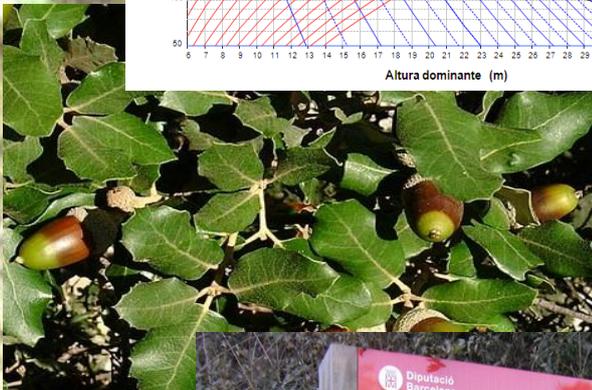
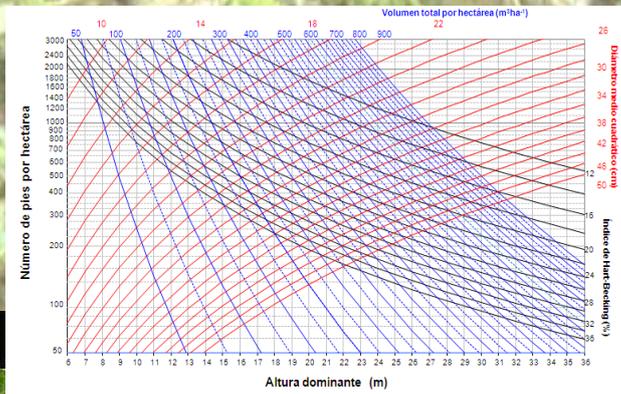


PROYECTO FINAL DE CARRERA  
INGENIERÍA DE MONTES

DIAGRAMA DE MANEJO DE LA DENSIDAD  
PARA *QUERCUS ILEX* SUBSP. *ILEX* EN EL  
PARQUE NATURAL DEL MONTNEGRE  
Y EL CORREDOR



UNIVERSIDAD DE LLEIDA

Escuela Técnica y Superior de Ingeniería Agraria

Érica López-Cepero Bermúdez

**DIAGRAMA DE MANEJO DE LA DENSIDAD PARA  
*QUERCUS ILEX* SUBSP. *ILEX* EN EL PARQUE  
NATURAL DEL MONTNEGRE  
Y EL CORREDOR**

Autora: Érica López-Cepero Bermúdez

Tutor: Ricardo Blanco

Cotutora: Mariola Sánchez González

Lérida, septiembre 2013

Escuela Técnica y Superior de Ingeniería Agraria

Universidad de Lérida



Universitat de Lleida  
Escola Tècnica Superior  
d'Enginyeria Agrària

*Mi agradecimiento por su ayuda a:*

Jordi Jürgens Mestre

Mariola Sánchez González



# ÍNDICE

Introducción.....	8
Descripción de la zona de estudio.....	12
Situación, acceso y extensión.....	12
Situación legal y administrativa.....	13
Geología.....	14
Geografía.....	15
Edafología.....	16
Climatología .....	17
Hidrología.....	18
Vegetación.....	20
Descripción de <i>Quercus ilex</i> subsp. <i>ilex</i> .....	21
Características culturales.....	21
Usos.....	21
Selvicultura.....	22
<i>Quercus ilex</i> subsp. <i>ilex</i> en el Parque del Montnegre y el Corredor.....	23
Objetivos.....	26
Material y métodos.....	28
Criterios selectivos de las parcelas.....	29
Selección de las parcelas.....	30
Inventariación en campo.....	31
Pautas para la representación gráfica del DMD.....	34
Ajuste simultáneo de las ecuaciones.....	36

Resultados y Discusión .....	38
Conclusiones.....	49
Bibliografía.....	52

# — 1. INTRODUCCIÓN —

## INTRODUCCIÓN

El manejo de la densidad y su relación con estados de desarrollo y niveles de competencia, asociado a esquemas de manejo a nivel de rodal, requiere de herramientas que permitan cuantificar la densidad a dejar después de una intervención selvicultural en relación a la ocupación máxima del sitio que puede hacer una especie. Estudiar la densidad y su vinculación con el desarrollo del rodal futuro es posible mediante el análisis de las relaciones de tamaño-densidad.

Una herramienta de manejo forestal desarrollada a partir de las relaciones tamaño-densidad son los denominados Diagramas de Manejo de la Densidad (DMD) que son “modelos estáticos de rodal en el que se representa de forma gráfica la relación entre producción y densidad a lo largo de todos los estadios de la vida de la masa (Newton & Weetman, 1997)”, es decir, relacionan en un solo gráfico el tamaño del árbol (el volumen medio, la altura y el diámetro) con la densidad de la masa (Barrio-Anta et al., 2005).

Los diagramas de manejo de la densidad constituyen una herramienta muy valiosa para la planificación de regímenes de tratamientos selviculturales que garanticen una óptima ocupación del sitio, orientando estas estrategias hacia acciones que posicionen los rodales en valores de densidad o niveles de competencia de acuerdo con los objetivos de producción propuestos (Long 1985). Son útiles porque permiten planificar y diseñar el régimen selvícola más adecuado para un rodal regular según el propósito que se tenga, independientemente de la edad de éste.

Algunas de sus características y utilidades son (Barrio-Anta, 2003):

- Sencillos de aplicar en la práctica.
- Requieren de variables de entrada fáciles de obtener de inventarios forestales convencionales.
- Permiten añadir información adicional al diagrama siempre que ésta pueda expresarse en función de la variable del eje de las ordenadas (normalmente el “número de árboles”) y de las abcisas (la “altura dominante”).
- Se crean independientemente de la variable edad, a veces difícil de conocer en rodales naturales.
- Permiten simular distintas alternativas de gestión, complementando a las tablas de producción de la selvicultura media observada. Así, se fija una meta productiva y se seleccionan combinaciones de espaciamiento inicial y claras para lograr el objetivo (Cameron, 1988; Chauchard, 2001).
- Permiten una rápida elaboración de esquemas de claras para diferentes objetivos de gestión (Dean y Baldwin, 1993).

Aunque el objetivo más común en el empleo de los diagramas de manejo de densidad es la producción de madera (como en el ejemplo que se desarrolla más adelante en este trabajo) pueden igualmente emplearse para cualquier variable no productiva siempre y cuando ésta pueda relacionarse con el número de pies por hectárea y la altura dominante, pudiendo además incluirse en su expresión cualquiera de las otras que aparecen en el diagrama (Dean & Baldwin, 1993). Su estructura está compuesta por un índice de densidad y dos ecuaciones que relacionan el diámetro medio cuadrático ( $d_g$ ) y el volumen de masa ( $V$ ) con la densidad ( $N$ ), la altura dominante ( $H_0$ ) y el diámetro medio cuadrático.

## Relación entre los DMD y las Tablas de Producción

Los diagramas de manejo de densidades (DMD) son herramientas selvícolas similares a las tablas de producción pero con formato gráfico. Lo que los diferencia de las tablas es que no presuponen ninguna evolución de la densidad, sino es el usuario quien fija el esquema de claras y lo dibuja sobre el gráfico, leyendo así directamente los valores que le puedan interesar. Tablas de producción y DMD proporcionan resultados similares si se construyen con las mismas ecuaciones para hallar el diámetro medio cuadrático y el volumen. Actualmente en España, ambas herramientas son las más avanzadas que podemos elaborar para especies con las que solo se cuenta con un único inventario de las redes de parcelas como ocurre para *Quercus ilex* subsp. *ilex*.

## Concepto de densidad en los DMD

Según Zeide (2004), la densidad es una de las pocas características de un rodal forestal que se puede controlar de manera eficiente y rentable. Si se gestiona esta variable mediante la densidad inicial de establecimiento y las claras posteriores, se estará controlando el espacio disponible para el crecimiento de los árboles (Newton, 1997).

Influenciada por factores de carácter biológico, tecnológico y/o económico, la densidad es una variable difícil de determinar dentro de un rodal. Productivamente hablando, la alternativa selvícola más apropiada será siempre la que nos permita el máximo aprovechamiento del rodal. Por ello hay que distinguir entre el límite superior (el nivel de densidad a partir del cual se produce mortalidad por competencia) y el inferior (cuando los individuos de un rodal desarrollan su máxima capacidad de crecimiento, y por tanto, productiva).

Estos son a veces difíciles de establecer, pues representan un compromiso entre el máximo crecimiento de la masa y el máximo crecimiento del árbol individual y su vigor (Long, 1985) y son por ello uno de los puntos más difíciles en la gestión de un rodal (Davis, 1966).

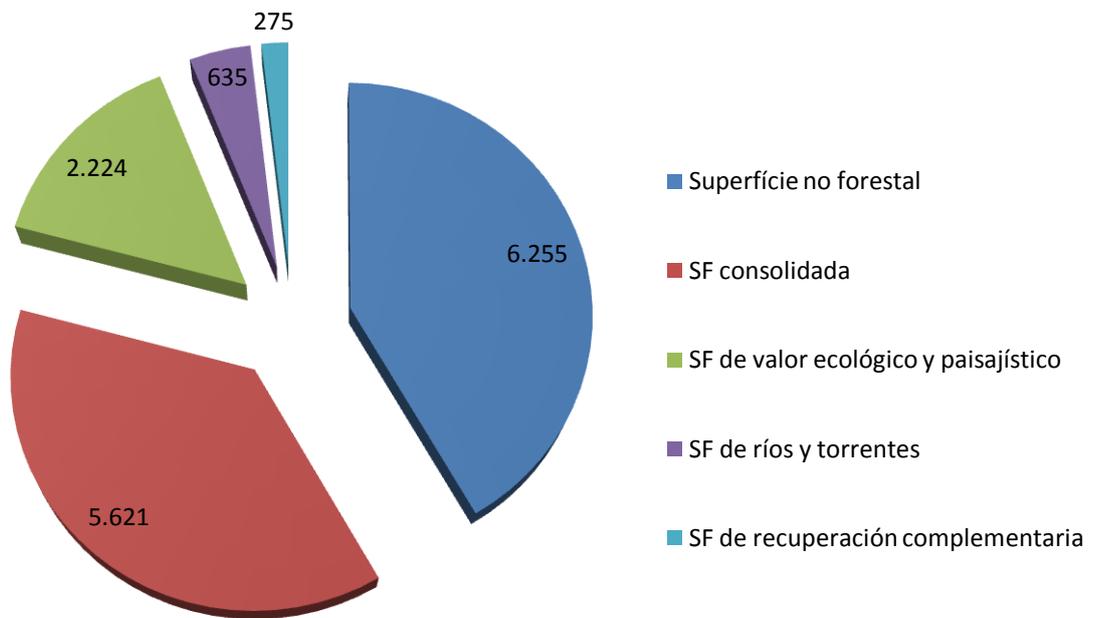
### **Caso práctico de aplicación del DMD**

Para calcular el crecimiento y la producción de un rodal en un momento dado aplicando el diagrama es imprescindible que se disponga de la información requerida de un par de las siguientes variables: número de pies por hectárea, altura dominante, diámetro medio cuadrático y volumen; ya que combinadas en el diagrama permiten hallar el resto. Normalmente en este juego de parejas tan solo intervienen las tres primeras variables, pues el volumen es generalmente la variable de producción que se pretende estimar y por tanto se extrae de su observación en el diagrama. Lo más extendido es establecer un diámetro medio cuadrático y una altura dominante finales a las que se quiere llegar según los intereses productivos que se tengan, y a partir de estos determinar el resto de las variables.

