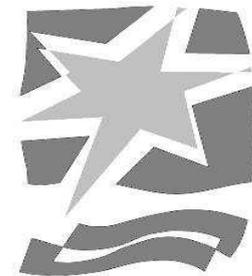


UNIVERSIDAD POLITECNICA DE VALENCIA
ESCUELA POLITECNICA SUPERIOR DE GANDIA
I .T. FORESTAL



UNIVERSIDAD
POLITECNICA
DE VALENCIA



ESCUELA POLITECNICA
SUPERIOR DE GANDIA

“Estructura forestal y trabajos selvícolas en el MUP de Sinarcas (Valencia). Comparación entre inventarios forestales tradicionales y mediante tecnología LiDAR.”

TRABAJO FINAL DE CARRERA

Autor:

Alberto Martín Gil

Tutor/es:

Miquel Fabra Crespo

GANDIA, 2010

Agradecimientos: al *Ingeniero de Montes José Alejandro Poveda* y a todo aquel/aquella que en el periodo de estudio me ayudaron de alguna manera.

MEMORIA

Índice memoria

I. Introducción.....	6
I.1 El estado Selvícola de la Comunidad Valenciana	6
I.2 Problemática de la gestión forestal en la Comunidad Valenciana.....	9
I.3 Potencialidad de las nuevas tecnologías en la planificación forestal	13
I.4 Tecnología LiDAR y sus aplicaciones en el sector forestal	15
I.5 Marco legal	19
II. Antecedentes y justificación.....	21
III. Objetivos.....	22
IV. Material y métodos	23
IV.1 Descripción de la zona.....	23
IV.1.1 Estado legal	24
IV.1.2 Estado natural	26
IV.2 Descripción de los datos utilizados	30
IV.2.1 Descripción de las ordenaciones.....	30
IV.2.2 Descripción de los inventarios	35
IV.2.3 Descripción de los datos LiDAR	39
V. Metodología del proyecto.....	40
V.1 Estadística empleada.....	41
V.2 Comparación entre inventarios de campo.....	49
V.3 Comparación de campo - LiDAR.....	53
VI. Resultados	57
VI.1 Resultados comparación de las Ordenaciones	59
VI.1.1 Densidad.....	59
VI.1.2 Alturas	68
VI.1.3 Fracción de cabida cubierta	73

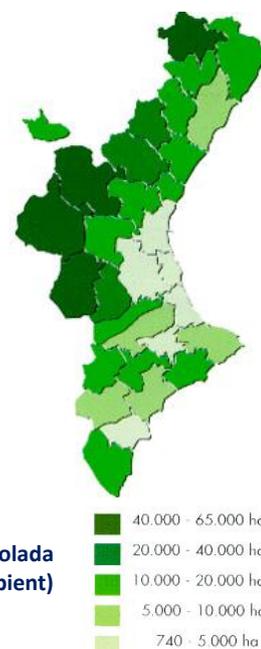
VI.1.4 Área Basimetrica	77
VI.1.5 Volumen	81
VI.2 Resultados comparación Campo – LiDAR	84
VI.2.1 Cantón	85
VI.2.2 Parcela	90
VI.2.2.1Densidad.....	91
VI.2.2.2 Alturas	92
VI. Valoración económica	94
VI. 1 Comparación de la valoración económica inventario – LiDAR	94
VII. Discusión.....	96
VIII. Conclusiones.....	99
IX. Bibliografía.....	100

I. Introducción

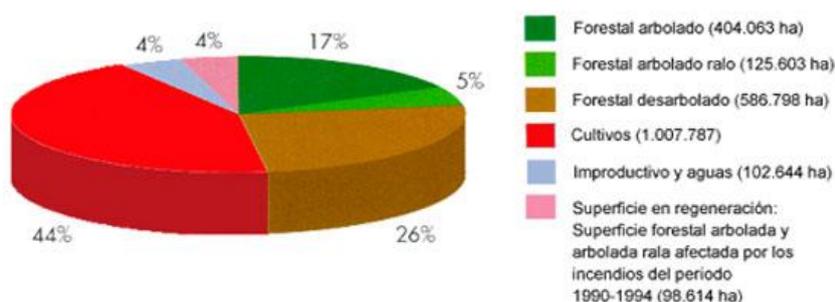
I.1 El estado Selvícola de la Comunidad Valenciana

En La Comunidad Valenciana (a partir de ahora CV) existen 1.215.078 ha de superficie forestal, lo que supone un 4,62% del Estado Español y el 54,2% de la superficie valenciana, según el Plan General de Ordenación Forestal de la CV, 2004(PGOF).

Teniendo en cuenta que el estado forestal en la CV se analiza mediante el los contenidos de las publicaciones del Primer y Segundo Inventario Forestal Nacional (IFN1 e IFN2), la superficie forestal en la CV en el transcurso de 36 años (1966-2002) se ha incrementado notablemente, sobre todo entre los años 1966-1995 con la incorporación de 100.560 ha, frente a las 32.000, en números redondos, que se han incrementado entre los años 1995-2002. Desde el año 1995 la superficie arbolada se ha incrementado vertiginosamente con valores que se sitúan entre el 31% en el caso de Valencia, el 44% en Castellón y el 60% en el caso de Alicante. La superficie arbolada en el año 2002 supone el 37,5% de la superficie total (Figura1). Por otro lado el monte desarbolado se ha reducido en las tres provincias entre 1995 y el año 2002, con valores entre el 35% y el 40%, pasando a la categoría de superficie arbolada. (PGOF, 2004).



La superficie forestal se distribuye por usos según la Tabla2:



A continuación se muestran valores de superficie forestal y arbolada de las diferentes Comunidades Autónomas del estado:

Tabla1. Distribución de Superficies por Comunidades (Fuente: Banco de datos de la naturaleza)

Comunidad Autónoma	Superficie Geográfica		Superficie forestal		Superficie arbolada	
	Ha	%	Ha	%	Ha	%
ANDALUCIA (1995-1996)	8.759.589	17,31%	4.325.378	16,46%	2.106.252	14,30%
ARAGON (1993-1994)	4.771.996	9,43%	2.478.760	9,43%	1.185.531	8,05%
CANARIAS (1992)	744.695	1,47%	485.980	1,85%	104.914	0,71%
CANTABRIA (2000)	532.139	1,05%	359.459	1,37%	214.257	1,45%
CASTILLA-LA MANCHA (1992-1993)	7.946.212	15,71%	3.473.536	13,22%	1.851.221	12,57%
CASTILLA Y LEON (1991-1992)	9.422.542	18,62%	4.516.386	17,19%	2.119.139	14,38%
CATALUÑA (1989-1990)	3.211.368	6,35%	1.855.944	7,06%	1.394.074	9,46%
COMUNIDAD FORAL DE NAVARRA (1999)	1.039.069	2,05%	586.483	2,23%	462.634	3,14%
COMUNIDAD VALENCIANA (1994)	2.325.452	4,60%	1.215.078	4,62%	628.280	4,26%
EXTREMADURA (1990-1991)	4.163.453	8,23%	2.278.587	8,67%	1.457.591	9,89%
GALICIA (1997-1998)	2.957.447	5,85%	2.039.575	7,76%	1.405.452	9,54%
ISLAS BALEARES (1999)	499.166	0,99%	223.601	0,85%	186.377	1,27%
LA RIOJA (1999)	504.527	1,00%	294.404	1,12%	128.917	0,88%
MADRID (2000)	802.769	1,59%	420.093	1,60%	330.086	2,24%
PAIS VASCO (1996)	723.464	1,43%	469.355	1,79%	390.005	2,65%
PRINCIPADO DE ASTURIAS (1998)	1.060.357	2,10%	764.597	2,91%	451.116	3,06%
REGIÓN DE MURCIA (1999)	1.131.260	2,24%	486.019	1,85%	316.401	2,15%
TOTAL	50.595.505	100,00%	26.273.235	100,00%	14.732.247	100,00%

Las especies más representativas en la CV son el *Pinus halepensis* Mill. y *Quercus ilex* L., ambas han incrementado sus existencias en todas sus clases diamétricas en el periodo de realización del IFN1 e IFN2, primero y segundo. La principal especie sometida a aprovechamientos en coníferas es el *Pinus Halepensis* y *Populus* sp. en frondosas, encontrándose en el interior de la CV las comarcas más forestales, coincidiendo que son las zonas más montañosas y despobladas (Plan General De Ordenación Forestal de la CV,. 2004).

De lo expuesto anteriormente hay que ser prudentes a la hora de valorar los incrementos de superficie arbolada, ya que según se utilice un método u otro en los inventarios forestales aumenta o disminuye el parámetro a estudiar.

En el caso de los inventarios comentados, en el IFN2 se cambia respecto al primero la definición de superficie arbolada, incluyendo en esta categoría a masas con un valor fracción de cabida cubierta (FCC) menor que en IFN1, y también el diámetro para considerar pies mayores que ha sido reducido a 7,5cm, disminuyendo en ambas los valores a considerar como superficie arbolada, Este hecho tiende a dar unos incrementos de superficie arbolada mayores de los que se hubieran obtenido sin modificar el método, lo que determina que quizás no sea un incremento del todo real

de la superficie arbolada sino la contabilización de valores que en épocas pasadas no se incluían como superficie forestal.

En cualquier caso todo parece indicar, con datos más modernos incluidos en el IFN3 (pendiente de publicar) que, aún sin cambiar la metodología con el IFN anterior, la tendencia de la superficie forestal es a aumentar en la Comunidad Valenciana.

Estos incrementos se deben a varios factores y entre ellos cabe citar los procesos de repoblación forestal, que han sido una de las actividades centrales de los servicios forestales y que han desarrollado en buena parte del Levante español durante los últimos cincuenta años (PASTOR et al., 1992/93).

Otro factor importante en el aumento de la superficie arbolada se debe a la reducción de incendios sufridos en los últimos años, ya que según el balance de 2003 publicado por la Consellería de Medio Ambiente Territorio, Agua, Urbanismo y Vivienda (CMAAUV) se observa que los incendios ocurridos en el periodo desde 1995 hasta 2003, y comparando con los ocurridos en el periodo 1993 - 2002, han disminuido significativamente, tanto en superficie (82,4%) como en número, un 22% menor. Lo que se traduce en menos de 10.000 ha quemadas en el periodo de estudio antes comentado.

Además de los motivos citados anteriormente, el abandono de cultivos e invasión del monte de parcelas agrícolas, la disminución de las cabezas de ganado (sobre todo el sector ovino por el éxodo rural), la falta de relevo generacional y demás problemas del sector, todos ellos incidiendo sobre el diseminado y una baja actuación de trabajos forestales en los montes, favorece el regenerado y un aumento de la superficie arbolada.

Este claro aumento de la superficie arbolada, no es del todo favorable, desde el punto de vista del estudio de la masa o gestión selvícola, ya que en masas provenientes de regenerado natural post-incendio, se produce un incremento desmesurado de la densidad de este regenerado, estableciendo masas impenetrables con elevadísima densidad, favoreciendo a posibles plagas y enfermedades, la continuidad vertical en posibles incendios y provocando competencia en la masa entorpeciendo el máximo desarrollo a pies mejor conformados y de mayor tamaño.

Por todo ello se puede decir que los montes valencianos o mejor dicho, la superficie forestal arbolada, se encuentra en una situación un tanto complicada al estar en claro aumento y carecer, en muchos casos, de una gestión adecuada que además de mejorar estos problemas podría orientarse a una correcta obtención de recursos y necesidades.

1.2 Problemática de la gestión forestal en la Comunidad Valenciana

A los montes con las situaciones descritas anteriormente y tras el estudio de los trabajos a nivel de gestión en la CV se averigua el reducido número de montes públicos que han sido objeto de un proyecto de ordenación y muchos menos aquellos cuyas ordenaciones han sido revisadas.

En el siguiente cuadro aparecen los proyectos de ordenación realizados desde el inicio de la catalogación de los montes públicos:

Tabla 2. Montes ordenados (Fuente: Plan general de Ordenación Forestal de la CV)

Provincias	Montes ordenados
Alicante	2
Castellón	8
Valencia	29

Respecto a la totalidad de la superficie forestal de la CV, la superficie de montes gestionados por la Generalitat Valenciana que, en algún momento ha estado sometida a un proyecto de planificación de sus aprovechamientos y usos no alcanza el 10% de la misma, y respecto a la superficie arbolada, esta proporción se eleva a, escasamente, un 13%.

Si el número de montes ordenados es muy bajo, cabe reseñar además que en Valencia, todas las ordenaciones, excepto la del monte de utilidad Pública (M.U.P) nº57, "Solana y Campo de las Herrerías" de Sinarcas, objeto de estudio, se encuentran caducadas, encontrándose las fechas de aprobación entre 1967 y 1981, en Castellón no hay ningún monte con el proyecto vigente, siendo las fechas de aprobación de los últimos proyectos entre 1956 y 1978 y por último, en Alicante, tampoco hay ningún monte con

la ordenación vigente, siendo las fechas de aprobación de los proyectos de 1930 y 1970 respectivamente (PGOF, 2004).

Los datos de la tabla siguiente nos muestra la superficie de los montes según su titularidad, que bien sean de entidades locales o de la Generalitat, la superficie de los

Tabla 3. Superficies por titularidad en miles de ha (Fuente: IFN2)

	Alicante			Castellón			Valencia			Comunidad		
	IFN1 (1966)	IFN2 (1995)	%									
Montes Públicos	51,7	55,8	7,90%	4160,00%	53,3	28,10%	280,5	360,4	28,50%	373,8	469,5	25,60%
Montes Privados	223,3	161,6	14,20%	270,2	345,8	28,00%	248,3	208,2	16,10%	740,8	745,6	0,65%
Total forestal	275	247,4	-	311,8	399,1	-	528,8	568,6	-	1114,6	1215,1	-

montes públicos, asciende a un número, como bien se indica, de 469.500 ha. Valga como ejemplo que la superficie del único M.U.P con ordenación reciente y en vigor de la CV, como se ha comentado anteriormente, es el nº 57 "Solana y Campo de las Herrerías" de Sinarcas, con un total de 2351.23 ha, lo que supone que **actualmente haya en toda la Comunidad Valenciana un 0.5% de ordenaciones de Montes en vigor**. Un número realmente indicativo de la baja gestión en la CV.

Si bien es cierto que Cataluña tiene problemas y características diferentes a la CV, y una zona norte muy diferente en clima, suelo, pendientes y sociedad, si comparte algunas características parecidas a nivel de superficie forestal, superficie de titularidad pública, clima mediterráneo en buena parte de su territorio con la vegetación asociada a dicho clima y suelos y orografía costera similar, así que a modo de ejemplo y para comparar con los datos obtenidos en la CV, se citan a continuación unos números de los mismos parámetros estudiados para Cataluña (tabla 4).

Con un 78,53% de superficie forestal privada y un 21,47% de titularidad pública, la superficie pública catalana cuenta con un total de 475.260,07 ha, lo que supone una diferencia de superficie con la CV de tan solo 5760 ha, en un total de 934 montes (incluye montes de la Generalitat y de entidades locales). La superficie ordenada por año es de un total de 298.970 hectáreas (**62.91% del total de superficie pública**), es decir un total de 487 montes (52.14%). Aunque bien es cierto que habría que diferenciar claramente la zona norte con la Mediterránea para valorar estos datos,

éstos reflejan claramente la importancia en la gestión forestal de una Comunidad y en otra.

Tabla 4. Montes ordenados de Cataluña (Fuente: Generalitat de Catalunya)

Any	Superfície ordenada per any (ha)	Número de forests ordenades per any
2009	30.817,80	69
2008	46.287,34	58
2007	37.091,76	55
2006	13.471,39	32
2005	64.888,48	127
2004	47.221,56	73
2003	18.327,19	29
2002	8.735,07	4
2001	6.860,27	23
1991-2000	7.674,62	7
Subtotal (1991-2009)	281.375,48	477
% respecte total	59,20%	51,07%
<1991	17.594,58	10
Total	298.970,06	487
% respecte total	62,91%	52,14%

Para los montes privados existen 3.225 Instrumentos de Ordenación Forestal (IOF) aprobados, que ordenan 440.011,9 ha de superficie forestal privada (el 29,1% de los bosques privados de Cataluña) (GENERALITAT DE CATALUNYA. 2008), mientras que en la Comunidad Valenciana existen puntualmente algunos planes técnicos pendientes de aprobación para montes de la zona del Macizo del Caroche y Tinença de Benifassà y algunos planes técnicos según su aprovechamiento como en Sierra Espadán para el aprovechamiento del corcho.

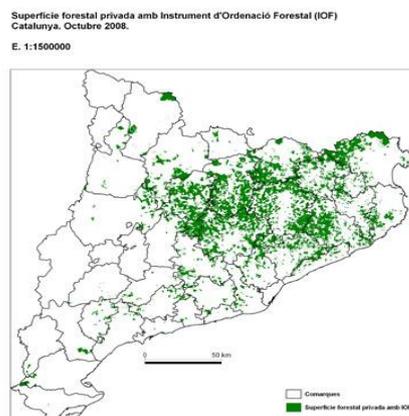


Fig.3 Superficie forestal privada en Cataluña

A la ausencia de ordenaciones y/o planes de gestión de los montes se une la consecuente falta de trabajos selvícolas. Según el PGOF, 2004 considerando valores promedios no se observan tratamientos culturales en el 80% de los montes al nivel

Comunidad y por demarcaciones y comarcas, este valor se incrementa hasta el 89% en La Plana de Utiel, lo cual nos indica que la ausencia de selvicultura detectada es notoria.

En muchos casos el desconocimiento por parte de los gestores y propietarios de las potencialidades de las masas forestales hace que se actúe poco y lo poco que se realiza sobre la masa sea demasiado sutil, con grandes costes y escasa repercusión. Como puede observarse en la Figura 4, la claras y clareos solo suponen un 6% de todos los tratamientos silvícolas que se realizan en la CV (PATFOR, 2010).

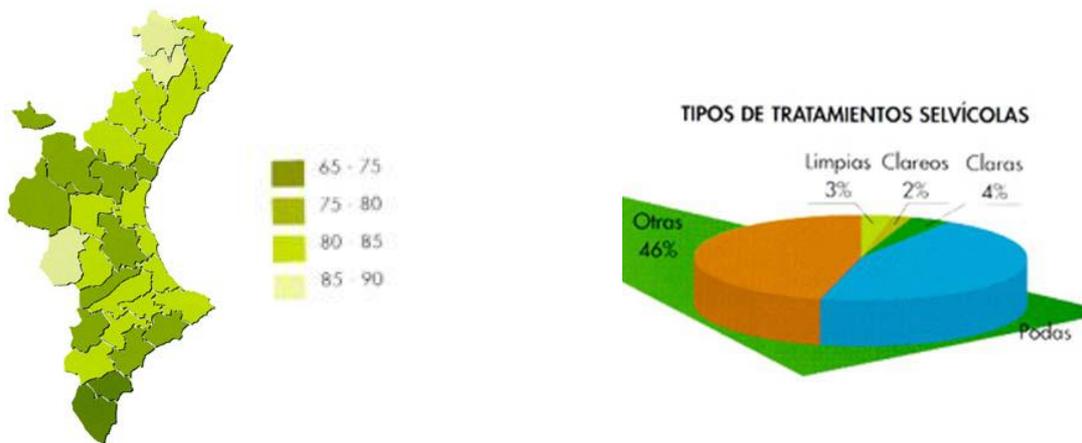


Fig.4 Baremo de actuaciones silvícolas en la CV (nº de actuaciones en IFN2) y tipos de tratamientos (Fuente: PATFOR.es)

Todo lo anteriormente expuesto junto la bajada de los precios de la madera y el encarecimiento de la mano de obra ha favorecido un paulatino y constante descenso en el volumen de aprovechamientos a lo largo de los periodos analizados.



Fig.5 Círculo de problemas

Esta situación provoca un estado de los montes en su mayoría, inestable y potencialmente peligroso ya que propicia un grave riesgo frente a los incendios, pérdidas del vuelo por plagas o enfermedades y al final el abandono del aprovechamiento del monte o la dejadez de la masa por parte del propietario al no sacar rentabilidad ninguna por unos costes excesivos que cerrará el círculo de problemas.

La ordenación de Montes como herramienta para la planificación de las actuaciones a realizar en la gestión de sistemas forestales dentro de un marco legal, natural, sostenible y persistente en el tiempo para la obtención de recursos y necesidades, tanto para propietarios como usuarios de dichos sistemas, se presenta básico y elemental, más si cabe, hoy día.

1.3 Potencialidad de las nuevas tecnologías en la planificación forestal

Las llamadas nuevas tecnologías introducidas en los trabajos de gestión forestal suponen un adelanto cualitativo y cuantitativo importante en el sector, cuantitativo por la cantidad de trabajo realizado en menor tiempo y con menor esfuerzo minimizando costes, y cualitativo ya que maximizan la efectividad y rapidez aportando la automatización de los trabajos más tediosos organizándolos con posibilidades de software que los dotan de una mayor calidad de formato, gráficos, tablas y mapas.

Como nuevas tecnologías aplicadas en el sector forestal se incluyen aquellas que de alguna manera favorecen o han aportado una simplificación o mejora del trabajo, a título de ejemplo se puede citar la fotointerpretación a partir de ortofoto, utilizada en la caracterización de los ecosistemas forestales en unidades de vegetación (ÁLVAREZ DE PRADO L. et al., 2005) trabajo que con la evolución de la tecnología y con computadoras más potentes se está también realizando de una forma más eficaz para zonas con grandes pendientes o de poca accesibilidad mediante el procesado digital de imágenes de satélite multiespectrales (LANDSAT) lo que permite realizar primeras clasificaciones y rodalizaciones del monte, así como realizar el cálculo de existencias de una masa forestal (QUINTANO PASTOR C. et al., 2005)

No cabe duda que los programas informáticos de gestión del territorio SIG son una herramienta imprescindible en la realización de mapas, ya que éstos permiten la realización de los mismos por áreas temáticas, clasificaciones por usos, pendientes, riesgo de incendios y tantas otras posibilidades de mapas en gradientes, “buffer” y demás, pudiendo realizar tareas como seguimiento de cortas, apeo de rodales, gestión de aprovechamientos, estudios de epidimetría y otros. El uso de estos programas junto con la utilización de GPS (Global Positioning System, en español sistema de posicionamiento global) de precisión hacen que el inventario forestal sea más rápido y

eficaz, ya que el GPS toma con un error de 5-6 metros de forma más rápida y fácil la localización de las parcelas que con la brújula tomando rumbos y distancias, evitando también la acumulación de errores ya que la toma de datos es independiente, así como incorporar a dicho GPS las capas vectoriales de la localización del centro de las parcelas, carreteras, orientaciones, y demás información necesaria para la correcta geoposición en el campo. (FERNÁNDEZ-MANSO O. et al., 2005)

La aplicación de la tecnología LiDAR en trabajos forestales con el software correspondiente supondrá también un avance sin parangón, al poder tratar grandes extensiones en breve espacio de tiempo y obtener variables forestales importantes en el inventario forestal y la ordenación de montes.

Para acabar con este apartado simplemente comentar que lo aquí expuesto en materia de las nuevas tecnologías es un esbozo de las enormes posibilidades que ya se vienen realizando desde hace un tiempo con dichas herramientas y que utilizadas además todas juntas suponen un adelanto como ya se comentó cualitativo y cuantitativo descomunal aún todavía con sus pequeñas carencias y errores para cada una de ellas que con el tiempo se irán depurando.

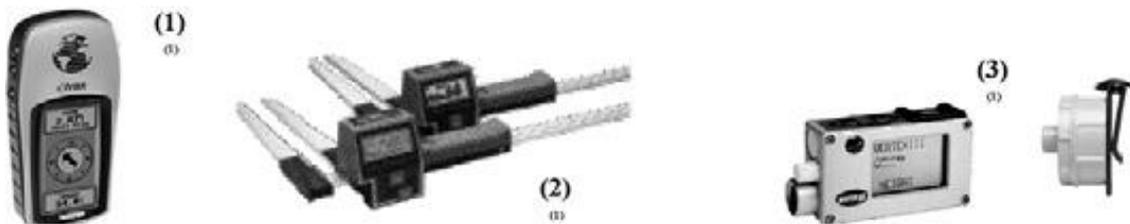


Fig.6 Instrumentos para la realización de inventario forestal (O. FERNÁNDEZ-MANSO et al., 2005)

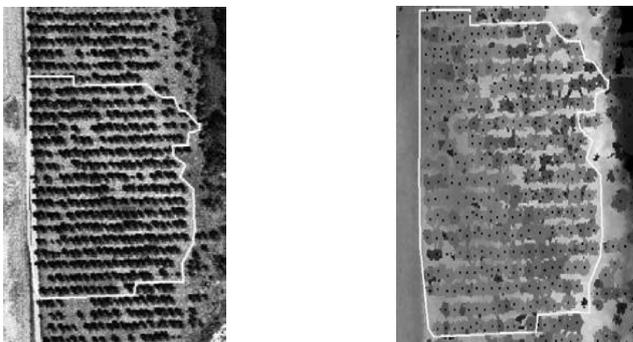


Fig. 7 Izquierda) Ortofoto. Derecha) Árboles identificados mediante LiDAR en misma parcela (COROMINES. M. et al., 2005)

1.4 Tecnología LiDAR y sus aplicaciones en el sector forestal

Funcionamiento

El principio del funcionamiento consiste en la emisión de un pulso láser colocado en un vehículo aéreo y en la determinación de la distancia entre el sensor y objeto sobre el que incide el pulso láser, en función del tiempo que tarda en volver el pulso. De esta forma se determina la altimetría del terreno.

Este sistema se instala en un avión o helicóptero y está integrado por las siguientes unidades: unidad de medida de distancias, escáner, sistema inercial y unidad de control y procesamiento, la cual incluye un sistema GPS que permite determinar la posición y orientación del sensor.



Fig.8 Sistema escaner aerotransportado (Renslow M. et al., 2000)

El emisor, lanza un pulso Laser que junto con un sistema de espejos distribuye los rayos láser en la superficie de la que deseamos obtener datos, con un resultado de barrido en zig-zag. Actualmente hay instrumentos LiDAR que miden hasta

con una frecuencia de 150 Khz, lo que

quiere decir que emiten y reciben 150.000 pulsos láser por segundo. Este Laser en el punto que alcanza la superficie terrestre se le llama huella, que puede ser de un diámetro que oscila desde varios centímetros hasta varios metros, siendo ésta una clasificación del sistema.

