



# 7º CONGRESO FORESTAL ESPAÑOL

**Gestión del monte: servicios  
ambientales y bioeconomía**

26 - 30 junio 2017 | Plasencia  
Cáceres, Extremadura

---

---

7CFE01-139

---

---

Edita: Sociedad Española de Ciencias Forestales  
Plasencia. Cáceres, Extremadura. 26-30 junio 2017  
ISBN 978-84-941695-2-6

© Sociedad Española de Ciencias Forestales

## Optimización del tamaño y forma de la parcela de inventario en un bosque claro del tipo dehesa.

CUADROS TAVIRA, S.<sup>1</sup>, PERALES CABRERA, A.J.<sup>2</sup> y ABELLANAS OAR, B.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Ingeniería Forestal. Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica y de Montes. Universidad de Córdoba. Edificio Leonardo da Vinci. Campus de Rabanales. 14071. CÓRDOBA.

<sup>2</sup> ITEAF. Murcia.

### Resumen

Se han estudiado los efectos que el tamaño y la forma de la parcela producen sobre el error de muestreo de variables dasométricas, cuando se aplican un muestreo aleatorio simple y otro con disposición sistemática de la muestra a un mismo bosque tipo dehesa de *Quercus ilex* subsp *ballota* de unas 850 ha de superficie, con características que pueden considerarse intermedias en cuanto a densidad y cobertura. Se ha partido de una imagen ortofotográfica de un bosque real de la que se han extraído variables dendrométricas y espaciales mediante análisis de imagen las cuales, trasladadas a un Sistema de Información Geográfica, han servido de base para realizar los distintos muestreos, variando entre forma circular y cuadrada de las parcelas y usando diferentes tamaños en incrementos discretos.

### Palabras clave

Muestreo, encinar, análisis de imagen, SIG.

### 1. Introducción

La dehesa es un sistema de aprovechamiento agrosilvopastoral que, con buenas prácticas, supone un uso sostenible de los recursos naturales a la vez que favorece niveles aceptables de biodiversidad a pesar de su carácter antrópico (PENCO, 1992). Podría ser un ejemplo modélico de los “sistemas agrarios de alto valor natural” citados en el nuevo Reglamento Europeo de Desarrollo Rural. En conjunto representa una gran importancia económica y social, tanto por la extensión superficial que abarca, algo más de tres millones de hectáreas en la península ibérica (COSTA *et al.*, 2006), como por la función de fijación de población rural. Además de sus valores naturales, proporcionan productos de calidad y mantienen un bajo riesgo de incendio forestal.

La recogida de información sobre el terreno es una operación que además de tiempo consume importantes recursos financieros y humanos. El pensamiento racional ha producido métodos eficientes de organización del trabajo que aspiran a reducir al mínimo los costes de obtención de la información requerida. Este espíritu de racionalización metódica también ha ejercido una profunda influencia en el diseño de inventarios forestales en aspectos tan diversos como la planificación general de las operaciones a realizar, la elección entre la precisión requerida y el objeto económico del inventario y la utilización de tecnologías como teledetección, sistemas de información geográfica o mediciones terrestres para obtener una información equivalente a un coste admisible.

Desde la publicación de las Instrucciones Generales para la Ordenación de Montes de la Comunidad Autónoma Andaluza en 2004, se han incrementado los inventarios sobre montes adehesados de *Quercus* sp., para el conocimiento del estado de la vegetación con vistas a su ordenación. Estos montes son en su mayoría de pertenencia privada, originando de esta forma la necesidad de optimizar la recogida de información.

Los tres parámetros que caracterizan de forma más sintética a una masa forestal de estas características son la densidad, el área basimétrica por unidad de superficie y la altura dominante (BENGOA, 1999). Cuando se usan imágenes orto-rectificadas como origen de la información, no es

posible obtener directamente alturas ni área basimétrica, pero sí la densidad y el tamaño del arbolado (superficie de copa), así como la distribución espacial del mismo, aspectos estos que en el tipo de formación que nos ocupa son suficientes para caracterizar amplias superficies apoyando siempre con información sobre el terreno.

