

ANÁLISIS DE LA CONTINUIDAD ESPACIAL DE LA COMPETENCIA INTERESPECÍFICA EN RODALES MIXTOS DE LOS MONTES DE PROPIOS DE JEREZ DE LA FRONTERA (CADIZ).

CALZADO, A, TORRES ÁLVAREZ, E.

Departamento de Ciencias Agroforestales. Campus Universitario de la Rábida. Universidad de Huelva. 21819 Palos de la Frontera. Huelva. carrete@uhu.es; etorres@uhu.es

RESUMEN

En la presente comunicación se pretende analizar en qué medida la competencia interespecífica que se establece en rodales mixtos permite modelizar geoestadísticamente la densidad de las diferentes especies que componen la masa. La zona objeto del estudio está incluida dentro de los montes de Propios de Jerez de la Frontera (Cádiz), en esta zona el *Quercus suber* aparece mezclado con *Quercus canariensis* u *Olea europaea* var. *sylvestris* fundamentalmente. Partiendo de los datos de un inventario por muestreo sistemático, realizado en dicho monte, se modelizará la continuidad espacial de la densidad de las diferentes especies. Por último, se llevará a cabo un krigado para las diferentes variables analizadas.

P.C.: *Quercus suber*, geoestadística, masa mixta, inventario.

INTRODUCCIÓN

En la presente comunicación la metodología que va a ser aplicada en el manejo de los datos de inventario tiene su base en la geoestadística. Esta ciencia surge en el ámbito de la minería y tiene su fundamento en el concepto de la variable regionalizada. El término de regionalización se propone para calificar un fenómeno que se distribuye en el espacio y/o tiempo y que presenta una cierta estructura de autocorrelación (CHICA, 1981 siguiendo a MATHERON, 1962).

Las publicaciones que hacen referencia a la potencialidad de la geoestadística en el ámbito de los inventarios forestales son diversas: aplicación en el diseño de inventario (BOUCHON *et al.*, 1974), (MARBEAU, 1976) y (HOULLIER, 1992); elaboración de cartografía de alturas (SAMRA *et al.*, 1989) o de índice de sitio (HOCK, 1994); análisis de la dependencia espacial de determinadas variables dasométricas -diámetro, área basimétrica e incremento de la misma- (BIONDI, 1994); o bien, la unión entra la geoestadística y la teledetección, con el objetivo de la actualización de los inventarios forestales de forma continua y a bajo coste (MCGWIRE, 1993; ST. ONGE *et. al* ,1995; HOLGREM, 1997).

En España, son pocos los trabajos publicados en los que se hace uso de la geoestadística para el manejo de datos de variables dasométricas. NANOS (2001), se vale de esta metodología para modelizar la producción de resina y madera así como las distribuciones diamétricas de *Pinus pinaster* Ait. en la Tierra de Pinares Segoviana. MONTES (2004), analiza las correlaciones espaciales de la producción de corcho, así como las implicaciones que tiene la estructura espacial de la varianza de las variables estudiadas en el diseño de muestreo. Por su parte (CHICA-OLMO, 2004), señala que la geoestadística se adapta bien al estudio de las variables del inventario forestal resolviendo problemas de índole práctica que surgen en la gestión de los recursos naturales haciendo una aplicación sobre parcelas del Inventario Ecológico y Forestal de Cataluña.

En el presente trabajo se aplicará la metodología geoestadística a los datos de inventario de una masa mixta. Se pretende analizar en qué medida es posible modelizar espacialmente la densidad de estas masas (en conjunto e independientemente para cada especie), en las que la competencia interespecífica que se establece introduce un factor más en la complejidad de su estructura.

La compleja gestión de estas masas se ha de basar en un inventario pormenorizado de la composición de las mismas, lo que implica en muchos casos intensidades de muestreo elevadas si se pretende obtener errores aceptables. La aplicación de la geoestadística, como base tanto para el diseño como para el manejo de datos del inventario, puede ayudar a solucionar este problema y obtener una mejor precisión reduciendo los costes.

MATERIAL Y MÉTODOS

La zona objeto de estudio está incluida dentro del Parque Natural de “Los Alcornocales”, en particular se trata del cuartel G de los Montes de Propios de Jerez de la Frontera (provincia de Cádiz)

con una superficie de 574,6ha.

