

Meta-analysis for the volume of *Pinus sylvestris* in Europe

Metanálisis para el volumen de *Pinus sylvestris* en Europa

Kyriaki Kitikidou*; Elias Milios; Stylianos Katsogridakis.

Democritus University of Thrace, Department of Forestry and Management of the Environment and Natural Resources. Pandazidou 193, 68200, Orestiada, Greece.

kkitikid@fmenr.duth.gr Tel.: 0030-2552041179 (*Corresponding author).

Abstract

Systematic reviews are important tools for objective literature research, composition and critical analysis of variant studies results, with an excellent contribution in clarifying issues and searching for new research directions. This study aims the systematic review of independent studies of volume estimation for Scots pine (*Pinus sylvestris*) in Europe. A meta-analysis of individual tree volume estimation models was performed. The stages of meta-analysis, statistical methods, possible errors arising, and heterogeneity that occur among studies are described in detail. Results showed that Italy is clearly distinguished (volumes are too small), Greece and Sweden present large volumes, and there is great heterogeneity among studies, probably due to different competition conditions created in stands in different countries of Europe, not different climate. More research could be useful in Italy, and in Greece, a study with a larger sample size could contribute to the promotion of research.

Keywords: Forest productivity, individual tree volume, scots pine, systematic review.

Resumen

Las revisiones sistemáticas son herramientas importantes para la investigación de literatura objetiva, composición y análisis crítico de los resultados de estudios variantes, con una contribución excelente para aclarar temas y buscar nuevas direcciones de investigación. Este estudio tiene como objetivo la revisión sistemática de estudios independientes para la estimación del volumen de pino silvestre (*Pinus sylvestris*) en Europa. Para ello, se realizó un metanálisis de los modelos de estimación de volumen de árboles individuales. En este trabajo se describen las etapas del metanálisis, los métodos estadísticos, los posibles errores derivados y la heterogeneidad que se producen entre los estudios. Los resultados muestran que Italia se distingue claramente por tener volúmenes de árbol individual demasiado pequeños, mientras que Grecia y Suecia presentan grandes volúmenes. Existe una gran heterogeneidad entre los estudios, debido probablemente a las condiciones distintas de competencia suscitadas en los rodales de diferentes países de Europa, pero sin clima distinto. Más estudios podrían servir en el caso de Italia; en el caso de Grecia, un estudio con una muestra de mayor tamaño podría contribuir para fomentar la investigación.

Palabras clave: Productividad de los bosques, volumen de árbol individual, pino silvestre, revisión sistemática.

Introduction

One of the most widely distributed conifers is the Scots pine (*Pinus sylvestris* L.), which has a range that extends along vast areas within Asia and Europe. A wide variety within this natural range is covered by this tree, and this helps to reflect the variability in productivity that is often displayed by this species (Boratynski, 1991).

The Scots pine extends as far North along the Norwegian coast as 70 °N, and as far south as the Sierra Nevada of Spain at 37 °N. The longitudinal range, spreading over Siberia, covers most of Europe as far as 138 °E. While the Scots pine stands may be unevenly distributed, it actually contributes to the largest proportion of forests within Europe. Broken down, the total forest cover is 65 % for Finland (Sevola, 1998), 20 % for the high forests within the United Kingdom (Christie & Lines, 1979), and only 9 % of the total forested area within France (Bazire & Gadant, 1991). *Pinus sylvestris* covers 0.32 % of the forests in Greece (Ministry of Agriculture, 1992). In a comparison study, Christie and Lines (1979) charted the yield and growth data of the Scots pine around Europe, and reviewed the national mean of annual increments that ranged to more than 18 m³·ha⁻¹·yr⁻¹. As all of these figures reference the optimal fertility conditions from a national level, any observed difference can be attributed primarily to climatic factors. As attempted by several other studies, an interpretation can be drawn from differences in structural traits, physiological responses, and differences in growth. All of this was done in order to identify which key and limiting factors are intraspecific, and climate-driven adjustments for the Scots pine (Mencuccini & Bonosi, 2001; Poyatos et al., 2007).

Our main concern, however, was how the difference in latitude and climate could lead to a difference in productivity. Productivity is commonly estimated in terms of volume; tree volume is usually calculated from individual tree regression models, using the breast height diameter and the total height as predictors (Van Laar & Akça, 2007). Therefore, in order to address and answer the question of productivity of Scots pine in Europe, a method of meta-analysis of individual tree volume estimation regression models, was applied.

Nowadays, the production rate and enrichment of knowledge is very rapid. The plethora of publications and the large volume of information make it difficult to evaluate and implement a research practice based on documented evidence. Under these circumstances, it is vital for the preservation of the quality of scientific publications. Authors and publishers are required to follow specific instructions and methods in order to ensure the usefulness and validity of existing information (Borenstein, Hedges, & Higgins 2009).

Introducción

Una de las coníferas de mayor distribución es el pino silvestre (*Pinus sylvestris* L.), el cual se encuentra a lo largo de vastas áreas de Asia y Europa. Una amplia superficie en esta área de distribución natural se encuentra cubierta por dicho árbol, y esto ayuda a reflejar la variabilidad en la productividad, que a menudo es mostrada por esta especie (Boratynski, 1991).

El pino silvestre se extiende al norte, a lo largo de la costa noruega a 70° N, y al sur, en la Sierra Nevada de España a 37° N. La franja de longitud se extiende sobre Siberia cubriendo la mayor parte de Europa hasta los 138° E. Los rodales de pino silvestre pueden distribuirse de forma desigual, lo que realmente caracteriza a la mayor parte de bosques en Europa. De manera desglosada, la cubierta forestal total es de 65 % en Finlandia (Sevola, 1998), 20 % en los bosques altos en el Reino Unido (Christie & Lines, 1979) y sólo 9 % del área forestal total se encuentra en Francia (Bazire & Gadant, 1991). *Pinus sylvestris* cubre 0.32 % de los bosques en Grecia (Ministry of Agriculture, 1992). En un estudio comparativo, Christie y Lines (1979) registraron los datos de rendimiento y crecimiento de pinos silvestres en toda Europa y evaluaron la media nacional de los incrementos anuales en Reino Unido, la cual oscilaba de 2+ a 18+ (m³·ha⁻¹·yr⁻¹). Como todas estas cifras hacen referencia a las condiciones óptimas de fertilidad a partir del nivel nacional, cualquier diferencia observada puede atribuirse principalmente a los factores climáticos. Como resultado de otros estudios, se pudo obtener una interpretación de las diferencias entre los rasgos estructurales, las respuestas fisiológicas y las diferencias en el crecimiento. Todo esto se hizo con el fin de identificar qué factores clave y limitantes son intraespecíficos, y los ajustes originados por el clima, para el pino silvestre (Mencuccini & Bonosi, 2001; Poyatos et al., 2007); sin embargo, nuestra principal preocupación fue saber cómo la diferencia de latitud y el clima podrían dar lugar a una diferencia en la productividad.

