

VII. CRECIMIENTO Y PRODUCCION

1. TABLAS DE PRODUCCION. GENERALIDADES

Las tablas de producción se pueden definir como cuadros numéricos que tratan de cifrar la evolución con la edad de las variables de una masa forestal coetánea o regular, de una especie dada, dentro de un ámbito geográfico determinado, para las distintas clases de calidad de la estación, y para los diferentes regímenes selvícolas aplicables a dicha masa (MADRIGAL, 1991a).

Es necesario añadir que en ellas se describen masas ideales que ocuparían completamente la superficie, sin ningún hueco o pérdida de ningún tipo, lo que resulta imprescindible para conocer su verdadero significado y poder aplicarlas correctamente.

Las tablas de producción son un importante instrumento de gestión y planificación, cuyos valores deben considerarse como una media (de lo que se hace o de lo que se puede hacer), pero nunca como un dogma inamovible que deba seguirse al pie de la letra. A tal respecto, VANNIERE (1984) se refiere a ellas como «un modelo idealizado, válido como promedio para una región dada, y que es preciso emplear con precaución. Se trata de un cierto número de puntos de referencia, de identificaciones cifradas, pero en ningún caso de tablas que conduzcan a valores seguros y ciertos». Este hecho no disminuye en absoluto su utilidad, como ha demostrado la larga tradición en su uso por gran parte de los forestales europeos (MADRIGAL, 1991a).

Las variables que normalmente se recogen en una tabla de producción se dividen en:

- Variables de entrada: son la edad (escalonada en períodos habitualmente fijos) y la altura dominante (m). Con estos datos se determina la calidad de la estación y con ella la tabla a emplear.
- Variables de la masa principal antes y después del tratamiento: suelen ser el número de pies por hectárea, el diámetro cuadrático medio (cm), el área basimétrica (m^2/Ha), el volumen aprovechable (en m^3/Ha y normalmente con corteza) y la altura media (m). A veces, sólo se incluye la masa principal antes de la clara.
- Variables de la masa extraída: pueden ser todas o algunas de las anteriores, a las que siempre se añade el volumen extraído acumulado en las distintas claras (m^3/Ha).
- Variables de la masa total: generalmente son el volumen total con corteza (suma del correspondiente a la masa principal tras el tratamiento más el acumulado en las claras), y sus crecimientos anuales medio y corriente (m^3/Ha y año).

Utilidades de las tablas de producción

Siguiendo a MADRIGAL (1991a), las utilidades de las tablas de producción en la selvicultura, inventario y ordenación, son las siguientes:

- Clasificación de las unidades últimas de inventario según clases de calidad, para su agregación a otras equiproductivas.
- Estimación de crecimientos corrientes de las unidades últimas de inventario, a partir de su edad y calidad. Para ello se emplean factores de corrección que, normalmente, son el cociente entre las áreas basimétricas real y de la tabla.
- Estimación rápida de volúmenes de una masa, conocidas su edad y calidad, y también con la corrección del factor anterior. Sirve para comparaciones, pero nunca para sustituir al inventario.
- Modelo de régimen de claras. No se debe considerar, sin embargo, como un modelo rígido, sino como una referencia de lo que se hace (tablas de selvicultura media observada) o de lo que razonablemente se puede hacer (tablas de selvicultura variable).
- Referencia para razonar y discutir turnos tecnológicos y financieros.
- Si se considera que las tablas son un modelo de monte normal, se pueden utilizar para la discusión de la posibilidad.
- Para realizar estudios de oferta de madera, tanto a nivel comarcal, regional y nacional.

Evolución y tipos de tablas de producción

Aunque los orígenes de las tablas de producción podrían encontrarse en China, en los alrededores del año 1000, la primera que se conoce con certeza fue realizada en 1778 en Alemania (PEYRON, 1981; recogido en PICARDO, 1985).

En el pasado siglo comienzan a elaborarse distintos modelos, a partir de la instalación de redes de parcelas experimentales por parte de los distintos institutos forestales de los estados alemanes. Dichas parcelas se establecían en un ámbito geográfico de características homogéneas, eligiendo edades escalonadas, de tal forma que en conjunto, y tras 20 ó 25 años (4 ó 5 inventarios), cubrieran por completo el ciclo productivo de la especie estudiada. Un ajuste gráfico permitía estimar la evolución de las variables que se hubieran medido en las parcelas (HUFFEL, 1919; PARDE y BOUCHON, 1987).

Todas estas tablas construidas con el método clásico se incluyen en el grupo denominado «tablas de existencias normales» (OLAZÁBAL, 1883) o «de producción normal» (PICARDO, 1985). Son, por tanto, tablas de espesura completa, cuyo fin era dirigir la ordenación de los bosques hacia masas en espesura completa que utilizaran el espacio de forma total y eficaz, buscando la plena utilización de los recursos y la máxima producción; es decir, lo que se había definido, en la propia Alemania, como «monte normal».

La teoría que ligaba la espesura normal con el máximo de crecimiento en volumen recibió numerosas críticas (BICKFORD y cols., 1957; NELSON y BENNET, 1965; CLUTTER, 1963), siendo abandonada en general. Sin embargo, algunos autores como HAMILTON y CHRISTIE (1971) han mantenido el concepto de normalidad o espesura completa para sus tablas de producción (PICARDO, 1985).

Mac Kinney y Chaiken en 1939, y Wiedeman en 1949 (BICKFORD y cols., 1957), ya habían construido años antes tablas para distintos grados de espesuras, ofreciendo por tanto diversas opciones de tratamiento.

DECOURT (1964) abre una nueva etapa en la elaboración de tablas de producción, al establecer una metodología basada en un inventario único de parcelas temporales.

Como indica MADRIGAL (1991a), tal simplificación del plazo se basó en la aplicación de las dos siguientes leyes experimentales:

- Ley de Eichorn ampliada, que indica una estrecha relación entre la producción y la altura (media o dominante), de forma independiente de la calidad de la estación.
- Ley de ASSMANN (1970), que establece la constancia de la producción total, en área basimétrica y volumen, dentro de un amplio abanico de regímenes de claras.

La metodología de DECOURT (1964, 1972), utilizada por el propio autor en sus tablas de pino silvestre de 1965, consta fundamentalmente de tres partes o sistemas de relaciones: El sistema [M] de calidad de la estación; el sistema [S] de relaciones dendrométricas, independientes de la edad, selvicultura y calidad de la estación (el conjunto de estos dos sistemas se ha denominado en España relaciones fundamentales); y el sistema [E] de la selvicultura media llevada a cabo en las parcelas de experimentación.

Posteriormente, DECOURT (1974) reconoce que su modelo no es suficiente para la construcción de tablas de selvicultura variable. En especial por el uso de la ecuación $Dg = f(N, H_0)$, que liga el diámetro cuadrático medio (Dg) con el número de pies por hectárea (N) y la altura dominante (H_0). Esta relación supone que la variación del diámetro es proporcional a la disminución de la densidad y al crecimiento de la altura dominante, y por lo tanto independiente de la selvicultura que se practique, pero es de uso frecuente. Las tablas elaboradas con el método de Decourt se han denominado «de selvicultura media observada».

OTTORINI (1975) y, sobre todo, BARTET y BOLLIET (1976), ponen a punto en Francia la metodología para realizar las que ellos mismos llaman «tablas de selvicultura (o de densidad) variable», con la misma filosofía que ya había utilizado Wiedeman en 1949. Su método elimina la ecuación $Dg = f(N, H_0)$ del sistema [S], e integra variables como la densidad antes de la primera clara y la edad en ese momento. Con ellas comienza la que PEYRON (1981) considera segunda generación de las tablas de producción.

En un trabajo de DUPLAT (1980), donde se aplica el método anterior, se habla de «tablas de selvicultura de referencia». Esta selvicultura de referencia, obtenida a partir de una hipótesis sencilla de simulación, representa diversas alternativas razonables de lo que se puede hacer (MADRIGAL y cols., 1992).

Un nuevo paso lo constituyen las «tablas de gestión y aprovechamiento a la carta» de RONDEUX y DELVAUX (1979) que, al contrario de las anteriores, pretenden determinar la intervención que se precisa para conseguir un objetivo concreto. En realidad no son tablas de producción, sino planes de operaciones selvícolas, pues se basan en unas ya existentes para elaborar un programa de actuaciones más inmediato (PICARDO, 1985). Este modelo estuvo muy en boga hace unos años, pero parece haber perdido interés ante los modelos de gestión.

En efecto, en la actualidad el futuro de las tablas de producción parece pasar por la modelización forestal, que intenta predecir la producción en función de diversos tratamientos. Su puesta en marcha está relacionada con el gran avance en las técnicas estadísticas, ocurrido a raíz de la generalización de la informática. En estos modelos se incluyen múltiples variables (tratamientos selvícolas, culturales, densidades de plantación,

daños por plagas, etc.) y, por tanto, representan realidades más complejas y reales. Con ello se buscan instrumentos que permitan gestionar montes verdaderos, y no sólo masas teóricas regulares, monoespecíficas, sin huecos, etc. (PARDE y BOUCHON, 1987). Algunos ejemplos de estos trabajos aparecen en CURTIS (1967), PIENAAR y TURNBULL (1973), MUNRO (1974), MAUGE (1975) y LEMOINE (1983).

A pesar de estas últimas perspectivas, surge la duda de si la modelización forestal será capaz de solucionar las numerosas necesidades de un modelo de gestión forestal aun mucho más complejo; sobre todo teniendo en cuenta que no se han resuelto definitivamente los inconvenientes de los modelos más simples que suponen las tablas de producción.

Tablas de producción españolas

Las primeras tablas de producción españolas se deben a Echeverría, ingeniero del Instituto Forestal de Investigaciones y Experiencias (I.F.I.E.), que a finales de los años veinte comenzó a instalar un dispositivo experimental de parcelas permanentes en repoblaciones de las más importantes especies de crecimiento rápido utilizadas en España (*Pinus radiata*, *Pinus pinaster* y *Eucalyptus globulus*).

Actualmente, existen publicadas en España únicamente once tablas de producción (para un total de seis especies), número que parece excesivamente escaso para un país con semejantes superficie forestal y variedad de especies. Además, algunas de estas tablas precisan ser revisadas o actualizadas.

Agrupadas por especies, las tablas de producción editadas en nuestro país son las siguientes:

- Tres para *Pinus sylvestris*, en los Sistemas Ibérico (GARCÍA ABEJÓN, 1981), Central (GARCÍA ABEJÓN y GÓMEZ LORANCA, 1984) y Pirenaico (GARCÍA ABEJÓN y TELLA, 1986).
- Dos para *Pinus pinaster*, en Pontevedra (ECHEVERRÍA y PEDRO, 1948) y en el Sistema Central (GARCÍA ABEJÓN y GÓMEZ LORANCA, 1989).
- Dos para *Pinus radiata*, en el Norte (ECHEVERRÍA, 1942) y en el País Vasco (MADRIGAL y TOVAL, 1975).
- Dos para *Eucalyptus globulus*, en Huelva (ECHEVERRÍA, 1952) y en el Norte de la Península (PITA, 1966).
- Una para el clon *Populus x euramericana* «Campeador» en la Meseta Central (GONZÁLEZ ANTOÑANZAS, 1986).
- Y otra para *Fagus sylvatica* en Navarra (MADRIGAL y cols., 1992).

Además, existen otras tablas de producción que no han llegado a publicarse, y que han sido recopiladas, junto a las anteriores, por ROJO y MONTERO (1994).

Las primeras tablas de producción españolas para *Pinus sylvestris* se publicaron en 1981. Fueron realizadas a partir de los datos de la extensa red experimental de parcelas permanentes que el I.F.I.E. había comenzado a instalar, en 1963, sobre masas de las principales especies forestales españolas. Eran las «Tablas de producción de densidad variable para *Pinus sylvestris* L. en el Sistema Ibérico» (GARCÍA ABEJÓN, 1981), y se basaron en el segundo inventario de 54 parcelas de las provincias de Burgos, Cuenca, Guadalajara, Soria y Teruel. Constaban de unas tablas de selvicultura media observada (que se denominaron de claras moderadas) y de otras de selvicultura de referencia (o de claras fuertes).



Masa de pino silvestre de alta capacidad productiva, próxima a entrar en corta de regeneración. Pinar de Valsaín (Segovia)

Posteriormente aparecieron otras tablas, similares en la metodología y presentación a las anteriores, para *Pinus sylvestris* en el Sistema Central (GARCÍA ABEJÓN y GÓMEZ LORANCA, 1984). Se construyeron a partir del segundo inventario de las parcelas permanentes de la especie situadas en Avila, Madrid y Segovia, complementadas con otras temporales hasta un total de 31. Para este trabajo no se midieron parcelas en las masas de Valsaín, ni en las de Cercedilla y Navacerrada.

Poco después, se completó la trilogía de tablas de producción españolas para *Pinus sylvestris*, con la correspondiente a la otra gran zona de distribución de la especie en nuestro país. Son las tablas para el pino silvestre de los Pirineos, de GARCÍA ABEJÓN y TELLA (1986). Para ello, se midieron un total de 30 parcelas, entre temporales y permanentes (éstas con dos inventarios), instaladas en Huesca y Lérida. Aunque se realizaron con la misma metodología que las dos anteriores, sólo presentan un régimen de claras moderado. Son, por tanto, unas tablas exclusivamente de selvicultura media observada.

Estas tres tablas para pino silvestre, editadas por el I.N.I.A. (sucesor del I.F.I.E.), están construidas de forma similar. Se calculaba primero una tabla de selvicultura media observada (régimen moderado de claras) para cada calidad, a partir de seis relaciones fundamentales, y se incluía también el índice de Hart-Becking para cada edad. Posteriormente, se obtenían las tablas de selvicultura de referencia (régimen fuerte de claras)

aumentando dos puntos el índice anterior y suponiéndolo constante a partir de los 50 años. Con estos valores se calculaba el número de pies antes de la clara y se repetía todo el proceso de cálculo de las primeras tablas.

Debido a los altos valores del índice de Hart-Becking que presentaba la tabla del régimen moderado en el caso de los Pirineos (respecto a los otros dos sistemas montañosos), pareció prudente no aumentar los espaciamentos con una clara más intensa.

Por otra parte, los turnos de máxima renta en especie que se obtienen de las tablas del Sistema Pirenaico, y al contrario de lo que sucedía en las dos precedentes, muestran una tendencia anómala, ya que se alcanzan a menores edades en las peores calidades.

En definitiva, no existen tablas de producción realizadas específicamente para los montes de Valsáin, Cercedilla y Navacerrada.

Principales tablas de producción para pino silvestre en el extranjero

Además de las españolas mencionadas en el apartado anterior, existen varias tablas de producción para masas de *Pinus sylvestris* realizadas en el extranjero.

Las primeras dignas de mención son las de Schwappach, aparecidas en 1912 y bien conocidas en España por los comentarios que de la misma realizara ELORRIETA en 1919. Estas tablas (de existencias normales) fueron construidas a partir de las numerosas parcelas experimentales instaladas el siglo pasado por los centros de investigación prusianos, que han tenido un riguroso seguimiento. Han sufrido un continuo proceso de mejora según se iba contando con mayor número de datos, y se han complementado con otras nuevas. Su edición más reciente (SCHOBER, 1987) recoge un total de 30 tablas (algunas con varias intensidades de clara), para 17 especies distintas.

También son alemanas las de Wiedeman de 1949; las de SCHMIDT (1971), basadas en una sola medición de parcelas; y las de LEMBCKE y cols. (1981) para el pino silvestre en la antigua R.D.A.

Desde los años sesenta, los forestales franceses se han dedicado intensamente a investigar sobre tablas de producción, aunque únicamente dos trabajos se ocupan del pino silvestre. La práctica totalidad de las tablas francesas se han recopilado en una publicación (VANNIERE, 1984).

Las primeras dedicadas a *Pinus sylvestris* se deben a DECOURT (1965), que estableció cinco calidades en sus tablas de selvicultura observada para la especie en Sologne.

OTTORINI (1981a, 1981b) elaboró las otras tablas francesas para el silvestre, utilizando las parcelas del Inventario Nacional Francés. Incluyen tres calidades, válidas para Margeride (Macizo Central), y son también de selvicultura observada.

Especialmente interesantes son las tablas británicas de HAMILTON y CHRISTIE (1971), para un total de 20 especies. En ellas se establecen seis «clases de productividad» en función del crecimiento medio máximo (separadas de dos en dos m³/Ha y año), y tres «niveles de producción» para cada una de ellas. Con esto último, ponen de manifiesto que la relación entre el volumen y la altura dominante no es única para cada estación. HAMILTON y EDWARDS (1981) han mejorado la primera versión, incluyendo diferentes selviculturas y densidades de plantación.

Finalmente, dentro de la literatura de los países nórdicos relacionada con el tema (que se centra mayoritariamente en masas artificiales), se pueden citar las de VARMOLA (1993), para distintas intensidades de siembra o plantación en masas jóvenes de pino silvestre en Finlandia.

2. RESUMEN DE LA METODOLOGIA UTILIZADA PARA ELABORAR UNAS TABLAS DE PRODUCCION PARA LOS PINARES DE VALSAÍN, CERCEDILLA Y NAVACERRADA

En este trabajo se han elaborado unas tablas de producción de selvicultura de referencia para los montes de *Pinus sylvestris* de Valsaín, Cercedilla y Navacerrada. Se presentan en ellas dos posibles tratamientos de claras, uno moderado y otro fuerte, basados en las experiencias sobre este tipo de cortas en masas naturales de la especie.

La metodología que se ha utilizado se asemeja a la propuesta por DECOURT (1964, 1972) y por BARTET y BOLLIET (1976), mientras que para el cálculo de las existencias de las parcelas se ha seguido a MADRIGAL y cols. (1992).

Aunque en los próximos capítulos se desarrolla con detalle la metodología del trabajo, se incluye a continuación un resumen de la misma, para facilitar su comprensión y seguimiento.

En primer lugar, se ha procedido a la toma de datos a través del inventario único de una red de 104 parcelas, y de la medición de una serie de muestras complementarias.

Una vez depurados esos datos de partida, se han utilizado para elaborar un modelo de calidad de la estación, que ha permitido obtener la evolución de la altura dominante con la edad y clasificar las parcelas medidas.

Se ha calculado una ecuación de cubicación a partir de los árboles tipo de los proyectos de ordenación de los montes estudiados, que se ha aplicado a la muestra medida en las parcelas.

