



# 7º CONGRESO FORESTAL ESPAÑOL

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

26 - 30 junio 2017 | Plasencia  
Cáceres, Extremadura

---

---

7CFE01-474

---

---

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

© Sociedad Española de Ciencias Forestales

## MAPA DE RIESGOS DE FOCOS DE SECA EN LA COMUNIDAD AUTÓNOMA DE EXTREMADURA

MANZANO SERRANO, M.J.<sup>1</sup>, BELVIS DE MIGUEL, G.<sup>1</sup> FOLGUEIRAS GONZALEZ, R.<sup>1</sup>, PRIETO BLAZQUEZ, J.M.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Estudios Medioambientales S.L. (ESMA) Email: esma@emasl.es

### Resumen

La Seca de determinadas especies del género *Quercus* es un síndrome producido por la interacción de diferentes agentes nocivos y que provoca un importante decaimiento en las condiciones del arbolado. En el suroeste de la Península Ibérica es causa de numerosos episodios de mortalidad en encinas (*Quercus ilex*) y alcornoques (*Quercus suber*). Este fenómeno, motivo de gran preocupación, ha obligado a las administraciones a llevar a cabo acciones orientadas a conocer el funcionamiento de esta enfermedad para poder luchar eficientemente contra ella. En esta línea, el Servicio de Ordenación y Gestión Forestal de la Junta de Extremadura ha ordenado la realización de un extenso estudio denominado “Prospección y Seguimiento de masas de *Quercus* afectadas por Seca en la Comunidad Autónoma de Extremadura”. Uno de los objetivos de dicho estudio es la elaboración de un Mapa de Riesgos de Focos de Seca para la Comunidad Autónoma de Extremadura, que se convertirá en una herramienta de gran utilidad para planear intervenciones y llevar a cabo propuestas en las zonas que presentan una mayor susceptibilidad de padecer el fenómeno de la Seca.

### Palabras clave

Decaimiento, GIS, riesgo, mapa, *Quercus*.

## 1. Introducción

Los mapas de riesgo son una herramienta utilizada en el ámbito de la sanidad forestal para evaluar el grado de susceptibilidad de las masas forestales ante la acción de determinados agentes patógenos (FERNÁNDEZ y SOLLA, 2006). Este tipo de cartografía resulta un recurso de gran interés para la planificación de actuaciones, así como para el desarrollo de propuestas estratégicas efectivas en las zonas de mayor prioridad.

Actualmente, una de las principales alertas fitosanitarias en el medio forestal es el decaimiento y muerte de ejemplares de especies del género *Quercus*, que viene observándose de manera general en Europa y Norteamérica. En la Península Ibérica este fenómeno adquiere su mayor dimensión en el cuadrante suroeste (RUPÉREZ y MUÑOZ, 1980), afectando principalmente a encinas y alcornoques de masas adehesadas, los cuales sufren un proceso de desvitalización y muerte que se ha venido a llamar como “Seca”.

La elaboración de mapas de riesgo de focos de Seca, se revela como una acción de gran utilidad para detectar las áreas que mayor susceptibilidad presentan a padecer este mal. Ello permite concentrar los recursos en estas zonas, priorizando así la investigación de este fenómeno en ellas y posibilitando su restauración de manera más eficiente.

Sin embargo, a diferencia de otras fitopatologías, la Seca no presenta un comportamiento claramente específico ni unos patrones fijos de desarrollo (TUSET *et al.*, 2004). Esta circunstancia obliga a realizar un exhaustivo trabajo de campo previo, que permita establecer relaciones entre determinados parámetros ambientales y la probabilidad de ocurrencia de procesos de Seca.

La realización del trabajo “Prospección y Seguimiento de masas de *Quercus* afectadas por Seca en la Comunidad Autónoma de Extremadura”, por encargo del Servicio de Ordenación y Gestión Forestal de la Junta de Extremadura, supone una oportunidad para la elaboración de esta cartografía por el importante número de parcelas muestreadas en campo. De hecho, uno de los propósitos de dicho estudio es la realización del Mapa de Riesgos de Focos de Seca, en la Comunidad Autónoma de Extremadura.

Para ello, los datos obtenidos en campo son sometidos a un tratamiento estadístico, el cual va a devolver relaciones entre las variables consideradas y la probabilidad de ocurrencia de procesos de Seca.

El estudio de la significancia estadística para cada variable y modelo de regresión logística utilizado, permitirá determinar qué modelo es el que más se ajusta a la realidad y cuáles de estas relaciones, según el modelo elegido, son aceptables.

Las variables cuya relación con la Seca se han validado, son seleccionadas para la elaborar la base cartográfica que generará el mapa de riesgos de focos de Seca.

## 2. Objetivos

El decaimiento que vienen padeciendo distintas especies del género *Quercus* no se trata de un fenómeno local, como lo demuestran los procesos de desvitalización y muerte registrados en robles de Centroeuropa (FÜRHER, 1998) y Norteamérica (WARGO *et al.*, 1983). En la Península Ibérica la mayor parte de los daños se concentran en masas adehesadas de encina y alcornoque del cuadrante suroeste, destacando los procesos detectados en la Sierra de los Alcornocales (Cádiz), Sierra Morena, dehesas de Extremadura, Toledo, Ciudad Real, occidente andaluz y montados portugueses.

En España, se trata pues de un problema de carácter supraautonómico que requiere la implicación de distintas administraciones trabajando conjuntamente en la realización de estudios que permitan tener un mayor conocimiento de este mal, con el fin de poder encontrar soluciones en un futuro. Sin embargo, debido a la inespecificidad de este fenómeno y a la gran extensión que abarca, es necesario delimitar el ámbito de actuación de ciertos estudios a superficies de tamaño tal que la población a muestrear permita compatibilizar la disposición de recursos con una intensidad de muestreo adecuada.

Es por ello que determinados estudios quedan reducidos al ámbito de una comarca, provincia o comunidad autónoma. En este caso, el área de estudio abarca las masas adehesadas de especies del género *Quercus* presentes en la Comunidad Autónoma de Extremadura y es la Consejería de Medio Ambiente y Rural, Políticas Agrarias y Territorio de la Junta de Extremadura el organismo oficial responsable de su salvaguardia. Bajo esta responsabilidad dicha Consejería considera importante disponer de una herramienta cartográfica que suministre información sobre las diferentes áreas que serán susceptibles de desarrollar problemas de Seca, con el fin de programar planes de actuación o seguimientos que ayuden a paliar los daños que ocasiona este fenómeno.

