

Proyecto FORSEE

Una red de zonas piloto para verificar y mejorar los indicadores de gestión forestal sostenible de los bosques a nivel regional en el arco atlántico de Europa

Informe final regional
Navarra

PARTE 4º: ESTUDIO ESPECÍFICO REGIONAL CRITERIO 1:
“Cuantificación de la capacidad de secuestro de carbono a medio y largo plazo por Fagus sylvatica L. Estación Piloto en los Montes de Burguete- España”

Abril 2007

M. Carmen Traver, Fernando Puertas e Irantzu Primicia



Proyecto FORSEE (20) www.iefc.net



Proyecto cofinanciado por la Unión Europea
Iniciativa Comunitaria
FEDER- INTERREG III B Espacio Atlántico



INFORME REGIONAL FORSEE

Índice

PARTE 1: SÍNTESIS

PARTE 2: MATERIAL Y MÉTODOS

PARTE 3: DATOS

PARTE 4: ESTUDIO ESPECÍFICO REGIONAL BAJO EL CRITERIO 1

ÍNDICE

Lista de Tablas	5
Lista de Figuras.....	6
Abreviaturas.....	7
I Introducción.....	8
II Objetivo.....	10
Interés para el Proyecto	10
Interés Regional	10
III Material y métodos.....	12
1. Área de Estudio	12
2. Trabajo de campo	13
a) Selección de árboles muestra	13
b) Procesado de los árboles muestra: cubicación de los fustes y peso en verde de las fracciones de biomasa	14
c) Estimación de la biomasa (material seca).....	15
3. Análisis estadístico.....	15
a) Elaboración de Ecuaciones de Biomasa.....	15
b) Validación del método.....	16
4. Desarrollo de Valores Modulares de Biomasa (VMB)	16
IV Resultados y discusión.....	17
1. Elaboración de Ecuaciones de Biomasa	17
2. Validación del método.....	19
3. Valores Modulares de Biomasa (VMB)	20
4. Distribución de la biomasa	22
Biomasa aérea.....	22
5. Factores de Expansión de Biomasa (BEFs) y Ecuaciones de Biomasa (EB).....	23
a) Biomasa aérea.....	23
b) Biomasa radical.....	24
6. Evaluación de la biomasa y contenido de carbono en los Montes de Burguete.....	25
a) Estimación a partir de los Valores Modulares de Biomasa	25
b) Estimación a partir ABEF y otras EB	26
V Conclusiones	28

Agradecimientos	29
VI Bibliografía	30
VII Anexos	32
Anexo 1. Datos	32
Anexo 2. Influencia de las ecuaciones de cubicación en la estimación del contenido de carbono en <i>Fagus sylvatica</i> L. utilizando Factores de Expansión de Biomasa (BEFs) en Navarra	34
I Introducción	34
II Material y Métodos	34
III Resultados	35
IV Conclusiones	36
V Bibliografía	37
Anexo 3. Anexo fotográfico.....	38
Anexo 4. Costes de la ejecución del Estudio Específico de la Región de Navarra	41

Lista de Tablas

Tabla 1 Distribución de los pies apeados en CD	14
Tabla 2 Modelos ajustados	15
Tabla 3 SEE, AIC y BIC de los modelos ajustados para cada fracción de biomasa	18
Tabla 4 Coeficientes del modelo para las fracciones de biomasa.....	19
Tabla 5 Valores Modulares de Biomasa, VMBs (kg) procedentes de las EBs por clase diamétrica (CD) y fracción de biomasa	21
Tabla 6 Valores Modulares de Biomasa (kg) corregidos por CD y fracción.....	21
Tabla 7 Ecuaciones de Biomasa y Factor de Expansión de Biomasa Aérea utilizados	24
Tabla 8 p-valores del test de Wilcox. Comparación entre las EB alternativas, el ABEF y los valores reales.....	24
Tabla 9 Tarifas de cubicación de una y dos entradas desarrolladas para el haya en Burguete.....	25

Anexo 1 Datos

Tabla 1 Datos de las fracciones de biomasa aérea de los pies apeados durante el estudio.....	34
Tabla 2 Datos de las fracciones de biomasa radical de los pies apeados durante el estudio.....	35

Anexo 2. Influencia de las ecuaciones de cubicación en la estimación del contenido de carbono en *Fagus sylvatica* L. utilizando Factores de Expansión de Biomasa (BEFs) en Navarra

Tabla 1 Resultado del test de Wilcox aplicado para comprobar las diferencias entre los resultados de las ecuaciones de cubicación y el volumen real por CD.....	36
---	----

Lista de Figuras

Figura 1 Localización del área de estudio	12
Figura 2 Orografía de los Montes de Burguete	12
Figura 3 Extensión del hayedo en los montes de Burguete. Fuente: IGM (en trámite)	13
Figura 4 Ecuaciones de Biomasa Aérea y Radical y valores observados.....	19
Figura 5 MSE de la predicción del modelo seleccionado para la biomasa aérea por clase diamétrica	19
Figura 6 MSE de la predicción del modelo seleccionado para la biomasa del fuste por clase diamétrica	20
Figura 7 Predicciones y valores reales de la biomasa total aérea y biomasa del fuste	20
Figura 8 Porcentaje de la biomasa aérea y radical sobre el total.....	22
Figura 9 Valores Modulares de Biomasa de la biomasa aérea y de la biomasa radical según CD	22
Figura 10 Valor Modular de Biomasa (kg) de las fracciones de BA por clase diamétrica.....	22
Figura 11 Proporción de cada fracción de biomasa aérea sobre la BA total por clase diamétrica	23
Figura 12 Carbono total retenido por <i>Fagus sylvatica</i> L. en los montes de Burguete	27

Anexo 2. Influencia de las ecuaciones de cubicación en la estimación del contenido de carbono en *Fagus sylvatica* L. utilizando Factores de Expansión de Biomasa (BEFs) en Navarra

Figura 1 Localización de los municipios origen de los pies muestra.....	35
Figura 2 Estimación de las ecuaciones de cubicación de Burguete e IFN y valor real del volumen del fuste	36
Figura 3 Error cuadrático medio de cada tarifa de cubicación respecto al volumen real.....	36

Abreviaturas

ABEF: Factor de Expansión de Biomasa Aérea

BA: Biomasa Aérea

BEF: Factor de Expansión de Biomasa

BR: Biomasa Radical

CD: Clase Diamétrica

CREAF: Centre de Recerca Ecològica i Aplicacions Forestals

Dn: Diámetro normal

EB: Ecuaciones de Biomasa

Ht: Altura total

IF: Inventario Forestal

IFN: Inventario Forestal Nacional

INIA: Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria

IPCC: Intergovernmental Panel on Climate Change

MMA: Ministerio de Medio Ambiente

PO: Proyecto de Ordenación

VCC: Volumen con corteza

VMB: Valores Modulares de Biomasa

I Introducción

En las últimas décadas, el papel multifuncional de los bosques ha cobrado gran importancia. Actualmente, los Proyectos de Ordenación y Planes Técnicos de Gestión no centran su atención únicamente en la producción maderera, sino que abarcan otras funciones, tales como la conservación de la biodiversidad, protección contra erosión o uso recreativo. El papel de los bosques como sumidero de carbono ha atraído el interés mundial debido, principalmente, a las medidas de control de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) establecidas por el Protocolo de Kioto. El Inventario Anual de Emisiones de GEI (DECISIÓN 1999/296/CE) de la "UN Framework Convention on Climate Change" (UNFCCC) incluye la estimación de emisiones y retenciones de GEI del Uso del Suelo, Cambio del Uso del Suelo y Actividades Forestales.

Los Inventarios Forestales (IF) e Inventarios Forestales Nacionales (IFN) proporcionan gran cantidad de información sobre los ecosistemas forestales, son estadísticamente válidos y generalmente son periódicos. (Schroeder et al., 1997, Brown et al., 1999) Por todo ello han sido frecuentemente utilizados para evaluar el contenido de carbono en las especies arbóreas forestales, tanto a nivel regional como en grandes superficies (Schroeder et al., 1997, Brown et al., 1999, Pignard et al., 2000, Jenkins et al., 2003, Muñoz, 2002, Montero et al., 2003, Montero et al., 2005). Sin embargo, los IFs están normalmente dirigidos a la evaluación del volumen comercial o volumen de los fustes de una masa forestal, por lo que el principal problema de la evaluación del contenido de carbono a partir de los mismos es la ausencia de mediciones directas de biomasa (Lehtonen et al., 2004). Consecuentemente, la determinación de una metodología fiable para la estimación de la retención de carbono a partir de datos de IFs se ha convertido en el principal objetivo de diversos estudios. Se han investigado principalmente dos metodologías: Ecuaciones de Biomasa (EBs), aplicables a nivel de árbol, y Factores de Expansión de Biomasa (BEFs), aplicables a nivel de masa forestal (Zianis et al., 2005, Somogyi et al., 2006).

Las EBs son elaboradas a partir de un muestreo destructivo y estiman la biomasa como función del Diámetro normal (Dn) (Santa Regina et al., 1997; Zianis y Mencuccini, 2003; Van Camp et al., 2004; Montero et al., 2005), o del Dn y otra variable, como puede ser la altura total (Ht) (Joosten et al., 2004). En España, el Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria (INIA) desarrolló EB para las principales especies forestales españolas, así como Valores Modulares de Biomasa (VMB), directamente aplicables a los datos de IFs (Montero et al., 2005). Santa Regina et al. (1997) también desarrolló EB para *Fagus sylvatica* L. en la Sierra de la Demanda.

Por otra parte, los BEFs son aplicados normalmente al volumen de un determinado compartimento de los árboles o masas forestales (generalmente, el volumen del fuste) incluido en los IFs. De esta manera, el volumen del fuste es convertido en biomasa aérea o total, dependiendo del propio desarrollo del BEF (Schroeder, et al., 1997; Lehtonen et al., 2004; Sabaté et al., no publicado). En España, el Centre de Recerca Ecològica i Aplicacions Forestals (CREAF) (Sabaté et al., no publicado) desarrolló Factores de Expansión de Biomasa Aérea (ABEFs) para las principales especies arbóreas de Cataluña. Sin embargo, algunos autores han admitido que los BEFs dependen de características de la masa forestal como la clase de edad o el volumen maderable (Schroeder et al., 1997, Brown et al., 1999, Lehtonen et al., 2004).

Probablemente, los principales problemas de la aplicación de EB o BEFs son la falta de transparencia en la metodología empleada en su desarrollo, así como las discrepancias existentes entre las definiciones de diferentes países, como por ejemplo, la madera comercial. Lowe et al. (2000) encontró una ausencia de transparencia y consistencia en los métodos utilizados en el Inventario Anual de emisiones de GEI de los Estados Miembros. Además, las EB son

frecuentemente desarrolladas a partir de un número reducido de árboles muestra, que generalmente abarcan diámetros pequeños.

En este estudio se han desarrollado EB (aérea y radical) para *Fagus sylvatica* L. a partir del inventario destructivo de una colección de árboles procedentes del bosque de Burguete, Navarra. Se han desarrollado igualmente Valores Modulares de Biomasa (VMB), siguiendo la metodología propuesta por el INIA (Montero et al., 2005), para cada fracción de biomasa y clase diamétrica (CD). Estos VMB han sido aplicados a los datos del IF de los Montes de Burguete (IGM, en trámite) para estimar posteriormente la cantidad de carbono retenida por el hayedo de Burguete.

Además, se ha comparado la estimación de biomasa y contenido de carbono retenido por *Fagus sylvatica* L. en el área de estudio a partir de la aplicación de diferentes EB y BEFs, desarrollados específicamente para dicha especie en España.

II Objetivo

El trabajo tiene como objetivo principal la comparación y validación de la metodología propuesta por el INIA para la estimación del carbono almacenado por una masa de *Fagus sylvatica* L. con otros métodos propuestos por diversos autores. Para ello se han realizado los siguientes pasos:

- Confección de Ecuaciones de Biomasa para *Fagus sylvatica* L. en el norte de Navarra.
- Validación de las Ecuaciones de Biomasa (EB)
- Elaboración de Valores Modulares de Biomasa (VMB) a partir de las Ecuaciones de Biomasa para cada clase diamétrica y fracción de biomasa.
- Estimación del carbono almacenado por *Fagus sylvatica* L. en los Montes de Burguete a partir de la aplicación de los VMB. Comparación de los resultados obtenidos a partir de los VMB y otras Ecuaciones de Biomasa y Factores de Expansión de Biomasa determinados para el haya en España.

