

Presiones de uso de las actividades forestales sobre los Cursos de Agua de la CAV

1. Superficie forestal de la CAV

A lo largo de 2005 se espera completar el Cuarto Inventario Forestal del País Vasco, enmarcado en el Tercer Inventario Forestal Nacional (IFN3). A la espera de sus datos de superficies y existencias, hay que emplear los obtenidos por el Departamento de Agricultura del Gobierno Vasco y el Ministerio de Medio Ambiente dentro del Tercer Inventario Forestal del País Vasco (1996).

Dicho Inventario Forestal (1996) muestra la importante superficie forestal arbolada de la C.A.P.V. (390.006 ha, un 53,9% de la superficie total) y la primacía general de las coníferas sobre las frondosas (206.381 frente a 183.625 ha). El Inventario muestra también la heterogeneidad interna: Alava cuenta con el 56% de la superficie de frondosas de la C.A.P.V., dominando éstas sobre las coníferas en proporción 5:2; por contra, en Gipuzkoa y Bizkaia se da la situación inversa, doblando la superficie ocupada por las coníferas a las frondosas.

	SUPERFICIE GEOGRAFICA TOTAL (ha)	SUPERFICIE FORESTAL ARBOLADA (ha)	SUPERFICIE DE CONIFERAS (ha)	SUPERFICIE DE FRONDOSAS (ha)
C.A.P.V.	723.482	390.006	206.381	183.625
ALAVA	303.725	143.506	40.800	102.706
GIPUZKOA	198.034	118.255	72.518	45.737
BIZKAIA	221.723	128.245	93.063	35.182

Estas diferencias tan significativas entre los Territorios Históricos son debidas principalmente a las peculiaridades climáticas y sociales de las dos vertientes del País Vasco: en la vertiente cantábrica, de clima más suave y húmedo, la gran adaptación de diversas especies introducidas ha favorecido su implantación en terrenos de particulares, mientras que en la vertiente del Ebro, de clima más continental, la productividad forestal y la presión humana sobre los bosques han sido menores, permitiendo así una mejor conservación de las masas naturales y un mayor porcentaje de superficie forestal en Montes de Utilidad Pública.

Las superficies ocupadas por las principales especies forestales de la C.A.P.V. son un reflejo de lo anteriormente comentado:

- El pino radiata o insignis ocupa 150.199 ha, un 38,5% de la superficie forestal arbolada de la C.A.P.V.; situado en su práctica totalidad en la vertiente cantábrica. Dicha superficie representa la mayor extensión de esta especie en el Hemisferio Norte, aunque es ampliamente superada por las plantaciones existentes en Chile, Australia y Nueva Zelanda.

- El haya ocupa 55.027 ha, un 14% de la superficie forestal arbolada de la C.A.P.V., y se sitúa principalmente en terrenos elevados de Alava y Gipuzkoa. Se trata de la frondosa que ocupa, con gran diferencia, una mayor extensión, ya que dobla a la siguiente.

- La encina ocupa 29.190 ha, un 7,5% de la superficie forestal arbolada de la C.A.P.V., y su ubicación está ligada a las sierras calizas, principalmente de Alava.

Presiones de uso de las actividades forestales sobre los Cursos de Agua de la CAV

- El quejigo ocupa 27.925 ha, un 7% de la superficie forestal arbolada de la C.A.P.V., y se sitúa en su práctica totalidad en Alava, generalmente sobre suelos de escaso desarrollo y productividad.

- Los robles (roble pedunculado, albar y tocono o rebollo) ocupan 26.065 ha, un 6,7% de la superficie forestal arbolada de la C.A.P.V. La superficie que actualmente ocupa el roble común o pedunculado (*Quercus robur*) es un pequeño recuerdo de la amplia extensión que antiguamente ocupaba dicha especie, hoy reducida a pequeños bosquetes dispersos. El roble tocono (*Quercus pyrenaica*) ocupa una extensión de 11.375 ha en Alava, principalmente en las amplias masas de las Sierras de Izki y Elgea.

- El pino silvestre ocupa 18.952 ha, un 4,9% de la superficie forestal arbolada de la C.A.P.V., y su extensión está ligada a las masas naturales de Alava (Sierra de Arcena) y a pequeñas repoblaciones dispersas.

Según datos del Censo Agrario (1999) existen en la C.A.P.V. un total de 21.611 explotaciones agrarias que cuentan con superficie forestal, de las cuales unas 3.300 son explotaciones exclusivamente forestales. La superficie media de estas explotaciones forestales ronda las 250 ha en el caso de montes públicos y las 6 ha en el caso de explotaciones propiedad de personas físicas.

El tratamiento del pino radiata, como sucede con el resto de especies introducidas, suele ser la implantación artificial, la realización de diversas claras o entresacas y la corta a hecho seguida de nueva repoblación. Es difícil sustituir el tratamiento que se sigue con estas masas, por cuestiones económicas y biológicas.

El tratamiento que se suele seguir con las masas naturales es radicalmente distinto. Las cortas a hecho en estas masas están fuertemente reguladas y no suelen ser compatibles con la conservación de algunas de estas especies. Es por ello que estas masas se tratan a través de cortas de regeneración o/y mejora, que tienen como fin asegurar la persistencia de la masa y mejorar su vigor y estado fitosanitario, además de proporcionar leña y madera.

Según estimaciones de la Mesa Intersectorial de la Madera de Euskadi (2002) se calcula un total de 3.295 empleos generados por la actividad forestal. El subsector más numeroso son los aserraderos, con 1.001 puestos de trabajo repartidos en 73 empresas. El Valor de la Producción Final del subsector forestal ascendió en 2002 a 327 millones de euros, más de un 20% de la Producción Final Agraria Vasca.

En cuanto al medio físico, son conocidas las fuertes pendientes medias que dominan los montes vascos, lo que limita la productividad forestal y aumenta el riesgo de erosión. El siguiente cuadro muestra las considerables pendientes medias que, sobre todo en la vertiente cantábrica, presentan los montes vascos.

Distribución (en %) de la Superficie geográfica del País Vasco según pendiente				
Vertiente	<30%	30-50%	>50%	Pendiente media (%)
Cantábrica	46	36	18	35
Mediterránea	83	14	4	18
Total	61	27	12	29
Distribución (en %) de la Superficie arbolada del País Vasco según pendiente				

Presiones de uso de las actividades forestales sobre los Cursos de Agua de la CAV

Vertiente	<30%	30-50%	>50%	Pendiente media (%)
Cantábrica	30	46	24	42
Mediterránea	72	23	5	24
Total	44	39	18	36

2. Identificación de Impactos

Las principales presiones de contaminación difusa originada por la actividad forestal son los sedimentos, residuos orgánicos y nutrientes minerales, así como otros compuestos químicos de origen antrópico como pueden ser herbicidas, insecticidas y fungicidas. Además, la actividad forestal puede cambiar el régimen térmico de los cursos de agua, su régimen de caudal, así como alterar directamente el hábitat acuático a través de perturbaciones físicas ligadas a la construcción de infraestructuras y el uso de maquinaria en el propio cauce. En cuencas pequeñas, el régimen de caudales tiene relación directa con procesos de ladera (intercepción, infiltración, escorrentía...). Esos procesos de ladera son los que determinan la magnitud de los aportes de elementos de contaminación difusa. Así, los aportes de sedimentos, de materia orgánica y de algunos nutrientes (como el fósforo) están íntimamente ligados al flujo superficial o escorrentía, mientras que ciertos elementos químicos y nutrientes muy móviles en el suelo, como el Nitrógeno, pueden tener un componente importante ligado al flujo subsuperficial. Por otro lado, los cambios en temperatura tienen que ver directamente con el grado de sombreado que la vegetación riparia aporta a los cursos de agua. En cuencas grandes el régimen de caudales está determinado por la geomorfología del conjunto de la cuenca ya que es la integración de los procesos que ocurren en un gran número de cuencas pequeñas.

La actividad forestal influye sobre la configuración del ciclo hidrológico en la ladera y por ello en la cuenca, pues puede afectar directamente a la intercepción, a la escorrentía y a la infiltración, además de alterar la erodibilidad del suelo y la erosividad de la lluvia, reduciendo en mayor o menor medida la energía cinética de las gotas de lluvia que llegan a la superficie del suelo, así como los patrones de circulación laminar o en flujo canalizado. Además, en ocasiones la actividad forestal incluye la utilización de fertilizantes y/o pesticidas, que eventualmente pueden llegar a los cursos de agua.

2.1 Erosión y aporte de sedimentos a los cursos de agua

Los sistemas forestales naturales se caracterizan por presentar una alta cobertura vegetal y una alta capacidad de intercepción de la precipitación, un mulch natural de hojarasca y un buen desarrollo del horizonte superficial del suelo, relativamente rico en materia orgánica y bien estructurado. Todo ello, favorece la infiltración y reduce tanto la escorrentía superficial, como el impacto directo de las gotas de lluvia sobre el suelo.

Por todo ello, se reconoce su papel en la regulación del ciclo hidrológico, así como en la mitigación de la erosión y de la exportación de sedimentos a los cursos de agua. De este modo, los fenómenos erosivos y aportes de sedimentos a los cursos de agua que se producen en condiciones de lluvias torrenciales, deben tomarse como procesos naturales difícilmente minimizables.