Con los valores resultantes se han ajustado tarifas de cubicación para las diferentes calidades, que se han aplicado a la distribuciones diamétricas de las parcelas para estimar sus existencias.

Se han calculado el resto de variables de masa o valores medios de las parcelas.

A partir de ellos, se han obtenido las relaciones fundamentales que ligan entre sí los parámetros implicados en las tablas.

Se ha calculado una tabla de caracterización de las masas encontradas, mediante el uso de las anteriores relaciones fundamentales.

Partiendo de las experiencias existentes sobre claras en masas naturales de *Pinus sylvestris*, se han determinado una serie de relaciones y parámetros necesarios para simular los dos tratamientos (moderado y fuerte) que se proponen.

A continuación, se han construido las tablas de selvicultura de referencia, basadas tanto en las relaciones fundamentales como en las anteriores.

Finalmente, se realizan una serie de comentarios de interés sobre los resultados obtenidos en las tablas, y se presenta un esquema de la selvicultura propuesta para cada uno de los dos regímenes de claras.

3. MATERIAL Y METODOLOGIA DE LA TOMA DE DATOS

Crterios para la seleccin de parcelas

Dentro de la metodología de trabajo elegida, basada en un inventario único de parcelas volantes o semipermanentes, es preciso establecer una red de sitios de muestreo que cubra todas las clases de edad y calidades existentes. Se pretende así completar un conjunto de pequeñas masas o rodales que puedan reproducir la evolución con el tiempo de masas regulares de cada una de tales calidades. Se trata, por tanto, de localizar e inven-

tariar zonas con arbolado homogéneo en edad y altura, con pies repartidos regularmente en una superficie de un tamaño adecuado, y de diversas calidades dentro de cada clase de edad. Este muestreo se ha realizado de forma independiente en cada uno de los dos montes inventariados.

Pretendiendo distinguir en un principio cinco calidades diferentes, las clases de edad se eligieron a priori de 10 años, buscando con ello un mayor detalle; aunque lógicamente con tal precisión fue imposible obtener parcelas en masas de ciertas clases de edad para algunas calidades.

El rango de edades muestreado oscila entre 30 y 180 años. El límite inferior está condicionado por la dificultad de encontrar masas o rodales procedentes de regeneración natural menores de 30 años que no se encuentren fuertemente influenciadas por la existencia de pies mayores, lo que resulta lógico teniendo en cuenta la selvicultura poco intensa que se ha aplicado a estos montes.

El límite de 180 años, aunque excesivo a la vista de los turnos y de los tratamientos que se proponen en las ordenaciones, pareció interesante para analizar el comportamiento de estas masas más allá de la edad a la que se establece su ciclo productivo. Además, la escasa transformación que en general presentan estos montes da lugar a la existencia de numerosas masas que superan la edad del turno, por lo que constituyen un valioso punto de referencia para estudiar la evolución de su crecimiento. Tampoco se despreciaron algunas parcelas que superaron esos 180 años.

En un principio se pretendió realizar este muestreo para tres diferentes densidades, pero posteriormente se comprobó las enormes dificultades que suponía encontrar la misma edad y calidad en masas con distintas densidades.

Por esa razón, se decidió instalar las parcelas únicamente en rodales de densidad media o alta, y nunca en zonas muy claras. De esta manera, según PITA y MADRIGAL (1973), se consigue una cierta aproximación a la evolución natural de las masas, y se cuenta con abundante material en pie, que permite suplir las deficiencias informativas sobre la historia concreta de cada rodal.

Preselección de parcelas

Para conseguir tal red de parcelas se procedió, como punto de partida, a analizar cada uno de los montes partiendo de sus proyectos de ordenación y sucesivas revisiones. Para esta tarea fue preciso consultar el archivo del Servicio de Ordenaciones del ICONA en Madrid, así como el del Centro Montes de Valsaín (ICONA) en Valsaín (Segovia), y el de la Agencia de Medio Ambiente de la Comunidad de Madrid. De esta manera, se obtuvo una detallada información sobre organización dasocrática, tratamientos, métodos de ordenación y su seguimiento, superficies, distribuciones diamétricas, edades, calidades relativas, origen y estado de las masas.

A la vista de la información reunida se elaboró un plan de toma de datos en campo, que se dividió en dos fases: una primera de prospección y una segunda de toma masiva de datos.

Fase inicial de prospección en campo

Durante esta fase se realizaron numerosas visitas, orientadas por la información recogida anteriormente de los proyectos de ordenación y sus revisiones y, en el caso de Valsaín,

además, por los valiosos conocimientos de la guardería y de los ingenieros encargados del monte. Esta fase de prospección permitió localizar un número suficiente de sitios de ensayo que reunían las condiciones impuestas por las características de la muestra.

Para ello, se visitaron todas las zonas en las que se presumía la existencia de una masa con características aparentemente similares a las anteriormente mencionadas (masas densas, con aspecto de ser regulares y con pies repartidos de forma homogénea en una superficie suficiente). En cada monte se establecieron una serie de recorridos que permitieron cubrir de forma sistemática la práctica totalidad de su superficie.

Cuando se encontraba un rodal que aparentemente reunía las condiciones impuestas a la muestra, se medía la edad de dos o tres pies con aspecto de dominantes y otros tantos que aparentaran ser árboles medios, usando la barrena de Pressler. Si tales edades no diferían más de 20-30 años, se aceptaba como válido el punto de muestreo; en caso contrario, se rechazaba.

En los lugares preseleccionados para establecer una parcela, se medía la altura de dos o tres pies (con aspecto de dominantes) mediante hipsómetro Blume-Leiss, y se estimaba la densidad, anotando diversos datos de identificación.

Así, se iban reuniendo una serie de puntos de muestreo de los que se conocía, además de su localización, su edad y altura dominante, siempre aproximadas. Con estos valores se clasificaba cada futura parcela en una clase de edad y en una calidad. Para la asignación provisional de calidades de estos primeros puntos de muestreo se utilizaron en un principio dos criterios por separado: las curvas establecidas por PITA (1964a) para el pino silvestre en toda la Península, y las calidades de GARCÍA ABEJÓN y GÓMEZ LORANCA (1984) para la especie en el Sistema Central. A pesar de que la primera establece cinco calidades y la segunda sólo tres, estas dos referencias iniciales sirvieron para ir cubriendo todo el rango de calidades y clases de edad que se iban localizando.

Con los datos obtenidos en esta fase inicial de campo para cada posible futura parcela (edad y altura dominante), se elaboraron unas primeras y provisionales curvas de calidad (por separado para los dos montes) mediante el uso del modelo anamórfico propuesto por BAILEY y CLUTTER (1974). De esta manera, se establecían unas calidades orientativas, mucho más ajustadas al estudio por estar realizadas a partir de los primeros datos de las parcelas (de carácter igualmente provisional), pero que permitieron posteriormente centrarse en la búsqueda de aquellas edades o calidades no halladas hasta entonces. Así, se intentaba conseguir una distribución adecuada de las parcelas dentro de cada calidad para cada una de las clases de edad, obteniendo una muestra suficientemente representativa.

La información recogida en esta fase inicial, y en especial la referente a la localización y distribución de las parcelas preseleccionadas, permitió planificar los trabajos de campo para el inventario de las mismas, los cuales se llevaron a cabo en la segunda etapa de toma masiva de datos.

Fase de toma masiva de datos en campo: replanteo e inventario de las parcelas

Una vez localizadas cada una de las zonas anteriormente preseleccionadas como posibles parcelas, se procedió al replanteo e inventariación de las mismas. Para ello, se ha seguido, aunque con ciertas modificaciones, el «Protocole d'installation et de mesure des placettes de production semi-permanentes» del Centre National de Recherches Forestières del I.N.R.A. (DECOURT, 1973).

El número de parcelas inventariadas en esta fase ha ascendido a 105, de las cuales 66 corresponden a Valsaín y 39 al grupo de Cercedilla y Navacerrada.

Replanteo de las parcelas: forma y tamaño

Para el levantamiento de la parcela sobre el terreno se recorría el lugar buscando aquella zona de mayor superficie que poseyera en su totalidad una masa de las características adecuadas.

La superficie a replantar no ha sido constante, variando notablemente de unas parcelas a otras. Siguiendo el criterio de utilizar siempre la mayor superficie posible en cada caso, la única restricción utilizada ha sido que en la parcela se incluyeran al menos 30 pies inventariables (con diámetro normal > 5 cm).

De esa manera, las parcelas más jóvenes han sido las que han resultado de menor tamaño, mientras que en edades superiores, con mayores espaciamentos, ha sido necesario delimitar mayores áreas.

Las superficies así replanteadas han oscilado finalmente entre los 33 y los 2.048 m², con un tamaño medio de parcela de 700 m². En cualquier caso, siempre se ha tenido la precaución de dejar una franja alrededor de la parcela, con las mismas características de masa, sin inventariar. Tal franja, elegida con un ancho mínimo de 1/10 de la altura dominante de la parcela, evita los efectos «borde» que se producen en las zonas exteriores de las masas.

La condición del número de pies mínimo se ha cumplido en todas las parcelas salvo en tres de ellas, que se han admitido finalmente por cubrir unas calidades poco representadas en sus clases de edad.

La forma de las parcelas ha sido, en general, rectangular, procurando siempre situar el lado mayor en la dirección de las curvas de nivel.

Sólo en muy escasas ocasiones las parcelas no han tenido esa forma. Así, en algunas de las más jóvenes, constituidas por pimpolladas de límites irregulares, se ha preferido establecer un perímetro más irregular para incluir un número suficiente de pies inventariables y evitar de esa manera los efectos «borde», especialmente importantes en estas masas.

Para el replanteo de las parcelas sobre el terreno se han utilizado cinta métrica, escuadra óptica y jalones, calculando la superficie real mediante la corrección de la pendiente, medida con Blume-Leiss.



Replanteo e inventariación de la parcela V46 instalada sobre una masa de 43 años, 8,5 m de altura dominante y 8.372 pies por Ha

Toma de datos en las parcelas

De cada parcela se han tomado los siguientes datos:

- Identificación de la parcela.
- Descripción general de la zona.
- Caracterización general de la masa.
- Inventario diamétrico.
- Muestra de árboles tipo.
- Muestra de árboles dominantes.

Identificación de la parcela

Cada parcela ha quedado identificada mediante una letra indicativa del monte (V si pertenece a Valsaín y C para el grupo de Cercedilla y Navacerrada), y dos cifras que corresponden al número de orden dentro de cada uno de los dos pinares.

Descripción general de la zona y caracterización de la masa

En la descripción general de la zona se ha anotado su localización (monte, sección, cuartel, tramo o grupo y cantón), posición topográfica, altitud, pendiente, exposición, pedregosidad, posible erosión y una breve reseña de la vegetación existente. También se han apuntado las dimensiones y forma de la parcela, así como su superficie en proyección horizontal.

Para caracterizar la masa incluida en la parcela se ha evaluado, de forma visual, su homogeneidad (a través de su grado de regularidad y de la aparición de huecos dentro de ella), así como la poda natural o artificial y la forma general de los troncos. Finalmente, se describen brevemente los daños observados y se estima el porcentaje de pies afectados.

Inventario diamétrico

Todos los árboles de la parcela con diámetro normal igual o superior a 5 cm fueron numerados. A continuación se midieron sus diámetros normales, con aproximación de milímetros, en dos direcciones perpendiculares, siendo una de ellas la correspondiente a las curvas de nivel.

A la vez que se realizó el inventario, se anotaron aquellos pies que podrían o deberían ser extraídos en una hipotética clara baja, es decir dominados, enfermos, malformados, etc.

Los árboles secos que permanecían en pie se inventariaron, y se anotaron aparte. Se incluyó igualmente la medición de dos diámetros en cruz de todos los tocones que se encontraron en las parcelas, y que aparentaran poseer un máximo de cinco años. De esta manera se conocía la verdadera masa extraída en esos últimos cinco años.

Finalmente, en las parcelas más jóvenes, se contaron todos los pies que además de tener un diámetro normal menor de 5 cm, superaran el 1,30 m de altura. Estos se dife-

renciaron entre menores de 3 cm de diámetro normal y aquellos con diámetro entre 3 y 5 cm; a su vez, en cada uno de los dos grupos, se anotaron por separado los vivos y los muertos.

Determinación y medición de la muestra de árboles tipo

A partir del inventario diamétrico de cada parcela se seleccionó una muestra de 20 árboles tipo, que se midieron en pie. Para la elección de la misma se comenzaba por el árbol cuyo número coincidía con el de las unidades del número total de pies mayores de 5 cm de diámetro normal de la parcela (si era un cero se adoptaba el uno); el resto de pies se elegía sumando al anterior, de forma sucesiva, el número entero más próximo que se obtenía al dividir el número total de pies inventariados entre 20 (tamaño de la muestra).

Para evitar que se incluyera en la muestra algún pie con características claramente diferentes al resto de la masa, se realizaba sobre el terreno una estimación de la media y de la desviación típica del diámetro de la parcela. Con estos valores se calculaban los límites de confianza de la estimación muestral al 95%. Se consideró que todos los pies cuyo diámetro medio se saliera de tal intervalo debían ser eliminados de la muestra de árboles tipo, a pesar de que les hubiese correspondido formar parte de ella. Igualmente, se eliminaron de la muestra todos aquellos pies que



Medición de la edad mediante la extracción de muestras de crecimiento con la bórrena de Pressler

tuvieran la copa rota, o estuviesen gravemente afectados por cualquier daño, plaga o enfermedad.

En cada uno de los árboles seleccionados como tipo se midió: su diámetro a la altura del tocón (0,30 m), en cruz y en milímetros (el normal ya se conocía); la altura total y de la primera rama viva, mediante hipsómetro Blume-Leiss; los crecimientos radiales de los últimos 5 y 10 años, mediante muestras de barrena Pressler obtenidas a 1,30 m del suelo desde la parte superior de la ladera; y el espesor de la corteza, también a 1,30 m, medido con calibrador en tres puntos repartidos a lo largo del perímetro del tronco.

En uno de cada cuatro árboles tipo (5 por parcela), se midió la edad con barrena Pressler a 0,30 m (altura del tocón). En los casos dudosos (cuando aparecían diferencias de edades superiores a los 20-30 años) se muestreó la edad en uno o dos árboles más.

Finalmente, para cada uno de los pies de la muestra se realizó una caracterización de su sociabilidad (clasificando los árboles en predominantes, dominantes-codominantes o dominados), desarrollo de la copa (abierta, algo comprimida o muy comprimida), verticalidad (vertical, algo inclinado o muy inclinado), rectitud del fuste (recto, sinuoso, doblado o bifurcado, midiendo en este último caso a qué altura), tipo de poda (buena, intermedia, mala o artificial), grosor de las ramas del fuste (menores de 5 cm de diámetro, entre 5 y 12 cm o mayores de 12 cm), coronación y estado sanitario.

Selección y medición de la muestra de árboles dominantes

La muestra de árboles dominantes se ha elegido utilizando la definición más aceptada de altura dominante, es decir la altura total media de los cien pies más gruesos por hectárea. Para ello, siendo S la superficie en m² de cada parcela, se tomaron S/100 árboles en las mismas, eligiendo los más gruesos a partir del inventario diamétrico, de donde también se copiaron sus diámetros normales. La altura total de esos árboles se midió con hipsómetro Blume-Leiss.

Análisis de tronco

La mayoría de los modelos de calidad de estación, en los cuales es necesario basarse para construir tablas de producción, suelen ser más precisos para edades de las masas próximas al turno. La bondad y la aproximación predictiva de tales ajustes disminuye notablemente para los primeros años de vida del arbolado. Para paliar este defecto, se realizó un estudio de dichas edades, limitado al monte de Valsáin, mediante el uso de la técnica conocida como «análisis de tronco».

Para ello se seleccionaron doce parcelas de Valsáin entre las que poseían una edad media inferior a 70 años, repartidas entre las cinco clases de calidad provisionales establecidas. De cada una de las calidades I, II, IV y V se eligieron dos parcelas, mientras que en la calidad III, intermedia, el estudio se extendió a cuatro. En todas las calidades, una de las elegidas fue aquella con mayor edad, dentro del límite superior de los 70 años. Las parcelas seleccionadas para este análisis, así como su edad media, aparecen en la Tabla 18.

Tabla 18

EDAD MEDIA Y CALIDAD PROVISIONAL DE LAS PARCELAS ELEGIDAS PARA EL ANALISIS DE TRONCO

PARCELA	CALIDAD PROVISIONAL	EDAD MEDIA
V15	I	40
V63	I	57
V03	II	45
V32	II	64
V37	III	48
V18	III	55
V25	III	51
V57	III	68
V42	IV	40
V29	IV	63
V59	V	58
V61	V	63



Muestra de secciones de un árbol de 57 años y 21,6 m de altura obtenidas a distintos niveles del fuste para análisis de tronco

En cada una se calcularon dos diámetros medios, uno correspondiente a los árboles seleccionados anteriormente como dominantes (diámetro dominante), y el otro para el total de la parcela (diámetro medio).

Una vez localizado su centro aproximado, se buscaron los dos árboles más cercanos al mismo cuyo diámetro normal se aproximara lo más posible al diámetro medio dominante; la misma operación se realizó respecto al diámetro medio de la parcela. Para ello se eligieron los primeros pies cuyo diámetro difería menos de 2-3 cm de los medios calculados con anterioridad. De esta manera se obtenían cuatro árboles, dos representativos de la media de la parcela, y otros dos que caracterizaban a los dominantes.

Antes de apear estos pies, se midieron sus diámetros cruzados a 0,30 y a 1,30 m de altura. Seguidamente se procedió a su derribo, cortándolos a ras del terreno, sin dejar tocón; o bien, en los casos en los que esto no fue posible, se cortó el tocón resultante a la altura del suelo. De esta forma, contando el número de anillos existentes en la base, se obtuvo la verdadera edad del árbol.

Seguidamente, se midió la altura total del árbol, procediendo después a dividirla en distintas secciones, de donde se extrajeron muestras para su análisis. El marcaje de tales puntos de muestreo fue el siguiente: en todos los pies se señalaron las alturas de 0,3 (tocón) y 1,3 m (altura normal), ascendiendo a continuación por el fuste de metro en metro hasta alcanzar la altura de 5,3 m, a partir de la cual se señalaron las secciones cada 2 m. En los árboles de altura menor o similar a 10 m, las trozas medidas por encima de 1,3 m se tomaron de una longitud 1/10 veces su altura total.