Interés para el Proyecto

El estudio específico propuesto para desarrollar en el marco del Proyecto, aplica la metodología propuesta por el INIA para la determinación del carbono secuestrado por haya (*Fagus sylvatica* L.).

La metodología presenta dos aspectos de interés que la diferencian de otros métodos utilizados para el cálculo de la biomasa y posteriormente para la determinación del carbono retenido en ella. En primer lugar, informa del contenido en las diferentes fracciones del árbol (ramas finas, ramas, fuste, raíces y raicillas) y, en segundo, su expresión mediante valores modulares, por clase diamétrica y fracción, permite la aplicación directa a los datos de los inventarios forestales, bien de carácter local o nacional.

Este método constituye una herramienta muy útil y fácilmente aplicable y transferible al sector, por lo que creemos que supone una aportación de interés al Proyecto.

Interés Regional

Navarra, como el resto de las regiones europeas, tiene interés en estimar con la mayor precisión posible la capacidad de “captura” o “secuestro” del carbono por sus ecosistemas forestales, dada la permanencia en el tiempo de las especies que los constituyen.

La superficie forestal arbolada representa algo más del 35,48 % de la superficie total de la Comunidad. De aquella, el 65,20 % corresponde a frondosas, siendo el haya la especie más relevante, ya que con 121.633,67 hectáreas supone el 33,70 % de la superficie forestal arbolada y un poco más de la mitad de la superficie ocupada por frondosas (51,68 %). De estas cifras se deduce la importancia de los bosques en Navarra y, en particular, del hayedo.

Como se ha indicado, el INIA elaboró ecuaciones de biomasa para las principales especies forestales españolas y, a partir de aquéllas, los valores modulares de biomasa aplicables directamente a los datos de los inventarios forestales. La facilidad de su aplicación y el hecho de que permiten determinar el carbono en función de diferentes supuestos selvícolas, promovió nuestro interés planteando, dentro del marco de este proyecto, el desarrollo de las ecuaciones y los valores

modulares en el hayedo de Burguete, la validación del método y la comparación con otros, para determinar el contenido de carbono almacenado en esta especie forestal.

La aplicación de los valores modulares, así como otras ecuaciones de biomasa o factores de expansión propuestos por otros autores a los datos del inventario de los montes de Burguete, se ejecutó en un momento idóneo, ya que se estaba procediendo a la revisión del proyecto de ordenación de estos montes y, entre los trabajos previstos, se contemplaba el apeo de árboles tipo, muestra que fue complementada en el marco de este trabajo.

III Material y métodos

1. Área de Estudio

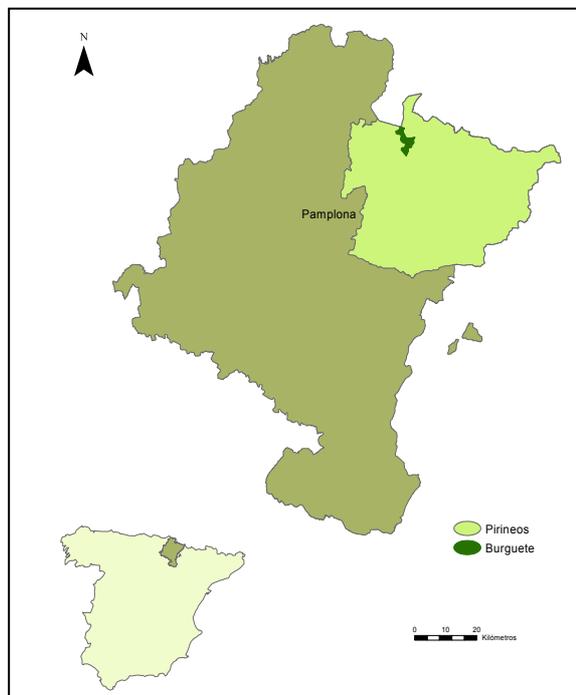


Figura 1 Localización del área de estudio

El área de estudio queda localizada en el término Municipal de Burguete, al Nordeste de Navarra y Norte de la Comarca de los Pirineos ($1^{\circ}18'W$, $42^{\circ}57'N$; $1^{\circ}21'W$, $43^{\circ}2'N$) (Figura 1). Está conformada por tres montes inscritos en el Catálogo de Montes de Utilidad Pública de Navarra: “Atalosti”, “Pacharamberro” y “Bidausi” (Figura 2), que suman una superficie aproximada de 1.400 ha (73% de la superficie total del municipio).

El norte de la Comarca de los Pirineos se caracteriza por una topografía muy movida, con valles encajados entre montañas de cierta altitud. No obstante, el área de estudio cuenta con relieves relativamente suaves, pendientes no muy pronunciadas y queda encuadrada en un rango altitudinal de 870 a 1.210 m sobre el nivel del mar (Figura 2).

Según Rivas-Martínez (1994), los montes de Burguete quedan caracterizados por un clima continental frío hiperhúmedo. Para Allué (Atlas fitoclimático de España, 1990), se encontrarían incluidos en la subregión fitoclimática VI de *Clima Nemoral Genuino*, subtipo fitoclimático cuya asociación climática es el hayedo.

Geológicamente, la mitad septentrional de Atalosti corresponde al periodo Devónico inferior, mientras que la parte meridional corresponde al Cuaternario. La zona de Bidausi corresponde al Cretácico Superior y Pacharamberro, al Terciario (Departamento Obras Públicas, Transportes y Comunicaciones, 1994 y 1999). Estas adscripciones geológicas muestran litologías: esquistos, margas, calizas arcillosas detríticas (Flysch carbonífero) y zonas de acarreo con depósitos fluviales (Íñiguez et al., 1990). Los montes de Burguete presentan suelos generalmente acidificados, con escaso contenido en carbonato cálcico y pobres en fósforo; bien drenados y con escasa pedregosidad.

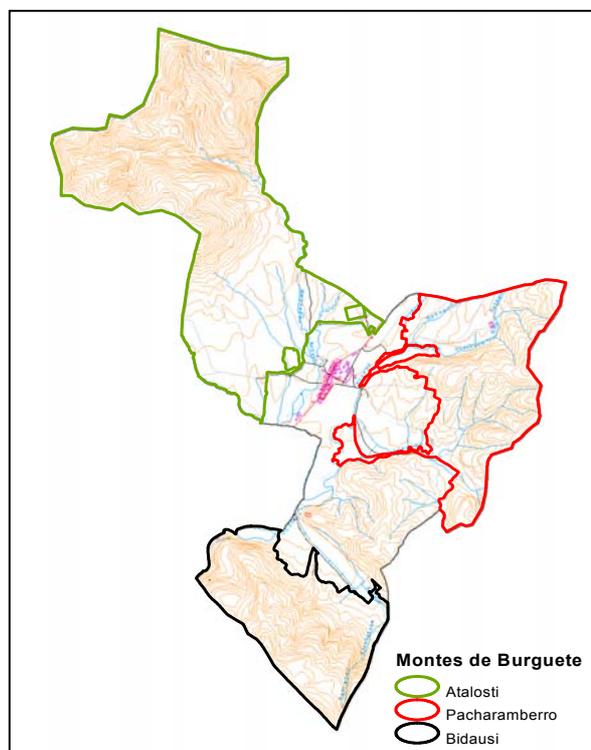


Figura 2 Orografía de los Montes de Burguete

El 60% aproximadamente de la superficie total del término está cubierta por terrenos forestales; el resto lo ocupan áreas cultivadas, pastos y no productivas. La vegetación forestal actual de los montes de Burguete corresponde principalmente a un hayedo puro. El haya (*Fagus sylvatica* L.), abarca el 83% de la superficie forestal de los montes de Burguete, lo que representa el 49% de la superficie total (Figura 3) En la masa arbórea aparecen también otras especies aisladas, muy presenciales en los bordes del bosque. Se encuentran arces (*Acer* sp.), abedules (*Betula alba*), avellanos (*Corylus avellana*), serbal de los cazadores (*Sorbus aucuparia*), mostajo (*Sorbus aria*) y robles (*Quercus petraea*, *Quercus robur*). En las últimas décadas se han efectuado también repoblaciones, bien con especies autóctonas (haya y roble), o introducidas como *Pseudotsuga menziesii*, *Picea abies*, *Larix* sp. y *Quercus rubra* (IGM, en trámite).

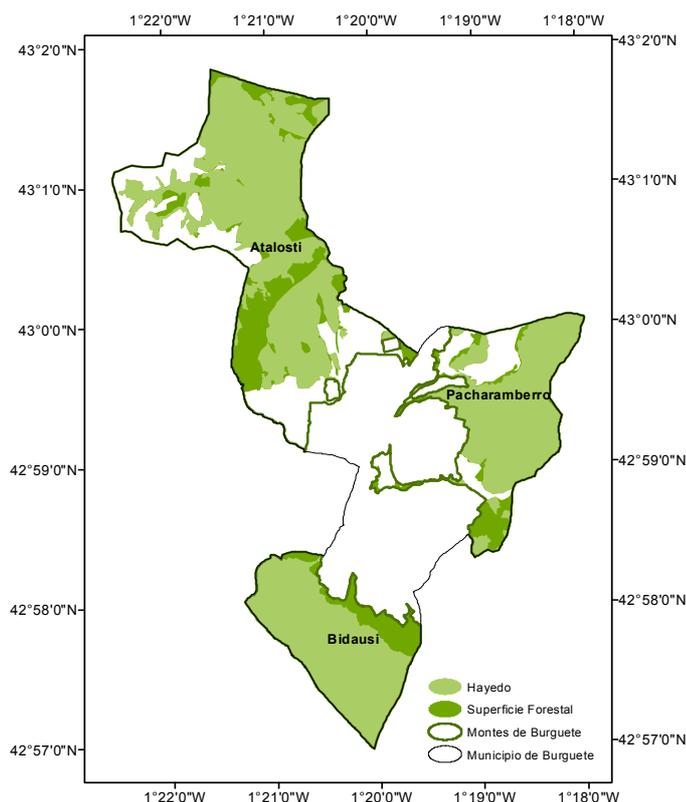


Figura 3 Extensión del hayedo en los montes de Burguete.
Fuente: IGM (en trámite)

2. Trabajo de campo

a) Selección de árboles muestra

Para el estudio de la biomasa aérea (BA) se seleccionaron 42 pies de *Fagus sylvatica* L. representativos de cada una de las clases diamétricas (CD) comprendidas entre 10 y 75 cm y con intervalos de 5 cm. La muestra de árboles no resultó equitativamente distribuida entre las 14 CD por razones operativas y ante la dificultad de conseguir las autorizaciones de apeo de hayas con diámetro normal (Dn) mayor a 50 cm. De esta manera, se apearon un total de 42 pies distribuidos principalmente en las CD menores a 55 cm (Tabla 1).

Tabla 1 Distribución de los pies apeados en CD

CD (cm)	Nº de pies muestra
10	3
15	3
20	3
25	3
30	5
35	6
40	5
45	4
50	3
55	2
60	2
65	1
70	1
75	1
Total	42

Los 42 árboles muestra proceden de 5 masas puras de haya en los Montes de Burguete. La selección de las masas muestreadas y de los pies apeados vino determinada por las operaciones de apeo ejecutadas durante la 2ª Revisión del Proyecto de Ordenación de los montes comunales de Burguete (IGM, en trámite). Dicha selección se ejecutó con la colaboración y supervisión del Guarderío Forestal.

Para el estudio de la biomasa radical (BR) fueron seleccionados 14 pies de la muestra anterior, uno de cada CD. Debido a que el estudio comprendía la extracción del sistema radical con retroexcavadora, la selección de los pies vino determinada por razones operativas y teniendo en cuenta el menor impacto sobre el terreno.

b) Procesado de los árboles muestra: cubicación de los fustes y peso en verde de las fracciones de biomasa

Biomasa aérea (BA)

Previo al derribo de los 42 árboles muestra, se tomaron datos de la estación de cada uno de ellos (pendiente y altitud) y de los árboles en pie (Dn, altura total, altura de la copa viva y diámetro de copa). En Octubre de 2004 los 42 pies fueron apeados y seccionados en las siguientes fracciones de biomasa: fuste, ramas mayores de 7 cm, ramas entre 2 y 7 cm y ramas menores de 2 cm.

