

PREDICCIÓN DEL ÍNDICE DE SITIO A PARTIR DE VARIABLES AMBIENTALES Y DE CONCENTRACIÓN FOLIAR DE NUTRIENTES EN MASAS REGULARES DE *PINUS PINASTER* AIT. EN ASTURIAS

Marcos Barrio-Anta¹, Pedro Álvarez-Álvarez¹, Elías Afif Khouri¹, Fernando Castedo-Dorado² y Asunción Cámara Obregón¹

¹ Dpto. de Biología de Organismos y Sistemas. Universidad de Oviedo. Escuela Universitaria de Ingenierías Técnicas. c/Gonzalo Gutiérrez s/n. 33600-MIERES (Asturias, España). Correo electrónico: barriomarcos@uniovi.es

² Dpto. de Ingeniería Agraria, Universidad de León. Escuela Superior y Técnica de Ingeniería Agraria. Avenida de Astorga s/n. 24400-PONFERRADA (León, España)

Resumen

En este trabajo se presentan modelos paramétricos y no paramétricos (árboles de regresión mediante el algoritmo CHAID) que permiten predecir el índice de sitio de las masas asturianas de *Pinus pinaster* en función de variables climáticas, edáficas, fisiográficas y de concentración foliar de nutrientes. Los árboles de regresión obtenidos mediante el algoritmo CHAID a cada uno de los tipos de variables analizadas reveló el orden de importancia de cada variable ambiental. Estas variables seleccionadas en el primer nivel de ramas del árbol de regresión fueron consistentes con aquellas encontradas por regresión paramétrica. De acuerdo con el modelo de regresión paramétrico, la profundidad del suelo y la temperatura media en verano fueron las variables más importantes para explicar la calidad de estación en las masas de esta especie en Asturias. La concentración de fósforo foliar, aunque fue significativa cuando se llevó a cabo un análisis por grupos separados, no lo fue en el modelo global. Aunque el porcentaje de variabilidad explicada por el mejor modelo paramétrico no fue alta (45%), el modelo es parsimonioso y proporciona estimaciones robustas de la distribución espacial de esta variable

Palabras clave: *Productividad, Variables ambientales, Pino pinaster, Asturias*

INTRODUCCIÓN

El pino pinaster es una especie importante en Asturias, donde ocupa una superficie total de 20.844 ha, el 5% de la superficie forestal con un volumen medio de corta de 74.250 m³·año que supone un 10,4% de volumen cortado anualmente en la región (MARM, 2008). Las masas actuales son principalmente regulares y proce-

den de repoblación forestal o de regeneración natural tras la corta con unos turnos de entre 30 y 40 años. La superficie de esta especie se ha incrementado en las últimas décadas como consecuencia del uso en programas de repoblación debido a: i) su capacidad para crecer en suelos pobres y con poca capacidad de retención de agua, ii) su alta tasa de crecimiento en condiciones de clima atlántico y iii) la alta sensibilidad a

plagas y enfermedades de otras especies alternativas como *Pinus radiata* y *Eucalyptus globulus*. La tasa media de repoblación de esta especie en Asturias entre 1997 y 2003 ha sido de 400 ha/año, que en conjunto representa un 15% de la superficie repoblada en la región en ese período. La toma de decisiones en los programas de reforestación o la realización de previsiones de producción en la planificación forestal requiere de métodos prácticos de estimación de la calidad de las estaciones forestales. El indicador más utilizado para clasificar las estaciones según su productividad es el índice de sitio. Sin embargo, cuando no existe la especie en una zona, el índice de sitio sólo se puede determinar si es posible relacionarlo con variables biofísicas de la estación (P. ej., climáticas, fisiográficas, edáficas o de la vegetación del sotobosque). Aunque hay autores que sólo han utilizado un único tipo de variables (P. ej.: MONSERUD et al., 1990; LEBOURGEOIS, 2007), la combinación de las variables han proporcionado resultados más precisos (FONTES et al., 2003; ROMANYÀ & VALLEJO, 2004), aunque la información necesaria es más difícil y costosa de obtener. El objetivo de este trabajo ha sido examinar la relación de la capacidad productiva de los rodales de

pino pinaster en Asturias con variables ambientales (climáticas, edáficas y fisiográficas) y de concentración de nutrientes en hojas.

