



Universidad de Valladolid
Campus de Palencia

Master en Investigación en Ingeniería para la Conservación y Uso Sostenible de Sistemas Forestales

TRABAJO FIN DE MASTER

Factores que Influyen en el Decaimiento del Pino Negral en Castilla y León.

Alumna: Cristina Prieto Recio

**Directores: Julio Javier Diez Casero y
Felipe Bravo Oviedo**

SEPTIEMBRE, 2012

ÍNDICE

1. RESUMEN.....	3
2. ANTECEDENTES.....	4
3. OBJETIVOS.....	6
4. MATERIAL Y METODOS.....	7
4.1. Zona de estudio.....	7
4.2. Muestreo y toma de datos.....	9
4.3. Análisis estadístico.....	14
5. RESULTADOS.....	16
5.1. Selección de variables. Análisis de Componentes Principales.....	16
5.2. Construcción del modelo. Regresión Logística Multinomial.....	22
6. DISCUSIÓN.....	24
7. CONCLUSIONES.....	28
8. BIBLIOGRAFÍA.....	29
ANEXOS.....	33
Anexo 1. Material y Métodos.....	33
Anexo 2. Resultados.....	37

1. RESUMEN

Pinus pinaster Ait., es una de las especies forestales más relevantes en España, tanto por su valor protector como por su producción maderera. En los últimos años, se ha venido observando un decaimiento generalizado de varias masas de pino negral en el centro de la Península Ibérica. Los síntomas más característicos de este decaimiento son: la inusual transparencia de copa, el enanismo en las acículas, la decoloración del follaje y la muerte prematura del árbol. No existen hasta la fecha estudios que relacionen estos estados de decaimiento con los factores ambientales, la estructura de las masas y los regímenes selvícolas. Los objetivos de este trabajo son: (1) conocer los factores relacionados con el decaimiento del pino negral, (2) caracterizar las parcelas en relación a los grupos de variables que las definen, y (3) construir un modelo que permita predecir el estado sanitario de los árboles en función de los factores ambientales, sanitarios y selvícolas. Se han muestreado 27 parcelas circulares de 15 m de radio ubicadas en las principales áreas de distribución de la especie en la región. Los resultados revelan que las parcelas muestreadas se caracterizan por variables de rodal, como el área basimétrica y la densidad, por las variables ambientales de precipitación de verano, temperatura media anual, porcentaje de arcilla y cantidad de hierro en el suelo, y por las variables sanitarias como el porcentaje de defoliación y la presencia de hongos, de insectos y de daños abióticos. El modelo desarrollado indica que el factor de la región de procedencia, las variables selvícolas y los factores ambientales no influyen en el estado sanitario del pino negral, influyendo únicamente, las variables sanitarias.

ABSTRACT

Pinus pinaster Ait., is one of the most important Spanish forest species, for its protective value and its timber production. Maritime pine decline was observed in several forests in the centre of the Iberian Peninsula. There is an unusual transparency at the crown, small needles, foliage discoloration and early tree death which are characteristic decline symptoms associated with the high mortality rate with this species. At present there are no studies that relate this tree decay with environmental factors, the stand structure and the forest regimes. The specific goals of this study are: (1) To understand the factors associated with the decline of the pine species. (2) To characterize the plots in relation to groups of variables that defines them. (3) To build a model that allows prediction of the state of tree health based on the factors and variables that characterize the plots. In all, 27 circular plots of 15m radius which were located in the main areas of distribution of the species in the region have been sampled. The results show that the sampled plots are characterized by variables of stand basal area and density, by environmental variables of summer precipitation, annual average temperature, percentage of clay and amount of iron in the soil, and by health variables such as the percentage of defoliation and the presence of fungi, insects and abiotic damages. The built model is influenced only by health variables, and isn't influenced by the factor of the provenance region, the silvicultural variables and environmental factors.

2. ANTECEDENTES

La realidad del cambio climático está reconocida a nivel mundial, pero las consecuencias regionales aún no se han estudiado en detalle, especialmente en el caso de los ecosistemas forestales. En la actualidad ya se están observando algunas amenazas específicas, tales como el aumento de la frecuencia de riesgos abióticos como los fuertes vientos, las sequías, las inundaciones o los incendios (Jactel *et al.*, 2009; Canales *et al.*, 2011). La introducción y avance de nuevas plagas y agentes patógenos (Scherm, 2004) que están provocando un decaimiento generalizado de numerosas masas forestales, o la disminución en la adaptabilidad de las especies a las nuevas condiciones climáticas (Hansen *et al.*, 2001), ya que no disponen del tiempo necesario para adaptarse. Por otro lado, sabemos que las respuestas de los bosques al cambio climático son complicadas debido a su biología y las distintas poblaciones de organismos que interactúan en ellos (Roe and Baker, 2007). Además, los potenciales impactos del cambio climático sobre las enfermedades forestales podrían afectar en muchos aspectos, como la modificación de las estructuras de las poblaciones y de las comunidades, los procesos micro-evolutivos y la dinámica de las plantas (Chakraborty *et al.*, 2000). De hecho, debido a estos impactos, muchas de las especies forestales mediterráneas y submediterráneas de la Península Ibérica, sufrirán un decaimiento y una drástica modificación del área que ocupan actualmente (Benito Garzon *et al.*, 2008).

En primer lugar, cabe definir en que consiste el decaimiento de un bosque, y para ello hay que remitirse a las décadas de 1970 y 1980, cuando se describió por primera vez en Europa Central y el Noreste de Norteamérica. En estas zonas muy pobladas y con intensa actividad industrial, se empezaron a observar una serie de procesos patológicos caracterizados por diversos síntomas como la defoliación y decoloración de las copas, cambios en la arquitectura de las ramas, muerte de raíces, menor crecimiento, senescencia prematura y elevada mortalidad de distintas especies de árboles (Hertel, 1988). Este fenómeno, en principio aparentemente insólito y sin precedentes, se denominó “decaimiento del bosque” (*forest decline* en inglés o *waldsterben* en alemán). Por lo tanto el decaimiento se puede definir, como una enfermedad causada por la interacción de un número intercambiable de factores ordenados, tanto abióticos como bióticos (Thomas *et al.*, 2002), que producen el deterioro general y gradual de una masa forestal, y cuya última consecuencia es la muerte de los árboles (Manion, 1991). Estos factores pueden ser de predisposición, de incitación o contributivos. A largo plazo, el clima, el sitio, la edad de la masa o la predisposición genética, puede que no causen problemas evidentes, pero si que pueden predisponer a los árboles a sufrir decaimiento (Hennon *et al.*, 2009). Por otro lado, a corto plazo, los daños abióticos provocados por sucesos climáticos como heladas, vendavales, inundaciones o periodos de sequía, y los producidos por competencia y falta de recursos, se pueden considerar como factores que inducen a los árboles a entrar en un estado de decaimiento en un momento dado, del cual se pueden recuperar o por el contrario pueden dejarles unas secuelas

que les incitarían a pasar a un estado de deterioro progresivo (Hennon *et al.*, 2012). Y por último, los factores contributivos como por ejemplo los hongos patógenos de raíz, las plantas parásitas y los insectos oportunistas como los escarabajos de la corteza, son los que finalmente desencadenarían un mayor debilitamiento de los árboles y posterior muerte (Hennon and McWilliams, 1999).

El decaimiento de los pinares ha sido estudiado en los Estados Unidos de América donde Otrosina (1999) realizó estudios similares sobre el decaimiento de *Pinus palustris* en las masas del sur del país, encontrando una relación entre hongos ofiostomatales y decaimiento. Otra idea sobre como evaluar este fenómeno, proviene de algunos estudios en arces realizados en Quebec, Canadá (Payette *et al.*, 1996), en los cuales se llegó a la conclusión de que la forma en la que aumenta el área basismétrica a lo largo de los años, parece ser un buen indicador de la salud y vigor del árbol (Duchesne *et al.*, 2003). Los bosques españoles no han estado ni están exentos de la ocurrencia de este fenómeno, y el decaimiento de las masas ha ido apareciendo en paralelo con los cambios ambientales (Oliva and Colinas, 2007). Dentro del contexto del cambio climático global, los ataques de patógenos están cambiando su periodicidad e intensidad (Montoya, 2001), por lo que es interesante profundizar en este campo de estudio. También parece que existe una relación clara entre el crecimiento de los bosques y el clima (Bogino *et al.*, 2008), y entre crecimiento y decaimiento (Bert, 1990), sin embargo, esta relación no es tan clara cuando hablamos de decaimiento y clima (Zierl, 2004). En definitiva, se piensa que una combinación de factores tanto abióticos como bióticos, es lo que puede conducir finalmente a producir este fenómeno de “decaimiento” (Manion, 1991; Thomas, 2002; Arnold, 2007).

El pino negral es la segunda especie con distribución más extensa en España, tras la encina, y constituye bosques puros y bosques mixtos con otras coníferas como el pino piñonero o el pino silvestre, y con especies frondosas, cubriendo una superficie de más 700.000 ha en masas puras y 600.000 ha en masas mixtas (del Rio *et al.*, 2004). Estas masas pueden ser tanto naturales (1 millón de ha) como plantadas (0,6 millones de hectáreas) (DGCONA, 2002), y pueden diferenciarse tres grupos dependiendo de la función que ejercen. Un primer grupo es el compuesto por los pinares de regeneración natural en la Meseta Castellana, dedicados históricamente a la extracción de resina. Por otro lado, están los pinares de serranía, tanto naturales como de repoblación, típicos del Sistema Central y del Sistema Ibérico, dedicados a la producción maderera. Por último, existen pinares en la zona costera mediterránea, en los que la función principal es la protección y la creación de masas mixtas con frondosas, combinados con niveles bajos de aprovechamiento maderero (Rodríguez-Soalleiro, 2008). La distribución de esta especie se centra principalmente en la meseta norte española hasta los 1500 m de altitud, con preferencia de suelos arenosos, pedregosos y bien drenados, donde el clima se caracteriza por las precipitaciones irregulares y las altas temperaturas en verano.

Durante las últimas décadas, el pino negral ha sufrido un proceso de decaimiento progresivo en la Península Ibérica con unos síntomas característicos: la inusual transparencia de

copa o defoliación, el enanismo en las acículas o microfilia, la decoloración del follaje y la muerte prematura del árbol. En España, la problemática del decaimiento del pino negral ha sido contemplada en algunos estudios, como en el trabajo de hongos asociados al decaimiento de *Pinus pinaster* en España (Álvarez Baz *et al.*, 2008) en el que se identificaron diversos hongos ofiostomatales en los pies afectados, entre los cuales se encontraba *Ophiostoma minus* (Hedgcock) H. & P., y a su vez se recogieron varias especies de insectos que actuaban como vectores de esos hongos, en concreto *Orthotomicus erosus* (Woll), que fue el más abundante. Por otro lado, pero en la misma línea, se encuentra el estudio de las enfermedades que afectan a *Pinus pinaster* en montes de Patrimonio Nacional de el Escorial (Madrid) y determinación del agente o agente causales (Soria, 2001), en el que queda reflejado que la mortalidad de la masa debida al patógeno *Ophiostoma minus*, aumenta en el solsticio de verano debido a la escasez de precipitaciones y a las altas temperaturas. Y últimamente, se ha detectado otro hongo patógeno de raíz (*Heterobasidion annosum* (Fr.) Bref) que podría estar también implicado en el decaimiento de las masas de pino negral en Castilla y León (Prieto-Recio *et al.*, 2012).

En la actualidad existen estudios de modelización que predicen la mortalidad o supervivencia de especies de coníferas mediterráneas como el pino albar o el pino negral través de la relación e interacción de distintas variables selvícolas (Dieguez-Aranda *et al.*, 2005; Bravo-Oviedo *et al.*, 2006). Y otros estudios, mediante la construcción de modelos por Regresión Logística Multinomial permiten hallar las probabilidades de transición del crecimiento de las masas a través de atributos tales como la mortalidad (Boltz and Carter, 2006). Pero sin embargo, el problema está lejos aún de ser resuelto. Un conocimiento más profundo de los agentes implicados en el decaimiento del pino negral y como afectan al desarrollo de estas masas, proporcionará información relevante para entender cual es el grado de influencia de cada uno de ellos. De esta manera, se podrán asentar las bases necesarias para dar una solución eficaz al problema, y a la vez se podrá profundizar sobre como este decaimiento influye en la producción de estos bosques.

3. OBJETIVOS

Debido a que en los últimos años, en varias masas de pino negral de Castilla y León, se han observado zonas en las que los pinos muestran sintomatología de “decaimiento”, lo cual podría comprometer el futuro de estos bosques de gran interés, tanto por su valor protector como por su carácter productor de madera y de resina. Y además, aún no hay ningún estudio que revele que factores están involucrados en este decaimiento y de que forma está afectando al crecimiento de estas masas, los objetivos de este estudio fueron: (1) conocer los factores relacionados con el decaimiento del pino negral, (2) caracterizar las parcelas en relación a los grupos de variables que las definen y (3) construir un modelo que permita predecir el estado de decaimiento en función de los factores ambientales, sanitarios y selvícolas, que caracterizan a las parcelas.

4. MATERIAL Y METODOS

4.1. Zona de estudio

Para conseguir los objetivos propuestos, hemos estudiado varias masas naturales cuya especie principal es el pino negral. En primer lugar se seleccionaron 36 parcelas circulares de 15 m de radio, repartidas a lo largo de todo el territorio castellanoleonés, cubriendo la mayoría de las regiones de procedencia de *Pinus pinaster* que se encuentran en Castilla y León (Figura 1).



Figura 1. Regiones de procedencia de *Pinus pinaster* (Alía, 1996), seleccionadas para el estudio.

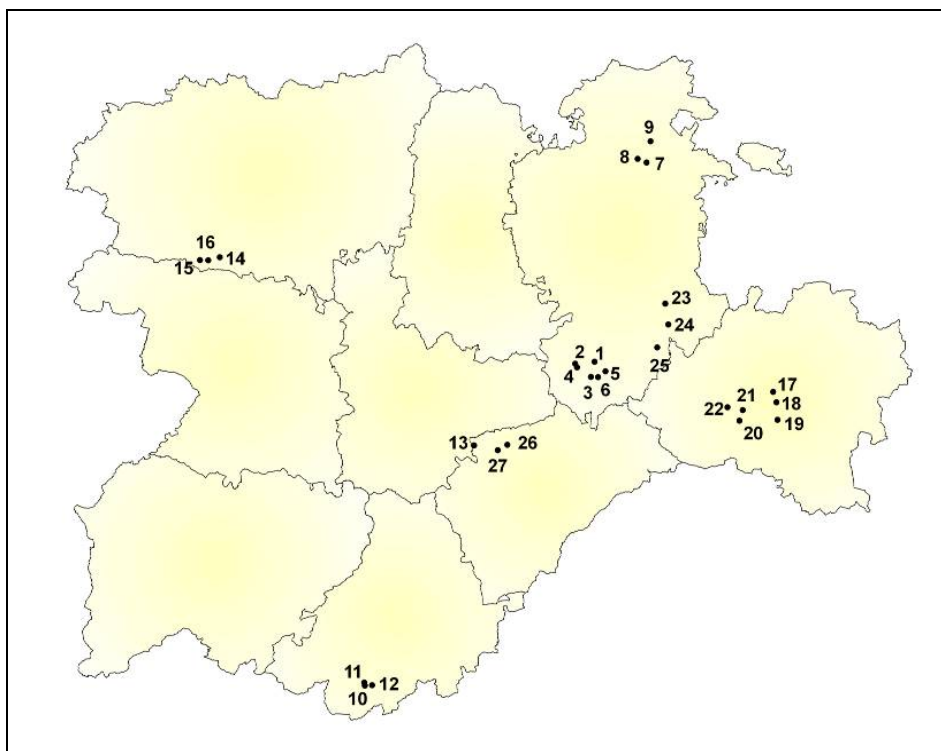
R2=Sierra Teleno, R3=Sierra Oña, R6=Sierra Gredos, R8=Meseta Castellana, R9=Montaña Soria-Burgos.

Veintiséis de estas parcelas pertenecían a la malla de Inventario Forestal Nacional y las otras diez a la Red de Parcelas Permanentes del grupo de investigación en Gestión Forestal Sostenible de la Universidad de Valladolid-INIA. La selección de las parcelas de muestreo se realizó al azar mediante el programa Arcgis 9.3, pero dentro de siete zonas demarcadas de 30 km de diámetro, de las cuales sabíamos a priori que tres de ellas presentaban síntomas de decaimiento, por estudios previos (Álvarez Baz *et al.*, 2008; Prieto-Recio *et al.*, 2012) que así lo indicaban, y en las otras cuatro zonas, el estado sanitario era desconocido (Anexo 1 - Figura 1). La dimensión del área demarcada utilizado en la selección de parcelas se tomó de 30 Km de radio para poder facilitar el desplazamiento en el muestreo en campo de una parcela a otra.

Finalmente durante el periodo de muestreo del 15 de Julio al 15 de Octubre de 2011, con los medios disponibles, se lograron muestrear 27 de las 36 parcelas preseleccionadas (Figura 2), 17 del IFN y otras 10 de la red UVa, de las que ya se disponía de algunos de los datos dendrométricos a medir. A continuación se muestra la Tabla 1, con la localización, las coordenadas UTM (Huso 30T, European Datum 1950), orientación y pendiente de cada parcela.

Tabla 1. Numeración, Localización y Características Fisiográficas de las parcelas muestreadas.

Parcela	Región de Procedencia	Provincia	Municipio	UTM X	UTM Y	Altitud	Orientación	Pendiente (%)
1	Meseta Castellana	Burgos	Quintana del Pidio	438050	4624914	878	NE	5
2	Meseta Castellana	Burgos	La Horra 2	428067	4623997	838	NE	1
3	Meseta Castellana	Burgos	Villalba de Duero	436109	4617106	848	O	3
4	Meseta Castellana	Burgos	La Horra 1	429010	4622082	846	S	1
5	Meseta Castellana	Burgos	Gumiel de Izan	443698	4619970	877	NO	2
6	Meseta Castellana	Burgos	Aranda de Duero	439870	4616948	875	O	5
7	Sierra de Oña	Burgos	Pino de Bureba	464930	4728035	653	N	25
8	Sierra de Oña	Burgos	Aguas Candidas	460290	4729979	791	S	7
9	Sierra de Oña	Burgos	Trespaderne	466925	4739067	570	NE	32
10	Sierra de Gredos	Ávila	El Hornilo 1	319548	4457352	1070	NO	22
11	Sierra de Gredos	Ávila	El Hornilo 3	319320	4458936	990	S	41
12	Sierra de Gredos	Ávila	El Arenal	323267	4457600	980	SO	10
13	Meseta Castellana	Segovia	Iscar	375925	4581622	757	TV	0
14	Sierra del Teleno	León	Pinilla de la Valdería	244808	4678992	892	TV	0
15	Sierra del Teleno	León	Castrocontrigo	234580	4677595	971	TV	0
16	Sierra del Teleno	León	Nogarejas	238790	4677439	940	N	2
17	Meseta Castellana	Soria	Quintana Redonda	530065	4609290	998	TV	0
18	Meseta Castellana	Soria	Tardelcuende	531744	4603836	964	S	3
19	Meseta Castellana	Soria	Matamala de Almazán	532346	4594757	953	TV	0
20	Meseta Castellana	Soria	Hortezuela	512669	4594367	835	SO	2
21	Meseta Castellana	Soria	Tajueco	514407	4599867	852	O	5
22	Meseta Castellana	Soria	Bayubas de arriba	506542	4601245	1012	TV	0
23	Montaña de Soria - Burgos	Burgos	Salas de los Infantes	474429	4654855	1059	O	23
24	Montaña de Soria - Burgos	Burgos	Gete	475962	4644113	1020	O	15
25	Montaña de Soria - Burgos	Burgos	Huerta del Rey	470226	4632229	1046	S	25
26	Meseta Castellana	Segovia	Cuellar	392975	4581898	793	TV	0
27	Meseta Castellana	Segovia	Arroyo de Cuellar	388039	4579097	469	TV	0

**Figura 2.** Numeración y localización de las parcelas muestreadas en Castilla y León.

4.2. Muestreo y toma de datos

Las parcelas seleccionadas a partir del IFN, debido a que de ellas no se contaba con permiso para marcar y tomar muestras de los árboles, se instalaron finalmente entre 100 y 500 m del centro original de las mismas, en dirección a zonas que mostrasen alguna sintomatología de decaimiento, en el caso de que la hubiera. Y las parcelas seleccionadas de la red de la Uva se instalaron en el propio centro de la parcela original. Dentro de cada parcela se midieron todos los árboles que se encontraban dentro del radio preestablecido de 15 m, se evaluaron sanitariamente 24, y se tomaron muestras de 3 árboles sanos, 3 intermedios y 3 muertos en pie si los había. Para realizar la evaluación sanitaria se eligieron los 6 árboles por cuadrante más cercanos al centro según la metodología de la red europea de seguimiento de daños en los bosques de nivel 1 (SPCAN-DGB, 2007). Por otro lado, dentro del grupo de árboles evaluados sanitariamente, la selección de los pies de cuales se recogieron muestras, se realizó al azar. Se recogieron dos tipos de muestras: dos canutillos por cada árbol a la altura de pecho mediante una barrenadora Pressler, para obtener el crecimiento de los 5 últimos años en pies con distinto estado de decaimiento y un chaspe de madera tomado con un hacha en la base del tronco, para detectar a través de cámara húmeda, aislamiento en placa y posterior análisis molecular, la presencia de hongos patógenos. Ambos tipos de muestras se encuentran en proceso de análisis por lo que de momento estos datos no se utilizarán en esta parte del estudio. El número total de árboles medidos fue de 1208, el número de árboles evaluados sanitariamente fue de 648, y se tomaron muestras de 212 árboles (81 sanos, 81 intermedios y 50 muertos en pie).