## 2. Objetivos

El objetivo general del trabajo persigue la optimización del procedimiento de muestreo en inventarios de bosques claros tipo dehesa de características medias, mediante el estudio de los efectos que el tamaño y la forma de las unidades de muestreo producen sobre la estimación de variables dasométricas y su error de muestreo, tanto en un diseño de muestreo aleatorio como en uno sistemático.

## 3. Metodología

El estudio precisa de una superficie de dehesa con una extensión mínima correspondiente a un tamaño medio de unidad dasocrática Cuartel, es decir al menos unas 500 ha. Para la localización de la dehesa a estudiar se seleccionaron en un SIG las teselas del Mapa Forestal de España (RUIZ DE LA TORRE, 1990) digitalizado, correspondientes a *Quercus ilex* subsp. *ballota* (encinares predominantes) y se revisaron las ortofotos pancromáticas (JUNTA DE ANDALUCÍA, 2003), con resolución espacial de 0,5 m por píxel, abarcadas por estos polígonos. Los criterios empleados en la selección fueron, además del tamaño mínimo citado antes, terreno con una orografía de suaves pendientes, clara diferenciación entre individuos en el estrato arbóreo, gran contraste entre las copas del arbolado y el terreno y densidad entre 20 y 50 pies/ha. Finalmente se seleccionó un grupo de dehesas que cumplía dichas exigencias y que se encuentran situadas al NE de Castilblanco de los Arroyos, provincia de Sevilla (Hoja 940), enmarcando sus límites en un único polígono de 857 ha.

El siguiente paso consistió en extraer, mediante un programa de análisis de imagen en dos dimensiones (Image-Pro Plus), la información necesaria para crear un bosque virtual donde cada árbol presente en la superficie seleccionada estuviera geo-referenciado y caracterizado por sus variables de copa. Para el reconocimiento de la copa del árbol, se siguió un procedimiento manual para seleccionar los niveles de gris asociados a la misma, en los canales RGB de la imagen pancromática resultando el intervalo [50-69] el más apropiado no sólo para discernir el suelo de la copa, sino para descartar la mayor parte de la sombra de copa. Los datos resultantes se exportan como base de datos que puede incorporarse al SIG como un tema de puntos con los atributos de posición espacial del centroide de la copa y la superficie de copa, necesarios para la ejecución de los muestreos, tras la depuración de los errores de identificación y exclusión de los fuera de límites.

Con objeto de obtener también una caracterización estructural del arbolado de la dehesa se usó el programa Crancod v 1.2 (POMMERENING, 2005) para calcular el índice R de agregación espacial (CLARK & EVANS, 1954), con diferentes tamaños de parcela.

Se utilizó un procedimiento pseudo-aleatorio para situar 410 puntos correspondientes a los centros de parcelas de muestreo aleatorio simple dentro del polígono de dehesa, esta intensidad de muestreo (1 parcela cada 2 ha aproximadamente), es mucho más alta de la requerida en condiciones de variabilidad normales. Para la muestra sistemática se obtuvo el lado de malla que permite situar los mismos centros de parcela dentro del polígono de estudio, resultando éste ser 142 m.

Las parcelas de muestreo circulares se generaron dentro del SIG como áreas de influencia (*buffers*) a partir de los centros de parcela, con valores radiales desde 5 m a 25 m en incrementos de 1 m. La creación de las parcelas cuadradas de igual superficie a las anteriores circulares hubo de hacerse manualmente a partir del cálculo de los cuatro vértices de las de mayor tamaño, subsiguiente creación del polígono cuadrado y agrupación de todas las parcelas en un mismo tema. Los tamaños

inferiores se obtuvieron a partir de la creación de áreas de influencia hacia el interior para conseguir las mismas superficies que sus correspondientes circulares (Tabla 1).

Tabla 1. Dimensiones de las parcelas de muestreo circulares y cuadradas.

