



2022  
Lleida

27 · 1  
junio · juny  
juliol · juliol

Cataluña  
Catalunya

## 8º CONGRESO FORESTAL ESPAÑOL

La **Ciencia forestal** y su contribución a  
los **Objetivos de Desarrollo Sostenible**

8CFE

Edita: Sociedad Española de Ciencias Forestales

**Cataluña | Catalunya · 27 junio | juny - 1 julio | juliol 2022**

**ISBN 978-84-941695-6-4**

© Sociedad Española de Ciencias Forestales



Organiza

## Diversidad estructural y modelos de gestión forestal

ALMARAZ RODRÍGUEZ, M.<sup>1</sup>; AROCA FERNÁNDEZ, M.J.<sup>2</sup>; DE LA FUENTE MARTÍN, B.<sup>3</sup>; SERRADA HIERRO, R.<sup>4</sup>; BRAVO FERNÁNDEZ, J. A.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> MADAL S.R.L.

<sup>2</sup> Departamento de Sistemas y Recursos Naturales. ETSI Montes, Forestal y del Medio Natural. Universidad Politécnica de Madrid

<sup>3</sup> Dirección General de Biodiversidad y Recursos Naturales. Comunidad de Madrid

<sup>4</sup> Sociedad Española de Ciencias Forestales

[mon.almaz.r@gmail.com](mailto:mon.almaz.r@gmail.com);

[pepa.aroca@gmail.com](mailto:pepa.aroca@gmail.com);

[fuemarbe@icvl.es](mailto:fuemarbe@icvl.es);

[rafaelserrada@telefonica.net](mailto:rafaelserrada@telefonica.net);

[alfredo.bravo@upm.es](mailto:alfredo.bravo@upm.es)

### Resumen

La biodiversidad es un tema relevante que ha alcanzado carácter prioritario en los últimos años, y que está muy relacionada con la diversidad estructural. En general, se asume que las masas arboladas irregulares presentan una mayor diversidad estructural. Sin embargo, la mayoría de los estudios al respecto se basan en el análisis de pequeñas superficies, no considerando la escala de cuartel (unidad de gestión de cientos de hectáreas).

Este trabajo examina la diversidad estructural de dos montes ordenados, “Pinar de Navafría” (Segovia) y “Cabeza de Hierro” (Madrid): masas naturales de pino silvestre similares en calidad de estación y funciones, pero con modelos de gestión muy distintos que han sido mantenidos durante tiempo suficiente como para manifestarse claramente en su estructura, regular e irregular respectivamente.

Partiendo de datos procedentes de inventarios de gestión, se calculan y comparan para ambas masas y a varias escalas superficiales distintos índices de espesura (densidad, área basimétrica, volumen, etc.) y de diversidad estructural (Shannon, Complementario de Simpson y Gini, aplicados a las clases diamétricas). Los resultados obtenidos confirman que la relación entre forma principal de masa y diversidad estructural varía en función de la escala superficial considerada, no pudiendo generalizarse una conclusión de modo absoluto.

### Palabras clave

Biodiversidad, silvicultura, ordenación de montes, indicadores de sostenibilidad biológica.

### 1. Introducción

La diversidad y la conservación son temas fundamentales en cuanto a la sostenibilidad de los sistemas forestales, es fundamental para la gestión del monte conocer la estructura y dinámica de la masa, dado que están directamente relacionadas con la estabilidad, la producción, la conservación del suelo y la morfología del paisaje, determinando las condiciones microclimáticas y la presencia del hábitat de muchas especies (WADSWORTH, 2000). Por ello, la estructura de la masa define el grado de uniformidad del bosque y la intensidad de las cortas, siendo un buen indicador de la biodiversidad del ecosistema y de los procesos que tienen lugar en la masa forestal (WEBER, 1999).

Generalmente se asume que la biodiversidad en los sistemas forestales está positivamente relacionada con la irregularidad de las masas arboladas (CAÑELLAS, et al., 2000). Esto es discutible, ya que la mayoría de la literatura se basa en estudios a pequeña escala, en los cuales se mide la biodiversidad en parcelas que abarcan unidades o como mucho decenas de hectáreas, en las cuales la variabilidad estructural es indudablemente mayor en masas irregulares (REQUE, 2008).

Sin embargo, teniendo en cuenta la unidad de gestión completa (el cuartel), la situación puede ser diferente.

En este sentido es importante analizar la diversidad estructural del monte a diferentes escalas y asociar un valor ecológico a los distintos tratamientos, con el fin de brindar a los gestores información de los diferentes aspectos ecológicos y estructurales. Considerando que la gestión forestal trabaja con escalas superficiales más amplias -cuarteles generalmente de cientos de hectáreas-, se plantea el siguiente razonamiento, que nos sirve de hipótesis de partida:

- Si el modelo es de masa regular: tendremos un mosaico de teselas de tamaño variable, cada una de ellas con masas regulares en su interior, de distinta edad según la tesela, y por tanto diferentes estructuralmente entre sí. A pequeña escala la situación es uniforme, homogénea. Pero hay muchos cambios de unas teselas a otras, y ecotonos entre las teselas.
- Si el modelo es de masa irregular pie a pie o mediante bosquetes pequeños: a pequeña escala hay una elevada variabilidad estructural. Sin embargo, a gran escala, a escala de cuartel, la variabilidad es mucho menor: unas zonas son iguales que otras.

Con base en todo lo dicho, es necesario el análisis de los índices de diversidad estructural en sistemas forestales, considerando un cambio de escala de medición para determinar cuáles son los efectos de la silvicultura a escala de cuartel. Es importante recalcar que hasta la fecha, los trabajos e investigaciones llevados a cabo sobre biodiversidad en sistemas forestales, han sido a escalas pequeñas, sin considerar el concepto de *cuartel* o *monte ordenado*.