Para instalar las parcelas se seleccionó el centro, se marcó con una estaca y se grabaron las coordenadas UTM con un receptor GPS (E Trex H Personal Navigator. Garmin Corporation. Kansas, USA). Para registrar la posición de cada árbol, se midió el ángulo (0 a 400 grados) mediante una brújula con trípode fijada en el centro y la distancia a la que se encontraba cada árbol mediante un VERTEX. Todos los árboles medidos se marcaron con una chapa numerada en la base del tronco, para poder identificarlos durante el presente muestreo y en los futuros muestreos que se realicen (Anexo 1 – Foto 1).

En primer lugar se diseñó una ficha técnica o estadillo para la recogida de datos (Anexo 1- Fichas 1, 2 y 3), en el que se contemplaron un amplio conjunto de variables tanto de masa como a nivel de árbol individual.

El grupo de variables selvícolas tanto dasométricas como dendrométricas que se anotaron para caracterizar las masas, fueron las representadas en la Tabla 2 que se muestra a continuación. Se midieron en campo las variables dendrométricas referentes a alturas, diámetros y radios de copa (Figura 3) y la clase social siguiendo el criterio propuesto en el manual de evaluación de la red europea de daños a los bosques de nivel 1, (Figura 4). Después se calcularon en gabinete, los índices y las variables dasométricas que podrían ser interesantes para el estudio.

Tabla 2. Variables dasométricas y dendrométricas contempladas en el estudio.

Variables Selvícolas	Tipo de variable	Unidades	Metodología, materiales y comentarios adicionales
Nivel árbol			
Clase social (CS)	Categórica	1 - 4	1 = Predominante; 2= Dominante; 3 = Codominante; 4 = Sumergido
Diámetro Normal (DBH)	Continua	cm	Forcípula tradicional de brazo móvil
Altura Total (HT)	Continua	m	Vertex
Altura a la Base de la Copa (HCB)	Continua	m	Vertex
Altura a Máxima Anchura de Copa (HLCW)	Continua	m	Vertex
4 Radios de Copa (RCi)	Continua	m	Cinta métrica
Coefficiente de esbeltez (CE)	Continua	sin unidad	Relación altura - diámetro
Índice de copa viva (ICV)	Continua	sin unidad	Relación altura base copa - altura total
Nivel masa			
Área Basimétrica (AB)	Continua	m ² /ha	Suma de las secciones normales de todos los árboles existentes en una hectárea
Diámetro Medio Cuadrático (Dg)	Continua	cm	Diámetro del árbol de área basimétrica promedio
Densidad (N)	Continua	pies/ha	Número de pies por hectárea
Diámetro Medio (Dm)	Continua	cm	Diámetro medio de los pies medidos en la parcela
Altura media (Hm)	Continua	m	Altura media de los pies medidos en la parcela
Diámetro Dominante (Do)	Continua	cm	Diámetro promedio de los 100 árboles de mayor DBH por hectárea
Altura Dominante (Ho)	Continua	m	Altura promedio de los 100 árboles de mayor DBH por hectárea
Índice de Reineke (REINEKE)	Continua	sin unidad	Indica la densidad de árboles
Índice de Hart-Becking (HART)	Continua	sin unidad	Indica el espaciamiento entre árboles

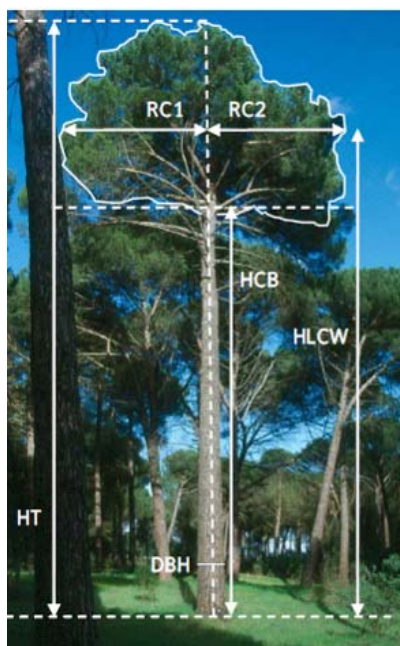


Figura 3. Variables dendrométricas (Lizarralde, 2008)

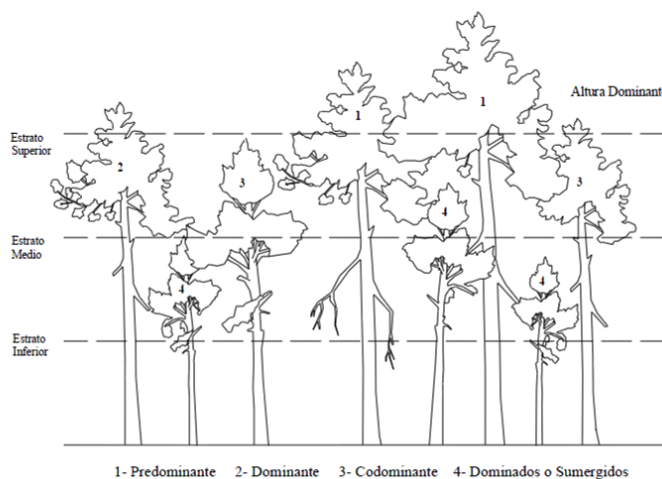


Figura 4. Clases Sociales. (SPCAN-DGB, 2007)

En cuanto a las variables ambientales, para obtener los parámetros edáficos, se recogió una muestra de suelo a 30 cm de profundidad (Martin-Garcia et al., 2012) por cada una de las parcelas estudiadas mediante una azada y una barrena manual. Se almacenó en bolsas de plástico con cierre hermético una cantidad de muestra de entre 0.5 y 1 kg y se enviaron al laboratorio del ITAGRA.CT (Centro Tecnológico Agrario y Alimentario) para analizar los

parámetros básicos (textura ISSS, pH, CE; P, K, Na, Mg, Ca, MO, CT, CaO), elementos gruesos, arena fina, Fe, N total, C/N y CCC, según las metodologías reflejadas en la Tabla 3.

Por otro lado, los datos climatológicos de cada una de las parcelas de estudio, se obtuvieron través del atlas climático digital de la península ibérica (Ninyerola, 2005). Los parámetros que se han considerado en este caso han sido: precipitaciones, temperaturas y radiación solar, tanto mensuales y estacionales, como anuales (Tabla 3).

Tabla 3. Variables edáficas y climáticas, y metodología de obtención de las mismas.

VARIABLES Ambientales	Tipo de variable	Unidad	Metodología, materiales y comentarios adicionales
Edáficas			
pH (pH)	Continua	sin unidad	Potenciometría PNT-S-01
Conductividad (Conduct)	Continua	mS/cm	Conductivímetro (1:2,5)
Elementos gruesos (Elemgrue)	Continua	g/100 g	Tamiz 2 mm
Arena fina (Arfina)	Continua	g/100 g	Tamiz 100 µm
Arena ISSS (Arena)	Continua	g/100 g	Densímetro Bouyoucos
Limo ISSS (Limo)	Continua	g/100 g	Densímetro Bouyoucos
Arcilla ISSS (Arcilla)	Continua	g/100 g	Densímetro Bouyoucos
Textura (Textura)	Categórica	sin unidad	
Materia orgánica oxidable (Morgox)	Continua	g/100g	Volumetría redox. PNT-S-05
Carbonatos (Carb)	Continua	g CaCO ₃ /100g	Bernard. PNT-S-05
Caliza activa (Calactiva)	Continua	g/100 g	Bernard
Fósforo asimilable (Pasim)	Continua	mg/kg	Olsen. PNT-S-04
Potasio asimilable (Kasim)	Continua	mg/kg	Emisión atómica. PNT-S-07
Calcio asimilable (Caasim)	Continua	meq/100 g	Absorción atómica. PNT-S-06
Magnesio asimilable (Mgasim)	Continua	meq/100 g	Absorción atómica. PNT-S-06
Sodio asimilable (Naasim)	Continua	meq/100 g	Emisión atómica.
Nitrógeno total (Ntotal)	Continua	g/100 g	Kjeldahl modificado
Relación C/N (RelCN)	Continua	sin unidad	
Capacidad de cambio catiónico (CCC)	Continua	meq/100 g	
Hierro (Fe)	Continua	mg/kg	Absorción atómica
Climáticas			
Precipitación media mensual (Pmes)	Continua	mm	Atlas Climático Digital de la Península Ibérica (MiraMon)
Precipitación media estacional (Pest)	Continua	mm	Atlas Climático Digital de la Península Ibérica (MiraMon)
Precipitación media anual (PAnual)	Continua	mm	Atlas Climático Digital de la Península Ibérica (MiraMon)
Temperatura media mensual (Tmes)	Continua	°C	Atlas Climático Digital de la Península Ibérica (MiraMon)
Temperatura media estacional (Test)	Continua	°C	Atlas Climático Digital de la Península Ibérica (MiraMon)
Temperatura media anual (TAnual)	Continua	°C	Atlas Climático Digital de la Península Ibérica (MiraMon)
Temperatura mínima media mensual (Tminmes)	Continua	°C	Atlas Climático Digital de la Península Ibérica (MiraMon)
Temperatura mínima media anual (TminAnual)	Continua	°C	Atlas Climático Digital de la Península Ibérica (MiraMon)
Temperatura máxima media mensual (Tmaxmes)	Continua	°C	Atlas Climático Digital de la Península Ibérica (MiraMon)
Temperatura máxima media anual (TmaxAnual)	Continua	°C	Atlas Climático Digital de la Península Ibérica (MiraMon)
Radiación solar media mensual (Radmes)	Continua	10Kj/(m ² *día*micrómetro)	Atlas Climático Digital de la Península Ibérica (MiraMon)
Radiación solar media estacional (Radest)	Continua	10Kj/(m ² *día*micrómetro)	Atlas Climático Digital de la Península Ibérica (MiraMon)
Radiación solar media anual (RadAnual)	Continua	10Kj/(m ² *día*micrómetro)	Atlas Climático Digital de la Península Ibérica (MiraMon)

Por último, se llevó a cabo la evaluación de diversas variables sanitarias en el campo, para definir el decaimiento del arbolado. Éstas aparecen reflejadas en la Tabla 4. Se realizó una evaluación sanitaria en profundidad de cada uno de los 24 árboles seleccionados en cada parcela muestreada, considerando tanto los síntomas como los signos que se observaban directamente en el campo. La evaluación de las copas se realizó con prismáticos. Cabe destacar, como se evaluaron algunas de las variables más relevantes como la defoliación, decoloración o la microfília (Fotos 1, 2 y 3).



Foto 1. Defoliación



Foto 2. Decoloración



Foto 3. Microfília

La defoliación se midió en cuatro rangos de porcentaje de pérdida del follaje que presenta la copa del árbol, tomando los valores que se corresponden con los intervalos de severidad de la Red de Daños Europea (Montoya, 1998). A parte de la clase también se anotó el porcentaje exacto de defoliación, en base a un patrón fotográfico de defoliación de *Pinus pinaster* obtenido de la guía para la evaluación de copas de especies forestales mediterráneas (Sanchez Peña, 1994) (Anexo 1- Fotos 2, 3, 4, 5 y 6).

La decoloración, al igual que la defoliación, también se midió en cuatro rangos de porcentaje de amarillamiento o clorosis que se observaba en la copa, tomando como valores las cuatro clases de severidad que aparecen en la metodología de la Red de Daños Europea (Montoya, 1998).

La microfília o enanismo de las acículas es otro de los síntomas más característicos del decaimiento del pino negro. Este desarrollo anormalmente pequeño de las acículas del árbol, suele estar causado por algún tipo de estrés, carencia de nutrientes o alguna enfermedad. En este caso y mediante la observación con prismáticos, se anotó si el árbol presentaba de forma general esta sintomatología o no.



Foto 4. Muérdago.



Foto 5. Orificio de salida de escolítidos.



Foto 6. Hongos de pudrición.



Foto 7. Hongos del azulado de la madera.

También se apuntó si los árboles mostraban signos de afección por daños bióticos tales como la presencia de plantas parásitas como el muérdago (Foto 4), la presencia de orificios de salida y/o galerías de escolítidos, bupréstidos y/o cerambícidos (Foto 5) y la presencia de algún hongo (Fotos 6 y 7), así como de daños abióticos provocados por el viento o por la falta de luz.

Y además se anotaron otra serie de variables que se consideraron de interés en este apartado, como la pérdida de la guía terminal, el puntisechado, la retención de acículas en años, la presencia de heridas por el aprovechamiento de la resina y el enrojecimiento, oscurecimiento y agrietamiento con o sin resinación de la corteza.

Tabla 4. Conjunto de variables sanitarias contempladas en el estudio.

VARIABLES SANITARIAS	Tipo de variable	Unidad	Metodología, materiales y comentarios adicionales
Porcentaje de Copa Evaluable (Copa)	Continua	%	Asignar de forma visual el porcentaje de la copa que se puede evaluar sanitariamente según la metodología de la red de daños a los bosques de nivel 1
Estado Sanitario General (EstSanit)	Categórica	0-6	0=Sano; 1=Levemente dañado; 2=Más sano que dañado; 3=Más dañado que sano; 4=Muerto en pie; 5=Muerto derribado < de 5 años; 6=Muerto derribado > de 5 años
Clase de Defoliación (Defol)	Categórica ordinal	0-4	0=0-10%; 1=11-25%; 2=26-60%; 3=>60%; 4=100%
Porcentaje de Defoliación (PorcDefol)	Continua	%	Asignar de forma visual y comparando con las fichas tipo (Anexo 1 – Fichas de defoliación), el porcentaje de defoliación
Clase de Decoloración (Decol)	Categórica ordinal	0-4	0=Nula; 1=Ligera; 2=Moderada; 3=Grave; 4=Árbol seco
Pérdida de la Guía Terminal (Guia)	Binaria	0-1	0=Ausencia; 1=Presencia
Producción de Piñas (Piñas)	Continua	Nº	Contabilizar de forma visual el número de piñas de cada árbol

Retención de Acículas (RetAcicul)	Continua	años	Contabilizar de forma visual el número de medidas o años en los que se conservan las acículas de cada árbol
Presencia de Puntisecado (Puntisec)	Binaria	0-1	0=Ausencia; 1=Presencia
Presencia de Microfilia (Microfil)	Binaria	0-1	0=Ausencia; 1=Presencia
Presencia de Líquenes (RecLiq)	Binaria	0-1	0=Ausencia; 1=Presencia
Presencia de Muérdago (Muerdago)	Binaria	0-1	0=Ausencia; 1=Presencia
Porcentaje de Muérdago en ramas (Mramas)	Continua	%	Asignar de forma visual el porcentaje de muérdago que recubre las ramas
Porcentaje de Muérdago en tronco (Mtronco)	Continua	%	Asignar de forma visual el porcentaje de muérdago que recubre el tronco
Presencia de Insectos (Insect)	Binaria	0-1	0=Ausencia; 1=Presencia
Presencia de Hongos (Hongos)	Binaria	0-1	0=Ausencia; 1=Presencia
Nº de Caras Resinadas (Ncarasres)	Continua	Nº	Contabilizar de forma visual el número de caras resinadas en cada árbol
Presencia de Heridas por Resinación (Resinados)	Binaria	0-1	0=Ausencia; 1=Presencia
Presencia de otras heridas (Chancros)	Binaria	0-1	0=Ausencia; 1=Presencia
Nº de Chancros (Nchancros)	Continua	Nº	Contabilizar de forma visual el número de chancros en cada árbol
Apariencia de corteza quemada sin resinación (Cortquemsin)	Binaria	0-1	0=Ausencia; 1=Presencia
Apariencia de corteza quemada con resinación (Cortquemcon)	Binaria	0-1	0=Ausencia; 1=Presencia
Presencia de apariencia de corteza quemada (Cortquem)	Binaria	0-1	0=Ausencia; 1=Presencia
Presencia de daños abióticos (Abiotic)	Binaria	0-1	0=Ausencia; 1=Presencia

4.3. Análisis estadístico

Una vez recopilados todos los datos en campo y en gabinete, se procedió a realizar un análisis estadístico de los mismos, para dar solución a los problemas planteados. Debido a la gran cantidad de datos recopilados, para realizar este primer estudio, se decidió calcular el valor medio de cada variable por parcela. En el caso de las variables binarias, se calculó el porcentaje de árboles que presentaban la sintomatología correspondiente, dentro de cada parcela. La caracterización de estas parcelas en relación a los grupos de las variables que las definen (selvícolas, ambientales y sanitarias) se realizó por separado para ver las correlaciones que existían dentro de cada grupo de variables y a su vez se realizó un Análisis de Componentes Principales (ACP) para reducir la dimensionalidad del conjunto de observaciones. Esta técnica estadística nos ha permitido sintetizar la información reduciendo la dimensionalidad a un menor número de variables, perdiendo la menor cantidad de información posible. Los nuevos componentes principales o factores serán una combinación lineal de las variables originales, y además serán independientes entre sí. La selección de los factores se realizó de forma que recogieran el porcentaje de variabilidad que se consideró suficiente para cada caso. Para clasificar las parcelas muestreadas en función de cada grupo de variables estudiadas, se realizaron Análisis Cluster utilizando el método de Ward y la distancia euclídea al cuadrado. Es decir, la clasificación se realizó por proximidad entre individuos teniendo en cuenta que al unirlos generaran la menor varianza posible.

Por último se realizó un ACP global introduciendo las variables que tenían más peso dentro de cada grupo de variables estudiado, para obtener las variables independientes candidatas a entrar en el modelo de Regresión Logística Multinomial. En este caso se seleccionaron los todos componentes principales cuyo autovalor fue mayor que la unidad.

Estos análisis han sido realizados con los paquetes estadísticos STATGRAPHICS® Centurion XVI (STATGRAPHICS, 2009) para la salida de datos y R versión 2.15.0; (R Development Core Team, 2012) para la obtención de los gráficos, concretamente en la consola Rcomander (versión 1.8-4) con el plugin FactoMiner.