En este proyecto se desarrolla el planteamiento de un supuesto régimen de claras que sigue a un objetivo específico de producción de madera para aserrío. Para determinar el esquema de claras a establecer se tendrán en cuenta dos factores: el futuro que se quiere alcanzar para ese rodal y los límites superior e inferior de la densidad de éste. La frecuencia de las mismas, por lo menos desde una perspectiva biológica, debe ser definida por el crecimiento en altura dominante (dependiente de la especie y la calidad de estación) y por el espaciamiento inicial de la plantación (Pita, 1991), tomados en consideración en este proyecto como se verá más adelante.



Por lo que a la superficie respecta, la finca se extiende un total de 15.010 ha. Estas pueden dividirse en superficie no forestal (zonas urbanizadas, vías de acceso, conreos, etc.) y superficie forestal (SF) la cual se distribuye de la siguiente forma:



**Figura 3.2.** Gráfico representativo de la repartición de la superficie del Parque Montnegre y Corredor

### Situación legal y administrativa

Hace cerca de veinte años que el Parque del Montnegre y el Corredor se dispuso bajo un Plan especial creado con objetivo de proteger, conservar y mejorar el medio físico y rural de los sectores del Sistema Litoral Catalán.

Este Plan especial se desarrolló en aplicación a lo que se dispone en el artículo 17 de la Ley de Suelos del 9 de Abril de 1976, relacionado con el artículo 76 de su Reglamento de Planificación y el artículo 5 de la Ley de Espacios Naturales del 6 de Junio de 1985.

La síntesis de éste era y es establecer unas normas que preserven la configuración geológica, la flora, fauna y ecosistemas que forman el Parque, así como la ordenación del uso público de ocio y el fomento del conocimiento y respeto del medio físico y rural de la población que no reside en el Parque. Desde una perspectiva urbanística, el Plan buscaba homogeneizar el tratamiento actual del territorio substituyendo las normas de planificación especial vigentes.

Recientemente, se admitió la necesidad de revisar los contenidos del Plan especial existente, con la finalidad de adaptarlo a las circunstancias socioeconómicas y territoriales actuales, así como a las disposiciones legales y normativas surgidas desde la fecha de aprobación del Plan inicial.

De este modo se verá modificado en parte su objetivo general, siendo éste “establecer las determinaciones y directrices necesarias para garantizar la protección, consolidación, fomento y mejora de los valores naturales, paisajísticos y culturales del Parque, de forma compatible con el aprovechamiento sostenible de los recursos y el uso social de este espacio”.

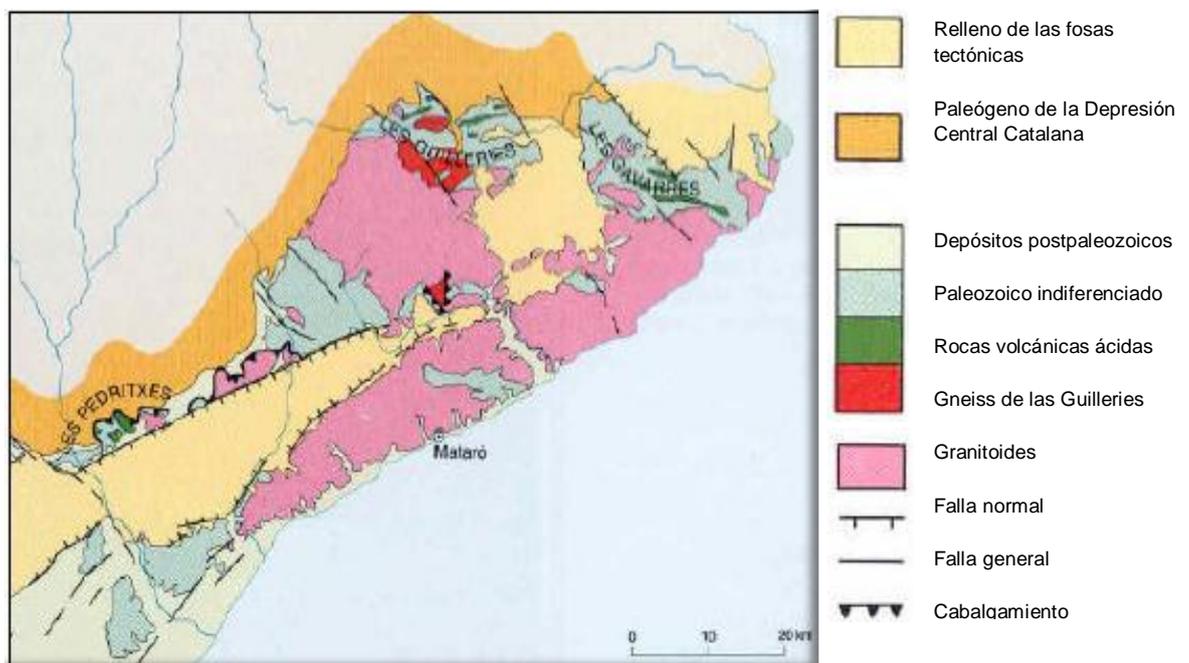
### **Geografía**

El nombre del Parque proviene de los dos macizos que lo forman, el Montnegre (773 m) y el Corredor (657 m). Ambos son dos alineaciones de fallas de orientación NE-SO paralelas al mar mediterráneo que constituyen un conjunto de bloques hundidos (graben) separados por bloques elevados (horst) bien definido. Los dos conjuntos montañosos están formados fundamentalmente por un gran zócalo granítico atravesado por rocas filonianas que, sometido a las condiciones de humedad ambiental y a las temperaturas relativamente cálidas del lugar tiende a disgregarse formándose así la arenisca que le da al macizo del Corredor el aspecto del relieve suave y redondeado. En contraste, los materiales pizarrosos que forman el Montnegre le otorgan un carácter marcadamente más abrupto.

## Geología

Las rocas que forman estas dos sierras se crearon durante la era paleozoica y provienen de sedimentos finos y arcillosos que se fueron erosionando. Estos sedimentos se vieron sometidos a metamorfosis, convirtiéndose en las pizarras que actualmente afloran en diversos puntos. Un origen similar tuvieron las rocas calcáreas del lugar, aunque estas se formaron en un ambiente más superficial por precipitación del carbonato cálcico.

La estructura actual de la Cordillera se definió principalmente a lo largo del ciclo alpino, durante el cual se alzaron los dos bloques que, por una sucesión de fases de tectónica distensiva, dieron lugar a las sierras costeras que tenemos hoy. El moldeado de su perfil final se desarrolló durante el cuaternario por acción de las glaciaciones y de los períodos en los que los materiales quedaron al descubierto a merced de los procesos erosivos.



**Figura 3.3.** Marco geológico regional de la zona de estudio. (Fuente: *Santanach et al. (1986)*).

## Edafología

Ambos macizos se encuentran desarrollados fundamentalmente sobre tres tipos de materiales:

### - Sustrato granítico

Altamente meteorizados en muchos puntos, creándose así la arenisca que forma los suelos de la mayoría de los bosques y campos agrícolas. Su estructura es simple, con un perfil de tipo A-C, y la materia orgánica está directamente sobre la arenisca. Éstos, ocupan la extensión mayoritaria y se concentran principalmente en zonas de montaña. Se clasifican dentro del orden de entisuelos según la *Soil Survey Staff (SSS) (1975-1989)*, como xerortents según su régimen de humedad xérica, y en regosuelos siguiendo la clasificación de la FAO (1974-1989).

### - Sustrato metasedimentario

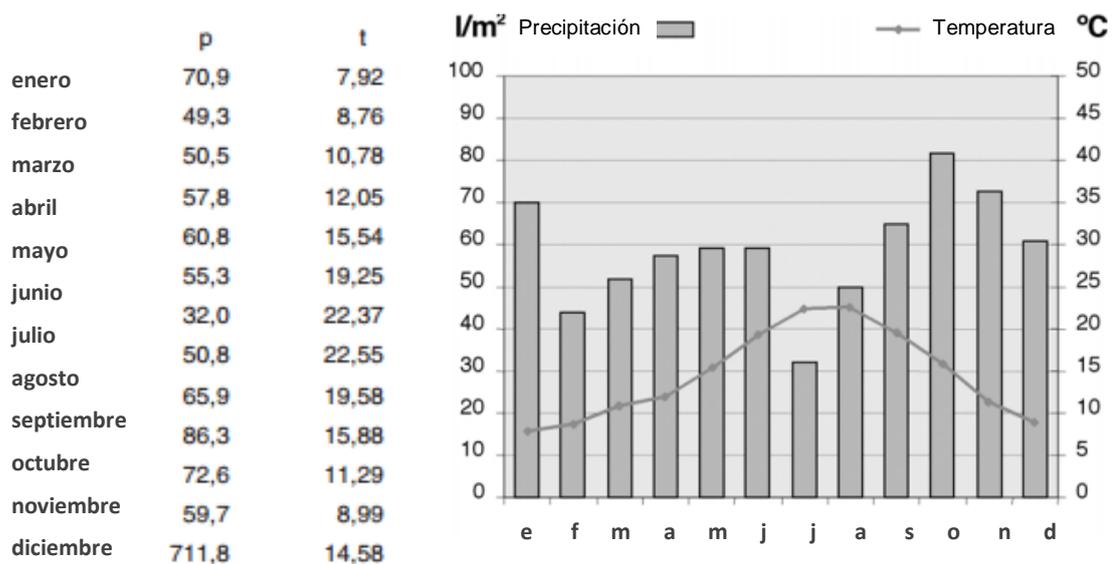
Este tipo de sustrato es el que se forma por el conjunto de rocas metamórficas paleozoicas que aparecen en forma de fajas por las zonas de pendiente más acusado y con un recubrimiento vegetal escaso. Su perfil responde a la nomenclatura A-C-R y corresponde a los xerortents.

### - Sustrato detrítico cuaternario

El origen de estos es la disgregación de los granitoides en las bases de las pendientes, fondos de valle y la desembocadura de riveras. Se trata por tanto de materiales transportados con bajo contenido en materia orgánica. Su perfil es poco evolucionado y predominan los entisuelos con un horizonte superficial cultivado de tipo Ap-C. Según su régimen de humedad son xerortents y corresponden a fluvisols para la FAO. La textura moderadamente grande de estos suelos disminuye notablemente su capacidad de retención de agua, lo que se hace manifiesta con períodos de estrés hídrico durante el verano.