## 2. Objetivos

Como objetivo general se busca analizar la relación entre la biodiversidad estructural y los modelos de gestión forestal, a escala de cuartel.

Concretamente nos planteamos:

- a) Valorar la diversidad estructural en dos montes muy similares en cuanto a localización geográfica, calidad de estación, especie principal y usos, pero con modelos de gestión distintos que hayan generado diferente forma principal de masa (estructura forestal):
  - Modelo de tramos periódicos: masas regulares a pequeña escala, masa irregular (distribución equilibrada de edades) a escala de cuartel.
  - Modelo de entresaca: masa irregular tanto a pequeña escala como a escala de cuartel.
- b) Interpretar los valores obtenidos y relacionar con los respectivos modelos de gestión.

## 3. Metodología

Para el presente estudio se han seleccionado dos montes que son ejemplo de gestión sostenible durante largo tiempo, que desempeñan similares funciones ecológicas y económicas, pero bajo modelos de gestión distintos que han generado diferentes formas principales de masa (regular e irregular).

Los dos casos estudiados presentan masas naturales de pino silvestre (*Pinus sylvestris* L) y se encuentran ubicados en la Sierra de Guadarrama: el “Pinar de Navafría” en la vertiente norte y “Cabeza de Hierro” en la vertiente sur (Figura 1).

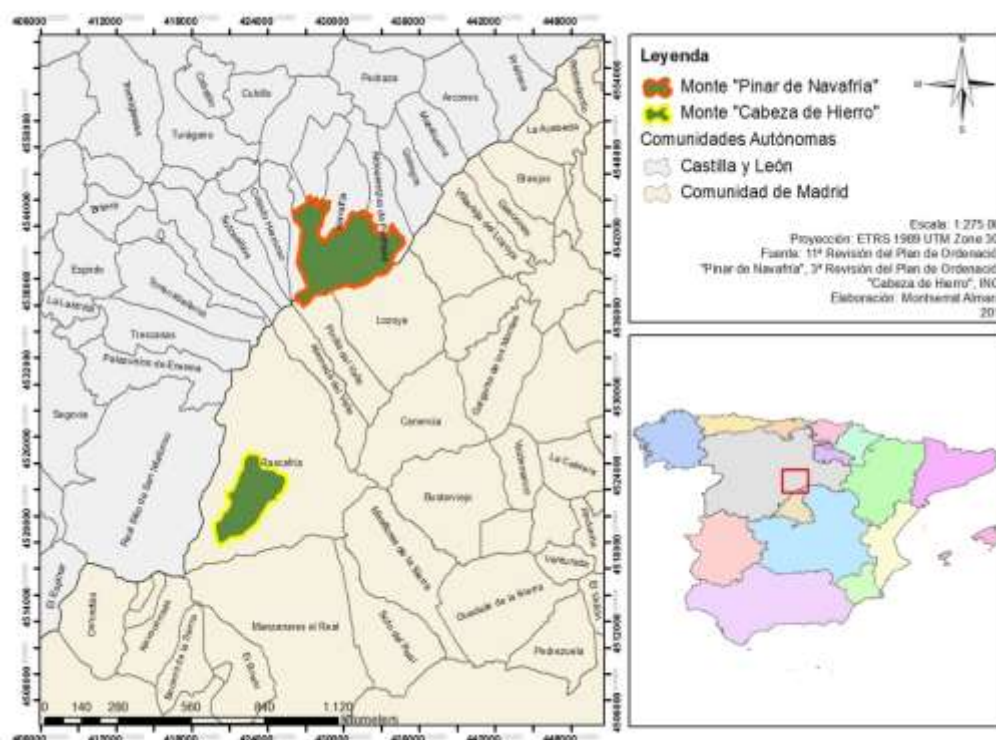


Figura 1. Mapa de ubicación de los montes seleccionados para el estudio.

### 3.1 Descripción de los montes estudiados

Ambos se encuentran sobre suelos silíceo-arcillosos que proceden de roca madre de gneis, la vegetación de los dos montes tiene como formación principal un pinar de origen natural de pino silvestre (*Pinus sylvestris* L.), en cotas más bajas presentan otras especies arbóreas como rebollo (*Quercus pyrenaica* Willd), acebo (*Ilex aquifolium* L.), abedul (*Betula celtiberica* Rothm. et Vasc.), serbal (*Sorbus aucuparia* L.), tejo (*Taxus baccata* L.) y álamo temblón (*Populus tremula* L.) (MONTES, 2004; RUBIO, et al. 2009; HERNÁNDEZ y MONTERO, 2012; AROCA, et al. 2013).

Los modelos de gestión aplicados han permitido la presencia y/o nidificación de un buen número de especies declaradas a nivel nacional como “de interés especial” o protegidas, entre las más destacables están el buitre negro (*Aegypius monachus*), el águila calzada (*Hieraetus pennatus*), el águila real (*Aquila chrysaetos*), el alcotán europeo (*Falco subbuteo*) o el águila imperial (*Aquila adalberti*). Entre los mamíferos se tiene registro del lobo (*Canis lupus*) y el murciélago ratonero forestal (*Myotis bechsteinii*) (DE DIEGO y GÓMEZ, 2009; HERNÁNDEZ y MONTERO, 2012).

