

UNIVERSIDAD DE SALAMANCA  
CRISTIAN MADEIRA DE MEDEIROS



**VNiVERSiDAD  
D SALAMANCA**

**ANÁLISIS DE BIODIVERSIDAD EN CASTILLA Y LEÓN MEDIANTE  
SIG**

SALAMANCA

2015

CRISTIAN MADEIRA DE MEDEIROS

**ANÁLISIS DE BIODIVERSIDAD EN CASTILLA Y LEÓN MEDIANTE  
SIG**

Trabajo de Fin de Máster presentado al Programa del Máster en Biología y Conservación de la Biodiversidad, Facultad de Biología de la Universidad de Salamanca, en cumplimiento parcial de los requisitos para el título de Máster Universitario en Biología y Conservación de la Biodiversidad.

SALAMANCA

2015

## RESUMEN

La biodiversidad puede definirse de forma sintética como la variabilidad de los organismos vivos y los sistemas ecológicos de los que forman parte. Como consecuencia de la situación actual de deterioro ambiental global, esa biodiversidad está sufriendo un importante menoscabo, por lo que se hace preciso diseñar estrategias eficaces con las que actuar en todos los frentes para intentar conservarla, y es en este sentido en el que se inscribe el presente estudio. En él que se prueba una metodología novedosa y de amplio espectro, en el campo de la eoinformática, que es la conjunción de los Sistemas de Información Geográfica (SIG), con los Modelos Nicho Ecológico. En concreto, estas herramientas se han empleado para hacer un análisis de la biodiversidad de Castilla y León en relación a dos grupos de organismos muy diferentes: las plantas vasculares y los anfibios. Nuestros resultados indican la existencia de unos patrones geográficos de distribución de riqueza en la comunidad autónoma, que nos sirven para lanzar hipótesis sobre sus posibles causas. Igualmente, en el caso de la flora, se ha podido evaluar el grado de protección de las Microrreservas propuestas para las especies de interés.

Palabras clave: Sistemas Información Geográfica (SIG), Modelos Nicho Ecológico, Biodiversidad, Conservación, Castilla y León, Anfibios, Flora interés

## **ABSTRACT**

Biodiversity can be synthetically defined as the variability of living organisms and ecological systems that they include. As a result of the current global environmental degradation, this biodiversity is suffering a material impairment, so it becomes necessary to design effective strategies in order to act on all fronts to try to preserve it, and in this way, we wrote this study. Here, we tested a novel methodology with a wide spectrum on the field of Bioinformatics, which is the combination between Geographic Information System (SIG) and Ecological Niche Model. Specifically, these tools have been used for the analysis of Castilla y León biodiversity, in relation to two very different groups of organisms: vascular plants and amphibians. Our results suggests to geographic patterns of richness distribution in the study area, which allow us to hypothesize about possible causes. Similarly, in the case of flora species, it has been possible to assess the degree of protection of the proposed Micro-reserves for the species with special interest.

**Keywords:** Geographic Information Systems (GIS), Ecological Niche Models, Biodiversity, Conservation, Castilla y León, Amphibians, Plants with special interest

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1. NÚMERO DE ESPECIES LISTADAS EN EL CATÁLOGO DE FLORA VASCULAR SILVESTRE DE CASTILLA Y LEÓN (2014) EN COMPARACIÓN CON NÚMERO DE ESPECIES QUE CONSTAN EN EL DECRETO DE FLORA PROTEGIDA DE CASTILLA Y LEÓN (2007) .....	16
FIGURA 2. NÚMERO DE ESPECIES LISTADAS EN EL DECRETO DE FLORA PROTEGIDA DE CASTILLA Y LEÓN (2007) POR CATEGORÍA DE INTERÉS.....	17
FIGURA 3. PORCENTAJE DE CITAS DE ESPECIES PRESENTES EN EL CATÁLOGO DE FLORA VASCULAR SILVESTRE DE CASTILLA Y LEÓN (2014) EN COMPARACIÓN CON EL PORCENTAJE DE CITAS DE ESPECIES QUE CONSTAN EN EL CATÁLOGO DE FLORA PROTEGIDA DE CASTILLA Y LEÓN (2007) .....	17
FIGURA 4. NÚMERO DE ESPECIES LISTADAS EN EL DECRETO DE FLORA PROTEGIDA DE CASTILLA Y LEÓN (2007) EN COMPARACIÓN CON NÚMERO DE ESPECIES QUE ESTÁN EN MICRORRESERVAS DE FLORA.....	18
FIGURA 5. PORCENTAJE DE CITAS PARA ESPECIES PROTEGIDAS POR EL DECRETO DE FLORA PROTEGIDA DE CASTILLA Y LEÓN (2007) EN COMPARACIÓN CON EL PORCENTAJE DE CITAS PRESENTES EN ESPACIOS DE MICRORRESERVAS DE FLORA.....	19
FIGURA 6. NÚMERO DE ESPECIES DE INTERÉS POR INTERVALO DE REGISTROS DE CITAS .....	20
FIGURA 7. PORCENTAJE DE ÁREA OCUPADA POR LA TOTALIDAD DE MICRORRESERVAS DE FLORA EN RELACIÓN AL ÁREA TOTAL DE CASTILLA Y LEÓN.....	21
FIGURA 8. ÁREA TOTAL (EN HECTÁREAS) Y NÚMERO DE MICRORRESERVAS DE FLORA POR PROVINCIA.....	21
FIGURA 9. PORCENTAJE DE ÁREAS TOTALES POR PROVINCIA DESTINADAS A LAS MICRORRESERVAS DE FLORA.....	22
FIGURA 10. DISTRIBUCIÓN DE LAS ESPECIES LISTADAS EN EL CATÁLOGO DE FLORA VASCULAR SILVESTRE DE CASTILLA Y LEÓN.....	23
FIGURA 11. NÚMERO DE CITAS DE ESPECIES DE LA FLORA VASCULAR SILVESTRE DE CASTILLA Y LEÓN POR CUADRÍCULAS UTM CON 10 X 10 KM DE RESOLUCIÓN .....	23
FIGURA 12. NÚMERO DE ESPECIES DE LA FLORA VASCULAR SILVESTRE DE CASTILLA Y LEÓN POR CUADRÍCULAS UTM CON 10 X 10 KM DE RESOLUCIÓN .....	24

FIGURA 13. NÚMERO DE CITAS DE ESPECIES DE LA FLORA PROTEGIDA DE CASTILLA Y LEÓN POR CUADRÍCULAS UTM CON 10 X 10 KM DE RESOLUCIÓN .....	24
FIGURA 14. NÚMERO DE ESPECIES DE LA FLORA PROTEGIDA DE CASTILLA Y LEÓN POR CUADRÍCULAS UTM CON 10 X 10 KM DE RESOLUCIÓN .....	25
FIGURA 15. NÚMERO DE CITAS DE ESPECIES DE ANFIBIOS POR CUADRÍCULAS UTM DE 10 X 10 KM DE RESOLUCIÓN .....	26
FIGURA 16. NÚMERO DE ESPECIES DE ANFIBIOS POR CUADRÍCULAS UTM CON 10 X 10 KM DE RESOLUCIÓN .....	27
FIGURA 17. MODELIZACIÓN PREDICTIVA DE DISTRIBUCIÓN PARA LAS ESPECIES VEGETALES DE INTERÉS .....	29

### **LISTA DE TABLAS**

TABLA 1. PORCENTAJE DE CONTRIBUCIÓN DE CADA VARIABLE AMBIENTAL .....	28
--	----

## ÍNDICE

<b>1.</b>	<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	7
1.1.	¿QUÉ ES BIODIVERSIDAD?.....	7
1.2.	HERRAMIENTAS PARA LA CONSERVACIÓN DE LA BIODIVERSIDAD: LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (SIG).....	8
1.3.	LA BIODIVERSIDAD DE CASTILLA Y LEÓN .....	10
1.4.	APLICACIÓN DE LOS SIG EN LA CONSERVACIÓN DE LA BIODIVERSIDAD DE CASTILLA Y LEÓN .....	10
1.5.	OBJETIVOS .....	11
<b>2.</b>	<b>MATERIAL Y MÉTODOS</b> .....	11
2.1.	ÁREA DE ESTUDIO .....	11
2.2.	ARCGIS® 10 Y MAXENT .....	12
2.3.	FUENTES DE DATOS .....	12
2.4.	ANÁLISIS DE BIODIVERSIDAD MEDIANTE MANEJO DE ArcGIS® 10 .....	13
2.5.	CONSIDERANDO LOS ERRORES PARA EL ANÁLISIS DE BIODIVERSIDAD .....	14
2.6.	PREPARACIÓN DEL MODELO DE NICHOS ECOLÓGICOS .....	14
2.7.	CONSIDERANDO LOS ERRORES DEL MODELO.....	15
<b>3.</b>	<b>RESULTADOS</b> .....	16
3.1.	ANÁLISIS DE BIODIVERSIDAD MEDIANTE ArcGIS® 10 .....	16
3.1.1.	<i>Flora</i> .....	16
3.1.2.	<i>Fauna</i> .....	26
3.2.	MODELIZACIÓN PREDICTIVA DE NICHOS ECOLÓGICOS MEDIANTE MAXENT .....	27
3.3.	3.3.3K .....	27
<b>4.</b>	<b>DISCUSIÓN</b> .....	29
<b>5.</b>	<b>CONCLUSIONES</b> .....	32
	<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	32
	<b>REFERENCIAS</b> .....	34

## 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1. ¿QUÉ ES BIODIVERSIDAD?

En el Convenio sobre la Diversidad Biológica (CDB) se define “diversidad biológica” como la variedad de organismos vivos de cualquier tipo, incluidos en, entre otros, los ecosistemas terrestres y ecosistemas acuáticos (marinos y dulceacuícolas), así como las interacciones ecológicas en las que participan; ello incluye la diversidad dentro de una misma especie (diversidad genética), diversidad entre las distintas especies de organismos y diversidad de los ecosistemas (Secretaría del CDB, 2010).

Esta biodiversidad, desde un punto de vista antrópico, aporta una gran variedad de valores cuantificables e intrínsecos, beneficios y servicios ecosistémicos que son de importancia fundamental para la sociedad: servicios de aprovisionamiento (plantas medicinales, pesca, etc.), reguladores (depuración del aire y del agua, regulación del clima, etc.), culturales (estéticos, religiosos y turísticos), además de la formación del suelo y crecimiento de las plantas (Secretaría del CDB, 2010). Adicionalmente, en muchas regiones la conservación de la biodiversidad faunística y florística, se justifica por el aporte económico que la explotación de los recursos naturales generan para su población que vive ahí (Lima, 2007).

El CDB (2014) apunta las causas que amenazan la biodiversidad mundial: pérdida, degradación y fragmentación de hábitats naturales; sobreexplotación de los recursos biológicos; contaminación, a través de acumulación o vertido de nutrientes en el medio ambiente; impactos de especies exóticas invasoras sobre ecosistemas y especies autóctonas; el cambio climático y la acidificación de los océanos, asociados con la acumulación de gases de efecto invernadero en la atmósfera.

Otro factor preocupante es, que gran parte de las especies de todos los grupos conocidos están, en promedio, cada vez más al borde de la extinción; dentro de ellas, los anfibios son uno de los que corre más peligro. Hecho interesante es, que las especies utilizadas para alimentación y medicina tienen, en promedio, más riesgo de extinción que aquellas especies que no se usan con esos fines. Hay también evaluaciones preliminares indicando que el 23% de las especies vegetales están amenazadas (Secretaría del CDB, 2010).

