



Foto 1. Localización de parcela del IFN3 en pinar talado. Es necesario emplear un detector de metales para localizar el rejón que marca el centro de cada parcela

Evolución de parámetros físico-químicos de los suelos forestales. El caso del País Vasco

A. Cantero Amiano
Ingeniero de Montes
acantero@hazi.es

Resumen

A partir de las fuentes de información disponibles y de los datos de un muestreo propio, se llega a una serie de conclusiones respecto a las principales características y a la variación espacio-temporal de diversos parámetros físico-químicos en los suelos forestales del País Vasco.

La remediación en un lapso de 10 años de una serie de suelos situados bajo plantaciones forestales productivas pone de manifiesto que no se ha producido, en general, pérdida de fertilidad en esos suelos.

Palabras clave: muestreo, análisis, laboratorio, pH, nutrientes, sostenibilidad.

INTRODUCCIÓN

Este año 2015 ha sido declarado por la FAO Año Internacional de los Suelos. Es una buena ocasión, por tanto, para repasar las fuentes disponibles de información referente a los suelos forestales españoles y, más en concreto, a los localizados en el ámbito del País Vasco.

Tradicionalmente, el estudio de los suelos no era un aspecto analizado en detalle en los trabajos de ordenación forestal. La inexistencia de mapas de suelo fiables como referencia, la dificultad de realizar un correcto muestreo y la carestía de la toma de datos, de la apertura de calicatas y del procesamiento de las muestras en el laboratorio, han sido factores negativos que han incidido en esta escasez de trabajos especializados, con contadas excepciones. Indirectamente, la litología era el factor que se ha venido estudiando para paliar ese déficit en conocimientos edáficos.

La llegada del siglo XXI trajo consigo la certificación forestal, la gestión forestal sostenible y el estudio de los sumideros forestales de carbono. En ese contexto, los suelos forestales son uno de los puntos clave para analizar conceptos como la sostenibilidad de las prácticas forestales o la cantidad de carbono almacenado en las masas forestales. Concretamente, entre los indicadores de Gestión Forestal Sostenible según la norma UNE (162.002:2007) se citaba el Estado nutricional de los suelos (Indicador 2.2 de tipo Descriptivo), con el objeto de sensibilizar a propietarios y gestores forestales sobre la necesidad de unas correctas prácticas de abonado, detección de posibles carencias nutricionales y manejo de suelos. La necesidad de datos para conocer ese indicador a nivel de monte, comarca o región puso de manifiesto las carencias existentes en el estudio de los suelos españoles.

El MAGRAMA proporciona tres grandes fuentes de datos referentes al estudio de suelos forestales españoles:

- El Inventario Forestal Nacional (IFN) muestrea, desde hace medio siglo y con una frecuencia decenal, los suelos de entornos forestales arbolados siguiendo una cuadrícula de parcelas permanentes de 1 km. Sin embargo, ese muestreo es visual o táctil, sin análisis de laboratorio, y referido a unos pocos parámetros de la parte superficial del suelo. El IFN español abarca unas 90.000 parcelas permanentes, de las cuales 3.900 se ubican en el País Vasco.



Foto 2. Reijón enterrado que marca el punto exacto central de cada parcela IFN

- El proyecto de muestreo de áreas en el ámbito de las estadísticas agrícolas llamado «LUCAS» (Land Use Cover Area Frame Survey) de EUROSTAT 2013. Desde 2001, miles de suelos son analizados siguiendo una cuadrícula de 2 km. El muestreo se centra en el suelo agrícola de la UE, con una tasa inicial de toma de muestras del 50 % para las tierras de labor y cultivos permanentes, y el porcentaje restante para las praderas y los estratos no agrícolas, como los bosques. Sin embargo, la premisa de no muestrear los terrenos de cota superior a 1.000 m deja fuera un 30% de la superficie forestal arbolada de España, porcentaje que alcanza el 50% en Castilla y León o Aragón.
- La Red Europea de Seguimiento de Daños en los Bosques, Nivel I, dedicada al seguimiento extensivo de los cambios producidos en los suelos forestales y al estudio de los parámetros indicadores de la biodiversidad forestal en Europa, siguiendo una cuadrícula de parcelas permanentes de 16 km. A lo largo de sus más de 25 años de historia, se ha venido repitiendo en España la medición de 620 parcelas de seguimiento, con un conjunto de 15.000 árboles en los que anualmente se miden parámetros como defoliación, decoloración o salud de las copas. Entre 1993 y 1995 se midió en 464 de esas parcelas un gran número de parámetros físico-químicos de las capas orgánica y mineral, pero sólo hasta una profundidad de 20 cm. De ellas, 13 parcelas se ubican en el País Vasco.