## Climatología

El clima en el Parque presenta variaciones notables que hacen que se distingan dos zonas climáticas. Las tierras interiores son más frías y húmedas, y presentan un cierto carácter continental; mientras que las laderas orientadas hacia el mar registran temperaturas más suaves y un régimen torrencial de lluvias y chubascos que a menudo provoca avenidas en las zonas más bajas del Maresme. Los inviernos muestran episodios puntuales de frío intenso, registrándose anualmente un mínimo de 30 mediciones bajo cero. En contraste, los veranos son moderadamente calurosos y no faltos de precipitaciones estivales (Bombí, 2004).



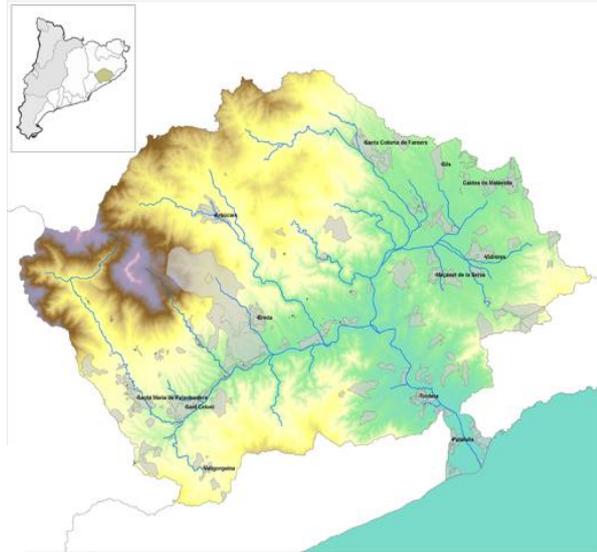
**Figura 3.4.** Diagrama correspondiente a la serie de datos de la estación de Collsacreu, del 1976-2003

(datos cedidos por el Dr. Oriol Riba). (Fuente: [www.diba.cat](http://www.diba.cat))

En cuanto a la pluviosidad, presenta una buena distribución anual y alcanza una media de 800 mm/año, registrándose en el área del Montnegre unas precipitaciones entre 800-900 mm y en el Corredor son de 600 mm anuales.



Aunque no deja de llevar agua todo el año (cabal medio de 5,65 m<sup>3</sup>/s hasta 10 m<sup>3</sup>/s en algunas épocas del año), su régimen es típicamente pluvial y se caracteriza por una circulación torrencial debido a las fuertes pendientes del relieve, con aguas turbulentas de elevado poder erosivo y de transporte. Por el contrario, en los cursos más bajos donde la corriente es suave, destaca por su elevada capacidad de sedimentación, generándose así un delta fluvial. Son también típicas las inundaciones de sus márgenes en épocas de caudal abundante.



**Figura 3.6.** Cuenca hidrográfica de Tordera

(Fuente: [www.gencat.cat](http://www.gencat.cat))

- La cuenca del Maresme:

Corresponde a un conjunto de subcuencas individuales dentro de una zona orográfica común. Las rieras que forman esta cuenca nacen entre los macizos en grandes pendientes, siendo de recorrido corto e intermitente, permaneciendo secas casi todo el año. El coeficiente de percolación medio del Maresme es de 0,47. Las rieras pueden clasificarse en rieras antiguas, siendo las mayores (con cuencas entre 10-80 km<sup>2</sup>), mixtas (no más de 10 km<sup>2</sup>) o residuales, estas últimas poco importantes y actuando prácticamente como drenajes locales (Pavón, 2009).

## Vegetación

La ubicación geográfica, litología y climatología del lugar condicionan la diversidad vegetativa que se aprecia en el Parque, mostrándose una diferencia entre las laderas de interior y las orientadas al Mediterráneo. Éste, proporciona un suplemento de humedad que permite una vegetación más exuberante y rica en variedad de especies centroeuropeas e incluso atlánticas, con una remarcable riqueza florística compuesta por más de 1000 especies de plantas superiores.

El bosque potencial es encinar (*Quercus ilex* subsp. *ilex*), con presencia de caducifolios de carácter mediterráneo como alcornoques (*Quercus suber*), pinares, maquias, coscojales, brollas, praderas y conreos. Aunque la máxima altitud de estas montañas es de 759 m, hay definido un estrato de quejigo andaluz (*Quercus canariensis*), con desarrollo de bosques caducifolios húmedos en las partes más sombrías: avellanos (*Corylus avellana* L.), chopos (*Populus tremula* L.) y cerezos (*Prunus avium* L.).

Allí donde se encuentran acuíferos cercanos o el agua circula más superficial la vegetación es claramente de ribera, con presencia de alisos (*Alnus glutinosa*), fresnos (*Fraxinus excelsior*), olmos (*Ulmus minor*) o sauces.

Cabe destacar la importancia de la mano del hombre en la introducción en esta área de los pinares de piñonero (*Pinus pinea* L.) y las poblaciones de eucaliptus (*Eucalyptus globulus* Labill.), así como su indiscutible intervención en las recientes repoblaciones de pino insignie (*Pinus radiata*) y pino resinero (*Pinus pinaster*), o el favorecimiento de los alcornoques (*Quercus suber*) predominantes en muchas valles o los castaños (*Castanea sativa* Miller) presentes en las umbrías vertientes (Panareda, 1980). Esto le da al paisaje actual un aspecto de mosaico.

## Características culturales

La encina habita generalmente en zonas costeras o subcosteras de clima mediterráneo templado y ligeramente húmedo, a una altitud desde el nivel del mar hasta los 1600 m.

Vive en zonas con una temperatura media anual mayor a 10 °C, soportando temperaturas extremas de gran continentalidad. Los mejores encinares son aquellos que aparecen siempre en climas templados. En lo relativo a las precipitaciones, puede vivir en zonas que oscilan entre los 600-1200 mm anuales, aunque el mínimo requerido para que se produzca fructificación es mayor a 600 mm. Cabe destacar que esta especie es muy resistente a la sequía, la sequedad ambiental y al calor.

En cuanto a exposición, es indiferente aunque prefiere colinas poco elevadas.

Vive en suelos bien drenados sobre sustratos calcáreos o silíceos, exclusivamente básicos, de pH mayor a 6 y pobres en nitrógeno. Es una especie mejoradora de los suelos y los prefiere sueltos y profundos.

Es una especie de luz a media luz, aunque soporta sombra. En climas templado-cálidos, las plántulas requieren de protección sombría los primeros años. Forma masas densas y convive bien con las demás especies de su área.

## Usos

Su madera es dura, imputrescible y resistente, de buena calidad pero poco empleada al no tener troncos de gran fuste y tratarse de una especie de crecimiento lento. Además es difícil de trabajar, por lo que se emplea escasamente para fabricar herramientas que tengan que soportar gran rozamiento, dada su rudeza y capacidad de resistencia a la humedad.

Mientras que las actividades de carboneo desaparecieron con la llegada de los combustibles fósiles, aún se mantiene una cierta extracción de leña para consumo doméstico, ya que tiene un alto poder calorífico y su combustión es muy lenta.

En muy pocas ocasiones se emplean los frutos de *Quercus ilex* subsp. *ilex* para la alimentación de los cerdos, para producir posteriormente el preciado jamón serrano o jamón de bellota, dado que su sabor es amargo. Para ello se trabaja con *Quercus ilex* subsp. *ballota* que tiene el fruto dulce.

Un uso especial es el aprovechamiento de los taninos de su corteza en el tratamiento de enfermedades digestivas e infecciones cutáneas, así como para el curtido de cuero. Para consumirlas como alimento son muy astringentes, por lo que deben ser cocidas varias veces para eliminarlos o mantenerlas sumergidas en un estanque. Secas y molidas se emplean para hacer harina y mezcladas con otros cereales para fabricar pan. Tostadas se usan a modo de café.

Hasta la década del 1950, se llevó a cabo en el Parque del Montnegre y el Corredor un aprovechamiento intenso para el carboneo y la leña, predominando los encinares despejados, bajos y con numeroso matorral. Estos aprovechamientos y los desbroces periódicos condujeron con el tiempo a un bosque monoespecífico, constituido básicamente por encinas. Desde esta época, el aprovechamiento de estos bosques ha sido escaso, motivo por el cual la regeneración natural ha conducido a formaciones más densas, altas y continuas.

### **Selvicultura**

Como ya se ha comentado anteriormente, la encina es una especie de luz (media luz en las regiones más continentales) por lo que necesita de espacios con poca cubierta vegetal para regenerar de manera natural. Su temperamento es robusto, amplio y de elevada variabilidad y sus plántulas necesitan de protección como mínimo los 2-3 primeros años de vida.

El crecimiento de esta especie es sumamente lento, alcanzando hasta 25 m y es muy longeva si su gestión es adecuada (400-800 años). Por ello en monte alto los turnos van de los 100-200 años, mientras que para leña van de los 8-12 años.

Regenera por semilla y por brotes de raíz o cepa. Aunque fructifica todos los años, presenta vecería cada 2-3 años, o más si se encuentra en climas fríos. El tratamiento más generalizado para lograr la regeneración es la formación de bosquetes o fajas, permitiendo esto que la luz entre directamente al bosque. Suele preferirse la siembra de las semillas directamente en el terreno que el trasplante, ya que no es una especie que responda bien a los cambios de sustrato, provocando esto un elevado porcentaje de marras.

### ***Quercus ilex subsp. ilex* en el Parque del Montnegre y el Corredor**

El bosque más extendido en el Parque es sin duda el encinar. Es difícil imaginarse cómo serían estos sin la intervención secular del hombre.

Actualmente, los encinares del Parque pueden agruparse en dos grandes grupos en función de la topografía, suelo, clima y aprovechamiento humano:

- Encinar de montaña: en las laderas más altas donde las temperaturas son más bajas y la humedad más elevada se forma este bosque pobre en especies mediterráneas y rico en hierbas perennes y arbustos caducifolios. Es un tipo de encinar poco homogéneo debido a la topografía.
- Encinar con durillo (*Viburnum tinus*): bosque multiestratificado y denso con predominio de árboles y arbustos de carácter esclerófilo. Presente en los parajes más secos y soleados del Parque.

En el Montnegre y el Corredor el encinar con durillo tiene diversas variantes según el clima y el suelo:

- Encinar con durillo y lentisco (*Pistacia lentiscus*): el más rico en arbustos altos y lianas. Es necesario desbrozarlo periódicamente para que no evolucione para bosques más densos y monoespecíficos.
- Encinar con madroño (*Arbutus unedo*): cuando el aprovechamiento forestal ha sido muy intenso, por lo que la presencia de encina es escasa.
- Encinar con adianto negro (*Asplenium adiantum-nigrum*): en los parajes más sombríos se da este encinar pobre en arbustos mediterráneos. Se hallan en él muchas de las plantas típicas de los encinares montañosos.
- Encinar con hiedra (*Hedera helix*): cuando el encinar se vuelve tan denso y con ello el sotobosque tan oscuro que pocas son las especies que sobreviven en estas condiciones.
- Encinar con roble (*Quercus pubescens*): se da en los parajes más frescos.
- Encinar con alcornoque (*Quercus suber*): pueden ser alcornocales puros o plantados. Tanto por la situación topográfica como por los desbroces regulares, estos bosques mantienen una estructura característica distinta a los demás, más abiertos y despejados.