Esta zona se caracteriza por una topografía accidentada (la altitud mínima es de 140m y la máxima de 502 m alcanzada en el Cerro del Charco). El clima existente según la clasificación de Allué sería el Mediterráneo genuino, a caballo entre los subtipos fitoclimáticos IV₂ y IV₄, con unas precipitaciones anuales que oscilan entre los 1.000 y los 1.500 mm. El sustrato dominante son areniscas silíceas del Oligoceno, aunque también se encuentran calizas jurásicas y zonas margo-arcillosas que se presentan en la parte inferior de las laderas, denominadas “bujeos”.

La complejidad litológica y orográfica posibilita la existencia de una gran diversidad florística en la que el alcornoque aparece en algunos puntos en estado puro, pero en gran parte del monte aparece mezclándose con otras especies como *Quercus canariensis* y/o *Olea europaea* var. *sylvestris*. El quejigo aparece como dominante en las zonas más húmedas, en los denominados “canutos”; mientras que el acebuche domina en los “bujeos”. La representación de cada una de las especies en porcentaje con respecto al número total de pies es la siguiente: el alcornoque un 40,8%, el quejigo un 27,4% y el acebuche un 18,6%; el resto lo constituyen otras especies como *Fraxinus angustifolia*, *Ceratonia siliqua* o *Arbutus unedo* entre otras. El estrato arbustivo es alto, rico en especies de hoja lauroide. En los claros aparece *Quercus lusitanica* y matorral de brezos con genistas. En las zonas menos húmedas se puede encontrar mirto, lentisco y diversas cistáceas.

La toma de datos consistió en el replanteo de parcelas temporales de 18 m de radio dispuestas según una malla de 200 m de lado. Dentro de las mediciones que se realizaron, la que va a ser empleada en el presente artículo es el diámetro de todos los pies que se encontraran dentro de la parcela cuyo valor superara los 10cm.

Para cada una de las parcelas se calculó: el número total de pies por hectárea; para las especies *Quercus suber*, *Quercus canariensis* y *Olea europaea* var. *sylvestris* se determinó el número de pies por hectárea y su diámetro medio.

En una primera etapa se modelizó la correlación espacial del número total de pies por hectárea y el número de pies para cada una de las especies señaladas (en este caso, únicamente se analizó en aquella superficie del monte en el que estaban presentes). Para todas las variables se siguieron los mismos pasos.

El cálculo del variograma experimental se basó en el concepto de la semivarianza (GOOVAERTS, 1997). El ajuste del modelo teórico se realizó mediante el método de mínimos cuadrados ponderados, eligiéndose el modelo esférico.

$$\gamma(h) = \begin{cases} C_0 + (C - C_0) \left(\frac{3h}{2a} - \frac{h^3}{2a^3} \right) & \text{si } h \leq a \\ 0 & \text{si } h > a \end{cases}$$

Siendo: C_0 el efecto pepita, C la meseta, a el alcance y h la distancia.

Se comprobó la existencia de anisotropías y en caso de haberlas se estimó el variograma teórico para las direcciones de máxima y mínima continuidad espacial. Para el caso de la variable número de pies totales por hectárea, para la determinación del variograma teórico direccional, se consideró un ancho de banda de 1.740m y una tolerancia de 45°. Posteriormente, la corrección del modelo anisótropo en uno isotrópico se llevó a cabo mediante una transformación en dos fases: primero una rotación de ejes y posteriormente una transformación lineal (CHILÉS, 1999).

Para todas las variables descritas se llevó a cabo un krigeado ordinario. El modelo se valida eliminando uno a uno los datos experimentales e intentando la predicción de los mismos con los datos remanentes, utilizando los diferentes variogramas (GOOVAERTS, 1997).

Con la finalidad de mejorar las estimaciones se realizó un cokrigeado en el que la variable primaria se consideró el número de pies por hectárea, independientemente para cada una de las especies, y la variable secundaria fue el diámetro medio de la especie.