Todo este trabajo tiene por objeto la creación de una herramienta que asigne a un área, niveles de riesgo ante el mal de la Seca, en función de una serie de parámetros ambientales que, en conjunto definen la susceptibilidad de una masa arbórea frente a este fenómeno. La posibilidad de caracterizar cartográficamente estos parámetros permite la representación espacial del riesgo de ocurrencia de fenómenos de Seca.

### 3. Metodología

En Extremadura, las masas de encina y alcornoque suman en la actualidad más del 60% de la superficie forestal de este territorio, tratándose mayoritariamente de formaciones adehesadas; esto supone que la superficie ocupada por los sistemas adehesados es superior a 1,4 millones de hectáreas, lo que representa el 34% de la superficie forestal de esta comunidad autónoma.

La realización de este trabajo se inicia con la selección de la muestra que se va a analizar, la cual se compone, por ser uno de los condicionantes asociados a la elaboración del trabajo, de un total de mil parcelas. Esta muestra se extrae de las distintas fuentes que se relacionan con el fenómeno de la Seca. Para efectuar dicha selección se ha diseñado un sistema específico a partir de una serie de capas de cartografía y bases de datos asociadas, con la siguiente información:

- Focos de Seca detectados entre 2003 y 2004 (ESTUDIOS MEDIOAMBIENTALES SL (ESMA); CONSEJERIA DE AGRICULTURA Y MEDIO AMBIENTE, JUNTA DE EXTREMADURA; 2003 Y 2004).
- ESTUDIOS MEDIOAMBIENTALES SL (ESMA); CONSEJERIA DE MEDIO AMBIENTE Y RURAL, POLÍTICAS AGRARIAS Y TERRITORIO, JUNTA DE EXTREMADURA; 2015.
- Convenio de colaboración entre la Consejería de Industria, Energía y Medio Ambiente y la Universidad de Extremadura, para la realización de prospecciones de focos de Seca de *Quercus*, con el fin de establecer su relación con las propiedades del suelo y la presencia de *Phytophthora cinnamomi* y de micorrizas en Extremadura, periodo (2008-2010).
- Nuevos focos identificados en el estudio realizado por IPROCOR (Instituto del Corcho, la Madera y el Carbón Vegetal) en 2012.
- Solicitudes de corta de pies secos del género *Quercus*, entre los años 2005 y 2013 (base de datos GEXSEL).
- Nuevos focos de Seca detectados por los Agentes del Medio Natural y los propietarios de dehesas.

En conjunto se dispone de más de 10.000 registros, correspondientes a zonas en las que presuntamente se han detectado daños atribuidos a la Seca de *Quercus* a lo largo del periodo 2003-2013.

La selección de la muestra estará condicionada por los requisitos establecidos para la realización del trabajo de prospección y seguimiento realizado. Entre ellos se determina un tamaño de muestra equivalente al 20% de los puntos que resulten del procesado de los registros originales.

Como primer paso en la selección de la muestra ha sido necesario realizar un proceso de homogeneización y análisis de los registros iniciales, ya que las referencias geográficas de los mismos no resultan adecuadas en todos los casos para su localización posterior en campo (CARDILLO, *et al.* 2013).

Tras esta labor, se dispone de unos 5.000 puntos diferentes entre Cáceres y Badajoz. Según las condiciones citadas anteriormente se debe inspeccionar un 20% de este total de puntos, lo que hace un total de 1.000 puntos a visitar.

La selección de los puntos de la muestra debe realizarse de forma que se cumplan los distintos objetivos del trabajo de prospección y seguimiento. Estos objetivos obligan a incluir todos los puntos caracterizados entre 2003 y 2004 en el estudio “Prospección y seguimiento de masas de *Quercus* afectadas por Seca en las provincias de Cáceres y Badajoz” (440), los identificados por los Agentes del Medio Natural de Extremadura y los propietarios de dehesa (8) y los prospectados a raíz del convenio con la Universidad de Extremadura (47).

En total habrá 495 puntos de obligada inclusión, seleccionándose el resto de puntos de la muestra (505) a partes iguales entre los puntos identificados en el estudio realizado por IPROCOR en 2012 y los incluidos en los expedientes de cortas (GEXSEL), teniendo en cuenta tanto los anteriores al Decreto 13/2013 como los posteriores al mismo. El número de puntos que se seleccionará de cada fuente será de 253 de IPROCOR y 252 de GEXSEL, condicionando inicialmente la selección de estos puntos por la proximidad geográfica a los de obligada inclusión.

Para realizar esta selección se superpone una malla de 10x10 kilómetros sobre el mapa de Extremadura, donde se seleccionan aquellas cuadrículas en las que existe al menos un punto de obligada inclusión. En estas cuadrículas se incorporarán a la muestra los puntos procedentes de la base de datos de GEXSEL e IPROCOR.

En los registros de IPROCOR se encuentra perfectamente delimitado el presunto foco de Seca. En el caso de los expedientes incluidos en GEXSEL la localización se refiere al polígono o parcela catastral en el que se realizan las cortas, no siendo posible obtener una mayor precisión geográfica.

La selección de los puntos procedentes de GEXSEL se realiza descartando en primer lugar aquellos recintos que sólo presentan un expediente de corta, pre-seleccionando los que llevan asociados dos o más expedientes a lo largo del periodo de estudio (2005-2014). De esta manera se obtienen 967 recintos en el conjunto de la Comunidad. De estos, 610 se encuentran en las cuadrículas obtenidas previamente, seleccionándose de entre ellos los 252 que presenten mayor cantidad de expedientes de la siguiente manera: existen 160 registros que presentan un máximo de 7 expedientes y un mínimo de 3; estos se seleccionan todos. Para completar la muestra hasta 252, se eligen de manera aleatoria 92 polígonos que presentan 2 expedientes.

