Proyecto FORSEE
Una red de zonas piloto para evaluar y mejorar a nivel regional los indicadores de gestión sostenible de los bosques de la fachada atlántica del sur de Europa

Informe Final
EUSKADI

PARTE 4 : Estudio Específico sobre el Criterio 5
"Evaluación del comportamiento de diferentes parámetros físicos químicos y biológicos como Indicadores de Gestión Sostenible de los Suelos de Plantaciones Forestales"

Octubre 2007

Autores
Nahia Gartzia Bengoetxea, Ander González Arias e Inazio Martínez de Arano

Project co-financed by the European Union

INFORME REGIONAL FORSEE

INDICE

PARTE 1 : **SINTESIS**

PARTE 2 : MATERIAL Y METODOS

PARTE 3 : DATOS OBTENIDOS

PARTE 4 : ESTUDIOS ESPECIFICO SOBRE EL CRITERIO 5

I El Proyecto FORSEE 3

1. Objetivos 3
2. El proyecto FORSEE en Euskadi 4
3. El Estudio Específico sobre el criterio 5 5

II **Evaluación de la Perturbación al suelo en operaciones forestales mecanizadas a través de transectos visuales. 9**

III **Soil chemical, physical and biological properties as indicators of sustainable forest management in temperate Atlantic region 37**

IV Soil organic matter and soil physical fractions in seminatural and cultivated forests in temperate Atlantic region 45

V Conclusiones Generales 51

I El Proyecto FORSEE

1. Objetivos

El Proyecto FORSEE (Gestion durable des FORêts: un réSEau de zones pilotes pour la mise en œuvre opérationnel) se ha desarrollado en el período 2003-2007, con un presupuesto global de 3M€ y ha sido coordinado por el IEFC Instituto Europeo del Bosque Cultivado, que ha reunido a 23 participantes de 8 regiones del Arco Atlántico europeo. FORSEE ha sido financiado por el Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER), con un monto total que asciende a 1,8 M€, dentro del programa "Espacio Atlántico".

FORSEE surge en un momento en el que se van implementando en toda Europa procesos de certificación en Gestión Forestal Sostenible, al amparo de la propuestas de la Conferencia Ministerial sobre la Protección de los Bosques en Europa (MCPFE) y de otras iniciativas internacionales como el esquema del Forest Stewardship Council. Su objetivo es testar Criterios e Indicadores de Gestión Forestal en Zonas Piloto de varios miles de hectáreas, que sean representativas de los sistemas forestales del Arco Atlántico Europeo.

El proyecto FORSEE se desarrolla entorno a cuatro grandes grupos de tareas, que son: La selección, y en su caso definición, de Indicadores de Gestión FORSEE comprende 4 grandes grupos de tareas, que son:

1) Revisión, Selección y Definición de Indicadores de Gestión Forestal Sostenible. Para ello se organizó un grupo de expertos en cada uno de los seis criterios adoptados por la MCPFE.

2) Evaluación de los Indicadores en Zonas Piloto representativa del paisaje forestal del arco atlántico europeo. Esto se realizó en base a protocolos comunes de toma y proceso de datos La Red de Zonas Piloto se ha establecido en 8 regiones de cuatro países (Francia, Portugal, España e Irlanda)..

3) Desarrollo de un estudio específico en cada región, que aportara nuevo conocimiento que mejore la capacidad de evaluar la Gestión Forestal Sostenible en alguno de sus múltiples aspectos. En Euskadi se ha trabajado en el criterio 5, de Sostenibilidad del suelo y de los recursos hídricos.

4) Difusión y puesta en común de los resultados del proyecto, para lo se han realizado presentaciones de resultados en diferentes regiones participantes, publicaciones divulgativas y un congreso internacional en Oporto, en Diciembre 2006, patrocinado por la IUFRO.

FORSEE trata, así, de realizar una evaluación profunda de la Gestión Forestal Sostenible en sistemas forestales tales como plantaciones de pino marítimo (Aquitania y Galicia), pino insigne (País Vasco), eucalipto (Galicia y País Vasco), picea de Sita (Irlanda) o álamo

(Castilla y León), así como de masas naturales manejadas de haya (Navarra, País vasco).

FORSEE involucra entre sus participantes a centros de Investigación, centros de desarrollo regional y agrupaciones profesionales, además de involucrar a los gobiernos regionales que cofinancian el proyecto. Pretende de este modo, contribuir a desarrollar en estas regiones participantes metodologías y capacidades para la evaluación, el seguimiento y la promoción de la gestión sostenible de los bosques. Los objetivos específicos son 1) Evaluar indicadores de gestión forestal sostenible en la Red de Zonas Piloto, para determinar su situación actual. 2) Evaluar el coste de medir los Indicadores en cada zona piloto, 3) Estructurar una red de expertos en evaluación de la gestión forestal sostenible 4) aportar nuevo conocimiento que permita mejorar los indicadores de gestión sostenible propuestos, a través de estudios científicos específicos y 4) contribuir a la divulgación del concepto de Gestión Forestal Sostenible entre los agentes forestales locales.

En FORSEE se ha realizado un esfuerzo grande de difusión de sus resultados. Los resultados obtenidos y las metodologías empleadas están disponibles a través de la página *www.iefc.net* y se debatieron en un congreso internacional (Oporto diciembre 2006). Se han presentado en diversos foros regionales y han generado contribuciones en ámbitos como la armonización y adaptación de los inventarios forestales nacionales y esquemas de certificación, en el planteamiento de nuevos proyectos de investigación y en la preparación de publicaciones científicas. Este informe de síntesis es una muestra más de nuestro interés por dar a conocer los resultados de tres años de trabajo.

2. El proyecto FORSEE en Euskadi

En los montes del País Vasco, las plantaciones de coníferas y en especial de Pino insigne, juegan un papel de primer orden. Aunque presentes principalmente en la vertiente atlántica, dan cuenta del 50% de la superficie forestal y aportan casi la totalidad de la producción de madera, por lo que son la base de la economía forestal. Por otro lado, las masas forestales se desarrollan en un territorio muy humanizado y conviven en una compleja matriz con otros usos del suelo, tanto urbanos como rurales. Por esta razón, se ha escogido una zona piloto que sea representativa de los sistemas forestales atlánticos en los que predomina una silvicultura productiva basada en plantaciones de pino insigne. La cuenca del Ibaizabal, con sus 48.000 ha y su amplio rango altitudinal es suficientemente grande como para dar cabida a toda esa mezcla de usos e intereses en una yuxtaposición de núcleos urbanos, campiña atlántica, masas forestales, infraestructuras de transporte, áreas protegidas y parques naturales.

En un contexto de silvicultura productiva, basada en plantaciones forestales en monte regular que se desarrollan en una orografía compleja y una climatología húmeda la mayor parte del año, la conservación del suelo es un factor crítico de la sostenibilidad. Por ello, el estudio específico en Euskadi se ha dirigido hacia el desarrollo de indicadores eficaces de sostenibilidad de los suelos forestales. Ha sido realizado por NEIKER Tecnalia

El trabajo de FORSEE en el país Vasco ha recaído en cuatro socios NEIKER Tecnalia, que ha actuado como coordinador regional e IKT, el laboratorio de Ecología Forestal de la

UPV/EHU y la Confederación de Propietarios Forestales del País Vasco..

El presupuesto Global de FORSEE en el País Vasco ha sido de €456.000 financiados al 50% por los fondos FEDER y 50% por el Departamento de Agricultura del Gobierno Vasco.

3. El Estudio Específico sobre el criterio 5

Una aproximación funcional a la sostenibilidad del Suelo

La Calidad del Suelo se ha definido como su capacidad para sostener el desarrollo de la vegetación, su habilidad para actuar como filtro y proteger otros compartimentos del ecosistema, notablemente las aguas continentales y la calidad del aire, para contribuir a regular los ciclos globales de los elementos y para salvaguardar la salud animal y Humana (Harris 1996). Así la sostenibilidad estaría dada por el grado en que las practicas de gestión forestal son capaces de conservar o de incrementar la capacidad del suelo para proveer esas funciones. Este enfoque funcional es el que ha guiado la elección y evaluación de los indicadores de gestión sostenible de suelos forestales desarrollados en FORSEE. Hay otros aspectos que también pueden ser muy relevantes para la sostenibilidad tales y como la *naturalidad* o la *integridad ecológica* de las comunidades edáficas. Sin embargo, el conocimiento del ecosistema edáfico es aún muy limitado y no permite aún el desarrollo de indicadores operativos a partir de esos conceptos. Las comunidades microbianas del suelo, sin embargo, intermedian gran cantidad de procesos edáficos y su estudio puede ser útil a la hora de detectar y comprender cambios funcionales relevantes (Lamarche 2007).

Los riesgos para la sostenibilidad del suelo forestal

Los suelos desarrollados bajo bosques naturales son el patrón de referencia tanto en términos funcionales como en términos de naturalidad e integridad ecológica. Las especies ocupan el lugar y se desarrollan en función de la capacidad del suelo para entregar agua y nutrientes y estos se conservan en un ciclo eficiente suelo-planta intermediado por la materia orgánica, por lo que los déficits nutricionales son raros (si es que cabe hablar de déficit nutricional en sistemas naturales). La exportación de sedimentos hacia los cursos de agua es generalmente baja puesto que 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.

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

- Ciertas **técnicas de establecimiento** como el drenaje y la utilización de especies exóticas puede permitir el establecimiento de bosques cultivados en suelos frágiles, turberosos, alterando su dinámica natural.
- En bosques cultivados se da preferencia a **especies de rápido crecimiento** cuyas

necesidades nutricionales puede superar la capacidad de oferta desde el suelo dando lugar a déficits. Además, el uso de especies exóticas puede suponer cambios en las comunidades de descomponedores y en las dinámicas de los elementos nutritivos tanto en el suelo como en los curso de agua continentales (aportes de hojarasca en cursos altos).

- La **cobertura arbórea desaparece tras la corta** y se extrae gran parte de la biomasa. Esto se supone exportaciones de nutrientes y un incremento del riesgo de erosión.
- Las labores de desembosque de la madera cortada **generan compactación** , pérdida del mulch de mantillo y alteración del horizonte superficial del suelo. 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, producir desplazamientos de suelo y compactación.
- La **construcción de pista 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.
- En algunos casos se aplican **agroquímicos** para el control de plagas o enfermedades y fertilizantes para mejorar la productividad.

Así se reconoce que las gestión de los bosques cultivados presenta riesgos para la sostenibilidad del suelo que dependerán de las características ecológicas de cada región y de los modelos de gestión aplicados. Una análisis más detallado de la silvicultura típica de la Zona Piloto y de la vertiente atlántica de la CAPV, basada en plantaciones de *Pinus radiata* ha permitido identificar los principales riesgos a la sostenibilidad del suelo que son de aplicación en este entorno geográfico.

	Acción silvícola	*Pendiente*	*Descripción*	*Impacto*
Año 0	Construcción de pistas/vías	Todas las pendientes	Típicamente 100 m/ha	Genera ción 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.	Eliminación del mulch orgánico. Impacto puntual sobre el suelo.
	Preparación mecanizada del sitio	Pendientes 30% -45%	Retirada de los restos de cosecha con la pala frontal del búldozer	Elimin ación 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 2	Fertilización	Todas las pendientes	No muy e xtendido. 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	clara	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 35	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.

Cuadro nº 1. Régimen silvícola típico de pino insigne en Euskadi e identificación de los impactos potenciales al suelo.

Teniendo en cuenta la gestión forestal típica de las los bosques de plantación de la Zona Piloto y las características de los suelos sobre los que se desarrollan, se pueden identificar los siguientes riesgos prioritarios para la sostenibilidad del suelo forestal de la zona piloto:

1) Perdida de suelo por remoción directa y por incremento en la tasa de erosión, lo que produce a su vez pérdida de materia orgánica y de elementos nutritivos
2) Compactación de suelo por circulación de maquinaria, con reducción de la porosidad y de la tasa de infiltración, lo que aumenta la erosión, empeora el régimen hídrico del suelo y reduce la productividad
3) Generación de sedimentos por erosión en el conjunto del suelo y de manera muy notable en la red de pistas y vías de saca, que pueden llegar a los cursos de agua generando turbidez, incrementando la tasa de colmatación de embalses y aportando nutrientes que pueden contribuir a la eutrofización
4) Cambios en la dinámica de la materia orgánica y en los ciclos de los nutrientes (y por ello en la edafogénesis) por la utilización de coníferas exóticas de alta productividad.

Este estudio específico en el criterio 5 consta de tres trabajos independientes, pero interrelacionados que tienen el objetivo común de aportar nuevo conocimiento que permita comprender mejor los efectos de las prácticas de gestión forestal sobre una serie de parámetros del suelo que son indicadores potenciales de sostenibilidad de los suelos forestales.

El **primero trabajo** va dirigido a dilucidar los impactos funcionales sobre la fertilidad y el régimen hídrico de las perturbaciones que se producen durante la corta, saca, preparación del terreno y nueva plantación, que es el momento en que se producen la mayor parte de los impactos, tanto al suelo como al vuelo forestal. Para ello tipifica y cuantifica la perturbación al suelo que se realiza en la operaciones mecanizadas y evalúa, en el laboratorio, el impacto de esas alteraciones en el régimen hídrico del suelo y en su régimen de nutrientes.

Es evidente, las perturbaciones antrópicas pueden tener además, impactos importantes en la estructura y función de las comunidades microbianas del suelo, que son, al fin y al cabo, las responsables de la su actividad biológica. Por ello **el segundo trabajo** lleva a cabo un evaluación de la diversidad estructural y funcional de las comunidades microbianas de suelos de masas forestales adyacentes que difieren en su composición y gestión pasada, utilizando para ello técnicas tales como PFLAs, CLPPs y Actividades Multiencimáticas. Los cambios en la microbiología del suelo se producen junto a, y en interrelación con, otros de naturaleza físico-química que se describen a través de parámetros tanto físicos (densidad aparente, resistencia a la penetración, least limiting water renge…) como químicos (contenido de Materia Orgánica, Nitrógeno total, pH, fósforo disponible, cationes de cambio…). El objetivo es explorar cual es el conjunto de parámetros que mejor describen los cambios operados en el funcionamiento de los suelos.

Tal y como identifica la estretegia temática europea para la protección del suelo (Van Camps et al 2004), *la Materia Orgánica cumple funciones esenciales en la estructura y estabilidad del suelo, en su fertilidad y su capacidad de retención de agua, contribuyendo al mantenimiento de su funcionamientoen el largo plazo, por lo que jeuga un papel clave en el mantenimiento de las funciones del suelo, además de aumentar su resistencia a la erosión y de contribuir a evitar la contaminación de los cursos de agua, gracias a su papel de filtro natural.* Por ello, **el tercer trabajo** que integra este estusio, analiza las variaciones en la estructura y dinámica de la materia orgánica y su interrelación con la agregación del suelo en masas forestales que difieren en su composición y su gestión pasada. El objetivo es conocer las interrelaciones entre la dinámica de la materia orgánica y la estructura de agregación del suelo. Este conocimiento es esencial para poder evaluar el efecto a medio y largo plazo de prácticas silvícolas que afecten tanto a la agregación del suelo como ha la calidad y cantidad de su materia orgánica.