#### 3.1.1 Monte “Pinar de Navafría”

El monte "Pinar de Navafría", número 198 del Catálogo de Utilidad Pública de la provincia de Segovia, es propiedad de la Comunidad de Villa y Tierra de Pedraza, cuerpo colectivo formado por dicha villa y dieciocho pueblos más, en los términos municipales de Torrealval de San Pedro, Navafría y Adealengua de Pedraza. Su superficie sujeta a ordenación es de 3.832,31 hectáreas, sobre cotas de 1.300 y 2.200 m s. n. m. La gestión del monte es llevada a cabo por la Junta de Castilla y León, a través de la Sección Territorial de Ordenación y Mejora I del Servicio Territorial de Medio Ambiente de Segovia. (HUERTAS y MARTIN, 2001).

Su ordenación comienza en 1893, donde se establece el método de ordenación por Tramos Permanentes, tratados por aclareo sucesivo uniforme, fijándose un turno de transformación de 100 años y un período de regeneración de 20 (DÍAZ y PRIETO, 1999). En la última revisión, aprobada el año 2013, se amplían dichos valores a 120 y 24 años respectivamente.

Es considerado un modelo de la ordenación forestal en España, ya que es el único monte de pino silvestre de España que habiendo sido ordenado por el método de tramos permanentes, ha cumplido el turno completo sin interrupciones y tiene su masa transformada con tan solo un ligero retraso en la ejecución de las cortas finales en los tramos V debido a la crisis en el sector de la construcción, principal destino de este tipo de madera de grandes dimensiones. De esta manera el monte queda estructurado en 3 secciones, cada una dividida en 3 cuarteles y cada uno de ellos en 5 tramos. Cuenta por tanto con 45 tramos, cuyas superficies totales varían entre 30 y 115 ha. Cada tramo presenta superficies equiproductivas con masas regulares en su interior, escalonados según los diferentes rangos de edad. En la décima revisión (1999-2008), se incorpora una cuarta sección gestionada como Cuartel de Protección (HERNÁNDEZ y MONTERO, 2012).

Cuando se realiza la última revisión los tramos I presentan un rango de edad de 92 a 112 años. Los tramos II, de 72 - 92 años. Los tramos III, de 52 a 72 años. Los tramos IV, de 32 a 52 años. Los tramos V se encuentran en la última etapa de la corta final, y con aplicación de mejoras sobre el regenerado, cuyo rango de edad va de 0 a 32 años.

### 3.1.2 Monte “Cabeza de Hierro”

El monte “Cabeza de Hierro” es conocido popularmente como “Pinar de los Belgas”. Se encuentra ubicado en el término municipal de Rascafría (Madrid), en el Alto Valle del río Lozoya. Ha pertenecido a la Sociedad Anónima Belga de los Pinares de El Paular desde el año 1840 hasta fechas muy recientes, en que ha sido adquirido por el Organismo Autónomo de Parques Nacionales. Se sitúa entre los 1.200-2.000 metros de cota, con una superficie de 2.016,5 hectáreas (BRAVO y SERRADA, 2011).

La gestión técnica comienza en 1957, cuenta con tres revisiones del Plan de Ordenación. El monte se estructura en 1 sección, dividida en 6 cuarteles y en 80 cantones. Cada cuartel cuenta con un objetivo preferente, según la calidad de estación. En los cuarteles A, B, D, E y F se compatibilizan los objetivos ambientales con la producción de madera, teniendo el cuartel C carácter exclusivamente protector (BRAVO y SERRADA, 2007).

Con una gestión muy exigente y compleja, que ha requerido un gran conocimiento del monte y señalamientos muy detallados, se ha generado una estructura en mosaico por bosquetes, en general internamente regulares o semirregulares, y solo excepcionalmente irregulares pie a pie, generando una estructura irregular a escala de cantón (RUBIO, et al. 2009).

Esta variabilidad se debe al origen natural de la masa y a la selvicultura aplicada: siempre se ha ido tratando cada pequeño rodal según sus características y necesidades, regenerando un bosquete ocupado por un fustal viejo mediante cortas de aclareo sucesivo, realizando cortas de mejora en el bosquete de al lado que presenta una masa regular en estado de latizal, etc. La razón de que los gestores hayan actuado de este modo tiene mucho que ver con la presencia continua de elevadas cargas de ganado, sin posibilidad de acotamiento al mismo.

En cuanto a los métodos de ordenación, el primer plan formalmente se inició con el rígido método de tramos permanentes, que realmente no llegó a aplicarse como tal; se cambió después al más flexible de tramo móvil, decidiéndose en la última revisión adoptar el método de entresaca regularizada (BRAVO y SERRADA, 2011).

### 3.2 Origen de los Datos

Los datos utilizados para el estudio proceden de los inventarios de la última revisión de los Planes de Ordenación de cada uno de los montes.

Para el monte “Pinar de Navafría”, la información procede del inventario forestal correspondiente a la 11ª Revisión del Proyecto de Ordenación realizado el año 2009, con un periodo de vigencia de 11 años. El inventario se ha realizado únicamente para pino silvestre, ya que solo se aprovecha esta especie. En los tramos I de las Secciones 1, 2 y 3, el muestreo se ha realizado pie a pie, siendo éste el tramo en destino presenta los árboles más grandes y viejos (92 - 112 años). En el resto del monte se ha realizado por muestreo sistemático, con un diámetro mínimo inventariable de 7,5 cm; los pies por debajo de este valor se midieron como regeneración existente (HERNÁNDEZ y MONTERO, 2012).