Radio (m)	Superficie (m <sup>2</sup> )	Lado cuadrado (m)	Radio (m)	Superficie (m <sup>2</sup> )	Lado cuadrado (m)
5	78,54	8,86	16	804,25	28,36
6	113,1	10,63	17	907,92	30,13
7	153,94	12,41	18	1017,88	31,90
8	201,06	14,18	19	1134,11	33,68
9	254,47	15,95	20	1256,64	35,45
10	314,16	17,72	21	1385,44	37,22
11	380,13	19,50	22	1520,53	38,99
12	452,39	21,27	23	1661,9	40,77
13	530,93	23,04	24	1809,56	42,54
14	615,75	24,81	25	1963,5	44,31
15	706,86	26,59			

La obtención de los datos resultantes para cada tipo de muestreo, tamaño y forma de parcela se llevó a cabo mediante la intersección de cada dispositivo de muestreo concreto con el tema de puntos del arbolado. Los resultados se exportaron a una hoja de cálculo para el procesado y preparación para los distintos análisis.

#### 4. Resultados

Los valores poblacionales de las variables de interés obtenidos para el bosque virtual mediante el procedimiento anterior se reflejan en la (Tabla 2).

Tabla 2. Características poblacionales de la dehesa virtualizada.

Número total de árboles	24958
Superficie del polígono de dehesa	857,13 ha
Densidad media	29,1 árboles/ha
Fracción de Cobida Cubierta	12,4 %

Los tamaños de copa más abundantes entre el arbolado pertenecen a las clases diamétricas de copa inferiores a 15 m de diámetro, destacando notablemente la clase entre 5 y 10 m (Figura 1).

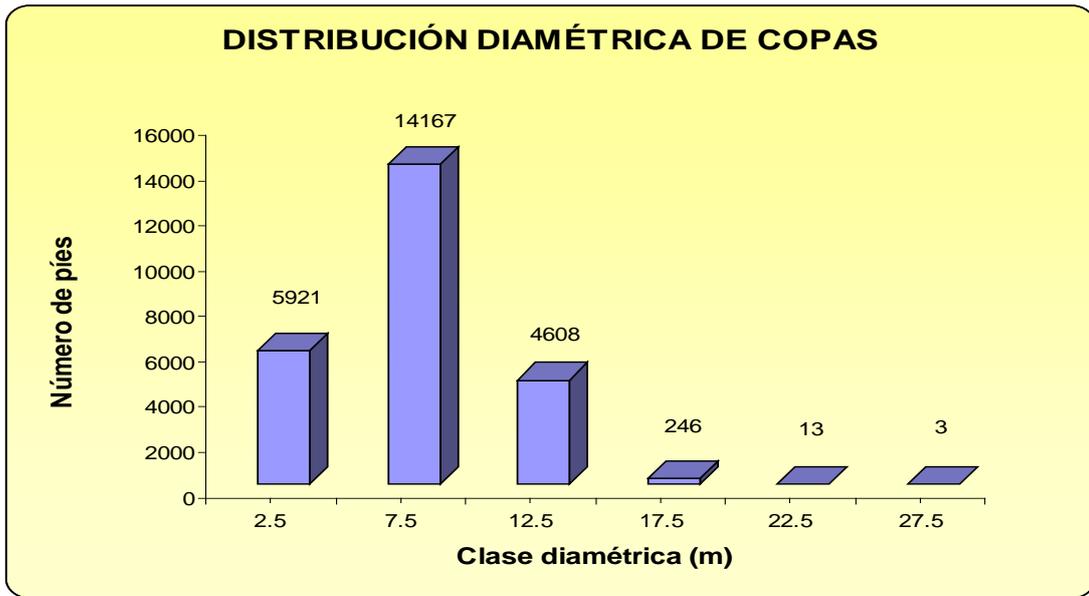


Figura1. Histograma de frecuencias por clases diamétricas de copa de amplitud 5 m.

En cuanto a la estructura espacial del arbolado, los valores del índice de agregación R de Clark & Evans obtenidos varían entre 1,63 usando la parcela de menor tamaño y 1,42 con la de mayor extensión. Esto indica que la población de estudio está muy lejos de una distribución por agregados ( $R < 1$ ), pero tampoco completamente aleatoria ( $R = 1$ ), sino una situación intermedia más uniforme que aleatoria aunque con tendencia hacia la aleatoriedad conforme aumenta la superficie prospectada.

Los resultados de los dos tipos de muestreo (aleatorio simple/aleatorio sistemático) en combinación con las dos formas (circular y cuadrada) y los tamaños de parcela referidos anteriormente se reflejan en la (Figura 2) para la variable densidad del arbolado.