Tras lo expuesto, queda clara la necesidad de plantear y ejecutar medidas para la conservación y gestión de toda esa biodiversidad, ya que numerosas evidencias apuntan hacia



una pérdida sin precedentes de la diversidad de genes, de especies y de ecosistemas en todo el mundo (Secretaría del CDB, 2010). Según la *Millennium Ecosystem Assessment* (2005), para lograr un mayor progreso hacia la conservación de la biodiversidad y disminuir los niveles de su pérdida, cuatro objetivos son fundamentales: (1) creación de áreas protegidas; (2) planteamiento de medidas de protección y recuperación para especies amenazadas; (3) conservación de la diversidad genética *ex situ* o *in situ*; (4) restauración de ecosistemas.

## 1.2. HERRAMIENTAS PARA LA CONSERVACIÓN DE LA BIODIVERSIDAD: LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (SIG)

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) son herramientas novedosas de *software*, bien establecidas, que combinan tecnologías cartográficas y base de datos, y que tienen una gran utilidad práctica en la conservación de biodiversidad. Estos sistemas de información, capturan, almacenan, gestionan y muestran múltiples conjuntos de datos georreferenciados, tales como ciudades, carreteras, ríos, edificios, distribuciones de especies, etc. Los usuarios pueden crear consultas interactivas, analizar informaciones espaciales, y así comprender mejor las relaciones e interacciones entre las actividades humanas y su entorno. Los resultados se ven expresados en forma de mapas, y esa visualización proporciona ventajas con respecto a los registros y tablas utilizadas en las hojas de cálculo y bases de datos tradicionales. Los análisis espaciales y mapas pueden descubrir patrones complejos, señalar problemas, y revelar las conexiones que pueden no ser evidentes en las tablas y/o en el texto y así mejorar significativamente la gestión de sistemas complejos utilizando múltiples criterios (Supatimusro *et al.*, 2013).

El uso de SIG nos permite una verificación clara y objetiva, rápida y precisa de la distribución temporal y espacial de los taxones y de sus áreas de ocurrencia. Las informaciones son almacenadas en una base de datos, y como son de fácil acceso, constituyen un apoyo importante por aceptar la actualización continua de los datos. Por contar con un gran número de potencialidades, tales como: la velocidad, capacidad, versatilidad, precisión y una excelente visualización de mapas generados por esta aplicación, los sistemas de información geográfica son extremadamente útiles para su uso análisis de biodiversidad y como una herramienta de apoyo para la toma de decisiones (Ferreira, 1997).

Cada vez más se han utilizado SIG como herramientas en estudios direccionados a la conservación donde buscan, por ejemplo, establecer directrices para el manejo de especies en

peligro de extinción (Dos Santos *et al.*, 2007). Conforme los resultados obtenidos por Nowatzki *et al.* (2010), el uso de los SIG han demostrado ser un método eficiente para la delimitación de las Áreas de Preservación Permanente (APP). Componentes y propiedades de la biodiversidad, como muchas veces son los requisitos inherentes de especies vulnerables, pueden ser modelados basándose en la representación del hábitat en SIG (Gontier *et al.*, 2006). Otro uso que resulta interesante e importante de los SIG es, en conjunción con la Modelización Predictiva de Nicho Ecológico (MNE), buscando estimar la distribución de los hábitats óptimos de las especies, e incluso haciendo proyecciones futuras, con el objetivo de analizar cuáles pueden ser las alteraciones derivadas del cambio climático (p. ej. Meyer *et al.*, 2014). Una de las integraciones que se puede hacer entre SIG y MNE es a través del uso de dos programas específicos en cada sistema: ArcGIS® (ESRI Inc., 2010) en el ámbito de los SIG, y como base para elaborar una Modelización Predictiva de Nicho Ecológico, Maxent (Phillips *et al.*, 2011). Este último programa es libre y se puede descargar gratuitamente y es un algoritmo matemático que permite obtener predicciones o inferencias en situaciones donde hay poca información de partida (Phillips *et al.*, 2006). Los MNE se pueden definir, en líneas generales, como un sistema que combina variables ambientales y ecológicas con datos de ocurrencias de una o varias especies, expresando las condiciones requeridas por la especie. Como resultado se genera un mapa, proyectando las distribuciones potenciales de las especies objetos del estudio (Anderson *et al.*, 2003). Este método es una importante técnica de la biología analítica que tiene aplicaciones en la conservación, gestión de especies invasoras y muchos otros campos (Phillips *et al.* 2006). De acuerdo con Elith *et al.* (2006) entre la gran variedad de algoritmos para elaborar modelos de nicho ecológico, Maxent está considerado como uno de los mejores.

Los modelos se caracterizan como proyectores de los hábitats que son idóneos o no, para las especies que son objeto del estudio, incluso pueden indicar *hotspots* de biodiversidad. El algoritmo del programa estima una distribución probable de máxima entropía (i.e. la que tenga menos restricciones) a través de datos de ocurrencia (Phillips *et al.*, 2006). Maxent toma como entrada un conjunto de variables ambientales (tales como elevación, precipitación, etc.), así como un conjunto de coordenadas georreferenciadas. A partir de esas entradas, genera un modelo que expresa la idoneidad de los hábitats para aquellas especies seleccionadas, que pueden ser divididos en dos clases: inadecuados (valor = 0) o adecuados (valor = 1) (Phillips & Dudík, 2008; Phillips *et al.*, 2011).

### 1.3. LA BIODIVERSIDAD DE CASTILLA Y LEÓN

De acuerdo con los datos oficiales de la Junta de Castilla y León (2015), Castilla y León es una de las regiones europeas más ricas en diversidad biológica, tanto de fauna como de flora. En la región se puede contabilizar 39 especies de vertebrados amenazados, de las cuales 17 son aves, 18 mamíferos y cuatro anfibios, además de tres especies de invertebrados. Cuatro de las 17 especies de aves (*Aquila adalberti* Brehm, 1861, *Tetrao urogallus cantabricus* Castroviejo, 1967, *Botaurus stellaris* (Linnaeus, 1758), *Milvus milvus* (Linnaeus, 1758)) y tres de los 18 mamíferos (*Ursus arctos* Linnaeus, 1758, *Lynx pardinus* (Temminck, 1827), *Mustela lutreola* (Linnaeus, 1761)) están catalogados como “en peligro de extinción”, las demás están catalogadas como “vulnerables”. La presencia de esas especies sería indicadora de la buena calidad de los ecosistemas castellano-leoneses, en relación a otras comunidades en los que, o han desaparecido o tienen un mayor grado de amenaza.

En relación a la flora vascular, Castilla y León también es una región con una gran diversidad, con cerca de 4.266 taxones, muchos de los cuales son endémicos o tienen una distribución restringida, lo que ha justificado la aprobación del Decreto 63/2007, de 14 de junio, por el que se crean el Catálogo de Flora Protegida de Castilla y León y la figura de protección denominada Microrreserva de Flora (JCYL, 2015).

### 1.4. APLICACIÓN DE LOS SIG EN LA CONSERVACIÓN DE LA BIODIVERSIDAD DE CASTILLA Y LEÓN

En la actualidad gran parte de la información sobre especies se encuentra en formatos visualizables por los mencionados programas SIG. En el caso de Castilla y León, en los últimos tiempos se ha hecho un esfuerzo considerable en organizar todos los datos existentes sobre biodiversidad en archivos georreferenciados. El principal ejemplo es la base de datos con el Catálogo de Flora Vascular, que cuenta con más de 1.300.000 registros correspondientes a citas de flora, existentes en todo el territorio, con sus coordenadas geográficas que permite ubicarlos espacialmente con mayor o menor precisión. Esta ingente cantidad de datos ha sido tratada durante este estudio para determinar patrones de biodiversidad en relación a aquellas especies de mayor interés, presentes en el mencionado Decreto.

En cuanto a los datos de fauna, no existen -al menos que estén disponibles-, datos

precisos para la comunidad. Las bases de datos que pueden referirse a este territorio son las correspondientes a toda la Península Ibérica y que proceden del Inventario Español de Especies Terrestres que se encuentra disponible en la página web del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (MAGRAMA). Como ya se explicará más adelante, se ha elegido para este estudio, dentro de todos los grupos faunísticos posibles, el de los anfibios, debido fundamentalmente a que son excelentes bioindicadores al estar ligados a ambientes bien conservados (Toledo, 2009). Además han sufrido una reducción importante de sus efectivos en las últimas décadas por diversas causas, la mayoría de origen antrópico (Toledo *et al.* 2010; Secretaría del CDB, 2010).

## 1.5. OBJETIVOS

- Aprender a aplicar los Sistemas de Información Geográfica en un análisis de biodiversidad, en este caso de la comunidad autónoma de Castilla y León empleando para ello información georreferenciada de plantas vasculares y anfibios;
- Determinar *hotspots* de biodiversidad faunística y florística en Castilla y León;
- Demostrar una manera de aplicación conjunta de SIG con MNE;
- Demostrar algunos enfoques a los cuales se pueden direccionar la aplicación de SIG en los estudios de conservación de la biodiversidad;
- Averiguar el nivel de protección proporcionado por las Microrreservas de Flora sobre la flora de interés;
- Ejemplificar una aplicación de MNE para un grupo de especies de flora de interés.

## 2. MATERIAL Y MÉTODOS

### 2.1. ÁREA DE ESTUDIO

La comunidad autónoma de Castilla y León está enclavada en la meseta norte de la Península Ibérica, margen centro-noroeste de España, en frontera con Portugal. Tiene una extensión de 94.224 km<sup>2</sup>, lo que la convierte en la comunidad autónoma más extensa del país y una de las mayores regiones geopolíticas de la Unión Europea. Presenta una altitud media de 830 metros y su orografía es diversa, con un amplio cordón montañoso periférico y una

vasta planicie central que presenta algunos cañones relevantes. Su clima es eminentemente continental, con inviernos fríos y veranos calurosos con cortos periodos primaverales y otoñales. Las temperaturas máximas oscilan aproximadamente entre los 39 °C de los meses más cálidos y los 12 °C bajo cero de los meses invernales. Las precipitaciones en conjunto son escasas, aunque con diferencias marcadas entre el interior de la Meseta, más seca, y las zonas montañosas de la periferia, con lluvias abundantes en enclaves como los Ancares leoneses, que se aproximan ya a Galicia.

## 2.2. ARCGIS® 10 Y MAXENT

Se han empleado durante el presente estudio, los siguientes programas:

-ArcGIS® Desktop 10 versión 10.0 (ESRI Inc., 2010) es un *software* para trabajar con mapas e información geográfica.

-Maxent versión 3.3.3k (Phillips *et al.*, 2011) un *software* de libre distribución que está basado en modelización de nicho ecológico enfocado en el cálculo según la máxima entropía.

## 2.3. FUENTES DE DATOS

Los datos de citas para especies de flora fueron obtenidos de la *Base de Datos del Catálogo de la Flora Vasculare Silvestre de Castilla y León*, en su última actualización del 2014, que está disponible en el Departamento de Botánica de esta Universidad. Esta base de datos actualmente cuenta con 1.300.221 de registros de citas correspondientes para las 4.266 especies del referido catálogo. Además aporta una información bastante completa acerca de cada uno de esos registros, como por ejemplo, procedencia, fecha, autor y localidad de la cita, entre otros. Toda la información cartográfica, aun teniendo los datos diversos niveles de precisión, para este estudio se ha representado una malla de cuadrículas 10x10 Km.

