

**UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID**

**FACULTAD DE GEOGRAFÍA E HISTORIA**



**MÁSTER UNIVERSITARIO EN**

**TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN GEOGRÁFICA**

**TRABAJO FIN DE MÁSTER**

**CURSO 2020 - 2021**

**ANÁLISIS DE LAS POTENCIALES VÍAS DE ENTRADA DE LA ESPECIE EXÓTICA  
INVASORA *MYIOPSITTA MONACHUS* AL CAMPUS DE MONCLOA. EVALUACIÓN  
MULTIESCALAR DE LA CONECTIVIDAD ESPACIAL**

**ANALYSIS OF POTENTIAL ENTRY PATHWAYS OF INVASIVE ALIEN SPECIES  
*MYIOPSITTA MONACHUS* AT THE MONCLOA CAMPUS. MULTISCALE  
EVALUATION OF SPATIAL CONNECTIVITY**

**LÓPEZ ÁLVAREZ, ALEJANDRA**

**SEPTIEMBRE 2021**

**TUTORES/AS:**

**ORTEGA QUERO, MARTA y RESCIA PERAZZO, ALEJANDRO.**

Departamento de Biodiversidad, Ecología y Evolución. Facultad de Ciencias Biológicas. Universidad Complutense de Madrid (UCM).

**TANARRO GARCÍA, LUIS MIGUEL.**

Departamento de Geografía. Facultad de Geografía e Historia. Universidad Complutense de Madrid (UCM)

## RESUMEN

El presente estudio propone la modelización de las potenciales vías de entrada de la especie exótica invasora *Myiopsitta monachus* al campus de Moncloa desde la Casa de Campo, considerada el principal núcleo reproductor de la especie en Madrid. El objetivo principal del trabajo es diseñar una metodología que pueda ser integrada en el Plan Estratégico de Infraestructura Verde y Biodiversidad, competencia de las autoridades del Campus de la UCM, facilitando la implantación de estrategias de prevención y control frente a la presencia y expansión de esta especie exótica considerada invasora. Para ello, se ha utilizado la herramienta *Corridor Designer*, integrable en ArcGIS y específicamente diseñada para la construcción de corredores ecológicos que simulan el flujo de especies entre dos o más espacios geográficos. La herramienta genera adicionalmente, mapas de aptitud territorial para la especie a partir de las variables ambientales que determinan la idoneidad de su potencial hábitat. En este estudio se emplearon un total de cinco variables: densidad de población humana, porcentaje de personas mayores de 65 años, densidad del arbolado, distancia a láminas de agua artificiales y usos del suelo; siendo las variables demográficas y de densidad del arbolado las que mayor peso representan en el modelo de corredores obtenido. Se ha identificado el corredor potencial más apropiado para la entrada de la especie al campus desde la Casa de Campo y otros igualmente probables, pero con mayor superficie necesaria para su desplazamiento.

Palabras clave: Cotorra argentina, Gestión de especies exóticas invasoras, Corredores ecológicos, *Corridor Designer*.

## ABSTRACT

This study proposes the modelling of the potential entry pathways of the invasive alien species *Myiopsitta monachus* to the Moncloa campus from the Casa de Campo, considered the main breeding site of the species in Madrid. The main objective of the work is to design a methodology that can be integrated into the Strategic Plan for Green Infrastructure and Biodiversity, which is the responsibility of the authorities of the UCM Campus, and serve as a possible strategy for preventing the presence and expansion of this species, which is considered invasive. To this end, the “Corridor Designer” tool has been used, which is an ArcGIS extension specifically designed for the construction of ecological corridors that simulate the flow of species between two or more geographical spaces. In addition, this tool makes it possible to generate maps of territorial suitability for a species based on the environmental variables that determine the suitability of its potential habitat. A total of five variables were used in this study: human population density, percentage of people over 65 years of age, tree density, distance to artificial water bodies and land use, with the tree density and demographic variable representing the greatest weight in the corridor model obtained. The most appropriate potential corridor for this species to enter the campus from Casa de Campo and other equally probable corridors, but with a larger surface area necessary for its movement, have been identified.

Key words: Monk parakeet, Management of invasive alien species, Ecological corridors, *Corridor Designer*.

## INDICE DE CONTENIDOS

1.	INTRODUCCIÓN.....	1
2.	ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN DEL TRABAJO .....	7
3.	OBJETIVOS DEL TRABAJO DE FIN DE MÁSTER.....	9
4.	ÁREA DE ESTUDIO.....	9
5.	FUENTES E INFORMACIÓN DE ENTRADA .....	14
6.	METODOLOGÍA .....	16
6.1.	Evaluación e integración de la herramienta Corridor Designer en ArcMap 10.7.1 .....	19
6.2.	Selección y tratamiento de las variables y su análisis para la creación de la cartografía temática. ....	20
6.2.1.	Obtención y análisis de variables demográficas: Densidad de población y Porcentaje de población mayor de 65 años. ....	21
6.2.2.	Obtención y análisis de variables naturales: Densidad del arbolado.....	23
6.2.3.	Obtención y análisis de variables naturales: Distancias a láminas de agua artificiales .....	26
6.2.4.	Obtención y análisis de variables territoriales: Usos del suelo. ....	27
6.2.5.	Delimitación de las variables al área de estudio.....	29
6.3.	Evaluación y modelización de la idoneidad del territorio .....	29
6.3.1.	Ponderación de la aptitud de las variables.....	29
6.3.2.	Modelización de la aptitud del territorio. ....	34
6.4.	Creación de parches naturales en el área de estudio.....	36
6.5.	Construcción de corredores para la cotorra argentina. ....	37
7.	RESULTADOS .....	38
7.1.	Análisis de la cartografía temática para la modelización de la aptitud del territorio. ....	38
7.2.	Modelo de aptitud territorial de la cotorra argentina.....	44
7.3.	Potenciales áreas de distribución de la cotorra argentina.....	45
7.4.	Corredores identificados para la cotorra argentina.....	46
8.	DISCUSIÓN.....	51
9.	CONCLUSIONES Y FUTURAS VÍAS DE INVESTIGACIÓN .....	56
10.	BIBLIOGRAFÍA.....	57
11.	ANEXOS.....	63

# 1. INTRODUCCIÓN

La presencia de especies exóticas invasoras (EEI) en vías de expansión, es una de las principales amenazas a las que se enfrenta la conservación de la biodiversidad, y su potencial influencia sobre el bienestar socioeconómico y la salud pública, así como la sostenibilidad ambiental de los ecosistemas y los servicios que estos proveen, no solo en el medio natural sino también en las ciudades (Ketunnen *et al.*, 2008). La introducción de EEIs está considerada como la segunda causa de pérdida de biodiversidad a nivel mundial (Genovesi y Shine, 2004) junto con la sobreexplotación de los recursos naturales, la destrucción de hábitats, la contaminación y el cambio climático. Un ejemplo de ello es el efecto negativo sobre la productividad agrícola causado por la cotorra argentina o cotorra de pecho gris (*Myiopsitta monachus*, Boddaert 1783) sobre diferentes cultivos (tomate, maíz, diversos frutales como perales y ciruelos) en el área metropolitana de Barcelona (Senar *et al.*, 2016).

El transporte accidental o deliberado de especies exóticas fuera de su área de introducción ha ido creciendo de forma exponencial a lo largo de la historia, ligada a la globalización, la ampliación del comercio y la mayor eficacia de los medios de transporte. El ser humano ha sido capaz de solventar distancias y de eliminar fronteras naturales que sin su intervención habían mantenido a las especies dentro de su área de distribución original (Capdevila-Arguelles *et al.*, 2011; 2013).

Este hecho no tendría tanta relevancia si no fuera por el elevado número de estas especies que pueden llegar a adaptarse a un nuevo territorio, dispersarse, e incluso proliferar de forma descontrolada convirtiéndose en invasoras o incluso en plaga. Si bien es cierto, que no todas las especies introducidas llegan a desencadenar procesos de invasión; algunas incluso sustentan economías locales y nacionales, y constituyen una fuente de bienestar para la sociedad. Sin embargo, en Europa habitan ya unas 12.000 especies consideradas exóticas (no autóctonas, o procedentes de otros territorios), de las cuáles se estima que entre un 10 y un 15% son invasoras (Capdevilla-Arguelles *et al.*, 2013).

No existe una terminología universalmente aceptada para la definición de EEI (Capdevila-Arguelles *et al.*, 2013). El ISSG/IUCN (Invasive Species Specialist Group/Internacional Union for Conservation of Nature) en sus *Líneas directrices para la prevención de pérdidas de diversidad biológica ocasionadas por especies exóticas invasoras* (IUCN, 2000), proporciona la definición mayormente adoptada en las diferentes normativas: “Una especie exótica invasora es aquella especie exótica que se establece en un ecosistema o hábitat natural o seminatural; es un agente de cambio y amenaza la diversidad biológica nativa”

### 1.1. Las especies exóticas invasoras (EEI) en España

Dentro del marco normativo español, se ha adoptado esta aproximación conceptual en la LEY 42/2007, de 13 de diciembre, del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad (BOE, 2007) que define una especie exótica invasora como “*aquella que se introduce o establece en un ecosistema o hábitat natural o seminatural y que es un agente de cambio y amenaza para la diversidad biológica nativa, ya sea por su comportamiento invasor, o por el riesgo de contaminación genética*”; y en el Real Decreto 1628/2011, de 14 de noviembre, por el que se regula el listado y catálogo español de EEI (BOE, 2011).

*El Catálogo Español de Especies Exóticas Invasoras (CEEEI), regulado por el Real Decreto 630/2013, de 2 de agosto, tiene como principal objetivo establecer las características, contenidos, criterios y procedimientos de inclusión o exclusión de especies en el mismo; asimismo recoge las medidas necesarias para prevenir la introducción de especies exóticas invasoras y para su control y posible erradicación.*

De los 185 taxones que actualmente se recogen en el Catálogo Español de Especies Exóticas Invasoras, pertenecientes tanto a especies de fauna (vertebrados e invertebrados) como de flora y algas, la cotorra argentina (*Myiopsitta monachus*) se ha convertido en el foco atención de las administraciones y, en especial, en la ciudad de Madrid, debido al crecimiento desproporcionado que han experimentado sus poblaciones en los últimos años (Molina *et al.*, 2016).

### 1.2. La cotorra argentina como especie exótica invasora (EEI).

La cotorra argentina (Fig.1) es un psitácido originario de Sudamérica con tres subespecies distribuidas en su hábitat original entre Argentina, Brasil, Paraguay, Uruguay y Bolivia (Martín Pajares, 2006). Es una especie generalista que presenta una gran facilidad de adaptación a una variedad de ambientes, urbanos y rurales, tanto en su área de origen (Bucher *et al.*, 1990) como en los lugares en que ha sido introducida (Santos, 2005). En entornos urbanos es habitual encontrarla frecuentando parques, jardines y arboledas tanto dentro de las zonas habitadas como en su periferia, donde suele alimentarse de frutos (palmeras, higueras, almeces, árboles frutales), semillas (ciprés, pino, olmo, girasol), brotes de hojas y flores, hierbas e insectos (Sol *et al.*, 1997; Batllori y Nos, 1985; Gómez y Alcalá, 1999) o de desperdicios u otros recursos derivados de actividades humanas.

Prefieren elegir lugares de nidificación donde los recursos alimenticios se encuentren próximos, así como espacios con agua disponible. En general, nidifican sobre gran variedad de sustratos, generalmente árboles exóticos. En España, sus preferencias de árboles para la nidificación difieren en las distintas ciudades. En Barcelona y Valencia, suele encontrarse en palmeras (*Phoenix spp.*) y, en menor medida, en pinos (*Pinus spp.*), mientras que en

Málaga muestran preferencias por utilizar eucaliptos (*Eucalyptus spp*; García *et al.*, 1991; Román Muñoz y Ferrer, 1997; Sol *et al.*, 1995, 1997; Domènech *et al.*, 2003). En la ciudad de Madrid existe una clara predilección por construir los nidos sobre cedros (*Cedrus spp.*), seguidos por los plátanos (*Platanus orientalis var. acerifolia*; Martín Pajares, 2006).



Figura 1. Cotorra argentina alimentándose de brotes de árbol. Fuente: Molina *et al.*, (2016)

Son especies monógamas y muy sociables, las cuales conviven en el mismo nido y cooperan en su construcción utilizando palos y ramas (Forshaw, 1989; Bucher *et al.*, 1990). Los nidos se componen de múltiples cámaras y suelen ubicarse en las zonas más altas de los árboles sobre los que nidifican (Belinchón Navarro *et al.*, 1999; Sol *et al.* 1997), lo que puede suponer una defensa frente a posibles depredadores. Al construir sus nidos, causan daños considerables a los árboles ornamentales y las líneas eléctricas, así como a los edificios y otras infraestructuras. Además, crean problemas de contaminación acústica, daños a la agricultura e, incluso, pueden llegar a provocar la caída de los árboles donde nidifican, debido al elevado peso que pueden alcanzar sus nidos (Martín y Bucher, 1987; Temple, 1992; Conroy y Senar, 2009; Molina *et al.*, 2016).

Se trata de una especie con gran capacidad de expansión, cuyos movimientos dispersivos se originan necesariamente a partir de unos primeros núcleos urbanos colonizados. La distancia de dispersión juvenil es extraordinariamente baja comparada con otros psitácidos, siendo muy similar a la dispersión descrita en su área de origen, de aproximadamente medio kilómetro (Sol *et al.*, 1997; Martín y Bucher, 1993; Martín Pajares, 2006), por lo que únicamente se alejan del área natal ante la falta de árboles preferidos para nidificar.

Las primeras citas de esta especie en la ciudad de Madrid se registraron en el año 1985 y en 1989 (Pascual y Aparicio, 1990) y el primer censo de población en Madrid no se realizó hasta el año 1998 (Belinchón Navarro *et al.*, 1999) debido al importante crecimiento de la

población registrado. En el año 2015 SEO/BirdLife realiza el primer censo oficial, obteniéndose unos datos de población de cotorras en España que superaban ya los 18.000 ejemplares, siendo Madrid la comunidad autónoma con un mayor número de ejemplares albergados, con una cifra estimada de 7000 ejemplares" (Molina *et al.*, 2016); notablemente superiores con respecto a las registrados en 1998 (123 ejemplares). En 2016 se repitió el censo, resultando en una población estimada entre 8.391 y 9.754 ejemplares sólo en el municipio de Madrid, casi un 50% de la población nacional, según la cifra obtenida a escala estatal en 2015, y más del 90% de la comunidad autónoma en el censo del año anterior. Los datos arrojados por el censo realizado en 2019 nuevamente por SEO/BirdLife (Fig.2; Nebreda *et al.*, n.d.) corroboran el crecimiento exponencial de la especie al estimarse una población máxima cercana a los 13.000 ejemplares. Esto supone el doble de individuos de los registrados cuatro años atrás.

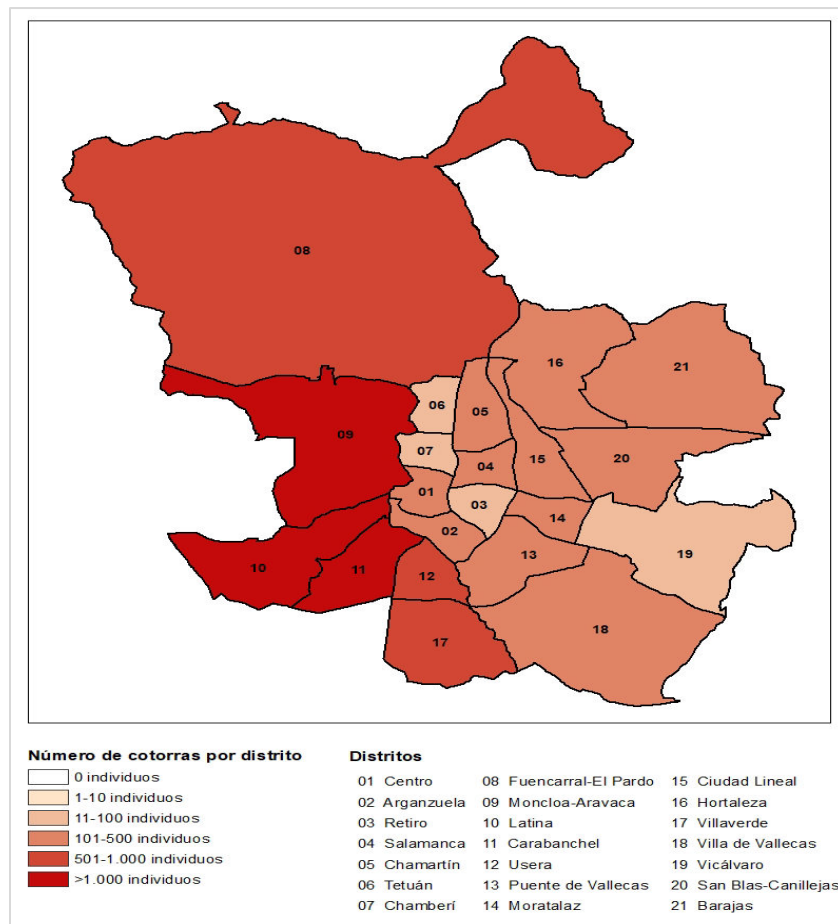


Figura 2. Distribución de la población de cotorra argentina por distritos en el municipio de Madrid según el censo realizado por SEO/BirdLife en 2019.

Fuente: Nebreda *et al.*, (n.d.)

La presencia de la cotorra argentina en nuestro país es, por tanto, una preocupación a nivel nacional, fruto de un importante comercio a nivel mundial, por ser una especie

frecuentemente utilizada como mascota (Gómez y Alcalá, 1997). Los escapes o liberaciones intencionadas han favorecido que se establezca con éxito no sólo en España, sino por todo el mundo, especialmente en las ciudades (Santos y Sol, 1995; Lever, 2005; Santos, 2005). Según las estadísticas de comercio de especies de la base de datos de CITES (CITES TradeData Base, UNEP-World Conservation Monitoring Centre, Cambridge, UK) entre 1981 y 2014 España fue el destino de la exportación de más de 258.000 ejemplares de cotorra argentina.

Por otro lado, la longevidad de la especie y la resistencia al frío que le proporcionan su tamaño y su versatilidad alimenticia, aseguran la estabilidad de las poblaciones (Batllori y Nos, 1985) promoviendo que su crecimiento se pueda considerar “exponencial”, y dado el tamaño de población actual, y que no se observa ningún inconveniente para que la población siga creciendo, dicho incremento podría duplicar la población en muy pocos años (Nebreda *et al.*, n.d.).

### 1.3. Estrategias de actuación y control en la lucha contra especies exóticas: la identificación de corredores ecológicos.

Por todo lo mencionado anteriormente, resulta de especial urgencia el desarrollo y puesta en marcha de estrategias de actuación en la lucha contra especies exóticas identificadas como invasoras. Estas estrategias constituyen tanto medidas de prevención, control y posible erradicación de estas especies, ya establecidas o en proceso de establecimiento, como otras medidas con marcado carácter preventivo, destinadas a evitar la introducción de este tipo de especies.

A la hora de tomar decisiones respecto al manejo y gestión de las EEIs, es necesario contar con la máxima información posible acerca de la especie y contar con las técnicas más efectivas, dado el elevado coste económico que implica para las instituciones. Para ello es indispensable tener un conocimiento exhaustivo de la biología de la especie (distribución, hábitos alimentarios y reproductivos, hábitat nativo y foráneo, capacidad de dispersión, etc.), de los impactos generados en los ecosistemas que colonizan, así como las principales vías de entrada a los territorios donde se asientan. Identificar las áreas del territorio por donde se produce el flujo de estas especies puede ser de vital importancia a la hora de focalizar las medidas de acciones para la prevención, manejo y control de especies exóticas, facilitando así su aplicación y su eficacia gracias al acotado de la zona de actuación.

Una forma de analizar las vías de entrada de una especie es a través de la identificación de potenciales corredores ecológicos que conectan las zonas de origen con las de destino. Un corredor ecológico se define como aquel ámbito territorial cuya función primordial es la de conectar dos o más sectores con características ambientales similares, de forma que resulte transitable y sirva como conducto a los desplazamientos de la biota. De esta manera, los

corredores ecológicos se corresponden con sectores de la matriz territorial que presentan un especial interés para mantener la conectividad ecológica, entendida como la capacidad del territorio para permitir los desplazamientos de las especies silvestres entre las zonas con recursos (Taylor *et al.*, 1993). Si bien es cierto, que se estudian o promueven para el diseño de estrategias de conservación de especies amenazadas por la fragmentación de hábitats, estos corredores a menudo son utilizados por otras especies, en especial por las EEIs en su dispersión hacia otros territorios (Mjaka *et al.*, 2007). En consecuencia, también pueden resultar útiles a la hora de modelizar el flujo de especies exóticas invasoras en un área determinada.

Los corredores pueden plantearse como elementos que posibilitan la conexión espacial entre los núcleos de población de un taxón, entre éstos y zonas aptas desocupadas o entre espacios de características ambientales similares que albergan grupos funcionales de especies con análoga ecología espacial (Gurrutxaga San Vicente y Lozano Valencia, 2008.). No obstante, no todos los corredores ecológicos son aptos para ser utilizados por cualquier especie, pues estos se establecen en función del tipo de hábitat asociado a la especie objeto de estudio, su grado de especialización y capacidad dispersiva. Las especies voladoras, por ejemplo, requieren conexiones continuas para desplazarse (Gurrutxaga San Vicente, 2005).

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG), gracias a su carácter multifuncional, pueden ser de gran utilidad a la hora de elaborar cartografías temáticas que posibiliten clasificar diferentes cualidades del medio y evaluar amplias zonas territoriales bajo el criterio de idoneidad de hábitats, así como para realizar todo tipo de análisis espaciales. Por medio de extensiones como *Corridor Designer*, diseñada específicamente para la construcción de corredores ecológicos, los SIG constituyen la herramienta clave para la gestión de especies, permitiendo obtener y analizar en este caso, recorridos espaciales que conecten dos espacios (Puerto y Muñoz, 2010).

Para desarrollar o identificar un corredor que permita conectar dos espacios distantes, es necesario definir los espacios a conectar y disponer de un amplio conocimiento de la biología de la especie, a fin de determinar cuáles son las variables condicionantes o desencadenantes de la presencia de la especie en un territorio concreto, y que a su vez permitirán modelizar la aptitud de ese territorio.

Existen numerosos estudios donde se analizan los factores responsables de la distribución de la cotorra argentina, pero todos ellos se han realizado a gran escala (Muñoz y Real, 2006; Strubbe y Matthysen, 2009). Son muy pocos los estudios realizados en entornos urbanos, a los cuales la especie está estrechamente ligada (Domènech *et al.*, 2003).

Rodríguez *et al.* (2012) determinaron cuales son los principales factores que explican la abundancia de la cotorra argentina en hábitats urbanos, en concreto en la ciudad de Barcelona. Según los autores, hay varios factores que parecen ser los responsables de la mayor abundancia de las cotorras en los barrios analizados, destacando la relevancia de dos variables en concreto: densidad del arbolado y porcentaje de personas mayores de 65 años.

Este estudio sirvió como base para el planteamiento y elección de las variables indicativas del hábitat preferido por la cotorra argentina en el área de estudio de este Trabajo Fin de Máster (TFM); pues según datos del último censo elaborado por SEO/BirdLife, la ciudad de Madrid, seguida por la ciudad de Barcelona, alberga la población con mayor número de ejemplares de toda España y, además, coinciden en que ambas ciudades presentan una elevada densidad de población y una gran variedad de espacios verdes ampliamente arbolados.