Los bosques cultivados se separan de esta situación ideal en alguno o todos estos aspectos:

1. La cobertura arbórea se reduce o desaparece tras las cortas finales, lo que deja el suelo descubierto durante parte del turno propio de cada modelo de gestión silvícola

Presiones de uso de las actividades forestales sobre los Cursos de Agua de la CAV

2. Las labores de desembosque de la madera por arrastre generan perturbaciones al suelo, pérdida del *mulch* de mantillo y alteración del horizonte superficial del suelo
3. Las labores mecanizadas de preparación del sitio generan nuevo estrés sobre el suelo, pueden eliminar la vegetación arbustiva y herbácea, dejando el suelo mineral expuesto al impacto de las gotas de lluvia
4. La construcción de pistas y vías de saca en zonas de pendiente implica movimientos de tierra, relativamente importantes y genera flujos de agua canalizados, que en ocasiones presentan un alto potencial erosivo.

2.1.1 Puntos críticos que determinan la Erosión en Sistemas forestales

La energía con que las gotas de agua impactan en el suelo, así como la capacidad de transporte del agua de escorrentía son los dos aspectos fundamentales que determinan la tasa de erosión hídrica en la ladera. El primero viene determinado por el clima local y por la cobertura vegetal, mientras que el segundo viene determinado por las características físicas del suelo (velocidad de infiltración, por ejemplo); por la fisiografía de la ladera que influye decisivamente en la energía del agua de escorrentía; así como por las labores o perturbaciones producidas por las actividades silvícolas que pueden alterar los patrones de circulación de la escorrentía, concentrando el flujo superficial, como es el caso de los subsolados a favor de la línea de máxima pendiente. Junto a esos factores, es necesario considerar la erodibilidad del suelo, que viene en gran parte determinada por sus propiedades físicas y por el contenido en Materia Orgánica que es responsable en gran parte de la estabilidad y cohesión de las partículas de suelo.

2.1.2 Erosión en la ladera

Los aprovechamientos forestales, producen cambios en la cobertura de la vegetación como consecuencia de la corta y pueden producir pérdida de la capa de hojarasca, así como cambios más o menos severos en las propiedades físicas del suelo, debidos al tráfico de maquinaria durante la cosecha y a las labores de preparación mecanizadas de la plantación. Así se reconoce que el período entre dos rotaciones sucesivas resulta especialmente crítico respecto de la sostenibilidad del suelo y de la generación de sedimentos.

De este modo, la presión de la actividad forestal sobre los cursos de agua, respecto de la exportación de sólidos y sedimentos tiene una relación directa con las prácticas de cosecha, desembosque y establecimiento de una nueva plantación. En bosques inalterados de Nueva Inglaterra, la tasa promedio de erosión es del orden de 30 a 40 Kg /ha/año. En el País Vasco, en años posteriores a la preparación mecanizada de la plantación se han medido erosiones superiores a los 200 ton/ha/año (Edeso et al 1997).

La evidencia científica disponible apunta a que más que la erosión producida tras la corta a hecho de una masa forestal tiene más que ver con la cantidad de suelo mineral expuesto y con la canalización del agua en flujo concentrado que con la remoción de la cubierta forestal en sí misma (Stafford et al 1996). Esa afirmación concuerda con los resultados que entrega el modelo USLE que se presenta más adelante.

2.1.3 Pistas y Caminos Forestales

Se reconoce generalmente que las pistas y vías forestales son uno de las principales generadores de sedimentos en la actividad forestal (Swanson & Dyrness 1975, , Megahan 1980, Stafford et al 1996). Los sedimentos generados por la red de pistas tienen que ver con la densidad de pistas, con las características de su cubierta, con el grado de recubrimiento de sus taludes y con la efectividad de los sistemas de drenaje y conducción de agua (King 1984). Por

otro lado, la topografía del lugar incide en la extensión de los taludes y pendiente de los taludes, mientras que la litología influirá en la susceptibilidad a la erosión de los sedimentos expuestos.

Numerosos estudios han medido la generación de sedimentos asociados a la red de pistas, la casuística es muy amplia, respecto de la pendiente, de los tipos de pista, de las medidas de mitigación. Los sedimentos generados en pistas pueden pasar de 1,4 ton/ha por cada mm de precipitación a 0,06 ton/ha/mm en pistas sin cubrimiento superficial o con una cubierta adecuada respectivamente (Swift 1984). Reducciones similares en la magnitud de la erosión se han medido en taludes de caminos. Además de las características del firme de la pista y del grado de revegetación de los taludes, la conducción de agua en las pistas es de gran importancia. No sólo por que el agua puede excavar la propia superficie de la pista, sin también por la formación de torrenteras y de puntos de afección por erosión allí donde al agua abandona la pista. El mantenimiento de las pistas y de su estructuras de conducción del agua, es fundamental, ya que grandes fenómenos erosivos, incluyendo movimientos de masa, pueden producirse asociados a períodos de retorno de 10 o más años.

En la CAV, no existen estadísticas fiables de la densidad de pistas y de su tipología. Puede considerarse que las pistas principales tienen un firme adecuado, que en general son mantenidas correctamente y que están dotadas de elementos de conducción del agua (aunque no siempre cumplan su función de manera adecuada). Por otro lado, existe una gran cantidad de pistas y de vías de saca, construidas sólo para la cosecha forestal y que carecen de superficie afirmada, ni de cunetas u otros elementos de conducción de agua, y en la que tampoco se revegetan los taludes, cuando se crean. Estimar una densidad media de las pistas de este tipo es aventurado.

De este modo, tomar valores absolutos para estimar la generación de sedimentos puede ser arriesgado. Una aproximación que se ha ensayado, es la de estimar la erosión que se produce en pistas a desarrollando los parámetros USLE de erodibilidad del suelo, Pendiente (L) y Longitud del declive (S) para la red de pistas, como si de un uso más del suelo se tratara. La estimación de los factores USLE para las pistas de la CAV está fuera del alcance de este proyecto. LA EPA de Estados Unidos utiliza en su manual para el control de la contaminación difusa de origen forestal, el trabajo de King (1984) quién analizó, en un diseño experimental, el efecto de redes de pistas de diferentes características en la generación de sedimentos en una serie de cuencas pequeñas y estimó los sedimentos adicionales que genera la red de pistas (Tabla 1). El trasladar esos coeficientes a la CAV podría tener sentido, ya que permitiría dar cuenta de los sedimentos generados en las pistas, teniendo en cuenta la tipología de pistas dominante, por un lado e integrando por otro lado, las condiciones generales de la cuenca respecto a sus susceptibilidad a la erosión (topografía, erosividad de la lluvia, erodibilidad del suelo etc.). Sin embargo, las prácticas silviculturales y los niveles de erosión en los que trabajó King son diferentes de los que tienen lugar en la CAV por lo que es aventurado extrapolar sus resultados a situaciones en los que se practica una silvicultura mediante corta a hecho y prácticas mecanizadas de preparación del sitio, que produce altas tasas de erosión en el período de inter-rotación .

De este modo, si bien las pistas y vías de saca temporales son una fuente importante de sedimento –quizás la más importante en algunas ocasiones— no existen datos suficientes en la actualidad como para realizar una estimación de una precisión comprobante a la del resto del modelo.

Tabla 1. Incrementos en sedimentos debidos a la red de pistas. Densidad de pistas de 2-4% de la superficie de la cuenca (confeccionada a partir de King 1984)

Presiones de uso de las actividades forestales sobre los Cursos de Agua de la CAV

Características de la pista	% de erosión adicional debida a la Red de Pistas
Sin cubierta estable Sin tratamiento de taludes	156%
Sin cubierta estable Siembra de taludes	130%
Con cubierta estable Mulch y siembra en taludes	93%
Con cubierta estable Con Cunetas Mulch y siembra en taludes	53%
Con cubierta estable Con Cunetas Mulch e hidrosiembra	22%

2.3 Aportes de elementos nutritivos

Los ecosistemas forestales tienen, en términos generales una alta capacidad de retención y reciclaje de los elementos nutritivos. Se estima generalmente que las lixiviaciones son mínimas para todos los elementos nutritivos, y especialmente para el fósforo (Kimmins 2003). Una excepción son las masas con frondosas fijadoras de nitrógeno como *Alnus sp.* donde se han documentado lixiviaciones de hasta 50/ha año de Nitrógeno inorgánico (Binkley 1986). En este sentido, se desconoce el impacto potencial de las masas de *Ulex spp* y de otros matorrales fijadores de nitrógeno.

Los bosques cultivados presentan algunas particularidades como son, la aplicación de fertilizantes que se realiza en ocasiones y —cuando se manejan mediante cortas a hecho— la remoción total de la cobertura vegetal al final de cada turno. Estos son los dos aspectos que pueden incidir en la exportación de elementos nutritivos a los cursos de agua.