Una vez realizado este análisis previo, se pretendieron conocer los factores asociados a la presencia de algún tipo de estado de decaimiento del arbolado, mediante un modelo de Regresión Logística Multinomial (RLM) (Hosmer and Lemeshow, 1989). El objetivo que resuelve esta técnica es el de modelar cómo influye en la probabilidad de aparición de un suceso politómico, la presencia o no de diversos factores y el valor o nivel de los mismos. Es decir, estimar la probabilidad de aparición de cada una de las posibilidades de un suceso con más de dos categorías.

En este caso se ha llevado a cabo un análisis a nivel de árbol individual, incluyendo todos los árboles evaluados sanitariamente en cada parcela. Se ha considerado como variable respuesta categórica, la clase de estado sanitario o estado de decaimiento del árbol. Para reducir el número de categorías previo que se anotó en el campo, se han agrupado los árboles en tres estados:

Sanos (S) = Sanos + Levemente dañados

Intermedios (I) = Más sanos que dañados + Más dañados que sanos

Muertos (M) = Muertos en pie + Muertos derribados

En principio se ha tomado como categoría de referencia los árboles sanos (S), ya que es la categoría más representativa. Las variables independientes candidatas a formar parte del modelo pueden ser tanto continuas (covariables) como categóricas (factores). Por lo que en este caso se han introducido las variables candidatas obtenidas en el anterior ACP y además se ha considerado interesante introducir como factor, la variable categórica de la región de procedencia.

En los modelos de Regresión Logística Multinomial, lo que tenemos es una variable de respuesta politómica "Y" con más de dos categorías de respuesta que denominaremos; Y_1, Y_2, \dots, Y_k . Se realiza una transformación que consiste en crear varias variables cualitativas dicotómicas ficticias, llamadas variables dummies, y entonces se modela, construyendo varios logits simultáneamente, en concreto uno para cada una de las restantes categorías respecto a la categoría de referencia de la variable dependiente.

Lo que se pretende explicar por tanto, es la probabilidad de cada categoría de respuesta en función de un conjunto de covariables $X = \{X_1, X_2, \dots, X_n\}$ observadas, que en nuestro caso serán las variables seleccionadas en el ACP anterior más el factor de la región de procedencia.

En nuestro caso particular, tenemos tres categorías, es decir, $k=3$, por lo que tendríamos que calcular tres probabilidades:

$$p1=p(Y=1)$$

$$p2=p(Y=2)$$

$$p3=1-(p1+p2)$$

Siendo:

$$p1 = \exp(Z1) / (1 + \exp(Z1) + \exp(Z2))$$

$$p2 = \exp(Z2) / (1 + \exp(Z1) + \exp(Z2))$$

$$p3 = 1 / (1 + \exp(Z1) + \exp(Z2))$$

Y con:

$$Z1 = \text{logit}(p1) = \beta_{01} + \beta_{11} X_1 + \beta_{21} X_2 + \dots + \beta_{n1} X_n$$

$$Z2 = \text{logit}(p2) = \beta_{02} + \beta_{12} X_1 + \beta_{22} X_2 + \dots + \beta_{n2} X_n$$

Donde, $\beta_{01}, \beta_{11}, \beta_{21} \dots \beta_{n1}$ y $\beta_{02}, \beta_{12}, \beta_{22} \dots \beta_{n2}$ son los parámetros que queremos estimar, para ello se utilizará la estimación por máxima verosimilitud, es decir, estimaciones que hagan máxima la probabilidad de obtener los valores de la variable dependiente y proporcionados por los datos de la muestra.

Se analizaron varios modelos utilizando un método gradual o *Stepwise* para seleccionar las variables independientes. En este método se combinan los métodos para la selección de variables hacia adelante y hacia atrás y está basado en contrastes condicionales de razón de verosimilitudes. Y se compararon los modelos obtenidos utilizando el Criterio de Información de Akaike (AIC), el Criterio de Schwarz (SC) y por el estadístico de verosimilitud -2 LOG L.

Este análisis se realizó con el paquete estadístico SAS v.9.2 mediante procedimiento PROC LOGISTIC (SAS Institute INC. SAS/STAT® and USA., 2004)

5. RESULTADOS

5.1. Selección de variables. Análisis de Componentes Principales

Para el caso de las variables selvícolas, se han obtenido las combinaciones lineales de las 12 variables que explican la totalidad de la variabilidad de los datos. Con el fin de reducir la dimensionalidad de estos los datos, se han extraído 2 componentes con autovalores mayores o iguales a 1 (Anexo 2 - Tabla 1). Los dos ejes o componentes representados en la Figura 5 explican el 85.581% de la variabilidad en los datos originales y se puede observar como las variables más próximas a los ejes y con las flechas mas largas son las que mayor peso tienen.

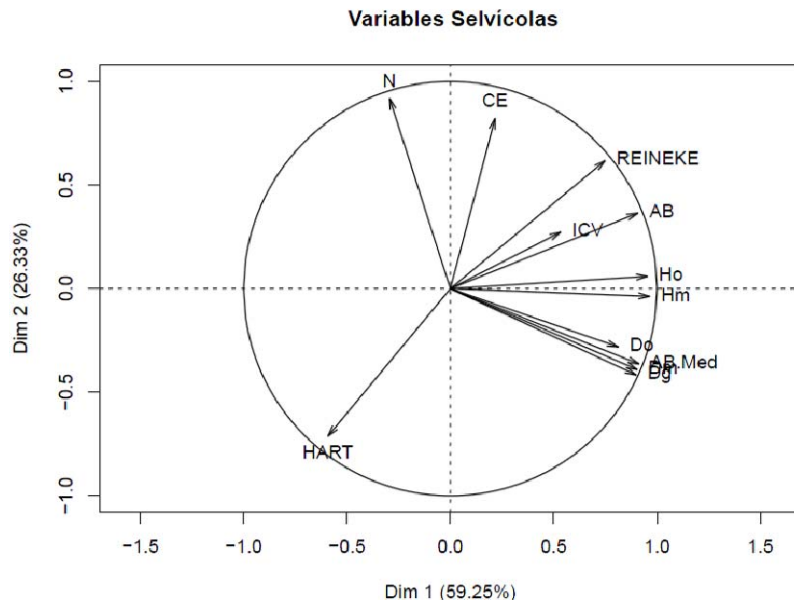


Figura 5. ACP. Representación de las variables dentro de las 2 primeras componentes principales y porcentaje que explica cada eje.

Las variables con mayor valor absoluto dentro de cada componente, fueron las seleccionadas para entrar a formar parte en un posterior Análisis de Componentes Principales global. En este caso, de la componente 1 se seleccionaron, el Área Basimétrica con un coeficiente de 0.34321 y la Altura Dominante con un peso de 0.357614. Y de la segunda componente, se seleccionaron la Densidad, los Índices de Hart y Reineke y el Coeficiente de Esbeltez, cuyos coeficientes son respectivamente, 0.5165760, -0.4006990, 0.3475740, y 0.4626940 (Anexo 2 – Tabla 2)

Del Análisis Cluster realizado, se presenta el dendrograma obtenido (Figura 6) y la partición final resultante. La caracterización de las clases finales se realizó mediante los valores medios de las variables, obteniéndose en este caso dos grupos de parcelas con características selvícolas similares, que podríamos clasificar en parcelas localizadas geográficamente al norte (en rojo) y parcelas localizadas al sur (en negro).

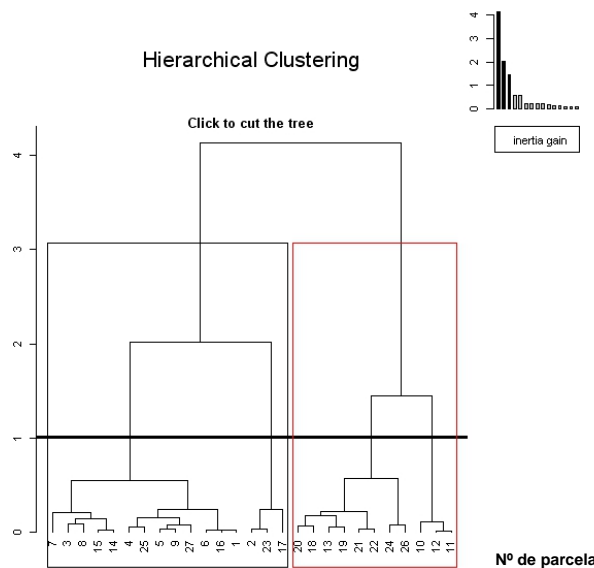


Figura 6. Análisis Cluster. Agrupación de las parcelas muestreadas en función de las variables selvícolas.

Para el conjunto de variables ambientales se han realizado varios Análisis de Componentes Principales por separado. En el grupo de las variables edáficas estudiadas se seleccionaron las cinco primeras componentes principales, considerando los datos expuestos en la Tabla 3 del Anexo 2 según los criterios de selección establecidos anteriormente, es decir, se seleccionaron las 5 primeras componentes que tenían autovalor mayor que la unidad y que explicaban un 78.939 % de la variabilidad de los datos.

En la Figura 7 se pueden observar los 2 primeros ejes o dimensiones que explicarían en conjunto, el 54.873 % de la variabilidad total de los datos.

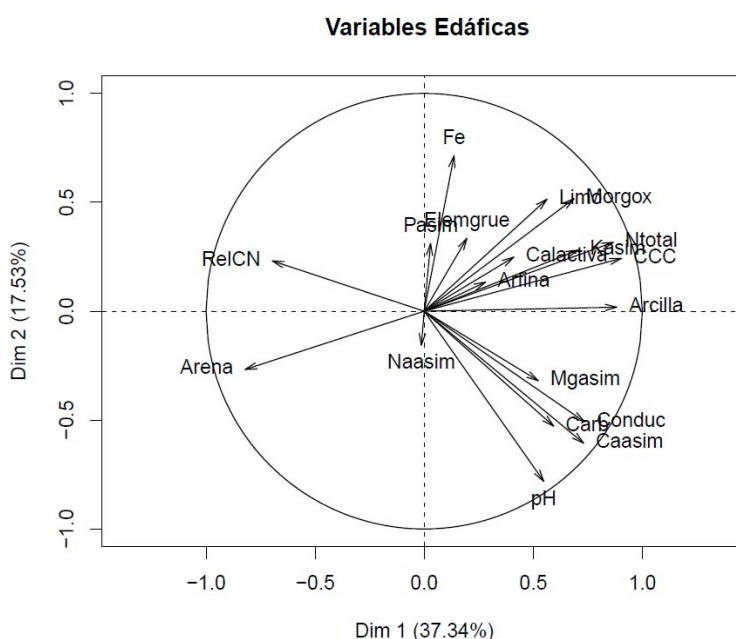


Figura 7. ACP. Representación de los pesos de las variables edáficas en las dos primeras dimensiones.

Para la elección de las variables candidatas para entrar a formar parte del ACP global, se consideró conveniente seleccionar aquellas que pertenecían a las 3 primeras componentes y cuyo peso en valor absoluto fuese mayor (Anexo 2 – Tabla 4). Así pues, de la primera componente se seleccionaron las siguientes variables con sus correspondientes pesos entre paréntesis: Arena (-0.38116), Arcilla (0.33155), Nitrogeno total (0.325291) y Capacidad de Cambio Catiónico (0.339139), de la componente 2, el pH (0.428074) y el Hierro (-0.3909510), y de la componente 3 el Limo (-0.3950860).

En este caso, en la clasificación Cluster, se pueden distinguir dos grupos de parcelas en función de las características edáficas medidas (Figura 8). Por un lado estarían representadas en el recuadro negro, las parcelas del centro de Castilla y León cuya región de procedencia es en todos los casos la de Meseta Castellana, y por otro lado en rojo, aparecerían el resto de parcelas pertenecientes a las regiones de procedencia de las Sierras de Oña, Gredos y Teleno y a la de la Montaña Soriano-Burgalesa. Por lo que parece que esta división indica que existen diferencias entre las parcelas ubicadas en zonas mesetarias y las parcelas localizadas en zonas montañosas.

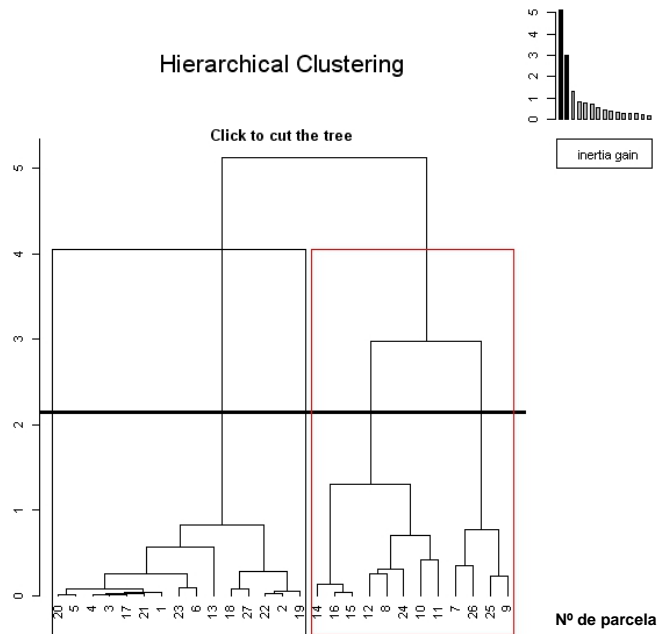


Figura 8. Análisis Cluster. Agrupación de las parcelas muestreadas en función de las variables edáficas.

Por otro lado, también dentro de las variables ambientales, contábamos con gran cantidad de variables climáticas, por lo que se realizaron análisis previos de cada grupo por separado. Concretamente se ha realizado un ACP para las precipitaciones (Anexo 2 - Tablas 5 y 6), otro para las temperaturas (Anexo 2 - Tablas 7 y 8) y otro para la radiación solar (Anexo 2 - Tablas 9 y 10). Y se seleccionaron al igual que en los análisis anteriores, las variables que presentaban mayores coeficientes en valor absoluto, en cada caso.

Con esta selección, se realizó otro análisis resumen de las variables climáticas para realizar la caracterización de las parcelas en función del clima. En la Figura 9 se representan las dos primeras dimensiones que recogen un 67.178 % de la variabilidad.

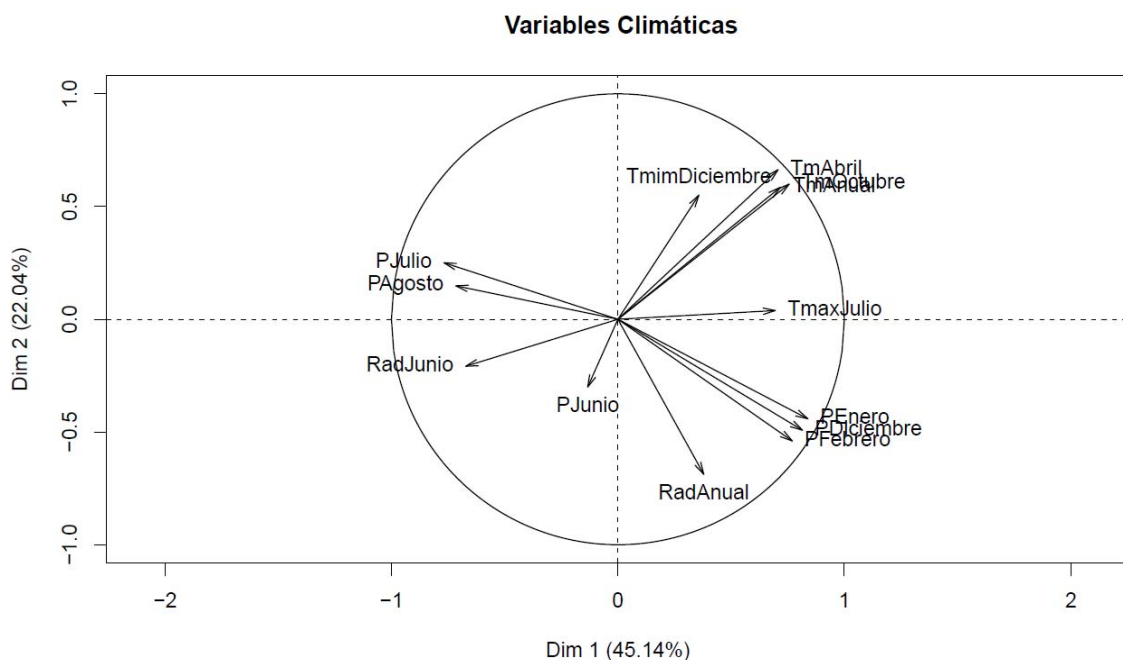


Figura 9. ACP resumen de las variables climáticas. Representación de los dos primeros ejes.

En este caso, las variables climáticas elegidas para introducir en el ACP global fueron (Anexo 2 – Tabla 12); de la componente 1 las precipitaciones las de invierno (diciembre, enero y febrero) cuyos pesos respectivamente fueron (0.336361, 0.346088 y 0.317756) y de la componente 3 las de verano (junio, julio y agosto) con los siguientes coeficientes; (0.592436, 0.384084 y 0.428317). También se seleccionó la temperatura media anual con un peso de 0.3456010 en la componente 2, y de la cuarta componente se eligieron la temperatura máxima de julio (-0.383654) y la radiación solar de junio (0.504119).

En el dendrograma obtenido (Figura 10), se realiza una clasificación en tres grupos o clases en función de las variables climáticas que se corresponden con las distintas zonas de muestreo. Las parcelas recuadradas en verde son las pertenecientes a la Sierra de Gredos. En rojo aparecen las parcelas de Aranda y Cuellar de la región de procedencia de Meseta Castellana, y las de la Sierra del Teleno. Y en negro aparecen parcelas ubicadas más al este; las de la Sierra de Oña, las de la zona de Soria y las de la región de procedencia de la Montaña Soriano-Burgalesa.

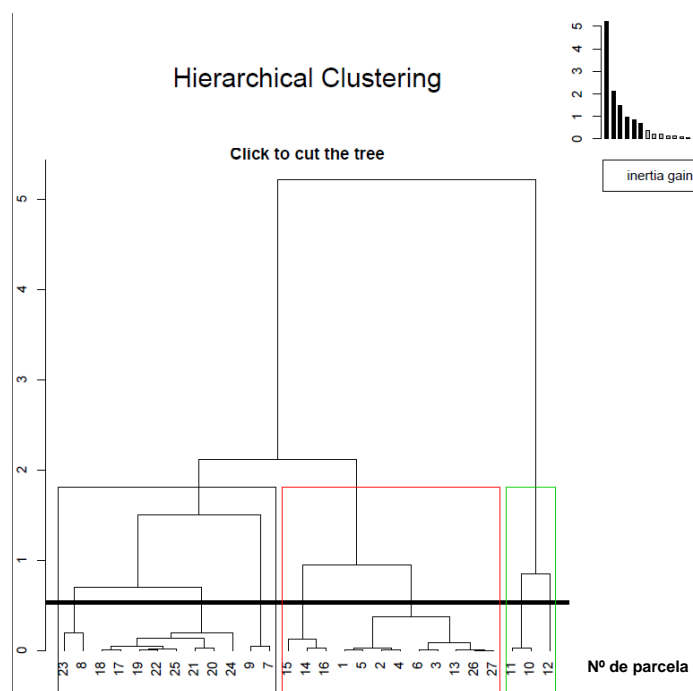


Figura 10. Clasificación Cluster de las parcelas según las variables climáticas.

Finalmente, para las variables sanitarias, en vista de los resultados presentados en el Anexo 2 - Tabla 13, se han seleccionado los primeros 5 componentes que explican un 73.584 % de la varianza y tienen un autovalor mayor que 1. En las Figuras 11 y 12, se han representado los 4 primeros ejes, enfrentados dos a dos, que explican el 65.749 % de la variabilidad de los datos, y de los que finalmente se seleccionaron todas las variables que entraron a formar parte del ACP global según se muestra en el Anexo 2 - Tabla 14.

