

Análisis y simulación de pérdida de suelos mediante la ecuación USLE en la gestión forestal¹

Edorta Camino Esturo

Resumen: a través de la aplicación de diversas simulaciones con herramienta SIG, el trabajo analiza las posibles pérdidas de suelo que pueden originar los distintos tipos de manejo forestal empleados en plantaciones de *Pinus radiata*. Los resultados de la metodología USLE, aportando información cartográfica y cuantitativa, sostienen que, para mantener la sostenibilidad del ecosistema de la cuenca del Mariaratz (Gipuzkoa), los modelos de tala más agresivos, tipo TES, deben ser reducidos y ordenados sobre una Propuesta de Gestión Forestal del territorio.

¹Enlace al artículo original:

https://www.google.com/url?sa=t&source=web&rct=j&opi=89978449&url=https://www.ingeba.org/lurralde/urranet/lur37/37%2520edorta%2520caminoBR.pdf&ved=2ahUKEwjDoP3n1MaFAXV-RKQEHbvQC5MQFnoECBgQAQ&usg=AOvVaw3B_ysZF-RuhX6bB5wAcCeP

Palabras clave: USLE, SIG, Cuenca del Mariaratz, *Pinus radiata*, Ordenación Territorial.

1. Introducción:

La práctica de la tala masiva de especies arbóreas de plantación, principalmente *Pinus radiata*, en las explotaciones forestales de la C.A.V. propicia una pérdida de suelos fértiles debido a la influencia de diferentes factores (relieve, vegetación, precipitación). Una técnica continua y prolongada que puede ocasionar graves problemas en el mantenimiento de los ecosistemas locales, en los cuales se reducen la capacidad productiva de estos suelos, presentando una escasez general de nutrientes (Diputación Foral de Guipúzcoa, 1991).

El trabajo se realiza en la cuenca del Mariaratz (Gipuzkoa) aplicando la metodología de la Ecuación Universal de Pérdidas de Suelo (USLE) y combinada con herramienta SIG, con el fin de estudiar la situación actual de los suelos seleccionados, implementar la información y cartografiar los resultados.

La USLE se aplica desde la década de los 60 por el U.S. Department of Agriculture y diversos autores (Rodríguez *et al.*, 2004; Edeso *et al.*, 1995, 1997 y 1998; Gayoso *et al.*, 1999) coinciden en su utilidad como herramienta de gestión ambiental y control de riesgos para analizar y prevenir la pérdida de suelos productivos. El suelo es un componente básico del ecosistema forestal, el cual “constituye el principal insumo de la producción forestal, por lo que es necesario velar por su conservación para lograr el objetivo de una silvicultura sustentable en el largo plazo” (Gayoso *et al.*, 1999: 6).

El objetivo del presente trabajo es realizar una serie de simulaciones sobre los niveles de pérdida de suelos con diferentes manejos forestales (talas), establecer comparaciones de estos datos con los datos reales de pérdida de suelos (Gobierno Vasco, 2005) y conocer cuál sería la mejor estrategia de manejo para una gestión forestal óptima, ya que consideramos importante que “la planificación de los usos del suelo incorpore el análisis de la erosión para corregir los efectos de los procesos en los lugares donde se encuentren más avanzados e identificar las porciones territoriales más sensibles a la erosión” (Sánchez *et al.*, 2003: 228).

En este sentido, el estudio plantea como hipótesis la capacidad o no de los resultados derivados de esta metodología USLE como herramienta adecuada en la mejora de la gestión forestal y la planificación territorial en el ámbito de estudio.

2. Método:

2.1. Área de estudio:

El estudio ha sido realizado en la cuenca del arroyo Mariaratz (Gipuzkoa, País Vasco) (Figura 1) que cubre una superficie aproximada de 470 Ha (Figura 2 y 2a). Una zona localizada en el extremo suroriental del Sinclinorio de Bizkaia (País Vasco) de origen Mesozoico y, fundamentalmente, Cretácico, que se caracteriza por una orografía montañosa, aunque de escasa altitud, y un clima oceánico de tipo Cbf, según la clasificación de Köppen. Estas condiciones físicas y su cercanía al mar Cantábrico hacen que estos ríos sean cortos y con fuertes pendientes, aunque con caudales pequeños. Esta "microcuenca" ha sido dedicada a la explotación forestal intensiva desde hace varias décadas, lo que la conforma como un espacio especialmente oportuno para el estudio y aplicación de este tipo de análisis.

Figura 1. Mapa de situación de la zona de estudio (Fuente: Google Maps)

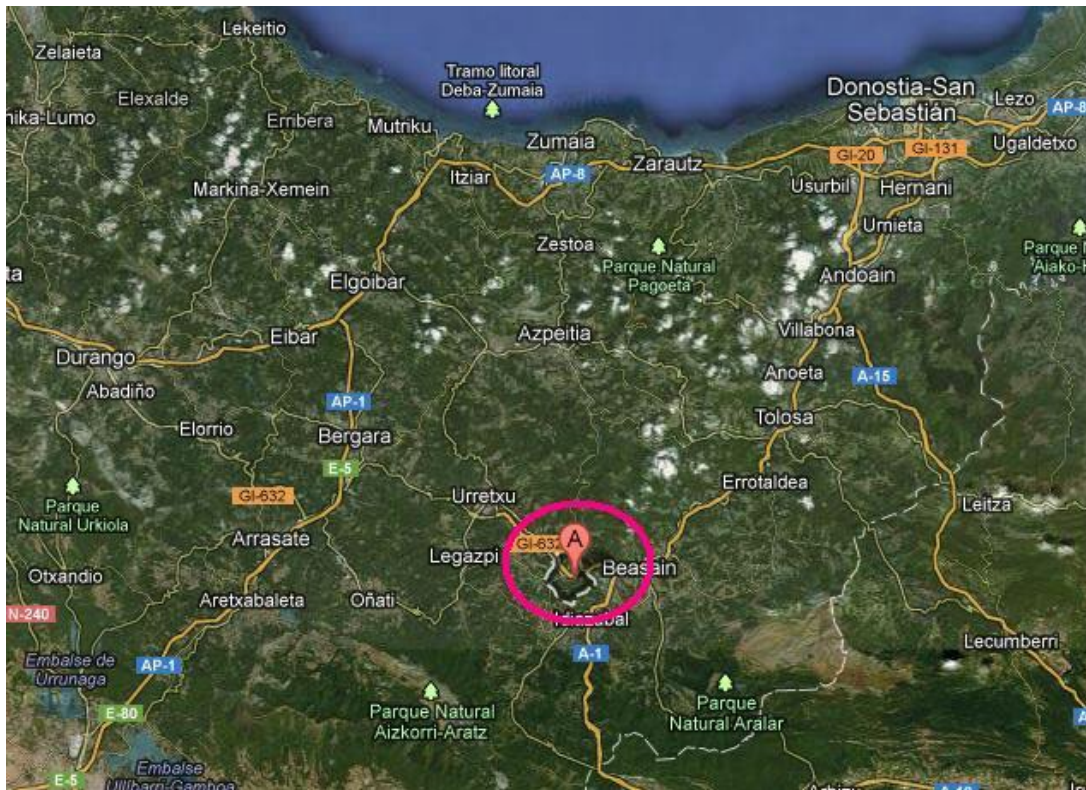
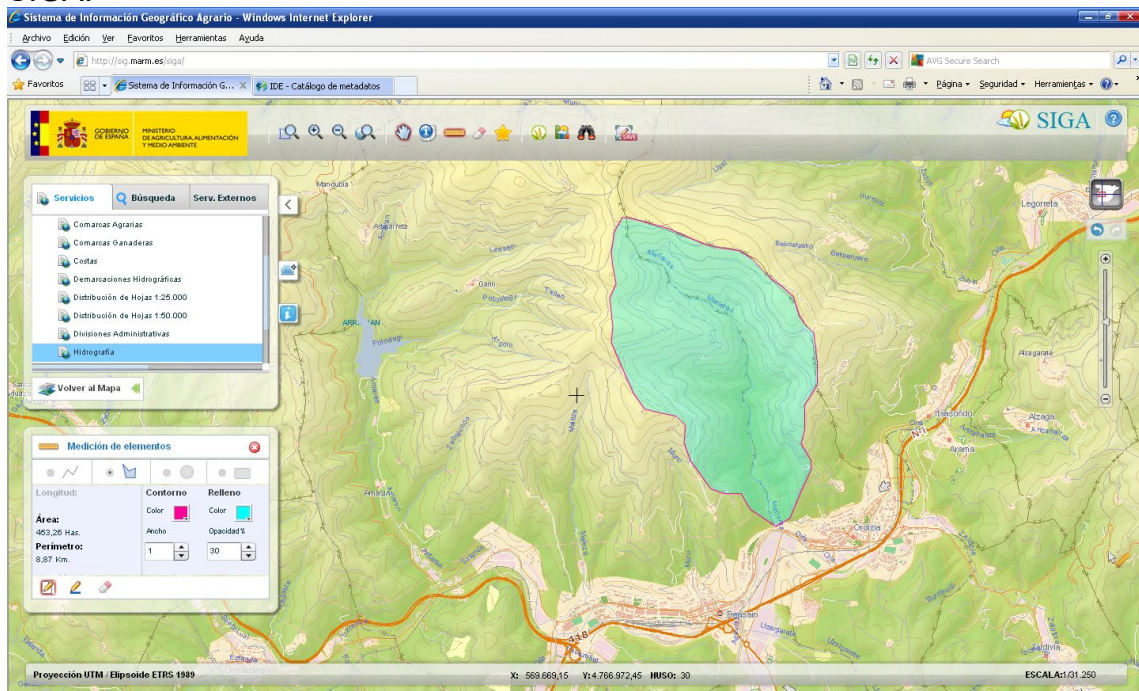


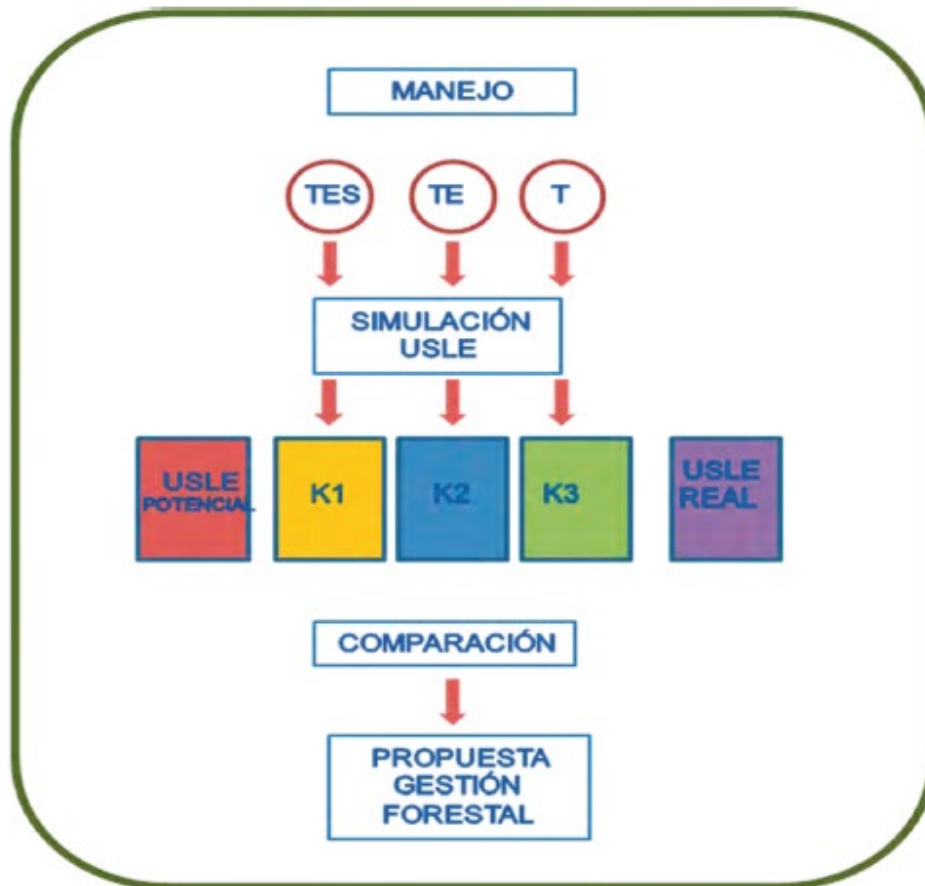
Figura 2. Las dimensiones de la cuenca del Mariaratz con la herramienta SIGA.