La productividad se calcula comúnmente en términos de volumen; este parámetro, por lo general, se calcula a partir de modelos de regresión de árboles individuales, utilizando el diámetro a la altura del pecho y la altura total como predictores (Van Laar & Akça, 2007). Por lo tanto, con el fin de abordar y responder a la cuestión de la productividad del pino silvestre en Europa, se aplicó un método de metanálisis de los modelos de regresión de estimación del volumen de árboles individuales.

Hoy en día, la tasa de producción y enriquecimiento de conocimiento son muy rápidos. La gran cantidad de publicaciones y el gran volumen de información dificultan la evaluación e implementación de una

Conducting a meta-analysis is based on scientific principles and on the formulation of rules that must be followed by researchers/writers to minimize the mistakes, which, by definition, exist in every scientific paper (Borenstein et al., 2009). The aim of this work was to apply the method of meta-analysis in volume estimation models of Scots pine (*P. sylvestris*), to become a quantitative synthesis of data from different studies dealing with the same subject; to estimate a total – summary score from all studies (pooled effect); and to detect the existence of disputes between (heterogeneity) studies.

Materials and methods

Many researchers have proposed specific guidelines for conducting meta-analyses (Borenstein et al., 2009; Cooper, 2010; Lipsey & Wilson, 2001). The stages of meta-analysis in this paper are described below.

Definition of the problem – definition of effect size

In order to have a quantitative synthesis of different studies that estimate *P. sylvestris* volume, we have to standardize the dependent variable, i. e. the volume. In meta-analysis, the effect size (*ES*) is the dependent variable, which standardizes the findings in studies so that they can be compared directly. Each standard can be a variable effect size (e. g. the standardized mean difference, the correlation coefficient, the probability ratio) because the variable is comparable in all studies, represents the size and direction of the relationship that interests us and is independent of the size of the sample. Different meta-analyses may use different effect size variables. In this study, we used as *ES* the estimated volume of a tree with breast height diameter 41 cm and a total height of 24 m; these are the average breast height diameter and total height of the sample trees in the study of Kitikidou, Milios, and Lipiridis (2014). This work was used as reference, because the vast majority of relative European studies included these measurements (41 cm and 24 m) in their ranges for breast height diameter (*D*) and total height (*H*), respectively. The only conversion that was applied in the volume estimation models was the unit measurement; all models were converted to calculate the volume in m³.

Recovery studies

It is vital for there to be explicit criteria for inclusion and exclusion of studies participating in meta-analysis. There is a methodological dilemma: should low quality studies be included or excluded? If we are too strict, then we might limit the ability of generalization. On the other hand, if we include easy studies, then the accuracy of the conclusions can be weakened. Therefore, we must achieve a balance appropriate to the research question (Borenstein et al., 2009).

práctica de investigación basada en la evidencia documentada que, en estas circunstancias, resulta vital para la preservación de la calidad de las publicaciones científicas. Además, es necesario que los autores y editores sigan las instrucciones y métodos específicos con el fin de garantizar la utilidad y validez de la información existente (Borenstein, Hedges, & Higgins 2009).

La realización de un metanálisis se basa en principios científicos y en la formulación de reglas que los investigadores/autores deben seguir para reducir al mínimo los errores que, por definición, existen en cada artículo científico (Borenstein et al., 2009). El objetivo de este estudio fue la aplicación del método de metanálisis en modelos de estimación de volumen de pino silvestre (*P. sylvestris*), para convertirse en una síntesis cuantitativa de datos provenientes de estudios distintos que tratan el mismo tema, para estimar una puntuación total o global de todos los estudios (efecto combinado) y detectar heterogeneidad entre ellos.

Materiales y métodos

Varios investigadores han propuesto pautas específicas para la realización del metanálisis (Borenstein et al., 2009; Cooper, 2010; Lipsey & Wilson, 2001). Las etapas del metanálisis en este documento se describen a continuación.

Definición del problema – definición del tamaño del efecto

Con el fin de tener una síntesis cuantitativa de los diferentes estudios que estiman el volumen de *P. sylvestris*, se estandarizó la variable dependiente; es decir, el volumen. En el metanálisis, el tamaño del efecto (*TE*) es la variable dependiente que estandariza los hallazgos en los estudios de modo que puedan ser comparados directamente. Los metanálisis pueden utilizar diferentes variables de tamaño del efecto. Cada estándar puede ser una variable de tamaño de efecto (por ejemplo, la diferencia de medias estandarizada, el coeficiente de correlación o la relación de probabilidad), ya que la variable es comparable en todos los estudios, representa el tamaño y la dirección de la relación que interesa, y es independiente del tamaño de la muestra. En este estudio, el *TE* fue el volumen estimado de un árbol con diámetro a la altura del pecho de 41 cm y altura total de 24 m tomado del estudio de Kitikidou, Milios, y Lipiridis (2014). Este estudio se utilizó como referencia, ya que la gran mayoría de los estudios europeos relativos incluyeron las medidas 41 cm y 24 m en sus rangos de diámetro a la altura del pecho (*D*) y altura total (*H*), respectivamente. La única conversión que se aplicó en los modelos de estimación de volumen fue la unidad de medida; todos los modelos se convirtieron para calcular el volumen en m³.