Se han realizado cinco Inventarios Forestales en el País Vasco: IFN1 (1972), Inventario Forestal del País Vasco (realizado en 1986 por el Gobierno Vasco siguiendo la metodología del IFN2), IFN2 (1996), IFN3 (2005) e IFN4 (2011). Sin embargo, se adolecía de escasez de datos referentes a la sostenibilidad de los suelos forestales. Por ello, IKT, S.A. levantó en 2001 la red Basonet, financiada por el Gobierno Vasco y las Diputaciones Forales. Esta red se compone de 428 parcelas distribuidas de forma sistemática por todo el territorio forestal del País Vasco, siguiendo una malla UTM de 3*3 km. Para ello se seleccionó una de cada nueve parcelas realizadas en la red del Inventario Forestal de 1996 y se procedió a su localización y remediación. Además de medir los preceptivos datos dasométricos, se realizaron calicatas y analíticas de dos horizontes (0-20 y 20-40 cm), incluyendo una descripción completa del perfil del suelo, con el fin de calcular diversos parámetros edáficos.

Precisamente, esta red Basonet ha servido de referencia para conocer la variabilidad temporal de los suelos forestales vascos, ya que en 2011 se ha repetido el muestreo edafológico en un 10% de las medidas diez años antes. Los criterios elegidos para elegir esta submuestra de 42 parcelas han sido:

- Debían ser parcelas ubicadas en masas forestales de aprovechamiento intensivo, pino radiata (*Pinus radiata*) y eucalipto (*Eucalyptus globulus* y *E. nitens*), por su mayor exigencia en nutrientes debida a su elevado crecimiento y menor turno; el pino radiata (130.000 hectáreas en la vertiente cantábrica) y el eucalipto (15.000 hectáreas, en su mayor parte en la costa de Bizkaia) son las especies que aportan cerca del 90% de la madera que se corta anualmente en el País Vasco.

- También debían ser parcelas seleccionadas para medir en campo en el IFN4 (se remidió el 50% de las del IFN3) y además todos los equipos de campo de ese Inventario deberían incluir al menos una parcela; ello es debido a que esta toma de datos edafológicos se hizo coincidir con el control de calidad del trabajo de campo del IFN4 que realizó IKT, S.A.
- Por último, la muestra a remedir debería incluir un porcentaje representativo de parcelas con suelos que presentaban carencias nutricionales en 2001, con el fin de comprobar su evolución en estos años.

La llegada de la certificación forestal regional PEFC al País Vasco en 2004 fue el mejor exponente de la apuesta de la Administración y de los propietarios privados por la gestión forestal sostenible. Desde 2005, propietarios y técnicos forestales de Bizkaia y norte de Álava han ido remitiendo más de 1.500 muestras de suelo a los laboratorios de NEIKER (Instituto Vasco de Investigación y Desarrollo Agrario) con el fin de realizar su análisis químico y de recomendar una adecuada fertilización, basada en el estado nutritivo del sitio y en la demanda de nutrientes por parte del arbolado. Esta base de datos ha servido para aumentar el nivel de conocimientos relacionados con los suelos forestales vascos y ha permitido dividir el territorio en cuatro grandes grupos de suelo que se diferenciaban por su fertilidad y estado nutritivo, concluyendo que la mayor parte de las plantaciones de pino radiata presentaban deficiencias de fósforo y magnesio, y elaborando unas recomendaciones generales en función del grupo de suelo, tanto de época de aplicación como dosis y composición de los productos.

Basándose en estos conocimientos, en NEIKER se clasificaron los suelos de las parcelas de la red Basonet (2001) entre aquéllas que presentaban carencias nutricionales y las que no. Para ello, se empleó el criterio propuesto por SIX *et al.* (2002), según el cual los suelos con bajas cantidades de carbono orgánico, inferiores a los niveles que se calculaban en función de los niveles de arcillas y limos de cada suelo, presentaban carencias nutricionales. Hay que tener en cuenta que la materia orgánica se suele considerar como un buen indicador de la sostenibilidad de la gestión forestal (NAMBIAR, 1996).