2.2. Descripción del procedimiento:

El trabajo ha consistido en la aplicación de un análisis de la cuenca del Mariaratz basado en el siguiente proceso:

Figura 3. Esquema del proceso metodológico empleado en el



estudio

- Implementación en un SIG de información cuantitativa y cartográfica del área de estudio:

Se ha realizado mediante la obtención de diferente cartografía digital básica de ámbito autonómico (Gobierno Vasco) y la creación de bases de datos que permita analizar la cuenca del Mariaratz de forma individualizada. La fuente principal utilizada ha sido el Servicio de Cartografía de la Infraestructura de Datos Espaciales (IDE de Euskadi), así como el Sistema de Información Geográfica Agrario (SIGA) del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente.

- Conceptualización y cálculo de la USLE a nivel local:

El estudio de la situación actual de la pérdida de suelos ha sido elaborado, principalmente, según el procedimiento desarrollado por diversos investigadores e investigadoras de la UPV/EHU (Edeso, 1995, 1997, 1998) mediante la aplicación de la Ecuación Universal de Pérdidas de Suelo (USLE) en el País Vasco.

Según Edeso *et al.* (1997), la USLE puede definirse como “un modelo paramétrico capaz de evaluar las pérdidas ligadas a la erosión laminar y a la erosión en regueros”. La forma simplificada de la USLE se resume en la siguiente expresión:

$$A = R \cdot K \cdot S \cdot L \cdot C \cdot P$$

Siendo:

A la pérdida de suelo por unidad de superficie ($t\ ha^{-1}$)
R es el factor lluvia o índice de erosión pluvial ($J. m^{-2}\ cm\ hora^{-1}$).
K es el factor erosionabilidad del suelo ($t\ m^2. hora/ha.J.cm.$).
L es el factor longitud de pendiente.
S es la pendiente.
C es el factor cultivo y/o ordenación.
P es el factor prácticas de cultivo.

La obtención de los resultados de la variable R se ha realizado mediante la herramienta SIGA (Sistemas de Información Geográfica Agrario) del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, donde una de las capas implementadas a este SIG contiene la información del factor R a nivel estatal. Esta información ha sido elaborada “a partir de las series de datos termométricos (1803 estaciones) y pluviométricos (4189 estaciones) entre 1960 y 1996 facilitados por el Instituto Meteorológico Nacional. Dicha información fue procesada para todas las estaciones y después se han modelizado los diferentes parámetros mediante métodos geoestadísticos de interpolación (KRIGING) para todo el territorio nacional” (Catálogo de metadatos, www.magrama.gob.es). En el caso específico de la cuenca del Mariaratz, el procedimiento para calcular el factor R ha sido la recogida aleatoria de puntos utilizando estos valores ofrecidos por el SIGA según algunas variables espaciales (cabecera, río y ladera), estableciendo una media de estos registros para toda la cuenca (Tabla 1).

Tabla 1. Tabla de datos recopilados en SIGA para el cálculo del Factor R.

Registro	Ubicación	X	Y	R
1	Cabecera	564624	4770457	208
2	Cabecera	585212	4770209	207,93
3	Cabecera	564518	769887	206,91
4	Cabecera	564534	4769423	206,11
5	Cabecera	564600	4768745	204,81
6	Cabecera	566138	4769754	207,91
7	Cabecera	565179	4768026	203,07
8	Cabecera	566510	4769167	206,82
9	Cabecera	566576	4768621	205,82
10	Cabecera	566452	4768034	204,09
11	Cabecera	565750	4767514	202,32
12	Arroyo	564840	4770118	207,73
13	Arroyo	565245	4769696	206,78
14	Arroyo	565832	4769275	206,32
15	Arroyo	565907	4768688	205,08
16	Arroyo	565981	4767977	203,55
17	Arroyo	566138	4767398	202,25
18	Ladera	564518	4769862	207,43
19	Ladera	566031	4769564	207,33
20	Ladera	566345	4768861	206,1
21	Ladera	566444	4768084	204,09
22	Ladera	564799	4769622	206,59
23	Ladera	565196	4769275	205,94
24	Ladera	565394	4768630	204,67
25	Ladera	565559	4768092	203,28
				205,6372

El factor K se ha obtenido de los datos aportados en investigaciones anteriores (Edeso *et al.*, 1997) que establecen unos parámetros según los diferentes tipos de suelo existentes en función del tipo de manejo o tala, estableciendo diferentes simulaciones:

a- K1. Refleja el valor del índice K en aquellas “situaciones en las que las labores de acondicionamiento han sido particularmente agresivas, implicando corta a hecho, destocoado, decapado, apertura de pistas, retirada de la vegetación muerta y subsolado lineal con la consiguiente destrucción del suelo”. Su nomenclatura es “TES”.

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

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

El factor topográfico LS ha sido calculado a partir de las tablas elaboradas por la Cátedra de Hidráulica e Hidrología de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes de Madrid (Tabla 2). Así mismo, se han obtenido de una serie de perfiles

con la herramienta del Visor Geoeuskadi del Gobierno Vasco para analizar las pendientes a lo largo de toda la cuenca.

Tabla 2. Tabla del factor topográfico LS según la pendiente (en Edeso *et al.*, 1997)

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

El factor C se ha obtenido de las tablas publicadas por Wischmeier (1.978) para los tipos más comunes de cultivos y de las áreas forestales, según Edeso *et al.* (1997).

El factor P de prácticas de conservación de suelos se aplica un valor de 1, ya que no se han observado prácticas de conservación en la cuenca (Edeso, 1997), como pueden ser bancales o terrazas.

Después de obtener los resultados de la USLE, cada una de las áreas de *Pinus radiata* ha sido codificada según estos datos en función de la cantidad de pérdida de suelo (toneladas/hectárea y año), utilizando la herramienta Excel.

- Análisis SIG de la información:

Después del proceso de obtención de resultados de la USLE en la cuenca del Mariaratz, toda la cartografía resultante ha sido trasladada a un SIG para acometer el análisis espacial. El programa SIG empleado ha sido Arcview 3.1., utilizando las funciones contenidas en *Geoprocessing* (Figura 5), con el cual realizar la unión y tratamiento de las diferentes capas y bases de datos, así como en *Xtools*, especialmente necesario en el cálculo de las superficies y porcentajes de las áreas analizadas.

- Visita al área de estudio y comprobación de los resultados en campo.

2.3. Materiales utilizados:

Para la elaboración del estudio se ha requerido la adquisición de los siguientes materiales:

- Mapa de pendientes derivado del MDT del LIDAR 2008 de la CAPV (en %): formato shp del Gobierno Vasco. (<ftp://ftp.geo.euskadi.net/cartografia>). Mapa de orientaciones derivado del MDT del LIDAR 2008 de la CAPV: formato shp, Gobierno Vasco.
- Mapa de Vegetación de la CAPV, escala 1:25.000 (año 2007) en formato shp, Gobierno Vasco.
- Mapa litológico de la CAPV, escala 1:25000 en formato shp, Gobierno Vasco.
- Mapa del inventario forestal de la CAPV, escala 1:10000 (año 2010) formato shp, Gobierno Vasco.
- Mapa de erosión hídrica de los suelos (USLE real y USLE potencial, escala 1:25000) de la CAPV, formato shp, Gobierno Vasco.
- Ortofotos 2012, formato JPG: 088 y 089. 1:10000, Gobierno Vasco.
- Datos Pluviometría, para calcular el factor R, utilizando los datos del SIGA.
- Datos secundarios recopilados en diferentes artículos especializados, principalmente los estudios aportados por Edeso *et al.* (1997 y 1998).

Las herramientas utilizadas en el tratamiento de la información han sido:

- Visor Sistemas de Información Geográfica Agrario (SIGA) del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente.
- Visor GeoEuskadi del Gobierno Vasco.
- Excel 2007
- AutoCAD 2007
- ArcView 3.1.

3. Resultados y discusión:

3.1. *Pinus radiata* en la cuenca del Mariaratz:

El arroyo Mariaratz discurre por la comarca del Goierri (Gipuzkoa), recorriendo una distancia de 4138 metros de norte a sur desde su nacimiento en la ladera del monte Urresparatz (787 msnm) hasta su desembocadura en el río Oria, perteneciendo al sistema hidrológico de la vertiente cantábrica (Figura 6). Por sus características, el arroyo Mariaratz es de orden 2 y constituye un límite administrativo entre los municipios guipuzcoanos de Beasain y Ordizia, los cuales se distribuyen, respectivamente, la ladera Oeste y Este de la cuenca del Mariaratz.

La cuenca del Mariaratz presenta una superficie aproximada de 470 Ha, de las cuales, el 84,46 % se dedica a uso forestal. El resto (15,56%) está destinado a la producción agrícola y ganadera, relacionada con la existencia de caseríos dispersos, concretamente en el barrio de Beasainmendi, perteneciente al municipio de Beasain (Tabla 3 y Figura 4).

Tabla 3. Tabla y mapa resultante ocupada de las especies forestales en la cuenca.

Especie	COUNT	ÁREA (m2)	Hectáreas	%Superficie
Arbustedo	70	731656,609	73,166	15,54
Abeto Douglas	31	253508,315	25,351	5,38
Alerce	28	367837,499	36,784	7,81
Árboles ripícolas	1	896,404	0,090	0,02
Bosque mixto atlántico	55	620928,394	62,093	13,18
Castaño	1	32377,342	3,238	0,69
Chameciparis	2	1790,559	0,179	0,04
Eucalipto globulus	1	5322,215	0,532	0,11
Haya	20	427011,463	42,701	9,07
Pino laricio	19	128148,643	12,815	2,72
Pino radiata	126	1887671,596	188,767	40,08
Pino silvestre	1	1534,057	0,153	0,03
Plantaciones de frondosas variadas	4	42458,318	4,246	0,90
Plátano	1	761,012	0,076	0,02
Roble americano	3	11712,215	1,171	0,25
Roble pedunculado	6	195973,333	19,597	4,16
Total	369	4709587,974	470,959	100

El análisis sobre la pérdida de suelos ha sido realizada en las parcelas de replantación de *Pinus radiata*, las cuales ocupan el 40% de la superficie de la cuenca con un área de 188 Ha. Se trata de la especie de repoblación forestal más representativa y con tradición histórica (Michel, 2006; Ainz, 2008). Esta acotación es debida a una función meramente práctica, ya que otras áreas de la cuenca con especies forestales menos dedicadas a la actividad extractiva de este recurso no precisarían un estudio de simulación tan individualizado por carecer, en principio, de este riesgo de pérdida de suelos por motivos antrópicos.

Después de realizar la acotación de *Pinus radiata* en la cuenca del Mariaratz, el mapa resultante dibuja un contorno discontinuo que se localiza, principalmente, en zonas de fuerte pendiente. El 63% de la población de esta especie forestal está situada en áreas en torno a los 50-100% de pendiente (118 Has) y, así mismo, otro 29% de la masa forestal se encuentra en un 30-50% de pendiente (54 Has) (Figura 8 y 9). En este sentido y tal como se analizará a continuación, esta localización en las pendientes fuertes tendrá una relevancia directa en la pérdida de suelos. No obstante, en general, la cuenca del Mariaratz contiene un 55% de laderas muy pronunciadas con pendientes entre un 50 y un 100%.