For the meta-analysis of volume (v) estimation for *P. sylvestris* in Europe, we collected all European studies, which describe individual tree volume estimation models. As a reference tree, we used a tree with breast height diameter of 41 cm and total height of 24 m. These dimensions are the averages of the sample trees in the study of Kitikidou et al. (2014); all European studies included in the meta-analysis had to have these measurements (41 cm and 24 m) in their ranges for breast height diameter (D) and total height (H), respectively. The use of a reference tree is essential, in order to have comparable volumes, i. e. the 41 cm,

Estudios de recuperación

Es fundamental que haya criterios explícitos para la inclusión y exclusión de los estudios que participan en el metanálisis. Existe un dilema metodológico: ¿deben incluirse o no los estudios de baja calidad? Si se es demasiado estricto, entonces se puede limitar la capacidad de generalización. Por otro lado, si se incluyen los estudios simples, entonces la exactitud de las conclusiones puede debilitarse. Por lo tanto, se debe lograr un equilibrio adecuado para el tema de investigación (Borenstein et al., 2009).

Table 1. Descriptive statistics of the eight studies participated in the meta-analysis for *Pinus sylvestris* volume estimation.

Cuadro 1. Estadística descriptiva de los ocho modelos utilizados en el metanálisis para la estimación del volumen de *Pinus sylvestris* en Europa.

No./ Núm.	Study/ Estudio	Equation/Ecuación	D min (cm)	D max (cm)	H min (m)	H max (m)	Sample size n / Tamaño de la muestra n	Estimated volume (m^3) of a tree with $D = 41$ cm and $H = 24$ m/ Volumen estimado (m^3) de un árbol con D $= 41$ cm y $H = 24$ m
1	Laasasenaho (1982)	$V = -2.2945 + 2.57025 * LN(D)$	0.9	50.6	1.5	28.3	2,050	1.007
2	Laasasenaho (1982)	$V = -5.39417 + 3.4806 * LN(2 + 1.25 * D) - 0.039884 * D$	0.9	50.6	1.5	28.3	2,050	1.006
3	Laasasenaho (1982)	$V = 0.036089 (D^{2.01395}) (0.99676^D) (H^{2.07025}) [(H-1.3)^{-1.07209}]$	0.9	50.6	1.5	28.3	2,050	1.416
4	Laasasenaho and Sevola (1971)	$V = -2.37912 + 2.62903 * LN(D) + 0.000126 (D^2)$	7.0	50.0	5.0	28.0	1,291	1.007
5	Corona and Ferrara (1987)	$V = 1.480589 (D^{1.982459514}) (H^{0.742674501})$	13.0	49.0	7.0	27.5	114	0.046
6	Näslund (1947)	$V = 0.1028 (D^2) + 0.02705 (D^2) H + 0.005215 (D^2) H$	5.0	49.9	3.0	32.9	4,421	1.474
7	Näslund (1947)	$V = 0.1072 (D^2) + 0.02427(D^2) H + 0.007315 * D(H^2)$	5.0	49.9	3.0	32.9	2,390	1.332
8	Kitikidou et al. (2014)	$V = 0.318 (D^2) H$	19.0	72.0	17.0	41.0	158	1.282

V: Volume, D: Diameter, H: Height

V: Volumen, D: Diámetro, H: Altura

24 m is an auxiliary pair of D , H values, for selecting studies with comparable D , H ranges. Eight models were included in the meta-analysis, retrieved from Google Scholar <<http://scholar.google.com>>, for the period 1900-2015 (Table 1).

Analysis of effect size

Suppose we have a set of independent variables ES that have transformed and/or adapted, if necessary, for each ES for which we have a weighted variance w inverse. The average ES is equal to:

$$\bar{ES} = \frac{\sum(w \times ES)}{\sum w}$$

the standard error of the mean is:

$$se_{\bar{ES}} = \sqrt{\frac{1}{\sum w}}$$

The 95 % confidence interval is calculated as lower bound = $ES - 1.96(se_{\bar{ES}})$ and upper bound = $ES + 1.96(se_{\bar{ES}})$; the homogeneity analysis checks whether the assumption that all sizes estimate the average population itself applies. As you would expect, this case rarely applies, since different studies estimate differently the ES s. If you calculate the totals: $\sum w$, $\sum(w \times ES)$, $\sum(w \times ES^2)$, we can calculate the pointer Q , the Q statistic Cochran (Hardy & Tompson 1998), which follows χ^2 distribution (degrees of freedom $df = \text{number of } ES_{s-1}$):

$$Q = \sum (w \times ES^2) - \frac{[\sum (w \times ES)]^2}{\sum w}$$

If the computed Q is less than the critical value of χ^2 with known df and P -value (e. g. 0.05), we cannot reject the null hypothesis of homogeneity test. In this case, the variance in all sizes not exceed the expected result based on the sampling error. In addition to the Q , the heterogeneity can be controlled with the inconsistency index:

$$I^2 = \frac{Q - \text{degrees of freedom } t}{Q} \cdot 100$$

According to a very coarse categorization if $25 \leq I^2 \leq 50$ % then the heterogeneity can be called small, if $50 < I^2 \leq 75$ % moderate and $I^2 > 75$ great (Higgins, Thompson, Deeks, & Atman, 2003).

Graphs in meta-analysis

To detect if there is a systematic error of publication (publication bias). If the selection of the studies

Para el metanálisis de estimación de volumen (v) de *P. sylvestris* en Europa, se recolectaron todos los estudios europeos que describen los modelos de estimación de volumen del árbol individual. Como árbol de referencia, se utilizó un árbol con diámetro a la altura del pecho de 41 cm y altura total de 24 m; todos los estudios europeos incluidos en el metanálisis tuvieron estas medidas. El uso de un árbol de referencia es fundamental, a fin de tener volúmenes comparables. Ocho modelos se incluyeron en el metanálisis, recuperados de Google Scholar <<http://scholar.google.com>>, para el periodo 1900-2015 (Cuadro 1).