Muestra complementaria de árboles tipo para comprobación de las curvas de calidad

Debido a que el análisis de tronco realizado en este estudio se aplicó a pies menores de 70 años, y teniendo también en cuenta que los árboles tipo que aparecen en los proyectos de ordenación de ambos montes no incluyen conteo de anillos en distintas secciones, pareció necesario medir una pequeña muestra de árboles adultos en los que se contabilizara la edad a distintas alturas.

De esta manera, se obtiene la evolución real de la altura con el tiempo para una serie de pies de gran edad. Estos datos se han utilizado posteriormente para comprobar la bondad de los modelos de calidad probados, observando que los mismos no reflejasen una realidad muy diferente de la mostrada por el desarrollo de dichos pies.

Para la obtención de tales árboles se aprovecharon las cortas ordinarias en el pinar de Valsaín y la inestimable colaboración de los técnicos y operarios de ese monte. Se tomaron muestras en cinco cantones diferentes, eligiendo en cada uno de ellos tres árboles con aspecto de dominantes dentro de los previamente señalados para la corta. El número de pies ascendió, de esta forma, a un total de 15.

La mayoría de esos árboles (ocho de los quince) resultó con una edad comprendida entre los 170 y los 200 años. Otros tres se sitúan entre los 150 y los 170 años, y solamente uno posee una edad inferior a los 150. Los tres restantes superan la edad de 200 años, no sobrepasando los 225.

Una vez cortados los pinos, se midió su altura total antes de que fuesen tronizados. Seguidamente, el personal de Valsain procedió a dividir el fuste de cara a su aprovechamiento maderero, variando notablemente la longitud de las trozas en función de las características particulares de cada tronco. De cada punto donde se realizó un corte se extrajo una sección para este estudio (anotando su altura), por lo que no se alteró sustancialmente la explotación de tales pies.

Además, de cada árbol se extrajo otra sección, cortada en el tocón a ras del suelo, para establecer la edad real de cada individuo.

De esa manera se obtuvieron cuatro secciones de cada árbol (con alguna excepción), número que se considera suficiente para la utilidad asignada a los datos de tales pies.

Datos obtenidos de los proyectos de ordenación

Para complementar toda la información recogida en campo y explicada en los apartados precedentes, se tomaron los datos de los últimos árboles tipo medidos en los montes estudiados, que aparecen en sus proyectos de ordenación.

En el monte de Valsain, los últimos árboles tipo medidos se remontan a la Revisión extraordinaria de 1965. En ella se midieron 586 pies, repartidos por cuarteles de la siguiente forma:

Aldeanueva	62
Maravillas	46
Revenga	67
Cerro Pelado	80
Botillo	82
Vaquerizas Altas	58
Vaquerizas Bajas	63
Vedado	69
Siete Picos	59
Total	586

Los datos tomados de tales árboles tipo son: edad; volumen del fuste con y sin corteza, y 10 años antes con corteza; coeficientes mórnicos del fuste con y sin corteza; crecimientos medio anual, corriente y relativo de Pressler; porcentaje de leñas de copa, gruesas y totales, sobre el volumen del fuste con corteza; y porcentaje de corteza respecto al fuste. No aparece en ese proyecto, sin embargo, una relación de los diámetros y volúmenes de las trozas de 2 m que se utilizaron para cubicar los árboles.

Para la ordenación del grupo de montes de Cercedilla y Navacerrada de 1979 se realizó un amplio estudio de árboles tipo, sumando un total de 198 pies, aunque sólo se midieron en aquellos cantones que se suponía iban a entrar en regeneración. El número de pinos estudiados en cada monte y cuartel fue el siguiente:

«Pinar de la Barranca» (n.º 24), Cuartel B	31
«Pinar de la Barranca» (n.º 24), Cuartel C	15
«Pinar de la Helechosa» (n.º 25), Cuartel B	29
«Pinar y Agregados» (n.º 32), Cuartel B	39
«Pinar y Agregados» (n.º 32), Cuartel C	30
«Pinar y Agregados» (n.º 32), Cuartel E	34
«Pinar Baldío» (n.º 33), Cuartel B	20
Total	198

En el proyecto se incluye la descomposición por trozas de 2 m de longitud de esos árboles. En los estadillos aparecen los datos de: edad; diámetro normal con corteza; espesor de la corteza; altura total y del fuste; diámetros con y sin corteza, y el de 10 años atrás sin corteza, en el centro de cada troza, así como sus crecimientos en el último decenio. Con tales valores calcula el volumen de las trozas con y sin corteza, y el de hace 10 años, además del crecimiento en volumen. Se incluyen también los valores totales de estos últimos parámetros para el árbol, junto a los coeficientes mórficos con y sin corteza y el porcentaje de la misma.

4. ELABORACION DE LOS DATOS

Depuración y elaboración de los datos de las parcelas semipermanentes

Antes de proceder a la elaboración de los datos de las parcelas, fue necesario realizar una depuración de los mismos.

En primer lugar se analizaron los datos de edades, estudiando el rango que aparecía en cada parcela para asegurar que las mismas correspondieran a masas regulares. Para ello se estudiaron las cuasidesviaciones típicas de las medias de las edades inventariadas en cada parcela. Con tales valores, y para cada monte por separado, se realizó un test de datos aberrantes. De esta manera, se localizaron una serie de parcelas (2 en el grupo de Cercedilla y Navacerrada, y 6 en Valsaín) que presentaban irregularidades en sus rangos de edades. Dichas parcelas fueron analizadas de forma más detallada, examinando sus distribuciones diamétricas y los posibles árboles que distorsionaran las mediciones realizadas. Todas las distribuciones diamétricas resultaron correctas, aunque por lo general muy amplias. Sólo en muy escasas ocasiones fue preciso eliminar de la muestra de edades algún árbol que presentaba diferencias significativas frente al resto, y que fue desechado igualmente para la muestra de árboles tipo.

Teniendo en cuenta la selvicultura practicada en estos montes, y a la vista de las distribuciones diamétricas, se aceptó la posibilidad de que en esas parcelas el rango de edades correspondiera a dos clases de edad (de 20 años) correlativas; es decir, a masas semirregulares, pero siempre que las edades medidas no estuvieran sesgadas hacia alguno de los extremos de la distribución diamétrica. Con tales premisas, solamente fue rechazada una parcela, que pertenecía a Valsaín. Tan escaso número de parcelas no válidas se debe a las características del muestreo realizado, que permitió, gracias a las dos fases de trabajos de campo, seleccionar de forma adecuada los lugares de ensayo.

De esta manera, el número total definitivo de parcelas utilizadas en este estudio es de 104, de las cuales 65 corresponden a Valsaín y 39 al grupo de Cercedilla y Navacerrada. Su distribución por montes y cuarteles es la siguiente:

«Pinar de Valsaín»	
Aldeanueva	6
Maravillas	7
Revenga	4
Cerro Pelado	3
Botillo	10
Vaquerizas Altas	3
Vaquerizas Bajas	7
Vedado	11
Siete Picos	8
Protección	3
Recreo	1
Las Matas	2

«Pinar de la Barranca» (n.º 24)	
Cuartel B	1
Cuartel C	5

«Pinar de la Helechosa» (n.º 25)	
Cuartel B	3

«Pinar y Agregados» (n.º 32)	
Cuartel A	2
Cuartel B	6
Cuartel C	7
Cuartel D	1
Cuartel E	2
Cuartel F	1

«Pinar Baldío» (n.º 33)	
Cuartel B	11

En el Anexo I se incluye una relación más detallada de las parcelas, con su localización y descripción, así como un mapa de cada monte con la situación de las mismas.

También se ha realizado una depuración del resto de datos inventariados en cada parcela, con especial interés en la muestra de árboles dominantes. Se han analizado tales

pies para localizar aquellos que difirieran especialmente del resto, examinando la relación altura total-diámetro. De esta manera, se han eliminado de la muestra aquellos árboles de gran diámetro (causa por la cual eran elegidos como dominantes), pero con una altura claramente inferior a la media de la alturas de los árboles tipo de su parcela.

Los datos de la muestra de árboles tipo se han examinado de forma superficial, puesto que la metodología de elección de la misma ya incluía un filtrado de posibles pies con diferencias notables frente a los demás.

La elaboración de los datos de las parcelas semipermanentes se ha realizado con el uso de programas informáticos propios construidos para este estudio.

Análisis de tronco

El análisis de tronco consiste básicamente en la extracción de muestras en secciones perpendiculares al eje longitudinal del fuste a diversas alturas, midiendo en cada una de ellas el espesor del crecimiento anual de una serie de años, tantos como se quiera extender el estudio. A partir de estos últimos datos, se estima la superficie de crecimiento anual en sección a distintas alturas, que se utiliza para determinar, finalmente, el crecimiento anual en volumen del árbol. También se utiliza el análisis de tronco para obtener la evolución de diámetros, alturas y crecimientos.

Muchos son los autores que se han ocupado de esta útil técnica, que nació en Alemania a principios del siglo XIX (AMORINI y FABBIO, 1988). De especial interés para la comprensión de su procedimiento metodológico resulta el trabajo de FRATTEGANI y WOLYNSKI (1988), en el que se realiza un análisis de la bibliografía existente sobre el tema.

Elección de los radios para medir crecimientos radiales

Una vez obtenidas las diversas secciones de los distintos árboles, y antes de proceder a medir en cada una de ellas el espesor del crecimiento radial (anual) de todos los años incluidos en cada muestra, fue preciso elegir unos radios suficientemente representativos. Teniendo en cuenta que tales datos son la base de todos los cálculos posteriores, esos radios no debían dar lugar a grandes errores con muestras irregulares o excéntricas.

La literatura que trata el problema de la elección de radios para minimizar los efectos de la irregularidad y excentricidad de las muestras es extensa, pero se pueden destacar, entre otros, los trabajos de SIOSTRZONEK (1958); BIGING y WENSEL (1984); SMALTSCHINSKI (1986); WEISE (1987); FABBIO y cols. (1988).

En este trabajo se han medido los crecimientos sobre dos radios, que corresponden a la circunferencia de superficie equivalente a la de cada sección, siempre que se asimile la forma de éstas a elipses.

Para ello, se ha medido el mayor diámetro «a» de cada sección (que no tiene que pasar necesariamente por el centro de los anillos) y, en el punto medio del mismo, su perpendicular «b», que representan los semiejes de la supuesta elipse. Igualando su superficie con la de una circunferencia de radio «R»:

$$(\pi \cdot a \cdot b)/4 = \pi \cdot R^2$$

y despejando:

$$R = \sqrt{(a \cdot b)/2}$$

se obtiene la expresión del radio correspondiente a la circunferencia de superficie equivalente, que coincide con la media geométrica de los radios de la elipse:

$$R = \sqrt{(a/2) \cdot (b/2)}$$

Por tanto, se calcula esta media en cada sección y se buscan y dibujan desde el centro de los anillos dos radios, ambos iguales a R, sobre los cuales se medirán los crecimientos radiales anuales.

Medición y elaboración de los datos del análisis de tronco

Previamente, fueron lijadas todas aquellas secciones que presentaban dificultades para la medición (anillos muy pequeños o debido a malos cortes).

La lectura de los crecimientos anuales se realizó con ayuda de un medidor semiautomático de anillos, capaz de obtener una precisión de 10^{-2} mm. La información se transfirió directamente a un ordenador conectado, en el que se almacenaron los datos mediante el programa de lectura y análisis de anillos CATRAS (ANIOL, 1991).

Los datos de crecimientos radiales fueron elaborados mediante el programa TDIF 2.0 (BENGOA, 1993), que permite importar directamente los datos en el formato suministrado por el medidor de anillos utilizado y el programa CATRAS.

Con el programa TDIF se obtuvo la evolución anual del diámetro normal, volumen y crecimientos medio y corriente, todos ellos con y sin corteza, así como de las alturas total y del fuste, para cada uno de los árboles analizados. Posteriormente, se calculó la media de los dos pies dominantes y de los dos medios de cada parcela.

Medición y elaboración de los datos de la muestra complementaria de árboles tipo

Se procedió a contar el número de anillos de cada sección. Relacionando para cada árbol dicho valor con su altura correspondiente, se obtuvo la verdadera evolución de la altura total con la edad.

Estas curvas permitieron posteriormente comparar y comprobar la asíntota superior de los diferentes modelos de calidad ensayados.

5. CALIDAD DE LA ESTACION

La calidad de una estación forestal es su «poder productivo» (OLAZÁBAL, 1883), o «virtualidad productiva» (MACKAY, 1944), de tal forma que dos masas o rodales son de la misma calidad cuando la combinación de las energías del suelo y vuelo originan, en el transcurso de su vida, productos iguales tanto cuantitativa como cualitativamente.

La determinación de esa capacidad productiva posee una enorme importancia para la gestión forestal, y representa un paso previo e imprescindible en la construcción de tablas de producción.

Son muchos y variados los criterios y métodos para determinar la calidad de la estación. Dentro de la literatura española que analiza la materia, destacan los trabajos de

PITA (1964a, 1991), la revisión bibliográfica de ORTEGA y MONTERO (1988), y las tesis doctorales de ORTEGA (1989), IBÁÑEZ (1989) y ERVITI (1991). Desde hace décadas, se ha generalizado el estudio de la calidad de la estación a través de la evolución de las alturas de la masa con la edad, siendo la altura dominante de Assmann (la correspondiente a los cien árboles más gruesos por hectárea) la más utilizada en la actualidad (MADRIGAL, 1991a).

La calidad de la estación de las masas de pino silvestre de nuestro país ha sido tratada, directa o indirectamente, por varios estudios.

La primera referencia digna de mención se encuentra en el comentario que ELORRIETA (1919) realizó de las famosas tablas de producción de Schwappach para el pino silvestre en Alemania. Unos años después, MARTÍN BOLAÑOS (1947) estudió los crecimientos juveniles de varias repoblaciones españolas de pinos, entre ellas 62 de silvestre. Comparándolos con los valores obtenidos de la anterior tabla, llegó a la entonces sorprendente conclusión de que las masas hispanas, en igualdad de condiciones, son igual o más productivas que las alemanas. Esta circunstancia había sido, sin embargo, apuntada años antes por OLAZÁBAL (1883).

PITA (1963) confirmaría esa superioridad productiva de las masas de pino silvestre españolas, al confrontar los datos del inventario realizado en las primeras parcelas permanentes establecidas ese año por el I.F.I.E. (74 sitios de ensayo, distribuidos entre Avila, Burgos, Guadalajara, Madrid, Segovia y Soria) con las tablas alemanas de Wiedemann, de 1957. Idénticos resultados se obtuvieron del análisis de las 48 parcelas medidas al año siguiente en Cuenca, Guadalajara, Huesca, Lérida, Tarragona y Teruel (PITA, 1964b).

Utilizando 73 de las parcelas anteriores, el propio PITA (1964a) elaboró las primeras curvas de calidad para *Pinus sylvestris* en España. Siguiendo el método de las curvas naturales, y mediante el uso de la función asintótica de Hossfeld, estableció cinco clases de calidad para un rango de edades entre 20 y 80 años. La edad típica se fijó en los 50 años. Parece importante señalar que de las 73 parcelas utilizadas, sólo tres pertenecían al Sistema Central, concretamente a la Sierra de Gredos, en la provincia de Avila. Esa razón, unida al limitado intervalo de edades que comprende, hace poco adecuado su uso para los montes estudiados en este trabajo, a pesar de constituir una importante referencia.

El análisis de sucesivos inventarios de las anteriores parcelas permanentes tuvo su fruto con la publicación de las tablas de producción para pino silvestre, en las tres principales zonas de distribución de la especie en España (GARCÍA ABEJÓN, 1981; GARCÍA ABEJÓN y GÓMEZ LORANCA, 1984; GARCÍA ABEJÓN y TELLA, 1986). En todas ellas se establecieron previamente unas calidades propias, siguiendo la metodología utilizada por PITA (1964a), pero ampliando el rango de edades, que comprendía de 20 a 120 años. Se definieron así cuatro clases de calidad para el Sistema Ibérico, tres en el Sistema Central y otras tres para Los Pirineos.

Las referentes al Sistema Central se construyeron con los datos de dos inventarios, apoyados con una serie de parcelas volantes. En total se utilizaron 31 parcelas, de las cuales 13 pertenecían a la provincia de Avila, 5 a Madrid y 13 a Segovia. No se midieron parcelas en Valsáñ ni en el grupo de montes de Cercedilla y Navacerrada.

Otras curvas de calidad para pino silvestre aparecen en la tesis doctoral de ORTEGA (1989). Su construcción se realizó a partir de 60 de las mencionadas parcelas permanentes, instaladas por el I.F.I.E. Dichas parcelas, en el año 1988, contaban con cinco inventarios, realizados cada cinco años, y su rango de edades cubría desde los 10 a los 100 años.

En ese trabajo se utilizó la relación altura dominante-edad, y se probaron dos modelos, el polimórfico de BAILEY y CLUTTER (1974), y el de GARCÍA (1979, 1983). Los resultados mostraron escasas diferencias entre los dos, pero la validación de los mismos, mediante árboles sometidos a análisis de tronco, permitió a la autora inclinarse por el segundo.

ORTEGA y MONTERO (1991), evaluaron la calidad de la estación en masas de *Pinus sylvestris* utilizando la relación altura-diámetro. Para ello, se basaron en 55 de las parcelas utilizadas por ORTEGA (1989). Tras clasificar las mismas, según su altura y edad, en calidades de estación según PITA (1964a), aplicaron la fórmula de crecimiento sugerida por MEYER (1940), obteniendo cuatro curvas (con rango de edades hasta los 120 años) para estimar la calidad de la estación de forma independiente de la edad.

Otros estudios de calidad de estación, centrados en los montes de Valsaín, Cercedilla y Navacerrada, aparecen en sus respectivos proyectos de ordenación.

Así, en la quinta y última revisión de la ordenación del «Pinar de Valsaín», de 1989, aparece un análisis de las calidades basado en la relación altura-diámetro en pies que han alcanzado la madurez.

La decisión de adoptar un modelo altura-diámetro se justificó por la mala adecuación de los índices del tipo «site index» (previo análisis de los gráficos de altura-edad) o de los basados en el crecimiento medio en volumen, en masas que, como Valsaín, hubieran sido tratadas por cortas similares a las de huroneo, buscando únicamente una selección de diámetros. Además, se facilitaba así la proyección de las distribuciones diamétricas de los años 1981 y 1984, que se realizó en ese proyecto.