Figura 4. Distribución de las especies forestales en el SIG

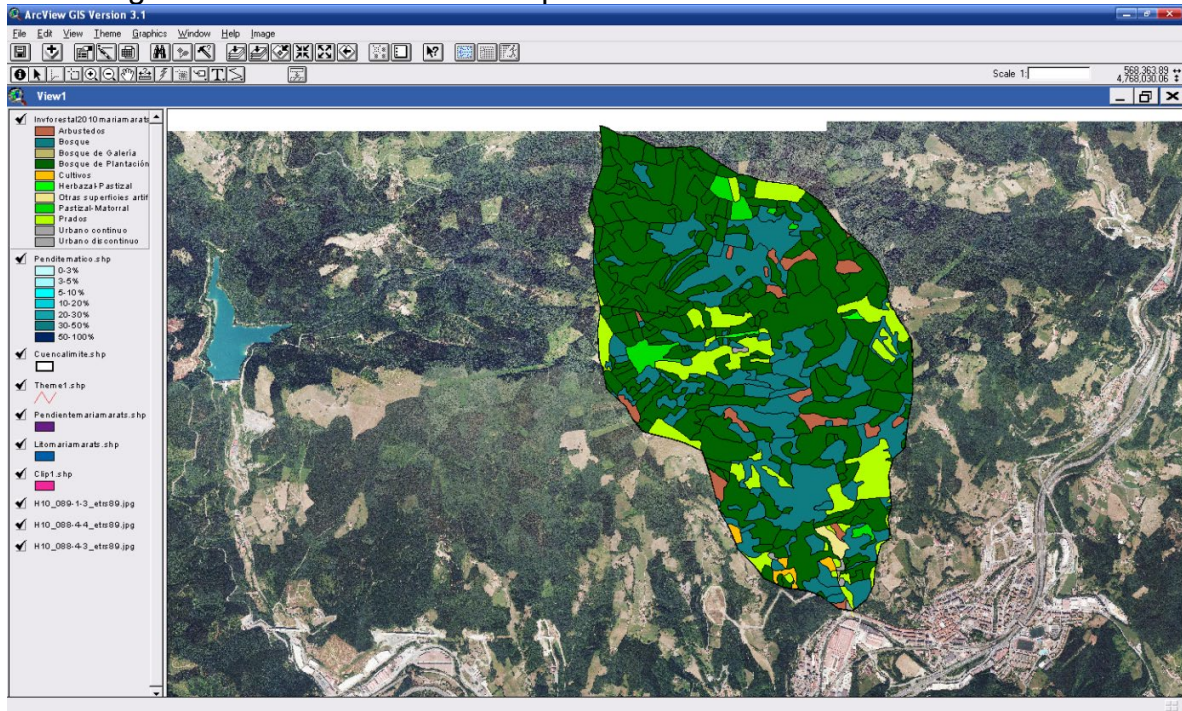
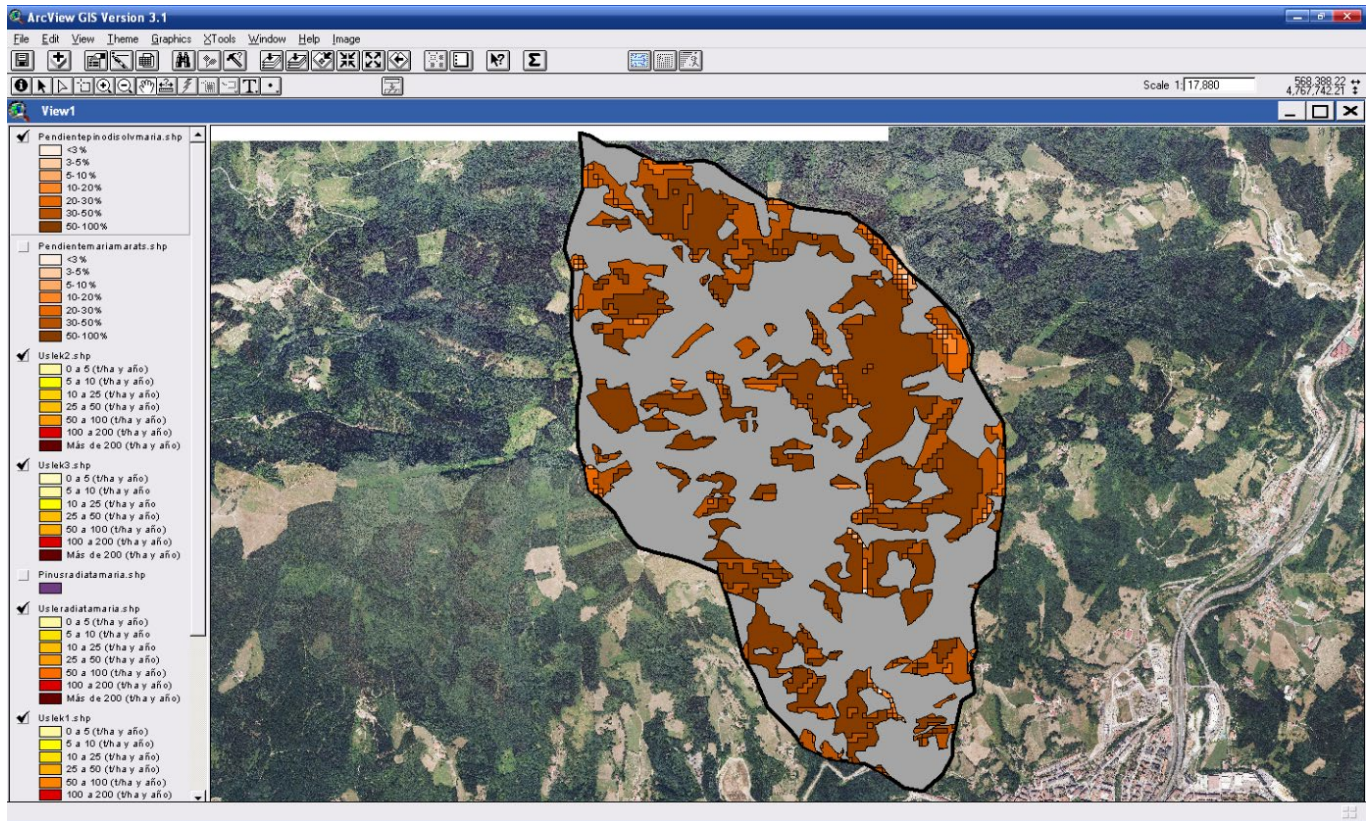


Tabla 4. Pendientes (%) y superficies en Pinus radiata

Pendiente	AREA (m2)	%Superficie
0-3%	1766,246	0,09
3-5%	1131,381	0,06
5-10%	10065,099	0,53
10-20%	40265,349	2,13
20-30%	101043,330	5,35
30-50%	543628,974	28,80
50-100%	1189771,217	63,03
TOTAL	1887671,596	100

Figura 5. Mapa de pendientes (%) en la superficie ocupada por *Pinus radiata*.



3.2. Elaboración de la USLE:

Con el análisis de la cuenca del Mariaratz, se ha iniciado la aplicación de la USLE, la cual ha proporcionado una serie de resultados, tanto cartográficos como estadísticos, sobre la pérdida de suelos en diferentes situaciones de tala o manejo de la explotación forestal en las parcelas de *Pinus radiata*.

Para la obtención de la fórmula, se han calculado los diferentes factores, siendo catalogados como valores fijos y variables con el objetivo de simplificar el modelo de simulación:

1. Valores fijos:

- Factor R: según la metodología aplicada, se obtiene un valor medio para toda la cuenca de 205,6. El factor R aumenta ligeramente de Oeste a Este y de Sur a Norte, según los datos del SIGA, aunque con unas mínimas diferencias. Esta información ha sido contrastada con la estación de Beasain, la cual presenta un valor de R de 196,1 (Gobierno Vasco, 2005)
- Factor C: se establece un valor unitario de 0.168, calculado para la cuenca del Santa Lucía por Edeso *et al.* (1997) a partir de las tablas publicadas por Wischmeier (1.978).

- Factor P: se aplica un valor 1 al no haberse encontrado indicios de prácticas de conservación, ya que “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” (Gobierno Vasco, 2005: 125).

2. Valores variables:

- Factor K: es un factor variable según el tipo de manejo y supone la aceptación de los cálculos de estudios anteriores (Edeso *et al.*, 1997 y 1998) que dan unos valores de K en la cuenca del Santa Lucía (Goierri, Gipuzkoa) a parcelas con diferentes tipos de manejo forestal en suelos “LgAhLoBd” o “Luvisoles órticos-Luvisoles gleicos-Cambisoles éutricos” presentes en toda la superficie de la cuenca del Mariaratz con una litología margosa, resultando los siguientes valores por tipo de tala:

a- TES (K1): 0.32

b- TS (K2): 0.21

c- T (K3): 0.19

- Factor LS: se aplican los valores establecidos por Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes de Madrid, adaptados al porcentaje de la pendiente del estudio. La ladera Este de la cuenca presenta unos mayores niveles de pendiente, tal y como se advierte en los perfiles del Visor (Figura 11a). Según el mapa resultante, la pendiente de la ladera Este superior a 30% y, por lo tanto, con alto riesgo de erosión afecta al 57% de esta ladera. En la ladera Oeste, en cambio, se aprecia una pendientes inferiores al 45% de su superficie.

Por lo tanto, la fórmula USLE resultante sería:

$$A = 205.6 \times K \times LS \times 0.168 \times 1$$

cuya tabla de cálculo para los datos variables se refleja en el gráfico de la Figura 12 y los valores de las pérdidas de suelo se interpretarían en la Figura 12a.

Tabla 5. Tabla de datos en la fórmula de la USLE en función de la técnica empleada para cada simulación realizada en la cuenca del Mariaratz.

A (t/ha y año)	R	K1	K2	K3	LS		C	P
0-5	205,6	0,32	0,21	0,19	<3	0,3	0,168	1
5-10					3-5	0,8		
10-25					5-10	1,7		
25-50					10-20	4		
50-100					20-30	8,05		
100-200					30-50	12,97		
>200					50-100	23,31		

Tabla 6. Interpretación de los datos de pérdida de suelos.