RESULTADOS

Para la variable número de pies totales por hectárea se calculó el variograma omnidireccional. Esta variable dio muestras de anisotropía por lo cual se calculó el variograma experimental en las

direcciones de máxima y mínima continuidad (2,7° y 92,7°). En la figura 1 y 2 aparecen el variograma experimental y el ajustado para las dos direcciones señaladas. El modelo anisótropo en cualquier dirección se expresa a través de un modelo isotrópico en unos nuevos ejes coordenados, que coinciden con las direcciones de máxima y mínima continuidad espacial, quedando de la forma:

$$\gamma(h_c) = \begin{cases} 6144,8 + 4541,4 \left(\frac{3h_c}{2 \times 1087,2} - \frac{h_c^3}{2 \times 1087,2^3} \right) & \text{si } h_c \leq 1087,2 \\ 0 & \text{si } h_c = 0 \\ 10686,2 & \text{si } h_c > 1087,2 \end{cases}$$

siendo: $h_c = \sqrt{h_{92,7}^2 + 0,32h_{2,7}^2}$

La variabilidad que corresponde al efecto pepita supone un 57% con respecto a la variabilidad total. El valor de la meseta es de 10686,2 y el alcance en la dirección de mínima continuidad es 1087,2m.

Las variables número de pies por hectárea de cada especie no presentaron signos claros de anisotropía por lo que se calculó el variograma omnidireccional. En la figura 3, 4 y 5 aparecen los variogramas experimental y los ajustados para las especies *Quercus suber*, *Quercus canariensis* y *Olea aeropaea var. sylvestris*, respectivamente. Para esta última especie se puede observar que prácticamente no hay correlación espacial. En la tabla 1 se describen los diferentes parámetros del modelo ajustado y el porcentaje de la meseta que corresponde al efecto pepita.

El krigeado para la variable número de pies por hectárea queda reflejado en la figura 5. El modelo se validó con un error medio estándar de 86,3.

El cokrigeado en el que la variable primaria se consideró el número de pies por hectárea para cada especie y la variable secundaria fue su diámetro medio no reportó mejoría con respecto al krigeado.

DISCUSIÓN

La densidad, expresada en número de pies por hectárea, de las dos especies principales (*Quercus suber* y *Quercus canariensis*) presenta correlación espacial, si limitamos nuestro estudio a la superficie del cuartel en la que se encuentran presentes. En particular, es el quejigo el que presenta una mayor continuidad espacial; esto puede ser debido a que esta especie se concentra principalmente y a unas densidades altas en los canutos, por lo que en el diagrama de dispersión del variograma aparecen muchos puntos que reflejan que a distancias próximas la variabilidad es muy pequeña.

En todos los casos analizados en los que existe dependencia espacial, el valor del efecto pepita es relativamente elevado. CHICA (1981) explica el efecto pepita como consecuencia de errores de medida y/o a variaciones a distancias más pequeñas que el intervalo de muestreo más pequeño. Parece deducirse que para este tipo de masas mixtas, con gran variabilidad en cuanto a los parámetros ecológicos, intensidades de muestreo de 200m son muy elevadas para obtener resultados que permitan modelizar la correlación espacial de estas especies. La competencia interespecífica que se establece es un factor más que incrementa la variabilidad en cuanto a la distribución de la densidad.

El hecho de que la distribución de *Olea europaea var. sylvestris* no presente una estructura correlacionada en el espacio puede ser consecuencia de que las densidades más altas de esta especie se encuentran en los "bujeos", superficies relativamente pequeñas, dispersas y con una fuerte componente antrópica.

La realización del cokrigeado empleando como variable primaria la densidad, expresada en número de pies por hectárea para cada una de las especies, y como secundaria su diámetro medio no reportó mejoría en los diferentes modelos. GOOVAERTS (1997) señala que las estimaciones del cokrigeado frente a las del krigeado mejorarán cuando además de una buena correlación entre las dos variables, la segunda variable presente una intensidad de muestreo superior a la primera. En el caso estudiado, esta

segunda condición no se cumple ya que contamos con el mismo número de muestras para las dos variables analizadas.

El hecho de que el krigeado sea el método de estimación geoestadística que proporciona el valor más probable de una variable en un punto no muestreado, y gracias a su integración en una base de datos SIG, posibilita la creación de mapas de distribución de las distintas especies con suficiente fiabilidad. La combinación de los diferentes mapas ayudará a la descripción de la compleja estructura de una masa mixta