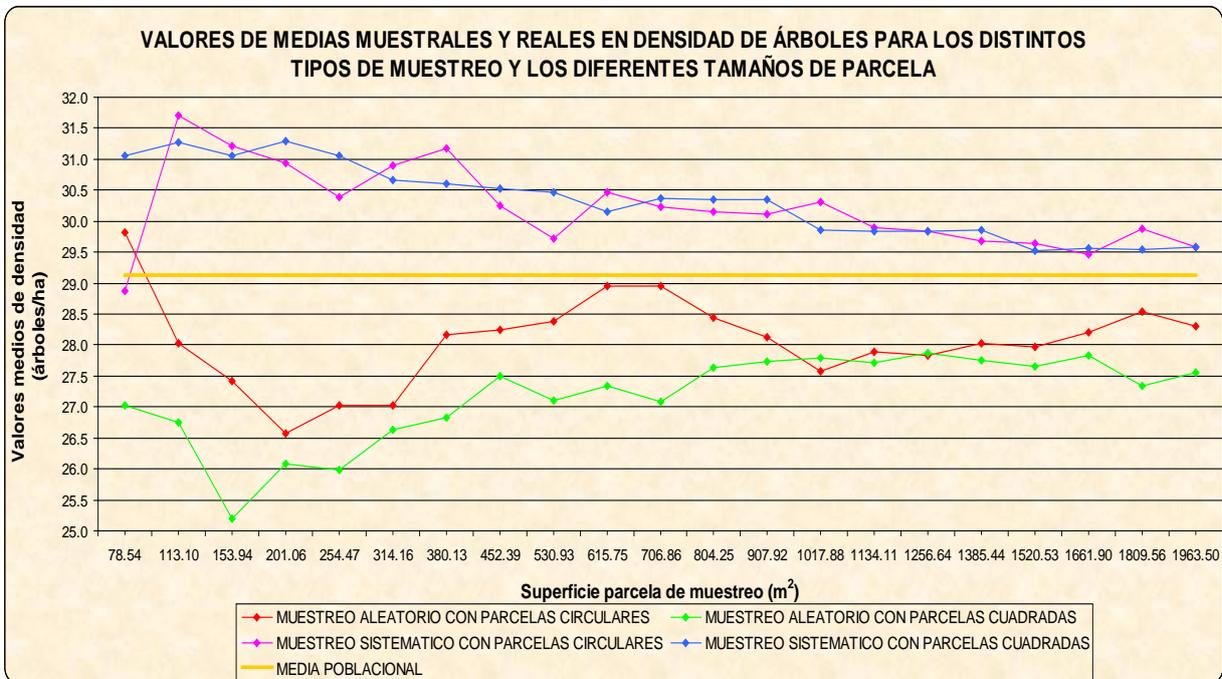


Figura 2. Evolución de las estimaciones de densidad de árboles obtenidas con las distintas combinaciones de tipos de muestreo, forma y tamaños de parcela en relación con el valor real.

Para cada tamaño de parcela y combinación de tipo de muestreo y forma se realizaron ANOVA con los grupos de datos de densidad obtenidos para probar la existencia de diferencias significativas entre medias. Sólo en cuatro grupos correspondientes a los tamaños de parcela 201,06 m<sup>2</sup>, 254,47 m<sup>2</sup>, 314,16 m<sup>2</sup> y 380,13 m<sup>2</sup>, se encontró significación al 95% de probabilidad fiducial. En los restantes 21 grupos de datos no se halló significación en las diferencias entre medias.

La (Figura 3) muestra la disminución progresiva experimentada en los errores porcentuales de las estimaciones de densidad del arbolado para las distintas combinaciones de muestreo.



Figura 3. Evolución de los errores relativos de densidad de árboles obtenidos con las distintas combinaciones de tipos de muestreo, forma y tamaños de parcela.

Tomando ahora en consideración la Fracción de Cobertura (FCC) como variable a estimar, la (Figura 4) muestra una evolución algo distinta especialmente para los tamaños de parcela menores, en comparación con la de densidad (Figura 2), debido a la variabilidad que la dimensión de copa introduce respecto a la densidad.

