargadas y estrechas, lo cual efectivamente tiene un reducido poder de incisión en el terreno.

Por el contrario, para cocientes altos, es decir, para valores de cuencas vertientes grandes respecto a la longitud del flujo drenante, el poder incisivo del agua será elevado y por tanto el proceso activo erosivo será grande o de alta intensidad. Esto puede interpretarse como cuencas vertiente grandes que aportan mucho flujo de agua o muy anchas y cortas, lo cual efectivamente tiene un gran poder de incisión en el terreno.

De la observación de los datos se concluye que un cociente de 15 ó superior refleja con gran precisión la presencia de los cauces de los ríos.

13. Cartografía de erosión

Toda la información generada permite crear unos mapas de erosión de suelos para Euskadi. Sin embargo es necesario realizar un proceso previo para que estos mapas puedan ser empleados por un usuario final sin necesidad de que este posea grandes conocimientos de manejo de sistemas de información geográfica.

Todas las capas de información empleadas se han utilizado en formato raster, es decir, capas con píxeles en las que a recintos de 5x5 metros del territorio se les asocia una determinada información ambiental. Esto permite conocer con valores exactos los parámetros de los que depende la erosión y su valor final. Sin embargo esta gran precisión, que podría entenderse como una ventaja, se convierte en un inconveniente para el manejo ágil de la información y por usuarios no expertos.

La presencia de valores concretos para cada punto del territorio no permite tener una idea de conjunto y es más práctico generar categorías que agrupen en intervalos los valores obtenidos. Por otra parte, el manejo de coberturas raster es más complejo que el manejo de capas vectoriales y además requieren mayor potencia de los equipos informáticos puesto que ocupan mucha más memoria.

Por tanto, se ha generado una capa para todo el territorio en formato vectorial shape con 8 categorías. Se ha realizado para los modelos USLE y RUSLE, tanto para las pérdidas de suelo reales como para las potenciales. Las categorías empleadas y el significado de cada una de ellas se explica en la siguiente tabla.

PÉRDIDAS DE SUELO	INTERPRETACIÓN
0 (t/ha y año)	Zonas no susceptibles al proceso erosivo, como puedan ser espacios urbanos, carreteras, embalses, etc.
0 a 5 (t/ha y año)	Zonas con niveles de erosión muy bajos y pérdidas de suelo tolerables. No hay erosión neta.
5 a 10 (t/ha y año)	Zonas con niveles de erosión bajos y pérdidas de suelo que pueden ser tolerables. Probablemente no hay erosión neta.
10 a 25 (t/ha y año)	Zonas con procesos erosivos leves. Existe erosión, aunque no es apreciable a simple vista.
25 a 50 (t/ha y año)	Zonas con procesos erosivos moderados. Existe erosión, aunque puede no ser apreciable a simple vista.
50 a 100 (t/ha y año)	Zonas con procesos erosivos graves. Existe erosión y es apreciable a simple vista.
100 a 200 (t/ha y año)	Zonas con procesos erosivos muy graves. Existe erosión y es manifiesta a simple vista.
Más de 200 (t/ha y año)	Zonas con procesos erosivos extremos. Existe erosión y es evidente a simple vista.

Para una densidad aparente media de 1 t/m^3 del suelo y para unas pérdidas de suelo de 10 t/ha y año , se produciría una reducción del espesor del suelo de 1 milímetro al año. La velocidad a la que se genera material fino en el suelo es también de este orden, aunque varía en función de diversos factores, por lo que para valores de pérdidas por erosión de hasta 10 t/ha y año , en general no puede hablarse de pérdidas netas.

Sin embargo, cuando las pérdidas llegan a 100 t/ha y año , la reducción del espesor del suelo es del orden de 1 cm/año , lo cual hace que sea un nivel de pérdidas neto inadmisibles e incluso que sea observable a simple vista por los efectos que genera en el terreno.

Por otra parte y para facilitar aún más el manejo de la capa de información en formato vectorial shape, se ha procedido a filtrar aquellos recintos del territorio que perteneciendo a una categoría concreta, su entidad superficial es inferior a 2.500 m². Estos recintos, supuesto que fuesen cuadrados, tendrían un tamaño de 50 por 50 metros, lo que equivale a 2 mm a escala 1:25.000.

Por tanto, se han eliminado aquellos recintos de menos de 2 mm, puesto que si bien el ojo humano es capaz de percibirlos, complican mucho la capa de información y no contribuyen a aportar datos para la toma de decisiones en la gestión global del territorio. Este proceso se ha realizado asignando estos recintos a la categoría limítrofe que mayor longitud de frontera tiene en común con el recinto a eliminar.

Para la intervención o la gestión del territorio puntual existe la información detallada en formato raster, puesto que esa información se conserva y está disponible para que se pueda emplear, pero no forma parte de la capa de información disponible para el gran público.

Como anejo al presente documento se adjuntan algunos mapas a modo de ejemplos en los que se representa la cartografía de erosión de algunas zonas del territorio a escala 1:25.000. La presentación en papel no es el fin del presente trabajo, sin embargo es una de las posibles aplicaciones y por ello se adjunta.

14. Programa de cálculo de erosión

Se ha elaborado un programa informático en una hoja de cálculo, de modo que para una situación concreta del territorio, o para una combinación de factores dada, se pueda predecir el valor de la erosión potencial o real tanto por el modelo USLE como por el RUSLE.

Su manejo es sencillo puesto que se ha elaborado en formato del programa Microsoft Excel. Sin embargo, es necesario indicar que el resultado del programa está condicionado por los valores de entrada y su predicción será tanto más parecida a la realidad cuanto mejor reflejen los factores incluidos en la situación que se pretende analizar.

Además, para un correcto uso del programa es necesario estar familiarizado con los modelos de predicción de la erosión USLE y RUSLE. En caso contrario, conviene consultar bibliografía sobre dichos modelos o bien la presente memoria en los apartados correspondientes.

15. Erosión y gestión del territorio

A partir de toda la información generada con el presente trabajo se pueden obtener múltiples conclusiones de cara a la gestión del territorio. Será cada gestor el que, en función de sus necesidades o del recurso que tenga que gestionar, interpretará la información de un modo u otro.

No obstante existen algunas conclusiones generales que se pueden deducir aplicables para la gestión del medio natural en general, y que son independientes del recurso concreto gestionado, las cuales se centran en minimizar el valor de la erosión laminar que se puede producir en cada punto del territorio.

15.1. Agresividad del clima.

El clima no se puede modificar de cara a la gestión de la erosión, al menos a corto plazo. Por tanto es importante conocer dónde es más agresivo para que en esas zonas se limiten las actuaciones que mayor erosión pueden ocasionar.

Los valores más elevados del factor R se dan en las zonas de mayor altitud y en aquellas en las que el clima es más lluvioso. En contra de lo que pudiera parecer, en Euskadi la lluvia de menor intensidad pero en gran cantidad tiene un efecto negativo de cara a la erosión mayor que las tormentas intensas pero que acontecen como fenómenos puntuales. Probablemente esta situación no se da en otras regiones donde las tormentas tienen una magnitud tan grande que efectivamente puede ser más negativo que la lluvia suave prolongada.

Por tanto, desde el punto de vista del clima, habrá que tener mayor precaución en Errenteria o en Oiartzun que en Labastida o Laguardia.

15.2. Susceptibilidad del suelo.

Los suelos presentan algunas características que son modificables sin más que alterar el uso que se hace de ellos. Un suelo cubierto de vegetación que se deforesta, pierde una parte importante de su contenido en materia orgánica y se degrada su estructura.

Sin embargo existen otras características de los suelos que no son modificables por el cambio de uso, sino por la erosión que se produce en ellos a consecuencia del cambio de uso, como es la granulometría y la permeabilidad.

La mejor manera de proteger los suelos de cara a la erosión es mantener una cubierta vegetal importante y no laborearlos, puesto que de lo contrario se degradan irremediablemente. Los aportes de materia orgánica en los suelos agrícolas pueden resultar beneficiosos, si bien es más importante para estos el manejo bajo condiciones de laboreo mínimo.

15.3. Longitud de ladera.

La longitud de ladera es posible cambiarla sin más que crear una estructura artificial que interrumpa la circulación del flujo del agua en la ladera, es decir, mediante la construcción de un camino por ejemplo. No obstante la construcción de estas infraestructuras cortan el flujo y frenan la erosión laminar, pero remueven el terreno y proporcionan sedimentos que son arrastrados no como erosión laminar, sino como arrastres de material, pero en una magnitud mucho más elevada que la que se produciría por erosión laminar.

Por tanto, no es sensato reducir la longitud de ladera a base de construir carreteras. Este factor ha de considerarse como invariante de cara a la gestión del territorio.

15.4. Pendiente.

La pendiente del terreno no se puede modificar como método de gestión de la erosión, puesto que una actuación que sí supondría modificar la pendiente, como podría ser la creación de bancales o terrazas de cultivo, se considera como una práctica de conservación de suelos y se evalúa a través del factor P. La pendiente es una característica propia del territorio y por tanto es cuestión de ubicar las actividades que pudieran implicar un mayor grado de erosión en las zonas de menor pendiente.

Para hacerse una idea de la importancia que tiene la pendiente en la ubicación de usos con potencial erosivo, en la siguiente tabla se refleja el incremento de erosión que se produce en un terreno tomando como patrón de referencia la pendiente del 9% y a igualdad de otros factores, tanto para la metodología USLE como para la RUSLE.

PENDIENTE	INCREMENTO EROSIÓN	
	USLE	RUSLE
9%	1,0	1,0
20%	2,8	1,6
30%	4,8	2,0
40%	7,0	2,3
50%	9,3	2,6
60%	11,8	2,9
70%	14,4	3,0

Según la tabla anterior, ubicar una actividad en una zona con 30% de pendiente en vez de una zona con el 9% de pendiente supondría incrementar los niveles de erosión al doble para la metodología RUSLE y casi quintuplicarlos para la metodología USLE. Esa misma actividad ubicada en un lugar con el 70% de pendiente supondría incrementar los niveles de erosión al triple para la metodología RUSLE y en más de 14 veces para la metodología USLE.

15.5. Vegetación.

La vegetación tiene una importancia muy grande en la mitigación de los fenómenos erosivos, como puede deducirse de las diferencias tan grandes que existen entre mapa de erosión potencial y el real, ya que el primero podría interpretarse como los niveles de erosión si en el momento actual desapareciese la vegetación.

Respecto a la vegetación los mayores niveles de erosión están para los usos agrícolas que implican que el suelo quede descubierto durante alguna parte del año. Los cultivos herbáceos permanentes tienen un comportamiento similar a los terrenos con usos forestales en cuanto al nivel elevado de protección de los suelos. Por tanto es en las zonas de cultivos agrícolas donde se debe realizar una gestión más cuidadosa de conservación de suelos y de protección frente a la erosión, puesto que las diferencias en cuanto a las pérdidas de suelo son abismales a igualdad del resto de factores.

Las diferencias de niveles de erosión teniendo en cuenta sólo este valor son del orden de 100 veces entre usos forestales y los agrícolas que implican suelo descubierto para la metodología USLE. Para la metodología RUSLE las diferencias son todavía mayores.

La metodología RUSLE permite conocer aún mejor todos los parámetros relativos a la vegetación que influyen en y condicionan los procesos erosivos.