El modelo matemático utilizado para representar las curvas de alturas dominantes-diámetros fue una generalización del propuesto por SCHUMACHER (1939) para alturas dominantes-edades, pero intercambiando la edad por el diámetro. Se fijó el de 50 cm como referencia, o diámetro de madurez, y se establecieron cuatro curvas de calidad con un intervalo de 5 m de altura dominante entre ellas (valores índices de 30, 25, 20 y 15 m). El rango de diámetros cubierto alcanzó los 60 cm.

Por otro lado, en la ordenación conjunta para los montes de Cercedilla y Navacerrada, de 1979, no se realizó un estudio de calidades. Simplemente se clasificaron a posteriori del cálculo de existencias, «dado lo irregular de las masas», de acuerdo con su crecimiento corriente anual.

A la vista de todos los modelos de calidad de estación anteriormente comentados, se ha preferido no adoptar ninguno de ellos. Tal decisión se ha basado, por una parte, en la nula representación de las masas de Valsaín, Cercedilla y Navacerrada en los mismos; y, por otro lado, en que dichos modelos abarcan unos intervalos de edad limitados, faltando muchas veces los primeros años y siempre los últimos. Se pretende, por tanto, realizar unas nuevas curvas de calidad, con la idea de incluir el ciclo productivo completo de la especie.

Por otra parte, se va a utilizar la relación altura dominante-edad, a pesar de que los autores de la última revisión de Valsaín se inclinan por el uso de un modelo diámetro-edad para este monte, en función de las cortas por selección de diámetros que se han efectuado durante muchos años en el mismo y la irregularidad que ello conlleva, también mencionada en la ordenación del grupo de Cercedilla y Navacerrada.

Ese problema, que realmente existe en ambos pinares (y en la gran mayoría de los montes españoles), se puede solventar eliminando de la muestra todos aquellos árboles elegidos como dominantes, pero que posean una relación altura-diámetro que no les corresponda. Dicha depuración se ha realizado como un paso previo e imprescindible para la elaboración de las calidades.

Así mismo, sería necesario realizar tal operación para cualquier estimación de la altura dominante que tuviera como fin asignar la calidad de una determinada masa o rodal en función de las curvas que se presentan en este libro. En definitiva, valdría con definir, en todos los sentidos, la altura dominante de un modo más rígido.

La utilización del ya clásico modelo, basado en alturas dominantes-idades, permite también la comparación con otras calidades existentes. Además, el uso de la relación diámetros-idades para las curvas de calidad dificulta enormemente la elaboración de unas tablas de producción basadas en ellas.

En definitiva, se va a obtener un modelo de calidad más acorde a la especie, al grupo de montes estudiados, y a las necesidades de las tablas de producción.

Construcción de un modelo de calidad de la estación

Datos de partida

Los datos de partida están compuestos por los pares altura dominante-edad correspondientes a los valores medios de cada una de las parcelas semipermanentes. En las Figuras 9, 10 y 11 aparecen, respectivamente, tales valores para el monte de Valsain, el grupo de Cercedilla y Navacerrada, y el conjunto de ambos. En ellos se puede observar la similar tendencia que presenta la evolución de las alturas con la edad en cada uno de los dos montes por separado, lo que permite la construcción de unas curvas de calidad conjuntas.

Figura 9

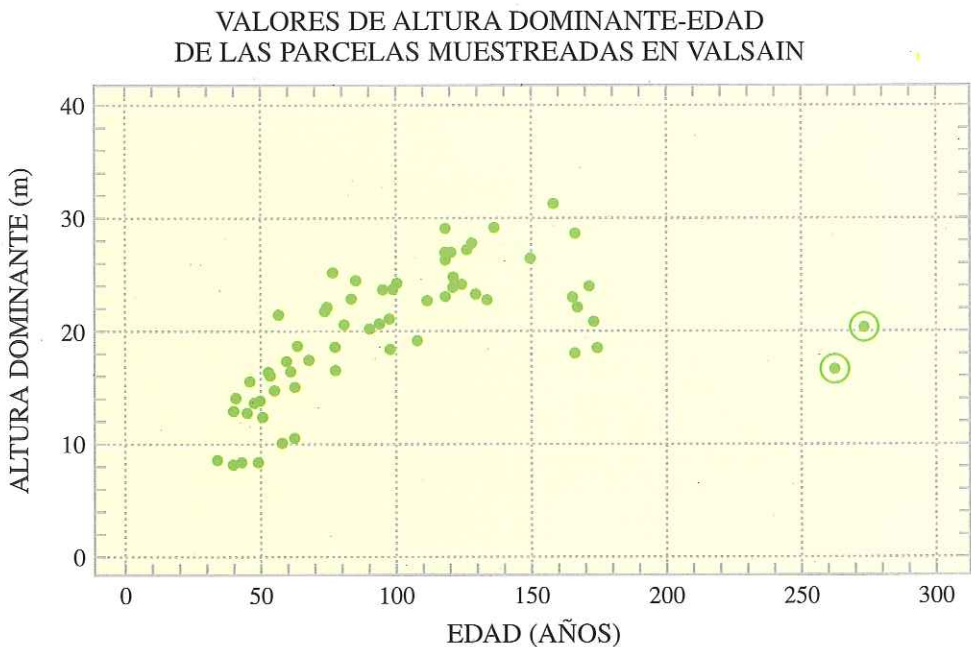


Figura 10

VALORES DE ALTURA DOMINANTE-EDAD DE LAS PARCELAS MUESTREADAS EN CERCEDILLA Y NAVACERRADA

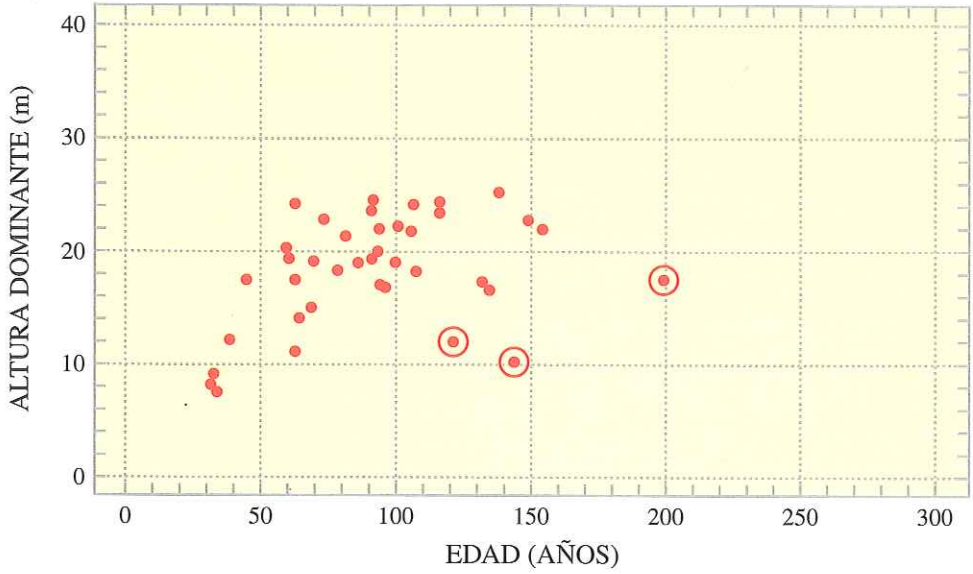
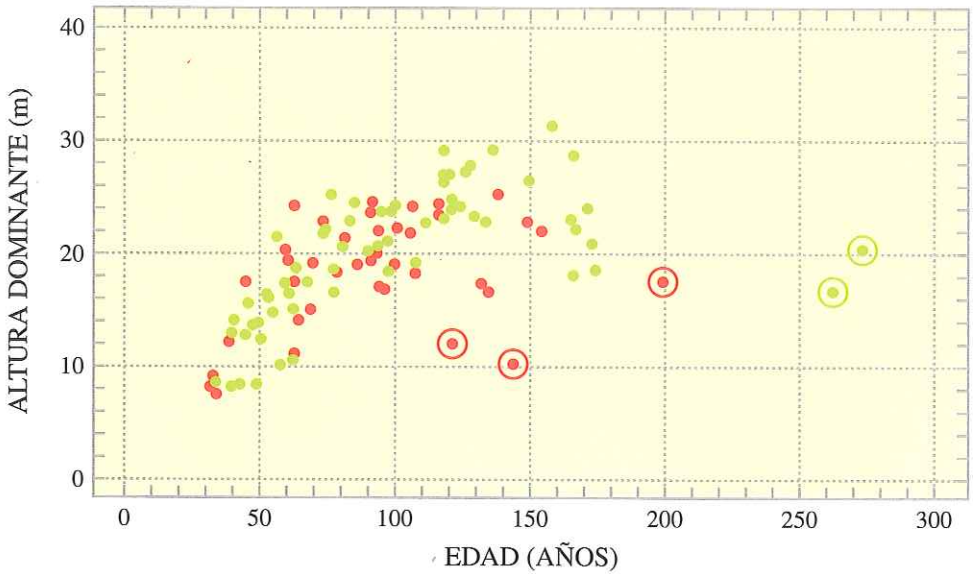


Figura 11

VALORES DE ALTURA DOMINANTE-EDAD DE TODAS LAS PARCELAS



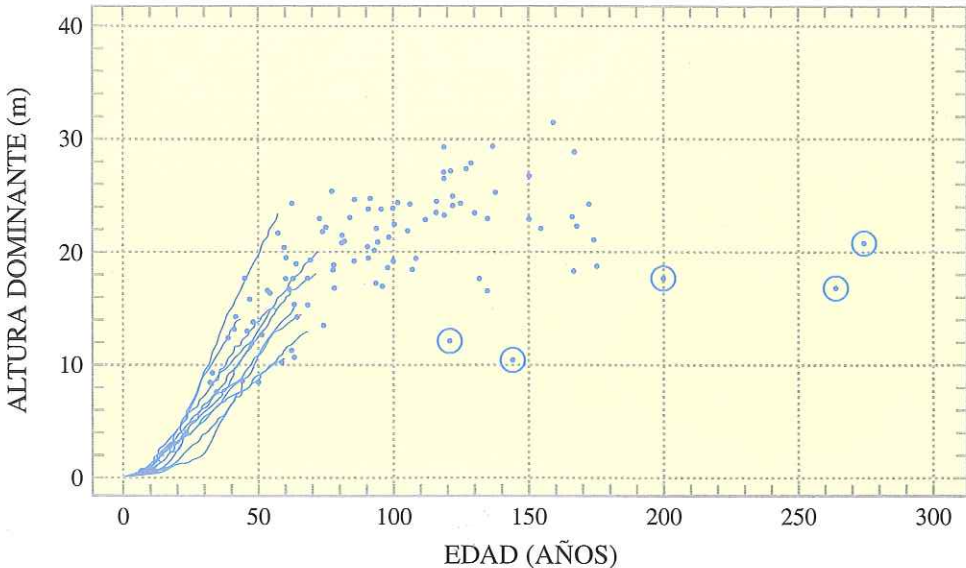
En dichas figuras se han remarcado los puntos que no han sido utilizados para los ajustes. De ellos, los que corresponden a las parcelas C29, V20 y V21, todas ellas medidas en zonas muy altas, con claro carácter protector, se han eliminado por exceder del límite superior elegido de 180 años, y por poseer unas alturas que forzarían a cualquier modelo a infraestimar la verdadera asíntota superior media, al no haberse conseguido medir parcelas de edades similares pero de mayor altura dominante. Las parcelas C16 y C17 se han desechado por sus irregulares relaciones edad-altura, correspondientes a una pésima calidad que, como situación límite, parece diferenciarse del resto de parcelas. Se evitan así, igualmente, posibles tendencias a la baja de las curvas promedios que se ajusten.

También se han utilizado como datos de base los obtenidos del análisis de tronco en 12 de las parcelas (con edad media inferior a los 70 años). Tales valores representan las alturas alcanzadas a distintas edades para la media de los dos árboles dominantes medidos en cada parcela. Estos datos servirán para aumentar la precisión del ajuste en los primeros años, no considerados en la mayoría de los trabajos de calidad de estación, y que suelen dar lugar a grandes errores en su estimación. En la Figura 12 se presentan estas curvas junto con los pares de valores correspondientes a las parcelas. En ella, se observa claramente la tendencia sigmoïdal del crecimiento en altura de la masa, además de comprobar nuevamente la necesidad de eliminar las parcelas C16, C17, C29, V20 y V21.

Al realizar cualquier ajuste, una de las hipótesis de base que debe cumplir el modelo para que las técnicas de regresión sean válidas es la independencia de los errores (CAR-

Figura 12

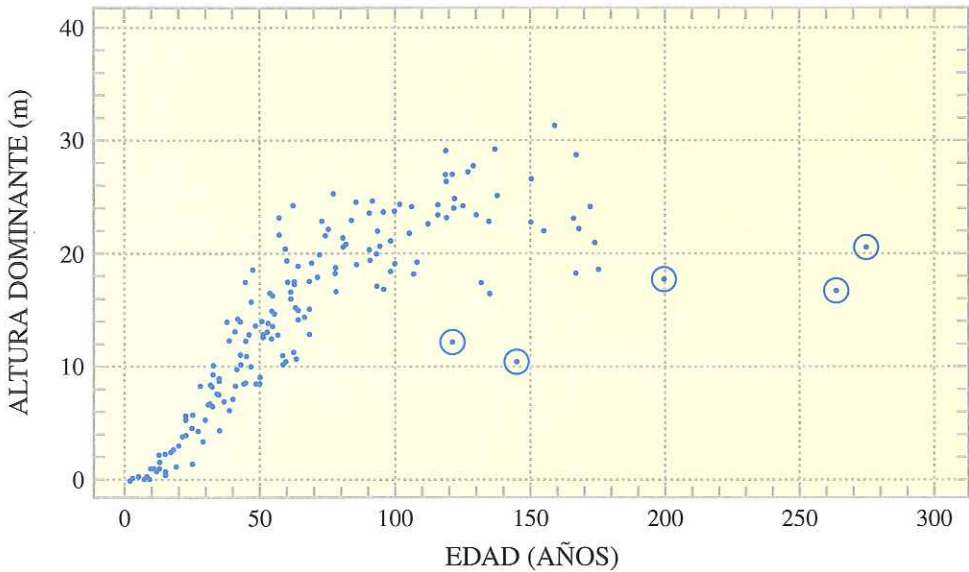
VALORES DE ALTURA DOMINANTE-EDAD DE LAS PARCELAS (PUNTOS)
Y DEL ANALISIS DE TRONCO (LINEAS)



BONELL y cols., 1983). Resulta necesario disminuir en alguna medida este problema, que surge al utilizar los sucesivos valores anuales de la altura y la edad (que están lógicamente correlacionados) de cada una de esas 12 parcelas analizadas. Para ello, en lugar de utilizar todos los valores obtenidos del análisis de tronco para cada año, se han establecido intervalos de 10 años, comenzando siempre por la mayor edad del árbol medio dominante de cada parcela. De esta manera, la nube de puntos altura dominante-edad que ha servido para realizar los ajustes de los diferentes modelos es la que se presenta en la Figura 13.

Figura 13

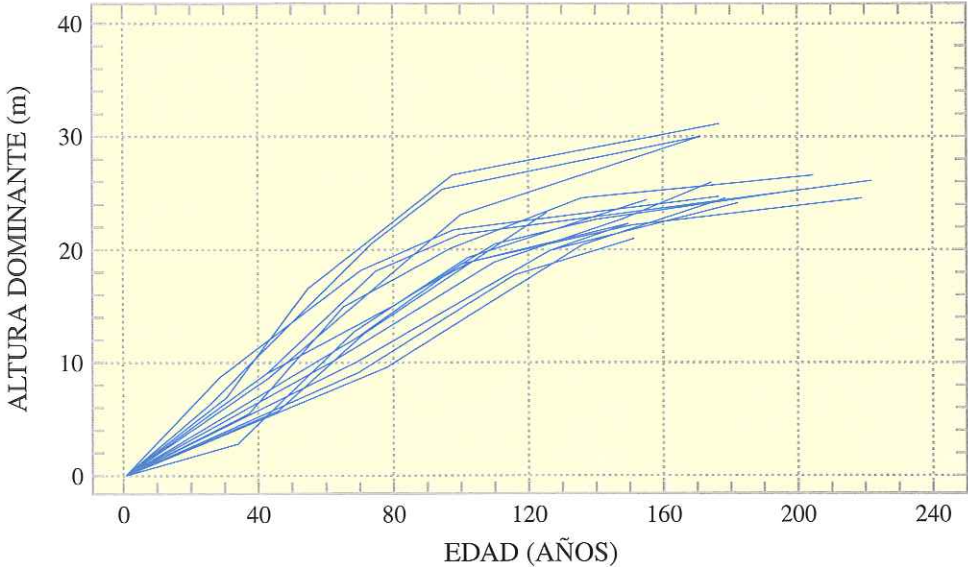
CONJUNTO DE VALORES ALTURA DOMINANTE-EDAD
UTILIZADOS PARA EL AJUSTE DE LOS DIFERENTES MODELOS



Con la inclusión de los datos del análisis de tronco se asegura que el modelo refleje la verdadera tendencia del crecimiento en, al menos, los 70 primeros años. Sin embargo, al no poseer parcelas con varios inventarios o análisis de tronco más allá de esa edad, existe el riesgo de calcular una curva media que se ajuste de forma correcta a la nube general de puntos, pero que no refleje la verdadera evolución de la altura para edades superiores a esos 70 años. Especial importancia tiene una adecuada estimación de la asíntota superior (altura máxima) que puede alcanzar una determinada masa, y que tampoco contemplan las curvas de calidad construidas hasta la actualidad para pino silvestre. Este problema se ha tratado de solventar con la medición de la muestra de 15 árboles con aspecto de dominantes, repartidos en cinco puntos de corta. Con tales pies se pretenden comparar las asíntotas reales con las obtenidas en los ajustes, corrigiendo la tendencia final de las curvas siempre que sea necesario. En la Figura 14 se han representado esos 15 árboles.

Figura 14

EVOLUCION DE LA ALTURA DOMINANTE CON LA EDAD
EN LA MUESTRA DE ARBOLES UTILIZADOS PARA DETERMINAR
LA EDAD A LA QUE SE PRODUCE LA RALENTIZACION
DEL CRECIMIENTO EN ALTURA (ASINTOTA DE LAS CURVAS)



Modelos ensayados

A la vista de la bibliografía existente sobre modelos de calidad para *Pinus sylvestris*, ya comentada, se ha decidido probar los modelos de BAILEY y CLUTTER (1974); RICHARDS (1959); GARCÍA (1979, 1983); y Hossfeld (PITA, 1964a), por ser los más ampliamente usados. Además, se ha ensayado la ecuación de Richards ajustándola de forma independiente a las calidades extremas.