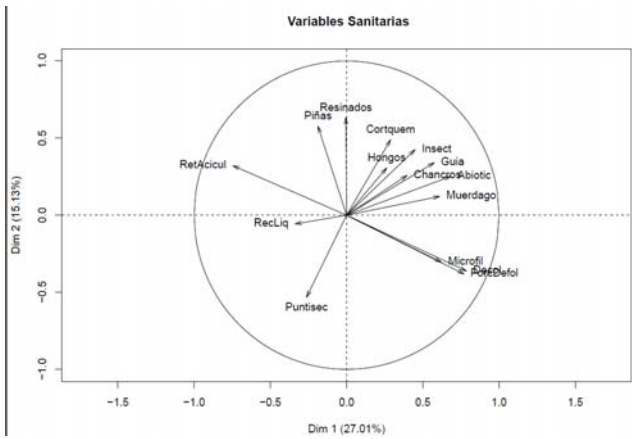


Figura 11. ACP resumen de las variables sanitarias. Ejes 1 y 2.

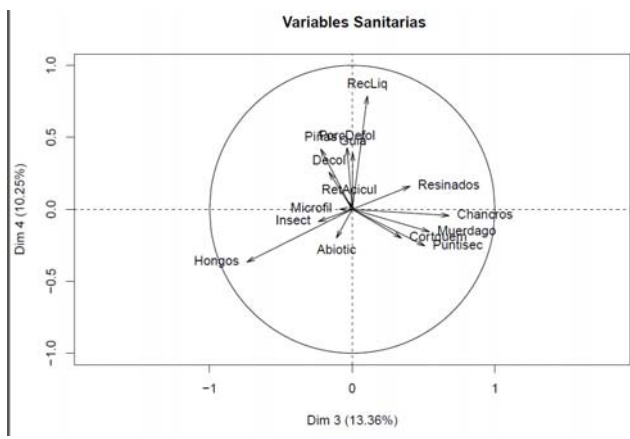


Figura 12. ACP resumen de las variables sanitarias. Ejes 3 y 4.

El Análisis Cluster realizado, agrupa las parcelas según las variables sanitarias estudiadas, en tres clases (Figura 13). En la clase recuadrada en verde se encuentran todas las parcelas pertenecientes a la zona de Aranda, y una de la Sierra de Gredos, donde ya se habían realizado estudios anteriores que indicaban un decaimiento del pino negral, debido principalmente a la presencia de hongos patógenos ofiostomatales o del azulado de la madera. En la clase marcada con un cuadro rojo, están incluidas todas las parcelas pertenecientes a la región de procedencia de la Sierra del Teleno y dos de las tres parcelas correspondientes a la región de procedencia de Oña, zonas que podrían considerarse con estado sanitario intermedio. Y por último en la clase agrupada con un cuadro negro, encontramos principalmente, las parcelas de la región de procedencia de la Montaña Soria-Burgos, dos de las tres parcelas muestreadas en Ávila, y la mayoría de las parcelas de la región de procedencia de Meseta Castellana de Soria y de Cuellar, zonas en general, con un estado sanitario mejor que el de las clases anteriores.

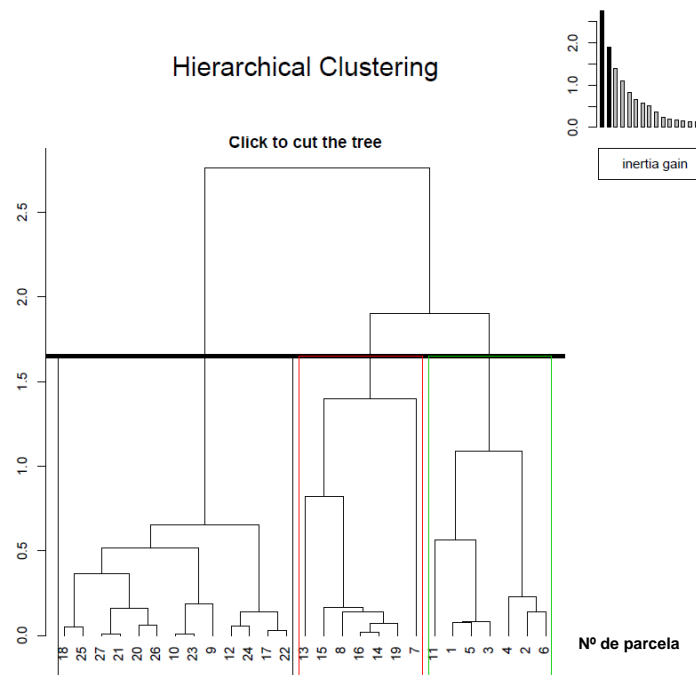


Figura 13. Análisis Cluster. Agrupación de las parcelas muestreadas en función de las variables sanitarias.

Por último, se realizó un ACP global con todas las variables seleccionadas anteriormente para reducir la dimensionalidad y quedarnos con las variables candidatas a entrar en el modelo de Regresión Logística Multinomial, con el que se pretende predecir el estado de decaimiento o estado sanitario del arbolado, en función de todos los grupos de variables analizados anteriormente. Se han incluido por tanto, las variables selvícolas, las ambientales de suelo y de clima y las variables sanitarias. En el Anexo 2 - Figuras 1, 2, 3 y 4, están representados los 8 ejes o componentes principales enfrentados dos a dos que explican en total, un 84.988 % de la variabilidad de los datos y cuyo autovalor es mayor que la unidad.

De modo similar a los análisis realizados anteriormente se han seleccionado las variables con mayor peso en valor absoluto (Anexo 2 – Tabla 15). De esta manera hemos obtenido las variables candidatas a entrar en el modelo de Región Logística Multinomial, cuyos coeficientes fueron los siguientes: Área Basimétrica (0.321282), Nº de pies por ha o Densidad (0.3761670), Porcentaje de Arcilla en el suelo (0.3714340), Hierro presente en el suelo (0.4811800), Precipitación de los meses de Verano (0.3202060), Temperatura media Anual (-0.3215450), Porcentaje de Defoliación (-0.4250120), Presencia de Insectos (-0.4157320), Presencia de Hongos (-0.4236210) y Presencia de Daños Abióticos (0.3816810).

5.2. Construcción del modelo. Regresión Logística Multinomial.

Este análisis se llevó a cabo, tanto a nivel de árbol individual como de parcela. Una vez reducida la dimensionalidad de los datos mediante a selección de las variables candidatas a entrar a formar parte del modelo, también se consideró interesante tener en cuenta los resultados que nos habían ofrecido los Análisis de Clasificación Cluster de las parcelas en función de las variables que las definen. Como pudimos observar en casi todas las clasificaciones, parece que la región de procedencia de las masas evaluadas podría ser un factor interesante a introducir en el modelo, por todo ello la estructura del modelo fue la siguiente:

- Variable dependiente: Estado Sanitario (Sano=S, Intermedio=I, Muerto=M)
- Categoría de referencia: Sano=S
- Factor: Regiones de procedencia, cuyas categorías se introducirán como variables ficticias o dummies. Sierra del Teleno=R2, Sierra de Oña=R3, Sierra de Gredos=R6, Meseta Castilla=R8 y Montaña Soria-Burgos=R9.
- Variables independientes Selvícolas o de rodal:
 - Área Basimétrica=AB, variable continua.
 - Densidad=N, variable continua.
- Variables independientes Ambientales (Edáficas y Climáticas).
 - Porcentaje de Arcilla en el suelo=Arcilla, variable continua.
 - Hierro presente en el suelo=Fe, variable continua.
 - Precipitación de los meses de Verano=Pver, variable continua.
 - Temperatura media Anual=TmAnual, variable continua.

-Variables independientes Sanitarias:

- Porcentaje de defoliación de cada árbol=Pordef, variable continua.
- Presencia/Ausencia de insectos en cada pie=Insect, variable binaria (0,1).
- Presencia/Ausencia de hongos en cada pie=Hongos, variable binaria (0,1).
- Presencia/Ausencia de daños abióticos en cada pie=Abiotic, variable binaria (0,1).

Se han probado varios modelos teniendo en cuenta la región de procedencia y sus interacciones con cada variable, cuyos resultados se muestran en la Tabla 5 (izquierda), en los que se puede observar que solamente las variables sanitarias son significativas. Además, el valor obtenido para el Criterio de Información de Akaike (AIC) en las variables sanitarias es menor, lo que indica que los modelos construidos con estas variables serían los mejores y además minimizarían la pérdida de información. A su vez, se realizaron mas pruebas introduciendo cada una de las variables por separado según se muestra en la Tabla 5 (derecha), obteniéndose resultados muy parecidos.

Tabla 5. Resumen de los modelos probados introduciendo como factor la región de procedencia (izquierda) e introduciendo las variables por separado (derecha).

	Pr<ChiSq	AIC		Pr<ChiSq	AIC
Variables Selvícolas			Variables Selvícolas		
Proc + AB	0.2509	1151.773	AB	0.0626	1142.767
Proc + N	0.5038	1155.008	N	0.1370	1144.333
Variables Ambientales			Variables Ambientales		
Proc + Arcilla	0.7673	1157.759	Arcilla	0.6887	1147.562
Proc + Fe	0.7674	1157.761	Fe	0.5033	1146.935
Proc + Pver	0.2444	1151.666	Pver	0.0334	1141.508
Proc + TmAnual	0.7844	1157.951	TmAnual	0.7523	1147.739
Variables Sanitarias			Variables Sanitarias		
Proc + PorcDefol	<0.0001	481.124	PorcDefol	<0.0001	478.748
Proc + Insect	<0.0001	1039.657	Insect	<0.0001	1036.387
Proc + Hongos	<0.0001	1055.238	Hongos	<0.0001	1036.721
Proc + Abiotic	<0.0001	1091.156	Abiotic	<0.0001	1088.468

Finalmente, el procedimiento de selección del modelo se realizó por el método *Stepwise*, en el que se empieza solamente con la constante y después se van introduciendo cada una de las variables que resultaron significativas paso a paso, considerándose también la posibilidad de eliminar variables en cada uno de los pasos (Anexo 2- Selección del modelo). Para contrastar los modelos iniciales se han realizaron contrastes condicionales de razón de verosimilitudes y una vez seleccionado el modelo final, se contrastaron los parámetros del modelo mediante el procedimiento de Wald, calculándose además, los coeficientes, sus intervalos de confianza y los p-valores. La bondad del ajuste global del modelo se realizó mediante el test de Chi-cuadrado de razón de verosimilitudes (Tablas 6 y 7). Lo que obtuvimos al final, fueron dos ecuaciones de probabilidad, una para la categoría de intermedios en función de los sanos y otra para la categoría de muertos en función de la categoría de referencia de sanos.

Tabla 6. Resultado del modelo seleccionado. Análisis del Estimador de máxima verosimilitud. Estimadores de parámetros.

Parámetro	Estado Sanitario	Estimador	Error Estandar	Chi-cuadrado de Wald	Pr>ChiSq
Intercepto	I	-5.1400	0.5037	104.1474	<0.0001
Intercepto	M	-20.8481	3.7592	30.7563	<0.0001
Hongos_0	I	-0.7555	0.2899	6.7917	0.0092
Hongos_0	M	-2.7773	1.5812	3.0849	0.0790
Abióticos_0	I	-0.6530	0.1730	14.2494	0.0002
Abióticos_0	M	-0.1434	0.5603	0.0066	0.7980
% Defoliación	I	0.1771	0.0160	122.8930	<0.0001
% Defoliación	M	0.3783	0.0446	71.8833	<0.0001

Tabla 7. Resultado del modelo seleccionado. Estimadores de cocientes de disparidad. Ratios de probabilidad.

Efecto	Estado Sanitario	Estimador del punto	95% Wald	Límites de confianza
Hongos_0 vs 1	I	0.2210	0.0710	0.6880
Hongos_0 vs 1	M	0.0040	<0.001	1.9040
Abióticos_0 vs 1	I	0.2710	0.1380	0.5340
Abióticos_0 vs 1	M	0.7510	0.0830	6.7510
% Defoliación	I	1.1940	1.1570	1.2320
% Defoliación	M	1.4600	1.3380	1.5930

$$\exp(-5.14 - 0.7555 \cdot \text{Hong} - 0.6530 \cdot \text{Abiot} + 0.1771 \cdot \text{Defol})$$

$$Pr(I/S) = \frac{\exp(-5.14 - 0.7555 \cdot \text{Hong} - 0.6530 \cdot \text{Abiot} + 0.1771 \cdot \text{Defol})}{(1 + \exp(-5.14 - 0.7555 \cdot \text{Hong} - 0.6530 \cdot \text{Abiot} + 0.1771 \cdot \text{Defol}) + \exp(-20.8481 + 0.3783 \cdot \text{Defol}))}$$

$$Pr(M/S) = \frac{\exp(-20.8481 + 0.3783 \cdot \text{Defol})}{(1 + \exp(-5.14 - 0.7555 \cdot \text{Hong} - 0.6530 \cdot \text{Abiot} + 0.1771 \cdot \text{Defol}) + \exp(-20.8481 + 0.3783 \cdot \text{Defol}))}$$

En las ecuaciones de probabilidad, pudimos observar el efecto positivo del porcentaje de defoliación, obviamente a mayor defoliación mayor probabilidad de que el árbol se encuentre en estado intermedio o muerto. Y los efectos negativos tanto de la ausencia de hongos como de la de daños abióticos. Ninguna de las variables selvícolas y ambientales probadas, entraron a formar parte del modelo de predicción y tampoco el factor de la región de procedencia.

6. DISCUSIÓN

Debido a la gran cantidad de variables de las que se disponía para introducir en el modelo, se decidieron realizar una serie de Análisis de Componentes Principales para reducir la dimensionalidad de los datos y así poder construir un modelo más sencillo. De esta manera además se ha podido realizar una clasificación de las parcelas muestreadas en función de los grupos de las variables que las definen. Así pues, las variables de masa o de rodal como el área

basimétrica, o la densidad de árboles por hectárea influyen en el estado sanitario del arbolado (Linares *et al.*, 2010a), ya que el decaimiento de una masa puede comenzar debido a factores como la competencia. En este sentido, nuestros resultados indican que estas dos variables podrían ser unas buenas candidatas para ser introducidas en el modelo de predicción del estado sanitario del pino negral. Además existen varios estudios que han demostrado que las tasas de mortalidad del arbolado están relacionadas con tasas de crecimiento diamétrico o incremento en área basimétrica (Wyckoff and Clark, 2000; van Mantgem *et al.*, 2003). Por otro lado, un conocimiento de la gestión llevada a cabo en las parcelas es importante debido a que los tratamientos selvícolas pueden influir en el estado sanitario de las masas. Al realizar la clasificación en función de las variables selvícolas estudiadas, hemos visto que las parcelas medidas se dividían en dos grupos. Por un lado, están las parcelas localizadas hacia el sur de Castilla y León encontrándonos con masas de las provincias de Ávila, Soria y Segovia, donde la mayoría pertenecen a la red de parcelas permanentes de la Uva, y han sido gestionadas a lo largo de los años de forma parecida. Este grupo de parcelas por lo que en general, presentaba un estado sanitario bueno. El otro grupo lo conforman principalmente parcelas de Burgos y León, zonas con menos tradición selvícola, generalmente con mayores densidades, con mayor competencia y en general, con mayor cantidad de madera muerta dentro de las masas.

Por otro lado, las variables ambientales tanto climáticas como edáficas, influyen en gran medida en la producción de las masas de *P. pinaster* (Bravo-Oviedo *et al.*, 2011). En nuestros resultados se observa que variables como el contenido de arcilla y de hierro en el suelo son las que mayor peso tienen dentro del ACP. El Análisis Cluster realizado nos dividió las parcelas muestreadas en dos grupos, por un lado parcelas localizadas en zonas montañosas en las que los suelos son más arcillosos y por otro lado las parcelas pertenecientes a la meseta, donde los suelos son claramente arenosos. Las características del suelo pueden influir a su vez en el estado sanitario del arbolado, y elementos como el hierro (variable candidata a entrar en el modelo), juegan un papel importante en la formación de la estructura del suelo y contribuyen además a realizar la fotosíntesis favoreciendo así el crecimiento y el vigor de las plantas (Acevedo-Sandoval, 2004). Y en cuanto al clima, las variables candidatas a entrar en el modelo de predicción del estado sanitario del pino negral en Castilla y León, fueron la temperatura media anual y las precipitaciones estacionales de verano, por cierto, ambas bastante utilizadas para expresar de forma cuantitativa la influencia del clima sobre el estado sanitario y el crecimiento o vigor del arbolado (Sanz-Ros *et al.*, 2008; Cotillas *et al.*, 2009). En nuestros resultados, las parcelas muestreadas en función de las variables climáticas, se agrupan claramente por zonas geográficas y/o regiones de procedencia. La clase que comprende las parcelas de la Sierra de Gredos muestra una pluviometría media bastante más elevada que las otras dos clases que aparecen en el dendrograma. Y de las otras dos clases, la zona este de Castilla y León, que comprende las regiones de Sierra de Oña, Soria y Montaña Soriano-Burgalesa presenta valores más altos de precipitación de verano, que la clase que agrupa a las parcelas de la zona oeste de

Cuellar, Aranda y Teleno. La sequía estival a menudo ha sido considerada como un factor que incita al decaimiento de los bosques; ya que debilita al árbol y facilita la entrada de agentes patógenos que pueden llegar a provocarle la muerte (Desprez-Loustau *et al.*, 2006). Además, en coníferas mediterráneas cuando se producen largos periodos de sequía, disminuye de forma importante el crecimiento en diámetro, siendo más afectados en este sentido, los árboles dominados o suprimidos por competencia (Martin-Benito *et al.*, 2008; Linares and Tiscar, 2011). Por todo ello, las variables ambientales seleccionadas, parece que podrían tener sentido a la hora de explicar el estado sanitario del pino negral.

Los resultados obtenidos en el ACP y posterior clasificación Cluster de las parcelas en función de las variables sanitarias, parecen indicar que se realizó una buena selección de variables para cuantificar el decaimiento. En estudios de decaimiento de otras especies forestales, se han utilizado variables similares para cuantificar el estado sanitario (Klepzig *et al.*, 1991; Oliva and Colinas, 2007). La defoliación es una de las variables que más se utilizan para cuantificar el decaimiento de un árbol, sobre todo es un buen indicador cuando el árbol se encuentra en la última etapa de esta fase (Oliva and Colinas, 2007). La producción de piñas es también una variable interesante, que a su vez puede relacionarse con el estrés hídrico (Solberg, 2004) que produce además microfilia o enanismo en las acículas y una menor retención de las mismas, ambos síntomas utilizados en el presente estudio. El aumento en la presencia de plantas parásitas como el muérdago en nuestra región, es otro indicador de la salud de los bosques (Oliva and Colinas, 2010). Además en *P. pinaster*, también existe una relación clara entre los hongos patógenos que atacan a esta especie como es el caso de varios tipos de ofiostomatales y sus insectos vectores generalmente pertenecientes a la familia de los escolítidos (Bueno *et al.*, 2007; Romon *et al.*, 2007), por ello otras variables consideradas en este estudio fueron el porcentaje de árboles que presentaban presencia de insectos en cuanto a que se observaban orificios de salida de escolítidos y también se consideró, el porcentaje de árboles afectados tanto por hongos ofiostomatales o del azulado de la madera como por otros hongos que presentaban algún tipo de micelio blanquecino. En todas las parcelas se tomaron muestras de tejidos para identificar la presencia de *Ophistoma sp.* y de *Heterobasidion annosum*, que aún están en proceso de análisis en el laboratorio de patología, por lo cual, no se han introducido los resultados en el presente estudio. Y otras variables observacionales anotadas, fueron los árboles afectados por daños abióticos como el derribo por viento o la deformación por falta de luz y por competencia, y también si estaban resinados o no. Así pues, la clasificación obtenida en función de todas estas variables, nos agrupó las parcelas en tres zonas que podemos caracterizar como regiones con estado sanitario general bueno, intermedio y malo. Las parcelas que aparecieron en la clase con estado sanitario bueno, son en su mayoría las pertenecientes a zonas de Soria, Montaña Soria-Burgos y Ávila, todas ellas con tradición maderera, ya que estas regiones de procedencia presentan madera de calidad y por lo tanto en la mayoría se ha llevado una gestión las masas para el mantenimiento del aprovechamiento. En ellas la defoliación era menor y

presentaban en general menos daños tanto bióticos como abióticos. Las parcelas agrupadas en la clase intermedia fueron principalmente la de las Sierras de Oña y del Teleno, lugares donde la madera no es de tanta calidad y por lo tanto se aprovecha menos y se gestiona menos el monte, pero estas masas en general, se desarrollan bien debido a que se encuentran con un suelo y un clima aptos. Esto nos lleva a pensar que haya más daños provocados por factores abióticos, se encuentren más árboles muertos y por lo tanto presenten un estado sanitario intermedio. Y por último, obtuvimos que las parcelas pertenecientes a la zona de Aranda - Ribera del Duero de la Meseta Castellana, donde se ha llevado a cabo un aprovechamiento para la obtención de resina, las masas en general están más decaídas o debilitadas presentando mayor defoliación, decoloración, microfilia, y presencia de agentes bióticos como el muérdago y hongos del azulado de la madera.

