



RESTAURACIÓN DE
LA CONECTIVIDAD
ECOLÓGICA DE LA
CUENCA DEL RÍO
GUADIAMAR A PARTIR DE
LOS ELEMENTOS LINEALES
DEL PAISAJE

C. MARTÍNEZ, J.V. DE LUCIO Y P. SASTRE

DPTO. DE ECOLOGÍA, UNIVERSIDAD DE ALCALÁ
ALCALÁ DE HERNARES, E-28871, MADRID. ESPAÑA

La permeabilidad ecológica de la matriz agraria de la cuenca del río Guadamar es necesaria para asegurar la conectividad entre los espacios naturales protegidos de Sierra Morena y Doñana. Si los setos, linderos y otros tipos de líneas de vegetación mantuviesen un adecuado estado de conservación se incrementaría la permeabilidad, favoreciendo la dispersión de especies entre ambos espacios naturales.

El análisis de la estructura del paisaje muestra un gran sector agrario central (918 ha) de la cuenca con escasa permeabilidad ecológica. Sin embargo, en esta zona se han cartografiado un total de 2574 líneas de vegetación asociadas a cauces, vías de comunicación y lindes entre cultivos, con una longitud total de 882 km. La densidad fue de 886 m/km². El objetivo de este trabajo es identificar y caracterizar los elementos de grano fino del paisaje cuya restauración incrementaría más eficientemente la heterogeneidad y conectividad del paisaje agrario de la cuenca del río Guadamar.

Las soluciones óptimas encontradas son el resultado de comparar el incremento de conectividad aportada por distintos escenarios de restauración consistentes en la recuperación de la vegetación de ribera de arroyos y ríos, de vías pecuarias y de linderos de campos agrarios. Mediante la aplicación de modelos de conectividad de rutas de mínimo coste se identifican los escenarios de restauración más apropiados para cada sector y circunstancia proponiendo medidas de optimización del uso de ayudas agroambientales.

Palabras clave: Palabras clave: Ecología del paisaje, líneas de vegetación, paisajes agrarios, fragmentación, conectividad

Introducción

La cuenca media del río Guadamar está situada entre las marismas de Doñana donde descarga sus aguas y las montañas de Sierra Morena. Ambos territorios son espacios naturales protegidos y forman parte de la red natura 2000. Si atribuímos al Guadamar y a sus tributarios cierta función facilitadora de la dispersión de especies, el vertido minero que destruyó gran parte de las riberas de este río supuso una grave pérdida de conectividad. El objetivo de este trabajo es proponer el mejor uso de la matriz agraria del sector central de la cuenca del Guadamar para restaurar la conectividad ecológica.

La fragmentación es la desintegración de los patrones geográficos existentes por la introducción de nuevos elementos o estructuras, de forma que los procesos y funciones de ese paisaje se ven interrumpidos (Gulinck et al., 2002). La fragmentación de las áreas naturales es un problema espacial que Forman (1995) lo define como la ruptura o división de las áreas naturales en áreas de menor tamaño.

Los cambios de usos del suelo en las últimas décadas no son distintos a los cambios ocurridos épocas pasadas, la diferencia se encuentra en la escala espacial y temporal a la que se producen estos cambios, mayores en estas últimas décadas (Jongman, 2002). La pérdida de cubiertas naturales por encima de ciertas proporciones, además de disminuir la disponibilidad de hábitats, afecta a la conectividad entre las teselas residuales. Cambios en la estructura del paisaje, afectan a la flora y fauna, a los flujos de materia y energía y a la calidad del paisaje (Burel & Baudry, 1995; Forman, 1995).