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

Fuente: Edeso et al., 1997

3.3. Análisis de la pérdida de suelos:

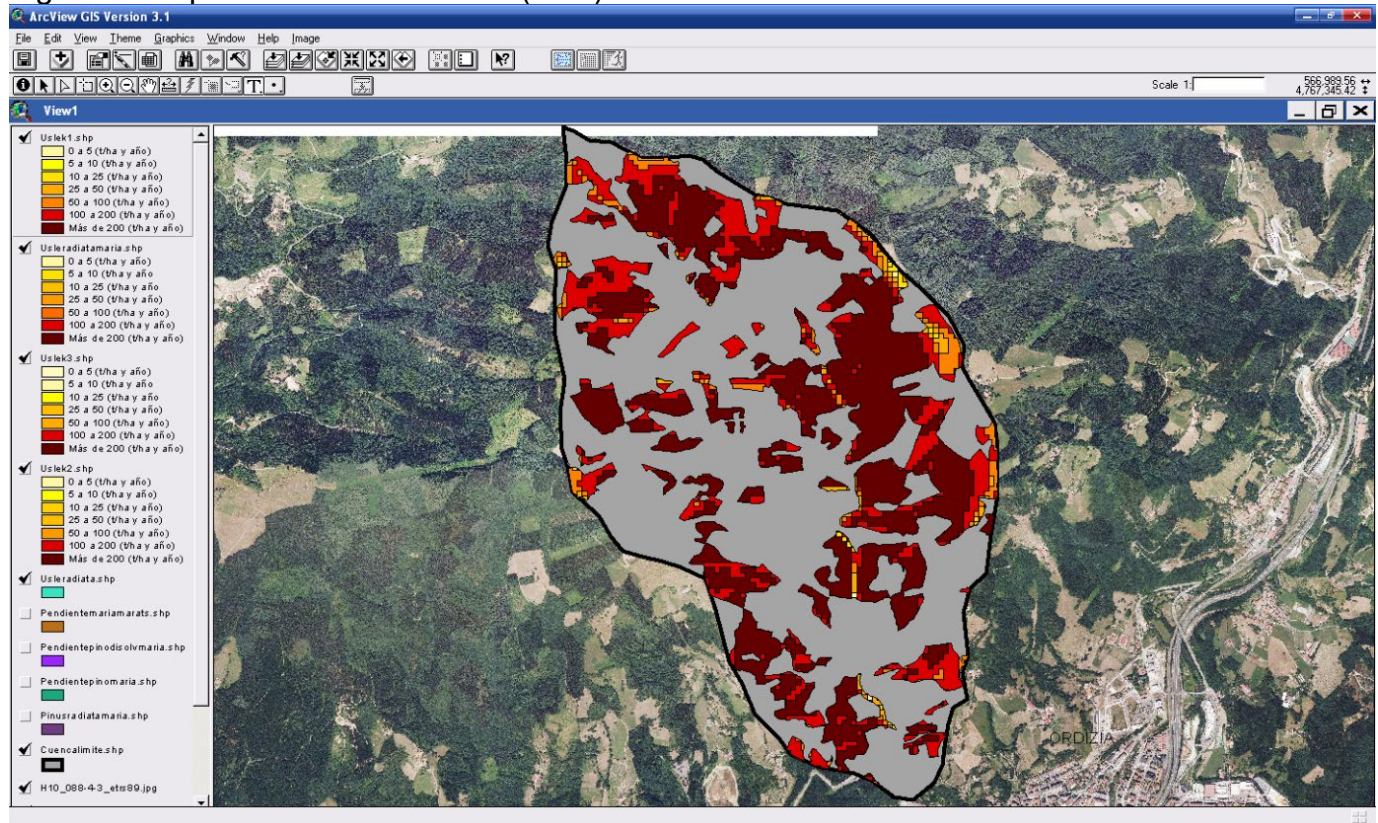
A través de la elaboración de la USLE en la cuenca del Mariaratz, se establecen una serie de simulaciones de pérdida de suelos según los diferentes tipos de manejos forestales.

Simulación K1. En el caso de aplicar una tala a toda la superficie de *Pinus radiata* mediante una técnica TES, la pérdida total de suelos mínima, es decir, utilizando el valor más pequeño de cada intervalo, sería de 29848,79 toneladas, con una pérdida mínima de 158,12 t/ha y año. De las cuales, el 63,03 % de la superficie estaría dentro del intervalo mayor de 200 t/ha y año, con 119 Has (Tabla 7 y Figura 6).

Tabla 7. Resultados de la simulación K1 (TES)

USLE K1	Superficie (m2)	%Superficie
0 a 5 (t/h y año)	1766,25	0,09
5 a 10 (t/h y año)	0,00	0,00
10 a 25 (t/h y año)	11196,48	0,59
25 a 50 (t/h y año)	40265,35	2,13
50 a 100 (t/h y año)	101043,33	5,35
100 a 200 (t/h y año)	543628,97	28,80
Más de 200 (t/h y año)	1189771,22	63,03
Total	1887671,60	100

Figura 6. Mapa de la simulación K1 (TES)

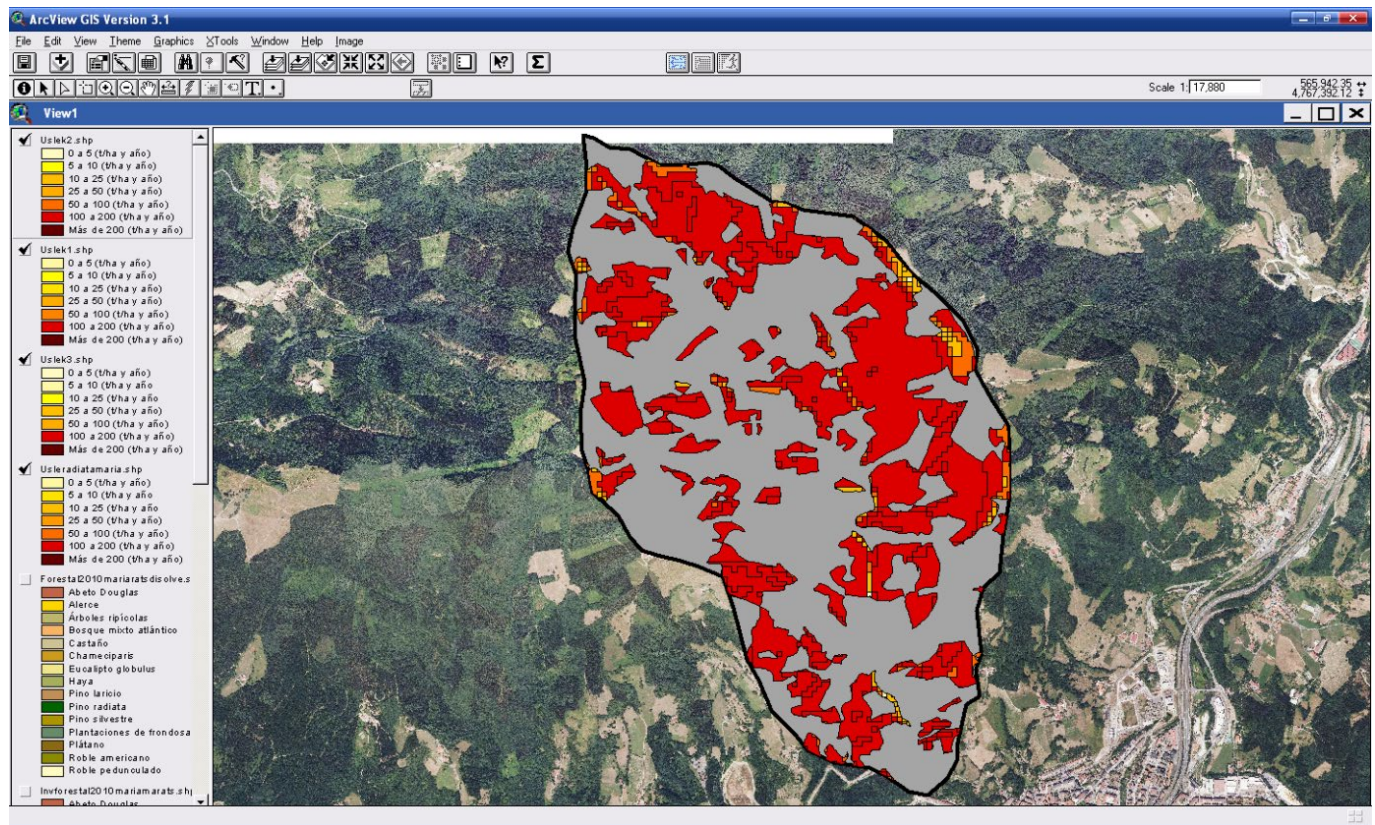


Simulación K2. En el caso de la tala tipo TE, la pérdida total de suelos mínima supondría 17890,68 toneladas, con una pérdida mínima de 94,77 t/ha y año. En este caso, no se supera el intervalo de más de 200 t/h y año, aunque los niveles de pérdida de suelo entre 100 y 200 estarían repartidos en un 91,82 % de la superficie de la cuenca (Tabla 8 y Figura 7).

Tabla 8. Resultados de la simulación K2 (TE)

USLE K2	Superficie (m2)	%Superficie
0 a 5 (t/h y año)	1766,25	0,094
5 a 10 (t/h y año)	0,00	0,000
10 a 25 (t/h y año)	51461,83	2,726
25 a 50 (t/h y año)	0,00	0,000
50 a 100 (t/h y año)	101043,33	5,353
100 a 200 (t/h y año)	1733400,19	91,827
Más de 200 (t/h y año)	0,00	0,000
	1887671,60	100

Figura 7. Distribución de la simulación K2 (TE)

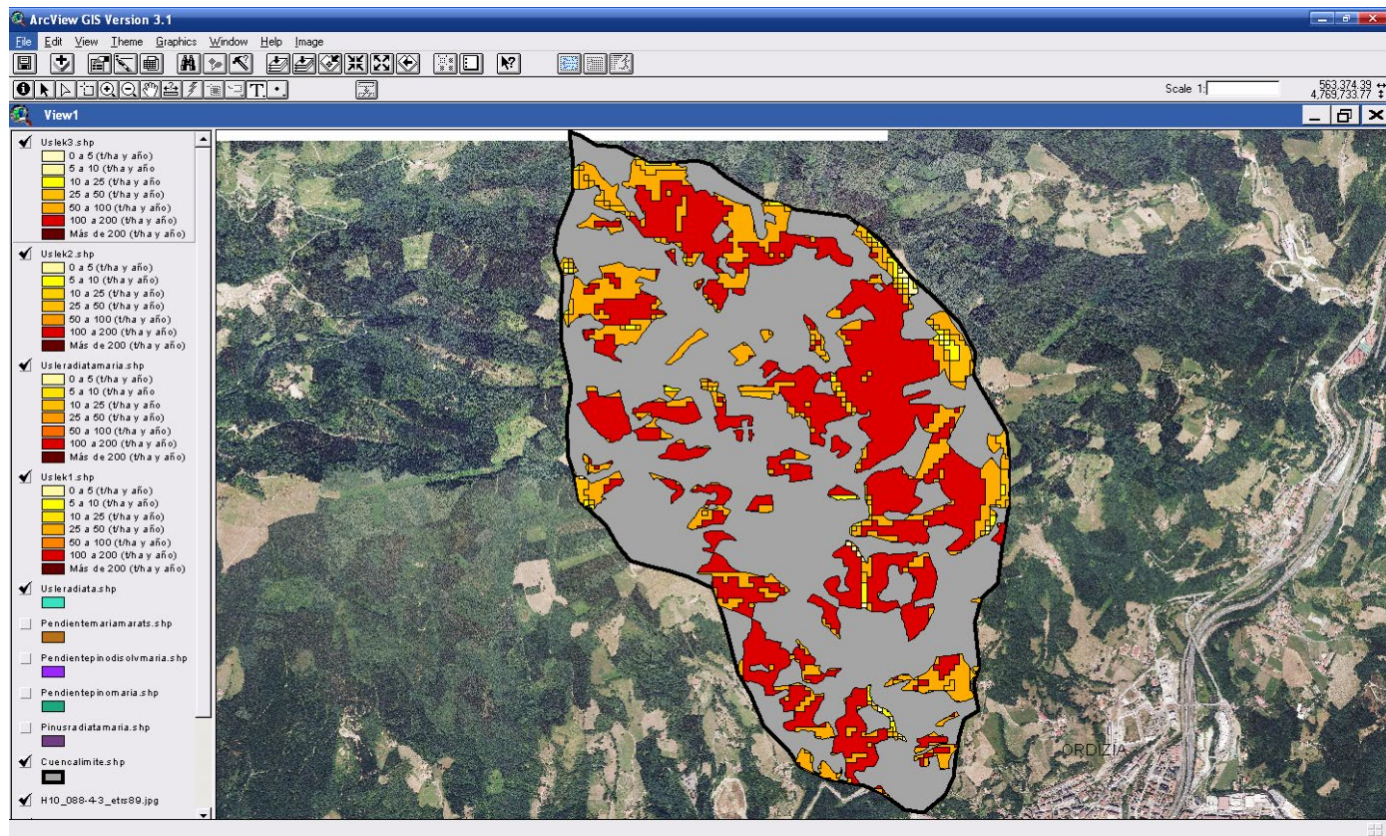


Simulación K3. En el supuesto de la tala tipo T, la pérdida total de suelo mínima resulta una cantidad de 14914,33 toneladas, con una pérdida de 79,01 t/ha y año, donde la superficie de Pinus radiata situada en el intervalo entre 100 y 200 t/ha y año no supera el 63,03 % (Figura 7 y Figura 8).

