MODELIZACIÓN DE PRODUCCIONES FORESTALES NO LEÑOSAS: APLICACIÓN A LA FRUCTIFICACIÓN DE *BOLETUS EDULIS* BULL.: FR. EN PINARES DE SILVESTRE DE SORIA

F. Martínez Peña ¹, A. Rubio Sanchez ² y R. San Martín Fernández ³

- ¹ Dpto de Investigación Forestal de Valonsadero. Consejería de Medio Ambiente. Junta de Castilla y León. Apdo 175-SORIA (España). Correo electrónico: marpenfe@jcyl.es
- ² Dpto de Silvopascicultura. E.T.S.Ingenieros de Montes. U.P.M. 28040-MADRID (España)
- ³ Dpto de Estadística e Investigación Operativa. E.T.S.I.Agrarias. U.V. 34071-PALENCIA (España)

Resumen

En este trabajo se propone un modelo explicativo de la producción de carpóforos de *Boletus edulis* Bull.: Fr. con el que contribuir a la ordenación y gestión de este recurso forestal no leñoso de alto valor económico. El estudio se ha llevado a cabo en el monte Pinar Grande, masa natural y ordenada de *Pinus sylvestris* de la comarca soriana de Pinares. Durante el período de estudio (1995-2001) se ha podido observar una enorme variabilidad interanual en la producción, que osciló entre 8,3 y 87,7 kg/ha, con unas relaciones productivas 1:2:11:8:5:2:4. Utilizando métodos de análisis multivariante de regresión paso a paso, se comprobó que esta variabilidad productiva podía explicarse en parte debido a la influencia de la reserva de agua en el suelo, que fue la mejor variable explicativa del inicio de la fructificación, mientras que la temperatura mínima y la precipitación condicionaron la dinámica productiva en los demás periodos considerados. El modelo propuesto permite explicar entre el 62 y 65% de la variabilidad de la producción de esta especie, pero todavía queda una parte importante sin explicar y que reclama del estudio con detalle de otros parámetros que inciden en la misma.

Palabras clave: Boletus edulis, Pinus sylvestris, Productos forestales no leñosos

INTRODUCCIÓN

Boletus edulis Bull.: Fr. es un hongo ectomicorrícico que se asocia simbióticamente con Pinus sylvestris L., entre otras especies arbóreas y arbustivas. En la comarca soriana de Pinares se recolectan anualmente unas 630 toneladas de carpóforos de Boletus edulis y Boletus pinophilus Pilát & Dermek. A pesar de que el aprovechamiento se remonta a los años cincuenta y de que en la actualidad el creciente turismo micológico lo ha elevado a categoría de importante recurso económico para la comarca (MARTÍNEZ,

2003), la recolección se realiza sin controles administrativos tal y como se exige para otros recursos forestales (madera, caza). La ordenación del recurso micológico en sistemas forestales requiere evaluar la producción de carpóforos y la presión recolectora, a fin de conocer el grado de explotación. Sin embargo, la producción micológica manifiesta una elevada variabilidad interanual, muy condicionada por las condiciones meteorológicas y otros factores ecológicos (Vogt et al., 1992; Straatsma et al., 2001; Martínez, 2003). A pesar de ser conocida la influencia de las variables climáticas y edafo-

ISSN: 1575-2410 85

climáticas sobre la producción micológica (HERING, 1966; LAST et *al.*, 1981; MEHUS, 1986; LAIHO, 1970; PEREDO et *al.*, 1983), son escasos los trabajos que hayan tratado de cuantificar tal relación. El desarrollo de modelos capaces de explicar la producción de carpóforos a partir de parámetros del biótopo fácilmente medibles permitiría adelantar decisiones importantes en la gestión de este recurso.

En este trabajo se presentan unos modelos con los que determinar la influencia de la precipitación, la temperatura y la reserva de agua del suelo sobre la producción semanal de carpóforos de *Boletus edulis* en una masa de *Pinus sylvestris*, con el objetivo de poder contribuir a la ordenación de estos productos forestales no leñosos.