## — 2. OBJETIVOS —

## OBJETIVOS

El objetivo principal del presente proyecto es la:

- Elaboración de un diagrama de manejo de densidad para masas regulares de encinares (*Quercus ilex* subsp. *ilex* L.) presentes en el Parque del Montnegre y el Corredor, con establecimiento de una planificación del régimen de claras posible desarrollado en función de las necesidades manifestadas por la Diputación de Barcelona.

Nace, por tanto, de la necesidad por parte de los gestores de las masas de encina (*Quercus ilex* subsp. *ilex* L.) del Parque Natural del Montnegre y el Corredor de conocer los procesos de desarrollo de dichos encinares para facilitar la selección de las mejores alternativas de gestión y su intención es aportar nueva información que pueda aplicarse satisfactoriamente en la gestión que se está llevando a cabo sobre estas masas en el mencionado parque.

Es la primera vez que se desarrolla un diagrama de manejo de densidad para masas de *Quercus ilex* subsp. *ilex* L. debido a que no están muy establecidos en la silvicultura española, además de la baja presencia y el escaso rendimiento económico que puede extraerse de estos encinares en nuestro país. Hasta la fecha han sido publicados diversos trabajos referentes a estas masas sobre producción de biomasa y otras a aspectos ecológicos. Así, Canadell et al. (1988) establecieron ecuaciones de biomasa para la encina del macizo del Montseny. Caritat y Terradas (1990) analizaron los ciclos de micronutrientes. Lledó et al. (1992) describieron la estructura y producción en biomasa de los montes bajos de encina de Prades.

Aunque el objetivo más común en el empleo de los diagramas de manejo de densidad es la producción de madera (como en el ejemplo que se desarrolla más adelante en este trabajo) pueden igualmente emplearse para cualquier variable no productiva siempre y cuando ésta pueda relacionarse con el número de pies por hectárea y la altura dominante, pudiendo además incluirse en su expresión cualquiera de las otras que aparecen en el diagrama (Dean & Baldwin, 1993).

# 3. MATERIAL Y MÉTODOS

---

## MATERIAL Y MÉTODOS

### Inventario. Criterios selectivos de las parcelas

Para la realización de este proyecto se buscó inventariar encinares regulares para una futura gestión selvícola más cómoda, que presentaran distintas densidades y calidades para cada clase de edad. Esto llevó por tanto a buscar intencionadamente rodales que permitieran reproducir la evolución en el tiempo de dichos requisitos. Para ello se tuvieron en notable consideración los conocimientos de los guardas del Parque sobre la zona, así como del ingeniero de la Diputación de Barcelona, también buen conocedor del área de estudio.

La primera dificultad surgió al pretender hallar rodales representativos de todas las clases de edad, hecho imposible como consecuencia de las técnicas de aprovechamiento a las que se vieron sometidas estas masas a mediados del siglo pasado. Por esta razón se centró el estudio en rodales que mostraran densidad media-alta y sin claros en su interior, determinando los rangos de edad a inventariar en función del ciclo productivo de la especie.

Dada la poca disponibilidad temporal para realizar el inventario se decidió que las parcelas fueran temporales, ya que sustituyen la sucesión temporal de datos de las parcelas permanentes por una serie espacial de diferentes estados de desarrollo, lo que supone una solución rápida y muy empleada en España. Las parcelas temporales se instalan, para la especie y contexto estudiado, en masas de todas las edades, calidades de estación y densidades, y se inventarían una sola vez. Por tanto, representan un conjunto de distintos estados de la masa medidos puntualmente. Así, una parcela permanente, con medidas sucesivas, se sustituye por varias temporales (Assmann, 1970; Madrigal, 1991).

Con una red suficientemente extensa de parcelas temporales (Decourt, 1964) pueden elaborarse buenas tablas de producción, siendo necesarias entre 50 y 100 parcelas temporales (Madrigal, 1991), hecho comprobado en tablas realizadas en Francia (Vannièrè, 1984) o Gran Bretaña (Hamilton y Christie, 1971). Aunque a mayor ámbito geográfico más parcelas se necesitarán para asegurar la representatividad de la muestra.

### **Selección de las parcelas**

Desde la Diputación se realizó una preselección de las zonas más interesantes donde establecer las parcelas a partir de la información obtenida por la cartografía y las fichas de actuación de los rodales del Plan Técnico de Gestión y Mejora Forestal. Para ello, se tuvieron en cuenta una serie de criterios limitantes que acotaron notablemente el número de parcelas posibles. Cartográficamente se tuvieron presentes la altitud, la orientación, la pendiente y el material geológico. Eran de obligado cumplimiento para las parcelas los siguientes requisitos:

- Presencia de *Quercus ilex* subsp. *ilex* como especie principal.
- Superficie de la parcela de 10 m de radio.
- Linde de la parcela a un mínimo de 10 m de cualquier elemento limitante (terrenos abiertos, construcciones, caminos, líneas eléctricas, etc.).
- Inexistencia de actuaciones o daños importantes en los últimos 10 años.
- Presencia nula de prácticas de selección negativa.

Una vez escogidas sobre papel un total de 85 parcelas que cumplieran con estos requisitos se acudió a campo para comprobar si cumplían con los requisitos anteriormente nombrados y decidir, así si se aceptaban o descartaban.

Se siguió un recorrido preestablecido para ahorrar en tiempo y se anotó con GPS (*Geographic Positionement System*) las coordenadas UTM (X, Y, Z) de un punto situado en el centro de las mismas, con un error aproximado de 3 m.

Se decidió que las parcelas fueran circulares debido al denso sotobosque con el que había que paliar en ocasiones y la elevada pendiente y la complicada fisiografía del terreno en algunas de ellas. Al contrario que las parcelas cuadradas o rectangulares, las circulares evitan el efecto límite (Pardé y Bouchon, 1980) y resultan más fáciles de identificar en posteriores inventarios porque solo es necesario situar el centro. En nuestro caso, éste se marcó anudando una cinta plástica de color flúor alrededor del arbusto (o árbol en su defecto) que estuviera ubicado en el punto central del área de estudio.



**Figura 3.1.** Ejemplo de parcela inventariada en el Parque del Montnegre y el Corredor donde se observa la dificultad para el libre movimiento por ella (Fuente: Jordi Jürgens).

Cabe destacar la precisión en la preselección cartográfica de las parcelas, pues una vez en campo fueron pocas las que se descartaron o replanteó su posición para asegurar los 10 m de distancia de cualquier elemento limitante y quedaron finalmente un total de 77.

### Inventariación en campo

Al llegar a la parcela se realizaba una breve descripción de la zona donde se apuntaba la posición topográfica, la altitud y la pendiente, y una caracterización de la masa en la que se citaba la vegetación existente y su densidad.

Seguidamente se procedía con el inventario diamétrico para el que se fijó un perímetro mínimo inventariable de 14 cm. Con una cinta métrica se comprobaba esta restricción y en caso de cumplirla se medía el diámetro del árbol a altura normal (1,30 m). Ya tomado el dato se marcaba el pie con tiza blanca por el costado que quedara mirando a la persona que anotaba los datos, para que así ésta pudiera visualizar los pies que faltaban por marcar. Una vez anotados todos los diámetros se proseguía a medir la altura de tres pies por parcela mediante el empleo de un *Blume-Leiss*. Estos pies se escogían a partir de sus diámetros, eligiendo un árbol representativo de cada categoría de diámetro: pequeño, mediano y grande.

Los datos se recopilaron en una plantilla *Excel*, anotando para cada pie su perímetro, diámetro, altura y volumen. Se estimaron el diámetro medio cuadrático y la densidad de cada parcela. Las alturas del resto de árboles se extrajeron de la siguiente ecuación (Sánchez-González y Jürgens, 2013):

$$h = 1,30 + e^{(a+b \cdot \log(dg) + c \cdot \log(N) + f \cdot \sqrt{dn})} \quad [3.1]$$

Siendo:  $h$  = altura por pie (m),  $d_g$  = diámetro medio cuadrático (cm),  $N$  = número de pies por hectárea,  $d_n$  = diámetro normal a 1,30 m por pie (cm) y los parámetros  $a=-1,7079$ ,  $b=0,6157$ ,  $c=0,1714$  y  $f=0,2350$ .

Posteriormente, se calculó para cada pie el volumen de éste aplicando la siguiente ecuación (Sánchez-González y Jürgens, 2013):

$$V_{\text{pie}} = (0,017 + 0,36414 * (d_n/100)^2 * h) \quad [3.2]$$

Siendo:  $h$  = altura (m);  $d_n$  = diámetro normal (cm) y  $V_{\text{pie}}$  = volumen por pie ( $\text{m}^3$ ).

Con los valores por pie, se prosiguió a la estimación de las variables de área basimétrica, altura dominante, volumen total y volumen medio por parcela, además de la densidad y el diámetro medio cuadrático que ya teníamos. Esta es la base de datos que se aplicará en el apartado de obtención de las isolíneas.

### Ajuste simultáneo de las ecuaciones

Previa elaboración del diagrama de manejo de densidades se han ajustado simultáneamente las funciones [3.4] y [3.5], dado que las estimaciones son más eficientes si todas las ecuaciones se evalúan en conjunto, creándose así un sistema de ecuaciones donde  $N$  y  $H_0$  aparecen como variables exógenas, mientras que  $d_g$  se muestra como variable instrumental.

Para la realización de este ajuste se ha empleado la sentencia FIML (Full Information Maximum Likelihood) del procedimiento PROC MODEL, disponible en el paquete estadístico SAS/ETS (SAS INSTITUTE INC., 2001).

Con ello se ha conseguido obtener la estimación de los parámetros de regresión que componen las ecuaciones, a la vez que comprobar la significación del ajuste mediante sus estadísticos de regresión.

Los estadísticos analizados son: la raíz cuadrada del error medio cuadrático (RMSE), que calcula la raíz cuadrada de la medida de las diferencias en promedio entre los valores predichos y observados, analizando así la precisión de las estimaciones y el coeficiente de determinación ajustado ( $R^2_a$ ) que es una modificación del coeficiente de determinación ( $R^2$ ) dado que tiene en cuenta el número de variables explicativas.

### **Pautas para la construcción del DMD**

Su estructura está compuesta por un índice de densidad y dos ecuaciones que relacionan el diámetro medio cuadrático ( $d_g$ ) y el volumen de masa ( $V$ ) con la densidad ( $N$ ), la altura dominante ( $H_0$ ) y el diámetro medio cuadrático.

