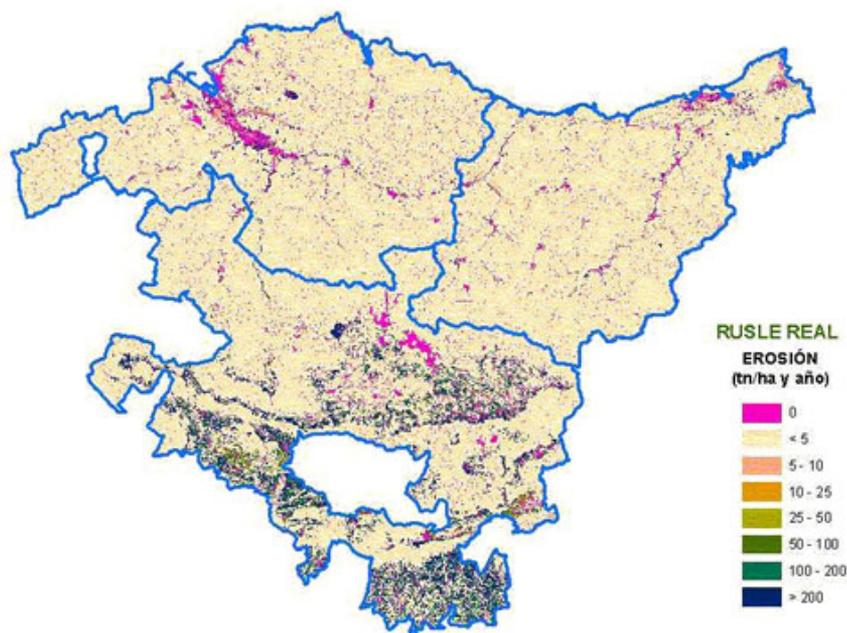


Mapa de erosión de suelos de la Comunidad Autónoma de Euskadi



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	4
2. ANTECEDENTES	5
3. BASES DEL TRABAJO	6
4. METODOLOGÍA	8
4.1. FACTOR R: AGRESIVIDAD DE LA LLUVIA.	9
4.2. FACTOR K: SUSCEPTIBILIDAD DEL SUELO A LA EROSIÓN.	10
4.3. FACTOR L: LONGITUD DE LADERA.	13
4.4. FACTOR S: PENDIENTE.	13
4.5. FACTOR C: CUBIERTA VEGETACIÓN.	14
4.6. FACTOR P: PRÁCTICAS DE CONSERVACIÓN.	16
5. OBTENCIÓN DE DATOS	19
5.1. INFORMACIÓN CARTOGRÁFICA PREEXISTENTE.	19
5.2. BASES DE DATOS ALFANUMÉRICAS PREEXISTENTES.	22
5.3. DATOS ELABORADOS EXPRESAMENTE PARA EL TRABAJO.	22
6. TOMA DE DATOS DE CAMPO	24
6.1. MALLA DE MUESTREO.	24
6.2. REPLANTEO Y PUNTO DE MUESTREO.	25
6.3. RECURSOS PARA LA TOMA DE DATOS.	27
6.4. TOMA DE DATOS.	27
6.5. MEDIDAS PARA EVITAR VALORES “MISSING”.	32
6.6. REPETICIÓN DE PARCELAS VARIABLES.	33
6.7. ANÁLISIS DE LABORATORIO.	33
7. IMPORTANCIA RELATIVA DE LOS FACTORES DE EROSIÓN	35
8. TRATAMIENTO ESTADÍSTICO Y EXTRAPOLACIÓN	38
8.1. CASUÍSTICA DE EXTRAPOLACIÓN DE VARIABLES.	38
8.1.1. <i>Asignación directa</i>	38
8.1.2. <i>Modelización estadística</i>	39
8.1.3. <i>Asignación estadística</i>	41
8.2. CONSIDERACIONES PARA LA MODELIZACIÓN ESTADÍSTICA.	42
8.2.1. <i>Análisis y modelos.</i>	42
8.2.2. <i>Esquema de trabajo para la modelización.</i>	42
8.2.3. <i>Variables cualitativas y cuantitativas.</i>	45
8.2.4. <i>Variables de confusión e interacción.</i>	46
8.2.5. <i>Otros problemas con las variables.</i>	47
8.2.6. <i>Mecanismos para evitar problemas con las variables.</i>	49
8.3. CONSIDERACIONES PARA LA ASIGNACIÓN ESTADÍSTICA.	51
9. LIMITACIONES PARA LA EXTENSIÓN DE VARIABLES	52
10. CÁLCULO Y CARTOGRAFÍA DE LA EROSIÓN	53
10.1. FACTOR R: AGRESIVIDAD DE LA LLUVIA.	53
10.1.1. <i>Interpretación ecológica.</i>	54