MATERIAL Y MÉTODOS

El trabajo se ha llevado a cabo en el monte Pinar Grande, de 12.533 ha, representativo de los bosques de *Pinus sylvestris* de la comarca de Pinares de Soria, cuyo principal aprovechamiento es la producción de madera para lo cual lleva 96 años ejecutándose el proyecto de ordenación forestal con turnos de corta de 100 años y períodos de regeneración de 20 años. La altitud de esta zona oscila entre los 1097-1195 metros. La precipitación anual media es de 865 mm de los que 69 mm se producen en julio y agosto y 132 mm en septiembre y octubre. La temperatura media anual es de 8,8 °C, la del mes más frío 1,9 °C (enero) y la del mes más cálido 17,4 °C (julio). La duración de la sequía estival es de 0,7 meses y el periodo de helada segura comienza en noviembre y termina en abril. Los materiales litológicos del monte son conglomerados silíceos, cuarcitas y areniscas del Cretácico Inferior. Los suelos presentes en el estrato de las Cañadas son regosoles, luvisoles, cambisoles y umbrisoles de carácter léptico en general y bastante alterados antrópicamente como consecuencia de las prácticas de regeneración forestal realizadas. Los pH son marcadamente ácidos, la textura arenosa a franca-arenosa, tienen poca capacidad de retención de agua y escasa fertilidad.

En las Cañadas, *Pinus sylvestris* es la especie arbórea dominante con un sotobosque compuesto de brezales mesohigrófilos que forman

manchas más o menos extensas entre pastizales de gramíneas cespitosas (principalmente *Nardus stricta* L). Son destacables las producciones de hongos micorrícicos comerciales como *Boletus edulis, Lactarius deliciosus* Fr., *Cantharellus cibarius* Fr., etc. La presión recolectora estimada en el estrato de las Cañadas oscila entre los 2 y 25 recolectores/km² 25 recolectores/km².día en años de mala y buena producción respectivamente y con un rendimiento medio de 4,3 kg de *Boletus edulis* por día y recolector (MARTÍNEZ, 2003).

Para estimar la producción de *Boletus edulis* se utilizó un muestreo aleatorio estratificado por clases de edad del arbolado, estableciéndose un total de 18 parcelas permanentes de 35x5 m² valladas con malla cinegética de 2 m de alto para evitar el efecto del ganado, de la fauna silvestre y de los recolectores. Todas las parcelas se inventariaron semanalmente desde la semana 36 a la 49 durante los años 1995 a 2001.

La variable dependiente considerada fue la producción media semanal de carpóforos de Boletus edulis en kilogramos por hectárea en el estrato de las Cañadas de Pinar Grande (Y). Las variables climáticas se obtuvieron de la estación meteorológica nº 2008 "El Amogable" y fueron: P: precipitación registrada durante la semana (i) de muestreo en mm y sus correspondientes retardos P(i-1), P(i-2), P(i-3) y P(i-4). También T_{MAX}: media de las temperaturas máximas registradas durante la semana (i) de muestreo en grados centígrados y sus correspondientes retardos: $T^{(i-1)}_{MAX}$, $T^{(i-2)}_{MAX}$, $T^{(i-3)}_{MAX}$, y $T^{(i-4)}_{MAX}$. Y además T_{MIN} : media de las temperaturas mínimas registradas durante la semana (i) de muestreo en grados centígrados y sus retardos: $T^{(i-1)}_{MIN}$, $T^{(i-2)}_{MIN}$, $T^{(i-3)}_{MIN}$, y $T^{(i-4)}_{MIN}$. Para el cálculo la variable edafoclimática reserva del agua en el suelo durante la semana (i) de muestreo en mm (ST) y sus retardos ST(i-1), ST(i-2), ST⁽ⁱ⁻³⁾, ST⁽ⁱ⁻⁴⁾ se utilizó la metodología empleada en Gandullo (1994) y Rubio et al. (2002).

Para determinar qué parámetros climáticos y edafoclimáticos pueden ser considerados predictores de la producción de carpóforos de *Boletus edulis* se realizó un análisis multivariable de regresión paso a paso StepWise (MYERS, 1990; CHATTERJEE et *al.*, 2000) con criterio de entrada α =0,05 y criterio de salida de α =0,1 mediante el paquete estadístico SAS versión 6.12 (SAS

Institute Inc., Cary, NC). Seguidamente, se procedió al ajuste de modelos explicativos de la producción por regresión lineal, igualmente mediante SAS, comprobándose el cumplimiento de las condiciones del modelo lineal. La independencia y homocedasticidad de los residuos se analizaron a partir de los gráficos de errores studentizados contra valores predichos y la normalidad de los residuos se analizó a partir del test de Shapiro-Wilks.