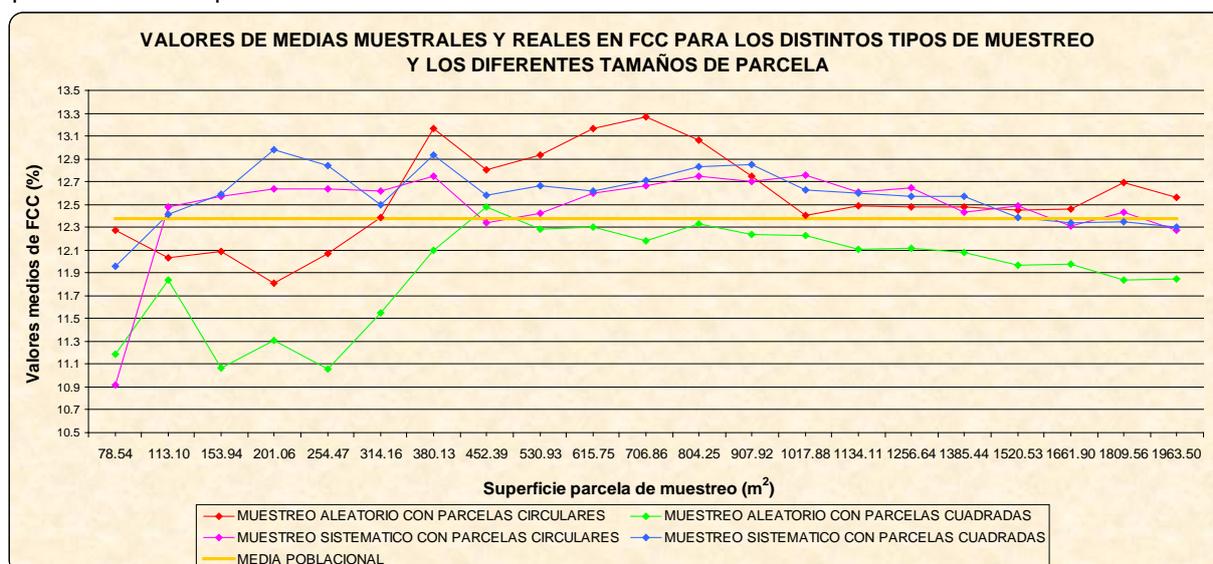


Figura 4. Evolución de las estimaciones de Fracción de Cobertura obtenidas con las distintas combinaciones de tipos de muestreo, forma y tamaños de parcela en relación con el valor real.

De la misma forma que se procedió anteriormente para la variable densidad, se realizaron ANOVA con los grupos de datos de Fracción de Cobertura tratada de encontrar diferencias significativas entre medias para cada tamaño de parcela y combinación de tipo de muestreo y forma. En este caso no se encontraron diferencias significativas entre medias al nivel de probabilidad 95% en ningún caso.

La (Figura 5) expresa la disminución progresiva experimentada en los errores porcentuales de las estimaciones de Fracción de Cobertura para las distintas combinaciones de muestreo.



Figura 5. Evolución de los errores relativos de Fracción de Cobertura obtenidos con las distintas combinaciones de tipos de muestreo, forma y tamaños de parcela.

Utilizando un test de Student para muestras pareadas se analizaron los datos de árboles seleccionados en cada parcela, considerando tamaño de parcela y tipo de muestreo aleatorio o sistemático, confrontando los de parcelas circulares con los de parcelas cuadradas. En el caso de muestreo aleatorio simple, la hipótesis nula de que no hay diferencias significativas al 95% de probabilidad fiducial se rechazó solamente en 3 de los 25 casos y con tamaños de parcela muy distintos. En el caso de muestreo sistemático no se encontraron diferencias significativas en ninguno de los 25 tamaños de parcela contemplados.

El mismo tipo de test se empleó para establecer diferencias por forma de parcela entre el número de árboles de borde que se encuentran a 20 cm hacia el interior y hacia el exterior del límite de parcela. En muestreo aleatorio simple la hipótesis nula de inexistencia de diferencias significativas se rechazó en dos tamaños de parcelas de los 25 utilizados, con dimensiones muy alejadas entre sí. En el caso de muestreo sistemático, sólo hubo un caso de rechazo de los 25 examinados.