A continuación se incluye una descripción de los modelos anteriores, así como los resultados obtenidos con cada uno de ellos y su discusión.

Modelo de Bailey y Clutter

BAILEY y CLUTTER (1974) propusieron un modelo basado en la relación lineal entre el logaritmo de la altura dominante ($\log H_0$) y la inversa de la edad ($1/t^c$), con la siguiente ecuación:

$$\log H_0 = a + b \cdot (1/t^c)$$

donde: H_0 = altura dominante.
 t = edad.
 $a, b,$ y c = parámetros del modelo.

El valor de «c» se considera constante, y el modelo permite dos posibilidades según se fije uno de los otros dos parámetros, «a» ó «b».

El modelo anamórfico supone fijos «b» y «c», siendo el parámetro «a» específico para cada estación (diferente para cada par de datos altura-edad). Con este modelo se genera un sistema de curvas proporcionales, con una tasa relativa de crecimiento $(dH_0/dt)/H_0$ constante para todas las calidades a una edad determinada. Definiendo el índice de calidad I_c como la altura que se alcanza a la edad típica t_0 , y tras despejar y reemplazar a_i en la ecuación original, se obtiene la expresión:

$$H_0 = I_c \cdot 10^b \cdot (t^c - t_0^c)$$

que establece la relación de la altura dominante H_0 con la edad «t», la edad típica t_0 y el índice de calidad I_c . Estimando los parámetros «b» y «c» se obtiene una curva guía, y mediante la variación de I_c para alguna edad típica se establece un sistema de curvas anamórficas.

En el modelo polimórfico, o no proporcional, es el parámetro «b» el que varía según la estación, permaneciendo fijos «a» y «c». Igual que antes, partiendo de la ecuación original, despejando y reemplazando esta vez el valor de b_i , se obtiene la expresión:

$$H_0 = 10^a \cdot (I_c/10^a)^{(t_0/t)^c}$$

A partir de una curva guía, y variando el I_c para una determinada edad típica, se consigue un sistema de curvas polimórficas, en el cual si $I_c < 10^a$ y además $c > 0$, se tienen los siguientes límites:

$$\lim_{t \rightarrow 0} H_0 = 0 \quad \text{y} \quad \lim_{t \rightarrow \infty} H_0 = 10^a$$

El primer límite es deseable, mientras que el segundo indica que la asíntota superior (altura límite) es la misma para todas las estaciones. Por ello, este sistema de curvas comienza en el origen, tiene una tasa de incremento dependiente del I_c y tiende a una asíntota superior común, independiente de la calidad.

La ventaja de este segundo modelo radica precisamente en que las curvas generadas no son proporcionales, ya que en la actualidad se admite que las curvas de calidad son polimorfas (MADRIGAL, 1991a; PITA, 1991). Sin embargo, tal ventaja queda reducida por la existencia de una asíntota única para todas las estaciones, lo que invalida en cierto modo la significación biológica del modelo, puesto que existe una gradación en las alturas máximas que alcanza cada calidad, como se observa en las Figuras 12 y 14. Por otra parte, la validez del modelo depende del intervalo de edades que se esté estudiando, y de si éste incluye o no dicho límite.

A pesar de todas estas salvedades, pareció interesante probar el modelo de Bailey y Clutter, que ha sido utilizado en varios de los últimos estudios de calidad en nuestro país (ORTEGA, 1989; MADRIGAL y cols., 1992).

Resulta especialmente importante, y justo, señalar que la idea original de este modelo no pertenece a Bailey y Clutter. Recientemente, ZEIDE (1992) ha analizado las diferentes ecuaciones de crecimiento, basándose en una exhaustiva revisión de 75 modelos forestales, realizada por KIVISTE (1988), y que resulta escasamente conocida por estar escrita originariamente en ruso. En ese trabajo se explica que la ecuación de Bailey y Clutter ya había sido descrita en 1939 por el checoslovaco Korf, mientras que formas especiales de la misma, con el exponente $c = 1$, fueron propuestas independientemente

por Terazaki en 1915 (cit. en PESCHEL, 1938), JOHNSON (1935) y SCHUMACHER (1939). Además, comenta como esta ecuación ha sido redescubierta en varias ocasiones, citando en particular a LUNDQVIST (1957), y aplicada posteriormente por numerosos investigadores como STAGE (1963) y BREWER y cols. (1985). En 1979, ZARNOVICAN estudió la «función de crecimiento de Korf», mientras que el propio ZEIDE (1989), comprobó la utilidad de la «ecuación de Korf» para describir el crecimiento en diámetro.

En este trabajo, aunque se reconoce la autoría de Korf, se ha preferido denominar «modelo de Bailey y Clutter» a la ecuación que se ensaya, puesto que a dichos autores corresponde el análisis de sus posibilidades de anamorfismo y polimorfismo y el establecimiento de un método particular de estimación de los parámetros. Además, es el nombre por el que se le conoce popularmente.

Para ajustar una curva guía, en vez de utilizar el método de estimación de los parámetros propuesto por los autores (BAILEY y CLUTTER, 1974), se ha preferido realizar una regresión no lineal a partir del método de los mínimos cuadrados, aprovechando los modernos programas informáticos de estadística. Se han supuesto desconocidos los tres parámetros, no prefijando un valor inicial para el exponente «c».

La curva obtenida, utilizando logaritmos en base 10, ha sido la siguiente:

$$\log H_0 = 3,054 - 5,063 \cdot (1/t^{0,236})$$

donde: H_0 = altura dominante (m).
t = edad (años).

Representando esta curva guía junto a la nube de puntos que ha servido para construirla (Figura 15), se observa un buen ajuste en las primeras edades, pero una tendencia hacia una asíntota excesivamente elevada. Comparando la curva con la muestra de 15 pies adultos (Figura 16), que pretende ser una referencia de la asíntota, se comprueba que el modelo no refleja correctamente la tendencia real. Además, hay que tener en cuenta que la representación gráfica de esos 15 árboles se ha realizado linealizando entre cada dos de los puntos en los que se midieron las secciones, por lo que la evolución real sería una trayectoria en forma de arco entre cada dos de tales puntos. Por esta razón, y concretamente para el punto final del último tramo de cada árbol, la tendencia verdadera corresponde a una línea superior, pero más tendida (más próxima a la asíntota) de la que aparece en la figura, con lo que se agudizan las diferencias con la curva estimada.

Además, el conocimiento de las masas españolas de pino silvestre permite asegurar que son excepcionales los rodales que sobrepasan una altura dominante de 30-32 m, aún en montes como Valsáin. En ese sentido, si se eligiese el modelo polimórfico, el valor de la altura límite sería, según lo indicado anteriormente, 10^a , es decir $10^{3,054} = 1.132,4$ m para la curva calculada, cifra que se escapa de cualquier validez o interpretación biológica.

El hecho de que la curva guía obtenida no se adecue correctamente ni a los datos ni a la realidad, nos hace desestimar el modelo, ya sea anamórfico o polimórfico.

Sin embargo, antes de rechazar definitivamente el modelo de Bailey y Clutter, se probó su ajuste utilizando exclusivamente los datos de las doce parcelas menores de 70 años con análisis de tronco. La curva obtenida fue:

$$\log H_0 = 15,191 - 16,932 \cdot (1/t^{0,047})$$

y su representación gráfica aparece en la Figura 17. En ella se aprecia el correcto ajuste para el intervalo 0-70 años. Sin embargo, al extender la curva en el tiempo la asíntota alcanzaría un valor más irreal aun que el anteriormente expuesto.

Figura 15

CURVA GUIA OBTENIDA AJUSTANDO EL MODELO DE BAILEY-CLUTTER

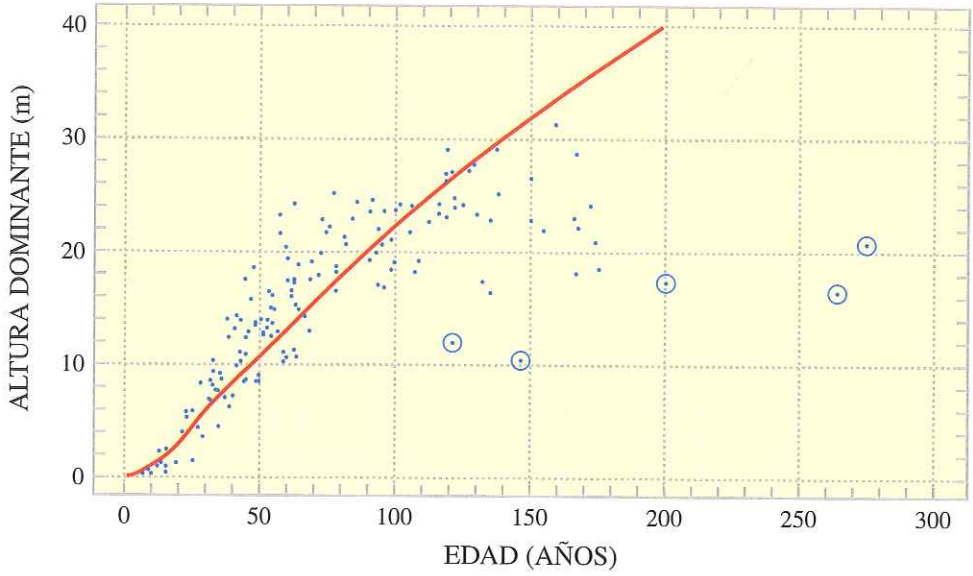


Figura 16

COMPARACION ENTRE LA ALTURA DOMINANTE MAXIMA ESTIMADA CON EL MODELO DE BAILEY-CLUTTER (CURVA GUIA) Y LA PRESENTADA POR LOS ARBOLES DE LA MUESTRA

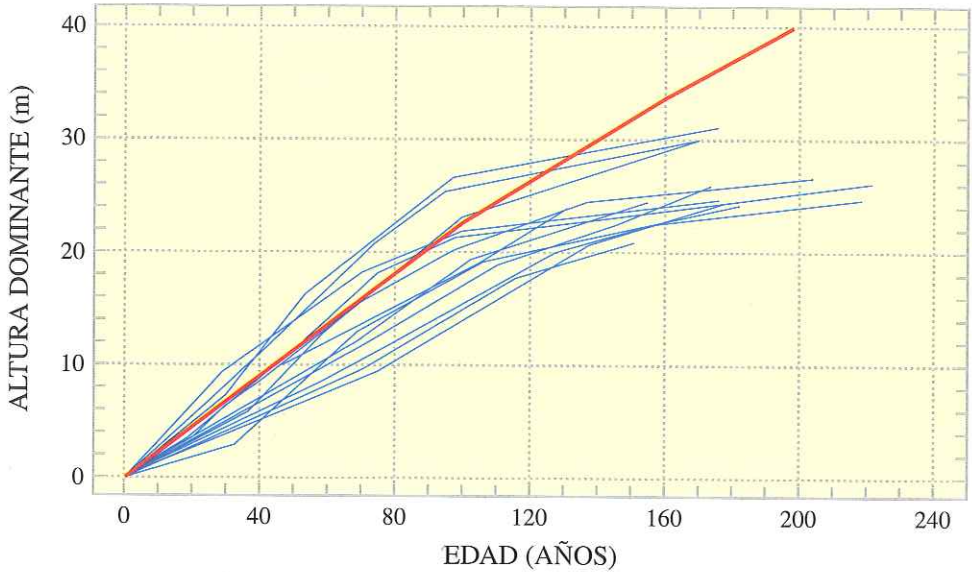
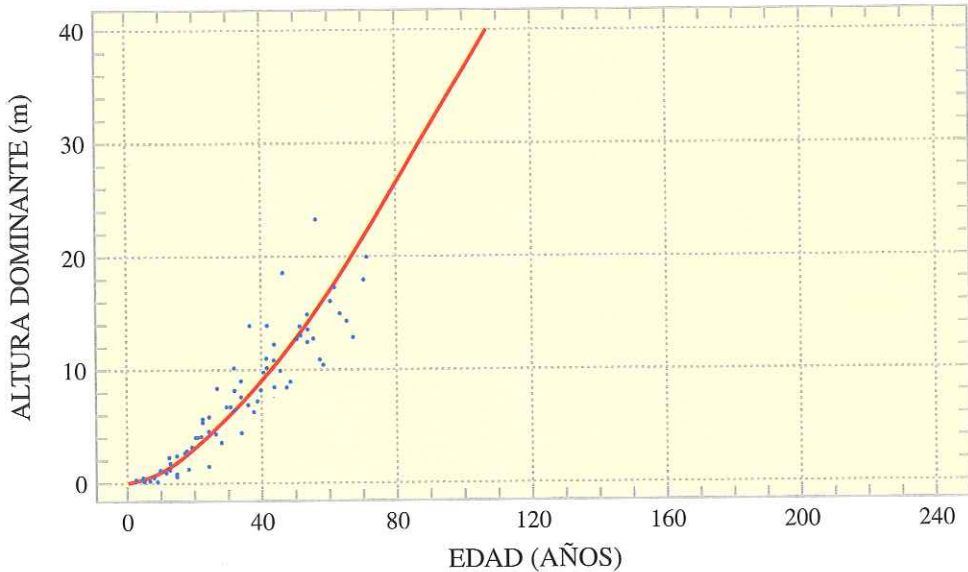


Figura 17

AJUSTE DEL MODELO DE BAILEY-CLUTTER OBTENIDO CON LOS DATOS DEL ANALISIS DE TRONCO EN PARCELAS DE MENOS DE 70 AÑOS



Modelo de Richards

La ecuación de RICHARDS (1959) es la función más usada en estudios de crecimiento de árboles y masas forestales, y aunque fue propuesta por MITSCHERLICH (1919), no empezó a ser realmente conocida hasta la publicación del artículo de Richards (ZEIDE, 1992). La función es una generalización de la ecuación de BERTALANFFY (1949, 1957), por lo que varios autores la denominan «ecuación de Bertalanffy-Richards» (GARCÍA, 1983), mientras que para otros es el «modelo de Chapman-Richards» (ZEIDE, 1992).

Según el propio RICHARDS (1959), incluye, como casos especiales, otras funciones de crecimiento bien conocidas, como la de MITSCHERLICH (1919), la logística (VERHULST, 1838), la exponencial y la de GOMPERTZ (1825). Ha sido utilizada frecuentemente para estudios de curvas de calidad (por ejemplo, BURKHART y TENNENT, 1977), y para modelizar el desarrollo de otras variables forestales (PIENAAR y TURNBULL, 1973). También se ha usado para describir el crecimiento de animales (BERTALANFFY, 1949, 1957), y en investigaciones piscícolas (BEVERTON y HOLT, 1957; CHAPMAN, 1961).

En nuestro país, es el modelo más utilizado en los últimos trabajos sobre calidad de estación. Ha sido adoptado por IBÁÑEZ (1989) para *Fagus sylvatica*, mientras que ORTEGA (1989) y ERVITI (1991) lo aplican a través del modelo estocástico de GARCÍA (1979, 1983), para *Pinus sylvestris* y *P. halepensis* respectivamente. También se ha descrito una generalización de la función de Richards para su uso en dendrocronología (GRACIA e IBÁÑEZ, 1988).

La característica fundamental de la ecuación de Richards es su flexibilidad, seguramente por englobar a otras muchas funciones, por lo que se adapta a muy diferentes tipos de datos. Por esta razón se ha masificado su uso, a pesar de que autores como ZEIDE (1992) duden de que la flexibilidad sea una cualidad deseable de los modelos de crecimiento.

El modelo general de Richards es:

$$H_0 = a \cdot (1 - e^{-b \cdot (t-d)})^{1/c}$$

donde: H_0 = altura dominante.

t = edad.

a , b , c y d = parámetros del modelo tales que a y $b > 0$, $-1 \leq c < \infty$ y $c \neq 0$

El parámetro «a» representa el valor de la ordenada en el origen de la asíntota superior, que indica el límite del crecimiento en altura (altura máxima). El parámetro «d» señala el punto de partida de la curva en el eje de abscisas (tiempo). Si $d = 0$, la función pasa por el origen, lo cual es absolutamente deseable. Por esta razón, la ecuación que se va a ensayar es la siguiente:

$$H_0 = a \cdot (1 - e^{-b \cdot t})^{1/c}$$

donde: H_0 = altura dominante (decámetros).

t = edad (décadas).

a , b y c = parámetros del modelo tales que a y $b > 0$, $-1 \leq c < \infty$ y $c \neq 0$

Para realizar dicho ajuste, se ha medido la edad en decenas de años y la altura dominante en decámetros, con lo que se evitan problemas de «desborde» y de «redondeo» en los cálculos, y se aproxima el orden de magnitud de los parámetros (ORTEGA, 1989; ERVITI, 1991).

Al igual que ocurría con el modelo de BAILEY y CLUTTER (1974), existe la posibilidad de generar dos sistemas de curvas diferentes según se varíe el parámetro «a» o el «b» para una determinada edad típica.

Para el caso de «a» variable (anamórfico), si se define, igual que antes, el índice de calidad I_c como la altura que se alcanza a una edad típica t_0 , y tras despejar y reemplazar a_i en la ecuación original, se obtiene la expresión:

$$H_0 = I_c \cdot [(1 - e^{-b \cdot t}) / (1 - e^{-b \cdot t_0})]^{1/c}$$

que establece la relación de la altura dominante H_0 con la edad «t», la edad típica t_0 y el índice de calidad I_c . Estimando los parámetros «b» y «c» se obtiene una curva guía, y mediante la variación de I_c para alguna edad típica se establece un sistema de curvas proporcionales, con una tasa relativa de crecimiento $(dH_0/dt)/H_0$ constante para todas las calidades, pero con diferentes asíntotas.

Si el parámetro que se hace variar para cada pareja de datos altura-edad es el «b», se consigue un sistema de curvas polimórficas o no proporcionales. Despejando y reemplazando el valor de b_i en la ecuación original, se obtiene la expresión que relaciona la altura dominante H_0 con el índice de calidad I_c , la edad «t» y la edad típica t_0 :

$$H_0 = a \cdot [1 - (1 - \{I_c/a\}^c)^{t/t_0}]^{1/c}$$

Este modelo implica la existencia de una asíntota única y común para todas las calidades, restando validez biológica al mismo. Sin embargo, las curvas que se generan no son proporcionales, como ocurre con el anamórfico.