El método de regresión múltiple paso a paso ha demostrado ser un método adecuado para abordar este tipo de cuestiones en las que intervienen parámetros del biótopo como variables independientes y selvícolas como variable dependiente (RUBIO Y GANDULLO, 1994; CHEN et *al.*, 2002).

RESULTADOS

La producción media otoñal de carpóforos de *Boletus edulis* en las masas de *Pinus sylvestris* de las Cañadas de Pinar Grande presentó una fuerte variabilidad interanual entre 1995 y 2001, ya que las relaciones productivas encontradas fueron respectivamente 1:2:11:8:5:2:4, es decir, se dieron otoños 11 veces más productivos que otros, como en 1997 donde se registraron 87,7 kg/ha frente a los 8,3 de 1995.

La fenología de la producción semanal de *Boletus edulis* presentó tres periodos productivos: a) el *inicio de la fructificación* (entre la semana 36 y la 40, salvo en el año excepcionalmente seco de 2000 que comenzó en la semana 43), donde se registró el 20,5% de la producción total, oscilando entre el 40,0% de 1997 y el 0,0% de 2000; b) la *generalización de la fructificación* (entre la semana 41 y la 44), donde se dieron los máximos productivos, excepto en 1997 en el que la precipitación de julio y agosto

fue 2,4 veces superior a la del año medio y se registró un pico productivo en la semana 37; en este periodo se obtuvo el 62,8% de la producción total, oscilando entre el 88,6% de 1998 y el 40,2% de 2000; y c) el fin de la fructificación (entre la semana 45 y la 49) donde se registró el 16,7% de la producción total, oscilando entre el 0,0% de 1995 y el 59,8% de 2000, año muy atípico en esta zona.

La influencia de las variables explicativas consideradas sobre la producción semanal de Boletus edulis fue diferente dependiendo del periodo productivo considerado (Tabla 1). En el inicio de la fructificación, el procedimiento de selección de variables paso a paso seleccionó a ST, T(i-2)_{MAX}, P(i-3) como mejores variables explicativas. Posteriormente, se ajustó por regresión lineal un modelo que consiguió explicar el 62% de la variabilidad productiva en dicho periodo (Tabla 2). Siguiendo el mismo procedimiento en el segundo y tercer periodo, las variables seleccionadas fueron: $T^{(i-2)}_{MIN}$, $P^{(i-2)}$, $ST^{(i-4)}$ y P, $T^{(i-2)}_{MIN}$, P⁽ⁱ⁻¹⁾; siendo el 65% y el 62% los porcentajes de variabilidad productiva explicada por los respectivos modelos generados.

DISCUSIÓN

La enorme variabilidad interanual hallada en los valores de producción de *Boletus edulis* de este estudio viene a incidir sobre una característica inherente a la dinámica productiva de los hongos macromicetes (Vogt et *al.*, 1992). Esta variabilidad productiva frecuentemente ha sido atribuida a las variaciones de las condiciones climáticas y edafoclimáticas (PARKER-RHODES, 1951; HERING, 1966; MEHUS, 1986; PEREDO et *al.*, 1983; RODRÍGUEZ, 1995; STRAATSMA et *al.*, 2001; LAGANÀ et *al.*, 2002). Durante el período

	Período productivo 1+2+3			Período productivo 1			Período productivo 2			Período productivo 3		
paso	variable	R ² parcial	p	variable	R ² parcial	p	variable	R ² parcial	p	variable	R ² parcial	p
1	T ⁽ⁱ⁻²⁾ MIN	0.104	0.001	ST	0.394	0.000	$T^{\scriptscriptstyle (i\text{-}2)}\!\text{min}$	0.386	0.000	P	0.393	0.000
2	T ⁽ⁱ⁻²⁾ MAX	0.009	0.002	T ⁽ⁱ⁻²⁾ MAX	0.114	0.012	$P^{(i-2)}$	0.151	0.001	$T^{\scriptscriptstyle (i\text{-}2)}\!_{\rm MIN}$	0.164	0.002
3	T ⁽ⁱ⁻³⁾ min	0.050	0.015	P ⁽ⁱ⁻³⁾	0.117	0.005	$ST^{\scriptscriptstyle (i\text{-}4)}$	0.114	0.012	$P^{\scriptscriptstyle (i\text{-}1)}$	0.063	0.033