En el caso del monte “Cabeza de Hierro”, la información procede del inventario forestal correspondiente a la 3ª Revisión del Proyecto de Ordenación realizado el año 2005, con un periodo de vigencia de catorce años. Realizado por muestro sistemático en la totalidad del monte, este inventario incluye el muestreo de rebollo y acebo como especies secundarias, aunque también se centra en el pino silvestre. (BRAVO y SERRADA, 2007)

Para realizar el estudio se seleccionó un cuartel por monte, buscando que el pino silvestre fuera la especie dominante, sin apenas presencia de otras especies arbóreas para simplificar el análisis, y que las calidades de estación fueran parecidas. Como la roca madre y el tipo de suelo son similares, se buscó una misma orientación dominante y el mismo rango altitudinal. Con estos condicionantes, en el “Pinar de Navafría” se seleccionó el Cuartel 2B, y en “Cabeza de Hierro” el Cuartel A. En “Pinar de Navafría” se han empleado los datos del muestreo realizado en los tramos II a V; no se ha podido usar el tramo I por haberse inventariado pie a pie. En “Cabeza de Hierro”, y para que las superficies fueran similares, se han seleccionado de entre los 14 cantones que conforman el Cuartel A tan solo los siguientes cinco: 35, 36, 37, 38 y 40 (ver Tabla 1).

Tabla 1: Características de tramos y cantones utilizados para el estudio

Monte	Cuartel	Tramo/ Cantón	Superficie (ha)	Nº parcelas	Calidad	Cota (m)			Orientación	Edad (años)
						Max	Med	Min		
Pinar de Navafría	2B	II	57,27	35	I	1.580	1.470	1.375	E	72-92
		III	49,84	21	I	1.765	1.640	1.505	E	52-72
		IV	51,9	14	I	1.860	1.740	1.600	E	32-52
		V	54,29	21	I	1.820	1.600	1.445	E	0-32
Cabeza de Hierro	A	35	51,5	23	I	1.790	1.630	1.460	SE	Variable
		36	22,5	6	II	1.850	1.760	1.630	E	Variable
		37	26,5	9	I	1.620	1.490	1.400	E	Variable



	38	26,8	11	I	1.660	1.520	1.380	E	Variable
	40	25,8	11	II	1.730	1.560	1.650	SE	Variable

### 3.3. Índices utilizados para el análisis

Se ha trabajado con nueve índices de espesura: la Densidad **N** (pies/ha), el Diámetro medio cuadrático **D<sub>G</sub>** (m<sup>2</sup>), el Área Basimétrica **G** (m<sup>2</sup>/ha), el Volumen **Vol** (m<sup>3</sup>/ha), la Altura media **H<sub>m</sub>** (m), la Altura Dominante de Weise **H<sub>0</sub>** (m), los Pies mayores **P<sub>My</sub>** (pies/ha con diámetro normal >20 cm), Pies menores **P<sub>Mn</sub>** (pies/ha con diámetro normal <20 cm), Pies grandes **P<sub>45</sub>** (pies/ha con diámetro normal >45 cm).

Respecto a los índices de diversidad estructural, tras realizar un análisis bibliográfico que permitió seleccionar los más utilizados (AGUIRRE, et al. 1998; ZENNER y HIBBS, 2000; JIMÉNEZ, et al. 2001; AGUIRRE, et al. 2003; DEL RÍO, et al. 2003; CORRAL, et al. 2005; MONTES, et al. 2005; LEXERØD & EID, 2006; STERBA, 2008; TISCAR, et al. 2011; CORDONNIER, et al. 2015; PONCE et al. 2016), finalmente se optó por emplear aquellos que podían ser elaborados a partir de los datos recogidos en los inventarios disponibles en ambos montes. Así, se ha trabajado con los siguientes cuatro índices de diversidad estructural, todos ellos aplicados para evaluar la abundancia relativa, en términos de área basimétrica, de cada clase diamétrica:

Índice de Shannon **H'** =  $-\sum p_i \cdot \ln_2(p_i)$ , donde  $p_i$  es la abundancia relativa del área basimétrica en la clase diamétrica "i". Evalúa la variedad de clases diamétricas y alcanza los valores máximos cuando las proporciones de área basimétrica en cada clase diamétrica son iguales.

Índice de Uniformidad **E<sub>v</sub>** =  $\frac{H'}{\ln(n)}$ , donde **H'** es el índice de Shannon y  $n$  el número de clases diamétricas. Evalúa la uniformidad en las proporciones de área basimétrica en cada clase diamétrica, independientemente del número de clases (alcanza valores mayores a mayor uniformidad; es decir, cuando el área basimétrica está repartida homogéneamente entre todas las clases diamétricas).

Complementario al Índice de Simpson **S'** =  $1 - \sum p_i^2$ , donde  $p_i$  es la abundancia relativa del área basimétrica por cada clase diamétrica. Indica si una clase diamétrica prevalece sobre el resto (a mayor prevalencia, toma valores más bajos).

Coeficiente de Gini **GC** =  $\frac{\sum_{j=1}^n (2CD - n - 1)G_j}{\sum_{j=1}^n G_j(n - 1)}$ , donde **G** es el área basimétrica, **CD** es la clase diamétrica y  $n$  el número de clases diamétricas. Medida de heterogeneidad que discrimina la distribución de diámetros. Cuando todos los árboles son del mismo tamaño tiene un valor de 0, llegando hasta 1 como valor máximo.

### 3.4. Análisis estadísticos

Se han elaborado diagramas de cajas y bigotes para cada variable dependiente (índice de espesura o de diversidad estructural). Para cada monte por separado, y para cada índice considerado, se ha realizado un ANOVA unifactorial (factor: tramo). Se ha especificado 0,05 como porcentaje de error tipo I. Para el análisis de los supuestos básicos de ANOVA: se han revisado los datos atípicos, la normalidad y la homogeneidad de la varianza de las variables dependientes entre los niveles del factor, encontrando que eran aceptables. Cuando se han detectado diferencias significativas para algún índice, para saber entre qué tramos se establecían dichas diferencias se ha

empleado el método post hoc de diferencia mínima significativa (DMS o LSD), también con  $\alpha=0,05$ . Los análisis se han llevado a cabo con el programa SPSS 15.0.