Los fustes fueron cubicados en trozas de 1 m hasta 20 cm en punta delgada y de 4 m hasta 7 cm en punta delgada y se calculó su volumen mediante la aplicación de las fórmulas de Smalian y de Newton. El resto de las fracciones de biomasa fueron pesadas con ayuda de una romana (precisión de 0,5 kg) para estimar su peso en verde.

El trabajo de campo correspondiente al procesado de la BA finalizó en Enero de 2005. El tiempo medio de procesado de un pie (desde el apeo hasta el pesado de las fracciones) varió de media a tres jornadas laborales de tres personas (un ingeniero técnico forestal y dos auxiliares forestales) dependiendo del tamaño del pie.

Biomasa radical (BR)

El sistema radical de los 14 pies seleccionados fue extraído con ayuda de una retroexcavadora en Enero de 2005; se recogieron las raíces que permanecían enterradas en el suelo o se habían roto durante la extracción y se limpiaron los tocones de tierra. El sistema radical fue dividido en las siguientes fracciones: tocón, raíces mayores a 7 cm y raíces menores a 7 cm. Los tocones pequeños y las raíces fueron pesados con una romana (precisión 0,5 kg), mientras que para los más grandes se utilizó una báscula agrícola o un camión pluma (precisión 0,5 y 10 kg respectivamente), dependiendo de su tamaño.

El trabajo de campo correspondiente al procesado de la BR fue finalizado en Junio de 2005, ya que de Febrero a Abril de 2005 hubo una interrupción de los trabajos debido a condiciones climatológicas adversas. El tiempo medio de procesado de un pie (desde su extracción a su pesado) fue de media a tres jornadas laborales de tres personas (un ingeniero técnico forestal y dos auxiliares forestales) dependiendo del tamaño del pie.

c) Estimación de la biomasa (material seco)

De cada una de las fracciones de biomasa (aérea y radical) se recogieron 3 sub-muestras procedentes de tres pies elegidos al azar para calcular en laboratorio su contenido de humedad. Para ello, las muestras fueron desecadas en estufa a 102 ± 2 °C hasta peso constante. La biomasa de cada fracción y árbol muestra (materia seca) fue determinada a partir de la multiplicación del peso en verde por el contenido de materia seca (%) calculado en laboratorio.

Por otra parte, la biomasa seca de los fustes fue calculada a partir de la multiplicación de los volúmenes de fuste por la densidad básica de la madera de haya (Gutiérrez-Olivá & Fernández-Golfin, 1997).

3. Análisis estadístico

a) Elaboración de Ecuaciones de Biomasa

Para cada una de las fracciones de biomasa se ajustaron 8 modelos alternativos resumidos en la Tabla 2. La selección del mejor modelo se basó en la “Raíz del error medio cuadrático o Error Estándar de la Estimación” (SEE), el Criterio de Información de Akaike (AIC) y el Criterio de Información Bayesiano (BIC), de manera que el mejor modelo es aquel que presenta un menor valor de SEE, AIC y BIC (Tabla 2).

Tabla 2 Modelos ajustados

Modelo	Fórmula
1	$Y \sim Dn$
2	$Y \sim Dn + Ht$
3	$\ln(Y) \sim Dn + Ht$
4	$\ln(Y) \sim Dn$
5	$\ln(Y) \sim Dn + I(Dn^2)$
6	$\ln(Y) \sim Dn + I(Dn^2) + Ht$
7	$\ln(Y) \sim \ln(Dn)$
8	$\ln(Y) \sim \ln(Dn) + Ht$

Los modelos tipo 1 y 2 fueron desechados en un principio ya que los datos no cumplían los supuestos de normalidad y homogeneidad de la varianza de los errores residuales. Para cumplir dichos criterios se ejecutaron transformaciones logarítmicas de los datos (modelos tipo 3-8) y se determinó la mejor ecuación para cada fracción de biomasa.

b) Validación del método

Las ecuaciones de biomasa aérea fueron validadas mediante la comparación de sus estimaciones de biomasa y los valores reales de 30 pies de *Fagus sylvatica* L., apeados en Cantabria por el INIA para la elaboración de EB (Montero et al., 2005). Para ello, los árboles muestran fueron procesados de manera similar a la seguida en este trabajo.

Las EB fueron validadas a partir del análisis del error cuadrático medio cometido por comparación de las predicciones de las EB y los valores reales de biomasa de los 30 pies de haya apeados en Cantabria.

Las ecuaciones de biomasa radical no han sido validadas ya que, tanto en este estudio como en el desarrollado por el INIA (Montero et al., 2005), el número muestral de árboles procesados para el análisis del sistema radical es muy reducido (1 pie por CD en ambos casos).

4. Desarrollo de Valores Modulares de Biomasa (VMB)

A partir de las EB y siguiendo la metodología propuesta por el INIA (Montero et al, 2005), se obtuvieron los Valores Modulares de Biomasa (VMB) para cada fracción y CD.

IV Resultados y discusión

1. Elaboración de Ecuaciones de Biomasa

Para determinadas fracciones de biomasa (Ramas mayores de 7 cm y Ramas entre 2 y 7 cm, Tocón y Total radical), los modelos con el mejor ajuste corresponden a los modelos de tipo 5 y 6 (Tabla 3). Sin embargo, en muchos casos, D_n^2 tiene un coeficiente de estimación negativo, lo que produce predicciones muy imprecisas para pies de diámetros elevados. Por ello se seleccionó posteriormente el modelo de tipo 8. Al igual que en otros estudios (Santa Regina et al., 1997, Zianis y Mencuccini, 2003, Montero et al., 2005), el Dn es la variable independiente más explicativa en la estimación de la biomasa. Sin embargo, de acuerdo con Joosten et al. (2004) y Xiao y Ceulemans (2004), la inclusión de la altura total (Ht) como variable independiente mejora en ciertos casos el poder predictivo del modelo. Esto es debido a que en el área de estudio Ht evita la correlación espacial de la muestra, ya que ésta se encuentra fuertemente relacionada con la calidad de estación. Sin embargo, debido a que los IF frecuentemente no recogen datos sobre Ht, se optó finalmente por el modelo 7:

$$\ln Y = a + b \ln Dn$$

Siendo Y: biomasa de las diferentes fracciones del árbol (materia seca)

Dn: Diámetro normal

a y b: coeficientes de la ecuación

La re-transformación de los valores logarítmicos estimados a su escala original introduce un sesgo (subestimación) en las predicciones, el cual es generalmente corregido a partir del Error Estándar de la Estimación (SEE). Los valores de biomasa estimados para los pies individuales son así obtenidos (Joosten et al., 2003; Montero et al., 2005):

$$Y = e^a * Dn^b * CF \quad \text{Donde: } CF = e^{SEE^2 / 2}$$

Tabla 3 SEE, AIC y BIC de los modelos ajustados para cada fracción de biomasa

Modelo	SEE	AIC	BIC
Fuste_3	0.36	37.705	44.656
Fuste_5	0.28	15.733	22.684
Fuste_6	0.16	-29.303	-20.615
Fuste_7	0.25	7.522	12.735
Fuste_8	0.14	-38.942	-31.991
Ramasmay7_3	0.66	65.219	70.824
Ramasmay7_5	0.72	70.443	76.048
Ramasmay7_6	0.57	57.269	64.275
Ramasmay7_7	0.72	69.571	73.775
Ramasmay7_8	0.58	56.835	62.439
Ramas27_3	0.36	36.497	43.352
Ramas27_5	0.28	16.24	23.094
Ramas27_6	0.24	6.071	14.638
Ramas27_7	0.3	20.854	25.995
Ramas27_8	0.26	12.215	19.07
Ramasmay2_3	0.51	66.769	73.72
Ramasmay2_5	0.41	49.552	56.502
Ramasmay2_6	0.37	41.707	50.396
Ramasmay2_7	0.39	43.997	49.21
Ramasmay2_8	0.34	32.572	39.523
Aereo_3	0.37	40.625	47.575
Aereo_5	0.21	-8.569	-1.618
Aereo_6	0.17	-23.331	-14.643
Aereo_7	0.18	-18.948	-13.735
Aereo_8	0.15	-32.865	-25.914
Tocon_5	0.32	12.8	15.356
Tocon_6	0.34	14.779	17.974
Tocon_7	0.36	14.607	16.524
Tocon_8	0.37	16.547	19.104
Raicesmen7_5	0.46	22.659	25.216
Raicesmen7_6	0.43	21.429	24.624
Raicesmen7_7	0.47	22.339	24.256
Raicesmen7_8	0.39	17.953	20.509
Raicesmay7_5	0.75	33.855	36.115
Raicesmay7_6	0.78	35.79	38.615
Raicesmay7_7	0.73	32.715	34.409
Raicesmay7_8	0.76	34.513	36.773
Subteraneo_5	0.33	13.416	15.972
Subteraneo_6	0.35	15.257	18.453
Subteraneo_7	0.35	14.358	16.275
Subteraneo_8	0.36	16.092	18.648

La Tabla 4 muestra los coeficientes del modelo seleccionado para cada una de las fracciones de biomasa. Tanto el modelo predictivo de la biomasa aérea como el del fuste presentan un buen ajuste a los datos originales ($R^2_{adj}=0,977$ y $0,954$ respectivamente). El modelo predictivo de las ramas mayores de 7 cm y menores de 2 cm presentan un ajuste peor, aunque sigue siendo aceptable ($R^2_{adj}=0,770$ y $0,875$ respectivamente). Los modelos predictivos con menor ajuste corresponden a la biomasa de las raíces, tanto mayores como menores de 7 cm ($R^2_{adj_raices<7cm}=0,601$ y $R^2_{adj_raices>7cm}=0,728$ respectivamente). Esto responde al hecho de que la medición de la biomasa de dichas fracciones tiene un error muestral elevado debido a los errores cometidos en la separación entre tocón y raíces y en la recolección de las raíces enterradas en el suelo. Consecuentemente, se cree preferible estimar la biomasa radical en su conjunto y no para cada una de las fracciones de biomasa.

Tabla 4 Coeficientes del modelo para las fracciones de biomasa

Fracción Biomasa	a	b	R ² _{adj}	SEE
Fuste	-1,406	2,170	0,954	0,25
Ramas > 7 cm	-11,721	4,284	0,770	0,72
Ramas 2 - 7 cm	-3,407	2,200	0,932	0,30
Ramas < 2 cm	-3,235	1,946	0,875	0,39
Biomasa Aérea	-1,502	2,281	0,977	0,18
Tocón	-4,950	2,676	0,955	0,36
Raíces < 7 cm	-1,584	1,268	0,728	0,47
Raíces > 7 cm	-3,509	1,638	0,601	0,73
Biomasa Radical	-3,536	2,368	0,944	0,35

La Figura 4 muestra las ecuaciones de biomasa aérea y radical y los valores observados.

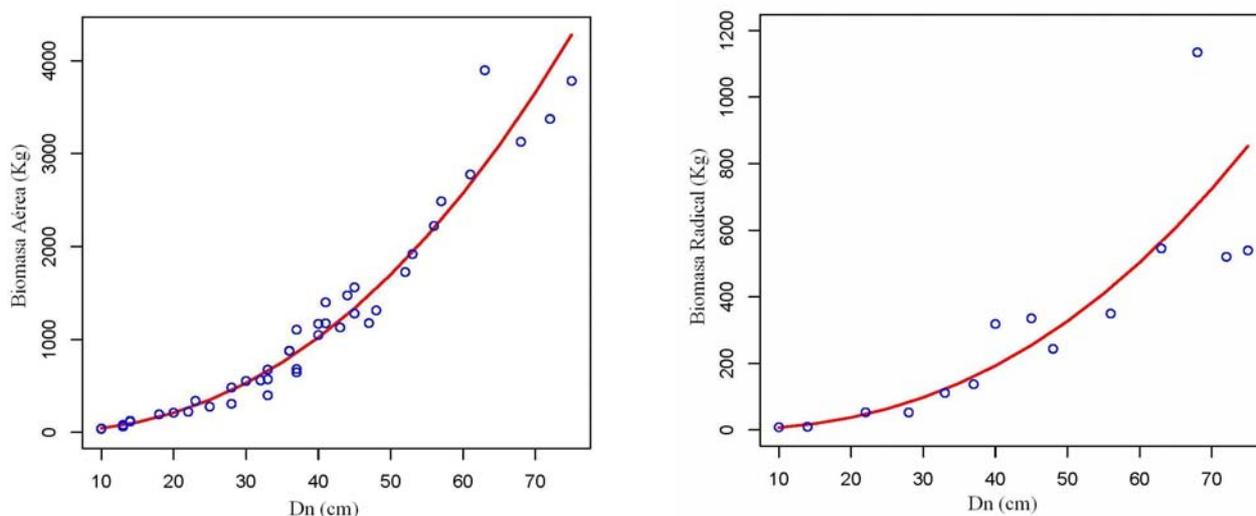


Figura 4 Ecuaciones de biomasa aérea y radical y valores observados

2. Validación del método

El error cuadrático medio (MSE) de la estimación del modelo seleccionado para la biomasa aérea es de 664, es decir, como media se produce un error de $\pm 25,77$ kg en la predicción de la biomasa aérea total para todas las clases diamétricas comprendidas entre 10 y 55 cm. En la Figura 5 se observa que el error cuadrático medio es mayor para las clases diamétricas mayores, a excepción de la clase diamétrica de 45 cm.