En cuanto a los datos de registros de citas de las especies de anfibios fueron obtenidos desde el *Inventario Español de Especies Terrestres* que se encuentra disponible en la página web del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (MAGRAMA). En esta base de datos solamente para el grupo de los anfibios, existen 36.606 registros de citas para las especies de anfibios peninsulares. Con respecto a los datos para Castilla y León, son 9.897 registros para 21 especies. Tiene igualmente una buena información adjunta de cada registro:

procedencia, fecha y autor de la cita, entre otras. Toda la información cartográfica está representada con una malla de cuadrículas 10x10 Km (ETRS89 UTM Zona 30N). Es importante mencionar que no aparece datos para la especie *Bufo spinosus* Daudin, 1803 en la referida base de datos que se ha trabajado.

#### 2.4. ANÁLISIS DE BIODIVERSIDAD MEDIANTE MANEJO DE ArcGIS® 10

En ArcGIS® 10 se opera una aplicación central llamada ArcMap®, donde se trabaja con los datos e informaciones geográficas. En ello está inserido ArcToolbox que presenta una gran variedad de herramientas (extensiones de ArcMap®) que permiten la realización de una serie de operaciones más elaboradas. Para el desarrollo de este estudio, se ha manejado algunas de esas herramientas, tales cuales: *Clip*, *Dissolve*, *Intersect*, *Calculate Areas* y *Feature to Raster*.

A partir de la base de datos de la Flora Vasculare Silvestre de Castilla y León (2014), se han llevado a cabo varios análisis estadísticos, tanto para el conjunto de especies contenidas, como para las de interés, es decir, las incluidas en el Decreto de Flora Protegida de Castilla y León (Decreto 63/2007). Como puede observarse en la [figura 3](#), estas especies de interés suponen un porcentaje reducido (1,4%) en relación al número total de especies de la comunidad. Para determinar el número de registros existentes en la base de datos, correspondientes a las especies del decreto, se hizo un análisis de referencias cruzadas en Microsoft Access 2010®, obteniendo tras el filtro, un mapa con la ubicación geográfica de las citas de dichos taxones, que a su vez se superpuso con la capa correspondiente a la situación espacial de las microrreservas de Flora de Interés. De esta sencilla forma puede calcularse qué porcentaje de poblaciones pertenecientes a las especies de interés se encuentran ubicadas dentro de estas figuras de protección (figuras [4](#) y [5](#)). Paralelamente se ha hecho un análisis buscando determinar el número que había de especies por cada categoría de interés ([figura 2](#)). Otro análisis fue el de número de citas para cada una de las especies de interés ([figura 6](#)), lo que da una idea aproximada de la situación poblacional general que existe en ellas. En la [figura 7](#) puede apreciarse el porcentaje de la superficie total de Castilla y León asignado a las microrreservas de flora, e igualmente en la figuras [8](#) y [9](#), lo mismo pero en relación a cada provincia de esta comunidad.

Los análisis con los datos de fauna, como se ha dicho anteriormente, se han centrado solo en el grupo de los anfibios. No obstante, la metodología de trabajo puede reproducirse

para cualquier grupo de vertebrados. Mediante utilización de ArcGIS® 10, se generaron dos mapas con la representación del número de citas y de especies de anfibios por cuadrícula UTM 10x10kms.

## 2.5. CONSIDERANDO LOS ERRORES PARA EL ANÁLISIS DE BIODIVERSIDAD

En el Decreto de Flora 63/2007 fueron incluidas 301 especies que se corresponden con 306 taxones del Catálogo de Flora. Esta disparidad ocurre porque en este último se diferencian algunas subespecies que no se mencionan en el Decreto, puesto que solo aparece la especie que las incluye. Los taxones que están en esta situación son: *Euphorbia nevadensis* subsp. *aragonensis* (Loscos & Pardo) O. Bolòs & Vigo y *E. nevadensis* subsp. *nevadensis*, que se corresponderían en el Decreto con la especie *E. nevadensis* Boiss. & Reut.; *Narcissus pseudonarcissus* subsp. *nobilis* (Haw.) A. Fern, *N. pseudonarcissus* subsp. *pallidiflorus* A. Fern. y *N. eugeniae* Fern. Casas, que están todas incluidas en el Decreto bajo el nombre de *Narcissus* sección *pseudonarcissus* L.; y *Ranunculus parnassiiifolius* subsp. *cabrerensis* Rothm. y *Ranunculus parnassiiifolius* subsp. *heterocarpus* P. Kùpfer que están listadas como *Ranunculus parnassiiifolius* L. Por otro lado, de esas 301 especies del Decreto, en este estudio, solo fueron consideradas 298, debido a un error provocado por la falta de coherencia entre los nombres científicos que aparecían en la base de datos con relación a los del dicho decreto. Durante el proceso de importación de las tablas .dbf a Microsoft Access 2010©, debido a problemas de grafía en ese formato .dbf, algunos caracteres de los nombres de autores no fueron reconocidos, lo que resultó en que tres taxones quedaran fuera del análisis: *Artemisia caerulescens* subsp. *gargantae* Vallès Xirau & Seoane Camba, *Euphorbia nevadensis* Boiss. & Reut. y *Pseudorchis albida* (L.) Á. Löve & D. Löve. Por falta de tiempo, al ser detectado tarde este problema, no ha podido ser enmendado para esta memoria, no obstante, consideramos que ello no supone un menoscabo a los resultados obtenidos en este trabajo, que es, como ya se ha dicho, de carácter eminentemente metodológico.

## 2.6. PREPARACIÓN DEL MODELO DE NICHO ECOLÓGICO

En una revisión, Giannini (2012) apunta a entre diez y 30 puntos de presencias como el número de registros adecuados para la creación de un modelo de distribución. Con base en

esta información y a partir de los datos de presencia de especies, elegimos solamente aquellas de flora de interés que tenían por encima de los 15 registros de citas. Dentro de ese grupo, no ha habido ninguna selección específica, sino que se ha trabajado conjuntamente con todas ellas, puesto de lo que se trataba en este estudio, era emplear a Maxent como un algoritmo genérico que nos averiguara la correlación entre aquellos lugares con mayor número de especies de interés y las variables ambientales predictoras. La mecánica de trabajo consistió en transformar aquellas cuadrículas UTM con mayor número del tipo de especies anteriormente citadas y transformarlas en su centroide al que se le asigna coordenadas X e Y (Anderson *et al.* 2003). De esta forma conseguimos un archivo de puntos georreferenciados que es la base para la generación del modelado en Maxent ([figura 17](#)).

## 2.7. CONSIDERANDO LOS ERRORES DEL MODELO

Anderson *et al.* (2003) apuntan la existencia de dos errores posibles para los modelos de distribución de especies: (1) los falsos negativos, donde hay un error por omisión o una subestimación y (2) los falsos positivos, donde hay una sobrestimación.

Lo sugerido por Giannini, *et al.* (2012), es hacer un tratamiento previo de los datos, como por ejemplo la comprobación de las citas *in loco*. Debido la falta de tiempo hábil y presupuesto utilizamos los datos de la manera que están publicados, no haciendo su tratamiento previo.

Por el hecho de que teníamos dudas con respecto a la calidad de los datos de ocurrencia de las especies y buscando reducir los errores de omisión, regulamos Maxent con una tasa de omisión de 5%, que es un margen de seguridad que trabaja el algoritmo (Elith *et al.* 2006; Phillips *et al.* 2006).

Una vez que el presente trabajo permitió una primera aproximación metodológica a la utilización de esas herramientas para estudios de conservación, los errores fueron tenidos en cuenta en la hora de evaluación y análisis de los resultados obtenidos. Tanto para los análisis de biodiversidad en ArcGIS®, como para el modelado mediante Maxent. Debe tenerse en cuenta algo más relevante aún que las posibles imprecisiones derivadas del tipo de datos empleados, que es el hecho de que estamos modelando puntos de presencia de un grupo de especies que tienen requerimientos ambientales muy dispares y cuya distribución puede estar condicionada por circunstancias bióticas que nada tienen que ver con las variables climáticas o topográficas. En este punto se insiste en que el objeto del análisis solo tiene como razón el



tratar de buscar alguna correlación, grosso modo, con esas variables en aquellos puntos con mayor riqueza de especies de interés.

### 3. RESULTADOS

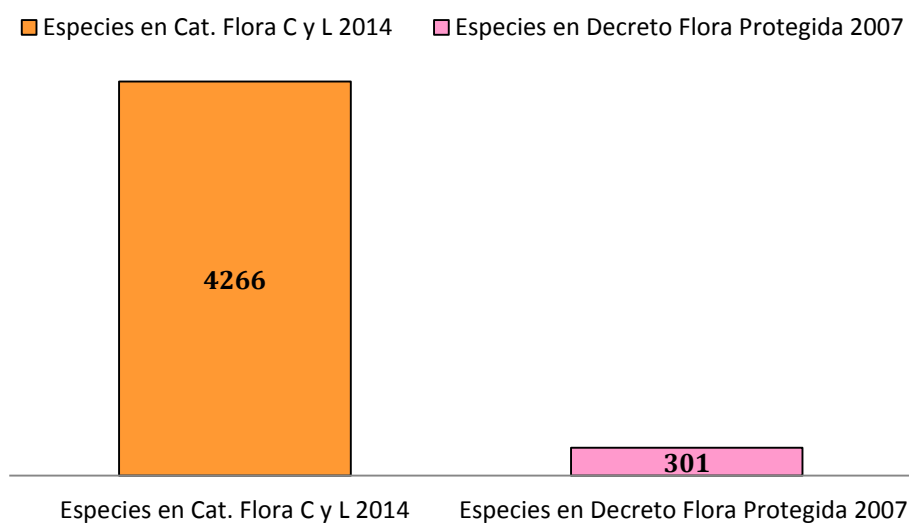
#### 3.1. ANÁLISIS DE BIODIVERSIDAD MEDIANTE ArcGIS® 10

Para los análisis de biodiversidad fueron obtenidos los siguientes resultados:

##### 3.1.1. Flora

Conforme citado anteriormente hemos considerado 298 de 301 taxones listados en el Decreto de Flora Protegida (2007). De acuerdo con las fichas oficiales de las microrreservas de flora, (no publicadas aún), actualmente en Castilla y León se han propuesto 126 microrreservas de flora, que juntas protegen un total de aproximadamente 199 taxones, de la cuales 172 son especies y los otros 27 subespecies.