Respecto al uso principal del suelo, subfactor PLU, tiene del orden de 5 veces más importancia el contenido de raíces del suelo que la incorporación de los residuos vegetales. Por otra parte, la remoción del suelo puede generar más del doble de erosión que si el suelo no se remueve. Luego favorecer la presencia de raíces y reducir o eliminar el laboreo es la clave para minimizar la erosión según este subfactor.

Respecto a la cubierta aérea, subfactor CC, la clave está en el grado de cobertura ya que lógicamente si la vegetación cubre el 100% del terreno se protegerá más que si el grado de cobertura es menor. No obstante, la cubierta pierde efectividad con la altura, puesto que para alturas superiores a 10 metros los niveles en que se reduce la erosión son relativamente bajos.

Una cubierta completa y una altura muy pequeña de la vegetación, como ocurre en las praderas, ofrecen un grado de protección muy elevado. La protección se puede incrementar con la presencia de varios estratos de vegetación arbórea, arbustiva y herbácea, puesto que los efectos de cada estrato son acumulativos y hacia esta estructura es hacia la que se debe tender en la gestión forestal de cara a evitar la erosión, sin perjuicio de que otros factores como el riesgo de incendios forestales aconsejen reducir la carga de combustible y proceder a desbrozar los terrenos arbolados.

Respecto a la cubierta superficial, subfactor SC, es evidente que favorecer la presencia de restos vegetales en el suelo es positivo de cara a la protección frente a la erosión, sin perjuicio de que pueda ser fuente de otros problemas como por ejemplo el desarrollo de plagas en cultivos de patata. En los terrenos

forestales la cubierta de hojas secas es una coraza protectora efectiva, tanto mayor cuanto mayor espesor y grado de humificación presente.

El subfactor de rugosidad superficial podría aconsejar la roturación de los terrenos para incrementar su valor. Sin embargo, si bien efectivamente puede ser una práctica efectiva en terrenos agrícolas, induce otros fenómenos como la destrucción de la estructura del suelo y la pérdida de la vegetación que tendrían efectos más perniciosos que los beneficios que supone. Por tanto, sólo el alzado del terreno mediante laboreo puede ser un método de reducción de la erosión laminar en terrenos agrícolas desprovistos de vegetación.

15.6. Prácticas de conservación.

Cualquier práctica de conservación siempre es positiva para los cultivo agrícolas. El cultivo siguiendo curvas de nivel probablemente sea el más adecuado, puesto que si el terreno tiene una pendiente que no permite que la maquinaria trabaje de esta manera, seguramente se trate de un uso inadecuado para la pendiente que presente el terreno.

El aterrazado o la creación de bancales es también un método eficaz de evitar las pérdidas de suelo, pero al igual que en el caso anterior, si hay que recurrir a ello es señal de que el uso agrícola de que se trate está ubicado en un terreno con demasiada pendiente y con seguridad la vocación del territorio será la forestal.

15.7. Modelo USLE o RUSLE.

Todos los resultados generados en el presente trabajo se ofrecen bajo la metodología USLE y la RUSLE. Evidentemente la segunda metodología es

más precisa, puesto que se trata de una versión mejorada de la primera y los valores que predice deben ser más parecidos a los que realmente se producen en el territorio.

Ahora bien, no se sabe cuanto mejor es una metodología que otra. De la observación de los resultados por la metodología USLE hay valores que sorprenden y que hacen sospechar que los valores que ofrece no son muy precisos. Por ejemplo, para una ladera de 200 metros de longitud, pendiente del 50%, sin prácticas de conservación, vegetación de brezal con un suelo de factor K de 0,2 y una factor R de agresividad de la lluvia de 200, se obtienen unas predicciones de erosión de menos de 2 t/ha y año para la metodología RUSLE y de más de 80 t/ha y año para la metodología USLE.

Si el segundo resultado fuese reflejo de la realidad, para una densidad aparente del horizonte superficial del suelo de 1 t/m^3 , se perdería un espesor de suelo de 8 mm/año, lo que supone que a lo largo de un siglo se perdería casi un metro de espesor de suelo. Puesto que muchos matorrales de brezo existen en Euskadi desde hace más de un siglo, necesariamente deberían estar totalmente erosionados y debería aflorar la roca. Sin embargo no es esa la realidad, por lo que efectivamente es de suponer que los valores absolutos obtenidos por la metodología RUSLE sean más precisos.

No obstante, lo realmente importante no son los valores absolutos, sino los relativos comparados dentro de la misma metodología, de modo que se puedan estudiar las distintas alternativas de manejo y se conozca cuanto mayor o menor es el impacto de una actividad, independientemente de los valores absolutos obtenidos.

15.8. Erosión potencial y real.

Los resultados obtenidos permiten conocer que prácticamente el 80% del territorio vasco presenta un riesgo potencial de sufrir procesos erosivos extremos, con tasas superiores a las 200 t/ha y año. Estos valores son similares tanto para la metodología USLE como la RUSLE.

Sin embargo, cuando se analizan los valores de pérdidas reales, el 90% del territorio tiene pérdidas de suelo inferiores a 10 t/ha y año según la metodología RUSLE y para esa misma tasa de erosión, la superficie afectada es del 65% t/ha y año según la metodología USLE.

Esto ha de hacer reflexionar sobre la terrible amenaza que supone la erosión en Euskadi y demuestra que es fundamental incorporar los condicionantes de la erosión a cualquier política de intervención o gestión del territorio.

16. Contenido del trabajo y autores

El presente trabajo se ha realizado entre octubre de 2004 y junio de 2005. A esta memoria le acompaña una base de datos alfanumérica con los datos y fotografías de las parcelas realizadas. Además existe gran cantidad de información cartográfica que está elaborada en formato de sistema de información geográfica para que pueda ser tratada informáticamente por cualquier usuario.

La cartografía elaborada es la de los parámetros que participan en la evaluación de la erosión por la metodología USLE y RUSLE, la cartografía de los niveles de erosión potencial y actual, así como los procesos erosivos activos. Existe en formato raster y en formato vectorial shape.

También forma parte de este trabajo un programa informático elaborado en una hoja de cálculo en formato de Microsoft Excel. Esta herramienta ofrece, para una situación concreta del territorio, o para una combinación de factores dada, una predicción del valor de la erosión potencial o real tanto por el modelo USLE como por el RUSLE.

El trabajo ha sido dirigido por parte del Departamento de Biodiversidad del Gobierno Vasco por Bruno Arrieta Atxa y M^a Felisa Chavarri Díaz de Cerio. En su elaboración ha participado un equipo multidisciplinar de la empresa IDER, S.A. cuyo responsable ha sido Francisco Rodríguez Roncero.

17. Anejo nº1: Estaciones meteorológicas y factor R

A continuación se reproduce el listado de las estaciones meteorológicas empleadas para la modelización del factor R, con sus datos de altitud, coordenadas y valor del factor R. Se agrupan en dos tablas, la primera corresponde a las estaciones meteorológicas que están dentro del territorio de Euskadi, la segunda comprende las estaciones que están fuera pero próximas y que han sido necesarias para evitar zonas de sombra en la modelización.

NOMBRE	ALTITUD	X	Y	FACTOR R
ABADIANO 'MENDIOLA'	160	532647,02	4775904,71	199,9
ALAIZA 'IBERDUERO'	650	549164,62	4740843,51	81,3
ALBINA 'EMBALSE'	600	531364,85	4759240,74	168,0
AMURRIO 'COLEGIO'	219	500113,88	4766576,50	136,1
AMURRIO 'INSTITUTO'	219	500113,88	4766576,50	181,4
ANDA 'IBERDUERO'	606	509638,85	4751780,25	142,3
ANTOÑANA 'CENTRAL IBERD'	600	550638,10	4726039,94	55,1
ARACA 'AMVISA'	563	527332,28	4748118,53	89,8
ARANZAZU	98	517738,70	4775849,86	230,8
ARANZAZU 'NUESTRA SEÑORA'	770	550407,83	4757510,55	221,4
ARCAUTE	515	531432,28	4744438,04	82,7
ARCENALES	300	482513,03	4785111,67	204,9
ARCHUA 'IBERDUERO'	710	502833,27	4748065,19	146,6
ARLUCEA	774	538328,58	4729670,04	156,8
ARMIÑON	467	511028,85	4729573,07	72,6
ARRIOLA	638	550462,14	4750103,60	100,7
ASTIGARRAGA	60	586683,09	4791193,96	262,0
AUDICANA 'IBERDUERO'	580	542320,67	4746350,74	73,6
BEASAIN	171	566628,63	4766900,12	196,1

Mapa de Erosión de Suelos de la Comunidad Autónoma de Euskadi

NOMBRE	ALTITUD	X	Y	FACTOR R
BERGANZO 'IBERDUERO'	578	517881,61	4720326,21	81,7
BERGARA 'ALBITXU'	205	547568,19	4774148,71	247,5
BERNEDO	740	542490,60	4718589,53	88,2
BETOLAZA 'IBERDUERO'	546	527310,29	4753670,92	105,2
CARRANZA	239	471693,81	4786991,83	258,3
DOMAIQUIA 'IBERDUERO'	652	516437,73	4751793,04	135,0
DURANA 'AMVISA'	540	530051,76	4749984,36	94,8
DURANGO 'VIVERO'	280	529930,52	4777746,90	220,6
ECHEVARRIA	100	543406,14	4788925,03	226,6
ELDUAYEN	256	581446,96	4776312,37	308,5
ESCORIAZA 'TESA'	279	539507,33	4761137,31	114,4
ESPEJO	500	497390,83	4738815,02	79,9
FORONDA 'IBERDUERO'	517	523249,11	4748103,58	94,5
FUENTERRABIA 'AEROPUERTO'	8	598721,84	4800611,29	206,2
GACETA	547	528719,13	4742571,72	121,3
GAMIZ	575	531449,10	4740740,19	84,9
HERNANI 'CENTRAL DE SANTIAGO'	40	589483,03	4783821,60	221,8
HERNANI 'EREÑOZU'	44	586730,41	4787484,70	233,7
HUETO DE ARRIBA 'IBERDUERO'	550	516446,55	4748084,05	148,9
IZARRA 'IBERDUERO'	620	508271,41	4755476,40	145,3
LAGRAN 'VILLAVERDE'	756	534289,17	4718544,30	110,4
LASARTE 'MICHELIN'	85	579914,63	4791110,96	234,7
LEGAZPIA	402	554412,09	4766792,16	211,4
MARURI	60	512263,99	4803601,62	238,3
MONDRAGON	216	542195,57	4766706,03	210,7
MURGUIA 'IBERDUERO'	618	515066,63	4755487,84	166,8
MURUA 'AMVISA'	618	521864,13	4757360,56	167,9
OCHANDIANO 'IBERDUERO'	559	528626,71	4764781,39	197,2