Tabla 1. Resumen del procedimiento paso a paso para la selección las variables climáticas y edafoclimáticas explicativas de la producción de Boletus edulis (Y)

en el que se ha llevado a cabo el estudio (1995-2001) ha habido años excepcionalmente secos como 2000 y años en los que las precipitaciones estivales duplicaron a la media, como 1997. No obstante, esa influencia es diferente dependiendo de la especie fúngica y del periodo productivo de que se trate. De hecho, nuestros resultados nos permiten observar un distinto efecto cualitativa y cuantitativamente de las variables climáticas y edafoclimáticas en función del periodo productivo considerado, probablemente.

Durante el mes de septiembre (periodo productivo 1), la disponibilidad hídrica del suelo condiciona la actividad fisiológica de las ectomicorrizas (Le Tacon, 1997) y por tanto, la reserva de agua en el suelo ST fue la variable más influyente en el inicio de la producción, explicando hasta un 39% de la variabilidad, coincidiendo con Hering (1966), Laiho (1970) y Peredo et al. (1983), que también señalan la influencia de factores edafoclimáticos como la humedad del suelo en la producción de macromicetes.

En el área de estudio el periodo de sequía estival se sitúa en agosto, de manera que una ST elevada en septiembre debe ser consecuencia de precipitaciones registradas a lo largo de dicho mes de septiembre. Sin embargo, la fructificación de los carpóforos requiere un tiempo suficiente desde la reactivación fisiológica de las micorrizas a la formación de primordios y su desarrollo (STRAATSMA et *al.*, 2001), lo que puede justificar la entrada en el modelo de la precipitación registrada tres semanas atrás P ^(i.3), añadiendo un 12% más a la explicación de la

variabilidad. Este resultado es similar al obtenido por Rodríguez (1995) en castañares gallegos donde la fructificación de Boletus edulis se producía 18 días después de la llegada de las lluvias. En este mismo sentido Last et al. (1981) también han encontrado una fuerte dependencia de la producción de Amanita muscaria (L.: Fr.) Hook. con respecto a la precipitación mensual. También MEHUS (1986) detectó que la producción se hacía patente 2-3 semanas después de una lluvia importante. Los años en los que no existe periodo de seguía estival en agosto (como en 1997) la reserva (ST) se mantuvo elevada en septiembre, de manera que aunque las precipitaciones no sean importantes, la reactivación de las micorrizas, formación de primordios y el inicio de la fructificación tiene lugar sin déficit hídrico en el suelo.

En cuanto al efecto de la temperatura, se encontró una influencia negativa con T⁽ⁱ⁻²⁾_{MAX}, lo que puede ser interpretado como que las altas temperaturas al final del periodo seco retrasaron el comienzo de la producción. Este resultado es similar al descrito por STRAATSMA et *al.* (2001). Otros autores sugieren una relación positiva entre el inicio de la fructificación y una caída de las temperaturas (LARGENT & SIME, 1994). Por su parte, RODRÍGUEZ (1995) describe que la fructificación de *Boletus edulis* tiene lugar después de una bajada de las temperaturas máximas y una subida de las mínimas.

Durante el mes de octubre (periodo productivo 2), la fructificación de *Boletus edulis* se generalizó en las Cañadas de Pinar Grande. La

P	eríodo produ	ictivo 1		Período prod	Período productivo 3						
	Parámetro estimado	Error estándar	p		Parámetro estimado	Error estándar	p	estimado	Parámetro estándar	Error	p
constante	4.153	2.353	0.088	constante	-4.298	2.347	0.047	constante	-0.407	0.293	0.175
ST	0.025	0.006	0.000	T ⁽ⁱ⁻²⁾ MIN	0.732	0.252	0.008	P	0.027	0.007	0.001
T ⁽ⁱ⁻²⁾ MAX	-0.277	0.079	0.001	P ⁽ⁱ⁻²⁾	0.129	0.036	0.002	$T^{\scriptscriptstyle (i-2)}$ min	0.214	0.068	0.004
P ⁽ⁱ⁻³⁾	0.069	0.023	0.005	$ST^{(i-4)}$	0.042	0.015	0.012	$\mathbf{P}^{(i-1)}$	0.015	0.007	0.033
	Prob>F	0.000			Prob>F	0.000			Prob>F	0.000	
	\mathbb{R}^2	0.624			R2	0.651			R2	0.620	
	Root MSE	1.398			Root MSE	3.316			Root MSE	1.099	