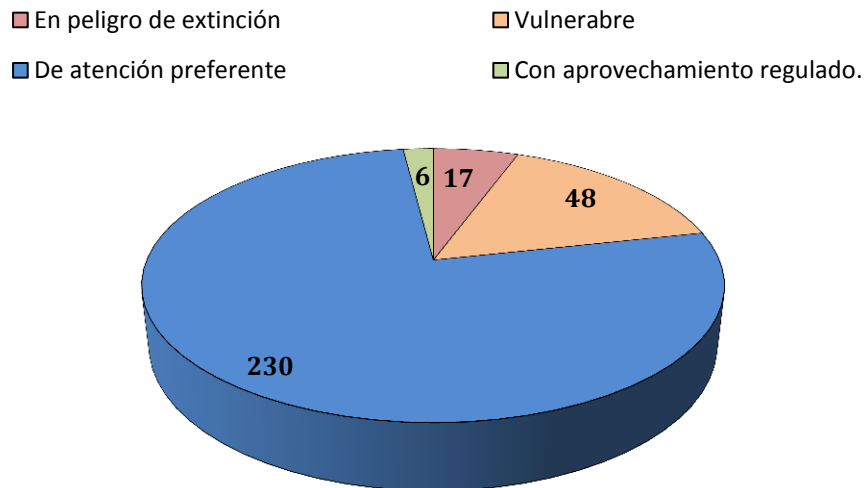
**Figura 1. Número de especies listadas en el Catálogo de Flora Vascular Silvestre de Castilla y León (2014) en comparación con número de especies que constan en el Decreto de Flora Protegida de Castilla y León (2007)**



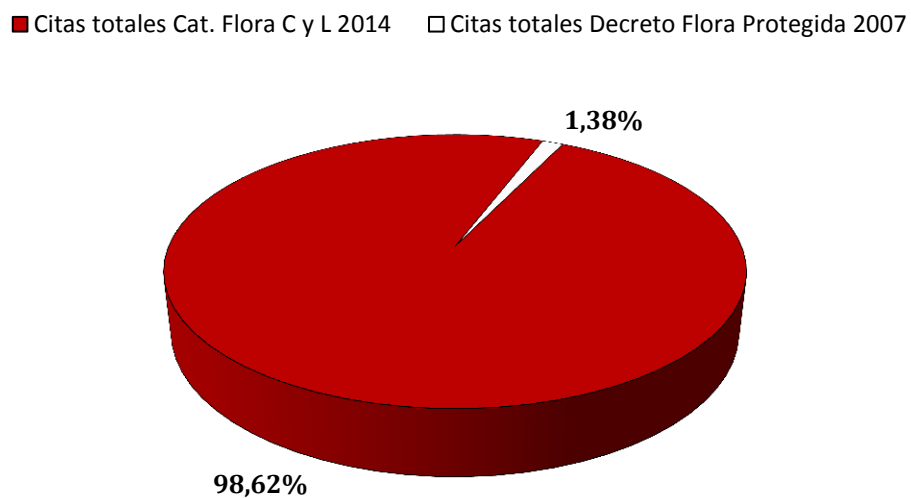
Se aprecia en la [figura 2](#) que de los 301 taxones listados en el decreto de flora, 17

están catalogados como “en peligro de extinción” y 48 como “vulnerables” esas dos categorías sumadas corresponden aproximadamente 21,59% de la totalidad de las especies presentes en el referido decreto.

**Figura 2. Número de especies listadas en el Decreto de Flora Protegida de Castilla y León (2007) por categoría de interés**



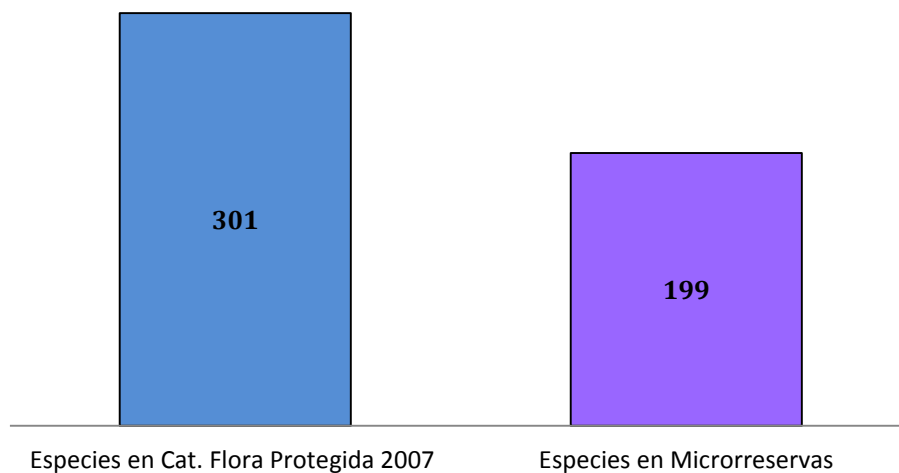
**Figura 3. Porcentaje de citas de especies presentes en el Catálogo de Flora Vascular Silvestre de Castilla y León (2014) en comparación con el porcentaje de citas de especies que constan en el Decreto de Flora Protegida de Castilla y León (2007)**



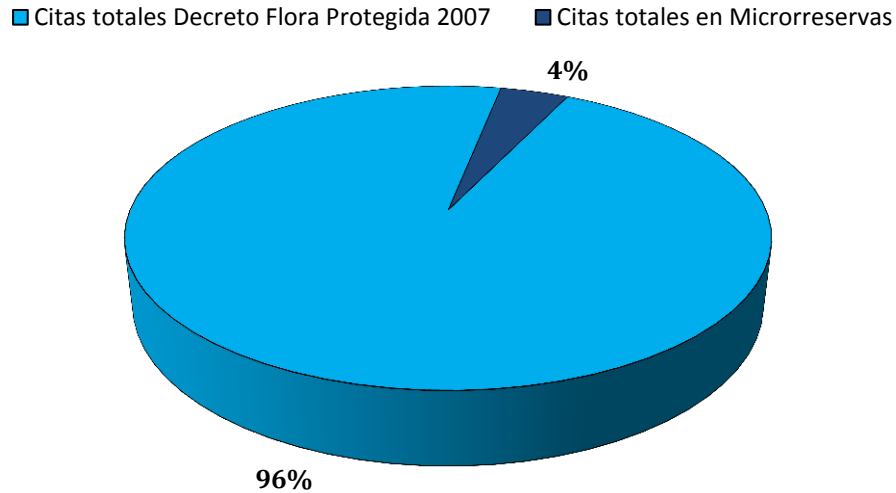
De acuerdo con nuestros análisis, para la totalidad de las 4.266 especies listadas en el

Catálogo de Flora Vasculare Silvestre de Castilla y León (2014) hay 1.300.221 registros de citas. De las cuales, solamente 18.240 registros son de citas para las 301 especies listadas en el Decreto de Flora Protegida de Castilla y León (Decreto 63/2007). Es decir, aproximadamente un 7,06% de las especies de flora que están citadas en la comunidad autónoma están protegidas por la legislación. Ya con relación al número de citas, apenas 1,38% de la totalidad de citas registradas en el Catálogo de Flora Vasculare Silvestre de Castilla y León (2014) son correspondientes a citas de especies que están listadas en el mencionado Decreto.

**Figura 4. Número de especies en el Decreto de Flora Protegida de Castilla y León (2007) en comparación con número de especies que están en Microrreservas de Flora**

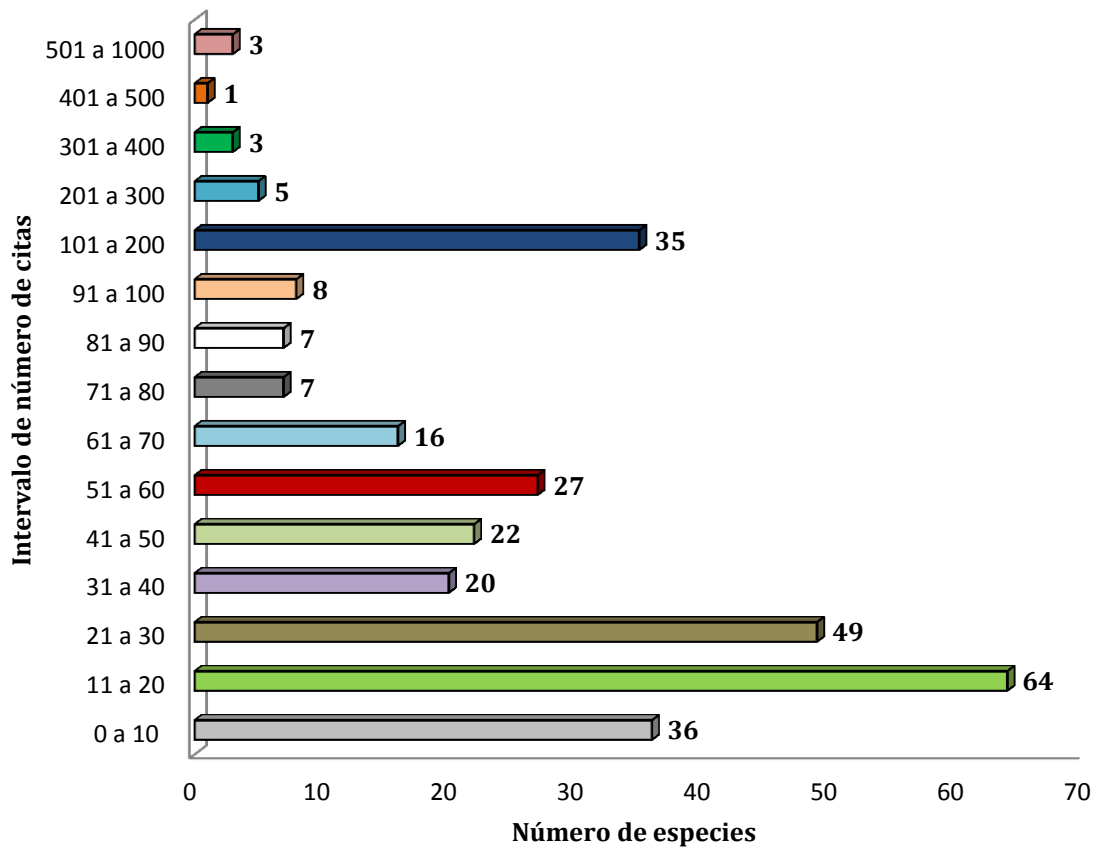


**Figura 5. Porcentaje de citas para especies protegidas por el Decreto de Flora Protegida de Castilla y León (2007) en comparación con el porcentaje de citas presentes en espacios de Microrreservas de Flora**



Con relación a las 298 especies que hemos considerado de las 301 listadas en el Decreto de Flora Protegida de Castilla y León (2007), hay 18.240 registros de citas para dichas especies. De los que, solamente una pequeña fracción compuesta por 775 registros (4,25%), son citas ubicadas en áreas que actualmente están propuestas como figuras de protección de microrreservas de flora. Sin embargo estas microrreservas desempeñan un papel clave en este sentido, de modo que conjuntamente albergan y protegen 199 (65,89%) de las 301 especies listadas en el Catálogo de Flora Protegida y en el Decreto 63/2007.

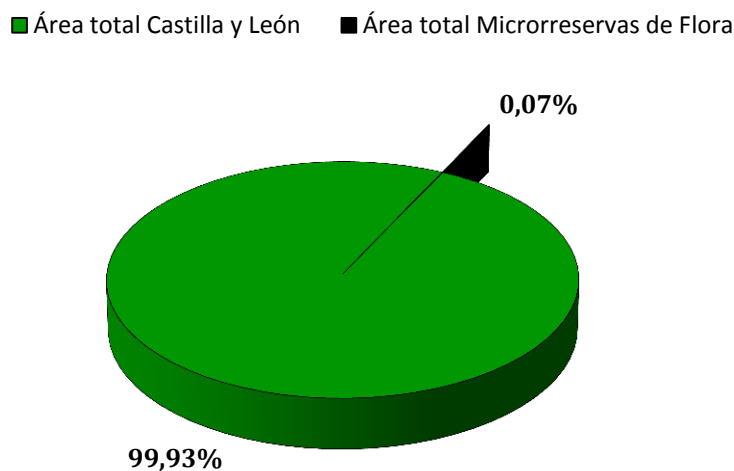
**Figura 6. Número de especies de interés por intervalo de registros de citas**



