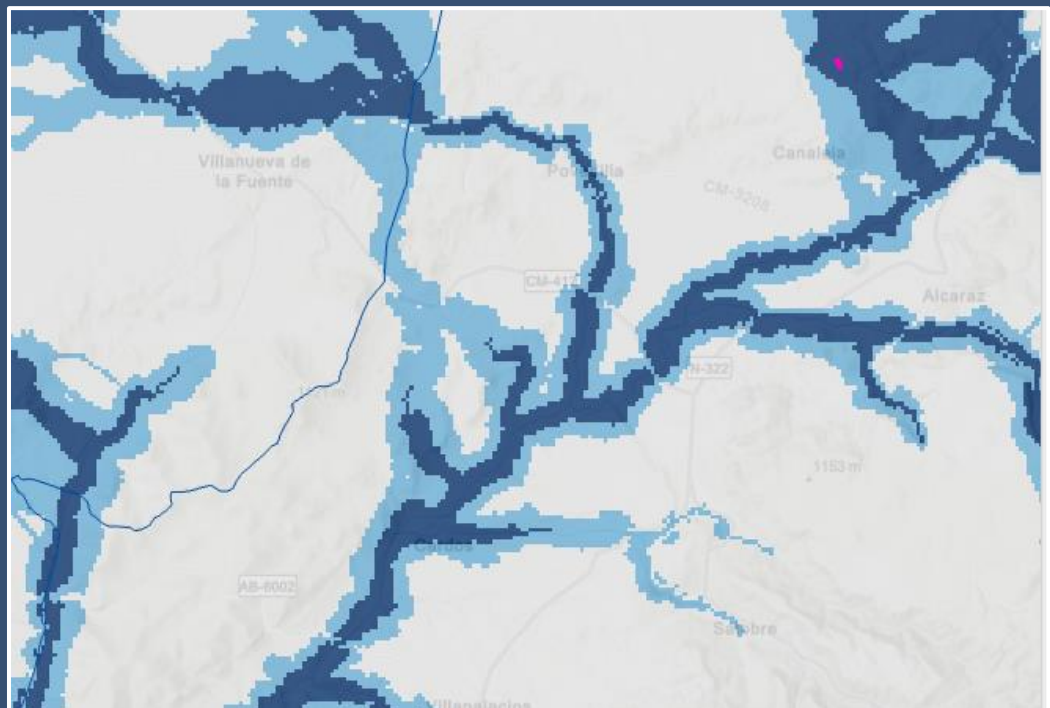


# EVALUACIÓN DE LA CONECTIVIDAD ECOLÓGICA TERRITORIAL DE CASTILLA-LA MANCHA



Castilla-La Mancha

DOCUMENTO METODOLÓGICO PARA EL ANÁLISIS  
DE LA CONECTIVIDAD ECOLÓGICA:  
**ESPECIES ACUÁTICAS**

Diciembre de 2022



# EVALUACIÓN DE LA CONECTIVIDAD ECOLÓGICA TERRITORIAL EN CASTILLA-LA MANCHA

*MODELO DE CONECTIVIDAD PARA ESPECIES ACUÁTICAS  
(ANFIBIOS Y REPTILES)*



**Castilla-La Mancha**

Dirección General de Medio Natural y Biodiversidad  
Consejería de Desarrollo Sostenible  
Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
1.1. ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN .....	1
1.2. OBJETIVOS.....	2
1.3. METODOLOGÍA .....	3
<b>2. MODELO TERRITORIAL DE IDONEIDAD DE HÁBITAT PARA ESPECIES ACUÁTICAS DE ANFIBIOS Y REPTILES</b> .....	<b>3</b>
2.1. CONSIDERACIONES PREVIAS .....	3
2.2. CARTOGRAFÍA BASE EMPLEADA PARA LA CARACTERIZACIÓN DE LAS DISTINTAS VARIABLES Y PROCESADO DE LA INFORMACIÓN CARTOGRÁFICA .....	4
2.2.1. <i>Usos del suelo</i> .....	4
2.2.2. <i>Zonas acuáticas asociadas a humedales</i> .....	4
2.2.3. <i>Zonas Temporales acuáticas o húmedas</i> .....	6
2.2.4. <i>Vías de comunicación</i> .....	6
2.3. COMBINACIÓN DE LAS DISTINTAS VARIABLES QUE DEFINEN LA IDONEIDAD DE HÁBITAT.....	6
2.4. RESUMEN DE LOS VALORES DE IDONEIDAD ASIGNADOS A LOS PARÁMETROS DE CADA VARIABLE.....	6
<b>3. MODELO DE RESISTENCIA TERRITORIAL A LA DISPERSIÓN Y ANÁLISIS DE CONECTIVIDAD</b> .....	<b>9</b>
3.1. MATRIZ TERRITORIAL DE RESISTENCIA .....	9
3.2. CARTOGRAFÍA BASE EMPLEADA PARA LA CARACTERIZACIÓN DE LAS DISTINTAS VARIABLES Y PROCESADO DE LA INFORMACIÓN CARTOGRÁFICA .....	10
3.2.1. <i>Usos del suelo</i> .....	10
3.2.2. <i>Zonas acuáticas y asociadas a humedales</i> .....	11
3.2.3. <i>Zonas temporales acuáticas o húmedas</i> .....	12
3.2.4. <i>Vías de comunicación</i> .....	13
3.3. COMBINACIÓN DE LAS DISTINTAS VARIABLES QUE DEFINEN LA RESISTENCIA DEL TERRITORIO .....	13
3.4. RUTAS DE MENOR COSTE Y FRANJAS CONECTORAS .....	14
<b>4. IDENTIFICACIÓN DE ÁREAS CLAVE Y DE INTERÉS PARA LA CONECTIVIDAD ECOLÓGICA DEL TERRITORIO</b> .....	<b>16</b>
<b>5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>17</b>
<b>ANEXO 1</b> .....	<b>19</b>



# ANÁLISIS DE LA CONECTIVIDAD ECOLÓGICA TERRITORIAL PARA ESPECIES ACUÁTICAS EN CASTILLA- LA MANCHA (ANFIBIOS Y REPTILES)

Descripción del procedimiento seguido para la evaluación de la conectividad ecológica territorial en el contexto de la elaboración de la Estrategia Regional de Infraestructura Verde, Conectividad y Restauración Ecológica

## 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1. Antecedentes y justificación

Repartidos por el territorio de Castilla-La Mancha encontramos multitud de sistemas acuáticos lénticos, como humedales, charcas o lagos. Estas zonas son consideradas de gran importancia para la biodiversidad, además de ser unos de los hábitats que mas carbono fijan. A parte de las aves acuáticas, algunas especies de reptiles y anfibios se encuentran estrechamente relacionadas con este tipo de ecosistemas, ya que necesitan la presencia de agua durante todo su ciclo vital, tanto para completar sus ciclos reproductivos como para encontrar refugio.