El sistema inercial permite registrar con una precisión de 0.001 grados las variaciones en la orientación del avión debidas a las inclinaciones que la aeronave pueda realizar durante el vuelo (hacia delante, atrás o los lados)

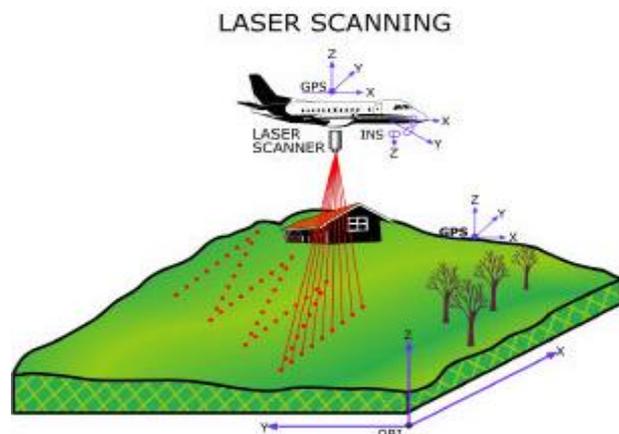


Fig.9 LiDAR aéreo (Renslow M. et al., 2000)

y con ello corregir los datos, refiriéndolos siempre a un plano horizontal controlado.

Para aumentar la precisión en el posicionamiento del instrumento, se utiliza un GPS diferencial en tierra (también se pueden utilizar estaciones de referencia, como la red de estaciones permanentes GPS del Instituto Geológico Nacional (IGN) que está conformada actualmente por 17 estaciones a lo largo de todo el territorio Español). Después de realizar el vuelo se combinan los datos GPS del avión con los del GPS diferencial en tierra, para obtener precisiones de 5 cm en la posición del instrumento.

Combinando toda esta información se obtiene la medición de la altura del terreno con una precisión en Z menor de 15 cm.

En las zonas cubiertas por vegetación se obtienen puntos a cualquier altura sobre la cubierta vegetal, rebotados por las ramas, hojas o tronco. Mediante técnicas de clasificación es posible extraer de la nube de puntos aquellos que corresponden a; 1) Vegetación, que devuelve parte de la huella o podríamos decir, una huella filtrada tomando el primer rebote y el último, 2) Agua, que absorbe toda la radiación y no devuelve nada, 3) Rebotes sobre el terreno que devuelve prácticamente toda la huella.

A partir de estos pulsos se construye un modelo digital de elevaciones del terreno o MDT.

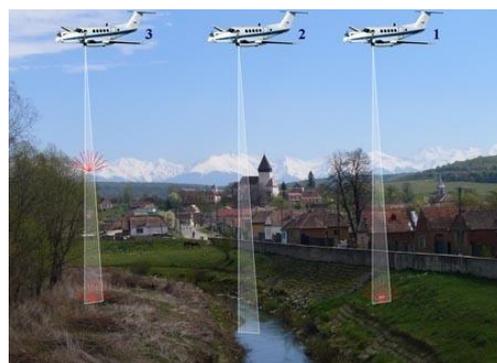


Fig.10 Diferentes respuestas del Laser en función de la superficie (DIELMO.com)

Cabe reseñar que la altura a la que los puntos se consideran matorral o regenerado la fija el investigador o ingeniero según el trabajo a realizar, pendiente de la zona o altura del sotobosque. A partir de los pulsos impactados en el dosel arbóreo, y de nuevo

mediante interpolación, se construye un modelo digital de superficies (MDS), que representa la estructura de la vegetación objeto de estudio.

La diferencia entre el MDS y el MDT constituye el modelo de altura de la vegetación.

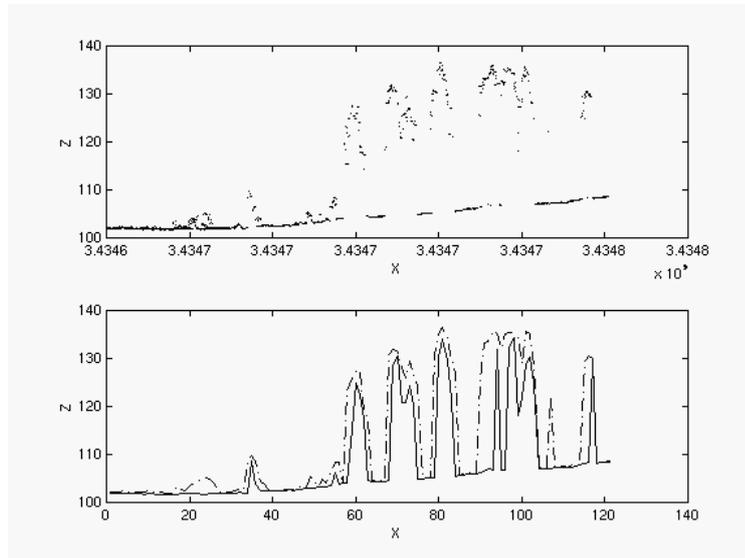


Fig.11 La imagen superior representa las líneas de puntos superiores e inferiores, las superiores se han unido formando el modelo de alturas.

Estos datos constituyen una auténtica nube de puntos con valores de altitud y coordenadas X, Y, Z, que con los software y equipos adecuados se lleva a cabo la reconstrucción visual de los objetos y una recreación en 3D del terreno.

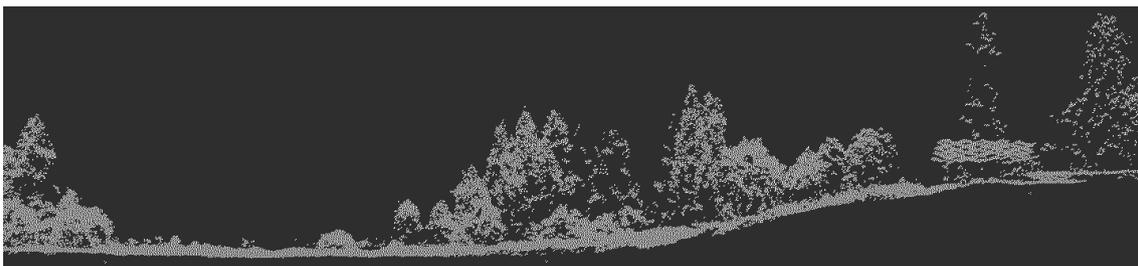


Fig.12 Perfil de cubierta forestal mediante nube de puntos LiDAR (RENSLOW M. et al., 2000)

Aplicaciones en el sector forestal

Al igual que en su momento la generalización del uso de la ortofoto, primero en blanco y negro, y posteriormente de color, junto al incremento sucesivo de la calidad de resolución de imagen, ha ido permitiendo que esta nueva herramienta de trabajo, se

generalice en la gestión forestal en general, y en la planificación selvícola en particular, la aparición de la tecnología LiDAR (Light Detection and Rangig) y el hecho único en Europa, de la pronta disponibilidad de datos LiDAR para toda España, que sucederá según las previsiones del Ministerio de Fomento del Gobierno de España, entre 2010 y 2011, abre unas nuevas perspectivas nunca acontecidas anteriormente.

Como producto inmediato de esta nueva tecnología, se van a poder obtener modelos digitales del terreno (MDT) para todo el territorio con una precisión media de unos 15 centímetros, impensables hasta hace poco tiempo. Además el modelo digital de superficies (MDS), formado a partir las intercepciones primeras en la vegetación (en las zonas forestales), van a generar otra capa cartográfica con amplias posibilidades de análisis, principalmente por la resta de las dos (MDS – MDT) obteniendo así la altura de la masa.

De esta manera la información LiDAR, se convierte en una base de datos georreferenciada imprescindible para la optimización del uso del territorio y posibilita el inventario exhaustivo de los árboles o de la estructura vegetal en su conjunto para el territorio forestal.

Así pues, de la misma manera en que las sucesivas ortofotos permitieron realizar la comparativa de la evolución del estado del territorio forestal en dos dimensiones, asimismo la disposición generalizada de datos LiDAR permite ya el análisis de la evolución general de la estructura de vegetación forestal en tres dimensiones.

A partir de los datos ofrecidos por esta innovadora tecnología LiDAR, no sólo se va a llegar a cuantificar el volumen de madera, sino también precisar exactamente la biomasa forestal según tipologías, el dióxido de carbono que se retiene, el crecimiento y cambios estructurales de los bosques. Datos todos ellos imprescindibles para implementar una gestión sostenible de los bosques y además indispensable también para mitigar o estudiar los avatares del cambio climático.

Algunas empresas están creando aplicaciones informáticas que aprovechan la potencialidad de los datos LiDAR para la creación de herramientas de análisis y apoyo a la gestión forestal.

En países donde el sector forestal es un recurso económico muy potente como el caso de Finlandia ya se está utilizando y ofertando con resultados testados. De hecho la

industria forestal finlandesa ha descubierto que se pueden hacer cinco planes de aprovechamiento en el tiempo que empleaban en hacer uno solo (ARBONAUT.COM). Existen varias aplicaciones en el sector forestal con resultados fiables y que se están aplicando ya en países con tradición forestal como Canadá, EEUU o Finlandia, como ejemplos en España CUASANTE CORRAL, D. & GARCÍA GÜEMES, C. han realizado inventario forestal en la provincia de Burgos a partir de dicha tecnología y así poder estimar exitosamente parámetros forestales como son el volumen de madera, el área basimétrica, el número de pies, el diámetro medio cuadrático o la altura dominante. En el Parque natural del Alto Tajo en Guadalajara GARCIA, M. et al 2009 estudiaron modelos digitales y ajustes planimétricos para estimar la altura de la vegetación, además el Institut Cartogràfic de Catalunya realiza diferentes estudios incluidos forestales pero también modelizaciones del terreno para el estudio del riesgo de inundaciones de ríos, cartografía de tendidos eléctricos o de superficies de edificios y antenas, todos ellos relacionados con el medio natural, antropológico y sus afecciones.

1.5 Marco legal

La legislación vigente a nivel estatal en ordenación de montes (Ley 43/2003 de 21 de Noviembre de montes) establece en su artículo 32: *“Los montes deben ser gestionados de forma sostenible, integrando los aspectos ambientales con las actividades económicas, sociales y culturales, con la finalidad de conservar el medio natural al tiempo que generar empleo y colaborar al aumento de la calidad de vida y expectativas de desarrollo de la población rural”*.

Además en el mismo artículo en el punto 3 dice: *“La elaboración de dichos instrumentos se hará a instancias del titular del monte o del órgano forestal de la comunidad autónoma, debiendo ser aprobados, en todo caso, por este último”*

Siendo éste artículo vital para la ordenación de montes, ya que establece la obligatoriedad a los propietarios de los montes a realizar una gestión ordenada, planificada y dentro de un marco legal.

A nivel autonómico la CV dispone de su propia ley forestal (Ley 3/93 de 9 de diciembre de la Generalitat Valenciana, Forestal de La Comunidad Valenciana; DOGV 2168, de 21 de diciembre de 1993). Además, ha desarrollado esta ley mediante su propio

Reglamento (aprobado por el Decreto 98/1995, de 16 de mayo, DOGV 2520, de 1 de junio de 1995).

En dicha ley también hace referencia a las ordenaciones de montes estableciendo en su artículo 4 que: *“La Generalitat Valenciana gestionará los montes o terrenos forestales de la Comunidad Valenciana de forma integrada, contemplando conjuntamente la flora, la fauna y el medio físico que las constituye, con el fin de conseguir un aprovechamiento sostenible de los recursos naturales, estableciendo garantías para la preservación de la diversidad biológica y para el mantenimiento de los procesos ecológicos esenciales”*. Haciendo mención a la gestión mediante al menos 2 de los principios básicos de cualquier ordenación.

El artículo 22 potencia la conservación y explotación de los recursos forestales, citando: *“En cada demarcación forestal se delimitarán áreas de actuación, constituidas por superficies forestales de homogéneas características físicas, biológicas, edáficas y otras, susceptibles de planes o programas comunes. Para cada una de las áreas se establecerán las prevenciones precisas para potenciar su conservación y explotación, así como para la protección contra incendios”*.

Así como el artículo 25 donde la ley Forestal cita: *“Para la gestión de los terrenos forestales de dominio público, de utilidad pública o protectores, la administración aprobará Programas de Gestión y Mejora Forestal”*. Y posteriormente, en el Reglamento a la ley se hace hincapié sobre estos Programas de Gestión y Mejora Forestal, estableciendo que *“se redactarán con sujeción a las instrucciones que estuviesen vigentes y determinarán los aprovechamientos a ejecutar, los tratamientos selvícolas de la masa forestal y los trabajos a realizar en el monte que sean necesarios para la persistencia y mejora de la cubierta vegetal”*.

Además la CV a través de la Consellería de Medio ambiente territorio, agua, urbanismo y vivienda (CMATAUV) y mediante la Orden de 29 de diciembre de 2001 por la que se establece un régimen de ayudas destinadas a la protección, conservación y mejora de los espacios forestales de La Comunidad Valenciana (DOGV 4146, de 12.11.2001) asume Reglamentos de la Unión Europea para fomentar el desarrollo rural y forestal. (Reglamento de ayuda al desarrollo rural a cargo del Fondo Europeo de Orientación y Garantía Agrícola (FEOGA) (CE1257/1999; DOCE L 160/80 de 26/6/1999)).

De la legislación vigente a nivel de Unión Europea, Estado y más aún, a nivel autonómico, se hace necesario elaborar una metodología para la redacción de planes forestales pero sobre todo faculta a la Administración para aprobar y tramitar los Programas de Gestión y Mejora Forestal.

De todo ello junto con la citada legislación, se deduce la importancia de la ordenación en la gestión de los montes y que además el marco legal en materia de gestión de montes es muy amplio y brinda múltiples posibilidades y obligatoriedad a los propietarios a cumplirlo.

II. Antecedentes y justificación

Con la aparición de la tecnología LiDAR y su aplicación en el estudio de parámetros forestales, varios de los problemas anteriormente citados pueden solucionarse ya que la obtención de variables dasocráticas se hace de una forma rápida y en una gran extensión y sobretodo con dos grandes características; digitalizada y georreferenciada, lo que supone una agilidad y rapidez en el trabajo de gabinete con datos precisos de la masa que facilitan el análisis posterior de los mismos.

Esta parte de la aplicación ya supone un adelanto y ahorro en los trabajos de gestión y análisis pero además una parte importante del inventario forestal también se ve afectada, es decir, se reducen las salidas al campo, lo que supone una reducción de; pérdida de jornales por mal tiempo (lluvia, granizo, frio atroz) pérdida de tiempo en la búsqueda de accesos a los rodales inventariables, cambios permanentes en los mismos al ser zonas y pistas rurales y/o forestales, fallos de suministros o material en zonas recónditas sin posibilidad de solución, peligros por caídas o torceduras en lugares con fuertes pendientes y demás complejidades que ofrece el trabajar en el medio natural y forestal.

Esta reducción de las salidas de campo evitándonos las pérdidas o problemas citados con los costes que de ello se derivan, además le va a ofrecer al titular de la propiedad o gestor forestal la posibilidad de ahorrar jornales, lo que se traduce en la oportunidad de reducción de los gastos variables (salarios) y una mayor rentabilidad a la inversión realizada por reducción de costes.

Quizás, esta visión más pragmática o económica de la aplicación puede chocar frente a la visión de políticas de pleno empleo o del optimista Ingeniero que ve reducida su posibilidad laboral, pero bien es cierto que no solo no se va a menoscabar dicho oficio sino que se le dota al ingeniero de una nueva perspectiva de trabajo, aportándole posibilidades de trabajo de gabinete más rápido, eficaz, moderno y global, evitando engorrosas jornadas de campo que retrasan la recogida de datos fundamentales para una buena gestión.

En definitiva la utilización de la tecnología LiDAR facilita el trabajo de gabinete, da una visión global del espacio natural rápida y reduce costes, lo que le dota de una herramienta importantísima en el sector forestal utilizada ya en los países más desarrollados en el sector.

III. Objetivos

El objetivo principal del proyecto es la comparación con los datos generados mediante tecnología LiDAR con los de inventario forestal tradicional con la finalidad de introducir según los resultados dicha tecnología en la obtención de variables forestales, tanto para la ordenación de montes como para inventario forestal.

Además, de la obtención de variables dasocráticas como densidad de la masa, fracción de cabida cubierta (FCC) o altura de la masa para la realización de inventario forestal y su posterior tratamiento de datos para la gestión, dicha técnica nos ofrece la posibilidad de estudiar o realizar:

- Seguimiento de trabajos selvícolas
- Modelos de combustible
- Cantidad de biomasa
- Transformación de la masa en el tiempo
- Incendios

Así como la posibilidad de calcular todos los datos indirectos relativos a la masa derivados de los medidos, véase área basimétrica, volumen, biomasa, diámetro de

copa, continuidad vertical, ajustes de regresiones, calidad de estación y otros parámetros que definen la masa y su gestión.

IV. Material y métodos

IV.1 Descripción de la zona

La zona objeto de estudio es el M.U.P nº 57 "Solana y Campo de las Herrerías" del municipio de Sinarcas en la provincia de Valencia (Fig. 13). Se ha elegido dicho monte debido a que es el único monte de titularidad pública con ordenación vigente en la actualidad en la Comunidad Valenciana y que se trata de una masa pura de *Pinus Halepensis* Mill., especie de interés en la comparación con los datos LIDAR, ya que para otras especies o las mismas en repoblación ya se han realizado proyectos en paralelo a este estudio en la Comunidad Valenciana (Monte Peñagolosa) y además los datos LiDAR se han calibrado en las parcelas experimentales de repoblaciones de *Pinus halepensis* Mill., en el monte de La Hunde, Ayora, Valencia pertenecientes a la Universidad Politécnica de Valencia. (POVEDA, A. 2009)

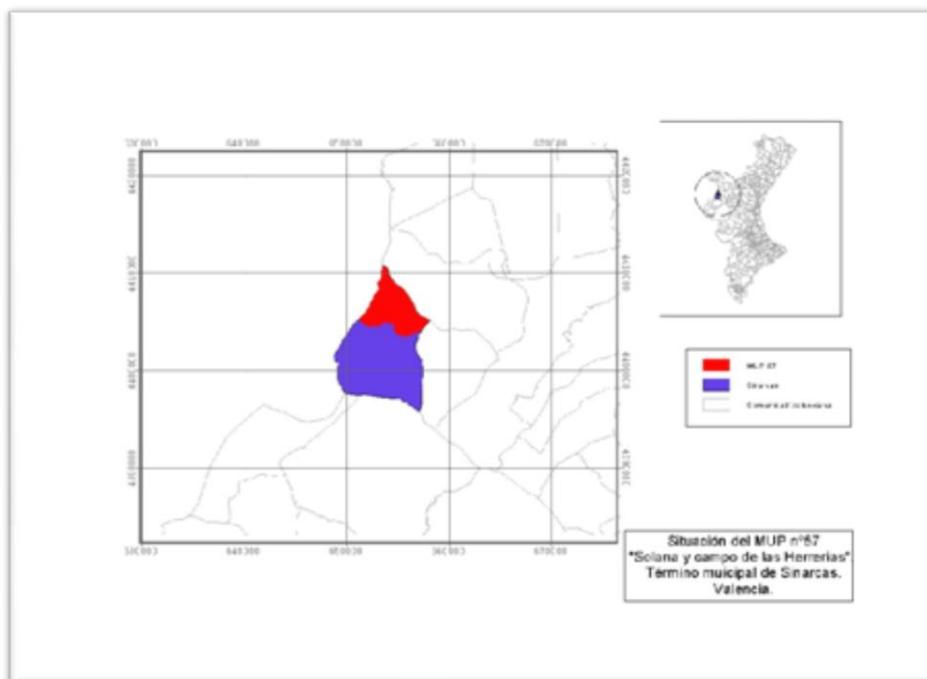


Fig. 13 Mapa de situación (M.U.P nº57 Sinarcas)

IV.1.1 Estado legal

Posición Administrativa

El monte nº 57 de Valencia "Solana y Campo de las Herrerías", está situado en la provincia de Valencia, en el término municipal de Sinarcas, Partido Judicial de Requena.

Pertenencia

El monte se encuentra inscrito en el Catalogo de montes de Utilidad Pública de la provincia de Valencia desde el año 1897.

Se encuentra inscrito en el Registro de la Propiedad de Chelva, con fecha 4 de diciembre de 1957, figurando en el tomo 39, libro 3, folio 29, como finca no 354, inscripción 1a.

El deslinde definitivo del monte fue aprobado por Orden del Ministerio de Agricultura con fecha de 10 de junio de 1970. El amojonamiento se aprobó por Orden Ministerial de fecha 27 de Enero de 1978.

Límites

Los límites del monte son:

- Límite Norte. Termino municipal de Talayuelas (Cuenca), consistiendo los terrenos colindantes en pinares de dicho pueblo. El linde comienza en el Pico Picarcho y termina en el Barranco de San Marcos.
- Límite Este. Monte de Tuejar, delimitado por el Pico Picarcho y terminando en el mojón común a los términos de Sinarcas, Tuejar y Benageber.
- Límite Sur. Término municipal de Benageber y Barranco de San Marcos.
- Límite Oeste. Barranco de San Marcos.

Enclavados

Dentro del monte existen un total de 14 enclavados, nombrados correlativamente en el plano de amojonamiento con las letras desde la A hasta la N.

Los enclavados en este apartado simplemente se nombran como mera información de su existencia desarrollando más este punto en anejos.

Cabidas

Las superficies estimadas actualmente, obtenidas mediante técnicas de planimetración a partir de Sistemas de Información Geográfica y actualizadas a 2009 con motivo de los trabajos de reconstrucción topográfica arrojan los siguientes valores:

- Superficie Total 2.957,4349 hectáreas
- Superficie Publica 2351,2380 hectáreas

Servidumbres

Únicamente se tiene constancia de la servidumbre de paso por los caminos de uso público y las inherentes a los enclavados que se dan dentro de sus límites. Es destacable que por el interior de los límites del monte discurre el "*Camino Real de Castilla*" y la *Vereda Real de Ganados*, que naturalmente lleva implícita su correspondiente servidumbre al paso de ganado trashumante.

Afecciones

Cabe destacar la inclusión de 317,91 hectáreas en la parte meridional del monte dentro de la Red Natura 2000 en calidad de Zona de Especial Protección para las Aves. El citado enclave forma parte del LIC "Alto Turia", que cuenta con una extensión total de 14.449 hectáreas.

Usos y Costumbres

Los usos actuales del monte son los que a continuación se detallan:

- El uso forestal con carácter productor de madera y biomasa, al tiempo que protector.
- El uso social, con carácter recreativo. Existen dos áreas recreativas en el interior del monte.
- El uso ganadero con especial incidencia en los pastos de los bordes de cultivos y en zonas rasas.
- El uso cinegético.

- El uso apícola con especial incidencia en la zona sur.
- El uso científico sobre las zonas geológicamente más singulares.

El monte está catalogado como Coto Deportivo de Caza y los aprovechamientos tradicionales pueden destacarse la recogida de setas y otros productos forestales como las piñas, leñas o plantas aromáticas con fines de autoconsumo.

IV.1.2 Estado natural

Este apartado se desarrollará en mayor detalle en el anejo correspondiente. Se enumera pues a título introductorio los parámetros más relevantes.

IV.1.2.1 Medio físico

Climatología

El clima de la comarca de estudio se puede considerar como de transición entre el de la llanura septentrional de la Comunidad y el de las sierras interiores.

Las características que definen este ambiente de transición son la presencia de un máximo pluviométrico en otoño y otro en primavera, destacando como denominador común la acusada sequía estival. Los datos han sido obtenidos a partir del Sistema Integrado de Gestión de Incendios Forestales de la Consellería de Medio Ambiente, Territorio, Agua, Urbanismo y Vivienda.

Tabla 5. Valores climatológicos mensuales y anuales (fuente: CMATAUV)

Valores climatológicos mensuales y anuales													
Parámetro	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Año
P	36,0	37,5	28,3	49,4	59,5	43,5	19,2	26,3	45,8	54,4	47,9	49,2	497,0
T	5,6	6,9	9,2	10,7	14,3	19,4	22,9	22,9	19,2	14,0	9,0	6,3	13,4
Tm min.	0,8	1,5	3,2	4,6	8,1	12,3	15,0	15,3	12,5	8,3	4,1	1,9	19,4
Tm max.	10,4	12,2	15,3	16,7	20,5	26,5	30,7	30,4	25,9	19,6	14,0	10,7	7,3
T min.	-5,0	-4,4	-2,5	-0,9	2,6	7,3	10,5	10,9	7,1	2,6	-2,0	-4,2	37,0
T max.	17,2	19,6	23,9	24,8	28,2	33,3	37,0	36,2	32,3	26,9	21,4	17,8	-5,0

Siendo:

P	<i>Precipitación mensual en milímetros</i>
T	<i>Temperatura media mensual en grados centígrados</i>
Tm min.	<i>Temperatura media mensual de las mínimas diarias en grados centígrados</i>
Tm max.	<i>Temperatura media mensual de las máximas diarias en grados centígrados</i>
T min.	<i>Temperatura mínima absoluta en grados centígrados</i>
T max.	<i>Temperatura máxima absoluta en grados centígrados</i>

A continuación se muestra el diagrama de *Walter-Lieth* y la ficha hídrica de *Thornthwaite* que representan gráficamente, siendo más intuitivo, los periodos favorables y desfavorables.