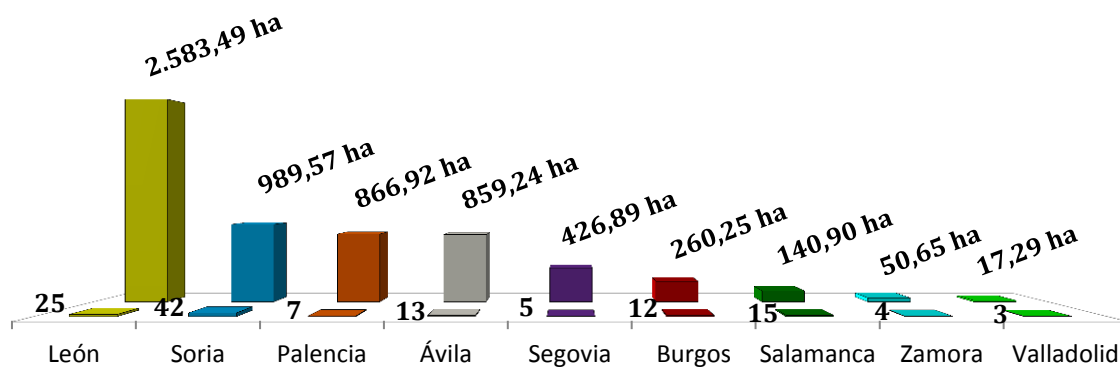
El conjunto de especies más abundante, 64, tiene entre 11 y 20 registros en la base de datos; 49 entre 21 y 30 citas, etc. En síntesis, el número de especies con menos de 50 citas es de cerca de 200 frente a las casi 100 restantes que tienen por encima de esa cantidad. El mayor número de citas registrados es para la especie *Sideritis hyssopifolia* L., que está catalogada en la categoría “con aprovechamiento regulado” y tiene 916 registros. La que cuenta con el menor número de citas es *Silene acutifolia* Link ex Rohrb., que está catalogada en la categoría “de atención preferente” y tiene solo una cita registrada. Para *Gyrocarium oppositifolium* B. Valdés (en peligro de extinción), *Thesium alpinum* L. y *Inula bifrons* L. (vulnerables) hay solamente registros de dos citas para cada una de esas especies. Especies catalogadas como “en peligro de extinción” y un número bajo de citas registradas: *Echium cantabricum* Fern. Casas & M. Laínz (cinco), *Erodium paularense* Fern. Gonz. & Izco y *Veronica chamaepithyoides* Lam. (seis), *Astragalus devesae* Talavera, A. González & G. López (diez). Es importante resaltar que el número de citas no necesariamente está relacionado con número de poblaciones vivas, sino que puede tratarse de varias citas

correspondientes a una sola población y que incluso ésta pueda estar extinta, como es el caso de *Veronica chamaepithyoides*.

**Figura 7. Porcentaje de área ocupada por la totalidad de Microrreservas de Flora en relación al área total de Castilla y León**



**Figura 8. Área total (en hectáreas) y número de Microrreservas de Flora por provincia**

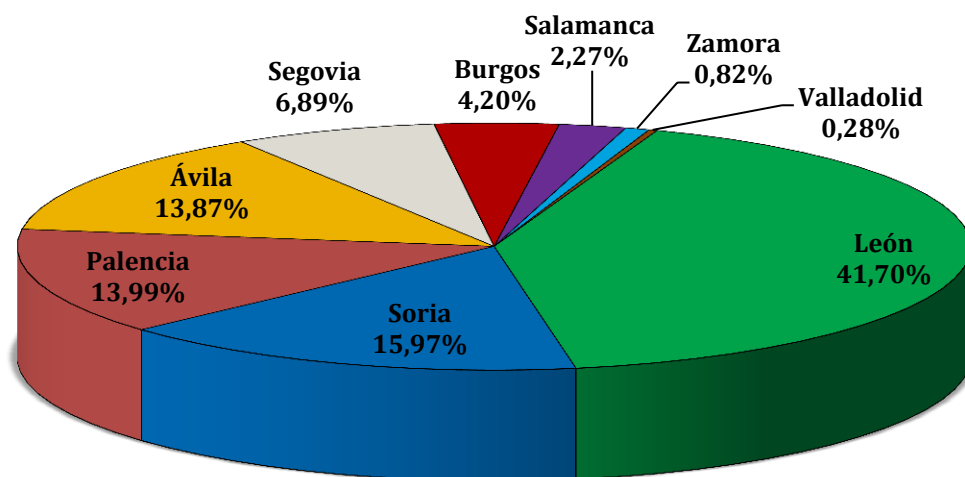


Los valores en la parte trasera representan las áreas totales de las microrreservas; los valores del frente son los números de microrreservas.

Castilla y León tiene 9.422.600 ha, de las que, un porcentaje muy pequeño, 6.195,20 ha (0,07%), es de áreas destinadas a las Microrreservas de Flora ([figura 7](#)). La provincia de

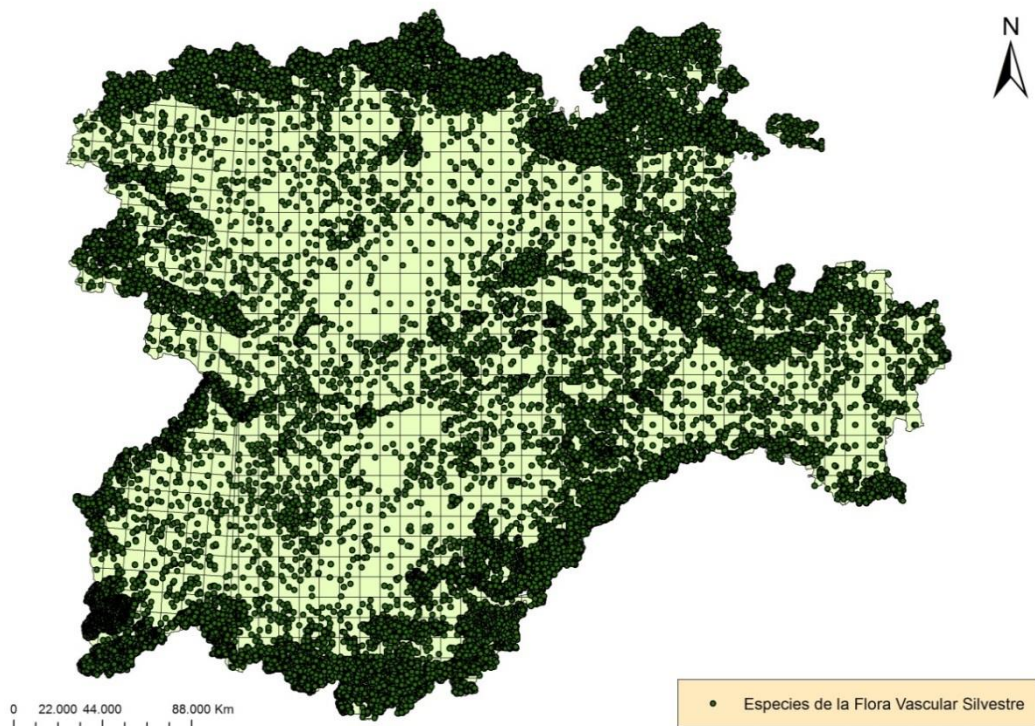
León es la que protege una mayor extensión, 2.583,49 ha, lo que corresponde al 42% del área total de microrreservas de la comunidad autónoma. En la segunda posición está la provincia de Soria, con menos de la mitad de la área total destinada a microrreservas, totalizando 989,57 ha. No muy distantes están Palencia y Ávila, con prácticamente el mismo número de hectáreas, 866,92 ha y 859,24 ha, respectivamente. De las restantes, Segovia (426,89 ha), Burgos (260,25 ha), Salamanca (140,90 ha), Zamora (50,65 ha), Valladolid (17,29 ha) es la que menos superficie dedica a proteger poblaciones de plantas de interés, lo que en gran medida se justifica por la fuerte humanización de gran parte de su territorio (figuras 8 y 9).

**Figura 9. Porcentaje de áreas totales por provincia destinadas a las Microrreservas de Flora**

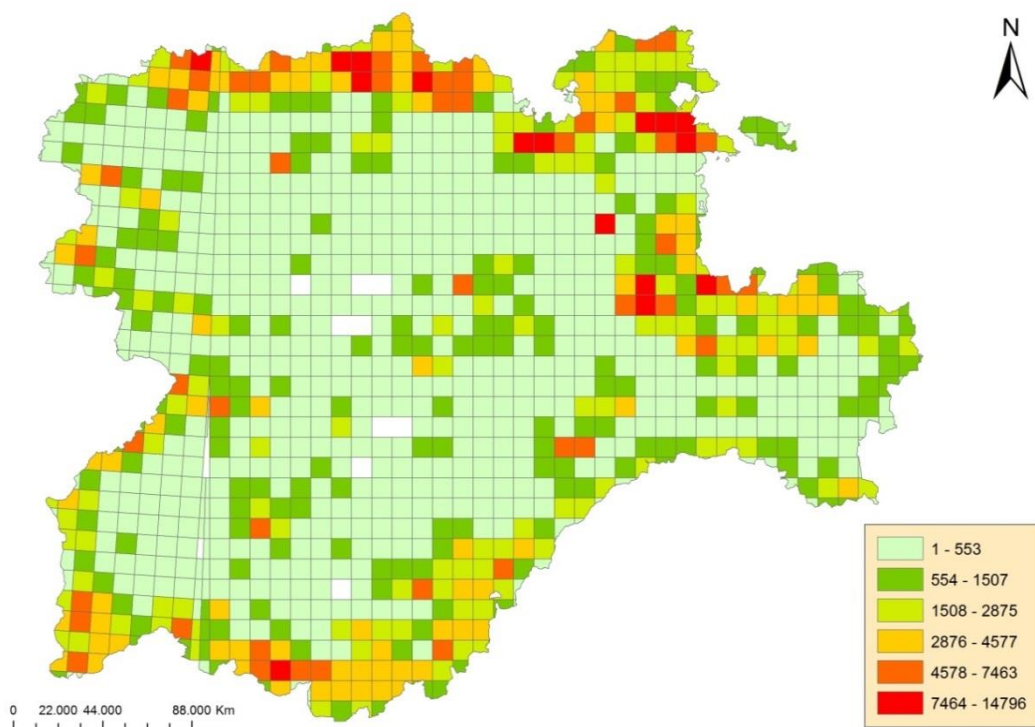


A continuación se muestran los mapas con la representación geográfica de las citas de flora de interés en relación a la malla de UTM 10x10.

**Figura 10. Distribución de las especies listadas en el Catálogo de flora vascular silvestre de Castilla y León**

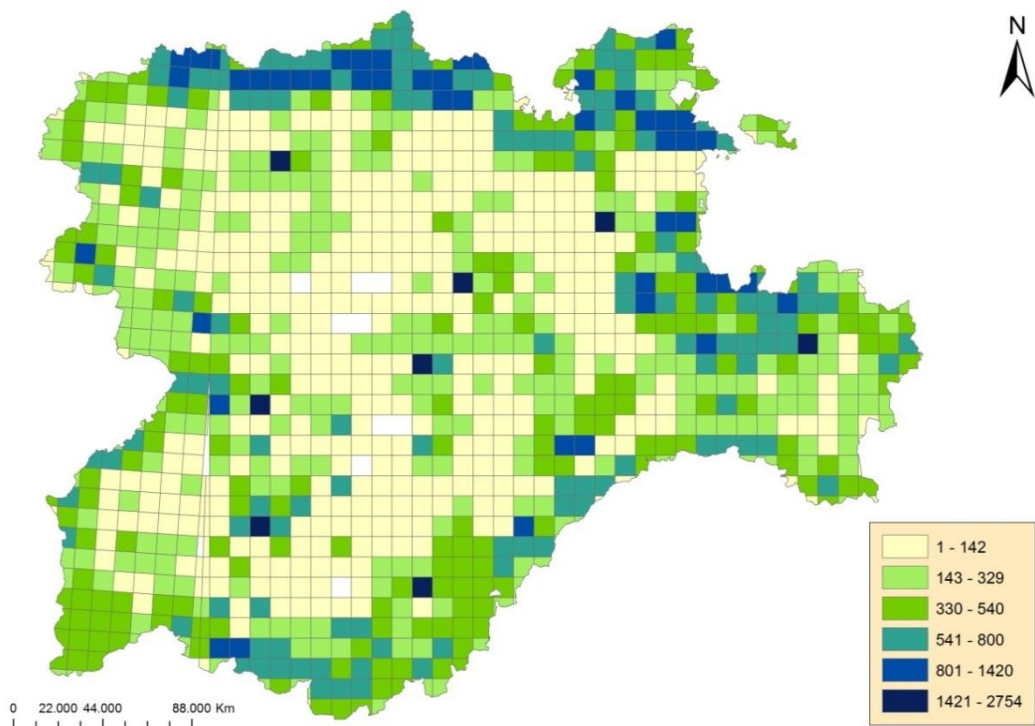


**Figura 11. Número de citas de especies de la flora vascular silvestre de Castilla y León por cuadrículas UTM con 10 x 10 Km de resolución**