Respecto a los puntos correspondientes a IPROCOR, dentro del listado inicial se seleccionan sólo aquellos que presentan daños por Seca. Dentro de estos polígonos, se realiza una selección por superficie, descartando aquellos que tienen una superficie inferior o igual a 250 m<sup>2</sup>.

De los polígonos obtenidos se extraen aquellos que intersecan con las cuadrículas de selección en las que quedan incluidos los puntos de obligada inclusión (495); resultando un total de 1.263 recintos. La muestra de IPROCOR definitiva (253 polígonos), se obtiene a partir de la ponderación realizada según el grado de afección que presenta cada foco, tal y como se expresa en la tabla 1.

Tabla 1. Grados de afección

Grado de afección	Nº de polígonos	% del total	Tamaño de muestra
Bajo: 1 a 24% de los pies presentes afectados	310	24,54	62
Medio: 25 a 49% de los pies presentes afectados	268	21,22	54
Alto: 50 a 74% de los pies presentes afectados	94	7,44	19
Severo: $\geq$ 75% de los pies presentes afectados	73	5,78	15
Muy grave: todos árboles en pie están muy afectados o muertos.	518	41,01	104
TOTAL	1.263	100	253

Una vez realizada la muestra el Director Técnico de la Consejería de Medio Ambiente y Rural, Políticas Agrarias y Territorio, decidió que se incluyeran en la muestra puntos de las cuadrículas en las que hubiera más de diez puntos procedentes de GEXSEL e IPROCOR, existiendo 65 cuadrículas que cumplían esta condición.

Para realizar la selección en cada una de estas cuadrículas, se elige el punto asociado al mayor número de expedientes en GEXSEL. Estos 65 puntos sustituyen de manera aleatoria a otros 65 de los 252 que se seleccionaron previamente de esta fuente.

La selección definitiva según la fuente del punto y el peso relativo de cada fuente en la muestra final queda establecida según se indica en tabla 2.

*Tabla 2. Distribución de la muestra según la fuente*

Fuente del registro	Cantidad de puntos	Peso relativo
Agentes del Medio Natural	8	0,80
Prospección de <i>Phytophthora</i>	47	4,70
Expedientes de cortas de GEXSEL	252	25,20
Estudio IPROCOR 2012	253	25,30
Prospección 2003-2004	440	44,00
TOTAL	1.000	100

En la Figura 1 se representa la distribución sobre el terreno de la muestra seleccionada.

## Zonas y puntos de muestreo de Seca. Extremadura 2015.

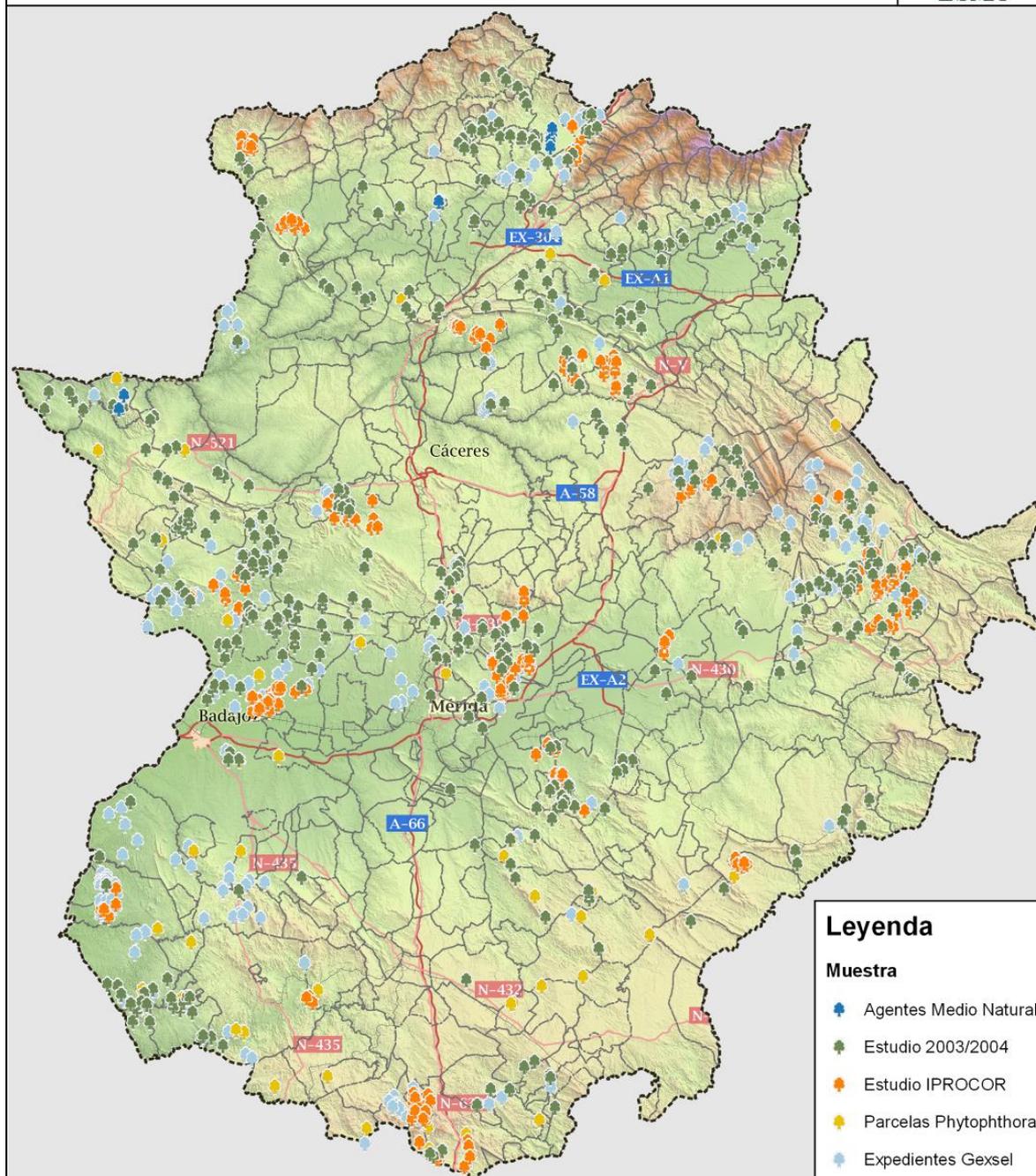


Figura 1. Mapa de situación de los focos visitados

Obtenida la muestra se pasa a la fase del trabajo de campo, para la cual los equipos formados por ingenieros especialistas en la detección de daños, proceden a la localización de las parcelas de muestreo sobre el terreno con los dispositivos de geolocalización necesarios. Una vez allí se realiza la caracterización del foco de Seca con la toma de un conjunto de datos, que posteriormente se someterán al correspondiente tratamiento estadístico para determinar las variables que presentan una relación significativa (FARAWAY, 2006) con la presencia de Seca.