Se ha encontrado una relación directa entre el tamaño de parcela y el número de ellas que no contienen elemento alguno (árboles), lo que a su vez genera más variabilidad que se traduce en un error de la estimación mayor. Esta situación se produce independientemente de la combinación de muestreo empleada (Figura 6).

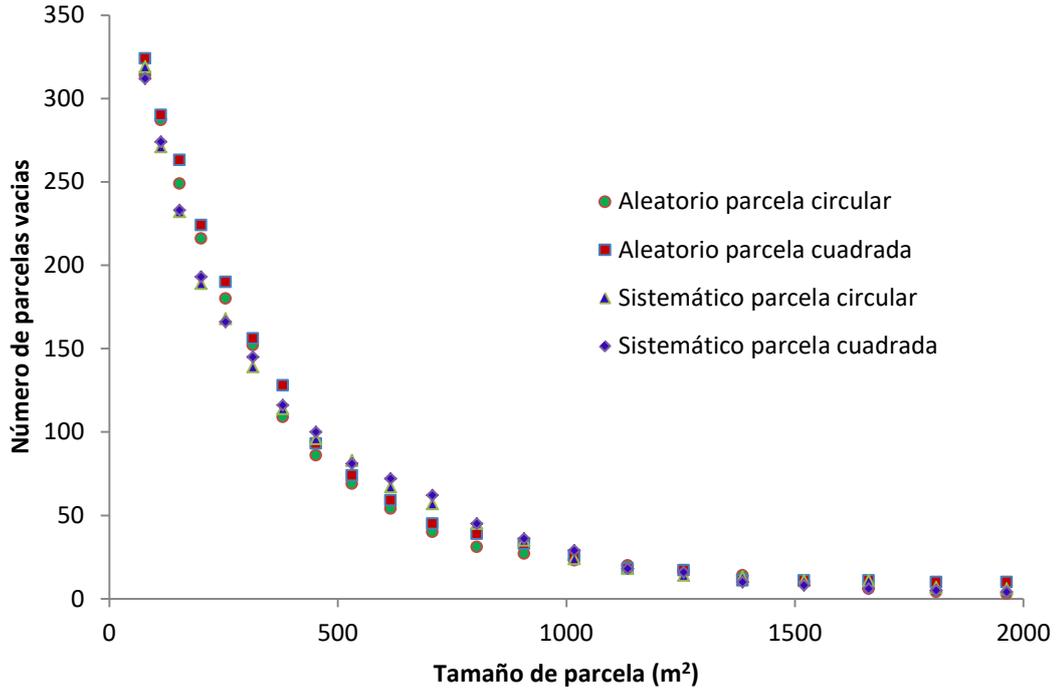


Figura 6. Parcelas sin elementos de medida en relación al tamaño de parcela empleado, para las distintas combinaciones de tipos de muestreo y forma de parcela.

La (Figura 7) pone de manifiesto la relación entre el número de parcelas vacías y el error de muestreo