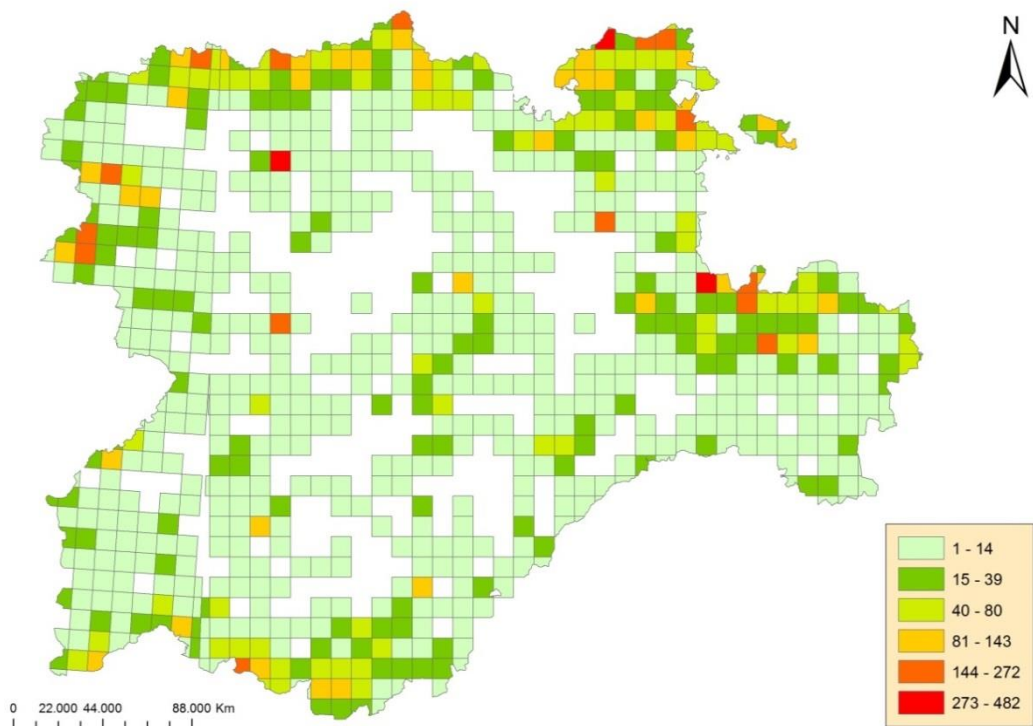
**Figura 12. Número de especies de la flora vascular silvestre de Castilla y León por cuadrículas UTM con 10 x 10 Km de resolución**



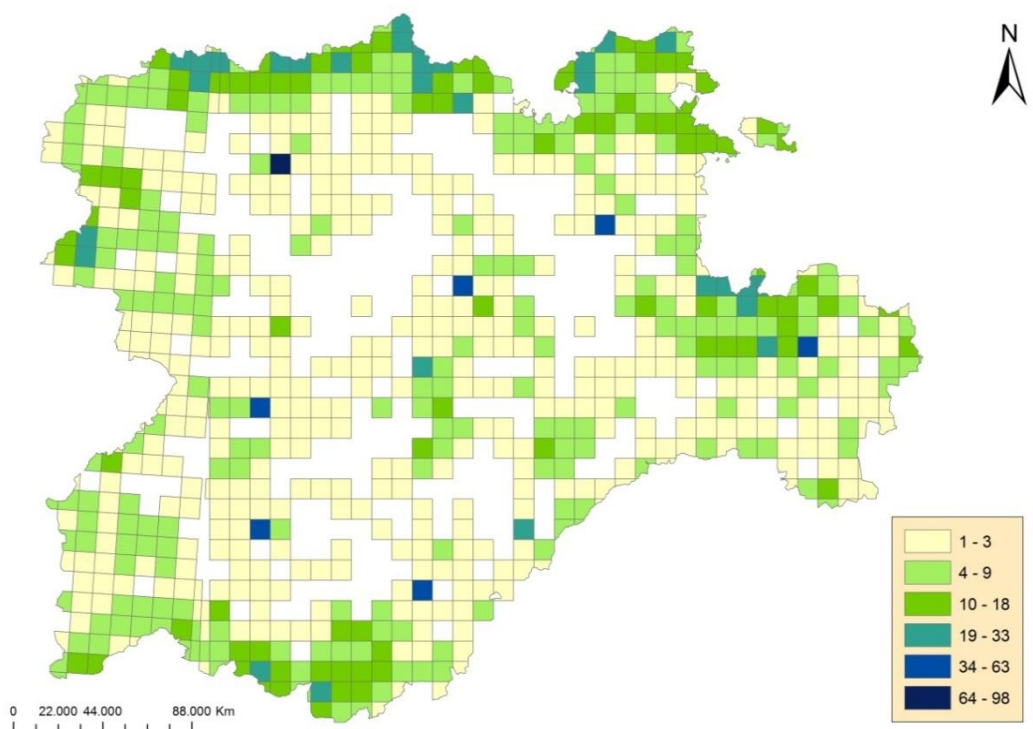
Las figuras [11](#) y [12](#) muestran la distribución de las especies de flora de Castilla y León. A simple vista puede decirse que las áreas de la comunidad con la orografía más irregular, ubicadas en la periferia del territorio, coinciden con las que tienen mayor biodiversidad florística. Las regiones centrales, más pobladas y alteradas por el hombre son las menos biodiversas. Se hace necesario aclarar que, prácticamente todas las cuadrículas de color azul oscuro (las que tienen más registros), coinciden con las capitales de provincia, y no es que el entorno de estas ciudades acoja a un gran número de poblaciones de especies de interés, sino que la circunstancia se debe a un artificio informático con el que se trata de adscribir geográficamente aquellas citas que no tienen información precisa de las coordenadas geográficas del lugar donde fue colectada al centroide de la capital provincial.

La [figura 13](#) muestra los registros para las citas de las especies protegidas de Castilla y León, también sigue el mismo patrón de las anteriores. Son los bordes montañosos de la comunidad, las zonas con mayor riqueza.

**Figura 13. Número de citas de especies de la flora protegida de Castilla y León por cuadrículas UTM con 10 x 10 Km de resolución**



**Figura 14. Número de especies de la flora protegida de Castilla y León por cuadrículas UTM con 10 x 10 Km de resolución**

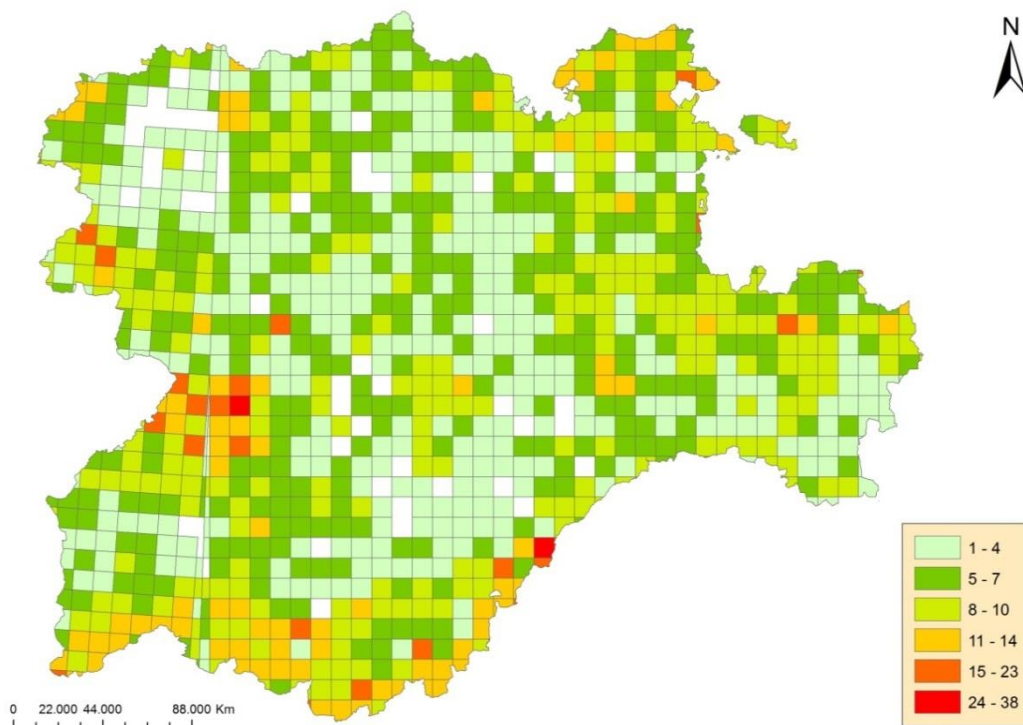


En la [figura 14](#), más discretamente, se visualiza el mismo patrón de distribución de las especies de interés que en las anteriores, sobre todo la [figura 12](#). Se puede percibir que las cuadrículas con las capitales de las provincias también tienen un índice elevado de presencia de estas especies.

También se puede observar, por los huecos que hay en las figuras [13](#) y [14](#) que la información de las especies de interés es bastante más reducida en comparación a la información para la flora general.

### 3.1.2. Fauna

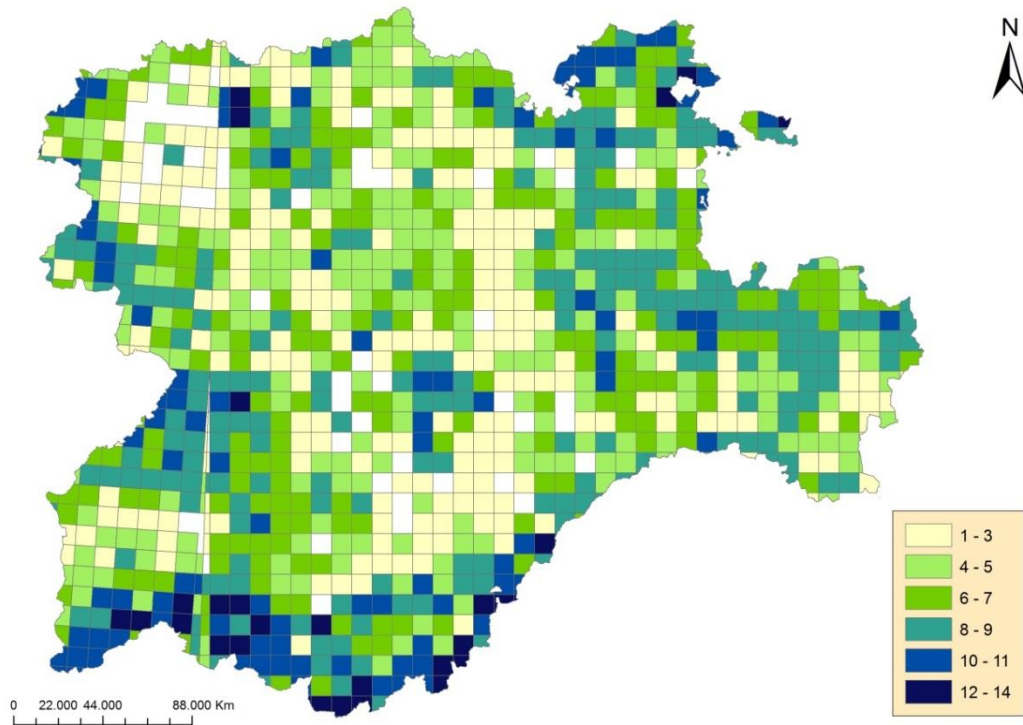
**Figura 15. Número de citas de especies de anfibios por cuadrículas UTM de 10 x 10 Km de resolución**



Conforme podemos ver en esta [figura 15](#), apenas existen ligeros cambios en la distribución de los registros de citas para las especies de anfibios en Castilla y León que para las especies de flora, ya que vuelven a localizarse las cuadrículas con mayor diversidad en las zonas marginales de la región, coincidentes con las cadenas montañosas: Sierra de Guadarrama, Sierra Cebollera, Sierra de Gredos. También en el entorno de los grandes cursos fluviales se detecta una mayor riqueza en anfibios orillas del río Duero en Zamora,

alrededores embalse de la Almendra, y del Lago de Sanabria, etc. Aparentemente, son las provincias de Zamora y Segovia con mayor riqueza de anfibios, ya que como puede observarse, presentan numerosas cuadrículas con gran número de registros.