Mapa de Erosión de Suelos de la Comunidad Autónoma de Euskadi

10.1.2.	<i>Justificación del uso del modelo simplificado.</i>	54
10.1.3.	<i>Cálculo y extensión de los datos.</i>	56
10.1.4.	<i>Limitaciones del resultado.</i>	58
10.2.	FACTOR K: SUSCEPTIBILIDAD DEL SUELO A LA EROSIÓN.	58
10.3.	FACTOR L: LONGITUD DE LADERA.	58
10.3.1.	<i>Interpretación ecológica.</i>	59
10.3.2.	<i>Determinación de los elementos de corte.</i>	59
10.3.3.	<i>Determinación de la dirección del flujo.</i>	60
10.3.4.	<i>Determinación de la longitud de ladera.</i>	61
10.3.5.	<i>Limitaciones del resultado.</i>	62
10.4.	FACTOR S: PENDIENTE.	62
10.5.	FACTOR C: CUBIERTA VEGETACIÓN.	63
10.6.	FACTOR P: PRÁCTICAS DE CONSERVACIÓN.	64
11.	EROSIÓN POTENCIAL Y REAL	66
12.	COMPARACIÓN DE LA EROSIÓN ACTUAL Y PASADA	67
13.	EQUIPO Y MEDIOS A EMPLEAR	68
14.	FECHA Y FIRMA	69
15.	ANEJO Nº1: ESTACIONES METEOROLÓGICAS Y FACTOR R	70
16.	ANEJO Nº2: AGRUPACIÓN DE LITOLOGÍA PARA EL FACTOR K	74
17.	ANEJO Nº3: AGRUPACIÓN DE VEGETACIÓN PARA EL FACTOR C	98

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. 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.

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 $g_p=3Dn_i$, 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 $B=3M_i(1-x_{i-1}^{1,5})$; 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.

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 los 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.

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 linea max pen	
Forma curva nivel	
Posición orográfica	
Afloramientos roca	
Buzamiento capas	
Ángulo Bz y Pendient	
Observaciones	

DATOS VEGETACIÓN NO AGRÍCOLA

Especie arbol princ	
Especie arbol secun	
Altura med arbol	
Variación interanual	
% aereo arbol	
% superficie arbol	
Especie matorral prin	
Especie matorral sec	

Mapa de Erosión de Suelos de la Comunidad Autónoma de Euskadi

Altura med matorral	
Variación interanual	
% aereo matorral	
% superficie matorral	
Altura med herbácea	
Variación anual	
% superf herbácea	
Manejo antropico	
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	

Mapa de Erosión de Suelos de la Comunidad Autónoma de Euskadi

Observaciones	
---------------	--

DATOS SUELOS	
% cubierta contacto	
Altura cubierta cont	
Tipo cubierta contact	
Compactación superf	
Espesor horiz sup	
% raices no muestrea	
Dimensiones muestra	
% suelo no muestreo	
Identifica muestra epi	
Percepción textura	
Estructura	
Espesor total suelo	
Permeab endopedion	
Identif muestra endo	
Hidromorfía	
Observaciones	

DATOS EROSIÓN	
Indicios laminar	
Indicios regueros	
Indicios cáravas	
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 el 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.

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.