Evaluación de la Perturbación al suelo en operaciones forestales mecanizadas a través de transectos visuales.

Autores

NEIKER TECNALIA

Inazio Martínez de Arano

Nahia Gartzia-Bengoetxea

Ander González-Arias

FORSEE Project (20) *www.iefc.net*

Project co-financed by the European Union

A community initiative

FEDER - INTERREG IIIB *Atlantic Area*

Evaluación de la Perturbación al suelo en operaciones forestales mecanizadas a través de transectos visuales.

Introducción

Este trabajo tiene por objetivo comparar el comportamiento ambiental (perturbación al suelo) de las faenas de preparación del terreno sin mecanización autopropulsada y con utilización de maquinas arrastradoras tipo buldóze.

La utilización de la maquinaria en las labores forestales de cosecha, saca y preparación del terreno puede considerarse un elemento determinante, no ya de la competitividad del sector, sino de el mantenimiento de una gestión forestal orientada a la producción de madera. Puede considerarse que la tendencia hacia la máxima mecanización posible de las faenas forestales es un proceso irreversible en áreas con alto índice desarrllo humano y que sólo va ha estar limitada por la viabilidad técnica (y ambiental) de las operaciones. Es el caso de la CAPV.

Así, en la corta, en masas de eucalipto, que se destinan principalmente a la producción de pulpa y que se manejan en alta densidad, la mecanización es casi total y se realiza en base a cosechadoras que operan desde vías de saca que se abren cada 20m. aproximadamente. Sin embargo, en masas de pino insigne, dado el alto volumen unitario de los pies, el apeo se realiza con motosierra y la saca es mecanizada con *skidders*, trabajando tanto desde pista como circulando por el rodal.

En la preparación del terreno, el grado de mecanización también es alto. Consiste generalmente en una roza al aire, seguida de subsolado o de ahoyado manual, si bien también puede consistir el ahoyado mecanizado con retroexcavadora. El uso de maquinaria está legalmente limitado a cierto rango de pendientes, fuera del cual, o por decisión del propietario o gestor, se practica un desbroce y ahoyado manual.

Por otro lado, la utilización de maquinaria pesada en el monte incrementa de manera notable los riesgos de perturbación del suelo, de erosión y de exportación de sedimentos a los curso de agua, que van asociados a una silvicultura en régimen de matarrasa y rotaciones más o menos cortas. La normativa foral es poco concreta a este respecto.

Es conocido que, en una fisiografía y condición climática determinada el tipo de maquinaria empleada y el modo en el que se realizan las operaciones determinan de manera simultánea el rendimiento económico de la faena forestal y su impacto ambiental sobre el suelo y el agua.

En este contexto, este trabajo de investigación tiene por objetivo determinar el alcance de las perturbaciones al suelo que se producen en operaciones mecanizadas típicas de la zona, así

como validar una metodología basada en la estimación visual de las perturbaciones.

a) Faenas mecanizadas en masas de Pino radiata de la CAPV

La mecanización de las labores forestales tiene tres ámbitos bien diferenciados.

1) **Corta, saca y procesado de los árboles**. En masa de pino radiata de la CAPV los pies se apean con motosierra, se sacan con arrastradores forestales (*skidders) y* se procesan manualmente antes de ser cargados en camión que los lleva a destino o parques intermedios para clasificación y almacenaje.

   La corta a matarrasa elimina la cubierta vegetal arbórea y daña considerablemente la vegetación de estratos inferiores. Esto puede suponer un incremento en el riesgo de erosión.

   La saca requiere de la apertura de vías de saca que, dada las orografía propia del país, suelen ser vías excavadas. La separación máxima entre vías es típicamente de 60 m. con frecuentes zigzags, cruces y ángulos agudos. Esto genera densidades de vías excavadas superiores a los 180 m/ha. En muchas regiones de montaña, las pistas y vías forestales son una de las principales generadores de sedimentos en la actividad forestal (Megahan 1980). La cantidad de sedimentos generados por la red de pistas tienen que ver con la cantidad y la calidad de las pistas. Esta última se refiere a las características de su cubierta, a el grado de recubrimiento de sus taludes y a la efectividad de los sistemas de drenaje y conducción del agua implementados (King 1984). La vías de saca. Además, la vías excavadas pueden considerarse como superficie *no reforestable* a no ser que se descompacten y rehabiliten adecuadamente.

   Tanto el arrastre de troncos con cable desde la pista como la circulación de *skidders* por el rodal pueden dejar expuesto suelo mineral, producir compactación y desplazamiento de suelo. Ello puede incrementar el riesgo de erosión. La exportación de sedimentos y el deterioro de la fertilidad del sitio.

   El tipo de maquinaria, los patrones de circulación de la maquinaria por el rodal, las condiciones de humedad del suelo y su textura, son junto a la cantidad y tipología de pistas y vías de saca los principales factores que determinan el impacto ambiental generado en estas operaciones.

   Desde distintos ámbitos se ha propuesto y/o ensayado la saca con cable aéreo, para evitar la circulación de maquinaria en montes ambientalmente frágiles. Sin embargo, por su coste significativamente superior, este tipo de operaciones tiene una presencia testimonial en los montes vascos.

2) **Preparación del terreno.** Esta labor tiene por objetivo *limpiar* el terreno para que las plantas puedan establecerse y crecer adecuadamente, así como facilitar las labores de plantación. Consiste en la eliminación de la vegetación competidora, así como en el

tratamiento de los desechos tanto de la corta anterior como los generados en la propia limpia. En las masas de pino radiata de la CAPV se utilizan generalmente los siguientes tipos de preparación del terreno.

Desbroce manual

Se efectúa con ayuda de desbrozadoras manuales. Generalmente sólo se realiza en zonas de pendiente fuerte o por petición expresa del gestor del monte. El rendimiento depende mucho de la orografía del terreno y del desarrollo de la vegetación acompañante. Los desechos se ordenan manualmente en pilas o fajas. El ahoyado es manual, generalmente con azada.

Roza al aire con o sin subsolado

La vegetación se corta a ras de suelo en toda la superficie del monte, con la pala frontal de un tractor de orugas (buldózer) que trabaja cuesta abajo en la línea de la pendiente. Estos buldózer suelen ser de gran peso y potencia, típicamente de más de 140 CV. Para realizar dos pasadas contiguas el buldózer puede regresar a su posición por pistas y vías o remontar la ladera *marcha atrás*. Idealmente la operación no debe alterar la capa de mantillo ni el suelo mineral. Sin embargo, y dependiendo de la orografía la remoción de suelo es frecuente. Es habitual que, en pendientes pronunciadas, la pala frontal se entierre unos centímetros en el suelo para asegurar la estabilidad. Esto genera desplazamiento de suelo. En este tipo de faenas, Los residuos, se acumulan en fajas perpendiculares a la pendiente bordeando pistas o cursos de agua.

Tras la roza el ahoyado puede ser manual, generalmente con azada, o puede estar facilitado por un subsolado, generalmente en la línea de pendiente pues los buldózer no pueden trabajar con seguridad en pendientes transversales. En suelos poco profundos, sobre roca disgregable y textura medias, el subsolado ejercen efecto positivo sobre la fertilidad, ya que reduce su compactación, mejora el drenaje y aumenta su profundidad útil. Sin embargo, en suelos de textura más pesadas y cuando se realiza en húmedo puede tener efectos contraproducentes, canalizando el flujo de agua y generando cárcavas.

El rendimiento de la faena depende fundamentalmente de la topografía y condiciones de traficabilidad del monte, de numero de pasadas de la máquina y de la pericia del maquinista.

b) Riesgos ambientales. Alteración del suelo y exportación de nutrientes

El periodo entre dos rotaciones sucesivas –ese que va desde la corta hasta la revegetación o cierre de copas de la siguiente plantación– está considerado como el más crítico para la sostenibiidad del suelo en masas gestionadas en régimen de matarrasa (Constantini et al. 1997). Este riesgo de perturbación del suelo tiene que ver con el desplazamiento de suelo en

la construcción de pistas y vias; con la pérdida de la cubierta vegetal –que incrementa el riesgo de erosión– y con la compactación y desplazamiento de suelo, que se produce por tráfico de maquinaria, arrastre de troncos en la saca y perturbación directa del suelo en las labores de roza.

La evaluación de los efectos sobre el suelo de las labores mecanizadas forestales en la CAPV se han centrado básicamente diferentes variantes de roza al aire. Los resultados de investigación que se resumen a continuación muestras que los daños al suelo por determinadas preparaciones mecanizadas del terreno pueden poner en peligro la sostenibilidad del suelo.

- Merino et al. (2004, 1999, 1998) analizaron 21 rodales repoblados en la temporada 1992/1993 con diferentes operaciones de mecanización. Nueve años despues observan que los suelos que fueron sometidos tratamentos mecanizados más intensos (roza y subsolado lineal) muestras diferencias notables en sus propiedades físicas químicas y biológicas cuando se comparan con suelo sin preparación mecanizada. Estas se resumen en la Tabla 1 El otro tratamiento mecanizado, *la roza al aire sin subsolado*, no presenta diferencias estadísticamente significativas con los suelos de preparación manual. Debe considerarse que el diseño del trabajo sólo permite detectar cambios grandes en las propiedades del suelo. Esto es así porque Merino y colaboradores utilizaron, en este estudio, montes de la vida real y no tratamientos experimentales. A pesar de que los diferentes tratamientos se llevaron a cabo en montes diferentes, los resultados son notables y ponen de manifiesto los riesgos de la mecanización forestal inapropiada

  Tabla 1 Variación en parámetros del suelo a medio plazo (9 años) y productividad debido a la mecanización forestal de roza y subsolado lineal, según Merino et al 2004

Parámetro	Variación
Densidad aparente	+17%
Materia Orgánica	-31%
Nitrógeno total	-32%
Azufre total	-25%
Calcio extraíble	-7%
Magnesio extraíble	+15%
Aluminio extraíble	-10%
Suma de Bases	-14%
Carbono biomasa	-43%
Respiración suelo	-22%
N mineralizable (aeróbico)	-39%
Índice Sitio (20)	-17%

  .

- Olariea et al (1999) estudiarón dos parcelas de monte en Amoroto, Bizkaia, sometidas a mecanizción por roza y subsolado lineal. Tomaron muestra de suelo antes de la preparación del suelo y con posterioridad, en intervalos de cuatro meses, durante 3 años.

Tabla 2. Efecto en la propiedades físicas del suelo tres años después de la mecanización en dos montes de Amoroto, según Olarieta el al 1999.

Parámetro	Inicial	Final	Variación
pH	4,2	4,3	2%
Materia Orgánica %	9	2	-78%
Nitrógeno total %	0,5	0,1	-80%
Aluminio meq/100gr	10,7	6,4	-40%
Al sat %	87	91	5%
P ppm	2,9	0,2	-93%
Ca meq/100g	0,5	0,3	-40%
Mg meq/100g	0,3	0,1	-67%
Na meq/100g	0,3	0,1	-67%
K meq/100g	143	58	-59%

La Tabla 2 muestra la variación en las propiedes químicas del suelo, 3 años despues de la preparación, con respecto a la situación inicial. En otro trabajo Olarieta et al. (1999) determina que la roza retrasa la revegetación durante 3 a 4 años al tiempo que aumenta la erodabilidad del suelo, incrementandose de manera notable la tasa de erosión.

- Guzman Ouro et al 2001, muestran como, en suelos ácidos de Galicia, la remoción del mantillo significa una perdida promedio de 59 tons/ha equivalentes de CO_2, así como la elimiación de un 15% de las reservas de Nitrógeno del suelo y un 55% de las reservas de Fósforo disponible.

- Edeso et al. 1997 modelan la erosión con USLE en la cuenca de Santa Lucia en el oeste de Gipuzkoa, concluyen que las labores mecanizadas con roza y subsolado generaría erosiones mayores a 50 tn ha año en un 78% de la cuenca (56% >100 tn ha año) , mientras que ese porcentaje bajaría al 36% en preparaciones del terreno *menos intensas (0,2% > a 100 tn/ha año*). Las estimaciones USLE en terrenos forestales deben analizarse con precaución. Sin tomar en cuenta los valores cuantitiativos obtenidos, es reseñable que la modelización USLE resalta el papel de la preparción del suelo en el riesgo de erosión, que en gran parte de la opiión pública esta sólamente ligado a la corta a hecho.

- Martínez de Arano et al (2005) han analizado el efecto sobre el suelo, el régimen hídrico y sobre el crecimiento de la plantación de diferentes labores mecanizadas (*preparación manual*, *roza*, *roza+ subsolado* y *roza + subsolado discontinuo*) efectuadas con Buldózer en un diseño experimental llevado a cabo en San Cristóbal Zalla. Muestran que las operaciones mecanizadas tiene un efecto muy notable sobre las propiedades fisicoquímicas del suelo y sobre el régimen hídrico y la productividad. Sus resultado, cuatro años después de la mecanización se presentan en la Tabla 3 y en la Figura 1. Los resultados muestran un gran deterioro de la física del suelo, de la capacidad de retención de agua y un aumento muy fuerte de la erosión

(x10) que, sin embargo, está muy lejos de las cifras predichas en modelos de simulación. Esto unido a la pérdida de Materia Orgánica, Fósforo y otros nutrientes explica la menor productividad de los tratamientos *roza* y *roza+subsolado discontinuo*. La mayor humedad estival en los surcos de subsolado parece compensar estos efectos negativos y explica el similar crecimiento en altura de este tratamiento y la *preparación manual* del terreno (**¡Error!No se encuentra el origen de la referencia.**).