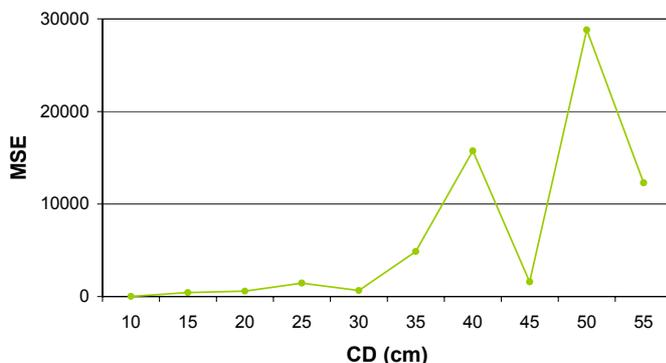


Figura 5 MSE de la predicción del modelo seleccionado para la biomasa aérea por clase diamétrica

Por otra parte, el MSE del modelo seleccionado para la biomasa del fuste es de 1017. En la Figura 6 se observa que el MSE aumenta conforme aumenta la clase diamétrica.

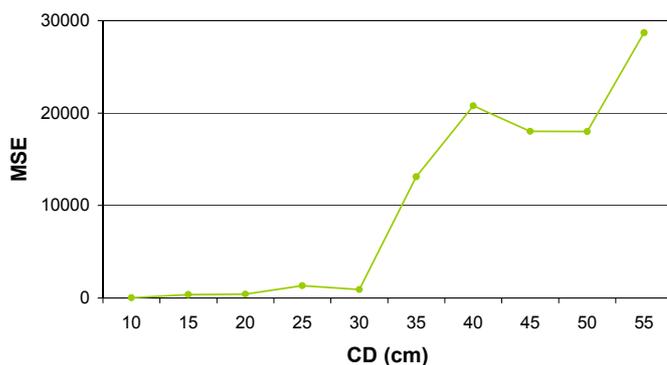


Figura 6 MSE de la predicción del modelo seleccionado para la biomasa del fuste por clase diamétrica

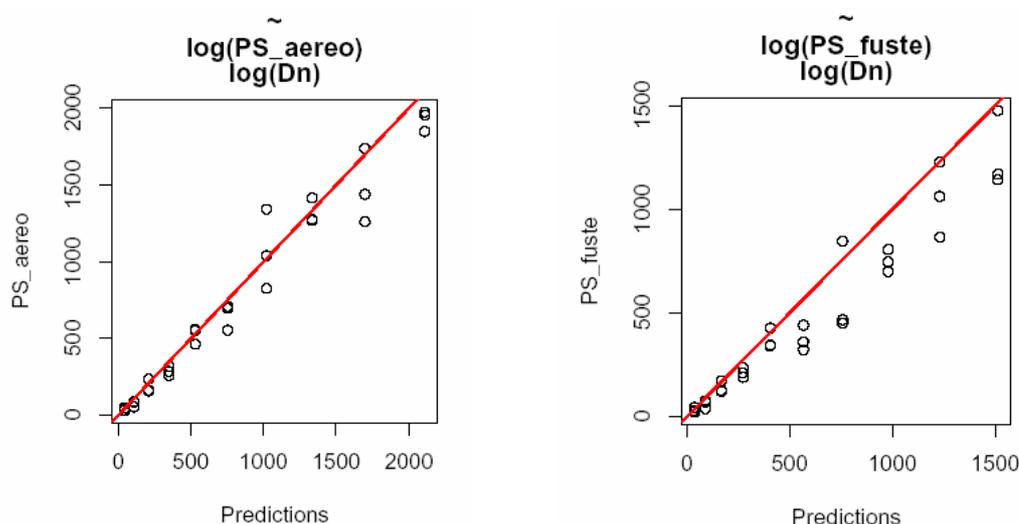


Figura 7 Predicciones y valores reales de la biomasa total aérea y biomasa del fuste

Las predicciones de los modelos se ajustan a los datos reales de biomasa aérea y biomasa del fuste de los 30 pies apeados en Cantabria, aunque el ajuste empeora conforme la clase diamétrica aumenta (Figura 7). Por tanto, sería necesaria una ampliación de la muestra en aquellas clases diamétricas superiores.

3. Valores Modulares de Biomasa (VMB)

A partir de las EB se obtuvieron Valores Modulares de Biomasa (VMB) para cada una de las fracciones y CD. Sin embargo, la suma de los VMB de las diferentes fracciones de la biomasa aérea (BA) no coincide con la predicción de biomasa aérea total a partir de la EB (Tabla 5). El problema fue corregido mediante la repartición proporcional de la diferencia a cada fracción de biomasa (Tabla 6).

Tabla 5 Valores Modulares de Biomasa, VMBs (kg) procedentes de las EBs por clase diamétrica (CD) y fracción de biomasa

CD	Fuste	Ramas > 7 cm	Ramas 2-7 cm	Ramas < 2 cm	Aéreo	Radical
12,5	60,8	0,5	9,0	5,8	72,0	12,3
17,5	126,1	2,2	18,8	11,1	154,9	27,2
22,5	217,6	6,6	32,7	18,2	274,7	49,3
27,5	336,3	15,5	50,9	26,8	434,2	79,3
32,5	483,3	31,6	73,5	37,1	635,8	117,8
37,5	659,3	58,4	100,6	49,1	881,0	165,3
42,5	865,1	99,9	132,6	62,6	1.172,0	222,3
47,5	1.101,2	160,8	169,3	77,7	1.510,6	289,3
52,5	1.368,4	246,9	211,0	94,4	1.897,8	366,6
57,5	1.667,0	364,6	257,8	112,7	2.335,4	454,7
62,5	1.997,7	521,2	309,7	132,6	2.824,5	553,9
67,5	2.360,8	724,7	366,8	154,0	3.366,4	664,7
72,5	2.756,8	984,3	429,3	177,0	3.962,2	787,2

El muestreo destructivo de árboles mayores a 75 cm y su posterior procesado supone un coste elevado y es laborioso, por lo que su inclusión en este trabajo resultó imposible. Sin embargo, los VMB fueron determinados para CD mayores a partir de la EB, considerando que el modelo mantiene la misma tendencia para CD elevadas, suposición que no ha sido corroborada con datos bibliográficos ya que no se han localizado estudios de biomasa en hayas de dichas dimensiones. Estas CD deberían ser objeto de estudio en el futuro.

Tabla 6 Valores Modulares de Biomasa (kg) corregidos por CD y fracción

CD	Fuste	Ramas > 7 cm	Ramas 2-7 cm	Ramas < 2 cm	Aéreo	Radical
12,5	57,5	0,5	8,5	5,5	72,0	12,3
17,5	123,4	2,2	18,4	10,9	154,9	27,2
22,5	217,4	6,5	32,7	18,1	274,7	49,3
27,5	340,1	15,6	51,4	27,1	434,2	79,3
32,5	491,2	32,2	74,7	37,7	635,8	117,8
37,5	669,7	59,3	102,2	49,8	881,0	165,3
42,5	874,0	100,9	133,9	63,2	1.172,0	222,3
47,5	1.102,3	161,0	169,5	77,8	1.510,6	289,3
52,5	1.352,0	244,0	208,5	93,3	1.897,8	366,6
57,5	1.620,7	354,5	250,6	109,6	2.335,4	454,7
62,5	1.905,5	497,1	295,4	126,5	2.824,5	553,9
67,5	2.203,8	676,5	342,4	143,7	3.366,4	664,7
72,5	2.512,6	897,1	391,2	161,3	3.962,2	787,2
77,5	2.829,6	1.163,3	441,5	178,9	4.613,3	921,8
82,5	3.152,0	1.478,9	492,7	196,5	5.320,1	1.068,9
87,5	3.477,7	1.847,9	544,6	214,0	6.084,2	1.228,7
92,5	3.804,7	2.273,6	596,8	231,2	6.906,3	1.401,5
97,5	4.131,0	2.759,2	649,0	248,1	7.787,3	1.587,5
102,5	4.455,0	3.307,5	701,0	264,6	8.728,1	1.787,1
107,5	4.775,5	3.921,0	752,5	280,6	9.729,6	2.000,4
112,5	5.091,1	4.601,9	803,3	296,1	10.792,4	2.227,8
117,5	5.401,1	5.352,1	853,3	311,1	11.917,6	2.469,4
122,5	5.704,5	6.173,4	902,4	325,5	13.105,8	2.725,4
127,5	6.000,8	7.067,2	950,4	339,4	14.357,8	2.996,2
132,5	6.289,6	8.034,7	997,3	352,6	15.674,2	3.281,9

4. Distribución de la biomasa

A pesar de que tanto la biomasa aérea como la radical aumentan conforme lo hace la clase diamétrica (Figura 9), puede afirmarse que el porcentaje de ambas fracciones sobre la biomasa total se mantiene prácticamente constante (Figura 8).

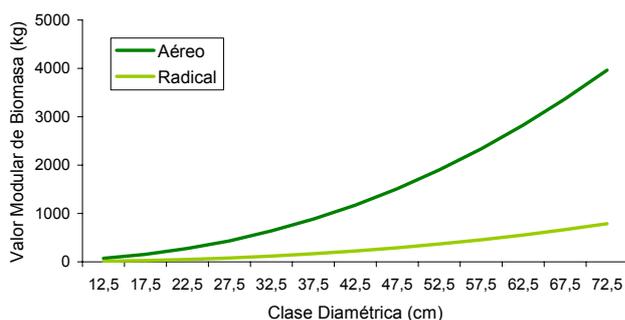


Figura 9 Valores Modulares de Biomasa de la biomasa aérea y de la biomasa radical según CD

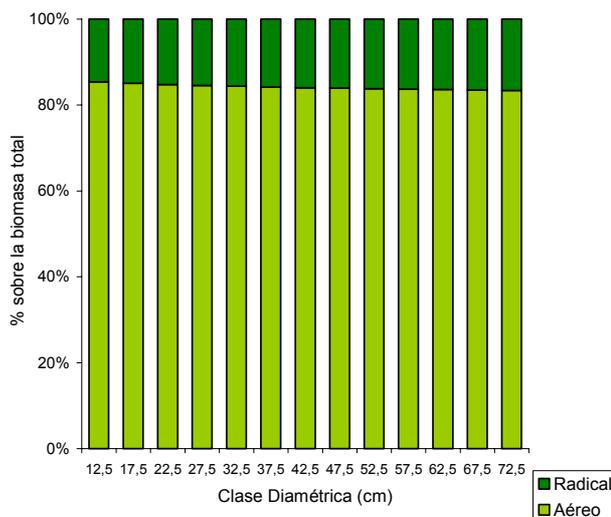


Figura 8 Porcentaje de la biomasa aérea y radical sobre el total

El porcentaje de la BA sobre la biomasa total varía entre el 83,4 % en las clases diamétricas mayores, y el 85,4 para la menor CD. La BR, por su parte, constituye el 14,6% en la CD de 12,5 cm, y alcanza el 16,6% para la mayor CD (72,5 cm). Los resultados están de acuerdo con los obtenidos por otros autores, como Duvigneaud (1984, Citado en Vande Walle et al., 2001), que afirmó que las raíces gruesas representan el 16,8% de la biomasa para *Fagus sylvatica* L. Birdsey (1992, Citado en Le Goff y Ottorini, 2001), determinó que la biomasa radical constituye entre el 15 y el 20% de la biomasa total en bosques de los Estados Unidos, mientras que en el sector forestal canadiense, dicho porcentaje alcanza valores entre el 19 y el 36 % (Kurz et al., 1996, Citado en Le Goff y Ottorini, 2001).