Análisis del tamaño del efecto

Supóngase que se tiene un conjunto de variables independientes TE que se han transformado o adaptado, de ser necesario, para cada TE para lo que tenemos una varianza ponderada w inversa. El promedio TE es igual a:

$$\bar{TE} = \frac{\sum(w \times TE)}{\sum w}$$

el error estándar de la media es:

$$se_{\bar{TE}} = \sqrt{\frac{1}{\sum w}}$$

El intervalo de confianza de 95 % se calcula como límite inferior = $TE - 1.96(se_{\bar{TE}})$ y límite superior = $TE + 1.96(se_{\bar{TE}})$; el análisis de homogeneidad verifica si se aplica la hipótesis de que todos los tamaños estiman la población media. Como es de esperar este caso rara vez se aplica, ya que los distintos estudios calculan de manera diferente el TE . Si se calculan los totales $\sum w$, $\sum(w \times TE)$, $\sum(w \times TE^2)$, y se obtiene el puntero Q , el estadístico Q de Cochran (Hardy & Tompson, 1998), que sigue la distribución χ^2 (grados de libertad $gl = \text{número de } TE_{s-1}$):

$$Q = \sum (w \times TE^2) - \frac{[\sum (w \times TE)]^2}{\sum w}$$

Si el Q calculado es menor que el valor crítico de χ^2 con gl y valor P conocidos (por ejemplo, 0.05), no se puede rechazar la hipótesis nula de la prueba de homogeneidad. En este caso, la varianza en todos los tamaños no excede el resultado esperado basado en el error de muestreo. Además de Q , la heterogeneidad se puede controlar con el índice de inconsistencia:

$$I^2 = \frac{Q - gl}{Q} \cdot 100$$

involved in the meta-analysis were biased according to score, used the graph of the inverted funnel (funnel plot) (Egger, Smith, Schneider, & Minder 1997; Sterne and Egger, 2001). The horizontal axis is the output size and vertical ES “study size” (sample size, standard error, or weighted reverse variation), so each point in the graph represents a study. If there is no publication error, graph is symmetrical. The funnel plot receives great review, because if the effect size of an s-s study is different because of different “study size”, then this graph can be misleading (Lau, Ioannidis, Terrin, Schmid, & Olkin, 2006).

It has been developed a graphical method, the so-called forest plot, for detecting heterogeneity (Panagiotakos, 2006). In this graph, we can visually examine the overlap of confidence intervals for individual studies in a meta-analysis. In a typical forest plot, the results of studies are represented by squares, while the ends of the horizontal line in each square represent the limits of the confidence interval for each study. The overall assessment of the meta-analysis for the study of the intensity of the relationship between studies and of confidence intervals is placed at the base of the diagram, with a distinct vertical line. The vertical line represents the average of ES or some other value.

Fixed effects and random effects models

If we consider that excessive variation in result sizes derived from random differences between studies (sources that cannot identify or count), you must use a model of fixed effects (Mantel & Haenszel, 1959).

The fixed effects model weights each study with the inverse of the sampling variance:

$$w_i = \frac{1}{se_i^2}$$

In a random effects model (DerSimonian & Laird, 1986) we found that the effect sizes come at random from a larger number of effect sizes (including surveys). The random effects model, weighting each study with the inverse of the sampling variance and a constant that represents the variation of the effects in the population, is:

$$w_i = \frac{1}{se_i^2 + \hat{\nu}_\theta}$$

where $\hat{\nu}_\theta$ is the component of the variance of the random effects.

The component of variance of random effects based on Q; Q calculation type in the random effects model is:

De acuerdo con una clasificación muy ordinaria, la heterogeneidad puede ser denominada como baja si $25 \leq I^2 \leq 50 \%$, es moderada si $50 < I^2 \leq 75 \%$, y si $I^2 > 75$ se considera buena (Higgins, Thompson, Deeks, & Atman, 2003).

Gráficas en el metanálisis

Las gráficas sirven para detectar si existe un error sistemático de publicación (sesgo de publicación). Si la selección de los estudios incluidos en el metanálisis fue parcial según la puntuación, se debe utilizar el gráfico de embudo invertido (o *funnel plot*) (Egger, Smith, Schneider, & Minder 1997; Sterne & Egger, 2001). El eje horizontal es el tamaño de salida y TE vertical es el tamaño de la muestra, error estándar o variación inversa ponderada, por lo que cada punto de la gráfica representa un estudio. Si no existe error de publicación, la gráfica es simétrica. El gráfico en embudo recibe gran crítica, ya que el tamaño del efecto de un estudio s-s es distinto, debido al “tamaño del estudio” diferente, entonces este gráfico puede ser erróneo (Lau, Ioannidis, Terrin, Schmid, & Olkin, 2006).

Se ha desarrollado un método gráfico llamado diagrama de bosque para detectar la heterogeneidad (Panagiotakos, 2006). En este gráfico, se puede examinar visualmente la superposición de los intervalos de confianza para los estudios individuales en un metanálisis. En un diagrama de bosque típico, los resultados de los estudios están representados por cuadrados, mientras que los extremos de la línea horizontal en cada cuadrado representan los límites del intervalo de confianza para cada estudio. La evaluación general del metanálisis para el estudio de la intensidad de la relación entre los estudios y los intervalos de confianza se coloca en la base del diagrama, con una línea vertical distinta. La línea vertical representa el promedio de TE.

Modelos de efectos fijos y aleatorios

Si se toma en cuenta que una variación excesiva en tamaños de resultado se obtuvo de las diferencias aleatorias entre los estudios (fuentes que no se pueden identificar o contar), se debe utilizar un modelo de efectos fijos (Mantel & Haenszel, 1959).

El modelo de efectos fijos pondera cada estudio con la inversa de la varianza muestral:

$$w_i = \frac{1}{se_i^2}$$

En un modelo de efectos aleatorios (DerSimonian & Laird, 1986) se encontró que los tamaños del efecto provienen de un mayor número de tamaños del efecto (incluyendo encuestas) de manera aleatoria. El

$$Q_v = \frac{Q - k - 1}{\sum w - \left(\frac{\sum w^2}{\sum w} \right)}$$

The biggest difference you will notice by comparing the results of random and fixed effects models is the significance levels and confidence intervals. The confidence intervals in random effects models are larger, while effects were significant in the model of fixed effects may not be significant in the random effects model. If the sample size is associated closely with the effect size, then the mean *ES* will differ between the two models.

Results and discussion

Table 2 shows the statistics of the meta-analysis. The eight models that estimate the volume of *P. sylvestris* (Table 1) were significantly heterogeneous, since the estimated *Q* was greater than the critical value of *I*², if we accept that differences between studies are random and cannot be measured. In this case, namely the fixed effects model, the heterogeneity is great (*I*² = 99.8 %). In contrast, if we accept that the eight models were selected at randomly from a number of studies, i. e. applying random effects model, the heterogeneity is null ($5.259 < 14.067$ and *I*² = 0). At this stage, it looks more like the model of fixed effects, taking

modelo de efectos aleatorios, que pondera cada estudio con la inversa de la varianza muestral y una constante que representa la variación de los efectos en la población, es:

$$w_i = \frac{1}{se_i^2 + \hat{v}_\theta}$$

donde \hat{v}_θ es el componente de la varianza de los efectos aleatorios.