Tabla 3. Efecto de la preparación del terreno en parámetros físicos, químicos y biológicos del suelo del suelo (<15 cm.) según Martínez de Arano et al. 2006)

	Manual N=54	**Roza al aire** N=54		**Roza al aire + subsolado** N=54	
	media	Media	Variación	Media	Variación
C org (%)	2,8	1,9	-32%	1,3	-54%
N total	0,2	0,2	0%	0,1	-50%
C/N	15,4	12,4	-19%	10,7	-31%
P-Olsen(mg/kg)	2,2	1,1	-50%	0,7	-68%
Ca (mg/kg)	1129,5	2354,7	108%	1224,2	8%
Mg (mg/kg)	103,5	70,4	-32%	66	-36%
K (mg/kg)	80	50,3	-37%	40,1	-50%
N inor. mg/g	11,81	11,14	-6%	16,85	43%
netNmin (kg/Ha)	1,83	2,34	28%	-9,45	-616%
netPmin (kg/Ha)	-0,27	1,12	-515%	0,41	-252%
Densidad aparente gr/cm3	1,25	1,5	20%	1,49	19%
Resistencia Mpa	1,63	3,73	129%	3,23	98%
Capacidad Campos %vol	36,3	32,83	-10%	31,02	-15%
Punto marchitez % vol	18,41	15,93	-13%	15,64	-15%
Agua útil %vol	17,89	16,9	-6%	15,38	-14%
Conductividad cm h-1	3,79	0,46	-88%	0,98	-74%
Erosión acumulada (año2) ton/ha	0,037	2,213	5881%	3,7185	9950%

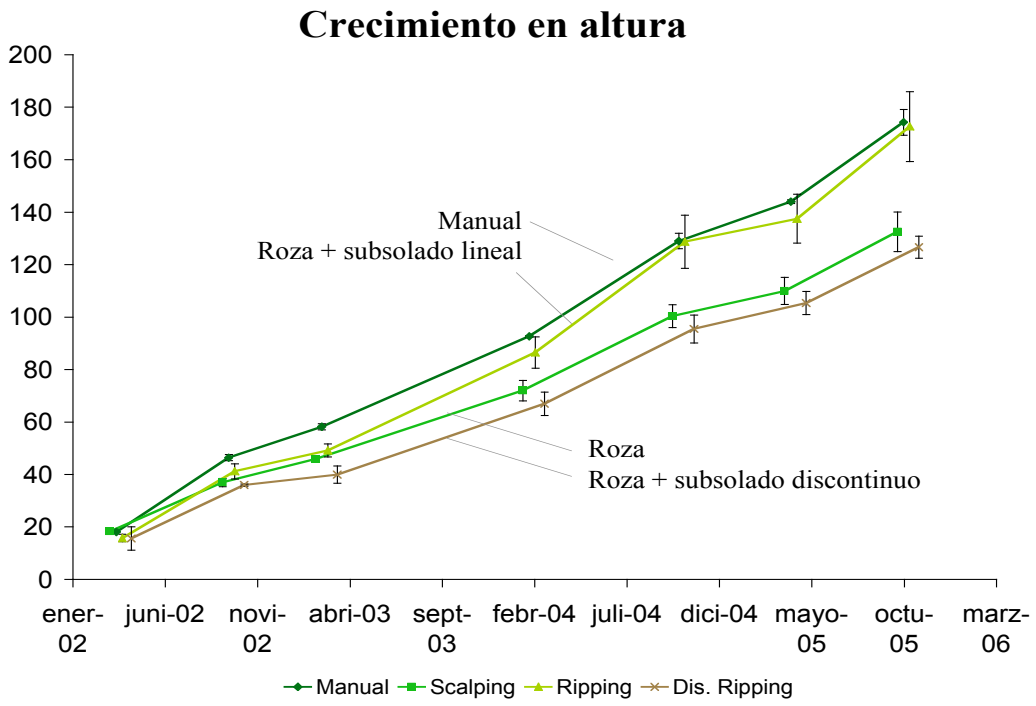


Figura 1. Altura media de las plantas (cm) de *P. radiata* en los primeros años del ensayo de evaluación del efecto de la preparación mecanizada del terreno (Martínez de Arano et al 2006)

c) marco Legal

REGULACION DE LA MECANIZACION FORESTAL EN GIPUZKOA

La ORDEN FORAL de 19 de noviembre de 2002 es específica sobre utilización de maquinaria en el bosque. Contempla que:

> 5- 1 Para la eliminación de restos de vegetación o de corta, ***es recomendable,*** siempre que sea posible, el empleo de máquinas desbrozadoras, bien de cadenas o de martillos, ***por considerarla***s menos impactantes que las máquinas empujadoras o arrastradoras.
>
> 5.2.En ***pendientes superiores al 35%*** se recomienda la utilización de máquinas denominadas retroarañas. ***Cuando no sea posible*** el empleo de estas máquinas y sea precisa la utilización de máquinas empujadoras, éstas deben cumplir las siguientes especificaciones:
>
> - Anchura máxima de pala: 2,5 metros.
> - Peso máximo de la máquina 10 Tm, ejerciendo una presión máxima sobre el terreno de 0,5 Kg/cm^2.
>
> • La pala para no producir arrastres de tierra, deberá estar provista de un mínimo de 6 dientes de sierra o peine. Los dientes tendrán una largura mínima de 20 cm.
>
> 5.3. Cuando sea necesario eliminar brotes de cepa o arbustos gruesos en la preparación del terreno, habrán de ser cortados previamente a la recogida con máquina, **evitando de este modo el destoconado y la alteración del suelo**.
>
> 5.4. El material arrastrado consistente en restos de vegetación o de corta, **deberá depositarse en forma de cordones**, sin afectar a la vegetación de protección de los cauces de agua, ni a los caminos y vías de comunicación.
>
> 5.5. ***Será un indicador de una labor bien ejecutada***, la presencia de restos de vegetación espontánea preexistente y la constatación de que no se ha roto la estructura del suelo y que no se aprecian arrastres de tierra.
>
> 5.6. ***El empleo de maquinaria habrá de limitarse a las épocas en las que las condiciones atmosféricas sean favorables***, de modo que el terreno no se adhiera a las ruedas y cadenas, en evitación de deslizamientos de las máquinas y alteración de los horizontes del suelo.
>
> 5.7. Cuando debido a la pendiente del terreno sea precisa una segunda máquina para sujetar a la que empuja los restos de corta o vegetación, se operará de tal modo que la máquina que empuja no se vea obligada a ***clavar la pala en las maniobras de frenado***, en evitación de arrastres de tierra.
>
> 5.8. En los casos de utilización de máquinas empujadoras, subsoladoras y retroarañas, la empresa autorizada avisará al Guarda Forestal de la zona del comienzo de las labores para comprobar in situ el cumplimiento de las condiciones establecidas

REGULACION DE LA MECANIZACION FORESTAL EN BIZKAIA

EL DECRETO FORAL 52/95 sobre autorizaciones de repoblación, respecto de la preparación del terreno determina, en el artículo 3 que:

a) En **pendientes superiores al 60%** no se utilizará maquinaria

b) En **pendientes entre 60% y 45%** sólo *maquinaria exclusivamente para la realización de hoyos,* pero se permite la limpia mecanizada de forma que en modo alguno se vea afectada la capa superficial del suelo.

c) En **pendientes entre 30% y 45** % se permite el uso de maquinas tipo buldózer y subsolado discontinuo

d) En **pendientes menores al 30%** no hay restricciones

e) No podrá realizarse decapado superficial del suelo.

DECRETO FORAL 13/2005, que regula el régimen de ayudas, establece len el artículo 8 (Título V) las condiciones específicas para la reforestación. Regula el uso de maquinaria tipo buldózer a

a) **pendiente menor al 30**% recogida de restos y subsolado lineal

b) **pendiente ente 30% y 45%** recogida de restos y subsolado discontinuo

c) **pendiente menor al 50%** recogida de restos y ahoyado mecanizado

d) **Pendiente menor al 60%** recogida de restos con cargadora tipo D-4 o rastrillo frontal, nunca con cuchilla frontal.

e) Prohíbe la entrada de maquinaria a menos de 5 m. de arroyos y cursos de agua.

Estas pendientes pueden interpretarse como máximos autorizados pues el DECRETO contempla que en *situaciones climáticas adversas* deben ***restringirse*** estos trabajos para ***evitar totalmente*** la pérdida de suelo y la compactación. Finalmente, en el apartado 6, autoriza la quema de residuos apilados, con autorización previa.

Metodología

Area de Estudio

Se han escogido 15 montes situados en el terrotorio histórico de Bizkaia y sometidos a tres diferentes tipos de operaciones mecanizadas. En todos los casos se trata de situaciones operativas y no de tratamientos experimentales. La relacion de montes es la siguiente :

Tabla 4. parcelas estudiadas

parcela	Lugar	Superficie (ha)	Pendiente	Tipo de mecanización
P1	Etxaso	0,737	10%	Saca
P2	Xaibikolanda	0,5	10%	Saca
P3	Egia	1,45	25%	Saca
P4	Xaibikolanda	0,543	20%	Saca
P5	Autzagane	15	14%	Saca + Roza
P6	Sarasolalde	2,46	10%	Saca + Roza
P7	Etxaso	0,22	10%	Saca + Roza
P8	Astei	1,357	39%	Saca + Roza
P9	Aretxabalagan	0,49	15%	Saca + Roza
P10	SantaLucia	1,189	30%	Saca + Roza
P11	Baluga	3,985	25%	Saca + Roza + Subsolado
P12	Txurierrota	1,448	10%	Saca + Roza + Subsolado
P13	SantaLucia	0,747	46%	Saca + Roza + Subsolado
P14	Txareta	0,62	30%	Saca + Roza + Subsolado
P15	Maiaga	0,368	14%	Saca + Roza + Subsolado

La litología dominante en los montes estudados está formada por estratos alternantes de lutitas y areníscas, con predominio de lutitas, que dan lugar a suelos limo arcillosos. Las propiedades hídricas de estos suelos dependen mucho de su porosidad secundaría, esto es de su estructura y grado de agregación, por lo que son relativamente sensibles a los daños por pertubación física. La figura de la izquierda presenta la posición de algunas de las parcelas estudiadas en el triangulo textural.

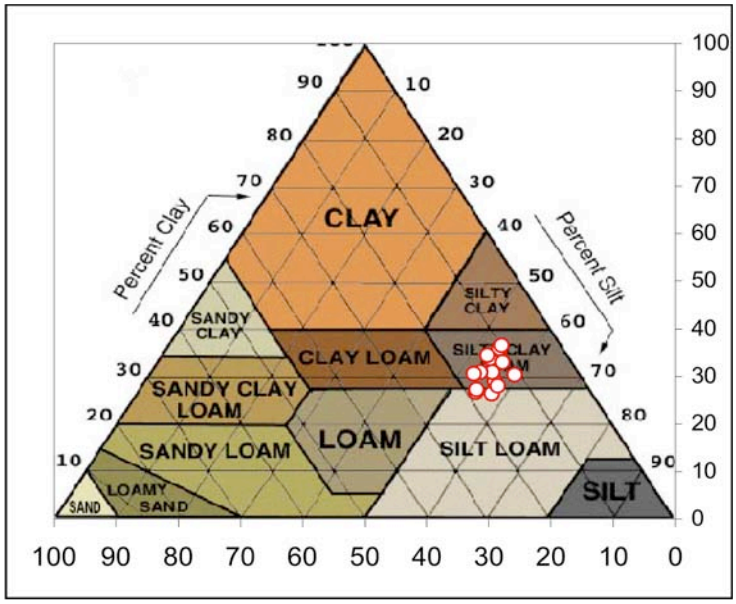


Figura 2. Textura de los suelos de las parcelas estudiadas

La evaluación de la perturbación al suelo

La mayor parte de los trabajo referidos con anterioridad, buscan medir el efecto de distintos tipos de faenas sobre parámetros físico-químicos del suelo. Esto es costoso en tiempo y dinero, y poco adecuado para una evaluación rutina. Además, puesto que la parcela es considerada como un todo, no es posible determinar la contribución relativa de diferentes tipos de perturbaciones.

Para superar esas dos limitaciones, en este trabajo se ha adaptado a la realidad de País el protocolo de evaluación de la perturbación al suelo del Código de Buenas Prácticas Forestales de la Columbia Británica. El método consta de tres pasos

Superficies de servidumbre y ocupadas por infraestructuras no reforestables

Se trata de determinar la superficie sujeta a servidumbres (en zona riparia, bajo línea de alta tensión, cortafuegos …) así como aquella ocupada por infraestructuras tales como pistas de saca que no se consideran reforestables sin rehabilitación.

En el caso de infraestructuras lineales se miden *in situ* la longitudes ocupadas por cada una de ellas y se mide su ancho en, por lo menos 10 puntos a intervalos regulares. En el caso de vías excavadas el ancho incluye el talud cuando este no ha sido reforestado Figura 3.

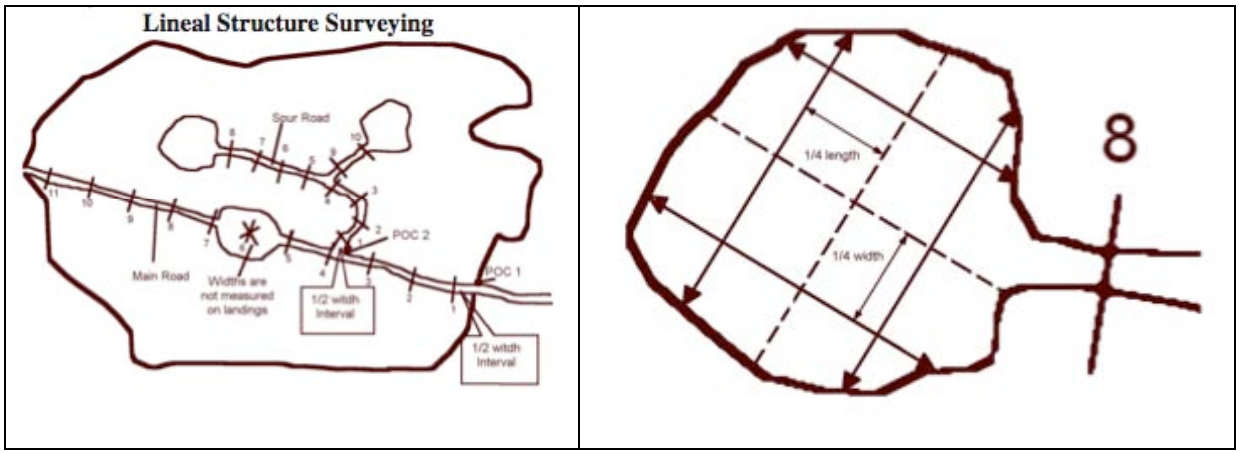


Figura 3. Evaluación de la superficie ocupada por infraestructuras lineales (izda) y no lineales (dcha). Tomado de B.C. Ministry of Forests. 2001

La estructuras no lineales son fundamentalmente a parques de madera donde la maquinaria ha operado intensamente. Esta áreas extremadamente compactadas no son reforestables sin rehabilitación. La superficie ocupada en estas áreas, si están presentes, se evalúa estimando la superficie de cada una de ellas, a partir de cuatro mediciones perpendiculares.

d) Definición de categorías y tipos de alteración

Las alteraciones al suelo se han agrupado en categorías, modificando para ello las propuestas B.C. ministry of Forests (2001) teniendo en cuenta las observadas en las plantaciones forestales del País Vasco. Las diferentes alteraciones identificadas son producidas en diferentes operaciones o por diferentes partes de la maquinaria empleada. Tienen también diferentes implicaciones para la conservación de la fertilidad del suelo. Los tipos de alteración se presentan en la Tabla 6 y se Definen en la Tabla 7.