## 2. ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN DEL TRABAJO

El presente Trabajo de Fin de Máster constituye la culminación de la asignatura “Prácticas externas” propia del Máster “Tecnologías de la Información Geográfica” impartido por la Universidad Complutense de Madrid (UCM). El proyecto se ha realizado bajo el marco del “Plan Estratégico Complutense de Infraestructura Verde de los Campus de Ciudad Universitaria y Somosaguas (PECIV; Magro *et al.*, 2021) impulsado por el Vicerrectorado de Tecnología y Sostenibilidad de la UCM.

En Europa, el concepto de infraestructura verde se afianza en la jerga ecológica y de gestión ambiental a partir del año 2013 con el documento emitido por la Comisión Europea “Infraestructura Verde: mejora del capital natural de Europa”. En este documento se sientan las bases para el desarrollo de una Estrategia de la UE sobre la Infraestructura Verde, la cual pretende garantizar la reducción de la fragmentación de hábitats y ecosistemas, la mejora de la conectividad ecológica del territorio, la provisión de servicios de los ecosistemas (de regulación, abastecimiento y culturales) clave para el bienestar humano, la mitigación de los efectos del cambio climático (tanto en el ámbito del medio rural como en el urbano) y la mejora de la resiliencia climática y la capacidad de adaptación de las sociedades frente al cambio climático y los riesgos que conlleva. Subyacentemente, a través de la infraestructura verde se busca una conservación eficaz de la biodiversidad, cuya pérdida a escala global es preocupante desde el punto de vista socioambiental y, en consecuencia, para asumir políticas sólidas para su conservación.

La biodiversidad es, por tanto, el pilar fundamental sobre el que se asienta esta iniciativa, no solo a escala europea, sino también nacional y local. El 60% de las poblaciones

silvestres se ha visto mermada y alrededor de tres cuartas partes de la superficie terrestre se ha visto alterada a consecuencia de las actividades humanas. Esta pérdida de especies y la alteración del territorio está dando lugar al confinamiento de las especies en espacios cada vez más pequeños y que, mayormente, prosperen en espacios protegidos. Sin embargo, la actual red de espacios protegidos resulta insuficiente para salvaguardar la biodiversidad y, por ello, los países miembros de la Unión Europea han adquirido el compromiso de dar cumplimiento al documento de infraestructura verde presentado en 2013 por la Comisión Europea. Además, con la misma finalidad de optimizar la conservación de la biodiversidad existe el compromiso de ir desarrollando una Red Transeuropea de Espacios Naturales en los que se propicie la creación de corredores ecológicos, evitando el aislamiento genético, favoreciendo la migración de especies y manteniendo los ecosistemas sanos. Todo ello debe fomentarse y apoyarse en las inversiones en infraestructura verde y azul (medio acuático) y en la cooperación transfronteriza entre los Estados miembros.

En nuestro país, toda la normativa nacional referida a la Infraestructura verde se recoge a nivel nacional, en las metas de la Estrategia Nacional de Infraestructura Verde, Conectividad y Restauración ecológicas; y local, en el Plan de Infraestructura Verde y Biodiversidad de Madrid, es en este contexto donde se encuadra el PECIV de los campus de Ciudad Universitaria (Moncloa) y Somosaguas. El campus de Ciudad Universitaria y, en menor medida, aunque de forma relevante también el campus de Somosaguas, constituyen refugios de biodiversidad dentro del entorno urbano, en especial de aves e insectos. Sin embargo, factores como el cambio climático, la presencia de especies invasoras y el manejo actual de las zonas verdes, así como la falta de información y de comunicación de la propia comunidad universitaria, ponen en riesgo la biodiversidad del campus y limitan la provisión de bienes y servicios ecosistémicos que ésta proporciona. Por ello, el objetivo principal del plan UCM es el desarrollo de diversas estrategias que posibiliten el mantenimiento del patrimonio natural y cultural de los campus en pro del bienestar de la comunidad universitaria, optimizando el uso de los recursos (agua, energía, etc.) y ayudando a consolidar la resiliencia espacial de los campus, a fin de asegurar la provisión de servicios ecosistémicos (regulación de la calidad del aire, mantenimiento de zonas de esparcimiento). En el campus de Ciudad Universitaria, la cotorra argentina puede comprometer la biodiversidad, especialmente de aves, y, por ello, el análisis de las principales vías de entrada de la especie desde la Casa de Campo, considerada la colonia principal de la especie dentro de la ciudad de Madrid (Martín Pajares, 2006) y colindante al campus, puede ser de gran ayuda a la hora de elaborar estrategias referidas a la gestión de EEI que garanticen el cumplimiento de los objetivos del PECIV.

### 3. OBJETIVOS DEL TRABAJO DE FIN DE MÁSTER

El objetivo principal de este estudio es el desarrollo de una metodología que facilite la identificación y análisis de las potenciales vías de entrada de especies exóticas invasoras (corredores de desplazamiento), usando como caso de estudio a la cotorra argentina; así como proporcionar los recursos necesarios para el desarrollo de futuras estrategias destinadas a la gestión de especies exóticas invasoras en áreas urbanas. Específicamente, se ha aplicado la herramienta *Corridor Designer*, diseñada para la construcción de trazados que simulan el flujo de especies entre dos espacios. Además, se pretende mostrar la utilidad concreta de esta herramienta en la resolución de problemas de carácter ambiental en áreas urbanas. Como resultado, se obtendrá un modelo que refleja las potenciales vías de entrada de la especie exótica invasora *Myiopsitta monachus* al campus de Ciudad Universitaria desde la Casa de Campo.

La consecución del objetivo mencionado conlleva al desarrollo de los siguientes objetivos específicos:

- Incorporación y análisis de la potencialidad de la herramienta *Corridor Designer* para la identificación de corredores ecológicos.
- Identificación, procesamiento y análisis de la cartografía temática que posibilite la generación de las variables responsables de la idoneidad del hábitat de la especie en el área de estudio.
- Evaluación y modelización de la aptitud del territorio para la especie.
- Generación y análisis de los corredores ecológicos para la especie en el área de estudio.
- Análisis de la aplicabilidad del modelo de corredores obtenido en la gestión de EEI.

### 4. ÁREA DE ESTUDIO

#### 4.1. Caracterización del área de estudio

El área de estudio del proyecto se localiza en el distrito de Moncloa-Aravaca, al noroeste de la ciudad de Madrid, en torno al eje de la carretera de La Coruña. Limita al norte con el distrito de Fuencarral-El Pardo; al este con los distritos Centro, Tetuán y Chamberí; al oeste

con los términos municipales de Las Rozas, Pozuelo de Alarcón y Majadahonda; y al sur con el distrito de la Latina.

El distrito de Moncloa-Aravaca es el distrito número nueve de los veintidós distritos que constituyen la división administrativa del municipio de Madrid. Destaca por ser el de mayor extensión con una superficie de 4492,75 hectáreas, repartidas en un total de siete barrios: Aravaca, Argüelles, Casa de Campo, Ciudad Universitaria, Valdezarza, El Plantío y Valdemarín (Fig.3).

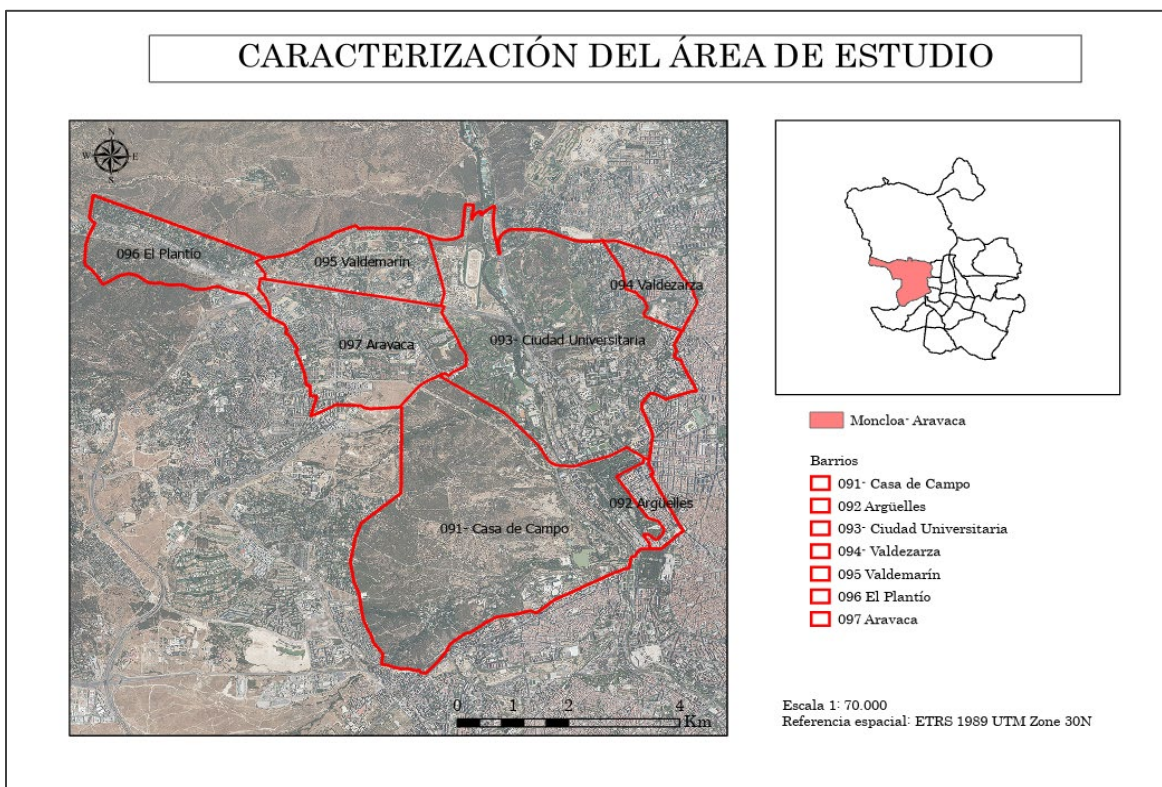


Figura 3. Localización geográfica y división administrativa del distrito de Moncloa-Aravaca (Madrid capital). Fuente: elaboración propia.

El distrito es bastante heterogéneo en cuanto a la tipología de la estructura demográfica y de las edificaciones. El barrio de Argüelles es uno de los barrios con mayor densidad de población dentro del distrito y muy accesible a pie, mientras que El Plantío registra los datos más bajos de densidad de población y es difícilmente accesible a través de transporte público.

En cuanto a la tipología de las edificaciones, existe una extensa área de viviendas unifamiliares repartidas a lo largo de toda la zona oeste del distrito (Aravaca y El Plantío), mientras que predominan las típicas manzanas repletas de bloques de edificios en la zona este (Argüelles), y urbanizaciones abiertas compuestas por enormes bloques de edificios

características de la zona noreste. Además, el distrito alberga una gran extensión de zonas verdes: el Parque del Oeste, la Dehesa de la Villa y la Casa de Campo, considerada el pulmón verde de la ciudad; así como el campus de Moncloa, situado en el barrio de Ciudad Universitaria, donde se localizan gran parte de las instalaciones pertenecientes a la Universidad Complutense de Madrid y a la Universidad Politécnica de Madrid.

No toda la superficie del campus de Moncloa (alrededor de 460 hectáreas) está compuesto por áreas asfaltadas y edificaciones, el 45% de su superficie se compone de un conjunto de zonas verdes (Fig. 4) constituidas por parques, jardines y áreas de extensos pinares, de elevado interés para la biodiversidad, por lo que fue declarado Bien de Interés Cultural por la Comunidad de Madrid, dada su riqueza patrimonial arquitectónica, paisajística y natural y estableciéndose un alto nivel de protección y una estricta limitación en el volumen de edificabilidad.

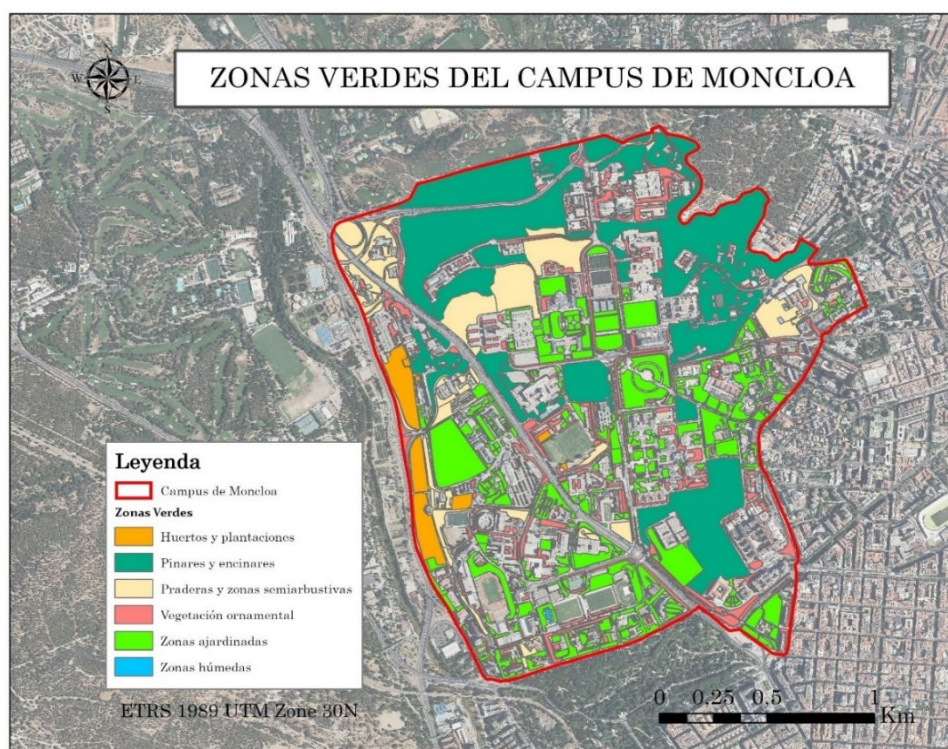


Figura 4. Clasificación de las zonas verdes del campus de Moncloa. Fuente: elaboración propia.

Las distintas zonas verdes localizadas en el campus se clasifican a su vez en seis categorías o tipos de hábitats (Aguirre *et al.*, 2018), en función de las características de la vegetación que albergan, así como del uso planteado:

- Zonas ajardinadas: incluyen todas las zonas verdes (jardines, parque y praderas artificiales) donde se cultivan plantas con fines ornamentales o de recreo.

- Zonas de vegetación ornamental: áreas de vegetación ornamental asociadas a estructuras pavimentadas y/o asfaltadas.
- Zonas de huertos y plantaciones: son zonas que mantienen cultivos de verduras, legumbres, frutas, plantas de ornato o con interés agro-silvoforestal.
- Praderas y zonas abiertas arbustivas seminaturales: incluyen zonas de pastizales o matorrales que crecen espontáneamente.
- Pinares y encinares: engloban las zonas constituidas por áreas arboladas autóctonas o semiautóctonas (reforestadas) en diferentes fases de sucesión o degradación, de encinares o sustituidas por pinares.
- Zonas húmedas: son las áreas con menor representatividad en el campus, y se concentran alrededor de pequeños estanques artificiales, fuentes y piscinas artificiales repartidas por el campus.

Desde el punto de vista topográfico, la altitud media del distrito oscila entre los 719 metros en las áreas más elevadas y los 575 metros en el río Manzanares (Mapa de Ruido 2006, n.d.), el cual atraviesa el distrito en su totalidad de norte a sur, y es el lugar donde desembocan multitud de los arroyos que discurren a través de los cerros y vaguadas que componen el relieve de la zona (Fig. 5).

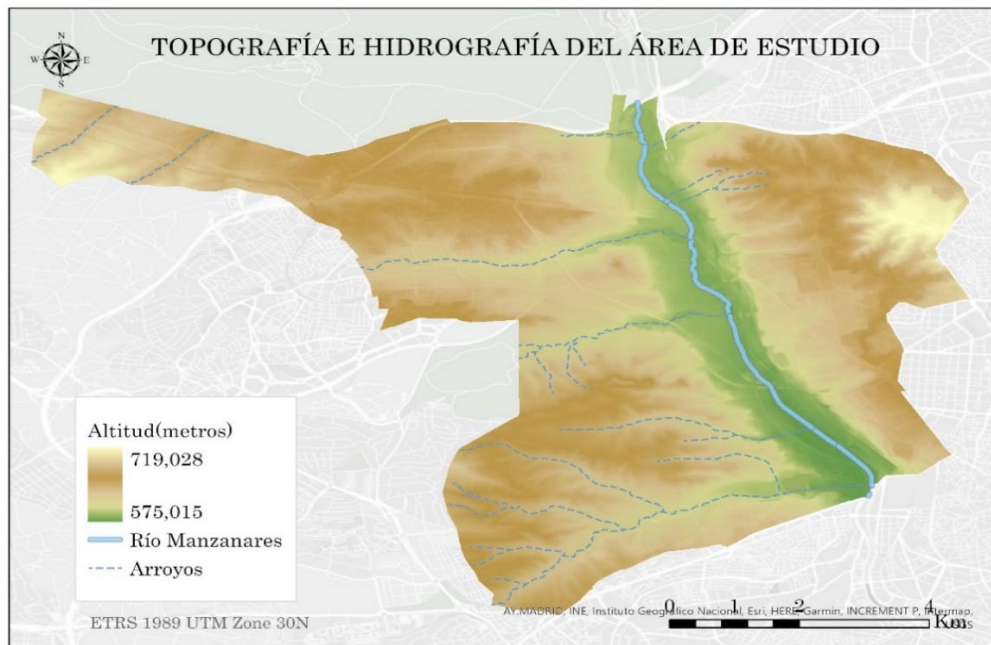


Figura 5. Topografía e hidrografía del área de estudio. Fuente: elaboración propia.

#### 4.2. Justificación del establecimiento de los límites territoriales del análisis de conectividad.

Los límites espaciales de las zonas a evaluar se localizan en el entorno inmediato situado entre los espacios a conectar; en este caso, entre la Casa de Campo (origen) y el campus de Ciudad Universitaria (destino). El análisis de conectividad espacial entre estos dos espacios generará un trazado que, por lo general, tenderá a adquirir la menor longitud posible. De esta forma, el trazado podrá encontrarse entre medias de ambos, o en el caso de que el área intermedia carezca de las características ambientales idóneas para la especie, el trazado puede tomar una dirección diferente a la esperada, es decir, el corredor puede no seguir una línea recta (o la distancia más corta) al conectar ambos espacios (de origen y destino), si no que opte por bordear el territorio para conectarlos.

En resumen, el análisis se efectúa en el distrito de Moncloa-Aravaca, donde se localizan el Campus de Moncloa y la Casa de Campo, a fin de que el corredor esté condicionado a delimitarse dentro de las inmediaciones de ambos territorios, pero de forma libre en espacio y distribución (Fig. 6).

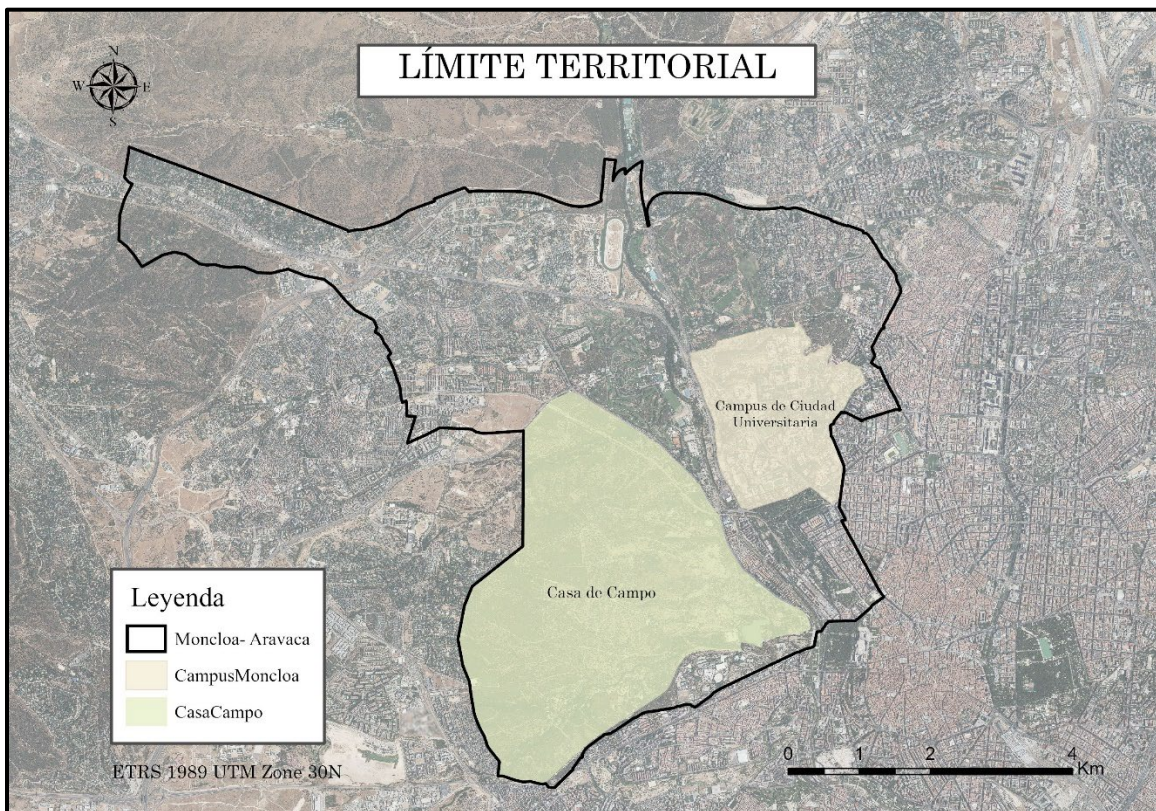


Figura 6. Delimitación del territorio para el análisis de conectividad entre la Casa de Campo (origen) y el campus de Moncloa (destino).

## 5. FUENTES E INFORMACIÓN DE ENTRADA

En este Trabajo de Fin de Máster se han empleado diversas fuentes de datos e información de entrada. Los datos de carácter espacial, así como las infraestructuras de datos desde las cuales se han obtenido, se ilustran en la Tabla 1.

El origen de otros datos utilizados en este trabajo se especifica a continuación:

- Los datos concernientes al arbolado viario del municipio de Madrid se obtuvieron a partir de las fichas de arbolado viario por barrios disponibles en el Portal de datos abiertos del Ayuntamiento de Madrid. Estas fichas describen de manera exhaustiva las características y la calidad del arbolado localizado a lo largo de toda la red viaria del barrio en cuestión. Se recogen una gran variedad de datos, evaluados a su vez por diversos parámetros y estructurados por medio de tablas y gráficos. Algunos de esos datos son: especies arbóreas más abundantes, estado, composición y gestión de arbolado. Se seleccionaron los datos de abundancia de especies, especies predominantes y cantidad (nº de árboles/superficie en hectáreas).
- En la obtención de los datos de abundancia de las especies arbóreas pertenecientes a los géneros *Cedrus*, *Pinus*, *Cupressus* y *Platanus*, la información se recopiló a través de la combinación de dos fuentes principalmente: un fichero “xls” denominado “ArboladoParqueHistoricosSingularesForestales\_20.xls”, disponible en el portal de datos abiertos del Ayuntamiento de Madrid, y a través de la aplicación “Un Alcorque un Árbol”, que facilita el acceso a la información completa y en tiempo real de los árboles de las calles de la ciudad de Madrid, propiedad del Ayuntamiento de Madrid.
- La capa vectorial de puntos que contiene el inventario botánico con las especies de árboles y abundancia de estas en el campus de Moncloa fue proporcionada por el Departamento de Obras y Mantenimiento de la Universidad Complutense de Madrid.
- Los datos demográficos se descargaron del Banco de datos del Ayuntamiento de Madrid, por medio de su página web. Se optó por descargar los datos de todos los distritos y barrios del municipio de Madrid, con fecha de junio de 2021 (mayor actualidad), recopilándose todas las franjas de edad posibles y sin discernir en sexo ni nacionalidad.

