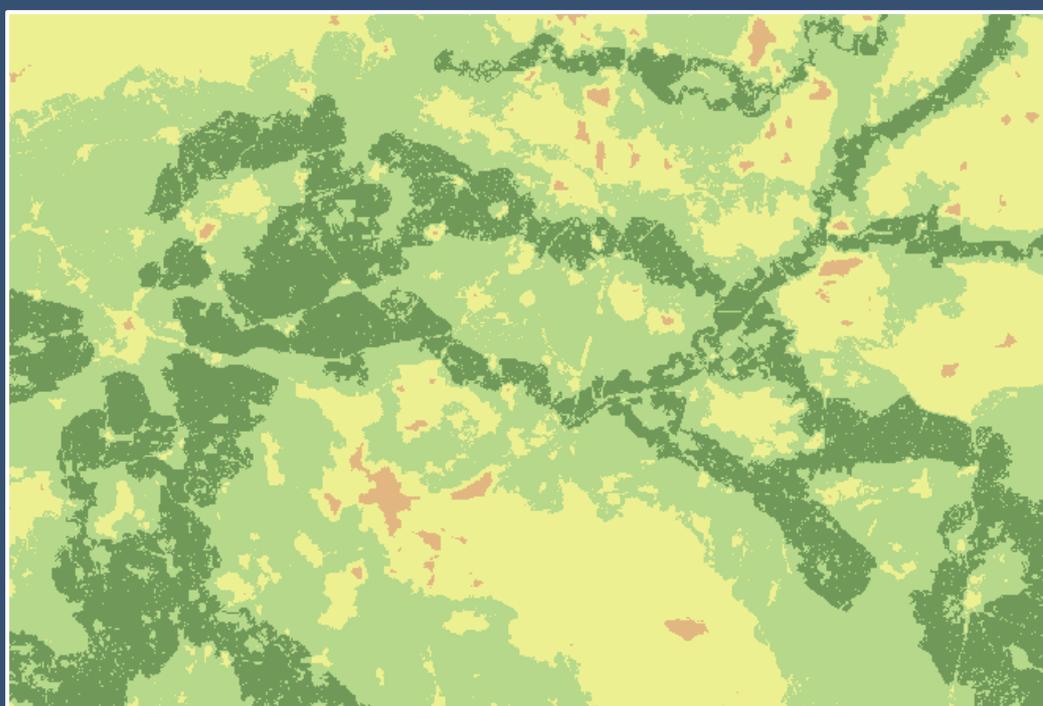


EVALUACIÓN DE LA CONECTIVIDAD ECOLÓGICA TERRITORIAL DE CASTILLA-LA MANCHA



Castilla-La Mancha

DOCUMENTO METODOLÓGICO PARA EL ANÁLISIS
DE LA CONECTIVIDAD ECOLÓGICA:
ESPECIES ESTEPARIAS

Diciembre de 2022

EVALUACIÓN DE LA CONECTIVIDAD ECOLÓGICA TERRITORIAL EN CASTILLA-LA MANCHA

MODELO DE CONECTIVIDAD PARA ESPECIES ESTEPARIAS



Castilla-La Mancha

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

ÍNDICE DE CONTENIDOS

1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN	1
1.2. OBJETIVOS.....	3
1.3. METODOLOGÍA	3
2. MODELO TERRITORIAL DE IDONEIDAD DE HÁBITAT PARA ESPECIES ESTEPARIAS	4
2.1. CONSIDERACIONES PREVIAS	4
2.2. CARTOGRAFÍA BASE EMPLEADA PARA LA CARACTERIZACIÓN DE LAS DISTINTAS VARIABLES Y PROCESADO DE LA INFORMACIÓN CARTOGRÁFICA	5
2.2.1. <i>Usos del suelo</i>	5
2.2.2. <i>Formas del relieve</i>	5
2.2.3. <i>Distancia a núcleos de población e infraestructuras viarias</i>	5
2.2.4. <i>Cultivos de regadío (girasol y maíz)</i>	5
2.3. COMBINACIÓN DE LAS DISTINTAS VARIABLES QUE DEFINEN LA IDONEIDAD DE HÁBITAT.....	6
2.3.1. <i>Resumen de los valores de idoneidad asignados a los parámetros de cada variable</i>	6
3. MODELO DE RESISTENCIA TERRITORIAL A LA DISPERSIÓN Y ANÁLISIS DE CONECTIVIDAD ENTRE ESPACIOS ZEPA	10
3.1. MATRIZ TERRITORIAL DE RESISTENCIA	10
3.2. CARTOGRAFÍA BASE EMPLEADA PARA LA CARACTERIZACIÓN DE LAS DISTINTAS VARIABLES Y PROCESADO DE LA INFORMACIÓN CARTOGRÁFICA	11
3.2.1. <i>Usos del suelo</i>	11
3.2.2. <i>Barreras</i>	14
3.2.3. <i>Rutas de menor coste y franjas conectoras</i>	15
3.3. ANÁLISIS DE CORREDORES E IDENTIFICACIÓN DE BARRERAS EN LOS MISMOS	18
4. IDENTIFICACIÓN DE AREAS CLAVE Y DE INTERÉS PARA LA CONECTIVIDAD ECOLÓGICA DEL TERRITORIO	20
5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	21
5.1. BASES METODOLÓGICAS PARA LA ELABORACIÓN DE MODELOS TERRITORIALES DE IDONEIDAD DE HÁBITAT, RESISTENCIA A LA DISPERSIÓN Y CONECTIVIDAD ECOLÓGICA	21
5.2. CARACTERIZACIÓN DE VARIABLES PARA LAS ESPECIES OBJETIVO	22

ANÁLISIS DE LA CONECTIVIDAD ECOLÓGICA TERRITORIAL PARA ESPECIES ESTEPARIAS EN CASTILLA- LA MANCHA

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

Formando parte del medio agrario, destacan en Castilla-La Mancha los espacios ZEPA cuyo objeto principal de conservación son las aves vinculadas a las estepas agrarias. Estas aves constituyen uno de los grupos de especies más amenazados precisamente por su estrecha vinculación al medio agrario, lo que las hace muy susceptibles a los cambios que se producen en el medio asociados a esta actividad.

Este grupo de aves lo conforman especies como la avutarda (*Otis tarda*), el sisón (*Tetrax tetrax*), el cernícalo primilla (*Falco naumanni*), la ganga, (*Pterocles alchata*), la ortega (*Pterocles orientalis*), el aguilucho cenizo (*Circus cyaneus*), el aguilucho pálido (*Circus pygargus*), el alcaraván (*Burhinus oedicnemus*), la grulla común (*Grus grus*), la calandria (*Melanocorypha calandra*), la bisbita campestre (*Anthus campestris*), la cogujada montesina (*Galerida theklae*) o la terrera común (*Calandrella brachydactyla*). Todas ellas se encuentran protegidas tanto por la Directiva Aves, como por la normativa nacional y regional.

Partiendo de la premisa de que las estrategias para conservación de la biodiversidad deben basarse en la propuesta y ejecución de actuaciones que se fundamenten en las mejores evidencias científicas disponibles, en este trabajo se aborda el desarrollo de herramientas de análisis territorial que permitan caracterizar el medio en términos de idoneidad para la conservación de este grupo de especies.

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 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 aves esteparias vinculadas al medio agrario. 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 este caso los espacios ZEPA de esteparias de Castilla-La Mancha).