Hobbs y Wilson (1998) definen cuatro categorías de paisaje en función del grado de fragmentación de las cubiertas naturales. Los paisajes intactos y salpicados mantendrían como mínimo el 60% de su superficie en buen estado de conservación. Por debajo del umbral de percolación del 60% la conectividad del paisaje disminuiría a niveles críticos interrumpiéndose la capacidad de percolación del territorio (Pearson et al., 1996; Wiens,

Interest in the linear features of agricultural landscapes is growing as agents that might strengthen ecological connectivity. This work analyses the structure of the area's agricultural landscape, and characterizes the different types of linear features it contains. A methodology is proposed to compare the impact of different restoration scenarios on connectivity. The total length of the vegetation lines in the study area (918 km²) was some 882 km. The density of these lines was 886 m/km². The most important linear features with respect to accompanying vegetation were roads. In contrast, rivers, streams and tracks had little accompanying vegetation.

The connectivity achieved in different scenarios was assessed with respect to the requirements of the area's main mid-size mammals. Connectivity models allowed a scenario prioritisation system to be established and the assignment of an interest value to each of the potentially restorable elements. The findings of this study could be used to establish intervention and financing criteria for agro-environmental remediation projects.

Key words: Keywords: Landscape ecology, hedgerows, rural landscape, fragmentation, connectivity

1997). Wiht (1997) establece el umbral de fragmentación entorno al 55-60% de cubiertas alteradas.

Los setos son un rasgo ancestral de identidad de los paisajes agrarios (Baudry et al., 2003). En Europa, la valoración de su papel ecológico y cultural ha ido creciendo al tiempo que estos elementos escaseaban debido a la intensificación de las actividades agrarias (Oreszczyn y Lane, 2000).

Los setos controlan la biodiversidad al proporcionar hábitats, refugio, corredores o barreras. Estas funciones son críticas para muchas especies animales y vegetales que de otra forma no podrían existir en los paisajes agrarios (Burel, 1996).

Los setos y otras líneas de vegetación intercaladas en los campos agrícolas son beneficiosos en términos de producción agrícola (Altieri, 1980; Thies y Tischamtkke, 1999; Bouting y Jovin, 1998) mantenimiento de servicios ambientales (Kantelhardt, Osinski y Heissenhuber, 2003; Theinail y Baudry, 2004; Jobin et al., 2001; Burel, 1996); como proveedores de hábitat y alimento para numerosas especies de animales (Baudry, 1998; Marshall y Arnold, 1995; Dmowski et al., 1990; Clergeau et al., 1997; Boone y Tinklin, 1988). La vegetación de setos y linderos influye en la presencia y dispersión de insectos (Martín et al., 2001; Ricketts, 2001; Pither y Taylor, 1998; Burel, 1989; Duelli et al., 1990), mamíferos (Schippers et al., 1996)

y plantas (Riffell et al., 1996; McCollin et al., 2000). La estructura de los setos influyen en la presencia y riqueza de aves (Hinsley y Bellamy, 2000), pequeños mamíferos (Kotzageorgis y Mason, 1997), mariposas (Dover y Sparks, 2000; Ouin y Burel, 2002) y otros invertebrados (Maudsley, 2000). En los paisajes agrícolas la presencia de este tipo de elementos facilita los movimientos individuales de muchas especies (Martin et al., 2001; Ricketts, 2001; Schippers et al., 1996; Pither y Taylor, 1998).

La contribución de los setos al incremento de la permeabilidad territorial, sirviendo de corredores, como refugios y como fuente de alimentación depende de su accesibilidad desde los puntos de dispersión. La abundancia de los setos en los paisajes mediterráneos ha sido muy poco estudiada. La menor abundancia y exhuberancia de estos setos en comparación con los de lugares de clima templado ha podido influir en la falta de atención que han recibido. Tampoco existen procedimientos o métodos objetivos que ayuden a la toma de decisiones acerca de que elementos del paisaje deben ser restaurados. La medición de la conectividad paisajística permite evaluar el impacto de distintos escenarios de restauración sobre las especies objetivo (Van Apeldoorn et al., 1998; Sutcliffe et al., 2002; Nikolakaki, 2004; Baudry et al., 2003). Algunos trabajos han utilizados modelos de "mínimo coste" para incorporar información geográfica detallada y aspectos de comportamiento dispersi-

vo de las especies para la medición de la conectividad. (Walker y Craighead, 1997; Villalba et al., 1998; Halpin y Bunn, 2000; Ferreras, 2001; Graham, 2001; Michels et al., 2001; Schadt et al., 2002; Adriaensen et al., 2003).