El software utilizado para la realización del análisis espacial de conectividad así para la obtención de los productos cartográficos necesarios para el estudio fue ArcMap 10.7.1.

Tabla 1. Información de entrada empleada en el estudio. Elaboración propia.

<b>Fichero de origen</b>	<b>Características</b>	<b>Formato origen</b>	<b>Fuente</b>	<b>Escala o paso de malla</b>	<b>Sistema de Coordenadas</b>	<b>Archivos finales</b>
<b>Municipios</b>	Geometría de la provincia de Madrid	Shp (Arc-GIS)	IDEE	1:100.000	ETRS 1989 UTM Zone 30N	LimiteTerritorio.shp
<b>Barrios</b>	Geometría de los barrios del municipio de Madrid	Shp (Arc-GIS)	nomecalles	1:25.000	ETRS 1989 UTM Zone 30N	ArboladoVia.shp
<b>DH_Tajo</b>	Hidrografía de la cuenca del Tajo.	Shp (Arc-GIS)	CNIG	1:25.000	ETRS 1989 UTM Zone 30N	Hidrologia.shp
<b>cartografia_censo2011_nacional</b>	Geometría de las secciones censales de la Comunidad de Madrid	Shp (Arc-GIS)	INE	1:25.000	ETRS 1989 UTM Zone 30N	Poblacion.shp/PropMas65.shp
<b>Servicios Culturales, Recreativo, personas_s_Parques y Jardines</b>	Capa de vectorial de parques y jardines del municipio Madrid	Shp (ArcGIS)	nomecalles	1:5.000	ETRS 1989 UTM Zone 30N	ZonasVerdes.shp
<b>ParcelasCatastro</b>	Geometría de las parcelas del Campus de Ciudad Universitaria	dxf (AutoCAD).	Sede Electrónica del Catastro	1:500	ETRS 1989 UTM Zone 30N	ZonificaciónCampus.shp
<b>SIOSE_Madrid_2014</b>	Ocupación del suelo de la Comunidad de Madrid	Gdb (ArcGIS)	CNIG	1:25.000	ETR 1989UTM M Zone 30N	UsosSsuelo.shp
<b>PNOA_M A_OF_ETRS89_</b>	Hoja 0559 PNOA Máxima	ecw.	CNIG	0,25	ETRS 1989	CasaCampo.shp

HU30_ h50_0559	Actualidad (2019)	metros	UTM Zone 30N	CampusMoncloa .shp
-------------------	----------------------	--------	-----------------	-----------------------

## 6. METODOLOGÍA

La metodología de trabajo se estructura de acuerdo con el procedimiento elaborado originalmente por Majka *et al.*, (2007). Este método se centra en la modelización de la idoneidad de hábitat de especies, así como en la elaboración de corredores ecológicos que permitan conectar espacios concretos a través de los cuales se produce el flujo de especies. Todo ello, dentro de un entorno SIG.

La herramienta utilizada para la modelización del hábitat y la identificación y generación de corredores ha sido *Corridor Designer* en su versión *General Use Corridor Designer Toolbox V.02 (2007)* para ArcGIS 10.7.1

Como primer paso en la consecución de los objetivos del trabajo, se analizó la herramienta, su aplicabilidad para el caso de estudio y se estudiaron los parámetros necesarios para su funcionamiento. Estos parámetros están estrechamente relacionados con la biología de la especie, por lo que también, se requirió del estudio y revisión bibliográfica exhaustiva sobre la especie objeto de estudio.

En segundo lugar, se realizó la gestión, tratamiento y desarrollo de información cartográfica vectorial y ráster que permita reflejar las características del terreno, así como la afinidad que presenta la especie objeto de estudio frente a estas características. Independientemente del sistema de referencia geográfica original (varias capas originales estaban proyectadas en ED50 o WGS84) todas las capas se proyectaron finalmente, en el sistema ETRS 89, actualmente sistema de referencia a nivel de la Unión Europea.

Como ya se especificó en la Tabla 1, las variables o factores empleados para la modelización del hábitat proceden de fuentes oficiales y de carácter público, y han sido escogidas siguiendo la metodología desarrollada por Rodríguez *et al.*, (2012). Las variables empleadas en este estudio se especifican a continuación:

- Densidad de población humana: la actividad humana es la principal causa de liberaciones intencionadas o de escapes de los individuos en las ciudades, donde han conseguido adaptarse y establecerse con éxito gracias a la gran disponibilidad de recursos alimenticios ofrecidos por los humanos (Lefebvre *et al.*, 2004; Sol,

2007), como el pan y los cereales que a menudo son suministrados por personas mayores y/o jubiladas.

- Porcentaje de personas mayores de 65 años: al parecer son el grupo poblacional con mayor probabilidad de alimentar a esta especie (Senar *et al.*, 2009; Rodríguez *et al.*, 2012) y, por tanto, se espera que los barrios donde exista un mayor porcentaje de este grupo de población sean más propicios para albergar a la especie.
- Densidad del arbolado: cuanto mayor es la densidad de árboles en un barrio, se espera que la abundancia de la especie también lo sea. Esto se debe a que las cotorras utilizan los árboles, no sólo como soporte para construir sus nidos, sino también para alimentarse (Carrillo-Ortiz, 2009). Esta variable es el resultado de la unión, a su vez, de dos variables generadas de forma independiente:
  - Densidad del arbolado viario: las cotorras suelen encontrarse en zonas caracterizadas por extensas hileras de árboles, a través de las cuales se desplazan y utilizan para posarse y/o como recursos (Rodríguez *et al.*, 2012).
  - Densidad de sustrato de nidificación: en Madrid los cedros constituyen el principal sustrato de nidificación de la especie (65%) seguido de otras especies de pináceas del género *Pinus* (en su mayoría), y en raros casos, del género *Cupressus*. También nidifican sobre árboles caducifolios del género *Platanus* pero estos suponen un 15% de los nidos (Martín Pajares, 2006). En consecuencia, se debe crear una variable que permita representar esta característica fundamental de la especie. Lo ideal sería obtener una única variable sobre la abundancia de árboles del género *Cedrus*. Sin embargo, en la mayoría de datos abiertos al público solo se registran las especies predominantes, dejando el resto de las especies en la categoría de otros, donde muy probablemente se incluyen las especies del género *Cedrus*. Por ello, en la construcción de la variable se tuvieron en cuenta también los géneros *Pinus*, *Cupressus* y *Platanus*.
- Distancia a láminas de agua artificiales: como cualquier ser vivo la cotorra argentina debe disponer de fuentes de agua para garantizar su supervivencia. Al encontrarnos en un entorno urbano, lo más probable es que empleen las láminas de agua artificiales, es decir, fuentes, estanques y piscinas artificiales como principal recurso hídrico. Por otro lado, dado que su distancia media de dispersión no supera los 1100 metros (Senar *et al.*, 2009; Rodríguez *et al.*, 2012), se ha establecido que dichas fuentes se encuentren a una distancia máxima de 1000 metros.

- Usos del suelo: aunque en su hábitat nativo la cotorra argentina suele encontrarse en áreas de cultivo de cereales y en bosques de coníferas, en hábitats urbanos, se ha observado que prefieren forrajear en los parques y jardines (zonas verdes) de la ciudad debido a la gran variedad de plantas exóticas y ornamentales de las que pueden alimentarse (Strubbe y Matthysen 2011).

Los distintos resultados cartográficos del presente estudio se obtuvieron por medio de la evaluación de las variables de naturaleza vectorial mencionadas más arriba, previamente rasterizadas, bajo un mismo tamaño de cuadrícula que permitiese comparar de manera homogénea las capas temáticas empleadas. En este estudio se ha utilizado una resolución de 5 x 5 metros al tratarse de un área de baja extensión geográfica. Todas las capas fueron evaluadas desde un punto de vista de afinidad o reincidencia de la variable por la especie, con una escala de 0 y 100, siendo 100 el valor óptimo, según los siguientes criterios especificados en la Tabla 2:

Tabla 2. Interpretación biológica de las puntuaciones de idoneidad del hábitat (Majka *et al.* 2007)

<b>PUNTUACIÓN</b>	<b>CRITERIO</b>
<b>100</b>	Mejor hábitat, mayor supervivencia y éxito reproductivo
<b>80</b>	Puntuación asociada con reproducción exitosa
<b>60</b>	Puntuación asociada con el uso constante y la reproducción
<b>30</b>	Valor asociado con el uso ocasional para actividades no reproductivas
<b>&gt;30</b>	Se evita
<b>0</b>	No se utiliza

Tras el tratamiento y asignación de las puntuaciones de las capas temáticas, se aplica la herramienta *Corridor Designer*.

En primer lugar, se obtiene un mapa de idoneidad de hábitat para la especie objetivo, mediante la funcionalidad de modelización de hábitat (*Habitat Suitability Model*, o HSM) que combina todas las capas con su ponderación correspondiente.

Obtenido el mapa de idoneidad del hábitat, se aplica la extensión de creación de parches naturales (*Create habitat patch map*) que resulta en un conjunto de superficies con elevadas posibilidades de encontrar a la especie debido a las condiciones favorables, en cuanto a aptitud y extensión territorial que se dan esas áreas.

Por último, la herramienta permite identificar las franjas espaciales que conectan la Casa de Campo con el campus de Moncloa, a través de la extensión de modelización de corredores (*Create a corridor model*). Esta extensión calcula los trayectos entre los dos espacios a conectar, obteniéndose como resultado, un conjunto de superficies que conectarán parches entre sí, con objeto de ilustrar las zonas territoriales destinadas a filtrar y movilizar el flujo de la especie objeto.

Todo el procedimiento realizado se ofrece detalladamente a través de los siguientes apartados:

### 6.1. Evaluación e integración de la herramienta Corridor Designer en ArcMap 10.7.1

#### Descripción de la herramienta

*Corridor Designer* es una de las herramientas específicamente diseñada para la construcción de corredores ecológicos entre espacios delimitados geográficamente. Incorpora en una misma herramienta la modelización del hábitat, el cálculo de costes de desplazamiento y el diseño de corredores. Con solo desplegar la herramienta se observa una organización en tres grupos o módulos de herramientas que permiten realizar diversos tipos de análisis (Fig.7).

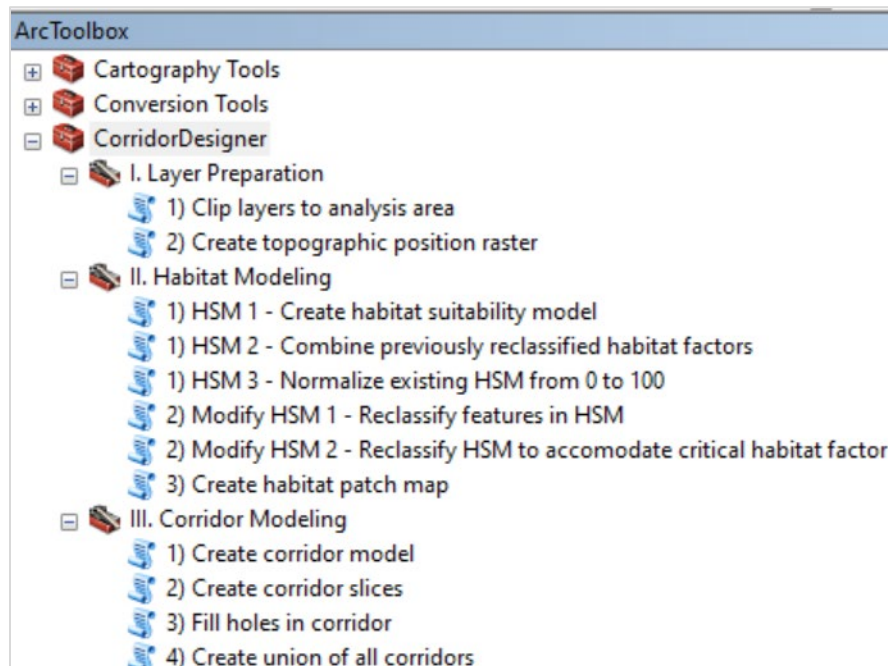


Figura 7. Módulos y funcionalidades de la herramienta *Corridor Designer*. Fuente: elaboración propia.

Cada módulo a su vez está constituido por un número variable de funcionalidades o extensiones que permiten realizar operaciones diversas. Por ejemplo, en el primer módulo (*Layer Preparation*) encontramos *Create topographic position raster*. Esta extensión evalúa lo que se conoce como posición topográfica, es decir, determina la posición geográfica que podrá emplear la especie desde un punto de vista geomorfológico, analizando si las zonas son llanas, presentan pendientes, corresponden a zonas de crestas montañosas o zonas de valles. En el grupo de funcionalidades del módulo *Habitat Modeling* encontramos varias opciones que permiten obtener modelos de idoneidad de hábitat y la creación de parches. No obstante, para un manejo correcto de la extensión ideada para modelizar el hábitat, es necesario partir de variables ambientales en formato ráster con un nivel de resolución de píxel estandarizado. Por último, el módulo *Corridor Modeling* comprende todos los comandos necesarios para la generación, homogeneización y unión de corredores ecológicos.

La herramienta *Corridor Designer* no opera independientemente de los SIG, sino que está diseñada para ser integrada en ArcGIS, lo que facilita su aplicación e importación dentro de *ArcToolBox*, así como su compatibilidad con las bases cartográficas utilizadas. Es de libre acceso y fácil de usar, pues los creadores de la extensión elaboraron un manual de uso de muy detallado, ilustrado con varios ejemplos e incluso ofrecen soporte desde su página web ([www.corridordesign.org](http://www.corridordesign.org)).

#### Preparación del entorno de trabajo: descarga e incorporación de la herramienta

La propuesta metodológica de este TFM comienza por la incorporación de la herramienta adicional *Corridor Designer*, disponible en la web de soporte de ESRI <http://arcscripsts.esri.com>. La instalación de la herramienta se realiza desde la ventana de *ArcToolBox*, haciendo clic derecho en su interior. A continuación, se selecciona la opción *Add Tool Box* que conduce a una sencilla ventana que permite navegar hasta la carpeta donde se ha ubicado herramienta. Tras aceptar, la herramienta queda incorporada dentro del conjunto de herramientas de *ArcToolBox*.

#### 6.2. Selección y tratamiento de las variables y su análisis para la creación de la cartografía temática.

Una vez analizada la información bibliográfica existente acerca de la biología de la especie (hábitos alimentarios, reproductivos y de cría, distribución, preferencias de hábitat y estado de conservación) se procede a la elaboración y análisis de las variables ambientales que permitan evaluar el territorio desde un punto de vista de afinidad para la cotorra argentina.

### 6.2.1. Obtención y análisis de variables demográficas: Densidad de población y Porcentaje de población mayor de 65 años.

La obtención de los datos necesarios para la creación de las variables demográficas se llevó a cabo en primera instancia, a través de la capa en formato vectorial que contiene el contorno de las secciones censales de la Comunidad de Madrid. Este archivo no contiene datos de población como tal, sino una serie de campos que posibilitan la adhesión de datos demográficos procedentes de otras fuentes de datos. En consecuencia, los datos se incorporaron a la capa que contiene las secciones censales del municipio desde el fichero en formato “csv” (del inglés *comma-separated values*), previamente procesado, que recoge los datos poblacionales necesarios para la construcción de las variables demográficas a través de una unión de tablas por campo común.

Es preciso mencionar, que previamente a la adhesión de los datos poblacionales a la capa de secciones censales de la Comunidad de Madrid, se realizó la delimitación de la capa al municipio de Madrid, a través de la herramienta *Clip*.

Una vez incorporados los datos demográficos (población total y población mayor de 65 años) a la capa de secciones censales del municipio de Madrid, se procede al cálculo de la densidad de población y del porcentaje de personas mayores de 65 años.

Para el cálculo de la densidad poblacional, se requiere calcular previamente el área en kilómetros cuadrados de cada sección censal localizada en el municipio de Madrid. Por ello, se añade un campo nuevo a la tabla de atributos de la capa (tipo *double* o *float*) y se calcula la geometría de cada polígono en kilómetros cuadrados. Una vez calculada el área, se añade el campo que contendrá los datos de densidad de población, y con la calculadora de campos se obtiene el valor de densidad de población asociada a cada sección censal, es decir, el número de habitantes por unidad de superficie en kilómetros cuadrados.

Con respecto al cálculo de porcentaje de personas mayores de 65 años, se añade un campo nuevo a la tabla de atributos de la capa que contiene las secciones censales para representar el dato (tipo *double*) y se aplica la fórmula siguiente: “ $\text{Pobmas65} \times 100 / \text{PobTotal}$ ” a través de la calculadora de campos.

Una vez generados los datos demográficos que representan las variables de interés, el siguiente paso es rasterizarlas en sendas capas. Para la rasterización de la variable “Densidad de población”, se optó por realizar una interpolación de los datos, a fin de conseguir un ráster de la zona que represente valores continuos y degradados en función de las distancias a los puntos de muestreo, facilitando la identificación de las zonas más pobladas (Fig.8). Previamente a este paso, es necesario transformar la capa que contiene las secciones censales del municipio de Madrid (una capa vectorial de polígonos) en una capa

de puntos. Este proceso se puede llevar a cabo calculando el centroide de cada polígono mediante la herramienta *Feature To point*.

Se empleó una herramienta de interpolación lineal denominada *Natural Neighbor*. Esta herramienta permite interpolar los datos contenidos en la capa de puntos y generar una capa con información continua. Al ejecutar la herramienta es importante introducir los datos necesarios para la interpolación, es decir, especificar el campo de la tabla de atributos de la capa que contiene los valores a interpolar. En este caso, se corresponde con el campo que incluye los valores de densidad de población, es decir, el número de habitantes por kilómetro cuadrado.

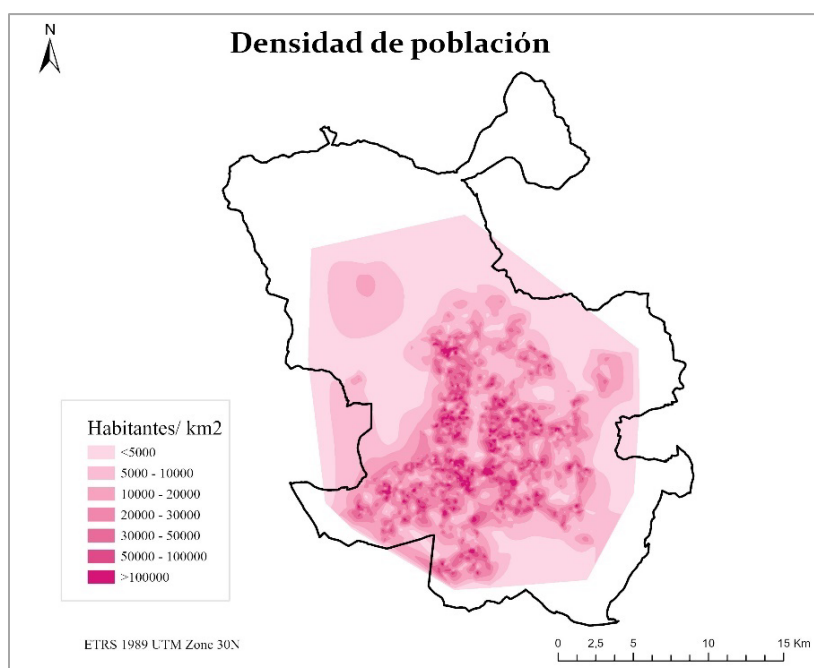


Figura 8. Mapa de densidad poblacional de la ciudad de Madrid.

Fuente: elaboración propia.

La rasterización de la variable “Porcentaje de personas mayores de 65 años” (Fig.9), se llevó a cabo por medio de la herramienta *Polygone To Raster*. De nuevo, resulta de vital importancia especificar el campo de la tabla de atributos de la capa a rasterizar, que proporcionará los valores de píxel al archivo ráster. En este caso, corresponde al campo que contiene los datos del porcentaje de personas mayores de 65 años. En este caso, no es necesario realizar la conversión de la capa de secciones censales (capa de polígonos) del municipio de Madrid en una capa de puntos.

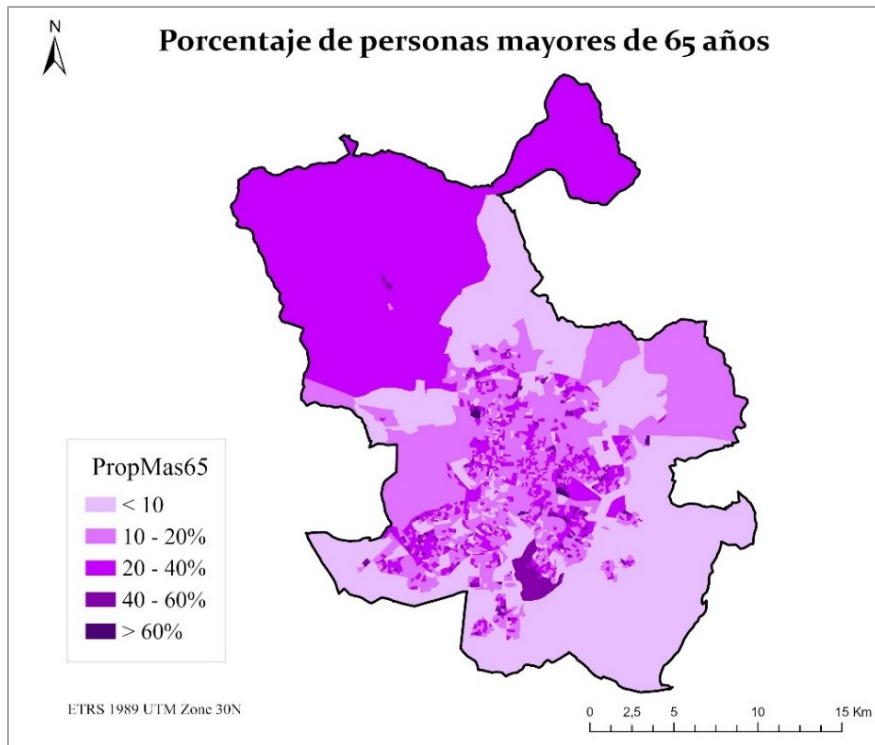


Figura 9. Mapa del porcentaje de personas mayores de 65 años en la ciudad de Madrid. Fuente: elaboración propia.

#### 6.2.2. Obtención y análisis de variables naturales: Densidad del arbolado

##### Densidad del arbolado viario

La variable “Densidad del arbolado viario” se elaboró a partir de los datos recopilados en las fichas de arbolado viario por barrios del municipio de Madrid. Posteriormente, estos datos se llevaron a una capa vectorial que contiene el contorno de los distintos barrios del municipio de Madrid. Previamente, se añadieron en la tabla de atributos de la capa los siguientes campos, coincidiendo con la información recopilada de las fichas de arbolado viario:

- Tot\_arb: número de total de especies de árboles presentes en el barrio.
- Esp\_pre: especie más abundante.
- Den\_arb: número de árboles por unidad de superficie en hectáreas.