De cualquier manera, la decisión de elegir uno u otro puede depender en última medida de la curva guía que se obtenga, que será la misma con independencia del modelo que se adopte después.

Por medio de regresión no lineal, se ha obtenido la siguiente curva guía:

$$H_0 = 2,636 \cdot (1 - e^{-0,270 \cdot t})^{1/0,439}$$

En la Figura 18 aparece su representación, junto con la nube de puntos que ha servido para construirla. Se puede observar cómo la función se adapta con bastante precisión a los datos. En dicha figura se han señalado aquellos valores (parcelas) que no se han tenido en cuenta para realizar la regresión, consiguiendo así elevar ligeramente la asíntota. De esta manera, se produce un mejor ajuste de la misma al compararla con la de la muestra de 15 árboles adultos, tal como se aprecia en la Figura 19.

La asíntota de la curva media o guía se encuentra a 26,36 m, valor que concuerda con la realidad y que permitiría extender hacia arriba y abajo, de forma correcta, la altura máxima que podría alcanzar cada calidad.

El punto de inflexión de la curva guía se alcanza a la altura de:

$$H_0 = a \cdot (1 - c)^{1/c} = 2,636 \cdot (1 - 0,439)^{1/0,439} = 0,706 \text{ decámetros}$$

es decir, a unos 7 m. Este valor se corresponde con una edad de 30 años, lo que tampoco parece diferir mucho de la realidad, aunque la tasa de crecimiento en altura de *Pinus sylvestris* se mantiene relativamente constante entre los 25-30 y los 60-65 años.

Figura 18

CURVA GUIA OBTENIDA AJUSTANDO EL MODELO DE RICHARDS

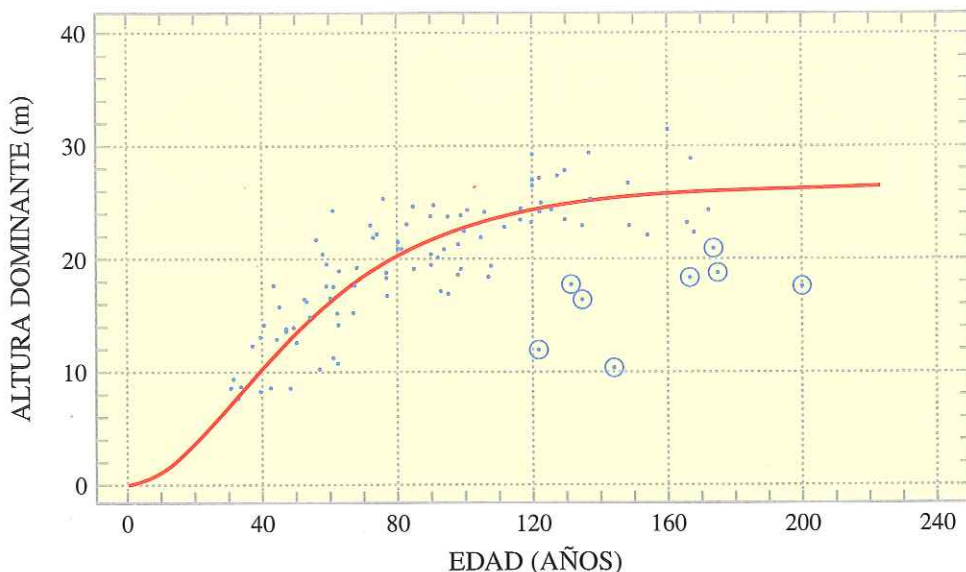
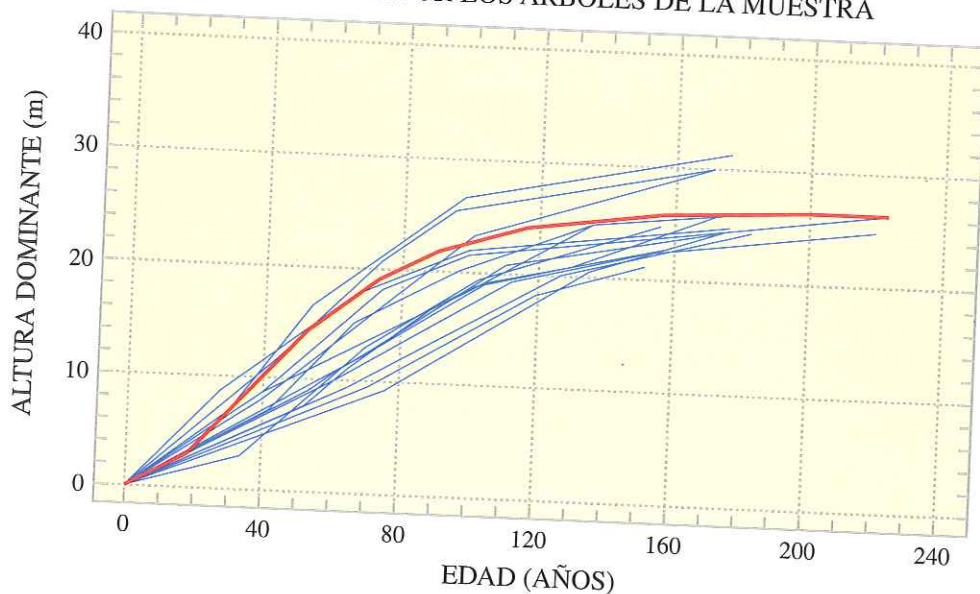


Figura 19

COMPARACION ENTRE LA ALTURA DOMINANTE MAXIMA ESTIMADA CON EL MODELO DE RICHARDS (CURVA GUIA EN ROJO) Y LA PRESENTADA POR LOS ARBOLES DE LA MUESTRA



Sin embargo, el valor de la asíntota superior confirma la inadecuación de un modelo polimórfico para este caso (con «b» variable y «a» fijo), puesto que con el mismo se estaría suponiendo que no se podrían superar esos 26,36 m, cuando varias de las parcelas poseen alturas dominantes mayores, mientras que otras prometen cifras aún más altas.

Resta, por tanto, probar el modelo anamórfico, es decir:

$$H_o = a_i \cdot (1 - e^{-0,270 \cdot t})^{1/0,439}$$

donde: H_o = altura dominante (decámetros).

t = edad (décadas).

a_i = parámetro característico de cada estación.

Para extender esta curva guía a las diferentes calidades se ha adoptado una edad típica $t_o = 100$ años (10 décadas en el modelo). ORTEGA y MONTERO (1988) analizan los valores que debe tomar esta edad de referencia, haciendo alusión a la necesidad de fijar valores próximos al turno si se pretende relacionar la posición relativa de las curvas con la producción de madera. Se han elegido los 100 años como una previsible media de los turnos de cada calidad, en función de los valores obtenidos por GARCÍA ABEJÓN y GÓMEZ LORANCA (1984) para *Pinus sylvestris* en el Sistema Central.

Estudiando la nube de puntos para $t_o = 100$ años (Figura 13), se observa que las alturas varían entre unos 16 y 28 m. Esto permite establecer cinco clases de calidad escalonadas de 3 en 3 m, y cuyos índices de calidad medios (altura dominante a la edad de re-

ferencia) serán: 17, 20, 23, 26 y 29 m. Estos valores servirán, además, para denominar a las diferentes calidades.

Para obtener el valor del parámetro a_i correspondiente a la curva media de cada calidad, si $t = t_0 = 10$ décadas, entonces H_0 será igual al índice de calidad, I_c , en decámetros, luego:

$$I_c = a_i \cdot (1 - e^{-2,70})^{1/0,439} = a_i \cdot 0,8534446$$

y por tanto:

$$a_i = I_c / 0,8534446$$

Basta con introducir en esta ecuación los valores de I_c definidos para las curvas medias y para los límites de las calidades, obteniendo los correspondientes valores de los coeficientes a_i (Tabla 19).

Tabla 19

**VALORES DEL INDICE DE CALIDAD (I_c) EN DECAMETROS,
Y DE LOS COEFICIENTES a_i PARA LAS CURVAS MEDIAS
Y LIMITES DE LAS CALIDADES OBTENIDAS CON EL MODELO
ANAMORFICO DE RICHARDS**

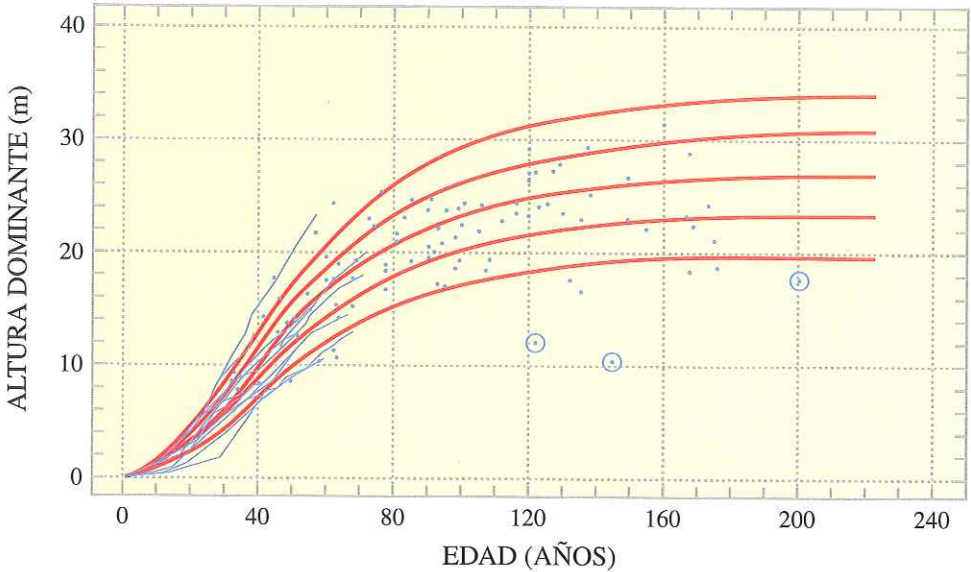
I_c		a_i	
LIMITES	MEDIAS	LIMITES	MEDIAS
	1,7		1,9919
1,85		2,1677	
	2,0		2,3434
2,15		2,5192	
	2,3		2,6950
2,45		2,8707	
	2,6		3,0465
2,75		3,2222	
	2,9		3,3980

Es importante señalar que los coeficientes a_i representan la asíntota (altura máxima) que puede alcanzar cada calidad. De esta manera, las calidades 17, 20, 23, 26 y 29 poseen, como media, alturas máximas de 19,92; 23,43; 26,95; 30,47 y 33,98 m respectivamente; mientras que sus límites tienen asíntotas de 21,68; 25,19; 28,71 y 32,22 m.

En la Figura 20 se muestran las curvas medias de cada calidad, junto con los puntos que representan a las parcelas y las líneas obtenidas del análisis de tronco. Se han incluido también las parcelas que no se han utilizado para el ajuste. Se puede observar la buena adecuación general de las curvas a los valores reales, así como su reparto aproximadamente proporcional dentro de ellas.

Figura 20

EVOLUCION DE LA ALTURA DOMINANTE CON LA EDAD
 PARA DISTINTAS CALIDADES DE ESTACION.
 MODELO ANAMORFICO DE RICHARDS



Modificación del modelo de Richards: modelo de García

GARCÍA (1979, 1983) propone un modelo basado en una ecuación diferencial estocástica para la construcción de curvas de calidad. A pesar de estar ideado para utilizar mediciones repetidas de diferentes puntos de muestreo (parcelas permanentes), ha parecido interesante ensayarlo, sobre todo después de haber sido probado con éxito por ORTEGA (1989) y ERVITI (1991).

El modelo posee una componente determinística basada en la ecuación de Bertalanffy-Richards (BERTALANFFY, 1949, 1957; RICHARDS, 1959), y otra estocástica que pretende representar el «ruido ambiental». La razón de este segundo término es explicada por el autor al afirmar que el crecimiento no puede estar representado exclusivamente por una ecuación determinística, debido a su relación con el ambiente y a la aleatoriedad del mismo. La ecuación, en forma diferencial, es:

$$dH_0^c(t) = b \cdot \{a^c - H_0^c(t)\} \cdot dt + \sigma(t) \cdot dw(t)$$

- donde:
- H_0^c = altura dominante.
 - t = edad.
 - w = proceso de Wiener, que representa la «variación ambiental».
 - a, b, c y σ = parámetros del modelo.

Según el propio García, $\sigma(t)$ representa una función de la edad, posiblemente conteniendo parámetros desconocidos. El modelo supone que los errores en las alturas calculadas, acumulados para pequeños intervalos de tiempo, están distribuidos según una normal de media cero y varianza que crece con el tiempo, mientras que los errores en intervalos de tiempo no solapados son independientes. Además, se asume que las perturbaciones ambientales ocurren principalmente en las primeras etapas de la vida de la masa, por lo que para edades superiores se puede considerar $\sigma(t)$ como constante.

El autor ha desarrollado un programa para la estimación de los parámetros, con el que es posible ajustar diferentes modalidades según se consideren éstos constantes a valores dados (fijos), condicionados a tener el mismo valor para todas las parcelas (globales), o libres de tomar diferentes valores para las distintas parcelas (locales). La ecuación final que se ajusta es la de Richards:

$$H_o = a \cdot (1 - e^{-b \cdot (t-d)})^{1/c}$$

donde: H_o = altura dominante (decámetros).

t = edad (decenios).

a, b, c y d = parámetros del modelo.

Además, el programa facilita el valor de la varianza para cada parcela, que representa el «ruido del sistema». La estimación de los parámetros se realiza por el método de máxima verosimilitud, a través de la minimización del logaritmo negativo de la verosimilitud, usando el procedimiento modificado de Newton (GARCÍA, 1983). Hay que señalar que esta es, precisamente, la única diferencia con el modelo anterior, el cual se ha ajustado con el programa STATGRAPHICS, que utiliza el algoritmo de Marquardt para determinar las estimas que minimizan las sumas de cuadrados residuales.

En un principio, se ha aplicado dicho programa de ajuste conjuntamente a los datos de las parcelas semipermanentes y a los del análisis de tronco. Se han ensayado las modalidades de «a local» y «b local» (ambos con $d = 0$), pero no se conseguía una adecuada convergencia de los parámetros, debido, probablemente, a la necesidad de trabajar con parcelas de varias mediciones.

Se volvió a ensayar, entonces, exclusivamente con los datos del análisis de tronco de los árboles jóvenes, para evitar el inconveniente anterior.

Para el modelo con «a local» se obtuvo la curva guía:

$$H_o = 4,2644 \cdot (1 - e^{-0,1417 \cdot t})^{1/0,5529}$$

con un valor promedio de la varianza de 1,1031 decámetros. Como se aprecia en la Figura 21, la curva se ajusta bien a las primeras edades, lo cual resulta lógico por haberse construido únicamente con valores pertenecientes a tal intervalo. Por otra parte, la asíntota del modelo se dispara, alcanzando los 42,64 m.

En el caso de «b local», los valores de los parámetros fueron los siguientes:

$$H_o = 4,3669 \cdot (1 - e^{-0,1391 \cdot t})^{1/0,5504}$$

con una varianza de 0,0369. Igual que en el caso anterior, el modelo sirve para el tramo inicial de edades (Figura 22), desajustándose notablemente para el final, en el que se aproxima a una altura superior de 43,67 m.

Figura 21

CURVA GUIA OBTENIDA AJUSTANDO EL MODELO DE GARCIA,
CON «a local», A LOS DATOS DEL ANALISIS DE TRONCO
EN PARCELAS DE MENOS DE 70 AÑOS

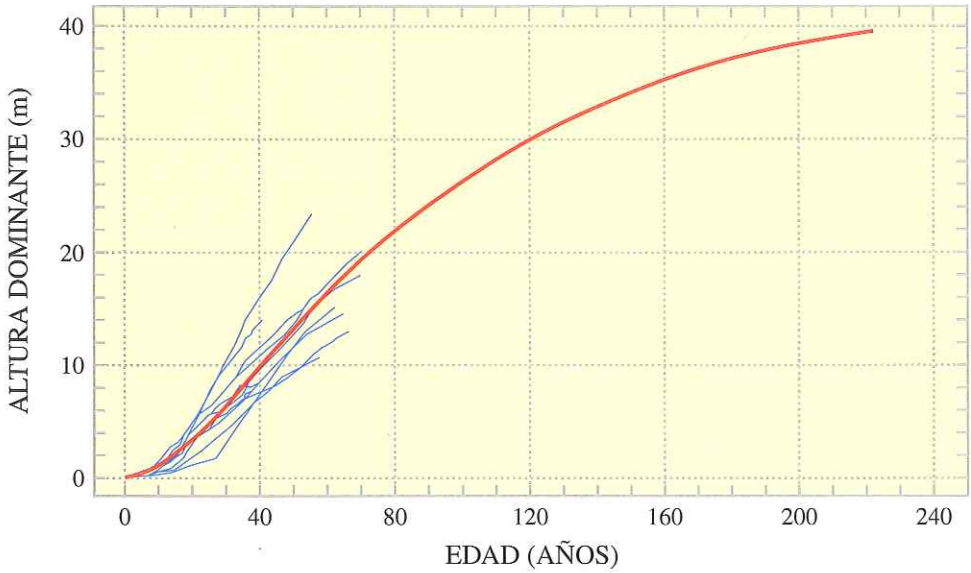
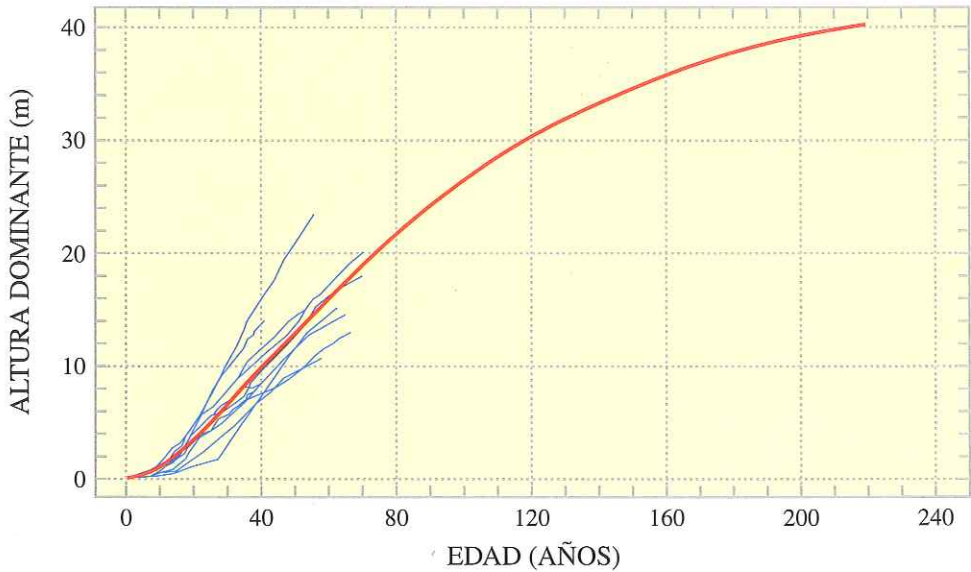


Figura 22

CURVA GUIA OBTENIDA AJUSTANDO EL MODELO DE GARCIA,
CON «b local», A LOS DATOS DEL ANALISIS DE TRONCO
EN PARCELAS DE MENOS DE 70 AÑOS



Por estas razones, se desestimó el modelo de García para el presente trabajo. Es preciso señalar, sin embargo, el enorme interés del mismo cuando se trabaja con datos procedentes de parcelas permanentes o de análisis de tronco (con intervalos mayores a los aquí utilizados). En cualquier caso, conviene recordar que este autor trabaja fundamentalmente con repoblaciones de *Pinus radiata* en Nueva Zelanda y Chile, en las cuales se aplica una selvicultura muy «intensiva», con turnos muy cortos, casi siempre menores de 50 años. Esto puede explicar las dificultades del modelo para ajustarse por encima de los 120-130 años, y en una especie como *Pinus sylvestris*, con una tasa de crecimiento en altura mucho menor que *P. radiata*, sobre todo a edades próximas al turno.