#### 4. Resultados

En la Tabla 2 se muestran los resultados del ANOVA para cada uno de los índices analizados, por monte.

Las Tablas 3 y 4 muestran, para los índices de espesura y de diversidad estructural respectivamente, los resultados de la aplicación de las comparaciones post hoc, en aquellos casos en los que se ha encontrado que el efecto del tramo o cantón ha sido significativo para el índice en cuestión (ver Tabla 2). En la medición del índice de Shannon ( $H'$ ), se ha determinado el valor máximo de 2,833 que aparece cuando el área basimétrica del tramo o cantón está distribuida proporcionalmente en cada clase diamétrica (LEXERØD & EID, 2006).

Tabla 2. Resultados de ANOVA para cada índice de espesura y de diversidad estructural, por monte

Índice	Pinar de Navafría		Cabeza de Hierro	
	F	Sig.	F	Sig.
N	17,696	0,000	1,088	0,371
G	21,574	0,000	0,545	0,703
Dg	8,613	0,000	2,191	0,082
Vol	19,795	0,000	1,645	0,176
P <sub>Mn</sub>	18,120	0,000	1,759	0,150
P <sub>My</sub>	29,373	0,000	1,336	0,268
P45	3,794	0,013	3,372	0,015
Hm	7,325	0,000	12,389	0,000
H <sub>0</sub>	5,927	0,001	6,025	0,000
H'	18,032	0,000	1,279	0,289
Ev	3,371	0,022	0,722	0,580
S'	5,801	0,001	1,117	0,358
GC	3,553	0,018	1,975	0,111

F: contraste F, Sig: nivel de significación para  $\alpha=0,05$ , N: Densidad, Dg: Diámetro medio cuadrático, G: Área Basimétrica, Vol: Volumen, Hm: Altura media, H<sub>0</sub>: Altura Dominante de Weise, P<sub>My</sub>: Pies mayores, P<sub>Mn</sub>: Pies menores, P45: Pies grandes, H': Índice de Shannon, Ev: Índice de Uniformidad, S': Complementario Índice de Simpson, GC : Coeficiente de Gini.

Por limitación de espacio, se omitirán comentarios detallados de cada uno de los índices, y tan solo se planteará de manera general. En “Pinar de Navafría” se han encontrado diferencias



significativas entre sus tramos para todos los índices considerados; por el contrario, en “Cabeza de Hierro” tan solo se pueden aceptar diferencias significativas entre sus cantones para algunos índices de espesura: altura media y dominante, y densidad de pies con diámetro normal superior a 45 cm (Tabla 3).

Por supuesto, también es muy interesante analizar la variabilidad en el interior de los cantones o tramos; esto se puede conseguir con un diagrama de cajas y bigotes como el de la Figura 2, presentado para la densidad total y el complementario al índice de Simpson a modo de ejemplo.

Tabla 3: Resultado del test post hoc (DMS) aplicado a los índices de espesura de cada monte entre Tramos y Cantones

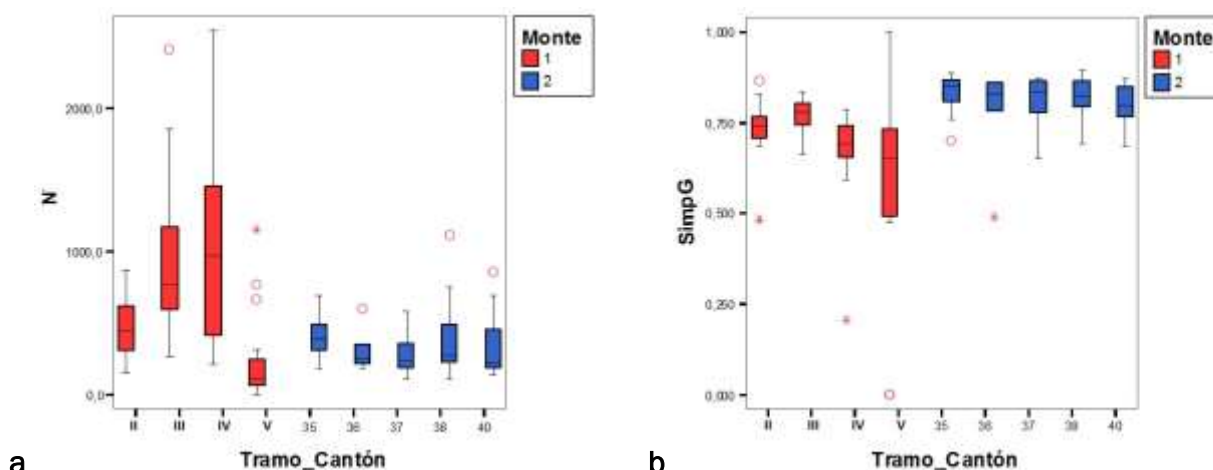
		N	Dg	G	Vol	Hm	H <sub>0</sub>	PM <sub>y</sub>	PM <sub>n</sub>	P45
Pinar de Navafría	II	467,9 <sup>a</sup>	32,2 <sup>a</sup>	37,7 <sup>a</sup>	258,7 <sup>a</sup>	15,6 <sup>a</sup>	19,9 <sup>a</sup>	409,2 <sup>a</sup>	58,7 <sup>a</sup>	36,6 <sup>a</sup>
	III	938,9 <sup>b</sup>	26,14 <sup>b</sup>	42,7 <sup>a</sup>	232,4 <sup>a</sup>	13,7 <sup>b</sup>	18,4 <sup>a</sup>	493,7 <sup>a</sup>	445,2 <sup>b</sup>	14,7 <sup>bc</sup>
	IV	1.100,5 <sup>b</sup>	18,94 <sup>c</sup>	26,1 <sup>b</sup>	83,4 <sup>b</sup>	10,6 <sup>c</sup>	14,8 <sup>b</sup>	170,5 <sup>b</sup>	929,9 <sup>b</sup>	6,3 <sup>c</sup>
	V	213,6 <sup>c</sup>	33,9 <sup>a</sup>	14,3 <sup>c</sup>	99,5 <sup>b</sup>	14,5 <sup>ab</sup>	17,9 <sup>a</sup>	107,4 <sup>b</sup>	106,3 <sup>a</sup>	31,6 <sup>ab</sup>
Cabeza de Hierro	35	407,3	30,8	28,4	193	15,2 <sup>a</sup>	21,7 <sup>a</sup>	193,8	213,4	58,9 <sup>ab</sup>
	36	310,8	38,2	32,8	240,2	30,6 <sup>b</sup>	19,3 <sup>b</sup>	178,7	132	94,2 <sup>c</sup>
	37	267,5	40,3	29,7	232,7	17,1 <sup>a</sup>	22,6 <sup>a</sup>	151,2	116,3	83,2 <sup>bc</sup>
	38	414,4	32,8	26,9	188,1	15,5 <sup>a</sup>	22,2 <sup>a</sup>	157,1	257,2	62,3 <sup>abc</sup>
	40	356,5	32,4	26,4	160,7	23,9 <sup>c</sup>	18,9 <sup>b</sup>	245,9	110,6	36,9 <sup>a</sup>