Tabla 9. Resultados de la simulación K3 (T)

USLE K3	Superficie (m2)	%Superficie
0 a 5 (t/h y año)	1766,25	0,094
5 a 10 (t/h y año)	11196,48	0,593
10 a 25 (t/h y año)	40265,35	2,133
25 a 50 (t/h y año)	101043,33	5,353
50 a 100 (t/h y año)	543628,97	28,799
100 a 200 (t/h y año)	1189771,22	63,029
Más de 200 (t/h y año)	0,00	0,000
	1887671,60	100

Figura 8. Distribución de la simulación K1 (T)



Estas simulaciones han sido comparadas con la pérdida real de suelos establecida en el mapa de suelos del Gobierno Vasco (Tabla 10), cuya pérdida total mínima se ha calculado en 3399,59 toneladas. Esta última comparación hay que considerarla meramente de referencia, ya que, aunque la metodología empleada sea similar, el desconocimiento de los datos aplicados en la elaboración de la USLE hace dudar de la proporcionalidad de esta comparación (Figura 11 y Figura 9).

Tabla 10. Superficie ocupada en la USLE real

USLE REAL	Superficie (m2)	% superficie
0 a 5 (t/h y año)	58281,909	3,088
5 a 10 (t/h y año)	279016,740	14,781
10 a 25 (t/h y año)	766732,231	40,618
25 a 50 (t/h y año)	628218,327	33,280
50 a 100 (t/h y año)	126537,372	6,703
100 a 200 (t/h y año)	28758,609	1,523
Más de 200 (t/h y año)	126,399	0,007
Total	1887671,587	100

Fuente: Elaboración propia en base al Mapa USLE real CAPV.

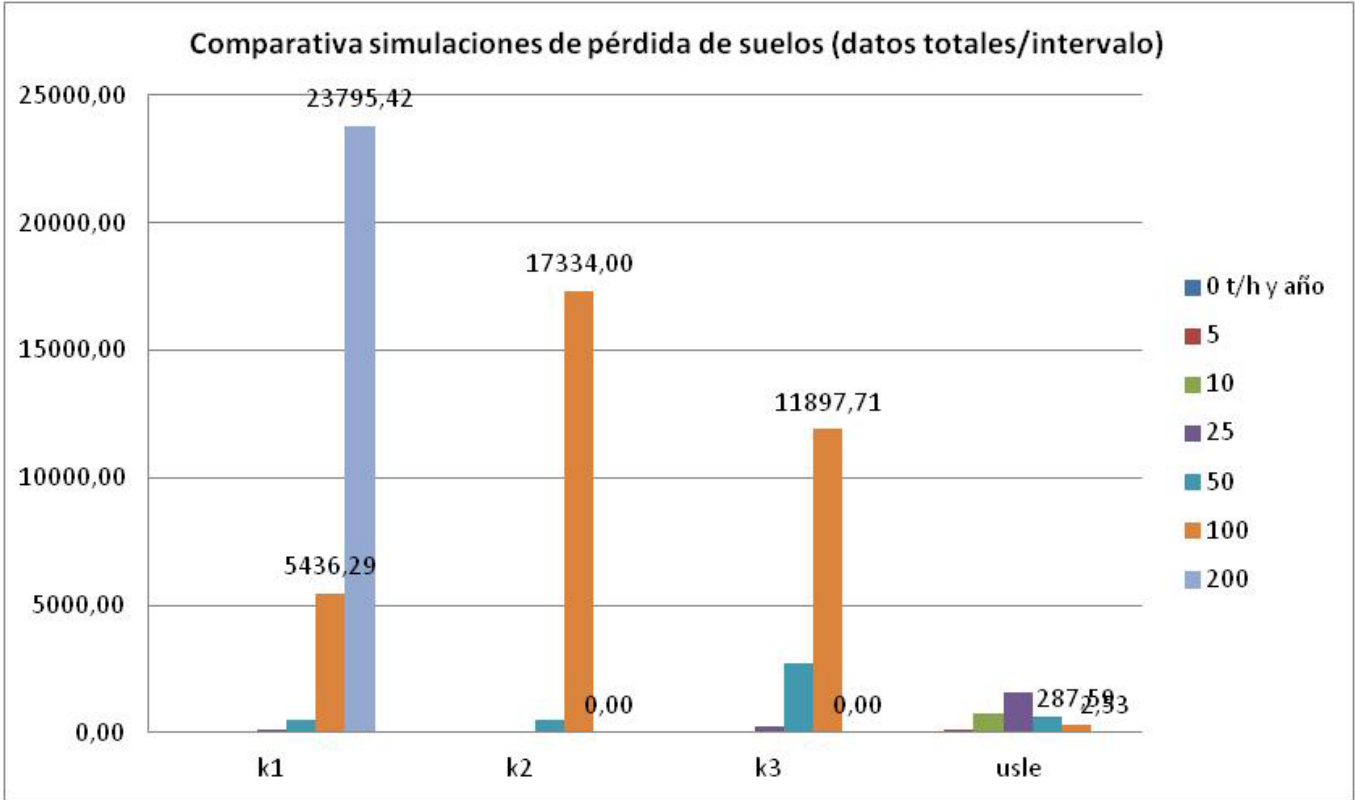
No obstante, la utilización de datos fijos en la obtención de la USLE en el proceso de este análisis posibilita que los resultados sean diferentes a la USLE real del Gobierno Vasco y, por este motivo, hayan dado unos valores más generales, tal y como se aprecia en la cartografía resultante. Como se plantea en la memoria del

Mapa de Erosión “lo realmente importante no son los valores absolutos, sino los relativos comparados dentro de la misma metodología, de modo que se puedan estudiar las distintas alternativas de manejo y se conozca cuanto mayor o menor es el impacto de una actividad, independientemente de los valores absolutos obtenidos” (Gobierno Vasco, 2005).

Tabla 11. Porcentaje de pérdida de suelo en cada manejo forestal

USLE (t/h y año)	TES	TE	T
0 a 5	0,09	0,09	0,09
5 a 10	0,00	0,00	0,59
10 a 25	0,59	2,73	2,13
25 a 50	2,13	0,00	5,35
50 a 100	5,35	5,35	28,80
100 a 200	28,80	91,83	63,03
Más de 200	63,03	0,00	0,00
	100	100	100

Tabla 9. Comparativa de las simulaciones de pérdidas de suelos (datos totales/intervalo)



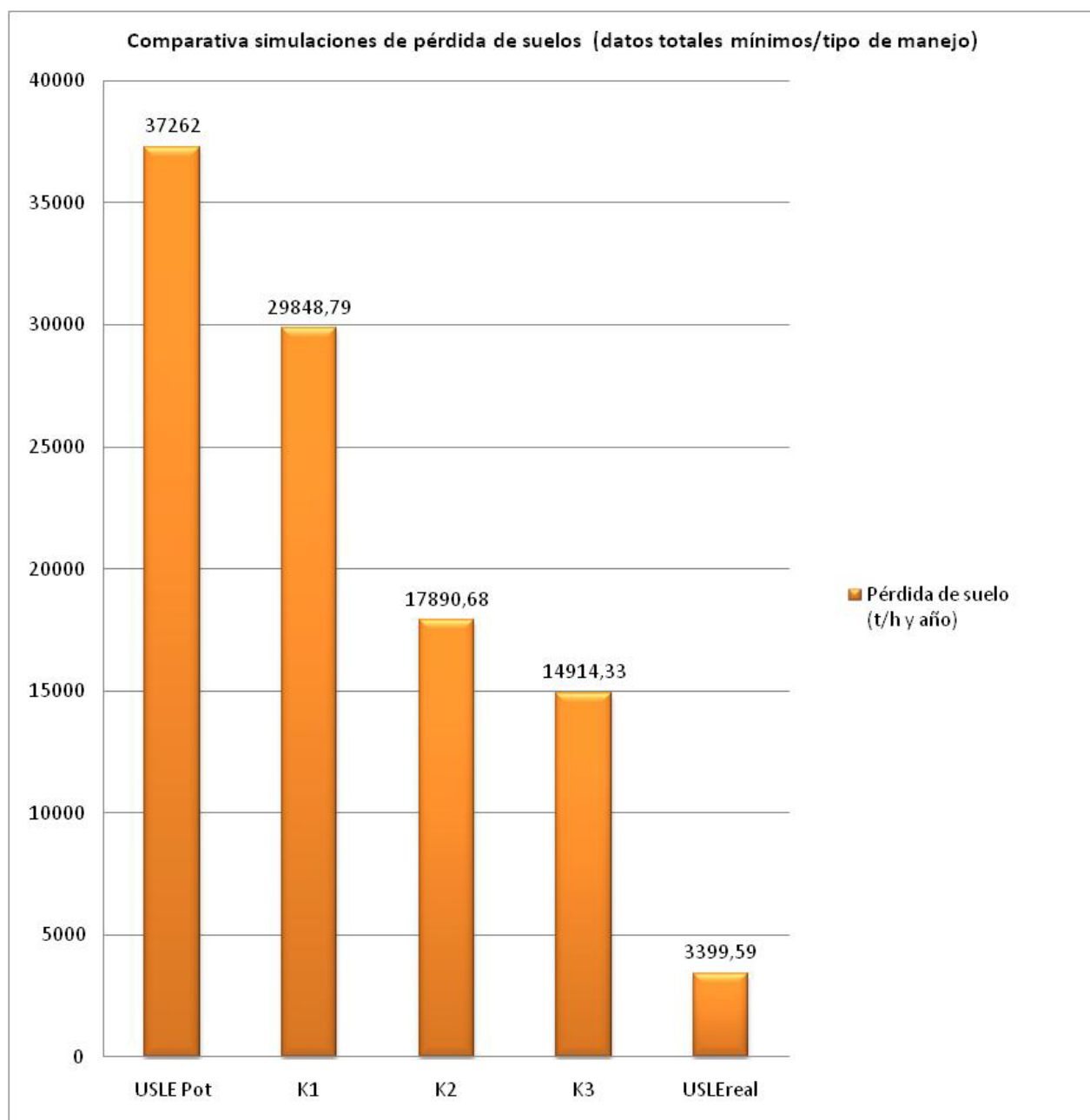
Sin embargo, cuando analizamos los valores de la Erosión Potencial de la cuenca del Mariaratz con la simulación K1 del tipo de manejo TES, vemos algunas semejanzas, ya que los porcentajes de superficie con unos niveles de pérdida de suelos superior a 200 t/ha y año aumentan considerablemente en ambos casos,

siendo del 63,03 % para la K1 y del 98,7% para la USLE potencial (Tabla 12 y Figura 10).

Figura12. Tabla de la USLE potencial. (Elaboración propia en base al Mapa USLE potencial CAPV)

PERDIDAS Usle potencial	AREA	HECTARES	%
0 (t/ha y año)	24580,483	2,458	1,30212748
Más de 200 (t/ha y año)	1863095,209	186,310	98,6978725
	1887675,692	188,768	100

Figura 10. Comparativa de las simulaciones de pérdida de suelos con la USLE real y potencial (datos totales mínimos/ tipo de manejo)



Según la FAO, estos resultados de pérdida de suelos superiores a 200 t/ha y año se situarían en un nivel de erosión Muy Alto, para lo cual habría que disminuir en lo posible los factores de riesgo (Tabla 13). En este sentido, este trabajo de fin de máster finaliza con una “Propuesta de Gestión Forestal para la Cuenca del Mariaratz” que reduzca en lo posible el factor K, relacionado con el manejo del suelo de la cubierta vegetal para su aprovechamiento como recurso forestal (Gaspari, 2005). Se aplican las indicaciones de la FAO mediante unas zonificaciones que permitan una planificación del suelo y un ordenamiento de las prácticas extractivas (Sánchez, 2003), asignando un tipo de tala o manejo máximo requerido (incluida la posibilidad de conservación) para las plantaciones de *Pinus radiata* analizadas que son susceptibles de erosión en la cuenca del Mariaratz (Tabla 14 y Figura 11).