En el informe de la localización de la superficie forestal vasca afectada por carencias nutricionales (NEIKER, 2009), se concluía que de las 428 parcelas de Basonet analizadas, en 219 (el 51,17%) se registraban bajas cantidades de carbono orgánico, inferiores a las estimadas según el citado estudio de SIX *et al.* (2002).

MATERIALES Y MÉTODOS

Se plantea, pues, la repetición en 2011 de 42 muestras de suelos, ya medidos diez años antes y ocupados por plantaciones de pino radiata y eucalipto. En esa submuestra, se incluían 26 parcelas que se habían clasificado como "con carencias nutricionales".

Para evitar sesgos, se plantea seguir la misma metodología de muestreo, el mismo centro de análisis (Laboratorio Agroambiental de Frisoro, en Zizurkil, Gipuzkoa) y los mismos parámetros físico-químicos que en 2001. La mayor diferencia metodológica entre ambos muestreos deriva del hecho de que en 2001 se abrían calicatas hasta alcanzar la roca madre y se empleaban sondas



Foto 3. Apertura de calicata para toma de muestras. La fotografía muestra un horizonte superficial (0-20 cm)

o barrenas para medir en tres puntos la profundidad efectiva media del regolito y para completar la muestra de 1 kg de tierra por cada uno de los dos horizontes muestreados (0-20 y 20-40 cm); por su parte, en 2011 se procedió a tomar la misma cantidad de muestra de tierra de cada horizonte, pero empleando para ello las barrenas utilizadas para estimar la profundidad efectiva.

La profundidad efectiva media asignada a cada suelo se ha obtenido calculando el valor medio de la profundidad alcanzada en tres catas o pinchazos por parcela. Partiendo del centro de cada parcela, estas catas se ubican siguiendo una dirección aleatoria y separándose entre sí 5 metros.

La textura de los dos horizontes de cada suelo fue medida en 2001 (clasificación ISSS), pero no en 2011, debido a su coste de medición y a la hipótesis de que ésta no iba a variar en estos 10 años, algo que sí podría suceder en los parámetros químicos.

También se simplifica el muestreo de la densidad aparente. En 2001, aprovechando las calicatas, se tomaron muestras en ambos horizontes mediante cilindros de acero de volumen conocido, por lo que la densidad aparente se calculó en laboratorio mediante la relación peso seco de la muestra sobre el volumen del cilindro. En 2011, en ausencia de calicatas, se recurrió a métodos indirectos, a partir de la textura, para estimar la densidad aparente de cada horizonte muestreado.



Foto 4. Empleo de barrena para medición de profundidad y, a la vez, para tomar muestras a distintas profundidades

En ambos muestreos se ha desechado la capa orgánica (horizonte O hasta 1-2 cm de profundidad) y se procuró que tanto en 2001 como en 2011 las muestras fueran recogidas en primavera-verano. En 2011 no se tomaron ni analizaron muestras de parámetros relacionados con la hojarasca, como sí se hizo en 2001 por medio de un muestreador cuadrado de 50 cm de lado.

Tanto en 2001 como en 2011, las muestras de suelo obtenidas fueron conservadas en frigorífico hasta su entrega en el laboratorio al cabo de pocos días para proceder a su análisis. En ninguna de las muestras analizadas se apreció un nivel reseñable de pedregosidad, con un promedio en torno al 5% de elementos gruesos en el horizonte superficial y al 10% en el horizonte profundo. Una vez recibidos los resultados del laboratorio, se procedió a establecer la posible relación de los parámetros analizados con los datos físicos y dasométricos de cada parcela muestreada.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La tabla 1 pone de manifiesto el mantenimiento o aumento de los valores medios de los principales parámetros físico-químicos en los suelos de pino radiata y eucalipto del País Vasco a lo largo de estos diez años transcurridos. Se presentan los datos del horizonte más superficial (0-20 cm), aunque en el horizonte profundo (20-40 cm) se observa la misma tónica en sus valores medios.