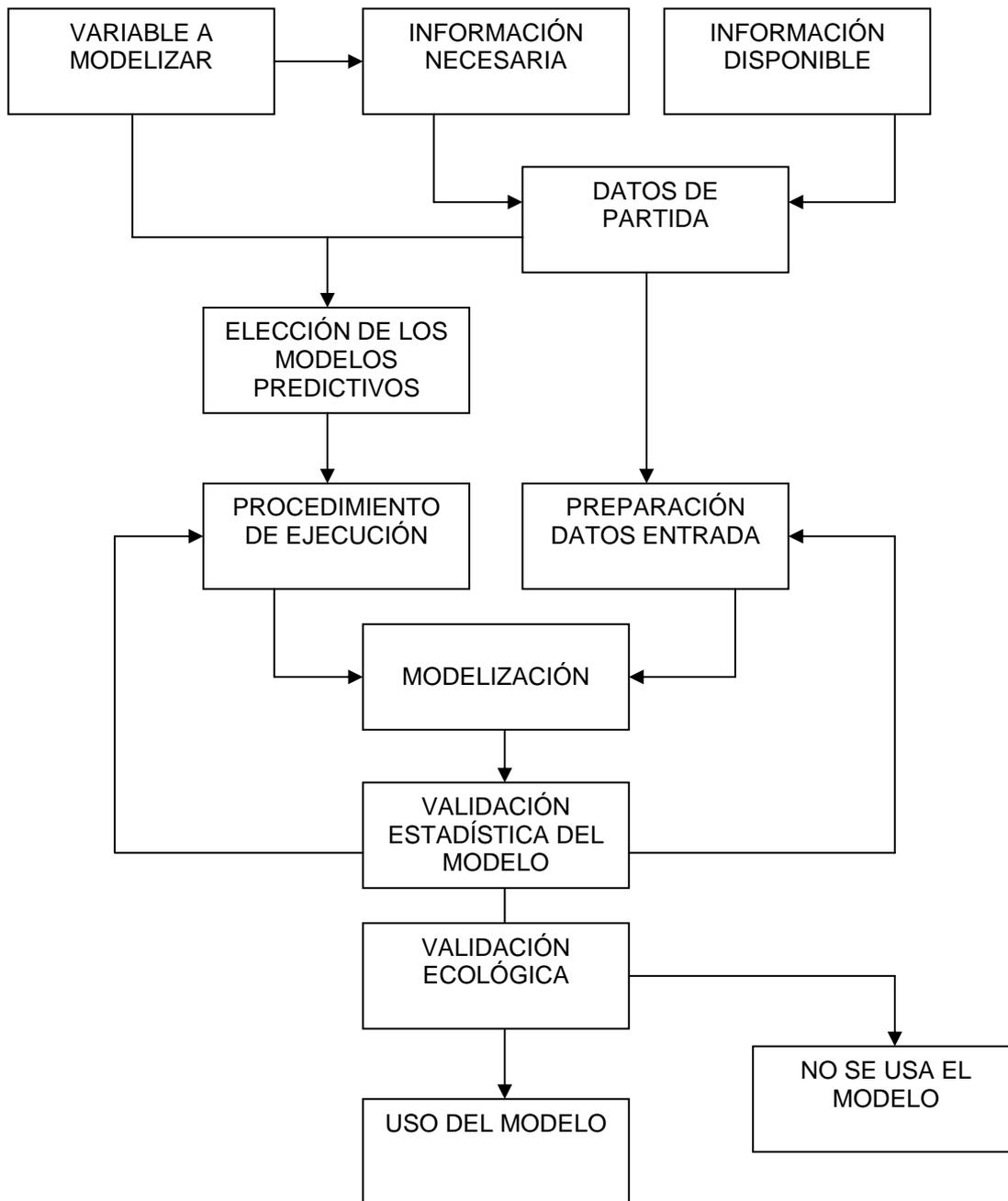
8.2.1. Análisis y modelos.

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.

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 (Krigado).

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.

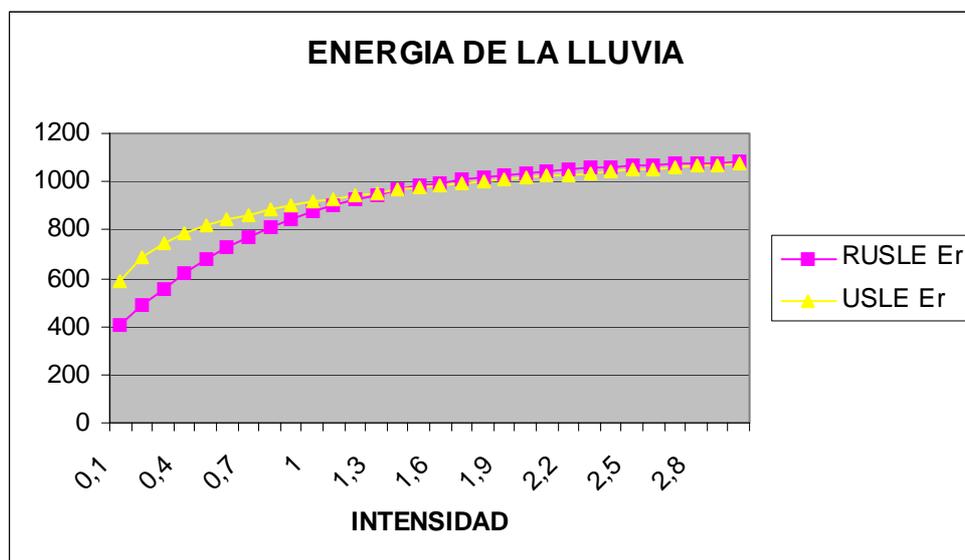
10.1.1. Interpretación ecológica.

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 el anejo nº1. En total se han empleado 72 estaciones dentro de Euskadi y 28 limítrofes.

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 utilizado una técnica de krigeado, de modo que a partir de los valores puntuales de cada estación se ha extendido para cada punto del territorio el valor del factor R.

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 por medio de krigado se ha procedido a corregir con la altitud aplicando el factor anterior y aplicando el siguiente procedimiento. Se ha realizado una extensión de la altitud de cada estación meteorológica por medio igualmente de krigado, 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, 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. Para evaluar estos factores haría falta un mapa de propiedades edáficas.