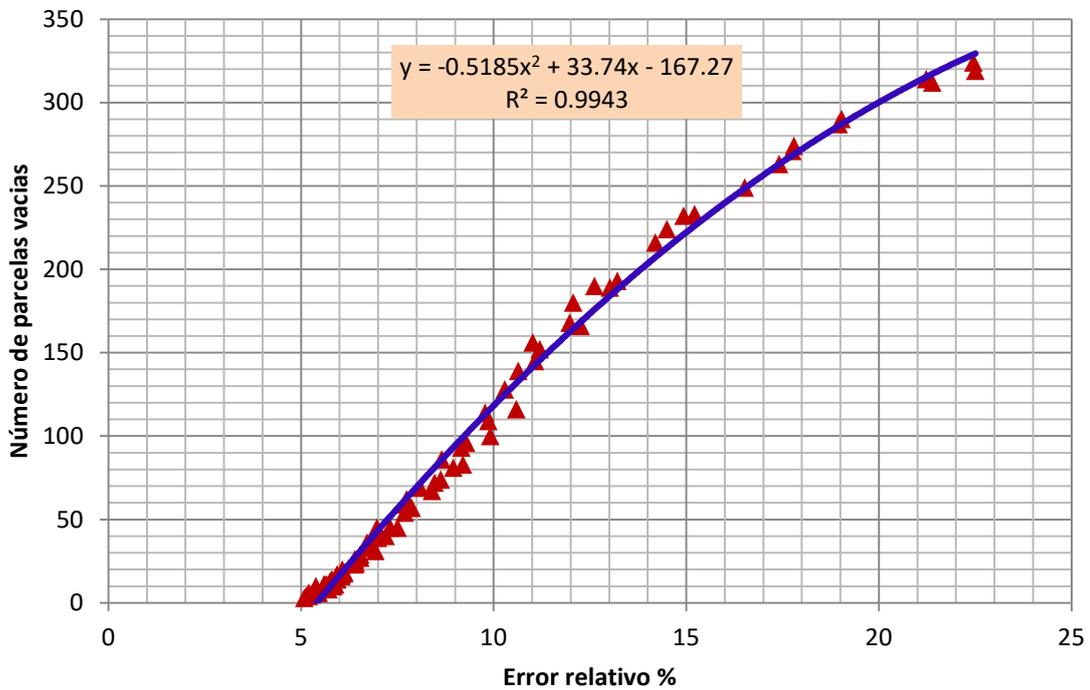


Figura 7. Regresión entre el número de parcelas sin elementos de medida y el error relativo obtenido en el muestreo, considerando todas las combinaciones de tipos de muestreo, forma y tamaños de parcela.

## 5. Discusión

La inexistencia de diferencias significativas en las estimaciones de las variables estudiadas para todos los casos, hace innecesario decidir sobre la combinación más apropiada para acometer un muestreo en una situación similar a la planteada si no se tienen en cuenta circunstancias adicionales. Emplear muestreo aleatorio simple irrestricto frente a otro de las mismas características pero con disposición sistemática de la muestra, contando con el apoyo de sistemas de posicionamiento global no presenta en la actualidad mayor inconveniente para la progresión del muestreo, si bien se puede aducir que la sistematización recorre homogéneamente toda la superficie a prospectar, lo que puede compensar ventajosamente la falta de completa aleatoriedad en la selección de las unidades muestrales.

Al no encontrarse indicios consistentes de que existan diferencias al emplear una forma de parcela u otra, el hecho de la mayor facilidad de replanteo de las parcelas circulares tanto sobre el terreno como en SIG y la inexistencia de direcciones privilegiadas, las hace preferibles frente a la forma cuadrada y por extensión a cualquier otra.

El tamaño de parcela es el punto clave de la toma de decisiones a tenor del efecto ejercido sobre el error de las estimaciones en ambas variables consideradas. En el caso de la densidad, la (Figura 8) muestra el efecto que el tamaño de parcela produce en la ratio que expresa el decremento de error relativo por unidad porcentual de incremento en la superficie de muestreo. Se puede observar que para tamaños de parcela superiores a 900 m<sup>2</sup> (radio de parcela ≈ 17m), la ganancia conseguida en la reducción del error es muy pequeña en relación al aumento porcentual de superficie que es necesario muestrear.