El componente de la varianza de efectos aleatorios se basa en *Q*; el tipo de cálculo *Q* en el modelo de efectos aleatorios es:

$$Q_v = \frac{Q - k - 1}{\sum w - \left(\frac{\sum w^2}{\sum w} \right)}$$

La mayor diferencia que sobresale al comparar los resultados de los modelos de efectos fijos y aleatorios son los niveles de significación e intervalos de confianza. Los intervalos de confianza en los modelos de efectos aleatorios son más grandes, mientras que los efectos que fueron significativos en el modelo de efectos fijos pueden no ser significativos en el modelo de efectos aleatorios. Si el tamaño de la muestra se asocia con el tamaño del efecto, entonces la media de *TE* diferirá entre los dos modelos.

Table 2. Statistics of the meta-analysis of the eight models for *Pinus sylvestris* volume estimation.

Cuadro 2. Estadísticas del metanálisis de los ocho modelos para la estimación del volumen de *Pinus sylvestris*.

Statistic/ Estadísticas	Fixed effects model/Modelo de efectos fijos	Random effects model/ Modelo de efectos aleatorios	Number of models (<i>k</i>)/ Número de estudios (<i>k</i>)	Degrees of freedom/ Grados de libertad	Critical value χ^2 (<i>P</i> -value)/ Valor crítico χ^2 (valor <i>P</i>)
<i>Q</i>	3,353.167	5.226	8	7	14.067
<i>I</i> ²	99.791	0.000			
$\overline{ES} / \overline{TE}$	1.025	1.071			
$(se_{\overline{ES}}) / (se_{\overline{TE}})$	0.008	0.187			
Confidence interval (lower-upper bound)/ Intervalo de confianza (Límite inferior- superior)	1.008-1.042	0.705-1.437			

Q: Cochran's statistic, *I*²: inconsistency index, \overline{ES} : mean Effect Size, $se_{\overline{ES}}$: standard error of the mean of the effect size

Q: Estadístico de Cochran, *I*²: índice de inconsistencia, \overline{TE} : media del tamaño del efecto, $se_{\overline{TE}}$: error estándar de la media del *TE*

into account that we made in the meta-analysis of all available studies that meet our criterion (models have ranges of breast height diameter D and heights H that include tree with breast height diameter of 41 cm and total height of 24 m). At this point, we should note that the comparison of studies refers to their D , H ranges, not the specific D , H pair of values 41 cm and 24 m. The average effect size does not seem to vary between fixed effects models (1.025) and random effects (1.071), which mean that the sample size does not seem to be highly correlated with the effect size.

In the funnel plot (Figure 1), there seems to be a publication bias (spots are not forming an inverted triangle). With grey we symbolized the study in Italy (Corona & Ferrara, 1987), green for Finland (Laasasenaho, 1982; Laasasenaho & Sevola, 1971), brown for Sweden (Näslund, 1947) and blue for Greece (Kitikidou et al., 2014). If we look at the study coming out outside the triangle, namely study no. 5 in Italy, we see that it has the smallest sample size, just 114 trees (Table 1), which may create a misleading funnel plot regarding the publication bias, i. e. spots are not forming an inverted triangle due to the small sample size of one study, not due to biased selection of studies.

In the forest plot (Figure 2), the center line represents the average of the studies, i. e. the average estimated volume of eight models, with tree breast height diameter of 41 cm and total height of 24 m. As in Figure 1, with grey color, we symbolized the study in Italy (Corona & Ferrara, 1987), using green for

Resultados y discusión

En el Cuadro 2 se muestran las estadísticas del metanálisis. Los ocho modelos que estiman el volumen de *P. sylvestris* (Cuadro 1) fueron significativamente heterogéneos, ya que el Q estimado fue mayor que el valor crítico de I^2 , si se acepta que las diferencias entre los estudios son aleatorias y que no se pueden medir. En este caso al aplicar el modelo de efectos fijos, la heterogeneidad es grande ($I^2 = 99.8\%$). Por el contrario, si se acepta que los ocho modelos fueron seleccionados al azar, a partir de una serie de estudios; es decir, aplicando el modelo de efectos aleatorios, la heterogeneidad es nula ($5.259 < 14.067$ y $I^2 = 0$). Tomando en cuenta que hemos hecho el metanálisis de todos los estudios disponibles que cumplen con nuestro criterio (los modelos incluyen árbol con diámetro a la altura del pecho de 41 cm y altura total de 24 m). En este punto, hay que señalar que la comparación de los estudios se refiere a sus rangos D , H y no a los pares D , H específicos de valores de 41 cm y 24 m. El tamaño del efecto promedio parece no variar entre los modelos de efectos fijos (1.025) y efectos aleatorios (1.071), lo que significa que el tamaño de la muestra parece no estar altamente correlacionado con el tamaño del efecto.

En el gráfico de embudo (Figura 1) parece existir un sesgo de publicación (los puntos no forman un triángulo invertido). Con color gris se simbolizó el estudio en Italia (Corona & Ferrara, 1987), verde para Finlandia (Laasasenaho, 1982; Laasasenaho & Sevola, 1971), café para Suecia (Näslund, 1947) y azul para

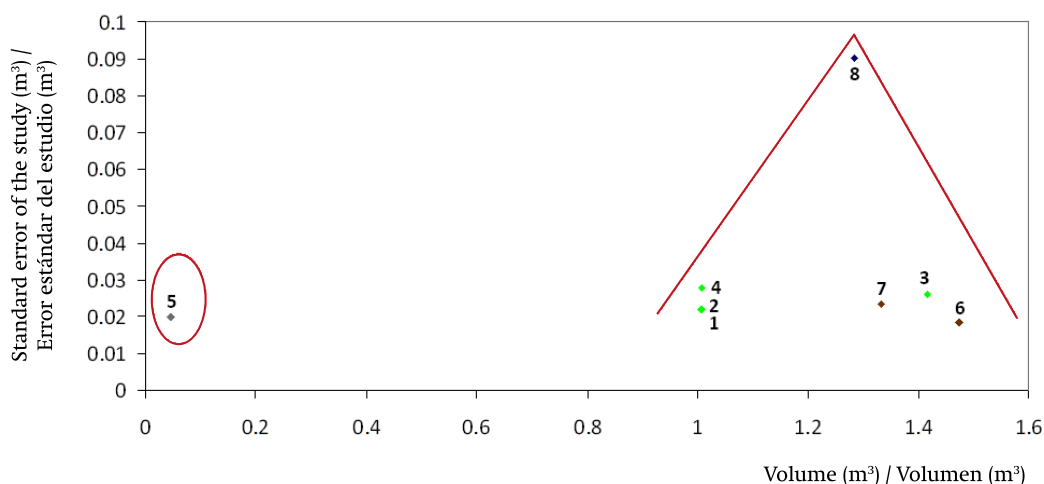


Figure 1. Funnel plot of the eight models included in the meta-analysis for *Pinus sylvestris* volume estimation in Europe. Study numbers 1-4 represent studies in Finland, 5 corresponds to Italy, 6 and 7 to Sweden and 8 to Greece.