Nitrógeno

Se han demostrado incrementos puntuales de las concentraciones de nitrógeno en cursos de agua, tras la fertilización con Nitrato y en menor medida, tras la fertilización con Urea. (Irlanda, EPA...) También se han detectados incrementos en los contenidos de Nitrógeno inorgánico en los cursos de agua tras la corta a matarrasa de una parte significativa o incluso de toda la masa forestal de una cuenca. Esto se debe a un aumento de la mineralización a partir de los restos de cosecha y de raíces muertas unido con una disminución de la absorción de nutrientes como consecuencia de la eliminación de la biomasa. Cuando se desarrolla el sotobosque o la nueva plantación, las pérdidas de nitrógeno por lixiviación vuelven a sus bajos valores habituales.

Fósforo

El fósforo es un elemento extremadamente inmóvil en el perfil del suelo, por lo que las exportaciones de este elemento a los cursos de agua van asociadas al transporte de sedimentos y/o fertilizante con el agua de escorrentía. En Irlanda, se describió un incremento en

los niveles de fósforo total en los cursos de agua, tras la fertilización con 500 kg/ha de superfosfato en polvo a los bosques de la cuenca vertiente. Estos incrementos fueron puntuales y no eran detectables semanas después de haberse detectado.

2.3.1 Puntos críticos que determinan la tasa de exportación de elementos nutritivos a los cursos de agua.

- La formulación y dosis: los fertilizantes nitrogenados, especialmente, en forma de nitratos generan mayor lixiviación y riesgo de exportación de nutrientes
- La presentación y época de aplicación: los fertilizantes granulados son menos proclives a desplazarse con el agua de escorrentía. Este aspecto es importante especialmente en zonas de alta pendiente y cuando la aplicación del fertilizante se realiza en época de fuertes lluvias y en el año 0 de la plantación.
- La zona de ribera: la aplicación de fertilizantes en el entorno inmediato de los cursos de agua aumenta enormemente el riesgo de que parte de los elementos nutritivos añadidos acabe en el curso de agua.

No existen estadísticas de fertilización forestal. La Confederación de Forestalistas del País Vasco estima que en Bizkaia y Araba se abona entorno al 50% de las nuevas masas de *Pinus spp.* Porcentaje que puede bajar a menos del 20% en las nuevas plantaciones de Gipuzkoa. Una de las razones para esa diferencia puede estar en el diferente tratamiento que tiene la fertilización forestal en los Decretos Forales que regulan las ayudas a la reforestación. La fertilización de plantaciones de frondosas autóctonas puede considerarse inexistente en a CAPV.

Las practicas de fertilización típicas son de una sola aplicación, generalmente rica en fósforo del orden de entre 100 y 300 kg/ha de fertilizante, con formulaciones típicas de 0 18 0 , 0 27 0, 0 14 14, 7 21 0, 8 24 16 y similares. En el caso de eucaliptos se utiliza generalmente 15 15 15. Si bien el abonado es común en el establecimiento de masas de eucaliptus, no lo es tanto en masas de coníferas exóticas. Así, de las 800 recomendaciones de fertilización forestal llevadas a cabo en NEIKER en 2004, ninguna pasa de los 150 kg de unidad fertilizante de Fósforo, y solo un 10% incluye formulaciones con Nitrógeno, del tipo 7 21 0, ó 7 20 10.

Aún en la hipótesis de que se generalicen las prácticas de fertilización forestal en el establecimiento, estas afectarían a entre 4.000 y 6.000 has por año en el conjunto de la CAPV, con formulaciones sin Nitrógeno en la mayor parte de los casos y con presentaciones granuladas. Por ello es de esperar que la exportación de elementos nutritivos a los cursos de agua sea relativamente pequeña. Esta podría ser localmente importante si se aplica el fertilizante directamente en la zona de ribera. Es por ello que a pesar de las conclusiones que se apuntan en el párrafo anterior, es necesario elaborar una *Buenas Prácticas* de Fertilización forestal.

3. Identificación de modelos de gestión

La principal consecuencia de la breve discusión anterior es que, el factor que más incide en la presión de contaminación difusa sobre los cursos de agua radica en el modelo de gestión silvícola y en la topografía de cada lugar y en mucha menor medida de la o las especies que conforman la masa forestal, si bien es evidente que la especie presente determina en gran medida el modelo silvicultural que se aplica.

Es por esto que a la hora de evaluar los impactos de la actividad forestal sobre los cursos de agua, es necesario distinguir los siguientes modelos de gestión silvícolas:

3.1 Plantaciones productivas de coníferas de ciclo corto

- a. Cosecha mecanizada y preparación manual del sitio

Presiones de uso de las actividades forestales sobre los Cursos de Agua de la CAV

b. Cosecha y preparación del sitio mecanizada

Este es el modelo más común en la vertiente cantábrica que corresponde con las plantaciones de pino insignis y de pino marítimo. Una necesaria simplificación hace que se considere que la labor mecanizada se realiza en todas las pendientes menores a 45% y que las labores manuales de preparación del sitio sean predominantes en pendientes mayores de 45%. Dentro de aquellas pendientes menores a 45% la casuística es diferente en parcelas cuya pendiente media no supera el 30% y aquellas que sí lo superan. En el primer caso (<30%) la aplicación de un subsolado lineal, para mejorar las características físicas del suelo, a favor de las curvas de máxima pendiente es relativamente frecuente mientras en el segundo no. Si bien estas sencillas reglas presentan algunas excepciones, recoge en esencia la realidad del sector forestal. El desarrollo de estas masas, el calendario de acciones silvícolas y los impactos potenciales se resumen en esta tabla.

	Acción silvícola	Pendiente	Descripción	Impacto
Año 0	Construcción de pistas/vías	Todas las pendientes	Típicamente 100 m/ha	Generación de sedimentos
	COSECHA y Desembosque mecanizado	Todas las pendientes	Suelo desnudo, alteración de horizonte superficial	Eliminación del mulch orgánico y exposición del suelo.
	Preparación manual del sitio	Pendientes >45%	Apilado manual de los restos de cosecha y ahoyado para la introducción de la nueva planta.	Impacto puntual sobre el suelo.
	Preparación mecanizada del sitio	Pendientes 30%-45%	Pendientes >30%	Retirada de los restos de cosecha con la pala frontal del búldozer
Pendientes <30%			Retirada de los restos de cosecha con la pala frontal del búldozer y realización de un subsolado en líneas de máxima pendiente.	Eliminación del mulch orgánico y del horizonte superficial del suelo. Exposición del suelo mineral, generación de sedimentos y canalización del agua a favor de pendiente aumentando su energía.
Año 2	Fertilización	Todas las pendientes	No muy extendido. Aplicación de bajas dosis de fertilizantes ricos en fósforo.	Emisión de fósforo ligado a los sedimentos. Poco riesgo.
Año 10	Aclareo	Todas las pendientes	Control de densidad adecuando el área basal al índice de sitio.	Exposición de parte del suelo forestal. Reducción de la cobertura vegetal.
Año 15-20-25	Claras	Todas las pendientes	Control de densidad	Exposición de parte del

Presiones de uso de las actividades forestales sobre los Cursos de Agua de la CAV

			adecuando el área suelo forestal. Reducción basal al índice de sitio. de la cobertura vegetal.
Año 35	Construcción de pistas	Típicamente 100 m/ha	Generación de sedimentos
	COSECHA y Desembosque mecanizado	Suelo desnudo, alteración de horizonte superficial	Eliminación del mulch orgánico y exposición del suelo.

3.2 Plantaciones de coníferas de turno medio (*Pseudotsuga menziesii*, *Pinus nigra*, *Larix spp*)

- Cosecha mecanizada y preparación manual del sitio
- Cosecha y preparación del sitio mecanizada

Este modelo es habitual en la vertiente cantábrica en lugares donde las heladas asociadas normalmente a la altitud no recomiendan el uso de coníferas de turno corto. De igual manera, las plantaciones de *Pinus sylvestris* más habituales en la vertiente mediterránea de la CAV estarían enmarcadas en este modelo de gestión. Al igual que lo apuntado en el caso anterior se hace necesaria una simplificación de este modelo de gestión. Teniendo en cuenta las consideraciones previas, se supone que se realizan labores mecanizadas en todas las pendientes < 45% mientras que las labores manuales de preparación del sitio son predominantes en pendientes > 45%. Al igual que en coníferas de turno corto dentro de las pendientes menores a 45% la casuística es diferente en parcelas cuya pendiente media no supera el 30% en las que se realiza un subsolado y aquéllas que sí lo superan en las que no se realiza esta labor. Estas reglas presentan excepciones, pero representan la realidad del sector forestal para este modelo de gestión. Una simplificación del desarrollo de estas masas con el calendario de acciones silvícolas típicas y sus impactos potenciales se resumen en esta tabla.

	Acción silvícola	Pendiente	Descripción	Impacto
Año 0	Construcción de pistas/vías	Todas las pendientes	Típicamente 100 m/ha	Generación de sedimentos
	COSECHA y Desembosque mecanizado	Todas las pendientes	Suelo desnudo, alteración de horizonte superficial	Eliminación del mulch orgánico y exposición del suelo.
	Preparación manual del sitio	Pendientes >45%	Apilado manual de los restos de cosecha y ahoyado para la introducción de la nueva planta.	Impacto puntual sobre el suelo.
	Preparación mecanizada del sitio	Pendientes 30%-45%	Retirada de los restos de cosecha con la pala frontal del búldozer	Eliminación del mulch orgánico y del horizonte superficial del suelo. Exposición del suelo mineral y generación de sedimentos.