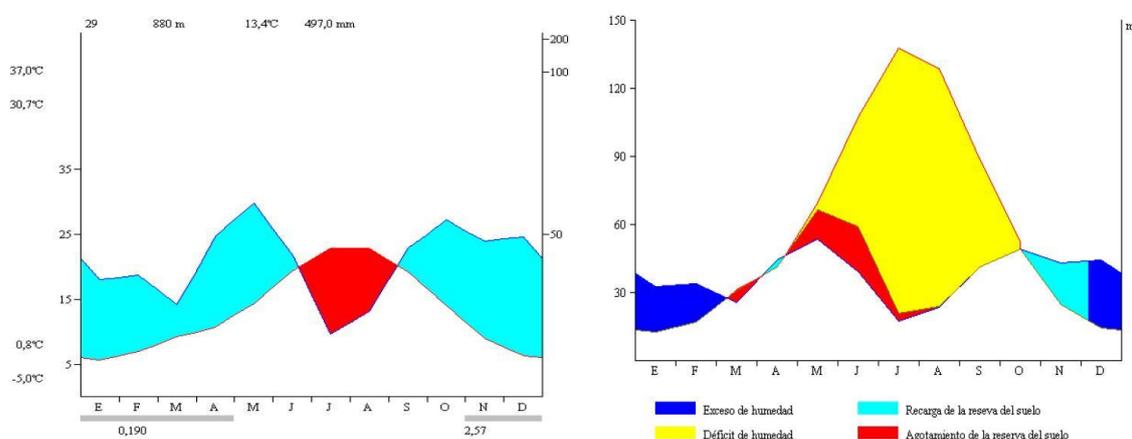


Fig. 14 Diagrama de *Walter-Lieth* y ficha hídrica de *Thornthwaite* respectivamente (fuente: CMAUV)

Del estudio de los parámetros climáticos, bioclimáticos y fitoclimáticos, así como del conocimiento de las afinidades y limitaciones de las principales formaciones vegetales pueden extraerse las siguientes conclusiones:

- En principio y en el momento actual no existe limitación alguna al normal desarrollo de las formaciones vegetales propias del entorno.
- La conjunción de las restricciones por la parada vegetativa con las limitaciones en la ejecución de tratamientos por épocas de cría recomiendan las estaciones de otoño e invierno como las más apropiadas para proceder a la ejecución de los tratamientos selvícolas. No obstante, si condicionantes de naturaleza ajena a la propia planificación técnica lo exigen, podría adelantarse dicha ejecución al

periodo primaveral siempre con las oportunas precauciones asociadas principalmente a la nidificación de rapaces.

- Cualquier operación para aumentar la capacidad de retención en el suelo será deseable para un mayor aprovechamiento de las capacidades productivas del clima.
- No deben descartarse puntualmente problemas para la instalación de la semilla en el suelo como consecuencia del efecto tapizante del matorral.
- Dentro de las limitaciones evidentes que el modelo bioclimático presenta (ver anejos), parece que la capacidad adaptativa de la encina es, para el ambiente del monte, inferior a la de las dos coníferas con las que convive (*Pinus halepensis* Mill. y *Pinus pinaster* Aiton), lo que explica en gran parte su condición de dominada y sus problemas para desarrollarse más allá del estrato subarbustivo cuando se mezcla íntimamente con estas.

Geomorfología

El Norte el terreno es más elevado y bastante más accidentado, conforme se desciende en latitud el terreno se suaviza progresivamente, presentando la zona central del monte unas pendientes muy suaves, hasta llegar a la depresión de los barrancos del *Regajo y San Marcos*, en donde el relieve es encajonado y abrupto dándose las pendientes más fuertes del monte.

Sus altitudes extremas oscilan entre la mínima, de aproximadamente 607 m. (en torno a los barrancos del *Regajo y San Marcos*) y la máxima que alcanza la cota de 1.305 m (en el *Pico Picarcho*), por el centro del monte se extiende una gran llanura con una altitud en torno a los 900 m.

Geología y Litología

El área en la que se encuadra el monte se encuentra cubierta por sedimentos paleozoicos, triásicos en facies germánica (Keuper, Muschelkalk y Buntsandstein), y

jurásicos y cretácicos, ambos carbonatados y con los dos episodios detríticos del Weald y de Utrillas. El Terciario y Cuaternario están escasamente representados.

Edafología

El tipo de suelo va a venir determinado tanto por las litofacies de las que procede como de sus propiedades estructurales, físicas y químicas, condicionando estas en gran medida la biocenosis que el biotopo es capaz de albergar. (Ver anejos)

Hidrología y Recursos Hídricos

Hidrográficamente el monte se enmarca dentro de la cuenca del río Turia; dentro de los límites del monte los únicos cursos de agua permanentes son los barrancos del *Regajo y San Marcos* (límite sur del monte) y el *Barranco del Canjirón*, que se extiende por la parte este, ambos tributan sus aguas al río Turia muy cerca de los límites del monte y a sendas colas del *Embalse de Benageber*.

Entre los cursos de agua intermitente del monte destacan los barrancos *de Alonso, del Borbón, del Mortero, Sabinilla y Hoyahermosa*.

Medio Biótico

Comunidades Vegetales y Flora:

La zona norte del monte, se caracteriza por la presencia de una vegetación esclerófila encabezada por pino rodeno con presencia de pino carrasco en la parte más meridional, donde llegan a mezclarse formando verdaderas masas mixtas. Aparecen puntualmente otras especies como la Encina, el Quejigo o el Enebro.

Las zonas con pendientes más acusadas, como por ejemplo en las laderas del Barranco del Regajo, la vegetación arbórea se compone fundamentalmente de *Pinus halepensis* Mill, con una espesura algo defectiva, estando también representadas en estas zonas algunas especies del género *Juniperus*. En el subpiso destacan *Erica scoparia, Phillyrea angustifolia, Cistus albidus y Rosmarinus officinalis*.

Las zonas más llanas, están pobladas por lo general por una masa de *Pinus halepensis* Mill., y *Pinus pinaster* Aiton., en espesuras completas en la mayor parte de los casos. Acompañan a estas especies algunos pies de *Juniperus oxycedrus* y de *Quercus ilex*, así como algún pie disperso de *Olea europaea* y *Juniperus phoenicea*. En el subpiso destaca la dominancia de *Quercus coccifera* además de las diversas especies del género *Cistus*.

Prácticamente toda la mitad oriental del monte está representada por una vegetación de tipo subesclerofilo compuesta por *Pinus halepensis* Mill. Acompañado zonalmente por *Pinus pinaster* Aiton.

Las especies que aparecen con mayor frecuencia en torno a los cursos de agua pertenecen a los géneros *Populus*, *Salix*, *Arundo* y *Fraxinus*.

Respecto a la importancia y representatividad de las especies de matorral a escala de monte, la más abundante es el Romero (*Rosmarinus officinalis*) seguida de la coscoja (*Quercus coccifera*).

El estudio de la vegetación actual parte del listado de especies elaborado por el Servicio de Biodiversidad de la Consellería de Medio Ambiente, Agua, Urbanismo y Vivienda, que ha sido convenientemente depurado a través de los trabajos de campo realizados para el Inventario e Informe selvícola, además de la información suministrada por el Tercer Inventario Forestal Nacional. (ORDENACIÓN SINARCAS 2009)

IV.2 Descripción de los datos utilizados

IV.2.1 Descripción de las ordenaciones

Según la información extraída del Proyecto de Revisión de 1998 dicho monte ha estado sometido, desde 1927, a cinco proyectos dasocráticos que han regulado su gestión y que han procurado ordenar sus aprovechamientos y actuaciones, de acuerdo a las técnicas que en cada época estaban disponibles y que se consideraron las más adecuadas.

A continuación se muestra una tabla resumen de las ordenaciones realizadas en dicho monte:

Tabla 6. Histórico de ordenaciones. (Fuente: CMATAUV)

Año de redacción	Año de aprobación	Proyecto	Autor
1927	1928	Ordenación. Plan de aprovechamientos par el decenio desde el año 1928 hasta el año 1938	D. Antonio Arias
1947	* Sin datos	1ª Revisión (con retraso de un semiperiodo, debido probablemente a la guerra civil	* Sin datos
1957	1958	2ª Revisión: se considera un nuevo proyecto de ordenación ya que se cambia el turno y el método.	D. Manuel Porres
1970	1971	3ª Revisión desde 1927 y 1ª desde el cambio de método	D. Fernando Auban
1979	1979	4ª Revisión desde 1927 y 2ª Revisión desde el cambio de método.	D. Carlos Aparisi
1998	-	3ª Revisión desde el cambio de método	D. Miguel Cabrera y D. Vicente Manrique
2009	-	4ª Revisión desde el cambio de método.	Director Javier Hermoso de Mena y Autor Eduardo Martínez

Como se puede observar en la segunda Revisión del proyecto de ordenación original existe un cambio de método y de turno lo que genera que a partir de entonces se considere como una nueva ordenación con sus posteriores revisiones.

La forma principal de masa que se tiene en la mayor parte de los cantones es regular o semirregular.

El método de beneficio del monte es de monte alto aplicándose el método de cortas de regeneración. Igual que en anteriores revisiones se eligieron las cortas por aclareo sucesivo uniforme por cantones para las especies principales en la totalidad del monte.

La división dasocrática del monte para las últimas revisiones objeto de estudio se mantienen en una única sección que se divide en cuatro cuarteles y éstos, a su vez, en 47 cantones como unidades últimas de ordenación.

Los cuarteles se han denominado alfabéticamente por las letras en mayúscula; ABC y D y los cantones se han numerado del uno al cuarenta y siete. A continuación se realiza una breve descripción actualizada según la 4ª revisión de la ordenación de cada uno de ellos.

Cuartel A (La Sierra)

Cuartel ubicado en la parte septentrional del monte, caracterizado por unas condiciones fisiográficas y edáficas que le otorgan una especial singularidad y marcado carácter protector. La mayor parte del cuartel esta poblado por un pinar de rodano de avanzada edad en la zona norte y algo más joven de carrasco en la sur, existiendo amplias zonas de tránsito en las que se mezclan ambas especies formando masas mixtas. La mayor parte de los cantones presentan un vuelo más o menos denso en estado de fustal envejecido, aunque se dan también el resto de clases de edad, especialmente en los cantones que han sido intervenidos durante las últimas décadas. El cuartel se subdivide en 15 cantones (1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 30, 31, 32, 33, 43, 44, 45 y 46) con una cabida poblada de 519.18 ha.

Se considera el modelo de gestión, desde la última revisión de la Ordenación de 1.998, el de Tramo Móvil.

Cuartel B (Del medio)

Ubicado en la parte oriental del monte, presentando tanto zonas llanas pobladas por buenos fustales de elevada calidad, como cantones más rebeldes con condiciones fisiográficas más duras que dificultan su aprovechamiento mecanizado.

Con una presencia casi absoluta del pino carrasco frente al pino rodano, que apenas se manifiesta tímidamente en algunos cantones en forma de pies aislados o manchas salteadas.

Se dan frecuentes situaciones de semirregularidad en cantones en los que la secuencia de cortas mediante aclareo sucesivo uniforme (ASU) no se ha ejecutado correctamente.

Por lo general, las masas que pueblan el cuartel son bastante jóvenes, y aparecen acompañadas en la mayor parte de los casos de un estrato de antiguos árboles padre

(cantones 35, 36, 37 y 38) más o menos denso y que en algunos casos puede llegar suponer un problema para la masa transformada de latizal y juvenes fustal. El cuartel se subdivide en 12 cantones (8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 34, 35, 36, 37 y 38) con una cabida poblada. 526,23 ha. Se considera el modelo de gestión, desde la última revisión de la Ordenación de 1.998, el de Tramo Único.

Cuartel C (La Solana)

Cuartel ubicado en la parte meridional del monte, de exposición a solana y de naturaleza puramente protectora y poblado por masas generalmente abiertas que alcanzan zonalmente espesuras defectivas, principalmente en las zonas antiguamente cortadas y donde se aprecian problemas de erosión e incluso algunos derrubios de ladera.

Con cierta tendencia a la semirregularidad por la conjunción de zonas llanas con abruptas pendientes, zonas con suelo con laderas de roca y zonas intactas con zonas intervenidas, esta forma principal de masa se considera la más apropiada para los objetivos exigibles, puramente protectores, donde la estabilidad y persistencia de las masas debe prevalecer frente a cualquier otro fin.

Por lo general, todos los cantones incluidos en este cuartel presentan en su extremo septentrional una franja más o menos llana con unas características fisiográficas mucho más favorables que el resto del cantón. El cuartel se subdivide en 9 cantones (15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22 y 23) con una cabida poblada de 470,76 ha.

Debido a su clasificación de carácter protector se considera el modelo de gestión con ligeras intervenciones de huroneo.

Cuartel D (La Tabla)

Cuartel ubicado en la parte occidental del monte, caracterizado por unas condiciones fisiográficas que facilitan marcadamente su aprovechamiento maderero. Las condiciones fisiográficas, edáficas y microclimáticas son las principales responsables de que se den en este cuartel las mejores calidades y los mejores fustales de todo el

monte, además de una concentración de pies de grandes dimensiones y, por lo general avanzada edad.

Las masas que constituyen el vuelo principal son, en general, masas mixtas en estado de fustal medio o bajo de pino carrasco y rodeno, siendo más frecuente en la mayoría de los cantones el pino rodeno, que alcanza en este cuartel los mejores fustales de todo el monte (cantón 39). En la mayor parte de los casos, la forma principal de masa es la regular (cantones 25, 40, 42), apareciendo también casos de semirregularidad e incluso primeros grados de irregularidad en cantones con mezcla de clases naturales de edad (cantón 47), consecuencia principalmente de la forma en que se han ido ejecutando las cortas de regeneración durante los últimos años.

Es destacable el marcado desequilibrio de edades a nivel de cuartel, siendo frecuentes como ya se ha comentado las edades avanzadas frente a la escasez de masas jóvenes o transformadas.

Los cantones intervenidos durante los últimos años presentan masas abiertas en estado de fustal bajo o medio y estructura semirregular con regeneraciones iniciadas aunque no conseguidas en ninguno de los casos (cantones 24, 27, 28, 41).

El cuartel se subdivide en 11 cantones (24, 25, 26, 27, 28, 29, 39, 40, 41, 42 y 47) con una cabida poblada de 527.65 ha.

El modelo de gestión a aplicar en el presente cuartel es el de tramo único.

A continuación se presenta el mapa de distribución de cuarteles y cantones descrito.

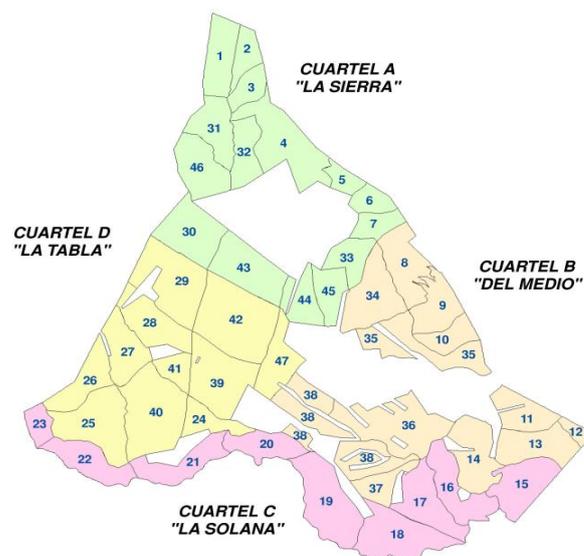


Fig. 15 División del monte nº57 en cuarteles y cantones.

IV.2.2 Descripción de los inventarios

La metodología empleada ha sido, al igual que en la anterior revisión de 1998, el muestreo estadístico mediante parcelas circulares de superficie fija y distribuidas sistemáticamente por toda la superficie del monte. El inventario de la última revisión de 2009 se ha realizado mediante el procedimiento concretamente de muestreo sistemático.

En la última revisión (4ª de 2009) para poder realizar la equiparación de resultados con anteriores inventarios y especialmente con la anterior revisión (1998), se ha hecho coincidir geográficamente las parcelas a realizar, lo que intuitivamente obliga a utilizar marcos de distribución de parcelas análogos a los utilizados en la última revisión.

No obstante, puesto que la utilización de la malla entonces propuesta implica un sobredimensionamiento inventarial, y una malla de reducción proporcional no permitiría cumplir con los requisitos impuestos por las vigentes Instrucciones para la Ordenación de Montes Arbolados de 1.970, se ha hecho preciso la modificación de la densidad mediante la superposición de una malla adicional de mayor densidad, cuadrangular y de lado variable, es decir, de 150 x 150 metros de lado, en aquellos tramos en destino, y una malla de 300 x 300 metros en el resto de la superficie, de forma que se han aumentado, en prácticamente 3 cantones, las parcelas a inventariar y se han reducido dichas parcelas para el resto de los cantones.

Las parcelas son de radio 10 metros manteniendo así las características originales de las mismas respecto al último Inventario realizado (1998). El número de parcelas por cantón también se ha determinado de una forma análoga a la metodología de la revisión inventarial anterior de 1998, con una distribución como se muestra en la siguiente imagen y donde se puede observar la reducción de las parcelas para la última ordenación de 2009.

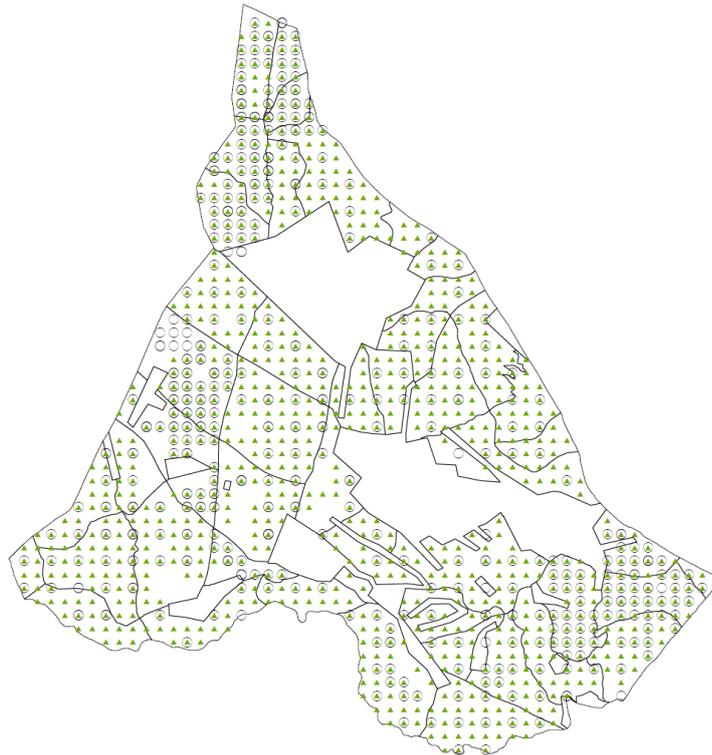


Fig.16 En círculo las parcelas de la ordenación de 2009 y en verde las parcelas de la ordenación de 1998. (Fuente: Elaboración propia)

La estadística aplicada es la que se utiliza en cualquier inventario u ordenación recomendados por el artículo 33 de las vigentes Instrucciones para la Ordenación de Montes Arbolados de 1.970.

La fórmula para la determinación del número de parcelas necesario en un muestreo sistemático es la propia de un muestreo aleatorio simple:

$$n = \frac{t^2(CV\%)^2}{(\varepsilon\%)^2 + \frac{t^2(CV\%)^2}{N}}$$

Donde:

- N= Valor de la población, obtenido:
N=superficie a inventariar / superficie de parcela
- CV= Coeficiente de variación
CV=desviación típica / área basimetrica media.
- t. Valor de la *t-student*. Se calcula en función de los grados de libertad

(Numero de parcelas menos 1) para un nivel de confianza dado (95%).

- e= error relativo: 15 % para los cuarteles de producción y 30 % para los Cuarteles protectores (Instrucciones Generales para la Ordenación de Montes Arbolados).

Con la información de la estimación del radio y número de parcelas de la revisión anterior y aplicando la estadística comentada se realiza el diseño del inventario, con las limitaciones que se detallan en la siguiente tabla:

Tabla 7. Limitaciones del inventario (Fuente: 4ªrevisión del inventario)

Parámetro	Cuartel			
	A	B	C	D
Uso preferente	Productor	Productor	Protector	Productor
Error máximo	15%	15%	30%	15%
Parcelas	106	55	31	98

Para cada una de las parcelas se procedió a la medición de una serie de parámetros selvícolas, dasométricos y ciertos parámetros complementarios.

Se recogieron parámetros selvícolas, por citar algunos;

- Composición específica
- Clase natural de edad
- Forma principal de la masa
- Forma fundamental
- Fracción de cabida cubierta
- Índice de espesura

Y dendrométricos a nivel de parcela, con radio 10 metros donde se procedió a la medición de todos los pies inventariables, considerando éstos los pies cuyo diámetro con corteza a la altura normal (1,30 metros) fuera igual o superior a 7,5 centímetros, (siempre en sentido perpendicular a la recta que une el centro de la parcela con el eje axial del pie a medir) además en el inventario se realizó otra medición a nivel de subparcela donde se procedió a la caracterización de los pies menores, el regenerado

y el matorral, que se obviará por carecer de interés en el presente estudio así como los parámetros complementarios que se recogieron de pendiente, exposición, cortas, daños y demás información válida para la realización del inventario y obtención del estado actual de la masa.

Además de las mediciones citadas, con objeto de proceder al procesado e interpretación de los datos tomados, para cada parcela se seleccionaron dos árboles tipo, haciéndolos coincidir con los más próximos al centro de la misma, aquellos que cumplieran los siguientes requisitos:

- Ser pies inventariables.
- Pertenecer a alguna de las dos especies principales (*Pinus halepensis* o *Pinus pinaster*).
- No ser pies dominados.
- Presentar un fuste con un eje axial vertical.

Y en los que se tomaron las mediciones correspondientes para el procesado de los datos. Para el presente estudio las mediciones más importantes que nos ocupan de todas ellas serían; las alturas, fracción de cabida cubierta y número de pies (Densidad). Para las alturas en la revisión de 1998 se utilizó el hipsómetro SUUNTO con la banda de los 20 m y distancia al objeto mediante cinta métrica, mientras que en la revisión de 2009 se utilizó el Hipsómetro Vertex IV teniendo en cuenta una distancia mínima al árbol, y apuntando bien al ápice del árbol, además de tener en cuenta su esfericidad e inclinación.

Para el cálculo del volumen en la revisión de 2009 se realizaron curvas y tarifas a partir de las tarifas propuestas por el Tercer Inventario Forestal Nacional para la provincia de Valencia que como son de doble entrada y para toda la provincia se hace necesario su transformación en tarifas de una entrada (V (dn), Iv (dn)) con el fin de adaptar estas a la calidad de estación concreta de la zona de estudio, para ello, se agrupan los arboles tipo conforme a la calidad de estación (Tres para esta revisión).

Con estas premisas, se decidió construir una tarifa específica de cubicación por especie principal a partir del apeo de arboles tipo y su cubicación comercial. Se realizó para

una calidad única para todo el monte, seleccionando los arboles tipo de cantones a los que se le había asignado una calidad media, ya que se no se consideraba justificado el esfuerzo de haber realizado tres tarifas para cada una de las especies, siendo la variabilidad volumétrica asociada a la diferencia estacional a escala de monte poco significativa. Además, la mezcla de arboles tipo de diferentes cantones permitía el establecimiento de una tarifa de calidad media y utilización genérica para todo el monte. Se seleccionaron arboles tipo de los cantones 8 y 46 para el caso de pino carrasco, y 39 para el caso del pino rodeno intentando abarcar todas las clases diamétricas posibles, aprovechando los tratamientos que en estos se estaban ejecutando en el mismo monte con motivo del proyecto de aprovechamiento de la biomasa forestal residual.

Dicho método explicado permite la obtención de una tarifa de calidad media, compensando los posibles errores por defecto y exceso en volumen.

La Fracción de cabida cubierta (FCC) en la revisión de 1998 se realizó estableciendo porcentajes por clase diamétrica mientras que en la revisión de 2009 se realizó mediante el porcentaje por estratos vegetales. Ambas realizadas mediante visu del operario o ingeniero.

Así pues con la misma metodología empleada, en líneas generales, en las dos últimas revisiones salvo las citadas de la malla y la utilización de aparatos electrónicos en la última revisión de 2009, que no conlleva un cambio relevante en la estadística y/o metodología, se puede proceder a la comparación fidedigna de los datos obtenidos en las últimas revisiones de 1998 y 2009.

IV.2.3 Descripción de los datos LiDAR

La toma de datos LiDAR se realizaron por parte del Plan Nacional de Ortofotografía Área (PNOA), dependiente del Ministerio de Fomento, durante el año 2009 para la Comunidad Valenciana.

Los metadatos del vuelo figuran en la siguiente tabla:

Tabla 8. Metadatos vuelo LiDAR

MONTE "Solana y Campo de las Herrerías"	
Fecha del vuelo	Noviembre 2009
Escáner LiDAR	ALS50-II
Frecuencia de emisión del pulso (PFR)	75 KHz
Densidad final del pulso	70 Hz
Máximo retorno por pulso	1 pulso/m ²
Angulo de escaneo	4
Frecuencia de barrido	+/- 50°
Altura del vuelo	Tal que el sol sobre horizonte ≥ 40°
Línea del vuelo	Este - Oeste (pasadas paralelas)

La precisión en altura de los resultados finales dependerá en gran medida de la calidad del vuelo original. El estudio detallado de la ejecución del vuelo, analizando el 100% de los datos LiDAR empleados se ha realizado por la empresa DIELMO 3D.

Esta empresa ha desarrollado a partir de los datos LiDAR un modelo digital del terreno (MDT) de alta precisión de la zona de estudio. Por otro lado, a partir de los pulsos impactados en el dosel arbóreo, y mediante interpolación, se creó el modelo digital de superficies (MDS), que representa la estructura de la vegetación objeto de estudio. Haciendo la resta entre el MDS y el MDT y extrayendo la parte clasificada de vegetación, se obtiene un mapa con la altura de la vegetación que denominaremos MDC (Modelo digital de cubierta). Una vez obtenidos los puntos del MDC se ha procesado la información mediante aplicaciones especializadas facilitadas por DIELMO 3D para su uso con software libre de información geográfica (GvSIG). Estas aplicaciones facilitan la obtención de parámetros forestales como el FCC, densidad de árboles, estructura vertical de la vegetación o modelos de combustible.

V. Metodología del proyecto

El estudio comprende la comparación entre la 3ª (1998) y la 4ª (2009) revisión de la ordenación del monte nº57 "Solana y Campo de las Herrerías" desde el cambio de método, por un lado, y la comparación entre la 4ª y última revisión de la ordenación realizada mediante método tradicional de inventario con los datos obtenidos mediante la tecnología LiDAR para los parámetros que nos ocupan en el estudio, por otro lado. Cabe destacar que no se trata de una comparación de ordenaciones al uso ya que se

trata sobre todo de comparar los parámetros que después se estudiarán con los obtenidos mediante tecnología LiDAR, de esta forma, por ejemplo, no se comparan las superficies que como ya se ha comentado son las mismas en las dos últimas ordenaciones, con una ligera variación al realizar las mediciones de los límites con tecnología más avanzada (GPS, más modernos), así como tampoco se comparan existencias, evolución, pies mayores o crecimientos.