**N:** Densidad (pies/ha), **Dg:** Diámetro medio cuadrático (m<sup>2</sup>), **G:** Área Basimétrica (m<sup>2</sup>/ha), **Vol:** Volumen (m<sup>3</sup>/ha), **Hm:** Altura media (m), **H<sub>0</sub>:** Altura Dominante de Weise (m), **PM<sub>y</sub>:** Pies mayores (pies/ha con diámetro normal >20 cm), **PM<sub>n</sub>:** Pies menores (pies/ha con diámetro normal <20 cm), **P45:** Pies grandes (pies/ha con diámetro normal >45 cm).

Tabla 4: Resultado del test post hoc (DMS) aplicado a los índices de diversidad estructural de cada monte entre Tramos y Cantones.

		H'	Ev	S	GC
Pinar de Navafría	II	0,609 <sup>ab</sup>	0,58 <sup>a</sup>	0,735 <sup>ab</sup>	0,038 <sup>a</sup>
	III	0,664 <sup>b</sup>	0,47 <sup>b</sup>	0,772 <sup>b</sup>	0,095 <sup>b</sup>
	IV	0,515 <sup>a</sup>	0,515 <sup>ab</sup>	0,661 <sup>bc</sup>	0,028 <sup>a</sup>
	V	0,324 <sup>c</sup>	0,614 <sup>a</sup>	0,590 <sup>c</sup>	0,016 <sup>a</sup>
Cabeza de Hierro	35	0,859	0,591	0,835	0,128
	36	0,753	0,606	0,774	0,071

	H'	Ev	S	GC
37	0,804	0,568	0,809	0,103
38	0,815	0,676	0,814	0,126
40	0,774	0,661	0,803	0,069



(a) En el monte 1 existe una clara desigualdad en densidad entre tramos, directamente relacionada con la edad de los mismos. Se recuerda que gran parte de los pies del tramo V no aparecen recogidos en este índice por ser regeneración. En el monte 2 no se aprecia desigualdad entre cantones.

(b) El monte 2 presenta valores más altos y distribuciones muy parecidas. A diferencia del Monte 1, en el cual se ve una diferente distribución del índice por tramo y mayor rango en 5 (tramo V), como corresponde con una situación de coexistencia entre pies muy pequeños y pies grandes aún sin cortar.

Figura 2. Diagrama de cajas y bigotes para la densidad total (pies/ha) y para el complementario al índice de Simpson. Monte 1: "Pinar de Navafría". Monte 2: "Cabeza de Hierro".

## 5. Discusión

Los resultados varían según la escala superficial, manifestándose diferencias significativas entre tramos en el "Pinar de Navafría" para todos los índices analizados (Tabla 2), diferencias que son explicables en función de la edad y estado de desarrollo de cada tramo. Por el contrario, "Cabeza de Hierro" a escala de cuartel muestra resultados similares entre cantones para casi todos los índices; tan solo hay diferencias significativas para tres de los índices de espesura considerados, en todos los casos muy posiblemente relacionados con la presencia (e influencia) dentro de las parcelas de muestreo de algún pie extracortable, por ser los índices en los tres casos muy sensibles a este hecho.

Por limitación de espacio tan solo comentaremos como ejemplo los resultados de algunos de aquellos índices que podrían tener mayor relevancia para la biodiversidad. De entre los índices de espesura, los pies grandes -con un diámetro mayor a 45 cm (**P45**) y aquellos que van a intervenir en el cálculo de la altura dominante (**H<sub>0</sub>**)- son importantes para la biodiversidad como un indicador de la estructura y las funciones ecológicas del monte (FIEDLER, et al., 2007). La presencia de árboles grandes favorece los refugios para la fauna, principalmente la riqueza y abundancia de aves (en el caso de ambos montes se cuenta con especies de interés especial o protegidas), y sirve de sostén para hongos saprófitos, líquenes y otras tipologías de plantas, y por tanto su presencia puede suponer un aumento de la biodiversidad del ecosistema (CAMPRODON, et al., 2008).