La variable de interés se construye en base al último campo de la tabla (“Den\_arb”). Por ello, el siguiente paso consiste en transformar la capa vectorial que contiene el contorno de los distintos barrios del municipio de Madrid con la información de las fichas ya incorporada en una capa de puntos mediante la herramienta *Feature To point*.

A continuación, se rasteriza la variable siguiendo el mismo método empleado en la construcción de la variable de densidad poblacional: a través de la herramienta de interpolación lineal *Natural Neighbor*.

#### Densidad de sustrato de nidificación

La variable se creó a partir de una capa vectorial de puntos que contiene los parques y jardines más representativos de la ciudad de Madrid, ya que los árboles que suele emplear la cotorra para el establecimiento de sus nidos se localizan fundamentalmente en las zonas verdes de los entornos urbanos.

A continuación, se procedió al recuento y recopilación de los datos de abundancia de los géneros de árboles de interés. Los datos se registraron a través de un fichero Excel para posteriormente incorporarlos a la capa vectorial con los parques y jardines. En el archivo se recogieron los siguientes datos.

- Nombre del parque o jardín.
- Número de ejemplares del género *Cedrus*.
- Número de ejemplares del género *Pinus*.
- Número de ejemplares del género *Platanus*.
- Número de ejemplares de género *Cupressus*.
- Total de individuos.
- Superficie en hectáreas del parque o jardín.
- Densidad de árboles por unidad de superficie (ha).

Por otro lado, y puesto que el estudio se focaliza en el campus de la Ciudad Universitaria, interesa también recoger los distintos parques y jardines que allí se localizan. Para ello, se empleó una capa vectorial que incluye las distintas categorías en las que se dividen las zonas verdes localizadas en el campus de Moncloa. La capa se elaboró a partir de una capa de polígonos en formato vectorial que incluye la geometría de las parcelas en las que se divide el campus de Moncloa. También se usó la ortofoto de Máxima Actualidad del PNOA como base para la digitalización de los elementos no recogidos por dichas parcelas.

Una vez digitalizadas las zonas verdes del campus de Moncloa, se añadió un campo nuevo a la tabla de atributos de la capa, a fin de especificar la denominación de todas las zonas verdes clasificadas. A continuación, se cruzó con otra capa vectorial de puntos, que contiene un inventario botánico con las especies arbóreas localizadas en el campus de Moncloa; pues también era necesario determinar que especies arbóreas se localizan en los distintos espacios verdes recogidos en el campus.

Por último, se procedió a unificar la información concerniente al campus de Moncloa con los datos registrados en el resto de los parques y jardines localizados en la ciudad de Madrid a través de la herramienta *Merge*.

Una vez obtenida la capa de puntos con los valores de densidad, se procede a la rasterización de la variable. El procedimiento es el mismo que el que se ha utilizado en la rasterización de las variables “Densidad de población” y “Densidad del arbolado viario”. Se emplea la herramienta *Natural neighbor*.

Obtenidas las dos variables mencionadas más arriba, se procede a su unificación en una única variable (“Densidad del arbolado”) que represente el territorio en función de la densidad de arbolado, más elevada o baja, respecto al elemento analizado (arbolado viario y árboles utilizados como sustrato de nidificación y fuente de alimento; Fig.10). Se optó por esta operación debido a que los valores de densidad recogidos por la segunda variable pueden no ser lo suficientemente exhaustivos como para valorarse de forma independiente.

Se puede recurrir a diferentes estrategias de combinación de ambas capas. En este caso, se emplea la herramienta *Mosaic To New Raster*.

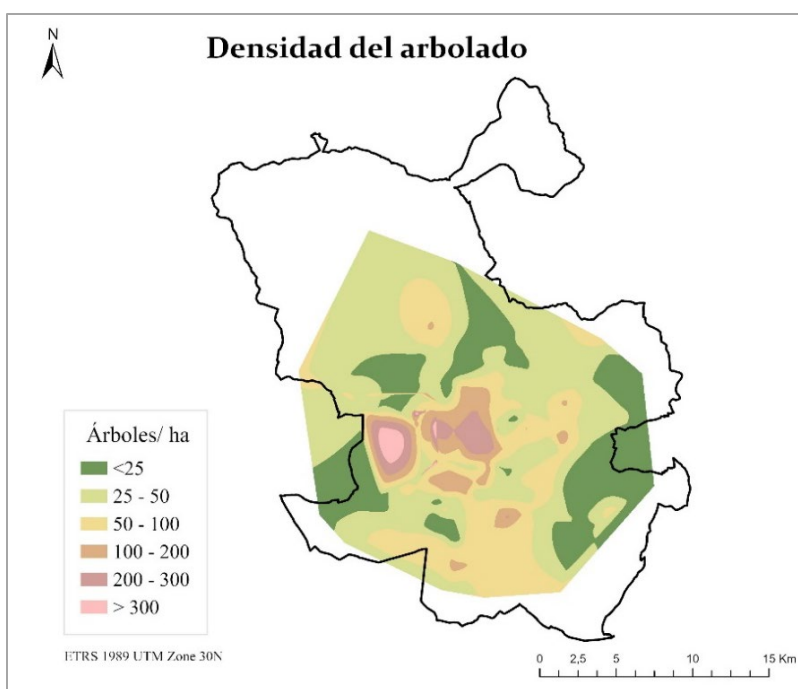


Figura 10. Mapa de densidad del arbolado en la ciudad de Madrid.  
Fuente: elaboración propia.

### 6.2.3. Obtención y análisis de variables naturales: Distancias a láminas de agua artificiales

El análisis que se plantea para la variable “Distancias a láminas de agua artificiales” se basa en criterios de distancias o proximidad a zonas húmedas en las que la cotorra pueda hidratarse en un entorno urbano, donde lo más probable es que recurra a depósitos, piscinas, estanques y fuentes de agua de origen artificial (láminas de agua artificiales). Para la obtención de esta variable se utilizó un fichero que contiene la hidrografía de la Cuenca del Tajo, es decir, que contiene una serie de archivos en formato vectorial que representan las distintas masas de agua (ríos, arroyos, embalses, láminas de agua artificiales, etc.,) pertenecientes a la Confederación Hidrográfica del Tajo.

En primer lugar, se procedió al acote de la capa que contiene las láminas de agua artificiales, al municipio de Madrid mediante la herramienta *Clip*. A continuación, se procedió a realizar el análisis de distancias a dichas láminas por medio de la herramienta *Euclidean Distance*. Esta herramienta permite generar píxeles con valores de proximidad en función a la distancia a la que se encuentren respecto a las láminas de agua artificiales. En esta ocasión, se especificó una distancia de 1000 metros como valor máximo de distancia hasta el cual realizar el análisis (Fig.11).

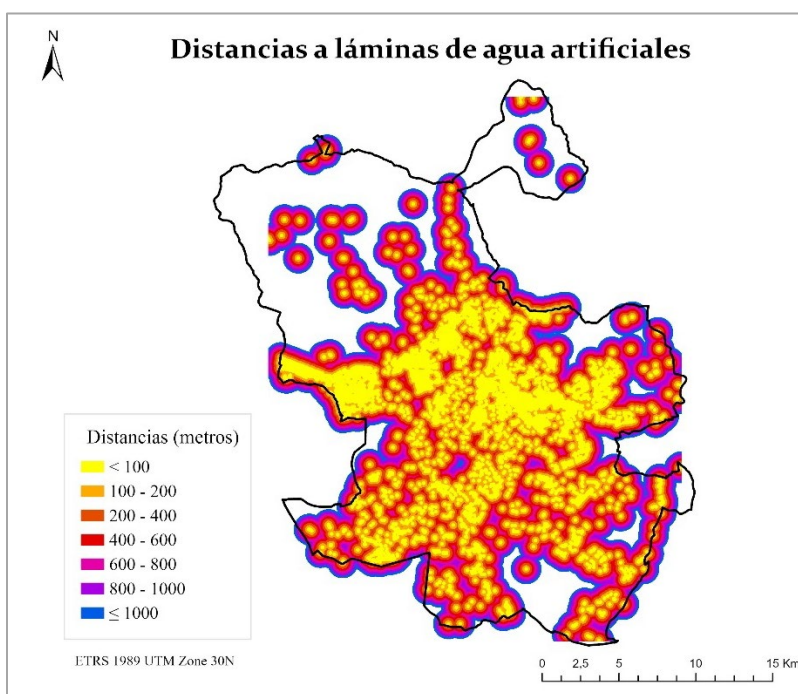


Figura 11. Mapa de distancias euclidianas a láminas de agua artificiales situadas en la ciudad de Madrid. Fuente: elaboración propia.

#### 6.2.4. Obtención y análisis de variables territoriales: Usos del suelo.

En la evaluación de la variable “Usos del suelo” se optó por la utilización de la cartografía del Sistema de Información sobre Ocupación del Suelo de España (SIOSE), pues a diferencia de otros productos cartográficos sobre usos de suelo, SIOSE describe de manera precisa diferentes aspectos, permitiendo determinar porcentajes específicos de tipologías de uso del suelo dentro de una misma tesela.

La identificación de las tipologías de los usos del suelo se realiza a través de dos campos: “CODIIGE”, un código oficial manejado por la cartografía SIOSE para describir las diferentes tipologías de suelo, y otro que describe el tipo de suelo. La presencia de este tipo de códigos es lo que permite la rasterización del archivo. Al no poder asignar valores cualitativos a los píxeles, los valores numéricos contenidos en el campo “CODIIGE” coincidentes con los valores descriptivos del SIOSE serán los empleados para la rasterización del archivo.

Los códigos y descripciones empleadas se especifican a continuación:

Tabla.3. Códigos asociados a cada tipología de suelo según la cartografía generada a través de SIOSE.

<b>CÓDIGO</b>	<b>USO DEL SUELO</b>
<b>111</b>	Casco
<b>112</b>	Ensanche
<b>113</b>	Discontinuo
<b>114</b>	Zona verde urbana
<b>121</b>	Instalación agrícola y/o ganadera
<b>130</b>	Industrial
<b>140</b>	Servicio dotacional
<b>161</b>	Red viaria o ferroviaria
<b>171</b>	Infraestructura de suministro
<b>172</b>	Infraestructura de residuos
<b>311</b>	Bosque de frondosas

<b>312</b>	Bosque de coníferas
<b>313</b>	Bosque mixto
<b>320</b>	Pastizal o herbazal
<b>354</b>	Suelo desnudo
<b>511</b>	Curso de agua
<b>514</b>	Lámina de agua artificial

La rasterización del archivo se realizó con la herramienta *Polygone To Raster*. Al igual que ocurría con la rasterización de la variable “Porcentaje de personas mayores de 65 años”, es importante indicar el campo que contiene los datos que quedarán indicados como valores de píxel. En este caso, el campo que contiene los códigos asociados a las descripciones de cada tipología de suelo (Fig.12).

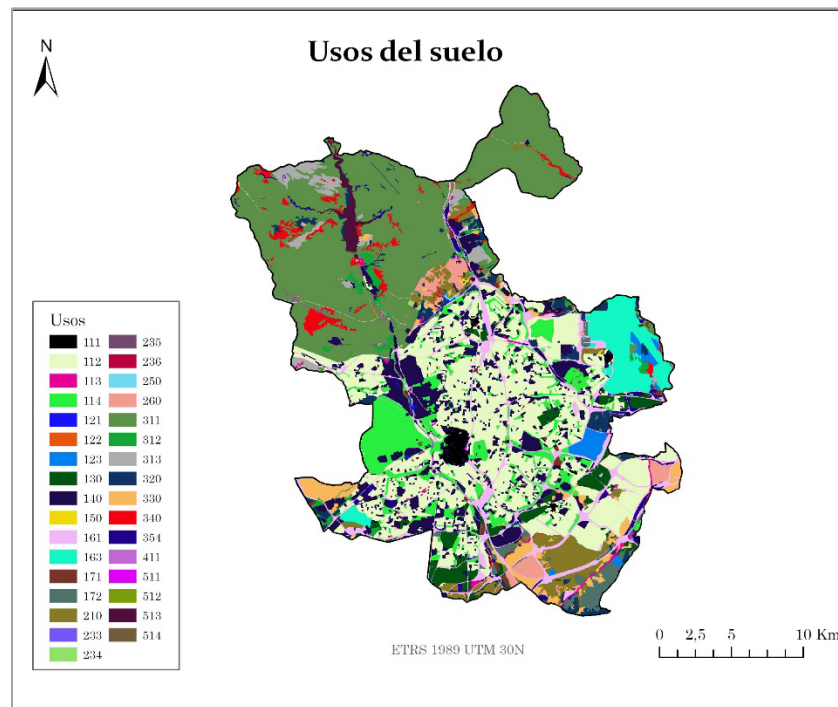


Figura 12. Mapa de usos del suelo de la ciudad de Madrid obtenido a partir de la cartografía del SIOSE 2014 de la Comunidad de Madrid. Fuente: elaboración propia.

### 6.2.5. Delimitación de las variables al área de estudio.

Definidos los límites territoriales para el análisis de conectividad entre la Casa de Campo y el campus de Ciudad Universitaria en el apartado 4.2, debe excluirse toda la información proporcionada por las variables obtenidas más arriba, que se localice fuera de dichos límites.

Esta operación se realizó a través del comando denominado *Clip layers to análisis área*, localizado en el módulo *Layer Preparation* de la herramienta *Corridor Designer*. Esta extensión permite extraer información de capas ráster de una forma casi automatizada, ya que posibilita el recorte simultáneo de múltiples capas ráster utilizando como “molde” una capa vectorial en formato *shapefile* que, en este caso, pertenece al límite comprendido por el distrito de Moncloa-Aravaca. La herramienta constituye, por tanto, una alternativa a la herramienta tradicionalmente empleada para este tipo de procesos, *Extract by Mask*, pues esta última requiere realizar el proceso de extracción de información de capas ráster capa por capa, o en su defecto, la elaboración de un modelo que posibilite la automatización del proceso a través de *ModelBuilder*.

## 6.3. Evaluación y modelización de la idoneidad del territorio

Generados los archivos ráster descriptivos de las variables que condicionan la distribución de la especie y delimitados al área de estudio, se procede a la evaluación de la aptitud o idoneidad de hábitat. Para ello, se pondera la aptitud de las variables que determinan la idoneidad del área de estudio.

### 6.3.1. Ponderación de la aptitud de las variables.

A diferencia de otras metodologías, para la generación de corredores ecológicos no es necesario recurrir a la reclasificación física de las capas mediante la herramienta *Reclassify*. En su lugar, se puede optar por una opción más sencilla, utilizando archivos de texto donde se recojan los intervalos de datos y la puntuación de idoneidad que alcanza el territorio cuando la variable adopta esos valores.

Los archivos de texto se elaboraron de forma individualizada para cada variable siguiendo la siguiente estructura:

- a) Se indican todos los intervalos de valores de la capa ráster que representa la variable considerada, aunque su puntuación de idoneidad sea nula.
- b) Los datos de puntuación de aptitud otorgados a los intervalos de valores de cada variable se separan de estos últimos mediante el carácter “:”
- c) Los datos incluidos en los archivos de texto se separan siempre por medio de tabulaciones.
- d) Los intervalos de datos se representan en orden creciente, del valor más bajo al más alto.
- e) Los datos decimales se indican a través de un punto.

La clasificación de cada variable se resume en la Tabla 4., y a continuación, se describe el proceso de ponderación de cada variable:

Tabla 4. Ponderación de los valores de las variables utilizadas en la modelización de la aptitud del hábitat de la cotorra argentina.

<i>Variable</i>	<i>Valores</i>	<i>Peso</i>
<i>Densidad del arbolado</i>	0 - 40	20
	40 - 60	40
	60 - 90	60
	90 - 120	80
	120 - 180	100
<i>Densidad de población</i>	0 - 6000	20
	6000 - 14000	40
	14000 - 24000	60
	24000 - 38000	80
	38000 - 90000	100
<i>Porcentaje de personas mayores de 65 años</i>	0 - 10	10

	10 - 20	20
	20 - 40	50
	40 - 60	70
<i>Distancia a láminas de agua artificiales</i>	0 - 100	90
	100 - 200	60
	200 - 400	40
	400 - 600	20
	600 - 1000	10
<i>Usos del suelo</i>	111, 112, 113, 130, 140, 161, 172	0
	511, 354	20
	313, 514	30
	121, 311, 320	40
	312	50
	114	70

#### Ponderación de la aptitud para la modelización de la densidad de población humana.

La cotorra tenderá a presentar máximos niveles de afinidad en zonas donde se concentre una mayor densidad poblacional. En consecuencia, las zonas que presenten valores más altos de este parámetro tendrán una mayor ponderación. Los valores de densidad obtenidos en la capa ráster del distrito de Moncloa-Aravaca oscilan entre 85,22 y 89.195,6 habitantes por km<sup>2</sup>.

El archivo TXT elaborado para la variable “Densidad de población”, presenta la siguiente estructura:

0            6000        : 20

6000        14000       : 40

14000       24000       : 60

24000       38000       : 80

38000      90000      :    100

Ponderación de la aptitud para la modelización del porcentaje de personas mayores de 65 años.

Las áreas donde exista un mayor porcentaje de población mayor de 65 años presentarán una mayor aptitud para la especie objeto. En el distrito de Moncloa-Aravaca, los valores de la capa ráster de porcentaje población mayor de 65 años obtenidos oscilan entre el 2,38% y 52,07 %.

Se elaboró un archivo TXT para reflejar la ponderación de la variable “Porcentaje de personas mayores de 65 años” y se le asignaron los siguientes valores:

0        10        :    0  
10       20        :    20  
20       40        :    50  
40       60        :    70

Ponderación de la aptitud para la modelización de la densidad del arbolado.

Las áreas urbanas que presentan hileras de árboles conectados y una mayor cantidad de aquellas especies que la cotorra emplea para nidificar y, que a su vez constituyen un refugio y una fuente de alimento, serán más propensas de albergar a esta especie. Los valores de densidad obtenidos en la capa ráster del distrito de Moncloa-Aravaca oscilan entre los 23,18 - 184,85 árboles/ha.

Para la ponderación de la variable “Densidad del arbolado”, se elaboró un archivo “TXT”, tal y como se muestra a continuación:

0        40        :    20  
40       60        :    40  
60       90        :    60  
90       120       :    80  
120      180       :    100

Ponderación de la aptitud para la modelización de la distancia a las masas de agua (láminas de agua artificiales).

En la evaluación de este factor, los valores de aptitud serán más elevados cuanto más cerca puedan encontrarse las cotorras a las láminas de agua artificiales.

El archivo TXT elaborado para la variable “Distancias a láminas de agua artificiales “, así como los intervalos de distancias existentes respecto de las masas de agua, se indican a continuación:

0	100	:	90
100	200	:	60
200	400	:	40
400	600	:	20
600	1000	:	10

Ponderación de la aptitud para la modelización de usos del suelo.

En el área de estudio encontramos un total de 17 tipologías de usos del suelo que presentarán mayor o menor importancia para la especie. Gran parte de estos tipos de usos del suelo no serán utilizados por la especie para moverse. Así, por ejemplo, las zonas de cursos de agua no son zonas habituales donde vive la especie sino zonas donde puede acudir a este recurso para beber. Sin embargo, los pastizales y las zonas de bosque pueden suponer un refugio temporal para la especie, de manera que sigan este tipo de corredores para dispersarse a través de zonas poco propicias para ellos. No obstante, serán las zonas verdes urbanas aquellas preferidas por la especie y, por tanto, su ponderación será mayor.

Las tipologías existentes y una propuesta de puntuación a asignar para cada tipo de suelo se muestran en la Tabla 5:

Tabla 5. Propuesta de ponderación para cada tipología de suelo presente en el área de estudio.

<b>CÓDIGO</b>	<b>USO DEL SUELO</b>	<b>PUNTUACIÓN</b>
<b>111</b>	Casco	0
<b>112</b>	Ensanche	0

<b>113</b>	Discontinuo	0
<b>114</b>	Zona verde urbana	70
<b>121</b>	Instalación agrícola y/o ganadera	40
<b>130</b>	Industrial	0
<b>140</b>	Servicio dotacional	0
<b>161</b>	Red viaria o ferroviaria	0
<b>171</b>	Infraestructura de suministro	0
<b>172</b>	Infraestructura de residuos	0
<b>311</b>	Bosque de frondosas	40
<b>312</b>	Bosque de coníferas	50
<b>313</b>	Bosque mixto	30
<b>320</b>	Pastizal o herbazal	40
<b>354</b>	Suelo desnudo	20
<b>511</b>	Curso de agua	20
<b>514</b>	Lámina de agua artificial	30

El archivo TXT generado para la variable ráster “Usos del suelo” presenta una estructura de datos similar a los archivos generados en apartados anteriores. En este caso, los valores de puntuación se asignan a los códigos (valores cuantitativos) y no a las descripciones de los usos del suelo (valores cualitativos).

### 6.3.2. Modelización de la aptitud del territorio.

Obtenidos los archivos ráster que describen las variables que condicionan la distribución de la cotorra en el área de estudio y la posterior puntuación de los intervalos de datos de estas variables que suponen un mayor o menor atractivo para la especie en el territorio, se procede a elaborar el mapa de aptitud, consecuencia de la combinación de las variables ponderadas.

La modelización de la aptitud final del territorio, partiendo de las variables estudiadas, se puede llevar a cabo a través de la extensión *Create habitat suitability model* que se encuentra dentro del módulo *Habitat Modeling* de la herramienta *Corridor Designer*. Esta aplicación presenta el inconveniente de que permite introducir hasta seis variables dentro del análisis. Por tanto, en caso de estar manejando más variables de las permitidas, tendríamos que hacer una selección de las variables más relevantes. En este caso, este proceso no fue necesario al trabajar con cinco variables.

Por medio de esta herramienta se incorporan todas las variables analizadas y se asignan sus correspondientes pesos de aptitud territorial para la especie a través de los archivos TXT elaborados previamente.

En la ventana *Method of combining factors* de la extensión se puede escoger el modelo de combinación de las variables, entre los dos disponibles: geométrica y aritmética. En este caso, se optó por utilizar el método de combinación de variables aditivo, basado en la suma de todas las variables multiplicadas por su peso:  $F1*P1 + F2*P2 + F3*P3 + F4*P4$ ; cada factor, presenta un peso individual y aditivo en la obtención final del hábitat de la cotorra argentina.

Para llevar a cabo la combinación de las variables multiplicadas por sus respectivos pesos es importante rellenar adecuadamente los siguientes apartados:

- *Input habitat factor #n*: en este apartado se introduce la capa ráster de la variable correspondiente. Este proceso se repite un total de cinco veces, hasta incorporar la totalidad de las capas ráster que forman parte del modelo.
- *Factor #n reclass table*: en esta ventana se introduce el archivo TXT que contiene los intervalos de valores que presenta la variable y la ponderación de aptitud para cada valor.
- *Factor #n weight*: en este apartado se asigna mayor peso a unas variables con respecto a otras, atendiendo a los requerimientos biológicos de la cotorra argentina.

La ponderación atribuida a las variables se basa en el estudio de Rodríguez et al., (2012) y se refleja en la Tabla 6.