Figura 1. Gráfico de embudo de los ocho modelos que formaron parte en el metanálisis para la estimación del volumen de *Pinus sylvestris* en Europa. Los números 1 a 4 representan a los estudios realizados en Finlandia, el 5 corresponde a Italia, el 6 y 7 a Suecia y el 8 a Grecia.

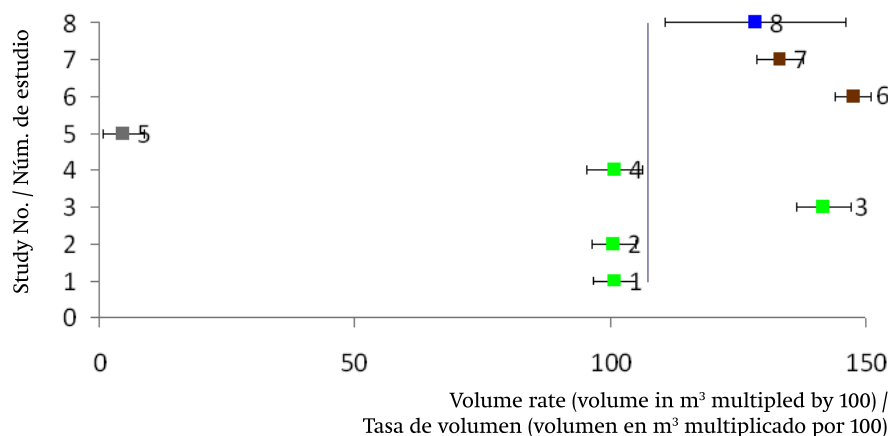


Figure 2. Forest plot of the eight models included in the meta-analysis for *Pinus sylvestris* volume estimation in Europe. Study numbers 1-4 represent studies in Finland, 5 corresponds to Italy, 6 and 7 to Sweden and 8 to Greece.

Figura 2. Diagrama de bosque de los ocho modelos que se emplearon en el metanálisis para la estimación del volumen de *Pinus sylvestris* en Europa. Los números 1 a 4 representan a los estudios realizados en Finlandia, el 5 corresponde a Italia, el 6 y 7 a Suecia y el 8 a Grecia.

Finland (Laasasenaho, 1982; Laasasenaho & Sevola, 1971), brown for Sweden (Näslund, 1947) and blue for Greece (Kitikidou et al., 2014). There is a clear tendency for large volumes (well above average) in Greece and Sweden, while below average seems to be the volumes of *P. sylvestris* trees in Finland. Italy clearly has smaller volumes compared to the rest of Europe. In addition, observing the boundaries of the horizontal line errors, we find that the study in Greece shows a great confidence interval, which is due to the large standard error and thus the small sample size (165 trees), in relation to other studies.

The systematic review and meta-analysis offer a reassessment of research data that refers to a particular scientific issue that emerged from various studies. The application of meta-analysis in forestry can help us in the following (Kitikidou, Milios, Stampoulidis, & Papageorgiou, 2013; Papakosta, Kitikidou, Bakaloudis, & Vlachos, 2014): enables the synthesis of a large number of forest research findings; may highlight gaps in the literature search, providing a solid foundation for the next generation of research into a forest theme; demonstrates the importance of repetition of an investigation; facilitates the generalization of knowledge acquired with short-range surveys.

In the meta-analysis conducted in this research, using volume estimation models for Scots pine (*P. sylvestris*), we found that:

The quantitative synthesis of data from different studies showed that Italy needs further investigation.

Greece (Kitikidou et al, 2014). Si se observa, el estudio número 5 realizado en Italia sale fuera del triángulo; es decir, tiene el tamaño más pequeño de la muestra, sólo 114 árboles (Cuadro 1). Esto puede crear un gráfico en embudo erróneo con respecto al sesgo de publicación; es decir, los puntos no forman un triángulo invertido, debido al tamaño pequeño de la muestra de un estudio y no debido a la selección sesgada de los estudios.

En el diagrama de bosque (Figura 2), la línea central representa el promedio de los estudios; es decir, el volumen estimado promedio de ocho modelos con diámetro a la altura del pecho del árbol de 41 cm y altura total de 24 m. Al igual que en la Figura 1, con color gris se representa el estudio en Italia (Corona & Ferrara, 1987), verde para Finlandia (Laasasenaho, 1982; Laasasenaho & Sevola, 1971), café para Suecia (Näslund, 1947) y azul para Grecia (Kitikidou et al., 2014). Existe una clara tendencia para volúmenes grandes (muy por encima del promedio) en Grecia y Suecia, mientras que por debajo del promedio parecen estar los volúmenes de los árboles de *P. sylvestris* en Finlandia. En Italia se encuentran claramente los volúmenes más pequeños en comparación con el resto de Europa. Además, al observar los límites de los errores de la línea horizontal, se encontró que el estudio realizado en Grecia muestra un intervalo de confianza bueno, el cual se debe al error estándar y, por lo tanto, al tamaño pequeño de la muestra (165 árboles), en relación con otros estudios.

La revisión sistemática y el metanálisis ofrecen una nueva evaluación de los datos de la investigación que se refiere a una cuestión científica particular que surgió

One study from Corona and Ferrara (1987) isn't enough for clear conclusion (probably the sample size of this study is small).

By calculating a total – summary result from all studies (pooled effect), we found an average volume of *P. sylvestris* tree with breast height diameter of 41 cm and total height of 24 m equal to 1.072 m³, while a tree with these dimensions, in the study of Kitikidou et al. (2014), had a volume of 1.153 m³. The large confidence interval, however, should be pointed out for the study in Greece. This is probably the result of the influence of two factors; firstly, different growth conditions, leading in different form factors of trees (Kitikidou et al., 2014); secondly, small sample size (158 trees).