Dentro de este amplio grupo de especies cabe destacar las especies del grupo de los anfibios, siendo unas de las más afectadas por la fragmentación de sus hábitats y cuyas poblaciones están en regresión. Además, presentan grandes amenazas como los incendios, biocidas y fertilizantes, infraestructuras o la alteración de los sistemas acuáticos (drenaje, sobreexplotación destrucción de vegetación de ribera...), entre otras (Hernández y Ayllón, 2011).

Muchas de estas especies de anfibios se encuentran bajo diferentes categorías de amenaza y varias de ellas aparecen en los anexos II y IV de la Directiva 92/43/CEE del Consejo de 21 de mayo de 1992 relativa a la conservación de los hábitats naturales y de la fauna y flora silvestres en diferente (Anexo 1).

Como se detallará más adelante, el trabajo ha consistido en el desarrollo de una serie de modelizaciones territoriales basadas en la caracterización de los usos del territorio, que puedan ser utilizadas como herramientas para la gestión de la conservación de estas especies, especialmente los anfibios, según las distintas necesidades que se puedan presentar.

Los modelos elaborados se basan en metodologías ya avaladas por la comunidad científica, y recogidas como una de las herramientas técnicas para la identificación de

áreas de interés para la conservación y restauración de corredores ecológicos dentro de la Estrategia Nacional de Infraestructura Verde, Conectividad y Restauración Ecológica. En este caso, los productos desarrollados han sido:

- a. Modelo de idoneidad de hábitat para las especies de anfibios y reptiles vinculadas a los humedales. En formato ráster, consiste en una retícula de ámbito regional en la que cada cuadrícula adquiere un valor relativo en cuanto a su idoneidad como hábitat para estas especies.
- b. Modelo de resistencia, similar al anterior, pero en el que cada componente de la retícula adquiere un valor relativo en cuanto a capacidad para facilitar o dificultar la dispersión de las especies en la matriz territorial.
- c. Modelo de conectividad ecológica. Basado en el modelo de resistencia del territorio a la dispersión de estas especies, determina los caminos de coste mínimo y analiza la resistencia acumulada del medio para su dispersión entre los distintos núcleos origen. En

Una característica que hace interesantes estos modelos es la posibilidad de adecuación a distintas escalas de trabajo y la viabilidad de su actualización periódica en función de la mejora en la precisión de la información disponible sobre usos del suelo y otras variables que resulten de interés en cada caso.

En cuanto al modelo de conectividad, los espacios considerados como áreas núcleo a partir de los cuales modelizar la conectividad entre estos, han sido los humedales identificados de la región, gran parte de ellos incluidos en el Inventario Español de Zonas Húmedas (IEZH).

## 1.2. Objetivos

- a. Obtener un modelo del territorio basado en la idoneidad como hábitat para las especies de anfibios y reptiles vinculados al medio acuático: a partir de la identificación y clasificación de los usos del suelo en la matriz territorial, llevar a cabo una reclasificación del valor de los mismos en función de su idoneidad para el uso por parte de estas especies en el desarrollo de sus ciclos vitales.

Esto permite la identificación de áreas potencialmente importantes para estas especies, mostrando además una imagen del territorio en la que poder analizar otros aspectos relevantes como al grado de fragmentación de su hábitat, o la evolución del mismo en una secuencia temporal específica.

- b. Obtener un modelo de la resistencia que ofrece territorio a la dispersión de las especies consideradas.
- c. Obtener un modelo que permita analizar el papel del territorio en la conectividad entre los distintos espacios identificados como humedales, a partir de la definición de la resistencia que ofrece el medio a la dispersión de estas especies.

El modelo de conectividad permite visualizar y cuantificar cómo se conectan unas zonas núcleo con otras (en este caso el medio acuático), evaluar las características del medio para realizar esta función, identificar zonas de interés por su papel en la dispersión de las especies entre núcleos, y dirigir esfuerzos para su conservación y/o restauración.



### 1.3. Metodología

Para alcanzar estos objetivos, la propuesta metodológica se fundamenta en una revisión bibliográfica previa para definir las características del medio donde estas especies desarrollan sus ciclos vitales de manera óptima, además de contar con el criterio experto para definir intervalos de valores cuantitativos específicos para la ponderación de las variables ambientales y usos del territorio.

Una vez identificados los requerimientos previos por parte de las especies, se ha procedido a modelizar los usos del territorio mediante el empleo de herramientas SIG utilizando metodologías ya empleadas en trabajos de modelización territorial para la identificación de corredores ecológicos basados en la idoneidad de hábitat y la resistencia del medio (Adriaensen et al., 2003; Beier et al. 2008; Saura et al., 2016).

Como resultado, se han obtenido tres productos principales:

- a. Una matriz territorial clasificada según la idoneidad de hábitat para las especies de reptiles y anfibios en el medio acuático.
- b. Una matriz territorial de resistencia del medio al desplazamiento de estas especies.
- c. Un modelo de franjas conectoras entre áreas núcleo que permita determinar la idoneidad del medio para la dispersión de las especies entre núcleos.

## 2. MODELO TERRITORIAL DE IDONEIDAD DE HÁBITAT PARA ESPECIES ACUÁTICAS DE ANFIBIOS Y REPTILES

### 2.1. Consideraciones previas

Para la realización de la modelización de la idoneidad de hábitat se parte de la premisa de que existe un gran conjunto de especies de grupos diferentes (tanto vertebrados como invertebrados) asociados a estas zonas de humedales y que esta gran variedad puede generar grandes dificultades en la valoración de los factores que conforman los modelos de idoneidad y resistencia.

Por ello se deciden descartar algunos grupos faunísticos como las aves acuáticas, ya que son las que menores problemas de dispersión presentan debido a la capacidad de vuelo, de igual manera se descartan los peces y otros invertebrados acuáticos (a pesar de existir zoocoria bastante eficaz con sus huevos, Sahuquillo et al. 2010) por presentar las condiciones más restrictivas asociadas estrictamente al agua. Debido a esto se escogen finalmente los reptiles y sobre todo los anfibios como especies objetivo para el desarrollo de los análisis de la conectividad de humedales de la región de Castilla-La Mancha además está acorde a los trabajos realizados sobre conectividad de humedales en el proyecto Life Ríos y Humedales (PROYECTO LIFE 11 NAT/ES/699/MEDWETRIVERS).

Por tanto, los parámetros utilizados para la valoración de la idoneidad de hábitat han sido los siguientes:

- a. Usos del suelo partiendo del teselado del SIOSE (2014). Es el parámetro de mayor consideración en los modelos de idoneidad y resistencia, ya que la cobertura de esta capa describe el territorio.

- b. Espacios Red Natura 2000 y Zonas Acuáticas: se seleccionan positivamente aquellas zonas asociadas a medios acuáticos o de humedales.
- c. Zonas Temporales acuáticas o húmedas: se seleccionan positivamente aquellas zonas húmedas permanentes o temporales.
- d. Distancia a infraestructuras viarias (carreteras): se seleccionan negativamente las vías de comunicación catalogadas como carreteras, autovías...

## 2.2. Cartografía base empleada para la caracterización de las distintas variables y procesado de la información cartográfica

### 2.2.1. Usos del suelo

Para la caracterización de los usos de suelo se ha optado por trabajar con la base cartográfica del SIOSE 2014.