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 ZEPA considerados como núcleos a partir de los cuales modelizar la conectividad entre núcleos han sido los siguientes:

ES0000153: Áreas esteparias del este de Albacete

ES0000154: Zona esteparia de El Bonillo

ES0000157: Campo de Calatrava

ES0000158: Áreas esteparias del Campo de Montiel

ES0000390: San Clemente

ES0000167: Estepas cerealistas de La Campiña

ES0000170: Área esteparia de la Mancha Norte

ES0000435: Área esteparia de la margen derecha del río Guadarrama

Además de estas ZEPA declaradas, se incluyen otros espacios interesantes para este grupo de aves, muchos de ellos candidatos a constituirse como nuevas ZEPA de ambientes esteparios.

Campiña del Henares y Torote

Parameras de Marranchón, hoz de Mesa y Aragoncillo

Parameras de Sierra Ministra

Estepas cerealistas de la baja Alcarria

Llanuras de Oropesa, Lagartera y Calera y Chozas

La Manchuela

Zona Villarrobledo-Munera

Zona Albacete-Barrax-La Roda

La Sagra

Lagunas y parameras del Señorío de Molina

Parameras del Gallo

1.2. Objetivos

- a. Obtener un **modelo del territorio basado en la idoneidad como hábitat** para las especies esteparias vinculadas al medio agrario: 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 que permita analizar el papel del territorio en la conectividad entre los distintos espacios ZEPA de esteparias**, 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 los espacios ZEPA designadas para el mismo propósito), 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 que ha permitido definir las características fundamentales del medio donde estas especies desarrollan sus ciclos vitales de manera óptima. Para esto, además de contar con el criterio experto para definir intervalos de valores cuantitativos específicos para la ponderación de las variables ambientales y usos del medio agrario, se ha revisado la información correspondiente a los informes temáticos sobre aves vinculadas al medio agrario en la región por parte de SEO/Birdlife (periodos 2014-2019), Orthem (2019-2021), así como los resultados del Proyecto LIFE15NAT/ES/000734: *Estepas de La Mancha*, ejecutado por la Fundación Global Nature en 2019.

Una vez identificados estos 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 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:

1. Una matriz territorial clasificada según su idoneidad como hábitat para las especies de aves esteparias.
2. Una matriz territorial de resistencia del medio al desplazamiento de estas especies.
3. Un modelo de franjas conectoras entre espacios ZEPA que permita determinar la calidad del medio para su dispersión entre núcleos de interés (espacios ZEPA).

2. MODELO TERRITORIAL DE IDONEIDAD DE HÁBITAT PARA ESPECIES ESTEPARIAS

2.1. Consideraciones previas

Dado que se pretende llevar a cabo un análisis del territorio que permita caracterizar la idoneidad del medio para un grupo de aves tan heterogéneo como es el de las aves de ambientes pseudoesteparios, y siendo conscientes de que, si bien la mayoría de los parámetros que definen la idoneidad de hábitat son comunes, existen algunas especificidades muy concretas para algunas de ellas, se ha considerado adecuado contemplar las variables más restrictivas para los parámetros comunes como forma de optar por la mejor opción de hábitat para todas ellas. Otro factor de interés para la elección de variables ha sido la disponibilidad de información cartográfica para la ejecución de los modelos.

Para dar continuidad a la conectividad de los ambientes esteparios de la región, se ha hecho necesario incluir el análisis de las coberturas del territorio de la Comunidad de Madrid en los modelos de idoneidad y resistencia

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 SIGPAC (2022). Es el parámetro de mayor consideración en los modelos de idoneidad y resistencia, ya que la cobertura agrícola está directamente relacionada con el hábitat del grupo de aves objeto de estudio, su disponibilidad de alimento y refugio.
 - a. Se seleccionan positivamente por estas especies usos relacionados con: cultivos tradicionales de cereal de secano con barbecho, pastizales o eriales, leguminosas, mosaicos de barbecho y cereal.
 - b. Se seleccionan negativamente por estas especies: matorral denso, cultivos altos, árboles y arbustos. Bosques.
- b. Cultivos y sistemas de irrigación: se descartan zonas de regadío, cultivos de girasol y cultivos de maíz.
- c. Formas del relieve: se seleccionan positivamente terrenos fundamentalmente llanos o ligeramente ondulados.
- d. Distancia a núcleos de población: se seleccionan negativamente distancias mínimas a núcleos de población.
- e. Distancia a infraestructuras viarias (carreteras y ferrocarriles): se seleccionan negativamente distancias mínimas a vías de comunicación concurridas.

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

2.2.1. Usos del suelo

En cuanto a la caracterización base de los usos del suelo se ha empleado la cartografía regional del SIGPAC del año 2022 para la región de Castilla-La Mancha. En cuanto a la Comunidad de Madrid se ha utilizado la cartografía disponible del SIOSE del año 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 el tipo de uso que viniese referido en el campo con el mismo nombre de la cartografía SIGPAC.

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. Formas del relieve

Para la selección de formas del relieve se ha empleado el índice de escabrosidad derivado del procesado del MDT 200 del Instituto Geográfico Nacional. Este algoritmo ha permitido generar un archivo ráster (tamaño de píxel 100 metros) en la que las formas del relieve se reclasifican partiendo de los valores de celda del MDT en 9 tipologías distintas. Como zonas óptimas para nuestro análisis se seleccionan las tipologías 4 y 5 (grandes llanuras y ondulaciones suaves del terreno respectivamente), para lo que se reclasifica este ráster asignándole valores de 100 a los píxeles de la imagen cuyos valores eran de 4 y 5, mientras que al resto de valores de píxel de la imagen se le asignan valores de 1.

2.2.3. Distancia a núcleos de población e infraestructuras viarias

Se ha empleado como base la BCN25 del IGN relativa a entidades de población e infraestructuras (ferrocarriles convencionales y de alta velocidad, carreteras convencionales, autopistas y autovías).

A partir de esta cartografía se ha generado un modelo ráster de distancias euclidianas para núcleos urbanos y otro para vías de comunicación, en el que cada píxel de la rejilla adquiere el valor de la distancia a la vía de comunicación o localidad más próxima.

Los valores de estos modelos ráster se reclasifican para asignar valor 0 las distancias inferiores a 150 metros a vías de comunicación, y de 250 metros a núcleos urbanos. Al resto de píxeles de los modelos se asignan el valor 1.

2.2.4. Cultivos de regadío (girasol y maíz)

Se realiza consulta a SIGPAC para obtener la cobertura correspondiente a usos del suelo agrícola vinculados a maíz y girasol. A continuación, se genera un ráster a partir de esta capa, de tal forma que las áreas coincidentes con este tipo de cultivo se considerarán no aptas en cuanto a su valoración como uso idóneo de las especies esteparias (valor 0). Al resto de píxeles del modelo se le asignan el valor 1.

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

Utilizando la calculadora ráster de ArcGISpro se agregan los modelos generados y se procede a multiplicar sus valores. El orden de procesado fue el siguiente.

Usos SIGPAC2022 (valores 1-100) x raster núcleos urbanos (valores 0 y 1) x ráster vías de comunicación (valores 0 y 1) x ráster morfología del terreno (valores 0 y 1) x ráster maíz-girasol (valores 0 y 1).

El resultado es un modelo ráster de ámbito regional + Comunidad de Madrid en el que, a partir del modelo base con los valores de idoneidad de usos del suelo del año 2022, se excluyen aquellas áreas del territorio que se consideran no idóneas para la presencia de aves esteparias.

2.3.1. Resumen de los valores de idoneidad asignados a los parámetros de cada variable

En las siguientes tablas se relacionan los valores de idoneidad asignados a los usos del SIGPAC 2022, y al resto de variables utilizadas.