Los parámetros principales que se van a comparar entre ordenaciones son:

- Densidad
- Altura de la masa
- Fracción de cabida cubierta (FCC)
- Área basimétrica (AB)
- Volumen

La comparación del inventario tradicional con la tecnología LiDAR tan sólo se va a comparar los tres primeros parámetros con los datos de la última ordenación y los obtenidos con el LiDAR.

Para ambas comparaciones se han recopilado los datos y aplicado para las muestras obtenidas la estadística adecuada para la comparación de poblaciones, y se ha observado su variabilidad e información válida que nos aporta.

A partir de los Software ArcGis.9 y de Microsoft Excel 2007 se han realizado los mapas y las tablas del estudio.

V.1 Estadística empleada

La estadística empleada tanto para la comparación de las ordenaciones como para la comparación de los datos LiDAR y la ordenación de 2009 se ha realizado con ayuda de los programas informáticos específicos Statgraphics Plus V. 5.1 y Microsoft Excel 2007, y la teoría ha sido extraída del libro “Métodos estadísticos en Ingeniería” (ROMERO R. et al., 2005)

Se ha realizado una comparación detallada entre los valores de los parámetros descritos anteriormente de las dos últimas ordenaciones y de los mismos con los datos de las aplicaciones Open LiDAR (DIELMO.COM), aplicando los siguientes estadísticos:

Media

La media aritmética es un estadístico de posición, que nos indica el valor alrededor del cual se agrupan los valores de la variable. Es la media aritmética o promedio de los datos. Su cálculo se realiza mediante la fórmula bien conocida:

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{N}$$

Varianza

Medida de dispersión de los valores respecto de la media. Los estadísticos de variabilidad nos indican la diferencia entre las observaciones y el estadístico de posición utilizado.

$$S^2 = \frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{N}$$

Desviación Típica

Es la raíz cuadrada de la varianza, y presenta la ventaja de expresarse en las mismas unidades con la variable medida (media). Cuanto mayor sea el valor más dispersos estarán los datos.

$$S = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{N}}$$

Error estándar

Proporciona una medida de precisión de la estimación de la media poblacional a partir de una muestra.

$$S_x = \frac{S}{\sqrt{N}}$$

Coefficiente de variación

En ciertos casos es conveniente obtener un coeficiente adimensional que relacione la desviación típica y la media. Obtenemos así el concepto de coeficiente de variación que permite mejorar el análisis de la variabilidad o dispersión, permitiendo la comparación de ésta en poblaciones distintas. Que nos indicará cual de las dos muestras tiene mayor variación.

$$Cv = \frac{S}{x} * 100$$

Intervalo de confianza

El intervalo de confianza es un conjunto de valores formado a partir de una muestra de datos de forma que exista la posibilidad de que el parámetro poblacional ocurra dentro de dicho conjunto con una probabilidad específica. La probabilidad específica recibe el nombre de nivel de confianza $(1-\alpha)$ siendo α el nivel de significación (porcentaje de 95%). El intervalo de confianza para la media poblacional es:

$$\left(\bar{x} - z \frac{s}{\sqrt{n}}, \bar{x} + z \frac{s}{\sqrt{n}} \right)$$

Donde;

z es el valor que en la distribución normal N (media=0, desvest=1) deja a su derecha un área de $\alpha/2$

\bar{x} es la media en la muestra

s = la desviación típica

n = el tamaño de la muestra.

Coeficiente de asimetría

Esta medida nos permite identificar si los datos se distribuyen de forma simétrica alrededor de un valor central (Media aritmética). La asimetría presenta tres estados diferentes como se representa en la figura.

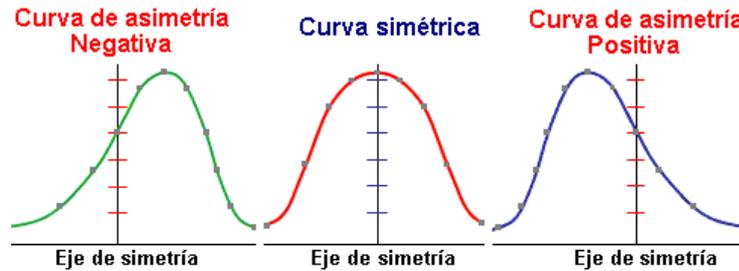


Fig. 17. Diferentes tipos de asimetrías.

La distribución es simétrica cuando el valor es cercano a cero, positiva cuando el valor es mayor que cero y negativa cuando es menor que cero.

Curtosis

Esta medida estudia la distribución de los datos en la región central de la distribución. La mayor o menor concentración de frecuencias dará lugar a una distribución más o menos apuntada. Cuando el valor sea positivo la distribución será Leptocúrtica, con valor cercano a cero ó igual a cero la distribución será mesocúrtica y parecida a la distribución normal y por ultimo cuando el valor sea negativo el apuntamiento será menor que la distribución normal y platicúrtica (Fig. 18)

Cuanto mayor sea el valor absoluto del coeficiente más acusada es la característica de Curtosis.

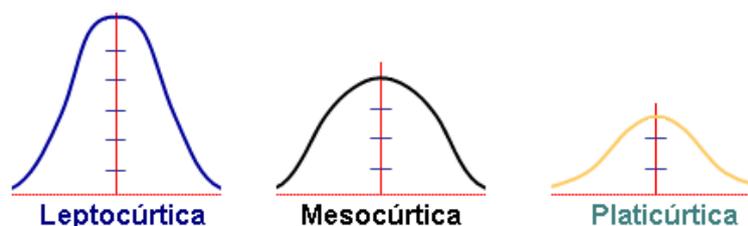


Fig. 18 Tipos de curtosis.

Comparación de resultados

Para la comparación entre las ordenaciones y entre los dos métodos tanto de inventario como LiDAR empleados, se utilizará una doble prueba donde por un lado se analizan las medias de la muestra de resultados obtenidos y por otro lado se comparan las varianzas de la muestra de resultados para poder establecer las hipótesis.

Se supone una hipótesis inicial de que las medias de las poblaciones, que están normalmente distribuidas, y poseen la misma desviación estándar son iguales. Esto es, quizás, la prueba más extendida de comparar dos poblaciones.

En la comparación de medias se supone una hipótesis nula, la cual se basa en que ambas medias (\bar{x}_1 y \bar{x}_2) son iguales, utilizando el estadístico ($\bar{x}_1 - \bar{x}_2$) se compara con una distribución t de Student si la hipótesis nula es cierta, para un valor fiducial de 95%.

La hipótesis del estudio será; Hipótesis Nula ($H_0: m_1 = m_2$).

Si es cierta H_0 , \bar{x}_1 será "parecida" a \bar{x}_2 , y por tanto $\bar{x}_1 - \bar{x}_2$ diferirá poco de cero.

Se demuestra que si es cierta $H_0: m_1 = m_2$ se cumple que:

$$\frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{S_{(\bar{x}_1 - \bar{x}_2)}} = t_{calculado}$$

La t-calculada se distribuye como una t-student con $N_1 + N_2 - 2$ grados de libertad, mientras que si son diferentes ($m_1 \neq m_2$) la t-calculada tiende a ser mayor en valor absoluto que una t-student.

La importancia de la distribución t de Student en la teoría del muestreo radica en que; \bar{x} muestral debe tener un valor cercano al valor de m y por tanto aceptar la hipótesis, o rechazarla si dicho valor es lejano.

Siendo \bar{x} y s la media y la desviación típica de una muestra de tamaño N extraída de una población normal de media m , el estadístico resulta:

$$t = \frac{\bar{x} - m}{s/\sqrt{N}}$$

Que sigue una distribución t de Student con N-1 grados de libertad y será por tanto cercano a 0, si es cierta la hipótesis.

Una forma equivalente de analizar los resultados de la experiencia es hallar un intervalo de confianza para (m1 - m2). A priori con una probabilidad elevada (generalmente 0.95) de contener el verdadero valor de m1 - m2.

La fórmula del intervalo de confianza es: $(\bar{x}_1 - \bar{x}_2) \pm t_{N-1}(\alpha) \cdot S_{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}$

A partir del cual obtendremos el intervalo de confianza para la diferencia de medias.

La ecuación para obtener la desviación estándar ponderada y poder realizar el intervalo de confianza:

Primero se debe hallar la varianza ponderada, que será;

$$s^2 = \frac{(N^1 - 1) * s^2_1 + (N^2 - 1) * s^2_2}{N^1 + N^2 - 2}$$

Donde:

s²= Variación estándar ponderada.

N = tamaño de la muestra 1 y 2.

s²₁ y s²₂= Varianza de cada muestra

Y a partir de ésta la desviación ponderada se aplica:

$$S_{\bar{x}_1 - \bar{x}_2} = \sqrt{\frac{s^2}{N^1} + \frac{s^2}{N^2}}$$

La comparación de varianzas se realiza viendo si es admisible la Hipótesis Ho :

$$\sigma_1^2 = \sigma_2^2$$

Obteniendo un intervalo para el ratio de varianzas (σ_1^2 / σ_2^2) y aceptar la hipótesis si dicho intervalo contiene el valor 1.

Dicha expresión se obtiene de la formula $\left[\sqrt{\frac{(N-1)S^2}{f_2}}, \sqrt{\frac{(N-1)S^2}{f_1}} \right]$

Donde f_1 y f_2 pueden obtenerse de las tablas de distribución F de Fisher y que verifican que $P(f_1 < F_{N^1-1, N^2-1}, N^2-1 < f_2) = 1-\alpha$

Esta es la comparación más simple del análisis de varianza. Para comparación de más de dos poblaciones se utilizará la técnica del análisis de varianzas ANOVA que es la más extendida para la comparación de resultados obtenidos con diferentes métodos.

Por otro lado se realizan también análisis de los errores obtenidos al comparar con los valores de estimado en campo con los valores estimado con la tecnología LiDAR, con el fin de detectar posibles anomalías, así como detectar divergencias en la distribución de ambas muestras y que se explican a continuación:

Error medio o sesgo (EM)

El sesgo de un estimador es la diferencia que hay entre su valor esperado (X_i) y el valor estimado (Y_i). El sesgo puede ser producto del muestreo o de la medición de los individuos.

$$EM = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - Y_i)}{n}$$

Error medio absoluto (EMA) y Porcentaje del error medio absoluto (PEMA)

El error medio absoluto se define como el valor medio de los residuos.

$$EMA = \frac{\sum_{i=1}^n |X_i - Y_i|}{n}$$

$$EMA = \frac{1}{n} \frac{\sum_{i=1}^n |X_i - Y_i|}{Y}$$

Error cuadrático medio (ECM)

El error cuadrático medio (ECM) es la media cuadrática de los cuadrados de los errores verdaderos.

$$EMC = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n E_i^2}{n}}$$

Error Típico (ET)

Devuelve el error típico del valor de (Yi) previsto para cada (Xi) de la regresión. El error típico es una medida de la cuantía de error en el pronóstico del valor de (y) para un valor individual de (X).

$$ET = \sqrt{\frac{1}{N-2} \left[\sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})^2 - \frac{\left[\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y}) \right]^2}{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2} \right]}$$

R²

Para estimar la bondad de un ajuste frecuentemente se prefiere utilizar el Coeficiente de Determinación, R², que es el Coeficiente de Correlación elevado al cuadrado.

Su valor oscila entre 0, no hay correlación y +1, excelente correlación lineal.

Se puede calcular mediante la expresión:

$$R^2 = \frac{\left(\frac{\sum x_i y_i}{n} - \bar{x} \bar{y} \right)^2}{\left(\frac{\sum x_i^2}{n} - \bar{x}^2 \right) \left(\frac{\sum y_i^2}{n} - \bar{y}^2 \right)}$$

V.2 Comparación entre inventarios de campo

Para la realización del estudio comparativo de las dos últimas revisiones de la ordenación, esto es, la revisión de 1998 y la de 2009, se han recopilado los datos que como se ha explicado anteriormente, se utilizaron en ambos inventarios y coinciden en los dos, con las mismas características, a saber;

- Coordinadas geográficas (x,y)
- Número de parcela y/o cantón
- Radio de la parcela
- Metodología empleada en obtención de datos.

Dada la diferente forma de trabajar de los Ingenieros que realizaron las revisiones de las ordenaciones, dificultad de la compilación de datos debido a la no digitalización de los mismos y no estar suficientemente claros en la ordenación de 1998, con la consecuente complejidad del análisis de datos posterior de cada ordenación, se ha realizado la comparación de los parámetros a un nivel u otro, ya que para los parámetros de Altura y FCC no existen datos (o no se han encontrado) por parcela y si para el resto de parámetros. En un principio se estudió la comparación a nivel de parcela para; Densidad (número de pies/ha) y Área basimétrica (m^2/ha) mientras que para los parámetros de Altura (m), Fracción de cabida cubierta (%) y Volumen con corteza (VCC, $m^3/ha/año$) se realizaron las comparaciones a nivel de cantón y datos medios de los mismos. Para la obtención de los resultados se tuvieron también en cuenta los tratamientos y cortas realizadas en el monte en el último decenio, ya que sin duda afectan a prácticamente todos los parámetros, y que se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 9. Aprovechamientos en el último decenio. (S/D= sin datos)

		APROVECHAMIENTOS		MADERABLES	
Año	Cantón	Corta	Adjudic.	Exceso	TOTAL
1.999 – 2.000	39	Mejora	S/D	S/D	4.154 m ³
	42	Mejora			

	43	<i>Mejora</i>			
	45	<i>Mejora</i>			
2.001	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
2.002	13	<i>Regeneración</i>	800 m ³	436 m ³	2.185 m³
	24	<i>Regeneración</i>	449 m ³		
	29	<i>Regeneración</i>	500 m ³		
2.003	29	<i>Regeneración</i>	1.716 m ³	1.121 m ³	2.837 m³
	46	<i>Regeneración</i>			
2.004	40	<i>Mejora</i>	1.468 m ³	523 m ³	1.991 m³
2.005	1	<i>Regeneración</i>	1.725 m ³	60 m ³	1.810 m³
	31	<i>Mejora</i>			
	4	<i>Mejora</i>			
2.006	10	<i>Mejora</i>	1.750 m ³	206 m ³	1.956 m³
	11	<i>Regeneración</i>			
	12	<i>Regeneración</i>			
	34	<i>Mejora</i>			
2.007	8	<i>Mejora</i>	1.710 m ³	0 m ³	1.710 m³
	33	<i>Mejora</i>			
2.008	---	---	---	---	---
2.009	14	<i>Regeneración</i>	---	---	---
	39	<i>Mejora</i>	1.787 m ³	---	1.787 m³
	46	<i>Regeneración</i>	---	---	---

Densidad

La densidad se refiere comúnmente al número de pies por unidad de superficie (SERRADA. R. 1995).

La comparación de la densidad se realizó mediante la contabilización del número de pies/ha del inventario con los datos medios de las parcelas que coincidían tanto en una ordenación como en otra. En la tabla 10 se presentan los datos recopilados de las dos ordenaciones:

Tabla 10 Densidad en número de pies por ha.

	Cantones																																														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47
Densidad 1998	394	518	169	342	66	215	1160	1309	723	547	196	365	331	442	563	182	207	137	283	166	514	254	298	232	452	370	232	326	325	393	194	180	373	563	481	385	431	354	519	320	220	462	646	166	696	359	91
Densidad 2009	486	609	265	386	128	318	1146	502	783	239	261	96	271	417	591	202	287	124	424	319	772	340	287	237	493	557	445	301	213	518	153	187	319	758	445	553	572	615	160	188	104	308	367	160	263	304	303

Altura de la masa

La altura total de un árbol es la medida entre la base del árbol y su cima (DELGADO, R., 2008).

La altura media de la masa viene definida como la media de las alturas de los pies que componen la masa, por lo que este parámetro lleva incluido un error procedente de la estimación del número de pies aún así la comparación de la altura de la masa se realizó mediante el promedio de alturas por cantón y vistos los resultados se cambiaron los datos y se realizó la comparación por el promedio de alturas dominantes por cantón mediante el método de Assman ya que a este tipo de método no le afectan los tratamientos selvícolas realizados en la masa, circunstancia que la convierte en un parámetro que caracteriza a la masa forestal.

La altura dominante se define en función del diámetro asumiendo una relación inequívoca entre la altura y el diámetro (h/d) y se ha realizado llevando a la curva h/d el diámetro del árbol cuya sección normal es la media de los 100 pies más gruesos por ha.

Los datos obtenidos para la altura dominante en las dos ordenaciones son los que figuran en la siguiente tabla:

Tabla 11. Datos de altura dominante por cantones.

	Cantones																																														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47
Ho 1998	11	8,5	8,1	9	8,3	9	10	13	13	13	12	12	11	13	11	11	11	10	9,3	7,9	9,7	14	16	10	10	10	10	8,9	11	13	11	7,7	11	11	13	9,5	12	11	13	12	10	13	12	10	9,3	11	11
Ho 2009	11	9	10	11	18	12	11	11	11	13	10	9	10	14	12	11	13	11	11	10	12	11	14	12	12	11	11	13	13	14	11	12	12	13	14	13	12	11	15	13	13	14	16	12	12	12	14

Fracción de cabida cubierta (FCC)

La fracción cabida cubierta es un índice de espesura que cuantifica la parte de la superficie total del rodal que esta cubierta por la proyección de las copas del arbolado (SERRADA. R, 2002). Se han obtenido los porcentajes medios por clase diamétrica y cantón para la revisión de 1998 y la media de las parcelas por cantón de la revisión de 2009 para realizar la comparación, considerando tan solo los datos porcentuales del estrato arbóreo. Los datos obtenidos se reflejan en la siguiente tabla:

Tabla 12. Porcentaje de FCC por cantones.

	Cantones																																														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47
FCC 1998	48	26	17	36	11	17	40	97	69	62	29	35	27	35	32	20	19	18	29	16	34	36	49	29	35	24	20	19	37	38	30	17	60	71	55	53	42	42	53	50	19	61	52	46	48	40	25
FCC 2009	54	38	36	53	40	30	80	35	53	25	30	25	29	48	63	27	34	27	43	40	45	33	45	43	39	47	20	40	39	60	26	40	30	60	40	48	60	63	46	40	27	47	62	50	38	37	45
FCC IFN 3	54	50	55	55	38	42	60	46	48	43	54	49	43	55	47	50	51	54	48	57	44	56	57	44	56	51	41	41	54	63	49	61	45	35	31	58	51	57	52	47	36	60	65	48	54	66	58

Además se ha realizado la comparación de los datos de las ordenaciones con la FCC del 3er Inventario forestal Nacional con la finalidad de observar la variabilidad de los datos según inventario. Dicho parámetro se obtuvo realizando la media ponderada por la superficie del cantón.

Área Basimétrica (AB)

El área basimétrica es la evaluación de la superficie ocupada por la proyección ortogonal de las secciones normales (a altura 1,30 m) de los árboles que forman la masa, en relación con la superficie del rodal, se expresa en m²/ha (SERRADA. R, 2002) Se trata de uno de los parámetros más utilizados para medir la espesura y las existencias de un monte ya que su medición resulta muy sencilla y con poco error. Los datos recopilados para la comparación del AB para ambas ordenaciones han sido los datos medios por clase diamétrica y cantón. Dichos datos se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 13. Área Basimetrica promedio por cantón en m²/ha.

	Cantones																																														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47
AB 1998	16	9,8	5,1	9,3	2,4	4	8,8	23,7	18	20	8,3	9,8	8,9	13	9	7,1	6,7	5,8	7,9	3,8	9,8	13	19	13	13	11	7,1	6,1	12	15	9,8	5,1	16	20	14	13	13	22	23	9	25	22	14	14	13	11	
AB 2009	20	14	8	12	18	14	24	15	21	13	6	3	8	19	18	8	10	5	9	9	18	11	17	10	19	17	9	14	14	24	6	10	10	27	14	20	22	14	18	16	9	24	24	8	13	12	18

Volumen (VCC)

El volumen del fuste de un árbol es consecuencia del crecimiento de su diámetro y su altura y depende de la genética del individuo, especie, estación y tratamiento (SERRADA. R. 2002)

La comparación de este parámetro se ha realizado de forma análoga a la Altura y FCC, es decir, mediante la comparación de los datos extraídos de las existencias por clase diamétrica y cantón. En la siguiente tabla se muestran los datos recopilados y ordenados para realizar la comparación:

Tabla 14. Volumen promedio por cantón, en m³/ha.

	Cantones																																														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47
Volumen 1998	66	37	16	30	7,7	13	30,71	104	74	77	31	35	34	48	30	26	26	21	25	11	30	55	82	48	51	46	31	22	49	72	33	15	58	64	59	42	51	49	114	103	39	117	92	41	41	38	53
Volumen 2009	103	53	39	50	127	76	67	68	88	80	27	18	39	108	88	46	54	31	38	37	81	54	104	53	97	71	47	76	82	141	32	50	51	143	81	105	121	54	123	100	52	138	152	45	78	63	100

V.3 Comparación de campo - LiDAR

Los datos obtenidos mediante la realización del último inventario del monte nº 57 “Solana y Campo de las Herrerías ” mediante los aparatos tradicionales de inventario (Vertex, Forcípula, Densitómetro) se han utilizado para contrastarlos con los obtenidos mediante tecnología LiDAR y poder sacar conclusiones respecto a la utilidad de los mismos en la obtención de parámetros forestales en un futuro próximo.

Se han utilizado los mismos software y algoritmos que para la interpretación de datos LiDAR que se realizaron en el estudio y testado de los mismos en parcelas

permanentes experimentales del Monte de la Hunde (POVEDA et al., 2010), (ver anejos testado parcelas permanentes).

A partir de los datos LAS (formato estándar de datos LiDAR), tratados mediante una serie de algoritmos sobre los que opera el software de análisis y procesado LiDAR (Dielmo Open LiDAR, en base a GVSIG), se ha obtenido cartografía relativa a diversos parámetros selvícolas, a partir de la cual se puede caracterizar la masa forestales, de la misma manera como se haría a partir de datos extraídos de un inventario tradicional.

La comparación de los parámetros obtenidos en campo y mediante tecnología LiDAR se estudia en los siguientes apartados:

Densidad

La densidad de la masa es un parámetro relevante a partir del cual se pueden deducir un gran número de índices dasométricos de gran interés para el análisis forestal de la masa (índices de competencia, existencias, estructura de la masa y demás). Su determinación en campo es relativamente sencilla, si asumimos cierta homogeneidad en la masa, por el contrario su estimación mediante datos LiDAR puede llegar a ser más o menos compleja.

La dificultad de determinar el número de pies desde una visión aérea, ya sea sobre ortofoto o a partir de datos LiDAR, es debido a que en una masa forestal donde existe competencia del vuelo (hecho que se da en la mayoría de las masas por su elevada densidad ante la carencia de gestión generalizada), es complicado aislar una copa de las adyacentes, ya que estas son irregulares y se encuentran entrecruzadas ocupando todo el espacio posible, generando un continuo horizontal.

Numerosos estudios se han centrado en la identificación de los pies de una masa, (PERSSON et al., 2002, NÆSSET & BJERKNES, 2001) la mayoría de ellos se basan en la segmentación del modelo de la cubierta de copas, localizando máximos y mínimos relativos a partir del primer retorno del MDC, analizando las texturas y suavizando los contornos para extraer las copas de cada árbol individual. Este método posee el inconveniente de que no es posible reconocer especies (VAUHKONEN et al., 2010) a no ser que se utilicen otros soportes como ortofoto o imagen de satélite (BREIDENBACH et al., 2010).

Analizando la información vertical que nos proporciona el LiDAR, puede observarse que la forma del dosel de copas en el estrato dominante, se comporta como una curva continua de máximos y mínimos, donde el máximo corresponde a la parte más alta de la copa interceptada, que pocas veces coincidirá con el propio ápice, y el mínimo a la base de copa viva de los pies dominantes (Figura 19).

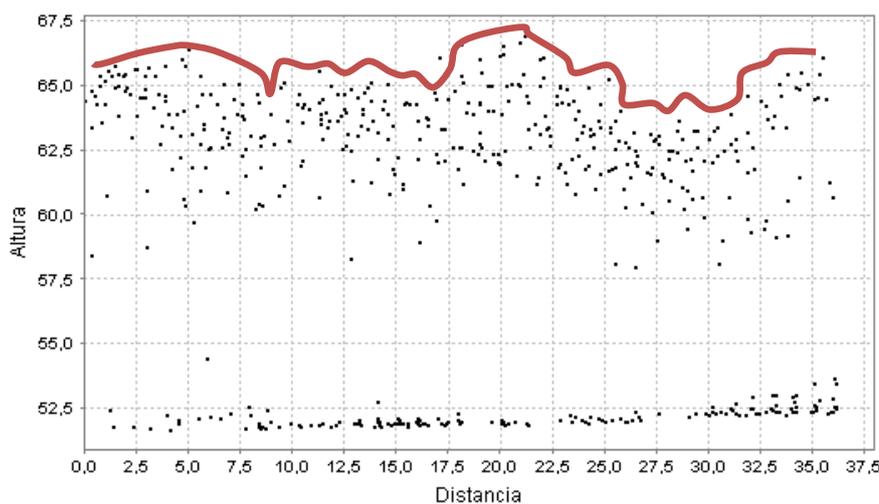


Fig.19 Perfil transversal de la capa LAS de MDS (0,5 pulso/m²) donde se observan los máximos relativos de las copas.

Para determinar el número de pies a partir de los datos “LAS” existen diversos algoritmos, en este caso se ha utilizado una aplicación (DIELMO Open LiDAR de GVSIG) la cual se basa en determinar el máximo relativo para un determinado número de píxeles alrededor del píxel central (máximo relativo), de esta forma para densidades superiores a 800 pies/ha se ha identificado cada punto $h > 8$ píxeles colindantes, densidades entre 400-800 pies/ha ha sido $h > 23$ píxeles y para densidades menores de 400 pies/ha se ha aplicado $h > 24$ píxeles.

Además de especificar el número de píxel la aplicación permite seleccionar una altura mínima (Z) donde no se tendrán en cuenta los puntos que queden por debajo de ella. Medida para realizar solamente la identificación de los pies de una determinada altura, o por si hay un hueco en la masa que no se tenga en cuenta el matorral. En este caso se ha establecido $Z = 6$ m, ya que en todos los casos el sotobosque presentaba una altura menor a esta altura.