Se ha trabajado con los teselados provinciales, a los que se les ha añadido un campo de tipo numérico en el que se registraba el valor de idoneidad de cada una de las teselas (expresado en valores comprendidos entre 1 y 100 para los usos del suelo de menor a mayor idoneidad respectivamente) en función del tipo de uso.

Una vez asignado un valor de idoneidad de hábitat a cada una de las teselas, la cobertura cartográfica (en formato shapefile) se transforma en una imagen rasterizada con tamaño de píxel equivalente a 100 metros de lado, utilizando como campo de asignación de valor de cada píxel el campo numérico con el valor de idoneidad de hábitat.

### 2.2.2. Zonas acuáticas asociadas a humedales

Se ha pretendido valorar positivamente aquellas zonas con presencia de zonas de humedales o acuáticas y las zonas de ribera de los ríos. Para ellos se han empleado una serie de capas cartográficas:

- **Espacios de la Red Natura 2000.** Se han escogido los siguientes espacios asociados a humedales o a complejos lagunares de la cartografía de la Red Natura 2000 de la región:

Tipología	Código	Nombre
ZEC	ES4250008	Estepas salinas de Toledo
ZEC	ES4250011	Complejo lagunar de La Jara
ZEC/ZEPA	ES4250010	Humedales de La Mancha
ZEC/ZEPA	ES4240023	Lagunas y parameras del Señorío de Molina
ZEC/ZEPA	ES4240005	Lagunas de Puebla de Beleña
ZEC	ES4230008	Complejo lagunar de Ballesteros y valle del río Moscas
ZEC/ZEPA	ES0000013	Tablas de Daimiel
ZEC	ES4220005	Lagunas volcánicas del Campo de Calatrava
ZEC	ES4220020	Lagunas de Alcoba y Horcajo de Los Montes
ZEC	ES4220019	Bonales de la comarca de Los Montes del Guadiana

Tipología	Código	Nombre
ZEC	ES4210004	Lagunas saladas de Pétrola y Salobrejo y complejo lagunar de Corral Rubio
ZEC	ES4210006	Laguna del Arquillo
ZEC	ES4210005	Laguna de Los Ojos de Villaverde
ZEC	ES4210017	Lagunas de Ruidera
ZEC/ZEPA	ES0000161	Laguna de El Hito
ZEPA	ES0000438	Carrizales y sotos del Jarama y Tajo

Se han considerado estas zonas a destacar debido a que contienen los hábitats de las especies objeto de este análisis de conectividad, además del rango de zonas sensibles declaradas a conservar. Son zonas que podrían haberse incluido como núcleos a conectar, pero las zonas acuáticas que presentan junto a otras muchas se incluyen de igual manera en el listado de humedales de Castilla-La Mancha usado como núcleos.

A estas zonas se les ha otorgado un valor de 40 en cuanto a la idoneidad de hábitats. Este valor no es el total de la superficie que abarcan, simplemente aumenta aquellas teselas del territorio con valores inferiores por encontrarse en estos espacios Red Natura 2000, la de hábitat idóneo dentro de estos espacios se siguen valorando como les corresponde.

Tras la selección de estas zonas se ha generado un ráster de las mismas con un tamaño de pixel de 100 metros de lado.

- **Zonas de Ribera.** Consideradas como zonas que ofrecen un destacado papel para la dispersión del grupo de especies objeto además de conformar el elemento que otorga conectividad transversal a los sistemas riparios, sistemas que cuentan con carácter propio de corredores ecológicos.
- Se ha empleado la cartografía de “*Riparian Zones*” de las diferentes cuencas hidrográficas de Castilla-La Mancha desarrollada por la Agencia Europea de Medio Ambiente (EEA) en el marco del programa Copernicus de la UE, la cual se ha rásterizado con un tamaño de pixel de 100 metros de lado.
- **Tramos de ríos permanentes:** Para la identificación completa de los tramos fluviales permanentes, que son el hábitat de algunas especies de anfibios, y que junto a las zonas de ribera anteriores conforman corredores ecológicos para las especies relacionadas con los humedales, así como para otras muchas, se ha usado la cartografía de masas de agua lineales del Centro de Descargas del Centro Nacional de Información Geográfica (CNIG).
- En primer lugar, fue necesario aplicar una zona de influencia (buffer) de 50 metros en torno a estos tramos de agua permanente para su identificación dentro del tamaño de pixel elegido en el proceso de rasterización (100 metros de lado) y se le asignó un valor de 90 referido a la idoneidad de hábitats.

### 2.2.3. Zonas Temporales acuáticas o húmedas

De gran importancia para los anfibios como indica la revisión bibliográfica, se han identificado las zonas con encharcamientos y humedad temporales y permanentes. Este factor se ha identificado gracias a la cartografía de Water & Wetness del periodo 2009-2015 desarrollada por la Agencia Europea de Medio Ambiente (EEA) en el marco del programa Copernicus de la UE.

Esta cartografía diferencia el territorio acorde a las siguientes tipologías: zonas de agua permanente, zonas temporalmente inundadas, áreas con humedad permanente, áreas con humedad temporal, y zonas secas. De igual modo que el resto de factores cartográficos se ha rasterizado con un tamaño de pixel de 100 metros de lado.

### 2.2.4. Vías de comunicación

Para identificar cartográficamente de forma continua estas zonas artificiales, que tanta fragmentación de hábitat genera (Rosell et al. 2002; Geneletti, 2004) para estas especies, así como los suelos urbanos, se parte del recurso cartográfico de las vías de comunicación terrestres de Castilla-La Mancha. Para el objetivo de la representación continua de las mismas, ha sido necesario realizar un buffer de 50 metros en torno a estas infraestructuras lineales y la posterior rasterización de las mismas otorgando el valor más bajo de idoneidad de hábitat (1).

## 2.3. Combinación de las distintas variables que definen la idoneidad de hábitat

En este caso se ha determinado que la unión que mejor representaba el modelo de idoneidad de las especies de humedales (anfibios) no era una suma ponderada, sino el modelo obtenido empleando la unión por mosaico de los diferentes ráster, siguiendo un orden concreto y mediante la especificación de elección de valores máximos y mínimos en función del factor a incorporar.