El uso de modelos de Regresión Logística Multinomial parece indicado para resolver problemas en los que se cuenta con variables continuas y categóricas (Pando, 2004), tanto a nivel de árbol individual como de parcela, por ello se ha optado por elegir esta técnica. Tras realizar un ACP global, se obtuvieron las variables candidatas a entrar en el modelo de predicción del estado sanitario de *P. pinaster* en Castilla y León. Parece que en conjunto las variables de rodal, los factores ambientales climáticos y edáficos, y las variables sanitarias, podrían explicar la probabilidad de que un árbol estuviera sano, enfermo o intermedio, o muerto, ya que en otros estudios (Scherer, 2004; Dieguez-Aranda *et al.*, 2005; Hennon *et al.*, 2009; Fontes *et al.*, 2010) se habían obtenido resultados positivos. En el modelo de Regresión Logística Multinomial realizado, debido a los resultados obtenidos a través del Análisis Cluster, se optó también, por contar con el factor genético de la Región de Procedencia, ya que parecía ser otro buen predictor. Pero finalmente, los resultados obtenidos en nuestro estudio a nivel regional no fueron los esperados, ya que este estado de decaimiento solamente estaría explicado por algunas de las variables sanitarias introducidas. Esto parece obvio, pero nos está dando la información de que cuando un árbol se encuentra debilitado por algún tipo de daño abiótico como la competencia o la falta de luz, se produce una mayor defoliación y el árbol tiende a ser atacado por agentes bióticos como los hongos patógenos que le pueden llegar a causar la muerte.

Aunque algunas variables de rodal como el área basimétrica cuando interaccionan con el índice de sitio son buenos predictores de la mortalidad de *P. pinaster* (Bravo-Oviedo *et al.*, 2006), esta variable en nuestro caso no ha tenido efecto significativo en el modelo. La densidad de la masa, relacionada a su vez con la competencia intraespecífica (Linares *et al.*, 2010b) nos hacía pensar que sería buena candidata, pero tampoco ha resultado ser significativa. Por lo tanto, las variables selvícolas seleccionadas en nuestro estudio, no influirían a nivel regional en el estado sanitario del pino negral.

Por otro lado, también existen estudios que modelizan el efecto de los factores ambientales edáficos sobre el desarrollo de los árboles en nuestra región. Así, Martín-García *et*

al., (2012) nos sugiere que suelos pobres en Hierro (variable de peso candidata a entrar en nuestro modelo) indican una menor disponibilidad de nutrientes y por lo tanto un menor desarrollo de la copa. Asimismo (Bravo and Montero, 2001; Bravo *et al.*, 2011) utilizan el porcentaje de arcilla en el suelo para construir modelos y calcular el índice de sitio de otras coníferas mediterráneas. Pero en nuestro caso, estas variables edáficas introducidas en el modelo, tampoco han sido significativas.

Las variables climáticas seleccionadas de precipitación de verano y temperatura, tampoco han resultado ser significativas dentro del modelo, al contrario de lo que se esperaba, ya que en numerosos estudios a nivel global se ha contemplado que el cambio climático con sus variaciones en cuanto a precipitaciones y temperatura, influye en el decaimiento o estado sanitario de los bosques (Cook and Johnson, 1989; Benito Garzon *et al.*, 2008; Sanchez-Salguero *et al.*, 2012). Así pues, en nuestro estudio las variables climáticas no servirían para explicar el estado sanitario.

Y por último, el factor de la región de procedencia y sus interacciones con las variables probadas en el modelo, no resultó ser en ninguno de los casos significativo, aunque los resultados obtenidos en el ACP nos hicieran pensar que podría jugar un papel importante a la hora de predecir el estado de decaimiento. Por lo tanto, esto nos indica que el estado sanitario del pino negral en Castilla y León tampoco depende de su origen y características genéticas.

7. CONCLUSIONES

(1) Las variables relacionadas a priori con el decaimiento del pino negral en las parcelas muestreadas han sido: de tipo dasométrico; la densidad y el área basimétrica, de tipo edáfico; el contenido en hierro y en arcilla, las climáticas; precipitación de verano y temperatura, y las sanitarias, representadas por la defoliación y la presencia/ausencia de insectos, hongos y daños abióticos.

(2) Se han establecido grupos bien diferenciados en base a la caracterización de las parcelas en función de los grupos de variables estudiadas, generalmente separados en las diferentes zonas geográficas de Castilla y León y relacionados por tanto, con las diferentes regiones de procedencia de *P. pinaster*. En función de las variables selvícolas se han establecido dos grupos; parcelas localizadas al sur (Ávila, Soria y Segovia) y por otro lado, parcelas de León y Burgos localizadas hacia el norte. En función de las variables edáficas, se han establecido dos clases diferenciadas en; zonas montañosas (Sierras de Oña, Teleno y Gredos y Montaña Soria-Burgos) y en zonas de meseta (Meseta Castellana). En la caracterización según las variables climáticas se han diferenciado tres grupos: (a) parcelas de la región de procedencia Sierra de Gredos, (b) región de procedencia Sierra del Teleno más las parcelas de la zona este de Meseta Castellana y (c) regiones de procedencia Sierra de Oña y Montaña Soria-Burgos más las parcelas al oeste de Meseta Castellana. Y por último, en función de las variables sanitarias se

han establecido tres grupos, parcelas con decaimiento de la zona de Aranda - Ribera del Duero, parcelas con estado sanitario intermedio de las zonas de Oña y Teleno, y parcelas con mejor estado sanitario en general (zonas de Cuellar, Montaña Soriano-burgalesa, Ávila y Soria).

(3) Se ha construido un modelo para predecir la probabilidad del estado sanitario del pino negral en Castilla y León a nivel de árbol individual, que incluye como parámetros, el porcentaje de defoliación, la presencia/ausencia de hongos y la presencia/ausencia de daños provocados por factores abióticos. Sin embargo, según nuestras primeras aproximaciones, la probabilidad de que un árbol se encuentre en un estado determinado de decaimiento, no depende ni de las variables de rodal como el área basimétrica o la densidad, ni de las variables edáficas como el contenido de arcilla o de hierro en el suelo, ni de las variables climáticas como la precipitación de verano o la temperatura media anual. Además, el factor de la región de procedencia y su interacción con el resto de las variables estudiadas, tampoco influye en el estado sanitario del pino negral.

(4) Un estudio más profundo de las variables muestreadas, junto con el análisis de las muestras tomadas en campo, tanto de los cores o canutillos para determinar el crecimiento de los últimos 5 años a través de la dendrocronología, como de las muestras de tejido para identificar de forma molecular los posibles hongos patógenos albergados en ellos, nos permitirá completar el presente trabajo.

8. BIBLIOGRAFÍA

- Acevedo-Sandoval O, Ortiz-Hernández E, Cruz-Sánchez M, Cruz-Chávez E. 2004. El papel de óxidos de hierro en suelos. Terra Latinoamericana [en línea] Disponible en Internet: <http://redalyc.uaemex.mx/src/inicio/ArtPdfRed.jsp?iCve=57311096013>. ISSN 1870-9982. 22.
- Alía R, Martín S, De Miguel J, Galera R, Agúndez D, Gordo J, Salvador L, Catalán G, Gil L. 1996. Regiones de procedencia, *Pinus pinaster* Aiton. Ministerio de Medio Ambiente, Organismo Autónomo Parques Nacionales (DGCONA), Madrid.
- Álvarez Baz G, Díez Casero JJ, Fernández Fernández M. 2008. Hongos asociados al decaimiento de *Pinus pinaster* en España, Proyectos fin de carrera de la ETSIA. Montes, s.n. Universidad de Valladolid.
- Arnold AE. 2007. Understanding the diversity of foliar endophytic fungi: progress, challenges, and frontiers. Fungal Biology Rev. 21, 51-66.
- Benito Garzon M, Sanchez de Dios R, Sainz Ollero H. 2008. Effects of climate change on the distribution of Iberian tree species. Appl. Veg. Sci. 11, 169-178.
- Bert H. 1990. Vitalité actuelle et passée du sapin (*Abies alba* Mill.) dans le Jura- Étude dendroécologique. Annales des Sciences Forestières 47.
- Bogino SM, Bravo F, Fernández Nieto MJ. 2008. Climate and forest growth in Mediterranean environments : *Pinus pinaster* and *Pinus sylvestris* in Spain. Tesis doctoral. Departamento de Producción Vegetal y Recursos Forestales, s.n. Universidad de Valladolid.
- Boltz F, Carter DR. 2006. Multinomial logit estimation of a matrix growth model for tropical dry forests of eastern Bolivia. Can. J. For. Res.-Rev. Can. Rech. For. 36, 2623-2632.

- Bravo F, Montero G. 2001. Site index estimation in Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) stands in the High Ebro Basin (northern Spain) using soil attributes. *Forestry* 74, 395-406.
- Bravo F, Luca M, Mercurio R, Sidari M, Muscolo A. 2011. Soil and forest productivity: a case study from Stone pine (*Pinus pinea* L.) stands in Calabria (southern Italy). *Forest-Biogeosciences and Forestry* 4, 25-30.
- Bravo-Oviedo A, Roig S, Bravo F, Montero G, del-Rio M. 2011. Environmental variability and its relationship to site index in Mediterranean maritime pine. *Forest Systems* 20, 50-64.
- Bravo-Oviedo A, Sterba H, del Rio M, Bravo F. 2006. Competition-induced mortality for Mediterranean *Pinus pinaster* Ait. and *P. sylvestris* L. *Forest Ecology and Management* 222, 88-98.
- Bueno A, Diez JJ, Fernandez MM. 2007. Ophiostomatoid Fungi Transported by *Ips sexdentatus* (Coleoptera, Scolytidae) in *Pinus pinaster* in NW Spain. *Silva. Fenn.* 44, 387-397.
- Canales J, Avila C, Canovas FM. 2011. A maritime pine antimicrobial peptide involved in ammonium nutrition. *Plant Cell Environ.* 34, 1443-1453.
- Chakraborty S, Tiedemann AV, Teng PS. 2000. Climate change: potential impact on plant diseases. *Environ. Pollut.* 108, 317-326.
- Cook ER, Johnson AH. 1989. Climate Change and Forest Decline - a Review of the Red Spruce Case. *Water Air and Soil Pollution* 48, 127-140.
- Cotillas M, Sabate S, Gracia C, Ma Espelta J. 2009. Growth response of mixed mediterranean oak coppices to rainfall reduction. Could selective thinning have any influence on it? *Forest Ecology and Management* 258, 1677-1683.
- del Rio M, Bravo F, Pando V, Sanz G, de Grado RS. 2004. Influence of individual tree and stand attributes in stem straightness in *Pinus pinaster* Ait. stands. *Annals of Forest Science* 61, 141-148.
- Desprez-Loustau ML, Marcais B, Nageleisen LM, Piou D, Vannini A. 2006. Interactive effects of drought and pathogens in forest trees. *Annals of Forest Science* 63, 597-612.
- DGCONA. 2002. Mapa Forestal Español. Base de datos de la naturaleza. Ministerio de Medio Ambiente. Madrid, 554 pp.
- Dieguez-Aranda U, Castedo-Dorado F, Alvarez-Gonzalez JG, Rodriguez-Soalleiro R. 2005. Modelling mortality of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) plantations in the northwest of Spain. *European Journal of Forest Research* 124, 143-153.
- Duchesne L, Ouimet R, Morneau C. 2003. Assessment of sugar maple health based on basal area growth pattern. *Can. J. For. Res.-Rev. Can. Rech. For.* 33, 2074-2080.
- Fontes L, Bontemps JD, Bugmann H, Van Oijen M, Gracia C, Kramer K. 2010. Models for supporting forest management in a changing environment. *Forest Systems* 19, 8-29.
- Hansen AJ, Neilson RR, Dale VH, Flather CH, Iverson LR, Currie DJ. 2001. Global change in forests: Responses of species, communities, and biomes. *Bioscience* 51, 765-779.
- Hennon PE, McWilliams MG. 1999. Decline symptoms do not develop with grafting from dying yellow-cedar. *Can. J. For. Res.-Rev. Can. Rech. For.* 29, 1985-1988.
- Hennon PE, Wittwer DT, D'Amore DV, Lamb M. 2009. Yellow-cedar decline: Key landscape features and snow modeling of a climate-induced forest decline on a dormant volcano. *Phytopathology* 99, S52-S52.
- Hennon PE, D'Amore DV, Schaberg PG, Wittwer DT, Shanley CS. 2012. Shifting Climate, Altered Niche, and a Dynamic Conservation Strategy for Yellow-Cedar in the North Pacific Coastal Rainforest. *Bioscience* 62, 147-158.

- Hertel G. 1988. Proceedings of the US/FRG research symposium: effects of atmospheric pollutants on the spruce-fir forests of the Eastern United States and the Federal Republic of Germany. 1987 October 19-23; Burlington, VT. USDA For. Serv., Gen. Tech. Rep. NE-120.
- Hosmer DW, Lemeshow S. 1989. Applied logistic regression. Wiley Interscience. New York.
- Jactel H, Nicoll BC, Branco M, Gonzalez-Olabarria JR, Grodzki W, Langstrom B. 2009. The influences of forest stand management on biotic and abiotic risks of damage. *Annals of Forest Science* 66.
- Klepzig KD, Raffa KF, Smalley EB. 1991. Association of an Insect-Fungal Complex with Red Pine Decline in Wisconsin. *Forest Sci* 37, 1119-1139.
- Linares JC, Camarero JJ, Bowker MA, Ochoa V, Carreira JA. 2010a. Stand-structural effects on *Heterobasidion abietinum*-related mortality following drought events in *Abies pinsapo*. *Oecologia* 164, 1107-1119.
- Linares JC, Camarero JJ, Carreira JA. 2010b. Competition modulates the adaptation capacity of forests to climatic stress: insights from recent growth decline and death in relict stands of the Mediterranean fir *Abies pinsapo*. *J. Ecol.* 98, 592-603.
- Linares JC, Tiscar PA. 2011. Buffered climate change effects in a Mediterranean pine species: range limit implications from a tree-ring study. *Oecologia* 167, 847-859.
- Lizarralde I, Bravo F. 2008. Dinámica de rodales y competencia en las masas de pino silvestre (*Pinus sylvestris* L.) y pino negral (*Pinus pinaster* Ait.) de los sistemas central e ibérico meridional. Tesis doctoral. Universidad de Valladolid.
- Manion P. 1991. Tree Disease Concepts. Prentice-Hall 2nd edition, 402 p.
- Martin-Benito D, Cherubini P, del Rio M, Canellas I. 2008. Growth response to climate and drought in *Pinus nigra* Arn. trees of different crown classes. *Trees-Struct. Funct.* 22, 363-373.
- Martin-García J, Merino A, Díez JJ. 2012. Relating visual crown conditions to nutritional status and site quality in monoclonal poplar plantations (*Populus x euramericana*). *European Journal of Forest Research* 131, 1185-1198.
- Montoya R. 2001. La sanidad forestal en España. III Congreso Forestal Español, Granada. 25-28 de septiembre de 2001.
- Montoya R, Sánchez G, González, MR, Jiménez R. 1998. La Red Europea De Seguimiento De Daños En Los Bosques (Nivel 1) En España, 1987-1996. Ed. Organismo Autónomo De Parques Nacionales (Ministerio De Medio Ambiente), Madrid, España., 557 pp.
- Ninyerola M, Pons, X, Roure, JM. 2005. Atlas Climático Digital de la Península Ibérica. Metodología y aplicaciones en bioclimatología y geobotánica. Universidad Autónoma de Barcelona, Bellaterra. ISBN 932860-8-7.
- Oliva J, Colinas C. 2007. Decline of silver fir (*Abies alba* Mill.) stands in the Spanish Pyrenees: Role of management, historic dynamics and pathogens. *Forest Ecology and Management* 252, 84-97.
- Oliva J, Colinas C. 2010. Epidemiology of *Heterobasidion abietinum* and *Viscum album* on silver fir (*Abies alba*) stands of the Pyrenees. *Forest Pathology* 40, 19-32.
- Pando V, San-Martin R. 2004. Regresión Logística Multinomial. Cuadernos de la Sociedad Española de Ciencias Forestales, 323-327.
- Payette S, Fortin MJ, Morneau C. 1996. The recent sugar maple decline in southern Quebec: Probable causes deduced from tree rings. *Can. J. For. Res.-Rev. Can. Rech. For.* 26, 1069-1078.
- Prieto-Recio C, Romeralo C, Bezos D, Martin-García J, Martínez-Alvarez P, Botella L, et al. 2012. First Report of *Heterobasidion annosum* on *Pinus pinaster* in Spain. *Plant Disease* 96, 770.

- R Development Core Team. 2012. R: a language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing. ISBN:3-900051-07-0, URL:<http://www.r-project.org>, Vienna.
- Rodriguez-Soalleiro R, Lucas JA, Alejano R, del Rio M, Torres E, Cantero A. 2008. Selvicultura de *Pinus pinaster* subespecie mesogeensis. Compendio de selvicultura aplicada en España. Montero G, Serrada R, Reque JA. (Eds.), 399-430.
- Roe GH, Baker MB. 2007. Why is climate sensitivity so unpredictable? *Science* 318, 629-632.
- Romon P, Zhou X, Iturrondobeitia JC, Wingfield MJ, Goldarazena A. 2007. Ophiostoma species (Ascomycetes: Ophiostomatales) associated with bark beetles (Coleoptera : Scolytinae) colonizing *Pinus radiata* in northern Spain. *Canadian Journal of Microbiology* 53, 756-767.
- Sanchez Peña G, Beccu E, Canu G, Cocco S, Bussotti F, Ferretti M, Cozzi A, Cenni E, Conceicao Andrada M. 1994. Especies Forestales Mediterráneas. Guía para la Evaluación de Copas. CEC-UN/ECE, Brussels, Geneva.
- Sanchez-Salguero R, Navarro-Cerrillo RM, Swetnam TW, Zavala MA. 2012. Is drought the main decline factor at the rear edge of Europe? The case of southern Iberian pine plantations. *Forest Ecology and Management* 271, 158-169.
- Sanz-Ros A, Díez JJ. 2008. Influence of climatic variables on crown condition in pine forests of Northern Spain: current state and climate change scenarios. En: Bravo, F; LeMay, V; Jandl R; von Gadow K (Eds.). *Managing Forest Ecosystems: Challenge of Climate Change*. Kluber Scientific.
- SAS Institute INC. SAS/STAT®, USA. I. 2004. User's Guide. Version 9.2. Cary, NC: SAS Institute.
- Scherm H. 2004. Climate change: can we predict the impacts on plant pathology and pest management? *Can. J. Plant Pathol.-Rev. Can. Phytopathol.* 26, 267-273.
- Solberg S. 2004. Summer drought: a driver for crown condition and mortality of Norway spruce in Norway. *Forest Pathology* 34, 93-104.
- Soria S, Saiz de Omeñaca JA; Rodríguez-Carmona MA. 2001. Estudio de las enfermedades que afectan a *Pinus pinaster* Ait. en montes de Patrimonio Nacional de el Escorial (Madrid) y determinación del agente o agente causales. Patrimonio Nacional. Servicio de Jardines y montes. Madrid.
- SPCAN-DGB. 2007. Red de Seguimiento de Daños en los Montes (Red CE de Nivel I). Manual de Campo. Ministerio de Medio Ambiente.
- STATGRAPHICS. 2009. STATGRAPHICS® Centurion XVI User Manual. StatPoint Technologies, Inc.
- Thomas FM, Blank R, Hartmann G. 2002. Abiotic and biotic factors and their interactions as causes of oak decline in Central Europe. *Forest Pathology* 32, 277-307.
- van Mantgem PJ, Stephenson NL, Mutch LS, Johnson VG, Esperanza AM, Parsons DJ. 2003. Growth rate predicts mortality of *Abies concolor* in both burned and unburned stands. *Canadian Journal of Forest Research-Revue Canadienne De Recherche Forestiere* 33, 1029-1038.
- Wyckoff PH, Clark JS. 2000. Predicting tree mortality from diameter growth: a comparison of maximum likelihood and Bayesian approaches. *Canadian Journal of Forest Research-Revue Canadienne De Recherche Forestiere* 30, 156-167.
- Zierl B. 2004. A simulation study to analyse the relations between crown condition and drought in Switzerland. *Forest Ecology and Management* 188.