Tabla 4 Categorías y tipos de alteración contempladas

Clase Alt	Código	Alteración
1_Inalterado	No	Inalterado
	Ts	Tocón in situ
	Ho	Hoyo de plantación
	Se	Sendero
2_Perdida Mantillo	B	Calva Grande
	M	Calva pequeña
	Mp	Calva muy Pequeña
3_Huellas	H	Huella Profunda
	G	Huellas Superficial
4_Areas Compactadas	A	Area compactada ancha
	C	Area compactada estrecha
5_Decapados	D	Decapado profundo
	W	Decapado Ancho
	L	Decapado Largo
	S	Surco Subsolado
6_Suelos Desplazado	E	Suelo Desplazado
	N	Caballón subsolado
	Ch	Caballón
	T	Tocones removidos
	Ro	Afloramiento Rocoso
7_Otras	I	Restos Quemados
	Ca	Cárcavas
8_Sin evaluación	R	Restos Cosecha Apilados
	K	Resto Cosecha Filas
	Roc	Rocosidad
	X	Sin evaluación

Estas alteraciones pueden identificarse en campo visualmente, o con ayuda de un penetrómetro de bolsillo que, tras calibrarse previamente en suelo inaltedado, permite idenrificar las zonas compactadas. La perdida de mantillo es un tipo de alteración que puede superponerse fácilmente a otras alteraciones. Por ello se registra en todos lo casos. La clase de alteración “pe´rdida de mantillo” se aplica cuando es la única alteración identificable en un punto de muestreo determinado.

Tabla 5 Definición de los tipo de alteración

Nombre	**Características**
Calva grande (B)	Remoción del mantillo en el punto de muestreo y del 80% en un área de 3x3m Se considera remoción del mantillo cuando el suelo mineral subyacente está expuesto como resultado del la realización de calvas, decapado o quema y el suelo mineral está cubierto de: a) Restos de madera pequeña, acículas sin descomponer, madera en estado de descomposición desplazada de otro lugar b) Mantillo traído de otro lugar que tiene menos de la mitad de profundidad que el mantillo del suelo no perturbado No se considera remoción del mantillo: a) Mantillo intacto con raíces creciendo en él b) Combinación de suelo mineral y mantillo cuando sea una técnica de preparación del terreno prescrita (el mantillo combinado es una capa superficial no compacta de 5 cm de profundidad compuesta al menos del 50% de mantillo). c) Suelo mineral expuesto rehabilitado con mantillo en el que éste tiene una profundidad superior al 50% de aquél del suelo no perturbado y con sus mismas características.
Calva mediana (M)	Áreas donde el mantillo ha sido removido en el punto y en un 80% de un área de 1,8x1,8m Se deben considerar como perturbación en lugares con las siguientes características: a) Lugares con alto riesgo de desplazamiento del mantillo. b) Lugares con alto riesgo de compactación. c) Lugares con alto riesgo de erosión. d) Lugares en los que es posible que haya corrimientos de tierra.
Calva pequeña (Mp)	Áreas donde el mantillo ha sido removido en el punto y en un 80% de un área de 0,5x0,5m Se deben considerar como perturbación en lugares con las siguientes características: a) Lugares con alto riesgo de desplazamiento del mantillo. b) Lugares con alto riesgo de erosión.
Huellas de Maquinaria	
Huellas profundas (H)	Rodadas. Anchura ≥ 30cm. Longitud ≥ 2m. 2 profundidades 5cm y 15 cm. En suelos frágiles: Rodadas con profundidad de 5 cm medidos desde el comienzo del suelo mineral hasta el punto más profundo de la rodada en toda la longitud de la misma En otros suelos: Rodadas con profundidad mínima de 15 cm medidos desde el mantillo hasta el punto más profundo de la rodada en toda la longitud de la misma.
Huellas superficiales (G)	Rodadas. Anchura ≥ 20 cm. Longitud ≥ 2 m. Marcas del paso de maquinaria sobre el suelo mineral en el punto de observación con profundidades inferiores a los 5 cm medidos desde el comienzo del suelo mineral y presencia de compactación debida al pase de la máquina. Las huellas de maquinaria visibles sobre el mantillo se computan si la superficie del suelo mineral aparece compactada.

Tabla 8 (continuación**)**

Areas compactadas	
Areas compactadas anchas (A)	Compactación en un área (100%) que es ≥ 100 m^2 y ≥ 5 m de anchura. La compactación se estima en comparación con el suelo no perturbado: Pérdida de la estructura evidente en el suelo no perturbado. Cambio notable en la densidad aparente. Con similar contenido de humedad: a) Resistencia diferente cuando se intenta clavar una pala. b) Resistencia diferente cuando un bloque de 2,5 cm de grosor se rompe entre el índice y pulgar. Depósitos compactados de mantillo, restos de ramas, parcialmente enterradas e incrustadas en el suelo mineral debido al continuo pase de máquinas y que no pueden sacarse fácilmente con una pala. Utilización del penetrómetro (110% con respecto a suelo no perturbado. 25 pinchazos)
Áreas compactadas estrechas (C)	El punto de observación muestra evidencia de compactación (medida como antes) en un 100% de un rectángulo de 1x2m. En suelos con muy bajo peligro de compactación no debe contarse como perturbación del suelo.
Decapados	
Decapados profundos (D)	Excavaciones en el suelo mineral con una profundidad ≥ 30cm o hasta la roca subyacente, medido desde el comienzo del suelo mineral.
Decapados largos (L)	Excavaciones en suelo mineral con una profundidad ≥ 5cm en el punto de muestreo y ≥ 5cm o hasta la roca subyacente al menos en el 80% de un área de 1x3m, medido desde el comienzo del suelo mineral.
Decapados anchos (W)	Excavaciones en suelo mineral con una profundidad ≥ 5cm en el punto de muestreo y ≥ 5cm o hasta la roca subyacente al menos en el 80% de un área de 1,8x1,8m, medido desde el comienzo del suelo mineral.
Surcos de subsolado (S)	El punto de observación se localiza sobre un surco de subsolado. Se mide, además, la profundidad máxima del surco bajo la línea del transecto, la anchura perpendicular al surco en el punto de observación y la pendiente sobre la horizontal en la línea de transecto.
Suelos desplazados	
Suelos desplazados (E)	Acumulaciones de suelo desplazado de otro lugar y depositadas sobre el punto de evaluación con características (color, estructura, textura...) diferentes al horizonte superficial original que se sitúa a ≥ 3 cm de profundidad y en un 90% de un rectángulo de 1x2m
Caballón de subsolado (N)	El punto de observación se localiza sobre un caballón de subsolado. Se mide, además, la altura máxima del caballón bajo la línea del transecto, la anchura perpendicular del mismo en el punto de observación y la pendiente sobre la horizontal en la línea del transecto.
Tocones desplazados (T)	Tocones desenraizados en el punto de observación o en una superficie de 3m de radio alrededor del punto de observación.
Afloramiento rocoso (Ro)	Afloramientos de rocas de tamaño moderado como consecuencia de la acción del ripper en suelos poco profundos sobre rocas sedimentarias, no altamente disgregables.
Otras	
Cárcavas	El punto de observación cae en una cárcava más de 10 cm de anchura y más de 2 metros de longitud
Restos quemados	El punto de observación esta cubierto por restos parcial mente quemados, o presenta evidencias de fuego en el 80 % de un área de 1,8 x 1,8 m. Cuando no ha sido prescrita, la quema de restos de cosecha y preparación del terreno debe considerarse como una alteración.

Tabla 5 (continuación)

Sin evaluación	
X	Punto que no se han evaluado por cualquiera sea la razón
Desechos en pilas (R)	Cuando la acumulación de desechos en pilas no deja evaluar el punto de o observación
Desechos en fajas (K)	Cuando la acumulación de desechos en fajas no deja evaluar el punto de o observación
Rocas (Roc)	El punto de observación cae sobre un afloramiento rocoso natural

e) Evaluación en campo de las alteraciones

Una vez definidas los tipos de alteración, se puede evaluar la superficie relativa que ocupa cada una de las alteraciones. Para ello, se realiza un muestreo sistemático en un numero de puntos suficientemente alto. Para ello, se establecen transectos paralelos a lo largo de los cuales se evalúa la presencia de alteraciones en puntos separados a intervalos regulares. La distancia entre transectos y entre puntos de evaluación depende de las superficie del rodal. En este caso se han evaluado entre 100 y 200 puntos por rodal. En rodales de mayor tamaño puede ser recomendable evaluar más puntos. El inicio de la evaluación siempre ha sido en borde del rodal, con los transectos orientados de manera perpendicular a la línea de máxima perturbación, (normalmente coincide con la línea de máxima pendiente). En Cada punto de evaluación se determina si ha sido alterado en alguna de las categorías pre-establecidas. Además se anota la presencia o ausencia de mantillo. Cuando no es posible determinar la presencia o ausencia de alteraciones (un apilamiento de residuos impide ver el suelo, por ejemplo) el punto se marca como *no evaluado*.

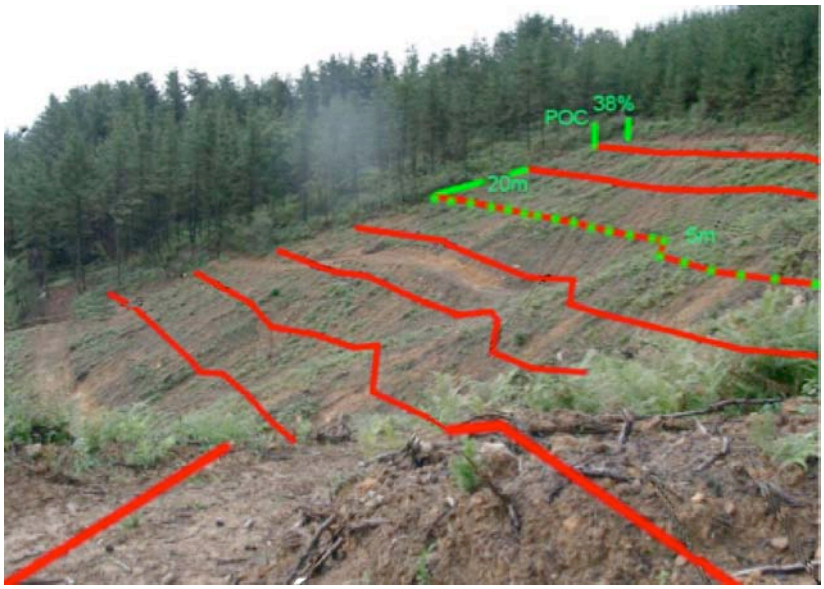


Figura 4 Disposición de los transectos (líneas rojas) perpendiculares a la orientación de la perturbación predominante y puntos de evaluación de la perturbación (en verde). Este método permite evaluar con precisión la presencia de alteraciones.

La superficie relativa ocupada por cada tipo de alteración se corresponde al porcentaje de puntos que presentan esa alteración entre el total de puntos correctamente evaluados. Este porcentaje de superficie es también la probabilidad de encontrar una alteración determinada. Dado que para cada alteración y en cada punto, existen sólo dos posibles respuestas (presente o ausente), se pueden calcular los intervalos de confianza para la frecuencia relativa de cada alteración en base a la distribución binomial.

Para cada rodal es posible crear un único indicador de alteración sumando todas la alteraciones, con o sin ponderar su severidad.

f) Validación en laboratorio de las Alteraciones

las categorías y tipos de alteración se identifican visualmente. Para validar la clasificación visual y para determinar el impacto de cada tipo de alteración en la sostenibilidad, se ha diseñado un muestreo estadístico en *pseudoréplicas*. Esto es, para cada una de las alteraciones significativas se han escogido 3 localizaciones aleatorias en las que se han tomado tres muestras para la determinación de parámetros físicos (densidad aparente, porosidad total, conductividad hidráulica saturada) así como químicos (materia orgánica, nitrógeno total y proporción C/N).

Resultados

Superficie ocupada por alteraciones

La superfice ocupada por alteraciones se presenta en Figura.

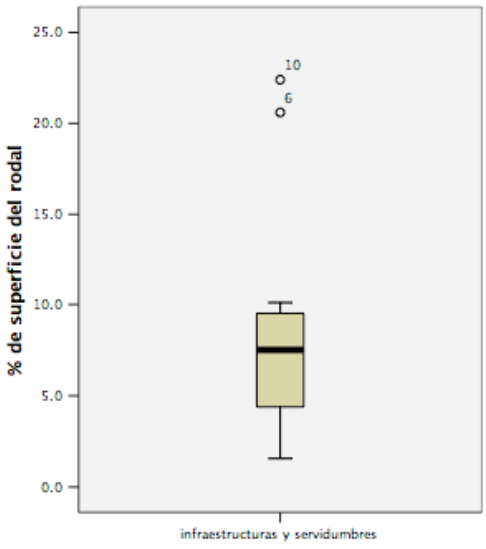


Figura 5 Superficie ocupada por pistas.

Un detalle de estas superficies se presenta en la tabla que sigue.

g) Pérdida de mantillo en faenas forestales mecanizadas

Las labores de saca con arrastrador han eliminado el mantillo en alrededor de un 20% de la parcela. Las labores con buldozer eliminan el mantillo en un 30% adicional, mientras que el subsolado posterior a la roza lo ha hecho en otro de otro 20% de la parcela. Se aprecia que la mecanización más intensa elimina el mantillo de manera casi completa.