La conectividad paisajística se ha definido como “el grado en que el paisaje facilita o impide el movimiento de organismos entre teselas fuente” (Taylor et al., 1993; Tichendorf y Fahrig, 2000). La medición de la conectividad implica heterogeneidad espacial, así como los requerimientos de hábitat y la capacidad dispersiva de cada especie (Vos et al, 2001). Los objetivos de este trabajo han sido:

- Identificar los lugares de la cuenca del Guadiamar con graves problemas de fragmentación al disponer de una cubierta natural inferior al umbral de precolación del 60%.
- Clasificar el paisaje agrícola de la cuenca en función de su entramado lineal.
- Desarrollar modelos de conectividad para identificar los elementos lineales con mayor potencial de restauración.
- Estudiar la repercusión de la creación o recuperación de elementos lineales del paisaje.

El levantamiento de la cartografía de las líneas de vegetación comprende tres fases: georreferenciación de la fotografía aérea, digitalización de los elementos lineales y la comprobación en el campo de los resultados. La corrección geográfica de las fotos se realizó con referencia a imágenes de satélite IRS-PAN y fotografía aérea del vuelo 95166/9603 con fecha 1995-96 de la Junta de Andalucía que cubren la superficie de la cuenca del río Guadiamar a escala 1:60.000. Para la corrección de la fotografía se ha utilizado una función cuadrática o cúbica en los casos donde la distorsión derivada del relieve es mayor (zona norte de la Cuenca del Guadiamar), hasta alcanzar un nivel de error inferior a 1.5 píxeles ($RMS < 1.5$). La imagen resultante tiene 1.5 metros de resolución (se podrá llevar hasta una escala 1:3750 aprox.). Las líneas de vegetación se digitalizaron, utilizado como base la fotografía aérea corregida y georreferenciada de la forma indicada.

La digitalización se ha realizado sobre una serie de cuadrículas de 4 x 4 km de una malla UTM superpuesta a la cuenca del Guadiamar, con objeto de estandarizar el procedimiento de obtención de datos y lograr que los elementos lineales fuesen detectados con igual proba-

bilidad en todas las cuadrículas fotointerpretadas. Se ha digitalizado a una escala de 1:10.000 sobre una pantalla de 21" con una resolución de 1280 x 1024.

La densidad y tipología de elementos lineales se estudió en los sectores de la cuenca que presentaban mayor grado de alteración de la cubierta natural (916 km² en el sector central agrario de la cuenca).

La clasificación multivariante de los paisajes de la cuenca del río Guadiamar (1353 Km²) trata de resumir la complejidad del paisaje de la cuenca teniendo en cuenta los principales factores que diferencian los distintos sectores de la cuenca. Para ello se calculó un conjunto de variables descriptoras de la estructura del paisaje para cuadrículas de 1km².

El análisis comparativo de escenarios de sostenibilidad se realizó aplicando modelos de coste-distancia. Dichos modelos espacialmente explícitos utilizan información sobre la estructura del paisaje y sobre la capacidad dispersiva de las especies para construir rutas de dispersión idóneas o de mínima resistencia

M É T O D O S

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las líneas de vegetación difieren en su anchura y porte. Un análisis detallado permite comprobar que muchas de estas líneas se encuentran en un notable estado de degradación con una biomasa muy inferior a la que podrían mantener. Hay que resaltar el elevado número y longitud de líneas de anchuras de 5 a 10 m. Este conjunto de líneas, de escasa anchura y porte herbáceo, son elementos muy frágiles del paisaje. Las líneas de vegetación con un tamaño intermedio tanto en la anchura (10-15m) como en el porte (arbustivo) forman el segundo grupo de líneas con mayor longitud total en el área muestreada, que es de aproximadamente 83 Km. En el área estudiada escasean las líneas de vegetación de mayor tamaño tanto en anchura como en porte, siendo la longitud de estas líneas de 10.7 Km (Tabla 1).