En este estudio se empleará el índice de Hart-Becking ( $IH$ ) para la formación de los diagramas. Fue propuesto por Hart (1928) para plantaciones, más tarde por Becking (1954) como índice de espaciamento y finalmente Beekhuis (1966) lo nombró índice de espaciamento relativo. Se define como la razón - en porcentaje- entre la distancia media de los árboles del rodal y su altura dominante. Su expresión es:

$$IH (\%) = k \cdot \frac{100}{\sqrt{N} \cdot H_0} \cdot 100 \quad [3.3]$$

donde  $k$  es igual a 1 si se asume una distribución de los árboles en malla cuadrada o igual a  $(4/3)^{0,25}$  cuando es una distribución al tresbolillo o triangular típica de rodales naturales. En nuestro caso concreto se asumirá esta última puesto que se asemeja más a la distribución de nuestros rodales.

En el caso de las funciones (Diéguez-Aranda et al. 2009), la primera que se verá en este proyecto permite estimar los coeficientes  $b_0$ ,  $b_1$  y  $b_2$  que se emplearán en la construcción del diagrama, a partir del diámetro medio cuadrático ( $d_g$ ) a partir del número de pies por hectárea ( $N$ ) y la altura dominante ( $H_0$ ) del rodal, y es la siguiente:

$$d_g = b_0 \cdot N^{b_1} \cdot H_0^{b_2} \quad [3.4]$$

Con la segunda estimaremos  $b_3$ ,  $b_4$ ,  $b_5$  y  $b_6$  mediante el volumen del rodal, la altura dominante, el diámetro medio cuadrático y la densidad:

$$V = b_3 \cdot d_g^{b_4} \cdot H_0^{b_5} \cdot N^{b_6} \quad [3.5]$$

En ambas ecuaciones deben figurar las variables número de pies  $N$  (eje ordenadas), y la altura dominante  $H_0$  (eje abcisas).

Para la elaboración del diagrama de manejo de densidades para *Quercus ilex subsp. ilex* se han seguido los siguientes pasos:

- Representar  $N$  en la ordenada (a escala logarítmica) y la  $H_0$  en la abscisa.
- Representar las isólineas del  $IH$ , obtenidas despejando  $N$  y dando valores a la  $H_0$  para cada valor del índice a representar. Su ecuación es la siguiente:

$$N = \left( k \cdot \frac{100 \cdot 100}{IH \cdot H_0} \right)^2 \quad [3.6]$$

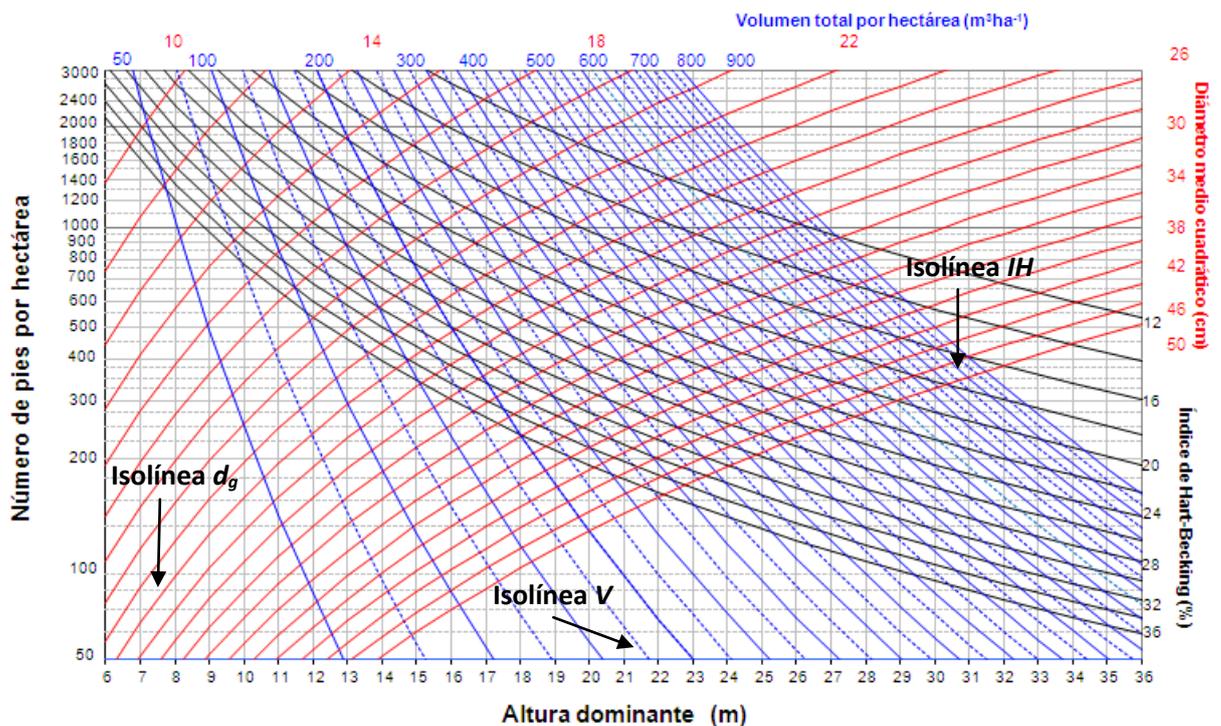
- Representar las isólineas  $d_g$  a partir de la ecuación [3.4], despejando el valor de  $N$  y dando valores a la  $H_0$  para cada valor del  $d_g$  que se quiera:

$$N = \left( \frac{d_g}{b_0 \cdot H_0^{b_2}} \right)^{1/b_1} \quad [3.7]$$

- Representar las isóneas del  $V$  sustituyendo [3.4] en [3.5] y despejando el valor de  $N$  dando valores a la  $H_0$  para cada valor de  $V$  que se quiera:

$$N = \left( \frac{V}{b_3 \cdot b_0^{b_4} \cdot H_0^{b_2 \cdot b_4 + b_5}} \right)^{\frac{1}{b_1 \cdot b_4 + b_6}} \quad [3.8]$$

Una vez se obtienen las expresiones que permiten representar las isóneas de las variables empleadas, éstas se superponen en un diagrama cartesiano, con el número de pies por hectárea en la ordenada y la altura dominante en la abscisa. Y de este modo se obtiene el diagrama de manejo de densidades.



**Figura 4.1.** Ejemplo del aspecto de un DMD para *Pinus pinaster*, con representación en el eje de ordenada de la densidad y en el eje de la abscisa la altura dominante. Pueden apreciarse además las isóneas del volumen de masa, el diámetro medio cuadrático y el índice de Hart-Becking. (Fuente: F. Sánchez).

# 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

---

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la siguiente tabla se muestra un resumen estadístico de la media, mínimo, máximo y desviación estándar de los datos de partida utilizados para realizar el mencionado ajuste:

**Tabla 4.1.** Valores de las variables empleadas en el ajuste simultáneo de las ecuaciones de diámetro medio cuadrático [3.4] y volumen de masa [3.5] para *Quercus ilex subsp. ilex* en el Parque del Montnegre y Corredor.

Variable	Media	Mín.	Máx.	Desv. Stnd
<b>N</b>	1474	381,97	2960,28	568,69
<b>AB</b>	26,36	11,06	49,31	9,08
<b>Dg</b>	15,48	8,59	23,87	3,48
<b>Ho</b>	11,85	7,18	19,05	2,42
<b>V</b>	0,069	0,025	0,16	0,03

**Nota:**  $N$  = número de pies por hectárea;  $AB$  = área basimétrica ( $m^2/ha$ );  $d_g$  = diámetro medio cuadrático (cm);  $H_0$  = altura dominante (m);  $V$  = volumen de masa ( $m^3/ha$ ).

En el ajuste simultáneo de las ecuaciones [3.4] y [3.5] el parámetro  $b_5$  resultó no significativo por lo que se decidió no incluirlo y ajustar la siguiente ecuación de volumen:

$$V = b_3 \cdot d_g^{b_4} \cdot H_0 \cdot N^{b_5} \quad [4.1]$$

Ello implicó la modificación también de la ecuación [3.8] para la obtención de las isolíneas del volumen en el diagrama, transformándose esta en:

$$N = \left( \frac{V}{b_3 \cdot d_g^{b_4} \cdot H_0^{b_2 \cdot b_4 + 1}} \right)^{\frac{1}{b_1 \cdot b_4 + b_5}} \quad [4.2]$$

A continuación se muestran los resultados del ajuste simultáneo del sistema de ecuaciones [3.4] y [4.1]:

**Tabla 4.2.** Estadísticos de evaluación del ajuste simultáneo de [3.4] y [4.1].

Ecuación	Grados de libertad del modelo	Grados de libertad del error	Error raíz media cuadrática	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> ajustada
Dg	3	74	1,0683	0,9141	0,9117
V	3	74	0,000018	0,9808	0,9803

**Tabla 4.3.** Parámetros estimados en el ajuste simultáneo de [3.4] y [4.1].

Parámetros	Estimación	Error estándar	Valor t	P valor >  t
b <sub>0</sub>	4,11203	0,6432	6,39	<0,0001
b <sub>1</sub>	-0,13429	0,0166	-8,11	<0,0001
b <sub>2</sub>	0,927087	0,0526	17,62	<0,0001
b <sub>3</sub>	0,0004	0,00017	5,29	<0,0001
b <sub>4</sub>	1,430951	0,0499	28,69	<0,0001
b <sub>6</sub>	0,940978	0,0320	29,38	<0,0001

Como puede observarse en la tabla, los resultados del ajuste muestran un buen rendimiento para ambas ecuaciones, con una elevada precisión y una significación de todos sus parámetros a un nivel del 1%, por lo que se dieron por válidos estos coeficientes y con ellos se ha trabajado para la obtención de las isolíneas.