Presiones de uso de las actividades forestales sobre los Cursos de Agua de la CAV

		Pendientes <30%	Retirada de los restos de cosecha con la pala frontal del búldozer y realización de un subsolado en líneas de máxima pendiente.	Eliminación del mulch orgánico y del horizonte superficial del suelo. Exposición del suelo mineral, generación de sedimentos y canalización del agua a favor de pendiente aumentando su energía.
Año 3	Fertilización	Todas las pendientes	Muy poco extendido. Aplicación de bajas dosis de fertilizantes ricos en fósforo.	Emisión de fósforo ligado a los sedimentos. Muy poco riesgo.
Año 15	Aclareo	Todas las pendientes	Control de densidad adecuando el área basal al índice de sitio.	Exposición de parte del suelo forestal. Reducción de la cobertura vegetal.
Año 25-40-50	Claros	Todas las pendientes	Control de densidad adecuando el área basal al índice de sitio.	Exposición de parte del suelo forestal. Reducción de la cobertura vegetal.
Año 80	Construcción de pistas COSECHA y Desembosque mecanizado		Típicamente 100 m/ha Suelo desnudo, alteración de horizonte superficial	Generación de sedimentos Eliminación del mulch orgánico y exposición del suelo.

3.3 Plantaciones de Eucaliptos

Este modelo es habitual en la vertiente cantábrica en lugares resguardados de heladas y por ello normalmente cercanos a la costa. Al igual que lo apuntado en los casos anteriores se hace necesaria una simplificación de este modelo de gestión para la modelización de su posible impacto. Este modelo de gestión es en el que la mecanización es más constante en el tiempo debido, sobre todo, a lo corto de su turno. Teniendo en cuenta las consideraciones previas, se supone que se realizan labores mecanizadas en todas las pendientes < 45% mientras que las labores manuales de preparación del sitio serán predominantes en pendientes > 45%. Al igual que en coníferas de turno corto dentro de las pendientes menores a 45% la casuística es diferente en parcelas cuya pendiente media no supera el 30% en las que se realiza un subsolado y aquéllas que sí lo superan en las que no se realiza esta labor. Sin embargo, esta especie se caracteriza por rebrotar de cepa. Por ello, al comienzo del segundo turno no se realizan prácticas de preparación del terreno para una nueva plantación. Estas reglas presentan excepciones, pero recogen la realidad del sector forestal para este modelo de gestión. Una simplificación del desarrollo de estas masas con el calendario de acciones silvícolas típicas y sus impactos potenciales se resumen en esta tabla.

	Acción silvícola	Pendiente	Descripción	Impacto
Año 0	Construcción de pistas/vías	Todas las pendientes	Típicamente 100 m/ha	Generación de sedimentos
	COSECHA y	Todas las pendientes	Suelo desnudo,	Eliminación del mulch

Presiones de uso de las actividades forestales sobre los Cursos de Agua de la CAV

	Desembosque mecanizado		alteración de horizonte superficial	orgánico y exposición del suelo.
	Preparación manual del sitio	Pendientes >45%	Apilado manual de los restos de cosecha y ahoyado para la introducción de la nueva planta.	Impacto puntual sobre el suelo.
	Preparación mecanizada del sitio	Pendientes 30%-45%	Retirada de los restos de cosecha con la pala frontal del búldozer	Eliminación del mulch orgánico y del horizonte superficial del suelo. Exposición del suelo mineral y generación de sedimentos.
		Pendientes <30%	Retirada de los restos de cosecha con la pala frontal del búldozer y realización de un subsolado en líneas de máxima pendiente.	Eliminación del mulch orgánico y del horizonte superficial del suelo. Exposición del suelo mineral, generación de sedimentos y canalización del agua a favor de pendiente aumentando su energía.
Año 1	Fertilización	Todas las pendientes	La fertilización más extendida de todos los modelos de gestión, con N, P y K	Emisión de nitrógeno con escorrentía y lixiviados y fósforo ligado a los sedimentos.
Año 13	COSECHA y Desembosque mecanizado	Todas las pendientes	Suelo desnudo, alteración de horizonte	Eliminación del mulch orgánico y exposición del suelo.
Año 14	Fertilización	Todas las pendientes	La fertilización más extendida de todos los modelos de gestión..	Emisión de nitrógeno con escorrentía y lixiviados y fósforo ligado a los sedimentos..
Año 26	Construcción de pistas COSECHA y Desembosque mecanizado		Típicamente 100 m/ha Suelo desnudo, alteración de horizonte superficial	Generación de sedimentos Eliminación del mulch orgánico y exposición del suelo.

3.4 Masas seminaturales de frondosas de turno largo productivas (*hayedos, Quercus rubra*)

Este modelo es poco habitual salvo en lugares de montaña en los que la tradición de explotación de *Fagus sylvatica* es importante. Al igual que lo apuntado en los casos anteriores se hace necesaria una simplificación de este modelo de gestión para la modelización de su posible impacto. Se ha considerado un turno medio de 120 años, con aprovechamiento final mediante corta selectiva y retención de árboles madre en el rodal. No se han considerado labores intermedias de control de densidad. Se ha tenido en cuenta, sin embargo, la pérdida de cobertura vegetal debida a la caída del follaje en los 10

Presiones de uso de las actividades forestales sobre los Cursos de Agua de la CAV

primeros inviernos tras el aprovechamiento. Este modelo de gestión se supone el más clásico de todos en el que la mecanización de las labores silvícolas es menor debido, entre otras razones, a la ausencia de labores de preparación del terreno previa a la plantación ya que se considera que se retienen en el monte algunos de los ejemplares mejor desarrollados como fuente de semilla y regeneración. Además, no se prevé una eliminación total de la cobertura vegetal, por lo que el impacto de la lluvia sobre el suelo será menor que en los modelos de gestión previos. Estas reglas, como en todos los modelos expuestos, presentan excepciones, pero pueden ser reflejo de la silvicultura adoptada en este tipo de aprovechamientos. Una simplificación del desarrollo de estas masas con el calendario de acciones silvícolas típicas y sus impactos potenciales se resumen en esta tabla.

	Acción silvícola	Pendiente	Descripción	Impacto
Año 0	Construcción de pistas/vías	Todas las pendientes	Típicamente 100 m/ha	Generación de sedimentos
	COSECHA y Desembosque mecanizado con retención de árboles como fuente de semilla.	Todas las pendientes	Suelo desnudo, alteración de horizonte superficial	Eliminación del mulch orgánico y exposición de parte del suelo.
Año 2	Desbroce	Todas las pendientes	Eliminación de vegetación competitiva	Exposición de parte del suelo forestal.
Año 2	Fertilización	Todas las pendientes	Muy escasa. Casi nula.	Muy bajo.
Año 120	Reparación de pistas	Todas las pendientes	Típicamente 100 m/ha	Generación de sedimentos
	COSECHA y Desembosque mecanizado con retención de árboles como fuente de semilla.	Todas las pendientes	Suelo desnudo, alteración de horizonte superficial	Eliminación del mulch orgánico y exposición de parte del suelo.

3.5 Masas de frondosas perennifolias (*Quercus ilex*)

Este modelo es poco habitual salvo en lugares muy concretos de la CAV. Al igual que lo apuntado en los casos anteriores se hace necesaria una simplificación de este modelo de gestión para la modelización de su posible impacto. En este modelo de gestión sólo se tienen en cuenta labores silvícolas preventivas (que causan poco impacto) ya que no se considera un aprovechamiento final de los recursos maderables. Por lo tanto, además de los encinares, se tendrán en cuenta todas las zonas forestales de reserva integral que no se traten como monte productivo, y como tal, no se desarrollarán labores silvícolas encaminadas a tal fin. Se ha considerado un turno de 130 años aunque en realidad pueda ser mayor. Por lo tanto, no se han considerado labores intermedias de control de densidad ni aquéllas encaminadas a mejorar el estado nutritivo de la vegetación. Este modelo de gestión supone que la mecanización es nula y que la cobertura forestal permanece constante a lo largo del tiempo. Estas reglas, como en todos los modelos expuestos puede presentar excepciones, pero pueden ser reflejo de la silvicultura adoptada en este tipo de bosques.

4. Descripción del Modelo

4.1 Riesgo potencial en la cuenca.

Las Zonas homogéneas se delimitan a partir de:

- el modelo de gestión,
- la fisiografía,
- la litología subyacente y
- la altitud.

Se calcula para cada una de las zonas homogéneas el impacto que se produce a lo largo de turno correspondiente. De esta forma es posible asignar a cada zona homogénea un valor de impacto medio anual estimado a lo largo del turno así como el valor de impacto máximo estimado producido en un año a lo largo del turno.

La ecuación formulada de la USLE (Universal Soil Loss Equation) es:

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

Donde:

A = Pérdida de suelo

K = Erodibilidad del suelo

L = Factor de longitud de ladera

S = Factor pendiente

R = Erosividad de la lluvia

C = Cubierta del suelo

P = Prácticas de conservación o laboreo.