Anexo 1. Material y Métodos.

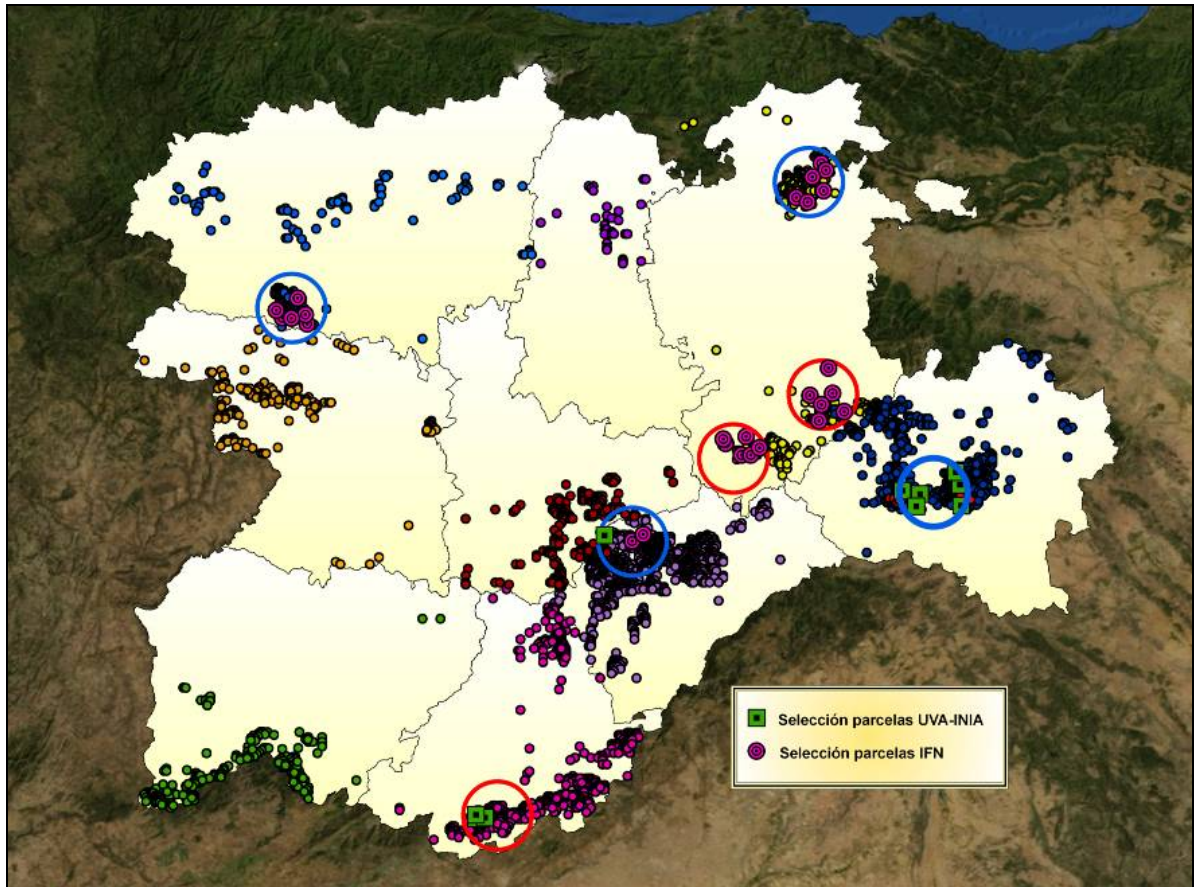


Figura 1. Parcelas del IFN cuya especie principal es el pino negral.

En rojo, zonas con decaimiento y en azul zonas con estado sanitario desconocido.



Foto 1. Toma de muestras y marcado de los árboles.

Ficha1. Estadillo para la toma de datos. Hoja 1.

Factores que Influyen en el Decaimiento del Pino Negral en Castilla y León

PROVINCIA	
TERMINO MUNICIPAL	
FECHA	

COORDENADAS UTM CENTRO	X:
ALTITUD	Y:
ORIENTACIÓN	Z:
PENDIENTE	

TIPO DE MASA (1-3)	
FORMA DE MASA (1-6)	
ESPECIE PRINCIPAL (codigo)	
ESPECIES SECUNDARIAS	
ORIGEN (1-3)	
REGENERACIÓN (pies/ha)	Cuadrantes ocupados
ESPEJURA (1-3)	
EDAD MEDIA (1-8)	
Espesor de corteza	
LABORES SELVICOLAS	

DESCRIPCIÓN Y LOCALIZACIÓN ARBOLES													EVALUACIÓN DE ARBOLES DE MUESTREO											
Arbol	Nº Chapa	Sp	Rumbo (G)	Distancia (m)	Clase Social (1-4)	Diámetro Normal 1 (cm)	Diámetro Normal 2 (cm)	Altura Total (m)	Altura Base de la copa (m)	Altura a Máx Anchura de Copa (m)	Radios de Copa (cm)			Copa Evaluable (%)	Estado Sanitario (0-9)	Defoliación (0-4)	Defoliación (%)	Decoloración (0-4)	Pérdida Guía (0-1)	Producción Piñas (0-3)	Retención Acículas (años)	Puntiseado (0-1)	Microfía (0-1)	Arbol
											D1	P1	D2 P2											
1																								1
2																								2
3																								3
4																								4
5																								5
6																								6
7																								7
8																								8
9																								9
10																								10
11																								11
12																								12
13																								13
14																								14
15																								15
16																								16
17																								17
18																								18
19																								19
20																								20
21																								21
22																								22
23																								23
24																								24
25																								25

Ficha 2. Estadillo para la toma de datos. Hoja 2.

EVALUACIÓN DE ARBOLES DE MUESTREO															
Arbol	Nº Chapa	Recubrimiento de Liqueños (0-1)	Presencia de Muérdago (0-1)		Presencia de Insectos		Presencia de Hongos		Heridas por Resinación	Presencia de chancros (Otras heridas)		Apariencia corteza quemada		Daños Abióticos	Arbol
			En Ramas (%)	En tronco ppal (%)	Parte (0-4)	Identificación Sp	Parte (0-5)	Identificación Sp		Nº de caras resinadas	Parte (1-3)	Nº	con resinación		
1															1
2															2
3															3
4															4
5															5
6															6
7															7
8															8
9															9
10															10
11															11
12															12
13															13
14															14
15															15
16															16
17															17
18															18
19															19
20															20
21															21
22															22
23															23
24															24
25															25

OBSERVACIONES:
Muestras Sanos:
Muestras Intermedios:
Muestras Muertos en pie:
Nº tocones SP 1:
Nº tocones SP 2:
Nº tocones SP 3:

Ficha 3. Leyenda del estadillo.

Clase Social 1- Predominante
Clase Social 2- Dominante
Clase Social 3- Codominante
Clase Social 4- Dominados o Sumergidos / 0-Muerto

Estado Sanitario 0 - Sano
Estado Sanitario 1 - Levemente dañado
Estado Sanitario 2 - Más sano que dañado
Estado Sanitario 3 - Más dañado que sano
Estado Sanitario 4 - Muerto en pie
Estado Sanitario 5 - Muerto derribado < de 5 años
Estado Sanitario 6 - Muerto derribado > de 5 años

0-10%..... CLASE 0 (defoliación NULA)
11-25%..... CLASE 1 (defoliación LIGERA)
26-60%..... CLASE 2 (defoliación MODERADA)
> 60%..... CLASE 3 (defoliación GRAVE)
100%..... CLASE 4 (ÁRBOL SECO)

0.....Decoloración NULA
1.....Decoloración LIGERA
2.....Decoloración MODERADA
3.....Decoloración GRAVE
4.....ÁRBOL SECO

0.....Perdida Guía Terminal NADA
1.....Perdida Guía Terminal TOTAL

0.....Producción de Piñas NADA (0)
1.....Producción de Piñas BAJA (1-5)
2.....Producción de Piñas MEDIA (6-10)
3.....Producción de Piñas ALTA (>10)

0.....Puntisecado NULO
1.....Puntisecado GENERAL

0.....Microfilia NULA
1.....Microfilia GENERAL

0.....Recubrimiento de líquenes NULO
1.....Recubrimiento de líquenes GENERAL

0-1.....Presencia de Muérdago
%.....Presencia de Muérdago EN RAMAS
%.....Presencia de Muérdago EN TRONCO PRINCIPAL

0.....Presencia de Insectos NULA
1.....Presencia de Insectos EN ACICULAS
2.....Presencia de Insectos EN RAMILLAS < 10 cm
3.....Presencia de Insectos EN RAMAS > 10 cm
4.....Presencia de Insectos EN TRONCO PRINCIPAL

0.....Presencia de Hongos NULA
1.....Presencia de Hongos EN ACICULAS
2.....Presencia de Hongos EN RAMILLAS < 10 cm
3.....Presencia de Hongos EN RAMAS > 10 cm
4.....Presencia de Hongos EN TRONCO PRINCIPAL
5.....Presencia de Hongos EN CUELLO RAÍZ

0.....Chancros NULOS
1.....Chancros en la Parte SUPERIOR
2.....Chancros en la Parte MEDIA
3.....Chancros en la Parte INFERIOR

Medir radios (tronco y copa) perpendiculares al centro de las parcela y a 90 grados.

TIPO DE MASA
1.....Pura monoespecífica
2.....Mixta coníferas
3.....Mixta coníferas y frondosas

FORMA DE MASA
1.....Regular Diseminado
2.....Regular Repoblado
3.....Regular Monte Bravo
4.....Regular Latizal
5.....Regular Fustal
6.....Irregular

ORIGEN DE MASA
1.....Natural
2.....Naturalizada
3.....Artificial

REGENERACIÓN
(cuadrantes ocupados x pies DAP<7,5m. Radio parcela=5m)

ESPESURA
1.....Deficiente
2.....Normal
3.....Excesiva

EDAD MEDIA
1.....< 20 años
2.....de 21 a 40 años
3.....de 41a 60 años
4.....de 61a 80 años
5.....de 81 a 100 años
6.....de 101 a 120 años
7.....> 121 años
8.....Irregular

Fichas de defoliación.

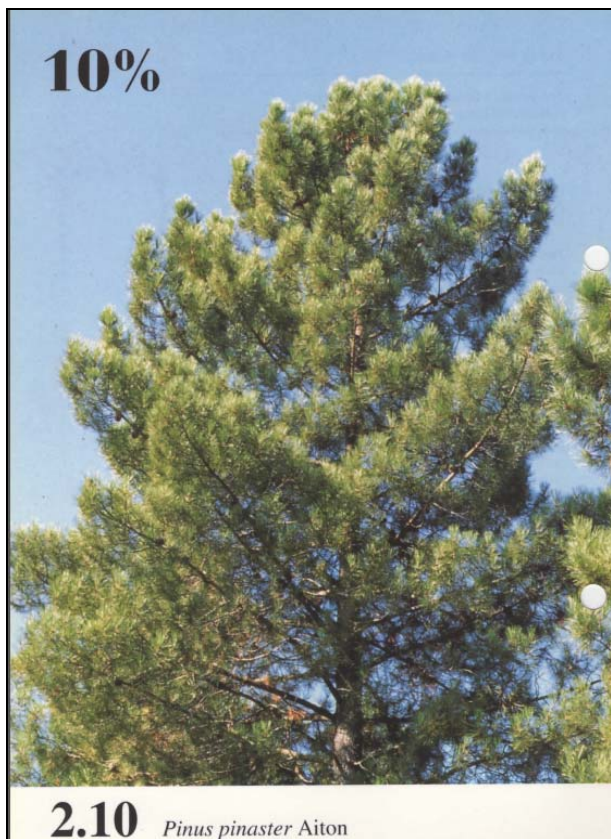


Foto 2. Ficha de defoliación del 10% de *P. pinaster*.



Foto 3. Ficha de defoliación del 25% de *P. pinaster*.

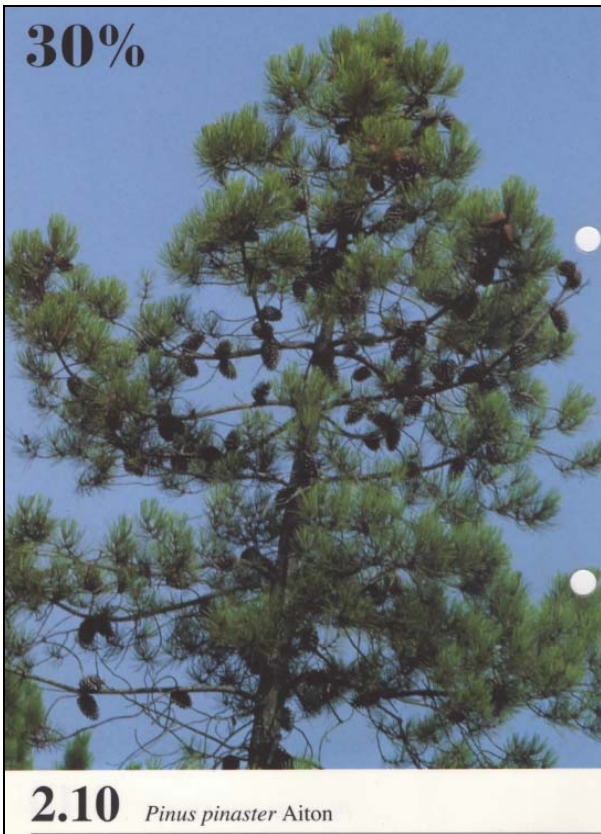


Foto 4. Ficha de defoliación del 30% de *P. pinaster*.

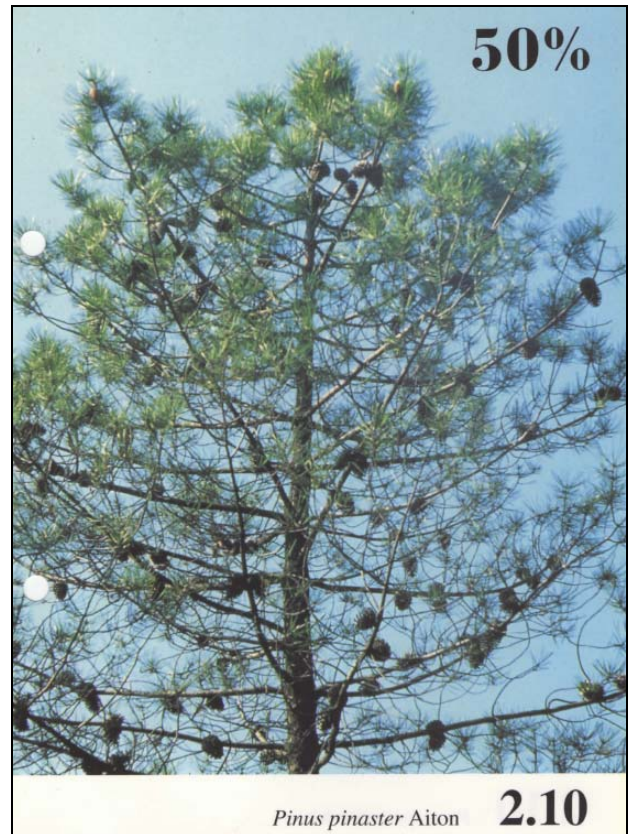


Foto 5. Ficha de defoliación del 50% de *P. pinaster*.

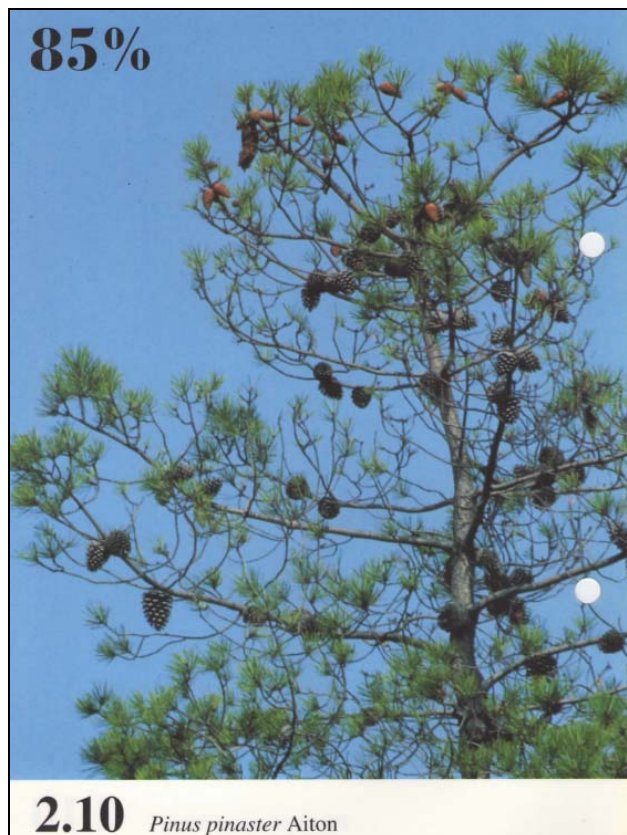


Foto 6. Ficha de defoliación del 85% de *P. pinaster*.

Anexo 2. Resultados.

Análisis de componentes Principales.**Tabla 1.** Autovalores y porcentaje de varianza recogido por todas componentes principales para las variables selvícolas estudiadas.

Número de la Componente	Autovalor	Porcentaje de Varianza	Porcentaje de Varianza Acumulado
1	7.1097300	59.248	59.248
2	3.1599400	26.333	85.581
3	0.8040650	6.701	92.281
4	0.4301810	3.585	95.866
5	0.2178780	1.816	97.682
6	0.1869100	1.558	99.239
7	0.0549652	0.458	99.697
8	0.0222126	0.185	99.882
9	0.0093445	0.078	99.960
10	0.0033538	0.028	99.988
11	0.0013523	0.011	99.999
12	0.0000645	0.001	100.000

Tabla 2. Pesos de las variables dasométricas dentro de cada componente. En negrita, las seleccionadas.

Variable	Componente 1	Componente 2
AB	0.3432100	0.2051310
AB Med	0.3425030	-0.2048430
Dg	0.3371290	-0.2345140
N	-0.1101750	0.5165760
Dm	0.3389540	-0.2199440
Hm	0.3514630	-0.0210576
Ho	0.3576140	0.0332686
Do	0.3047060	-0.1585410
HART	-0.2221920	-0.4006990
REINEKE	0.2807310	0.3475740
CE	0.0811512	0.4626940
ICV	0.2002780	0.1536150

Tabla 3. Porcentaje de varianza recogido por las componentes principales con autovalor mayor que 1. ACP Variables edáficas.