Se ha elaborado el diagrama de manejo de la densidad superponiendo las isólineas de  $H_0$ ,  $V$  e  $IH$  en un gráfico de dispersión y se ha marcado sobre éste el esquema de claras según el objetivo fijado. Los diagramas obtenidos son:

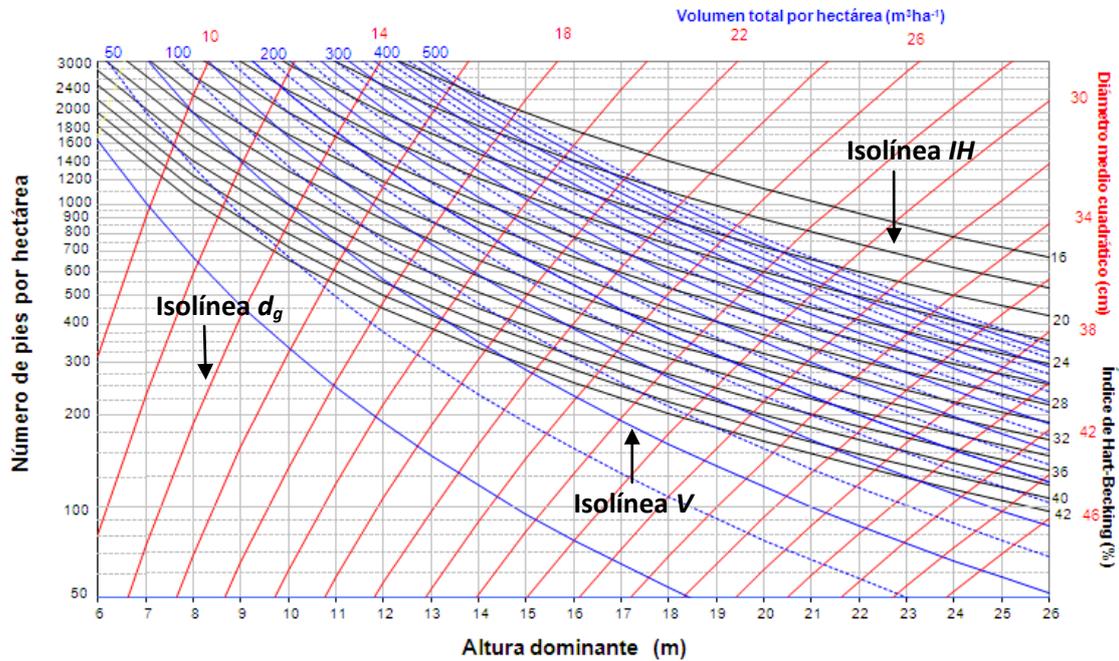


Figura 5.1. Diagrama de manejo de densidad para *Quercus ilex* subsp. *ilex* con las isólineas de  $V$  (azul),  $d_g$  (rojo) e  $IH$  (negro).

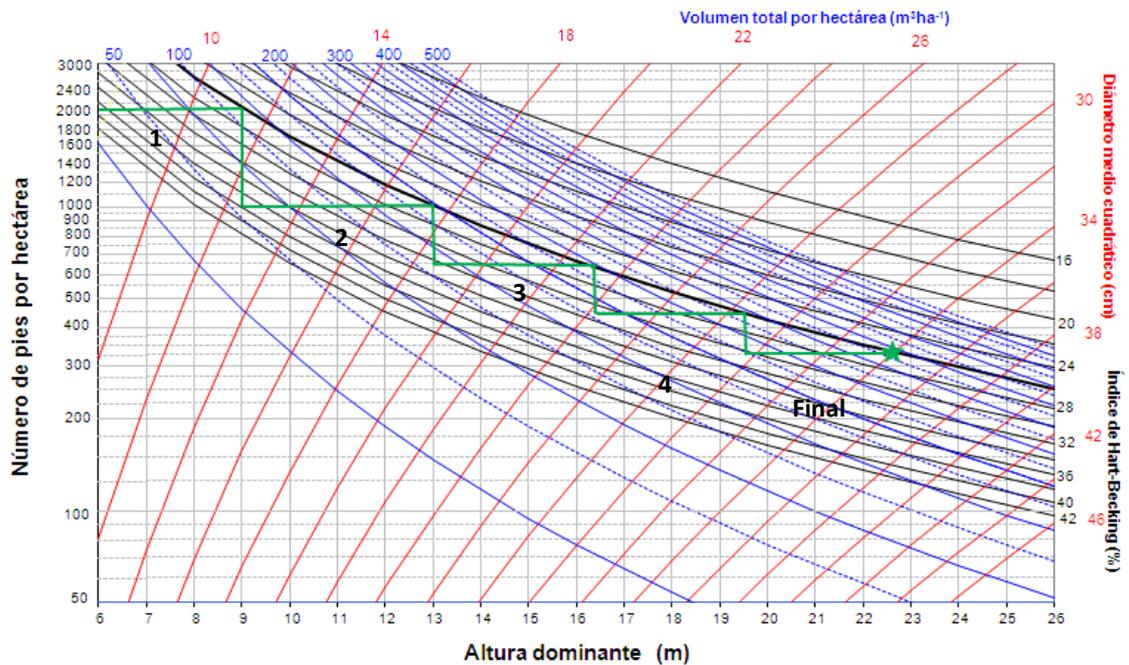


Figura 5.2. Esquema de claras (escalera color verde) hasta alcanzar el objetivo final (estrella) con las claras numeradas (números en naranja) para *Quercus ilex* subsp. *ilex*.

Tomando el segundo diagrama como objeto de nuestra discusión, se observa que los rangos del eje de la densidad se han establecido entre 50-3000 pies por hectárea respondiendo a que se trata de una especie de *Quercus* de densidades máximas no muy elevadas y los de la altura dominante entre 6 y 26 m, puesto que el porte máximo para la encina se establece en los 25 m de altura.

Es común para esta especie necesitar de un buen espaciamiento si se pretende conseguir pies de buen diámetro. Por ello, se ha decidido establecer el límite superior de densidad al correspondiente a un valor del de Hart-Becking del 26%, siendo este valor bajo si se compara con otras especies como por ejemplo *Betula alba* (33%) o *Pinus pinaster* (35%) (Diéguez-Aranda, 2009). Mantener densidades relativas por debajo de un 16% no es recomendable ya que en esta zona se produce una alta mortalidad natural por competencia, la tasa de crecimiento del rodal es mínima y los rodales que se manejen sobre esta densidad relativa demorarán más años en alcanzar el bosque meta. Con densidades de manejo entre el 26% y el 30-32% de índice de densidad se logra maximizar la producción de madera de sierra. Por su parte, ubicar rodales en densidades relativas superiores al 40% significa una subutilización del sitio y máximos crecimientos a nivel de árbol. Expresado en otros términos, se desaprovecha el espacio dejando una excesiva distancia entre pies perdiéndose así capacidad productiva.

Por otro lado, para que las claras sean realizadas en un momento adecuado se ha decidido emplear el criterio de realizarlas cuando los pies crezcan en altura dominante entre 3-4 m, siendo esto aproximadamente cada 7-8 años y respetándose de este modo que la primera de ellas tenga lugar alcanzado el tamaño de latizal. La isolínea de la altura nos permite realizar una mejor proyección de las intervenciones propuestas, puesto que si se dispone de las curvas de calidad de estación y el índice de sitio, esto puede combinarse con los diagramas mediante funciones de altura dominante/edad, pudiéndose determinar la edad de la corta final.

Teniendo presentes las anteriores consideraciones se ha realizado el régimen de claras (escalera verde ascendente hacia atrás) desde el punto objetivo del aprovechamiento (estrella verde). Los segmentos verticales se identifican con la realización de la clara, representando los horizontales el intervalo que transcurre entre claras, considerando que no se produce mortalidad por competencia después de la clara y por ese motivo se mantiene constante la densidad hasta la siguiente intervención. Obviamente existe la posibilidad de mortalidad fruto de otros factores como enfermedades, plagas y/o meteorológicos, escapando ello a la capacidad de predicción del diagrama.

En el caso práctico de este DMD para *Quercus ilex* subsp. *ilex* se ha planteado un aprovechamiento tecnológico de la madera para aserrío, estableciendo el régimen de claras en función de éste. Nuestro interés concreto sería lograr pies con un diámetro mínimo de 30 cm y superior, destinándose los que se encontraran por debajo de estos valores para leña, buena para ello gracias a su lenta combustión y a que un m<sup>3</sup> de esta madera contiene más Kcal que muchas otras.

Partiendo entonces del propósito de obtener árboles de buenas dimensiones, se ha fijado un objetivo de corta final en un diámetro medio cuadrático de 34 cm y una altura dominante de 22-23 m.

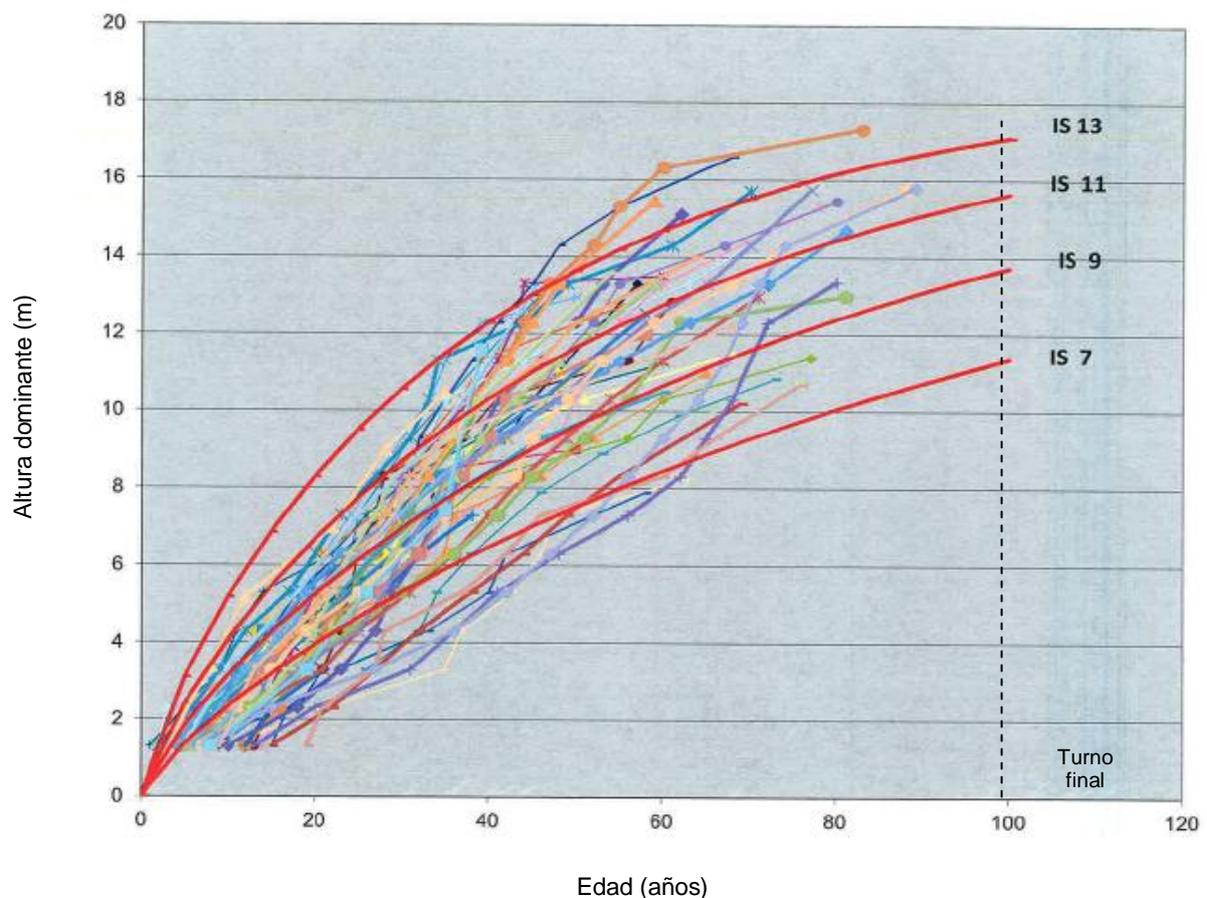
Mediante el diagrama puede obtenerse el valor de las demás variables tanto gráficamente como de forma calculada. A modo de ejemplo, tomando el punto de objetivo final marcado en el diagrama con la estrella correspondiente a un diámetro medio cuadrático de 34 cm y una altura de casi 23 m, obtenemos que el número de pies por hectárea y el volumen deben ser respectivamente:

$$d_g = b_0 \cdot N_1^b \cdot H_0^b = [34 / (4,11 \cdot 22,5^{0,93})]^{1/0,134} \rightarrow N \approx 320 \text{ pies/ha} \quad [4.10]$$

$$V = b_3 \cdot d_g^b \cdot H_0^b \cdot N_5^b = 4 \cdot 10^{-4} \cdot 34^{1,43} \cdot 22,5 \cdot 377^{0,94} \rightarrow V \approx 300 \text{ m}^3/\text{ha} \quad [4.11]$$

Por tanto para este caso práctico, con una densidad inicial de 2100 pies por hectárea y realizando claras cada 3-4 m de altura dominante, alcanzaríamos el objetivo deseado de pies con una calidad suficiente para ser destinados a aserrío cuando la masa tuviera una densidad aproximada de 320 pies por hectárea, siendo el porte de estos pies de 23 metros de altura, 34 cm de diámetro medio cuadrático, un volumen total aproximado de 300 m<sup>3</sup>/ha y un índice de Hart-Becking del 26%.