Alturas

La altura individual de los árboles se obtiene de forma análoga al número de pies, basándose en la metodología expuesta en el apartado de densidad, al corresponderse la altura del pie con la del máximo relativo identificado como árbol.

Se ha demostrado que en término medio la altura resultante a partir de datos LiDAR suele estar subestimada respecto a la altura real, esto se debe a que no siempre el láser incide sobre el ápice del árbol. (NÆSSET & ØKLAND, 2003, ALDRED & BONNOR, 1985, NILSSON, 1994).

La estimación correcta de altura depende de la especie (SORIN et al., 2002 y 2008), presentando las especies con porte piramidal un mayor error que otras especies menos piramidales. Los errores oscilan entre 0,3 y 1,5m dependiendo de la especie, la densidad de puntos, el tamaño de la huella y el método para el cálculo del MDT.

Fracción de cabida cubierta

En este caso la metodología empleada para estimar la FCC, definida por Dielmo Open LiDAR se basa en que los rayos LiDAR inciden desde encima de la masa y no dentro de ella dando un número de puntos tratados mayor que en el método tradicional y realizando además un cálculo más aproximado al real al realizar mucha más extensión de terreno.

Este software calcula la FCC a partir del MDC (modelo digital de coberturas), asignando un valor binomial, uno (1) para aquellos pixeles que posean un valor de cota mayor al estipulado (2m) y cero (0) al que posea un valor menor del mismo. De esta forma se observa una capa binomial como aparece en la Figura 20 donde se aprecian en blanco (1) la vegetación y en negro (0) donde la vegetación es menor a la estipulada (2m).

Para establecer la FCC del arbolado sería suficiente asignar un valor de Z tal que se incluya la parte más ancha de la copa del arbolado (altura a base de copa viva/muerta). No obstante los métodos para la estimación en campo de la FCC (densitómetro, fotografía hemisférica y demás) siempre toman todo lo que hay por encima del observador. Por este motivo, el parámetro Z se establece en 2 metros de altura, aunque este es un valor no estandarizado.



Fig.20 Determinación de la FCC a partir de datos LiDAR, para un pixel de 1x1(m). Comparación con la ortofoto (arriba).

La aplicación también elimina los píxeles negros que quedan dentro de las copas y los píxeles blancos aislados (ruidos) expandiendo y contrayendo los píxeles para formar estructuras homogéneas en las copas.

Una vez obtenida la capa se calculaba el FCC para cada parcela, para ello se realizaba un recorte de las parcelas en las capas de FCC y se contaban el número de 1 y 0 que se encontraba dentro de cada parcela. El valor de FCC se obtiene del producto de los píxeles que han interceptado cubierta con el total de píxeles (ver fórmula).

$$FCC (\%) = \frac{N^{\circ} \text{ píxeles con valor } 1}{N^{\circ} \text{ píxeles total}} \times 100$$

VI. Resultados

La obtención de las muestras de las ordenaciones a comparar ha sido compleja ya que como se ha explicado anteriormente los datos no estaban suficientemente claros y se pretendió realizar una comparación a nivel de parcela que después, con los datos obtenidos, se tuvo que rehacer con datos por existencias por clase diamétrica y cantón. Esto es debido a la dificultad de análisis de datos al no estar suficientemente claros y principalmente a la reducción de las parcelas a inventariar que se realizó en la revisión de 2009 por razones técnicas y de presupuesto, dicha disminución ha sido significativa en algunos cantones, centrando la intensidad de muestreo en aquellos cantones en los que se pretendía realizar aprovechamientos, que si bien no afecta para realizar cálculos generales de crecimientos, curvas H/D o posibilidades y en definitiva a la ordenación y planificación del monte, si afecta al estudio que se presenta, ya que en determinados cantones, en la revisión de 1998 se contabilizaron un número de pies en

un número determinado de parcelas, mientras que en la posterior revisión en el mismo cantón, al reducir las parcelas a inventariar, se contabilizaron un número significativamente inferior al anterior. Esto genera grandes problemas en el estudio, a título de ejemplo, en el cantón número 8 de 1998 se inventariaron 1050 pies/ha en las 20 parcelas, mientras que en la ordenación de 2009 solo se inventariaron 4 parcelas con 502 pies/ha. Lo que da una idea de la diferencia que puede dar lugar en el estudio y para todos los parámetros.

Esta medida de reducción de parcelas también afecta a la representatividad de cada especie y precisamente por esta causa se obvia su análisis, es decir, existen parcelas en 1998 donde figuran las dos especies representativas del monte, que como ya se dijo anteriormente son el *Pinus halepensis* Mill, y el *Pinus Pinaster* Aiton, y en la ordenación posterior al reducir las parcelas de inventario coincidiendo con las zonas del cantón donde existe una de las dos, ésta deja de existir teóricamente. Véase el cantón 4, donde no se realizó inventario en 2009 en las parcelas 43, 44 y 45 y reflejando que en dicho cantón no existe la especie *Pinus pinaster* (código 26 del Inventario Forestal Nacional) mientras que en 1998 en dichas parcelas se contabilizaron 165 pies/ha, de la especie 26 para dicho cantón.

Otra característica a destacar en el estudio, ya que ocurre a menudo y enlaza con lo comentado anteriormente, ya que coincide en varias ocasiones, son aquellas parcelas que en el inventario de 1998 se contabilizaron 1 pie por parcela de la especie 26, resultado que, a partir del cual, puede ocurrir que en la revisión de 2009 no se contabilizara ningún pie de dicha especie. Un ejemplo de esto se da en la parcela 32, donde en 1998 se contabilizó 1 pie por parcela de *Pinus pinaster* y en la revisión de 2009 no se contabilizó ningún pie de dicha especie. En esta parcela no se llevo a cabo ningún tratamiento silvícola, por lo que la única explicación parece deberse a un error de posicionamiento ya que en zonas heterogéneas un error de posicionamiento puede traducirse en una variación en los datos de campo considerable.

Es por estas razones por la que se han realizado, tan sólo en el parámetro densidad la comparación por parcelas coincidentes en una y otra revisión, y en el resto se realizó

mediante la media de las existencias por cantón, siendo en estos una comparación menos exacta (FCC, VCC, Ho, AB) ya que se refiere a estimaciones extrapoladas según resultados de parcelas y no de las mismas parcelas que derivarían el estudio de prácticamente los mismos arboles dando resultados más exactos. Además se realizaron cambios en el nivel estudiado debido a los resultados ya que a priori para el parámetro volumen existían datos por parcela pero al no presentar éstos mucha fiabilidad y la dificultad de su interpretación, se decidió realizar la comparación como la Altura y la Fracción de Cobertura. También a partir de los resultados obtenidos para el parámetro Altura, que en un principio consistía en datos medios de las parcelas y cantón, es decir, altura media de la masa, se decidió realizar la comparación de las alturas dominantes mediante el método Assman, ya que dichas alturas no son afectadas por los tratamientos selvícolas, así como el parámetro de Área basimétrica que también se realizó inicialmente por parcelas coincidentes y se observó mayor error que tomando medias por clase diamétrica y cantón, con lo que se decidió finalmente estudiar dichos resultados.

VI.1 Resultados comparación de las Ordenaciones

VI.1.1 Densidad

La densidad de arboles puede ser muy variable de un cantón a otro o incluso dentro del mismo, ya que hablamos de una superficie considerable (45,57 ha poblada de cantón) que puede tener una densidad muy baja por la presencia de afloramientos rocosos, enfermedades, vientos permanentes, suelos pobres o poco fértiles en determinados lugares y otras zonas totalmente al contrario con densidades muy altas.

El análisis de la variabilidad de la densidad nos sirve para detectar zonas con muy escasa densidad o por el contrario zonas de regenerado con densidad muy elevadas. Estas masas deben ser analizadas de forma individual debido a que estos valores extremos pueden influir de forma no deseada en la comparación entre inventarios.

A partir del histograma, asimetría y curtosis se estudia la distribución normal de los datos para poder establecer la hipótesis de normalidad, obteniendo una distribución

de los datos leptocurtótica con asimetría positiva y quedando reflejado a partir de los mismos que existen datos fuera de lo normal.

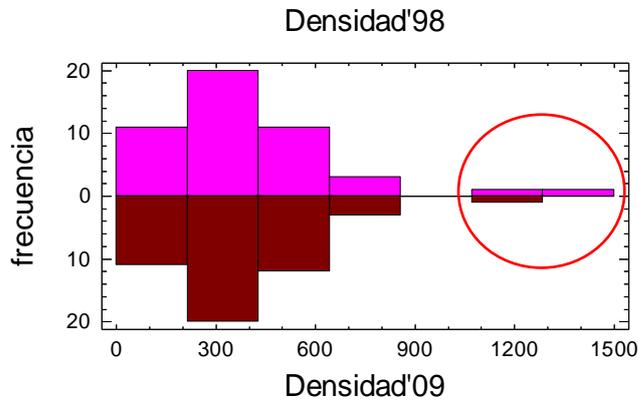


Fig. 21 Histograma de distribución de población

En el gráfico de cajas y bigotes (Statgraphics, Figura 22), que es una herramienta de análisis potente para estudiar asimetría, valores atípicos y en definitiva variación de los datos respecto de la variable a estudiar, se puede observar como los valores extremos en el cantón 8 y 7 para la ordenación de 1998 con un valor de 1309 pies/ha y 1160 pies/ha respectivamente y 1146 pies/ha para el cantón 7 en 2009 se salen de la distribución (3 veces el valor intercuartílico) aparentemente normal.

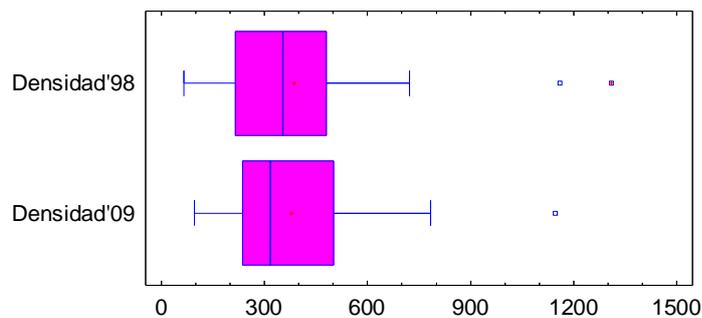


Fig.22 Gráfico de distribución de frecuencias.

El valor de 1309 pies/ha en el cantón 8 de 1998, representa la variabilidad natural de las masas donde además no se aplican tratamientos homogéneamente.

Tras la revisión de la descripción del cantón se observa que en dicho cantón existe un número muy elevado de pies de clases diamétricas pequeñas (Fig.23) donde no se

realizaron tratamientos, probablemente debido a las alta pendientes. Tras las cortas y tratamientos que se realizan en 2007 se reduce el número de pies considerablemente, como puede observarse en la tabla de resultados (Tabla 17), pasando de 41 pies por parcela a 15 y disminuyendo los pies de clase diamétrica 10 y 15 que eran los más numerosos, en particular.

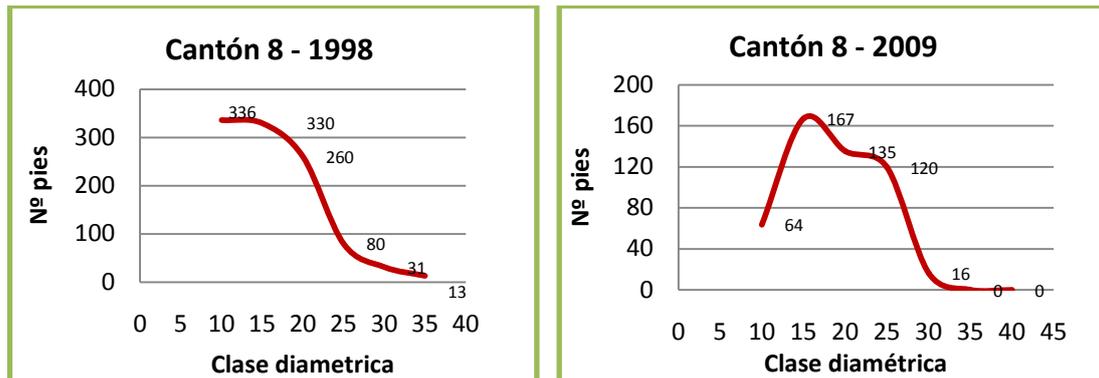


Fig.23 Distribución de pies por CD en cantón 8.

Además según la fórmula $N_c = N_2 + N_e - N_1$ (LOPEZ SERRANO et al., 2003) donde:

N_c = Masa incorporada (paso a fustal)

N_2 = Masa al final del periodo (2ª revisión)

N_e = Masa extraída durante el periodo

N_1 = Masa al inicio periodo (1ª revisión)

Que establece el paso a fustal (pies no inventariables al principio del periodo y que pasan a inventariables en el tiempo) para la masa mediante comparación de inventarios para dicho cantón resulta de 1759 pies /ha resultando un número muy elevado determinando los índices antes comentados. $N_c = 1309 + 951.8 - 501.5 = 1759.5$ pies/ha.

Los otros valores que se salen de la normalidad resultan también de zonas en cantones con altas densidades de pies jóvenes (cantón 7) que por motivos antes indicados existen en algunos cantones dichas zonas que disparan los valores. Tras la descripción del cantón 7 donde sugiere la urgente realización de clareos y primeras claras con la finalidad de reducir su alta densidad de hasta 3000 pies/ha, se adivina el porqué de los

elevados índices, además la ausencia de tratamientos da lugar a un decrecimiento de la densidad ya que existe una alta competencia por los recursos y no permite el desarrollo idóneo de los mejores pies y mantiene los altos índices en el tiempo. En la figura 22 se observa como se incrementa desmesuradamente la clase diamétrica 15 por el desarrollo de los pies menores (CD ≤ 10 ; 604.79 pies/ha de pies no inventariables y 209.91 de la clase 10) edades donde no se da tanta competencia y la ralentización de las clases posteriores donde si existe tangencia de copas y competencia por los recursos.

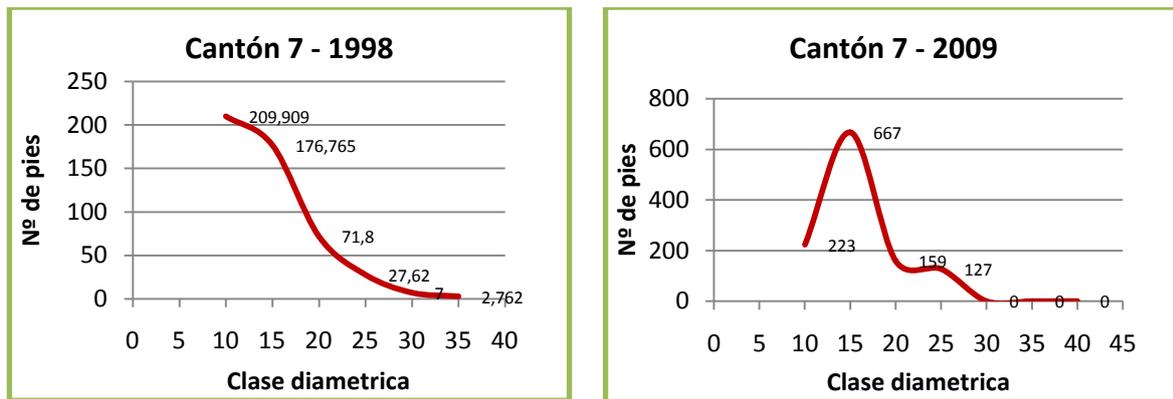


Fig. 24 Evolución de la masa en el último decenio en el cantón 7.

Una vez estudiados dichos valores como se han descrito más arriba, se considera no incluirlos en el estudio para ajustar mejor la comparación estadística quedando su distribución ajustada a la normal como se indica en el gráfico de cuantiles (Fig. 24) que se utiliza para analizar la normalidad de las variables. Cuanto más se aproxima la gráfica a la diagonal mas normalidad existirá.

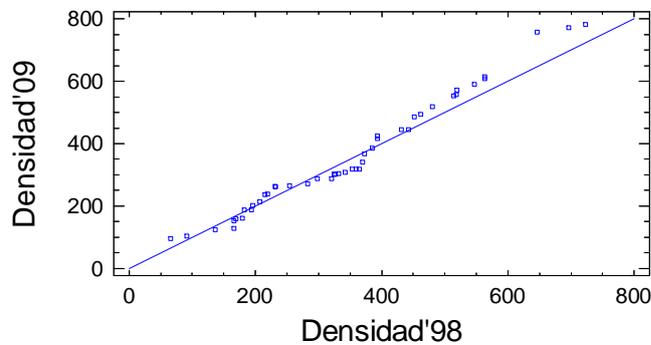


Fig. 25 Función de distribución según gráfico de cuantiles

De los resultados de la diferencia entre los pies/ha obtenidos en una u otra revisión de la ordenación en el transcurso de un decenio y aplicando la estadística comentada omitiendo los datos explicados anteriormente se obtienen los datos que figuran en la siguiente tabla.

Tabla 15. Estadísticos densidad.

	Densidad'98	Densidad'09
Frecuencia	45	45
Media	348	358
Varianza	25496	33140
Desviación típica	159	182
Error estándar	23	27
Mínimo	66	96
Máximo	722	783
Rango	656	687
Asimetría tipi.	1,18	1,97
Curtosis tipificada	-0,50	-0,23
Coef. De variación	45%	50%

A partir del estudio de varianzas mediante el F-test como se describió en el apartado de metodología se obtienen los intervalos de confianza para cada desviación típica y para el ratio de varianzas, el cual, se extiende desde 0,422777 hasta 1,39996 y dado que el intervalo contiene el valor 1 podemos decir que no existe diferencia significativa entre las desviaciones típicas de las dos muestras para un nivel de confianza del 95% Así que asumiendo varianzas iguales el intervalo de confianza de la diferencia de medias será: -9.85889 ± 71.7364 $[-81.5953, 61.8775]$ y dado que el intervalo contiene el valor 0 por tanto no existe diferencia estadísticamente significativa entre las medias de las dos muestras para un nivel de confianza del 95%.

Dichos resultados nos muestran una diferencia media, en cómputo general, no significativo, pero a nivel de cantón se observan variaciones respecto en un momento u otro. Dichas variaciones pueden interpretarse como sigue:

La densidad de una masa no puede mantenerse igual al pasar el tiempo ya que los pies crecen en diámetro y altura, es un parámetro que varía mucho en el tiempo, que sumado a los cambios naturales, bien sean, mortalidad por causas naturales o

enfermedad, puede dar lugar a unas diferencias importantes en el transcurso de un decenio, además de los errores producidos en las mediciones en el inventario o errores en transcripciones al digitalizar el mismo y los tratamientos selvícolas realizados.

En muchos de los cantones donde se han realizado cortas el incremento total por cantón es negativo lo que se explica por ello (tabla 16), de hecho el porcentaje promedio del incremento de densidad sale bajo, con un 11.5% y negativo para el incremento promedio del monte con un valor de -2% debido al volumen de las cortas para el conjunto de los cantones, disminuyendo la densidad y dejando en preparación los mejores pies (bien conformados, fuste rectos, dominantes y codominantes). Ahora bien, los cantones donde no ha habido cortas y su incremento es negativo puede deberse a diferentes causas.

Los cantones donde el incremento es negativo sin haberse realizado cortas en el último decenio son; 7, 18, 23, 28, 35, 41, 44.

A continuación se muestra la tabla de valores obtenidos donde se muestran en amarillo los cantones donde se han realizado cortas en el último decenio, en gris los cantones que no se ha cortado y presenta incremento negativo y en verde aquellos cantones donde la diferencia o incremento es negativo.

Tabla 16. Densidad (número de pies/ha) promedio de parcelas coincidentes por Cantón.

Nº cantón	Densidad'98	Densidad'09	Incmtnto	% Incmtnto	Nº cantón	Densdad'98	Densdad'09	Incmtnto	% Incrmnto	
1	393,58	485,69	92,11	23,40%	25	451,58	493,38	41,80	9,26%	
2	517,87	608,63	90,76	17,53%	26	370,10	557,17	187,07	50,54%	
3	169,40	265,33	95,93	56,63%	27	232,00	445,00	213,00	91,81%	
4	342,48	385,67	43,18	12,61%	28	326,34	301,31	-25,03	-7,67%	
5	66,29	128,00	61,71	93,10%	29	324,58	213,17	-111,40	-34,32%	
6	215,43	318,00	102,57	47,61%	30	392,99	518,29	125,30	31,88%	
7	1160,02	1146,00	-14,02	-1,21%	31	194,13	152,64	-41,48	-21,37%	
8	1309,17	501,50	-807,67	-61,69%	32	179,92	187,00	7,08	3,93%	
9	722,53	783,20	60,67	8,40%	33	372,86	319,00	-53,86	-14,45%	
10	546,87	239,00	-307,87	-56,30%	34	563,44	757,80	194,36	34,50%	
11	195,55	261,10	65,55	33,52%	35	480,58	445,00	-35,58	-7,40%	
12	364,58	96,00	-268,58	-73,67%	36	385,29	553,00	167,71	43,53%	
13	331,43	271,29	-60,15	-18,15%	37	430,87	572,00	141,14	32,76%	
14	442,39	416,65	-25,74	-5,82%	38	353,53	615,17	261,64	74,01%	
15	563,44	590,78	27,34	4,85%	39	519,25	159,50	-359,75	-69,28%	
16	182,29	202,00	19,71	10,81%	40	320,39	188,00	-132,39	-41,32%	
17	207,15	286,63	79,48	38,37%	41	219,57	103,88	-115,70	-52,69%	
18	136,72	123,75	-12,97	-9,48%	42	461,80	307,87	-153,93	-33,33%	
19	282,99	423,77	140,78	49,75%	43	646,30	366,50	-279,80	-43,29%	
20	165,72	318,67	152,95	92,30%	44	165,72	160,00	-5,72	-3,45%	
21	513,72	772,25	258,53	50,32%	45	696,01	263,25	-432,76	-62,18%	
22	254,10	340,00	85,90	33,81%	46	359,48	303,92	-55,56	-15,45%	
23	298,29	287,00	-11,29	-3,78%	47	91,14	302,75	211,61	232,17%	
24	232,00	237,33	5,33	2,30%	Tot	47	386,21	378,17	-8,04	11,56%

En dichos cantones (verdes) el incremento negativo se debe prácticamente al trabajar con superficies a nivel de cantón, que son, de entre 15 a 70 hectáreas. Esto supone que dicho incremento apenas sea significativo para la mayoría de los mismos, ya que el promedio por parcela supone en algunos casos ninguno, un árbol ó dos (ver tabla 17) algo perfectamente asumible por causas naturales. El cantón que si requiere un examen mayor es el 41. En el cantón 41 en el año 1998, tras entrar el cantón en destino se realizaron las cortas diseminatorias con reserva de árboles padre eliminándose también el estrato de pies dominados, lo que explicaría quizás el incremento negativo.

Tabla 17. Incrementos negativos por parcela en cantones sin cortas.

Cantón	Incmtnto pies/ha	Superficie/ha	Pies/parcela
7	14,02	15,41	0,44
18	-12,97	73,34	-0,41
23	-11,29	15,91	-0,35
28	-25,03	32,30	-0,79

35	-35,58	39,71	-1,12
41	-115,70	16,23	-3,63
44	-5,72	30,49	-0,18

A la inversa sucede también en algunos cantones, es decir, aquellos donde en principio se han realizado cortas y presentan en la última revisión valores de densidad mayores que en 1998. Estos cantones son el 1, 4, 11, 24 y 34.

La revisión minuciosa de estos cantones nos ofrece que en el cantón 1 existe una subdivisión por rodales entre el norte y el sur, y parece ser que las cortas que se realizaron en 2005, en la subdivisión norte no llegaron a materializarse lo que podría indicar que en cómputo general salga una densidad mayor en 2009.

El cantón 4 presenta también dicha característica de división, donde la zona norte se mantiene sin tratar por su baja calidad y problemas de gestión debido a su orografía, estableciéndose también las cortas en el rodal sur y con el mismo resultado que para el cantón 1. El cantón 24 no presenta problemas debido que su promedio no es elevado aunque cabe destacar que se trata de una masa pura de pino carrasco en estado de fustal bajo de 50 años de edad en regeneración donde se recomienda la eliminación del estrato de árboles padre extra cortables, es decir, una masa bastante abierta como consecuencia de la última corta, lo que da una idea de una masa adulta en regeneración que no genera grandes modificaciones a nivel de densidad.

El cantón que mayor atención requiere sin duda es el 34, que según su estudio se trata de una masa en estado fustal medio con alta densidad, trabada y poda natural deficiente, donde no se llegaron a realizar las cortas preparatorias en 2004 lo que indica dicho índice de densidad. En la tabla siguiente se muestran los valores de los cantones comentados.

Tabla 18. Incrementos positivos por parcela en cantones con cortas.

Cantón	Incmento pies/ha	Superficie/ha	Pies/parcela
1	92,11	35,38	2,89
4	43,18	81,17	1,36
11	65,55	28,86	2,06
24	5,33	19,68	0,17
34	194,36	50,73	6,11

De todo lo explicado se puede observar gráficamente en la siguiente figura los incrementos en los cantones donde se han realizado cortas, en los que no y los ejemplos explicados:

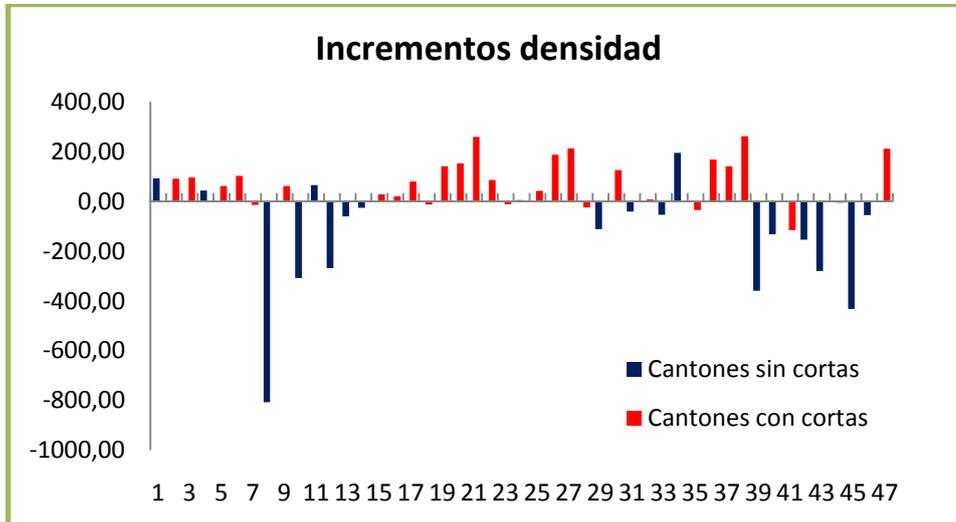


Fig. 26 Incrementos por cantón y aprovechamientos.