BIBLIOGRAFÍA

- BIONDI, F.; MYERS, D. E. & AVERY, C.; 1994. Geostatistically modeling stem size and increment in an old growth forest. *Can J. For. Res.* 24:1354-1368.
- BOUCHON, J.; 1974. Utilisation des variables régionalisées dans les inventaires forestiers. *Réunion de l'Union internationale des instituts de recherches forestières et de la Society of American Foresters*. Siracusa.
- CHICA-OLMO, M.; 2004. La geoestadística como herramienta de análisis espacial de datos de inventario forestal. "Actas de las I Jornadas sobre Inventario y teledetección forestal" Pendiente de publicación.
- CHICA-OLMO, M; 1981. *Aplicaciones de la geoestadística a la hidrogeología*. Memoria de Licenciatura. Granada.
- CHILÈS, J.P. & DELFINER, P.; 1999. *Geostatistics, modeling spatial uncertainty*. John Wiley & Sons. New York. 695pp.
- GOOVAERTS, P.; 1997. *Geostatistics for natural resources evaluation*. Oxford University Press. New York. 483pp.
- HOCK B. K.; PAYN T.W. & SHIRLEYJ.W.; 1993. Using a geographic information system and geostatistics to estimate site index of *Pinus radiata* for Kaingaroa Forest, New Zealand. *N.Z.J. For. Sci.* 23 (3):264-277.
- HOLMGREN P. & THURESSON T.; 1997. Applying objectively estimated and spatially continuous forest parameters in tactical planning to obtain dynamic treatment units. *For. Sci.* 43 (3): 317-326.
- HOULLIER F. & PIERRAT J.C.; 1992. Application des modèles spatio-temporels aux échantillonnages forestiers successifs. *Can. J. For. Res.* 22 (12): 1988-1995.
- MACGWIRE, K.; FRIEDL, M. & ESTES, J.E.; 1993. Spatial structure, sampling design and scale in remotely-sensed imagery of a California savanna woodland. *International Journal of Remote Sensing* 14 (11): 2137-2164.
- MARBEAU, J.P.; 1976. *Géostatistique forestière*. Thèse de docteur-ingénieur. École des mines. Paris.
- MATHERON, G.; 1965. *Les variables régionalisées et leur estimation*. Ed. Masson et Cie. Paris. 212pp.
- MONTES, F.; HERNÁNDEZ, M.J. y CAÑELLAS, I.; 2004. Análisis geoestadístico de la estimación de la producción mediante muestreo en un monte de *Quercus suber* L. 2004. "Actas de las I Jornadas sobre Inventario y teledetección forestal" Pendiente de publicación
- NANOS, N.; 2001. *Variabilidad y modelización geoestadística de producción de resina y madera de Pinus pinaster Ait. en los montes de Segovia*. E.T.S.I. Montes. Universidad Politécnica de Madrid. Inédito. 99pp.
- SAMRA J. S.; GILL, H.S. & BHATIA, V.K.; 1989. Spatial stochastic modeling of growth and forest resource evaluation. *For. Sci.* 35 (3): 663-676.
- ST. ONGE, B.A. & CAVAYAS, F.; 1995. Estimating forest stand structure from high resolution imagery using the directional variogram. *International Journal of Remote Sensing* 16(11): 1999-2021.

	<i>Quercus suber</i>	<i>Quercus faginea</i>	<i>Olea europaea</i>
Meseta	5956,1	5497,6	3480,06
Alcance	915,6	3437,4	3338,2
Efecto pepita	3425,4	1973,5	3182

Efecto pepita relativo	57,5	35,9	91,4
------------------------	------	------	------

Tabla 1: Parámetros de los modelos ajustados para la variable número de pies por hectárea

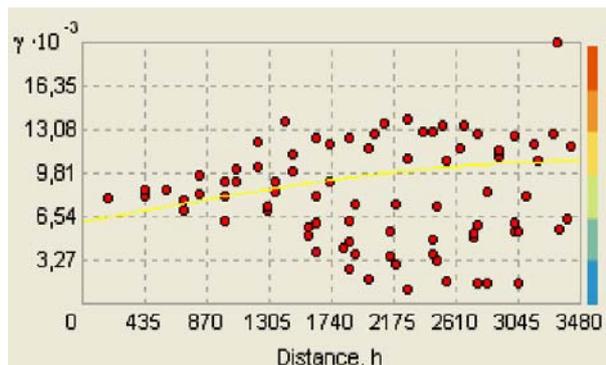


Figura 1: Variograma experimental y ajustado para para la dirección 2,7°.