Mapa de Erosión de Suelos de la Comunidad Autónoma de Euskadi

NOMBRE	ALTITUD	X	Y	FACTOR R
OPACUA	674	553252,19	4740873,82	77,3
OSMA DE ALAVA 'IBERDUERO'	575	496030,71	4748065,87	98,0
OYARZUN	82	593392,55	4794981,78	262,7
OYARZUN 'ARDITURRI'	280	597474,82	4793184,18	385,6
OZAETA 'IBERDUERO'	560	542286,59	4751903,13	97,5
PEÑACERRADA	754	524711,57	4720347,07	89,1
PUENTELARRA 'IBERDUERO'	473	497388,64	4733262,77	72,7
RENTERIA 'PRESA DEL AÑARBE'	120	592188,50	4783857,70	334,6
RENTERIA 'VILLA'	6	590691,50	4794945,13	238,0
SALINAS DE AÑANA	566	501479,49	4738814,62	82,3
SALINAS DE AÑANA 'MONASTERIO'	620	501479,86	4736960,16	82,2
SALVATIERRA 'IBERDUERO'	605	550502,80	4744551,22	77,5
SAN SEBASTIAN 'ATEGORRIETA'	8	585257,99	4796729,61	203,1
SAN SEBASTIAN 'IGUELDO'	259	578524,65	4794793,41	186,0
SENDADIANO	604	508280,21	4748069,50	153,8
SONDICA 'AEROPUERTO'	34	506870,47	4794343,09	206,8
SUBIJANA MORILLAS 'IBERDUERO'	537	509654,23	4740675,55	100,4
ULLIVARRI GAMBOA 'PRESA'	570	532761,60	4751851,24	111,9
URRUNAGA 'PRESA'	540	528665,25	4755530,97	135,8
VALMASEDA	320	485221,79	4783250,59	196,8
VILLABONA 'GRANJA FRAISORO'	172	575960,14	4781802,46	203,3
VITORIA 'AEROPUERTO'	508	523249,11	4748103,58	105,6
VITORIA 'INSTITUTO'	550	527354,25	4742566,18	70,9
ZAMBRANA	459	511040,53	4722166,47	66,3
ZARAUZ	11	567741,16	4790978,67	156,5

Mapa de Erosión de Suelos de la Comunidad Autónoma de Euskadi

NOMBRE	ALTITUD	X	Y	FACTOR R
ALSASUA	525	568164,11	4748401,43	115,2
ARRIETA	640	523292,63	4735155,59	100,5
ARTICUTZA	305	598964,38	4783952,83	491,1
BAJAURI BUSTURIA	785	535631,66	4722248,86	124,2
CASTRO URDIALES	16	483913,73	4803610,12	106,5
CASTROBARTO	693	468888,25	4764793,24	123,0
CENICERO 'BODEGA'	437	530260,53	4701869,20	61,1
CENICERO 'INDUSTRIAL'	430	530260,53	4701869,20	61,4
COTERILLO DE AMPUERO	25	466333,13	4798122,17	246,6
CRIALES DE LOSA	645	474265,05	4751822,29	85,4
FRESNEDO DE SOBA	521	462186,77	4781485,41	160,0
GALBARRA	579	561542,52	4727982,69	100,4
GURIEZO 'G.C.'	77	474446,90	4799941,21	265,8
HARO	479	512425,83	4712918,98	59,5
HARO 'IBERDUERO'	479	512425,83	4712918,98	54,8
HERRAN DE TOBALINA	697	482398,41	4740691,72	106,2
LOGROÑO 'AGONCILLO'	352	556303,45	4700175,87	75,5
MIRANDA DE EBRO	520	504211,30	4724013,49	85,7
MIRANDA DE EBRO 'AZUCARERA	475	506938,37	4725858,96	82,8
MIRANDA DE EBRO 'MONTEFIBR	458	506938,37	4725858,96	83,6
ONTON	80	486603,67	4799906,00	151,2
OTANES	100	485250,20	4796210,66	215,0
PANTANO DE ORDUNTE	400	475720,67	4777725,32	193,8
RAMALES DE LA VICTORIA 'G.	84	463583,76	4788885,27	250,6
SAN ASENSIO	475	520650,18	4707386,32	51,4
SAN VICENTE DE SONSIERRA '	500	520639,27	4711083,97	94,4
VAREA 'VIVEROS PROVEDO'	370	549453,44	4700124,09	69,6
VIANA	430	552150,36	4705695,97	100,2

18. Anejo nº2: Agrupación de litología para el factor K

A continuación se reproduce el listado de categorías que aparecen en el mapa geológico 1:25.000 de Euskadi con la asignación de grupos que se ha realizado para simplificar su manejo de cara a predecir la erosión.

LEYENDA	LITOLOGIA
001 - Rocas ígneas básicas	CALIZA
002 - Diques o filones de cuarzo	ARENISCAS
003 - Filones de calcita	CALIZA
004 - Alteraciones hidrotermales en fracturas	MIXTA
005 - Silicificaciones	ARENISCAS
006 - Dolomitizaciones	CALIZA
007 - Granitos cataclásticos	IGNEA
008 - Rocas básicas (ofitas) tectonizadas	CALIZA
009 - Brecha de falla intraformacional	MIXTA
010 - Brecha de falla poligénica	MIXTA
011 - Granodioritas	IGNEA
012 - Gabrodioritas	IGNEA
013 - Granitos porfídicos y pórfidos graníticos	IGNEA
014 - Zonas con abundantes inyecciones graníticas	IGNEA
015 - Zona mixta 13+14	IGNEA
016 - Granito heterogranular de grano grueso	IGNEA
017 - Zonas con abundantes enclaves de corneanas	IGNEA
018 - Granitos y leucogranitos de grano fino-medio	IGNEA
019 - Granitos y leucogranitos de grano medio-grueso	IGNEA
020 - Pizarras y grauvacas mosqueadas	LUTITAS Y ARENISCAS
021 - Brechas de contacto	MIXTA
022 - Alternancia de pizarras y grauvacas. Pizarras	LUTITAS Y ARENISCAS

Mapa de Erosión de Suelos de la Comunidad Autónoma de Euskadi

LEYENDA	LITOLOGIA
dominantes	
023 - Alternancia de pizarras y grauvacas. Grauvacas dominantes	LUTITAS Y ARENISCAS
024 - Pizarras	LUTITAS
025 - Calizas negras estratificadas	CALIZA
026 - Conglomerados silíceos	ARENISCAS
027 - Brechas sedimentarias	MIXTA
028 - Paleozoico indiferenciado asociado a las fallas de Régil y Leiza	MIXTA
029 - Areniscas cuarzo-feldespáticas y limolitas rojas	LUTITAS Y ARENISCAS
030 - Alternancia de areniscas y conglomerados. Areniscas dominantes	ARENISCAS
031 - Conglomerados cuarcíticos	ARENISCAS
032 - Calizas tableadas	CALIZA
033 - Calizas, dolomías y margas laminadas	CALIZA
034 - Areniscas silíceas verdes de grano fino	ARENISCAS
035 - Arcillas abigarradas y yesos	MARGA
036 - Ofitas	MARGA
037 - Niveles de yeso	MARGA
038 - Rocas volcanoclásticas	IGNEA
039 - Margas arcillosas	MARGA
040 - Brechas tectónicas asociadas al Trías	MIXTA
041 - Carniolas. Brechas intraformacionales	CALIZA
042 - Calizas grises, calizas dolomíticas y pasadas de carniolas. Lías indiferenciado	CALIZA
043 - Calizas dolomíticas y dolomías laminadas	CALIZA
044 - Calizas dolomíticas y calizas grises estratificadas	CALIZA
045 - Margas grises, generalmente masivas	MARGA

Mapa de Erosión de Suelos de la Comunidad Autónoma de Euskadi

LEYENDA	LITOLOGIA
046 - Calizas margosas y margocalizas estratificadas	CALIZA
047 - Areniscas con cemento calcáreo	CALIZA
048 - Calizas y brechas calcáreas	CALIZA
049 - Calizas, margas y margocalizas con ammonites y belemnites	CALIZA
050 - Calizas bioclásticas y calizas con sílex	CALIZA
051 - Areniscas calcáreas	CALIZA
052 - Conglomerados	ARENISCAS
053 - Margocalizas grises con nódulos de sílex	MARGA
054 - Margas arenosas y lutitas	MARGA
055 - Areniscas y limolitas micáceas	LUTITAS Y ARENISCAS
056 - Areniscas silíceas	ARENISCAS
057 - Conglomerados de cantos silíceos	ARENISCAS
058 - Calizas conglomeráticas y calizas arenosas	CALIZA
059 - Calizas bioclásticas encrinidas	CALIZA
060 - Niveles pizarrosos lenticulares	LUTITAS
061 - Calizas micríticas oscuras tableadas	CALIZA
062 - Lutitas micáceas versicolores	LUTITAS
063 - Calizas de sérpulas, localmente con moluscos y oolitos	CALIZA
064 - Margas y margocalizas	MARGA
065 - Lutitas rojizas, margas y calizas arenosas	MARGA
066 - Lutitas negras y areniscas	LUTITAS Y ARENISCAS
067 - Areniscas con niveles lutíticos	LUTITAS Y ARENISCAS
068 - Rocas ígneas	IGNEA
069 - Niveles carbonatados	CALIZA
070 - Pizarras negras, areniscas y calizas negras fétidas	LUTITAS
071 - Niveles de lutitas negras laminadas	LUTITAS

Mapa de Erosión de Suelos de la Comunidad Autónoma de Euskadi

LEYENDA	LITOLOGIA
072 - Areniscas de grano fino y limolitas rojas y verdes	LUTITAS Y ARENISCAS
073 - Grauvacas gris oscuro, arenas amarillentas, limolitas y arenas versicolores	LUTITAS Y ARENISCAS
074 - Arcillas carbonosas y pasadas de lignito	LUTITAS
075 - Areniscas estratificadas	ARENISCAS
076 - Lutitas calcáreas grises y margas arenosas	MARGA
077 - Niveles de areniscas	ARENISCAS
078 - Brechas calcáreas, niveles de inestabilidad	CALIZA
079 - Calizas urgonianas arenosas, areniscas calcáreas oquerosas y calizas arenosas con ostréidos	CALIZA
080 - Areniscas arcillosas y lutitas	LUTITAS Y ARENISCAS
081 - Limolitas micáceas oscuras (masivas, frecuentemente bioturbadas)	LUTITAS
082 - Areniscas de grano fino y limolitas calcáreas (Fm. Ereza)	LUTITAS Y ARENISCAS
083 - Alternancia de areniscas y lutitas (Fm. Ereza)	LUTITAS Y ARENISCAS
084 - Alternancia de margas, margocalizas y calcarenitas bioclásticas	MARGA
085 - Argilitas grises apizarradas	LUTITAS
086 - Lutitas negras.Limolitas arenosas y areniscas (Fm. Tellamendi)	LUTITAS Y ARENISCAS
087 - Areniscas calcáreas	CALIZA
088 - Calizas impuras (calizas arenosas y/o margosas)	CALIZA
089 - Calizas urgonianas estratificadas en bancos decimétricos a métricos	CALIZA
090 - Calizas urgonianas estratificadas en bancos métricos a decamétricos	CALIZA
091 - Calizas urgonianas masivas o con estratificación	CALIZA

Mapa de Erosión de Suelos de la Comunidad Autónoma de Euskadi

LEYENDA	LITOLOGIA
difusa	
092 - Siderita, calizas sideritizadas	ARENISCAS
093 - Montículos arrecifales	CALIZA
094 - Barras de calizas rosas	CALIZA
095 - Niveles de calizas con orbitolinas	CALIZA
096 - Areniscas y limolitas	LUTITAS Y ARENISCAS
097 - Margas y margocalizas grises. Margas arenosas	MARGA
098 - Areniscas arcillosas carbonatadas, lutitas calcáreas y margas	MARGA
099 - Margocalizas y calizas margosas	MARGA
100 - Margas y margas arenosas (masivas)	MARGA
101 - Areniscas silíceas, lutitas micáceas y margas arenosas	LUTITAS Y ARENISCAS
102 - Microbrechas calizas, turbiditas calcáreas y margas	CALIZA
103 - Niveles métricos eslumpizados	LUTITAS Y ARENISCAS
104 - Margas oscuras, limolitas calcáreas, calcarenitas arenosas y areniscas; niveles de brechas olistostrómicas	MARGA
105 - Areniscas y limolitas	LUTITAS Y ARENISCAS
106 - Limolitas calcáreas	MARGA
107 - Bloques olistolíticos de areniscas	ARENISCAS
108 - Calcarenitas arenosas	CALIZA
109 - Calcarenitas y brechas calcáreas	CALIZA
110 - Calcarenitas bioclásticas	CALIZA
111 - Bloques olistolíticos de calcarenitas bioclásticas	CALIZA
112 - Margas, parabrechas calcáreas, limolitas y areniscas	MARGA
113 - Lutitas calcáreas con septarias y areniscas; niveles eslumpizados	MARGA