La idoneidad en la cartografía de SIGPAC 2022 se establece en un rango de valores comprendidos entre 1 y 100, correspondiendo el valor 1 a los usos del suelo menos adecuados para las especies, y 100 el valor óptimo.

En la siguiente tabla se relacionan los valores utilizados:

Código SIGPAC	Nombre	IDON ₂₀₂₂
AG	Corrientes superficiales de agua	1
CA	Viales	1
CF	Asociación cítricos - frutales	10
CI	Cítricos	10
CS	Asociación cítricos - frutales de cáscara	10
CV	Asociación cítricos - viñedo	10
ED	Edificaciones	1
FF	Asociación frutales - frutales de cáscara	10
FL	Frutos secos y olivar	30
FO	Forestal	10
FS	Frutos secos	10

Código SIGPAC	Nombre	IDON ₂₀₂₂
FV	Frutos secos y viñedo	10
FY	Frutales	10
IM	Improductivo	50
IV	Invernaderos y cultivos bajo plástico	1
OC	Asociación olivar - cítricos	10
OF	Olivar frutal	30
OV	Olivar (tradicional)	30
	Olivar (intensivo)	5
PA	Pasto con arbolado	80
PR	Pasto arbustivo	10
PS	Pastizal	100
TA	Tierras arables	100
TH	Huertas	10
VF	Viñedo - frutal	10
VI	Viñedo (tradicional)	50
	Viñedo (intensivo)	10
VO	Viñedo - olivar	20
ZC	Zona concentrada no incluida en la orto	1
ZU	Zona urbana	1
ZV	Zona censurada	1

Los valores de idoneidad asignados para la cobertura SIOSE utilizada para el territorio correspondiente a la Comunidad de Madrid son los que se muestran en la siguiente tabla:

CÓDIGO SIOSE (CODIIGE)	NOMBRE	IDON ₂₀₁₄
111	Casco	1
112	Ensanche	1
113	Discontinuo	1
114	Zona verde urbana	1
121	Instalación agrícola y/o ganadera	5
122	Instalación forestal	1
123	Extracción minera	1

CÓDIGO SIOSE (CODIIGE)	NOMBRE	IDON ₂₀₁₄
130	Industrial	1
140	Servicio dotacional	1
150	Asentamiento agrícola y huerta	5
161	Red viaria o ferroviaria	1
162	Puerto	1
163	Aeropuerto	1
171	Infraestructura de suministro	1
172	Infraestructura de residuos	1
210	Cultivo herbáceo	100
220	Invernadero	1
232	Frutal no cítrico	20
233	Viñedo	50
234	Olivar	30
235	Otros cultivos leñosos (viveros, instalaciones)	1
236	Combinación de cultivos leñosos	50
240	Prado	20
250	Combinación de cultivos	80
260	Combinación de cultivos con vegetación	60
311	Bosque de frondosas	10
312	Bosque de coníferas	10
313	Bosque mixto	10
320	Pastizal o herbazal	100
330	Matorral	20
340	Combinación de vegetación	20
352	Roquedo	5
354	Suelo desnudo	10
511	Curso de agua	1
512	Lago o laguna	1
513	Embalse	1
514	Lámina de agua artificial	1

Valores asignados al resto de variables utilizadas para definir el modelo

Los ráster de distancias a núcleos urbanos y vías de comunicación se reclasifican para generar otros con la siguiente asignación de valores:

Ráster de distancias a vías de comunicación:

- distancias inferiores a 150 m = 0
- distancia superiores a 150 m = 1

Ráster de distancias a núcleos urbanos:

- distancias inferiores a 250 m = 0
- distancia superiores a 250 m = 1

Los ráster de morfología de terreno y usos maíz-girasol se reclasifican atendiendo a los siguientes valores:

Ráster de morfología del terreno:

- valores 4 y 5 = 1
- resto de valores = 0

Ráster de usos maíz - girasol:

- superficies con cultivo maíz-girasol = 0
- superficies distintas de este uso = 1

El modelo de idoneidad obtenido es el que se muestra a continuación.

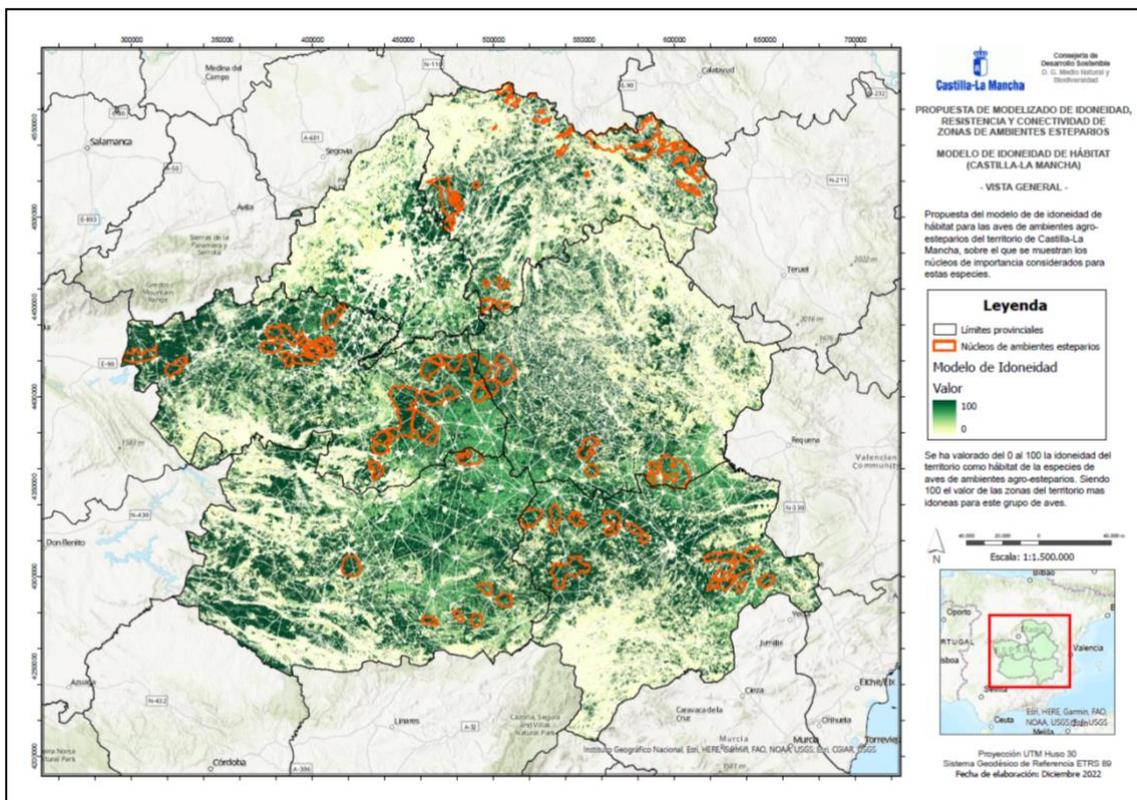


Figura 1. Mapa de la matriz territorial de idoneidad de hábitat para las especies esteparias consideradas, sobre la que se superponen las áreas consideradas como núcleos a conectar.

3. MODELO DE RESISTENCIA TERRITORIAL A LA DISPERSIÓN Y ANÁLISIS DE CONECTIVIDAD ENTRE ESPACIOS ZEPA

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 definición 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 ZEPA de esteparias.

En la revisión bibliográfica se menciona que el mapa de resistencia se puede obtener mediante el inverso al modelo de idoneidad (Beiber et al, 2008). Esta revisión está basada en esa premisa, pero es importante destacar que la resistencia del territorio no se presenta de manera directamente inversa al valor de idoneidad como se ha podido observar en el caso de las aves de ambientes pseudoesteparios.