Número de la Componente	Autovalor	Porcentaje de Varianza	Porcentaje de Varianza Acumulado
1	7.09552	37.345	37.345
2	3.33032	17.528	54.873
3	2.04464	10.761	65.634
4	1.47868	7.783	73.417
5	1.04923	5.522	78.939

Tabla 4. Pesos de las variables edáficas dentro de cada componente. En negrita, las seleccionadas.

Variable	Componente 1	Componente 2	Componente 3	Componente 4	Componente 5
pH	0.2057250	0.4280740	0.0893337	0.0280520	0.0084210
Conduc	0.2759030	0.2782310	0.1410610	0.0775226	0.1047430

Factores que Influyen en el Decaimiento del Pino Negral en Castilla y León

Elemgrue	0.0734357	-0.1832200	0.0453129	0.5545740	-0.2304290
Arfina	0.1056160	-0.0733133	-0.2710820	-0.1242150	-0.1290350
Arena	-0.3081160	0.1466560	0.2925610	-0.0224193	-0.0869498
Limo	0.2113890	-0.2819750	-0.3950860	-0.0189948	0.0857999
Arcilla	0.3315500	-0.0100808	-0.1567220	0.0517208	0.0719455
Morgox	0.2577080	-0.2829370	0.2108410	-0.0616631	-0.0815210
Carb	0.2227890	0.2891880	-0.0768607	0.2891700	0.1602840
Calactiva	0.1541010	-0.1359090	0.3186980	0.0073274	-0.5657190
Pasim	0.0109935	-0.1698820	0.2816300	-0.0300791	0.5358910
Kasim	0.2646840	-0.1536690	0.2162360	-0.0320711	0.1531350
Caasim	0.2743150	0.3320350	0.0554126	0.1885270	0.0616999
Mgasim	0.1963060	0.1747880	0.0525588	-0.4450170	0.1845940
Naasim	-0.0049565	0.0854191	0.1015930	-0.5506230	-0.2137300
Ntotal	0.3252910	-0.1733970	0.1566410	-0.0171460	-0.1360500
RelCN	-0.2611720	-0.1264960	0.1853930	0.1759340	0.1835860
CCC	0.3391390	-0.1328290	0.1399570	-0.0852671	-0.0612956
Fe	0.0513591	-0.3909510	0.0709474	-0.0446091	0.3107670

Tabla 5. Porcentaje de varianza recogido por las componentes principales con autovalor mayor que 1. Precipitaciones.

Número de la Componente	Autovalor	Porcentaje de Varianza	Porcentaje de Varianza Acumulado
1	10.2615	78.934	78.934
2	2.2874	17.595	96.53

Tabla 6. Pesos de las precipitaciones mensuales y anuales dentro de cada componente. En negrita, las seleccionadas.

Variable	Componente 1	Componente 2
PEnero	0.3104380	0.0030601
PFebrero	0.3040830	0.0072096
PMarzo	0.2991130	0.0832447
PAbril	0.3032740	0.1274400
PMayo	0.2919390	0.1263800
PJunio	0.0800672	0.6241040
PJulio	-0.1914680	0.5126920
PAgosto	-0.1552930	0.5451230
PSeptiembre	0.3058090	0.0617988
POctubre	0.3097320	-0.0312116
PNoviembre	0.3115090	-0.0086971
PDiciembre	0.3096550	-0.0060016
PAnual	0.3081000	0.0798356

Tabla 7. Porcentaje de varianza recogido por las componentes principales con autovalor mayor que 1. Temperaturas

Número de la Componente	Autovalor	Porcentaje de Varianza	Porcentaje de Varianza Acumulado
1	12.9973	61.892	61.892
2	5.1082	24.325	86.217
3	1.55514	7.405	93.622

Tabla 8. Pesos de las temperaturas mensuales y anuales dentro de cada componente. En negrita, las seleccionadas.

Variable	Componente 1	Componente 2	Componente 3
TmimEnero	0.2071060	-0.2803710	0.0145210
TmimFebrero	0.2285880	-0.2118580	-0.0071983
TmimDiciembre	0.1937930	-0.3044630	-0.0346046
TmimAnual	0.2170360	0.0552037	-0.1158150
TmaxJunio	0.0470998	0.1361430	-0.7460740
TmaxJulio	0.1517840	0.3626860	-0.0107227
TmaxAgosto	0.1592550	0.3006490	-0.0210636
TmaxAnual	0.2121220	0.2273490	0.0074823
TmEnero	0.2315450	-0.2311240	-0.0282446
TmFebrero	0.2315030	-0.1440540	-0.0214774
TmMarzo	0.2340050	-0.1168060	-0.0175626
TmAbril	0.2711900	-0.0237941	0.0272621
TmMayo	0.2410160	0.0767396	0.0510802
TmJunio	0.1537150	0.1135900	0.6324240
TmJulio	0.1907090	0.3029850	-0.0163301
TmAgosto	0.1984200	0.3000980	-0.0298928
TmSeptiembre	0.2392410	0.2125000	-0.0237907
TmOctubre	0.2411500	-0.0139350	0.0105394
TmNoviembre	0.2408090	-0.1821220	-0.0901874
TmDiciembre	0.2098680	-0.2694000	-0.0847634
TmAnual	0.2511110	0.0395662	0.0764844

Tabla 9. Porcentaje de varianza recogido por las componentes principales con autovalor mayor que 1. Radiación.

Número de la Componente	Autovalor	Porcentaje de Varianza	Porcentaje de Varianza Acumulado
1	10.7113	82.394	82.394
2	1.32168	10.167	92.561

Tabla 10. Pesos de las radiaciones mensuales y anuales dentro de cada componente. En negrita, las seleccionadas.

Variable	Componente 1	Componente 2
RadEnero	0.3003140	-0.1391250
RadFebrero	0.3027060	-0.1090980
RadMarzo	0.3031190	-0.0809555
RadAbril	0.3031210	0.0676154
RadMayo	0.2638930	0.4270730
RadJunio	0.0757826	0.8396410
RadJulio	0.0985711	-0.0444017
RadAgosto	0.3009390	0.1199450
RadSeptiembre	0.3046540	-0.0484538
RadOctubre	0.3022810	-0.1184560
RadNoviembre	0.3012880	-0.1224980
RadDiciembre	0.3009120	-0.1487740
RadAnual	0.3053570	-0.0187038

Tabla 11. Porcentaje de varianza recogido por las componentes principales con autovalor mayor que 1. Resumen clima.

Número de la Componente	Autovalor	Porcentaje de Varianza	Porcentaje de Varianza Acumulado
1	5.86826	45.14	45.14
2	2.86488	22.038	67.178
3	2.15942	16.611	83.789
4	1.22152	9.396	93.185

Tabla 12. Pesos de las variables climáticas dentro de cada componente. En negrita, las seleccionadas.

Variable	Componente 1	Componente 2	Componente 3	Componente 4
PEnero	0.3460880	-0.2607240	0.2027840	0.0307832
PJunio	-0.0550246	-0.1773920	0.5924360	-0.2237970
PJulio	-0.3168400	0.1480520	0.3840840	-0.0600418
PAgosto	-0.2952810	0.0875538	0.4283170	-0.0283755
PFebrero	0.3177560	-0.3188770	0.1848330	-0.0037747
PDiciembre	0.3363610	-0.2906040	0.1859740	0.0182190
TmaxJulio	0.2868050	0.0228587	-0.2574820	-0.3836540
TmAbril	0.2917970	0.3518510	-0.0040222	0.1674000
TmOctubre	0.3121770	0.3442620	0.0933657	0.0742902
TmAnual	0.2959210	0.3456010	0.1246700	-0.0959898
RadJunio	-0.2771860	-0.1230910	-0.1932820	0.5041190
RadAnual	0.1564670	-0.4061310	0.0192217	0.4481620
TmimDiciembre	0.1475390	0.3251640	0.2826180	0.3470650

Tabla 13. Porcentaje de varianza recogido por las componentes principales con autovalor mayor que 1. Variables Sanitarias

Número de la Componente	Autovalor	Porcentaje de Varianza	Porcentaje de Varianza Acumulado
1	4.05147	27.01	27.01
2	2.26974	15.132	42.141
3	2.00342	13.356	55.498
4	1.53772	10.251	65.749
5	1.17522	7.835	73.584

Tabla 14. Pesos de las variables sanitarias dentro de cada componente. En negrita, las seleccionadas.

Variable	Componente 1	Componente 2	Componente 3	Componente 4	Componente 5
PorcDefol	0.3820890	-0.2530770	0.0259993	0.3447720	0.0829889
Decol	0.3901240	-0.2400680	0.1148560	0.2080480	0.0643141
Guia	0.2855530	0.2260930	-0.0023105	0.3160270	-0.3288360
Piñas	-0.0932664	0.3830560	0.1560360	0.3374410	0.0330807
RetAcicul	-0.3703590	0.2133550	0.0156138	0.0405896	-0.1722530
Puntisec	-0.1304670	-0.3232910	-0.3589750	-0.2048490	0.1424940
Microfil	0.3087980	-0.2024010	0.0615178	0.0007603	0.1639400
ReLiq	-0.1677920	-0.0374972	-0.0746563	0.6345360	0.0050597
Muerdago	0.3032390	0.0809953	-0.3818260	-0.1255960	-0.0049172
Insect	0.2232820	0.2825100	0.1682210	-0.0688592	0.6348710
Hongos	0.1305830	0.2034010	0.5216310	-0.2957330	-0.1053230
Resinados	-0.0021392	0.4205400	-0.2859310	0.1296670	0.3141480
Chancros	0.1970420	0.1713490	-0.4796780	-0.0352134	-0.2833980
Cortquem	0.1432360	0.3251030	-0.2431090	-0.1608790	0.1533040
Abiotic	0.3400980	0.1676640	0.0785967	-0.1610980	-0.4314940

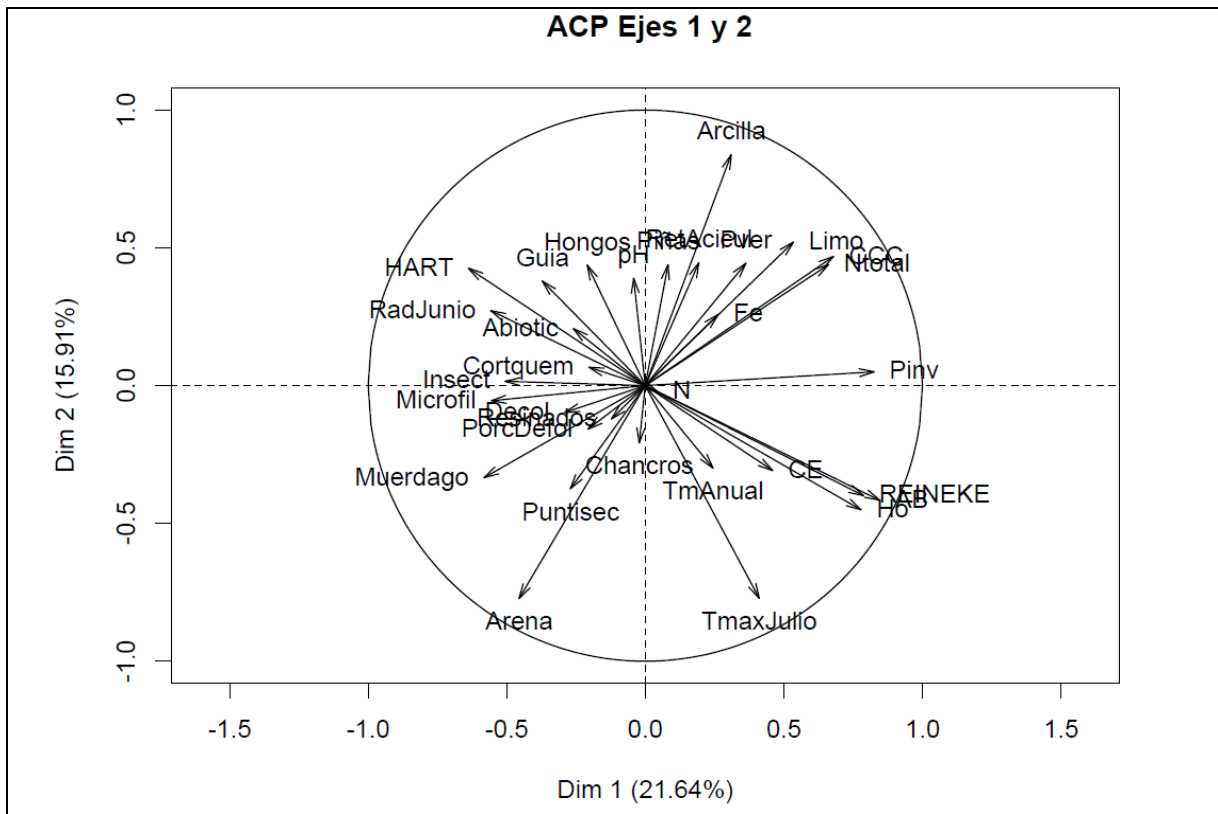


Figura 1. ACP global. Porcentaje de varianza que recogen las dimensiones 1 y 2.

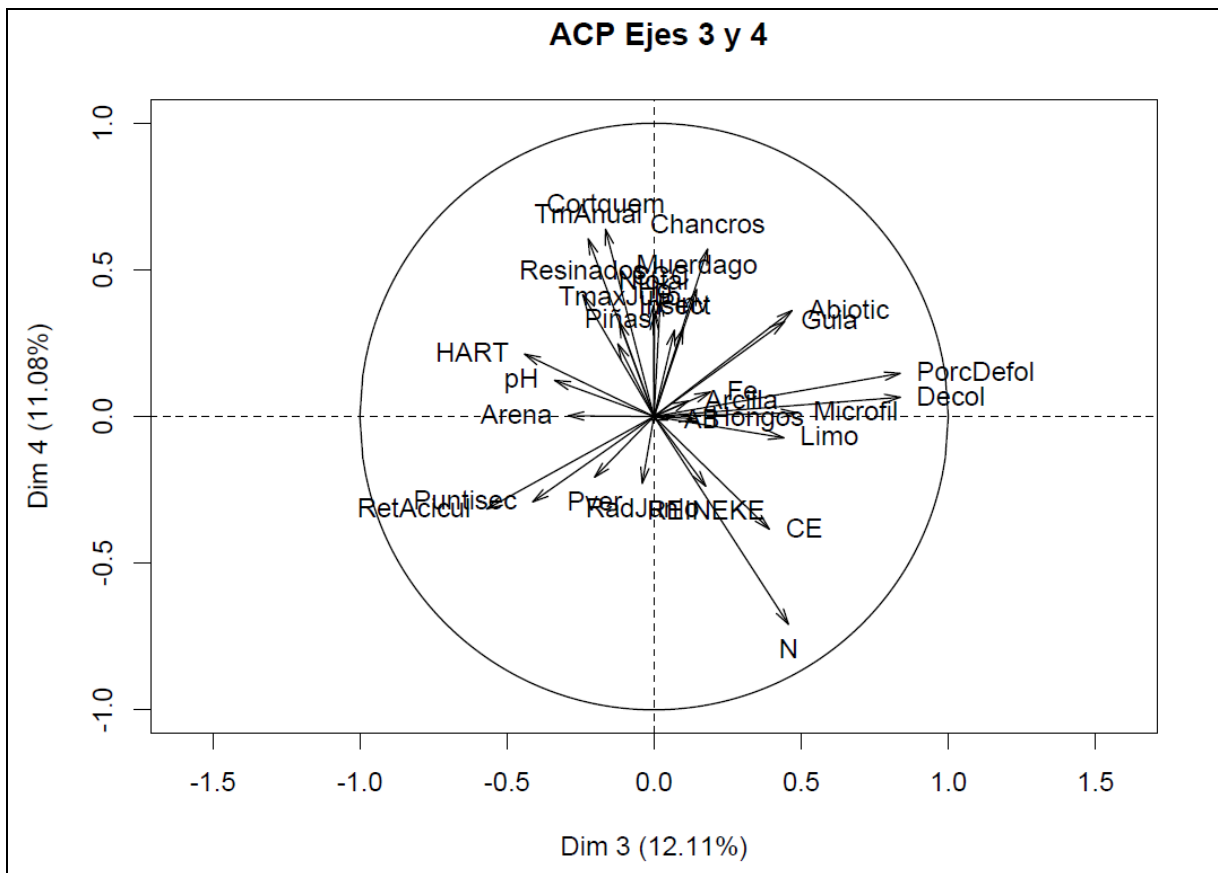


Figura 2. ACP global. Porcentaje de varianza que recogen las dimensiones 3 y 4.

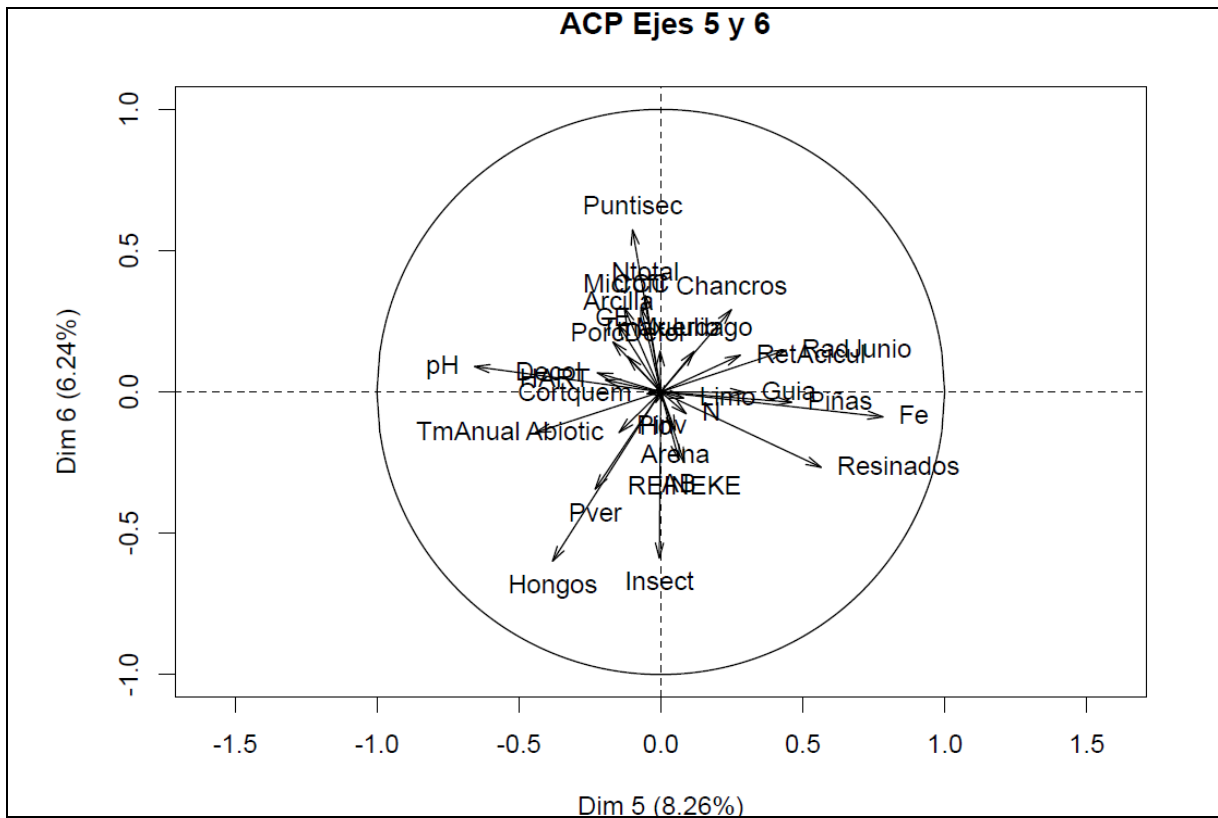


Figura 3. ACP global. Porcentaje de varianza que recogen las dimensiones 5 y 6.