A partir de la figura anterior y la tabla siguiente se observa como los datos promedio según si se han realizado cortas o no en los cantones, se ajustan al crecimiento esperado en densidad, decreciendo en aquellos donde se ha cortado y aumentando la densidad en aquellos donde no, con un promedio de -141.60 pies/ha en montes donde no se ha realizado ningún tratamiento selvícola en el último decenio, y en los cantones donde se ha actuado, por el contrario se ha reducido la densidad media en 82.58 pies/ha.

Tabla 19. Incremento absoluto en pies/ha según cortas en los cantones

Incrementos según cortas	
	\bar{x}
Cantones con cortas	-141,60
Cantones sin cortas	82,58

VI.1.2 Alturas

Como se ha comentado anteriormente en un principio se utilizó la altura media de la masa para realizar la comparación, pero tras los resultados se observó que la altura dominante generaba menos error al no estar influida ésta por los tratamientos selvícolas ya que la altura media ofrecía resultados negativos de crecimiento en muchos más cantones que la altura dominante, debido a dichos tratamientos.

Las distribuciones muestrales presentan normalidad salvo en la distribución de alturas de 2009 en el cantón 5 que tiene un valor de asimetría estandarizada y curtosis fuera del rango normal. Se ha eliminado dicho valor para el estudio estadístico que se explicará a continuación.

En el gráfico siguiente (fig.27) se puede observar lo comentado.

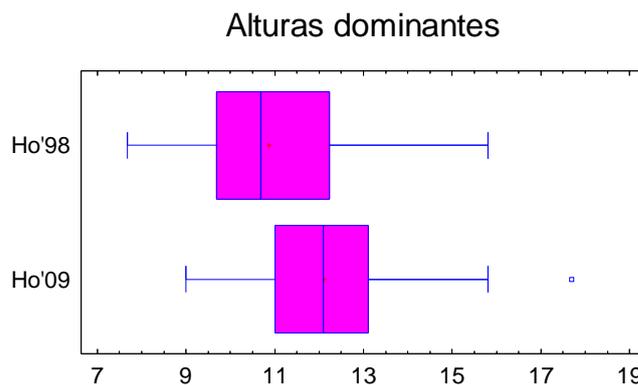


Fig. 27 Distribución de medias de la muestra altura (m)

El estudio estadístico sin el dato comentado se presenta así:

Tabla 20. Estadísticos

	Ho'98	Ho'09
Frecuencia	46	46
Media	10	11
Varianza	2,86	2,31
Desviación típica	1,69	1,52
Error estándar	0,24	0,22
Mínimo	7,68	9,0
Máximo	15,81	15,8
Rango	8	6

Asimetría tipi.	0,90	0,67
Curtosis tipificada	0,39	0,16
Coef. De variación	15%	12%

A partir del estudio comparativo de las varianzas con un intervalo de confianza varianzas desde 0,683343 hasta 2,23194 y dado que contiene el valor 1, podemos deducir que no existe diferencia estadísticamente significativa entre las desviaciones típicas de las dos muestras para un nivel de confianza del 95% y se puede aplicar la hipótesis de igualdad de medias.

En este caso se ha realizado el t-test para determinar si la diferencia entre las dos medias es igual a 0 frente a la hipótesis alternativa en la que la diferencia no es igual 0. Puesto que la t-calculada es inferior a 0.05, podemos rechazar la hipótesis nula en favor de la alternativa y decir que si existen diferencias significativas entre la diferencia de medias. (t = -3,16594 P-Valor = 0,00211019)

Dicha diferencia se observa en el incremento global de alturas en 2009 siendo este, de 13.63% respecto de 1998 y con un crecimiento medio para el monte de 1.24 m que supone un 11.4%. Dicho incremento se puede intuir en la gráfica anterior (Fig. 27) al estar las alturas dominantes del 2009 desplazadas hacia la derecha obteniendo en general valores más altos.

La altura de 17.7 m del cantón 5 nos determina un valor fuera de lo normal, tras el estudio del cantón, se observa que, éste es un cantón pequeño con reserva de árboles padre que da lugar a valores mayores que el resto, presenta un diámetro cuadrático medio de 42.20 cm con una densidad muy baja y en general un índice de esbeltez muy elevado, con una distribución diametral que no se repite en ningún cantón (fig. 28) y de los cuales se obtiene, a partir de la curva H/DN [$Ht (m) = 0,785 \cdot \phi n (cm)^{0.8205}$] extraída de la revisión de 2009 para *Pinus halepensis* Mill. Calidad de estación II, que es la de la revisión para la especie, dichas alturas, con un incremento respecto del 1998 de 114%, lo que justifica los datos en 2009 y que induce a pensar en algún error de medición en la revisión de 1998, de hecho en los valores por existencias y CD de dicha revisión no existen datos para clases diamétricas tan altas (Fig. 28).

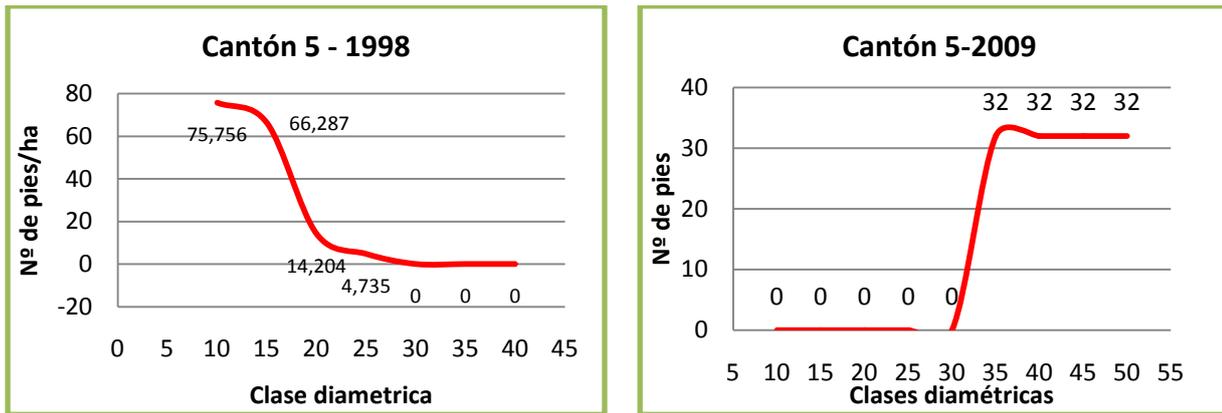


Fig.28 Distribución clases diamétricas

Las variaciones en el último decenio se presentan en la tabla 21, donde puede observarse que en varios cantones donde se han realizado cortas salen incrementos negativos (cantones 8, 11, 12, 13). Como se comentó anteriormente la altura dominante se utiliza debido a su método de cálculo porque no le afectan los tratamientos selvícolas, sobretodo las claras, pero las cortas finales realizadas extrayendo los pies dominantes y codominantes si afecta a la altura dominante, lo que explicaría dichos decrecimientos en altura de la masa.

Tabla 21. Resultados Altura dominante en cada cantón 1998 – 2009.

Cantón	Ho(Assman)'98	Ho(Assman)'09	Incrmnto	%Incrmnto	Cantón	Ho(Assman)'98	Ho(Assman)'09	Incrmnto	%Incrmnto	
1	10,6	11,1	0,50	4,7%	25	10,23	12,1	1,87	18,3%	
2	8,5	9	0,50	5,9%	26	10,21	11,2	0,99	9,7%	
3	8,05	9,7	1,65	20,5%	27	10,43	10,9	0,47	4,5%	
4	9,04	11	1,96	21,7%	28	8,92	12,7	3,78	42,4%	
5	8,25	17,7	9,45	114,5%	29	10,69	13,3	2,61	24,4%	
6	8,97	11,9	2,93	32,7%	30	12,57	14,3	1,73	13,8%	
7	10,02	11,1	1,08	10,8%	31	10,7	10,9	0,2	1,9%	
8	13,02	11,2	-1,82	-14,0%	32	7,68	12,3	4,62	60,2%	
9	13,07	11,1	-1,97	-15,1%	33	10,52	11,9	1,38	13,1%	
10	12,58	13,1	0,52	4,1%	34	10,83	12,5	1,67	15,4%	
11	11,91	9,5	-2,41	-20,2%	35	12,73	13,6	0,87	6,8%	
12	12,11	9	-3,11	-25,7%	36	9,51	12,9	3,39	35,6%	
13	11,45	10,4	-1,05	-9,2%	37	12,3	12,3	0	0,0%	
14	12,54	13,9	1,36	10,8%	38	10,8	10,8	0	0,0%	
15	10,51	12,3	1,79	17,0%	39	13,35	15,4	2,05	15,4%	
16	11,45	11	-0,45	-3,9%	40	12,24	13,4	1,16	9,5%	
17	11,09	12,5	1,41	12,7%	41	10,44	12,6	2,16	20,7%	
18	10,17	10,7	0,53	5,2%	42	13,09	13,6	0,51	3,9%	
19	9,3	11,1	1,80	19,4%	43	11,99	15,8	3,81	31,8%	
20	7,85	9,8	1,95	24,8%	44	10,02	12,3	2,28	22,8%	
21	9,68	11,8	2,12	21,9%	45	9,29	12,2	2,91	31,3%	
22	13,58	11,1	-2,48	-18,3%	46	10,86	11,9	1,04	9,6%	
23	15,81	14	-1,81	-11,4%	47	11,47	13,7	2,23	19,4%	
24	10,24	12,4	2,16	21,1%	Tot	47	10,87	12,11	1,24	13,63%

Por otro lado cabe destacar los cantones 37 y 38 donde los resultados nos ofrecen exactamente los mismos valores generando un incremento en altura de 0, dichos valores, podrían resultar del hipotético caso de zonas con una masa madura que ha alcanzado su máximo crecimiento y se encuentra en estado de senectud. El estudio de dichos cantones nos informa de que, sí, existe un piso de árboles padre más o menos denso según zonas en estado de fustal medio de 60-70 años de edad pero que todavía no son extra cortables ni tienen aspecto de estar envejecidos, por lo que aún pudiendo no existir gran diferencia en los crecimientos en el último decenio todo parece indicar que se trata de algún error en la toma de datos o de transcripción de los mismos.

En el estudio comparativo se detecta que la medición de las alturas en el inventario de 1998 se realizó mediante el hipsómetro SUUNTO, con la banda de los 20 metros, el cual da resultados que hay que calcular realizando fáciles operaciones matemáticas pero que puede llevar a errores, además la distancia al objeto (árbol) medible se realiza a través de un visor dióptrico o mediante cinta métrica, la corrección de las pendientes se realizaron condicionadas al terreno y las correcciones de las distancias con tablas para tal efecto, dando en su conjunto unos errores de medición.

La ordenación de 2009 se realizó mediante el Hipsómetro Vertex IV que como toda medición presenta errores asociados debido a la precisión del propio aparato (errores congénitos), los derivados de su tecnología (emisión de ultrasonidos afectados por la humedad ambiental o viento) y además los propios de uso por parte de los operarios. De todo lo anterior y aún sin obtener una comparación científica de resultados entre uno y otro hipsómetro y simplemente con la comparación comercial de los aparatos donde indica una mayor precisión para el Vertex IV, no podemos asegurar de que valores o intervalos se trata la diferencia pero si se puede decir que existe, así que posibles incrementos negativos o positivos con intervalos pequeños en las alturas pueden ser debidas al cambio de hipsómetro en la realización de inventario y sus errores asociados.

En la grafica siguiente se pueden observar los cantones donde se han producido incrementos o no en el parámetro altura para el último decenio según comparación de inventarios.

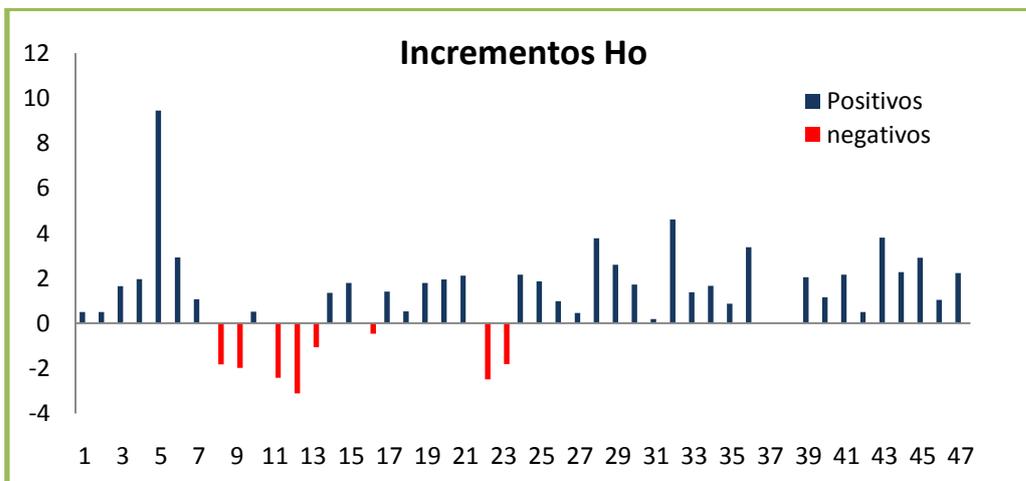


Fig. 29 Incrementos Ho positivos y negativos

A partir de la figura expuesta y la tabla siguiente (tabla 22) se observa como en los cantones donde se han realizado cortas finales se produce un incremento mínimo de menos de un metro, siendo éste de 0.81 metros de altura mientras que donde no se han realizado cortas finales aumenta casi 2 metros siendo dicho incremento de 1.53 ofreciendo unos resultados más ajustados a la realidad que realizando el cómputo general.

Tabla 22. Incremento absoluto en metros según cortas en los cantones.

Incrementos según aprovechamientos	
	\bar{x}
Cantones con cortas	0,81
Cantones sin cortas	1,53

VI.1.3 Fracción de cabida cubierta

La fracción de cabida cubierta también es un parámetro que como el resto aumenta o debiera aumentar en el tiempo ya que se suponen crecimientos diametrales en grosor y de copa, ápice y ramas.

La FCC como se ha explicado anteriormente se realizó en los inventarios sin ningún tipo de metodología al igual que el IFN 3 que también se realiza sin medición específica o metodología concreta dejando a criterio del jefe de equipo su estimación (MMARM. 2006).

Dicho método, o mejor dicho dicha ausencia de método de estimación del parámetro ofrece resultados muy dispares, lo cual se describen a continuación.

Los estadísticos iniciales con todos los datos se observan en la siguiente figura:

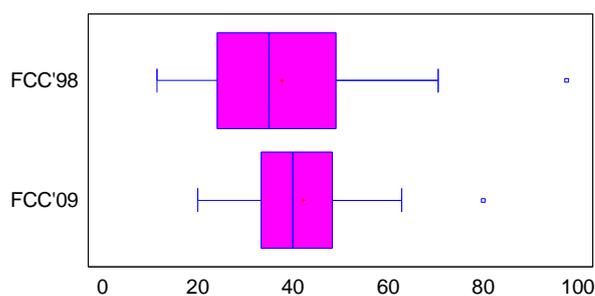


Fig. 30 Distribución de FCC

Los resultados ofrecen valores que se salen de la normalidad para los cantones 8 de 1998 y 7 de 2009 con un 97.4% y 80 % respectivamente. De nuevo dichos cantones con índices elevados de densidad, comentados anteriormente en el parámetro densidad rompen con la distribución normal, pueden invalidar el estudio y por tanto se obviarán para el estudio estadístico.

Los parámetros corregidos establecen una distribución normal como se observa en la siguiente figura:

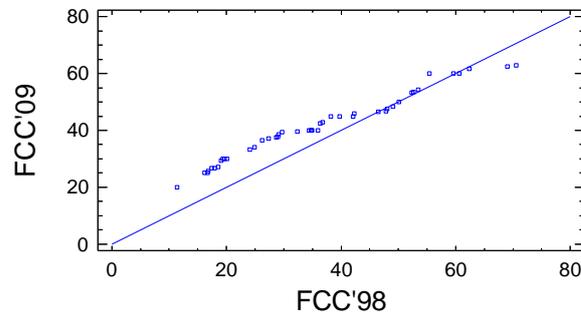


Fig.31 Gráfico de cuantil- cuantil que nos determina la normalidad de la muestra.

Y partir de dichos datos podemos aplicar la inferencia estadística, resultando así:

Tabla 23. Estadísticos

	FCC'98	FCC'09
Frecuencia	45	45
Media	36	41
Varianza	242	130
Desviación típica	15,5	11,4
Error estándar	2,31	1,69
Mínimo	11	20
Máximo	70,54	62,86
Rango	59,10	42,86
Asimetría tipi.	1,17	0,66
Curtosis tipificada	-0,96	-0,91
Coef. De variación	42%	27%

En la comparación de varianzas para poder realizar el t- test a un nivel de confianza de 95% se observa que existen diferencias significativas de las mismas lo cual imposibilita la realización del t- test, el cual se realiza suponiendo varianzas iguales dentro de un rango o intervalo, como el P-valor es de 0.0418 y la diferencia no es muy grande se disminuyó el nivel de confianza estableciendo el estudio con una probabilidad de confianza al 97% a partir del cual se obtuvieron resultados de igualdad de varianzas ya que ahora el intervalo de confianza para cada desviación típica y para el ratio de

varianzas se extiende desde 0,958 hasta 3,618 y ahora si contiene el valor 1 y podemos decir que no existe diferencia estadísticamente significativa entre las desviaciones típicas de las dos muestras para un nivel de confianza del 97% y poder realizar el t-test para comparar las medias.

El t- test nos ofrece un valor calculado de P-Valor = 0,079 y $t = -1,77$ así que como dicho valor de P no es inferior a 0.03 podemos decir que no existen diferencias significativas a un nivel de significación de 97% y asumir la Hipótesis nula de igualdad de medias.

La estimación de visu como podemos observar a partir de los datos obtenidos, lleva a la subestimación del parámetro en ambas revisiones y sobretodo en la anterior de 1998, ya que aunque sale un incremento medio positivo de 31.5% para los cantones, éste se considera bajo para el conjunto del monte que sería tan solo de un 11.7% dando estadísticamente un número medio que no difiere en el tiempo.

Dicho error de estimación (sin método, sólo visu) se da sobretodo en los cantones donde existen densidades medias y altas, ya que se observa que en los cantones con densidades muy bajas el error se minimiza, como por ejemplo en el cantón 25 donde se observa un fustal regular bajo y de espesura incompleta y las diferencias de estimación son normales con un incremento del 11% en el periodo de comparación.

Tabla 24. Resultados FCC. Amarillo cantones con cortas. Verde resultados negativos.

CANTON	FCC'98	FCC'09	incremento	incmnto %	CANTON	FCC'98	FCC'09	incremento	incmnto %	
1	47,85	54,29	6,436	13,45%	25	34,77	38,57	3,801	10,93%	
2	26,22	37,78	11,558	44,08%	26	24,1	46,67	22,567	93,64%	
3	16,67	36,43	19,759	118,53%	27	19,69	20,00	0,310	1,57%	
4	35,98	53,33	17,353	48,23%	28	19,11	39,58	20,473	107,13%	
5	11,44	40,00	28,560	249,65%	29	36,79	39,32	2,528	6,87%	
6	17,42	30,00	12,580	72,22%	30	38,24	60,00	21,760	56,90%	
7	39,6	80,00	40,400	102,02%	31	29,74	25,59	-4,152	-13,96%	
8	97,48	35,00	-62,480	-64,10%	32	16,82	40,00	23,180	137,81%	
9	69,01	53,40	-15,610	-22,62%	33	59,56	30,00	-29,560	-49,63%	
10	62,32	25,00	-37,320	-59,88%	34	70,54	60,00	-10,540	-14,94%	
11	28,96	30,00	1,040	3,59%	35	55,42	40,00	-15,420	-27,82%	
12	34,87	25,00	-9,870	-28,31%	36	52,61	47,50	-5,110	-9,71%	
13	27,31	29,29	1,976	7,24%	37	42,26	60,00	17,740	41,98%	
14	34,91	48,33	13,423	38,45%	38	42,11	62,86	20,747	49,27%	
15	32,36	62,50	30,140	93,14%	39	53,47	46,00	-7,470	-13,97%	
16	20,14	27,14	7,003	34,77%	40	50,12	40,00	-10,120	-20,19%	
17	19,42	34,00	14,580	75,08%	41	18,57	26,67	8,097	43,60%	
18	17,93	26,67	8,737	48,73%	42	60,58	46,50	-14,080	-23,24%	
19	28,72	42,86	14,137	49,22%	43	52,34	61,67	9,327	17,82%	
20	16,16	40,00	23,840	147,52%	44	46,48	50,00	3,520	7,57%	
21	34,44	45,00	10,560	30,66%	45	48,05	37,50	-10,550	-21,96%	
22	36,4	33,33	-3,067	-8,42%	46	39,71	37,08	-2,627	-6,61%	
23	49,08	45,00	-4,080	-8,31%	47	24,91	45,00	20,090	80,65%	
24	29,14	42,50	13,360	45,85%	Tot	47	37,66	42,07	4,42	31,59%

Para observar claramente dicha diferencia de estimación se realizó una comparación ANOVA de las varianzas para las muestras obtenidas en la comparación y los resultados obtenidos de FCC para el Tercer Inventario Forestal Nacional en el monte objeto de estudio y a partir de la media de porcentajes del cantón.

A partir de los datos obtenidos puede observarse en la grafica 29 la variabilidad de los mismos según inventario, no habiendo diferencias significativas entre las revisiones del monte objeto de estudio y si existiendo diferencias significativas entre las mismas con las realizadas para el IFN3, sobrestimando el parámetro en comparación con las otras dos muestras, obteniendo valores medios muy por encima de las revisiones del inventario del monte, dejando patente la clara diferencia entre un inventario y/u otro y como, aunque estadísticamente no existen diferencias significativas se observa la subestimación del parámetro en la revisión de 2008 frente a la de 2009.

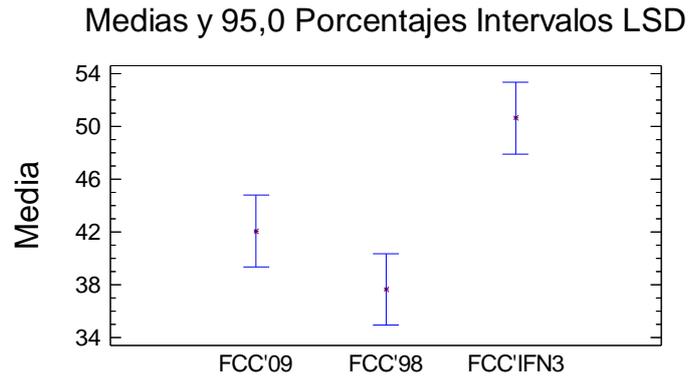


Fig. 32 Gráfico de medias. Mínimas diferencias significativas (LSD)

A partir de los datos agrupados por cantones con cortas y sin cortas los incrementos o decrecimientos de la FCC se ajustan más a la realidad dando resultados positivos donde no se han realizado cortas, con un incremento de un 12% y un decrecimiento absoluto de -7% en cantones donde se han realizado aprovechamientos.

Tabla 25. Incremento absoluto en % según cortas en cantones

Incrementos según Aprovechamientos	
	\bar{x}
Cantones con cortas	-7,02
Cantones sin cortas	12,17

VI.1.4 Área Basimetrica

A partir del estudio de la distribución mediante el grafico de la figura 33 se observa como los datos presentan una distribución normal y se procede a su estudio.

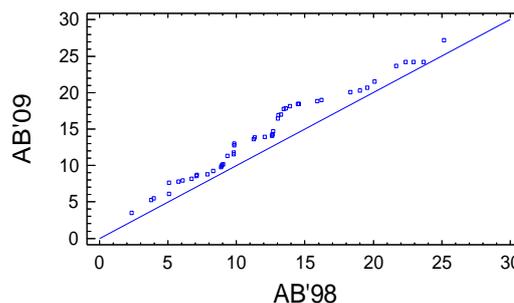


Fig. 33 Gráfico cuantil – cuantil que estudia la normalidad de la distribución.

El resumen estadístico se describe como sigue en la tabla siguiente:

Tabla 26 Estadísticos AB.

	AB'98	AB'09
Frecuencia	47	47
Media	12	14
Varianza	31,84	34,20
Desviación típica	5,64	5,84
Error estándar	0,82	0,85
Mínimo	2,35	3,49
Máximo	25,16	27,17
Rango	22,81	23,68
Asimetría tipi.	1,52	0,70
Curtosis tipificada	-0,40	-1,05
Coef. De variación	46%	40%

El F-test para comparar las varianzas de las dos muestras establece los intervalos de confianza de 0,518544 hasta 1,67136 y dado que contiene el valor 1 no existe diferencia estadísticamente significativa entre las desviaciones típicas de las dos muestras para un nivel de confianza del 95%.

Por lo que aplicando el t-test para la hipótesis de igualdad de medias y puesto que el p-valor calculado no es inferior a 0,05 ($t = -1,77038$ P-Valor = 0,0799772) no podemos rechazar la hipótesis nula y por tanto decir que la diferencia de medias es igual a 0, lo que indica que no existen diferencias estadísticamente significativas para un nivel de confianza de 95%. (Ver figura 34 de distribución de medias.)