En el caso de la valoración de la resistencia del territorio a la movilidad de la especie pueden aparecer elementos identificados con una idoneidad como hábitat muy baja (el caso de caminos y vías de comunicación, o cursos de agua), que no necesariamente representan un elevado valor de resistencia a la dispersión de estas especies dada su capacidad de superar estos obstáculos por su capacidad de vuelo. Debido a esto se ha creado un modelo de resistencia caracterizado como sigue.

Para simplificar esta discrepancia y acorde a lo indicado por los creadores de Corridor Design creado (Beier et al.) se parte de una descripción de los rangos para establecer los valores de resistencia.

Rango Valor	Descripción
1-20	Sin obstáculos y hábitat idóneo para la especie
20-40	Sin obstáculos relevantes y hábitat utilizable para la especie
40-60	Posibles zonas de paso, pero hábitat no utilizable para la especie
60-80	Obstáculos que suponen barreras de cierta incidencia
80-100	Obstáculos que suponen barreras que pueden aislar poblaciones

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

De manera similar al procedimiento empleado para la elaboración del modelo de idoneidad de hábitat, para la definición de la matriz de resistencia se consideran valores comprendidos entre 1 y 100, correspondiendo el valor 1 a aquellos elementos que supone una menor resistencia a la dispersión de estas especies, y 100 los que supone una resistencia estructural y funcional más alta para estas especies.

3.2.1. Usos del suelo

La caracterización de los usos del suelo se ha realizado empleando como base el SIGPAC 2022 para Castilla-La Mancha y al SIOSE 2014 para la Comunidad de Madrid.

Dada la importancia de considerar el territorio perteneciente a la Comunidad de Madrid por la disposición geográfica de algunas de las ZEPA de Castilla-La Mancha, y al no disponer del SIGPAC para esta Comunidad Autónoma, se opta por utilizar la base cartográfica equivalente más asequible: SIOSE14. Sobre esta base cartográfica se asigna a cada tesela un valor comprendido entre 1 y 100 que defina la resistencia que ese uso concreto ofrece a la dispersión de la especie. En la tabla inferior se relacionan los valores de resistencia asignados a cada tipo de uso del suelo para SIGPAC 2022.

Código	Nombre	Resistencia
AG	Corrientes superficiales de agua	60
CA	Viales	80
CF	Asociación cítricos - frutales	60
CI	Cítricos	60
CS	Asociación cítricos - frutales de cáscara	60
CV	Asociación cítricos - viñedo	50
ED	Edificaciones	90
FF	Asociación frutales – frutales de cáscara	60
FL	Frutos secos y olivar	40
FO	Forestal	50
FS	Frutos secos	40
FV	Frutos secos y viñedo	30
FY	Frutales	60
IM	Improductivo	40
IV	Invernaderos y cultivos bajo plástico	70
OC	Asociación olivar - cítricos	50
OF	Olivar frutal	30
OV	Olivar	30
PA	Pasto con arbolado	10

Código	Nombre	Resistencia
PR	Pasto arbustivo	20
PS	Pastizal	1
TA	Tierras arables	1
TH	Huertas	40
VF	Viñedo - frutal	40
VI	Viñedo	20
VO	Viñedo - olivar	30
ZC	Zona concentrada no incluida en la orto	50
ZU	Zona urbana	90
ZV	Zona censurada	70

De igual manera se aplica esta relación a la capa del SIOSE 2014 para la Comunidad de Madrid.

Código SIOSE (CODIIGE)	Nombre	Resistencia
111	Casco	90
112	Ensanche	90
113	Discontinuo	90
114	Zona verde urbana	60
121	Instalación agrícola y/o ganadera	70
122	Instalación forestal	70
123	Extracción minera	80
130	Industrial	90
140	Servicio dotacional	90
150	Asentamiento agrícola y huerta	70
161	Red viaria o ferroviaria	80
162	Puerto	90
163	Aeropuerto	100
171	Infraestructura de suministro	90
172	Infraestructura de residuos	90
210	Cultivo herbáceo	1
220	Invernadero	70
232	Frutal no cítrico	50
233	Viñedo	20

Código SIOSE (CODIIGE)	Nombre	Resistencia
234	Olivar	30
235	Otros cultivos leñosos (viveros, instalaciones)	70
236	Combinación de cultivos leñosos	40
240	Prado	10
250	Combinación de cultivos	30
260	Combinación de cultivos con vegetación	40
311	Bosque de frondosas	50
312	Bosque de coníferas	50
313	Bosque mixto	50
320	Pastizal o herbazal	1
330	Matorral	20
340	Combinación de vegetación	20
352	Roquedo	80
354	Suelo desnudo	70
511	Curso de agua	60
512	Lago o laguna	60
513	Embalse	60
514	Lámina de agua artificial	60

Usos del suelo agrícola vinculados a regadíos (maíz y girasol)

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.

Formas del relieve

Se utiliza la misma base cartográfica que en el caso de la definición de la idoneidad de hábitat. Según el índice basado en el TIP (*Topographic Position Index*), se consideran los valores de resistencia menores (1) para los relieves correspondientes a llanuras y llanuras alomadas. Para el resto se considera un valor de resistencia de 60.

En la siguiente tabla se relacionan los valores de resistencia asignados al resto de variables consideradas:

NOMBRE	RESISTENCIA
REGADÍOS (GIRASOL Y MAIZ)	60
FORMAS DEL RELIEVE TIPO 4 Y 5 (SEGÚN TPI)	1
FORMAS DEL RELIEVE DISTINTAS DE TIPO 4 Y 5 (SEGÚN TPI)	60

3.2.2. Barreras

Según varios autores y de acuerdo con la estrategia nacional para la conservación de aves amenazadas ligadas a medios agro-esteparios en España, se identifican varias estructuras lineales como amenazas para estas especies que pueden fragmentar sus hábitats y actuar como barreras, aislando poblaciones. Las líneas eléctricas causan 2,46 electrocuciones de estas especies por kilómetro y año (Palacín, 2023).

Acorde a esto se cree necesaria la incorporación de estos elementos para analizar su influencia en el modelo de resistencia desarrollado. Para la aplicación de este factor ha sido necesaria la delimitación de un área de influencia de 100 m en torno a estas infraestructuras, diferente a la empleada en el modelo de idoneidad, ya que aquí el objetivo es únicamente la identificación de barreras.

La elección de esta área de influencia es consecuencia de la resolución cartográfica empleada (100 metros de lado de píxel).

Los valores asignados a las diferentes barreras acorde a su afección a las aves agroesteparias son:

Barrera	Resistencia
Aerogeneradores	90
Vías comunicación (autovías, autopistas, carreteras y vías urbanas)	80
Vías ferroviarias	85
líneas eléctricas	80

Finalmente se ponderan los factores a incluir en el modelo según la consideración de su influencia sobre la resistencia de este grupo de aves acorde a la fórmula:

$$(0.5 * \text{Mod_Resistencia} \backslash \text{Cobertura_CLMMAD_Resis_corr}) + (0.3 * \text{Mod_Resistencia} \backslash \text{Barreras} \backslash \text{Barreras_clm_mad_reclass}) + (0.1 * \text{Mod_Resistencia} \backslash \text{MaizGirasol_Recl}) + (0.1 * \text{Mod_Resistencia} \backslash \text{landforms_clmmad_reclass})$$

Esto resulta en un rango de valores del modelo de resistencia comprendido entre 1 y 81, siendo el valor 81 el de las zonas del territorio que mayor resistencia presentan.

Para el modelizado de la información se emplea la extensión “Barrier Mapper” de “Linkage Mapper” dentro del software ArcGIS con el fin de identificar y analizar las barreras dentro de los corredores modelizados.