Tabla 13. Intervalos de pérdida de suelos de la FAO aplicado a la cuenca del Mariaratz

Grados FAO	(t/ha y año)	Superficie (Has)	% Superficie
Ninguna o ligera	< 10	1,30	0,69
Moderada	10-50	14,13	7,49
Alta	50-200	173,34	91,83
Muy Alta	> 200	0,00	0,00
		188,77	100,00

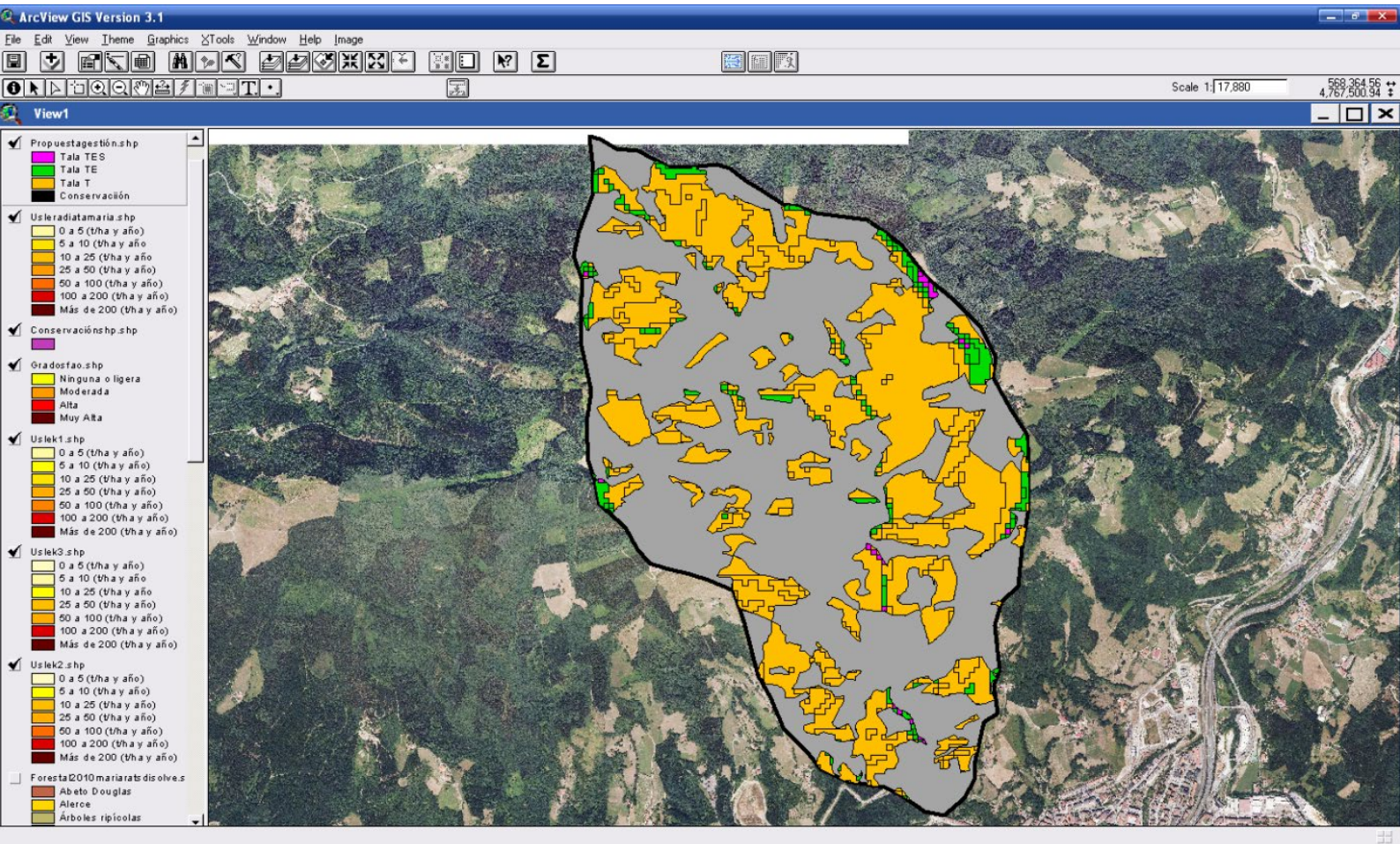
Tabla 14. Tipos de manejos máximos permitidos en la cuenca del Mariaratz y superficies

Gestión	Superficie (Has)	% Superficie
TES	1,30	0,69
TE	14,13	7,49
T	173,34	91,83
Conservación	0,00	0,00
	188,77	100,00

La posible crítica a esta aportación de la USLE recae sobre dos aspectos que pueden desaconsejar su empleo en la gestión forestal de la cuenca del Mariaratz o, al menos, considerarla como un resultado orientativo. Por un lado, sería conveniente resolver las dudas y revisiones de la USLE (RUSLE, MUSLE, etc) que han corregido o mejorado algunos aspectos de la fórmula de erosión y que, todavía, se encuentran en un proceso de debate científico-técnico (Roldán *et al*, 2003). Y por otro lado, la recogida de datos secundarios, tanto los factores empleados como la cartografía digital, que puedan contener errores no corregidos y se implementen al SIG (Edeso, 2006) al realizar el análisis de la cuenca del Mariaratz.

A pesar de ello, en otros estudios donde se ha aplicado el uso de la USLE, se presenta como una opción válida “en función de su sencillez y del número limitado de variables frente a otros modelos”, estableciéndose como “el principal instrumento que se ha utilizado para cuantificar las pérdidas de suelo y predecir el riesgo de erosión, sirviendo de herramienta para la gestión y planificación de los usos del suelo” (Sánchez *et al.*, 2003).

Figura 11. Mapa de la “Propuesta de Gestión Forestal para la Cuenca del Mariaras” sobre los tipos de manejos *máximos* permitidos.



4. Conclusiones:

El estudio de la cuenca del Mariaratz (Gipuzkoa) mediante la aplicación de la USLE ha proporcionado unas simulaciones de pérdida de suelos en función de los diferentes tipos de manejo forestal en las poblaciones de *Pinus radiata*. Según la metodología empleada, las simulaciones resultantes establecen que, en condiciones de manejos agresivos tipo TES, las pérdidas de suelo son aproximadamente 2/3 de la pérdida potencial de suelo con inexistencia total de vegetación. Esto refleja la inconveniencia del uso de estas prácticas tan perjudiciales en la mayor parte de la superficie de la cuenca del Mariaratz.

Las pérdidas de suelo están condicionadas por varios factores físicos (precipitación, relieve, vegetación), pero el estudio ha proporcionado una cartografía de la importancia del “factor humano” como uno de los principales causantes de la erosión. Los bosques de plantación, concretamente de la especie *Pinus radiata*, están enfocados hacia el beneficio económico a corto plazo y las técnicas de tala y

posterior manejo generan una pérdida de suelo para la propia producción y la calidad del suelo que puede perjudicar la sostenibilidad de la cuenca del Mariaratz.

A partir de la obtención de la USLE y debido a la sencillez de los resultados, este trabajo ha ofrecido una "Propuesta de Gestión Forestal" que intente ordenar e, incluso, legislar el aprovechamiento maderero de los bosques de repoblación en función del grado de erosión con el objetivo de limitar los manejos forestales más agresivos (TES y TE) y reducir las pérdidas de suelo producidas por esta actividad.

5. Bibliografía utilizada:

- AINZ IBARRONDO, M.J. (2008): *El monocultivo de pino radiata en el País Vasco: origen y claves de permanencia de un sistema de explotación contrario al desarrollo sostenible*. Estudios Geográficos, Vol 69, No 265, pp. 335-356
- DIPUTACIÓN FORAL DE GUIPÚZCOA (1991). Geomorfología y Edafología de Guipúzcoa. Dept. de Urbanismo, Arquitectura y Medio Ambiente. Diputación Foral de Guipúzcoa. San Sebastián.
- EDESOS, J.M.; GONZÁLEZ, M.J.; MERINO, A.; MARAURI, P.; LARRION, J.A. (1994). *Primeros datos sobre las pérdidas de suelo en explotaciones forestales en la vertiente cantábrica del País Vasco*. En: Efectos Geomorfológicos del abandono de tierras. J.M. García Ruiz & T. Lasanta, Eds. Sociedad Española de Geomorfología. Zaragoza., 21-30.
- EDESOS, J.M.; MARAURI, P.; MERINO, A. (1995): Aplicaciones de los Sistemas de Información Geográfica en los estudios geomorfológicos y medioambientales: el mapa sintético de riesgos potenciales y el mapa de erosión. Lurralde, N. 18, pp 257-291.
- EDESOS, J.M.; MARAURI, P.; MERINO, A.; GONZÁLEZ, M.J. (1997): *Determinación de la tasa de erosión hídrica en función del manejo forestal: la cuenca del río Santa Lucía (Gipuzkoa)*. Lurralde, 20, pp 67-104.
- EDESOS, J.M.; MERINO, A.; GONZÁLEZ, M.J.; MARAURI, P. (1998): *Manejo de explotaciones forestales y pérdida de suelos en zonas de elevada pendiente del País Vasco*. Cuaternario y Geomorfología, 12 (1-2), pp. 105-116.
- EDESOS, J.M. (2006): Los datos en los SIG. Fuentes y recursos referidos a la Comunidad Autónoma Vasca. Lurralde, N. 29.
- EDESOS, J.M. (2006): *Caracterización granulométrica, morfométrica, litológica y sedimentológica de las terrazas fluviales del valle del río Oiartzun (Gipuzkoa, País Vasco)*. Lurralde, N.29
- GASPARI, F.J. (2005): *Ordenamiento Territorial de microcuencas en base al riesgo de erosión hídrica superficial a través de la aplicación SIG*. Revista Electrónica de la REDLACH, N.1, Año 2, pp. 16-23.
- GAYOSO, J.; ALARCÓN, D. (1999): Guía de conservación de suelos forestales. Universidad Austral de Chile, Valdivia (Chile). En red.
- GOBIERNO VASCO (2005): Mapa de erosión de suelos de la Comunidad Autónoma de Euskadi.
- MICHEL, M. (2006): El Pino radiata en la Historia Forestal Vasca: Análisis de un proceso de forestalismo intensivo. Munibe, Suplemento 23. Donostia: Aranzadi Zientzi Elkarte, 2006.

- MERINO, A.; GONZÁLEZ, M.J.; EDESO, J.M.; MARAURI, P. (1995): *Modificaciones en las características de los suelos de la vertiente cantábrica del País Vasco producidas por prácticas forestales*. Lurralde, N. 18, pp. 293-300.
- ROLDÁN SORIANO, M.; GÓMEZ SANZ,V. (2003): Aplicación de la RUSLE v1.06 en la evaluación de la pérdida de suelo en la Cuenca Alta del río Cega. Comparación de factores RUSLE-USLE. Edafología, V. 10 (3), pp. 11-19.
- SÁNCHEZ DÍAZ,J.; AÑÓ VIDAL,C.; RECATALÁ BOIX,L.; PASCUAL AGUILAR,J.A.; ANTOLÍN TOMÁS,C; CARBÓ VALVERDE,E. (2003): *Importancia de los estudios de erosión en la planificación de usos del suelo. Veinte años de estudios en la Comunidad Valenciana*. Edafología, Vol. 10 (3), pp. 227-234.

6. Anexos:

Figura 3. Toma de datos para el cálculo del Factor R.