Los datos que se recogen en campo son por un lado los correspondientes a las características que presenta la masa: pura o mixta, especies arbóreas presentes, regeneración, tipo de vegetación, espesura, fracción de cabida cubierta, y presencia e identificación de otras enfermedades o plagas.

Respecto al foco se estudian y anotan los siguientes datos referente a sus características generales: localización, coordenadas GPS, altitud, orografía, orientación, pendiente media, tipo de suelo, encharcamiento, naturaleza de la roca, y labores selvícolas en el último año.

En cuanto a los daños que se observan en el foco se han consignado los campos: tipo de síntoma (decaimiento progresivo, muerte súbita, decrepitud, y árboles muertos en pie), indicando su dominancia y el estrato en el que aparece; especies afectadas y su grado de afección; la distribución del daño (pies aislados, pequeña mancha, mancha general) y el grado de daño, en función del número de pies muertos y en función de la defoliación media en las clase 2 y 3; y, por último, si se observan tocones de árboles cortados, o se tiene información sobre el destocoñado.

Recogida la información de campo, se validan los datos, procediéndose al análisis estadístico. La realización del Mapa de Riesgos de Focos de Seca requiere determinar en primer lugar, el modelo de regresión a emplear, algo no siempre sencillo debido a la naturaleza de la información con la que se trabaja. (OTHORN *et al.*, 2014).

En estudios relacionados con el medio natural, como es el caso, es frecuente encontrarse con distribuciones no normales de los datos de estudio y de sus errores; así como la existencia de varianzas no constantes. Para poder trabajar con este tipo de datos se recurre a los modelos lineales generalizados (GLM, de las siglas en inglés de *Generalized Linear Models*), que permiten utilizar distribuciones no normales de los errores y de varianzas no constantes (CAYUELA, 2015).

En nuestro caso, el empleo de GLM va a permitir modelar la probabilidad de un suceso dicotómico (presencia/ausencia de Seca), en función de una serie de factores que pueden ser discretos o continuos.

Una de las propiedades más importantes de los GLM es la función de vínculo y la estructura de los errores con los que se trabaja. La primera se encarga de linealizar la relación entre la variable respuesta y la(s) variable(s) independiente(s) mediante la transformación de la primera.

En nuestro caso se dispone de una distribución de errores binomial y una función de vínculo tipo Logit, usada para datos entre 0 y 1, con errores binomiales. Ello define un modelo de regresión logística, donde se calcula la probabilidad de la variable respuesta (presencia/ausencia de Seca). Este modelo permitirá constatar qué covariables son significativas y estimar los parámetros de estas covariables.

La prospección en campo de las 1000 parcelas ha arrojado un primer resultado de presencia de Seca en 691 parcelas frente a 309 que no presentan sintomatología propia de este fenómeno. Así, se aprecia que el conjunto de los focos proporcionados por los Agentes del Medio Natural han presentado sintomatología asociada a Seca; mientras que en el caso de los focos correspondientes al estudio 2003-2004 ha sido casi el 88% del total. En estas zonas se han producido cortas, eliminando todos los ejemplares dañados. Con respecto a los focos pertenecientes al estudio IPROCOR, se ha detectado Seca en casi el 60% de los mismos, que sin ser un porcentaje elevado es comprensible, ya que en dicho estudio se identificaban zonas en las que se observa arbolado muerto. La pérdida de pies puede deberse a causas diferentes a la Seca (*Cerambyx* spp., hongos de pudrición, cortas...), por lo que en estos casos no se ha identificado como tal.

En el caso de los focos incluidos en la base de datos GEXSEL, casi en la mitad de ellos (48,23%) no se han encontrado daños por Seca. Es normal, ya que se trata de un registro de fincas y parcelas en las que se han realizado cortas de pies secos, pero la causa de su muerte no tiene porqué haber sido la Seca. Además, se incluyen polígonos de catastro de gran superficie, sin tener en cuenta el sitio exacto en el que se ha realizado el aprovechamiento.

Por último, en el caso de los focos incluidos en fincas o parcelas en las que se han realizado prospecciones de *Phytophthora*, sólo se han detectado ejemplares afectados por Seca en el 43% de los mismos. En este caso, por una parte tampoco se indica la localización exacta en la que se ha realizado la prospección y por otra, se han incluido zonas agrícolas en las que no hay arbolado susceptible de ser afectado por Seca.

Dentro de las 1000 parcelas, se han obtenido 980 casos completos (parcelas con todos los datos necesarios para el análisis). A partir de este dato, y tomando el modelo de regresión logística, se selecciona un conjunto de las variables tomadas en campo para las que se calculará la probabilidad de Seca, cambiando las variables dependientes. Se obtiene así la significación de cada variable considerada.

Sin embargo, el objetivo de este trabajo es la representación cartográfica de la probabilidad del fenómeno Seca. Ello obliga a simplificar este modelo, pues no todas las variables consideradas pueden ser representadas cartográficamente, bien porque no es posible para las escalas que exige este trabajo, bien porque no se dispone de esa información para toda la Comunidad. De tal manera, finalmente se tendrán en cuenta las siguientes variables:

- Altitud, variable continua procedente del Modelo Digital de Elevaciones MDE procedente del ASTER GDEM remuestreado de 30 a 25 m por el SECAD, Servicio de Cartografía Digital e IDE - Universidad de Extremadura, para toda la Comunidad.
- Encharcamiento, procedente del Mapa de suelos de la Comunidad y posterior reclasificación según los datos recogidos en campo (encharcamiento fácil o difícil).
- Pendiente, derivada del Modelo Digital de Elevaciones y reclasificado según los datos tomados en campo (entre 0 y 8% y entre 8 y 20%).
- Tipo de suelo, procedente del Mapa de Suelos de la Comunidad y posterior reclasificación según los datos tomados en campo, considerando la variable Suelo intermedio.
- Fracción de Cobertura Cubierta (FCC) Arbórea, obtenida del Mapa de Paisajes de Extremadura y reclasificando según datos tomados en campo, considerando la FCC comprendida entre 10 y 25%.