MATERIAL Y MÉTODOS

Datos empleados

El conjunto de datos utilizado procede de la medición de 72 parcelas de crecimiento y producción de superficies comprendidas entre 400 y 900 m² y localizadas en masas regulares de *Pinus pinaster* en Asturias (Figura 1). Dichas parcelas se repartieron por toda el área de distribución de la especie en la región, con el fin de recoger la máxima variabilidad posible en cuanto a calidad de estación, edad y densidad de la masa.

En cada una de las parcelas se midieron los diámetros normales en cruz y las alturas totales de cada uno de los árboles incluidos en las mismas. La altura dominante de la parcela se obtuvo promediando las alturas de los 100 pies más gruesos por hectárea (criterio derivado del original de Assmann) (MADRIGAL et al., 1999). El índice de sitio (IS) en cada parcela fue obtenido a partir del sistema de calidad de estación construido con datos de análisis de tronco de 143

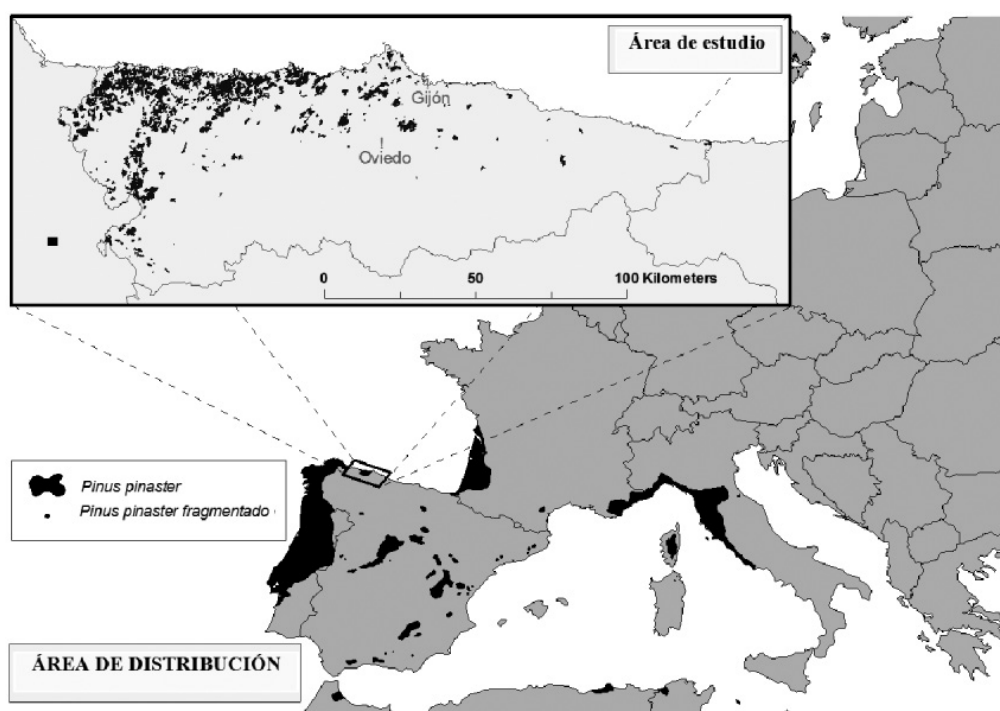


Figura 1. Mapa de distribución del pino pinaster en Europa y Asturias

árboles dominantes apeados en 70 parcelas. Se probaron 6 ecuaciones en diferencias algebraicas, siendo la ecuación obtenida a partir del modelo de Hossfeld, $H = a_1/(1+a_2 \cdot t^{a_3})$, resuelto para el parámetro a_2 la que mejores resultados proporcionó. La expresión final de la ecuación para obtener el índice de sitio de cada parcela tiene la siguiente expresión (BARJOLLO, 2008): $IS = 41,40/(1-(1-41,40/H_0)(t/20)^{1,325})$, donde H_0 es la altura dominante de la parcela en metros, IS el índice de sitio de la parcela (altura dominante a la edad de referencia de 20 años) y t la edad de la parcela en años.