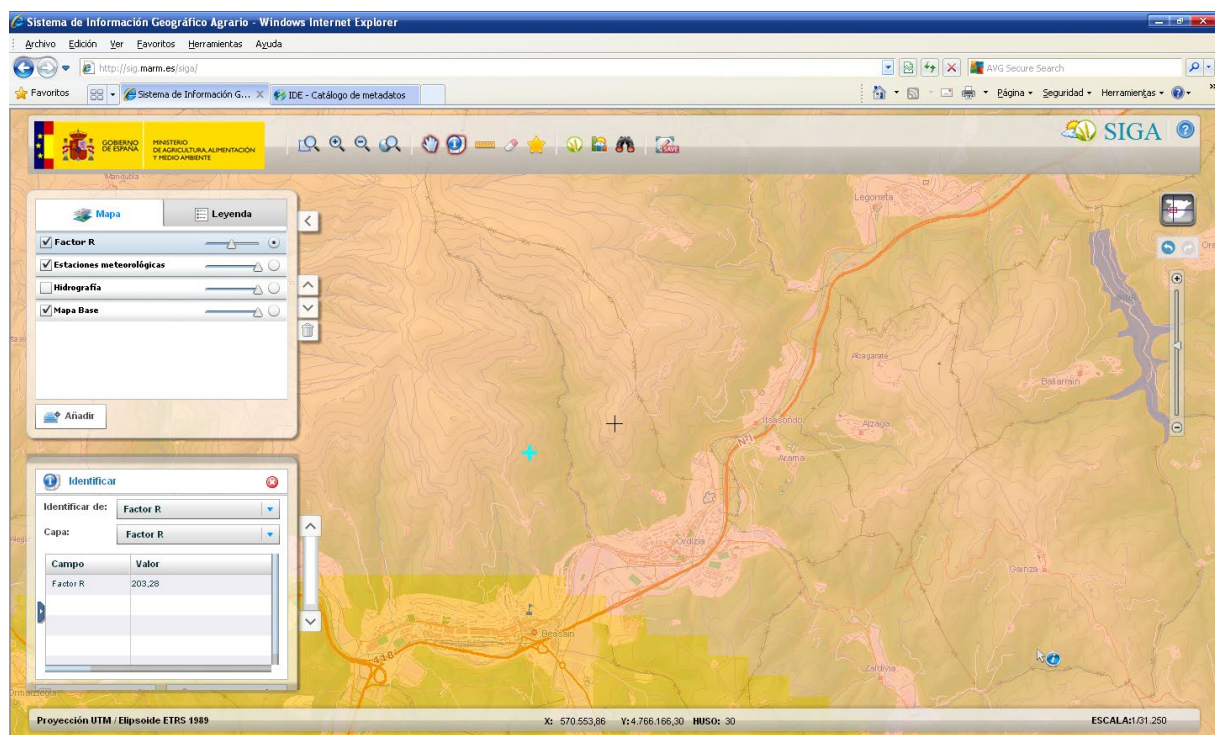


Figura 5. Funciones de Geoprocessing en Arcview 3.1.

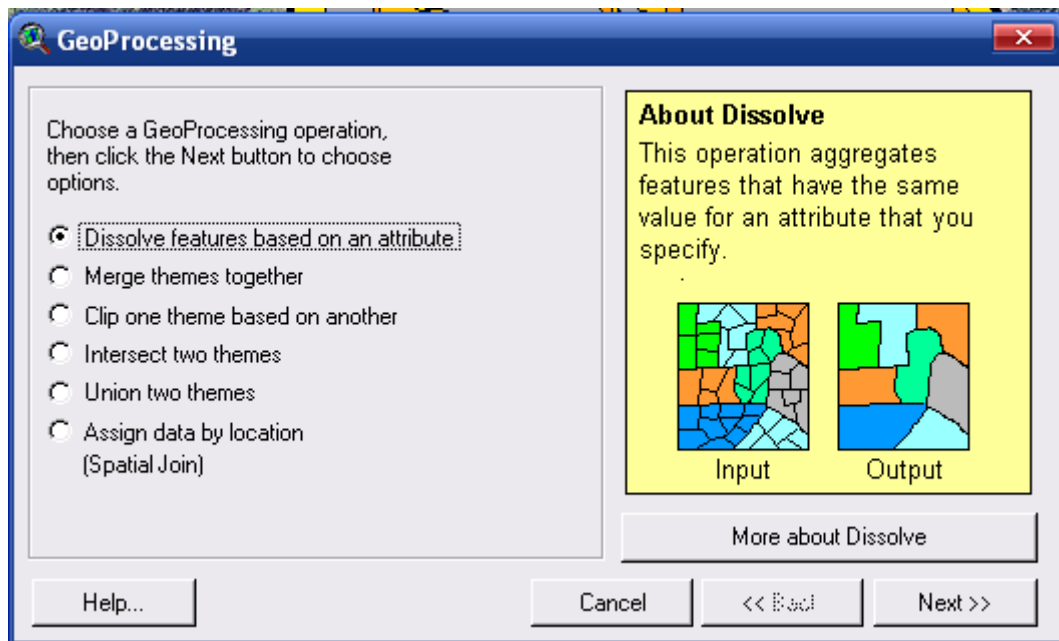


Figura 6. Datos de la cuenca del Mariaras (Fuente: SIGA)

HIDROGRAFÍA AGUAS SUPERFICIALES:

Cuencas vertientes a masas de agua superficiales - (Hidrografía aguas superficiales)

ALTERACIÓN	AMBITO	CATEGORIA	COD_CATEG	COD_CHE	COMPETENCI	REMARCAO	EUMSPFCOD	EUSUBUNIDA	ESPF_EM_CD	NATURALEZA	NOM_MASA	TIPO_COD	TIPOLOGIA	URI
	INTER	RIO	RIV		CHC	CantÁlbrico Oriental	ES017MSPFES020MAR002510	ES017	ES020MAR002510	Muy modificada	Río Ora III	132	PEQUENOS EJES CANTABRO-ATLANTICOS CALCAREOS	Ora

Ámbitos de planificación Hidrológica CAPV - (Hidrografía aguas superficiales)

COMPETENCI

INTER: CHC

Ríos - (Hidrografía aguas superficiales)

IDENTIFICATIVO	ESPECIALIDAD	OTROS	AGUAS_ABA	OTROS	NIVEL_1	NIVEL_2	NIVEL_3	NIVEL_4	NIVEL_5	ERARQUIA	FUENTE	FUEN_OTRO	OTROS_2	NIVEL_6	NIVEL_7	NIVEL_8
1594	4138.68698251961	MARIARAS			ORIA	MARIARAS				2	NOMENCLATOR GEOGRÁFICO DE EUSKADI					

HIDROGRAFÍA AGUAS SUBTERRÁNEAS:

Masas de agua subterráneas - (Hidrografía aguas subterráneas)

IDENTIFICATIVO	ESPECIALIDAD	OTROS	AGUAS_ABA	OTROS	COMPETENCI	NOM_MASA	
Sñdñono_Oz/Cret.Sup/Com.Vol	INTER	013.011			CantÁlbrico Oriental	CHC	Arama

Figura 7. Tabla y mapa resultante de las especies forestales (Superficie).

Espece	COUNT	ÁREA (m2)	Hectáreas	%Superficie
Arbustedo	70	731656,609	73,166	15,54
Abeto Douglas	31	253508,315	25,351	5,38
Alerce	28	367837,499	36,784	7,81
Árboles ripícolas	1	896,404	0,090	0,02
Bosque mixto atlántico	55	620928,394	62,093	13,18
Castaño	1	32377,342	3,238	0,69
Chameciparis	2	1790,559	0,179	0,04
Eucalipto globulus	1	5322,215	0,532	0,11
Haya	20	427011,463	42,701	9,07
Pino laricio	19	128148,643	12,815	2,72
Pino radiata	126	1887671,596	188,767	40,08
Pino silvestre	1	1534,057	0,153	0,03
Plantaciones de frondosas variadas	4	42458,318	4,246	0,90
Plátano	1	761,012	0,076	0,02
Roble americano	3	11712,215	1,171	0,25
Roble pedunculado	6	195973,333	19,597	4,16
Total	369	4709587,974	470,959	100

Figura 10. Mapa de pendientes (%) y superficies en la cuenca del Mariaras.

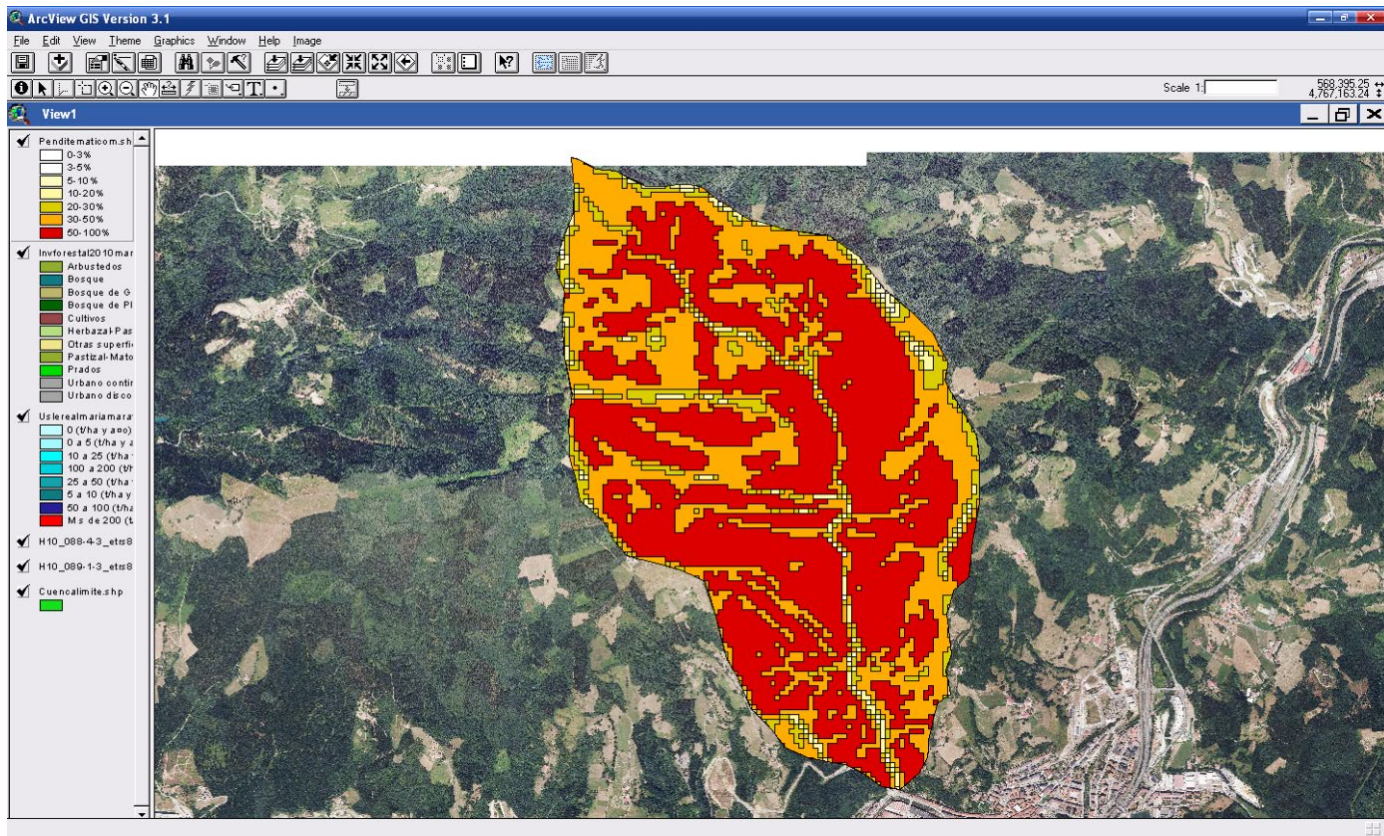
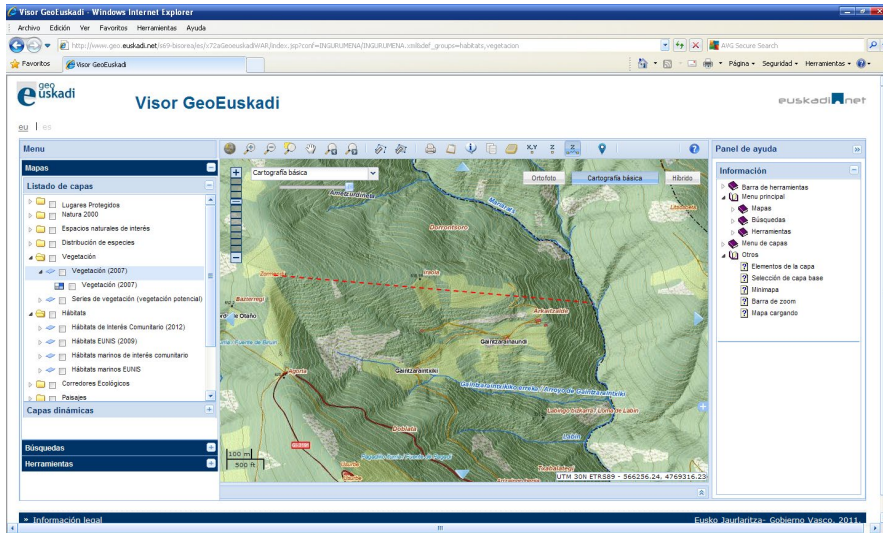