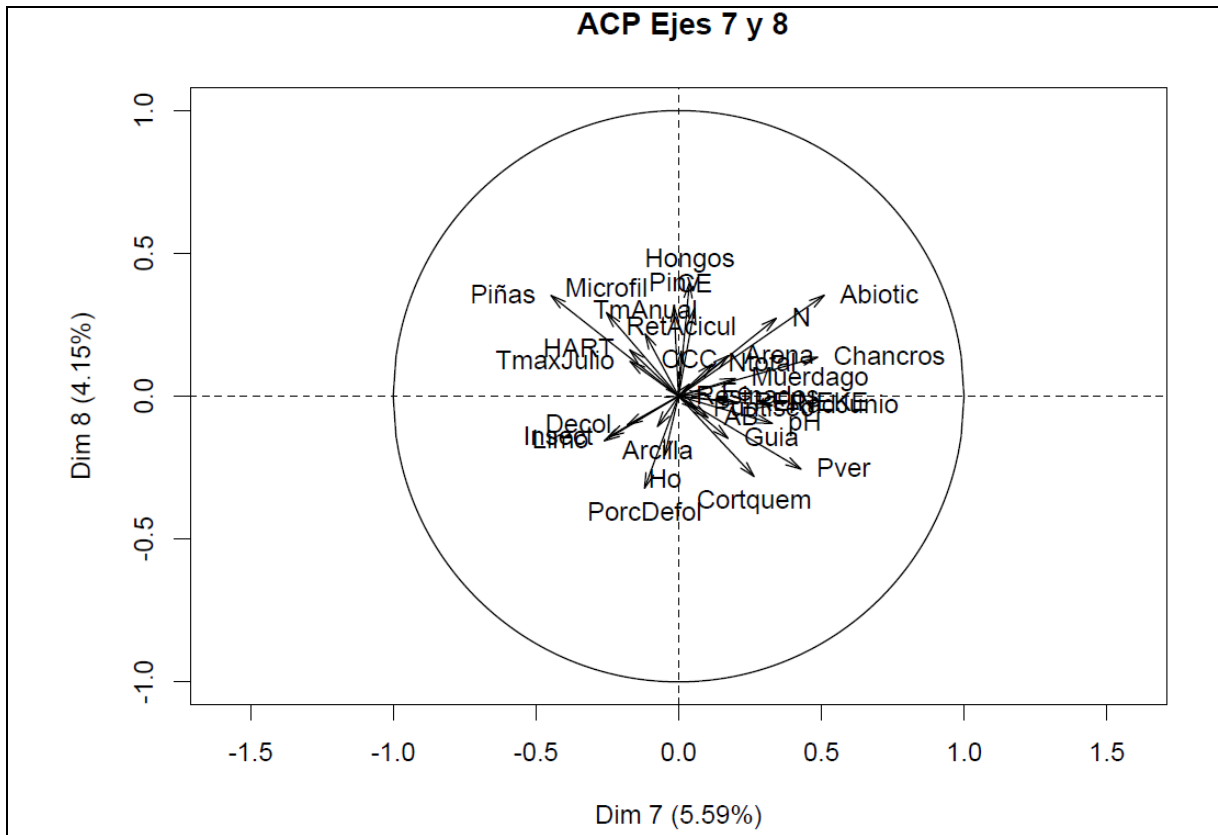


Figura 4. ACP global. Porcentaje de varianza que recogen las dimensiones 7 y 8.

Tabla 15. ACP global. Pesos de las variables dentro de cada componente. En negrita, las seleccionadas.

Variable	Componente 1	Componente 2	Componente 3	Componente 4	Componente 5	Componente 6	Componente 7	Componente 8
AB	0.3212820	-0.1842620	-0.0236898	0.0062705	0.0393751	-0.1696360	0.0769801	-0.0649885
N	0.0166328	-0.0096721	-0.2321250	0.3761670	0.0548118	-0.0541482	0.2558530	0.2369660
Ho	0.2957160	-0.1995430	-0.0007781	-0.1853380	-0.0108648	-0.0260200	-0.0359842	-0.1786920
HART	-0.2425890	0.1887930	0.2235600	-0.1129850	-0.1198050	0.0300339	-0.1281020	0.1408350
REINEKE	0.2992620	-0.1768220	-0.0891867	0.1261790	0.0507763	-0.1764520	0.1553490	-0.0206512
CE	0.1746190	-0.1365510	-0.1991100	0.2039760	-0.1039470	0.1253300	0.0415434	0.2670320
pH	-0.0159058	0.1725060	0.1716200	-0.0655843	-0.4034100	0.0636462	0.2451900	-0.0824278
Arena	-0.1730300	-0.3422810	0.1480850	-0.0014495	0.0312419	-0.0958712	0.1302570	0.1235320
Limo	0.2030990	0.2308920	-0.2241690	0.0384949	0.0495535	-0.0151945	-0.1946260	-0.1352010
Arcilla	0.1177470	0.3714340	-0.0594991	-0.0284271	-0.0918572	0.1684320	-0.0551860	-0.0915364
Ntotal	0.2511670	0.1945680	0.0012783	-0.2008370	-0.0338844	0.2416470	0.0885843	0.0981341
CCC	0.2579820	0.2077600	-0.0108385	-0.2100900	-0.0429383	0.2114800	0.0279524	0.0369252
Fe	0.1000260	0.1143690	-0.0973588	-0.0447230	0.4811800	-0.0623353	0.0700361	0.0095162
Pinv	0.3136900	0.0223023	-0.0502798	-0.1600390	0.0017043	-0.0224618	-0.0121222	0.2727360
Pver	0.1378840	0.1967160	0.1026420	0.1099360	-0.1419810	-0.2433430	0.3202060	-0.2212780
TmaxJulio	0.1562650	-0.3418770	0.0596638	-0.1713420	-0.0015681	0.1022940	-0.1270640	0.1057700
TmAnual	0.0928256	-0.1326040	0.1135780	-0.3215450	-0.2710020	-0.1015000	-0.0875421	0.1894100
RadJunio	-0.2119660	0.1207120	0.0204218	0.1206980	0.2713400	0.1043600	0.2457170	-0.0280498
PorcDefol	-0.0786476	-0.0698557	-0.4250120	-0.0781334	-0.0721997	0.0887864	-0.0893438	-0.2791610
Decol	-0.1104070	-0.0430364	-0.4250100	-0.0348892	-0.1376600	0.0477359	-0.1345640	-0.0872939
Guia	-0.1411740	0.1681720	-0.2253580	-0.1720550	0.1834380	-0.0013714	0.1291060	-0.1275990
Piñas	0.0312292	0.1944180	0.0623786	-0.1315060	0.2834670	-0.0258628	-0.3345070	0.3062960
RetAcicul	0.0734238	0.1976130	0.2888340	0.1674320	0.1722220	0.0921512	0.0066736	0.1365750
Puntisec	-0.1028430	-0.1657860	0.2095190	0.1546310	-0.0612896	0.4059500	0.0483033	-0.0392010
Microfil	-0.2111140	-0.0243313	-0.2464530	-0.0066786	-0.0794186	0.2110100	-0.1890560	0.2540280
Muerdago	-0.2210390	-0.1480610	-0.0736023	-0.2300080	0.0722045	0.1015350	0.1487550	0.0537066
Insect	-0.1920910	0.0070917	-0.0352744	-0.1562370	-0.0032441	-0.4157320	-0.1831020	-0.1235920
Hongos	-0.0796764	0.1938950	-0.0704237	0.0039483	-0.2344420	-0.4236210	0.0287178	0.3450210
Resinados	-0.0463307	-0.0534323	0.1229670	-0.2202990	0.3474230	-0.1887010	0.0037911	-0.0010559
Chancros	-0.0083192	-0.0917878	-0.0924400	-0.3031370	0.1530800	0.2062480	0.3642300	0.1186410
Cortquem	-0.0772085	0.0294708	0.0838999	-0.3390200	-0.0295832	-0.0044689	0.1975660	-0.2434620
Abiotic	-0.0986188	0.0916820	-0.2384410	-0.1919330	-0.0901955	-0.1011800	0.3816810	0.3069380

Regresión Logística Multinomial. Selección de modelo*Sistema SAS**Procedimiento LOGISTIC*

Información del modelo		
Conjunto de datos	WORK.DATOS	
Variable de respuesta	Sanit	Sanit
Número de niveles de respuesta	3	
Modelo	logit generalizado	
Técnica de optimización	Newton-Raphson	

Número de observaciones leí	648
Número de observaciones usa	648

Perfil de respuesta		
Valor ordenado	Sanit	Frecuencia total
1	I	183
2	M	63
3	S	402

Los logits modelados usan Sanit='S' como categoría de referencia.

Procedimiento de selección stepwise

Información de nivel de clase					
Clase	Valor	Diseño de variables			
Proc	R2	1	0	0	0
	R3	0	1	0	0
	R6	0	0	1	0
	R8	0	0	0	1
	R9	-1	-1	-1	-1

Paso 0. Términos independientes introducidos:

Estado de convergencia del modelo
Criterio de convergencia (GCONV=1E-8) satisfecho.

-2 LOG L	=	1140.308
----------	---	----------

Test residual de chi-cuadrado		
Chi-cuadrado	DF	Pr > ChiSq
544.4317	20	<.0001

Paso 1. Efecto PorcDefol introducido:

Estado de convergencia del modelo
Criterio de convergencia (GCONV=1E-8) satisfecho.

Estadístico de ajuste del modelo		
Criterio	Sólo términos independientes	Términos independientes y Variables adicionales
AIC	1144.308	478.748
SC	1153.256	496.644
-2 LOG L	1140.308	470.748

Probar hipótesis nula global: BETA=0			
Test	Chi-cuadrado	DF	Pr > ChiSq
Ratio de verosim	669.5599	2	<.0001
Puntuación	526.3162	2	<.0001
Wald	151.5102	2	<.0001

Test residual de chi-cuadrado		
Chi-cuadrado	DF	Pr > ChiSq
35.5743	18	0.0080

Note: No se han eliminado efectos para el modelo en el Paso 1.

Note: No (additional) effects met the 0.05 significance level for entry into the model.

Resumen de selección de paso a paso								
Paso	Efecto		DF	Número en	Chi-cuadrado de puntuación	Chi-cuadrado de Wald	Pr > ChiSq	Etiqueta de la variable
	Introducido	Eliminado						
1	PorcDefol		2	1	526.3162		<.0001	PorcDefol

Tipo 3 Análisis de efectos			
Efecto	DF	Chi-cuadrado de Wald	Pr > ChiSq
PorcDefol	2	151.5102	<.0001

Análisis del estimador de máxima verosimilitud						
Parámetro	Sanit	DF	Estimador	Error estándar	Chi-cuadrado de Wald	Pr > ChiSq
Intercept	I	1	-6.0016	0.4862	152.3697	<.0001
Intercept	M	1	-25.3528	4.2520	35.5527	<.0001
PorcDefol	I	1	0.1691	0.0150	127.2280	<.0001
PorcDefol	M	1	0.3943	0.0479	67.6273	<.0001

Estimadores de cocientes de disparidad;				
Efecto	Sanit	Estimador del punto	95% Wald Límites de confianza	
PorcDefol	I	1.184	1.150	1.220
PorcDefol	M	1.483	1.350	1.630

Procedimiento LOGISTIC

Información del modelo		
Conjunto de datos	WORK.DATOS	
Variable de respuesta	Sanit	Sanit
Número de niveles de respuesta	3	
Modelo	logit generalizado	
Técnica de optimización	Newton-Raphson	

Número de observaciones lei	648
Número de observaciones usa	648

Perfil de respuesta		
Valor ordenado	Sanit	Frecuencia total
1	I	183
2	M	63
3	S	402

Los logits modelados usan Sanit='S' como categoría de referencia.

Procedimiento de selección stepwise

Paso 0. Términos independientes introducidos:

Estado de convergencia del modelo
Criterio de convergencia (GCONV=1E-8) satisfecho.

-2 LOG L	=	1140.308
----------	---	----------

Test residual de chi-cuadrado		
Chi-cuadrado	DF	Pr > ChiSq
535.3779	12	<.0001

Paso 1. Efecto PorcDefol introducido:

Estado de convergencia del modelo
Criterio de convergencia (GCONV=1E-8) satisfecho.

Estadístico de ajuste del modelo		
Criterio	Sólo términos independientes	Términos independientes y Variables adicionales
AIC	1144.308	478.748
SC	1153.256	496.644
-2 LOG L	1140.308	470.748

Probar hipótesis nula global: BETA=0			
Test	Chi-cuadrado	DF	Pr > ChiSq
Ratio de verosim	669.5599	2	<.0001
Puntuación	526.3162	2	<.0001
Wald	151.5102	2	<.0001

Test residual de chi-cuadrado		
Chi-cuadrado	DF	Pr > ChiSq
13.2439	10	0.2104

Note: No se han eliminado efectos para el modelo en el Paso 1.

Note: No (additional) effects met the 0.05 significance level for entry into the model.

Resumen de selección de paso a paso								
Paso	Efecto		DF	Número en	Chi-cuadrado de puntuación	Chi-cuadrado de Wald	Pr > ChiSq	Etiqueta de la variable
	Introducido	Eliminado						
1	PorcDefol		2	1	526.3162		<.0001	PorcDefol

Tipo 3 Análisis de efectos			
Efecto	DF	Chi-cuadrado de Wald	Pr > ChiSq
PorcDefol	2	151.5102	<.0001

Análisis del estimador de máxima verosimilitud						
Parámetro	Sanit	DF	Estimador	Error estándar	Chi-cuadrado de Wald	Pr > ChiSq
Intercept	I	1	-6.0016	0.4862	152.3697	<.0001
Intercept	M	1	-25.3528	4.2520	35.5527	<.0001
PorcDefol	I	1	0.1691	0.0150	127.2280	<.0001
PorcDefol	M	1	0.3943	0.0479	67.6273	<.0001

Estimadores de cocientes de disparidad;				
Efecto	Sanit	Estimador del punto	95% Wald Límites de confianza	
PorcDefol	I	1.184	1.150	1.220
PorcDefol	M	1.483	1.350	1.630

Sistema SAS

Procedimiento LOGISTIC

Información del modelo		
Conjunto de datos	WORK.DATOS	
Variable de respuesta	Sanit	Sanit
Número de niveles de respuesta	3	
Modelo	logit generalizado	
Técnica de optimización	Newton-Raphson	

Número de observaciones lei	648
Número de observaciones usa	648

Perfil de respuesta		
Valor ordenado	Sanit	Frecuencia total
1	I	183
2	M	63
3	S	402

Los logits modelados usan Sanit='S' como categoría de referencia.

Procedimiento de selección stepwise

Información de nivel de clase					
Clase	Valor	Diseño de variables			
Proc	R2	1	0	0	0
	R3	0	1	0	0
	R6	0	0	1	0
	R8	0	0	0	1
	R9	-1	-1	-1	-1
Insect	0	1			
	1	-1			
Hongos_	0	1			
	1	-1			
Abiotic	0	1			
	1	-1			

Paso 0. Términos independientes introducidos:

Estado de convergencia del modelo
Criterio de convergencia (GCONV=1E-8) satisfecho.

-2 LOG L	=	1140.308
-----------------	---	----------

Test residual de chi-cuadrado		
Chi-cuadrado	DF	Pr > ChiSq
603.1752	26	<.0001

Paso 1. Efecto PorcDefol introducido:

Estado de convergencia del modelo
Criterio de convergencia (GCONV=1E-8) satisfecho.

Estadístico de ajuste del modelo		
Criterio	Sólo términos independientes	Términos independientes y Variables adicionales
AIC	1144.308	478.748
SC	1153.256	496.644
-2 LOG L	1140.308	470.748

Probar hipótesis nula global: BETA=0			
Test	Chi-cuadrado	DF	Pr > ChiSq
Ratio de verosim	669.5599	2	<.0001
Puntuación	526.3162	2	<.0001
Wald	151.5102	2	<.0001

Test residual de chi-cuadrado		
Chi-cuadrado	DF	Pr > ChiSq
65.8720	24	<.0001

Note: No se han eliminado efectos para el modelo en el Paso 1.

Paso 2. Efecto Abiotic introducido:

Estado de convergencia del modelo
Criterio de convergencia (GCONV=1E-8) satisfecho.

Estadístico de ajuste del modelo		
Criterio	Sólo términos independientes	Términos independientes y Variables adicionales
AIC	1144.308	459.108
SC	1153.256	485.952
-2 LOG L	1140.308	447.108

Probar hipótesis nula global: BETA=0			
Test	Chi-cuadrado	DF	Pr > ChiSq
Ratio de verosim	693.1995	4	<.0001
Puntuación	550.3575	4	<.0001
Wald	153.3344	4	<.0001

Test residual de chi-cuadrado		
Chi-cuadrado	DF	Pr > ChiSq
42.3257	22	0.0057

Note: No se han eliminado efectos para el modelo en el Paso 2.

Paso 3. Efecto Hongos_ introducido:

Estado de convergencia del modelo
Criterio de convergencia (GCONV=1E-8) satisfecho.

Estadístico de ajuste del modelo		
Criterio	Sólo términos independientes	Términos independientes y Variables adicionales
AIC	1144.308	452.423
SC	1153.256	488.214
-2 LOG L	1140.308	436.423

Probar hipótesis nula global: BETA=0			
Test	Chi-cuadrado	DF	Pr > ChiSq
Ratio de verosim	703.8853	6	<.0001
Puntuación	586.5997	6	<.0001
Wald	153.8777	6	<.0001

Test residual de chi-cuadrado		
Chi-cuadrado	DF	Pr > ChiSq
32.1891	20	0.0413

Note: No se han eliminado efectos para el modelo en el Paso 3.

Note: No (additional) effects met the 0.05 significance level for entry into the model.

Resumen de selección de paso a paso								
Paso	Efecto		DF	Número en	Chi-cuadrado de puntuación	Chi-cuadrado de Wald	Pr > ChiSq	Etiqueta de la variable
	Introducido	Eliminado						
1	PorcDefol		2	1	526.3162		<.0001	PorcDefol
2	Abiotic		2	2	24.6081		<.0001	Abiotic
3	Hongos_		2	3	9.9880		0.0068	Hongos

Tipo 3 Análisis de efectos			
Efecto	DF	Chi-cuadrado de Wald	Pr > ChiSq
Hongos_	2	8.5052	0.0142
Abiotic	2	15.1607	0.0005
PorcDefol	2	145.9759	<.0001

Análisis del estimador de máxima verosimilitud							
Parámetro		Sanit	DF	Estimador	Error estándar	Chi-cuadrado de Wald	Pr > ChiSq
Intercept		I	1	-5.1400	0.5037	104.1474	<.0001
Intercept		M	1	-20.8481	3.7592	30.7563	<.0001
Hongos_	0	I	1	-0.7555	0.2899	6.7917	0.0092
Hongos_	0	M	1	-2.7773	1.5812	3.0849	0.0790
Abiotic	0	I	1	-0.6530	0.1730	14.2494	0.0002
Abiotic	0	M	1	-0.1434	0.5603	0.0655	0.7980
PorcDefol		I	1	0.1771	0.0160	122.8930	<.0001
PorcDefol		M	1	0.3783	0.0446	71.8833	<.0001

Estimadores de cocientes de disparidad;				
Efecto	Sanit	Estimador del punto	95% Wald Límites de confianza	
Hongos_ 0 vs 1	I	0.221	0.071	0.688
Hongos_ 0 vs 1	M	0.004	<0.001	1.904
Abiotic 0 vs 1	I	0.271	0.138	0.534
Abiotic 0 vs 1	M	0.751	0.083	6.751
PorcDefol	I	1.194	1.157	1.232
PorcDefol	M	1.460	1.338	1.593