La utilización de la USLE proporciona valores de pérdida de suelo anuales si todos los factores que en ella participan son calculados anualmente. Por ello, los factores que participan en la ecuación suelen ser parámetros que pueden variar de un año a otro variando de esta manera las distintas tasas de pérdida de suelo obtenidas por la ecuación. En el presente estudio se intenta obtener un valor promedio anual, y un valor máximo anual de pérdida de suelo para el turno de cada uno de los modelos de gestión señalados anteriormente. De esta manera, se pretende que esta ecuación articule de manera operativa los cambios que se producen en las parcelas forestales debidos a la gestión forestal habitual en los diferentes modelos a lo largo de una rotación. Para ello, se ha simulado un turno completo para cada uno de los denominados usos del suelo bajo diferentes regímenes de gestión silvícola (salvo para el caso de las plantaciones de frondosas de turno corto, en las que se han simulado dos turnos completos).

Los factores poder erosivo de la lluvia (R), longitud de ladera (L) y pendiente (S) son independientes de los modelos de gestión propuestos. Por lo tanto, en una primera fase se ha desarrollado la metodología que permita calcular estos factores.

Factores longitud de la ladera (L) y pendiente (S)

La determinación de los factores L y S es complicada y por ello se propone la utilización del cálculo desarrollado por IKT basado en los datos aportados por la Cátedra de Hidráulica e Hidrología de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes de Madrid (citado en Edeso et al., 1997). Gracias a este estudio se puede establecer un valor del Factor L*S teniendo en cuenta la pendiente del terreno según la tabla adjunta (Tabla 1)

Presiones de uso de las actividades forestales sobre los Cursos de Agua de la CAV

Tabla 1. Cálculo del factor L*S según la pendiente media de la parcela

Grupos de Pendientes (%)	Factor L*S
0-3	0.3
3-12	1.5
12-18	3.4
18-24	5.6
24-30	8.7
30-45	11.7
30-60	14.6
60-70	20.2
70-100	25.2
>100	28.5

Factor Erosividad de la Lluvia (R)

Se ha desarrollado un mapa propio para el factor R en toda la CAV a partir de los datos proporcionados por 47 estaciones del Instituto Nacional de Meteorología. El valor de R se obtiene a partir de la ecuación proporcionada por el estudio “Agresividad de la Lluvia en España. Valores del factor R de la Ecuación Universal de Pérdidas de Suelo” realizado por ICONA (1988), extrapoliándose sus resultados al total del territorio gracias a los datos de precipitación mensual media obtenidos de la Tesis Doctoral “Relación Clima Vegetación en la Comunidad Autónoma del País Vasco” realizada por Ortubai (1995).

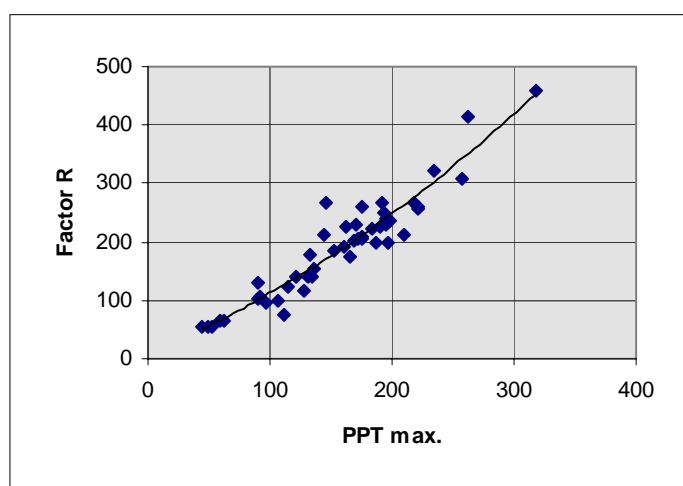
Tabla 2. Valores medios anuales de los índices de erosividad pluvial en la red pluviográfica y pluviométrica (R) y precipitación máxima mensual en mm (PPT máx.) de las estaciones coincidentes en ambos estudios y su localización (Longitud UTM; Latitud UTM).

Nombre Estación	R	PPT máx.	Long. UTM	Lat. UTM
ABADIANO 'MENDIOLA'	193,43	160,61	531.468	4.776.404
ALSASUA	173,86	165,93	566.823	4.748.586
AMURRIO 'INSTITUTO'	179,58	132,80	499.502	4.766.306
ARAMAYONA ECHAGUEN	237,90	198,92	533.429	4.767.931
ARANZAZU	224,92	162,20	517.121	4.777.124
ARANZAZU 'NUESTRA SEÑORA'	226,85	190,52	549.217	4.758.463
ARETXABALETA-URKULU	154,93	135,68	543.093	4.763.450
ARTICUTZA	457,95	317,84	597.745	4.784.993
BASAURI	117,05	127,47	509.476	4.784.667
BERGARA 'ALBITXU'	208,15	174,75	546.679	4.775.258
BILBAO 'AEROPUERTO' LOIU	211,85	144,76	507.638	4.793.703
CARRANZA	259,21	175,79	470.784	4.785.279

Presiones de uso de las actividades forestales sobre los Cursos de Agua de la CAV

Nombre Estación	R	PPT máx.	Long. UTM	Lat. UTM
CENICERO BODEGA	55,19	49,47	529.041	4.703.104
DURANGO-VIVERO	227,93	170,68	528.750	4.778.089
ECHEVARRIA	222,81	184,36	542.458	4.788.958
EIBAR-BANCO DE PRUEBAS	266,65	191,21	543.025	4.781.342
ERMUA	200,49	168,78	539.974	4.781.940
FUENTERRABIA 'AEROPUERTO'	248,29	193,32	598.033	4.800.918
GAUNA 'LA ILARRA'	100,60	106,06	540.865	4.742.213
GOIZUETA	267,57	217,77	593.187	4.779.962
HARO	55,99	52,95	512.151	4.713.417
LAGUARDIA	63,98	61,89	534.253	4.711.178
LAREO	212,12	210,31	572.596	4.758.301
LECUMBERRI	240,00	194,38	589.662	4.761.187
LEGAZPIA	205,39	175,56	554.199	4.767.293
LEGAZPIA 'BARRENDIOLA'	200,03	186,39	553.560	4.762.197
LEIZA 'LUIS EMBORDA'	308,65	257,24	590.731	4.771.105
LEZA 'DFA2'	76,31	111,15	529.822	4.712.638
LOGROÑO-AGONCILLO	54,34	44,50	555.027	4.699.929
MIRANDA DE EBRO	65,57	58,42	503.642	4.724.882
ONTON	140,13	131,46	485.886	4.800.099
OROZCO	266,71	146,44	508.092	4.771.864
OYARZUN 'ARDITURRI'	414,82	262,08	596.977	4.792.912
PUNTA GALEA GOLF	140,92	134,56	498.425	4.802.244
RENTERIA 'PRESA DEL AÑARBE'	322,26	234,69	591.002	4.784.653
SALVATIERRA COL CLARET	131,54	89,91	549.590	4.744.523
SAN SEBASTIAN 'ATEGORRIETA'	229,68	194,72	585.093	4.796.917
SAN SEBASTIAN 'IGUELDO'	204,96	171,60	577.904	4.795.196
SANTA CRUZ CAMPEZO D F A	94,71	95,99	553.696	4.724.349
SANTESTEBAN	257,12	221,31	608.679	4.775.841
ULLIVARRI GAMBOA 'PRESA'	122,65	114,94	531.848	4.752.870
URNIETA 'VIVERO'	197,88	196,41	581.993	4.786.852
URRUNAGA 'PRESA'	141,32	121,10	528.480	4.756.032
VALMASEDA	185,63	151,96	484.609	4.783.136
VERA DE BIDASOA	260,31	221,36	606.697	4.792.687
VILLANUEVA DE VALDEGOVIA	105,73	91,38	491.602	4.743.794
VITORIA 'AEROPUERTO DE FORONDA'	102,20	90,68	522.639	4.747.743

Se han realizado diferentes modelos generales lineales (GLM) entre los datos obtenidos para establecer qué parámetros de pluviometría eran los que mejor explicaban el Factor R. El modelo que mejor explicaba el valor del Factor R era aquél que tenía en cuenta los valores de la precipitación máxima mensual (PPT max.). El coeficiente de determinación del modelo de regresión propuesto fue de $R^2 = 0.9014$. Los residuos del modelo propuesto se ajustaban a una distribución normal. De esta manera el modelo propuesto para la estimación del Factor R en la CAV es el siguiente:



$$FactorR = 0,0017 * PPT \text{ max.}^2 + 0,8457 * PPT \text{ max.} + 10,7141$$

Se generó una malla de puntos según cuadrícula UTM kilométrica y con el programa *Climard* desarrollado por IKT se obtuvieron las precipitaciones medias mensuales para cada punto de la malla generada. A partir de estos valores se obtuvo la máxima precipitación mensual para cada uno de los puntos y se estimó con la ecuación propuesta anteriormente el valor del Factor R.

Determinación de los Factores afectados por la gestión

Los demás factores de la USLE: Factor de laboreo (P); cubierta del suelo (C) y erodibilidad del suelo (K) se han estimado mediante la simulación de uno o dos turnos típicos para cada modelo de gestión anteriormente expuesto. Para la determinación de estos factores se ha tenido en cuenta la metodología utilizada por Olarieta (2003).