En cada parcela se midió la profundidad efectiva del suelo en 3 puntos centrales con la ayuda de una sonda holandesa y con la misma se tomó una muestra representativa del suelo compuesta por la homogeneización de 5 submuestras tomadas al azar, evitando los límites de la parcela, a 0-20 cm de profundidad. Las muestras de suelo se secaron al aire a temperatura ambiente, se desmenuzaron suavemente y se hicieron pasar por un tamiz de 2 mm de luz de malla circular para quitar los elementos gruesos. En ellas se determinó la textura según el método de la pipeta Robison usando hexametáfosfato sódico con Na_2CO_3 como dispersante; el pH potenciométricamente en una suspensión suelo: agua 1:2,5; sales solubles en el extracto 1:5; bases extraíbles con CINH_4 1N y Al intercambiable con KCl 1M, ambos por absorción atómica y a continuación se calculó la capacidad de intercambio catiónico efectiva (bases + aluminio de cambio); nitrógeno total por el método Kjeldahl; el carbono orgánico por ignición y el fósforo disponible se determinó por el método de Mehlich 3. Se consideraron 15 variables climáticas obtenidas a partir de los modelos propuestos por SÁNCHEZ-PALOMARES *et al.* (1999) que son función de las coordenadas UTM de la parcela, la cuenca hidrográfica y la altitud. En la Tabla 1 se presentan los estadísticos descriptivos de las principales variables usadas en los análisis llevados a cabo en este trabajo.

Métodos estadísticos

Se ha usado el método CHAID (*Chi-squared Automatic Interaction Detector*) para determinar la relación entre el IS y las variables cualitativas y cuantitativas disponibles (climáticas, edáficas,

fisiográficas y concentración de nutrientes foliares). El método CHAID es un algoritmo que crea categorías de las variables predictoras dividiendo respectivamente en un número de categorías de aproximadamente el mismo número de observaciones. Posteriormente determina el par de categorías predictoras que significativamente menos difiere con respecto a la variable dependiente. Cuando la variable dependiente es continua usa el test F no paramétrico para determinar la significación estadística y decidir que categoría de cada predictor unir o dividir. El CHAID une aquellas categorías de variables predictoras que son homogéneas con respecto a la variable dependiente, pero mantiene aquellas categorías que son heterogéneas (VAN DIEPEN & FRANCES, 2006). En este trabajo se ha usado el programa estadístico SPSS (SPSS, 2007) para llevar a cabo los análisis estadísticos.

Esta técnica presenta algunas ventajas importantes: *i*) no está basada en distribuciones de probabilidad, *ii*) permite formar grupos que maximicen la variable respuesta, *iii*) la clasificación en categorías es fácil de interpretar y *iv*) la técnica garantiza que los grupos siempre tendrán un sentido estadístico. Además se han elaborado modelos paramétricos para predecir el índice de sitio empleando regresión paso a paso (*stepwise*). Se han elaborado dos tipos diferentes de modelos paramétricos: *i*) el mejor modelo considerando cada uno de los cuatro tipos de variables de forma separada (foliares, edáficas, fisiográficas y climáticas) y *ii*) el mejor modelo considerando todas las variables como variables regresoras potenciales. El nivel de significación usado para incluir variables en el modelo y mantenerlas fue de 0,01. El criterio usado para evaluar la bondad de ambos tipos de modelos (no paramétrico y paramétricos) ha sido el R^2_{adj} y la raíz del error medio cuadrático (REMC).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Árboles de regresión

El procedimiento CHAID reveló que el IS está positiva y significativamente relacionado (p -valor=0,018) con las concentraciones de fósforo (P) en acículas. Esto no es nada sorprendente puesto que el fósforo es un macronutriente