En ambos montes existen diferencias significativas a nivel de cuartel. En el caso del “Pinar de Navafría” los valores medios parecen tener una relación muy clara con la edad de las masas, aunque puede llamar la atención (Tabla 3) que no existan diferencias significativas en  $H_0$  ni  $P45$  entre los tramos II (cuya masa es la más vieja de las consideradas y siguiente en orden para entrar en destino) y V (en el que ya deberían haber finalizado las cortas de regeneración pero por cierto retraso en la ejecución de las mismas todavía están pendientes en algunos tramos); este resultado se explica porque en el tramo V aún están pendientes las cortas finales. Recordemos que no se pudo considerar el Tramo I (edades entre 92 y 112 años) por haber sido inventariado pie a pie; si se consulta el documento de gestión, se ve que dicho tramo I presenta valores muy elevados para ambos índices, con el máximo  $P45$  para ambos montes (111 pies > 45 cm/ha) (HERNÁNDEZ y MONTERO, 2012). En “Cabeza de Hierro” los valores de  $P45$  en todos los cantones son superiores a los que presentan los tramos de “Pinar de Navafría” (excepción hecha del tramo I), lo que es coherente con la cantidad superior de pies de grandes dimensiones que por unidad de superficie se obtienen como media en las masas irregulares frente a lo que ocurre en las regulares (SERRADA, 2008). No se ha apreciado que haya una variabilidad interna aparentemente mayor dentro de los cantones del modelo irregular (“Cabeza de Hierro”) que dentro de los tramos regulares de Navafría.

Los resultados de los índices de diversidad estructural solo presentan diferencias significativas a escala de cuartel en el “Pinar de Navafría”. En “Cabeza de Hierro” los valores medios son muy similares entre cantones, y superiores a los del otro monte (Tabla 4), como es lógico dada la distribución diamétrica de cada una de las situaciones (valores mayores de los índices en masas “más irregulares”). Tomando como ejemplo el índice Complementario de Simpson ( $S'$ ), vemos que en “Pinar de Navafría” toma valores menores, al tratarse de masas regulares y por lo tanto concentrar más la distribución diamétrica en ciertas clases. Los valores aumentan al hacerlo la edad media de los tramos (Figura 2), lo que es explicable porque con la edad hay más posibilidades de diferenciación entre unos pies y otros; la excepción la constituye el tramo III, que no es el más viejo y sin embargo presenta el valor mayor del cuartel, quizás debido a la diferente aplicación de las cortas de mejora o a otro motivo que desconocemos

## 6. Conclusiones

El modelo de gestión de masa regular (monte “Pinar de Navafría”) presenta diferencias significativas para todos los índices de diversidad estructural y de espesura considerados entre los diferentes tramos (masas regulares de edades distintas) estudiados. En el caso del modelo de gestión de masa irregular (monte “Cabeza de Hierro”) no hay diferencias entre cantones para ninguno de los índices de diversidad estructural, y tan solo las hay para los índices de espesura que tienen que ver directa o indirectamente con la presencia de pies de mayores dimensiones (alturas dominante y media, y densidad de pies con diámetro normal superior a 45 cm). Los valores medios de los índices de diversidad estructural son siempre superiores en la masa irregular, como era de esperar dada la forma de construcción de dichos índices. No se ha apreciado mayor variabilidad interna (comparación de unas parcelas con otras) en los cantones irregulares que en los tramos regulares. Por tanto, los resultados obtenidos parecen confirmar nuestra hipótesis de partida. En este estudio no se recoge otra cuestión de gran importancia en relación con la diversidad estructural, como es la presencia (cantidad, distribución espacial, etc.) de ecotonos entre situaciones distintas.

Por tanto, se considera imprescindible que los estudios que valoran la diversidad estructural en relación con la gestión aplicada se desarrollen a escala de cuartel de ordenación.

## 7. Agradecimientos

Los autores agradecen a los propietarios de ambos montes las facilidades para la realización de éste y otros estudios. Así mismo, han sido muy valiosas las aportaciones de Álvaro Hernández Álvarez, fundamentales para la correcta interpretación del inventario de Navafría.

## 8. Bibliografía

AGUIRRE, O.; KRAMER, H.; JIMÉNEZ, J.; 1998. Strukturuntersuchungen in einem Kiefern-Durchforstungsversuch Nordmexikos, Allg.Forst.-u.J.-Ztg, vol. 169, pp. 213-219.

AGUIRRE, O.; HUI, G.; GADOW, K.; JIMÉNEZ, J.; 2003. An analysis of spatial forest structure using neighbourhood-based variables. Forest Ecology and Management, 9/15, vol. 183, no. 1-3, pp. 137-145.

AROCA, M.J.; BRAVO, J.A.; GASTÓN, A.; SERRADA, R.; 2013. Influencia de las condiciones ambientales en la germinación y supervivencia inicial del pino silvestre en el Valle del Lozoya (Madrid), Actas del VI Congreso Forestal Español. Montes: Servicios y desarrollo rural, 10/06/2013 - 14/06/2013, Vitoria-Gasteiz. pp. 1-9.

BRAVO, J.A.; SERRADA R.; 2007. Tercera Revisión de la Ordenación del monte "Cabeza de Hierro" (Rascafría, Madrid). Documento sin publicar.

BRAVO, J.A.; SERRADA, R.; 2011. "Cabeza de Hierro: un monte privado, ordenado y ejemplo de multifuncionalidad.", Foresta, no. 520, pp. 184-192.

CAMPRODON, J.; 2008. Elementos biológicos a tener en cuenta en la planificación forestal a escala de rodal y de paisaje. Cuadernos de la Sociedad Española de Ciencias Forestales, (27), 78-86.