Concerning the heterogeneity between studies, if we consider that all appropriate and available studies were used, then heterogeneity is great ($I^2 = 99.8\%$). The heterogeneity is maintained, even if we remove the study in Italy from the set of the eight models (in this case, the calculated I^2 equals to 99.1%). In general, the sample size does not seem to be highly correlated with the effect size, i. e. the volume.

Stand density affects the form of trees. Low stand densities lead to higher tree taper (Philip, 1994; Smith, Larson, Kelty, & Ashton, 1997). Moreover, the position of a tree in the stand influences its form, since suppressed and pure in vigor trees exhibit low taper trees, while dominant trees have high taper (Smith et al., 1997). The above-mentioned is the result of the tree ring distribution along the stem (see Smith et al., 1997; Wilson, 1984). Conditions of competition affect the distribution of diameter growth at different heights up to the bole, influencing the form and taper of a tree, while the taper of a tree changes, as growing conditions change during its life (Smith et al., 1997; Wilson, 1984).

A tree with high taper has lower volume compared to a tree with low taper, having the same breast-height diameter. As a result, volume differences among European forests may be due to different competition conditions, regarding stand densities and tree positions, and not of different geographical conditions (climate). That may be the reason for the Greek study to be relied between the volumes of Scandinavian studies, as shown in Figure 1. Different competition conditions reflect the result of different stand dynamics and thinning regimes (Oliver & Larson, 1996; Smith et al., 1997).

Conclusions

From the meta-analysis for the volume of *P. sylvestris* in Europe, the following conclusions are extracted: more research could be useful in Italy (volumes seem

de diversos estudios. La aplicación del metanálisis en el sector forestal puede ayudar en lo siguiente (Kitikidou, Milios, Stampoulidis, & Papageorgiou, 2013; Papakosta, Kitikidou, Bakaloudis, & Vlachos, 2014): permite la síntesis de un gran número de resultados de investigaciones forestales; puede resaltar diferencias en la investigación bibliográfica, proporcionando una base sólida para la próxima generación de investigación en un tema forestal; demuestra la importancia de la repetición de una investigación; y facilita la generalización de los conocimientos adquiridos con las encuestas de corto alcance.

En el metanálisis llevado a cabo en esta investigación, al usar modelos de estimación de volumen para pino silvestre (*P. sylvestris*), encontramos que:

La síntesis cuantitativa de los datos, a partir de diferentes estudios, mostró que Italia necesita mayor investigación. El estudio de Corona y Ferrara (1987) no es suficiente para una conclusión clara (probablemente el tamaño de la muestra de este estudio es pequeño).

Mediante el cálculo de un total, resultado del resumen de todos los estudios (efecto agrupado), se encontró un volumen promedio del árbol *P. sylvestris* con diámetro a la altura del pecho de 41 cm y altura total de 24 m igual a 1.072 m³, mientras que un árbol con estas dimensiones en el estudio de Kitikidou et al. (2014) tuvo un volumen de 1.153 m³. No obstante, el intervalo de confianza debe ser señalado para el estudio en Grecia. Esto probablemente es el resultado de la influencia de dos factores; en primer lugar, condiciones de crecimiento diferentes, conduciendo a los factores de manera distinta (Kitikidou et al., 2014); en segundo lugar, el tamaño pequeño de la muestra (158 árboles).

En cuanto a la heterogeneidad entre los estudios, si se considera que se utilizaron todos los estudios apropiados y disponibles, entonces, la heterogeneidad es grande ($I^2 = 99.8\%$). La heterogeneidad se mantiene, incluso si se elimina el estudio en Italia del conjunto de los ocho modelos (en este caso, la I^2 calculada es igual a 99.1%). En general, el tamaño de la muestra no parece estar altamente correlacionado con el tamaño del efecto (el volumen).

La densidad de la masa afecta la forma de los árboles. La baja densidad de las masas conduce a mayor ahusamiento del árbol (Philip, 1994; Smith, Larson, Kelty, & Ashton, 1997). Por otra parte, la posición de un árbol en la masa influye en su forma, pues los árboles suprimidos muestran menor ahusamiento, mientras que en los árboles dominantes es mayor (Smith et al., 1997). Lo mencionado anteriormente es el resultado de la distribución de los anillos de árboles a lo largo del tronco (ver Smith et al., 1997; Wilson, 1984). Las

to be remarkably small). In Greece, there are large volumes of the species, comparable with those of Sweden; however, a Greek study with a larger sample size could contribute to the promotion of research. There is great heterogeneity among stands in Europe, regarding species' volume, which indicates different competition conditions as the result of different stand dynamics and thinning regimes, which affected the taper of trees during their lives. For further research, the application of meta-analysis with use of effect size for meta-analysis of variance (meta-ANOVA) and meta-regression is proposed.

End of English version

References / Referencias

- Bazire, P., & Gadant, J. (1991). *La forêt en France*. Paris: La Documentation Française.
- Borenstein, M., Hedges, L., & Higgins, J. (2009). *Introduction to meta-analysis*. Chichester, UK: John Wiley & Sons.
- Boratynski, A. (1991). Range of natural distribution. In M. Giertych, & C. Matyas (Eds.), *Genetics of Scots pine* (pp. 19-30). Amsterdam: Elsevier.
- Christie, M., & Lines, R. (1979). A comparison of forest productivity in Britain and Europe in relation to climatic factors. *Forest Ecology Management*, 2, 75–102. doi:10.1016/0378-1127(79)90039-2
- Cooper, H. (2010). *Research synthesis and meta-analysis*. Los Angeles, CA, USA: Sage Publications.
- Corona, P., & Ferrara, A. (1987). Dendrometrical investigations on *Pinus sylvestris* in Trentino-Alto Adige. *Monti e Boschi*, 38(6), 51–54.
- DerSimonian, R., & Laird, N. (1986). Meta-analysis in clinical trials. *Controlled Clinical Trials*, 7(3), 177–188. doi: 10.1016/0197-2456(86)90046-2
- Egger, M., Smith, G., Schneider, M., & Minder, C. (1997). Bias in meta-analysis detected by a simple, graphical test. *British Medical Journal*, 315(7109), 629–634. doi:10.1136/bmj.315.7109.629
- Hardy, R., & Thompson, S. (1998). Detecting and describing heterogeneity in meta-analysis. *Statistics in Medicine*, 17(8), 841–856. doi: 10.1002/(SICI)1097-0258(19980430)17:8<841::AID-SIM781>3.0.CO;2-D
- Higgins, J., Thompson, S., Deeks, J., & Altman, D. (2003). Measuring inconsistency in meta-analyses. *British Medical Journal*, 327(7414), 557–560. doi:10.1136/bmj.327.7414.557
- Kitikidou, K., Milios, E., & Lipiridis, I. (2014). Tree volume estimates and nearest neighbor analysis in the stands of scots pine (*Pinus sylvestris*) in the central part of Rodope mountain. *Šumarski list*, 138(11-12), 573–582. Retrieved from http://hrcak.srce.hr/index.php?show=clanak&id_clanak_jezik=199404