VARIABLES	Código	Min.	Max.	Media	Desv. Stand.
Masa					
Edad de la masa (años)	<i>t</i>	8,00	61,50	29,28	14,38
Altura dominante (m)	<i>H</i> ₀	5,50	30,60	15,72	6,01
Índice de sitio (m a los 20 años)	SI	7,80	19,30	11,83	2,18
Número pies por ha	SD	362,00	2.175,00	1.032,10	441,31
Nutrientes foliares					
Nitrógeno (mg·g ⁻¹)	FN	9,42	48,34	19,7	7,86
Fósforo (mg·g ⁻¹)	FP	0,43	1,66	0,76	0,23
Potasio (mg·g ⁻¹)	FK	0,67	2,92	1,69	0,61
Calcio (mg·g ⁻¹)	FCa	0,45	5,33	2,97	1,04
Magnesio (mg·g ⁻¹)	FMg	0,23	0,81	0,44	0,11
Edáficas					
Profundidad de suelo (m)	Depth	0,20	1,30	0,41	0,21
Arcilla (%)	Clay	4,41	39,84	18,99	8,39
Arena (%)	Sand	45,38	93,38	74,8	10,22
Limo (%)	Silt	2,21	29,13	7,69	5,05
Materia orgánica (%)	OM	1,45	10,96	4,73	2,14
pH (water 1:1)	pH	3,46	4,95	4,20	0,39
N total (%)	N	0,04	0,92	0,28	0,18
Relación C/N	C/N	4,29	33,51	12,74	7,41
Conductividad eléctrica (dS·m ⁻¹)	EC	0,08	0,03	0,23	0,05
P disponible Mehlich 3 (mg·kg ⁻¹)	PM3	0,24	9,28	3,05	1,98
K extraíble (cmolc·kg ⁻¹)	K	0,002	0,12	0,04	0,03
Ca extraíble (cmolc·kg ⁻¹)	Ca	0,06	2,93	1,01	0,66
Mg extraíble (cmolc·kg ⁻¹)	Mg	0,04	0,76	0,20	0,14
Al extraíble (cmolc·kg ⁻¹)	Al	1,19	23,13	6,38	3,64
Capac. de intercambio catiónico efectiva (cmolc·kg ⁻¹)	ECEC	1,96	25,36	7,93	3,65
Fisiográficas					
Pendiente (%)	Slope	0,00	70,00	38,70	16,08
Altitud (m)	Elev	64,00	728,00	410,57	178,75
Climáticas					
Precipitación total anual (mm)	TP	972,00	1.216,00	1.066,10	73,12
Precipitación de primavera (mm)	SP	240,00	306,00	263,23	18,61
Precipitación de verano (mm)	SuP	134,00	189,00	143,78	10,27
Precipitación de otoño (mm)	AP	277,00	369,00	298,45	20,82
Precipitación de invierno (mm)	WP	310,00	432,00	360,61	34,87
Temperatura media anual (°C)	MAT	10,30	13,30	11,72	0,81
Temperatura media del mes más calido (°C)	MTWM	16,50	19,00	17,63	0,55
Temperatura media del mes más frío (°C)	MTCM	4,70	8,80	6,64	1,14
Fluctuación de temperatura (°C)	TA	17,00	24,00	20,36	1,61
Temperatura media de máximas del mes más calido (°C)	MMTWM	22,00	24,90	23,10	0,74
Temperatura media de mínimas del mes más frío (°C)	MMTCM	0,60	5,00	2,74	1,14

Tabla 1. Estadísticos descriptivos de las principales variables estudiadas. Nota: las principales características de la variable orientación son: norte (7,3% de las parcelas); noreste (7,3%); noroeste (17,1%); este (3,7%); sur (20,7%); sureste (11,0%); suroeste (17,1%) y oeste (7,3%)

muy importante para la mayoría de las plantas. La concentración foliar de P ha sido menor que los valores marginales establecidos para la especie por BARÁ (1991) y BONNEAU (1995) y aparte de su baja concentración en suelo puede deberse también a la interacción negativa que

hay entre este elemento y el nitrógeno (N) en el suelo. Altos valores de N en suelo (como es el caso) reducen la concentración de P en hojas y el crecimiento en altura.

El procedimiento CHAID ha puesto de manifiesto que la relación de la calidad de estación con

Variables	Código	Min.	Max.	Media	Desv. Stand.
Climáticas					
Evapotranspiración (mm)	ETP	635,00	709,00	669,96	19,53
Excedente anual de humedad (mm)	TS	431,00	722,00	548,45	81,80
Déficit anual de humedad (mm)	PD	118,00	172,00	152,30	11,02
Índice de reserva anual de agua	AWRI	48,30	100,50	68,55	14,20
Intervalo de sequía	DI	0,00	0,70	0,28	0,16
Sequía fisiológica	PhD	21,00	70,00	49,32	12,87
Drenaje calculado	CDRA	309,00	631,00	445,46	83,06
Evapotranspiración real máxima (mm)	MRE	585,00	688,00	620,59	23,05
Número de meses fríos	CMN	0,00	3,00	0,61	1,05
Estado vegetativo	VS	8,00	12,00	10,45	1,08
Temperatura media de verano (°C)	MST	15,50	18,20	16,71	0,57
Temperatura media de invierno (°C)	MWT	5,20	9,10	6,70	1,04
Índice de Vernet	VI	-4,40	-1,80	-3,11	0,52

Tabla 1 (cont.). Estadísticos descriptivos de las principales variables estudiadas

parámetros edáficos en esta especie es en general muy baja, como ya han apuntado otros autores (P.e.: GANDULLO Y SÁNCHEZ-PALOMARES, 1994) (Figura 2). El algoritmo CHAID ha encontrado que la profundidad efectiva es la variable más importante para explicar el crecimiento en altura del pino pinaster en Asturias y ha definido tres grupos significativos con respecto a este parámetro: *i*) suelo someros (<25 cm) con IS medios de 10,5 m, *ii*) suelo intermedios (25-67 cm) y IS medios de 11,8 m y *iii*) suelos profundos (<67 cm) con IS medios de 14,6 m.