Modelo de Hossfeld

La función asintótica de Hossfeld, utilizada por PITA (1964a) para construir las primeras curvas de calidad españolas para *Pinus sylvestris*, es:

$$H = t^2 / (a + b \cdot t + c \cdot t^2)$$

En ella, «t» representaba la edad; mientras que H, en el trabajo de Pita, era la altura total correspondiente al árbol de sección normal media. Parece más lógico sustituir la altura media por la dominante (H_0), por lo que el modelo resulta:

$$H_0 = t^2 / (a + b \cdot t + c \cdot t^2)$$

Su asíntota superior (culminación de la altura) corresponde al valor $1/c$, lo que permite generar una familia de curvas polimórficas (no proporcionales) variando dicha altura máxima a partir de una curva media o guía. De esta manera, se puede volver a escribir la ecuación como:

$$H_0 = t^2 / (a + b \cdot t + c_i \cdot t^2)$$

donde: H_0 = altura dominante (m).
 t = edad (años).
 c_i = parámetro específico de cada estación.
 a, b = parámetros del modelo.

Se ha ajustado esta función por regresión no lineal, obteniendo la siguiente curva guía:

$$H_0 = t^2 / (104,369 - 0,722 \cdot t + c_i \cdot t^2)$$

o bien:

$$H_0 = t^2 / (104,369 - 0,722 \cdot t + 0,042 \cdot t^2)$$

que aparece en la Figura 23 junto a los puntos de las parcelas y del análisis de tronco, y en la Figura 24 con los 15 árboles viejos. En las mismas se comprueba la similitud con la curva guía resultante del modelo de Richards, y por tanto su adecuado ajuste a los datos.

Figura 23

CURVA GUIA OBTENIDA AJUSTANDO EL MODELO DE HOSSFELD

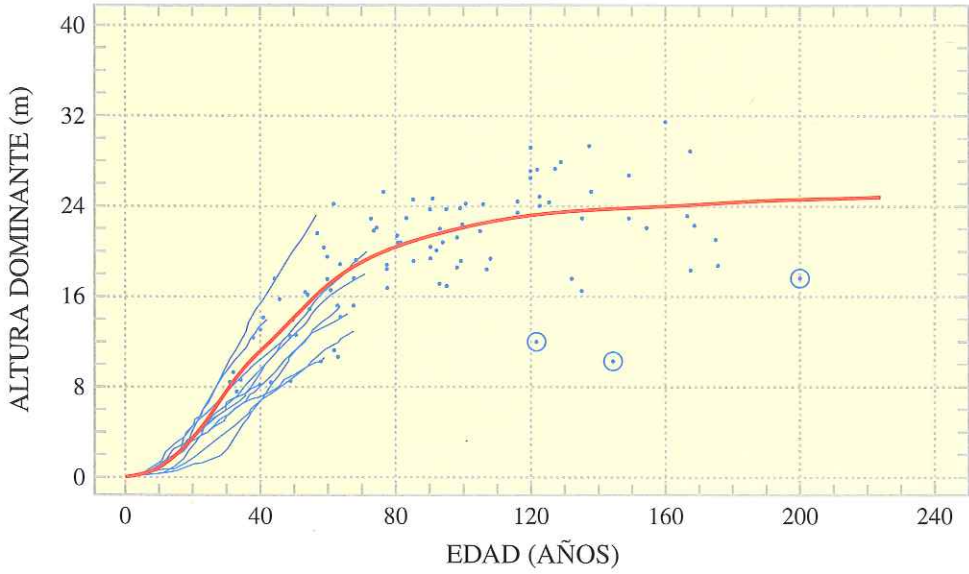
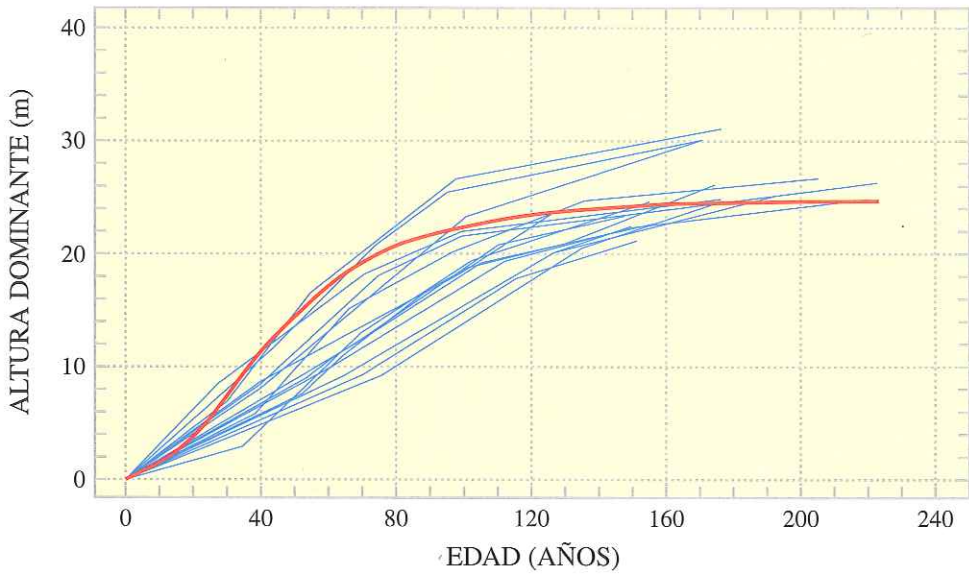


Figura 24

COMPARACION ENTRE LA ALTURA DOMINANTE MAXIMA ESTIMADA CON EL MODELO DE HOSSFELD (CURVA GUIA) Y LA PRESENTADA POR LOS ARBOLES DE LA MUESTRA



Para generar la familia de curvas polimórficas se procede de forma análoga a lo realizado con el modelo de Richards. Es decir, si «t» es igual a la edad típica $t_0 = 100$ años, entonces H_0 corresponderá al índice de calidad I_c :

$$I_c = 100^2 / (104,369 - 0,722 \cdot 100 + c_i \cdot 100^2)$$

y operando resulta:

$$c_i = (1/I_c) - 0,0032169$$

Introduciendo en esta expresión los valores de I_c definidos anteriormente (en metros) para las curvas medias y para los límites de las calidades, se obtienen los correspondientes valores de los coeficientes c_i (Tabla 20).

Tabla 20

VALORES DEL INDICE DE CALIDAD (I_c) EN METROS,
Y DE LOS COEFICIENTES c_i PARA LAS CURVAS MEDIAS Y LIMITES
DE LAS CALIDADES OBTENIDAS CON EL MODELO DE HOSSFELD

I_c		c_i	
LIMITES	MEDIAS	LIMITES	MEDIAS
	17		0,0556
18,5	20	0,0508	0,0468
21,5	23	0,0433	0,0403
24,5	26	0,0376	0,0352
27,5	29	0,0331	0,0313

La inversa de cada uno de los coeficientes c_i representa la altura máxima (asíntota) que podría alcanzar cada calidad.

En la Figura 25 aparecen tales curvas de calidad (medias), junto con los puntos que representan a las parcelas y los segmentos del análisis de tronco. En ella se puede observar que las curvas se ajustan bien a los valores reales solamente a partir de los 80-90 años. En las primeras edades el intervalo de las curvas resulta excesivamente estrecho (todas las calidades parecen iguales), no recogiendo toda la variabilidad que presentan las masas. Esto se debe a que el cambio de la asíntota sólo se refleja en el último tramo de cada curva, a pesar de que se ha forzado a que pasen por un determinado valor de la altura a los 100 años.

Para tratar de evitar ese inconveniente, se ha probado el mismo modelo para edades típicas de 80 años (Figura 26) y de 50 años (Figura 27), en un intento de obligar a las curvas a «abrirse» en el tramo inicial. En ambos casos, la rectificación obtenida en las primeras edades ha dado lugar a un aumento excesivo del intervalo final existente entre las curvas, lo que tampoco resulta admisible. Por otra parte, esto demuestra la enorme importancia que posee, en algunos modelos, una correcta elección de la edad típica de referencia, tal como señalan ORTEGA y MONTERO (1988).

Figura 25

EVOLUCION DE LA ALTURA DOMINANTE CON LA EDAD
PARA DISTINTAS CALIDADES DE ESTACION.
MODELO DE HOSSFELD FIJANDO LA EDAD TIPICA EN 100 AÑOS

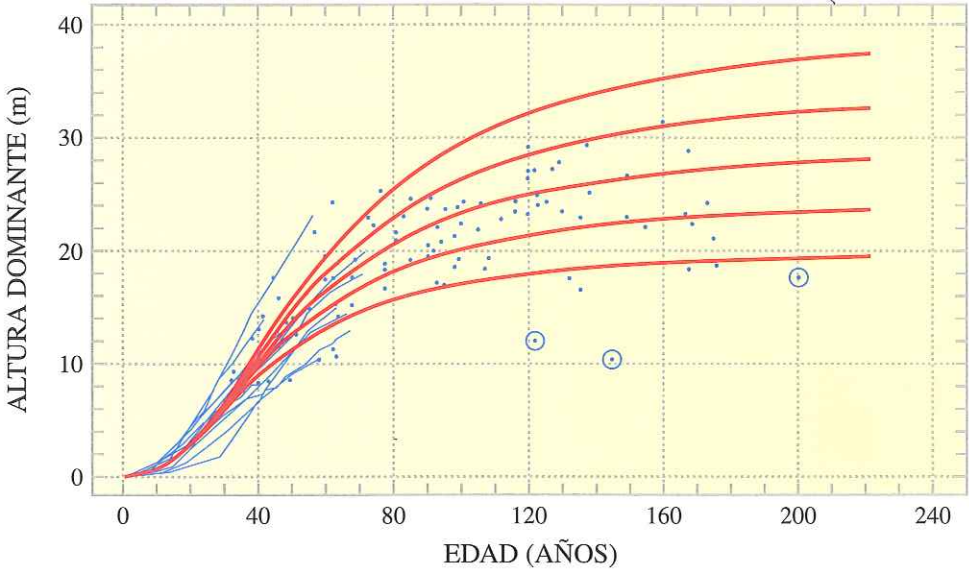


Figura 26

EVOLUCION DE LA ALTURA DOMINANTE CON LA EDAD
PARA DISTINTAS CALIDADES DE ESTACION.
MODELO DE HOSSFELD FIJANDO LA EDAD TIPICA EN 80 AÑOS

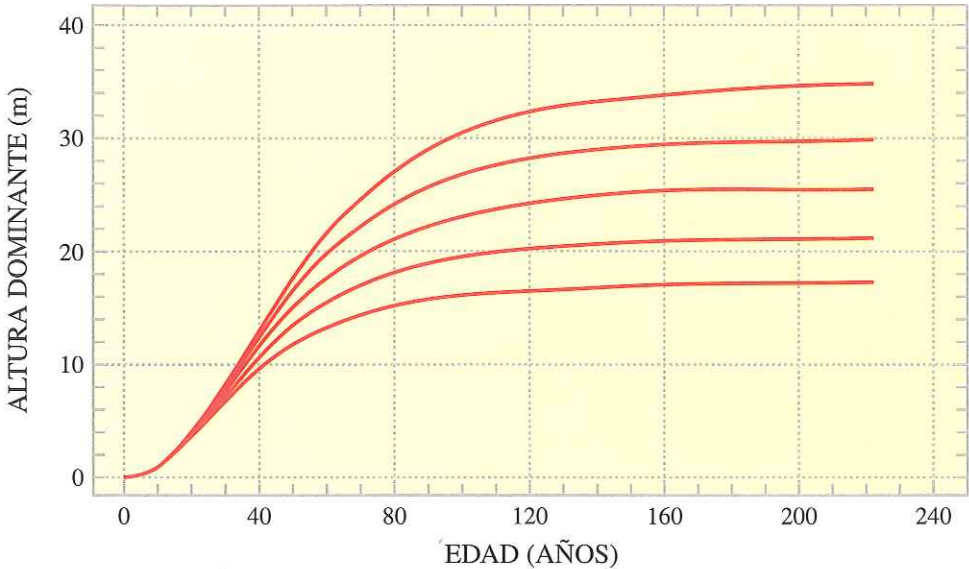
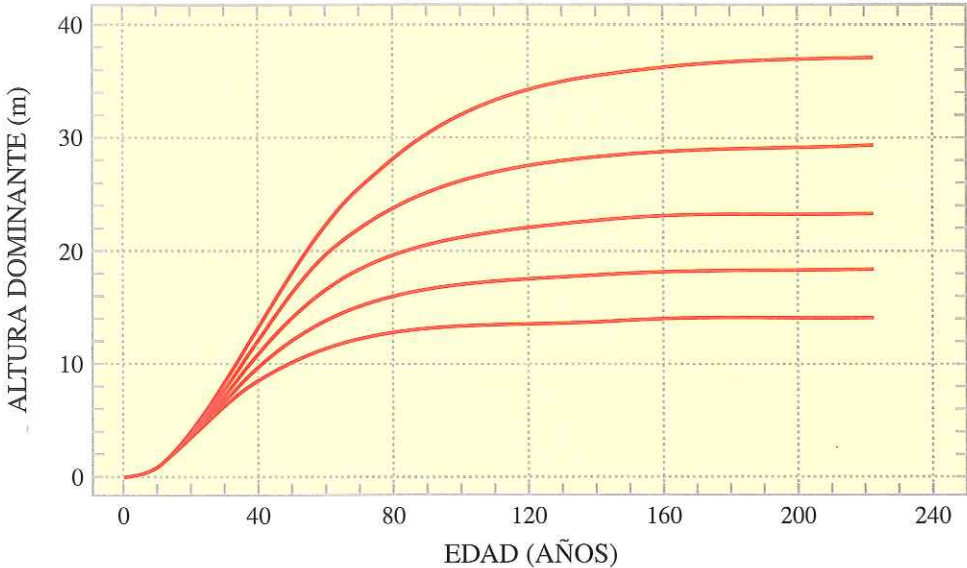


Figura 27

EVOLUCION DE LA ALTURA DOMINANTE CON LA EDAD
PARA DISTINTAS CALIDADES DE ESTACION.
MODELO DE HOSSFELD FIJANDO LA EDAD TIPICA EN 50 AÑOS



*Modelo de calidad de la estación adoptado:
ajuste de la ecuación de Richards a las calidades extremas*

A la vista de los anteriores modelos ensayados, el de Richards parece el más adecuado para representar la calidad de la estación de los montes estudiados. Sin embargo, las curvas generadas con el mismo poseen el defecto de su anamorfismo.

En efecto, dichas curvas son proporcionales, con una tasa relativa de crecimiento $(dH_0/dt)/H_0$ constante para todas las calidades. Además, el máximo del crecimiento corriente en altura dominante (que se obtiene igualando a cero la derivada segunda de $H_0(t)$), también es constante e independiente de la calidad, lo cual no resulta conveniente.

Ante la seguridad de que tales características de las curvas de calidad se transmiten al resto de los valores de las tablas de producción, influyendo en los resultados, se ha preferido no adoptar dicho modelo anamórfico y buscar otro polimórfico.

Para conseguir unas curvas no proporcionales se ha optado por realizar ajustes independientes para cada calidad. Se ha elegido para ello la ecuación de Richards, puesto que es la que mejor se amolda a los datos y a la realidad.

En primer lugar, es necesario clasificar por calidades las parcelas y los datos del análisis de tronco (ver «Asignación de calidad a las parcelas»). Debido a la correcta repartición de calidades que se obtenía con el modelo anamórfico de Richards, se ha decidido mantener el criterio con el que se obtuvieron las mismas, es decir clases de calidad definidas y denominadas por sus alturas dominantes de 17, 20, 23, 26 y 29 m a la edad típica de 100 años.

Se ha probado el ajuste de diferentes curvas a cada una de las cinco calidades, pero se obtienen distorsiones en la parte final de las mismas, debido a que allí el número de parcelas es muy escaso y su reparto es irregular, de tal forma que varias curvas se aproximan mucho entre sí y otras se separan más de lo que sería deseable.

Para evitar este inconveniente, se ha decidido ajustar una curva a cada una de las dos calidades extremas (17 y 29) y repartir posteriormente el espacio situado entre ambas.

Las curvas obtenidas al ajustar por separado la peor y mejor calidad han sido:

$$\text{Calidad 17: } H_0 = 1,9756 \cdot (1 - e^{-0,2642 \cdot t})^{1/0,4600}$$

$$\text{Calidad 29: } H_0 = 3,2616 \cdot (1 - e^{-0,3431 \cdot t})^{1/0,3536}$$

donde: H_0 = altura dominante (decámetros).

t = edad (décadas).

Estas curvas no son proporcionales, como demuestran los diferentes coeficientes que poseen. Además, la correspondiente a la calidad 29 consigue un mejor ajuste en las primeras edades respecto al que se obtenía con la curva anamórfica para esa calidad cuando se ajustaron los datos a partir de la curva guía (Figura 20).