Seleccionadas las variables que finalmente serán consideradas, se procede a calcular la devianza, la cual nos da la idea de la variabilidad de los datos.

Para obtener una medida de la variabilidad explicada por este modelo simplificado hay que comparar la devianza del modelo nulo con la devianza residual. Esto es una medida de la variabilidad de la variable respuesta no es explicado por el modelo. En este caso, el modelo elegido explicaría un 10,88% de la varianza de la presencia de Seca.

#### 4. Resultados y discusión

Tras la elaboración de un modelo inicial, este se optimiza, eliminando variables no significantes. El modelo propuesto para el mapa de probabilidad resulta más sencillo y más significativo (Tabla 3).

Tabla 3. Modelo propuesto (Logit4)

	Logit4
Altitud	-0,0025
	(0,006)
Encharcamiento	1,4265
	(0,2120)
Pendiente1 (pendiente 0-8%)	1,7193
	(0,5806)
Pendiente2 (pendiente 8-20%)	1,7825
	(0,5867)
Tsuelo3 (Suelo Intermedio)	-0,4924
	(0,1511)
FCCARB2 (FCC 10-25%)	0,4137
	(0,1537)
Constant	-0,1123
	(0,6474)
Observations	980

Para el modelo propuesto, según las variables consideradas, la probabilidad de Seca queda expresada por la siguiente ecuación:

$$p = \frac{\exp(-0.11226 - 0.00255 \cdot \text{Altitud} + 1.42650 \cdot \text{encharcamiento} + \left[ \frac{1.71934 \cdot \text{pendiente1}}{1.78252 \cdot \text{pendiente2}} \right] - 0.49240 \cdot \text{Tsuelo3} + 0.41372 \cdot \text{FCCARB2})}{1 + \exp(-0.11226 - 0.00255 \cdot \text{Altitud} + 1.42650 \cdot \text{encharcamiento} + \left[ \frac{1.71934 \cdot \text{pendiente1}}{1.78252 \cdot \text{pendiente2}} \right] - 0.49240 \cdot \text{Tsuelo3} + 0.41372 \cdot \text{FCCARB2})}$$

Considerando un valor mayor o igual a 0,50 como “seca” y menor como “no seca”.

La influencia de las variables seleccionadas por el modelo definitivo en el fenómeno Seca, queda representada por el conjunto de gráficos expuestos en la Figura 2.

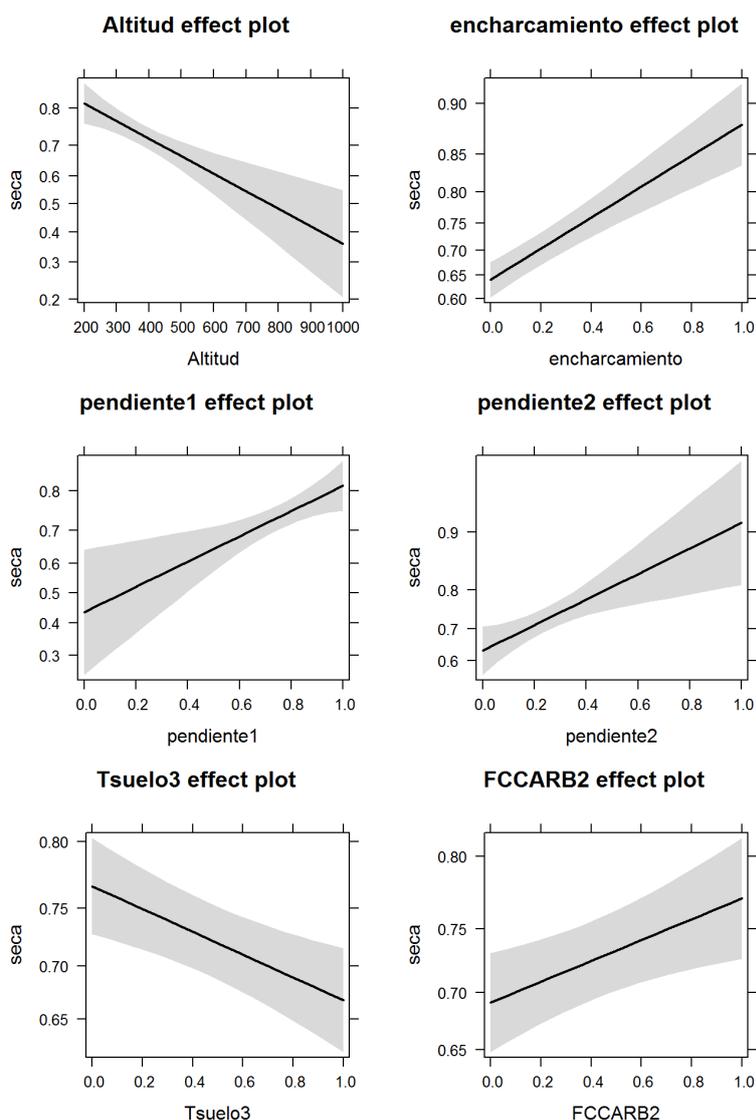


Figura 2. Serie de gráficos de influencia de las variables en el fenómeno Seca según el modelo propuesto

Como se puede observar, la altitud es una variable inversamente proporcional a la probabilidad de la ocurrencia de Seca, de modo que según aumenta la altitud disminuye el riesgo de Seca. La probabilidad de encharcamiento, por el contrario, tiene una relación directamente proporcional con la Seca, al aumentar la probabilidad de encharcamiento aumenta el de la ocurrencia de Seca.