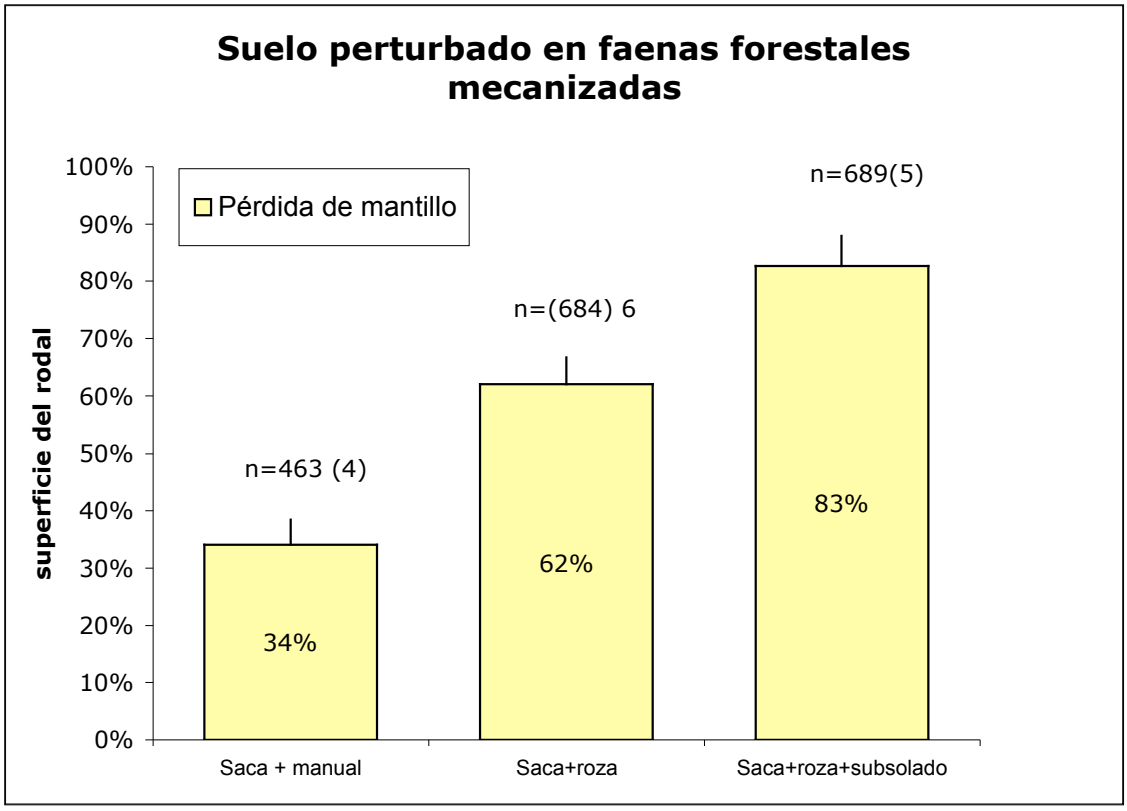


Figura 6. Perdida de mantillo, en porcentaje de la superficie de la parcela sin mantillo, en los tres tipos de faenas mecanizadas. Encima de las barras se presenta el número de puntos de muestreo y entre paréntesis, el número de parcelas .

La pérdida de mantillo tiene que ver con el arrastre de troncos y con las pasadas de la pala frontal del buldozer. Es un indicador de la intensidad de trafico en estos tipos de faenas. Su relevancia radíca en lque junto al mantillo se pierde un cierto de stock de elementos nutricionales. Además el mantillo tiene un efecto protector de las superfice del suelo frente al i mpacto de las gotas de agua, por lo que reduce la erosión del suelo. Además el mantillo puede contribuir a reducir la compactación por tráfico posterior de maquinaria.

h) Extensión y tipología de la perturbación al suelo

La tabla y la figura siguientes presentan las perturbaciones encontradas en los montes analizados.

Tabla 6. Principales tipos de perturbación al suelo encontrados en los montes analizados. Entre paréntesis aparece el intervalo de confianzaal 90% obtenido a partir de la distribución binomial.

parcela	tratamiento	Total %	Sin mantillo %	Compacta. %	Huellas %	Decapados %	Calvas %	S. Desplaza. %
P1	S	40 (35-47)	44 (38-50)	9 (6-13)	20 (16-25)	4 (2-7)	0 (0-2)	14 (11-19)
P2	S	38 (31-48)	31 (24-40)	4 (2-9)	7 (4-14)	0 (0-4)	0 (0-4)	27 (19-35)
P3	S	21 (18-25)	22 (19-26)	12 (10-15)	6 (4-8)	1 (1-3)	0 (0-1)	3 (2-5)
P4	S	41 (33-48)	40 (33-48)	7 (3-11)	11 (7-16)	4 (2-9)	0 (0-3)	19 (14-26)
P5	S+R	47 (41-53)	57 (51-63)	29 (23-35)	6 (3-9)	10 (7-15)	0 (0-2)	8 (5-12)
P6	S+R	55 (48-61)	49 (42-56)	33 (27-40)	20 (14-25)	10 (7-15)	0 (0-2)	0 (0-2)
P7	S+R	75 (69-79)	73 (67-78)	14 (10-18)	37 (31-42)	1 (0-3)	4 (3-8)	20 (15-25)
P8	S+R	74 (69-79)	70 (65-75)	12 (8-15)	28 (24-34)	18 (14-22)	8 (5-11)	12 (8-15)
P9	S+R	59 (53-65)	47 (41-53)	39 (32-44)	11 (8-15)	1 (0-2)	1 (1-4)	8 (5-12)
P10	S+R	83 (79-87)	77 (72-81)	19 (16-24)	27 (23-32)	5 (4-9)	7 (5-10)	16 (13-21)
P11	S+R+S	87 (84-90)	91 (89-93)	24 (21-28)	15 (13-19)	18 (15-21)	10 (8-13)	35 (31-39)
P12	S+R+S	75 (70-80)	75 (71-81)	22 (18-28)	13 (10-18)	19 (16-25)	6 (4-10)	19 (15-24)
P13	S+R+S	97 (95-99)	97 (95-99)	14 (10-19)	4 (2-8)	35 (30-42)	17 (13-22)	49 (43-56)
P14	S+R+S	81 (77-85)	85 (82-89)	27 (23-33)	2 (1-5)	18 (15-23)	18 (14-23)	21 (17-26)
P15	S+R+S	62 (56-69)	64 (58-71)	13 (10-19)	1 (1-4)	40 (34-47)	3 (2-7)	16 (12-22)

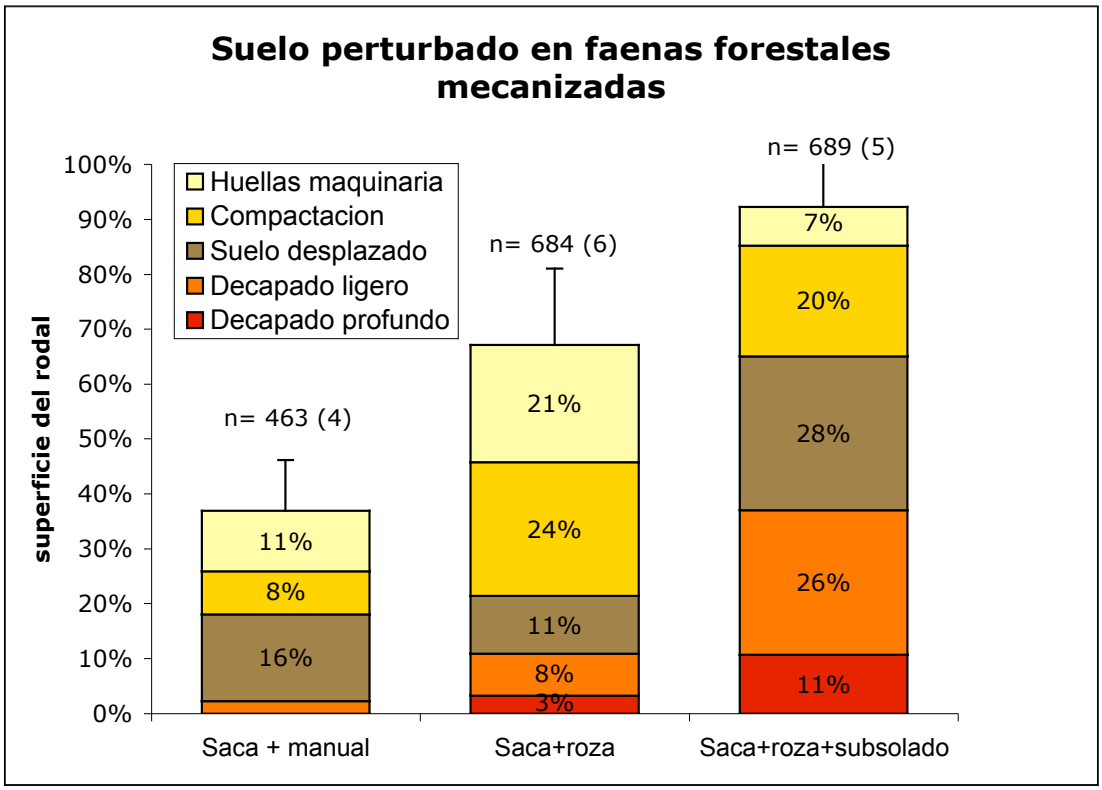


Figura 7 perturbación al suelo, en porcentaje de la superficie de la parcela, en los tres tipos de faenas mecanizadas. Encima de las barras se presenta el número de puntos de muestreo y entre paréntesis, el número de parcelas .

Las diferencias cualitativas en las alteraciones se aprecian mejor en la siguiente figura. Se aprecia que la saca con arrastrador produce , en proporción, más suelos despalzados : La roza produce mucho suelo compactado yun 16% de decapados. El subsolado posterior incrementa nuevamente el volumen de suelo despalzado y eleva los decapados hasta el 38% del total de alteraciones.

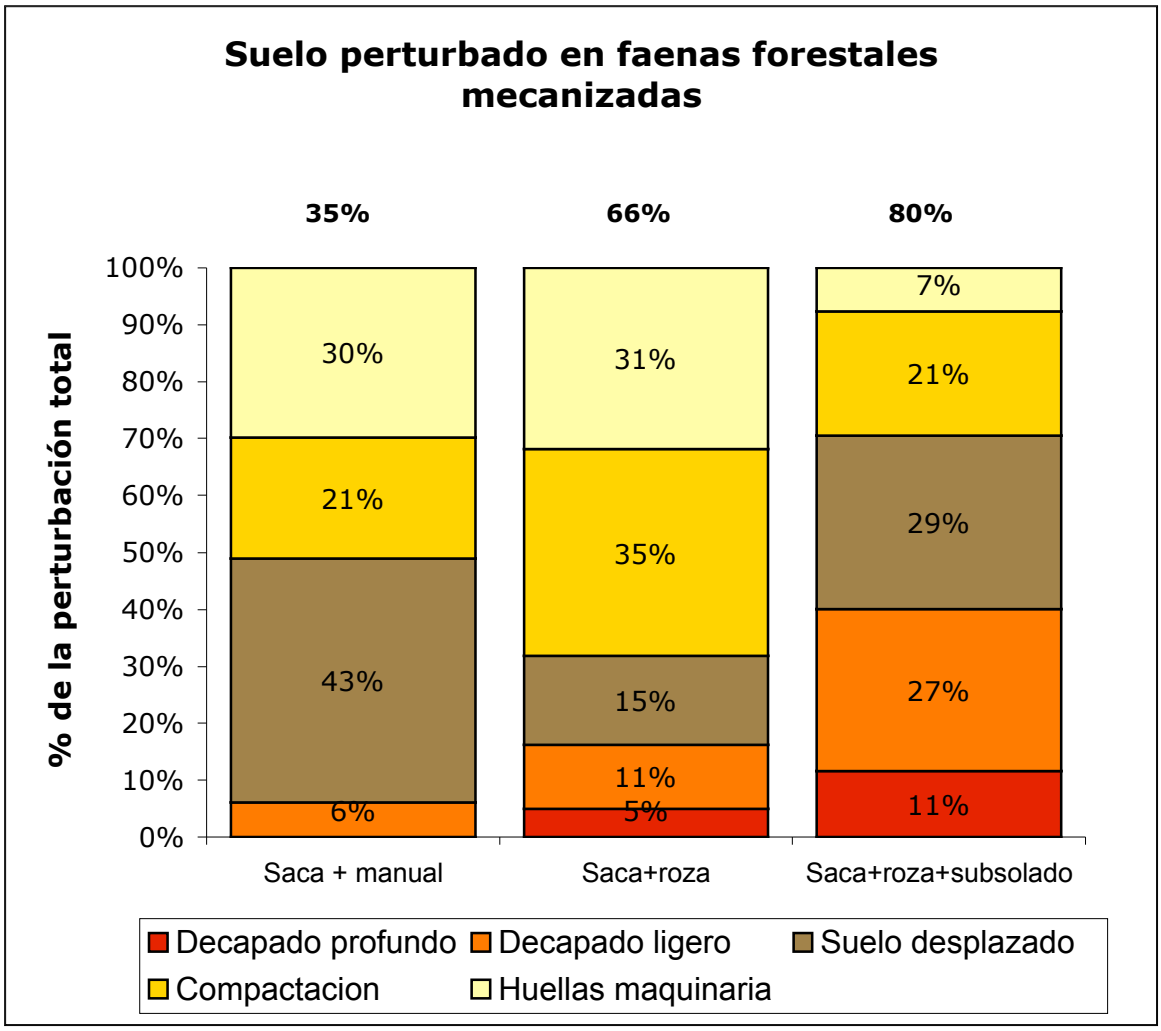


Figura 8. Diferencias cualitativas en la proporción de las alteraciones. Encima de cada barra aparece la pertubación total media del tratamiento.

i) Validación de las alteraciones

Perdida de mantillo.

La perdida de mantillo, supone pérdidas de stocks de nutrientes. En la siguiente tabla se presentan estos stocks, según se han medido en la Red de Parcelas de FORSEE. Además se presetan las remociones que se generan en los diferentes tratamientos, atendiendo a los valores de pérdida de mantillo registrados en los transectos de evaluacióin.

Cabe señalar que las pérdidas de fósforo equivalen al contenido de 50kg/ha de Superfosfato 18%. Esto es cerca del 20% de la dosis que suele aplicarse en el establecimiento.

Tabla 7. Stocks de mantillo y pérdiads de elemetnos nutricionales por su remoción en faenas mecanizadas. Basado en 11 parcelas adultas de Pino radiata en la cuenca del Ibaizabal.

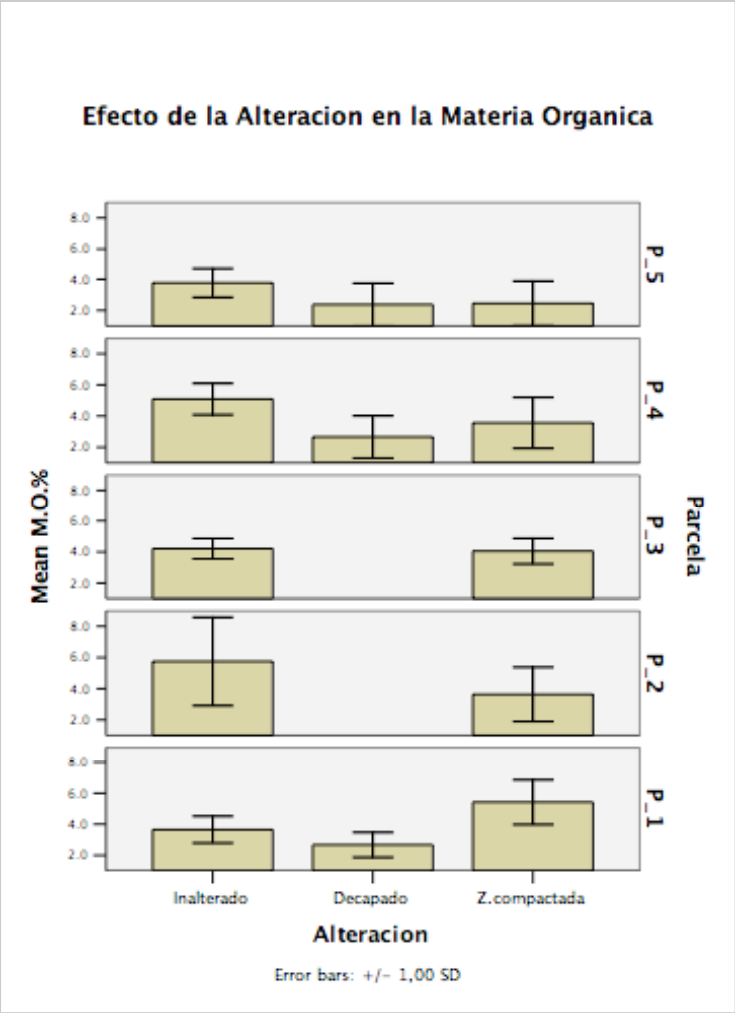
	stock total	**Perdida saca**	**Perdida saca +roza**	**Perdida saca+roza+subsolado**
Biomasa Mg /ha	6,51	2,2	4,0	5,4
Carbono Mg/ha	3,24	1,1	2,0	2,7
Nitrógeno kg/ha	79,87	27,2	49,5	66,3
Fósforo kg/ha	4,23	1,4	2,6	3,5
magnesio Kg/ha	7,50	2,6	4,7	6,2
Potasio Kg/ha	20,84	7,1	12,9	17,3

Perdida de materia Orgánica

La siguiente tabla presenta la concentración media de Materia Orgánica en los primeros 10 cm. de suelo sometido a distitnas perturbaciones. Cada valor representa nueve muestra mezcla recogidas en nueve puntos de cada parcela donde se presentaba cada categoría de alteración.