Mapa de Erosión de Suelos de la Comunidad Autónoma de Euskadi

LEYENDA	LITOLOGIA
114 - Calcarenitas bioclásticas estratificadas. Intercalaciones de margas y margocalizas	CALIZA
115 - Limolitas calcáreas micáceas	MARGA
116 - Margas y margocalizas con belemnites	MARGA
117 - Areniscas con lutitas minoritarias	LUTITAS Y ARENISCAS
118 - Areniscas, calizas y limolitas	LUTITAS Y ARENISCAS
119 - Margas con olistolitos calizos, margas con brechas bioclásticas y margas brechoides	MARGA
120 - Megabrechas de bloques calizos	CALIZA
121 - Alternancia de calizas, brechas calcáreas y calcarenitas (Fm. Sasiola)	CALIZA
122 - Areniscas de Istiña	ARENISCAS
123 - Margas y limolitas calcáreas negras (margas de Itziar). Lutitas silíceas	MARGA
124 - Areniscas silíceas y lutitas	LUTITAS Y ARENISCAS
125 - Conglomerados y microconglomerados	ARENISCAS
126 - Areniscas calcáreas y margas	CALIZA
127 - Areniscas calcáreas, margas y niveles de brechas calcáreas	CALIZA
128 - Lutitas (limolitas) con pasadas areniscosas	LUTITAS Y ARENISCAS
129 - Calcarenitas bioclásticas masivas o con estratificación cruzada	CALIZA
130 - Calizas margosas, calcarenitas y niveles de brechas calcáreas	CALIZA
131 - Margas y margocalizas. Niveles calcareníticos aislados	MARGA
132 - Areniscas silíceas masivas y estratificadas. Areniscas y lutitas	ARENISCAS

Mapa de Erosión de Suelos de la Comunidad Autónoma de Euskadi

LEYENDA	LITOLOGIA
133 - Niveles de inestabilidad y parabrechas areniscosas en matriz lutítica	LUTITAS Y ARENISCAS
134 - Margas y margocalizas. Tramos de calcarenitas	MARGA
135 - Calcarenitas, margocalizas y margas	CALIZA
136 - Margocalizas y margas. Calizas nodulosas y/o tableadas	MARGA
137 - Calcarenitas estratificadas	CALIZA
138 - Calcarenitas, calcarenitas arenosas, areniscas y margas arenosas	CALIZA
139 - Calcarenitas, localmente arenosas	CALIZA
140 - Calizas y calizas arcillosas	CALIZA
141 - Parabrecha mixta calcosilíceas	MIXTA
142 - Limolitas, margas y areniscas. Slumps (Tramo mixto)	MARGA
143 - Areniscas y limolitas (calcáreas o descalcificadas)	MIXTA
144 - Margas y calizas nodulosas	MARGA
145 - Margas	MARGA
146 - Parabrecha volcano-sedimentaria polimíctica	IGNEA
147 - Areniscas. Localmente microconglomerados	ARENISCAS
148 - Conglomerados	ARENISCAS
149 - Areniscas con estratificación cruzada	ARENISCAS
150 - Calizas y/o brechas calcáreas	CALIZA
151 - Margas y parabrechas calcáreas	MARGA
152 - Limolitas y areniscas de grano fino. Areniscas estratificadas	LUTITAS Y ARENISCAS
153 - Areniscas silíceas masivas con lutitas y conglomerados	ARENISCAS
154 - Conglomerados arenosos	ARENISCAS

Mapa de Erosión de Suelos de la Comunidad Autónoma de Euskadi

LEYENDA	LITOLOGIA
155 - Calizas y margas, brechas y slumps	CALIZA
156 - Areniscas y lutitas	LUTITAS Y ARENISCAS
157 - Lutitas (limolitas) grises y negras	LUTITAS
158 - Areniscas silíceas	ARENISCAS
159 - Lutitas y areniscas	LUTITAS Y ARENISCAS
160 - Alternancia regular de areniscas y lutitas	LUTITAS Y ARENISCAS
161 - Lutitas negras con algún nivel arenoso	LUTITAS Y ARENISCAS
162 - Calcarenitas con escasas intercalaciones de areniscas	CALIZA
163 - Calizas, margocalizas y margas estratificadas	CALIZA
164 - Calcarenitas bioclásticas; intercalaciones de margas y margocalizas	CALIZA
165 - Margocalizas. Margas y margocalizas laminadas	MARGA
166 - Alternancia de margas y calcarenitas	MARGA
167 - Lutitas calcáreas masivas	MARGA
168 - Calizas arenosas con lamelibranchios	CALIZA
169 - Calizas organógenas brechoides	CALIZA
170 - Areniscas y lutitas	LUTITAS Y ARENISCAS
171 - Margocalizas y calizas margosas	MARGA
172 - Calizas y margocalizas nodulosas con niveles de orbitolinas	CALIZA
173 - Calizas y margocalizas nodulosas	CALIZA
174 - Alternancia irregular de calizas arrecifales, lutitas y areniscas	CALIZA
175 - Olistolitos calizos	CALIZA
176 - Margocalizas, margas y lutitas	MARGA
177 - Limolitas arenosas y descalcificadas	LUTITAS Y ARENISCAS
178 - Margas con intercalaciones de margocalizas y	MARGA

Mapa de Erosión de Suelos de la Comunidad Autónoma de Euskadi

LEYENDA	LITOLOGIA
calizas nodulosas (margas de Araoz)	
179 - Conglomerados,areniscas y lutitas	LUTITAS Y ARENISCAS
180 - Calizas bioclásticas, calizas arenosas y calizas conglomeráticas	CALIZA
181 - Calizas con ostreidos y orbitolinas	CALIZA
182 - Alternancia de areniscas y lutitas. Niveles de arcillas, arcillas carbonosas y lignito	LUTITAS Y ARENISCAS
183 - Alternancia de areniscas y lutitas. Pasadas de microconglomerados	LUTITAS Y ARENISCAS
184 - Microconglomerados silíceos	ARENISCAS
185 - Calizas arenosas amarillentas	CALIZA
186 - Lutitas negras. Pasadas de areniscas	LUTITAS Y ARENISCAS
187 - Areniscas silíceas con escasos niveles de lutitas	ARENISCAS
188 - Microconglomerados y conglomerados	ARENISCAS
189 - Depósitos caóticos. Megaturbiditas y brechas	MIXTA
190 - Calizas bioclásticas grises	CALIZA
191 - Calizas bioclásticas con tinciones rojizas	CALIZA
192 - Alternancia de areniscas silíceas y lutitas	LUTITAS Y ARENISCAS
193 - Lutitas rojo vino	LUTITAS
194 - Margas y margocalizas grises	MARGA
195 - Calizas (niveles de abandono)	CALIZA
196 - Conglomerado poligénico en matriz margosa	MARGA
197 - Areniscas con cemento calcáreo y/o silíceo y margas	CALIZA
198 - Areniscas con cemento calcáreo y/o silíceo	ARENISCAS
199 - Cuarzoarenita con niveles de microconglomerado silíceo	ARENISCAS
200 - Margas y areniscas calcáreas	MARGA

Mapa de Erosión de Suelos de la Comunidad Autónoma de Euskadi

LEYENDA	LITOLOGIA
201 - Areniscas, lutitas y conglomerados	LUTITAS Y ARENISCAS
202 - Areniscas con niveles de lutitas y conglomerados	LUTITAS Y ARENISCAS
203 - Areniscas y conglomerados	ARENISCAS
204 - Areniscas	ARENISCAS
205 - Lutitas y conglomerados	LUTITAS Y ARENISCAS
206 - Margas con brechas calcáreas	MARGA
207 - Rocas volcánicas indiferenciadas	IGNEA
208 - Calcarenitas bioclásticas. Calizas bioclásticas arenosas	CALIZA
209 - Areniscas masivas laminadas o estratificadas	ARENISCAS
210 - Areniscas calcáreas o descalcificadas y/o calizas arenosas	CALIZA
211 - Areniscas, calcarenitas, calizas brechoides y limolitas	CALIZA
212 - Lutitas negras piríticas y areniscas silíceas. Slumps	LUTITAS Y ARENISCAS
213 - Margas	MARGA
214 - Lutitas con orbitolinas muy abundantes	LUTITAS
215 - Lutitas gris oscuro a negras con septarias	LUTITAS
216 - Areniscas, conglomerados y lutitas	LUTITAS Y ARENISCAS
217 - Margas negras o lutitas calcáreas negras	MARGA
218 - Areniscas indiferenciadas	ARENISCAS
219 - Areniscas con estratificación cruzada	ARENISCAS
220 - Areniscas conglomeráticas	ARENISCAS
221 - Areniscas silíceas de grano fino a muy fino	ARENISCAS
222 - Areniscas calcáreas y limolitas	CALIZA
223 - Limolitas calcáreas y margas con nódulos y septarias	MARGA
224 - Brechas olistostrómicas. Megabrecha de Sagusoro	ARENISCAS

Mapa de Erosión de Suelos de la Comunidad Autónoma de Euskadi

LEYENDA	LITOLOGIA
225 - Olistolitos calizos	CALIZA
226 - Calizas impuras albocenomanienses	CALIZA
227 - Calizas de Eguino masivas	CALIZA
228 - Calizas de Eguino en bancos decimétricos-métricos	CALIZA
229 - Calizas de Eguino en bancos métricos	CALIZA
230 - Calizas de Eguino indiferenciadas	CALIZA
231 - Brechas calcáreas.	CALIZA
232 - Alternancia de calcarenitas, margas y margocalizas	CALIZA
233 - Margas	MARGA
234 - Margocalizas y margas oscuras	MARGA
235 - Limolitas descalcificadas. Niveles de calcarenita arenosa	MARGA
236 - Coladas, masivas o de pillow-lavas	IGNEA
237 - Rocas piroclásticas	IGNEA
238 - Alternancia de arenas, areniscas y niveles de microconglomerados. Niveles decimétricos de calizas con orbitolinas	ARENISCAS
239 - Areniscas ferruginosas	ARENISCAS
240 - Areniscas rojizas estratificadas. Niveles de calizas arenosas con orbitolinas	ARENISCAS
241 - Niveles de lignito y arcillas carbonosas	MARGA
242 - Microconglomerados silíceos	ARENISCAS
243 - Areniscas e intercalaciones de lutitas	LUTITAS Y ARENISCAS
244 - Arenas silíceas	ARENISCAS
245 - Alternancia de areniscas y lutitas	LUTITAS Y ARENISCAS
246 - Margas gris oscuro esquitosas, con intercalaciones de calizas arenosas	MARGA
247 - Margas con aporte volcánico	MARGA