Factor Prácticas de Conservación del Suelo o Laboreo (P)

En sistemas forestales, según Young (1989, citado en Olarieta, 2003) el factor P toma un valor de 1 en las parcelas que han sido sometidas a labores de decapado y subsolado lineal a favor de pendiente, de 0.7 en parcelas decapadas y de 0.4 en parcelas en las que no ha habido laboreo en el año 0 o de establecimiento de la plantación. Este factor disminuye hasta valores de 0.4 después de 8 años de la realización de estas labores (Dissmeyer y Foster, 1981) manteniendo ese valor a lo largo de todo el turno o hasta que se acometan labores silvícolas de similares características. Se ha asumido que la evolución del Factor P a lo largo del tiempo es lineal y así, el Factor P ha sido definido según modelo de gestión, grupo de pendiente y edad de la plantación.

En sistemas agrícolas, sin embargo, para la estimación de este factor se ha considerado que no se realizan labores de protección del suelo en ninguno de los cultivos ($P=1$) salvo en prados y pastizales que tampoco se realizan labores agresivas con el suelo durante largos espacios de tiempo. Se considera por lo tanto que en estos usos el factor de P adquiere el valor de 0.4 (Dissmeyer y Foster, 1981).

Factor de Cobertura del Suelo (C)

Sistemas Forestales

La cobertura del suelo es el resultado de la combinación de diferentes parámetros: porcentaje de suelo desnudo (no cubierto por vegetación rastrera, afloramientos rocosos, o elementos gruesos minerales o elementos vegetales superiores a 2 mm), porcentaje de suelo desnudo con dosel vegetal por encima, porcentaje de suelo con raíces finas, y presencia de depresiones acumuladoras de sedimentos (Dissmeyer y Foster, 1981).

Para sistemas forestales, Olarieta (2003) estimó el grado de cobertura del suelo bajo diferentes sistemas de gestión de masas forestales de *Pinus radiata* en una cronosecuencia de 24 parcelas. Siguiendo la metodología propuesta por este investigador, se estimó el factor C según modelo de gestión silvícola.

Los valores máximos estimados para este factor se producen en el año 0 del turno cuando se realizan las labores de corta, desembosque y preparación del suelo y son los observados por Olarieta (2003) en plantaciones de pino radiata en el País Vaco. El valor del Factor C es de 0.6 en parcelas que se someten a corta a hecho y en las que se realiza una limpieza de restos mediante maquinaria pesada y se preparan con subsolado lineal a favor de pendiente. Se estima que en parcelas que se someten a corta a hecho y en las que se realiza la limpieza con maquinaria pesada pero no se realiza subsolado el Factor C adquiere un valor de 0.45. En parcelas en las que se lleva a cabo una corta a hecho y una preparación manual de la misma el Factor C adquiere un valor de 0.043 (Tabla 3).

Tabla 3. Valor máximo del Factor C según tratamiento silvícola (Olarieta, 2003).

Tratamiento	Factor C
Limpieza con maquinaria y subsolado	0.6
Limpieza con maquinaria y ahoyado manual	0.45
Limpieza y ahoyado manual	0.043

A lo largo del turno la cubierta vegetal evoluciona y así el Factor C disminuye hasta un valor considerado como mínimo: 0.001 (Olarieta, 2003). Este valor se alcanza en las parcelas tratadas con maquinaria pesada a los 6 años del segundo turno en frondosas de turno corto; en plantaciones de coníferas de turno corto y en masas de frondosas caducifolias de turno largo se alcanza a los 30 años y en coníferas de turno largo a los 40 años. Para las masas de frondosas perennifolias de turno largo se ha considerado este valor mínimo constante a lo largo del tiempo (Tabla 4).

En las parcelas que no se tratan con maquinaria pesada estos valores se reducen hasta los 6 años en cada rotación de frondosas de turno corto, hasta los 20 años en plantaciones de coníferas de turno corto y masas de frondosas caducifolias de turno largo y hasta los 25 años en plantaciones de coníferas de turno largo (Tabla 4).

Tabla 4. Edad de la masa forestal según modelo de gestión y tratamiento silvícola a la que se llega al mínimo valor del Factor C (0.001) Olarieta (2003).

Modelo de gestión	Tratamiento	
	Maquinaria	Manual
Coníferas de turno corto	30	20
Coníferas de turno medio	40	25

Presiones de uso de las actividades forestales sobre los Cursos de Agua de la CAV

Fronosas de turno corto	19	6
Fronosas de turno largo	30	20
Fronosas perennifolias	0	0

Los siguientes gráficos (Fig.1) muestran la evolución de este factor (C) a lo largo del turno en diferentes sistemas de gestión silvícola.

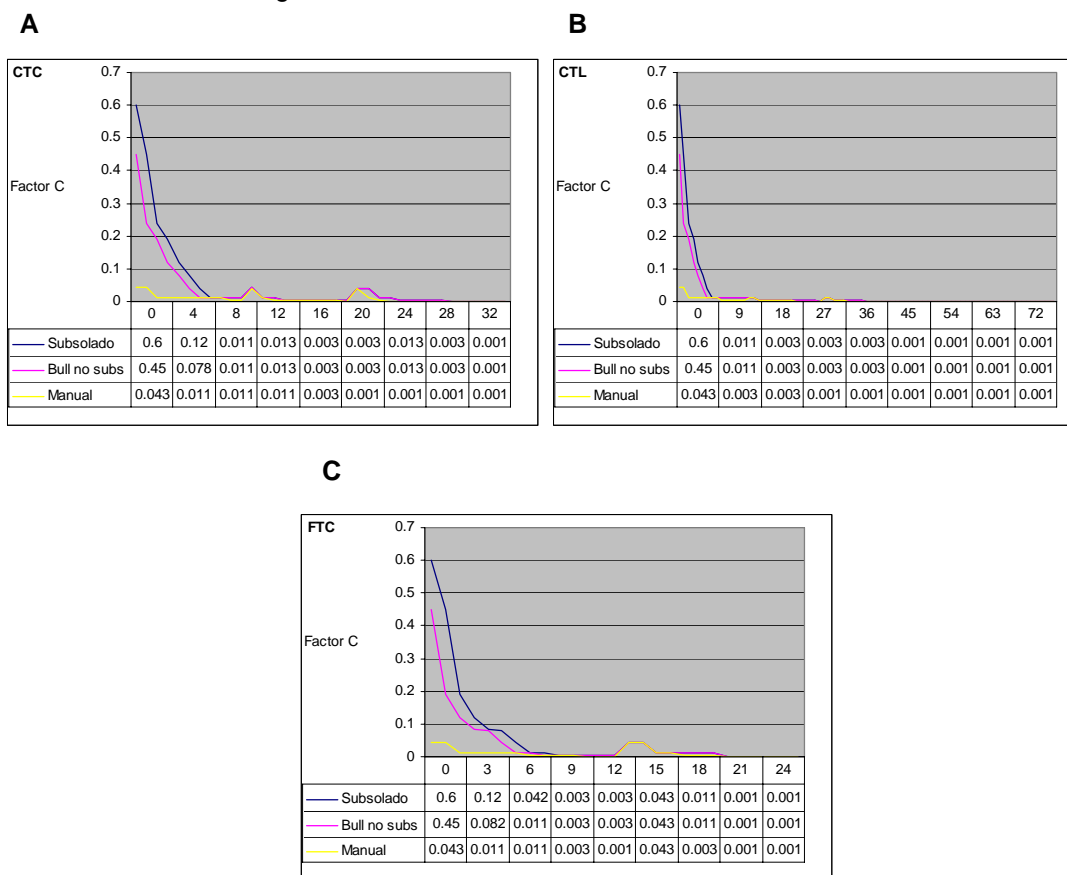


Figura 1. Modelización de la evolución del Factor C para diferentes modelos de gestión a lo largo del turno: A. Coníferas de turno corto (CTC); B: Coníferas de turno largo (CTL); C: Fronosas de turno corto (FTC). Subsulado: Parcelas en las que la limpieza de restos se realiza mediante pala frontal de bulldózer y en las que se realiza subsulado lineal a favor de pendiente; Bull no subs: Parcelas en las que la limpieza de los restos de cosecha se realiza con la pala frontal de bulldózer; Manual: la preparación del terreno se realiza de manera manual.

Sistemas agrícolas

La influencia del cultivo en la erosión se manifiesta a través de la especie cultivada, de su posición dentro de la alternancia, de las combinaciones de especies (si es que existen), de la agresividad y número de las labores, de la propia productividad tanto del cultivo como del lugar donde éste se establece y de la erosividad de la lluvia cuando se realizan las labores de cultivo. Las combinaciones de todos estos factores son enormes y es muy difícil diferenciar los supuestos de cada factor. Por ello se suelen agrupar todos estos factores en uno sólo, el Factor C para cada cultivo.

Teniendo en cuenta los cultivos y las rotaciones más habituales presentes en la CAPV, se ha consignado un valor del factor C para los siguientes cultivos (Tabla 5)

Tabla 5. Factor C para cultivos frecuentes en la CAPV según el United States Agriculture Department (USDA).