Tabla 6. Puntuación de prioridad asignada a las variables que condicionan la presencia de la especie en el área de estudio

<b>VARIABLE</b>	<b>PESO</b>
<b>Densidad de población</b>	20
<b>Porcentaje de personas mayores de 65 años</b>	30
<b>Densidad del arbolado</b>	30
<b>Usos del suelo</b>	10
<b>Distancias a láminas de agua artificiales</b>	10
<b>TOTAL</b>	100

#### 6.4. Creación de parches naturales en el área de estudio.

Este proceso tiene como objetivo la obtención de aquellas zonas del territorio, también denominadas parches o mancha, donde existen altas posibilidades de encontrar a la especie debido a sus condiciones favorables, en cuanto a idoneidad de hábitat y superficie. El resultado es similar al que se obtiene en el siguiente apartado (6.5), solo que, en este caso, los parches se generan a lo largo de toda el área de estudio (distrito de Moncloa-Aravaca), mientras que, en el próximo apartado, sólo se representarán los parches que se localizan en la Casa de Campo y en el campus de Moncloa.

La creación de los parches se lleva a cabo, por medio de la extensión *Create hábitat patch map*, localizada en el módulo *Habitat Modeling* de la herramienta *Corridor Designer*. A la hora de ejecutar la extensión, es importante incluir el modelo de aptitud del territorio o idoneidad del hábitat (generado en el apartado 6.3.2), así como seleccionar el método de evaluación de los píxeles, desde la casilla *Average HSM using moving Window*, siendo escogido en este caso, el modelo inicial circular y de diámetro de 5 metros, basado en un análisis de vecindad en cuadrículas circundantes. Este análisis asignará, a una celda central, el resultado de evaluar las condiciones de “aptitud” respecto de las celdas que se encuentran inmediatamente próximas.

También merecen especial atención, las tres últimas funcionalidades de la extensión, diseñadas para introducir los valores que contribuyen a optimizar el territorio desde un punto de vista de idoneidad y de necesidades vitales en la especie:

- *Habitat patch suitability threshold*: valor de idoneidad a partir del cual la especie puede desarrollarse, teniendo en cuenta los valores obtenidos en el mapa de aptitud. En este caso, el valor de aptitud obtenido para la cotorra argentina (*Myopsitta monachus*) oscila en un rango comprendido entre 16-71, por lo que se optó por dejar el valor por defecto de 50. Ello implica que la especie no se desarrollará por debajo de un valor de 50 de aptitud.
- *Minimum breeding patch size*: superficie mínima, en hectáreas, para que la especie puede llevar a cabo las funciones de reproducción y cría. Se desconoce con exactitud este parámetro, por lo que se optó por dejarlo por defecto.
- *Minimum population patch size*: superficie mínima, en hectáreas, para garantizar un parche poblacional con un número de individuos viable. También se dejó por defecto.

#### 6.5. Construcción de corredores para la cotorra argentina.

Por último, se realizó la identificación y construcción de las franjas espaciales que conectan la Casa de Campo y el campus de Ciudad Universitaria. Este análisis deriva nuevamente en la generación de un conjunto de parches donde la especie puede localizarse, pero acotados a los dos espacios entre los que se realiza el análisis de conectividad. Por otro lado, se obtienen un conjunto de trazados de anchura variable que sirven de unión entre los parches para obtener los corredores ecológicos finales.

Para llevar a cabo el análisis de conectividad entre la Casa de Campo y el campus de Moncloa, la conexión debe realizarse necesariamente de forma jerárquica, asegurando la viabilidad de la especie. Deben priorizarse, por tanto, aquellos parches o manchas donde se garantice el flujo génico de la especie, así como su alimentación y reproducción, es decir, se deben priorizar los parches que presenten la máxima aptitud para la especie.

Este proceso se lleva a cabo por medio de la extensión *Create a corridor model*, perteneciente al módulo *Corridor Modeling* de la herramienta *Corridor Designer*. La interfaz de la extensión es muy parecida a la anteriormente descrita, con la particularidad de que incluye tres apartados adicionales: *Input wildland block 1* e *Input wildland block 2*, donde se introducen los archivos en formato *shapefile* que representan los dos espacios que pretenden conectarse (la Casa de Campo y el campus de Moncloa). El orden en que se introduzcan no tiene relevancia.

En el apartado *Species name* se introduce el nombre con el que comenzará la denominación de todos los archivos que se generen en el análisis. En este caso, se optó por usar el nombre “cotorra”.

La herramienta también incluye los tres últimos apartados destinados para introducir los valores de idoneidad del hábitat para la especie, por lo que se emplearon los mismos valores que en el apartado 6.4.

Junto con los parches y los corredores, también se genera un mapa de costes de desplazamiento al aplicar la herramienta. Este archivo permite identificar los píxeles que presentan el menor valor de coste en desplazamiento para la especie al dispersarse entre los parches. De esta forma, se obtiene un trazado lineal que puede coincidir con la trayectoria más oportuna a seguir por la cotorra argentina entre los espacios considerados. Esta información se puede obtener a través de la reclasificación de los datos mediante la herramienta *Reclassify*. Con ayuda de esta herramienta reclasificaremos los valores del ráster en dos tipologías, aquellos que presenten un coste muy bajo y aquellos que presenten un coste inmediatamente superior. Esta separación permitirá visualizar de forma más llamativa la zona de menor coste y, por tanto, el eje de costes sobre los que se desarrollan los corredores.

Una vez generada la fila o hilera de píxeles que representan aquellas zonas de menor coste en desplazamiento entre la Casa de Campo y el campus de Ciudad Universitaria para la especie, se puede transformar a formato vectorial. Para la transformación de archivos ráster en líneas se aplica la herramienta *Raster to Polyline*.

## 7. RESULTADOS

### 7.1. Análisis de la cartografía temática para la modelización de la aptitud del territorio.

Se obtuvieron cinco mapas temáticos delimitados al área de estudio. Cada mapa representa una variable que permite definir las cualidades terreno, en términos de aptitud para la especie, tal y como se ha indicado en apartados anteriores.

## Densidad de población

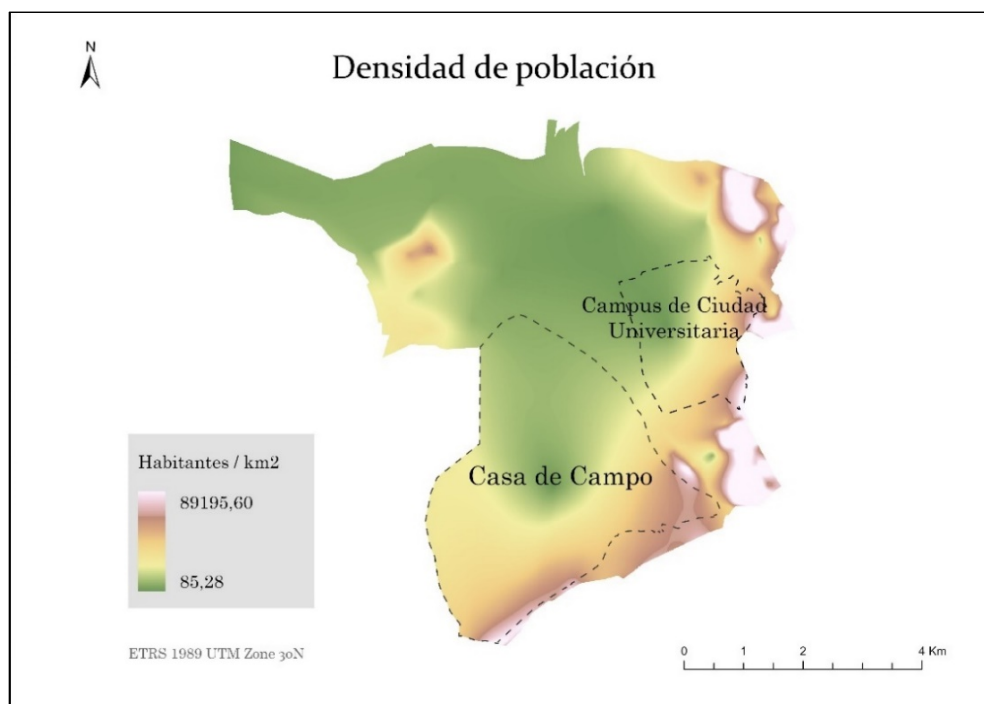


Figura 13. Mapa de densidad población en el área de estudio. Fuente: elaboración propia.

Los valores más elevados de población (Fig.13) se registran mayormente en la parte este y sureste del distrito, coincidiendo con los núcleos de población allí situados, pues tanto la Casa de Campo como el campus de Moncloa no albergan viviendas, excepto en sus inmediaciones. En la parte norte del distrito la menor densidad de población responde a un predominio de casas unifamiliares, en contraposición con los bloques de edificios multifamiliares característicos de la parte este del distrito y, en general, de los barrios de Madrid donde se concentra una mayor cantidad de población por unidad de superficie.

## Porcentaje de personas mayores de 65 años

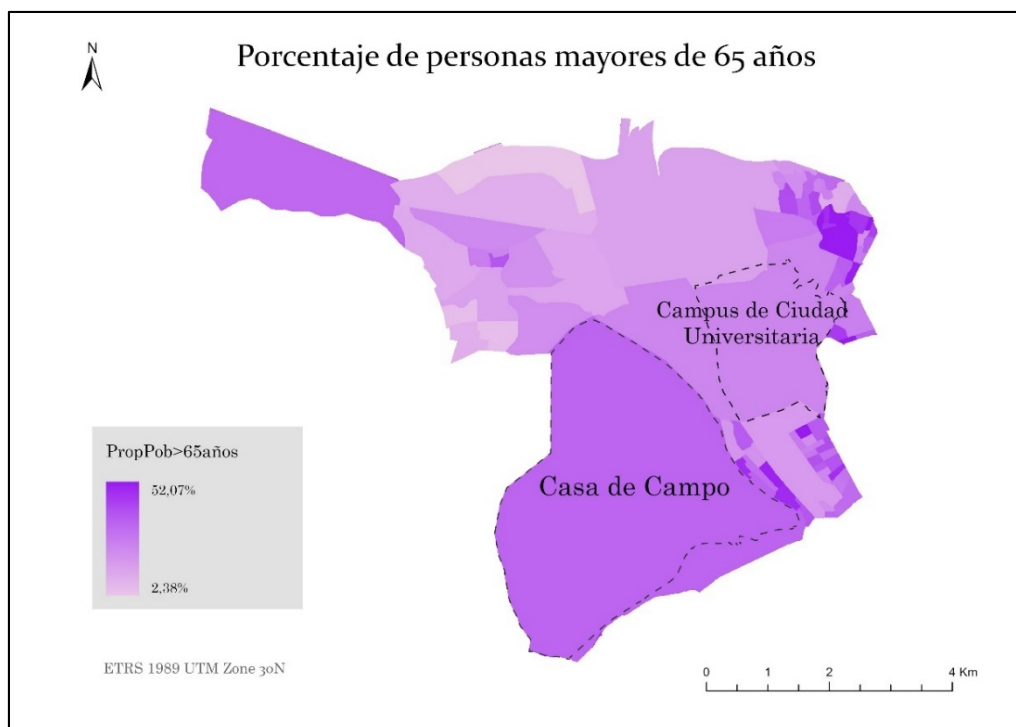


Figura 14. Mapa del porcentaje de personas mayores de 65 años en el área de estudio. Fuente: elaboración propia.

En la Figura 14. se representa el área de estudio en función del porcentaje de personas mayores de 65 años registrados en cada sección censal del distrito. Según se observa, la población jubilada se concentra al noreste del distrito, en el entorno de la Casa de Campo y del Parque del Oeste, y en la zona perteneciente al barrio de El Plantío.

## Densidad del arbolado

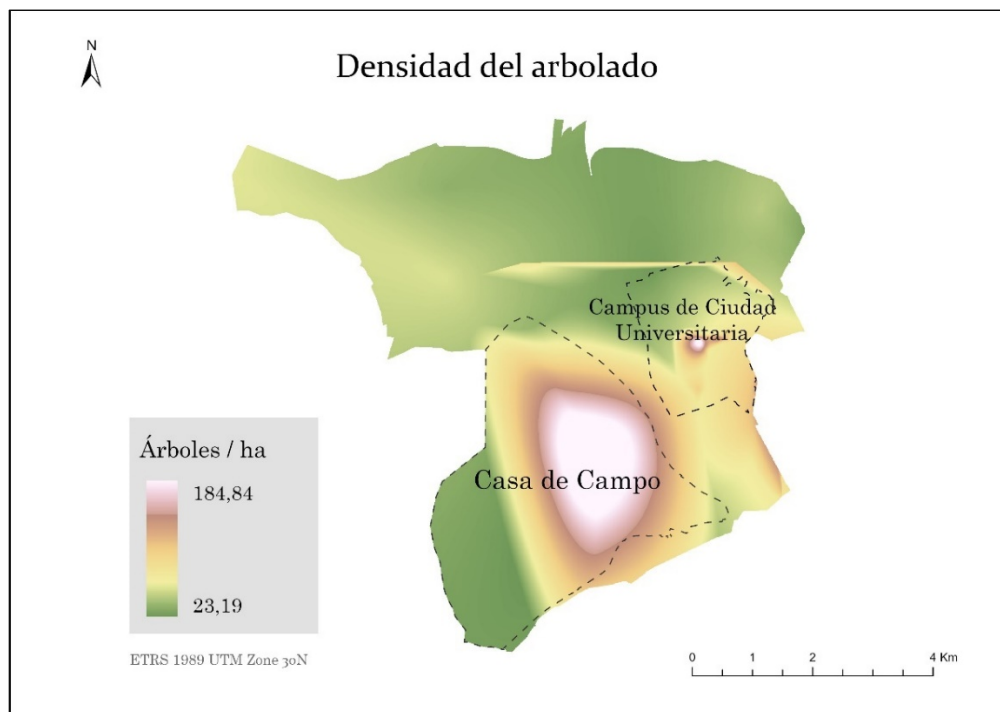


Figura 15. Mapa de densidad del arbolado en el área de estudio. Fuente: elaboración propia.

En la Figura 15. se representa la densidad del arbolado, tanto viario como de sustratos aptos para la nidificación en el área de estudio. En la imagen se aprecia que los valores más altos de densidad de la variable se concentran en el área concerniente a la Casa de Campo, y en general, en toda la parte sur del distrito. Cabe aclarar que no se pudo disponer de datos de arbolado de algunos espacios verdes privados colindantes al campus universitario (Real Club de la Puerta de Hierro y Club de Campo Villa de Madrid) ni de algunos parques y jardines de carácter público. En consecuencia, la densidad arbórea de estos no se refleja en el mapa, y por esta razón se existen zonas sin datos en el área de estudio.

### Distancias a láminas de agua artificiales

A partir de la Figura 16. se puede apreciar que la mayor concentración de láminas de agua artificiales se produce al noroeste del área de estudio. Sin embargo, la distancia a la que se encuentran las masas de agua situadas en el área del campus de Ciudad Universitaria entra dentro del rango de dispersión de la especie.

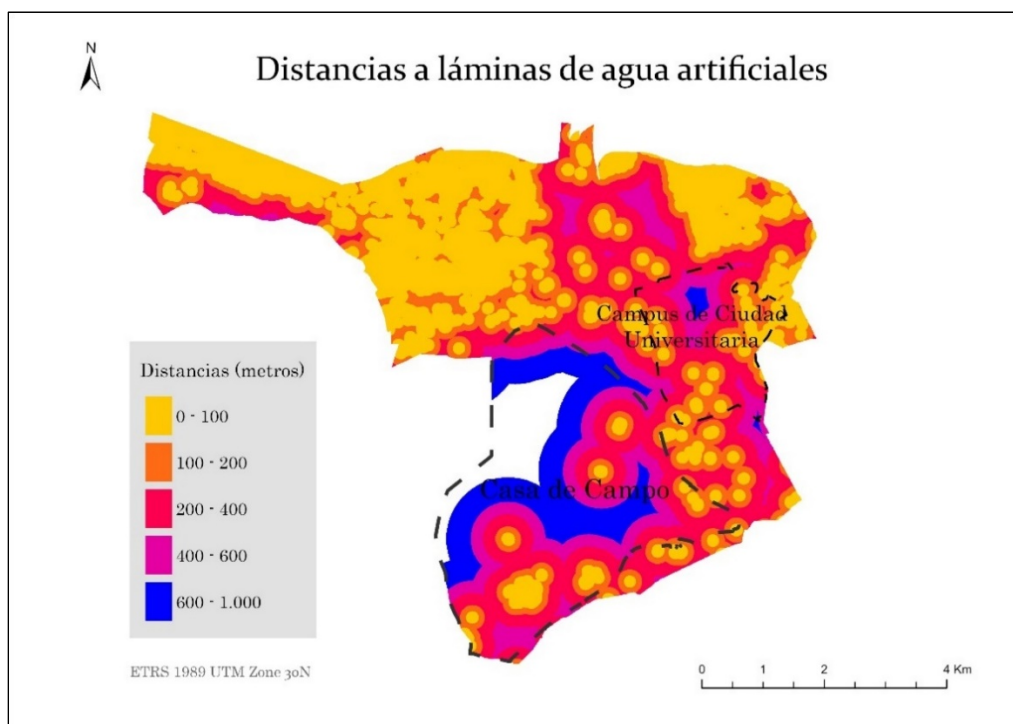


Figura 16. Mapa de distancias euclidianas a láminas de aguas artificiales en el área de estudio.

## Usos del suelo

Al tratarse de un entorno urbano, las tipologías de suelo son las características de este tipo de áreas: urbanizado, industrial, discontinuo, etc., aunque se advierten zonas de pequeña extensión territorial correspondientes a cultivos, pastizales y pequeños fragmentos de bosque.

En la Figura 17 se observan un total de 17 tipologías de suelo, tal y como se ilustra en la Tabla 3. La Casa de Campo se corresponde con el tipo de suelo calificado como “zonas verdes urbanas” (código 114) y el campus de Ciudad Universitaria, en su mayoría se representa como “servicio dotacional” (código 140). No obstante, aparecen también representadas algunas de las zonas verdes que sabemos se encuentran en el campus.

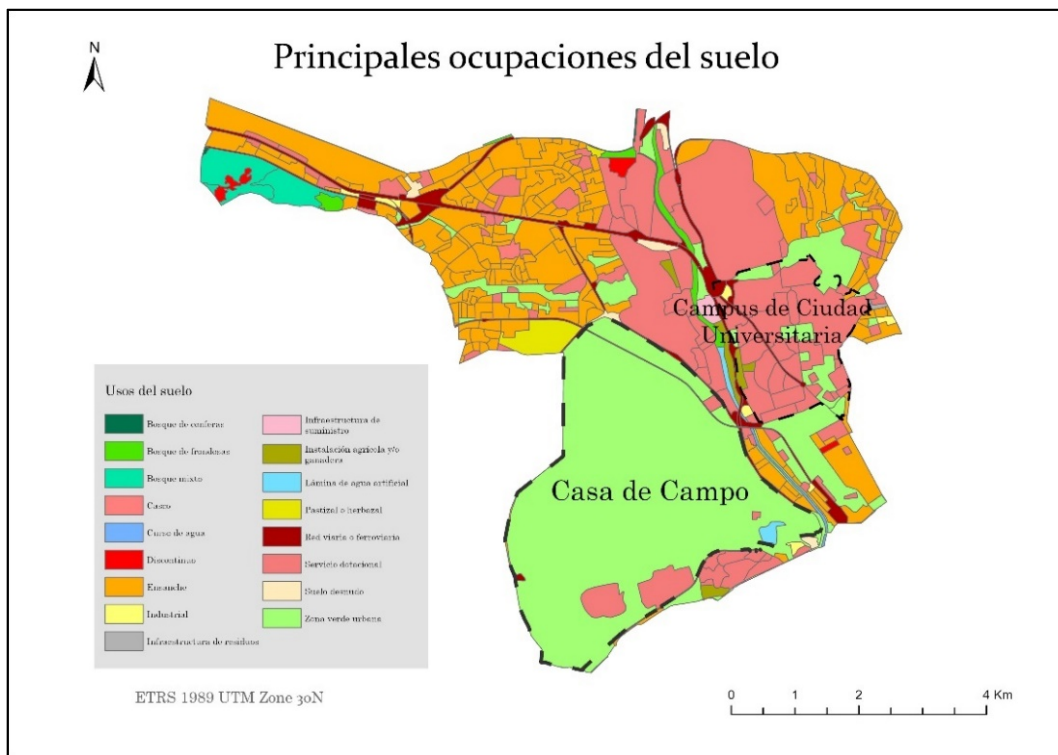


Figura.17. Mapa de los principales usos del suelo localizados en el área de estudio. Fuente: elaboración propia.

## 7.2. Modelo de aptitud territorial de la cotorra argentina

La aplicación de la metodología detallada en el apartado anterior permitió obtener un mapa ráster de aptitud territorial. El valor máximo de idoneidad es de 71 y el valor mínimo de 16 (Figura 18). Cuanto mayor sea el valor de los píxeles, más idónea se considera esa área del territorio analizado para albergar a la especie o para ser transitada por ella. Estos valores se concentran mayoritariamente en el entorno de la Casa de Campo, con una clara tendencia hacia la sección sureste del área de estudio.

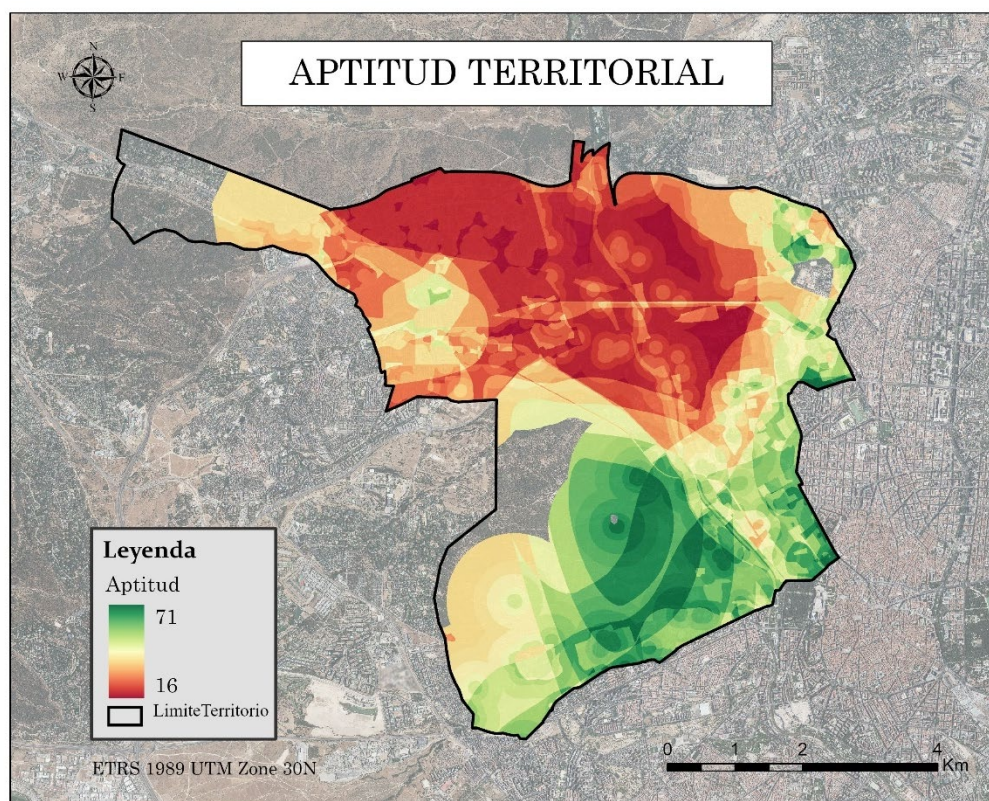


Figura 18. Mapa de aptitud territorial asociado a la EEI cotorra argentina (*Myiopsitta monachus*) en el área de estudio. Fuente: elaboración propia.