Mapa de Erosión de Suelos de la Comunidad Autónoma de Euskadi

LEYENDA	LITOLOGIA
248 - Intercalaciones areniscosas en margas negras	MARGA
249 - Calcarenitas y calcirruditas bioclásticas estratificadas	CALIZA
250 - Depósitos caóticos	MIXTA
251 - Margas y margocalizas con tinciones rojizas	MARGA
252 - Margocalizas con brechas polimícticas	MARGA
253 - Calizas micríticas negras	CALIZA
254 - Margas, lutitas, niveles aislados de margocalizas y slumps	MARGA
255 - Brechas polimícticas con cantos de areniscas y lutitas	LUTITAS Y ARENISCAS
256 - Brechas polimícticas con cantos volcánicos	IGNEA
257 - Alternancia de margas, margocalizas, calizas micríticas y calcarenitas	MARGA
258 - Brechas polimícticas y calcarenitas con sílex	MIXTA
259 - Margas, calizas y calcarenitas con sílex	MARGA
260 - Areniscas y conglomerados	ARENISCAS
261 - Sills básicos	CALIZA
262 - Rocas volcanoclásticas	IGNEA
263 - Coladas volcánicas masivas y traquitas	IGNEA
264 - Brechas volcánicas (pillow-brechas)	IGNEA
265 - Coladas volcánicas con estructura en pillow	IGNEA
266 - Cuerpos tabulares discordantes	MIXTA
267 - Coladas volcánicas sin diferenciar	IGNEA
268 - Volcanitas básicas (coladas y piroclásticas)	CALIZA
269 - Areniscas, lutitas y margas con niveles brechoides	LUTITAS Y ARENISCAS
270 - Alternancia de areniscas o areniscas calcáreas y lutitas calcáreas o margas	MARGA

Mapa de Erosión de Suelos de la Comunidad Autónoma de Euskadi

LEYENDA	LITOLOGIA
271 - Microconglomerados	ARENISCAS
272 - Margas y margocalizas. Niveles brechoides	MARGA
273 - Alternancia de calizas arenosas y margas	CALIZA
274 - Alternancia de margas y calizas arenosas, hacia el oeste areniscas calcáreas y margas	MARGA
275 - Megaturbidita	LUTITAS Y ARENISCAS
276 - Brechas calcáreas y brechas intraformacionales	CALIZA
277 - Niveles margosos	MARGA
278 - Alternancia de areniscas y lutitas. Facies arenosas	LUTITAS Y ARENISCAS
279 - Margas nodulosas	MARGA
280 - Margas y margocalizas. Margas de Garay	MARGA
281 - Facies olistostrómicas	MARGA
282 - Brechas volcánicas	IGNEA
283 - Margas rosas	MARGA
284 - Brechas poligénicas	MIXTA
285 - Margas y niveles de margocalizas; calcarenitas de crinoides	MARGA
286 - Alternancia irregular de margocalizas o calizas nodulosas y margas o limolitas	MARGA
287 - Alternancia regular de calizas y margas en bancos centimétricos	CALIZA
288 - Calcarenitas bioclásticas y/o calcirruditas	CALIZA
289 - Limolitas carbonatadas o margas. Ocasionales niveles calcáreos	MARGA
290 - Limolitas carbonatadas y calcarenitas	MARGA
291 - Areniscas calcáreas y limolitas	CALIZA
292 - Calizas, calizas brechoides y margas	CALIZA
293 - Calizas bioclásticas grises (calizas con orbitoides)	CALIZA

Mapa de Erosión de Suelos de la Comunidad Autónoma de Euskadi

LEYENDA	LITOLOGIA
294 - Calizas nodulosas en bancos delgados. Intercalaciones margosas	CALIZA
295 - Margas, margocalizas, calizas y areniscas	MARGA
296 - Calizas micríticas y calcarenitas	CALIZA
297 - Cenomaniense indiferenciado (295+296)	CALIZA
298 - Alternancia regular de calizas laminadas, margocalizas y margas. Localmente brechas y slumps	MARGA
299 - Alternancia regular de margas y margocalizas	MARGA
300 - Alternancia centimétrica de margas, margocalizas y calizas laminadas	MARGA
301 - Niveles de calizas micríticas grises	CALIZA
302 - Alternancia de calizas y margas. Calizas laminadas. Localmente brechas intraformacionales	CALIZA
303 - Margas masivas, margocalizas minoritarias. Bancos calcareníticos aislados	MARGA
304 - Margocalizas masivas y estratificadas	MARGA
305 - Alternancia de margocalizas compactas, calizas y margas	MARGA
306 - Calizas bioclásticas grises. Intercalaciones de calizas margosas	CALIZA
307 - Calizas bioclásticas grises en bancos decimétricos	CALIZA
308 - Calcarenitas, calizas dolomíticas y dolomías blanquecinas	CALIZA
309 - Calcarenitas groseras con rudistas	CALIZA
310 - Niveles de microconglomerados calcosilíceos	CALIZA
311 - Cenomaniense a Coniaciense indiferenciado	CALIZA
312 - Brechas calcáreas intraformacionales	CALIZA
313 - Margas y margocalizas	MARGA

Mapa de Erosión de Suelos de la Comunidad Autónoma de Euskadi

LEYENDA	LITOLOGIA
314 - Niveles lumaquéricos	CALIZA
315 - Calcarenitas con Lacazina	CALIZA
316 - Margas grises	MARGA
317 - Alternancia centimétrica de calcarenitas y margas (fotolíneas)	CALIZA
318 - Brechas bioclásticas con matriz calcarenítica	CALIZA
319 - Calcarenitas y calizas arenosas; niveles margocalizos	CALIZA
320 - Calizas arenosas y calcarenitas con margas y margocalizas	CALIZA
321 - Margas y margocalizas pseudonodulosas	MARGA
322 - Margas; tramos de margas y margocalizas alternantes	MARGA
323 - Margas arenosas oscuras	MARGA
324 - Calcarenitas arenosas, areniscas laminadas y margas	CALIZA
325 - Alternancia centimétrica de calizas nodulosas y margas	CALIZA
326 - Calcarenitas bioclásticas con glauconita	CALIZA
327 - Calizas, margocalizas arenosas y margas	CALIZA
328 - Limolitas descalcificadas. Niveles de areniscas	LUTITAS Y ARENISCAS
329 - Calizas nodulosas y margas	CALIZA
330 - Calcarenitas arenosas	CALIZA
331 - Alternancia de arenas, areniscas y calizas arenosas	ARENISCAS
332 - Margas arenosas y margocalizas	MARGA
333 - Niveles de sílex negro	ARENISCAS
334 - Calcarenitas o calizas arenosas	CALIZA
335 - Areniscas estratificadas y niveles de calcarenitas	ARENISCAS

Mapa de Erosión de Suelos de la Comunidad Autónoma de Euskadi

LEYENDA	LITOLOGIA
336 - Arenas y areniscas descalcificadas. Calcarenitas y arcillas	ARENISCAS
337 - Margas azules	MARGA
338 - Calizas bioclásticas amarillentas y margocalizas grises	CALIZA
339 - Margas arenosas oscuras y limolitas calcareas	MARGA
340 - Areniscas calcáreas	CALIZA
341 - Calizas nodulosas y margas arenosas	CALIZA
342 - Areniscas calcáreas microconglomeráticas	CALIZA
343 - Calizas arenosas y limolitas calcáreas. Tramos de areniscas calcáreas y limolitas	CALIZA
344 - Areniscas calcáreas descalcificadas y arenas. Niveles conglomeráticos, arcillosos y carbonatados	ARENISCAS
345 - Conglomerados y areniscas calcáreas	ARENISCAS
346 - Limolitas y arcillas verdes o rojizas y/o areniscas de grano muy fino	LUTITAS
347 - Calcarenitas bioclásticas estratificadas o masivas. Niveles brechoides margosos y arenosos	CALIZA
348 - Brechas polimícticas intra y extraformacionales	MIXTA
349 - Alternancia de areniscas y arenas silíceas	ARENISCAS
350 - Microconglomerados silíceos	ARENISCAS
351 - Calizas arenosas y areniscas con cemento calcáreo	CALIZA
352 - Areniscas calcáreas rojas y grises; niveles conglomeráticos	CALIZA
353 - Areniscas calcáreas y limolitas; calizas arenosas	CALIZA
354 - Calcarenitas y calizas arenosas	CALIZA
355 - Calizas dolomíticas blancas	CALIZA
356 - Conglomerados calcáreos y calizas brechoides	CALIZA

Mapa de Erosión de Suelos de la Comunidad Autónoma de Euskadi

LEYENDA	LITOLOGIA
357 - Calizas arenosas y areniscas calcáreas	CALIZA
358 - Dolomías con restos de fauna marina	CALIZA
359 - Margas rojizas, grises y verdes	MARGA
360 - Areniscas conglomeráticas descalcificadas y arenas	ARENISCAS
361 - Calizas oquerosas y bioclásticas. Localmente con rudistas dominantes	CALIZA
362 - Margas, margocalizas y calizas	MARGA
363 - Calizas arrecifales, brechas calcáreas y calcarenitas	CALIZA
364 - Areniscas calcáreas, areniscas conglomeráticas, calcarenitas y limolitas	CALIZA
365 - Alternancia de margocalizas y margas grises	MARGA
366 - Margocalizas grises estratificadas	MARGA
367 - Margocalizas y brechas calcáreas	MARGA
368 - Alternancia de margas rojas y margocalizas grises	MARGA
369 - Margas rojas masivas, pasadas de margocalizas y calizas rosadas	MARGA
370 - Calizas micríticas y margocalizas rojas	CALIZA
371 - Alternancia de margocalizas grises y rojas	MARGA
372 - Alternancia de lutitas y calizas arenosas	MARGA
373 - Calizas micríticas y margocalizas rojas y grises	CALIZA
374 - Brechas calcáreas y calizas micríticas rojas	CALIZA
375 - Calcarenitas y calizas bioclásticas	CALIZA
376 - Margas rojizas y grises. Pasadas de margocalizas rojas	MARGA
377 - Areniscas silíceas	ARENISCAS
378 - Microconglomerados y areniscas silíceas de grano muy grueso	ARENISCAS
379 - Calizas micríticas de tonos gris claro, margas y	CALIZA

Mapa de Erosión de Suelos de la Comunidad Autónoma de Euskadi

LEYENDA	LITOLOGIA
margocalizas grises	
380 - Margas y margocalizas	MARGA
381 - Margas grises, pasadas de margocalizas y calizas arenosas. Tramo Hemipelagítico	MARGA
382 - Calcarenitas y calizas bioclásticas	CALIZA
383 - Areniscas silíceas estratificadas en bancos potentes	ARENISCAS
384 - Areniscas de grano grueso y microconglomerados	ARENISCAS
385 - Alternancia de calizas arenosas, areniscas y lutitas	CALIZA
386 - Margas y margocalizas grises	MARGA
387 - Margas y margocalizas rojas, o rojas y grises. Niveles de calizas micríticas y calcarenitas	MARGA
388 - Calizas micríticas y margocalizas rojas y grises	CALIZA
389 - Brechas poligénicas	MIXTA
390 - Margas y margocalizas grises	MARGA
391 - Areniscas de grano grueso, areniscas calcáreas y margocalizas	CALIZA
392 - Brechas y megabrechas calcáreas	CALIZA
393 - Conglomerados y areniscas	ARENISCAS
394 - Areniscas, lutitas y margas	LUTITAS Y ARENISCAS
395 - Lutitas, escasas pasadas areniscosas	LUTITAS
396 - Calizas micríticas, margocalizas y margas	CALIZA
397 - Calizas arenosas, calizas micríticas y margas	CALIZA
398 - Alternancia flyschoides de calizas arenosas y margas	MARGA
399 - Calizas micríticas	CALIZA
400 - Niveles brechoides intercalados	ARENISCAS
401 - Margocalizas	MARGA
402 - Areniscas y lutitas	LUTITAS Y ARENISCAS
403 - Areniscas de grano medio a grueso y	ARENISCAS