condiciones de competencia afectan la distribución del crecimiento del diámetro a diferentes alturas hasta el tronco, que influyen en la forma y ahusamiento del árbol, mientras que el ahusamiento cambia a medida que las condiciones de crecimiento se modifican durante su vida (Smith et al., 1997; Wilson, 1984).

Un árbol con mayor ahusamiento tiene menor volumen comparado con uno de menor ahusamiento, teniendo el mismo diámetro a la altura del pecho. Como resultado, las diferencias de volumen entre los bosques europeos pueden deberse a diferentes condiciones de competencia, en relación con las densidades de las masas y posiciones de los árboles, y no a las distintas condiciones geográficas (clima). Esa puede ser la razón para que el estudio realizado en Grecia se pueda usar entre los volúmenes de los estudios escandinavos, como se muestra en la Figura 1. Las distintas condiciones de competencia reflejan el resultado de las diferentes dinámicas de masa y regímenes de adelgazamiento (Oliver & Larson, 1996; Smith et al., 1997).

Conclusiones

A partir del metanálisis para el volumen de *P. sylvestris* en Europa, se obtuvieron las siguientes conclusiones: una mayor investigación podría ser útil en Italia (los volúmenes parecen ser muy pequeños). En Grecia, existen volúmenes grandes de la especie en comparación con aquellos en Suecia; sin embargo, un estudio de Grecia con un tamaño de muestra mayor podría contribuir para fomentar la investigación. Existe gran heterogeneidad entre las masas en toda Europa en relación con el volumen de la especie, lo que indica condiciones de competencia distintas como resultado de las diferentes dinámicas de las masas y regímenes de adelgazamiento, que afectan el ahusamiento de los árboles durante su vida. Para futuras investigaciones, se propone la aplicación de un metanálisis con el uso del tamaño del efecto para el metanálisis de varianza (meta-ANOVA) y metarregresión.

Fin de la versión en español

- Kitikidou, K., Milios, E., Stampoulidis, A., & Papageorgiou, A. (2013). Application of meta-analysis in forestry related topics. *Forest Systems*, 22(3), 578–581. doi:10.5424/fs/2013223-04766
- Laasasenaho, J. (1982). *Taper curve and volume functions for pine, spruce and birch*. Helsinki, Finland: Finnish Forest Research Institute.
- Laasasenaho, J., & Sevola, Y. (1971). *Mänty- ja kuusirunkojen puutavarasuhteet ja kantoarvot*. Helsinki, Finland: Finnish Forest Research Institute.
- Lau, J., Ioannidis, J., Terrin, N., Schmid, C., & Olkin, I. (2006). The case of the misleading funnel plot. *British Medical Journal*, 333(7568), 597–600. doi:10.1136/bmj.333.7568.597
- Lipsey, M., & Wilson, D. (2001). *Practical meta-analysis. Thousand oaks*. California: Sage Publications.
- Mantel, N., Haenszel, M. (1959). Statistical aspects of the analysis of data from retrospective studies of disease. *Journal of the National Cancer Institute*, 22(7), 19–48. doi: 10.1093/jnci/22.4.719
- Mencuccini, M., & Bonosi, L. (2001). Leaf/sapwood area ratios in Scots pine show acclimation across Europe. *Canadian Journal of Forest Research*, 31, 442–456. doi: 10.1139/x00-173
- Ministry of Agriculture. (1992). *Results of the first national forest inventory*. Athens: Publication of Department of Forest Mapping.
- Näslund, M. (1947). *Funktioner och tabeller för kubering av stående träd*. Stockholm, Sweden: Meddelanden från Statens skogsforskningsinstitutet. Retrieved from http://pub.epsilon.slu.se/9900/1/medd_statens_skogsforskningsinst_036_03.pdf
- Oliver, C., & Larson, B. (1996). *Forest stand dynamics*. New York, USA: Wiley.
- Panagiotakos, D. (2006). *Research methodology and data analysis for the health sciences*. Athens, Greece: Kostaki Publications.
- Papakosta, M., Kitikidou, K., Bakaloudis, D., & Vlachos, C. (2014). Dietary variation of the stone marten (*Martes foina*): A meta-analysis approach. *Wildlife Biology in Practice*, 10(2), 85-101. doi: 10.2461/wbp.2014.10.11
- Philip, M. (1994). *Measuring trees and forests*. UK: CAB International.
- Poyatos, R., Martínez-Vilalta, J., Čermák, J., Ceulemans, R., Granier, A., Irvine, J., ...Mencuccini, M. (2007). Plasticity in hydraulic architecture of Scots pine across Eurasia. *Oecologia*, 153, 245–259. doi: 10.1007/s00442-007-0740-0
- Sevola, Y. (1998). *Statistical yearbook of forestry*. Helsinki, Finland: Finnish Forest Research Institute.
- Smith, D., Larson, B., Kelty, M., & Ashton, M. (1997). *The practice of silviculture: Applied forest ecology*. New York, USA: Wiley.
- Sterne, J., & Egger, M. (2001). Funnel plots for detecting bias in meta-analysis. *Journal of Clinical Epidemiology*, 54(10), 1046–1055. doi:10.1016/s0895-4356(01)00377-8
- Van Laar, A., & Akça, A., (1997). *Forest mensuration*. Göttingen, Germany: Cuvillier Verlag.
- Wilson, B., (1984). *The growing tree*. USA: University of Massachusetts Press.