La baja influencia de la disponibilidad de nutrientes en suelo en la calidad de estación y el hecho de que la profundidad efectiva de suelo sea más importante, parecen indicar que el pino pinaster debe ser considerado como especie “exigente en estación” más que como especie “exigente en nutrición” según términos usados por KERR & CAHALAN (2004), lo que concuerda con su reconocida frugalidad (MAUGÉ, 1987; CARVALHO OLIVEIRA *et al.*; 2000). En suelos someros, las mayores concentraciones en Mg determinan mayores IS. Las deficiencias de Mg en suelos someros de zonas lluviosas como Asturias posiblemente se deben a la rápida disminución del mismo por lavado ya que es muy soluble. Sin embargo, en suelos con profundidad intermedia, la siguiente variable negativa y significativamente relacionada con IS fue la concentración de la materia orgánica. Valores más altos indican que hay baja mineralización y por tanto disponibilidad de nutrientes para las plan-

tas. Similares resultados han sido apuntados para Galicia por RODRÍGUEZ-SOALLEIRO (1995). Respecto a las variables fisiográficas, la altitud ha sido la variable que afecta de manera significativa al crecimiento en altura de los árboles; masas a altitudes mayores de 513 m mostraban valores de IS significativamente menores que aquellas que crecían a altitudes menores. Teniendo en cuenta las variables climáticas, la temperatura media en verano ha sido la variable que afecta de forma más significativa al crecimiento en altura de los árboles. Temperaturas medias en verano mayores de 17,2°C están significativamente relacionadas con mayores IS y al contrario, temperaturas menores con menores IS. El algoritmo CHAID dividió este último grupo en dos en función de la precipitación de invierno (precipitaciones ≤ 393 mm estaban asociadas a IS mayores y precipitaciones mayores a ese valor con IS menores). La REMC de la estimación fue de 2,09 m y 1,87 m para las variables fisiográficas y climáticas, respectivamente. Al considerar todas las variables a la vez, el algoritmo CHAID proporciona un “dibujo” de la importancia relativa de las variables. Las variables segmentadas en un primer y segundo nivel del árbol de regresión han sido las mismas que al analizar por separado las variables relacionadas con el suelo: profundidad de suelo, concentración de Mg y concentración de materia orgánica. La única diferencia es que aparece un tercer nivel con la temperatura media anual afectando a suelos someros con poca concentra-