Presiones de uso de las actividades forestales sobre los Cursos de Agua de la CAV

Tipo de cultivo	Cultivo	Factor C
Extensivo	Cereal-guisante	0.4
Extensivo	Patata-remolacha-girasol	0.292
Extensivo	Maíz grano	0.286
Extensivo	Maíz forrajero	0.19
Extensivo	Alfalfa-Vallico	0.02
Extensivo	Hortalizas	0.402
Huertas	Huertas	0.402
Txakoli	Txakoli	0.18
Viñedos	Vid	0.22
Frutales	Frutal	0.14
Pastos	Prados-Pastizales	0.012

Estos valores se han establecido a partir de la tabla publicada por el USDA "Predicting rainfall erosion Losses" United States Agriculture Handabook 537 (citado en TRAGSA et al., 1994). El USDA estimó el valor de C en 10.000 parcelas de cultivos comunes en EEUU en diferentes períodos del cultivo:

1. Barbecho de preparación que va desde la albor de alzar hasta la siembra o labores inmediatas a la siembra
2. Siembra, desde siembra o labores preparatorias hasta un mes después de la siembra.
3. Establecimiento. Desde uno o dos meses después de la siembra de primavera o verano. En las siembras de otoño incluye los meses de invierno con parada invernal, finalizando cuando vuelve a iniciarse el crecimiento en primavera.
4. Crecimiento y maduración desde el final del período 3 hasta la recolección.
5. Residuos o rastrojos. Desde la recolección hasta la labor de alzar o nueva siembra. Cuando se establecen praderas sobre cereales este periodo se estima en dos meses después de la recolección. A partir de entonces se estima como pradera establecida.

Para ello se ha considerado que los restos del cultivo se retiran en todos los casos (salvo en los que se caracterizan por tener vegetación permanente) estableciendo el siguiente paralelismo entre los cultivos más habituales en la CAPV y los propuestos para EEUU (Tabla 6). Para los cultivos no existentes en la tabla principal estos mismos autores proponen la asimilación de los cultivos particulares con aquellos en los que se estimó el valor real.

Tabla 6. Asignación y asimilación de los cultivos habituales en la CAPV a los estudiados por el USDA según metodología del propio USDA.

Tipo de Cultivo	Tipo de Cultivo/manejo
CAPV	EEUU
Cereal-guisante	Cereales en rotación: Sobre terreno arado para siembra después 1 año de maíz. Alta productividad.
Patata-remolacha-girasol	Asimilación a 1 año de maíz después gramíneas o leguminosas. Productividad media. Utilización de arado de vertedera en primavera.

Presiones de uso de las actividades forestales sobre los Cursos de Agua de la CAV

Maíz grano	Maíz en sistemas no forrajeros después de cereal labrado con arado de vertedera. Alta productividad.
Maíz forrajero	1º año Maíz después Gramíneas y leguminosas de forraje. Cultivo en primavera con arado de vertedera. Alta productividad.
Alfalfa-Vallico	Alfalfa. Cultivo establecido.
Hortalizas	Asimilación a 1º año maíz después leguminosas de forraje. Labrado con arado de vertedera en primavera. Baja productividad.
Huertas	Asimilación a 1º año maíz después leguminosas de forraje. Labrado con arado de vertedera en primavera. Baja productividad
Txakoli	Asimilación a matorral. con cubierta de suelo formada por pastizal. 25% de cobertura de matorral.
Vid	Asimilación a matorral. con cubierta de suelo con plantas herbáceas con restos vegetales sin descomponer. 25% de cobertura de matorral.
Frutal	Arbolado sin matorral pequeño apreciable (4 m) con cubierta de suelo con plantas herbáceas con restos vegetales sin descomponer. 50% de cobertura de vegetación arbórea.
Prados-Pastizales	Praderas de gramíneas y leguminosas. Baja productividad.

Factor de erodibilidad del suelo (K)

El factor K se ha estimado mediante la ecuación simplificada propuesta por Knisel y Davis. (2000).

$$K = 0.2912 * (TF' * (12 - MO) + SF' + PF')$$

Donde:

TF': es un factor de textura

SF': es un factor dependiente de la estructura de los primeros centímetros del suelo de la parcela

PF': Es un factor de permeabilidad de los horizontes superficiales del suelo de la parcela.

Esta simplificación supone que cuando no se pueden conocer los valores reales de los factores permeabilidad y estructura, éstos se pueden estimar a partir de la textura de la parcela (Knisel y Davis, 2000).

Para conocer la textura de las parcelas forestales de la CAV se tuvo en cuenta la clasificación litológica resumida presente en las parcelas forestales de la Red BASONET y se estimó la textura para cada una de las litologías subyacentes (Tabla 7). A partir de los valores medios estimados por litología se estimaron los valores para los factores TF', SF' y PF' según Knisel y Davis (2000) (Tabla 8)

Tabla 7. Porcentajes medios de Arena, Limo y Arcilla (entre paréntesis sus desviaciones típicas) para cada una de las clases de litología resumida (n es el número de casos para cada una de las litologías) en la Red BASONET y su textura media según USDA estimada.

Litología	% Arena	% Limo	% Arcilla	Textura USDA
Areniscas (n = 101)	36 (20.7)	38 (12.4)	26 (11.7)	Franco

Presiones de uso de las actividades forestales sobre los Cursos de Agua de la CAV

Litología	% Arena	% Limo	% Arcilla	Textura USDA
Argilitas (n = 77)	20 (9.8)	48 (7.7)	31 (10.0)	Arcilloso-Franco
Calizas (n = 85)	26 (14.3)	35 (8.6)	40 (13.9)	Arcilloso
Detríticos superficiales (n = 10)	33 (13.2)	40 (8.1)	27 (9.5)	Franco
Margas (n = 94)	18 (11.6)	43 (8.2)	39 (10.5)	Limo-Arcilloso- Franco
Pizarras (n = 13)	18 (3.4)	40 (5.5)	42 (6.7)	Limo-Arcilloso
Volcánicas (n = 8)	19 (7.4)	35 (7.1)	46 (8.0)	Arcilloso
Otras (n = 6)	21 (18.6)	41 (7.8)	38 (15.5)	Arcilloso-Franco

Tabla 8. Valor de los factores de textura (TF'), estructura (SF') y permeabilidad (PF') para cada una de las clases litológicas resumidas presentes en la Red BASONET según Knisel y Davis (2000).

Litología	TF'	SF'	PF'
Areniscas	0.03618	0.0325	0.025
Argilitas	0.0236	0.065	0.05
Calizas	0.01287	0.065	0.075
Detríticos superficiales	0.03618	0.0325	0.025
Margas	0.02606	0.065	0.05
Pizarras	0.0187	0.065	0.075
Volcánicas	0.01287	0.065	0.075
Otras	0.0236	0.065	0.05

Los valores de los porcentajes de materia orgánica (MO) también se han estimado a partir de los valores recogidos por la red BASONET y de los datos proporcionados por Olarieta (2003). Para estimar los porcentajes de materia orgánica para cada una de las de las clases litológicas resumidas, en tres grupos de altitud (<350 m; 350m-650m; >650 m) y modelo de gestión se ha utilizado la siguiente metodología:

- 1) A partir de los datos de la Red BASONET se ha calculado la concentración promedio de materia orgánica presente en cada grupo litológico (%MO_{Litología}) además de la concentración promedio de materia orgánica de cada uno de los grupos de altitud y litología (%MO_{AltitudLitología}).

Presiones de uso de las actividades forestales sobre los Cursos de Agua de la CAV

- 2) Se han calculado los porcentajes que cada uno de los grupos de altitud representa con respecto a los promedios de cada una de las litologías dividiendo la concentración de materia orgánica obtenido para cada grupo de altitud y litología entre la concentración promedio de materia orgánica de cada grupo litológico. Así, por ejemplo, para Areniscas en altitudes menores a 350 m slm la ecuación utilizada sería:

$$\frac{\%MO_{<350\text{ Areniscas}}}{\%MO_{\text{Areniscas}}} * 100$$

- 3) Se relacionó la concentración de Materia Orgánica de cada una de las clases litológicas con el estimado sobre Argilitas.
- 4) Se obtuvo la concentración de materia orgánica presente en los suelos de la Red BASONET de los modelos de gestión anteriormente definidos y se dividieron estas concentraciones entre los valores estimados para las coníferas de turno corno.
- 5) De este modo se obtuvo el porcentaje de variación de materia orgánica por clase litológica y altitud frente a las Argilitas y el porcentaje de variación de materia orgánica por modelo de gestión frente a las coníferas de turno corto. De esta manera se podían relacionar los datos obtenidos por Olarieta (2003) en una cronosecuencia de *Pinus radiata* asentados sobre lutitas con los datos proporcionados por la Red BASONET (Tabla 9).

Tabla 9. Concentración de Materia Orgánica (%) estimada en los suelos forestales de los diferentes modelos de gestión, clases litológicas y grupos de altitud.