Factor	Operador del mosaico
Usos del suelo	Base
Red Natura 2000	Mínimo
Riparian Zones	Mínimo
Water & Wetness	Mínimo
Carreteras	Máximo
Tramos fluviales	Mínimo

## 2.4. Resumen de los valores de idoneidad asignados a los parámetros de cada variable

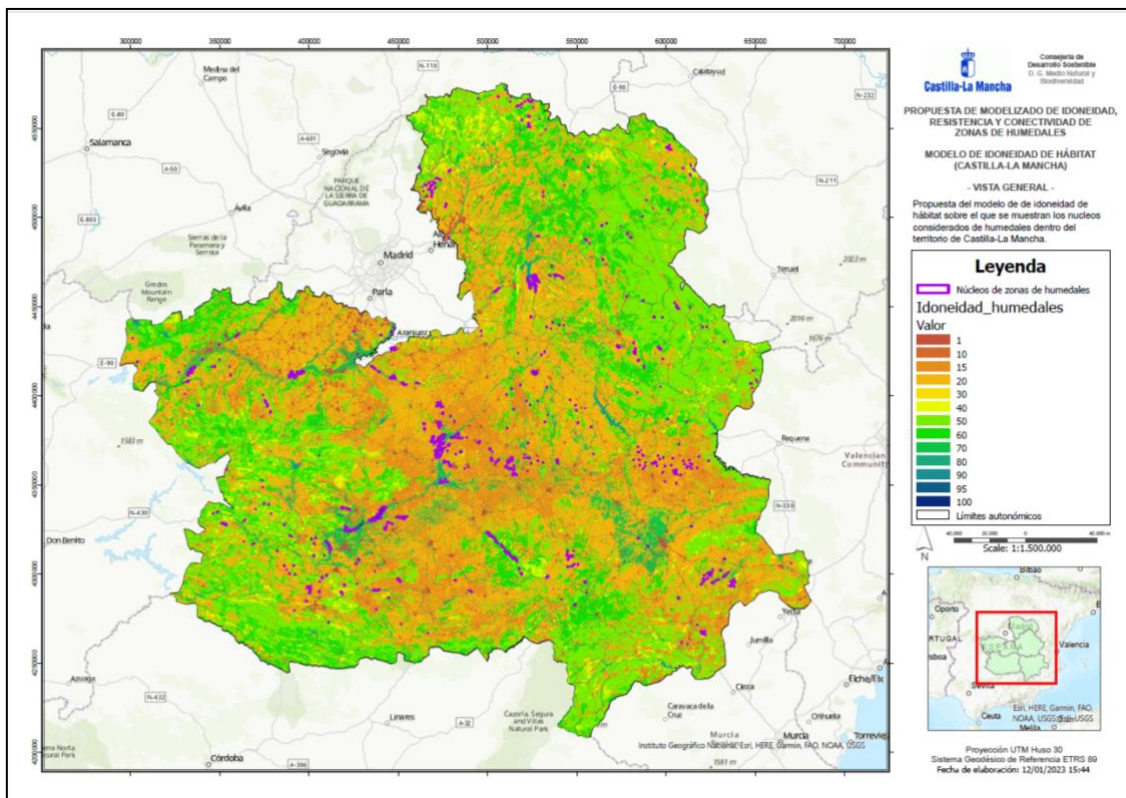
En la siguiente tabla se relacionan los usos del SIOSE14 con los valores de idoneidad para el ecoperfil de anfibios y reptiles. La idoneidad se valora en un rango de valores entre 1 (usos menos adecuados para las especies consideradas), y 100 (usos óptimos para el desarrollo de las especies). En la siguiente tabla se relacionan los valores utilizados:

NOMBRE	CÓDIGO	IDONEIDAD
Casco	111	1
Ensanche	112	1
Discontinuo	113	10
Zona verde urbana	114	30
Instalación agrícola y/o ganadera	121	20
Instalación forestal	122	20
Extracción minera	123	10
Industrial	130	1
Servicio dotacional	140	1
Asentamiento agrícola y huerta	150	30
Red viaria o ferroviaria	161	1
Aeropuerto	163	1
Infraestructura de suministro	171	10
Infraestructura de residuos	172	10
Cultivo herbáceo	210	20
Invernadero	220	1
Frutal cítrico	231	15
Frutal no cítrico	232	15
Viñedo	233	15
Olivar	234	15
Otros cultivos leñosos	235	15
Combinación de cultivos leñosos	236	15
Prado	240	50
Combinación de cultivos	250	15
Combinación de cultivos con vegetación	260	20
Bosque de frondosas	311	50
Bosque de coníferas	312	40
Bosque mixto	313	50
Pastizal o herbazal	320	50
Matorral	330	40
Combinación de vegetación	340	50
Playa, duna o arenal	351	30
Roquedo	352	30
Temporalmente desarbolado por incendios	353	20
Suelo desnudo	354	30
Zona húmeda y pantanosa	411	100

NOMBRE	CÓDIGO	IDONEIDAD
Salina	414	1
Curso de agua	511	95
Lago o laguna	512	100
Embalse	513	50
Lámina de agua artificial	514	100

Además de la base de usos SIOSE se incorporan a continuación otros valores utilizados en el resto de parámetros que se han tenido en cuenta, los cuales se han mencionados anteriormente:

Cartografía	Parámetro	Valor de Idoneidad
Red Natura 2000	Espacios con hábitats de humedales	60
Riparian Zones	Zonas de conectividad transversal de ríos	70
Tramos fluviales	Hábitats de ríos permanentes	90
	Zonas de agua permanente	90
	Zonas temporalmente inundadas	80
Water & Wetness	Áreas con humedad permanente	70
	Áreas con humedad temporal	60
	Zonas secas	1
Carreteras	Zona de fragmentación de hábitat	1



**Figura 1:** Mapa del modelo de idoneidad de hábitat para el grupo de anfibios considerado para el análisis de conectividad de zonas de humedales de Castilla-La Mancha.

### 3. MODELO DE RESISTENCIA TERRITORIAL A LA DISPERSIÓN Y ANÁLISIS DE CONECTIVIDAD

#### 3.1. Matriz territorial de resistencia

La matriz de resistencia supone una representación del grado en el que la matriz territorial contribuye a facilitar o dificultar la movilidad de las especies objetivo. Su configuración, al igual que en el caso de la matriz de idoneidad de hábitat, viene determinada por una serie de parámetros estrechamente relacionados con las características del territorio (preferencia de uso del suelo, presencia de barreras físicas que impiden su desplazamiento, capacidad de dispersión de las especies, etc). Por sus características, será la base sobre la que definir las zonas del territorio que, de acuerdo al algoritmo empleado por la herramienta Linkage Mapper, representan la mayor o menor resistencia acumulada al desplazamiento de las especies, identificando de manera gráfica y numérica el valor que cada píxel del territorio aporta a la conectividad entre las áreas consideradas para las especies de reptiles y anfibios.

Los valores de la matriz de resistencia no se relacionan de manera directamente inversa con los valores de idoneidad de hábitat como se indica en algunas metodologías (Beiber et al, 2008). En la valoración de la idoneidad de hábitat pueden aparecer usos de suelo con valores de idoneidad muy bajos (roquedos, cultivos o zonas verdes urbanas), que

no tienen asociado un valor elevado de resistencia a la dispersión de las especies, según la bibliografía consultada

### 3.2. Cartografía base empleada para la caracterización de las distintas variables y procesado de la información cartográfica

La cartografía empleada como base de creación del modelo de resistencia a la dispersión territorial es la misma que la empleada para la creación del modelo de idoneidad de hábitat. Como se ha mencionado, ha sido necesario un tratamiento nuevo de las bases cartográficas para la creación de este modelo de resistencia, ya que se ha decidido no crear este modelo basado en el inverso al de idoneidad de hábitat.

#### 3.2.1. Usos del suelo

De igual manera que para el modelado de idoneidad, para la caracterización de los usos de suelo se ha optado por trabajar con la base cartográfica del SIOSE 2014.