Mapa de Erosión de Suelos de la Comunidad Autónoma de Euskadi

LEYENDA	LITOLOGIA
microconglomerados	
404 - Calizas arenosas de grano medio-grueso	CALIZA
405 - Margas y margas con olistolitos calizos	MARGA
406 - Lutitas, areniscas, margas y calizas arenosas flyschoides	MARGA
407 - Margas y paraconglomerados en matriz margosa	MARGA
408 - Calizas micríticas	CALIZA
409 - Calizas micríticas arenosas, localmente brechoides	CALIZA
410 - Calizas arenosas, calizas brechoides con cantos poligénicos y margas	CALIZA
411 - Areniscas, microconglomerados y lutitas	LUTITAS Y ARENISCAS
412 - Margas, micritas, calcarenitas y areniscas calcáreas	MARGA
413 - Calizas micríticas, margas, calcarenitas y areniscas calcáreas con nummulites	CALIZA
414 - Calizas, calizas dolomíticas y margas	CALIZA
415 - Dolomías, doloarenitas y calizas algales, masivas	CALIZA
416 - Dolomías calcáreas y margodolomías. Niveles de caliza.	CALIZA
417 - Dolomías margosas y margas dolomíticas	CALIZA
418 - Calizas bioclásticas	CALIZA
419 - Dolomías y calizas estratificadas	CALIZA
420 - Esparitas arenosas rojizas	CALIZA
421 - Conglomerados silíceos, areniscas conglomeráticas y calcarenitas	ARENISCAS
422 - Margas grises	MARGA
423 - Niveles de dolomías blancas (lineas)	CALIZA
424 - Alternancia de margas arenosas y calizas dolomíticas blancas	MARGA

Mapa de Erosión de Suelos de la Comunidad Autónoma de Euskadi

LEYENDA	LITOLOGIA
425 - Niveles de dolomías y calizas algales	CALIZA
426 - Paleoceno indiferenciado	MIXTA
427 - Calcarenitas bioclásticas algales, localmente laminadas y/o pseudobrechoides	CALIZA
428 - Calizas coralgales y calcarenitas de rodolitos	CALIZA
429 - Alternancia en bancos decimétricos-métricos de calizas algales y calcarenitas	CALIZA
430 - Alternancia de calcarenitas algales y margas arenosas	CALIZA
431 - Calcarenitas bioclásticas blancas	CALIZA
432 - Brechas calcáreas	CALIZA
433 - Calcarenitas, areniscas, arenas y margas	CALIZA
434 - Areniscas calcáreas microconglomeráticas. Arenas	CALIZA
435 - Margas dolomíticas blancas. Intercalaciones de calizas	MARGA
436 - Arenas, arcillas verdes, margas y limos. Facies Garumn	LUTITAS Y ARENISCAS
437 - Niveles de calizas con ostreidos	CALIZA
438 - Conglomerados silíceos	ARENISCAS
439 - Calcarenitas de foraminíferos	CALIZA
440 - Calizas, areniscas y limolitas con signos de inestabilidad	CALIZA
441 - Areniscas, calizas arenosas y limolitas	CALIZA
442 - Alternancia de margocalizas, calizas brechoides y margas	MARGA
443 - Areniscas calcáreas y calcarenitas	CALIZA
444 - Margas, arenas, calcarenitas y arcillas	MARGA
445 - Alternancia regular de calcarenitas bioclásticas y	CALIZA

Mapa de Erosión de Suelos de la Comunidad Autónoma de Euskadi

LEYENDA	LITOLOGIA
areniscas calcáreas	
446 - Calcarenitas arenosas y microconglomeráticas	CALIZA
447 - Margas blancas. Intercalaciones de calizas blancas	MARGA
448 - Alternancia de calizas lacustres blancas, calcarenitas y margas	CALIZA
449 - Calizas, dolomías y margas lacustres	CALIZA
450 - Niveles de sílex	ARENISCAS
451 - Limos, arenas y arcillas	LUTITAS Y ARENISCAS
452 - Calizas, dolomías y margas	CALIZA
453 - Parabrechas calcáreas	CALIZA
454 - Brecha calcárea en matriz margo-arenosa	CALIZA
455 - Margocaliza arenosa verde o blanca y conglomerado calcáreo	MARGA
456 - Conglomerados calcáreos	CALIZA
457 - Calizas	CALIZA
458 - Brechas calcáreas	CALIZA
459 - Conglomerado calcodolomítico	CALIZA
460 - Calizas de nummulites y rodolitos	CALIZA
461 - Calizas nodulosas	CALIZA
462 - Microconglomerado calcosilíceo	CALIZA
463 - Conglomerado calcosilíceo. Calcarenitas arenosas	CALIZA
464 - Calcarenitas bioclásticas	CALIZA
465 - Dolomías	CALIZA
466 - Calizas	CALIZA
467 - Calcarenitas arenosas	CALIZA
468 - Conglomerados calcáreos; intercalaciones de areniscas, calcarenitas y lutitas rojas	CALIZA
469 - Lutitas rojas; niveles de conglomerados y areniscas	LUTITAS Y ARENISCAS

Mapa de Erosión de Suelos de la Comunidad Autónoma de Euskadi

LEYENDA	LITOLOGIA
470 - Niveles de conglomerados calcáreos (líneas de capa)	CALIZA
471 - Niveles de areniscas de grano fino (líneas de capa)	ARENISCAS
472 - Areniscas de grano grueso y microconglomerados (líneas de capa)	ARENISCAS
473 - Calizas y calizas margosas (líneas de capa)	CALIZA
474 - Areniscas calcáreas	CALIZA
475 - Conglomerados calcáreos	CALIZA
476 - Areniscas de grano fino, limolitas calcáreas, calcarenitas y paraconglomerados calcáreos	LUTITAS Y ARENISCAS
477 - Calcarenitas arenosas	CALIZA
478 - Margas y arcillas	MARGA
479 - Margas y calizas	MARGA
480 - Margas y limolitas amarillentas	MARGA
481 - Niveles de conglomerados calcáreos (líneas de capa)	CALIZA
482 - Areniscas calcáreas de grano grueso y microconglomerados (líneas de capa)	CALIZA
483 - Areniscas calcáreas de grano fino (líneas de capa)	CALIZA
484 - Calizas, calizas margosas y calizas arenosas (líneas de capa)	CALIZA
485 - Calizas blancas masivas y oquerosas	CALIZA
486 - Limolitas y areniscas de grano fino	LUTITAS Y ARENISCAS
487 - Areniscas de grano grueso a muy grueso, en ocasiones microconglomeráticas (líneas de capa)	ARENISCAS
488 - Niveles de conglomerados calcáreos (líneas de capa)	CALIZA
489 - Margas gris claro y blancas	MARGA

Mapa de Erosión de Suelos de la Comunidad Autónoma de Euskadi

LEYENDA	LITOLOGIA
490 - Calizas lacustres (líneas de capa)	CALIZA
491 - Conglomerado silíceo, areniscas calcáreas y silíceas, margas rojas	MIXTA
492 - Limolitas, areniscas, arcillas y niveles conglomeráticos	LUTITAS Y ARENISCAS
493 - Ortoconglomerados calcáreos, areniscas, limolitas y arcillas	MARGA
494 - Areniscas calcáreas y limolitas	CALIZA
495 - Conglomerado calcosilíceo resedimentado y piedemonte cementado	CALIZA
496 - Conglomerado calcáreo en matriz arenosa	CALIZA
497 - Conglomerados poligénicos y brechas	MIXTA
498 - Arcillas rojas	LUTITAS
499 - Niveles potentes de conglomerados rojizos	ARENISCAS
500 - Brechas y megabrechas de conglomerados	ARENISCAS
501 - Conglomerados calcáreos rojizos	CALIZA
502 - Areniscas groseras, microconglomerados y lechos conglomeráticos	ARENISCAS
503 - Niveles de conglomerados (líneas de capa)	ARENISCAS
504 - Alternancia de areniscas calcáreas de grano fino, limolitas y margas	MARGA
505 - Areniscas calcáreas de grano grueso (líneas de capa)	CALIZA
506 - Areniscas calcáreas de grano fino-medio (líneas de capa)	CALIZA
507 - Conglomerados calcáreos. Niveles poco potentes (líneas de capa)	CALIZA
508 - Argilitas rojas y margas	MARGA

Mapa de Erosión de Suelos de la Comunidad Autónoma de Euskadi

LEYENDA	LITOLOGIA
509 - Areniscas calcáreas de grano grueso y niveles de margas y limolitas	CALIZA
510 - Bancos de areniscas groseras, microconglomerados y lechos conglomeráticos (líneas de capa)	ARENISCAS
511 - Conglomerados calcáreos en niveles potentes	CALIZA
512 - Depósitos glaciales y periglaciales	MIXTA
513 - Depósitos fluvioglaciales	MIXTA
514 - Terrazas fluviales indiferenciadas	MIXTA
515 - Terraza baja-media	MIXTA
516 - Terrazas altas	MIXTA
517 - Coluviales antiguos	MIXTA
518 - Glacis	MIXTA
519 - Depósitos aluviales y aluvio-coluviales	MIXTA
520 - Coluviales	MIXTA
521 - Coluvial de bloques calizos	CALIZA
522 - Coluviales cementados	MIXTA
523 - Conos de deyección	MIXTA
524 - Tobas y travertinos	CALIZA
525 - Depósitos de playa	ARENISCAS
526 - Dunas	ARENISCAS
527 - Fangos estuarinos	MIXTA
528 - Depósitos arenosos estuarinos	ARENISCAS
529 - Turberas	LUTITAS Y ARENISCAS
530 - Depósitos residuales	MIXTA
531 - Depósitos lagunares	MIXTA
532 - Depósitos antropogénicos	MIXTA

19. Anejo nº3: Agrupación de vegetación para el factor C

A continuación se reproduce el listado de categorías que aparecen en el mapa de vegetación 1:25.000 de Euskadi con la asignación de grupos que se ha realizado para simplificar su manejo de cara a predecir la erosión.