	Coníferas de Turno Corto			Coníferas de Turno Largo			Frondosas de Turno Largo		
	<350	350-650	>650	<350	350-650	>650	<350	350-650	>650
Areniscas	3.582	4.378	4.441	4.447	5.435	5.513	3.739	4.570	4.636
Argilitas	3.527	4.208	3.583	4.378	5.224	4.447	3.681	4.392	3.739
Calizas	3.986	4.659	5.752	4.949	5.784	7.140	4.161	4.863	6.003
Detríticos superficiales	4.299	5.191	4.834	5.337	6.443	6.000	4.488	5.418	5.045
Margas	3.161	4.403	5.435	3.924	5.466	6.746	3.299	4.596	5.672
Pizarras	4.907	5.855	4.985	6.092	7.269	6.188	5.122	6.111	5.203
Volcanicas	4.317	5.295	5.352	5.359	6.573	6.643	4.505	5.527	5.586
Otras	4.990	6.121	6.186	6.194	7.598	7.679	5.208	6.388	6.457
	Frondosas perennifolias			Frondosas de Turno Corto					
Areniscas	4.291	5.245	5.320	2.666	3.259	3.306			
Argilitas	4.225	5.041	4.291	2.625	3.133	2.667			
Calizas	4.775	5.581	6.890	2.967	3.468	4.281			
Detríticos superficiales	5.150	6.218	5.790	3.200	3.864	3.598			
Margas	3.787	5.274	6.510	2.353	3.277	4.045			
Pizarras	5.878	7.014	5.971	3.653	4.358	3.710			

Presiones de uso de las actividades forestales sobre los Cursos de Agua de la CAV

Volcanicas	5.171	6.343	6.410	3.213	3.941	3.984
Otras	5.977	7.332	7.410	3.714	4.556	4.605

Olarieta (2003) determinó que en las parcelas en que se realizan labores mecanizadas de limpieza y preparación del terreno mediante subsolado presentan un 49% de la materia orgánica existente en masas forestales adultas mientras que la materia orgánica presente en suelos en los que el tratamiento mecánico consistía únicamente en la limpieza del terreno era un 90% del valor de masas adultas. Las parcelas tratadas manualmente tenían concentraciones de MO similares a las adultas (Olarieta, 2003). Se utilizaron estos porcentajes para estimar la concentración de materia orgánica presente en los diferentes modelos de gestión sobre distintas pendientes y litologías a diferentes altitudes en el año 0 del turno o de plantación.

En el presente estudio se asume que la concentración de materia orgánica evoluciona a lo largo del turno de manera lineal llegándose al valor estimado en la Tabla 9 en parcelas en las que se ha realizado limpieza de las mismas con maquinaria (a los 30 años; salvo en el modelo de gestión frondosas de turno corto que se alcanza a los 20 años) y en las tratadas manualmente (a los 15 años). Las parcelas en las que se realiza subsolado este porcentaje de materia orgánica se alcanza a los 60 años (Olarieta, 2003).

La estimación de la concentración de materia orgánica en sistemas agrícolas se ha realizado teniendo en cuenta gran parte de los datos históricos generados en los estudios y recomendaciones de fertilización que se han realizado en NEIKER (y anteriormente en el SIMA) durante los 10 últimos años. Se han asignado las determinaciones de Materia Orgánica (MO) a los diferentes Territorios Históricos y se han dividido en distintos tipos de cultivo y usos del suelo (Tabla 10). De esta manera y a cada uno de los cultivos anteriormente expuesto se les ha asignado un valor medio de contenido de materia orgánica.

La cantidad de cultivos extensivos en Bizkaia y Gipuzkoa es pequeña. Por ello, la analítica de MO se agrupó y se obtuvo el valor medio para ambos Territorios. De igual manera, la cantidad de determinaciones de MO de txakoli para Gipuzkoa y Araba fue muy inferior a la de Bizkaia (1 para cada uno de los dos territorios frente a 363 para Bizkaia) por lo que se asumió que su concentración en los suelos de Gipuzkoa y Araba era la misma que en Bizkaia. Se consideró que no hay cultivos de vid (diferentes al txakoli) en Bizkaia y Gipuzkoa, mientras en Araba se consignaron además los de Arabako Errioxa.

Tabla 10. Porcentaje medio de Materia orgánica (MO) en los diferentes Territorios Históricos de la CAVP y tipo de cultivo; n es el número de determinaciones utilizado para estimar el contenido medio de MO por tipo de cultivo.

	Tipo de cultivo	% MO	n	Cultivo equivalente
Araba	Extensivos	1.98	62	Cereal (trigo, cebada, avena, centenos, maíz grano) – Leguminosas (guisante) – Patatas – Industriales (remolacha y girasol) – Forrajero (maíz forrajero, alfalfa, vallico) – Hortalizas (Vainas, lechugas...)
	Frutales	1.73	26	Frutales
	Huerta	2.44	7	Huerta
	Pastos	4.96	47	Prados y Pastizales

Presiones de uso de las actividades forestales sobre los Cursos de Agua de la CAV

	Tipo de cultivo	% MO	n	Cultivo equivalente
	Txakoli	2.51	363	Txakoli
	Viñedos	1.39	113	Vid
Bizkaia	Extensivos	3.54	39	Cereal (trigo, cebada, avena, centenos, maíz grano) – Leguminosas (guisante) – Patatas – Industriales (remolacha y girasol) – Forrajero (maíz forrajero, alfalfa, vallico) – Hortalizas (Vainas, lechugas...)
	Frutales	2.89	686	Frutales
	Huerta	3.81	88	Huerta
	Pastos	5.78	148	Prados y Pastizales
	Txakoli	2.51	363	Txakoli
Gipuzkoa	Extensivos	3.54	39	Cereal (trigo, cebada, avena, centenos, maíz grano) – Leguminosas (guisante) – Patatas – Industriales (remolacha y girasol) – Forrajero (maíz forrajero, alfalfa, vallico) – Hortalizas (Vainas, lechugas...)
	Frutales	3.88	26	Frutales
	Huerta	5.48	155	Huerta
	Pastos	5.83	216	Prados y Pastizales
	Txakoli	2.51	363	Txakoli

Bibliografía

- Binkley, D. 1986. *Forest Nutrition Management*. J. Wiley & Sons, New York. 290 p
- Dissmeyer, G.E. y Foster, G.R. 1981. Estimating the cover-management factor (C) in the Universal Soil Loss Equation for forest conditions. *Journal of Soil and Water Conservation*. 36: 235-240.
- Edeso, J.M., Marauri, P. y 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*. 18: 257-291.
- Edeso, J.M., Marauri, P., Merino, A. y 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: 67-104.
- Horswell, M. y Quinn, N. 2003. Minimising sediment delivery to rivers: A spatial modelling approach developed for commercial forestry. *Diffuse pollution conference*. Dublin, Ireland. 5A: 1-6.
- Hudson, N. 1981. *Soil Conservation*. Cornell University Press. Ithaca, New York. 324pp.
- King, J.G. 1984. Ongoing Studies in Horse Creek on Water Quality and Water Yield. NCASI Technical Bulletin 435, pp. 28-35.
- Kimmins 2003 *Forest Ecology* 3rd Edition. Prentice Hall. 700pp
- King, J.G. 1984. Ongoing Studies in Horse Creek on Water Quality and Water Yield. NCASI Technical Bulletin 435, pp. 28-35.
- Knisel, W.G. y Davis, F.M. 2000. GLEAMS: Groundwater Loading Effects of Agricultural Management Systems. Version 3.0. User manual. Tifton, Georgia.
- Megahan, W.F. 1980. *Nonpoint Source Pollution from Forestry Activities in the Western United States: Results of Recent Research and Research Needs*. In U.S. Forestry and Water Quality: What Course in the 80s?, Proceedings of the Water Pollution Control Federation Seminar, Richmond, VA, June 19, 1980, pp. 92-151.
- Olarieta Alberdi, J.R. 2003. Evaluación del Territorio y ordenación de usos agrarios en la comarca de Lea-Artibai (Bizkaia). Memoria de Tesis Doctoral. Universitat de Lleida. Departament de Medi Ambient y Ciències del Sòl.
- Pye, J.M. y Vitousek, P.M. 1985. Soil and nutrient removals by erosion and windrowing at a south-eastern U.S. Piedmon site. *Forest Ecology and Management*. 11: 145-155.
- Renard, K.G.; Foster, G.R.; Weesies, G.A.; McCool, D.K. & Yooder, D.C. (Coord.) 1997. Predicting Soil Erosion by Water: A Guide to Conservation Planning With the Revised Universal Loss Equation (RUSLE). USDA. Agriculture Handbook, N° 703.
- Stafford, Craig Mark Leathers & Russell Briggs (1996) *Forestry-Related Nonpoint Source Pollution in Maine: A Literature Review*. Maine Agricultural and Forest Experiment Station College of Natural Resources, Forestry and Agriculture University Of Maine Orono, Maine 04469 Miscellaneous Report 399
- Swanson, F. J., & Dyrness, C. T. (1975). Impact of clear-cutting and road construction on soil erosion by landslides in the Western Cascade Range, Oregon. *Geology*,3:393–396.
- TRAGSA, TRAGSATEC y Ediciones Mundiprensa. 1994. Restauración hidrológico forestal de cuencas y control de erosión. Mundiprensa. Madrid.

Presiones de uso de las actividades forestales sobre los Cursos de Agua de la CAV

Wischmeier, W.H. y Smith, D.D. 1978. Predicting rainfall erosion losses. Agriculture Handbook, nb. 537. Washington D.C.

Young, A. 1989. Agroforestry for soil conservation. CAB International, Wallingford, Gran Bretaña.