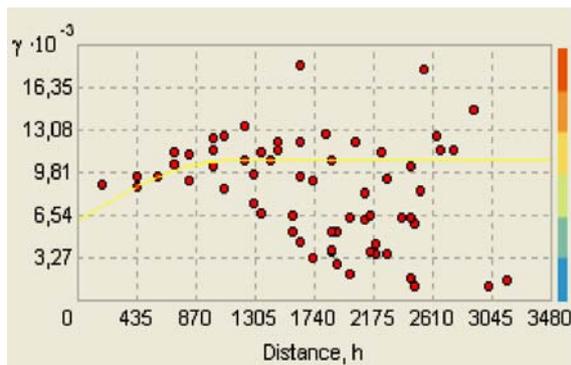


Figura 2: Variograma experimental y ajustado para n°piestotales/ha para 92,7°.

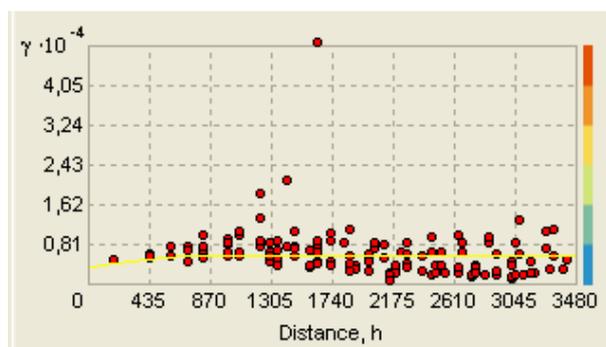


Figura 3: Variograma experimental y ajustado para n°pies/ha de *Quercus suber*.

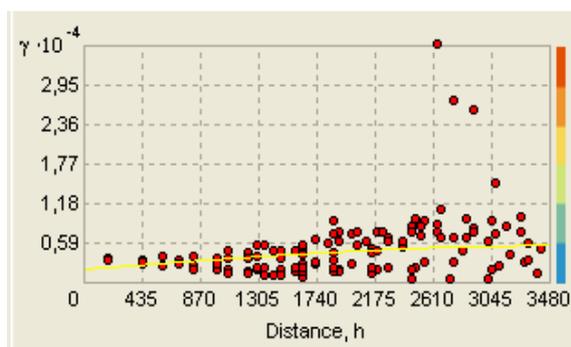


Figura 4: Variograma experimental y ajustado para n°pies/ha de *Q. canariensis*.

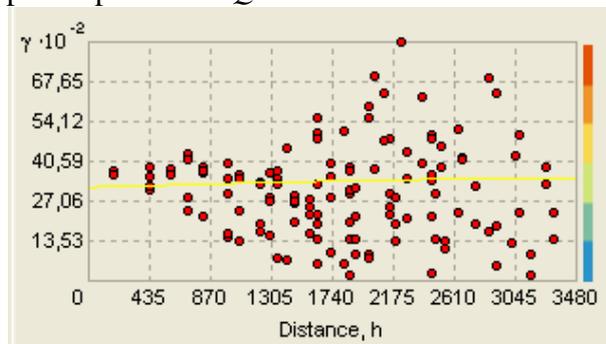


Figura 5: Variograma experimental y ajustado para n°pies/ha de *Olea europaea*.

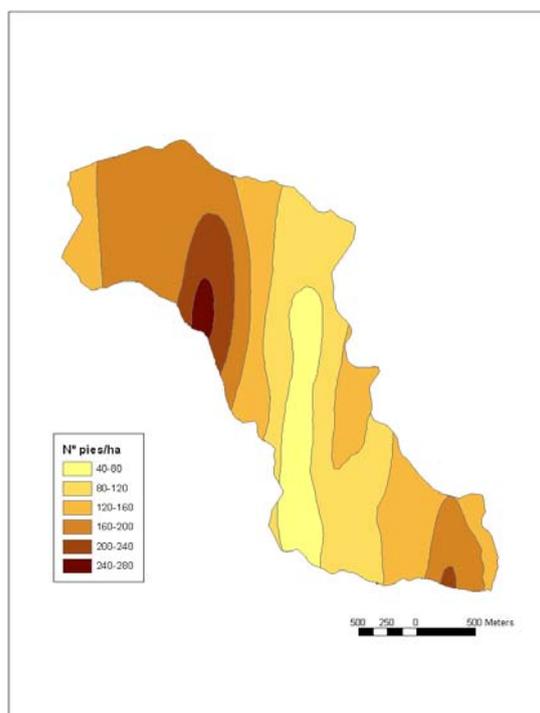


Figura 6: Krigado para n°pies totales/ha.