TIPO	VEGETACION	GRUPOS
Matorral	Enebral-pasto con junquillo y/o prebrezal margoso	ENEBRO
Matorral	Romeral	ENEBRO
Matorral	Bujedo	ENEBRO
Matorral	Espinar o zarzal	BORTAL
Matorral	Bortal o matorral alto termoatlántico	BORTAL
Matorral	Sauceda	BORTAL
Matorral	Brezal-argomal-helechal atlántico	BREZAL
Matorral	Prebrezal subcantábrico petrano	BREZAL
Matorral	Prebrezal atlántico	BREZAL
Matorral	Brezal subcantábrico	BREZAL
Matorral	Brezal alto montano	BREZAL
Matorral	Brezal mediterráneo con Erica scoparia y/o Arbutus unedo	BREZAL
Matorral	Prebrezal de Helictotrichon cantabricum	BREZAL
Matorral	Brezal-argomal-helechal en suelos persistentemente húmedos	BREZAL
Bosque	Carrascal montano, subhúmedo	CARRASCAL
Bosque	Carrascal con boj	CARRASCAL
Matorral	Coscojar	CARRASCAL
Bosque	Carrascal mediterráneo	CARRASCAL
Bosque	Pinar de pino carrasco	CARRASCAL

Mapa de Erosión de Suelos de la Comunidad Autónoma de Euskadi

Cultivos agrícolas	Cultivos de cereal, patata y remolacha	CEREAL PATATA REMOLACHA
Cultivos agrícolas	Cultivos en zonas arenosas	CEREAL PATATA REMOLACHA
Cultivos agrícolas	Huertas y frutales mediterráneos	CEREAL PATATA REMOLACHA
Cultivos agrícolas	Olivares	CULTIVO ARBOREO
Cultivos agrícolas	Cultivos de almendros	CULTIVO ARBOREO
Bosque	Encinar cantábrico	ENCINAR
Bosque	Aliseda cantábrica	FRONDOSA
Bosque	Alameda-aliseda mediterránea y/o de transición	FRONDOSA
Bosque	Fresneda-olmeda	FRONDOSA
Bosque	Bosque mixto de crestón y pie de cantil calizo	FRONDOSA
Bosque	Abedular	FRONDOSA
Bosque	Bosque mixto de crestón	FRONDOSA
Bosque	Bosquetes de Populus tremula	FRONDOSA
Bosque	Hayedo acidófilo	HAYEDO
Bosque	Hayedo calcícola o eutrofo	HAYEDO
Bosque	Hayedo con boj	HAYEDO
Herbazal	Complejo de vegetación de roquedos calizos	PASTO
Erosión	Vegetación de erosiones margo arcillosas	PASTO
Herbazal	Complejo de vegetación de acantilados litorales	PASTO

Mapa de Erosión de Suelos de la Comunidad Autónoma de Euskadi

Herbazal	Vegetación de gleras o canchales	PASTO
Herbazal	Vegetación de roquedos silíceos	PASTO
Herbazal	Vegetación de arenales costeros	PASTO
Herbazal	Vegetación de graveras fluviales	PASTO
Herbazal	Espartal	PASTO
Herbazal	Vegetación de arenales del interior	PASTO
Bosque	Quejigal subcantábrico	MARCESCENTES
Bosque	Marojal o tocornal	MARCESCENTES
Bosque	Quejigal atlántico	MARCESCENTES
Bosque	Quejigal con boj	MARCESCENTES
Bosque	Quejigal submediterráneo	MARCESCENTES
Bosque	Quejigal-robledal calcícola	MARCESCENTES
Herbazal	Pasto xerófilo de <i>Brachypodium retusum</i> con tomillo	PASTO
Herbazal	Turberas y brezales turbosos	PASTO
Herbazal	Vegetación de enclaves salinos	PASTO
Bosque	Pinar de pino albar	PINO ALBAR
Herbazal	Lastonar de <i>Brachypodium pinnatum</i> u otros pastos mesófilos	PRADERA
Herbazal	Pradera montana	PRADERA
Herbazal	Pasto petrano calcícola	PRADERA
Herbazal	Complejo de pastos parameros	PRADERA
Herbazal	Prados-juncales, trampales o depresiones inundables	PRADERA
Herbazal	Pasto silicícola de <i>Agrostis curtisii</i>	PRADERA
Herbazal	Vegetación de marismas	PRADERA
Herbazal	Carrizales y formaciones de grandes cárices	PRADERA
Herbazal	Vegetación acuática	PRADERA

Mapa de Erosión de Suelos de la Comunidad Autónoma de Euskadi

Herbazal	Vegetación de cubetas endorreicas	PRADERA
Herbazal	Herbazales altos de umbrías silíceas	PRADERA
Herbazal	Prados y cultivos atlánticos	PRADO
Herbazal	Prados de siega	PRADO
Parques urbanos	Parques urbanos y jardines	PRADO
Bosque	Plantaciones forestales	RADIATA
Bosque	Pinar de pino marítimo	RADIATA
Bosque	Robledal acidófilo y robledal-bosque mixto atlántico	ROBLEDAL
Bosque	Robledal eutrofo subatlántico	ROBLEDAL
Bosque	Robledal de Quercus petraea	ROBLEDAL
Bosque	Robledal acidófilo de robles híbridos	ROBLEDAL
Urbano y baldíos	Vegetación ruderal-nitrófila (núcleos habitados, baldíos)	CEREAL PATATA REMOLACHA
Embalse	Embalse	SIN VEGETACION
Sin vegetación	Sin vegetación	SIN VEGETACION
Ría	Ría	SIN VEGETACION
Cauce	Cauce	SIN VEGETACION
Cultivos agrícolas	Viñedos (con más o menos cereal)	VIÑEDO

20. Anejo nº4: Parámetros para calcular el factor K

A continuación se muestran los valores asignados a cada uno de los grupos homogéneos de vegetación y litología de los valores que intervienen en el cálculo del factor K para el modelo USLE y el modelo RUSLE. La primera tabla hace referencia a los datos de las parcelas de usos forestales y la segunda a las parcelas de usos agrícolas. Al final de cada tabla se muestra una leyenda con las abreviaturas utilizadas.

USOS FORESTALES

LITOLOGIA	VEGETACIÓN	DAT	MO	ARC	LIM	ARF	EST	PER	AFL	TF	USLE	RUSLE
ARENISCAS	ALBAR	0	8,95	16,9	24,2	30,3	2	4	0	87,65	0,154	0,135
ARENISCAS	BORTAL	1	8,43	13,6	46,4	25,3	2	4	0	89,5	0,236	0,211
ARENISCAS	BREZAL	2	7,885	21,5	29,6	24,1	2	4	0	80,55	0,184	0,148
ARENISCAS	CARRASCAL	0	8,43	16,9	24,2	30,3	2	4	0	87,65	0,175	0,153
ARENISCAS	ENCINAR	0	9,41	16,9	24,2	30,3	3	4	0	87,65	0,178	0,156
ARENISCAS	ENEBRO	0	8,43	16,9	24,2	30,3	2	4	0	87,65	0,175	0,153
ARENISCAS	FRONDOSA	2	6,025	20	25,5	32,25	1,5	4	2,5	63,35	0,255	0,158
ARENISCAS	HAYEDO	6	8,22	13,8	22	40,9	2	3,5	2,5	88,65	0,201	0,174
ARENISCAS	MARCESCENTE	3	5,43	9,4	7,4	53,8	2	2	0	98,8	0,298	0,294
ARENISCAS	PASTO	0	8,48	16,9	24,2	30,3	2	4	0	87,65	0,173	0,151
ARENISCAS	PRADERA	2	6	15,4	25,4	29	2	3,5	0	90,95	0,26	0,236
ARENISCAS	RADIATA	10	7,24	17,5	24,5	28,55	2	3,5	0	77,4	0,199	0,154
ARENISCAS	ROBLEDAL	2	3,995	24,7	30,6	30,25	3	4	7,5	85	0,398	0,313
CALIZA	ALBAR	6	7,89	15,8	16,7	31,85	2,5	3,5	0	98,05	0,183	0,179
CALIZA	BORTAL	1	9,78	10,6	20,6	41,4	2	3	0	98,4	0,111	0,11
CALIZA	BREZAL	3	8,43	20	36,2	28,7	3	4	0	95,6	0,241	0,23
CALIZA	CARRASCAL	9	8,07	27,2	15,6	36,4	2	5	30	88,7	0,192	0,119
CALIZA	ENCINAR	3	9,41	26,2	30,2	19,1	3	4	50	99,3	0,155	0,077
CALIZA	ENEBRO	3	9,05	30	25,2	28	2	5	20	88,7	0,159	0,113
CALIZA	FRONDOSA	2	0,94	23,1	41,7	22,85	2	4	2,5	79,3	0,522	0,404
CALIZA	HAYEDO	10	7,785	23,2	20,8	37,25	2	4	10	88,35	0,197	0,157
CALIZA	MARCESCENTE	5	9,36	23	24,8	34,1	2	4	15	75,8	0,138	0,089
CALIZA	PASTO	1	9,88	27,2	30,2	29	3	4	0	89,8	0,154	0,138
CALIZA	PRADERA	4	5,48	21,8	30,9	24,55	2	4	10	99,1	0,28	0,25
CALIZA	RADIATA	6	5,075	28,3	34,2	20,6	3	4,5	15	89,35	0,325	0,247
CALIZA	ROBLEDAL	5	8,9	26	26,8	31,3	2	5	0	98,4	0,181	0,178
IGNEA	ALBAR	0	8,95	23,1	27,9	28,9	2	4	0	61,15	0,149	0,091
IGNEA	BORTAL	0	9,39	23,1	27,9	28,9	2	4	0	61,15	0,132	0,081
IGNEA	BREZAL	1	8,17	23,2	24,8	28	2	4	10	56,2	0,167	0,084
IGNEA	CARRASCAL	0	8,43	23,1	27,9	28,9	2	4	0	61,15	0,169	0,103