**Figura 16. Número de especies de anfibios por cuadrículas UTM con 10 x 10 Km de resolución**



En la [figura 16](#) se muestra el número de especies de anfibios por cuadrícula, y, como era previsible, tiene el mismo patrón de distribución que el de la figura anterior. La mayoría de cuadrículas que contienen la mayor diversidad de especies, también son las que coinciden con las zonas periféricas de Castilla y León. Se puede observar un acumulo de cuadrículas con mayor número de especies en la zona sur de la comunidad, coincidente con las Sierras de Gredos, de Béjar, y de Francia, entre otros. Que se trate de una riqueza real y no un sesgo de muestreo es algo que habría que comprobar.

### 3.2. MODELIZACIÓN PREDICTIVA DE NICHOS ECOLÓGICOS MEDIANTE MAXENT 3.3.3K

Tal como ya se ha mencionado, el objetivo principal de la modelización predictiva es

descubrir cuáles son las variables ambientales que el modelo determina como más importantes para la ocurrencia de las especies de flora de interés, por cuadrícula UTM. La tabla a continuación se extrae de los resultados de Maxent.

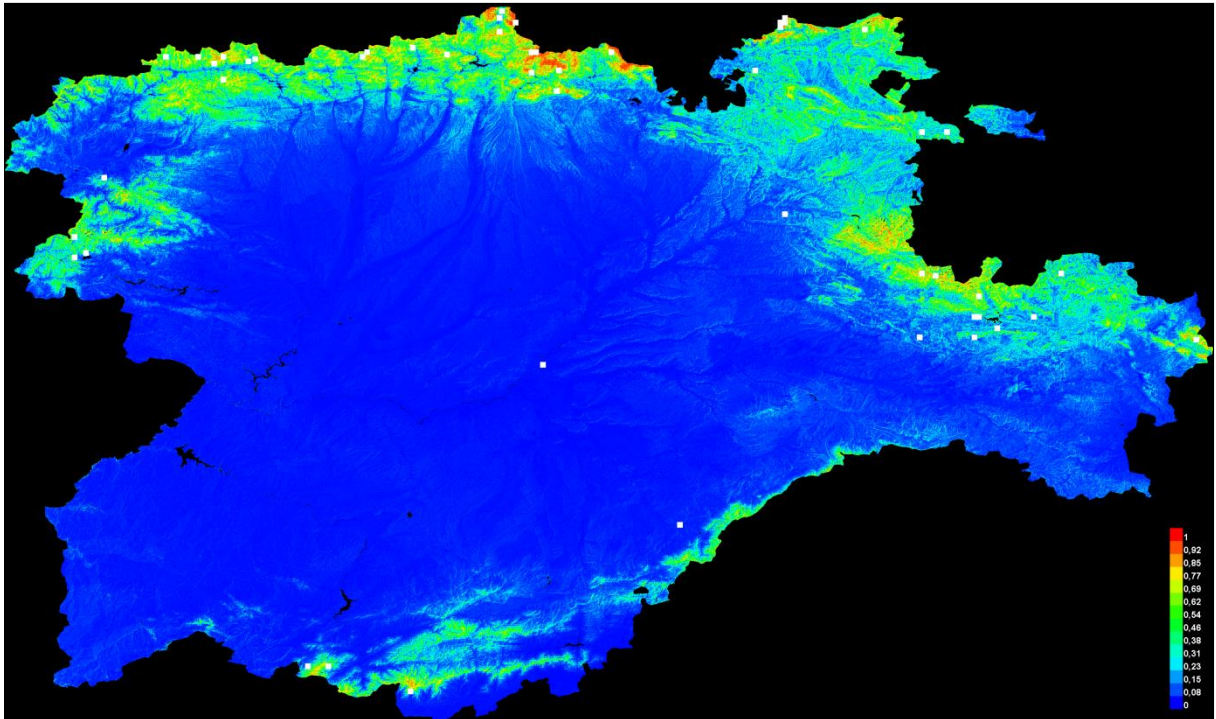
**Tabla 1. Porcentaje de contribución de cada variable ambiental**

VARIABLE	% CONTRIBUCIÓN
PEND	35.4
TMED_ANU	32.3
PRE_EST	14.7
RAD_INV	5
OR_EO	2.4
CpLSAT_1	2.3
TMED_MEN	2.2
OR_NS	2
NDVI	1.7
ITP	0.6
CpLSAT_2	0.6
SUELOS	0.5
RAD_VER	0.2
POS_TOPO	0

PEND: Pendiente; TMED\_ANU: Temperatura media anual; PRE\_EST: Precipitación estacional; RAD\_INV: Radiación Solar Potencial de Invierno; OR\_EO: Orientación Este-Oeste; CpLSAT\_1: Banda 1 Satélite LandSat; TMED\_MEN: Temperatura media mensual; OR\_NS: Orientación Norte-Sur; NDVI: Índice de vegetación normalizada; ITP: Índice topográfico de humedad ; CpLSAT\_2: Banda 2 Satélite LandSat ; SUELOS: Suelos; RAD\_VER: Radiación Solar Potencial de Verano; POS\_TOPO: Diversidad topográfica.

En ella pueden apreciarse los valores porcentuales de contribución de cada una de las 14 variables ambientales utilizada para generación del modelo de nicho ecológico. Las variables “PEND” (Pendiente) con 35.4% y “TMED\_ANU” (Temperatura Media Anual) con 32.3% son las dos variables ambientales que más explican, según el modelo, la distribución de esas áreas con mayor diversidad de especies de interés. El mapa de distribución potencial de las áreas que cumplen con las condiciones idóneas para la aparición de especies de interés muestra de nuevo un sesgo marcado hacia la periferia de la comunidad, coincidiendo con las áreas más montañosas (mayor precipitación y mayores pendientes), sobre todo hacia el norte, en la Montaña Palentina.

**Figura 17. Modelización de nicho ecológico para las especies vegetales de interés**



Los puntos blancos son las presencias utilizadas como base para la generación del modelo. Toda el área proyectada en color azul son las áreas que el modelo predice como no idóneas para la ocurrencia de las especies que fueron utilizadas en el presente estudio. Aunque ya se ha mencionado anteriormente, debemos volver a insistir sobre la gran limitación de este modelo, teniendo en cuenta que se están empleando como presencias cuadrículas que incluyen numerosas especies que tienen una enorme disparidad de preferencias ecológicas. Se trata por tanto de un ensayo metodológico a grandes rasgos, por lo que no debe considerarse como un resultado concluyente. Aun así, sirve para corroborar algo ya consabido y es que, una orografía complicada que impide o dificulta las actividades humanas, es la que permite la conservación de un mayor número de especies.

#### **4. DISCUSIÓN**

Mediante el presente estudio se demuestra la utilidad de los Sistemas de Información Geográfica en el análisis de la biodiversidad de un territorio concreto como es Castilla y León. La implementación de los mismos con los modelos de nicho ecológico aumenta la potencia de los resultados de cara a la gestión eficaz de los recursos naturales.

Gontier *et al.*, 2006, resaltan en su revisión que se debe tener en cuenta las limitaciones y restricciones de los distintos tipos de modelos disponibles. A pesar de las limitaciones, los mismos autores, recomiendan considerar el uso de los modelos predictivos aliados a SIG en los estudios para el planteamiento de medidas de protección y evaluación de la biodiversidad. Ionut & Bogdan (2012) añaden a respecto de los SIG, que son herramientas de fácil utilización durante el desarrollo del manejo forestal ya que un bosque puede ser modelado y por lo tanto, mejor manejado y analizado.

En la actualidad, cada vez es más frecuente la utilización de los modelos predictivos de distribución de especies basados en SIG con variadas aplicaciones, como por ejemplo, para la creación de planes estratégicos para la conservación (Margules & Pressey, 2000), para hacer proyecciones futuras intentando analizar la influencia del cambio climático sobre determinadas especies (Meyer *et al.*, 2014), para planos de manejo forestal (Angelstam *et al.*, 2005) y hasta el mapeo de las acciones de los fuertes vientos en regiones montañosas (Ionut & Bogdan, 2012).

Los resultados por De Pando & De Giles (2007) demuestran el desempeño superior de Maxent con relación al resto de los algoritmos por ellos testados lo que corrobora con la afirmación de Elith *et al.* (2006), que cualifican Maxent como uno de los mejores algoritmos predictivos de distribución de especies.

Los resultados de este trabajo en relación al análisis SIG de la flora de interés de Castilla, indican que aún hace falta un mayor esfuerzo por parte de la administración para que todas estas especies se encuentren adecuadamente protegidas. No obstante, aunque con cierta cautela, también debe hablarse del buen estado de conservación que presenta la flora de la comunidad, ya que, de los 4.266 taxones listados en el Catálogo de Flora Vasculare Silvestre, solo un 7,06% (301 taxones) han “requerido” un estatus legal de conservación, que es el Decreto 63/2007.

Se hace patente, al interpretar los mapas generados, que el área central de la comunidad de Castilla y León es la zona de menor número de registros de citas, tanto para especies de flora como para especies de anfibios. Es probable que uno de los principales factores responsables de esa distribución irregular, sea el intenso uso humano a que históricamente ha sido sometida la parte central de la comunidad, más llana y accesible. A medida que nos alejamos hacia la periferia, hay un patrón común de aumento en el número de registros, coincidente con el aumento de la diversidad orográfica, por la presencia de ese cinturón montañoso que casi por completo rodea a Castilla y León. Se observa en las figuras

[13](#) y [14](#) que existen muchas cuadrículas UTM de las cuales no hay datos sobre la flora de interés; ello ocurre por dos principales razones: o porque nunca se ha citado y publicado alguna planta de ahí, o porque no se haya georreferenciado correctamente.

La cantidad de citas que existe información sobre la flora de interés puede ser observada en la [figura 6](#) donde hicimos una relación entre las especies de flora de interés y el número que de citas que hay registradas para ellas. Constatamos que taxones amenazados como *Gyrocaryum oppositifolium* (en peligro de extinción), *Thesium alpinum*, *Inula bifrons*, *Echium cantabricum*, *Erodium paularense* y *Veronica chamaepithyoides*, *Astragalus devevae* (en peligro de extinción) tienen menos de diez citas, y taxones mucho menos amenazado como *Sideritis hyssopifolia*, (con aprovechamiento regulado) tiene 916 registros.