También se constata que los coeficientes de correlación entre las muestras de 2001 y 2011, como medida de la relación lineal entre variables cuantitativas, son relativamente altos. Ello viene a significar que los suelos que destacaban porque presentaban valores más altos

Tabla 1. Valores medios de los principales parámetros físico-químicos en el horizonte superficial (0-20 cm) de las parcelas remediadas, junto con su coeficiente de correlación

Parámetro	2001	2011	Coef.Corr (%)
Densidad aparente (g/ml)	0,98	1,19	75,66
pH	4,94	5,02	59,83
M.O.%	5,06	7,14	35,18
Relación C/N	16,49	17,28	31,74
Nitrógeno (%)	0,19	0,24	36,42
Fósforo Olsen (mg/l)	4,38	5,95	81,34
Magnesio (mg/l)	74,54	93,03	91,23
Potasio (mg/l)	91,18	103,20	56,34

El coeficiente de correlación de Pearson es una medida de la relación lineal entre dos variables aleatorias cuantitativas. Si el coeficiente alcanza el 100%, existe una correlación perfecta entre dos muestras. Si es del 0%, no existe relación lineal

Tabla 2. Valores medios de diversos parámetros relacionados con la clase de calidad de los pinares y analizados en 2001 (textura) y en 2011 (nutrientes)

Clase de calidad	% Arena	% Arcilla	Nitrógeno (%)	Calcio (mg/l)	Magnesio (mg/l)	Fósforo (mg/l)	Altitud (m)
1 (alta)	16,24	38,29	0,18	1.082,17	166,83	12,58	314
2 (media)	16,45	26,18	0,22	393,75	51,50	3,25	337
3 (baja)	21,41	32,60	0,20	910,52	75,98	3,98	367

o más bajos de un parámetro en 2001, también destacan por la misma razón en 2011.

En cuanto a la profundidad efectiva media, se ha pasado de un valor medio de 50 cm en 2001 a un valor de 77,5 cm en 2011. El coeficiente de correlación tan bajo obtenido (9%) pone de manifiesto la gran variabilidad de medición de este parámetro, ya que depende de factores como la pedregosidad, la potencia del operario o el tipo de barrena empleada.

Igualmente, se constata un aumento del contenido en materia orgánica en ambos horizontes. Según el conocido coeficiente de Waksman, se puede determinar el contenido en materia orgánica de un horizonte multiplicando el contenido en carbono orgánico por el factor 1,724; es decir, la materia orgánica del suelo contiene un 58% de carbono. Por tanto, se ha pasado en el conjunto de la muestra analizada de un promedio del 2,32% de carbono orgánico en 2001 a un 3,23% en 2011.

En suma, se ha conseguido un enorme volumen de datos dispuestos para su análisis. Tanto estos mismos resultados como los procedentes de las fuentes de información antes citados van a servir seguidamente para cuantificar la bondad de ciertos asertos, más o menos extendidos, relacionados con nuestros suelos forestales:

- “Los suelos forestales cantábricos son los más fértiles en el conjunto español”. Si se toman los datos de la Red Europea de Daños-Nivel I y se analiza el conjunto de suelos analizados en la vertiente cantábrica (Galicia, Asturias, Cantabria y la parte atlántica de Navarra y País Vasco), éstos muestran en sus primeros 20 cm mayores porcentajes medios en nitrógeno (3,86 frente a 2,38%) y carbono orgánico (60 frente a 34 g/kg) que el resto de suelos forestales españoles. Los suelos cantábricos también presentan menores valores medios en densidad aparente (1,08 frente a 1,38 g/ml), presencia de elementos gruesos (19 frente a 32%) y pH (4,16 frente a 6,18).
- “Los suelos forestales vascos son más arcillosos que los gallegos”. Atendiendo a su textura observada, los horizontes muestreados en la citada Red Europea se clasifican en una escala entre 1 (gruesa, con más del 65% de arena) y 5 (muy fina, con más del 60% de arcilla). El promedio obtenido en Galicia (1,57) es el más arenoso de todas las Comunidades, mientras que Navarra y País Vasco presentan los valores más arcillosos (2,96). Los mapas del IFN2 también muestran un alto porcentaje de suelos arcillosos en Navarra y País Vasco.
- “La productividad del pino radiata está directamente relacionada con factores como bajos contenidos en arena y elevados de arcilla. También aparece una correlación débilmente significativa y de signo nega-



Foto 5. Paisaje de Zeanuri (Bizkaia) dominado por pino radiata, con un mosaico de pinares talados, jóvenes y adultos



Foto 6. Paisaje costero de Bizkaia, mostrando un mosaico de parcelas de eucalipto

tivo entre el nitrógeno total y la calidad, y también, aunque ahora positiva, entre esta última y el calcio y magnesio de cambio (GANDULLO *et al.*, 1974)". Efectivamente, en la tabla 2, construida con los valores medios de los suelos analizados en pinares vascos en 2001-2011, se muestran esas mismas tendencias. Igualmente, la calidad del pinar, según las tres clases de Madrigal y Toval (1975), parece estar directamente relacionada con el contenido en fósforo. Por último, hay que citar el conocido factor negativo que supone la altitud en la productividad de los pinares.