Biomasa aérea

En la Figura 10 se observa que la tendencia de los valores modulares del fuste aumenta con pendiente elevada conforme la clase diamétrica aumenta, a diferencia de los VMB de las fracciones de ramas, especialmente, las ramas medias y finas. No obstante, la proporción de la biomasa del fuste sobre la biomasa aérea total decrece a medida que la clase diamétrica aumenta, al igual que las ramas medias y finas, sucediendo lo contrario en ramas gruesas (Figura 11)

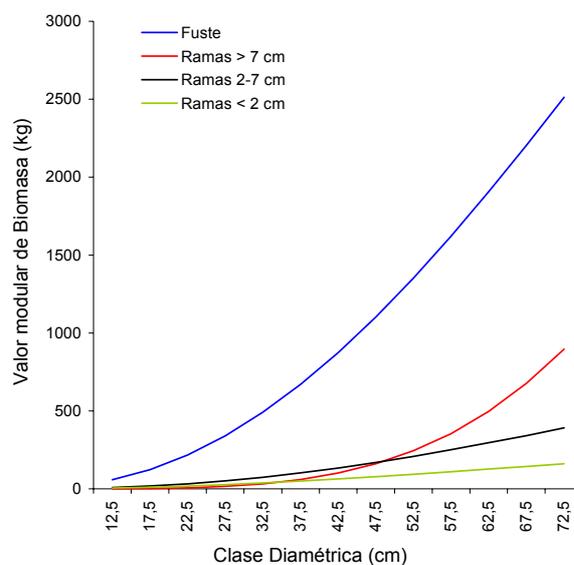


Figura 10 Valor Modular de Biomasa (kg) de las fracciones de BA por clase diamétrica

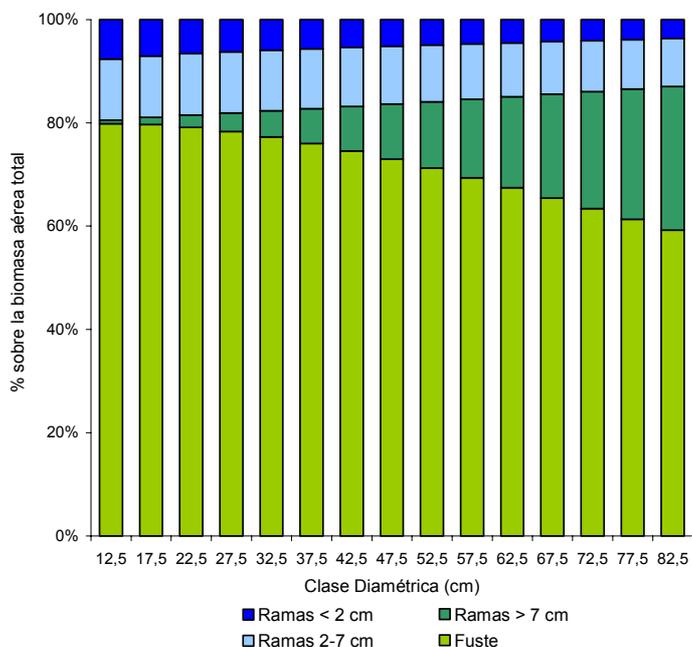


Figura 11 Proporción de cada fracción de biomasa aérea sobre la BA total por clase diamétrica

La biomasa del fuste en las CD de 12,5 cm constituye el 80% de la biomasa aérea y decrece hasta alcanzar el 63,4% para la CD de 72,5 cm. En Francia, Lebaune et al. (2000) determinó que la proporción de la biomasa del fuste sobre la BA total es de 83,3 a 89,4% a partir de una muestra de cinco árboles de 30 años de edad. En la Sierra de la Demanda, Santa Regina et al (1997), estimó que el 75% de la BA estaba compuesta por la biomasa del fuste.

La biomasa de las fracciones conformadas por las ramas, globalmente, aumenta conforme las dimensiones de los pies aumentan, desde el 20 al 30,7% de la BA. Los resultados concuerdan con obtenidos por Lebaune et al. (2000), que determinó una proporción de la biomasa de las ramas del 8,2 al 15,4% sobre la BA.

5. Factores de Expansión de Biomasa (BEFs) y Ecuaciones de Biomasa (EB)

a) Biomasa aérea

En España, Santa Regina et al. (1997) desarrolló EB para diferentes fracciones de BA de *Fagus sylvatica* L. sobre una muestra de 7 pies procedentes de la Sierra de la Demanda (Burgos). El INIA (Montero et al., 2005) desarrolló EB para cada una de las fracciones de BA sobre una muestra de 72 pies, 30 pies procedentes de Cantabria y los 42 pies apeados en este estudio. Los árboles muestra fueron procesados según la metodología descrita y utilizada en el presente trabajo. A partir de las EB elaboraron VMB con el propósito de facilitar el cálculo del contenido de carbono en la biomasa arbórea forestal mediante su aplicación directa a los datos de los IFs. Dichos VMB serán aplicados en un futuro próximo a los datos del IFN para evaluar el contenido de carbono en la biomasa arbórea a nivel nacional.

Por otra parte, el Centre de Recerca Ecològica i Aplicacions Forestals (CREAF) (Sabaté et al., no publicado) desarrolló Factores de Expansión de Biomasa Aérea (ABEF) para las principales

especies forestales de Cataluña, entre ellas, *Fagus sylvatica* L. (Tabla 7). Dichos Factores de Expansión son utilizados actualmente por el Ministerio de Medio Ambiente (MMA) en la redacción del Inventario Anual de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero (MMA, 2003).

Tabla 7 Ecuaciones de Biomasa y Factor de Expansión de Biomasa Aérea utilizados

	Fuente		
EB	Montero et al., 2005	$\ln \text{Biomasa} = -1,84548 + 2,3706 \ln \text{Dn}$	$R^2 = 0,982$
	Santa Regina et al., 1997	$\text{Biomasa} = 0,1315 * \text{Dn}^{2,4321}$	$R^2 = 0,99$
ABEF	Sabaté et al., no publicado	$\text{ABEF} = 0,81 \text{ (Mg/m}^3\text{)}$	

Los valores reales de la BA de los árboles muestra y los estimados a partir del ABEF y las diferentes EB fueron comparados mediante el test de Wilcox, debido a la no normalidad de la muestra. Tal y como se observa en la Tabla 8, no existen diferencias significativas entre los resultados de las EB desarrolladas durante el presente estudio, las EB alternativas, el ABEF y los valores reales a nivel de árbol.

Tabla 8 p-valores del test de Wilcox. Comparación entre las EB alternativas, el ABEF y los valores reales

CD	ni	wp,BACREAF	wp,BAINIA	wp,BAREGINA	wp,NAVARRA
10	3	0,50	0,50	0,25	0,50
15	3	0,25	0,50	0,50	0,50
20	3	0,75	0,75	0,75	1,00
25	3	0,50	0,75	0,75	0,50
30	5	0,31	1,00	0,63	0,31
35	6	0,06	0,84	0,84	0,84
40	5	0,13	0,13	0,19	0,19
45	4	0,25	1,00	1,00	1,00
50	3	0,75	0,50	0,25	0,25
55	2	0,50	0,50	1,00	0,50
60	2	0,50	0,50	1,00	0,50
65	1	1,00	1,00	1,00	1,00
70	1	1,00	1,00	1,00	1,00
75	1	1,00	1,00	1,00	1,00
all	42	0,46	0,59	0,54	0,80

$\alpha: 0,05$

b) Biomasa radical

Existe un número muy reducido de estudios en los que se haya evaluado la biomasa radical de *Fagus sylvatica* L. (Le Goff y Ottorini, 2001). En España, Montero et al. (2005) desarrolló EB Radical a partir de 10 pies de haya procedentes de Cantabria. Sin embargo, dichas ecuaciones no han sido incluidas en este trabajo debido a que están siendo revisadas por sus autores.

6. Evaluación de la biomasa y contenido de carbono en los Montes de Burguete

La biomasa total de *Fagus sylvatica* L. en los montes de Burguete fue estimada a partir de la aplicación de los VMB a los datos del IF de la 2ª Revisión del Proyecto de Ordenación (PO) de los Montes de Burguete (IGM, en trámite) a nivel de árbol. Las parcelas del IF fueron localizadas de acuerdo a un muestreo sistemático estratificado con lado de la malla de 240 m, localizando 211 parcelas en hayedo. Las parcelas eran de radio variable (10, 15 o 18 m) según la densidad de la masa, de manera que por lo menos se inventariaran 20 pies por parcela. En Burguete, Olabe et al. (1997) desarrolló tarifas de cubicación de una y dos entradas para *Fagus sylvatica* L. a partir de 110 árboles tipo (Tabla 9). En este estudio se utilizó la ecuación de cubicación de una entrada (Dn) y no la tarifa desarrollada por el IFN a nivel regional (MMA, 1994), ya que, como se determinó en un estudio previo (ver Anexo 2), estas últimas proporcionan valores significativamente diferentes al volumen real.

En la evaluación de la biomasa total de *Fagus sylvatica* L. en el área de estudio se incluyeron únicamente los pies comerciales, con Dn mayor o igual a 20 cm, ya que las ecuaciones de cubicación desarrolladas en Burguete pueden ser utilizadas únicamente sobre pies mayores a 20 cm.

Tabla 9 Tarifas de cubicación de una y dos entradas desarrolladas para el haya en Burguete

TARIFA DE UNA ENTRADA	TARIFA DE DOS ENTRADAS
$V_{cc} = -0,282 + 0,001 * Dn^2$	$V_{cc} = -0,86 + 0,00095 * Dn^2 + 0,029 * Ht$

Vcc: Volumen con corteza; Dn: Diámetro normal (cm); Ht: Altura total (m)

Fuente: Olabe et al., 1997

Una vez estimada la biomasa total, el contenido de carbono fue calculado a partir de la aplicación de la concentración de carbono de la biomasa. En el caso del haya, el carbono constituye el 48,6 % de la materia seca (Sabaté et al., no publicado).

La extrapolación de los datos de las parcelas a la superficie de hayedo en el área de estudio fue ejecutada basada en la cartografía de cantones y rodales de la 2ª Revisión del PO (IGM, en trámite) con ayuda del programa ArcGis 9.0.

a) Estimación a partir de los Valores Modulares de Biomasa

Biomasa aérea

La biomasa aérea de *Fagus sylvatica* L. en el área de estudio varía entre 41,9 y 443,3 Mg/ha, con una media ponderada de 242,0 Mg/ha, resultado superior al obtenido por Santa Regina et al. (1997) en la Sierra de la Demanda (132,4 Mg/ha). Esto puede ser explicado por la edad y calidad del hayedo de los Montes de Burguete.

El fuste almacena entre 32,1 y 271,5 Mg/ha, con una media ponderada de 174,2 Mg/ha, que constituye el 72% de la biomasa aérea y el 60% de la biomasa total. Por su parte, las ramas mayores de 7 cm constituyen el 12% de la biomasa aérea total, prácticamente similar al porcentaje de la biomasa de las ramas entre 2 y 7 cm (11%). Las ramas finas (menores de 2 cm), constituyen únicamente el 5% de la biomasa aérea total.

El contenido medio ponderado de carbono retenido por la biomasa aérea en el área de estudio es, por tanto, de 117,6 Mg/ha y el contenido total es 109.544 Mg. Joosten et al. (2002) estimó que el contenido medio de carbono retenido en la biomasa aérea en un hayedo en el oeste de Alemania era 120 Mg/ha

Biomasa radical

La biomasa radical de *Fagus sylvatica* L. en el área de estudio varía entre 7,8 y 89,1 Mg/ha, con una media ponderada de 46,3 Mg/ha. En Francia, Le Goff y Ottorini (2001) estimaron la biomasa radical entre 16 y 17 Mg/ha en una masa de hayedo de 30 años de edad. Pellinen (1986, citado en Le Goff y Ottorini, 2001), estimó de 50 a 60 Mg/ha e un hayedo de 100 a 116 años en estaciones de calidad en Alemania. Los resultados obtenidos en el estudio fueron similares a los obtenidos por Pellinen (1986), debido, probablemente a la edad y calidad de la masa del área de estudio.