Para la definición de la matriz de resistencia se han considerado valores comprendidos entre 1 y 100, correspondiendo el valor 1 a elementos territoriales que no suponen resistencia para la dispersión de las especies y el valor 100 a elementos que suponen una elevada resistencia funcional y estructural para la dispersión de las especies.

Una vez asignado un valor de resistencia del territorio a cada una de las teselas, la cobertura cartográfica (en formato shapefile) se transforma en una imagen rasterizada con tamaño de píxel equivalente a 100 metros de lado, utilizando como campo de asignación de valor de cada píxel el campo numérico con el valor de resistencia.

Nombre	Código	Resistencia
Casco	111	100
Ensanche	112	100
Discontinuo	113	30
Zona verde urbana	114	10
Instalación agrícola y/o ganadera	121	30
Instalación forestal	122	30
Extracción minera	123	80
Industrial	130	100
Servicio dotacional	140	70
Asentamiento agrícola y huerta	150	10
Red viaria o ferroviaria	161	70
Aeropuerto	163	70
Infraestructura de suministro	171	50
Infraestructura de residuos	172	50
Cultivo herbáceo	210	20



Nombre	Código	Resistencia
Invernadero	220	100
Frutal cítrico	231	30
Frutal no cítrico	232	30
Viñedo	233	30
Olivar	234	30
Otros cultivos leñosos	235	30
Combinación de cultivos leñosos	236	30
Prado	240	15
Combinación de cultivos	250	25
Combinación de cultivos con vegetación	260	25
Bosque de frondosas	311	10
Bosque de coníferas	312	15
Bosque mixto	313	10
Pastizal o herbazal	320	25
Matorral	330	20
Combinación de vegetación	340	20
Playa, duna o arenal	351	10
Roquedo	352	10
Temporalmente desarbolado por incendios	353	10
Suelo desnudo	354	10
Zona húmeda y pantanosa	411	1
Salina	414	100
Curso de agua	511	1
Lago o laguna	512	1
Embalse	513	40
Lámina de agua artificial	514	1

### 3.2.2. Zonas acuáticas y asociadas a humedales

Estas zonas se consideran según la bibliografía consultada como de alta resistencia, a pesar de permitir el paso de las especies por lo que se les asigna un valor de resistencia sobre 100 de 60. Es preciso mencionar que estos cultivos van rotando y variando temporalmente, por lo que la inclusión de este factor muestra únicamente una situación anual. Por ello no se otorga un peso muy alto en la inclusión con el resto de factores en el modelo de resistencia.

- **Espacios de la Red Natura 2000:** Se han escogido los espacios asociados a humedales o a complejos lagunares de la cartografía de la Red Natura 2000 de la región,

mencionados anteriormente en el apartado del modelo de idoneidad. Son zonas que podrían haberse incluido como núcleos a conectar, pero las zonas acuáticas que presentan junto a otras muchas se incluyen de igual manera en el listado de humedales de Castilla-La Mancha usado como núcleos.

Tras la selección de estas zonas se ha generado un ráster de las mismas con un tamaño de pixel de 100 metros de lado y un valor de resistencia de 15 unidades, que favorece los valores que pudieran presentar estos usos fuera de estas zonas, salvo las barreras.

- **Zonas de Ribera:** Consideradas como zonas que ofrecen un destacado papel para la dispersión del grupo de especies objeto y debido a su carácter propio de corredores ecológicos. Se ha empleado la cartografía de Riparian Zones de las diferentes cuencas hidrográficas de Castilla-La Mancha desarrollada por la Agencia Europea de Medio Ambiente (EEA) en el marco del programa Copernicus de la UE.

De igual manera que el resto de capas, se ha rasterizado con un tamaño de pixel de 100 metros de lado y considerando un valor bajo de resistencia (5).

- **Tramos de ríos permanentes:** Junto a las zonas de ribera anteriores conforman corredores ecológicos para las especies relacionadas con los humedales, así como para otras muchas. Se ha usado la cartografía de los diferentes tramos de agua de los ríos permanentes de Castilla-La Mancha obtenidos del Centro de Descargas del Centro Nacional de Información Geográfica (CNIG).

En primer lugar, fue necesario aplicar una zona de influencia (buffer) de 50 metros en torno a estos tramos de agua permanente para su identificación dentro del tamaño de pixel elegido en el proceso de rasterización. Para este proceso se usaron valores de resistencia mínima (1) y se eligió un tamaño de pixel de 100 metros de lado.

### 3.2.3. Zonas temporales acuáticas o húmedas

De gran importancia para los anfibios como indica la revisión bibliográfica, se han identificado las zonas con encharcamientos y humedad temporales y permanentes. Este factor se ha identificado gracias a la cartografía de Water & Wetness del periodo 2009-2015 desarrollada por la Agencia Europea de Medio Ambiente (EEA) en el marco del programa Copernicus de la UE.

De igual modo que el resto de factores cartográficos se ha rasterizado con un tamaño de pixel de 100 metros de lado y con los valores asociados a la resistencia del territorio que se muestran a continuación:

Capa Cartográfica	Tipología de zonas	Valor de Resistencia
Water & Wetness	Zonas de agua permanente	10
	Zonas temporalmente inundadas	10
	Áreas con humedad permanente	10
	Áreas con humedad temporal	20
	Zonas secas	100

#### 3.2.4. Vías de comunicación

Finalmente, y de la misma manera que para el desarrollo del modelo de idoneidad de hábitat, se incluyen las vías de comunicación como barreras al paso de las especies de anfibios seleccionadas que tanta fragmentación de hábitat suponen (Rosell et al. 2002; Geneletti, 2004) para estas especies, en algunos casos se han llegado a observar 1.500 ejemplares/año atropellados en un tramo vial (Pascual, 2013).

Para identificar cartográficamente de forma continua estas zonas artificiales, se parte del recurso cartográfico de las vías de comunicación terrestres de Castilla-La Mancha. Para el objetivo de la representación continua de las mismas, ha sido necesario realizar un buffer de 50 metros en torno a estas infraestructuras lineales y la posterior rasterización de las mismas otorgando el valor más alto de resistencia del territorio (100).

#### 3.3. Combinación de las distintas variables que definen la resistencia del territorio

En este caso se ha determinado que la unión que mejor representaba el modelo de resistencia del territorio para las especies de humedales (anfibios) no era una suma ponderada, sino el modelo obtenido empleando la unión por mosaico de los diferentes ráster, siguiendo un orden concreto y mediante la especificación de elección de valores máximos y mínimos en función del factor a incorporar.