Mapa de Erosión de Suelos de la Comunidad Autónoma de Euskadi

IGNEA	ENCINAR	0	9,41	23,1	27,9	28,9	3	4	0	61,15	0,173	0,106
IGNEA	ENEBRO	0	8,43	23,1	27,9	28,9	2	4	0	61,15	0,169	0,103
IGNEA	FRONDOSA	0	5,2	23,1	27,9	28,9	2	4	0	61,15	0,293	0,179
IGNEA	HAYEDO	0	8,04	23,1	27,9	28,9	2	4	0	61,15	0,184	0,112
IGNEA	MARCESCENTE	0	9,125	23,1	27,9	28,9	2	4	0	61,15	0,142	0,087
IGNEA	PASTO	0	8,48	23,1	27,9	28,9	2	4	0	61,15	0,167	0,102
IGNEA	PRADERA	0	6,47	23,1	27,9	28,9	2	4	0	61,15	0,244	0,149
IGNEA	RADIATA	2	7,14	18,3	27,9	26,55	1,5	4	0	72,55	0,201	0,146
IGNEA	ROBLEDAL	1	7,55	23,6	29	38,2	2	4	0	62,4	0,237	0,148
LUTITAS	ALBAR	0	8,95	29,2	25,9	29,8	2	5	0	76,4	0,168	0,129
LUTITAS	BORTAL	0	9,39	29,2	25,9	29,8	2	5	0	76,4	0,154	0,117
LUTITAS	BREZAL	1	8,38	33,6	28,4	23	3	5	0	63,3	0,211	0,134
LUTITAS	CARRASCAL	0	8,43	29,2	25,9	29,8	2	5	0	76,4	0,186	0,142
LUTITAS	ENCINAR	0	9,41	29,2	25,9	29,8	3	5	0	76,4	0,195	0,149
LUTITAS	ENEBRO	0	8,43	29,2	25,9	29,8	2	5	0	76,4	0,186	0,142
LUTITAS	FRONDOSA	1	5,12	27	46	16,8	4	5	0	97,7	0,427	0,417
LUTITAS	HAYEDO	0	8,04	29,2	25,9	29,8	2	5	0	76,4	0,199	0,152
LUTITAS	MARCESCENTE	0	9,125	29,2	25,9	29,8	2	5	0	76,4	0,163	0,124
LUTITAS	PASTO	0	8,48	29,2	25,9	29,8	2	5	0	76,4	0,185	0,141
LUTITAS	PRADERA	0	6,47	29,2	25,9	29,8	2	5	0	76,4	0,253	0,193
LUTITAS	RADIATA	6	4,915	27,8	23,3	37	2	4,5	0	76,4	0,319	0,243
LUTITAS	ROBLEDAL	0	7,395	29,2	25,9	29,8	3	5	0	76,4	0,263	0,201
L&A	ALBAR	0	8,95	24	32,8	26,4	2	4	0	88,2	0,153	0,135
L&A	BORTAL	1	9	27,2	46,8	12,1	2	4	0	81	0,145	0,117
L&A	BREZAL	7	4,03	24,9	35,6	18,6	3	4	0	98,7	0,356	0,351
L&A	CARRASCAL	0	8,43	24	32,8	26,4	2	4	0	88,2	0,174	0,153
L&A	ENCINAR	0	9,41	24	32,8	26,4	3	4	0	88,2	0,177	0,156
L&A	ENEBRO	2	3,675	19,7	43,5	23,65	2,5	4,5	27,5	82,6	0,475	0,284
L&A	FRONDOSA	5	8,79	24	31,6	25,8	2	4	0	89,6	0,155	0,139
L&A	HAYEDO	3	7,86	21,8	22,6	36,8	3	4	0	78,2	0,244	0,191
L&A	MARCESCENTE	2	6,675	20,1	41,1	13,65	3,5	4	5	93,2	0,299	0,265
L&A	PASTO	0	8,48	24	32,8	26,4	2	4	0	88,2	0,172	0,151
L&A	PRADERA	4	6,23	21,65	32,05	24	3	4	0	94,15	0,296	0,279
L&A	RADIATA	41	5,48	25,6	31	25,5	3	4	0	88,1	0,313	0,276
L&A	ROBLEDAL	6	6,93	21,9	30,8	30,25	2,5	4	0	85,55	0,268	0,229
MARGA	ALBAR	1	10,24	11,6	21,6	22	2	3	0	99,6	0,058	0,058
MARGA	BORTAL	1	10,14	19,6	19	23,1	2	3	0	99,4	0,053	0,053
MARGA	BREZAL	1	6,67	19,8	20,2	28,9	2	4	2	93,7	0,214	0,196
MARGA	CARRASCAL	4	8,845	20,3	20,2	42,8	2,5	3,5	12,5	98,15	0,179	0,153
MARGA	ENCINAR	0	9,41	24,8	31,2	28,9	3	4	0	96	0,177	0,17
MARGA	ENEBRO	2	9,155	19,7	38	24,45	2	4	10	94,5	0,16	0,136
MARGA	FRONDOSA	3	4,4	32	41	18,1	3	5	0	94,5	0,371	0,351
MARGA	HAYEDO	1	3,36	31	13	47,8	4	5	0	87,9	0,464	0,408
MARGA	MARCESCENTE	2	9,205	27,8	20,3	24	3,5	4	0	97,95	0,17	0,167
MARGA	PASTO	1	8,48	14,2	32,2	31,3	2	4	0	89,6	0,206	0,184
MARGA	PRADERA	9	6,47	24,2	36	26,1	2	4	0	97,6	0,263	0,256
MARGA	RADIATA	14	7,68	27,7	31,1	30,5	2	4,5	0	89	0,217	0,194
MARGA	ROBLEDAL	4	5,04	36	44,2	10,5	2,5	5	0	97,25	0,293	0,285

Mapa de Erosión de Suelos de la Comunidad Autónoma de Euskadi

MIXTA	ALBAR	0	8,95	19,8	26,2	26,1	2	4	0	86,2	0,144	0,124
MIXTA	BORTAL	0	9,39	19,8	26,2	26,1	2	4	0	86,2	0,128	0,11
MIXTA	BREZAL	0	6,67	19,8	26,2	26,1	3	4	0	86,2	0,269	0,232
MIXTA	CARRASCAL	0	8,43	19,8	26,2	26,1	2	4	0	86,2	0,163	0,14
MIXTA	ENCINAR	0	9,41	19,8	26,2	26,1	3	4	0	86,2	0,169	0,146
MIXTA	ENEBRO	0	8,43	19,8	26,2	26,1	2	4	0	86,2	0,163	0,14
MIXTA	FRONDOSA	1	0,55	19,8	19,6	34,6	1	4	60	19,2	0,426	0,033
MIXTA	HAYEDO	0	8,04	19,8	26,2	26,1	2	4	0	86,2	0,177	0,153
MIXTA	MARCESCENTE	0	9,125	19,8	26,2	26,1	2	4	0	86,2	0,137	0,118
MIXTA	PASTO	1	6,05	38,4	17,6	22,4	2	5	0	86,2	0,183	0,158
MIXTA	PRADERA	2	4,785	17,7	35,1	21,25	2	4	0	87,15	0,328	0,286
MIXTA	RADIATA	1	9,26	29,8	5,2	55,8	3	5	0	99	0,209	0,207
MIXTA	ROBLEDAL	2	9,805	17,9	34,7	27,65	3	3,5	0	91,6	0,159	0,145

USOS AGRÍCOLAS

LITOLOGIA	VEGETACIÓN	DAT	MO	ARC	LIM	ARF	EST	PER	AFL	TF	USLE	RUSLE
ANTROPICO	ARBOREO	0	4,71	32,9	32,5	21,5	2	5	0	90,2	0,29	0,262
ANTROPICO	CEREAL	0	4,24	32,9	32,5	21,5	2	5	0	90,2	0,305	0,275
ANTROPICO	PRADO	1	3,5	32,9	32,5	21,5	3	5	0	90,2	0,369	0,333
ANTROPICO	VID	0	3,36	32,9	32,5	21,5	1	5	0	90,2	0,29	0,261
ARENISCAS	ARBOREO	0	4,71	21,4	17,8	45,9	2	4	10	68,7	0,358	0,222
ARENISCAS	CEREAL	1	4,03	21,4	26,6	32,1	1	4	5	68,2	0,315	0,204
ARENISCAS	PRADO	0	6,41	21,4	17,8	45,9	2	4	10	68,7	0,282	0,175
ARENISCAS	VID	2	0,64	24,6	13,9	46,65	1	4	12,5	73,8	0,448	0,289
CALIZA	ARBOREO	0	4,71	20,3	29,2	36,85	2	4	2,5	87,7	0,377	0,323
CALIZA	CEREAL	3	6,72	20,2	22,8	43,1	2	4	5	84,5	0,282	0,226
CALIZA	PRADO	1	8,22	20,4	35,6	30,6	2	4	0	97,3	0,211	0,206
CALIZA	VID	0	3,36	20,3	29,2	36,85	1	4	2,5	87,7	0,399	0,341
IGNEA	ARBOREO	0	4,71	24,2	23,4	33,3	2	4	0	88,3	0,306	0,27
IGNEA	CEREAL	0	4,24	24,2	23,4	33,3	2	4	0	88,3	0,324	0,286
IGNEA	PRADO	1	0,88	24,2	23,4	33,3	2	4	0	88,3	0,45	0,397
IGNEA	VID	0	3,36	24,2	23,4	33,3	1	4	0	88,3	0,315	0,278
L&A	ARBOREO	0	4,71	32	22,2	36,7	2	5	15	77,4	0,317	0,209
L&A	CEREAL	4	3,96	27,7	14,7	40,4	2,5	5	35	48,1	0,363	0,113
L&A	PRADO	3	7,4	21,4	24,8	28,8	3	4	0	90,8	0,243	0,221
L&A	VID	5	4,6	39,2	21,8	36,1	2	5	15	79,9	0,286	0,194
MARGA	ARBOREO	2	6,985	32,8	37,3	21,6	2	4,5	0	91,4	0,22	0,201
MARGA	CEREAL	21	4,55	33,6	19,8	33,7	2	5	0	87,3	0,29	0,253
MARGA	PRADO	10	7,24	28	28,4	32,2	2,5	4,5	0	94,4	0,251	0,237
MARGA	VID	0	3,36	32	23	33,7	1	5	0	92,7	0,309	0,287
MIXTA	ARBOREO	1	3,67	25,2	51,8	8,1	3	5	0	95,5	0,435	0,415
MIXTA	CEREAL	0	4,24	24	20,7	34,6	2	4,5	0	97,2	0,333	0,323
MIXTA	PRADO	7	3,98	22,8	18	42,4	2	4	0	97,4	0,363	0,354
MIXTA	VID	0	3,36	24	20,7	34,6	1	4,5	0	97,2	0,323	0,314

DAT: número de datos, MO: porcentaje de materia orgánica, ARC: porcentaje de arcilla, LIM: porcentaje de limo, ARF: porcentaje de arena fina, EST: estructura del suelo, PER: permeabilidad del suelo, AFL: porcentaje de afloramientos de roca superficiales, TF: porcentaje de tierra fina, USLE: valor de K según la metodología USLE, RUSLE: valor de K según la metodología RUSLE, L&A: lutitas y areniscas.

21. Anejo nº5: Métodos de análisis de suelos empleados

Los métodos de análisis de los distintos parámetros del suelo que han sido empleados son los requeridos por los modelos USLE y RUSLE, que se refieren a los aprobados por el USDA (Departamento de Agricultura de los Estados Unidos). En general coinciden con los métodos aprobados por el Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, publicados en 1994. A continuación de detalla cada uno de ellos.

PARÁMETRO	CONCEPTO	MÉTODO
TIERRA FINA (%)	Valor en porcentaje de las partículas de menos de 2 mm respecto a la cantidad total de material que hay en cada uno de los horizontes del suelo seco.	Tamizado en húmedo y secado posterior.
ARENA (%)	Valor en porcentaje de las partículas de tamaño menor de 2 mm y mayor de 0,05 mm, respecto a la tierra fina seca.	Tamizado en húmedo y secado posterior.
ARENA MUY FINA(%)	Valor en porcentaje de las partículas de tamaño menor de 0,1 mm y mayor de 0,05 mm, respecto a la tierra fina seca.	Tamizado en húmedo y secado posterior.
ARENA GRUESA (%)	Valor en porcentaje de las partículas de tamaño menor de 2 mm y mayor de 0,1 mm, respecto a la tierra fina seca.	Tamizado en húmedo y secado posterior.
LIMO (%)	Valor en porcentaje de las partículas de tamaño menor de 0,05 mm y mayor de 0,002 mm, respecto a la tierra fina seca.	Método de Bouyoucos, lectura a 40 segundos con el densímetro (valor del limo más arcilla).
ARCILLA (%)	Valor en porcentaje de las partículas de tamaño menor de 0,002 mm, respecto a la tierra fina.	Método de Bouyoucos, lectura a 4 horas con el densímetro.
MAT ORGÁNICA (%)	Valor en porcentaje de la cantidad de materia orgánica	Método de Walkley y Black de combustión húmeda y valoración

Mapa de Erosión de Suelos de la Comunidad Autónoma de Euskadi

		que hay respecto a la tierra fina seca.	con sal de Mohr.
CAPACIDAD RETENCIÓN (mm/m)	AGUA	Cantidad de agua en milímetros que puede retener el perfil del suelo por metro de profundidad.	$12,5*(4,6+0,43*\%arcilla+0,25*\%limo+1,22*\%materiaorganica)*c*T$ F/100. Donde c es el complemento a uno de la pendiente del terreno en tanto por uno (para 25%, c=0,75)
PERMEABILIDAD		Velocidad a la que se filtra el agua en el suelo. Categorías adimensionales.	Función directa de la granulometría según tablas del USDA
CONTENIDO RAÍCES	DE	Peso de raíces por unidad de superficie del suelo y por unidad de profundidad, es decir, kilos por hectárea y centímetro	Tamizado y selección visual.
CONTENIDO RESTOS	DE	Peso de restos por unidad de superficie del suelo y por unidad de profundidad, es decir, kilos por hectárea y centímetro	Tamizado y selección visual.