3.2.3. 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 las zonas de interés para la conservación de las aves esteparias en Castilla-La Mancha (espacios declarados ZEPA con este fin, y otras zonas de interés identificadas). 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 geoproceto, 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 la extensión “Linkage Pathways Tool (Build Network and Map Linkages) del programa de análisis de conectividad “Linkage Mapper 3.0.0”. 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 (ZEPA esteparias y otras importantes), las distancias entre núcleos y la matriz de resistencia.

El modelo de franjas generado muestra el valor relativo de cada celda de la cuadrícula para brindar conectividad entre áreas centrales (McRae y Kavanagh, 2011) basado en la ponderación de distancias acumuladas en las rutas de menor coste.

En el caso del grupo de las aves de ambientes pseudoesteparios las distancias de dispersión no suponen un limitante muy elevado respecto a las distancias a la que se encuentran los núcleos salvo para especies como la alondra ricotí por ejemplo que a pesar de no conocerse muy bien sus rangos de dispersión se han establecido en 2 km (Garza y Suárez, 2010). Para el resto de especies se han considerado las siguientes distancias de dispersión.

Especie	Desplazamiento	Distancia* (km)	Bibliografía
<i>Pterocles alchata</i>	Movimientos locales entre zonas de cría e invernada	60	Benítez-López et al., 2010 (MITERD, 2022)
	Dispersión natal	117	Martín, 2001
<i>Otis tarda</i>	Dispersión juvenil	168	Martin, 2008; Palacín, 2007
	Movimientos estacionales	261	Martin, 2008; Palacín, 2007
<i>Tetrax tetrax</i>	Sedentarios	8	García de La Morena, 2015

Especie	Desplazamiento	Distancia* (km)	Bibliografía
	Migrantes Estrategia A	verano-invierno. 53	García de La Morena, 2015
	Migrantes Estrategia B	verano-invierno. 92 (410)	García de La Morena, 2015
	Migrantes Estrategia C	verano-invierno. 57 (161)	García de La Morena, 2015
	Migrantes verano	162	García de La Morena, 2015
	Migrantes invierno	464	García de La Morena, 2015
	Capacidad dispersión	400	García de La Morena, 2015
<i>Falco naumanni</i>	Entre colonias	68	Goded y gracés, 2013
	Dispersión premigratoria	144-185 (578)	García, 2000
<i>Chersophilus duponti</i>	Poco conocido	2	Garza y Suárez, 2010

*Las distancias marcadas entre paréntesis representan las máximas observadas en los estudios que indica la bibliografía.

A partir de estas distancias se establecen las distancias máximas de corredores y distancias entre áreas núcleo. Se observa que con estas distancias (media de 181,5 km) la mayor parte de los nodos de la red de áreas a conectar no presenta problemas de conexión o aislamiento debido a encontrarse fuera del rango de dispersión de estas especies.

En las imágenes siguientes se muestran los resultados obtenidos; en la figura 2 se muestra el resultado obtenido para la matriz de resistencia territorial sobre la que se destacan las rutas de menor coste calculadas. En la figura 3 se muestra el resultado de cálculo de la resistencia acumulada del territorio al desplazamiento de estas especies entorno a las rutas de menor coste.

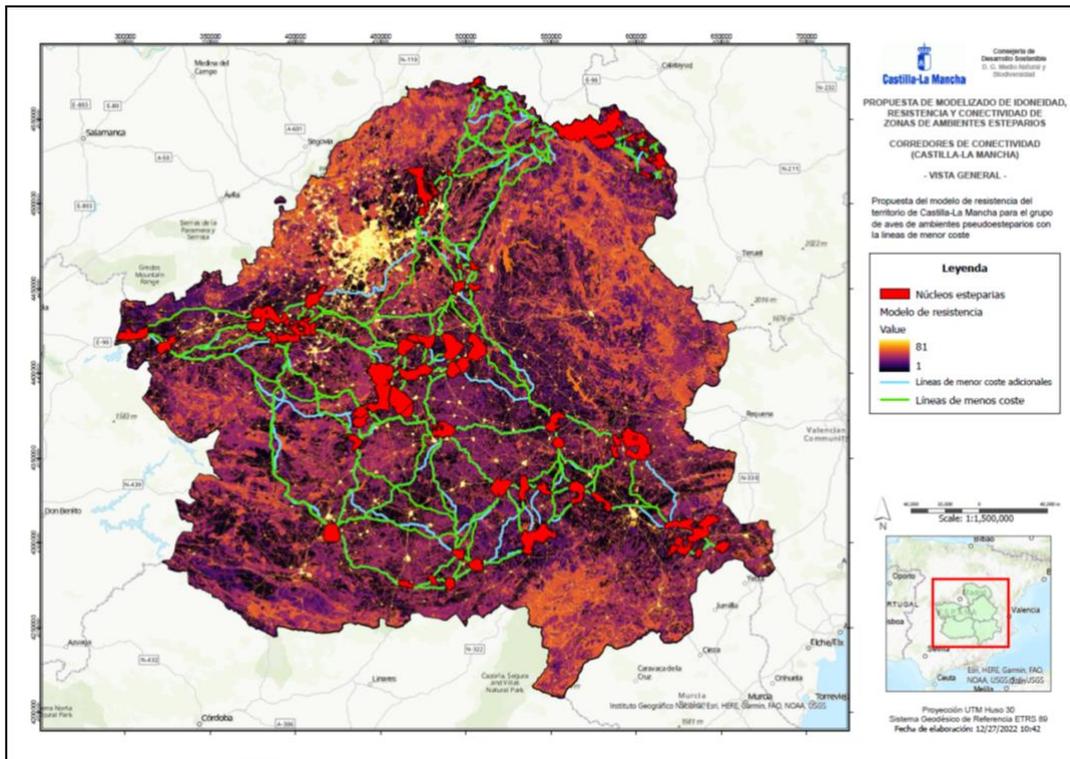


Figura 1. Mapa de la matriz territorial de resistencia para las especies esteparias consideradas, sobre la que se superponen las áreas consideradas como núcleos a conectar, y las líneas de menos coste.