- "El eucalipto y el pino marítimo se desarrollan mejor que el pino radiata en terrenos más arenosos". Efectivamente, la tabla 3, elaborada a partir de los valores de textura obtenidos en la primera medición de la red Basonet (2001), muestra las diferencias entre esas especies. A nivel español, los estratos creados por el IFN2 ponen también de manifiesto esas diferencias. Los estratos dominados por pino radiata y por fustal denso de roble y de haya son los únicos que presentan *de visu* textura arcillosa en cerca de un 50% de las parcelas y textura arenosa en menos de un 3%. En el otro extremo, los estratos dominados por eucalipto cantábrico, pino marítimo cantábrico y castaño son los únicos que presentan textura intermedia en un 75% de las parcelas y textura arenosa en menos de un 2%.

El análisis de los datos disponibles ha permitido también obtener nuevas conclusiones para los suelos del País Vasco:

Tabla 3. Valores medios de textura según especie principal de la parcela, obtenidos en la red Basonet (2001)

Especie	% Arena (0-20 cm)	% Arena (20-40 cm)	% Arcilla (0-20 cm)	% Arcilla (20-40 cm)
Eucalipto	36,58	34,36	27,83	28,82
Pino marítimo	36,28	24,23	27,50	35,18
Pino radiata	19,08	17,53	35,89	37,61

Los suelos donde se ha plantado eucalipto y pino marítimo destacan por su alto contenido en arena

- "A mayor profundidad del suelo, aumenta el porcentaje de arcilla y descende el de arena". El gráfico 1, elaborado a partir de los valores de textura de la red Basonet (2001) en las principales litologías del País Vasco, muestra esas tendencias. En un 75% de los suelos analizados, el porcentaje de arcillas del horizonte profundo superaba el del horizonte superficial y sucedía lo contrario con la arena. Estos hechos pueden ser explicados, en entornos lluviosos, a través del agua de infiltración que arrastra parte de la arcilla de los horizontes superiores y la deposita en las zonas más profundas (proceso de iluviación de arcilla).
- "A mayor profundidad del suelo, aumenta el pH". El gráfico 2, elaborado también con los datos de Basonet (2001), muestra un ligero aumento del pH en los horizontes profundos en las principales litologías del País Vasco.

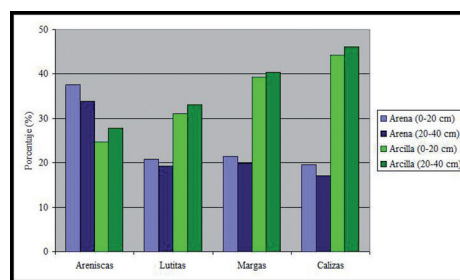


Gráfico 1. Valores medios de textura en la red Basonet (2001) según litología. En las cuatro litologías analizadas, el horizonte más profundo presenta menos arena y más arcilla

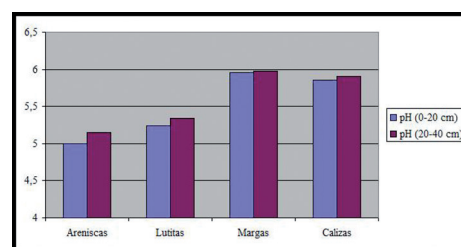


Gráfico 2. Valores medios de pH en la red Basonet (2001) según litología. En las cuatro litologías analizadas, el horizonte más profundo presenta mayor pH medio

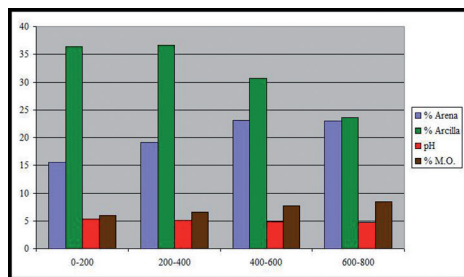


Gráfico 3. Valores medios de diversos parámetros del horizonte superficial en el muestreo de 2011 según clases de altitud (m). Conforme aumenta la cota, crece el contenido en arena y materia orgánica, a la vez que disminuye la arcilla y el pH

Las razones del punto anterior podrían ser repetidas en este caso.