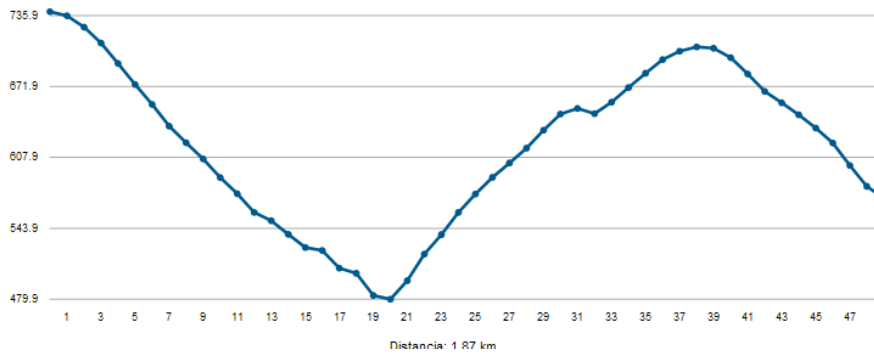
Figura 11. Tabla de pendientes (%) y superficies en la cuenca del Mariaras.

Pendiente	Área (m2)	% Superficie
0-3%	2949,121	0,06
3-5%	4477,126	0,10
5-10%	22637,865	0,48
10-20%	116504,518	2,47
20-30%	301745,129	6,41
30-50%	1652417,659	35,09
50-100%	2608856,551	55,39
total	4709587,969	100,00

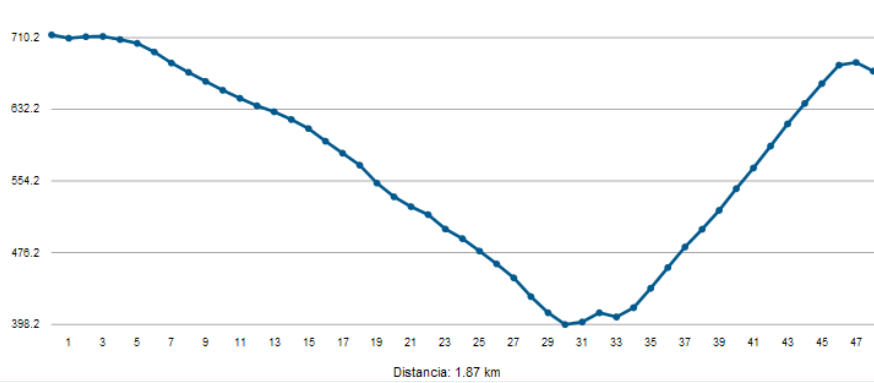
Figura 11a. Varios perfiles de la cuenca del Mariaras de Norte a Sur.



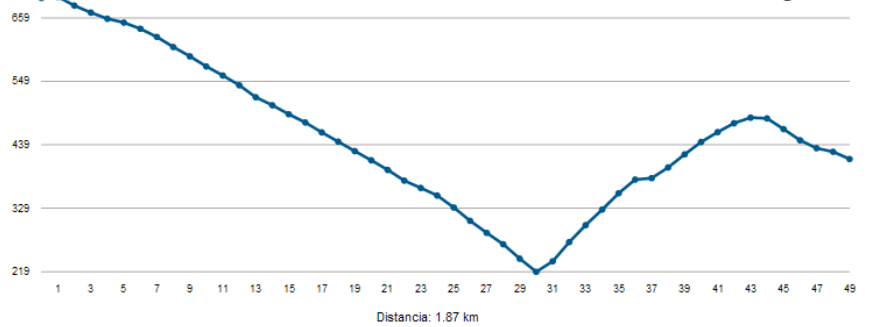
Cota **Zormendi-Emosoroeta**



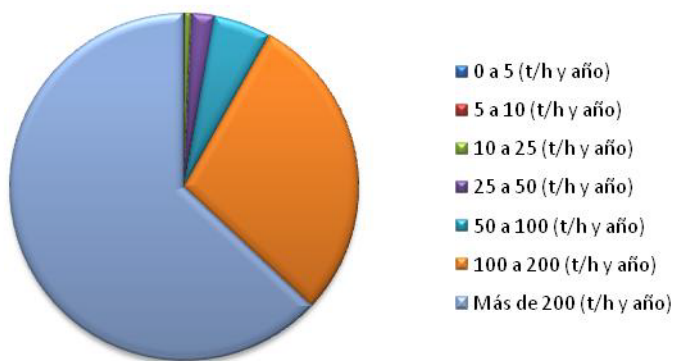
Cota **Zormendi-Litsosoeta**



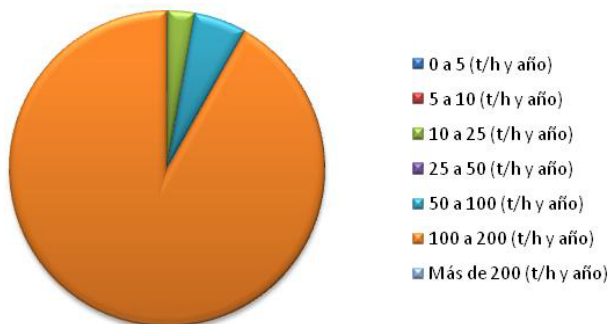
Cota **Usurbe-Largararte**



Simulación K1



Simulación K2



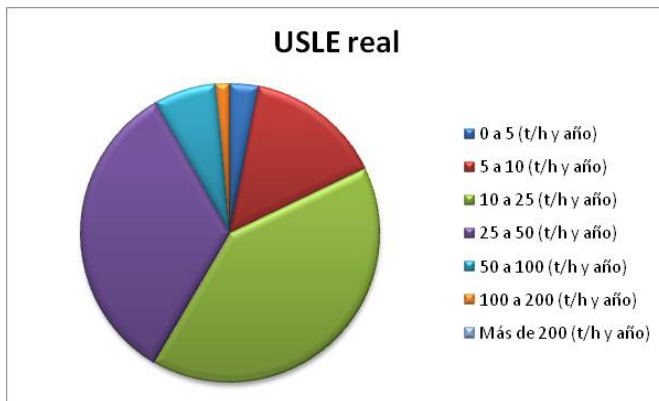
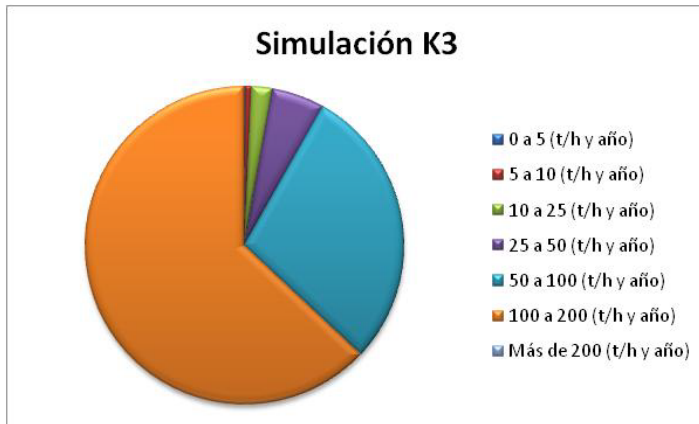


Figura 21. Comparación entre los datos por intervalo de las tres simulaciones y tabla de porcentajes.

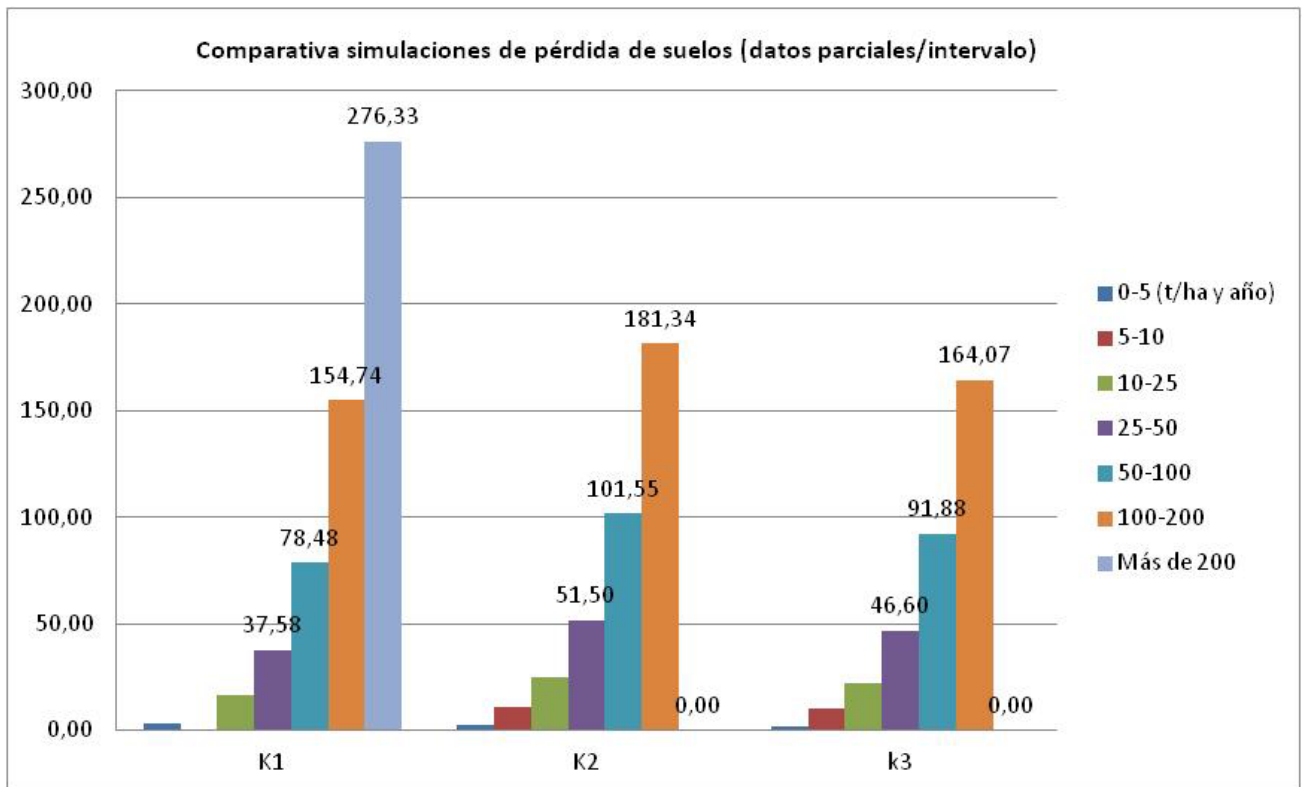


Figura 26. Mapa de los grados FAO.