Igual ocurre con las pendientes que se sitúan entre el 0 y 8% (pendiente 1) y entre el 8 y el 20% (pendiente 2), que cuanto mayor es la probabilidad de que la pendiente se encuentre entre estos valores, mayor es la probabilidad de Seca. El tipo de suelo 3 (intermedio), presenta significación estadística, de manera que su probabilidad presenta una relación inversa con la de la Seca.

La fracción de cabida cubierta arbórea comprendida entre el 10 y el 25% (FCC arbolada 2), muestra una relación directa con la probabilidad de Seca, de modo que según aumenta la probabilidad de que la FCC se encuentre en estos valores, mayor es la probabilidad de Seca.

Igualmente se realiza un análisis de los residuos, para lo cual se genera el conjunto de gráficos expuestos en la Figura 3.

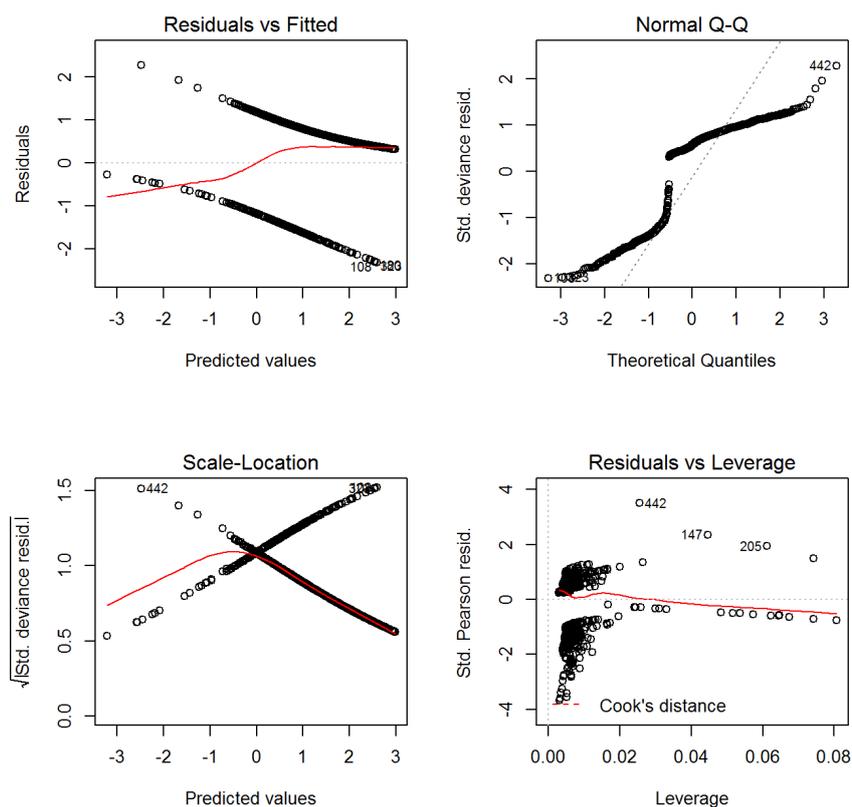


Figura 3. Serie de gráficos obtenidos en el análisis de residuos

La figura 3 (Residuals vs Fitted) muestra los residuos estandarizados frente a valores predichos, mientras que la 3 (Normal Q-Q) muestra el gráfico probabilístico de normalidad. Por otra parte, la figura 3 (Scale-Location) no ofrece ninguna información relevante para el análisis de residuos; mientras la 3 (Residuals vs Leverage) muestra el gráfico de valores atípicos. En el caso de los modelos binomiales, los gráficos de los residuos generalmente tienen formas poco “normales” dado que la respuesta siempre toma valores 0-1 y los valores predichos se mueven en el rango comprendido entre estos dos valores, por lo que el grado de discrepancia entre los valores observados y los predichos por el modelo es generalmente grande.

Continuando con el estudio de significancia estadística se realiza el análisis de la curva ROC (ROC= Característica Operativa Relativa). Esta curva es una representación de la razón o ratio de verdaderos positivos (VPR = Razón de Verdaderos Positivos) frente a la razón o ratio de falsos positivos (FPR = Razón de Falsos Positivos) según se varía el umbral de discriminación (valor a partir del cual decidimos que un caso es un positivo). El análisis de la curva ROC proporciona herramientas para seleccionar los modelos posiblemente óptimos y descartar modelos subóptimos. Para el caso que nos ocupa, la predicción del fenómeno Seca, los resultados del análisis de la curva ROC se muestran en la Tabla 4 y Figura 4.

Tabla 4. Razón de Verdaderos Positivos y Falsos Positivo

	FALSE	TRUE
NO SECA	68	225
SECA	36	651

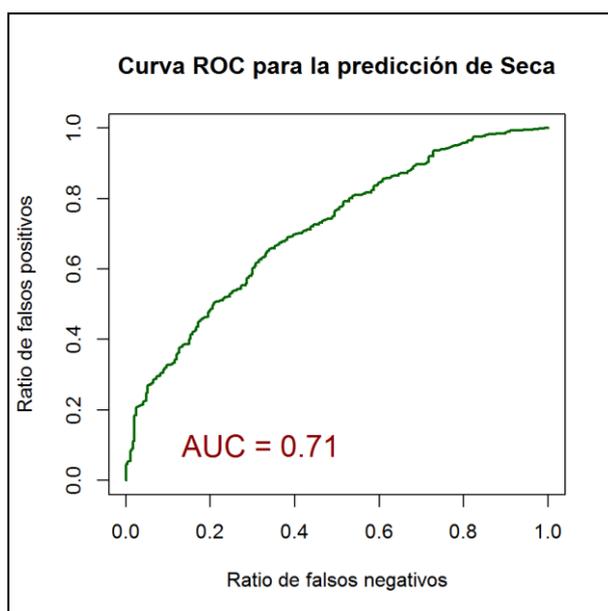


Figura 4. Curva ROC para la predicción de Seca

El área bajo la curva ROC, AUC de sus siglas en inglés (*Area Under Curve*), viene a indicar la probabilidad de que un clasificador ordene o puntúe una instancia positiva, elegida aleatoriamente, más alta que una negativa. Dicho de otra manera, la precisión con la que el modelo elegido logra diferenciar los posibles falsos positivos y falsos negativos. Para nuestro caso, en un 71,35% de los casos se logra este objetivo, lo que se considera catalogado como tipo regular, según indica la tabla clasificatoria de intervalos de AUC (Tabla 5).