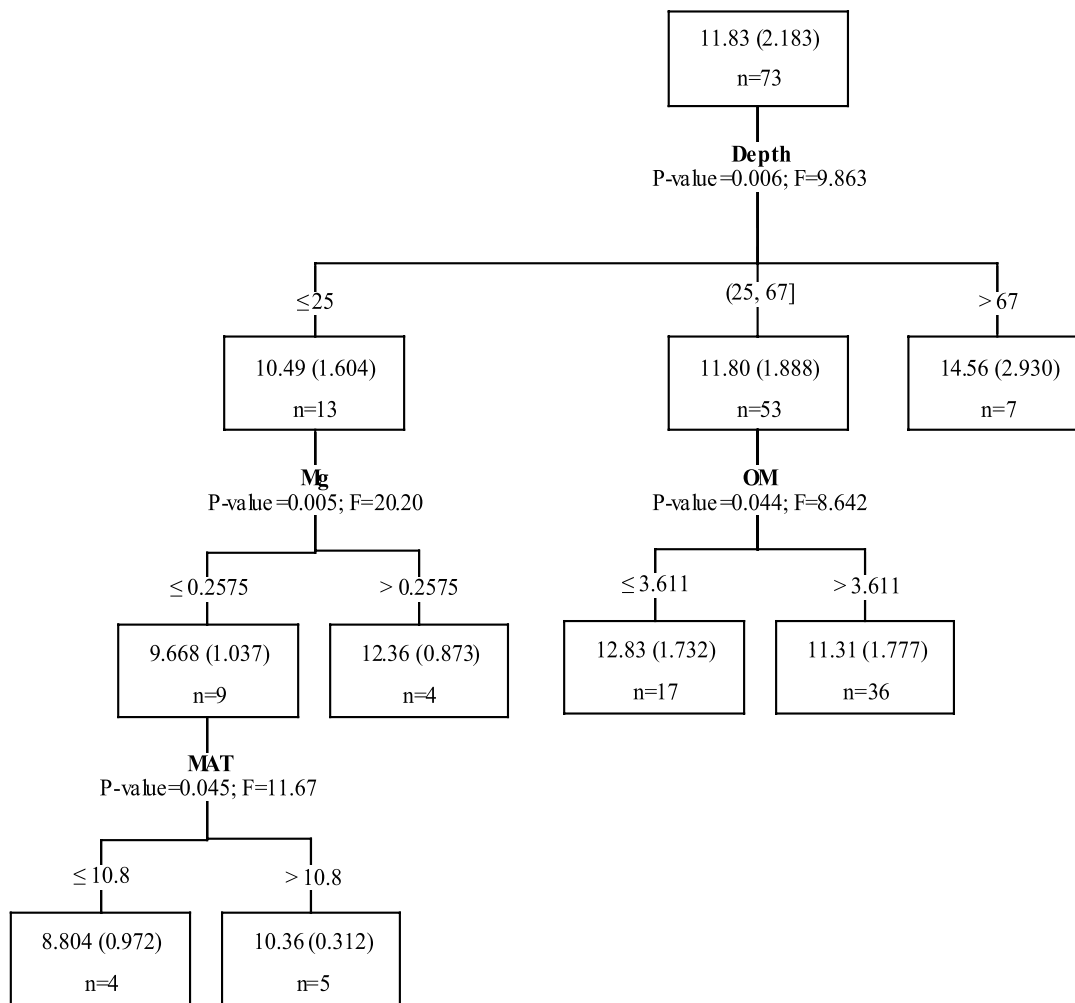


Figura 2. Árbol de regresión con el algoritmo CHAID usando todas las variables disponibles. Variables significativas: Depth (Profundidad efectiva de suelo, cm), Mg (contenido en Magnesio, mg·g⁻¹), OM (contenido en materia orgánica, %) y MAT (temperatura media anual, °C)

ción de Mg, donde temperaturas medias anuales mayores de 10,8°C se relacionaban con mayores IS. La REMC de la estimación fue de 1,71 m.

Modelos paramétricos de regresión

Se ajustaron modelos de regresión paramétricos para cada uno de los cuatro grupos de variables (Tabla 2) y las variables seleccionadas por el procedimiento stepwise fueron las mismas que las que conformaban la primera rama en el análisis CHAID. Como era esperable, el modelo que explicó un mayor porcentaje de variabilidad en el IS (45%) fue obtenido combinando ambos tipos de variables. La profundidad del suelo y la temperatura media estival fueron las variables predictoras consideradas en el “mejor” modelo paramétrico. Aunque algunos autores han encon-

trado mejores resultados para otras especies (p.ej., FONTES et al. (2003) para *Pseudotsuga* en Portugal o ROMANYÀ & VALLEJO (2004) para *Pinus radiata* en España); sin embargo, con esta especie en Asturias se deben considerar los siguientes aspectos: *i*) las masas actuales de pino pinaster en Asturias son fruto de repoblaciones usando procedencias muy diversas y este factor ha llegado a explicar hasta el 30% de la variabilidad en IS en algunos casos (GONZÁLEZ MARTÍNEZ et al., 2004) y *ii*) en este estudio sólo se han seleccionado modelos estadísticamente robustos con una o dos variables predictoras. En el análisis de todas las variables, las variables seleccionadas por ambos procedimientos no fueron exactamente las mismas. Aunque la profundidad del suelo, es significativa en ambos, la

Modelo	Variables	Ecuación	R ² _{adj}	REMC (m)
1	Nutrientes foliares	IS = 9,509 + 3,073·FP	0,10	2,08
2	Fisiográficas	IS = 13,82 - 0,004837·Elev	0,15	2,03
3	Climáticas	IS = -25,17 + 2.218·MST	0,25	2,01
4	Edáficas	IS = 9,447 + 2,218·Depth	0,32	1,87
5	Todas las variables	IS = -10,99 + 1,238·MST + 0,05287·Depth	0,45	1,73

Nota: Todas las variables independientes son significativas a P<0,05 y todos los modelos son significativos a un P<0,001.