Este factor en el modelo RUSLE se complementa con valores de pedregosidad y el antecedente de humedad del suelo. Para ambos sistemas se necesitaría un mapa de propiedades edáficas. Pero como no existe tendremos que elaborarlo.

Para modelizar estas propiedades es necesario un mapa de vegetación, litológico, formaciones superficiales, geomorfológico y modelo digital del terreno. Con esto se puede modelizar a partir de los datos de calicatas del muestreo y de otras disponibles.

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 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 adecúe 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 píxel 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 este factor depende de distintos factores 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 tiene la vegetación y los restos de esta 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.

La cartografía necesaria en este caso es compleja, puesto que un mapa de vegetación no aporta toda la información necesaria, aunque es una primera aproximación.

Para los terrenos agrícolas la existencia del SIGPAC o Sistema de Información Geográfica para las Parcelas Agrícolas aportaría una parte importante de la información, según los campos de la base de datos asociada.

Para el resto de terrenos, parte de la información puede obtenerse por medio de las siguientes fuentes: tercer Inventario Forestal Nacional datos para el País Vasco (creo que todavía no está terminado), Mapa Forestal de España (creo que no está terminado las hojas del País Vasco a escala 1:50.000), Mapa de Cultivos y Aprovechamientos, Inventario forestal del País Vasco y Plan forestal

del País Vasco. De estos dos últimos documentos sería interesante analizar que cartografía existe, para ver si puede ser útil.

Este nuevo factor para la ecuación RUSLE es muchísimo más complejo, porque depende de 9 parámetros que a su vez dependen de unos cuantos valores. Hay elementos que participan y que ya se tienen de otros factores de la ecuación, como la humedad del suelo o el modelo digital de elevaciones para analizar la rugosidad superficial. Sin embargo los datos de vegetación han de completarse con información de la estructura de la vegetación mucho más compleja y de los cultivos. Las fuentes de información en principio son las mismas que para la ecuación USLE. No obstante habrá que hacer una modelización compleja, puesto que este factor es complejo.

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.

11. Erosión potencial y real

12. Comparación de la erosión actual y pasada

13. Equipo y medios a emplear

Para la mayoría de las fases del trabajo ya han sido comentados los medios y el equipo a emplear. Igualmente en la oferta se detalla el personal participante.

No obstante, a continuación se resume dicha información, sin aportar los curriculum puesto que dicha documentación ya consta en la oferta, salvo petición de la Dirección de la Asistencia Técnica.

- Toma de datos de campo: 3 equipos compuestos por un especialista y un ayudante cada uno, con vehículos todo terreno.
- Laboratorio: 2 especialistas de laboratorio más dos ayudantes.
- Recopilación información previa: equipo de 3 especialistas en erosión de suelos.
- Modelización estadística: un técnico especializado en la materia, con la ayuda de dos técnicos con conocimientos aunque no avanzados.
- Bases de datos: un técnico especializado en la materia, con la ayuda de dos técnicos con conocimientos aunque no avanzados.
- Sistema de información geográfica: un técnico especializado en la materia, con la ayuda de dos técnicos con conocimientos aunque no avanzados.
- Informes y documentación: equipo de 3 técnicos especialistas en erosión de suelos.

14. Fecha y firma

En Oviedo, a 15 de octubre de 2004.

Francisco Rodríguez Roncero

Director del Departamento de Proyectos de IDER, S.A.

15. 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
ARCENTALES	300	482513,03	4785111,67	204,9
ARCHUA 'IBERDUERO'	710	502833,27	4748065,19	146,6
ARLUCEA	774	538328,58	4729670,04	156,8
ARMIDON	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

16. 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 fluvio-glaciales	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

17. 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	BOJ ROMERO ENEBRO
Matorral	Romeral	BOJ ROMERO ENEBRO
Matorral	Bujedo	BOJ ROMERO ENEBRO
Matorral	Espinar o zarzal	BORTAL ESPINAR
Matorral	Bortal o matorral alto termoatlántico	BORTAL ESPINAR
Matorral	Sauceda	BORTAL ESPINAR
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	HIERBA ROQUEDOS
Erosión	Vegetación de erosiones margo arcillosas	HIERBA ROQUEDOS
Herbazal	Complejo de vegetación de acantilados litorales	HIERBA ROQUEDOS

Mapa de Erosión de Suelos de la Comunidad Autónoma de Euskadi

Herbazal	Vegetación de gleras o canchales	HIERBA ROQUEDOS
Herbazal	Vegetación de roquedos silíceos	HIERBA ROQUEDOS
Herbazal	Vegetación de arenales costeros	HIERBA ROQUEDOS
Herbazal	Vegetación de graveras fluviales	HIERBA ROQUEDOS
Herbazal	Espartal	HIERBA ROQUEDOS
Herbazal	Vegetación de arenales del interior	HIERBA ROQUEDOS
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)	RUDERAL
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)	VID