El contenido medio ponderado de carbono en la biomasa radical es de 22,5 Mg/ha y el contenido total de carbono es de 20.845 Mg.

b) Estimación a partir ABEF y otras EB

Al igual que lo explicado en el apartado anterior, se estimó la biomasa aérea del haya y su contenido de carbono en *Fagus sylvatica* L. en el área de estudio a partir de la aplicación del ABEF desarrollado por el CREAM y las EB alternativas.

A partir del ABEF, el contenido medio de carbono del haya en la zona de estudio corresponde a 120,0 Mg/ha y el contenido de carbono total es 110.128 Mg. A partir de los EB desarrolladas por Montero et al. (2005), estos valores corresponden a 119,3 Mg/ha y 109.507 Mg respectivamente, mientras que a partir de las EB desarrolladas por Santa Regina et al. (1997), son 124,2 Mg/ha y 113.945 Mg.

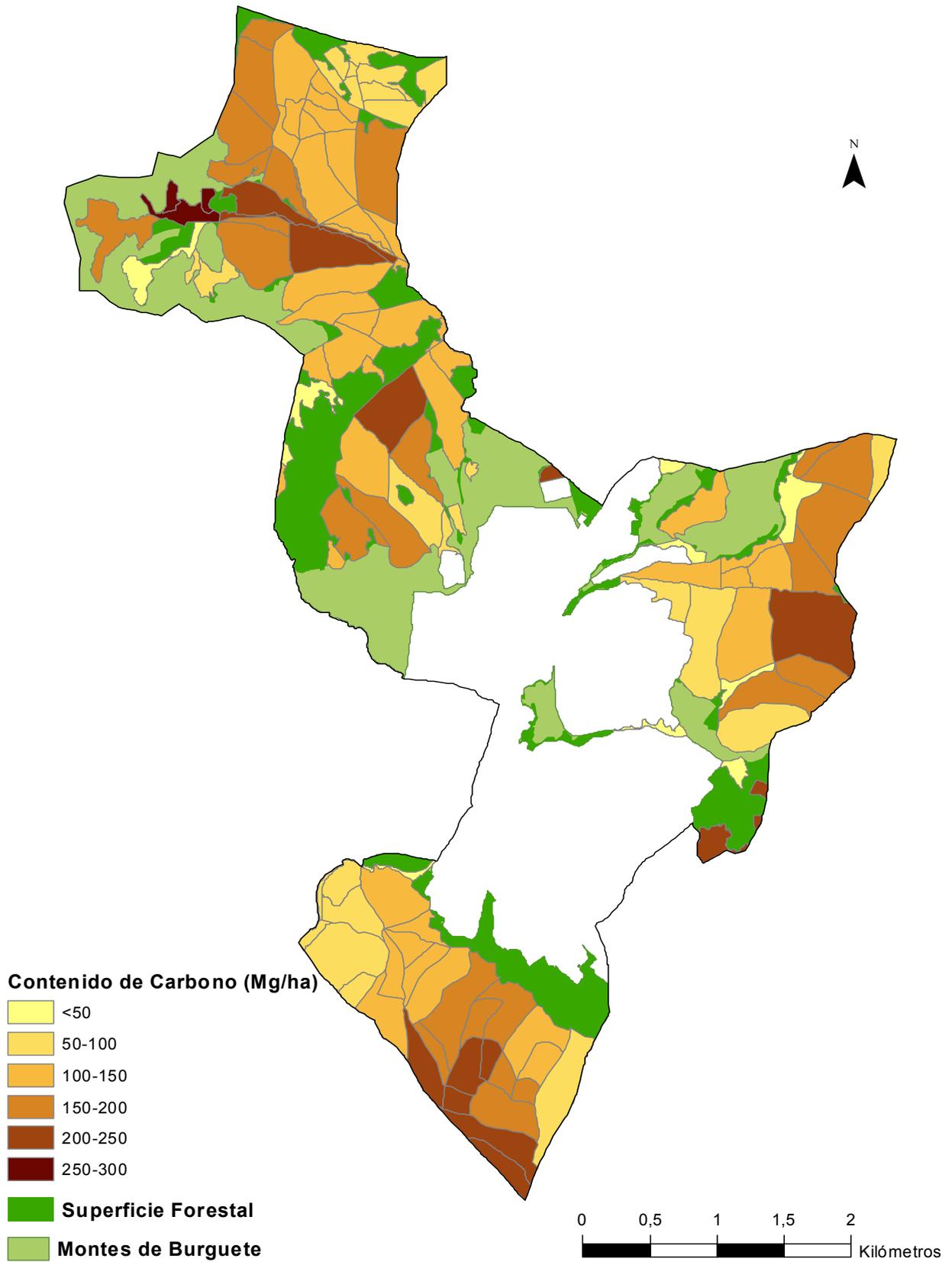


Figura 12 Carbono total retenido por *Fagus sylvatica* L. en los montes de Burguete

V Conclusiones

El diámetro normal (Dn) es el factor más explicativo de la variabilidad de las variables dependientes (biomasa fuste, ramas, aérea, radical y total), aunque la adición de la altura total (Ht) en ciertos casos aumenta el poder predictivo del modelo. Sin embargo, la ausencia frecuente del dato de Ht en Inventarios Forestales conllevó la selección final de un modelo predictivo de la biomasa con una única variable independiente, el Dn.

Los modelos predictivos seleccionados presentaron un buen ajuste para todas las fracciones de biomasa, a excepción de la biomasa de las raíces menores y mayores de 7 cm, que indujo la decisión de estimar la biomasa radical globalmente, y no como suma de las fracciones.

En la fase de la validación de las ecuaciones alométricas desarrolladas, se analizó el error cuadrático medio (MSE) de las estimaciones por clase diamétrica. Los resultados mostraron que el MSE aumenta en gran medida para las CD superiores, debido, principalmente, al pequeño tamaño muestral en esas CD. Consecuentemente, sería muy interesante reforzar la muestra para dichas CD, ya que, hasta el momento, no se han localizado estudios previos con pies de diámetros superiores a 75 cm.

En cuanto a la distribución de la biomasa, a partir de los árboles muestra, puede afirmarse que las proporciones de biomasa aérea y radical sobre la biomasa total permanecen prácticamente constante entre las CD de 12,5 y 72,5 cm.

De acuerdo con estudios previos, la biomasa radical constituye aproximadamente el 16% de la biomasa total para *Fagus sylvatica* L. Por ello, la estimación adecuada de la BR es realmente importante a la hora de evaluar el contenido de carbono en las especies arbóreas forestales, especialmente porque el sistema radical es abandonado generalmente en el monte una vez se ha llevado a cabo la explotación maderera.

La biomasa del fuste representa, como media, el 73% de la biomasa total aérea (para diámetros comprendidos entre 7,5 y 75 cm). Sin embargo, el porcentaje alcanza el 80% de la biomasa aérea para las CD menores, disminuyendo a medida que la CD aumenta y llegando a alcanzar un 63% en la CD de 72,5 cm. De lo anterior se deduce la importancia que adquiere la precisión en la cubicación del volumen del fuste, lo que requiere ecuaciones de cubicación bien ajustadas.

A partir de la aplicación de los Valores Modulares de Biomasa a los datos del IF de los Montes de Burguete, se obtuvo que el contenido medio de carbono en la BA fue de 117,6 Mg/ha y en la BR, de 22,5 Mg/ha. El resultado obtenido del contenido de carbono retenido en la BA es superior a aquél obtenido por Santa Regina et al. (1997) en la Sierra de la Demanda, pero similar al obtenido por Joosten et al (2002) en Alemania, probablemente por mayor similitud en cuanto a la edad, calidad de la masa y estación. Por otra parte, el contenido de carbono retenido por la BR es superior al obtenido por Le Goff y Ottorini (2001) al este de Francia, pero es similar al obtenido por Pellinen (1986, citado en Le Goff y Ottorini, 2001) en Alemania.

A partir de la muestra, no puede afirmarse que las predicciones de biomasa obtenidas tras la aplicación de EB y BEF sean significativamente diferentes de los valores reales. Además, a partir del ABEF, el contenido medio de carbono retenido en la BA en el área de estudio es de 120,0 Mg/ha; a partir de los EB desarrolladas por Montero et al. (2005) y Santa Regina et al. (1997), es de 119,3 Mg/ha y 124,2 Mg/ha respectivamente.

Los resultados obtenidos a partir de los diferentes métodos utilizados en el estudio son similares a los obtenidos a partir de los VMB, pero, sin duda, es necesario el estudio de las diferencias cometidas al extrapolar los datos a una superficie determinada.

Este método, basado en la aplicación de Valores Modulares de Biomasa, está especialmente diseñado para su aplicación a los Inventarios Forestales e Inventarios Forestales Nacionales (IFN) y permite determinar el carbono fijado y la fijación neta por un periodo determinado teniendo en cuenta el crecimiento y las extracciones anuales de biomasa. La estimación de la fijación puede realizarse para cualquier año, presente o futuro, y para una masa determinada, siendo posible además obtener las variaciones del balance en función de diferentes supuestos selvícolas.

Agradecimientos

Se agradece especialmente por su colaboración en el trabajo al INIA, en especial a Gregorio Montero y Ricardo Ruiz-Peinado y a la UPNA, particularmente a Ana Fernández Militino y resto del equipo.

VI Bibliografía

- Allué, J.L. (1990). *Atlas Fitoclimático de España*. Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Madrid. 221 pp.
- Brown, S.L., Schroeder, P. y Kern, J.S. (1999). Spatial distribution of biomass in forests of the eastern USA. *Forest Ecology and Management* nº 123, pp. 81-90
- EC (1999). Council Decision of 26 April 1999 amending Decision 93/389/EEC for a monitoring mechanism of Community CO₂ and other greenhouse gas emissions. *Official Journal of the European Communities* L 117, pp. 35-38
- Departamento de Obras Públicas, Transportes y Comunicaciones. (1994). *Mapa geológico de Navarra 1:25.000. Hoja 116 Garralda*. Gobierno de Navarra
- Departamento de Obras Públicas, Transportes y Comunicaciones. (1999). *Mapa geológico de Navarra 1:25.000. Hojas 91 Valcarlos, 91 bis Mendizar y 117 Ochagavía*. Gobierno de Navarra
- Le Goff, y Ottorini, J.M. (2001). Root biomass and biomass increment in a beech (*Fagus sylvatica* L.) stand in North-East France. *Annals of Forest Science* nº 58, pp.1-13
- Gutiérrez, A. y Fernández-Golfín, J.I. (1997). Cálculo de la densidad y de las variaciones dimensionales de la Madera. Equivalencias numéricas entre valores. *Montes* nº 49, pp. 28-33
- Ingeniería y Gestión Medioambiental, S.L. *2ª Revisión del Proyecto de Ordenación y Estudio de Regulación de Usos de los montes "Atalosti", Pacharamberro" y "Bidausi", inscritos en el Catálogo de Montes de Utilidad Pública de Navarra con los números 46, 47 y 48 respectivamente, y la Ordenación y Estudio de Regulación de Usos del resto de montes comunales perteneciente al Ayuntamiento de Burguete*. (En trámite)
- Iñiguez, J., Sánchez-Carpintero, I., Val, R.M., Garjón, S., Vitoria, G. y Peralta, J. (1990). *Mapa de suelos de Navarra, 1:50.000. Hojas 91, 91bis, 116 y 117*. Servicio de Publicaciones de la Universidad de Navarra. Pamplona.
- Jenkins, J.C., Chojnacky, D.C., Heath, L.S. y Birdsey, R.A. (2003). National-Scale biomass estimators for United States tree species. *Forest Science* nº 49 (1), pp. 12-35
- Joosten, R., Schumacher, J., Wirth, C. y Schulte, A. (2004). Evaluating tree carbon predictions for beech (*Fagus sylvatica* L.) in western Germany. *Forest Ecology and Management* nº 189, pp. 87-96
- Lebaune, S., Le Goff, N., Ottorini, J.M. y Granier, A. (2000). Carbon balance and tree growth in a *Fagus sylvatica* stand. *Annals of Forest Science* nº 57, pp. 49-61
- Lehtonen, A., Mäkipää, R., Heikkinen, J., Sievänen, R. y Liski, J. (2004). Biomass expansion factors (BEFs) for Scots pine, Norway spruce and Birch according to stand age for boreal forests. *Forest Ecology and Management* nº 188, pp. 211-224
- Löwe, H., Seufert, G. y Raes, F. (2000). Comparison of methods used within Member States for estimating CO₂ emissions and links according to UNFCCC and EU Monitoring Mechanism: forest and other wooded land. *Biotechnology, Agronomy, Society and Environment* nº 4(4), pp. 315-319
- Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, ICONA. (1994). *Segundo Inventario Forestal Nacional. 1986-1995. Comunidad Foral de Navarra*. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, ICONA. Madrid. 304 pp.
- Ministerio de Medio Ambiente, Dirección General de Calidad y Evaluación Ambiental. (2003). *Inventario de emisiones de gases de efecto invernadero de España. Años 1990-2002*.