Tabla 8. Contentración de **Materia Orgáncia** (%) en los primeros 10 cm de suelo, según tipo de alteración.

	Inalterado		**Decapado**		**Z.compactada**		**Calva ancha**	
	media %	desv. est.	media %	desv. est.	media %	desv. est.	media %	desv. est.
P13	5,09	1,0	2,66	1,4	3,56	1,6		
P6	5,74	2,8			3,63	1,7	3,68	1,0
P9	4,21	0,7			4,05	0,8	4,89	0,7
P11	3,65	0,9	2,67	0,8	5,42	1,4		
P10	3,77	0,9	2,37	1,4	2,45	1,4		
Total	4,54	1,7	2,52	1,2	3,59	1,7	4,28	1,1



La Figura 9 de la Iquierda se ha construído con esos mismos datos. La Tabla inferior reprenta la variaciones en concentración de carbono en términos relativos.

Como se aprecia esto representa pérdida de concentración de carbono que van del 45% en suelos decapados, al 6% en suelos donde sólo se parecia remoción de mantillo, pasadno por21% en suelos compactos, que suele tener algún nivel de decapado superficial. El aumento de la concentración de carbono en algunas parcelas puede deberse a una combinación de desplazamiento de suelo, seguido de compactación.

Figura 9. Materia Orgáncia en los suelos con distinta alteración.

Puesto que las alteraciones producen cambios simultáneos en la densidad aparente, es necesario tener este hecho en cuenta a la hora de calcular las variaciones en los stocks del suelo superficial y del suelo subsuperficial.

Tabl 9. **Concentración relativa de Carbono** según el tipo de alteración producido en faenas mecanizadas.

	Intalterado	Decapado	Z. Compactada	Calva ancha
P13	100%	52%	70%	
P6	100%		63%	64%
P9	100%		96%	116%
P11	100%	73%	148%	
P10	100%	63%	65%	
Total	100%	55%	79%	94%

La denisdad aparente es una medida de la porosidad del suelo y depende, básicamente de la textura, del contenido de materia orgánica y de la estructura o grado de agregación del suelo. En un suelo sometido a mecanización evidencia la compactación y la perdida de suelo superficial (esto es, de suelo rico en materia orgánica).

Los valores de densdiad aparente en diferentes tipos de alteración se presentan en la siguiente tabla. Las densidades aparentes mayores a 1,4 pueden considerarse elevadas. Las densidades aparentes mayores a 1,5 son limitantes para el desarrollo radicular.

Tabla 10. Densidad Aparente (g/cm3) en los primeros 5 cm de suelo, según tipo de alteración

	Inalterado		**Decapado**		**Z.compactada**		**Calva ancha**	
	media	desv. est.	media	desv. est.	media	desv. est.	media	desv. est.
P13	0,94	0,1	1,29	0,1	1,27	0,1		
P6	1,02	0,2			1,31	0,2	1,29	0,1
P9	1,06	0,1			1,19	0,2	1,18	0,1
P11	1,10	0,1	1,20	0,1	1,35	0,1		
P10	1,25	0,1	1,49	0,2	1,49	0,1		
Total	1,06	0,1	1,37	0,2	1,35	0,2	1,23	0,1

Tabla 11. Variación relativa en Densidad Aparente en los primeros 5 cm de suelo, según el tipo de alteración identificada. Se aprecia que las remociones de mantillo (calvas) suelen ir acompañadas de compactación.

	Intalterado	**Decapado**	**Z. Compactada**	**Calva ancha**
P13	100%	137%	135%	
P6	100%		129%	127%
P9	100%		112%	111%
P11	100%	109%	123%	
P10	100%	119%	119%	
Total	100%	129%	127%	116%

Resistencia a la penetración

La resistencia a la penetración está influída por la textura, el contenido de materia orgánica, la estructura y grado de compactación del suelo y por la humedad del suelo. Para cada parcela se midieron en un mismo día, por lo que las diferencias en resistencia la penetración tienen que ver con compactación producida por tráfico de maquinaria.

Tabla 12. Resistencia a la penetración (MPa) en los primeros 15 cm de suelo, según tipo de alteración

	Inalterado		**Decapado**		**Z.compactada**		**Calva ancha**	
	media	desv. est.	media	desv. est.	media	desv. est.	media	desv. est.
P13	0,94	0,1	2,18	0,5	2,08	0,1		
P6	1,08	0,1			2,58	0,3	2,27	0,4
P9	1,57	0,4			2,14	0,4	2,26	0,5
P11	2,52	0,5	4,52	0,3	4,53	0,5		
P10	1,63	0,6	3,78	1,1	3,18	1,4		
Total	1,54	0,7	3,56	1,2	2,95	1,2	2,27	0,4

Se aprecia que las variaciones en resistencia a la penetración siguen un patrón similar a las variaciones en densidad aparente. Sin embargo, parece responder más a las perturbaciones pues, como se aprecia en la tabla inferior, las variación observada por alteración esta en el orden de x2, frente a un factor de x1,3 en el caso de la densidad aparente. Además es mucho más sencilla y económica de medir.

Tabla 13. Variación relativa en Resistencia a la penetración (% respecto del inalterado) Aparente en los primeros 15 cm de suelo, según el tipo de alteración identificada. Se aprecia que las remociones de mantillo (calvas) suelen ir acompañadas de compactación

	Intalterado	**Decapado**	**Z. Compactada**	**Calva ancha**
P13	100%	233%	222%	
P6	100%		239%	211%
P9	100%		137%	144%
P11	100%	179%	180%	
P10	100%	232%	195%	
Total	100%	231%	191%	147%

Conductividad hidráulica

La conuctividad hidraulica es una propiedad fundamental de los suelos, que determina su participación en el ciclo hidrológico. Condiciona, por una lado la humdad disponible para las raíces. Por otro lado, determina, la capacidad cantidad de escorrentía que se produce y por lo tanto tiene mucho que ver con la erodabildiad del suelo y con las exportaciones de sedimentos en eventos de precipitación. Las siguientes tabla y figura recogen los valores de conductividad hidraúlica saturada, medidos en un permeametro de laboratorio, de los suelos sometidos a distintos tipos de alteración.

Tabla 14. Conductividad hidraulica saturada (K, cm h^{-1}) de los primeros 5 cm de suelo, según tipo de alteración.

	Inalterado		Decapado		Z.compactada		Calva ancha	
	media	desv. est.	media	desv. est.	media	desv. est.	media	desv. est.
P13	4,85	1,5	0,36	0,9	0,24	0,2		
P6	1,50	0,9			0,77	1,1	0,30	0,3
P9	2,88	1,8			0,19	0,3	0,69	0,6
P11	3,39	1,2	0,49	0,4	0,59	0,4		
P10	3,78	0,9	0,96	0,8	0,47	0,5		
Total	3,24	1,7	0,69	0,8	0,46	0,6	0,50	0,5

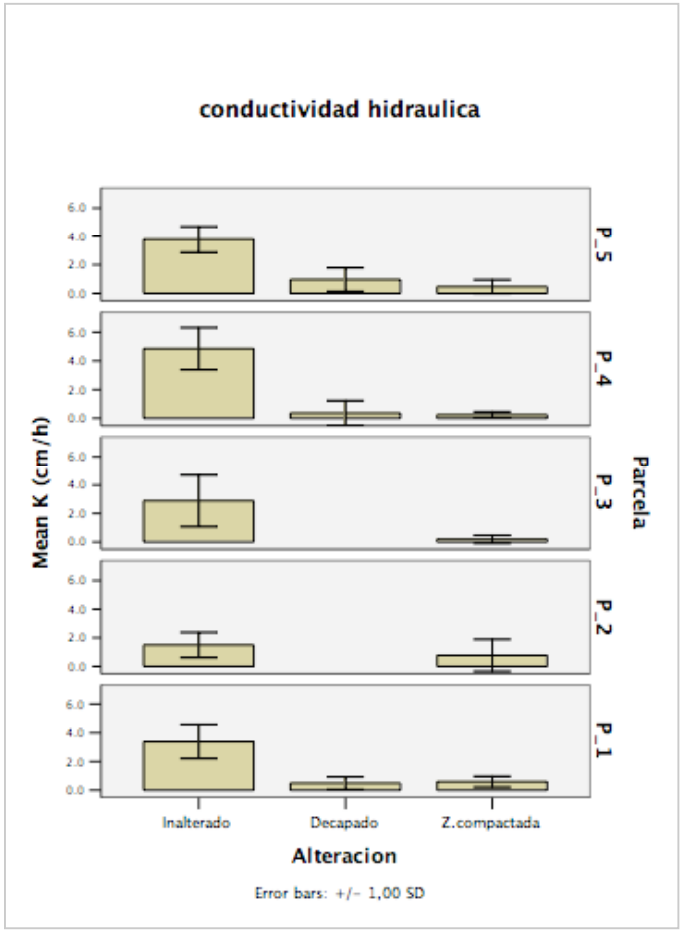


Figura 10. Conductividad hidráulica en suelos intalteradosy suelos sometidos a diferentes alteraciones, por mecanización de faenas.

Como se aprecia en la siguiente tabla, la conductividad hidraulica sisminuye de manera radical, lo que indica que se ha producido una gran alteración de la estructura del suelo. El hecho de que estos cambios son mucho más notables en este parámetro que en la densidad aparente, indica que se ha producido una profunda reordenación de la porosidad, con perdida de macroporos en favor de microporos de muy baja conductividad.

Estos cambios en la conductividad hidráulica deben tener drámaticos efectos en la tasa de escorrentia y en al erosión.

Tabla 15. Variación relativa en Conductividad hidraulica (%) en los primeros 15 cm de suelo, según el tipo de alteración identificada. Se aprecia que este parámetros responde de una manera muy notable a la perturbación física del suelo, al menos en estas texturas franco arcillo limosas.

	Intalterado	Decapado	Z. Compactada	Calva ancha
P13	100%	7%	5%	
P6	100%		52%	20%
P9	100%		7%	24%
P11	100%	14%	17%	
P10	100%	25%	12%	
Total	100%	21%	14%	15%

Conclusiones

(1) La saca con arrastrador perturba hasta un 30 % de la superficie del rodal, produciendo principalmente zonas compactadas y desplazamiento de suelo en las zonas de arrastre de troncos.

(2) La preparación del terreno con buldozer producen una perdida casi total de la capa de mantillo. Esto supone remoción de stocks de nutrientes y mayor riesgo de erosión.

(3) La preparación del terreno con buldozer produce un alto nivel de alteración al suelo, que afecta a entre el 60 % y el 80% la superfice. Las alteraciones principales son decapados, compactación y desplazamiento de suelo. Estas alteraciones son más frecuentes cuando la roza es seguida de un subsolado.

(4) Las identificación visual de las perturbaciones al suelo se ha validado con determianciones analíticas que muestran variaciones significativas entre alteraciones en la mayor parte delos casos. Sólo en algunas ocasiones, la *remoción de mantillo* a mostradovariaciones en parámetros físicos del suelo comparables a los de *zonas compactadas*.

(5) Las áreas decapadas, que pueden representar hasta un 40% de la superfice del rodal, presentan un perdida de carbono del 45%, un aumetno de las densidad aparente del 30% un aumento de la resistencia a la penetración del 130% y una pérdida de conductividad hidráulica del 80%.

(6) La áreas compactadas presentan una pérdida del 20% en carbono, un incremento den desindad aparente del 30%, un aumento de la resistancia a la penetración del 90% y una pérdida de conductividad hidraulica del 86%

(7) La alteración más leve identificada, la *remoción de mantillo* o *calva* presenta, en promedio, perdida de carbono del 6%, aumento de la densidad aparente del 16%, aumento de la resistencia a la penetración del 47% y pérdidad de conductividad hidráulica saturada del 85%.

(8) La normativa vigente en la zona piloto del Ibaizabal permite la utilización de técnicas de preparación del terreno que generan alteraciones severas al suelo

(9) Es necesario cuantificar la superficie sometida a distintos tipos de mecanización, así como describir sus alteraciones en diferentes situaciones (tipo de suelo y estado de humedad) para poder construir un indicador efizaz de gestión sostenible del suelo forestal.

Bibliografía

B.C. Ministry of Forests. 2001. Soil Conservation Surveys Guidebook. 2nd ed. Forest Practices Code of British Columbia Guidebook. Victoria. Canada. 63 pp.

Constantini, A. Grimmet, J.L. 1997. Towards sustainable management of forest plantations in South-east Queensland: I. logging and understorey residue management between rotations in steep country *Araucaria cunninghamii* plantations. Australian Forestry. 60: 213-225.

Horswell, M & Quinn, N. 2003. Minimising sediment delivery to rivers: A spatial modelling approach developed for commercial forestry. Diffuse pollution Conference. Dublin. 5A: 1-6

Merino, A; Edeso, JM; 1999. Soil Fertility rehabilitation in young *Pinus radiata* D. Don plantation form Northern Spain after intensive site preparation. Forest Ecology and Management 116: 83-91

Merino, A; Edeso, JM; Gonzalez, MJ and Marauri, P. 1998 Soil properties in a hilly area following different management practices Forest Ecology and Management 103: 235-246

Olarieta, JR, Rodriguez, R; Besga, G. Rodriguez, M and Virgel, S. 1997 Evolución de la cubierta del suelo con diferentes sistemas de preparación del terreno tras la matarrasa de plantaciones de pino radiata. II. Congreso Forestal Español. Pamplona 23-27, de Junio de 1997.