La zona norte del área de estudio resulta poco apta para albergar a la especie, incluyendo una extensa superficie ocupada por el campus de Moncloa.

Es preciso mencionar, que se advierten zonas del territorio sin evaluar, debido probablemente, al tipo de variables empleadas para la evaluación de la idoneidad del territorio. En concreto, en el caso de la generación de la variable “densidad de arbolado”, la cual es menos exhaustiva en cuanto a los datos compilados para su elaboración, dada la escasez de datos e información disponible y las dificultades experimentadas durante el proceso de creación de la variable.

### 7.3. Potenciales áreas de distribución de la cotorra argentina.

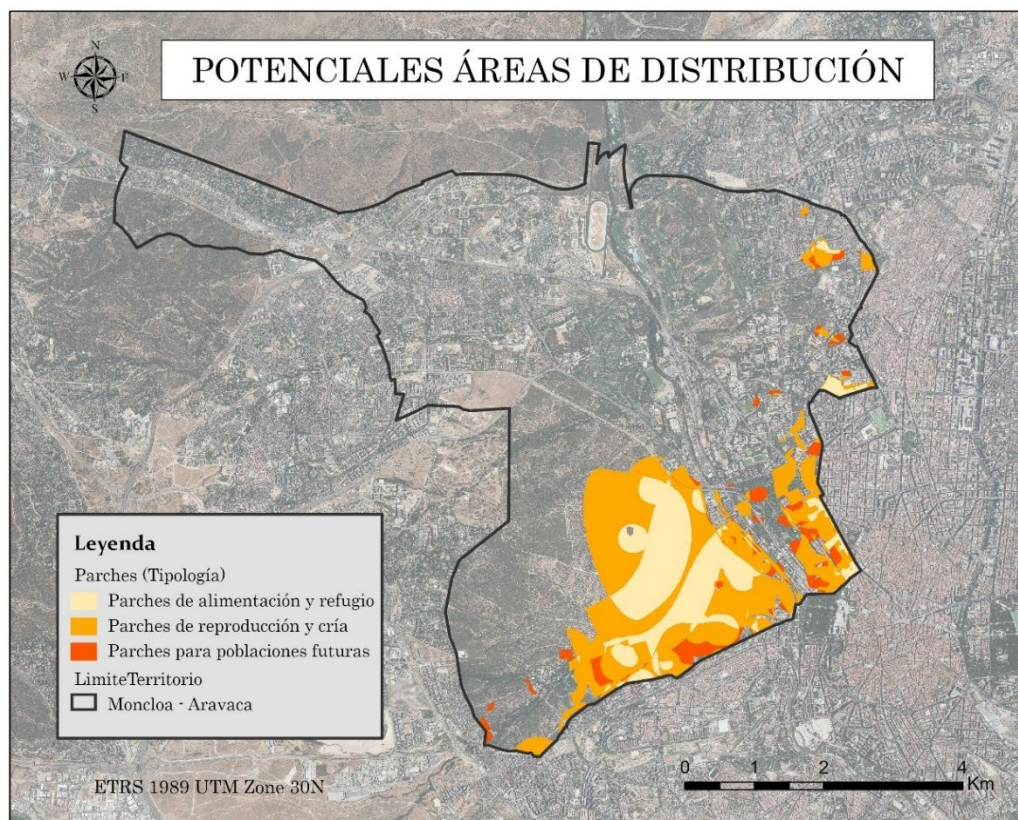


Figura 19. Mapa de parches ecológicos (potenciales áreas de distribución) de la cotorra argentina en el área de estudio. Elaboración propia.

En la Figura 19 se observa un conjunto de parches o manchas clasificados en tres categorías, en función de la viabilidad del área de estudio a la hora de fomentar la supervivencia de la especie (Mjaka *et al.*, 2007), y que, a su vez, constituyen las zonas del territorio de entrada y salida para la especie. La clasificación de los parches es la siguiente:

- 1: Parches en los que existan condiciones naturales que posibiliten una tendencia a desarrollar una actividad de alimentación y cobijo (color amarillo).
- 2: Parches en los que existan condiciones naturales que posibiliten una tendencia a desarrollar una actividad de cría con al menos una pareja reproductora (color naranja).
- 3: Parches en los que existan condiciones naturales que posibiliten una tendencia a asentar poblaciones potenciales de individuos (color rojo).

En la Casa de Campo encontramos la mayor parte de los parches o áreas consideradas más viables para la especie, donde puede alimentarse y refugiarse, es decir, aquellos parches clasificados como de tipología “1”, representadas en color amarillo; así como una importante porción de parches de tipología “2”, favorables para las actividades reproductivas, en color naranja.

Por el contrario, en el campus de Ciudad Universitaria, se encontraron muy pocas áreas consideradas viables y de escasa extensión. En la parte central del campus, en el entorno próximo al Real Jardín Botánico Alfonso XIII, se identificaron dos parches aislados de tipologías “2” y “3”. El resto de parches son de tipología “2” y se encuentran en la parte sureste del campus, mayoritariamente.

#### 7.4. Corredores identificados para la cotorra argentina.

En total se obtuvieron cuatro tipos de archivos derivados de la identificación y generación de los corredores para la cotorra argentina.

- Corredores ecológicos de anchura variable.
- Parches ecológicos de dos tipos: “*block\_patches*” (coinciden con los parches generados en el apartado anterior 7.3, pero estos se localizan únicamente dentro de los espacios considerados), y los denominados con el sufijo “*block\_start*” (involucrados en la conexión entre los espacios).
- Mapa de costes que le supone a la especie realizar un desplazamiento por el terreno.
- Mapa de aptitud del territorio igual al obtenido en el apartado 7.2.

En la Figura 20 se representa el coste que supondría para la cotorra realizar un desplazamiento por el área de estudio según las cualidades del terreno. Por medio de la trama de colores, se pueden observar qué zonas presentan menos coste y cuales más. De esta forma, se puede advertir una zona central de menor valor de coste (en color azul oscuro) que coincide con el área donde se encuentran los espacios a conectar (Casa de Campo y campus de Moncloa). El coste en desplazamiento es mayor a medida que nos alejamos del área de estudio y se refleja en la anchura de los corredores (Fig.20), pues a mayor anchura de estos, más se alejan de la zona que representa un menor coste en desplazamiento para la especie, abarcando áreas de mayor coste (tonalidades de azul más clara, amarillas y rojas; en orden ascendente de coste).

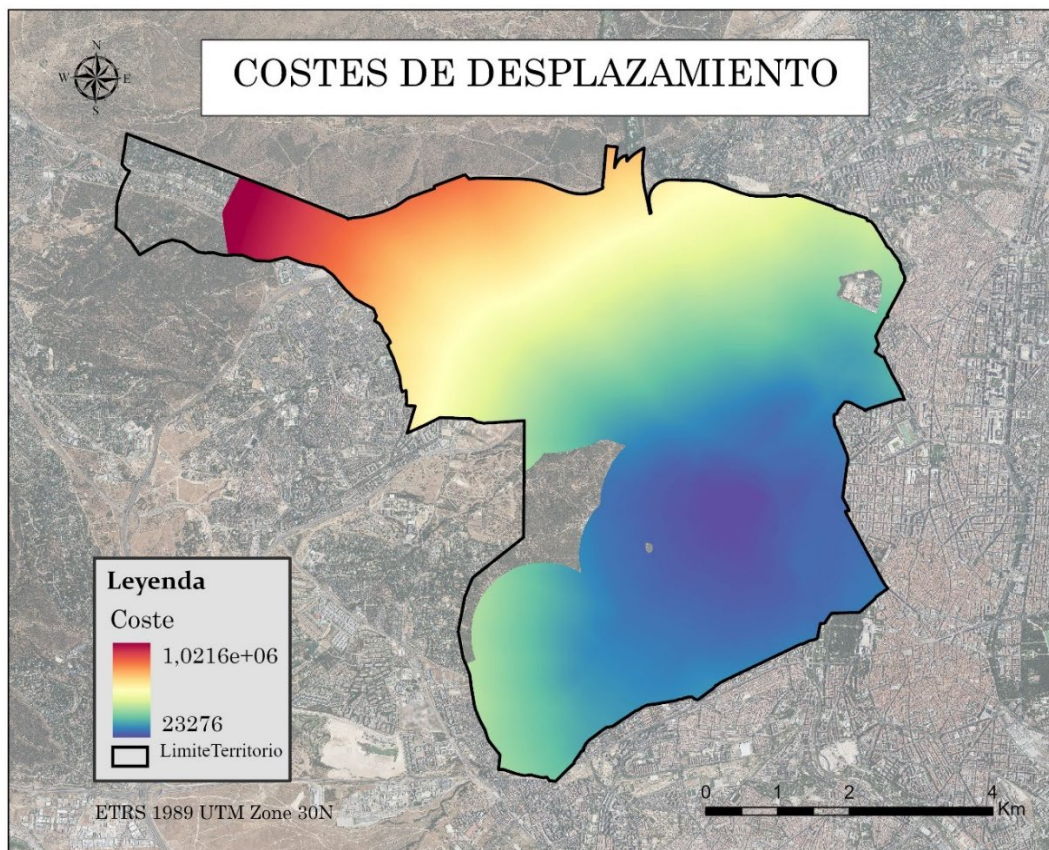


Figura 20. Mapa de esfuerzos o costes que debería realizar la cotorra argentina entre los parches de entrada y salida del área de estudio. Elaboración propia.

Tras la reclasificación del mapa de costes y su posterior transformación en formato vectorial se obtiene un eje conector o trazado vectorial (Fig. 21) que representa los lugares de menor coste para la especie durante su desplazamiento entre los dos espacios considerados en el área de estudio. El trazado lineal se presenta en color negro y presenta una longitud de 1,2 kilómetros aproximadamente.

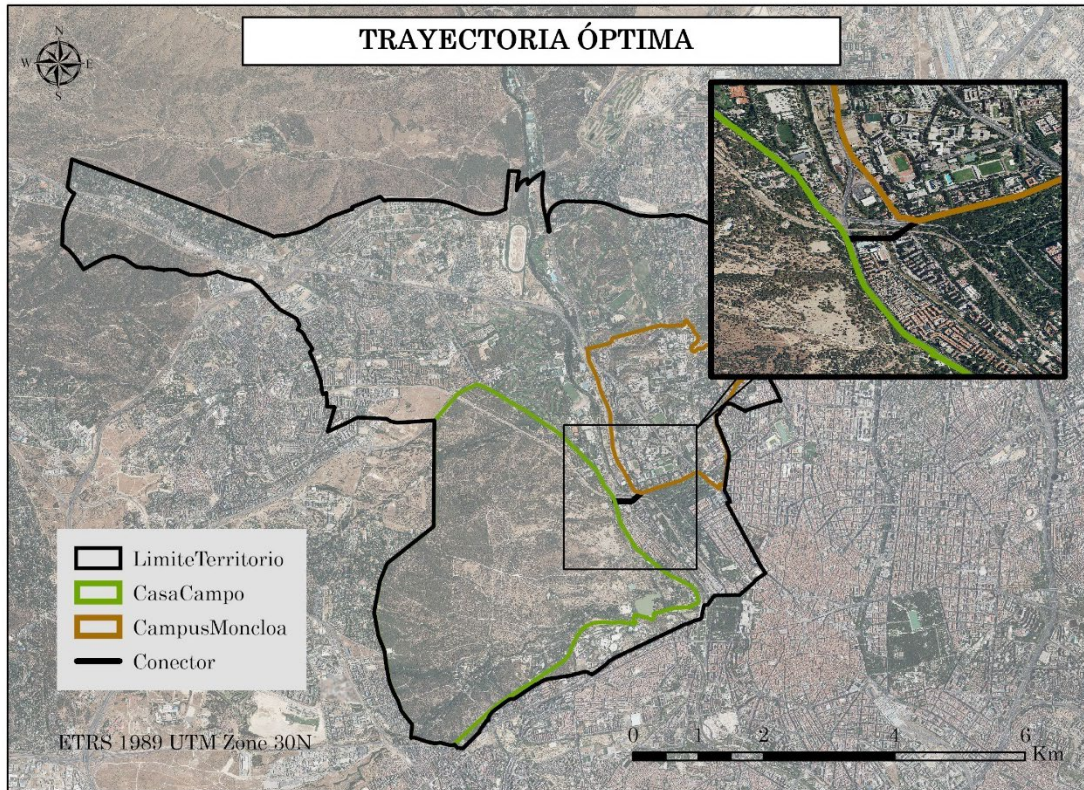


Figura 21. Mapa de costes reclasificados realizados por la cotorra argentina en su desplazamiento a través de los espacios considerados en el área de estudio. Elaboración propia.

Superponiendo el trazado vectorial o eje conector obtenido de la reclasificación del mapa de costes con los corredores generados, se puede determinar cuál de los corredores coincide con el trazado lineal y, por tanto, se consideraría el más apto o el que con mayor probabilidad sea utilizado por la especie en sus desplazamientos entre la Casa de Campo y el campus de la Ciudad Universitaria.

En la Figura 22 se puede observar que la ruta que supone un menor coste para la especie en sus movimientos dispersivos hacia el campus de la Ciudad Universitaria coincide con el corredor que abarca un 0,1% de la superficie total evaluada del área de estudio. Este eje atraviesa la carretera y no sigue una trayectoria completamente lineal, ya que se observa un leve ensanchamiento del eje y una ligera desviación de su trayectoria, coincidiendo con un área poblada de edificios, en dirección hacia el Parque del Oeste. Al tratarse de una especie voladora, las carreteras y los cursos de agua no representarían barreras tan limitantes en el desplazamiento a través del territorio, como si lo pueden constituir en el caso de especies terrestres, o al menos no se han encontrado referencias bibliográficas que así lo avalen. Sin embargo, es posible que prefieran evitar atravesar grandes autopistas, y moverse preferiblemente, a través de hileras de árboles, a la vez que esquivan grandes edificios.

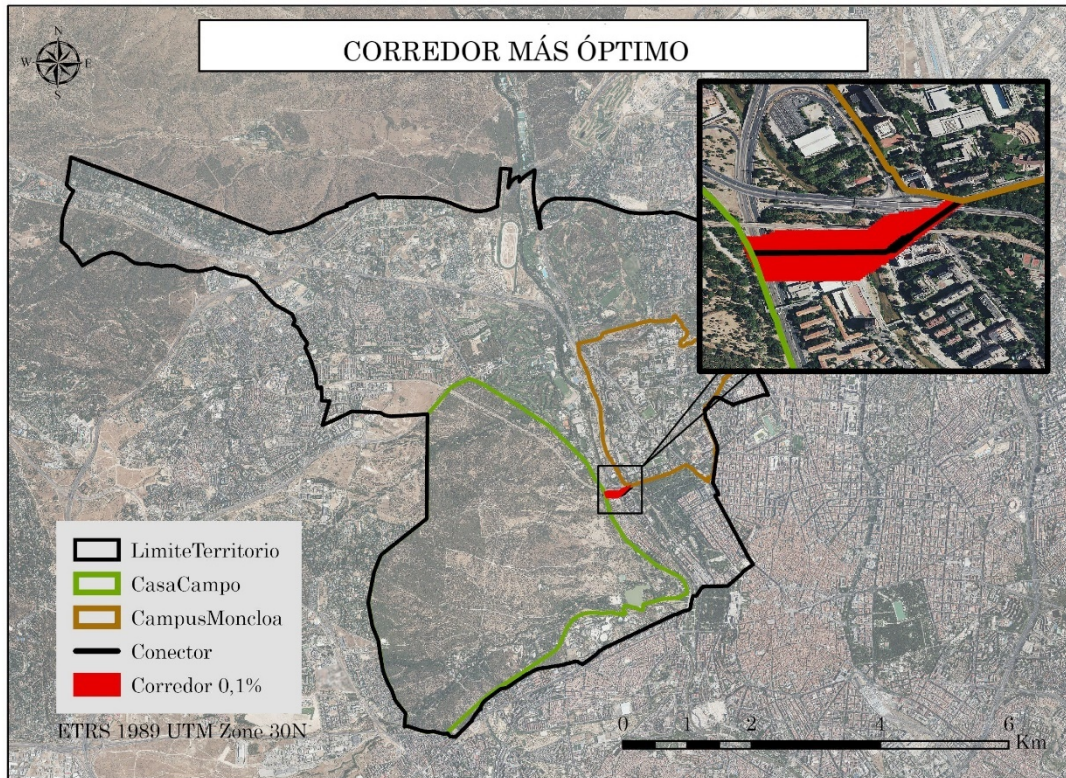


Figura 22. Mapa de costes reclasificados superpuesto con el corredor principal o de menor anchura, considerado óptimo. Elaboración propia.

En la Figura 23 se representan los corredores generados para la cotorra argentina en su desplazamiento entre la Casa de Campo y el campus de la Ciudad Universitaria. Tal y como se puede ver en la imagen, se obtuvieron un total de diez corredores con una anchura establecida en función del porcentaje que abarca cada corredor respecto a la superficie total analizada, para realizar la conexión entre la Casa de Campo y el campus de Ciudad Universitaria. Los valores de los diez corredores resultantes están comprendidos entre el 0,1% al 10% de la superficie total evaluada. El corredor principal y de menos anchura (0,1 %) aparece en rojo y el de máxima anchura en verde oscuro, es decir, la superficie de este corredor abarca un 10 % de la superficie que ocupan los dos espacios considerados.

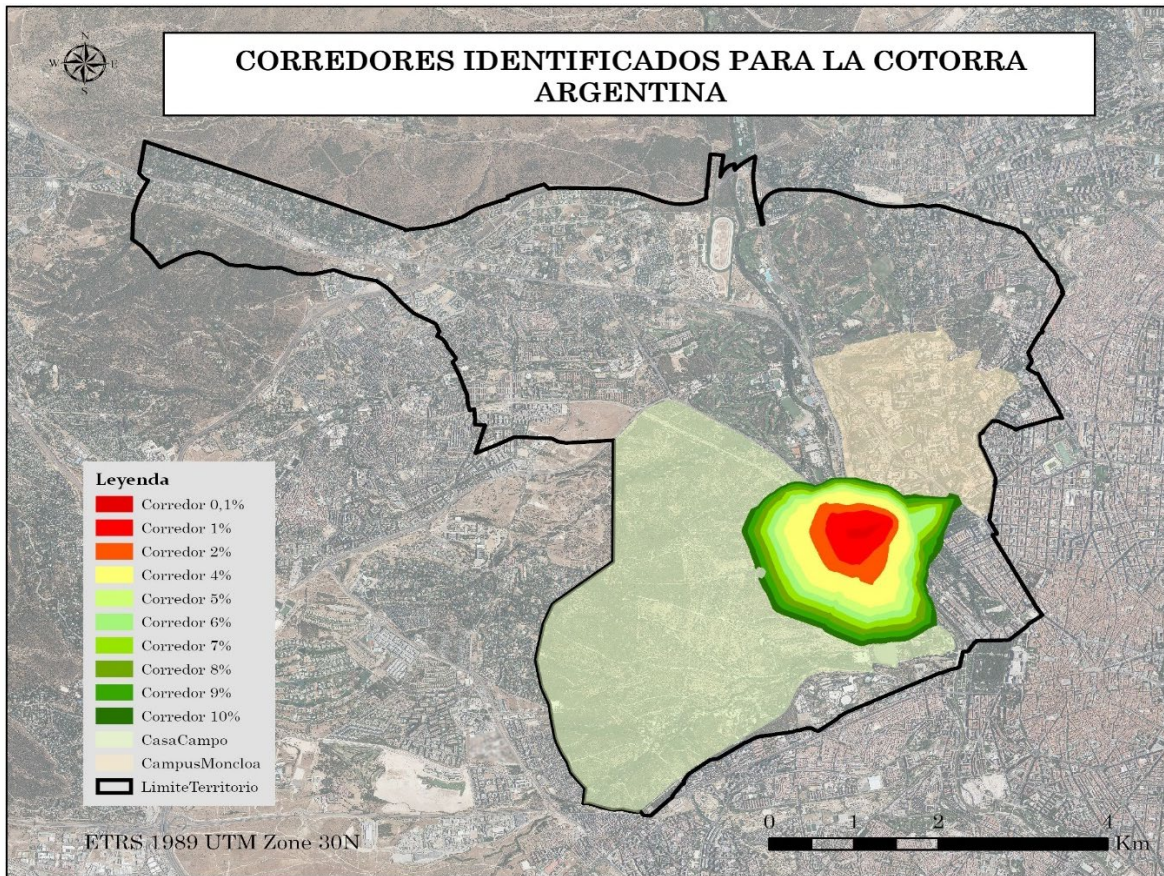


Figura 23. Corredores identificados para la cotorra argentina entre la Casa de Campo y el campus de Moncloa.

Como puede observarse en la Figura 24, cada corredor adquiere una trayectoria distinta en función de su anchura (proporción de superficie del corredor con respecto a la superficie total del terreno), abarcando aquellas zonas del territorio consideradas potenciales áreas de distribución para la especie (también denominados parches o manchas), y a través de los cuales se elaboran los trazados que simulan los corredores de la especie. En la Casa de Campo es donde se produce la mayor concentración de estos parches o manchas y, por tanto, la anchura de los corredores es considerablemente mayor en esa zona. Sin embargo, se observa un claro estrechamiento de los corredores en su trayectoria hacia el campus de la Ciudad Universitaria debido a la inferioridad de parches recogidos en esta zona con respecto a la Casa de Campo.

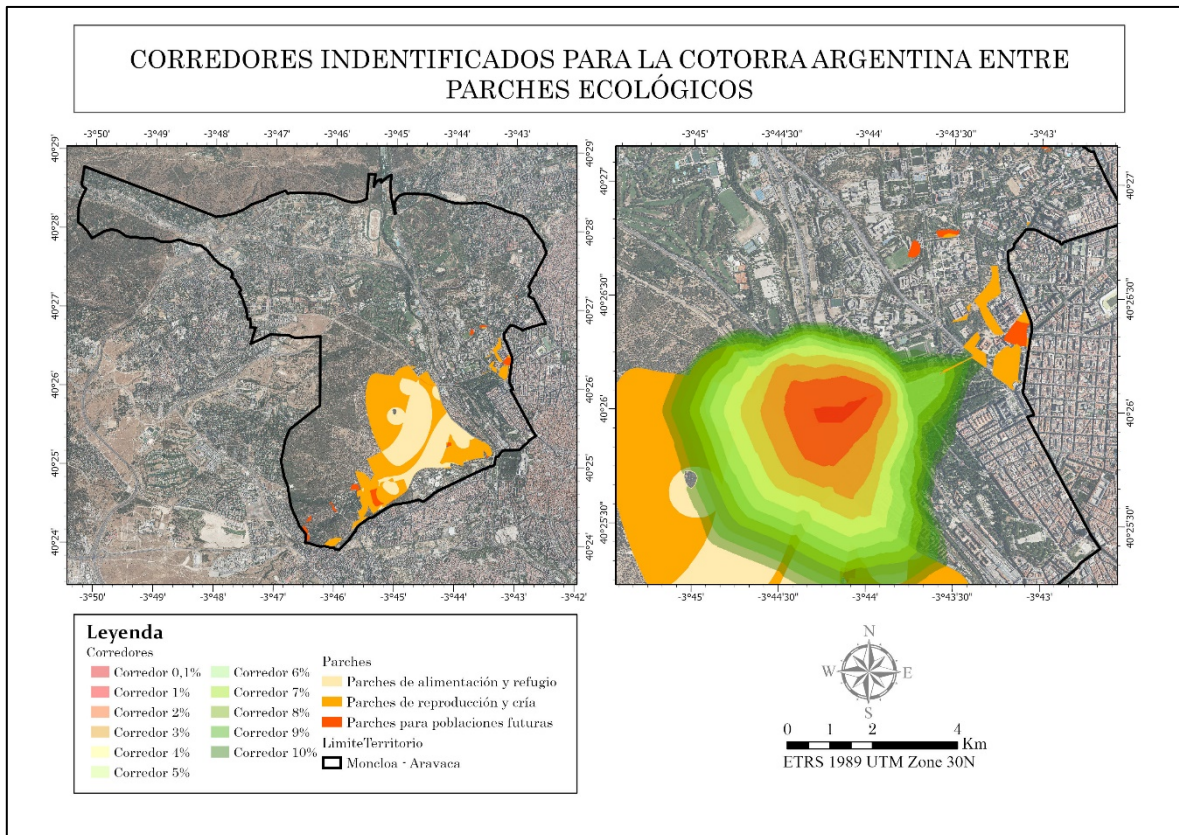


Figura 24. Corredores generados para la cotorra argentina entre los parches localizados en la Casa de Campo y el campus de Moncloa.