Tabla 5. Clasificación de intervalos AUC

PROBABILIDAD	TIPO
0,97-1	Test excelente
0,9-0,97	Test muy bueno
0,75-0,9	Test bueno
0,6-0,75	Test regular
0,5-0,6	Test malo

Se obtiene así un test regular que, desde un punto de vista estadístico, resulta un modelo aceptable para predecir el fenómeno Seca en función de las variables consideradas.

Tras este análisis estadístico, mediante el software QGIS (QUANTUM GIS DEVELOPMENT TEAM, 2015), se obtiene un mapa de probabilidad de Seca, al cual se le aplica una máscara de la superficie ocupada por especies del género *Quercus* en la Comunidad de Extremadura (CONSEJERÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RURAL, POLÍTICAS AGRARIAS Y TERRITORIO, JUNTA DE EXTREMADURA, 2014), resultando así la distribución de superficies (Tabla 6) y el mapa definitivo (Figura 5).

Tabla 6. Distribución de la superficie según la probabilidad de Seca

PROBABILIDAD DE SECA	SUPERFICIE (Ha)	% SUPERFICIE <i>Quercus</i> spp.
0-25%	268.229	15,3
25-50%	430.313	24,6
50-75%	851.088	48,6
75-100%	200.343	11,5

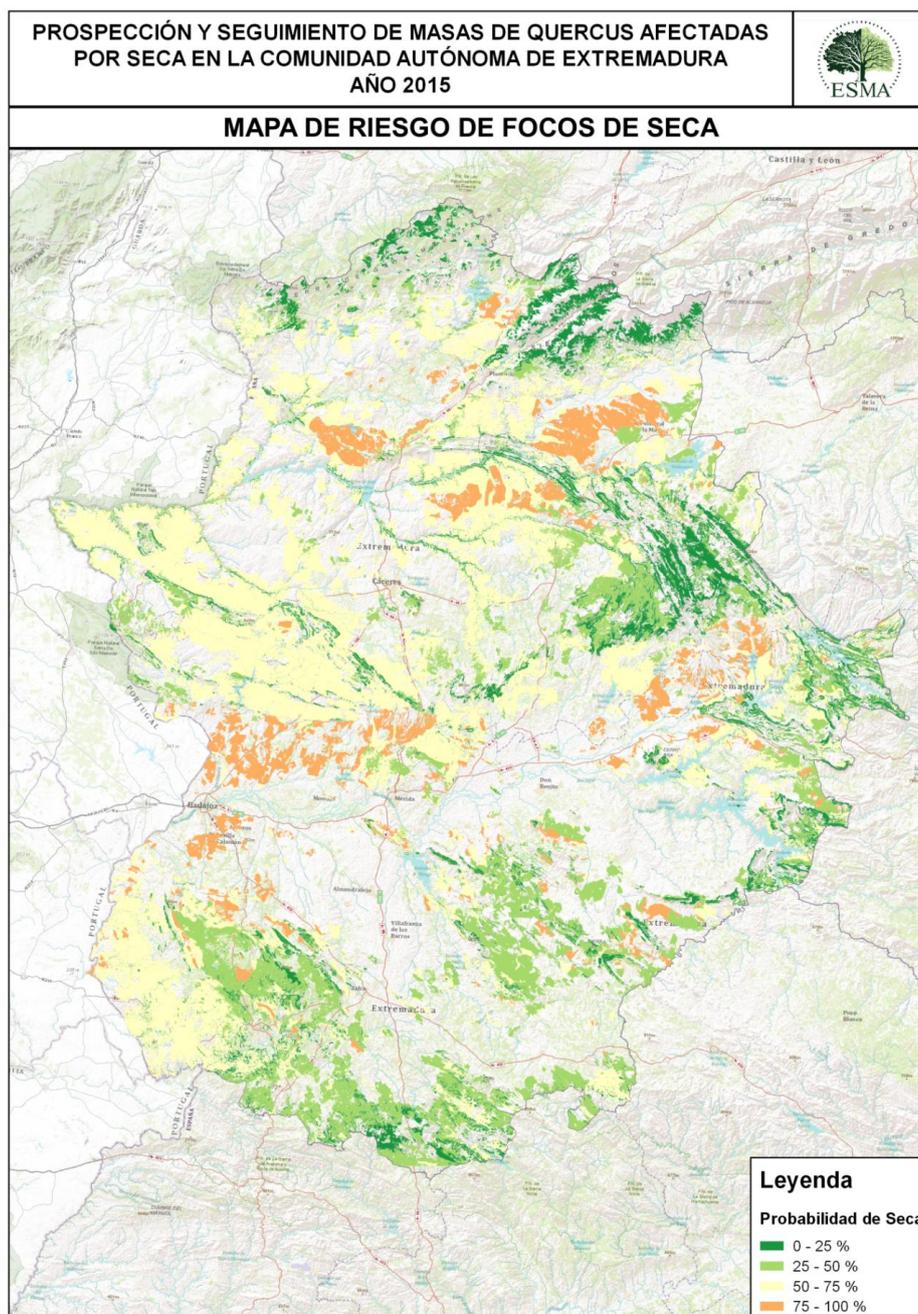


Figura 5. Mapa de Riesgo de Focos de Seca en la Comunidad Autónoma de Extremadura

## 5. Conclusiones

La Seca de los *Quercus* se ha convertido en un problema fitosanitario de primera magnitud en las dehesas de encina y alcornoque. Ello obliga a dedicar recursos a la investigación con el fin de encontrar soluciones que minimicen la pérdida de arbolado en estos sistemas. La representación cartográfica de la probabilidad del fenómeno Seca, plasmada en el Mapa de Riesgos de Focos de Seca en la Comunidad Autónoma de Extremadura, se revela como una herramienta de gran eficacia para evaluar el grado de susceptibilidad de estas masas frente a dicho fenómeno y así determinar las zonas prioritarias en las que actuar.