- Comunicación a la Comisión Europea (Decisión 1999/296/CE)*. Ministerio de Medio Ambiente. Madrid. 81 pp.
- Montero, G., Muñoz, M. y Donés, J. (2003). Fijación de CO₂ por *Pinus sylvestris* L. en el monte “Pinar de Valsain”. *Foresta* nº 24, pp. 40-48.
- Montero, G., Ruiz-Peinado, R. y Muñoz, M. (2005). *Producción de biomasa y fijación de CO₂ por los bosques españoles*. Monografías INIA, Ministerio de Medio Ambiente. Madrid. 270 pp.
- Muñoz, M. (2002). *Fijación de CO₂ por Pinus nigra Arn. subsp. salzmannii en el monte Rocha de la Carcoma nº 148 del CUP, Lebrancón (Guadalajara)*. Proyecto Fin de Carrera. E.T.S. Ingenieros de Montes. Universidad Politécnica de Madrid. Madrid. 139 pp.
- Olabe, F., Ariz, A. y Madrigal, A., (1997). *Modelos matemáticos para la cubicación del haya (Fagus sylvática L) en Navarra*. Inédito.
- Pignard, G., Dupouey, J.L., Arroueays, D. y Loustau, D. (2000). Carbon stocks estimates for French forests. *Biotechnology, Agronomy, Society and Environment* nº 4 (4), pp. 285-289
- Rivas-Martínez, S. (1994). Clasificación bioclimática de la Tierra. *Folia Botanica Matritense* nº 13, pp.1-25.
- Sabaté, S., Gracia, C., Vayreda, J. y Ibáñez, J. Differences among species in aboveground biomass expansion factors in Mediterranean forests. 21 pp. (no publicado)
- Santa Regina, I., Tarazona, T. Y Calvo, R. (1997), Aboveground biomass in a beech forest and a Scots pine plantation in the Sierra de la Demanda area of northern Spain. *Annals of Forest Science* nº 54, pp. 261-269
- Schroeder, P., Brown, S., Mo, J., Birdsey, R. y Cieszewski, C. (1997). Biomass estimation for temperate broadleaf forests of the United States using inventory data. *Forest Science* nº 43(3), pp. 424-434
- Somogyi, Z., Cienciala, E., Mäkipää, R., Muukkonen, P., Lehtonen, A. y Weiss, P. (2006). Indirect methods of large scale forest biomass estimation. *European Journal of Forest Research* nº 126 (2), pp. 197-207
- Van Camp Vande Walleb, I., Mertensa, J., de Nevec, S., Samsonb, R., Lusta, N., Lemeurb, R., Boeckxd, P., Lootense, P., Beheytd, D., Mestdaghe, I., Sleutelc, S., Verbeeckb, H., Van Cleemputd, O., Hofmanc, G. y Carliere, L. (2004). Inventory-based carbon stock of Flemish forests: a comparison of European biomass expansion factors. *Annals of Forest Science* nº 61, pp. 677-682. URL: <http://www.edpsciences.org/>
- Vande Walle, I., Mussche, S., Samson, R., Lust, N. y Lemeur, R. (2001). The above- and belowground carbon pools of two mixed deciduous forest stands located in East- Flanders (Belgium). *Annals of Forest Science* nº 58, pp. 507-517. URL: <http://www.edpsciences.org/>
- Xiao, C.W. y Ceulemans, R. (2004). Allometric relationships for below- and aboveground biomass of young Scots pines. *Forest Ecology and Management* nº 203, pp. 177-186
- Zianis, D y Mencuccini, M. (2003). Aboveground biomass relationships for beech (*Fagus moesiaca* Cz.) trees in Vermio Mountain, Northern Greece, and generalised equations for *Fagus* sp. *Annals of Forest Science* nº 60, pp. 439-448
- Zianis, D., Muukkonen, P., Mäkipää, R y Mencuccini, M. (2005). Biomass and Stem Volume Equations for Tree Species in Europe. *Silva Fennica Monographs* nº 4. 63 pp.

VII Anexos

Anexo 1. Datos

Tabla 1. Datos de las fracciones de biomasa aérea de los pies apeados durante el estudio

N_arbol	CD	H	Peso Seco Fuste (kg)	Peso Seco Ramas > 7 cm (kg)	Peso Seco Ramas 2-7 cm (kg)	Peso Seco Ramas < 2 cm (kg)	Peso Seco Aéreo Total (kg)
1	40	18,5	647,4	224,9	76,6	99,1	1.048,0
2	30	18,8	396,5	41,2	75,5	46,7	559,9
3	20	13,2	131,8	6,4	44,6	38,2	221,1
4	45	20,5	810,4	164,7	195,8	108,7	1.279,5
5	35	17,5	510,4	27,7	98,6	45,6	682,3
6	35	19,8	456,0	24,3	119,0	46,3	645,6
7	45	20,5	920,2	320,8	227,5	92,3	1.560,7
8	25	17,3	220,2	9,8	25,0	22,4	277,4
9	45	20,7	861,8	99,6	145,2	69,9	1.176,6
10	60	25,1	2.669,2	643,2	414,1	172,0	3.898,5
11	45	18	792,4	452,5	147,9	82,2	1.475,0
12	50	19,5	789,0	175,8	219,2	128,7	1.312,7
13	30	14,5	267,6	19,7	73,7	37,4	398,4
14	25	15,5	209,2	13,9	52,5	32,2	307,9
15	35	18,4	874,5	52,4	125,0	53,7	1.105,6
16	60	20,5	1.519,6	498,7	517,1	242,1	2.777,5
19	75	28,3	2.640,9	624,4	380,0	139,1	3.784,3
20	55	24,5	1.564,1	390,2	211,4	58,0	2.223,6
22	65	28,4	2.155,9	551,0	345,5	75,1	3.127,6
23	70	25	2.298,7	496,3	402,1	176,9	3.374,0
25	55	25,7	1.673,9	474,2	274,9	65,0	2.488,0
26	30	27	479,2	0,0	33,9	39,8	552,9
27	35	27,2	723,7	24,0	105,1	27,0	879,7
28	40	26,15	985,5	0,0	98,4	45,0	1.128,9
29	50	28,7	1.553,1	71,6	198,9	95,2	1.918,8
30	35	28	734,6	7,2	101,7	33,0	876,6
31	35	26,3	616,1	0,0	32,4	26,8	675,3
32	50	27	1.376,2	116,6	175,7	57,9	1.726,4
33	40	29,9	1.210,3	36,3	105,6	48,6	1.400,8
34	40	30,6	1.045,6	30,5	74,7	23,9	1.174,7
35	40	30,9	1.018,4	22,0	83,0	44,7	1.168,1
36	20	22,6	175,7	0,0	21,4	14,8	212,0
37	20	23,3	167,0	0,0	18,6	9,1	194,8
38	10	16,7	34,7	0,0	0,0	2,6	37,3
39	15	15,1	49,7	0,0	9,9	2,9	62,5
40	30	25,75	380,3	15,6	60,7	27,0	483,7
41	15	23,2	98,3	0,0	10,3	7,0	115,6
42	25	27,9	300,0	0,0	23,7	15,3	339,0
43	15	22,1	105,8	0,0	9,9	9,2	124,9
44	10	19,9	63,6	0,0	10,7	6,8	81,1
45	10	15,2	28,3	0,0	8,8	3,3	40,4
46	30	23,00	458,4	21,4	68,3	23,9	572,0

CD: Clase Diamétrica (cm)

Tabla 2. Datos de las fracciones de biomasa radical de los pies apeados durante el estudio

N_arbol	CD	H	Peso Seco Raíces< 7 cm (kg)	Peso Seco Raíces> 7 cm (kg)	Peso Seco Tocón (kg)	Peso Seco Radical Total (kg)	Peso Seco Total (kg)
1	40	18,5	37,8	29,7	251,1	318,5	1.366,5
3	20	13,2	16,9	6,2	30,2	53,3	274,4
4	45	20,5	42,5	20,7	272,4	335,6	1.615,1
5	35	17,5	21,9	10,9	104,7	137,4	819,7
10	60	25,1	32,0	38,4	474,6	545,0	4.443,5
12	50	19,5	38,0	23,4	182,3	243,8	1.556,4
13	30	14,5	20,5	10,8	80,1	111,4	509,8
14	25	15,5	16,2	1,2	35,0	52,4	360,3
19	75	28,3	30,0	30,2	479,1	539,2	4.323,6
20	55	24,5	12,0	9,2	328,2	349,5	2.573,1
22	65	28,4	54,2	59,8	1.020,2	1.134,2	4.261,8
23	70	25	46,7	21,3	452,4	520,3	3.894,4
38	10	16,7	2,7	1,8	4,0	8,5	45,7
41	15	23,2	3,9	0,0	6,2	10,1	125,7

CD: Clase Diamétrica (cm)

Anexo 2. Influencia de las ecuaciones de cubicación en la estimación del contenido de carbono en *Fagus sylvatica* L. utilizando Factores de Expansión de Biomasa (BEFs) en Navarra

I Introducción

El Inventario Anual de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero, GEI (DECISIÓN 1999/296/CE) incluye la estimación de emisiones y retenciones de GEI del Uso del Suelo y del Cambio de Uso del Suelo y Actividades Forestales (LULUCF).

En España, el Ministerio de Medio Ambiente (MMA, 2003) estima el contenido de carbono de la biomasa aérea forestal para el Inventario Anual de Emisiones de GEI mediante la aplicación de Factores de Expansión de Biomasa (BEFs) desarrollados por el Centre de Recerca Ecològica i Aplicacions Forestals (CREAF) (Sabaté et al., no publicado) y en su defecto, el valor proporcionado por el Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC, 1996) a los datos del Inventario Forestal Nacional (IFN). Los BEFs desarrollados por el CREAF proporcionan la biomasa aérea (BA) de una masa forestal mediante su multiplicación al volumen del fuste (m^3). El carbono retenido por la masa es entonces directamente estimable, ya que el carbono se considera como una fracción de la biomasa forestal (materia seca). Consecuentemente, la cubicación real del fuste es de gran importancia en la evaluación del contenido de carbono de una masa forestal mediante la utilización de BEF.

En Navarra, el haya representa un 34% de la Superficie Forestal Arbolada (Fuente: Mapa de Cultivos y Aprovechamientos, 2004). Debido a su extensión e importancia, Olabe et al. (1997) desarrolló diferentes tarifas de cubicación para el haya en Navarra, siguiendo una zonificación de la distribución de dicha especie en la Comunidad Foral.

En el trabajo actual se han evaluado las diferencias en el cálculo del contenido de carbono de *Fagus sylvatica* L. a partir de BEF aplicando diferentes tarifas de cubicación. Para ello se ha utilizado la ecuación de cubicación desarrollada por el IFN y utilizada por el MMA en el Inventario de Emisiones de GEI, y las elaboradas en Navarra, específicamente en Burguete y en la denominada Zona II, donde se encuentra localizada el área de estudio.