Por lo que al turno respecta, se ha decidido establecer uno de 100 años, adecuado para esta especie de crecimiento lento. Mediante las curvas de calidad de estación se comprobará si el régimen es apropiado para cada índice de sitio. Para ello se emplearán las curvas de calidad obtenidas para estas mismas masas de *Quercus ilex subsp. ilex* en un trabajo práctico tutorado previo a éste (Monfort, 2012).



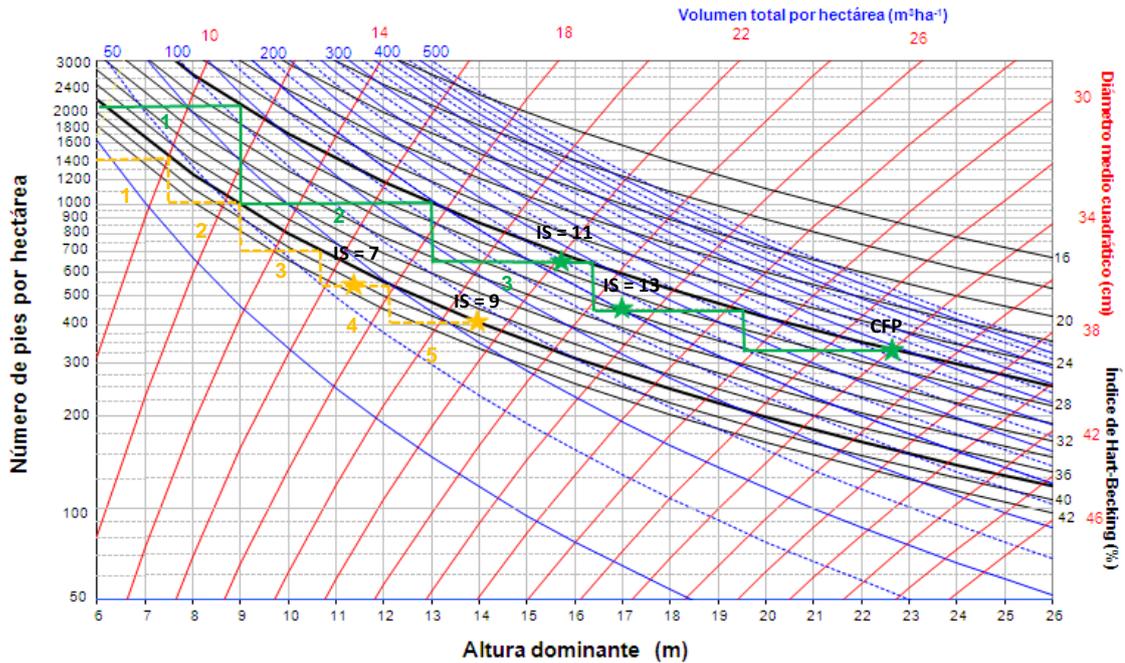
**Figura 5.3.** Curvas de calidad de estación para *Quercus ilex subsp. ilex* (Fuente: Iris Monfort).

Con la ayuda del diagrama se estima la productividad obtenida para los índices de sitios 7, 9, 11 y 13, que se muestra en la siguiente tabla:

**Tabla 5.4.** Volúmenes extraídos del DMD para cada calidad de estación.

IS	H <sub>0</sub> (m)	V (m <sup>3</sup> /ha)			
		Clara	Corta final	Total	Anual
7	11,3	118-58 =60	109	169	1,7
9	13,8	118-58 =60 + 175-118 = 57	134	251	2,5
11	15,7	118-58 =60 + 175-118 = 57	200	317	3,2
13	17	118-58 =60 + 175-118 = 57 + 225-155 = 70	175	362	3,6

De ella se observa como para el objetivo final que pretende alcanzarse de obtención de madera para sierra, los índices 11 y 13 son los más apropiados porque proporcionan una mayor productividad anual y sus pies son además los que alcanzan mejor porte. Por el contrario para los índices de sitio 7 y 9 el régimen de claras establecido no sería el más indicado por ser un esquema de claras demasiado fuerte para la estructura de esas masas. Esto nos hace cuestionarnos nuestro planteamiento inicial y por ello, se ha considerado apropiado elaborar un nuevo diagrama de manejo de la densidad con un esquema de claras más ajustado a estas dos calidades de estación:



**Figura 5.4.** Diagrama de manejo de densidad con esquema de claras para dos gestiones selvícolas diferentes en *Quercus ilex* subsp. *ilex*. en el parque del Montnegre y el Corredor. La línea verde corresponde a un régimen fuerte de claras y la amarilla a un régimen más suave. Las estrellas marcan las cortas finales a los respectivos índices de sitio y para la corta final programada según el objetivo propuesto.

En este último diagrama puede observarse como para los índices 7 y 9 se ha aumentado el *IH* hasta el 38 % para poder lograr una densidad inicial en casi mil pies por hectárea, dado que no se pretende obtener pies de gran diámetro y el esquema de las claras se realiza cada 1,5-2 m de crecimiento en  $H_0$ , para lograr de este modo que las cortas sean más progresivas y por tanto más suaves. Los pies que se obtienen en la corta final son de un porte por debajo de lo requerido para poder destinar la madera a sierra, aprovechándose por ello para leña.

Dado que los diagramas de manejo de densidad permiten estimar la producción en cualquier punto, resulta muy útil confeccionar un cuadro numérico donde aparezcan los valores de las variables estudiadas hasta el momento antes y después de la clara porque nos permite obtener de una forma sencilla el peso de cada clara expresado en porcentaje de número de pies por hectárea o volumen extraído.

**Tabla 5.3.** Valores de principales variables del rodal antes y después de la realización de las claras en una masa de *Quercus ilex*. Subsp. *ilex* para IS = 7.

IS 7		una masa de <i>Quercus ilex</i> . Subsp. <i>ilex</i> para IS = 7.									
Clara	$H_0$	$N$		$d_g$		$V$		$IH$			
		Antes	Después	Antes	Después	Antes	Después	Antes	Después		
1	7,6	1400	1000	10,1	10,6	42	31	38	44		
2	9	1000	700	12,5	13,2	51	39	38	44		
3	10,7	700	580	15,4	15,9	63	50	38	43		
Final	12,2	580	-	16,8	-	68	-	41	-		

**Tabla 5.4.** Valores de principales variables del rodal antes y después de la realización de las claras en una masa de *Quercus ilex*. Subsp. *ilex* para IS = 9.

IS 9		una masa de <i>Quercus ilex</i> . Subsp. <i>ilex</i> para IS = 9.									
Clara	$H_0$	$N$		$d_g$		$V$		$IH$			
		Antes	Después	Antes	Después	Antes	Después	Antes	Después		
1	7,6	1400	1000	10,1	10,6	42	31	38	44		
2	9	1000	700	12,5	13,2	51	39	38	44		
3	10,7	700	580	15,4	15,9	63	50	38	43		
4	12,2	580	400	16,8	18,6	75	56	38	44		
Final	13,8	400	-	21	-	87	-	38	-		

**Tabla 5.5.** Valores de principales variables del rodal antes y después de la realización de las claras en una masa de *Quercus ilex*. Subsp. *ilex* para IS = 11.

IS 11		una masa de <i>Quercus ilex</i> . Subsp. <i>ilex</i> para IS = 11.									
Clara	$H_0$	$N$		$d_g$		$V$		$IH$			
		Antes	Después	Antes	Después	Antes	Después	Antes	Después		
1	9	2100	1000	11,2	12,5	112	56	26	38		
2	13	1000	650	17,4	18,6	175	113	26	33		
Final	15,7	650	-	22,2	-	198	-	26	-		

**Tabla 5.5.** Valores de principales variables del rodal antes y después de la realización de las claras en una masa de *Quercus ilex*. Subsp. *ilex* para IS = 13.

IS 13									
Clara	$H_0$	$N$		$d_g$		$V$		$IH$	
		Antes	Después	Antes	Después	Antes	Después	Antes	Después
1	9	2100	1000	11,2	12,5	112	56	26	38
2	13	1000	650	17,4	18,6	175	113	26	33
3	15,7	650	450	23	24,2	226	207	26	31
Final	17	450	-	24,5	-	175	-	30	-

**Tabla 5.5.** Valores de principales variables del rodal antes y después de la realización de las claras en una masa de *Quercus ilex*. Subsp. *ilex* para la corta final programada.

CFP									
Clara	$H_0$	$N$		$d_g$		$V$		$IH$	
		Antes	Después	Antes	Después	Antes	Después	Antes	Después
1	9	2100	1000	11,2	12,5	112	56	26	38
2	13	1000	650	17,4	18,6	175	113	26	33
3	15,7	650	450	23	24,2	226	207	26	31
4	17	450	325	26	28,6	275	198	26	30
Final	22,8	325	-	34	-	300	-	26	-

**Nota:**  $H_0$  = altura dominante (m);  $N$  = pies/ha;  $d_g$  = diámetro medio cuadrático (cm);  $V$  = volumen ( $m^3$ /ha);  
 $IH$  = índice de Hart-Becking (%).

## — 5. CONCLUSIONES —

Las conclusiones generales que pueden extraerse de este proyecto son:

1.- Para esta masa de *Quercus ilex* subsp. *ilex* se mantendría un turno de 100 años en el que se distinguirían dos tipos de actuaciones: un régimen de claras suaves para los pies de menor índice de sitio, destinándolos a leña; y un régimen más severo con intención de alcanzar una madera de calidad suficiente para sierra.