Las múltiples variables que se encuentran involucradas en los procesos de decaimiento y muerte de las especies del género *Quercus* en estos sistemas agroforestales han obligado a llevar a cabo el estudio de diversos modelos hasta dar con el que mejor se ajusta a la realidad. En el caso de este trabajo, la precisión a la que se ha llegado con el modelo elegido es del 71,35%, valor que se considera aceptable para los objetivos planteados.

Según este modelo, se concluye que el 60,1% de la superficie de los montes poblados por especies del género *Quercus* de la Comunidad extremeña presentan un riesgo superior al 50% de padecer Seca. Por el contrario, el análisis del mapa generado revela que las zonas de mayor altitud al norte y este de la Comunidad, más frecuentemente pobladas por masas de roble rebollo (*Quercus pyrenaica*) y montes bajos no adehesados de encina (*Quercus ilex*) son las que menos riesgo presentan ante la Seca.

Se han utilizado todos los datos del muestreo en el análisis y elaboración del modelo, al tratarse de un estudio piloto para la propuesta de una metodología. Todas las parcelas pertenecientes a la muestra tienen o han tenido Seca, con lo que se ha introducido un sesgo en el modelo, ya que uno de los objetivos del estudio original era conocer la evolución del fenómeno con los años. Los resultados, aunque razonables y con base, deberán ser mejorados en el origen, tanto para la selección de la muestra, así como, para la recogida de los datos en campo; y en la elaboración del modelo (datos de test y de validación).

## 6. Agradecimientos

Este trabajo no podría haberse llevado sin la iniciativa y tenacidad de José Luis del Pozo Barrón, Jefe del Servicio de Ordenación y Gestión Forestal de Consejería de Medio Ambiente y Rural, Políticas Agrarias y Territorio de la Junta de Extremadura. Igualmente agradecer a Beatriz Rocha Granado, Directora de Programa de Planificación Forestal y Montes Particulares, y al técnico Jesús González de Miranda Sanz, quienes han facilitado toda la información necesaria y marcado las directrices para la correcta ejecución del trabajo.

Por último, reconocer la labor de los Agentes del Medio Natural y de los coordinadores de las Unidades Técnicas de Vigilancia (UTV), que han colaborado en todo lo que se ha demandado durante los trabajos de campo.

## 7. Bibliografía

CARDILLO, E., et al. (2013). Patrones espaciales del decaimiento de encinas y alcornoques en Extremadura, España.

CAYUELA, L. (2015). Modelos Lineales Generalizados (GLM). Área de Biodiversidad y Conservación. Universidad Rey Juan Carlos. [Consulta:22-10-2015]. Disponible en: <https://dl.orangedox.com/z1fvF8dtPWDB2DhIEo/3Modelos%20lineales%20generalizados.pdf>.

CONSEJERÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RURAL, POLÍTICAS AGRARIAS Y TERRITORIO, JUNTA DE EXTREMADURA (2014). Mapa de paisajes forestales (shp). Disponible para consulta en: <http://ideextremadura.com/IDEEEXvisor/>.

CSIC - INSTITUTO DE RECURSOS NATURALES Y AGROBIOLOGÍA DE SEVILLA (IRNAS); EVENOR-TECH (2001). SEIS.net: Sistema Español de Información de Suelos sobre Internet [Webside]: 2001. Disponible en: <http://evenor-tech.com/banco/seisnet/seisnet.htm>.

ESTUDIOS MEDIOAMBIENTALES SL (ESMA); CONSEJERIA DE AGRICULTURA Y MEDIO AMBIENTE, JUNTA DE EXTREMADURA; 2003. Desarrollo y metodología para la realización de un inventario piloto en zonas afectadas por la Seca de quercíneas.

ESTUDIOS MEDIOAMBIENTALES SL (ESMA); CONSEJERIA DE AGRICULTURA Y MEDIO AMBIENTE, JUNTA DE EXTREMADURA; 2003. Metodología para la prospección y seguimiento de masas de *Quercus* afectadas por la “Seca” en la provincia de Cáceres.

ESTUDIOS MEDIOAMBIENTALES SL (ESMA); CONSEJERIA DE AGRICULTURA Y MEDIO AMBIENTE, JUNTA DE EXTREMADURA; 2004. Metodología para la prospección y seguimiento de masas de *Quercus* afectadas por la “Seca” en la provincia de Badajoz.

ESTUDIOS MEDIOAMBIENTALES SL (ESMA); CONSEJERIA DE MEDIO AMBIENTE Y RURAL, POLÍTICAS AGRARIAS Y TERRITORIO, JUNTA DE EXTREMADURA; 2015, Prospección y Seguimiento de masas de *Quercus* afectadas por Seca en la Comunidad Autónoma de Extremadura.

FARAWAY, J.J. (2006). Extending the linear model with R. Generalized linear, mixed effects and non parametric regression models. Chapman & Hall/CRC Press. Florida.

FERNÁNDEZ, J.Mª. y SOLLA, A. (2006). Mapas de riesgo de aparición y desarrollo de la enfermedad del marchitamiento de los pinos (*Bursaphelenchus xylophilus*) en Extremadura.

FÜRHER, E. (1998). Oak decline in Central Europe: a synopsis of hypotheses. In Proc. Population Dynamics, Impacts and Integrated Management of Forest Defoliating Insects. Liebhold. USDA Forest Service General Technical Report: 1-24.

HOTHORN, T., et al. (2014). A Handbook of Statistical Analyses using R. Chapman & Hall/CRC Press. Florida.

QUANTUM GIS DEVELOPMENT TEAM, 2015. Quantum GIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project. <http://qgis.osgeo.org>.

R CORE TEAM (2015). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <http://www.R-project.org/>.

RUPÉREZ, A. y MUÑOZ, M. (1980). Grave enfermedad de las encinas. Boletín de Sanidad Vegetal y Plagas, 6:107-107.

TACHIKAWA T., HATO M., KAKU M., IWASAKI A., 2011, The characteristics of ASTER GDEM version 2, IGARSS, July 2011.

TUSET, J. J.; SÁNCHEZ, G.; 2004. La Seca: El decaimiento de encinas, alcornoques y otros *Quercus* en España. Ministerio de Medio Ambiente. Organismo Autónomo Parques Nacionales, Madrid.

Zuur, A.F., et al. (2007). Analysing ecological data. Springer. New York.