- “En la zona cantábrica, a mayor altitud aumenta el porcentaje de arena y la materia orgánica y disminuye la arcilla y el pH”. El gráfico 3 se ha elaborado a partir de los valores medios del horizonte superficial en 2011, por lo que sólo comprende parcelas de pino radiata y eucalipto situadas en la vertiente cantábrica del País Vasco, donde dominan los entornos silíceos y ambientes húmedos. Estos hechos contribuyen a homogeneizar las condiciones de partida. En ese contexto, el aumento general de las precipitaciones y el descenso de las temperaturas con la altitud contribuyen al proceso de eluviación y a cambios físico-químicos ligados a la evolución de los suelos.
- “Los suelos que presentaban carencias nutricionales en 2001, diez años después mantienen ese déficit”. El gráfico 4 se ha elaborado a partir de los valores medios de todos los horizontes muestreados en

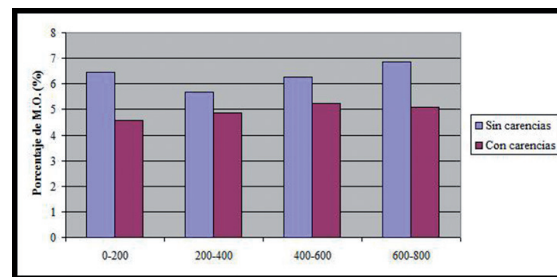


Gráfico 4. Valores medios de materia orgánica en 2011, según clases de altitud (m). Conforme aumenta la cota, crece el contenido en materia orgánica, tanto en los suelos que mostraban carencias nutricionales diez años atrás como en los que no la mostraban

2011. Muestra el menor porcentaje en materia orgánica de los suelos que diez años antes presentaban carencias nutricionales y, a la vez, el ya comentado aumento en el contenido en materia orgánica con la altitud. En general, el contenido en materia orgánica del horizonte superficial resulta ser el doble del contenido del horizonte profundo.

Hay que tener en cuenta que un gran número de propietarios forestales recurre al abonado N-P-K al plantar eucalipto. En el caso del pino radiata, son aún pocos los propietarios que recurren al abonado, sobre todo en los primeros años de la nueva masa. Las tendencias actuales apuntan a un aumento de la superficie de eucalipto a costa del pino radiata, por lo que las necesidades nutritivas de los suelos forestales vascos pueden ser mayores en el futuro.

Se espera que las mediciones realizadas sean sólo el comienzo de un análisis más profundo y sostenido en el tiempo, que ayude a conocer mejor la variabilidad espacio-temporal de los suelos forestales del País Vasco. ●

Bibliografía

ARIAS, A.; GARTZIA, N.; 2015. *Sostenibilidad de la fertilización de pino radiata en la CAPV*. Euskadi Basogintza-Forestal, 83:7-8.

EUROSTAT; 2013. http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/LUCAS_-_land_use_and_land_cover_survey.

GANDULLO, J.M.; GONZÁLEZ ALONSO, S. & SÁNCHEZ PALOMARES, O.; 1974. *Ecología de los pinares españoles. IV. Pinus radiata D. Don*. Colección Monografías INIA nº. 13. Madrid.

LÓPEZ ARIAS, R.; MONTOYA MORENO, M. 1998. *La red europea de seguimiento de daños en los bosques (Nivel II) España, 1987-1996*. Organismo Autónomo Parques Nacionales. Madrid.

MADRIGAL, A.; ÁLVAREZ, J.G.; RODRÍGUEZ SOALLEIRO, R.; ROJO, A.; 1999. *Tablas de producción para los montes españoles*. Fundación Conde del Valle de Salazar. Madrid.

MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE; 1998. *Segundo Inventario Forestal Nacional 1986-1996*. Madrid.

NAMBIAR, E. K. S.; 1996. *Sustained productivity of forests is a continuing challenge to soil science*. Soil Sci. Soc. Am. J., 60: 1629-1642.

NEIKER; 2009. *Localización de la superficie forestal vasca afectada por carencias nutricionales*. Informe interno para Basalde-PEFC Euskadi (no publicado).

SIX, J.; CONANT, R. T.; PAUL, E. A.; PAUSTIAN, K.; 2002. *Stabilization mechanisms of soil organic matter: implications for C-saturation of soils*. Colorado State University. Plant and Soil, 03/2002, 241(2):155-176.