## 8. DISCUSIÓN

Los resultados más remarcables de este trabajo fueron la obtención de un modelo de aptitud o idoneidad de hábitat de la EEI *Myiopsitta monachus* y las potenciales vías de entrada (corredores ecológicos) de esta especie en el campus de Ciudad Universitaria.

Con relación al modelo de aptitud territorial de la especie estudiada se debe resaltar que la actividad y sobre todo la presencia humana, han sido un factor de gran relevancia a la hora de determinar las cualidades del territorio. Este factor se ha reflejado a través de la densidad de población y el porcentaje de personas mayores de 65 años (Muñoz *et al.*, 2006; Rodríguez *et al.*, 2012; Molina *et al.*, 2016). La actividad humana favorece la fuga y liberación de ejemplares (Lever, 2005; Muñoz *et al.*, 2006), los cuales han podido adaptarse y beneficiarse, tanto de los recursos alimentarios derivados de las plantas ornamentales y exóticas presentes en los parques y jardines de las grandes ciudades (Strubbe y Matthysen, 2011) como de los proporcionados por las personas mayores y, de otros derivados de la presencia humana (Lefebvre *et al.*, 2004; Montalvo y Senar, 2006; Sol, 2007; Carrillo-Ortiz, 2009; Rodríguez *et al.*, 2012). La disponibilidad de árboles sobre los que nidificar y

obtener alimento, también ha resultado ser un factor indispensable en la determinación de la aptitud territorial (Carrillo-Ortiz, 2009; Martín Pajares, 2006; Rodríguez *et al.*, 2012), pues la falta de sustratos para nidificar es la principal causa que promueve la dispersión de la especie hacia otras zonas. (Bucher *et al.*, 1990).

Al tratarse de un estudio a pequeña escala desarrollado en una zona urbana del municipio de Madrid, se desestimó emplear variables topográficas como factor condicionante del hábitat (Rodríguez *et al.*, 2012). Las carreteras y los edificios, tampoco se incluyeron por tratarse de una especie voladora. Sin embargo, es probable que la densidad o porcentaje de edificios, así como de carreteras, podrían haber contribuido al enriquecimiento del modelo, ya que en otros estudios realizados con especies terrestres como el lince (Puerto y Muñoz, 2010), las carreteras constituyen importantes barreras que contribuyen a la fragmentación del hábitat donde se localiza la especie y producen una pérdida de la idoneidad del hábitat entre el 30 y el 50 % (Martín Ramos *et al.*, 2008). De igual forma, los edificios, en especial aquellos que se disponen formando manzanas compactas, podrían dejar un espacio insuficiente entre ellos donde establecer zonas verdes arboladas, que son las áreas preferidas por la cotorra para establecerse en entornos urbanos (Rodríguez *et al.*, 2012; Molina *et al.*, 2016). La calidad y cantidad de datos recogidos por otras variables ambientales como la densidad del arbolado también pueden haber derivado en una peor calidad del modelo de aptitud.

En cuanto al estudio de las potenciales vías de entrada de la cotorra argentina en el campus de la Ciudad Universitaria, se pudo determinar cuál podía ser la principal vía de entrada existente para esta especie, de acuerdo a sus movimientos de dispersión desde la Casa de Campo hacia el campus de Moncloa, por medio de la herramienta metodológica específica *Corridor Designer*. Esta herramienta facilita la identificación de franjas del territorio (corredores ecológicos) que favorecen el flujo de especies tanto de animales como de plantas (Gilbert-Norton *et al.*, 2010), así como la continuidad de los hábitats en áreas especialmente fragmentadas, produciendo un impacto positivo en la biodiversidad (Li *et al.*, 2021). Algunos de los estudios donde se aplica esta herramienta están asociados a especies terrestres gravemente amenazadas a causa de la fragmentación de sus hábitats (Puerto y Muñoz, 2010), entendiéndose el proceso de “fragmentación” como la transformación de un hábitat continuo en manchas de hábitat que varían en tamaño y configuración espacial y que contribuyen al aislamiento de las poblaciones de una especie (Fahrig, 2003). En estos casos, los corredores ecológicos pueden constituir herramientas efectivas para la conservación de la biodiversidad y la gestión de la vida silvestre (Chetkiewicz *et al.*, 2006), que facilitan la conectividad dentro de un hábitat fragmentado, favoreciendo la capacidad de los individuos de las poblaciones aisladas para migrar entre fragmentos de sus hábitats (Gilbert *et al.*, 1998), así como de otras especies, cuyos movimientos dispersivos pueden verse favorecidos por la presencia de corredores.

El corredor principal detectado en este trabajo se distribuye a través de zonas verdes urbanas, en términos del tipo de cobertura de suelo, donde la cotorra podría encontrar árboles para nidificar y forrajear y, a través de núcleos de población, como cabía esperar dada la estrecha relación entre la presencia de la especie y la actividad humana (Muñoz *et al.*, 2006; Rodríguez *et al.*, 2012; Molina *et al.*, 2016). En este tipo de áreas la cotorra encontrará una mayor disponibilidad de alimentos así como de agua, dada la cercanía del río Manzanares y la buena accesibilidad a otras fuentes de agua de origen artificial. La desviación de la trayectoria del eje conector observada coincide con la presencia de edificios, que pueden suponer una barrera para la especie en caso de encontrarse muy juntos y abarcar grandes extensiones, de ahí que suelen encontrarse en zonas más abiertas, mayormente arboladas y conectadas a través de hileras de árboles (Rodríguez Pastor, 2012; Molina *et al.*, 2016). Esto se refleja en la trayectoria del eje principal, el cual no sigue un recorrido completamente lineal, pues se desvía para atravesar una zona arbolada conectada con el Parque del Oeste, desde donde en principio, accedería a las manchas potenciales de hábitat situadas al suroeste del Campus.

El Parque de Oeste presenta extensas zonas pobladas por grandes cedros, así como por otras especies ornamentales que pueden servir de alimento y proporcionar los recursos necesarios para la construcción de los nidos de la especie. Esta zona constituye la tercera colonia entre las consideradas en el distrito de Moncloa-Aravaca, por detrás del Campo de Moro y de la Casa de Campo, en orden creciente de extensión y número de nidos encontrados (Martín Pajares, 2006). Los especímenes ya presentes en el Parque del Oeste, pueden ser el resultado de la expansión de la cotorra desde las otras dos colonias; desde la Casa de Campo, donde se localiza un importante núcleo reproductivo de la especie, dada la elevada cantidad de nidos y ejemplares contabilizados (Martín Pajares, 2006; Molina *et al.*, 2016; Nebreda *et al.*, n.d. ) y, que en este caso, podría corroborarse en base al tamaño y cantidad de manchas potenciales de hábitat obtenidas en este estudio dentro de la Casa de Campo (Fig. 21), o desde el Campo del Moro, donde se sabe de la existencia de nidos desde 1988 (Ojeda Gimeno, 2000).

En cualquier caso, una vez alcanzado el Parque Oeste, lo más probable es que la cotorra se asiente previamente en el parque, dado su bajo carácter dispersor (Sol *et al.*, 1997) e impulsada, no sólo por las condiciones favorables en cuanto a disponibilidad de alimento y árboles sobre los que nidificar, si no también, por la presencia de otros ejemplares. En consecuencia, sólo en el caso de superar la capacidad de carga del territorio se dispersaría hacia el campus de Ciudad Universitaria, utilizando hileras de árboles conectadas, y atraídas por otros especímenes. Por otro lado, hay que tener en cuenta, que la baja presencia de actividad humana podría derivar en una tendencia de expansión/colonización hacia otras áreas más pobladas y con mejores condiciones de habitabilidad lejos del campus, dada la elevada cantidad de manchas potenciales de hábitat que se localizan en el entorno próximo al Parque de Oeste.

Otra cuestión remarcable se relaciona estrechamente con la morfología de los corredores obtenidos en el análisis, ya que distan de simular franjas o transectos homogéneos más o menos lineales que conectan dos espacios, tal y como ocurre en otros estudios (Puerto y Muñoz, 2010). La cantidad y el tamaño de los parches (potenciales áreas para albergar a la especie) pueden ser algunos de los factores que han influido en la forma de los corredores obtenidos. Como ya se ha mencionado en apartados anteriores, los corredores se trazan para conectar y abarcar la mayor extensión de parches localizados en cada espacio considerado en el análisis de conectividad (Casa de Campo y campus de Moncloa). Esta conexión se realiza de forma jerárquica priorizando el enlace de los parches de máxima aptitud para la especie (Mjaka *et al.*, 2007). En la Casa de Campo la cantidad y tamaño de parches de máxima aptitud es notoriamente superior con respecto al campus de Moncloa, por lo que la superficie de los corredores generados en la Casa de Campo debe ser lo suficientemente extensa como para poder abarcar los parches que allí se localizan, mientras que, en el campus, la cantidad y tamaño mínimo de los parches no requieren de extensiones tan amplias de los corredores. Todo esto se traduce en un claro estrechamiento de las franjas que simulan los corredores en su trayectoria desde la Casa de Campo hacia el campus de Moncloa. A este hecho puede sumarse un posible fallo producido durante la ejecución de la extensión “*Create a Corridor Model*”, de manera que no se hayan considerado todos los parches necesarios a la hora de generar los franjas que imitan los corredores. De hecho, en la Figura 21, se puede advertir que en el campus de Moncloa quedan parches sin abarcar por los corredores.

Las propiedades físicas (anchura y longitud) y la calidad de los corredores, en términos de aptitud territorial, son factores que también deben remarcarse, ya que pueden determinar en gran medida los movimientos dispersivos de una especie a través de los corredores ecológicos, sobre todo la calidad de los corredores (Bennett *et al.*, 1994; Rantalainen *et al.*, 2005). Los corredores de mejor calidad pueden aumentar las probabilidades de dispersión de una especie y aumentar su tamaño poblacional (Li *et al.*, 2021), mientras que una calidad deficiente de los corredores puede derivar en un aumento de la mortalidad durante la dispersión (Christie y Knowles, 2015). El efecto de las propiedades físicas de los corredores no está tan estudiado como la calidad de estos, ya que existen discrepancias con respecto a si la anchura y la longitud de los corredores pueden o no tener efectos significativos sobre la capacidad de dispersión de una especie a través de corredores ecológicos. Por ejemplo, en un experimento realizado a gran escala por Haddad (1999) observaron que los corredores de menor longitud se empleaban con mayor asiduidad para el desplazamiento entre parches, mientras que Tischendorf y Wissel (1997) mostraron que la probabilidad de dispersión de animales pequeños utilizando corredores aumenta con la anchura de estos. En contraposición a estos experimentos, existen otros estudios (Ives *et al.*, 2011) que afirman que las propiedades físicas del corredor no tienen un efecto determinante sobre la dispersión, pues influyen otros aspectos como la propia capacidad dispersiva de la especie.

Por este motivo, en este estudio se considera que las propiedades físicas de los corredores están proporcionando información acerca de las distancias que podría recorrer la especie al dispersarse entre los espacios considerados hasta encontrar un hábitat en el que establecerse. Los corredores más estrechos y de menor longitud, es decir, los que abarcan un porcentaje menor de la superficie del terreno evaluada, se trazan para conectar prioritariamente los parches de máxima aptitud para la especie, por lo que la probabilidad de que atraviesen zonas de perturbación es baja y, por tanto, su calidad es considerablemente alta. Además, coinciden con el área mínima o de menor coste en desplazamiento por donde se mueve la cotorra hacia estas manchas potenciales de hábitat. Los corredores más anchos y de mayor longitud pueden interpretarse como alternativas o apoyos en el desplazamiento ante el surgimiento de posibles barreras o zonas de perturbación, aunque puedan llegar a discurrir por zonas de baja idoneidad y, por ello su calidad sea mucho más deficiente, además suponen un mayor coste en desplazamiento para la especie. En resumen, cuanto mayor sean la anchura y longitud de los corredores y/o de peor calidad, lo más probable es que sólo unos pocos individuos los utilicen para la colonización de nuevos hábitats, pudiendo derivar en cambios en estructura del tamaño poblacional (Filin y Ovadia, 2007; Ozgul *et al.*, 2012).

Por otro lado, debe tenerse en cuenta que los corredores se establecen entre dos puntos (polígonos), de origen y de destino; en este caso entre la Casa de Campo y el campus de Moncloa, dos espacios que se encuentran relativamente próximos entre sí. Este hecho, supone una limitación para la especie con respecto a las posibles rutas de desplazamiento a realizar y, por tanto, puede no ser una representación fiel, de su dispersión en la naturaleza. Además, tampoco es posible saber cómo se desplaza la especie a través del territorio, sólo podemos dilucidar la posible trayectoria en su desplazamiento entre los dos espacios considerados. Para ello, sería necesario realizar un estudio más exhaustivo, complementado con trabajo de campo.

En última instancia, se valora la aplicabilidad del estudio en la lucha contra las EEI. El modelo de corredores obtenido para la cotorra argentina favorece la identificación de potenciales zonas del campus de Moncloa donde la especie encuentra unas condiciones óptimas para su desarrollo, así como de las principales vías que puede emplear en su desplazamiento desde la Casa de Campo. Estas zonas constituyen zonas de elevado riesgo de aparición de la especie, por lo que su identificación puede contribuir significativamente a la puesta en marcha de estrategias de detección temprana de la especie, recogidas en el Real Decreto 630/2013, de 2 de agosto, por el que se regula el Catálogo español de especies exóticas invasoras. Es sabido que las EEI pueden causar problemas ecológicos y económicos en los lugares donde se establecen. Al establecerse pueden competir por alimento con especies nativas, pueden hibridarse, transformar y destruir el hábitat de estas especies y pueden ser portadoras de enfermedades y parásitos transmisibles, que inclusive

pueden llegar a exterminar poblaciones nativas amenazando la biodiversidad de un sitio (Vitouseck *et al.*, 1997, Álvarez-Romero *et al.*, 2008).

## 9. CONCLUSIONES Y FUTURAS VÍAS DE INVESTIGACIÓN

El uso de herramientas especialmente diseñadas para la modelización biológica de especies, como es el caso de *Corridor Designer*, demuestra el alto grado de aplicabilidad de las Tecnologías de la Información Geográfica (TIG) en cuestiones relacionadas con el medio ambiente, la biología y la ordenación y gestión del territorio. En concreto, los resultados del trabajo permiten considerar a esta herramienta idónea para la determinación objetiva de corredores ecológicos funcionales, útiles para el estudio del movimiento de especies de fauna, tanto con fines de conservación como de control biológico o vías de invasión biológica.

El modelo de aptitud territorial elaborado, usando variables demográficas y ambientales, evidencia que el campus de Ciudad Universitaria presenta zonas sensibles (aptas) para la llegada y asentamiento de la cotorra argentina. Este resultado es relevante para la gestión de la biodiversidad del campus, objetivo central del Plan de Infraestructura Verde de la UCM. La calidad del modelo depende de la selección de las variables ambientales y otros factores condicionantes de la presencia de la especie en un territorio y se debe tener en cuenta que la información acerca de la biología de la especie sea lo más detallada posible y, preferiblemente, convendría que fuera consensuada por un comité multidisciplinar de expertos.

En este Trabajo Fin de Máster se detectaron diferentes (en longitud y anchura) corredores potenciales para la llegada de la cotorra argentina al campus, identificándose el más probable de ser usado en función del porcentaje de superficie ocupada del territorio. Estos corredores deben considerarse como una aproximación dinámica, abierta a múltiples aportaciones y mejoras del movimiento dispersivo de la especie entre los espacios considerados y, no como una representación fiel de los desplazamientos de la especie en la naturaleza a través del territorio. De igual forma, los corredores deben interpretarse como una ruta cuyo recorrido se genera a partir de la conexión entre manchas potenciales de hábitat y no como una zona continua del territorio construida en base a criterios óptimos de coberturas del suelo, de densidad del arbolado o de otras variables consideradas.

En cuanto a la aplicación de los resultados del estudio, el modelo de corredores obtenido para la cotorra argentina puede facilitar la puesta en marcha de estrategias de gestión y prevención de EEI, al posibilitar la identificación, tanto de las potenciales vías de entrada de la cotorra argentina al campus de Moncloa como de las zonas que constituyen hábitats

potenciales para la especie, favoreciendo así la focalización de las estrategias de actuación pertinentes sobre las áreas identificadas. En próximos estudios se debería ampliar las variables con conforman el modelo (por ejemplo, incluir densidad de carreteras y edificios) ajustar los criterios de ponderación de las variables del modelo con el consenso de un grupo de expertos de distintas disciplinas, así como llevar a cabo trabajos de campo que permitan calibrar los resultados de los modelos de aptitud obtenidos.

## 10. BIBLIOGRAFÍA

Aguirre, J., Banda, E., Cabrero, F., Caro, E., Gil, D., Grezchnik, S. y Molina, J. (2018): Plan Estratégico de la Biodiversidad del Campus Moncloa. Universidad Complutense de Madrid. Grupo de Seguimiento de Biodiversidad UCM, Departamento de Biodiversidad, Ecología y Evolución.

Álvarez-Romero, J. G., Medellín, R. A., Oliveras de Ita, A., Gómez de Silva, H. y Sánchez, O. (2008). Animales exóticos en México: una amenaza para la biodiversidad. *CONABIO-INECOLUNAM-SEMARNAT*. México. D.F.

Batllori, X. y Nos, R. (1985). Presencia de la Cotorrita gris (*Myiopsitta monachus*) y de la Cotorrita de collar (*Psittacula krameri*) en el Área metropolitana de Barcelona. *Miscellanea Zoologica*, 9: 407-411.

Belinchón Navarro, C., Grande Pardo, C., Guil López, N., Olmedo Hernández, S., Ruiz Gil, M. P. y De Juana Aranzana, E. (1999). Situación de la Cotorra Argentina (*Myiopsitta monachus*) en la ciudad de Madrid 1998. *Anuario Ornitológico de Madrid*, 1998: 64-71.

Bennett A. F., Henein, K. y Merriam, G. (1994). Corridor use and the elements of corridor quality: chipmunks and fencerows in a farmland mosaic. *Biol Cons*, 68: 155–165.

BOE. (2007). LEY 42/2007, de 13 de diciembre, del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad. *Boletín oficial del Estado*, 299: 51275- 51327.

BOE. (2011). Real Decreto 1628/2011, de 14 de noviembre, por el que se regula el listado y catálogo español de especies exóticas invasoras. *Boletín oficial del Estado*, 298: 132711-132735.

Bucher, E. H. y Martín, L. F. (1987). Los nidos de cotorras (*Myiopsitta monachus*) como causa de problemas en líneas de transmisión eléctrica. *Vida Silvestre Neotropical*, 1: 50-51.

Bucher, E. H.; Martín, L. F.; Martella, M. B. y Navarro, J. L. (1990). Social behaviour and population dynamics of the Monk Parakeet. En: *Proceedings of the 20th International Ornithological Congress*, 2: 681-689. Christchurch. Nueva Zelanda.

Capdevila-Argüelles L., Zilletti, B. y Suárez Álvarez, V.A. (2011). Cambio climático y especies exóticas invasoras en España. Diagnóstico preliminar y bases de conocimiento sobre impacto y vulnerabilidad. Oficina Española de Cambio Climático, Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. Madrid, 146 págs.

Capdevilla-Argüelles, L., Zilletti, B. y Suarez, V.A. (2013). Causas de la pérdida de biodiversidad: Especies exóticas invasoras, *Memorias R. Soc. Esp. Hist. Nat.*, 2º ép., 10: 55-75.

Carrillo-Ortiz, J. (2009). Dinámica de poblaciones de la cotorra de pecho gris (*Myiopsitta monachus*) en la ciudad de Barcelona. *Ph. D. Thesis*. Universidad de Barcelona.

Chetkiewicz C-L.B., St-Clair C.C. y Boyce M. (2006). Corridors for conservation: integrating pattern and process. *Annu Rev Ecol Evol Syst*, 37: 317–342

Conroy, M. J. y Senar, J. C. (2009). Integration of demographic analyses and decision modelling in support of management of invasive monk parakeets, and urban and agricultural pest. *Environmental and Ecological Statistics*, 3: 491–510.

Christie M. R. y Knowles L. L. (2015). Habitat corridors facilitate genetic resilience irrespective of species dispersal abilities or population sizes. *Evol Appl*, 8: 454–463.

Distrito Moncloa-Aravaca. Datos históricos (n.d). Ayuntamiento de Madrid. Disponible en: <https://www.madrid.es/portales/munimadrid/es/Inicio/El-Ayuntamiento/Moncloa-Aravaca/Moncloa-Aravaca/?vgnnextfmt=default&vgnnextoid=2e47d639340b8010VgnVCM100000dc0ca8c0RCRD&vgnnextchannel=e9a3ca5d5fb96010VgnVCM100000dc0ca8c0RCRD>.

Fecha de consulta: 30 de agosto de 2021

Domènech, J., Carrillo, J. y Senar, J. C. (2003). Population size of the Monk Parakeet *Myiopsitta monachus* in Catalonia. *Revista Catalana d'Ornitologia*, 20: 1-9.

Fahrig, L. (2003). Effect of habitat fragmentation on biodiversity. *Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics*, 34: 487-515.

García, F. J. y Verdú, M. (1991). Cotorrita gris (*Myiopsitta monachus*). Atlas de las Aves Nidificantes de la Comunidad Valenciana. Conselleria d'Agricultura y Pesca. Generalitat Valenciana. Valencia.

Genovesi, P. y Shine, C. (2004). European Strategy on Invasive Alien Species. *Nature and Environment*, 137: 67. Council of Europe Publishing. Strasbourg.

Gilbert, F., Gonzalez, A. y Evansfreke I. J. (1998). Corridors maintain species richness in the fragmented landscapes of a microecosystem. *Proc R Soc B Biol Scç*.

Gilbert-Norton, L., Wilson, R., Stevens, J. R. y Beard K. H. (2010). A metaanalytic review of corridor effectiveness. *Conserv Biol*, 24: 660– 668.

Gomez, M. y Alcalá, E. (1999). Cotorra gris de Argentina, una mascota que cría en libertad. *Quercus*, 158: 14-19.

Gurrutxaga San Vicente, M. (2005). Red de corredores ecológicos de la Comunidad Autónoma de Euskadi. Departamento de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio. Gobierno Vasco.

Gurrutxaga San Vicente, M y Lozano Valencia, P J. (2008). Evidencias sobre la eficacia de los corredores ecológicos: ¿solucionan la problemática de la fragmentación del hábitat? *Observatorio Medioambiental*, 11.