Tabla 2. Modelos paramétricos para la estimación del índice de sitio (IS) de las masas de pino pinaster en Asturias. FP = Concentración de Fósforo foliar; Elev = altitud sobre el nivel del mar; MST = Temperatura media en verano; Depth = profundidad efectiva del suelo

temperatura media de verano (MST) no fue incluida en los árboles de regresión mientras que si lo fue la temperatura media anual (MAT). Las diferencias observadas se pueden atribuir a las diferencias estructurales inherentes a los dos procedimientos. En el algoritmo CHAID las variables son consideradas secuencialmente, mientras que el procedimiento stepwise considera todas las variables simultáneamente.

El mejor modelo paramétrico fue aplicado a la red sistemática de parcelas (1 km x 1 km) del Inventario Forestal Nacional (DGCN, 2006) y

mediante interpolación espacial (krigeado ordinario) se ha elaborado mapas predictivos del IS para masas de pino pinaster en el territorio asturiano (Figura 3).

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos con ambos métodos estadísticos confirman que la profundidad efectiva es el principal factor del suelo relacionado con la productividad del pino pinaster en Asturias,

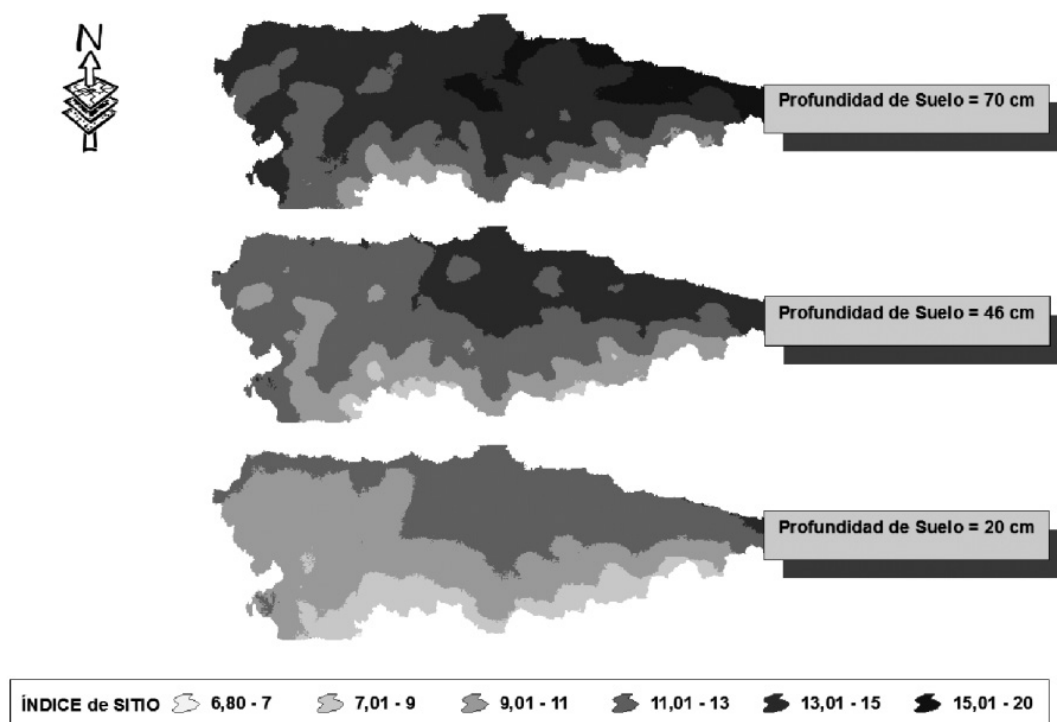


Figura 3. Mapa de la distribución espacial del IS para pino pinaster en Asturias de acuerdo al mejor modelo desarrollado para tres niveles de profundidad de suelo

siendo poco significativa la concentración de nutrientes en el mismo. El procedimiento CHAID se muestra como una alternativa muy robusta ya que no precisa de ninguna asunción previa sobre el tipo de función de probabilidad que siguen las variables analizadas, permitiendo además una rápida evaluación visual y una mejor comprensión de las interacciones entre variables. La regresión paso a paso detecta únicamente relaciones de tipo lineal entre variables, aunque el resultado en forma de ecuación, sencilla de aplicar, mantiene el interés por el procedimiento.