En la Figura 1 se muestra gráficamente los resultados obtenidos de la clasificación de las líneas de vegetación por su anchura y porte. Cabe resaltar la abundancia de líneas de vegetación de anchuras entre 10-15m, mientras que las líneas de mayores anchuras escasean en el paisaje muestreado.

De las líneas de vegetación muestreadas, 527 líneas fueron definidas como continuas, con una longitud de 185.326 Km. y 858 líneas como discontinuas con una longitud de 285.407 Km.

Tabla 1. Variables morfológicas de las líneas de vegetación agrupadas por clases.

Table 1. Morphologic variables of vegetation line grouped by classes.

CLASE		Número de segmentos	Longitud Km.
ANCHURA	PORTE		
10-15 m	Herbáceo	113	37,282
	Arbustivo	265	83,506
	Arbóreo	84	29,135
15-20 m	Herbáceo	6	823
	Arbustivo	37	18,402
	Arbóreo	60	17,583
20-25 m	Herbáceo	4	6,365
	Arbustivo	4	5,851
	Arbóreo	20	10,711
A1	Herbáceo	792	261,076
Total muestreado		1385	470,734
Sin muestrear		986	412,229
Total		2371	882,963

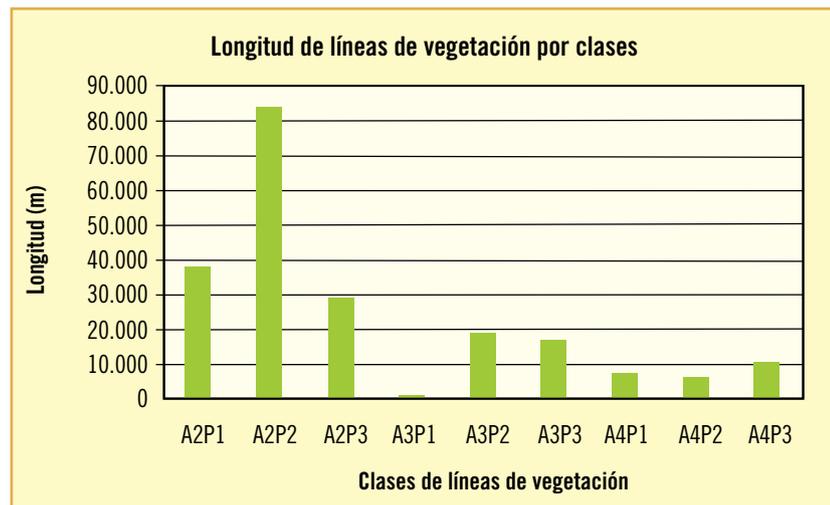


Figura 1. Longitudes de las líneas de vegetación por clases definidas a partir de las variables de anchura y porte: A2P1 (ancho 10-15, porte herbáceo) A2P2 (ancho 10-15m, porte arbustivo), A2P3 (ancho 10-15m, porte arbóreo), A3P1 (ancho 15-20m, porte herbáceo), A3P2 (ancho 15-20m, porte arbustivo), A3P3 (ancho 15-20m, porte arbóreo), A4P1 (ancho 15-20m, porte herbáceo), A4P2 (ancho 20-25m, porte herbáceo) A4P3 (ancho 20-25m, porte arbustivo) y A4P3 (ancho 20-25m, porte arbóreo).

Figure 1. Lengths of the lines of vegetation for classes defined from the variables of width and height: A2P1 (width 10-15m, herbaceous) A2P2 (width 10-15m, shrub), A2P3 (width 10-15m, arboreal), A3P1 (width 15-20m, herbaceous), A3P2 (width 15-20m, shrub), A3P3 (width 15-20m, arboreal), A4P1 (width 15-20m, herbaceous), A4P2 (width 20-25m, herbaceous) A4P3 (width 20-25m, shrub) y A4P3 (width 20-25m, arboreal).