Para obligar a estas curvas a pasar respectivamente por las alturas de 17 y 29 m a los 100 años, hay que calcular sus correspondientes coeficientes «a» (asíntotas). Para ello, se introduce en cada una de las ecuaciones anteriores el valor $t = t_0 = 10$ décadas, por lo que H_0 será igual al índice de calidad, I_c , en decámetros, luego:

$$\text{Calidad 17: } I_c = a \cdot (1 - e^{-2,642})^{1/0,4600} = a \cdot 0,8516$$

$$\text{Calidad 29: } I_c = a \cdot (1 - e^{-3,431})^{1/0,3536} = a \cdot 0,9112$$

y por tanto:

$$\text{Calidad 17: } a = I_c/0,8516 = 1,7/0,8516 = 1,9962$$

$$\text{Calidad 29: } a = I_c/0,9112 = 2,9/0,9112 = 3,1827$$

de tal forma que las curvas definitivas que definen las calidades extremas son:

$$\text{Calidad 17: } H_0 = 1,9962 \cdot (1 - e^{-0,2642 \cdot t})^{1/0,4600}$$

$$\text{Calidad 29: } H_0 = 3,1827 \cdot (1 - e^{-0,3431 \cdot t})^{1/0,3536}$$

Las alturas que corresponden a la calidad intermedia (23) se han calculado como la semisuma de las alturas generadas por estas dos ecuaciones de la 17 y la 29. Posteriormente, las de las calidades 20 y 26 se han obtenido también a partir de la semisuma de las alturas de sus dos inmediatamente contiguas.

De esta manera, se obliga a que las tres calidades intermedias pasen por 20, 23 y 26 m de altura a los 100 años, y se reparte más proporcionalmente el espacio encerrado entre la 17 y la 29.

Además, la calidad media (23) es sensiblemente igual a la curva guía que se obtenía ajustando el modelo de Richards con todos los puntos (Figura 18), y que ha servido para clasificar por calidades las parcelas, por lo que se valida de alguna forma tal clasificación.

Se establecen así unas calidades evidentemente relacionadas, pero no anamórficas, puesto que varían entre las formas adoptadas por las dos extremas, por lo que no poseen una tasa relativa de crecimiento $(dH_0/dt)/H_0$ constante.

En la Figura 28 se muestran las curvas medias de calidad junto con todos los puntos de las parcelas y del análisis de tronco, en la que se comprueba la buena adecuación entre los datos y el modelo. La comparación de la asíntota con la muestra de 15 árboles adultos resulta innecesaria, toda vez que estas calidades se han construido a partir del modelo de Richards, que refleja correctamente la tendencia asintótica de las alturas, como se comprobó anteriormente.

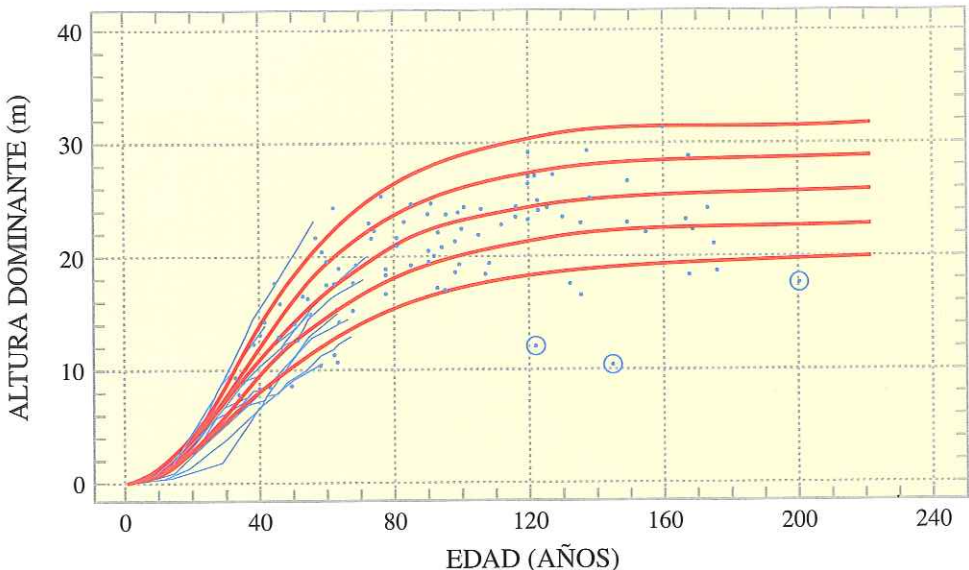
En definitiva, se ha adoptado este modelo, que en aspecto no difiere en exceso del anamórfico presentado anteriormente, por lo que mantiene el correcto ajuste que presentaba el mismo. Además, permite adaptar mejor las curvas a la realidad de los datos experimentales obtenidos en las parcelas.

Las alturas alcanzadas por las calidades definitivas coinciden con las observaciones de LAGUNA y AVILA (1883), al estimar que la especie puede elevarse hasta 20 o 30 m, y en ocasiones a mayor altura. También con las indicadas por RUIZ DE LA TORRE (1979): «El crecimiento es siempre rápido desde la juventud. El longitudinal da lugar en sitios buenos a un fuste de 30 m a los 120 años, mientras que en estación mediocre no pasa de 20 m a la misma edad».

El intervalo de validez de este modelo de calidad se restringe a las edades comprendidas entre los 30 y los 180 años, puesto que las parcelas utilizadas para la construcción de las curvas se reparten entre tales límites. Aunque los datos obtenidos del análisis de tronco se remontan hasta el nacimiento de las masas estudiadas, parece conveniente mantener los 30 años como límite inferior, ya que antes de tal edad resulta prácticamente

Figura 28

VALIDACION DE LAS CURVAS DE CALIDAD DE LA ESTACION
OBTENIDAS CON EL MODELO POLIMORFICO DE RICHARDS,
AL COMPARARLAS CON LOS DATOS DE LAS PARCELAS
INVENTARIADAS Y DEL ANALISIS DE TRONCO



imposible la determinación de calidades; incluso, hasta varias décadas después, la atribución de una u otra calidad a un determinado rodal no se encuentra exenta de posibles errores.

Para facilitar la asignación de calidades a diferentes masas o rodales, a través de la determinación de su altura dominante y edad, se presentan en la Figura 29 las curvas de calidad (las medias en rojo y sus límites en azul). Además, en el Tabla 21 aparecen los valores de las alturas dominantes, para edades de 5 en 5 años, correspondientes a los límites de las calidades establecidas. Finalmente, en la Tabla 22 se muestran los valores de las alturas dominantes de las curvas medias de cada calidad.

Tabla 21

VALORES DE LAS ALTURAS
DOMINANTES (m) PARA
LOS LIMITES ENTRE CALIDADES

EDAD	LIMITE 17-20	LIMITE 20-23	LIMITE 23-26	LIMITE 26-29
30	5,85	6,79	7,72	8,65
35	7,27	8,50	9,72	10,95
40	8,64	10,15	11,66	13,17
45	9,95	11,72	13,48	15,25
50	11,17	13,17	15,17	17,17
55	12,29	14,49	16,69	18,90
60	13,31	15,69	18,07	20,44
65	14,24	16,77	19,29	21,81
70	15,08	17,72	20,37	23,01
75	15,83	18,57	21,32	24,06
80	16,50	19,32	22,14	24,97
85	17,09	19,98	22,86	25,75
90	17,62	20,56	23,49	26,42
95	18,09	21,06	24,03	27,00
100	18,50	21,50	24,50	27,50
105	18,86	21,88	24,90	27,92
110	19,18	22,22	25,25	28,29
115	19,46	22,51	25,55	28,60
120	19,71	22,76	25,81	28,86
125	19,93	22,98	26,03	29,08
130	20,12	23,17	26,22	29,27
135	20,28	23,33	26,38	29,43
140	20,43	23,48	26,52	29,57
145	20,55	23,60	26,64	29,69
150	20,67	23,71	26,75	29,79
155	20,76	23,80	26,83	29,87
160	20,85	23,88	26,91	29,94
165	20,92	23,95	26,98	30,00
170	20,99	24,01	27,03	30,05
175	21,05	24,06	27,08	30,10
180	21,10	24,11	27,12	30,13

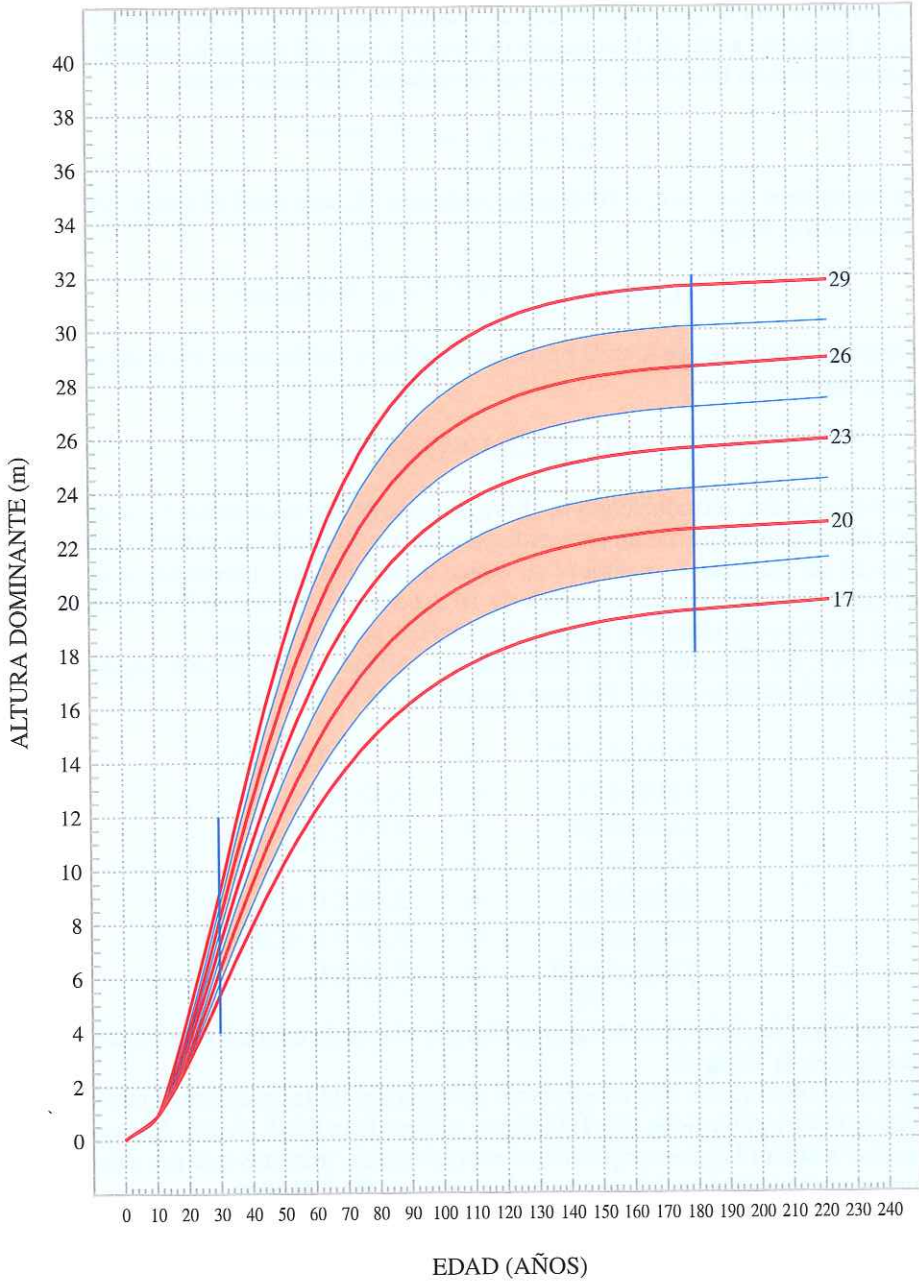
Tabla 22

VALORES DE LAS ALTURAS
DOMINANTES (m) PARA LAS CURVAS
MEDIAS DE LAS DISTINTAS CALIDADES

EDAD	CALI- DAD 17	CALI- DAD 20	CALI- DAD 23	CALI- DAD 26	CALI- DAD 29
30	5,39	6,32	7,25	8,18	9,12
35	6,66	7,88	9,11	10,34	11,56
40	7,89	9,40	10,91	12,41	13,92
45	9,06	10,83	12,60	14,37	16,13
50	10,17	12,17	14,17	16,17	18,17
55	11,19	13,39	15,59	17,80	20,00
60	12,13	14,50	16,88	19,26	21,63
65	12,98	15,51	18,03	20,55	23,07
70	13,76	16,40	19,05	21,69	24,33
75	14,46	17,20	19,94	22,69	25,43
80	15,09	17,91	20,73	23,55	26,38
85	15,65	18,54	21,42	24,31	27,19
90	16,15	19,09	22,02	24,96	27,89
95	16,60	19,57	22,55	25,52	28,49
100	17,00	20,00	23,00	26,00	29,00
105	17,35	20,37	23,39	26,41	29,43
110	17,66	20,70	23,73	26,77	29,80
115	17,94	20,99	24,03	27,07	30,12
120	18,18	21,23	24,28	27,33	30,38
125	18,40	21,45	24,50	27,56	30,61
130	18,59	21,64	24,69	27,75	30,80
135	18,76	21,81	24,86	27,91	30,96
140	18,90	21,95	25,00	28,05	31,09
145	19,03	22,08	25,12	28,17	31,21
150	19,15	22,19	25,23	28,27	31,31
155	19,25	22,28	25,32	28,35	31,39
160	19,33	22,36	25,40	28,43	31,46
165	19,41	22,44	25,46	28,49	31,51
170	19,48	22,50	25,52	28,54	31,56
175	19,54	22,56	25,57	28,59	31,61
180	19,59	22,60	25,62	28,63	31,64

Figura 29

CURVAS DE CALIDAD DE LA ESTACION PARA *PINUS SYLVESTRIS* L.
(MODELO POLIMORFICO DE RICHARDS)



Asignación de calidad a las parcelas

Para asignar una determinada calidad a las parcelas se ha calculado en primer lugar el índice de calidad I_c para cada una de ellas.

Ya se ha comentado que para clasificar las parcelas por calidades se decidió mantener el criterio con el que se construyó el modelo anamórfico de Richards. De esta manera, es necesario partir de la ecuación de la curva guía allí obtenida, aunque con ella no se hayan generado finalmente las curvas de calidad. Tal ecuación es:

$$H_o = a_i \cdot (1 - e^{-0,270 \cdot t})^{1/0,439}$$

Si suponemos que $t = t_o = 10$ décadas, entonces H_o será igual al índice de calidad, I_c , en decámetros, luego:

$$I_c = a_i \cdot (1 - e^{-2,70})^{1/0,439} = a_i \cdot 0,8534446$$

Despejando el valor de a_i en la primera ecuación, y sustituyendo en la segunda, se obtiene la expresión:

$$I_c = H_o \cdot 0,8534446 / (1 - e^{-0,270 \cdot t})^{1/0,439}$$

De esta manera, introduciendo la altura dominante (en decámetros) y la edad (en décadas) calculadas como media para cada parcela (ver «Cálculo de valores medios y existencias de las parcelas»), se obtiene su índice de calidad, que representa la altura dominante (en decámetros) a la edad típica de 10 décadas. En el Anexo II se muestran estos valores por parcela, junto con los que han servido para su cálculo.

Con los I_c así obtenidos se ha asignado una calidad a cada parcela, según el criterio elegido anteriormente (Tabla 19) para separar clases de calidad:

Calidad < 17	si	$I_c < 1,55$
Calidad 17	si	$1,55 \leq I_c < 1,85$
Calidad 20	si	$1,85 \leq I_c < 2,15$
Calidad 23	si	$2,15 \leq I_c < 2,45$
Calidad 26	si	$2,45 \leq I_c < 2,75$
Calidad 29	si	$2,75 \leq I_c < 3,05$
Calidad > 29	si	$3,05 \leq I_c$

La distribución definitiva de las parcelas por clases de calidad y de edad aparece representada en la Tabla 23.

Se puede observar en ella la aceptable distribución de las parcelas dentro de los rangos de validez establecidos (30-180 años y clases de calidad 17-29). Las calidades intermedias resultan las más ampliamente representadas, mientras que por clases de edad el mayor número de parcelas se concentra entre los 90-120 años.

Se puede apreciar un escalonamiento general de las edades encontradas para cada clase de estación, lo que implica una menor presencia de masas adultas según aumenta la calidad. Aunque no se descarta que este hecho pueda deberse al tipo de muestreo realizado, más bien parece indicar que la selvicultura aplicada ha extraído los mejores

Tabla 23

DISTRIBUCION DE LAS PARCELAS POR CLASES DE EDAD Y CALIDAD

CLASES DE EDAD	CLASES DE CALIDAD							TOTAL
	<17	17	20	23	26	29	>29	
30-60	2	2	1	6	6	6	2	25
60-90	2	-	6	8	6	1	1	24
90-120	-	3	9	10	5	-	-	27
120-150	3	1	3	5	4	-	-	16
150-180	-	3	4	-	1	1	-	9
>180	2	1	-	-	-	-	-	3
TOTAL	9	10	23	29	22	8	3	104

y más rentables pies o rodales. Esto explicaría la escasez casi absoluta de masas de calidad 29 por encima de 100 años, seguramente por que a esa edad los árboles ya han alcanzado un diámetro de 45-50 cm y han sido cortados.

Por otro lado, la amplia presencia de masas jóvenes de muy buena calidad, hasta aproximadamente los 60 ó 70 años, confirma que la inexistencia de parcelas de calidad superior para las mayores edades no se debe a un tope productivo que impidiera a las masas alcanzar tales niveles.

Con la introducción de una selvicultura más racional se está permitiendo que las masas de mejor calidad puedan llegar al final del turno. Con ello, lógicamente, no se consigue aumentar la calidad de la estación (capacidad productiva), pero sí se eleva virtualmente la calidad de las masas que quedan en pie. Precisamente, esas parcelas de corta edad que presagian calidades incluso superiores a las aquí establecidas, demuestran ese hecho.



Parcela C34. Masa joven (44 años) de excelente calidad (calidad 29). Este tipo de masas confirman que la inexistencia de parcelas de buena calidad en las edades mayores no se debe a un tope productivo, sino a la corta selectiva de los mejores pies o rodales al alcanzar dimensiones aprovechables