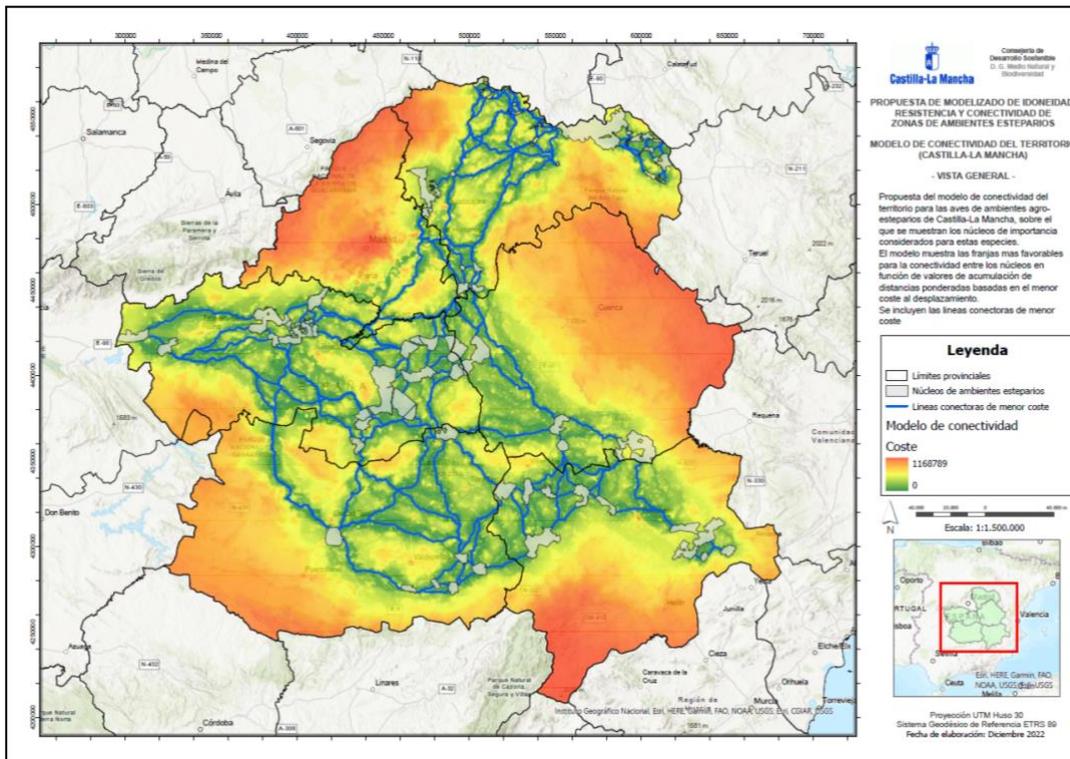


Figura 2. Mapa de las franjas conectoras entre las zonas núcleo para las especies esteparias consideradas, sobre la que se superponen las rutas de menor coste acumulado acorde a la resistencia del hábitat para la dispersión de las aves. Los valores del modelo indican el mayor o menor coste acumulado.

3.3. Análisis de corredores e identificación de barreras en los mismos

El análisis gráfico de los resultados pone de relevancia una importante cantidad de rutas conectoras entre las zonas consideradas como núcleos de ambientes esteparios a pesar de que tras la actualización del modelo de resistencia utilizado para generar los corredores de este grupo de aves se han descartado algunos de estos pasillos. Entre ellos cabe destacar la desaparición de conectores que atraviesan la Serranía de Cuenca.

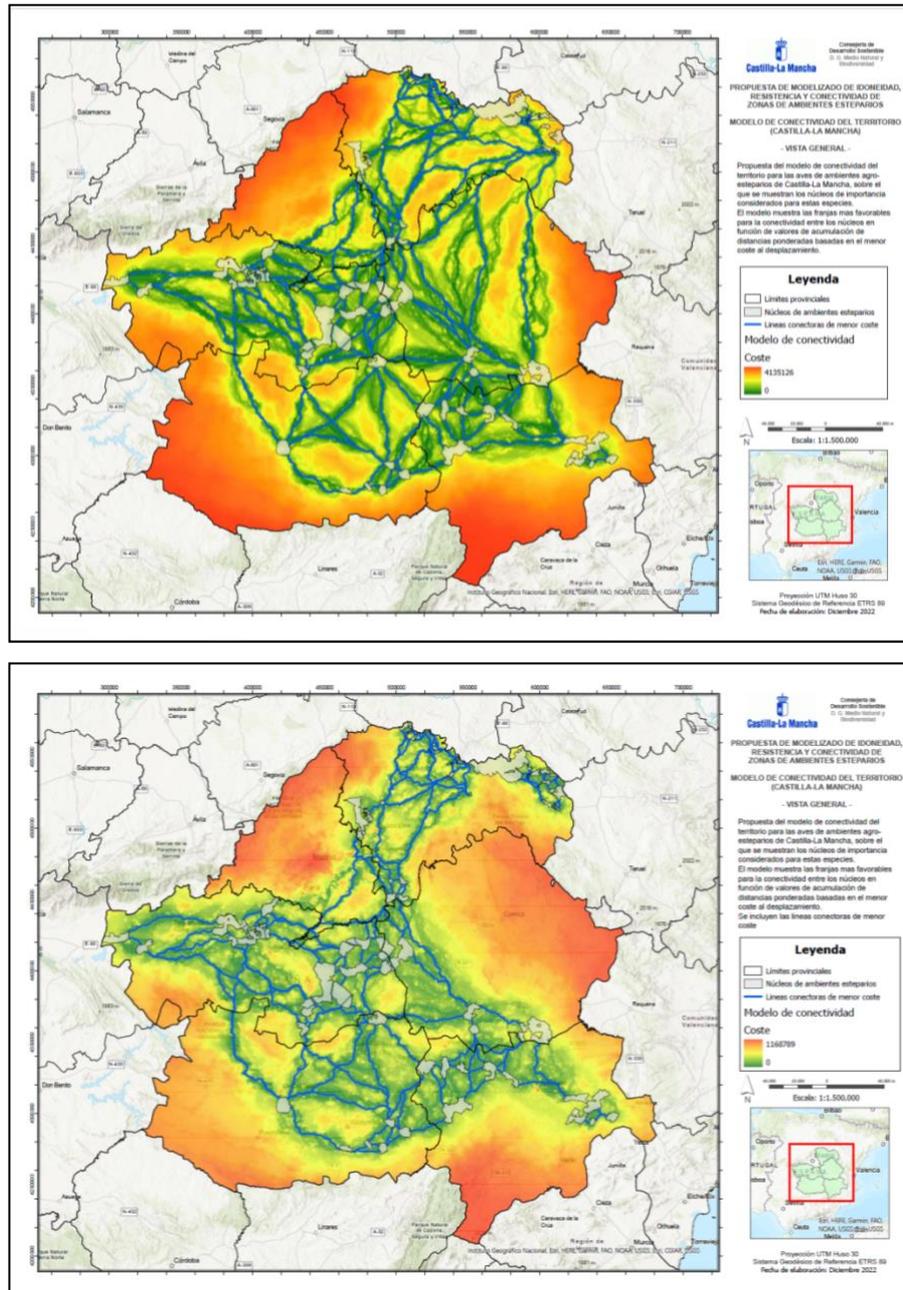


Figura 4. Mapas de las franjas conectoras entre las zonas núcleo para las especies esteparias consideradas, sobre la que se superponen las rutas de menor coste acumulado. **A.** Mapa realizado con un modelo de resistencia de hábitat menos restrictivo. **B.** Mapa realizado con un modelo de resistencia más restrictivo

Se ha podido confirmar la bondad del ajuste del modelo a través de la superposición de puntos de presencia de estas especies sobre estas franjas del modelo de conectividad. El resultado se observa gráficamente en la siguiente imagen:

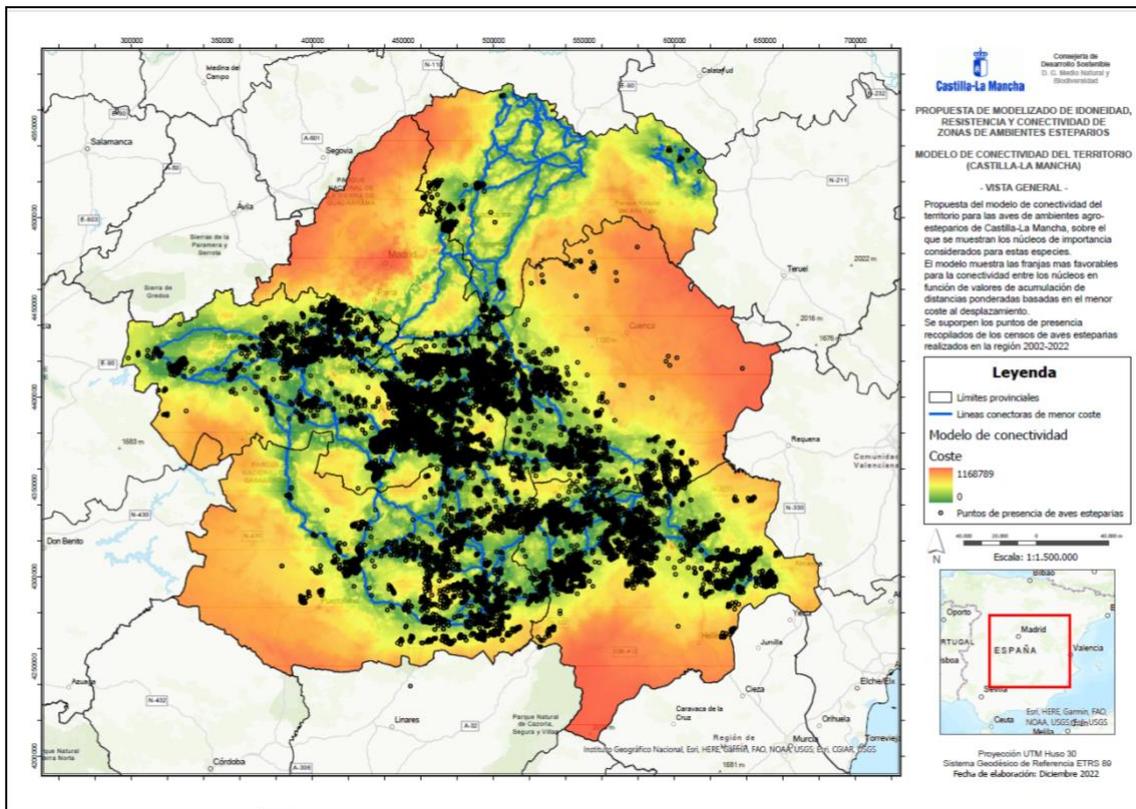


Figura 5. Mapa de las franjas conectoras entre las zonas núcleo para las especies esteparias consideradas, sobre la que se superponen los puntos de presencia recopilados de los censos de aves de ambientes esteparios del territorio de Castilla-La Mancha.

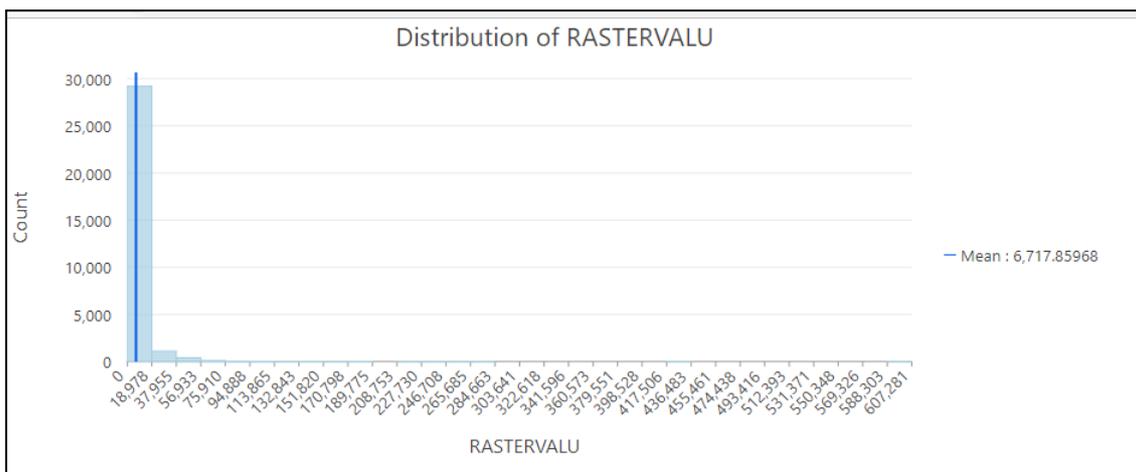


Figura 6. Gráfica que representa la distribución de valores de coste del modelo de franjas conectoras sobre la que se encuentran los puntos de presencia de las aves de ambientes esteparios.

Como se puede observar en la gráfica casi la totalidad de puntos de presencia de aves pseudoesteparias se encuentran en zonas del modelo de franjas conectoras con valores

muy bajos, es decir donde el coste de conexión es menor, lo que corrobora el modelo obtenido.

Posteriormente se ha utilizado la extensión de “Linkage Mapper” diseñada para la identificación de barreras (“Barrier Mapper”), con la que se han identificado las barreras que presenta el hábitat para este grupo de aves en las franjas conectoras de menor coste.

El resultado muestra cómo la mayoría de estas barreras se corresponden con las vías terrestres de comunicación (carreteras y ferrocarril) y con líneas eléctricas.

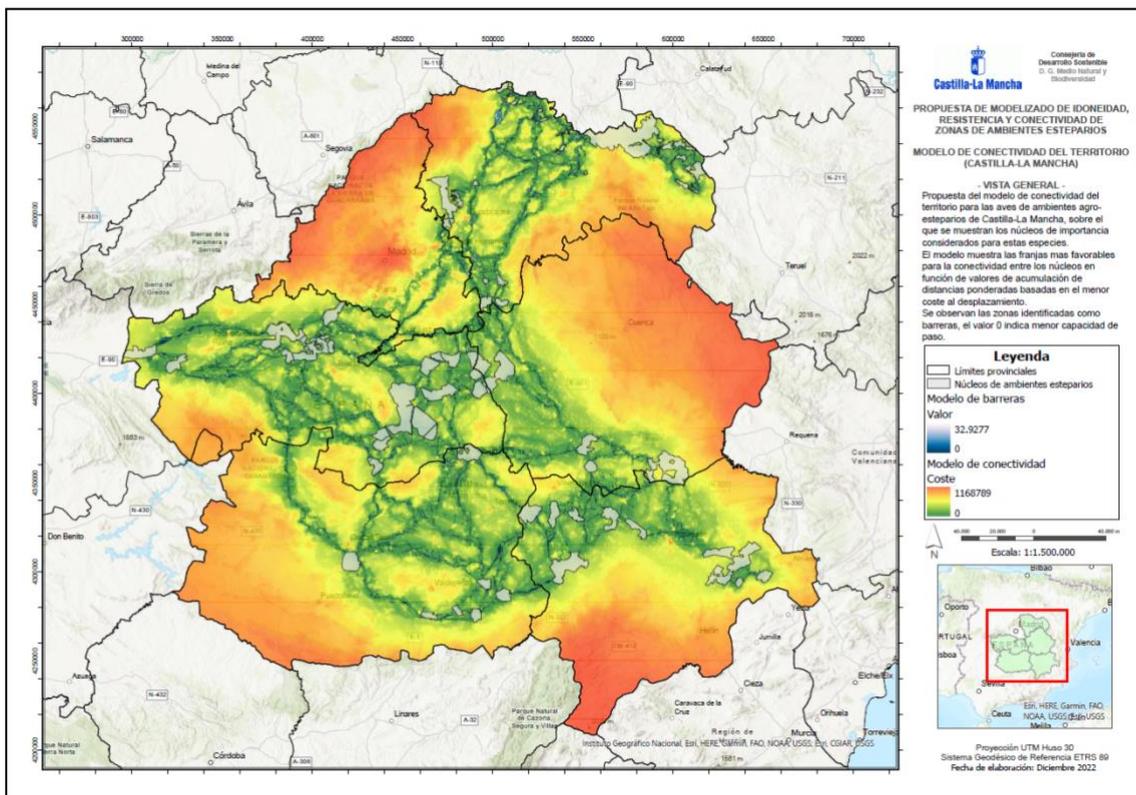


Figura 6. Franjas conectoras entre las zonas núcleo para las especies esteparias consideradas, sobre la que se superponen las barreras identificadas en las zonas de menor coste.