Olarieta, JR; Besga, G; Rodriguez, R; Uson, A. Pinto, M. and Virgel, S. 1999 Sediment enrichment ratios after mechanical site preparation for *Pinus radiata* plantation in the Basque Country. Geoderma. 255-267.

Soil chemical, physical and biological properties as indicators of sustainable forest management in temperate Atlantic region

Autores

NEIKER TECNALIA

Nahia Gartzia-Bengoetxea

Ander González-Arias

Inazio Martínez de Arano

University of Hohenheim

Ellen Kandeler

FORSEE Project (20) *www.iefc.net*

Project co-financed by the European Union

A community initiative

FEDER - INTERREG IIIB *Atlantic Area*

Extended Abstract

Introduction

The forest landscape in the Atlantic region of the Basque Country comprises 53% of the surface and consists largely of monospecific plantations of *Pinus radiata* and small patches of semi natural forests or old broadleaf species plantations (*Quercus robur* and *Fagus sylvatica*). Oak and beech forests occupy 10% of the forest surface and they have been managed in coppice or pollarding until mid 1940s. In the last decades, these forests are not being used except for cattle grazing or good collection. Pure radiata pine plantations account for nearly 85% of all forests. These are typically managed in clear-cut regime with a rotation age between 30 and 40 years. Typical management involves saw chain harvest and skidding. A few decades ago, harvest residues were either burned or pilled at site preparation, prior to the new plantation. Since mid 1980s, increased intensification of management has lead to wide spread mechanical site preparation, in which harvest residues and understory vegetation are cleared with the front blade of a bulldozer. Frequently this is followed by ripping to facilitate subsequent plantation.

In this mountainous region, concerns over forest sustainability have to do with clear-cut harvests and mechanical site preparation which may result in reductions of up to 50% of soil organic matter (Merino et al., 1998), increases in bulk density of 307% (Bock and Van Rees, 2002), high erosion rates (Edeso et al., 1999) and loss of productivity (Murphy et al., 1997; Powers et al., 2005).

Despite high social perception, less attention has been paid to potential effects of widespread exotic species introduction. Tree species influences on soil processes such as nutrient cycling (Binkley, 1995), base content or humus formation (Raulund-Rasmussen and Vejre, 1995). These effects are mainly attributed to the effect of species differences in litter quality and root exudates (Hobbie, 1992) on soil microorganisms (Leckie et al., 2004).

Assessing soil sustainability of forest management practices requires soil quality indicators linked directly to ecosystem processes and responsive to management. The aim of this study was to evaluate the response of different sets of parameters under contrasting forest managements. Five adjacent forest stands were selected as a representative landscape of the temperate Atlantic region: two broadleaved unmanaged forests (*Quercus robur*, *Fagus sylvatica*) and three *Pinus radiata* plantations differing in age and management intensity (40 ys unmechanized, 16ys unmechanized and 2ys mechanized).

Objective

In this context, the objective of this study was to describe the effects of five representative forest managements types on soil chemical, physical and biological properties directly related to ecosystem processes and to get an insight of the potential use of these parameters as indicators of soil quality at a landscape level. Five adjacent stands were chosen including broadleaf native species and exotic radiata pine stands differing in age and silvicultural history.

Study area

Stands differ in species (native or exotic) and in the intensity of management:

(1) Oak forest dominated by *Quercus robur* with *Erica vagans*, *Ulex europaeus*, *Rubus ulmifolius* and *Ilex aquifolium* in the understory and without management in the last decades,

(2) Beech forest characterised by *Fagus sylvatica* managed in pollarding until mid forties for making coal and without management in the last decades.

(3) Pine (40 ys), an old even-aged plantation established around 40 years ago.

(4) Pine (16 ys), an even-aged second-rotation plantation 16 years old and

(5) Pine (2 ys), a 2 years old new plantation, established after mechanical site preparation with ripper ploughing and blading.

Methods

Forest floor (LF and H layer) and two mineral soil depths (0-5 cm and 5-15 cm) were sampled for **chemical** and **biological properties** and bulk density, water contents at field- and wilting-point and soil strength were determined as **physical properties** and integrated all of them in least limiting water range (LLWR). Microbial community composition and function were assayed as biological properties using phospholipid fatty acid (PLFA) analysis, and extracellular enzymes activities. Soil chemical properties were those commonly used such as pH, base concentrations and organic matter content.

Results

Litter

All stands varied significantly in forest floor content ranging from no forest floor in the pine (2ys) to 25.2 Mg ha^{-1} in beech stand. Forest floor quality differed with tree species, oak and beech stands showed lower C/N and lignin/N ratios and higher base concentrations than pines 40ys and 16ys, but mechanical site preparation produced the total removal of forest floor.

Soil chemestry

On the other hand, **soil chemical parameters** were not able to distinguish among tree species and the only chemical parameters able to detect the very dramatic disturbance of mechanical site preparation were **soil organic carbon** (SOC), N, P and CEC, those related to soil organic matter. Chemical parametres can be seen below.

Pine (40ys)		Pine (16ys)		Pine (2ys)	
Mean	Std error	Mean	Std error	Mean	Std erro
4.09	0.17	4.30	0.07	4.17	0.05
53.77	1.81	56.83	9.25	26.80	2.33
3.13	0.37	2.95	0.29	1.77	0.06
17.49	2.16	19.14	1.22	15.11	1.18
0.67	0.05	0.52	0.05	0.40	0.03
0.92	0.46	2.86	0.95	0.34	0.20
170.67	71.91	178.67	58.32	44.00	12.33
50.43	14.70	33.75	10.00	10.98	3.95
37.57	3.39	36.80	4.88	19.93	3.39
104.00	14.82	120.33	24.42	52.00	10.70
25.77	1.99	17.97	1.02	11.31	0.34

Soil Organic matter

Although the quantity of soil organic matter did not differ in mature stands (see tabla above), the quality of this soil organic matter differed significantly with tree species. Oak and beech stands showed higher contents of particulate organic matter (POM) than pine (40ys). This fraction is regarded as labil C.

Soil community structure

Soil microbial community was dominated by bacterial biomass that accounted for 52-56 % of the total PLFA and did not differ among forest stands. Among biological parameters, **fungal biomass** was sensitive to tree species and management intensity. Mature stands, pine (40ys) showed significantly higher fungal biomass than oak and beech stands. Moreover, fungal biomass was sensitive to management intensity, because pine (2ys) stand showed lower fungal biomass than other stands. There were no differences in PLFA diversity and species richness as estimated by Shannon diversity index among different stands ($P = 0.17$)

Soil enzymetic activity

Although the differences between individual extracellular enzyme activities were not statistically significant, there was a trend toward a 32-74 % reduction of all enzyme activities in the pine (2ys) plantation in comparison to the averaged activity across other ecosystems.

Pine (40ys)		Pine (16ys)		Pine (2ys)	
Mean	Std. error	Mean	Std. error	Mean	Std. erro
257	(45.6)	264	(71.1)	149	(38.3)
236	(49.1)	206	(42.7)	129	(56.5)
267	(74.5)	299	(97.3)	218	(91.3)
205	(22.6)	185	(55.2)	106	(41.2)
23	(7.9)	23	(4.9)	11	(6.5)
8072	(1461.5)	5740	(701.1)	3493	(446.7)
347	(177.1)	334	(33.3)	89	(21.1)
149	(64.5)	159	(7.4)	54	(10.2)

Phosphatase activity was extremely high in all ecosystems in comparison to literature (Larson et al., 2002; Sinsabaugh et al., 2003; Hasset and Zak, 2005). Mean phosphatase activity for oak ecosystem was 7.5 μmol h^{-1} g^{-1}, 7.1 μmol h^{-1} g^{-1} for beech forest and 8.1, 5.7 and 3.5 μmol h^{-1} g^{-1} for pine (40ys), pine (16 ys) and pine (2ys), respectively.

Soil physics

Bulk densities from 0-5 cm depth ranged from 1.09 g/cm^3 in pine (40ys) to 1.35 g/cm^3 in the pine (2ys). Soil water content at field capacity ranged from 0.24 cm^3/cm^3 in the pine (2ys) to 0.40 cm^3/cm^3 in oak stand, all adult stands showed higher water contents at field capacity than younger stands..The upper limit factor of LLWR was always defined by water content at field capacity while the lower limit factor was characterized by water content at 3MPa soil strength. The least limiting water range was as follows: oak > pine (40ys) > beech > pine (16ys) > pine (2ys). The results showed that a 15% increment in bulk density can lead to a 236% reduction in LLWR.

Towards a minimun dataset

Discriminant analyses were performed based on top soil chemical, biochemical, microbial community structure and function in order to determine the most powerful set of soil properties differentiating tree species and management intensities.

- Chemical parameters : 53 % of cross-validated grouped cases were classified correctly
- Biological parameters: 87 % of cross-validated grouped cases were classified correctly
- Chemical+biological: 100% of cross-validated grouped cases were classified correctly

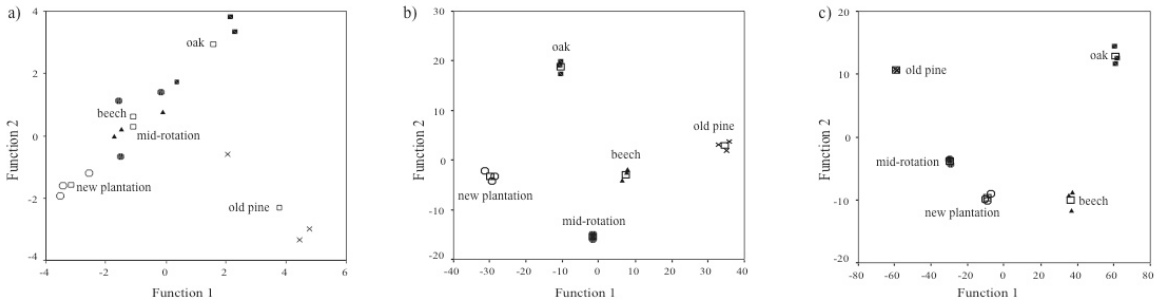


Figure discriminant analyisis performed with soil chemestry (left) soil biology (centr) and both (right)

Conclusions

(1) The tree species effect was detected by the forest floor quality parameters such as C/N and lignin/N ratios. These differences in forest floor were reflected in soil biological properties, especially in fungal biomass and in soil chemical properties related to soil organic matter quality such as POM.

(2) The effects of mechanical site preparation in *Pinus radiata* plantations were detected firstly by the total absence of forest floor. Secondly, the organic matter removal was reflected in almost all soil properties. However, very sensitive parameters for soil disturbance were LLWR and parameters related to soil organic matter such as microbial biomass, G+/G- ratio and POM.

(4) Phenotypic PLFA fingerprints and metabolic enzymatic activities are both able to detect both severe soil disturbances as well as more subtile shifts in soil function.

(5) Mechanical site preparation impacts severely on soil physical properties. In this respect, LLWR seems to be a promising indicator because it responds in greater magnitude, integrates changes in pore distribution and soil strength and is directly related to soil and water protection.

Acknowledgments

Funding for this study was provided by European Union ERDF-INTERREG IIIB Atlantic Area and the Department of Agriculture, Fisheries and Food of the Basque Country. Special thanks to Ellen Kandeler. We would like also to acknowledge Dr. Javier Arostegui for supporting us with mineralogical analyses and Sabine Rudolph for her technical assistance with PLFA analysis. We thank also Dr. Michael Stachowitsch for his improvement of the English of the manuscript.

References

Binkley, D., 1995. The influence of tree species on forest soils: processes and patterns. in: Mead D.J. and Cornforth, I.S. (Eds.), Proceedings of the Trees and Soil Workshop, Canterbury, New Zealand, 28 Feb-2 Mar, 1994. Lincoln University Press, Canterbury, New Zealand , 1-33.

Binkley, D., Valentine, D., 1991. Fifty-year biogeochemical effects of green ash, white pine and Norway spruce in a replicated experiment. Forest Ecology and Management 40, 13-25.

Bock, M.D., Van Rees, K.C.J., 2002. Mechanical site preparation impacts on soil properties and vegetation communities in the Northwest Territories. Canadian Journal of Forest Research 32 (8), 1381-1392.

Edeso, J.M., Merino, A., González, M.J., Marauri, P., 1999. Soil erosion under different harvesting managements in steep forestlands from Northern Spain. Land Degradation and Development 10, 79-88.

Hobbie, S.E., 1992. Effects of plant species on nutrient cycling. Trends in Ecology and Evolution 7, 336-339.

Kandeler E., Kampichler C., Horak O. (1996) The influence of heavy metals on the functional diversity of soil microbial communities. Biology and Fertility of Soils 23,

Leckie, S.E., Prescott, C.E., Grayston, S.J., 2004. Forest floor microbial community response to tree species and fertilization of regenerating coniferous forests. Canadian Journal of Forest Research 34, 1426-1435.

Merino, A., Edeso, J.M., González, M.J., Marauri, P., 1998. Soil properties in a hilly area following different harvesting management practices. Forest Ecology and Management 103, 235-246.

Murphy, G., Firth, J.G., Skinner, M.F., 1997. Soil disturbance effects on Pinus radiata growth during the first 11 years. New Zealand Forestry 42, 27-30.

Powers, R.F., Scott, D.A., Sanchez, F.G., Volseth, R.A., Page-Dumroese, D., Elioff, J.D., Stone, D.M., 2005. The North American long-term soil productivity experiment: findings from the first decade. Forest Ecology and Management 220, 31-50.

Raulund-Rasmussen, K., Vejre, H., 1995. Effect of tree species and soil properties on nutrient immobilization in the forest floor. Plant and Soil 169, 345-352.

Soil organic matter and soil physical fractions in seminatural and cultivated forests in temperate Atlantic region

Autores:

NEIKER Tecnalia

Nahia Gartzia-Bengoetxea

Ander González-Arias,

Inazio Martínez de Arano

FORSEE Project (20) *www.iefc.net*

Project co-financed by the European Union

A community initiative

FEDER - INTERREG IIIB *Atlantic Area*

Extended Abstract

Introduction

Forest ecosystems have been defined as potential C sinks. However, timber harvesting and mechanical site preparation are major management practices in approximately 140.000 ha of *Pinus radiata* cultivated forests located in Northern Spain.

Conversion of native forests and afforestation of agricultural or abandoned lands into cultivated forests of rapid growth exotic species is a worldwide phenomenon induced by increasing population growth and demands on wood and fiber. Besides, the increasing concurrence in global markets is putting greater pressure on forest ecosystems that is usually accompanied by the intensification of harvesting and site preparation practices.

Cultivated radiata pine (*Pinus radiata* D. Don) forests cover more than $4x10^6$ hectares in the southern hemisphere (mainly in Chile, New Zealand, Australia and South Africa) but only around 300.000 ha in the northern hemisphere, most of them in northern Spain (Lavery & Mead, 1998). There, current plantation management practices involve a clear-cut regime with rotation lengths between 30 and 40 years, harvesting with saw chain and skidding and mechanical site preparation prior to planting using processes such as blading and ripping.