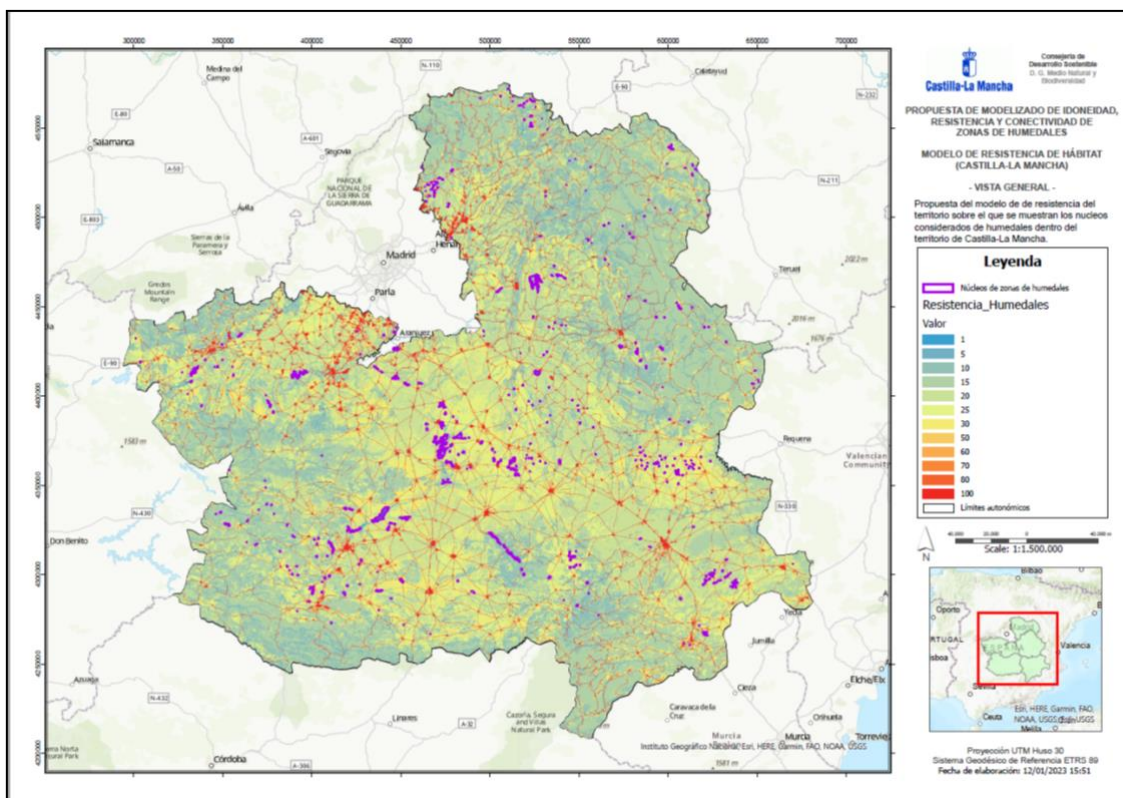
Factor	Operador del mosaico
Usos del suelo	Base
Red Natura 2000	Máximo
Riparian Zones	Máximo
Water & Wetness	Máximo
Carreteras	Mínimo
Tramos fluviales	Máximo



## Castilla-La Mancha

Consejería de Desarrollo Sostenible  
Dirección General de Medio Natural y Biodiversidad  
c/ Río Estenilla, s/n  
45.071 – Toledo

Tel.: 925.24.88.29  
e-mail: [dgmnb@jccm.es](mailto:dgmnb@jccm.es)



**Figura 2:** Mapa del modelo de resistencia del territorio para el grupo de anfibios considerado para el análisis de conectividad de zonas de humedales de Castilla-La Mancha.

### 3.4. Rutas de menor coste y franjas conectoras

Una vez generado el ráster de resistencia, se utiliza como base para determinar las rutas de menor coste que conectan los distintos núcleos identificados como humedales en la región. Estos caminos de menor coste constituyen los corredores que acumulan menor resistencia al movimiento de las especies entre las zonas núcleo. Para esto se utiliza el algoritmo “coste-conectividad” de ArcGIS 10.5 unido a la herramienta externa para ArcGIS “Linkage Mapper”. A través de este geoprocso, se definen las rutas (en formato línea) que conectan con el menor coste acumulado los distintos núcleos de los espacios ZEPa y se obtiene la tabla de distancias entre las zonas designadas como núcleos a conectar.

Como complemento a este análisis, se emplea del programa de análisis de conectividad “Linkage Mapper 3.0.0”, su extensión “Linkage Pathways Tool (Build Network and Map Linkages)”. En este tipo de análisis se realizan conexiones masivas entre múltiples parches con el fin de desarrollar trazados lineales que describan las rutas potenciales a tomar por parte de las especies en función de la resistencia que el territorio ofrece a su dispersión. Gracias a estos trazados lineales se pueden localizar puntos críticos que generan fenómenos de fragmentación de espacios debido a efectos de barrera, ausencias de pasos de fauna, etc. Para este análisis, el algoritmo utiliza las zonas núcleo (humedales de Castilla-La Mancha), las distancias entre núcleos y la matriz de resistencia.

El grupo de los anfibios presenta una capacidad de dispersión limitada, siendo dependientes de los hábitats húmedos, por lo que para la elección de las distancias de dispersión se ha seguido la revisión bibliográfica realizada bajo el proyecto Life Ríos y Humedales:

Especie	Distancia (m)	Referencia bibliográfica
<i>Alytes</i> spp.	500	Laan y Verboom, 1990
<i>Triturus</i> spp.	400-800	Simms, 1969; Baker y Halliday, 1999
<i>Pelobates fuscus</i>	500	Eggert, 2002
<i>Bufo spinosus</i>	254-1379	Kovart et al. 2009
Varias	500-1000	Ribero et al. 2011
Varias	<700	Alarcos et al. 2003

A partir de estas distancias se establece la distancia media de dispersión que ha sido de 500 metros (Proyecto Life Ríos y Humedales, 2016), la cual se ha empleado para el diseño de corredores ecológicos generados en el modelo de conectividad.