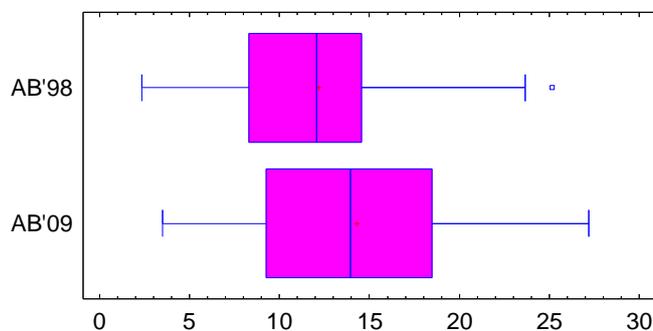


Fig. 34 Gráfico de cajas y bigotes para AB

Interpretando los resultados que se muestran en la tabla 27 de nuevo en el cantón 5 se observa una anomalía con un incremento de 685%, dicho resultado deriva también del posible error anteriormente comentado en las alturas. En los cantones 18, 22, 23, 35, 41 y 44 que presentan resultados de incrementos negativos sin haberse realizado cortas se debe al sacar medias por existencias y contabilizar un promedio de Área basimétrica con menos parcelas en la revisión de 2009, valga como representación el cantón 18 donde en 1998 se realizaron 29 parcelas con un AB de 6.4 m²/ha, y en 2009 se realizaron tan sólo 9 parcelas con un AB de 5 m²/ha. Como también se comentó anteriormente se observa un incremento negativo en los cantones donde se han realizado cortas (verde en la tabla) lo que explicaría su disminución en el tiempo. Los cantones donde se han realizado cortas y presentan incrementos, la explicación para el parámetro densidad podría también valer para estos casos de los cantones 1, 4 y 34, ya que el AB es un parámetro directamente proporcional a la densidad.

Tabla. 27 Resultados para el parámetro AB. Amarillo cantones con cortas. Verde resultados negativos.

CANTÓN	AB(m ² /ha)'98	AB (m ² /ha)'09	Incremento	Incremento %	CANTÓN	AB(m ² /ha)'98	AB (m ² /ha)'09	Incremento	Incremento %	
1	15,89	20,32	4,43	27,89%	25	12,63	19	6,37	50,47%	
2	9,82	13,83	4,01	40,85%	26	11,25	16,89	5,64	50,19%	
3	5,06	8,21	3,16	62,41%	27	7,06	9,28	2,22	31,48%	
4	9,34	11,53	2,19	23,39%	28	6,07	13,96	7,89	130,02%	
5	2,35	18,47	16,12	685,29%	29	12,06	14,28	2,22	18,43%	
6	3,95	13,6	9,65	244,13%	30	14,55	24,2	9,65	66,36%	
7	8,86	24,24	15,38	173,65%	31	9,84	5,52	-4,32	-43,91%	
8	23,66	14,7	-8,96	-37,88%	32	5,08	9,82	4,74	93,42%	
9	18,31	20,67	2,37	12,92%	33	16,20	9,91	-6,29	-38,83%	
10	20,10	12,81	-7,29	-36,28%	34	19,55	27,17	7,62	39,01%	
11	8,32	6,13	-2,19	-26,32%	35	14,49	14,09	-0,40	-2,77%	
12	9,79	3,49	-6,30	-64,35%	36	13,08	20,04	6,96	53,20%	
13	8,92	7,82	-1,10	-12,35%	37	13,46	21,51	8,05	59,77%	
14	13,26	18,81	5,55	41,88%	38	12,59	14,18	1,59	12,65%	
15	8,95	18,16	9,21	102,91%	39	22,35	18,49	-3,86	-17,28%	
16	7,10	7,96	0,86	12,08%	40	22,93	16,43	-6,50	-28,36%	
17	6,72	10,18	3,46	51,51%	41	9,04	8,53	-0,51	-5,61%	
18	5,78	5,28	-0,50	-8,70%	42	25,16	23,69	-1,47	-5,85%	
19	7,88	8,69	0,81	10,32%	43	21,65	24,19	2,54	11,71%	
20	3,76	8,76	5,00	132,85%	44	13,58	7,67	-5,91	-43,52%	
21	9,81	17,87	8,06	82,18%	45	13,91	13,03	-0,88	-6,34%	
22	13,01	11,34	-1,67	-12,85%	46	12,60	11,79	-0,81	-6,39%	
23	19,00	17,02	-1,98	-10,41%	47	11,33	17,76	6,43	56,70%	
24	12,66	10,08	-2,58	-20,37%	Tot	47	12,19	14,29	2,10	41,47%

Para los cantones 29 y 43 tras el estudio de los mismos se observan también altas densidades; donde el 29 presenta una elevada densidad para el momento en que se encuentra (regeneración) y se explica también que se ha realizado una reciente corta preparatoria-diseminatorias de intensidad moderada, pero no obstante, aún puede observarse un significativo piso de pies dominados y codominantes que deberían ser eliminados. En el 43 se describe también que alcanza densidades de visu entorno a los 400 pies/ha, y que las claras recientes a modo de corta preparatoria han sido poco representativas por el estrato de pies dominados que ha quedado en pie. Quedando patente la elevada densidad de los mismos aún con las cortas realizadas y que explica los resultados comentados.

El incremento promedio del Área basimétrica en el último decenio es de 41.7% y en general para el monte el área basimétrica se incrementa en un 17%, dato que no concuerda con los incrementos porcentuales del parámetro densidad, lo que parece indicar que se han realizado en general en los cantones cortas preparatorias y diseminatorias, que no inciden tanto en el área basimétrica.

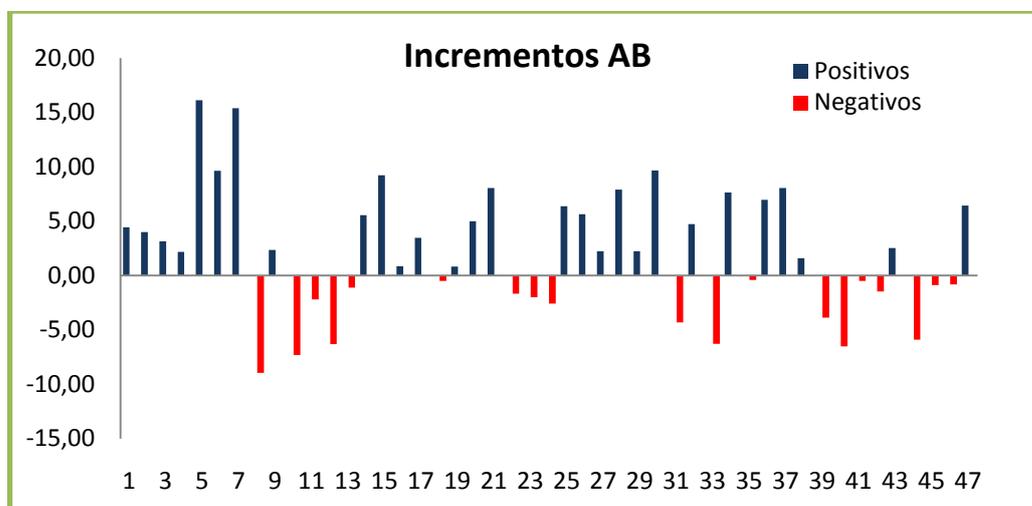


Fig. 35 Incrementos AB positivos y negativos en el último decenio.

A partir de la figura expuesta y la tabla 28 se observa como el promedio del área basimétrica por cantones con cortas disminuye en $-1.47 \text{ m}^2/\text{ha}$, y en los cantones sin cortas aumenta en $4.52 \text{ m}^2/\text{ha}$, ajustándose a los crecimientos esperados de crecimiento.

Tabla. 28 Incremento absoluto según cortas en m²/ha.

Incremento según cortas	
	\bar{x}
Cantones con cortas	-1,47
Cantones sin cortas	4,52

VI.1.5 Volumen

A partir de los resultados obtenidos mediante la obtención de la media del volumen (m³/ha) por clase diamétrica y cantón, se estudia estadísticamente ofreciendo dichos resultados:

Tabla 29 Estadísticos volumen

	Volumen'98	Volumen'09
Frecuencia	47	47
Media	47,59	75,11
Varianza	722	1175
Desviación típica	26,88	34,27
Error estándar	3,92	5,0
Mínimo	7,67	17,55
Máximo	117,39	151,66
Rango	109,72	134,11
Asimetría tipi.	2,75	1,49
Curtosis tipificada	0,74	-0,77
Coef., de variación	56%	45%

Tras el estudio estadístico mediante Statgraphics se observa que existen diferencias significativas en las varianzas lo que imposibilita hacer una comparación de medias para la muestra en cuestión determinando que dichas muestras pertenecen a distintas poblaciones. En la figura siguiente se observa como la muestra se distribuye de forma diferente, y fuera de la normalidad.

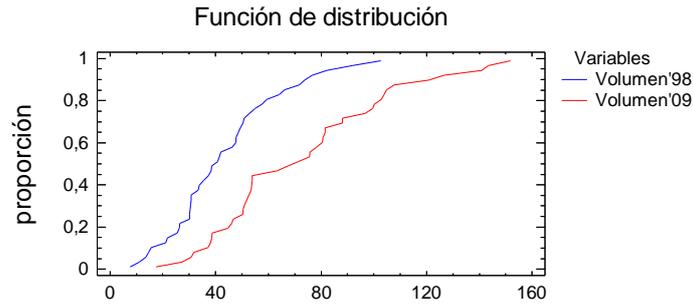


Fig. 36 funciones de distribución que informan de la distribución de las muestras.

Esto es debido a grandes diferencias entre el volumen obtenido en 1998 y en 2009 ya que, como se ha explicado en la metodología, en el caso del volumen a la hora de la comprobación de las tarifas generadas para cada especie y calidad de estación, se ha puesto de manifiesto un desajuste importante en la cubicación individual de los pies. El valor resultante fue contrastado con el obtenido por aplicación de la tarifa generada, encontrándose desviaciones importantes que en algunos casos llegaron a superar el 50% del volumen total. Esta razón explicaría las diferencias a nivel de comparación de inventarios respecto a la última revisión de 1998, donde estas tarifas fueron aceptadas sin comprobación previa, generando unos volúmenes unitarios muy bajos para los diámetros en cuestión.

En la tabla siguiente se muestran los resultados de la comparación:

Tabla 30. Resultados para el parámetro Volumen. Amarillo cantones con cortas. Verde resultados negativos.

CANTON	Vcc m³/ha'98	Vcc m³/ha'09	incrmnto	%Incrmnto	CANTON	Vcc m³/ha'98	Vcc m³/ha'09	incrmnto	%Incrmnto	
1	66,26	102,83	36,57	55,19%	25	50,52	96,69	46,17	91,39%	
2	37,35	52,76	15,41	41,26%	26	46,38	71,2	24,82	53,53%	
3	15,69	38,64	22,95	146,32%	27	30,70	46,79	16,09	52,41%	
4	30,13	50,37	20,24	67,19%	28	21,77	75,58	53,81	247,25%	
5	7,67	126,63	118,96	1551,32%	29	48,63	81,6	32,97	67,79%	
6	13,50	75,78	62,28	461,36%	30	71,63	140,99	69,36	96,83%	
7	30,71	67,33	36,62	119,22%	31	33,43	31,72	-1,71	-5,10%	
8	103,55	68,07	-35,48	-34,26%	32	14,64	50,47	35,83	244,69%	
9	73,78	88,07	14,29	19,37%	33	57,63	50,99	-6,64	-11,51%	
10	76,53	80,45	3,92	5,12%	34	64,11	143,43	79,32	123,72%	
11	30,52	27,37	-3,15	-10,32%	35	59,39	81,47	22,08	37,17%	
12	35,48	17,55	-17,93	-50,53%	36	42,08	104,94	62,86	149,36%	
13	33,77	38,69	4,92	14,55%	37	50,75	120,8	70,05	138,04%	
14	47,67	107,66	59,99	125,83%	38	49,34	53,97	4,63	9,39%	
15	30,34	88,07	57,73	190,24%	39	113,72	123,32	9,60	8,44%	
16	26,42	46,19	19,77	74,85%	40	102,53	100,22	-2,31	-2,26%	
17	26,31	53,75	27,44	104,27%	41	38,61	51,94	13,33	34,53%	
18	21,13	30,86	9,73	46,02%	42	117,39	138,44	21,05	17,93%	
19	25,39	38,2	12,81	50,48%	43	91,77	151,66	59,89	65,26%	
20	11,15	37,02	25,87	231,97%	44	40,74	44,73	3,99	9,78%	
21	30,17	80,73	50,56	167,59%	45	41,46	78,28	36,82	88,82%	
22	55,02	53,96	-1,06	-1,93%	46	38,35	63,42	25,07	65,36%	
23	82,24	103,81	21,57	26,22%	47	52,83	99,57	46,74	88,46%	
24	47,74	53,47	5,73	12,00%	Tot	47	47,59	75,12	27,52	108,18%

Tal y como ha podido observarse en los resultados obtenidos y análisis anterior podría explicar los errores que se presentan en la tabla arriba indicada, es decir aquellos cantones donde no se han realizado cortas y se obtienen incrementos negativos o a la inversa, cantones donde se han realizado cortas (amarillo) y salen incrementos positivos. De particular interés de nuevo el cantón número 5 con un incremento de 1551% donde se observa que igual que en los parámetros de alturas, Área Basimétrica ó Fracción de Cobertura ya comentados genera una gran diferencia entre inventarios debido al error ya comentado en alturas.

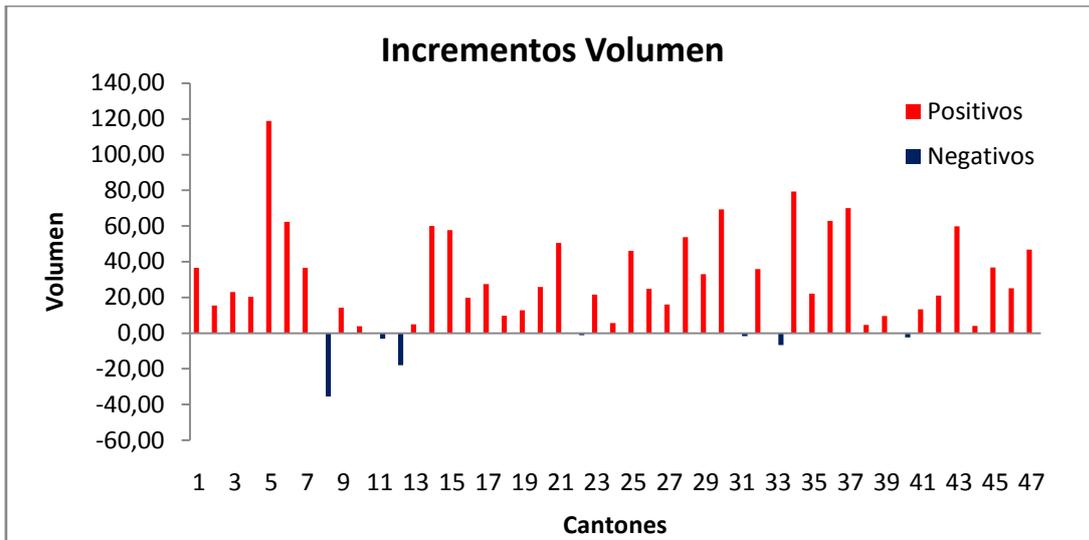


Fig. 37 Incrementos en el último decenio por cantones

A partir de la figura y los datos agrupados por cantones con cortas finales o sin ellas se observa en la tabla 31, como, en promedio se obtiene un incremento positivo de 34.45 m³/ha, donde no se han realizado aprovechamientos y de 17.31 m³/ha en los que si, resultado no muy acorde con lo que debería de ser ya que en los cantones donde se han realizado cortas el incremento debería de ser mucho menor o negativo y que derivan de la subestimación anterior comentada.

Tabla 31 Incremento absoluto según cortas en m³/ha

Incremento según aprovechamientos	
	\bar{x}
Cantones con cortas	17,31
Cantones sin cortas	34,45

VI.2 Resultados comparación Campo - LiDAR

A continuación se exponen los resultados obtenidos en la comparación de los parámetros selvícolas obtenidos a partir de los datos LiDAR, con los obtenidos en inventario de campo.

VI.2.1 Cantón

Se ha comprobado la diferencia entre cantones, comprobando el error y diferencia que se comete entre la media por los inventarios LiDAR calculados en el apartado anterior y la estimación de los parámetros de forma extensiva para todo el cantón.

Por otro lado se ha comparado la media por cantón estimada por las parcelas de campo y los cantones de forma extensiva.

VI.2.1.1 Densidad

En el inventario de campo los pies se han clasificado por clases diamétrica, a partir de los 7,5cm de diámetro, no obstante, la aplicación usada para determinar la densidad en los datos LiDAR, no identifica o discrimina los pies dominados según su diámetro, Se supondrá que los pies con mayor diámetro serán más altos y dominaran sobre el resto, aunque esto no siempre se cumple.

A partir de los datos se ha obtenido el siguiente análisis descriptivo:

Tabla 32 Estadísticos densidad

	Frecuencia	Media	Varianza	Desviación típica
Campo	47	378,167	45230,6	212,675
LiDAR	47	359,206	9356,	96,73

A partir del estudio ANOVA se obtiene que, no existen diferencias estadísticamente significativas al 95% de probabilidad entre los datos obtenidos mediante ambas técnicas, como puede observarse en la figura siguiente:

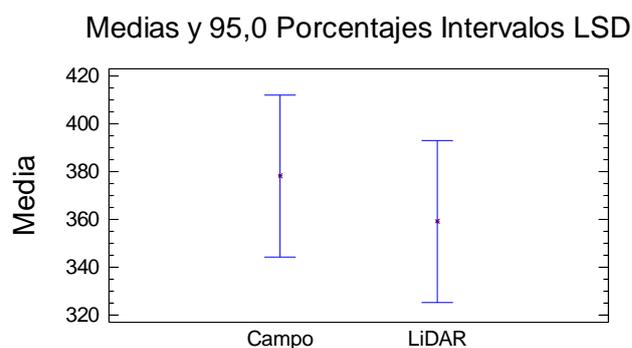


Fig. 38 Comparación medias

Dichos datos contienen un error absoluto medio cercano al 31% y una subestimación de la densidad por parte de los datos LiDAR del 20%.(Tabla 33)

Tabla 33 Errores Densidad.

	EM	EMA	PEMA	E. típico	Coef.R ²
Densidad	-18,96	111,45	31,84%	154,80	0,48

Demostrando que el uso de la aplicación Open LiDAR para el cálculo de densidad presenta unos valores, que pese a presentar errores discutibles a nivel de parcela (como se verá posteriormente) no presentan cambios significativos para un número suficiente de parcelas a gran escala (cantón).

La comparación de los incrementos obtenidos entre inventarios tradicionales e inventario y LiDAR, en este caso, para la densidad, no se observan diferencias estadísticamente significativas al 95% (figura 39) por lo que se aconseja la realización de los mismos mediante la tecnología LiDAR, ya que ésta, se realiza más rápido y económicamente como se verá posteriormente.

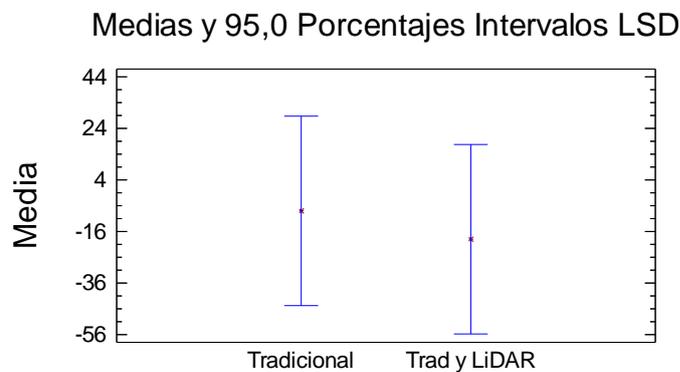


Fig. 39 Comparación resultados entre inventarios tradicionales e inventario y LiDAR.

VI.2.1.2 Alturas

La comparación se ha realizado a partir de la altura media de la masa. Los datos de altura medidas en campo corresponden tan solo a 2 pies por parcela, como ya se comentó en el apartado de metodología.

Los estadísticos de la variable se muestran en la tabla siguiente:

Tabla 34 Estadísticos Alturas

	Frecuencia	Media	Varianza	Desviación típica
Campo	47	9,33894	4,43781	2,10661
LiDAR	47	8,66766	8,82453	2,97061

A partir del estudio de la varianza (figura 40) mediante ANOVA se observa que no existen diferencias estadísticamente significativas entre las medias de las 2 variables a un 95% de probabilidad.

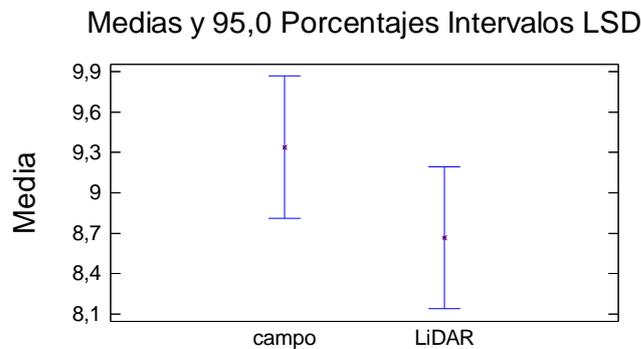


Fig. 40 Comparación de medias LSD

El gráfico anterior nos muestra como la técnica del LiDAR en la obtención de alturas subestima los datos en comparación con los métodos tradicionales, ya que como ya se ha comentado anteriormente en la metodología de obtención de datos LiDAR, no siempre el laser incide sobre el ápice del árbol, en este caso dicho valor resulta en un 7% y el error medio absoluto en la comparación corresponde a un valor del 27% como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 35 Errores Alturas

	EM	EMA	PEMA	E. típico	Coef. R ²
Alturas	-0,78	2,87	27.7%	2,13	0,4

La comparación de los resultados entre los inventarios e inventario y LiDAR en este caso si que nos da diferencias estadísticas significativas al 95% (figura 41) ya que para

las alturas, la obtención manual de la altura y la dificultad que conlleva su medición más los errores asociados y acumulados hace que sus datos estén muy por encima de los datos obtenidos mediante LiDAR.

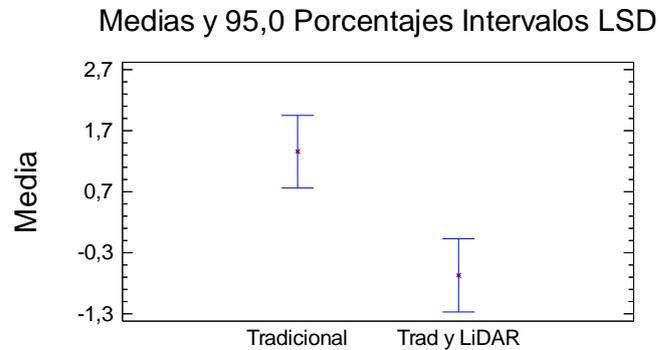


Fig. 41 Comparación de medias de comparación entre inventarios y inventarios - LiDAR

A partir de los datos se obtienen errores medios absolutos negativos muy elevados y una regresión baja del 20% por lo que para el parámetro altura no se puede asegurar la comparación exacta mediante cualquier método, aconsejando la realización de las últimas tecnologías para la comparación de inventarios u obtención de la variable ya que como se ha visto anteriormente, el LiDAR ofrece una medición con tan solo un error del 7% respecto a los inventarios tradicionales y resulta más rápido y económico como se verá después.

VI.2.1.3 Fracción de cabida cubierta

En este caso se disponen de los datos de FCC a partir de datos LiDAR a partir de una altura mínima de 2 metros como se comentó en el apartado de metodología.

El resumen estadístico se muestra en la tabla siguiente:

Tabla 36 Resumen estadístico

	Frecuencia	Media	Varianza	Desviación típica
FCC campo	47	42,7098	153,615	12,3942
FCC LiDAR	47	47,2011	296,165	17,2094

A partir del estudio estadístico ANOVA (figura 42) se observa como, si hay diferencias estadísticamente significativas entre la FCC del inventario de 2009 y la FCC obtenida en el IFN3 (circunstancia que se presentaba ya en la comparación de inventarios tradicionales) y como no existen diferencias estadísticamente significativas al 95% de probabilidad entre los datos obtenidos mediante tecnología LiDAR y el inventario tradicional.

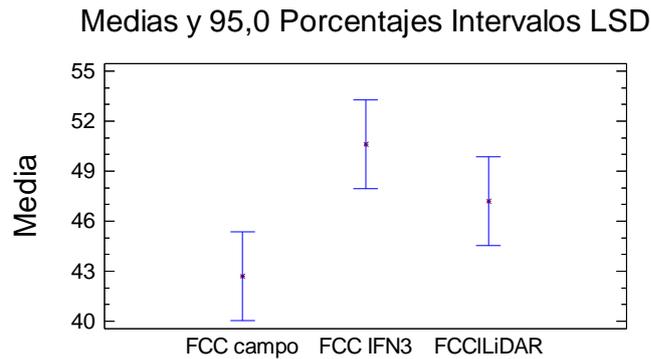


Fig. 42 Comparación de medias para FCC

A partir del gráfico anterior se observa además como mediante el LiDAR se obtienen valores más altos que en el método tradicional, circunstancia que se debe a que dicha tecnología utiliza un número de datos mucho mayor que los principales métodos convencionales de campo, siendo de esta manera más exacto.

El error medio absoluto cometido entre los valores de FCC estimados a partir del LiDAR y los datos de campo es de del 23%, por lo que la diferencia entre la estimación LiDAR ofrece en término medio un 10% de FCC más que en CAMPO (Tabla 37).

Tabla 37 Errores del parámetro fracción de cabida cubierta

	EM	EMA	PEMA	E. típico	Cofi.R ²
FCC	4,49	9,60	23,32%	7,49	0,64

Los datos presentan una correlación como se muestra en la figura 43 de aproximadamente un 60%.

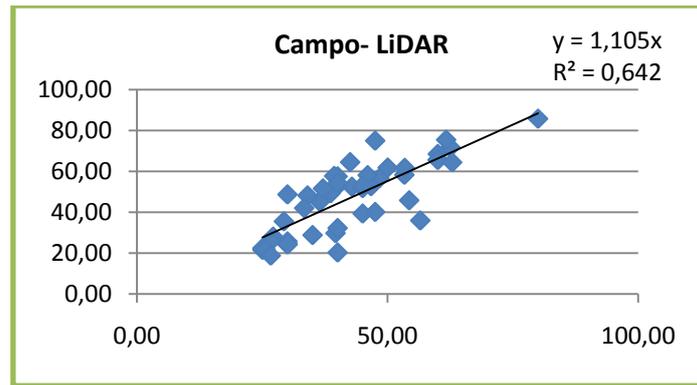


Fig. 43 Regresión campo-LiDAR

El incremento medio para el conjunto del monte mediante inventario tradicional es de 11.7% mientras que el incremento promedio entre inventario tradicional y LiDAR es del 23% siendo éste mayor debido a que inicialmente el inventario de 2009 y datos LiDAR provienen de datos mayores que el inventario de 1998. A partir de dichos resultados se obtiene que no existen diferencias significativas al 95% (figura 44) entre la comparación de inventarios tradicionales e inventarios y LiDAR, aportando mayor fiabilidad, si cabe, a dicha tecnología.