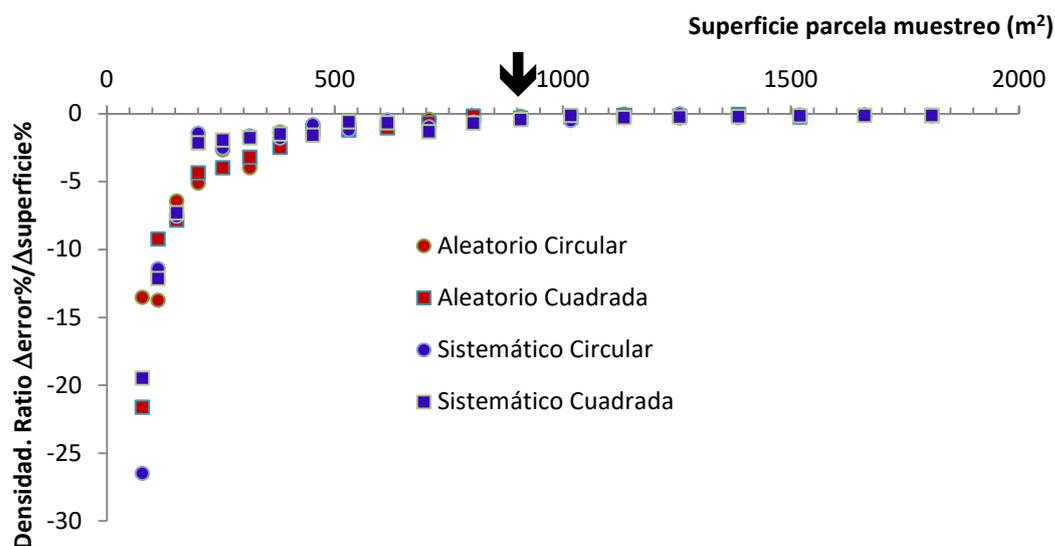


Figura 8. Evolución de la ratio ( $\Delta$ error relativo a  $\Delta$ superficie muestreada) con el tamaño de parcela para las distintas combinaciones de tipos de muestreo y forma de parcela. Caso de estimación de la densidad.

## 6. Conclusiones

En la población estudiada no se han encontrado diferencias estadísticamente significativas en los errores de muestreo, al aplicar un método de muestro aleatorio simple irrestricto y un método de

muestreo con disposición sistemática de la muestra tanto en la estimación de la densidad de árboles como en la de la Fracción de Cobertura.

El tamaño de la parcela de muestreo empleada es determinante en la reducción del error de la estimación en todas las combinaciones de muestreo empleadas y para las dos variables contempladas. En la población estudiada, tamaños de parcela superiores a 900 m<sup>2</sup> no aportan una ganancia en reducción de error que compense el aumento del tamaño de las parcelas.

En el 93 % de los casos estudiados, con muestreo aleatorio simple irrestricto y muestreo sistemático ambos con parcelas de distintos tamaños, no existen diferencias estadísticamente significativas entre el número de individuos presentes en la unidad de muestreo tanto con forma de parcela circular como cuadrada.

En el estudio de los árboles de borde, en el 93 % de los casos estudiados, con muestreo aleatorio simple irrestricto y muestreo sistemático ambos con parcelas de distintos tamaños, no existen diferencias estadísticamente significativas entre el número de individuos presentes en dichas zonas de borde tanto con forma de parcela circular como cuadrada.

Los errores de muestreo obtenidos en el análisis de la densidad de árboles presentan una correlación positiva del 99% con el número de unidades de muestreo sin individuos, para los distintos tamaños de parcela.

## 7. Bibliografía

BENGOA, J.L. 1999. Estimación de la altura dominante de la masa a partir de la "altura dominante de parcela". Ventajas frente a la altura dominante de Assman. *Investigación Agraria. Sistemas y Recursos Forestales*. 8 (Extraordinario 1): 311-322

CLARK, P.J.; EVANS, F.C. 1954. Distance to nearest neighbour as a measure of spatial relationships in populations. *Ecology*. 35, 445-453.

CONSEJERIA DE MEDIO AMBIENTE. 2004. Orden de 26 de enero de 2004 por la que se aprueba las Instrucciones Generales para la Ordenación de Montes de la Comunidad Autónoma de Andalucía. *Boletín Oficial de la Junta de Andalucía* nº 25 de 6 de febrero de 2004.

COSTA, J.C; MARTÍN, A.; FERNÁNDEZ, R., ESTIRADO, M.; 2006. Dehesas de Andalucía. Caracterización ambiental. Consejería de Medio Ambiente. Junta de Andalucía, 289 pp. Sevilla.

JUNTA DE ANDALUCÍA; 2003. Ortofotografía digital de Andalucía: provincia de Sevilla. Consejería de Obras Públicas y Transportes Consejería de Agricultura y Pesca y Consejería de Medio Ambiente. Formato DVD.

PENCO, A.D. 1992.; Aproximación a la dehesa extremeña. Diputación Provincial de Badajoz. 180 pp. Badajoz.

POMMERENING, A. 2005. A Program for the Analysis and Reconstruction of Spatial Forest Structure, Crancod version 1.2. School of Agricultural & Forest Sciences. University of Wales.

RUIZ DE LA TORRE, J.; 1990. Memoria general del Mapa Forestal de España, 1:200.000. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. ICONA. 191 pp. [92 hojas]. Madrid.