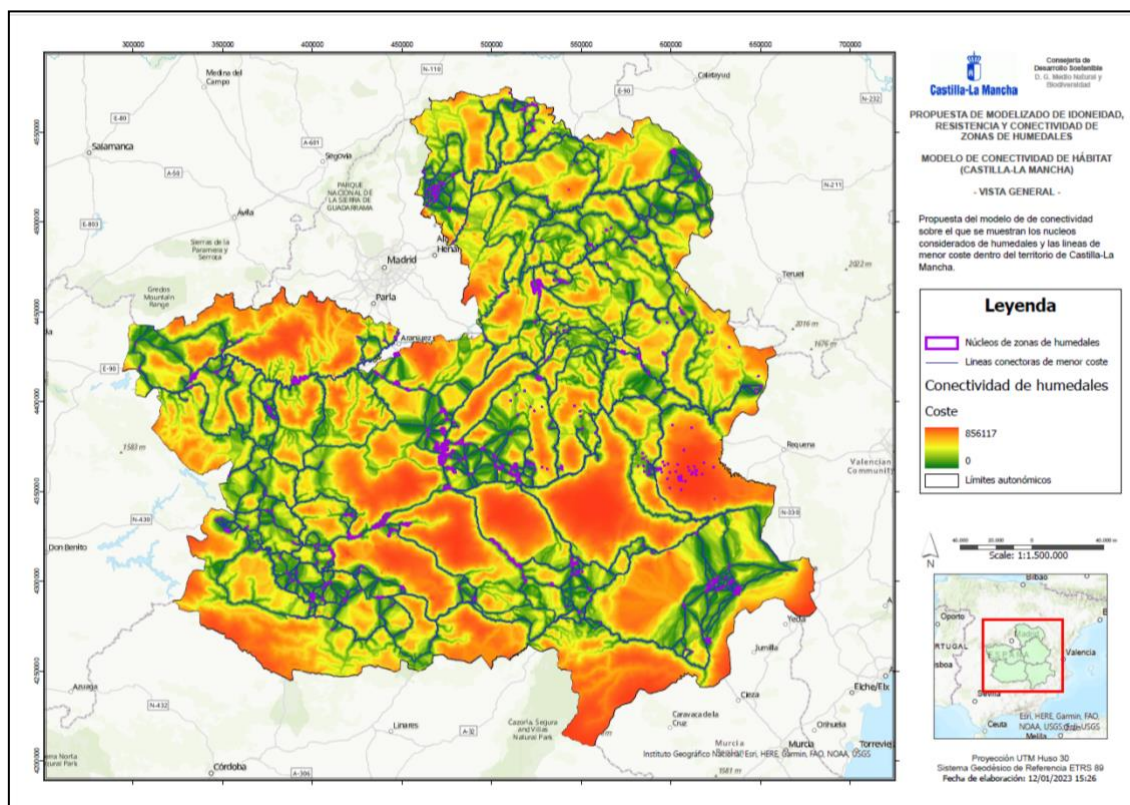


Figura 2. Resultado obtenido para la matriz de resistencia territorial.

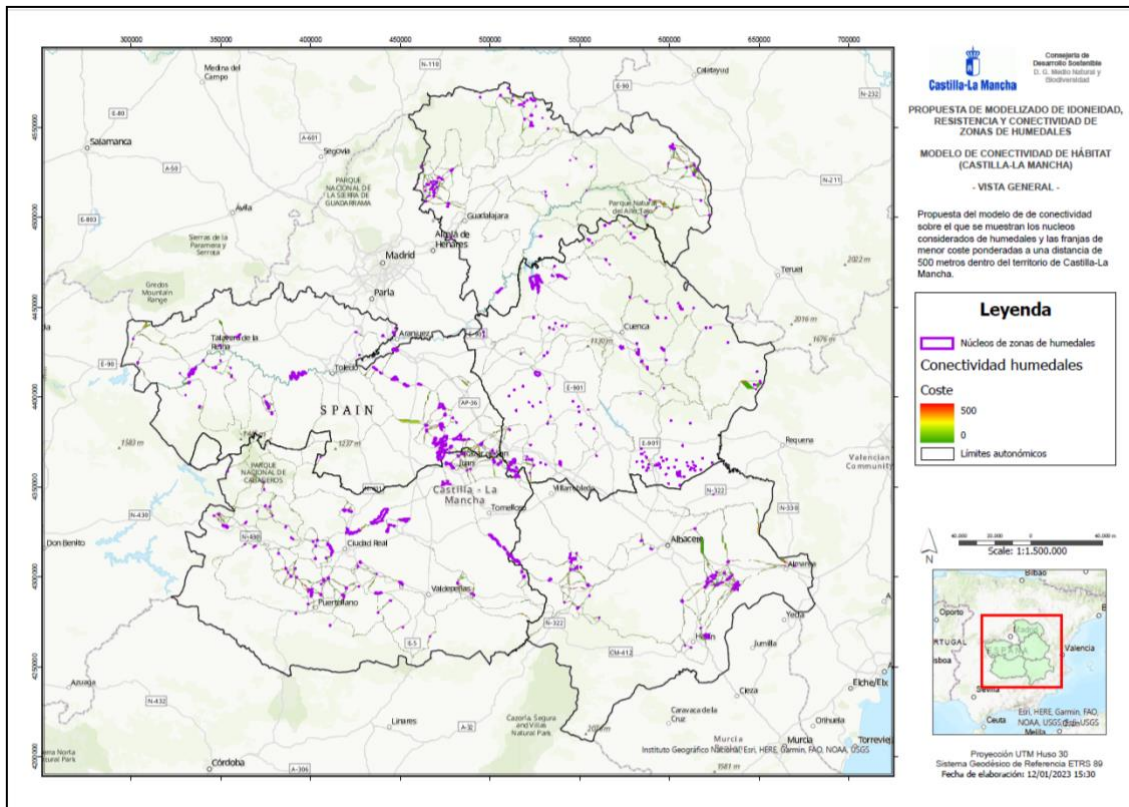


figura 3. Resultado de cálculo de la resistencia acumulada del territorio al desplazamiento de estas especies entorno a las rutas de menor coste.

#### 4. IDENTIFICACIÓN DE ÁREAS CLAVE Y DE INTERÉS PARA LA CONECTIVIDAD ECOLÓGICA DEL TERRITORIO

De acuerdo a las indicaciones recogidas en la propuesta metodológica para la identificación de áreas clave y de interés para la conectividad ecológica de estas especies (Guía metodológica para la identificación de la infraestructura verde en España), se establecen los siguientes rangos de valores para la clasificación del territorio:

##### *Rango de valores mínimo y máximo*

Valor mínimo: 0

Valor máximo: 856.117

Método de reclasificación utilizado: intervalo manual

Rangos de valores:

**B3. Áreas clave;**  $\leq 7.000$

**B2. Áreas importantes;**  $> 7.000$  y  $\leq 20.000$

**B1. Áreas de interés bajo;**  $> 20.000$  y  $\leq 856.117$

## 5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Asociación Herpetológica Española. [www.herpetologica.es](http://www.herpetologica.es)
- ADRIAENSEN, F., CHARDON, J.P., DE BLUST, G., SWINNEN, E., VILLALBA, S., GULINCK, H., MATTHYSEN, E., 2003. The application of “least-cost” modelling as a functional landscape model. *Landsc. Urban Plan.* 64, 233–247. [https://doi.org/10.1016/S0169-2046\(02\)00242-6](https://doi.org/10.1016/S0169-2046(02)00242-6)
- Alarcos, G., Ortiz, M. E., Lizana, M. Aragón, A., Fernández Benéitez, M. J. 2003. La colonización de mediaa acuáticos por anfibios como herramienta para su conservación: el ejemplo de Arribes del Duero. *Munibe (Suplemento/Gehigarria)*, 16:114-127.
- Ayres, C. (2009). Galápago europeo – *Emys orbicularis*. En: Enciclopedia Virtual de los Vertebrados Españoles. Salvador, A., Marco, A. (Eds.). Museo Nacional de Ciencias Naturales, Madrid. <http://www.vertebradosibericos.org>
- BEIER, P., MAYKA, D.R, and SPENCER, W. D. 2008. Forks in the Road: Choices in Procedures for Desingning Wildland Linkages. *Conservation Biology*. Volume 22, Nª4, pp 836-851. Society for Conservation Biology DOI: 10.1111/j.1523-1739.2008.00942.x available on <http://corridor-design.org/>
- Díaz-Paniagua, C., Andreu, A. C., Keller, C. (2015). Galápago leproso – *Mauremys leprosa*. En: Enciclopedia Virtual de los Vertebrados Españoles. Salvador, A., Marco, A. (Eds.). Museo Nacional de Ciencias Naturales, Madrid. <http://www.vertebradosibericos.org/>
- Eggert, C. 2002. Use of fluorescent pigments and implantable transmitters to track a fossorial toad (*Pelobates fuscus*). *Herpetological Journal*, 12(2), 69-74.
- Geneletti D. 2004. Using spatial indicators and value functions to assess ecosystem fragmentation caused by linear infrastructures. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 5: 1–15.
- Hernandez, P.L. y Ayllón, E. 2011. *Anfibios y Reptiles de Toledo*. Diputación de Toledo. ISBN. 978-84-96211-60-5.
- Kovar, R., Bravec, M., Vita, R. y Bocek, r. 2009. Spring migration distances of some Central European amphibian especies. *Amphibia-reptilia*, 30(3), 367-378.
- Laan, R. y Verboom, B. 1990. Effects of pool size and isolation on amphibian communities. *Biological Conservation*, 54: 251-262.
- Martínez-Solano, I. (2014). Sapillo pintojo ibérico – *Discoglossus galganoi*. En: Enciclopedia Virtual de los Vertebrados Españoles. Salvador, A., Martínez-Solano, I. (Eds.). Museo Nacional de Ciencias Naturales, Madrid. <http://www.vertebradosibericos.org/>
- Pascual, A. 2013. Estudio de la fragmentación del hábitat de anfibios por la carretera M-301 de Madrid. Proyecto fin de carrera. Tutores: María Cruz Mateo Sánchez y Carlos Iglesias Merchán. Universidad Politécnica de Madrid.
- PLEGUEZUELOS J. M., R. MÁRQUEZ y M. LIZANA, (eds.) 2002. Atlas y Libro Rojo de los Anfibios y Reptiles de España. Dirección General de Conservación de la Naturaleza-Asociación Herpetologica Española (2ª impresión), Madrid, 587 pp.
- PROYECTO LIFE 11 NAT/ES/699 MEDWETRIVERS. Ríos y Humedales. Memoria 2016. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente.



- Ribeiro, R., Carretero, M. A., Sillero, N., Alarcos, G., Ortiz-Santaliestra, M., Lizana, M. y Llorente, G. A. 2011 The pond network: can structural connectivity reflect on (amphibian) biodiversity patterns?. *Landscape Ecology*, 26(5), 673-682.
- Rosell C., Álvarez G., Cahill C., Campeny C. Rodríguez A. y Séiler A. 2002. COST 341. La fragmentación del hábitat en relación con las infraestructuras de transporte en España. Ministerio de Medio Ambiente. Informe inédito. 317 pp. Madrid.
- Sahuquillo, M. y MIRACLE, M. R. 2010. Crustáceos. En: Sancho y Lacomba, I. (2010). Conservación y Restauración de Puntos de Agua para la Biodiversidad. Colección de Manuales Técnicos de Biodiversidad, 2. Generalitat. Conselleria de Medi Ambient, Aigua, Urbanisme i Habitatge. Pp.46-53.
- SAURA MARTÍNEZ DE TODA, S., MATEO SÁNCHEZ, M.C., DE LA FUENTE MARTÍN, B., GASTÓN GONZÁLEZ, A., 2016. Estudio para la identificación de redes de conectividad entre espacios forestales de la Red Natura 2000 en España. ETSI Montes, Forestal y del Medio Natural. Universidad Politécnica de Madrid. 56 pp. [http://awsassets.wwf.es/downloads/Informe\\_final\\_estudio\\_conectores\\_UPM.pdf](http://awsassets.wwf.es/downloads/Informe_final_estudio_conectores_UPM.pdf)
- Simms, C 1969. Indications of the decline of breeding amphibians at in isolated pond in marginal land. *British Journal of Herpetology*, 4: 93-96.

## ANEXO 1

Tabla que recoge las especies de anfibios presentes en los Anexos II y IV de la DIRECTIVA 92/43/CEE DEL CONSEJO de 21 de mayo de 1992 relativa a la conservación de los hábitats naturales y de la fauna y flora silvestres.

Familia	Especie	Anexo II	Anexo IV
Salamandridae	<i>Chioglossa lusitanica</i>	X	X
	<i>Euproctus asper</i>		X
	<i>Euproctus montanus</i>		X
	<i>Euproctus platycephalus</i>		X
	<i>Mertensiella luschani (Salamandra luschani)</i>	X	X
	<i>Salamandra atra</i>		X
	* <i>Salamandra aurorae (Salamandra atra aurorae)</i>	X	X
	<i>Salamandra lanzai</i>		X
	<i>Salamandrina terdigitata</i>	X	X
	<i>Triturus carnifex (Triturus cristatus carnifex)</i>	X	X
	<i>Triturus cristatus (Triturus cristatus cristatus)</i>	X	X
	<i>Triturus dobrogicus (Triturus cristatus dobrogicus)</i>	X	
	<i>Triturus italicus</i>		X
	<i>Triturus karelinii (Triturus cristatus karelinii)</i>	X	X
	<i>Triturus marmoratus</i>		X
<i>Triturus montandoni</i>	X	X	
<i>Triturus vulgaris ampelensis</i>	X	X	
Proteidae	* <i>Proteus anguinus</i>	X	X
Plethodontidae	<i>Hydromantes (Speleomantes) ambrosii</i>	X	X
	<i>Hydromantes (Speleomantes) flavus</i>	X	X
	<i>Hydromantes (Speleomantes) genei</i>	X	X
	<i>Hydromantes (Speleomantes) imperialis</i>	X	X
	<i>Speleomantes italicus</i>		X
	<i>Hydromantes (Speleomantes) strinatii</i>	X	X
<i>Hydromantes (Speleomantes) supramontis</i>	X	X	
Discoglossidae	<i>Alytes cisternasii</i>		X
	* <i>Alytes muletensis</i>	X	X
	<i>Alytes obstetricans</i>		X
	<i>Bombina bombina</i>	X	X
	<i>Bombina variegata</i>	X	X

Familia	Especie	Anexo II	Anexo IV
	<i>Discoglossus galganoi (Discoglossus jeanneae inclusive)</i>	X	X
	<i>Discoglossus montalentii</i>	X	X
	<i>Discoglossus pictus</i>		X
	<i>Discoglossus sardus</i>	X	X
<i>Ranidae</i>	<i>Rana arvalis</i>		X
	<i>Rana dalmatina</i>		X
	<i>Rana graeca</i>		X
	<i>Rana iberica</i>		X
	<i>Rana italica</i>		X
	<i>Rana latastei</i>	X	X
	<i>Rana lessonae</i>		X
<i>Pelobatidae</i>	<i>Pelobates cultripes</i>		X
	<i>Pelobates fuscus insubricus</i>	X	X
	<i>Pelobates syriacus</i>		X
<i>Bufo</i>	<i>Bufo calamita</i>		X
	<i>Bufo viridis</i>		X
<i>Hylidae</i>	<i>Hyla arborea</i>		X
	<i>Hyla meridionalis</i>		X
	<i>Hyla sarda</i>		X