Tabla 2. Ajuste por regresión lineal de modelos explicativos de la producción semanal de Boletus edulis a partir de parámetros climáticos y edafoclimáticos. $P^{(in)}$: precipitación durante la semana (i-n) en mm. $T^{(in)}_{MAX}$ [$T^{(in)}_{MAX}$] $T^{(in)}_{MAX}$] media de las temperaturas máximas [mínimas] durante la semana (i-n) en °C. $ST^{(in)}$ reserva del agua en el suelo durante la semana (i-n) en mm

precipitación registrada dos semanas atrás y la reserva de agua en el suelo en septiembre añadieron un 26% a la explicación de la variabilidad de la producción. Pero normalmente, la reserva hídrica del suelo en octubre fue suficiente para permitir la formación de primordios y el crecimiento de los carpóforos. Por el contrario, las heladas tempranas pudieron condicionar o incluso dañar el crecimiento del micelio, lo que justificaría que la mayor parte de la variabilidad fuese explicada por la temperatura mínima dos semanas atrás.

Finalmente, durante el mes de noviembre (periodo productivo 3), la fructificación comenzó a decaer en el área estudiada. Por un lado, es probable que las ectomicorrizas de *Pinus sylvestris x Boletus edulis* agotasen sus recursos y disminuyesen su capacidad de producir esporocarpos. Por otro, las bajas temperaturas que se registraron en noviembre en Pinar Grande, con -0.5 °C de temperatura mínima media, pudieron ser un factor limitante para la fructificación.

Según nuestros resultados la precipitación explicó la mayor parte de la variabilidad de la producción. Pero este resultado bien pudiera ser interpretado más por un efecto térmico de la nubosidad, que por una necesidad hídrica real de las micorrizas, ya que en noviembre la reserva hídrica del suelo fue máxima en esta zona. En este sentido, la temperatura mínima dos semanas atrás añadió un 16% más a la explicación de la variabilidad de la producción, de forma que la ausencia de heladas a principios de noviembre pudo favorecer la dilación de la fructificación. Una interpretación similar realizan HALL et al. (1998) en Nueva Zelanda, quienes describen que la fructificación de Boletus edulis comienza en febrero y se prolonga hasta mayo, si no se producen heladas severas.

La irregularidad en los datos meteorológicos, tan característicos del ámbito mediterráneo, debe ser la responsable de que la significación del modelo propuesto no haya sido mayor. En este sentido, probablemente aumentara la significación aumentando la serie de los años de la observación.

La información sobre cómo gestionar el recurso micológico de forma sostenible es todavía incipiente, pero suficiente como para integrar los hongos en la ordenación de los montes, de forma que se garantice la persistencia y diversidad de las especies implicadas y sus hábitats, se evite la pérdida de beneficios económicos para la propiedad y se proporcione el máximo de utilidades a la sociedad. De esta forma, los modelos explicativos de la producción semanal de *Boletus edulis* propuestos en la tabla 2, pueden ser un punto de partida en la gestión sostenible y valoración económica de este recurso forestal no maderero en la comarca de Pinares de Soria. No obstante, como sugieren Vogt et al. (1992), el conocimiento de las influencias de los factores abióticos y bióticos sobre la producción de carpóforos de especies micológicas en bosques forestales requiere todavía un esfuerzo importante de investigación.