CAÑELLAS I.; MARTÍNEZ F.; MONTERO G.; 2000. Silviculture and dynamics of Pinus sylvestris L. stands in Spain. Invest Agr: Sist Recur For Fuera de Serie, no. 1, pp. 233-253.

CORDONNIER, T.; KUNSTLER, G.; 2015. The Gini index brings asymmetric competition to light. Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics, vol. 17, no. 2, pp. 107-115.

CORRAL J.; AGUIRRE, O.; JIMÉNEZ, J.; CORRAL, S.; 2005. Un análisis del efecto del aprovechamiento forestal sobre la diversidad estructural en el bosque mesófilo de montaña "El Cielo", Tamaulipas, México", Investigación Agraria (España). Sistemas y Recursos Forestales, vol. 14, no. 2, pp. 217-228.

DE DIEGO, S.; GÓMEZ, V.; 2009. Estado selvícola de rodales de pino silvestre con nidificación de buitre negro en el monte "Cabeza de hierro" (Madrid), Memoria 5to Congreso Forestal Español.

DEL RÍO, M.; MONTERO, G.; MONTES, F.; CAÑELLAS, I.; 2003. Índices de diversidad estructural en masas forestales. Forest Systems, vol. 12, no. 1, pp. 159-176.

DÍAZ, L.; PRIETO, A.; 1999. Modelos de planificación forestal basados en la programación lineal investigación agraria: sistemas y recursos forestales: aplicación al monte "Pinar de Navafría". Investigación agraria. Sistemas y Recursos Forestales, vol. 8.

FIEDLER, C.; FRIEDERICI, E. P.; PETRUNCIO, M.; DENTON, C.; HACKER, W. D.; 2007. Managing for old growth in frequent-fire landscapes. Ecology and Society 12(2): 20.<http://www.ecologyandsociety.org/vol12/iss2/art20/>

HERNÁNDEZ, A.; MONTERO, F.; 2012. 11ª Revisión de la Ordenación del Monte de Utilidad Pública Nº 198 "Pinar de Navafría". Segovia. Documento sin publicar.

HUERTAS, D.; MARTIN, J.; 2001. Análisis de la ordenación del monte pinar de Navafría en el período 1895-2000. Cuadernos de la Sociedad Española de Ciencias Forestales, no. 11, pp. 103-110.

JIMÉNEZ, J.; AGUIRRE, O.; KRAMER, H.; 2001. Análisis de la estructura horizontal y vertical en un ecosistema multicohortal de pino-encino en el norte de México. Investigación agraria. Sistemas y recursos forestales, vol. 10, no. 2, pp. 355-366.

LEXERØD, N.L.; EID, T.; 2006. An evaluation of different diameter diversity indices based on criteria related to forest management planning. Forest Ecology and Management, vol. 222, no. 1, pp. 17-28.

MONTES, F.; 2004. Estudio de la relación entre la selvicultura y la diversidad estructural en los montes Pinar de Valsaín y Pinar de Navafría. Tesis de Doctorado, Universidad Politécnica de Madrid, España.

MONTES, F.; CAÑELLAS, I.; DEL RÍO, M.; CALAMA, R.; MONTERO, G.; 2004. The effects of thinning on the structural diversity of coppice forests. Ann. For. Sci. 61: 771-779. doi: 10.1051/forest:2004074.

PONCE, R.; ROIG, S.; BRAVO, A.; DEL RÍO, M.; MONTERO, G.; PARDOS, M.; 2016. Dynamics of ecosystem services in *Pinus sylvestris* stands under different managements and site quality classes. Eur J Forest Res, DOI 10.1007/s10342-016-1021-4.

REQUE, J.; 2008. Selvicultura en espacios naturales protegidos. In: Serrada R, Montero M, Reque J. (ed.) Compendio de Selvicultura Aplicada en España. pp 1.005-1.035. INIA - FUCOVASA. Madrid

RUBIO, A.; VIVAR, A.; SADORNIL, E.; AROCA, J.; SERRADA, R.; BRAVO, J. A.; 2009. Espesura crítica y regeneración en un pinar natural de silvestre de elevada complejidad estructural (monte "Cabeza de Hierro", Rascafría, Madrid)", Actas del 5º Congreso Forestal Español. Ávila, del 21 al 25 de septiembre de 2009.

SERRADA, R.; 2008. *Apuntes de Selvicultura*. EUIT Forestal. Universidad Politécnica de Madrid. 501 pp.

STERBA, H.; 2008. Diversity indices based on angle count sampling and their interrelationships when used in forest inventories. *Forestry*, vol. 81, no. 5, pp. 587-597.

TISCAR, P.; LUCAS-BORJA, M.; CANDEL D.; 2011. Changes in the structure and composition of two *Pinus nigra* subsp. *salzmannii* forests over a century of different silvicultural treatments. *Forest Systems*, vol. 20, no. 3, pp. 525-535.

WADSWORTH, H.; 2000. Producción Forestal para América Tropical. Departamento de Agricultura de los Estados Unidos. Servicio Forestal. Manual de Agricultura, pp. 710

WEBER, J.; 1999. Beschreibung der Diversität von Bestandesstrukturen mit Hilfe von Teilkollektiven. In: Pelz, D., Rau, O., Saborowski, J. (Eds.), *Deutscher Verband Forstlicher Forschungsanstalten. Sektion Forstliche Biometrie und Informatik. 11. Tagung. Freiburg*, pp. 25-37.

ZENNER, E.; HIBBS, D.; 2000. A new method for modeling the heterogeneity of forest structure. *Forest Ecology and Management*, 4/17, vol. 129, no. 1-3, pp. 75-87.