II Material y Métodos

En Navarra se ajustaron tarifas de cubicación para el haya (una y dos entradas) a partir de una colección de árboles tipo (Olabe et al., 1997). Para obtener unas tarifas más ajustadas, se ejecutó una comarcalización de la distribución del haya en Navarra, de manera que el área de estudio está comprendida en la denominada Zona II. Además de las ecuaciones elaboradas en Navarra, se utilizaron las tarifas de cubicación desarrolladas por el IFN a nivel regional (MMA, 1994):

Tabla 1. Tarifas de cubicación utilizadas

TARIFA DE CUBICACIÓN	VCC (m ³)	ABREVIATURA
BURGUETE (una entrada)	$VCC (m^3) = -0,282+0,001*Dn^2$	VolBurguete
BURGUETE (dos entradas)	$VCC (m^3) = -0,86+0,00095*Dn^2+0,029*Ht$	VolBurguete2
ZONA 2 (una entrada)	$VCC (m^3) = -0,268+0,00096*Dn^2$	VolZona
ZONA 2 (dos entradas)	$VCC (m^3) = -1,14+0,0008*Dn^2+0,05*Ht$	VolZona2
IFN	$VCC (m^3) = 79,66+0,0002474*Dn^2*Ht$	VolIFN

Fuente: Tarifa de cubicación de Burguete y Zona II: Olabe et al., 1997

Tarifa de cubicación del II IFN: MMA, 1994

Las cinco ecuaciones de cubicación fueron aplicadas a un conjunto de árboles tipo, utilizado en el ajuste de las ecuaciones de cubicación de *Fagus sylvatica* L. en Navarra, y de los que se conoce el volumen real del fuste (Olabe et al., 1997). La muestra cuenta con un total de 518 pies procedentes de los montes de Burguete, Espinal y Roncesvalles (Pirineos de Navarra) y cuyos diámetros normales están comprendidos entre 20 y 75 cm (Figura 1).

Posteriormente, los datos fueron analizados mediante un test de Wilcoxon para comprobar la existencia de diferencias significativas entre los resultados de las diferentes ecuaciones de cubicación y el volumen real de los 518 pies, ya que la muestra no cumplía el supuesto de normalidad ni homogeneidad de varianza de los residuales.

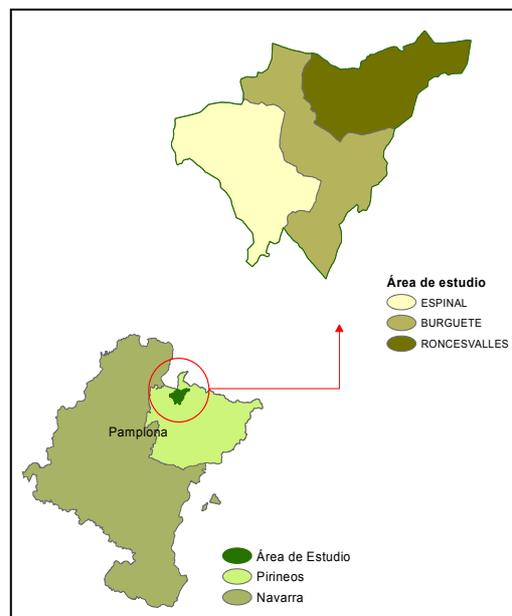


Figura 1. Localización de los municipios origen de los pies muestra

III Resultados

La Tabla 2 muestra los resultados del test de Wilcoxon utilizado para contrastar la diferencia significativamente diferente entre el volumen real de los pies y volumen estimado por las diferentes ecuaciones de cubicación por clase diamétrica. El volumen estimado a partir de la tarifa VolBurguete no mostró diferencias significativas con el volumen real, mientras que los resultados de VolBurguete2 mostraron diferencias significativamente diferentes para las CD 22,5 y 27,5. Por otra parte, la tarifa de cubicación VolZona mostró diferencias significativas con el volumen real para las CD 47,5, 52,5 y 57,5 y para el conjunto de los datos y la ecuación VolZona2 mostró diferencias significativas con el volumen real para el conjunto de los datos y varias CD. Finalmente, la ecuación de cubicación VolIFN mostró diferencias significativas con el volumen real para el conjunto de los datos y todas las CD excepto la CD 27,5.

A partir del test de Wilcoxon puede afirmarse que la ecuación de cubicación más adecuada para la estimación de la biomasa del fuste y su contenido de carbono del haya en el área de estudio es la tarifa de cubicación de Burguete (1 entrada). El MMA utiliza en el Inventario Anual de Emisiones de GEI la tarifa de cubicación desarrollada por el IFN. En la Figura 2 se observa que, mientras la tarifa de cubicación de Burguete (1 entrada) proporciona valores realmente ajustados a los valores reales de volumen, la ecuación de cubicación del IFN proporciona valores menores de los valores reales, es decir, subestima el volumen del fuste y por tanto, su contenido de carbono.

Tabla 2. Resultado del test de Wilcoxon aplicado para comprobar las diferencias entre los resultados de las ecuaciones de cubicación y el volumen real por CD

	Clase Diamétrica (cm)											
	22.5	27.5	32.5	37.5	42.5	47.5	52.5	57.5	62.5	67.5	72.5	all
n_i	29	86	75	72	58	73	47	28	27	14	7	518
VolBurguete	0.18	0.37	0.50	0.48	0.71	0.92	0.26	0.28	0.59	0.76	0.94	0.86
VolBurguete2	0.00	0.00	0.35	0.06	0.12	0.19	0.82	0.57	0.64	0.81	0.94	0.58
VolZona	0.08	0.77	0.35	0.32	0.27	0.05	0.02	0.02	0.46	0.54	0.47	0.00
VolZona2	0.05	0.09	0.02	0.16	0.84	0.09	0.00	0.00	0.01	0.03	0.08	0.00
IFN	0.00	0.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00

p-valores del test de Wilcoxon por CD y globalmente; α : 0,05

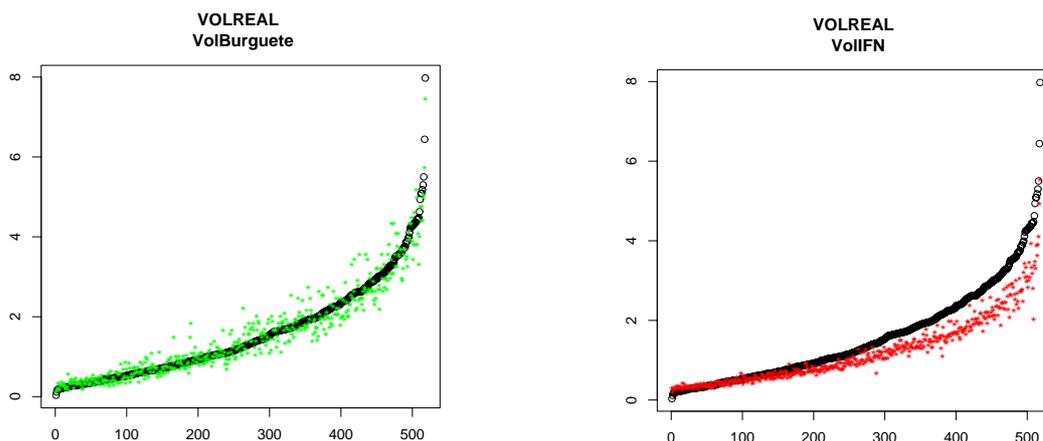


Figura 2. Estimación de las ecuaciones de cubicación de Burguete e IFN y valor real del volumen del fuste

En la Figura 3 se observa que el error medio cuadrático (MSE) de las diferentes ecuaciones de cubicación aumenta para las clases diamétricas mayores, especialmente para las CD comprendidas entre 60 y 70 cm.

Además, el MSE cometido en la aplicación de la tarifa de cubicación del IFN es mayor que el cometido a partir del resto de ecuaciones analizadas, especialmente a partir de la CD de 30 cm, en las que la diferencia en el MSE cometido por los diferentes métodos se hace notable.

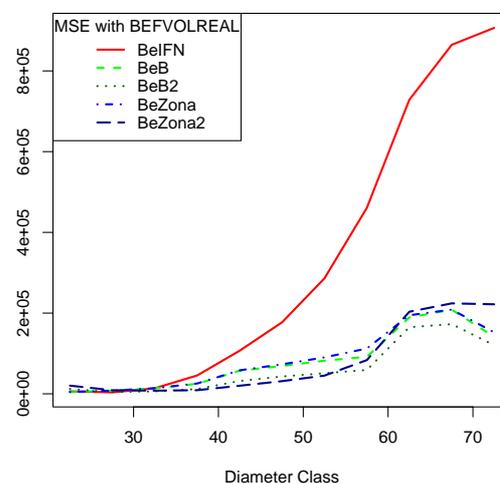


Figura 3. Error cuadrático medio de cada tarifa de cubicación respecto al volumen real

IV Conclusiones

Las ecuaciones de cubicación ejercen una gran influencia en la estimación del contenido de carbono a partir de la aplicación de BEFs. Las ecuaciones de cubicación del IFN subestiman el volumen maderable con corteza de *Fagus sylvatica* L. para la zona de estudio, con lo que el valor estimado de Carbono retenido por dicha especie es también subestimado.

V Bibliografía

- EC (1999). Council Decision of 26 April 1999 amending Decision 93/389/EEC for a monitoring mechanism of Community CO₂ and other greenhouse gas emissions. *Official Journal of the European Communities* L 117, pp. 35-38
- Gobierno de Navarra, Departamento de Medio Ambiente, Ordenación del Territorio y Vivienda. (2004). Mapa de Cultivos y Aprovechamientos de Navarra, escala 1:25.000. Gobierno de Navarra
- Intergovernmental Panel on Climate Change. (1996). Houghton, J.T., Meira, L.G., Lim, B., Tréanton, K., Mamaty, I., Bonduki, Y., Griggs, D.J. y Callander, B.A. (editores) *Revised 1996 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories*. IPCC, OECD, e IEA. Reino Unido.
- Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, ICONA. (1994). *Segundo Inventario Forestal Nacional. 1986-1995. Comunidad Foral de Navarra*. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, ICONA. Madrid. 304 pp.
- Ministerio de Medio Ambiente, Dirección General de Calidad y Evaluación Ambiental. (2003). *Inventario de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero de España. Años 1990-2002. Comunicación a la Comisión Europea (Decisión 1999/296/CE)*. Ministerio de Medio Ambiente. Madrid. 81 pp.
- Olabe, F., Ariz, A. y Madrigal, A., (1997). *Modelos matemáticos para la cubicación del haya (Fagus sylvatica L) en Navarra*. Inédito.
- Sabaté, S., Gracia, C., Vayreda, J. y Ibáñez, J. Differences among species in aboveground biomass expansion factors in Mediterranean forests. 21 pp. (no publicado)

Anexo 3. Anexo fotográfico



Fotografía 1. Vista de los Montes de Burguete



Fotografía 2. Hayedo típico de los Montes de Burguete



Fotografía 3. Medición de los árboles en pie



Fotografía 4. Apeo de los pies seleccionados



Fotografía 5. Cubicación de los fustes



Fotografía 6. Pesado de las ramas



Fotografía 7. Extracción de los tocones



Fotografía 8. Limpiado de los tocones



Fotografía 9. Recogida de raíces del suelo



Fotografía 10. Preparación de los tocones para su pesado.



Fotografía 11. Pesado de los tocones mediante camión báscula

Anexo 4. Costes de la ejecución del Estudio Específico de la Región de Navarra

Tarea	Naturalidad	Horas	Personal	Coste Total (€)
Trabajo previo gabinete	Adquisición de datos	9	GAVRN	173,3
	Costes fijos: material, vehículo, etc.			7304,3
Trabajo campo	Trabajos previos	34	GAVRN	940,5
	Apeo de árboles	7	CONTRATADO	180,0
	Extracción tocones	15	CONTRATADO	1530,0
	Procesado pies y recogida de muestras	872	GAVRN	40103,6
Análisis químico	Cálculo humedad de las muestras		INIA	0,0
Análisis Estadístico			UPNA	1447,6
Trabajo gabinete	Confección Valores Modulares de Biomasa (VMB)	23	GAVRN	442,8
	Aplicación de los VMB al área de estudio	26	GAVRN	404,3
	Aplicación de otras EB y ABEF al área de estudio	8	GAVRN	154,0
	Representación de resultados e informe	41	GAVRN	789,3
TOTAL				53469,5
Anexo II	Tratamiento de datos	6	GAVRN	115,5
	Análisis estadístico		DEIO	361,9
	Informe	7	GAVRN	135,0
TOTAL				54081,9

GAVRN: Gestión Ambiental, Viveros y Repoblaciones de Navarra, S.A.

INIA: Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria

DEIO: Departamento de Estadística e Investigación Operativa de la Universidad Pública de Navarra (UPNA)