BIBLIOGRAFÍA

- CHATTERJEE, S.; HADI, A.S. & PRICE, B.; 2000. Regression Analisis by Example. John Wiley & Sons, Inc. New York.
- CHEN, H.Y.H.; KRESTOV, P.V. & KLINKA, K.; 2002. Trembling aspen site index in relation to environmental measures of site quality at two spatial scales. *Can. J. For. Res.* 32: 112-119.
- GANDULLO J.M.; 1994. Climatología y ciencia del suelo. FuCoVaSa. ETSI Montes. U.P.M. Madrid.
- HALL, I.R.; LYON, A.J.E.; WANG, Y. & SINCLAIR, L.; 1998. Ectomycorrhizal fungi with edible fruiting bodies. 2. Boletus edulis. *Econ. Bot.* 52(1): 44-56.
- HERING, T.F.; 1966. The terricolous higher fungi of four lake district woodlands. *Trans. Brit. Mycol. Soc.* 49: 369-383.
- Lagana, A.; Angiolini, C.; Loppi, S.; Salerni, E.; Perini, C.; Barluzzi, C. & De Dominicis, V.; 2002. Periodicity, fluctuations and successions of macerofungi in fir forests (Abies alba Miller) in Tuscany, Italy. For. Ecol. Manage. 169: 187-202.
- LAIHO, O.; 1970. Paxillus involutus as a mycorrizal symbiont of forest trees. *Acta For. Fen.* 79:1-35.
- LARGENT, D.L. & SIME A.D., 1994. A preliminary report on the phenology, sporulation, and lifespan of Cantharellus cibarius and Boletus edulis basidiomes in Patrick's Point State Park. *In: Proceedings of the 43rd Annual*

- Meeting of the California Forests Pest Council Appedix: xxxii-xliv. Rancho Cordova.
- Last, F.T.; Mason, P.A.; Smith, R.; Pelham, J.; Bhoja, K.A. & Mahmood, A.M.; 1981. Factors afecting the production of fruitbodies of Amanita muscaria in plantations of Pinus patula. *Proc. Indian. Acad. Sci.* (*Plant Sci.*) 90: 91-98.
- LE TACON, F.; 1997. Vers une meilleure prise en compte des champignons mycorhiziens dans la gestion forestière. *Rev. For. Fr.* XLIX (n° sp): 245-255.
- MARTÍNEZ, F.; 2003. Producción y aprovechamiento de Boletus edulis Bull.: Fr. en un bosque de Pinus sylvestris L. Bases para la ordenación y valoración económica del recurso micológico forestal. Serie Técnica Junta de Castilla y León. Valladolid.
- MEHUS, H.; 1986. Fruit body production of macrofungi in some North Norwegian forest types. *Nord. J. Bot.* 6: 679-701.
- MYERS, R.H.; 1990. Classical and Modern regression with Applications. PWS-KENT Publishing Company.
- Parker-Rhodes, A.F.; 1951. The basidiomycetes of Skokoholm island. VII. Some floristical and ecological calculations. *New Phytol.* 50: 227-243.
- Peredo, H.; Oliva, M. & Huber, A.; 1983. Environmental factors determining the distri-

- bution of Suillus luteus fructifications in Pinus radiata grazing-forest plantations. *Plant and Soil* 71: 367-370.
- Rodríguez, A; 1995. Estudio fenológico, productivo y técnicas de micorrización de un hongo ectomicorrícico, Boletus fragans Vittad., en Castanea. Tesis Doctoral. Universidad de Santiago de Compostela. Santiago de Compostela.
- Rubio, A. y Gandullo, J.M.; 1994. Análisis ecológico comparativo de los castañares de Extremadura y de la región cántabro-astur (España). *Invest. Agrar.; Sist. Rec. For.* 3: 111-124.
- RUBIO, A.; ELENA, R.; SÁNCHEZ, O.; BLANCO, A.; SÁNCHEZ, F. & GÓMEZ, V.; 2002. Soil evaluation for Castanea sativa afforestation in Northeastern Spain. New Forests 23: 131-141.
- STRAATSMA, G.; AYER, F. & EGLI, S; 2001. Species richness, abundance, and phenology of fungal fruit bodies over 21 years in a Swiss forest plot. *Mycol. Res.* 105(5): 515-523.
- VOGT, K.A.; BLOOMFIELD, J.; AMMIRATI, J.F. & AMMIRATI, S.R.; 1992. Sporocarp production by Basidiomycetes, with emphasis on forest ecosystems. *In*: G.C. Carroll & D.T. Wicklow (eds.), *The fungal community*. Deckker. New York