Haddad N.M. (1999). Corridor and distance effects on interpatch movements: a landscape experiment with butterflies. *Ecol Appl* 9: 612–622.

IUCN. (2000). IUCN Guidelines for the Prevention of Biodiversity Loss Caused by Alien Invasive Species. SSC Invasive Species Specialist Group. Approved by the 51st Meeting of the IUCN Council, Gland Switzerland. February 2000.

Ives C. D, Hose G. C., Nipperess D. A., Taylor M. P., (2011). The influence of riparian corridor width on ant and plant assemblages in northern Sydney, Australia. *Urban Ecosyst* 14:1–16.

Jiménez López, M.A. (2007). Habitat modelling in support of corridor design for the iberian lynx. Master Thesis. Utrecht University. Utrecht.

Kettunen, M., Genovesi, P., Gollasch, S., Pagad, S., Starfinger, U. ten Brink, P. y Shine, C. (2008). Technical support to EU strategy on invasive species (IAS) - Assessment of the impacts of IAS in Europe and the EU (final module report for the European Commission). Institute for European Environmental Policy (IEEP). Brussels, Belgium.

Lefebvre, L., Reader, S. M. y Sol, D. (2004). Brains, innovations and evolution in birds and primates. *Brain, Behavior and Evolution*, 63: 233–246.

- Lever, C. (2005). *Naturalised Birds of the World. Ty A D Poyser*. Londres.
- Li, D., Clements, C., Shan, I. y Memmott, J. (2021). Corridor quality affects net movement, size of dispersers, and population growth in experimental microcosms. *Oecologia*, 195: 547-556.
- Magro Ruiz, S., Méndez Márquez, A., Martínez Pérez, C. y Mesa Ruiz, V. (2021). Plan Estratégico Complutense de Infraestructura Verde de los Campus de Ciudad Universitaria y Somosaguas. Departamento de Proyectos de Creando Redes S.L.
- Majka, D., Jenness, J. y Beier, P. (2007). Corridor Designer: ArcGIS tools for designing and evaluating corridors. Obtenido de: <http://corridordesign.org>
- Mapa de ruido 2006: Distrito 09 Moncloa-Aravaca (n.d.). Disponible en: [https://www.madrid.es/UnidadesDescentralizadas/Sostenibilidad/Ruido/MapaRuido/MapaRuido2006/Ficheros/Distrito\\_09\\_Moncloa\\_Aravaca.pdf](https://www.madrid.es/UnidadesDescentralizadas/Sostenibilidad/Ruido/MapaRuido/MapaRuido2006/Ficheros/Distrito_09_Moncloa_Aravaca.pdf). Fecha de consulta: 30 de agosto de 2021.
- Martella, M. B. (1985). Observaciones sobre el comportamiento de la cotorra *Myiopsitta monachus* con especial énfasis en la comunicación sonora. *Ph. D.* Universidad de Córdoba. Córdoba.
- Martín, L. F. y Bucher, E. H. (1993). Natal dispersal and first breeding age in Monk Parakeets. *Auk*, 110: 930-933.
- Martín Ramos, B., Ortega Pérez, E., Mancebo Quintana, S. y Otero Pastor, I. (2008). Fragmentación de los hábitats de la Red Natura 2000 afectados por el PEIT (Plan Estratégico de Infraestructuras y Transporte). *GeoFocus*, 8: 44-60.
- Martín Pajares, M. (2006). La cotorra argentina (*Myiopsitta monachus*) en la ciudad de Madrid: expansión y hábitos de nidificación. *Anuario Ornitológico de Madrid*, 2005: 76 - 95. *SEOMonticola*. Madrid.
- Molina, B., Postigo, J. L., Muñoz, A. R. y Del Moral, J. C. (2016). La cotorra argentina en España, población reproductora en 2015 y método de censo. *SEO/BirdLife*. Madrid.
- Muñoz, A. R. y Real, R. (2006). Assessing the potential range expansion of the exotic monk parakeet in Spain. *Diversity and Distributions*, 12: 656–665
- Nebreda, A., Escudero, E. y Del Moral, J.C. (n.d.). Censo de cotorra argentina en el municipio de Madrid (2019). Informe inédito. *SEO/BirdLife*. Madrid.

Ojeda Gimeno, F. (2000). Cotorra Argentina (*Myiopsitta monachus*). Lista Sistemática. *Anuario Ornitológico de Madrid*, 1999: 197.

Pascual, P. y Aparicio, R. J. (1990). *Myiopsitta monachus*. Noticiario Ornitológico. *Ardeola*, 37: 342.

Puerto Marchena, A. y Muñoz Reinoso, J.C. (2010). Red de conectores ecológicos para el lince ibérico en la provincia de Huelva. En: Ojeda, J., Pita, M.F. y Vallejo, I. (Eds.), *Tecnologías de la Información Geográfica: La Información Geográfica al servicio de los ciudadanos*. Secretariado de Publicaciones de la Universidad de Sevilla. Sevilla. Pp. 1.028-1.038. ISBN: 978-84-472-1294-1.

Rantalainen, M.L., Fritze, H., Haimi, J., Pennanen, T. y Setälä, H. (2005). Species richness and food web structure of soil decomposer community as affected by the size of habitat fragment and hábitat corridors. *Glob Change Biol*, 11: 1614-1627.

Rodríguez-Pastor, R., Senar, J. C., Ortega, A., Faus, J., Uribe, F. y Montalvo, T. (2012). Distribution patterns of invasive Monk parakeets (*Myiopsitta monachus*) in an urban habitat. *Anim. Biodivers. Conserv.*, 35: 107-117.

Román-Muñoz, A. y Ferrer, X. (1997). Cotorra argentina (*Myiopsitta monachus*). *Atlas de las Aves de España (1975-1995)*: 248- 249. Lynx Edicions. Barcelona.

Santos, D. M. (2005). *Myiopsitta monachus*. Fichas de aves introducidas en España. Disponible en: [http://www.seo.org/media/docs/F\\_Myiopsitta\\_monachus.html](http://www.seo.org/media/docs/F_Myiopsitta_monachus.html) (actualización del 25.10.2005). Fecha de consulta: 10 de junio 2021.

Senar, J. C., Carrillo, J., Arroyo, L., Montalvo, T. y Peracho, V. (2009). Estima de la abundancia de paloma (*Columbia livia* var.) de la ciudad de Barcelona y valoración de la efectividad de control por la eliminación de individuos. *Arxius de Miscellània Zoològica*, 7: 62–72.

Sol, D. (2007). Do successful invaders exit? Pre-adaptations to novel environments in terrestrial vertebrates. *Biological invasions*: 127-141 .Springer editions, Heidelberg.

Sol, D. y Santos, D. M. (1995). Ecología de la cotorra de pit gris a Barcelona: colonització i selecció de l'hàbitat. Informe inédito. Ayuntamiento de Barcelona. Barcelona.

Sol, D., Santos, D. M., Feria, E. y Clavell, J. (1997). Habitat selection by the Monk Parakeet during colonization of a new area in Spain. *The Condor*, 99: 39-46.

Strubbe, D. y Matthysen, E. (2009). Establishment success of invasive ring-necked and monk parakeets in Europe. *Journal of Biogeography*, 36: 2264–2278.

Strubbe, D. y Matthysen, E. (2011). A radiotelemetry study of habitat use by the ring-necked Parakeet *Psittacula krameri* in Belgium. *IBIS*, 153: 180–184.

Taylor, P.D., L. Fahrig, K. Henein y Merriam, G. (1993). Connectivity is a vital element of landscape structure. *Oikos* 68(3): 571–572.

Temple, S. A. (1992). Exotic birds: a growing problema with no easy solution. *The Auk*, 109: 395-396.

Tischendorf, L. y Wissel, C. (1997). Corridors as conduits for small animals: attainable distances depending on movement pattern, boundary reaction and corridor width. *Oikos*.

Vitousek, P. M., Mooney, H. A., Lubchenco, J. & Melillo, J. M. (1997). Human domination of earth's ecosystem. *Science*, 277: 494-499.

## REFERENCIAS

Enlaces a los repositorios o páginas web de descarga de capas de información geográfica:

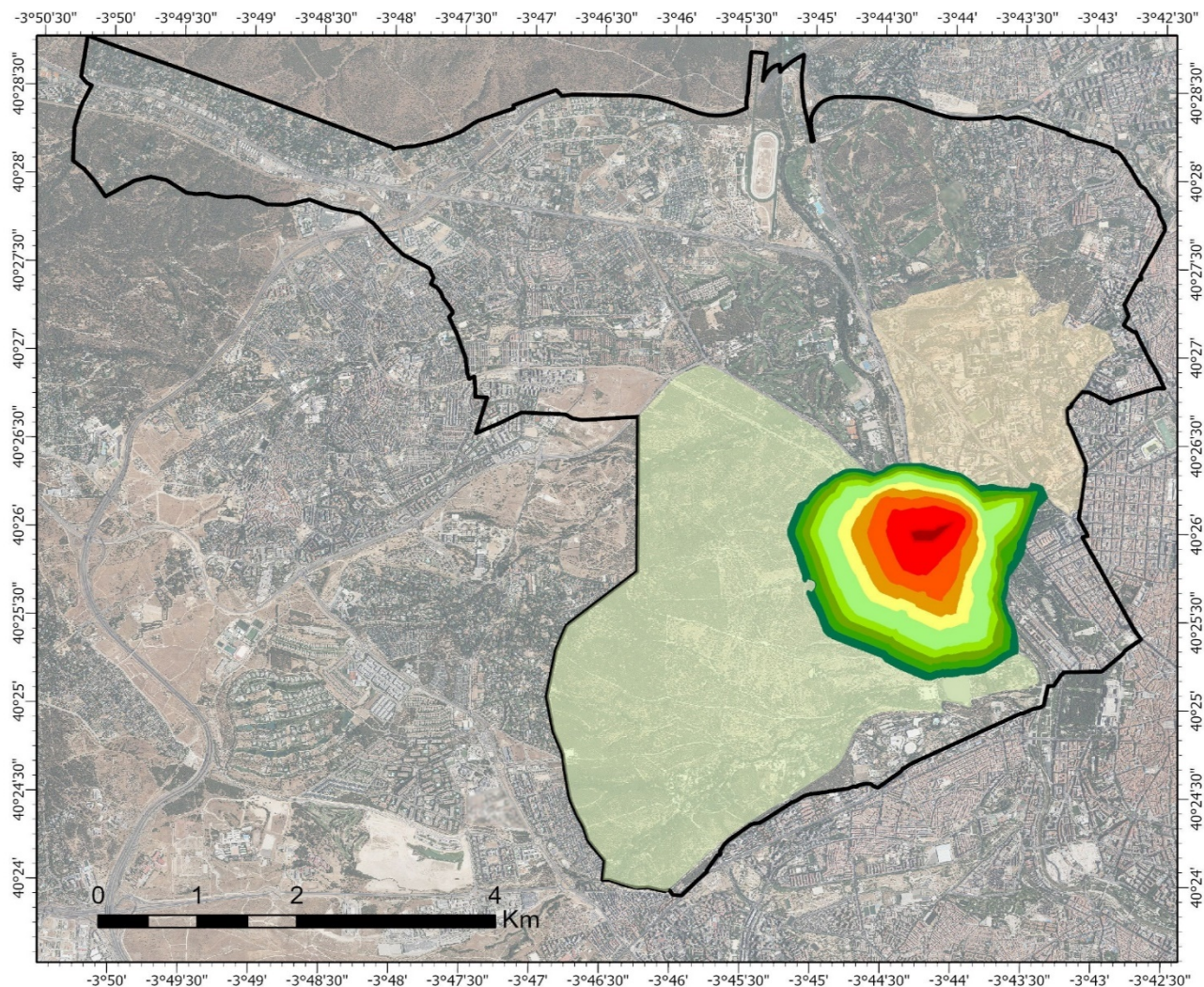
- Aplicación “Un Alcorque un Árbol”:  
[http://www-2.munimadrid.es/DGPVE\\_WUAUA/welcome.do](http://www-2.munimadrid.es/DGPVE_WUAUA/welcome.do)
- Banco de datos Madrid:  
<http://www-2.munimadrid.es/TSE6/control/seleccionDatosSeccion>
- Centro de Descargas del Centro Nacional de Información Geográfica (CNIGN) del Instituto Geográfico Nacional (IGN):  
<https://centrodedescargas.cnig.es/CentroDescargas/busquedaSerie.do?codSerie=02113#>
- Corridor Design:  
<http://corridordesign.org/downloads>
- Geoportal del Ayuntamiento de Madrid:  
[https://geoportal.madrid.es/IDEAM\\_WBGEOPORTAL/detalle.iam?id=f54b53e2-44b3-11e9-936d-ecb1d753ec29](https://geoportal.madrid.es/IDEAM_WBGEOPORTAL/detalle.iam?id=f54b53e2-44b3-11e9-936d-ecb1d753ec29)
- Geoportal de Infraestructura de Datos Espaciales (IDEE):  
<https://www.idee.es/>
- Sede Electrónica del Catastro:  
<https://www1.sedecatastro.gob.es/Cartografia/mapa.aspx>

## 11. ANEXOS

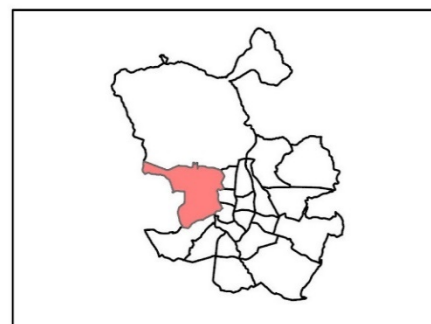
En este apartado se representan los corredores identificados en este estudio para la cotorra argentina a una mayor resolución.

- **ANEXO I:** Corredores identificados para la cotorra argentina entre la Casa de Campo y el Campus de Moncloa.
- **ANEXO II:** Corredores de mínima y máxima anchura identificados para la cotorra argentina entre la Casa de Campo y Campus de Moncloa.
- **ANEXO III:** Corredores identificados para la cotorra argentina entre potenciales áreas de distribución de la especie.

# ANEXO I



- Corredor 0,1%
- Corredor 1%
- Corredor 2%
- Corredor 3%
- Corredor 4%
- Corredor 6%
- Corredor 7%
- Corredor 8%
- Corredor 9%
- Corredor 10%
- Casa Campo
- Campus Moncloa
- Limite Territorio



## Corredores identificados para la cotorra argentina



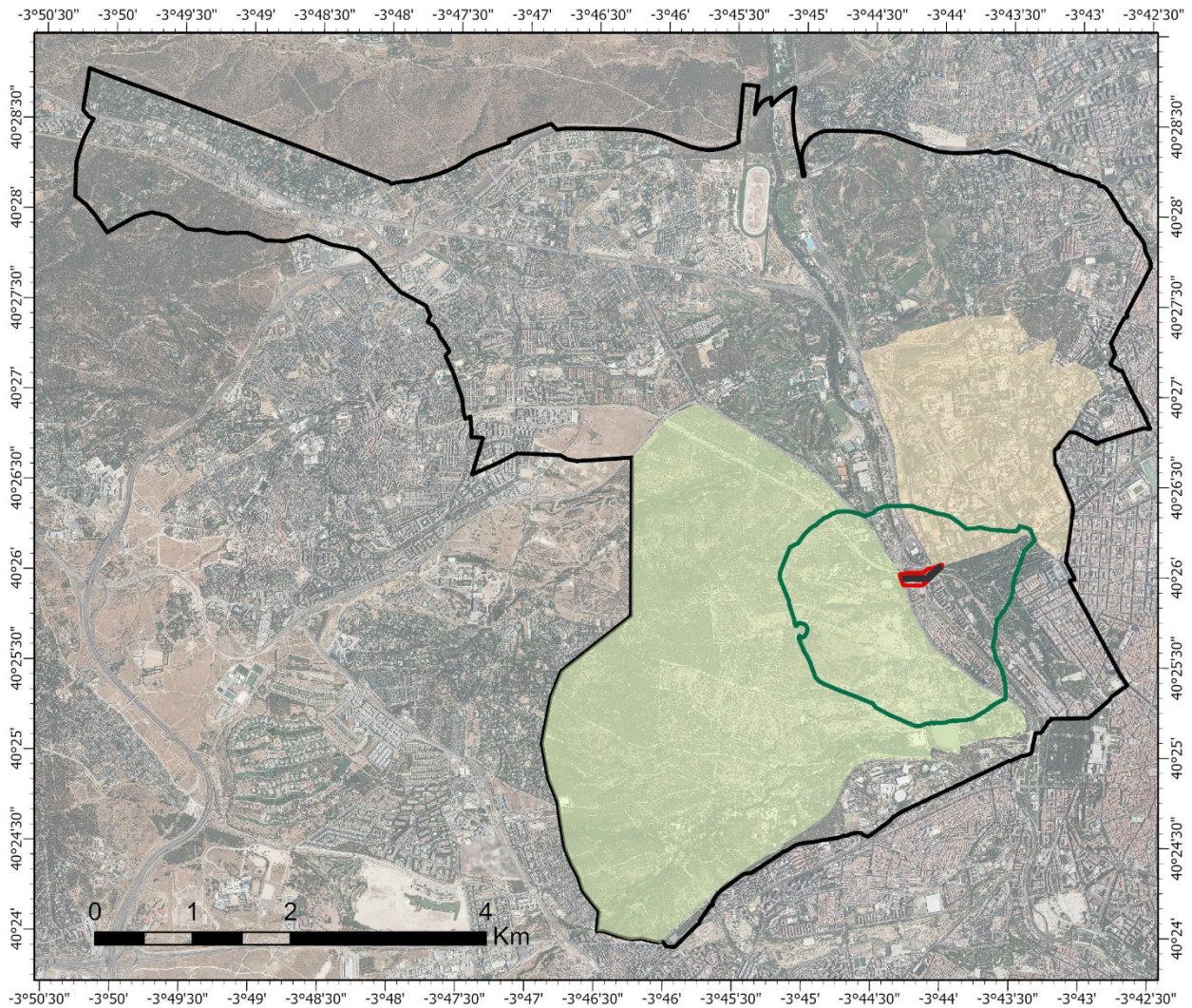
**Elaborado por:** Alejandra López Álvarez







**Referencia espacial:** ETRS 1989 UTM Zone 30 N

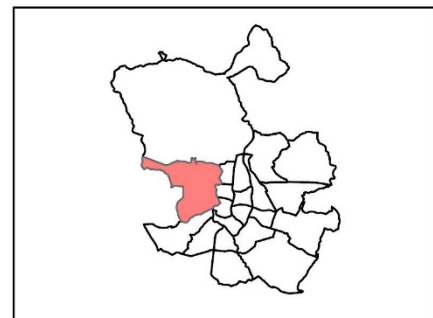
**Ubicación Geográfica:** Distrito de Moncloa-Aravaca, Madrid (España)

**Fecha:** Septiembre, 2021

## ANEXO II



-  Conector
-  Corredor 0,1%
-  Corredor 10%
-  CasaCampo
-  CampusMoncloa
-  LimiteTerritorio



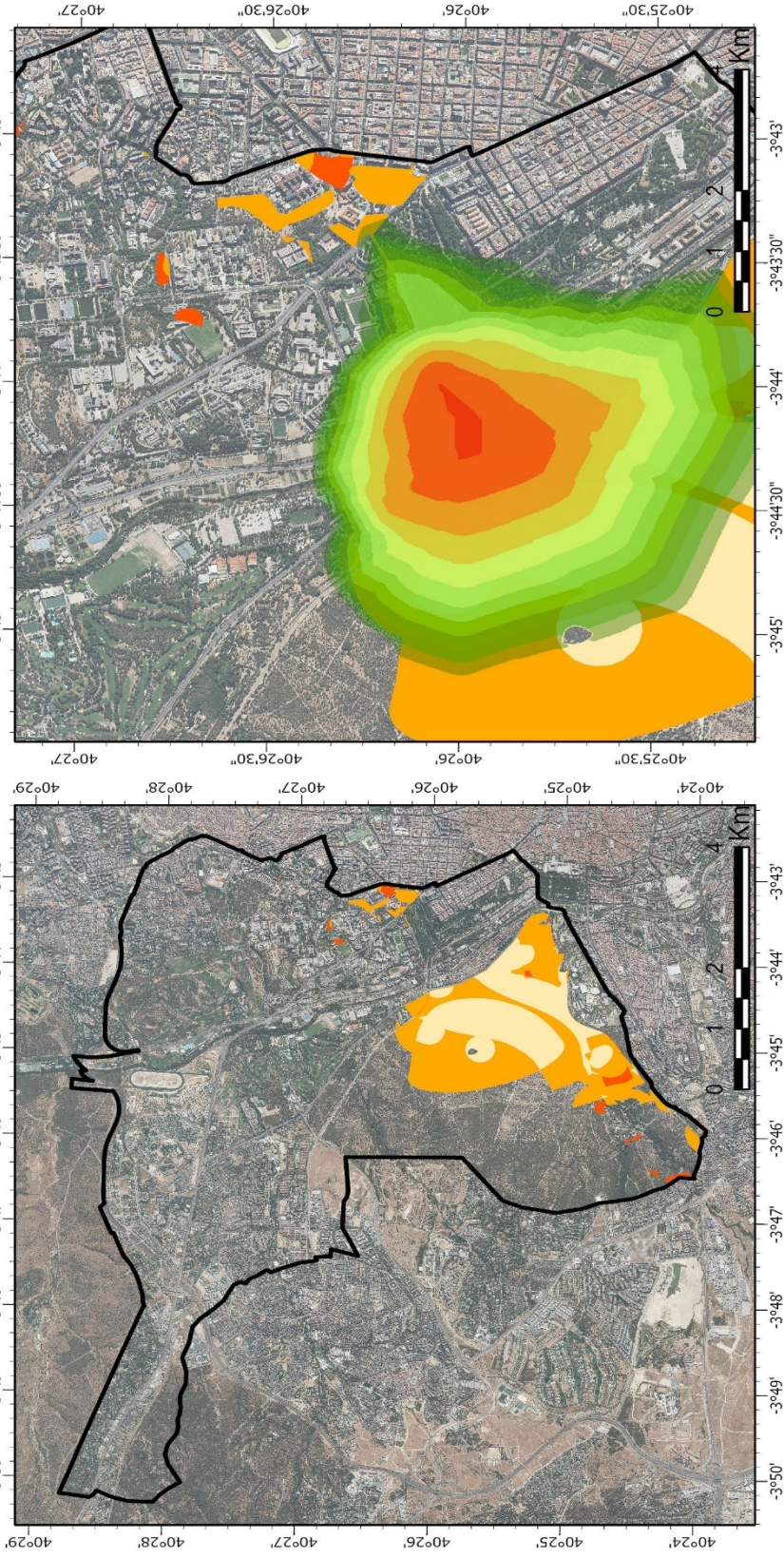
### Corredores identificados para la cotorra argentina



<b>Elaborado por:</b>	Alejandra López Álvarez
<b>Referencia espacial:</b>	ETRS 1989 UTM Zone 30 N
<b>Ubicación Geográfica:</b>	Distrito de Moncloa-Aravaca, Madrid (España)
<b>Fecha:</b>	Septiembre, 2021

# ANEXO III

## CORREDORES IDENTIFICADOS PARA LA COTORRA ARGENTINA



**Elaborado por:** Alejandra López Álvarez  
**Referencia espacial:** ETRS 1989 UTM Zone 30 N  
**Ubicación Geográfica:** Distrito de Moncloa-Aravaca, Madrid (España)  
**Fecha:** Septiembre, 2021