Otro resultado interesante ha sido el cálculo del porcentaje de especies de interés y de sus poblaciones que están protegidas por las microrreservas de flora. A pesar de que estos espacios de conservación suponen un área muy pequeña en comparación con el área total de Castilla y León (las 126 microrreservas que hoy existen, juntas suman 6.195,20 ha, lo que corresponde solamente al 0,07% del área total de la comunidad autónoma, que es de 9.422.600 ha), protegen aproximadamente a más de la mitad (65,56%) de los taxones listados en el Decreto de Flora Protegida. La provincia de León es la que tiene un ala mayor extensión de superficie de microrreservas, con 25 que abarcan 2.583,49 ha, que es más del doble que en Soria, que aún con menor superficie, 989,57 ha, tiene casi el doble de ellas, 42. Las provincias de Valladolid y Zamora están en el lado opuesto, son las dos provincias con el menor número de microrreservas (3 y 4 respectivamente), tienen las menores áreas totales de esas figuras de protección (17,29 ha y 50,65 ha) y por consecuencia el menor porcentaje del área total de las microrreservas (0,28% y 0,82%).

Con respecto a la información sobre anfibios ([figuras 15](#) y [16](#)), puede apreciarse que hay muchas menos citas que de Flora, lo que lógicamente estará vinculado al hecho de que son especies mucho más reducidas en número, y su presencia, en general, es mucho más restringida por sus preferencias de hábitats. Su distribución, como ya se ha dicho, sigue un patrón bastante similar al de flora ya que el mayor número de registros coincide con las zonas más montañosas del territorio.

Sobre la modelización predictiva de distribución de especies, nuestros resultados apuntarán que las variables ambientales predictoras para la ocurrencia de las especies de la flora de interés por cuadrícula UTM son: la pendiente y la temperatura media anual, las dos variables contribuyen con prácticamente un 70% para el modelo. A pesar de que para el



modelo se incluyeron numerosas especies con distintas apetencias ecológicas, el modelo ha tenido cierta coherencia al indicar como áreas más idóneas para estas especies aquellas coincidentes con las zonas más montañosas, que son realmente aquellas en las que hay mayor diversidad debido a la menor influencia antrópica.

## **5. CONCLUSIONES**

Los resultados de este estudio muestran que son las zonas periféricas de la comunidad de Castilla y León donde se concentra la mayor biodiversidad de especies de flora y de anfibios. Esta distribución está, con probabilidad, ligada a la mayor diversidad orográfica de esas zonas ya que son coincidentes con las principales cadenas montañosas de este territorio, algo hacia lo que también apunta el modelo de distribución elaborado para este trabajo.

A través de nuestros resultados se puede observar que las propuestas de Microrreservas de Flora parecen proteger una buena representación de las especies de interés y de gran parte de sus poblaciones.

Los Sistemas de Información Geográfica son herramientas de gran utilidad para el manejo de la biodiversidad ya que permiten tener una imagen clara y precisa de la situación de las especies en un territorio, por lo que cualquier medida de conservación puede ser aplicada con mucha mayor eficacia.

Las mayores zonas de biodiversidad registradas para los anfibios son también las más irregulares orográficamente, aunque también se ha detectado una alta concentración de biodiversidad para ese grupo en el entorno de los grandes cursos fluviales. En una primera aproximación y de forma general, las provincias de Zamora y Segovia parecen tener una mayor riqueza de anfibios en comparación con las demás, aunque en algunas zonas puntuales, como en el entorno de las Sierras de Gredos, de Béjar, y de Francia, también abundan estos vertebrados. Sería preciso determinar si, al igual que en el caso de las plantas, la densidad de registros de anfibios se corresponde con riqueza real y no por sesgos de muestreo.

## **AGRADECIMIENTOS**

Al profesor Dr. José Ángel Sánchez Agudo quién se mostró siempre dispuesto y me ayudó en todo momento. Al profesor Dr. Miguel Lizana Avia por toda la colaboración. A

Karoline por estar siempre a mi lado inspirándome, motivándome y apoyándome. A mis padres Moacir y Silvana que mismo a la distancia, siempre han dado toda su fuerza y apoyo incondicional, que me ha ayudado a llegar hasta donde estoy ahora. A los profesores del máster que nos han compartido una parcela de su conocimiento. A todos los colegas por la amistad, ayudas y por los gran momentos de relajación.

## REFERENCIAS

- AmphibiaWeb (2015). *Information on amphibian biology and conservation*. [aplicación web]. Berkeley, California: AmphibiaWeb. Disponible en <<http://amphibiaweb.org/>>. [Consulta: 30 de junio de 2015].
- Anderson, R.P., Lew, D. & Peterson, A.T. (2003). Evaluating predictive models of species' distributions: criteria for selecting optimal models. *Ecological modelling*, 162(3), 211-232.
- Angelstam, P., *et al.* (2004). Habitat modelling as a tool for landscape-scale conservation: a review of parameters for focal forest birds. *Ecological Bulletins*, 427-453
- CASTILLA Y LEÓN (2007). Decreto 63/2007, de 14 de junio, por el que se crean el Catálogo de Flora Protegida de Castilla y León y la figura de protección denominada Microrreserva de Flora. *Boletín Oficial de Castilla y León*, 20 de junio de 2007, 119, pp. 13197-13204.
- CDB. Secretaría del Convenio sobre la Diversidad Biológica (2010). *Perspectiva Mundial sobre la Diversidad Biológica 3* [en línea]. Montreal. 94 páginas. Disponible en <<https://www.cbd.int/doc/publications/gbo/gbo3-final-es.pdf>> [Consulta: 17 de junio de 2015].
- CDB. Secretaría del Convenio sobre la Diversidad Biológica (2014). *Perspectiva Mundial sobre la Diversidad Biológica 4* [en línea]. Montreal, 155 páginas. Disponible en <<https://www.cbd.int/gbo/gbo4/publication/gbo4-es-hr.pdf>> [Consulta: 17 de junio de 2015].
- De Pando, B.B. & De Giles, J.P. (2007): Aplicación de modelos de distribución de especies a la conservación de la biodiversidad en el sureste de la Península Ibérica, *GeoFocus* (Artículos), nº 7, p. 100-119, ISSN: 1578-5157
- Dos Santos, C.J., Iwanaga, S., Moreira, M.P. & Borges, S (2007). Uso de Sistema de Informação Geográfica para avaliar a representatividade de áreas protegidas do Estado do Amazonas na conservação de espécies de primatas. *XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis*, Brasil, 21-26 abril, INPE, p. 3097-3104.
- Elith, J., Graham, C.H., Anderson, R.P., Dudík, M., Ferrier, S., *et al.* (2006). Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data. *Ecography* 29, 129-151.
- Engler, R., Guisan, A., & Rechsteiner, L. (2004). An improved approach for predicting the distribution of rare and endangered species from occurrence and pseudo-absence data. *Journal of Applied Ecology*, 41(2), 263-274.
- Ferreira, C.C.M. (1997). Zoneamento agroclimático para implantação de sistemas agroflorestais com eucaliptos, em Minas Gerais. Viçosa: UVF. 158p.
- ESRI (Environmental Science Research Institute) (2010). ArcGIS Desktop: Release Version 10.0. Redlands, CA, USA.
- ESRI (Environmental Science Research Institute) (2011). *ArcGIS Desktop 10.0 Help Library*.

Redlands, CA, USA. Disponible en [http://help.arcgis.com/en/arcgisdesktop/10.0/help/index.html#/Welcome to the ArcGIS Help Library/00r90000001n000000/](http://help.arcgis.com/en/arcgisdesktop/10.0/help/index.html#/Welcome%20to%20the%20ArcGIS%20Help%20Library/00r90000001n000000/) [Consulta: 29 de junio de 2015].

Giannini, T.C. (2012). Desafios atuais da modelagem preditiva de distribuição de espécies. *Rodriguésia-Instituto de Pesquisas Jardim Botânico do Rio de Janeiro*, 63(3).

Gontier, M., Balfors, B. & Mörtberg, U. (2006). Biodiversity in environmental assessment current practice and tools for prediction. *Environmental Impact Assessment Review*, 26(3), 268-286.

Ionut, S., & Bogdan, M. (2012). Geographic information system (GIS) application for windthrow mapping and management in Iezer Mountains, Southern Carpathians. *Journal of Forestry Research*, 23(2), 175-184.

JCYL. Junta de Castilla y León (2015). *Biodiversidad* [en línea]. Disponible en <http://www.jcyl.es/web/jcyl/MedioAmbiente/es/Plantilla100/1284220189648/> [Consulta: 22 de junio de 2015].

JCYL. Junta de Castilla y León (2015). *Geografía* [en línea]. Disponible en <http://www.jcyl.es/web/jcyl/ConoceCastillayLeon/es/Plantilla100/1137141213592/> [Consulta: 22 de junio de 2015].

Lima, G.G.B. (2007). A conservação da fauna e da flora silvestres no Brasil: a questão do tráfico ilegal de plantas e animais silvestres e o desenvolvimento sustentável. *Revista Jurídica*, Brasília, v. 9, n. 86, p. 134-150.

MAGRAMA. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (España) [en línea]: Bases de datos del inventario español de especies terrestres, Madrid, [Consulta: 14 de abril de 2015]. Disponible en: <http://www.magrama.gob.es/es/biodiversidad/temas/inventarios-nacionales/inventario-especies-terrestres/inventario-nacional-de-biodiversidad/bdn-ieet-default.aspx#>

Margules, C. R. & Pressey, R. L. (2000). Systematic conservation planning. *Nature*, 405(6783), 243-253.

Meyer, A.L.S.; Pie, M.R. & Passos, F.C. (2014). Assessing the exposure of lion tamarins (*Leontopithecus* spp.) to future climate change. *American journal of primatology*, vol. 76, no 6, p. 551-562.

Millennium Ecosystem Assessment (2005). *Ecosystems and Human Well-being: Biodiversity Synthesis* [en línea]. World Resources Institute, Washington, DC. Disponible en <http://www.millenniumassessment.org/documents/document.354.aspx.pdf> [Consulta: 17 de junio de 2015].

Phillips, S.J., Anderson, R.P. & Schapire, R.E. (2006). Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecol. Modell.* 190, 231-259.

Phillips, S.J. & Dudík, M. (2008). Modeling of species distributions with Maxent: new extensions and a comprehensive evaluation. *Ecography* 31, 161-175.

Phillips, S.J., Dudik, M. & Schapire, R.E. (2011). *Maxent software for species distribution* [en línea]. Version. 3.3.3k. Princeton, NJ, USA. Disponible en <<https://www.cs.princeton.edu/~schapire/maxent/>> [Consulta 29 de junio de 2015].

Nowatzki, A., Santos, L.J.C. & de Paula, E.V. (2010). Utilização do SIG na delimitação das áreas de preservação permanente (APP's) na bacia do rio Sagrado (Morretes/PR). *Sociedade & Natureza*, v. 22, n. 1, p. 107-120.

Salem, B. B. (2003). Application of GIS to biodiversity monitoring. *Journal of arid environments*, 54(1), 91-114.

Supatimusro, D., Areerachakul, N., & Poomsripanon, J. (2013). The Applied Geographic Information System and the Relation of Mollusk with Water Quality in Ayutthaya Province, Thailand. *Energy Procedia*, 34, 99-108.

Toledo, L.F. (2009). Anfíbios como Bioindicadores. In: Neumann-Leitão, S. & El-Dier, S. (Orgs.) *Bioindicadores da Qualidade Ambiental*. Recife: Instituto Brasileiro Pró-Cidadania. pp. 196-208.

Toledo, L.F., Carvalho-e-Silva, S.P., Sánchez, C., Almeida, M.A., & Haddad, C.F.B. (2010). A revisão do Código Florestal Brasileiro: impactos negativos para a conservação dos anfíbios. *Biota Neotropica*, 10(4), 35-38