2.- El diagrama de manejo de densidad obtenido en este trabajo para *Quercus ilex* subsp. *ilex* se presenta como una herramienta sencilla de aplicar en la práctica y eficaz para la simulación de distintas alternativas de gestión de estas masas. Se muestra particularmente interesante para la evaluación y diseño del régimen selvícola más apropiado para dichas masas, pudiendo responder a un amplio abanico de objetivos que se puedan llegar a plantear.

3.- Se construye con poca información del rodal ( $N$ ,  $h_0$  y  $d_g$ ) y de fácil obtención mediante mediciones sencillas y siempre independientemente de la calidad y edad de éste. A cambio, proporcionan valiosos datos de crecimiento y densidad, actuales y potenciales a lo largo de todos los estadios de vida de la masa, que maximizan la producción y minimizan su tiempo de obtención.

3.- No pueden extrapolarse las predicciones obtenidas para otras especies ni fuera del rango de datos originales con el que se realizó el ajuste, pero sí en masas de esta misma especie que se encuentren en condiciones climáticas similares, siempre bajo el criterio del gestor.

4.- La metodología seguida puede considerarse útil y eficaz para generar diagramas de manejo de la densidad para otras especies, sobretodo de la familia de *Quercus*.

5.- El diagrama de gestión desarrollado en este trabajo se trata de la primera herramienta selvícola desarrollada para *Quercus ilex* subsp. *ilex*, poniendo de manifiesto la escasez de herramientas para el manejo de las mismas y la importancia de desarrollar nuevos modelos selvícolas para la especie en cuestión.

6.- Los regímenes de manejo descritos para la situación promedio que representa el diagrama no son necesariamente óptimos para cualquier rodal en particular, pero sí útiles. Es recomendable en consecuencia considerar funciones de índice de sitio para lograr predicciones de desarrollo del rodal más exactas para cada uno en concreto.

7.- Destacar que la metodología empleada, tanto en campo como en laboratorio, puede considerarse aceptable puesto que los resultados obtenidos se presentan como lógicos respecto a otros estudios realizados siguiendo esta metodología para diferentes especies que ya se han comparado en los resultados.

8.- Es indispensable que los usuarios de estos diagramas dispongan de los conocimientos mínimos requeridos para poder interpretarlos así como al momento de utilizarlo deben tenerse presente sus limitaciones.

## 6. BIBLIOGRAFÍA

ÁLVAREZ A., GADOW K. v., RODRÍGUEZ R. y ROJO J. G. 2002. Ensayos de crecimiento. Parcelas permanentes, temporales y de intervalo. Escuela Politécnica Superior de Lugo. Universidad de Santiago de Compostela

ASSOCIACIÓ DE PROPIETARIS DEL MONTNEGRE I CORREDOR. Estatuts de l'Associació de Propietaris del Montnegre i del Corredor [en línea]. Junio 2001 [consulta: 6 mayo 2013]. Disponible en internet: <http://www.montnegrecorredor.org/biblioteca>

ASSMANN E. 1970. The principles of forest yield study. Ed. Pergamon Press. Oxford.

ASTURNATURA. *Quercus ilex* L. [en línea]. [consulta: 3 junio 2013]. Disponible en internet: <http://www.asturnatura.com/especie/quercus-ilex.html>

BARRIO-ANTA M., DIÉGUEZ-ARANDA U. 2005. Site quality of pedunculate oak (*Quercus robur* L.) stands in Galicia (northwest Spain). Eur. J. For. Res. 124, 19-28.

BARRIO M., ÁLVAREZ J.G. 2005. Development of a stand density management diagram for evenaged pedunculate oak stands and its use in designing thinning schedules. Forestry, Vol. 78, No. 3.

BOMBÍ A. 2004. El seguiment meteorològic al Parc del Montnegre i el Corredor. IV Trobada d'Estudiosos del Montnegre i el Corredor. Diputació de Barcelona.

CAMERON I., 1988. An evaluation of density management diagram for coastal Douglais. Min. of For. Lands, Res. Branch.

CANADELL P., RIBA M. & ANDRES P. 1988. Biomass equations for *Quercus ilex* L. in the Montseny Massif, Northeastern Spain. Forestry, 61 (2):137-147.

CARITAT A. & TERRADAS J. 1990. Dinàmica dels micronutrients en la caiguda i descomposició de la virosta de tres sistemes forestals del Montseny. Orsis 5:43-59.

CHAUCHARD L.M. 2001. Crecimiento y producción de repoblaciones de *Pinus radiata* en el territorio histórico de Guipúzcoa. Tesis doctorales N° 40.

DAVIS K.P. 1966. Forest Management, Regulation and Valuation. McGraw Hill.

DEAN J.T., BALDWIN V.C. 1993. Using a density-management diagram to develop thinning schedules for loblolly pine plantations. USDA Forest Service. Res. Pap. 275.

DECOURT N. 1964. Las tables de production, leurs limites et leur utilite. Revue Forestière Française, 640-657.

DELGADO J. J. 2011. *Quercus ilex* (Encina). [en línea]. Fauna y flora del municipio onubense del Berrocal. [consulta 8 junio 2013].

DIÉGUEZ-ARANDA U., ROJO A., y varios. 2009. Herramientas selvícolas para la gestión sostenible en Galicia. Unidad de Gestión Forestal Sostenible (UXFS). Escuela Politécnica Superior de la Universidad de Santiago de Compostela. P. 77-114.

EDUCARM. *Quercus ilex* [en línea]. Portal Educativo. Consejería de Educación. Universidades y Empleo de la región de Murcia. 2013. [consulta: 3 junio 2013]. Disponible en internet: [http://www.educarm.es/templates/portal/ficheros/webs/Dinamicas/20/quercus\\_ilex.pdf](http://www.educarm.es/templates/portal/ficheros/webs/Dinamicas/20/quercus_ilex.pdf)

FLORA CATALANA. *Quercus ilex* L. subsp. *ilex* [en línea]. La flora del nostre entorn [consulta: 31 mayo 2013]. Disponible en internet: <http://www.floracatalana.net/quercus-ilex-l-subsp-ilex>

GONZALEZ J. M., IBARZ P. Monte bajo irregular de encina: caracterización selvícola. Área de Gestión Sostenible (AGS). Centre Tecnològic Forestal Catalunya (CTFC).

HAMILTON G.J. y CHRISTIE J.M. 1974. Influence of Spacing on crop Characteristics and Yield. Forestry Commission Bulletin N° 52.

HERBARIO VIRTUAL DEL MEDITERRÁNEO OCCIDENTAL. *Quercus ilex* L. subsp. *ilex* [en línea]. Área de botánica. Universitat de València [consulta: 31 mayo 2013]. Disponible en internet: <http://herbarivirtual.uib.es/cas-uv/especie/4121.html>

LLEDÓ M.J., SÁNCHEZ J.R., BELLOT J., BORONAT J., IBÁÑEZ J.J. y ESCARRÉ A. 1992. Structure, biomass and production of a resprouted holm-oak (*Quercus ilex* L.) forest in NE Spain .. En: *Quercus ilex* L. ecosystems: function, dynamics and management. p. 51-59.

LONG J.N. 1985. A practical approach to density management. *For. Chron.* 23, 23-26.

LÓPEZ DE HEREDIA U. 2006. Filogeografía de los *Quercus* esclerófilos (*Q. suber* L., *Q. ilex* L. y *Q. coccifera*) en el Mediterráneo occidental. Tesis doctoral. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes. UPM.

MADRIGAL A. 1991. Tablas de producción. Seminario sobre Inventario y Ordenación de Montes. Valsaín, Segovia. Vol. II, 32-70.

NAVARRO C., HERRERA M. A., DRAKE F., DONOSO P. 2011. Diagrama de manejo de densidad y su aplicación de raleo en bosques de segundo crecimiento de *Drumys winteri* en el sur de Chile. *Bosque* 32 (2): 175-186.

NEWTON P.F., WEETMAN C. 1997. Stand density management diagrams: Review of their development and utility in stand-level management planning. *For. Ecol. Manage.* 98, 251-265.

PANAREDA J.M. 1980. El Parque Natural del Montseny, una realidad por terminar. *Rev. Geogr.*, 14: 59-73.

PARDÉ J. y BOUCHON, J. 1980. Forest biomass. *For. Abstr.* 41, 343-362.

PAVÓN D. 2009. Revalorización del patrimonio fluvial y participación ciudadana en el parque Natural del Montnegre-Corredor (Barcelona). Departamento de Geografía, Historia e Historia del Arte (Universitat de Girona).

PITA P.A. 1991. Potencialidad de las estaciones forestales. Curvas de calidad. Seminario sobre Inventario y Ordenación de Montes, Valsaín, Segovia. Vol. I, 18-39.

SÁNCHEZ-GONZÁLEZ M. y JÜRGENS J. 2013. Ecuaciones de altura-diametro y de volumen para encina en el Parque Natural de Montnegre y corredor. INIA-CIFOR.

SÁNCHEZ-GONZÁLEZ M., SÁNCHEZ M.M., CAÑELLAS I. 2007. Modelo de predicción del calibre de bornizo mediante funciones de perfil de tronco. Cuadernos de la Sociedad Española de Ciencias Forestales 23: 239-243

SANTANACH P., CASAS J.M., GRATACÓS O., LIESA M., MUÑOZ J.A. y SÀBAT F. 2011. Estructura herciniana y alpina de las colinas de Barcelona: geología en una zona urbana. Journal of Iberian Geology 37 (2): 121-136.

SAS/ETS User's Guide, Version 8. "The SYSLIN procedure". Copyright © 1999 by SAS Institute Inc., Cary, NC, USA. Capítulo 14. ISBN 1-58025-489-6.

SASSERRA V. 2008. Proposta. Directrius per a la revisió del Pla especial [en línea]. Consell Coordinador del Parc del Montnegre i el Corredor. Diputació de Barcelona.

SERRADA R. 2008. Apuntes de Selvicultura. Servicio de Publicaciones EUIT Forestal. P. 133-167.

VACCHIANO G., MOTTA R., LONG J., SHAW J. 2008. A density management diagram for Scots pine (*Pinus sylvestris* L.): A tool for assessing the forest's protective effect". Forest Ecology and Management 255: 2542\_2554

VACCHIANO G., DEROSE R. J., SHAW J.D, SVOBODA M., LONG, J., MOTTA R. 2013. A density management diagram for Norway spruce in the temperate European montane region. European Journal of Forest Research. ISSN 1612-4669

VANNIÈRE B. 1984. Tables de production pour les forêts françaises. Engref, INRA, ONF 2<sup>a</sup> Ed. Ecole Nationale du Génie Rural, des Eaux et des Forêts.

XARXA DE PARCS NATURALS. Parc del Montnegre i Corredor [en línea]. Diputació de Barcelona [consulta: 6 mayo 2013]. Disponible en internet: <http://www.diba.cat>

ZEIDE B. 2004. Optimal stand density: a solution. Can. J. for. Res. 34, 846-854.