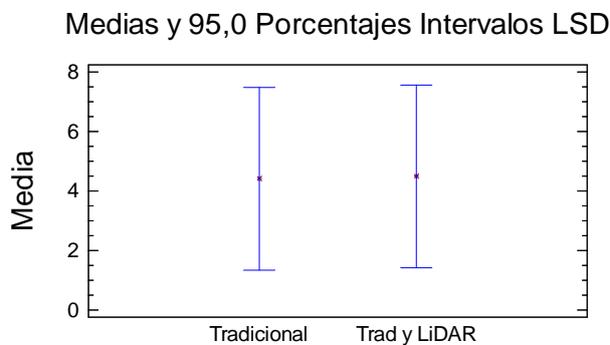


Fig.44 Comparación del promedio del incremento entre inventarios tradicionales e inventario y LiDAR.

VI.2.2 Parcela

La comparación entre LiDAR y CAMPO parcela por parcela es compleja debido a su reducido tamaño y el error de georeferenciación con el uso de GPS convencionales. Pese a utilizar GPS de alta precisión, su uso en zonas montañosas bajo dosel arbóreo, donde la recepción de los satélites resulta dificultosa, puede aumentar su error considerablemente, dicho error puede variar entre 1 a 6 metros, lo que supone que las

parcelas de inventario se pueden encontrar desplazadas entre 1 y 6m respecto sus coordenadas originales tomadas en campo.

Teniendo en cuenta que el radio de la parcela es de 10m un desplazamiento de la parcela de 6 m puede suponer más de un 40% de error de las variables dendrométricas. Por este motivo las parcelas de inventario deben situarse en zonas homogéneas donde no existan cambios bruscos cerca de los bordes de la parcela.

El error en la estimación de parámetros selvícolas debido a georeferenciación es menor conforme más grande es la parcela, ya que estudios referentes a dichos errores en parcelas permanentes experimentales así lo han determinado (FABRA et al., 2010)

VI.2.2.1 Densidad

Los resultados obtenidos se muestran a continuación:

Tabla 38 Estadísticos densidad

	Frecuencia	Media	Varianza	Desviación típica
Campo	47	362,512	46891,8	216,545
LiDAR	47	416,917	19601,3	140,005

A partir de los resultados obtenidos por parcela se realiza el estudio de las varianzas mediante un ANOVA (figura45) y en donde se observan como no existen diferencias estadísticamente significativas para el parámetro densidad, estimando los valores del LiDAR hasta un 50% por encima de los obtenidos mediante inventario tradicional en el incremento promedio de todas las parcelas.

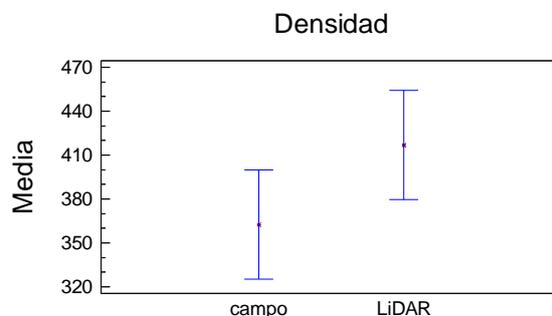


Fig. 45 Comparación de medias

El error absoluto medio supone un 52% (Tabla 39), junto con el incremento promedio se debe a que en una extensión de tamaño tan pequeña como la parcela (314.15 m²) el LiDAR tan solo recoge las variables de los árboles dominantes, ignorando los codominantes y realizándose un promedio con los valores máximos relativos del punto central y obviando los colindantes.

Tabla 39 Errores Densidad

	EM	EMA	PEMA	E. típico	Coef. R ²
Densidad	54	188	52,68%	215,61	0,03

El ajuste por parcelas presenta una mayor precisión y similitud con el inventario tradicional como se ha podido observar en los datos obtenidos, ya que no existen errores de extrapolación de datos a extensiones más grandes (cantones) y arrastre así, de los errores del muestreo, herramientas y demás.

VI.2.2.2 Alturas

Los resultados obtenidos a partir de las parcelas se muestran a continuación:

Tabla 40 de estadísticos:

	Frecuencia	Media	Varianza	Desviación típica
Campo	47	9,16	4,63016	2,15178
LiDAR	47	8,87	4,77878	2,18604

A partir de los resultados ANOVA podemos observar como al 95% de probabilidad no existen diferencias estadísticamente significativas (Figura 46).

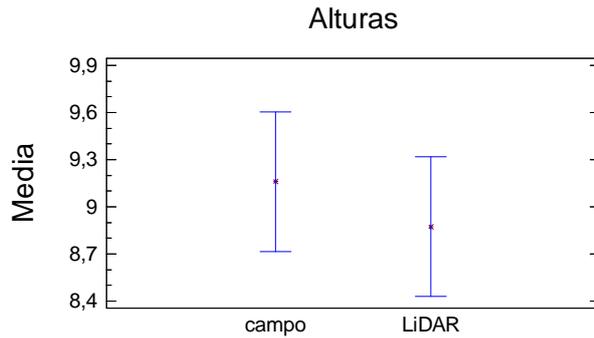


Fig. 46 Comparación de medias

Dichos resultados presentan unos errores medios absolutos del 20%, subestimando los valores LiDAR con un error promedio de todas las parcelas por cantón del 30% (tabla41). Como se ha comentado también para el parámetro densidad dichos datos se ajustan mejor que los datos obtenidos de la comparación por cantón (figura 47), ya que, en ellos, se comparan datos extrapolados (con sus errores) del inventario tradicional con los datos LiDAR de extensión total del cantón, que reduce dichos errores.

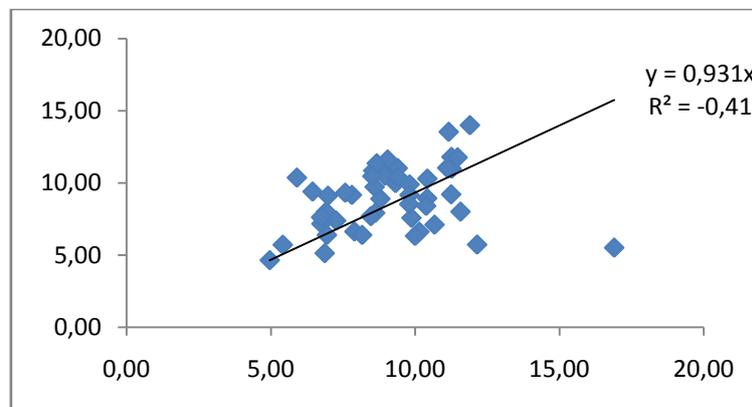


Fig.47 Ajuste datos por parcelas LiDAR - tradicional

Tabla 41 Errores Alturas parcelas

	EM	EMA	PEMA	E. típico	Coef. R ²
Alturas	-0,29	1,83	19,27%	1,73	0,41

De los resultados arriba indicados se deduce que cuanto menor es la superficie a estimar los datos LiDAR cometen más error debido a los algoritmos y metodología empleada para la obtención de los valores como se ha comentado anteriormente, aunque la comparación es más exacta con menor error que la comparación en cantones como ya se ha explicado.

VI. Valoración económica

VI. 1 Comparación de la valoración económica inventario – LiDAR

Se ha realizado un estudio comparativo de precios según técnica de inventario con la finalidad de poder establecer un parámetro más en la comparación y poder definir, aún más si cabe, las ventajas y/o bonanzas de la tecnología LiDAR en la realización de inventario forestal y obtención de parámetros forestales frente al método tradicional.

Para la realización del inventario sistemático tradicional en el monte nº 57 "Solana y Campo de las Herrerías" con superficie total de 2957.43 hectáreas, se han realizado un total de 350 parcelas y como ya se ha explicado en el apartado de metodología, el inventario de las mismas se realiza; con parcelas de radio=10 m donde se midieron dentro de las mismas todos los diámetros de los árboles a la altura del pecho y conteo de los pies inventariables (≥ 10 cm) y otra medición a nivel de subparcela donde se procedió a la caracterización de los pies menores, el regenerado y el matorral y donde además se seleccionaron dos árboles tipo de los cuales se tomaron las mediciones de altura, diámetro, espesor de corteza, edad, coeficiente f y datos complementarios.

En el inventario mediante la tecnología LiDAR, éste, se realiza tan solo para calibrar y verificar los datos obtenidos, por tanto dicho inventario no solo se realiza en menor número sino que además se realizan menos mediciones, ya que los parámetros serán obtenidos mediante dicha técnica.

Los precios para realizar los supuestos y hacer un cálculo aproximado de los precios de inventario, rodalización o procesado de los datos posterior en el caso de la obtención

mediante tecnología LiDAR, se han obtenido de la empresa BALMA FORESTAL SLP, empresa del sector y que lleva varios años trabajando en dichos temas, y a partir del cuadro de precios unitarios para la actividad forestal elaborado por el Colegio Oficial de Ingenieros de Montes, (COIM, 2004) para el inventario tradicional (tabla 42).

Tabla 42 Precios inventario tradicional.

Codigo	Descripción	Unidad	Precio
PR0045	Diseño de un inventario para la realización de un proyecto de ordenación de un monte de 5000 ha	ud	773,24 €
PR0043	Realización de un inventario exhaustivo para un proyecto de ordenación en un monte de 5000 ha. Trabajo de campo, medios y materiales necesarios.	ud	37.109,54 €
TOTAL			37.882,78 €

De lo que se deduce que el coste de inventario tradicional supone 7.5 euros/hectárea en 2004, aplicando el incremento del IPC (Índice de precios de consumo) desde ese año hasta la actualidad según el INE (Instituto Nacional de Estadística) es decir un 20% de incremento, se obtiene un precio de 9 €/ha, para la realización del mismo, de lo que se deduce para el inventario de forma sistemática como sigue:

Supuesto para ordenación sistemática

A partir de los precios calculados o estipulados y suponiendo un coste gratuito de los datos LiDAR aplicables en los proyectos realizados para la Administración Pública se ha realizado la siguiente tabla y que se explica posteriormente:

Tabla 43 Precios según inventario

Concepto	Inventario tradicional	Inventario con LiDAR
Creación MDT	-	0,5 €/ha
Procesado LiDAR	-	Según superficie*
Diseño inventario	0,2 €/ha	0,2 €/ha
Inventario de campo	40 €/inv	25 €/inv
Número de inventarios	0,2 inv. /ha (200inv/1000 ha)	0,05 inv. /ha (50inv/1000 ha)

Inventario por hectárea	9 €/ha	1,25 €/ha
Total inventario por ha	9,2 €/ha	1,95 €/ha + procesado(1.5€)*
Monte de 1500 hectáreas	13800 €	5175 €
Monte de 2957 hectáreas	27204.4 €	10201.6 €

Un inventario cada cinco hectáreas que es lo que se considera habitual en una malla sistemática para el inventario tradicional y con tecnología LiDAR se puede disminuir a la cuarta parte, puesto que son solo de comprobación y calibrado además el inventario sistemático mediante tecnología LiDAR supone un precio menor ya que como se ha comentado anteriormente en el inventario se recogen menor número de datos consecuentemente puede ir una persona sola aunque el coste no es la mitad porque hay un coste fijo del vehículo todo terreno. (15 € Hora por persona y 10 € coste del coche)

*El procesado de los datos LiDAR varía en función de la superficie como cualquier procesado cartográfico, pudiendo establecer orientativamente los siguientes tramos de precios de mercado:

Montes	50 – 250 ha	250 – 500 ha	500 – 1000 ha	1000 – 3000 ha
Precio	4,5 €/ha	3,5 €/ha	2,5 €/ha	1,5 €/ha

Con un precio para el monte en cuestión como se observa en el cuadro anterior con una diferencia de 17000 €, lo que supone un 62% menos del precio por inventario tradicional, si se realizara mediante tecnología LiDAR.

VII. Discusión

La obtención de los datos de la ordenación de 1998 para su comparación ha sido algo engorroso y complicado a la vez ya que los datos son antiguos, algunos de ellos no están digitalizados y además no se presentan de manera clara, ofreciéndose al autor de dicha comparación la complejidad de interpretación de los datos.

Los datos de los aprovechamientos realizados en el monte se recopilaron de los archivos del servicio forestal (PROP) de la Generalitat Valenciana, lo que fue también complicado ya que al no disponer de unos datos digitalizados y actualizados, tras las varias visitas a dicho centro no se consiguió obtener muchos más datos que los que refleja la ordenación de 2009, con lo que no se pudo realizar una comparación más detallada a nivel de parcela.

El cambio de aparatos más modernos de mayor precisión ofrece resultados cada vez más exactos, lo que al comparar los inventarios pueden darse resultados que no son del todo exactos y siempre extrapolando resultados a partir de muestras con los errores que ello conlleva.

FCC

Respecto a la obtención de la FCC al ser este un parámetro que a priori no tiene mucha importancia en general en la ordenación, sobretodo en el cálculo de existencias o posibilidad, que sería lo más importante al fin y al cabo, aparentemente no se le da mucha importancia realizándose mediante visu del jefe de equipo sin ningún tipo de metodología concreta o tipificada (Dicha metodología es empleada también en el IFN 3 para el mismo parámetro). Esta circunstancia como se ha visto en los anteriormente ofrece unos resultados con unas diferencias considerables al quedar la medición bajo la estimación del operario con la derivación asociada de un observador a otro en el tiempo.

Una metodología empleada en la obtención de la FCC es mediante Densitómetro, que es un aparato que ofrece una visión perpendicular al suelo, delimitada por una circunferencia de 10 mm, que al observar a través de ella puede observarse, o no, ramas de los árboles situados en la parte superior, dando el valor de 1 si alguna rama cae dentro del círculo y un valor de 0 si no es así. El cociente entre el número de medidas positivas y negativas da el porcentaje de fracción de cabida cubierta. Dicha medición puede realizarse mediante la observación del densitómetro cada 1m en dos transectos perpendiculares que coinciden con las dos diagonales de las parcelas, N-S y W-O.

Establecer una metodología concreta para la FCC como la que se ha descrito retrasa el inventario o mejor dicho reduce el rendimiento al dedicar mayor tiempo a la parcela, para un parámetro que realmente en la ordenación no se le da demasiada importancia

aunque si la tenga por la posibilidad del estudio de la espesura, regenerado y demás. Gracias a la tecnología LiDAR y como se ha visto en el presente estudio, dicha tecnología elimina los errores metodológicos de los operarios y permite la estimación precisa de la FCC en grandes extensiones, de forma continua, evitando los errores por inferencia estadística. Debido a que todos los datos se encuentran perfectamente georreferenciados se puede extraer información del punto o zona que se desee, permitiendo obtener mapas de FCC, valores medios, gráficos de frecuencias y otros parámetros estadísticos de forma relativamente sencilla, además de obtener un parámetro, quizás engorroso y no muy fiable por el método tradicional, rápido y preciso con tan solo un error del 10%

Además, debido a lo comentado se permite que el valor de FCC pueda incluirse en relaciones para el cálculo de parámetros selvícolas como el área basimétrica o el volumen.

Densidad

Los datos LiDAR además de dar información sobre el número de pies poseen información sobre la ubicación de cada pie, con una precisión relativamente alta (menos de 1m²). No obstante se ha de tener en cuenta que no siempre el ápice se localiza en la misma posición de la base del fuste, especialmente en pies inclinados. En pies muy inclinados además de que la localización no sea precisa también puede existir un problema de conteo al incidir el láser en dos parte del mismo árbol.

Otra consideración importante en la estimación del número de pies mediante el análisis de datos LiDAR es que los pies dominados o sumergidos, son difícilmente identificables, por lo que solo se obtiene el número de pies que compone el estrato dominante.

A partir de los resultados obtenidos se puede decir que la utilización de LiDAR para determinar la densidad supone un mínimo error en comparación con métodos convencionales siendo un método más rápido y reduciendo considerablemente el coste. La dificultad de aislar los pies a nivel de vuelo cuando existe competencia hace que el método empleado presente errores elevados a partir de 1000 pies/ha, aumentando el error con la competencia. Otra cuestión es que los pies sumergidos no

son identificados, no obstante en la mayoría de los casos esta información no es importante ya que son pies destinados a desaparecer en los tratamientos.

Alturas

La altura, junto al diámetro, han sido las variables fundamentales para caracterizar la estructura de una masa y principalmente para determinar el volumen mediante el uso del coeficiente mórfico o tablas de cubicación.

En inventarios tradicionales la estimación de la altura supone una dificultad añadida debido al bajo redimiendo y un error variable derivado dificultad de visualizar las copas, la complejidad orográfica o los instrumentos utilizados para la estimación como bien se ha podido observar en el estudio de la altura. La utilización de datos LiDAR simplifica considerablemente esta labor al poseer datos de alturas máximas de la masa medidos desde fuera de la misma.

A partir de los datos obtenidos mediante LiDAR nos ofrece unos resultados con un error del 7% frente al inventario tradicional para la obtención de la altura media de la masa, por tanto si se pretende estimar ésta, teniendo en cuenta todos los pies de la misma, se debería agregar un 7% de la altura estimada al monte dependiendo de la especie y estrato dominado (no identificado por el LiDAR).

VIII. Conclusiones

Realizando este trabajo de fin de carrera se produce un incendio forestal en Tavernes de la Valligna (Valencia) donde se demuestra una vez más y explicado en los diarios al día siguiente por técnicos reconocidos en el sector forestal, la falta de gestión de los bosques de la Generalitat Valenciana como se ha explicado en este trabajo.

La falta de gestión proviene la mayoría de las veces por una alta inversión con rentabilidades más que discutibles.

La obtención de parámetros forestales mediante tecnología LiDAR según la comparación económica realizada es claramente más rentable frente a los métodos

tradicionales observando que supone entre la mitad y la cuarta parte del precio del proyecto lo cual es un estímulo importante a la hora de realizar la Gestión forestal, así que para las administraciones públicas y con la situación económica actual y prevista para los próximos años, sería deseable una aceptación y generalización del trabajo a partir de datos LiDAR, con objeto de abaratar los costes de planificación y aumentar de manera considerablemente rápida la superficie ordenada en España.

La altura total estimada por LiDAR subestima la altura total real del arbolado en un 7% de la altura en término medio para *Pinus halepensis*.

La densidad estimada por LiDAR se subestima en un 20% en término medio para *Pinus Halepensis*.

La Fracción de cabida cubierta se sobrestima en un 10% en término medio para *Pinus Halepensis*.

La tecnología LiDAR no es sustitutiva completamente de los inventarios forestales tradicionales, puesto que hay una serie de parámetros imposibles de medir mediante LiDAR, entre ellos, el más importante, la edad de la masa.

La ventaja del procesado de datos LiDAR frente a los inventarios tradicionales, no es la mayor precisión parcela a parcela, que también lo es en algunos parámetros, sino la disminución drástica del error en cuanto a la medición de dichos parámetros debido a la mayor cantidad de mediciones tomadas cuando extrapolamos los resultados a nivel de cantón. En el inventario tradicional se extrapolan los resultados de las parcelas a nivel de cantón, mientras que con los datos LiDAR tenemos las medidas reales de toda la extensión de la superficie del cantón.

IX. Bibliografía

ALDRED, A.H. BONNOR, G.M., 1985. *Application of airborne lasers to forest surveys*. Information Report Petawawa National Forestry Institute, Canadá (PI-X-51): 62

ÁLVAREZ DE PRADO, L. & RUIZ FERNÁNDEZ, L.A. (2005). *Caracterización de ecosistemas forestales de la sierra del teleno (león) en unidades de vegetación, empleando imágenes landsat 7 etm+ y mde*. Cuad. Soc. Esp. Cienc. For. 19: pp; 163-168.

ARBONAUT. *Tecnología LiDAR*. 2010
<http://www.arbonaut.com/index.php?top=59&option=com_content&view=frontpage&Itemid=59&lang=es> (Septiembre de 2010)

BALMA FORESTAL SLP, 2010. *Tarifas inventario LiDAR*. <<http://www.balmasl.com/>> (Noviembre, 2010)

BREIDENBACH, J., NÆSSET, E., LIEN, V., GOBAKKEN, T., SOLBERG, S. 2010. *Prediction of species specific forest inventory attributes using a nonparametric semi-individual tree crown approach based on fused airborne laser scanning and multispectral data*. Remote Sensing of Environment 114 (2010), pp; 911–924

CONSELLERIA DE MEDI AMBIENT. 2000. *Proyecto ordenación monte de Sinarcas*.

CONSELLERIA DE MEDI AMBIENT. 2010. *4ª Revisión proyecto ordenación monte de Sinarcas*.

DELGADO, R. (2008). *Apuntes de Dasometría*. Valencia. Editorial de la Universidad Politécnica de Valencia (UPV)

DIELMO. *Tecnología LiDAR*. 2010 < <http://www.dielmo.com> > (Septiembre 2010).

CUASANTE CORRAL, D. & GARCÍA GÜEMES, C. (2010). *Estimación de recursos forestales con tecnología LiDAR aerotransportada. Aplicación práctica en varios montes de la Provincia de Burgos.*

COROMINES M., BLANCO E. & RUIZ GARCÍA, A. (2005). *Aplicación de la tecnología LiDAR al estudio de la cubierta vegetal.* Cuad. Soc. Esp. Cienc. For. 19: pp. 71-77

FERNÁNDEZ-MANSO O., RAMÍREZ CISNEROS J., BLANCO MARTÍNEZ J., NÚÑEZ LLAMAS J., CALVETE CARRERA J., & SERRANO PÉREZ J. (2005) *Optimización de la ejecución y explotación de inventario forestales mediante el empleo de herramientas sig y gps* Cuad. Soc. Esp. Cienc. For. 19: pp.103-109

GARCÍA, M., PRADO, E., RIAÑO, D., CHUVIECO, E. & DANSON, F. M. (2009): *Ajuste planimétrico de datos LiDAR para la estimación de características dasométricas en el Parque Natural del Alto Tajo*, GeoFocus (Artículos), nº 9, p. 184-208. ISSN: 1578-5157

FABRA, M., REYNA, S., & POVEDA, A., 2010. *Programa de mejora de la capacidad de adaptación al cambio climático de los bosques de la Comunidad Valenciana.* Generalitat Valenciana. Universidad Politécnica de Valencia.

HOLMGREN, J. PERSSON, Å. 2004. *Identifying species of individual trees using airborne laser scanner.* Remote Sensing of Environment, 90(4), pp. 415-550.

INSTITUTO NACIONAL DE ESTADISTICA, (2010) *Calculo incremento IPC*, <<http://www.ine.es/varipc/verVariaciones.do;jsessionid=97CB74415E57D814E7472DE913016556.varipc01?mesini=Enero&anyoini=2004&mesfin=Octubre&anyofi n=2010&tipoindice=General+Nacional&enviar=Calcular>> (Noviembre, 2010)

LEY 3/1993, de 9 de Diciembre, de la Generalitat Valenciana, Forestal de la Comunidad Valenciana. Archivo en PDF, disponible en http://portales.gva.es/c_economia/web/hacienda/organos/dge/Ley_GV_3-1993_Forestal_CV.pdf

LEY 43/2003 de 21 de Noviembre de montes. Archivo en PDF, disponible en
<<http://www.boe.es/boe/dias/2003/11/22/pdfs/A41422-41442.pdf>>

LOPEZ SERRANO, F., GARCIA MOROTE, F., CERRO BARJA, A., (2003). *Dasometría. Ciencia de la medición forestal*. Albacete. Popular libros.

NÆSSET, E., BJERKNES, K.-O., 2001. *Estimating tree heights and number of stems in young forest stands using airborne laser scanner data*. Remote Sensing of Environment. 78, pp: 328 – 340.

NÆSSET, E., ØKLAND, T., 2003: *Estimating tree height and tree crown properties using airborne scanning laser in a boreal nature reserve*. Remote Sensing of Environment. 79, pp: 105 – 115.

NILSSON, M., 1994. *Estimation of tree heights and stand volume using airborne lidar system*. Report 57, Dept. of Forest Survey, Swedish Univ. of Agric. Sciences, Umea, pp; 59

PATFOR.ES. Plan de Acción Territorial Forestal de la Comunidad Valenciana.

<<http://www.cma.gva.es/arbodin/indice.aspx?nodo=180&idioma=c>> (13 de septiembre de 2010)

PASTOR-LÓPEZ, A. & MARTÍN-MARTÍN, J. (1992/93). *Los bosques protectores de P. halepensis en la provincia de Alicante*. Características de un proceso de revegetación. Mediterránea Ser. Biol. n. ° 14. pp 57-78.

POVEDA, A. 2010. *Establecimiento de parcelas permanentes de P. halepensis Mill. en la Comunidad Valenciana*. Proyecto fin de carrera. Universidad Politécnica de Valencia.

QUINTANO PASTOR, C., FERNÁNDEZ MANSO, A., RODRÍGUEZ PÉREZ, J. R., ÁLVAREZ TABOADA, M. F. & RAMÍREZ CISNEROS, J. (2005). *Estimación de existencias a*

partir de imágenes landsat derivadas de la aplicación de modelos de mezclas espectrales. Cuad. Soc. Esp. Cienc. For. 19: pp. 163-168

RENSLOW M., GREENFIELD, P. & GUAY, T. (2000). *Evaluation of Multi-Return LIDAR for Forestry Application*. US Department of Agriculture Forest Service – Engineering.

SERRADA, R. (1995). *Apuntes de la asignatura de Selvicultura*. Madrid: Unidad de reprografía de la Universidad Politécnica de Madrid.

SORIN, C. POPESCU, KAIGUANG, ZHAO., 2008. *A voxel-based LiDAR method for estimating crown base height for deciduous and pine trees*. Remote Sensing of Environment 112. Pp; 767–781

SORIN C. POPESCU, RANDOLPH H. WYNNE, ROSS F. NELSON. 2002. *Estimating plot-level tree heights with lidar: local filtering with a canopy-height based variable window size*. Computers and Electronics in Agriculture 37, pp; 71/95.

VAUHKONEN, J., KORPELA, I., MALTAMO, M., TOKOLA T., 2010. *Imputation of single-tree attributes using airborne laser scanning-based height, intensity and alpha shape metrics*. Remote Sensing of Environment 114, pp; 1263–1276.