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

De acuerdo con 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:

Valor mínimo: 0

Valor máximo: 1.168.789,0

Método de reclasificación utilizado: intervalo manual.

Rangos de valores:

B3. Áreas clave; ≤ 10.000

B2. Áreas importantes; > 10.000 y ≤ 35.000

B1. Áreas de interés bajo; > 35.000 y $\leq 1.168.789$

5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

5.1. Bases metodológicas para la elaboración de modelos territoriales de idoneidad de hábitat, resistencia a la dispersión y conectividad ecológica

- 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)
- BEIER, P., MAYKA, D.R, and SPENCER, W. D. 2008. Forks in the Road: Choices in Procedures for Designing Wildland Linkages. *Conservation Biology*. Volume 22, Nº4, pp 836-851. Society for Conservation Biology DOI: 10.1111/j.1523-1739.2008.00942.x available on <http://corridordesign.org/>
- CUSHMAN, S.A., MCKELVEY, K.S., SCHWARTZ, M.K., 2009. Use of Empirically Derived Source-Destination Models to Map Regional Conservation Corridors. *Conserv. Biol.* 23, 368–376. <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2008.01111.x>
- HERRERA CALVO P.M. 2013. Ecología del paisaje. Conectividad ecológica y territorio. Una aproximación al estado de la cuestión desde una perspectiva técnica y científica. [In Santos y Ganges & Herrera Calvo (coords.), 2013. *Planificación espacial y conectividad ecológica. Los corredores ecológicos*. Universidad de Valladolid. Dossier Ciudades, 1.]: 43-70.
- LANDGUTH, E.L., HAND, B.K., GLASSY, J., CUSHMAN, S.A., SAWAYA, M.A., 2012. UNICOR : a species connectivity and corridor network simulator. *Ecography (Cop.)*. 9–14. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0587.2011.07149.x>
- MÁRQUEZ-BARRASO, S.; DEL BARRIO, G.; RUIZ, A.; SIMÓN, J.C.; SANJUÁN, M.E.; SÁNCHEZ, E. & HIDALGO, R., 2015. Conectividad del paisaje para tipos de hábitat zonales de interés comunitario en España. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Madrid. 356 pp.
- MATEO SÁNCHEZ, M.C., BALKENHOL, N., CUSHMAN, S., PÉREZ, T., DOMÍNGUEZ, A., SAURA, S., 2015. Estimating effective landscape distances and movement corridors : comparison of habitat and genetic data. *Ecosphere* 6, 1–16.
- McRAE, B.H. and D.M. KAVANAGH. 2011. Linkage Mapper Connectivity Analysis Software. The Nature Conservancy, Seattle WA. Available at: <https://circuitscape.org/linkagemapper>.
- McRae, B.H. 2012. Barrier Mapper Connectivity Analysis Software. The Nature Conservancy, Seattle WA. Available at <https://circuitscape.org/linkagemapper/>.
- 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

- VALLADARES, F., GIL, P. & FONTANER, A. (coord.), 2017. Bases científico-técnicas para la Estrategia estatal de infraestructura verde y de la conectividad y restauración ecológica. Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente. Madrid. 357 pp.
- WWF ESPAÑA. 2016. Propuesta para una Red Estratégica de Corredores Ecológicos entre espacios Red Natura 2000. Basado en el estudio encargado por WWF España 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. 2016. Autores: Mateo, M.C., de la Fuente, B., Gastón, A. & Saura, S.

5.2. Caracterización de variables para las especies objetivo

- ATIENZA, J.C., I. MARTÍN FIERRO, O. INFANTE, J.VALLS y J. DOMÍNGUEZ. 2011. Directrices para la evaluación del impacto de los parques eólicos en aves y murciélagos (versión 3.0). SEO/BirdLife, Madrid.
- BENÍTEZ-LÓPEZ, A., MARTÍN, C.A., CASAS, F., MOUGEOT, F., GARCÍA, J.T. Y VIÑUELA, J. 2010a. Áreas de campeo y movimientos estacionales de la ganga ibérica *Pterocles alchata*. En: Casinello, J. y Castro, F. (eds.) XIII Congreso Nacional y X Iberoamericano de Etología. Ponencias y comunicaciones. Instituto de Investigación en Recursos Cinegéticos (IREC), CSIC-UCLMJCCM, Ciudad Real, p 130.
- ESCANDEL, V.; DEL MORAL, J.C; ESCUDERO, E. 2016. Cálculo del indicador común de contexto 35: Aves ligadas a tierras agrarias, incluido en el Programa de Desarrollo Rural de Castilla-La Mancha para el periodo de programación, 2014-2020. Informe elaborado por SEO/Birdlife para la Junta de Castilla-La Mancha. 2016.
- FUNDACIÓN GLOBAL NATURE (FGN). 2019. Plan de Conservación y Recuperación de las poblaciones de aves esteparias de Castilla-La Mancha. Documento elaborado por Fundación Global Nature en el marco del Proyecto LIFE15NAT/ES/000734: Estepas de La Mancha. Agricultura sostenible en zonas Red Natura 2000 de Castilla-La Mancha para la conservación de aves esteparias.
- GARCÍA, J. 2000. Dispersión premigratoria del cernícalo primilla (*Falco naumanni*) en España. *Ardeola* 47 (2), pp. 197-202.
- GARCÍA DE LA MORENA, E. L. 2015. Ecología y movimientos migratorios del sisón común (*Tetrax tetrax*) fuera del periodo reproductor. Tesis doctoral, Universidad Autónoma de Madrid. Madrid.
- GARZA, V., SÚAREZ, F. (2010). Utilización del espacio y movimientos estacionales. Utilización del espacio durante el periodo reproductor en un hábitat no fragmentado. pp. 75-82. En: Suárez, F. (Ed.). La alondra ricotí (*Chersophilus duponti*). Dirección General para la Biodiversidad. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, Madrid.
- GODED, S. y GRACÉS, F. 2013. Estudio de la dispersión natal del cernícalo primilla (*Falco naumanni*) en primillares de la Comunidad de Madrid y aplicaciones para su conservación. *Chronica naturae*, 3: pp. 49-57.
- MARTÍN, C. 2001. Dispersión y estructura genética de la población de avutardas de la Comunidad de Madrid. Tesis doctoral, Universidad Autónoma de Madrid. Madrid.
- MARTIN, B. 2008. Dinámica de población y viabilidad de la avutarda Comín en la Comunidad de Madrid. Tesis doctoral, Universidad Complutense de Madrid. Madrid.
- MITERD, 2022. Estrategia de conservación de aves amenazadas ligadas a medios agro-esteparios en España. Especies amenazadas. Madrid. 94 pp.

- ORTHEM. 2021. Informes de seguimiento de aves esteparias en las zonas ZEPA y otras Áreas importantes para estas especies en el territorio de CLM durante 2019-2023.
- PALACÍN, C. 2007. Comportamiento migratorio de la Avutarda Común en la Península Ibérica. Tesis doctoral, Universidad Complutense de Madrid. Madrid.
- PALACÍN, C., FARIAS, I. & ALONSO, J.C. 2023. Detailed mapping of protected species distribution, an essential tool for renewable energy planning in agroecosystems. *Biological Conservation*, 277. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2022.109857>
- VILLERS, A., MILLON, A., JIGUET, F., LETT, J.M., ATTÍÉ, C., MORALES, M.B. and BRETAGNOLLE, B. (2010). Tracking of wild and captive-bred Little Bustards *Tetrax tetrax* from western France, and implications for reinforcement programmes. *Ibis*, (152), 254-261.



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