These forestry practices may alter the amount and turnover rates of soil organic matter (SOM). Therefore, maintenance or enhancement of SOM in forest ecosystems is crucial for sustainable use of forest resources due to the multiple effects of SOM on nutrient dynamics (Binkley, 1995), C cycle (Nambiar, 1996) and soil structure.

Recently, the role of physical structure as a determinant of SOM sequestration and turnover has generated much interest (Six et al., 2004, Liao et al., 2006). The effect of tree species in soil aggregation and intensive forest practices in soil aggregate distribution could be of great importance in regulating accretion or depletion of SOM in temperate Atlantic forests. Understanding of these relationships in seminatural and cultivated forests differing in management intensity may be of particular interest for developing sustainable forest management practices.

Objective

The main objectives of this study were to i) determine the distribution of standing stock of soil C and N pools in forest ecosystems differing in tree species and silvicultural history, ii) to determine the effect of forest managements on the temporary binding agents and its relationship with soil aggregation and iii) elucidate the role of soil aggregates in active C and N pools in response to forest management.

Study site

A 4.5 ha study site (X= 534075, Y= 4783284) situated 600 m above sea level was selected as a "microlandscape" of the Atlantic forest landscape in the Basque Country. Five adjacent forest stands growing over a typic udorthent, developed over same litology were selected. Stands differ in species composition (native or exotic) and in time since last known management induced perturbation. Selected stands are :

(1) Oak forest dominated by *Quercus robur* with *Erica vagans*, *Ulex europaeus*, *Rubus ulmifolius* and *Ilex aquifolium* in the understory and without management in the last decades,

(2) Beech forest characterised by *Fagus sylvatica* managed in pollarding until mid forties for making coal and without management in the last decades.

(3) Pine (40 ys), an old even-aged plantation established around 40 years ago.

(4) Pine (16 ys), an even-aged second-rotation plantation 16 years old and

(5) Pine (2 ys), a 2 years old new plantation, established after mechanical site preparation with ripper ploughing and blading.

Methods

Soil sampling

Soil samples from the first 5 cm were taken by the pit method in April of 2005. Within each stand, three trees were randomly chosen and a set of soil pits (≈ 500 cm^3) were dug at each tree after removing forest floor. Each set consisted of four adjacent soil samples starting at 0.5 from the base of the tree. Soil samples were composite for each aggregate size after fractionation. Additional 3 soil cores per plot were taken to determine bulk density.

Aggregate-size distribution

Soil was dried at 4º C to a gravimetric water content of about 80 g H_2O kg^{-1} and fractionated into aggregates by dry-sieving using nested sieves mounted on Retsch AS200 Control (Retsch Technology, Düsseldorf, Germany). Aggreagate size classes obtained were:

- 20.0,
- 20.0-10.0
- 10.0-5.0
- 5.0-2.0
- 2.0-0.25
- 0.25-0.053
- < 0.053 mm.

Soil Organic Matter and Particulate Organic Matter

Total carbon and nitrogen analysis were performed in a LECO CNS 2000 autoanalyzer (LECO Corporation, MI, USA). Particulate organic matter (POM) was defined as SOM in soil particles > 53 μm and was determinated according the method of Cambardella & Elliot (1992) and modified by Marriott & Wander (2006).

Mineralizable Carbon

Mineralizable C was determined in the five macroaggregate classes using an alkali absorption technique during 28 days at 30 ºC.

Results

Distribution of soil aggregate fractions

Mega aggregates represent 82-92% of all soil in mature stands, but only a 52% in recentlly stablished Pine 2 yrs. These differences in aggregate distribution also induced changes in mean weight diameter (MWD) ($F = 19.04$, $P < 0.001$). Seminatural forests showed higher MWD than cultivated forests and particularly, highest MWD was found in beech stand. Among *Pinus radiata* plantations, the pine (3ys) showed significantly smaller MWD than pines (16ys) and (40ys) (Table 1).

Table 1: Mean Weighted Aggegate Diameter (MWD)[1] after dry-sieving from 0-5 cm of the soil of seminatural oak and beech forests, and cultivated pine 40ys, 16ys and 3ys forests.

Aggregate size (mm)	Oak	Beech	Pine (40ys)	Pine (16ys)	Pine (3ys)
MWD	8.51^{A}	12.45^{B}	6.57^{A}	7.19^{A}	3.36^{C}

[1]Values followed by different uppercase letter are significantly different within aggregate fraction between forest types ($P < 0.05$).

Total C concentrations in whole soil- Total organic carbon in whole soil were not significantly different among stands, although a reduction was observed in mechanized stand. However the labil C-POM fractions was Smallests in the younger, mechanized pine stands.

Table 2: Selected Soil physical and chemical properties from 0-5 cm depth

	Oak	Beech	Pine 40ys	Pine 16ys	Pine 3ys	*p value*
Bulk density (g cm^{-3})	1.20	1.29	1.09	1.15	1.35	
Texture class	Clay loam	Clay loam	Clay loam	Clay loam	Clay loam	
pH	4.39	4.68	4.74	4.46	4.91	0,4
C (mg C g^{-1} soil)	51.8	63.1	57.3	39.3	26.0	0,07
C-POM (mg C g^{-1} soil)	13.2^{AB}	18.0^{A}	14.4^{AB}	6.7^{BC}	2.8^{C}	*<0.05*

Values followed by different uppercase letter are significantly different among forest systems ($P < 0.05$).

Total C concentrations in aggregates

Oak and beech stands showed a decreasing carbon concentration from macro- to megaaggregates, a homogeneous carbon concentration in macro- and megaggregates in pine 40ys and 16 yrs. However, Pine 2ys showed increasing carbon concentration with increasing aggregate size.

C-POM, of whole soil and soil aggregates

The quantity of C-POM in whole soil amounted to 25-29 % of the total organic carbon in seminatural and unmechanized cultivated forests, and it was reduced up to 10 % of the total organic carbon in the pine (3ys and 16ys) .

Table 4 shows that in mature stands, significantly higher concentrations in C-POM and higher proportions of C POM were found in macroaggregates (0.25-2 mm). In contrast, a homogeneous C POM distribution was found in the younger pinis plantations that had been mechanized during establishment.

Table 4: Particulate organic matter C concentrations (mg C g^{-1} sand-free aggregate), and the percentages of C-POM:SOC and N-POM:N total.

Stand	Aggreg. size (mm)	C-POM	C-POM :SOC (%)
Oak	0.25-2	27.5^{aAB}	29.3^{abA}
	2-5	18.0^{abAB}	34.2^{aA}
	5-10	7.2^{bc}	18.8^{ab}
	10-20	4.0^{bc}	12.2^{b}
	>20	2.6^{c}	10.8^{b}
Beech	0.25-2	47.3^{aA}	25.3^{A}
	2-5	27.7^{abA}	22.3^{AB}
	5-10	19.0^{b}	21.2
	10-20	9.2^{b}	17.1
	>20	10.6^{b}	19.1
Pine 40ys	0.25-2	31.3^{aAB}	27.8^{aA}
	2-5	16.1^{abAB}	22.3^{abAB}
	5-10	12.4^{b}	17.1^{ab}
	10-20	11.1^{b}	15.2^{b}
	>20		
Pine 16ys	0.25-2	15.7^{aB}	19.4^{aAB}
	2-5	6.0^{abB}	11.7^{abB}
	5-10	3.0^{b}	7.4^{b}
	10-20	8.3^{ab}	13.2^{ab}
	>20	8.2^{ab}	10.9^{ab}
Pine 3ys	0.25-2	4.0^{B}	8.7^{B}
	2-5	2.9^{B}	6.5^{B}
	5-10	2.4	6.1
	10-20	2.5	5.5
	>20		

Values followed by different lowercase letter are significantly different among aggregate sizes and values followed by different uppercase letter are significantly different within aggregate size between forest types ($P < 0.05$)

The C- POMconcentrations within the large megaggregates were not significantly different among the forest systems But, within the small macroaggregates, C-POM was higher in mature not disturbed stands than in younger disturbed stands. Further, average C-POM/SOC of mature stands was 42% greater than in pine 16ys and 216% than under pine 3 ys.

Mineralizable Carbon

The intensive mechanization in the recently established plantation reduced significantly the mineralizable C (Table 5). Mineralizable C showed a significant and positive relationship with C-POM ($R^2 = 0.74$, $P < 0.001$).

Table 5: Basal respiration rate (μg C-CO_2 g^{-1} h^{-1}). of different aggregate sizes and forest types.

Aggregate size (mm)	Oak	Beech	Pine (40ys)	Pine (16ys)	Pine (3ys)
μg C-CO_2 g^{-1}aggregate h^{-1}					
0.25-2	4.5^{aAB}	7.7^{aA}	6.5^{aA}	3.9^{aAB}	1.1^{aB}
2-5	2.0^{bAB}	4.6^{aA}	3.2^{bA}	1.7^{aAB}	0.8^{aB}
5-10	2.2^{bAB}	4.6^{abA}	3.4^{bAB}	2.5^{aAB}	1.6^{aB}
10-20	1.9^{bA}	2.9^{bA}	3.4^{bA}	2.8^{aA}	1.9^{aA}
>20	1.7^{bA}	1.7^{bA}		2.6^{aA}	

Values followed by different lowercase letter are significantly different among aggregate sizes and values followed by different uppercase letter are significantly different within aggregate size between forest types ($P < 0.05$).

Macroaggregates as indicator of perturbation or species changes

Principal component analysis was performed with mega- and macroaggregate classes and different organic fractions to elucidate the role of soil aggregates on soil organic matter over time. The first two factors of analysis explained 79 % of the total variance. The first factor explaining the 64 % of the total variance was related to labile organic matter fractions such as C-POM and microbial respiration. This first factor showed a significant relationship with time since perturbation. However, it has to be pointed out that oak stand did not fit in the time series; reflecting that organic matter dynamics in this forest is different or that it had been perturbated not long ago.

Conclusions

(1) Our results show that significant reduction of MWD and POM ocurred in the top 5 cm due to intensive mechanization during *Pinus radiata* plantation establishment. Although MWD and POM quantity were closer to levels in mature stands 16 years after perturbation.

(2) The consistent relationship between C-POM:SOM and MWD led us to conclude that in this forest soils, aggregate formation was directly related to POM dynamics.

(3) Since C-POM has been shown to be a labile fraction of SOM (relación de respiration and C-POM), effort should be made to maintain this OM pool in sustainable forest management.

(4) Importantly, indicators for sustainable forest management related to soil organic matter storage should not be only assessed in terms of total C stocks but also with respect to organic matter composition and stability.

(5) Further, the labile fraction of soil organic matter (C-POM and microbial respiration) in macroaggregate (0.25-2 mm) and small megaggregate (2-5 mm) size classes could be considered as indicator of mechanical pertubation. However, as oak forests did not fit in the time series, more intense studies are needed to get a better insight in organic matter dynamics of these ecosystems.

References

Binkley, D., 1995. The influence of tree species on forest soils: processes and patterns. in: Mead D.J. and Cornforth, I.S. (Eds.), Proceedings of the Trees and Soil Workshop, Canterbury, New Zealand, 28 Feb-2 Mar, 1994. Lincoln University Press, Canterbury, New Zealand, pp. 1-33

Cambardella, C.A., Elliot, E.T., 1992. Particulate soil organic matter changes across a grassland cultivation sequence. Soil Science Society of America Journal 56, 777-783

Lavery, P.B., Mead, D.J., 1998. Pinus radiata: a narrow endemic from North America takes on the world. In: Richardson, D.M. (Ed.), Ecology and Biogeography of Pinus. Cambridge University Press, Cambridge, pp. 432–449

Liao, J.D., Boutton, T.W., Jastrow, J.D., 2006. Storage and dynamics of carbon and nitrogen in soil physical fractions following woody plant invasion of grassland. Soil Biology & Biochemistry 38, 3184-3196

Marriott, E.E., Wander, M., 2006. Qualitative and quantitative differences in particulate organic matter fractions in organic and conventional farming systems. Soil Biology and Biochemistry 38, 1527-1536

Nambiar, E.K.S., 1996. Sustained productivity of forests is a continuing challenge to soil science. Soil Science Society of America Journal 60, 1629-1642

Six, J., Bossuyt, H., Degryze, S., Denef, K., 2004. A history of research on the link between (micro)aggregates, soil biota, and soil organic matter dynamics. Soil and Tillage Research 79, 7-31

Conclusiones Generales

Los Indicadores del criterio 5 están muy poco desarrollados en as propuestas de la MCPFE. En FORSEE se ha buscado una aproximación funcional a la sostenibilidad del suelo, tomado en cuenta cuales son los principales riesgos asociados a la actividad forestal en la Zona Piloto. En este sentido, los trabajos realizados en este estudio específico son muy prometedores. Sus principales conclusiones se resumen a continuación:

1) La estimación visual de la perturbación del suelo es un método eficaz para evaluar la sostenibilidad de las practicas forestales.

2) Las categorías visuales de pertubación del suelo tienen un significado analítico claro, en términos de reducción de carbono, de pérdida de capacidad de retención de agua y de aumento de la erodabilidad.

3) Las practicas mecanizadas de preparación del terreno efectuadas con buldózer, perturban entre en 60 y un 90% de la superficie de la parcela, además de provocar una remoción casi total del mantillo del suelo.

4) La Materia orgánica total es un indicador interesante de sostenibilidad del suelo. Sin embargo debe utilizarse junto a otros parámetros que relacionados con su estructura y dinámica. Ha este respecto el Carbono particulado C-POM es muy prometedor.
    a. el C POM esta muy relacionado con la fracción labil de la materia orgánica
    b. el C POM parece tener mucho que ver con los mecanismos de agregación del suelo y por lo tanto con muchas de sus propiedades hídricas
    c. el C POM parece ser más seniible que la MO total, a la alteracion del suelo.
    d. La distribución de C-POM en agregados de distinto tamaño puede constituir un indicador muy interestan de sostenibilidad del suelo. Sin embargo es necesario conocer mucho más afondo el efecto de la diferente calidad de hojarasca y del ambioente químico del suelo

5) Las practicas forestales mecanizadas con buldózer afectan de manera muy notable a la física del suelo. La conductividad hidráulica, el Diámetro medio de agregado y el LLWR (Leat limminting Water range) son parámetros de alta significación en procesos y funciones del suelo y que responden de manera muy notable al manejo. Son por lo tanto dos muy buenos indicadores del criterio 5 de Gestión Forestal Sostenible.

6) Tanto la composición de la masa como el manejo provocan cambios detectables en las propieadees biológicas del suelo. Los perfiles de PLFA y el metabolismo encimático del suelo pueden ser útiles para detectar cambios latentes en las funciones del suelo, no detectables por otros medios.