BIBLIOGRAFÍA

- BARÁ, S.; 1991. *Fertilización forestal*. Colección Técnica. Consellería de Agricultura, Ganadería y Montes. Xunta de Galicia. Santiago de Compostela, España.
- BARJOLLO, D.; 2008. *Curvas de calidad de estación en masas de Pinus pinaster Ait en Asturias*. Proyecto fin de carrera. Escuela Universitaria de Ingenierías Técnicas de Mieres. Universidad de Oviedo.
- BONNEAU, M.; 1995. *Fertilisation des forêts dans les pays tempérés*. École Nationale du Génie Rural, des Eaux et des Forêts (ENGREF). Nancy.
- CARVALHO OLIVEIRA, A.; SANTOS PEREIRA, J. & VAZ CORREIRA, A.; 2000. *A selvicultura do pinheiro bravo*. Centro Pinus.
- DGCN; 2006. *Tercer Inventario Forestal Nacional. Principado de Asturias*. Ministerio de Medio Ambiente. Madrid.
- FONTES, L.; TOME, M.; THOMPSON, F.; YEOMANS, A.; SALES LUIS, J. & SAVILL, P.; 2003. Modelling the Douglas-fir (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco) site index from site factors in Portugal. *Forestry* 76: 491-507.
- GANDULLO, J.M. Y SÁNCHEZ-PALOMARES, N.; 1994. *Estaciones ecológicas de los pinares españoles*. MAPA. ICONA. Colección Técnica. Madrid.
- GONZÁLEZ-MARTÍNEZ, S.C.; MARIETTE, S.; RIBEIRO, M.M.; BURBAN, C.; RAFFIN, A.; CHAMBEL, M.R.; RIBEIRO, C.A.M.; AGUIAR, A.; PLOMION, C.; ALÍA, R.; GIL L.; VENDRAMIN, G.G. & KREMER, A.; 2004. Genetic resources in maritime pine (*Pinus pinaster* Aiton): molecular and quantitative measures of genetic variation and differentiation among maternal lineages. *Forest Ecol. Manage.* 197: 103-115.
- KERR, G. & CAHALAN, C.; 2004. A review of site factors affecting the early growth of ash (*Fraxinus excelsior* L.). *Forest Ecol. Manage.* 188: 225-234.
- LEBOURGEOIS, F.; 2007. Climatic signal in annual growth variation of silver fir (*Abies alba* Mill.) and spruce (*Picea abies* Karst.) from the French Permanent Plot Network (RENECOFOR). *Ann. For. Sci.* 64: 333-243.
- MADRIGAL, A.; ÁLVAREZ, J.G.; RODRÍGUEZ, R. Y ROJO, A.; 1999. *Tablas de producción para los montes españoles*. Fundación Conde del Valle de Salazar. Madrid.
- MARM; 2008. *Anuario de estadística forestal 2007*. Área de Medio Ambiente. (<http://www.mma.es>).
- MAUGÉ, J.; 1987. *Le pin maritime*. Premier résumé de France. IDF. Paris.
- MONSERUD, R.A.; MOODY, U. & BREUER, D.W.; 1990. A soil-site study for inland Douglas-fir. *Can. J. For. Res.* 20: 686-695.
- RODRÍGUEZ-SOALLEIRO, R.; 1995. *Crecimiento y producción de masas forestales regulares de Pinus pinaster Ait. en Galicia. Alternativas selvícolas posibles*. Tesis doctoral. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes. Madrid.
- ROMANYÀ, J. & VALLEJO, V.R.; 2004. Productivity of *Pinus radiata* plantation in Spain in response to climate and soil. *Forest Ecol. Manage.* 195, 177-189.
- SÁNCHEZ PALOMARES, O.; SÁNCHEZ SERRANO, F. Y CARRETERO CARRERO, M.P.; 1999. *Modelos y cartografía de estimaciones climáticas termoplumiométricas para la España peninsular*. INIA, Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Madrid.
- SPSS; 2007. *SPSS for Windows*, Rel. 16 (1993-2007). SPSS Inc. Chicago, IL.
- VAN DIEPEN, M. & FRANCES, H.P.; 2006. Evaluating chi-squared automatic interaction detection. *Information Systems* 31: 814-831.