PATRÓN DE PAISAJE Y ELEMENTOS LINEALES DE VEGETACIÓN

Las líneas de vegetación se encuentran asociadas diferencialmente a los distintos tipos de paisaje agrario de la cuenca del Guadiamar.

La presencia de líneas de vegetación se encuentra asociada sistemáticamente a algunas variables paisajísticas. Se diferencian las cuadrículas de 1 km² con y sin líneas de vegetación, se observan diferencias significativas en algunos descriptores ambientales (Tabla 2). En general hay más setos en paisajes heterogéneos y con mayor perímetro de cultivos de olivar en seco, de herbáceos en regadío y de mosaicos de secanos y regadíos (herbáceos y leñosos). Los paisajes con setos son poco frecuentes en lugares con elevado perímetro de

formaciones arboladas de coníferas y alejados de los núcleos urbanos.

Con objeto de conocer la relación de los elementos lineales con el contexto paisajístico en que se sitúan, se realizó un análisis de clasificación jerárquica de la matriz formada por 916 cuadrículas de 1 x 1 km del sector central de la cuenca y 10 variables referentes a la cobertura del suelo y a los elementos lineales (número de teselas, longitud de líneas de vegetación, diversidad, distancia núcleos urbanos, longitud de carreteras, pendiente, longitud de ríos y arroyos, longitud de líneas asociadas a lindes, vías de comunicación y ríos y arroyos).

El resultado permite identificar 3 grandes tipos de paisajes, que difieren en su heterogeneidad y en la presencia y tipología de elementos lineales (Figura 2).

Los paisajes tipo 1 presentan escasos elementos lineales, se encuentran apartados de los núcleos urbanos y con baja densidad de carreteras. Son zonas de relieve ondulado con áreas agrícolas en mosaico con cubiertas de vegetación natural. El área total con estas características es de aproximadamente 411km², presentándose en el tramo sur de la cuenca. La longitud total de líneas de vegetación es de 314 km con una densidad de 763 m/km² (Foto 1).

Los paisajes tipo 2 son zonas homogéneas de escasa pendiente dominadas por usos agrícolas de seco. Paisajes muy transformados, con pocas manchas de vegetación natural, por lo que la conectividad de estos paisajes está apa-

Tabla 2. Comparación entre variables paisajísticas (cuadrículas 1 km²) según tengan setos o no (0,001 ***; 0,01 **).

Table 2. Comparison among landscape variables (squared patterns 1 km²) as have hedges or not (0,001 ***; 0,01 **).

VARIABLE	Media no presente	Media presente	F	Signif.
Diversidad (s)	2.52	2.95	25.55	***
Pendiente (%)	1.95	2.30	15.21	***
Número de teselas	4.78	5.99	33.12	***
Perímetro de olivar en seco (m)	1357	1993	78.58	***
Perímetro de herbáceos en regadío (m)	236	449	10.20	**
Perímetro de formaciones de coníferas (m)	410	110	17.09	***
Perímetros de mosaicos (m)	320	549	7.02	**
Distancia a núcleos urbanos (m)	3992	2815	50.40	***

Tabla 3. Variables descriptoras del paisaje en los tres tipos de paisajes identificados en el sector agrario de la cuenca del Guadiamar.

Table 3. Variables of the landscape in three types of landscapes identified in the agrarian sector of the basin of the Guadiamar.

Variables descriptoras	Paisaje 1	Paisaje 2	Paisaje 3
Superficie (Km ²)	411	463	42
Longitud de líneas de vegetación (km)	314.9	534.2	69.5
Densidad de líneas de vegetación (m/Km ²)	766	1153	1654
Longitud de vías de carreteras (m)	147.067	150.538	18.719
Longitud de vías de caminos (m)	685.825	618.990	66.658
Longitud de vías pecuarias (m)	123.694	258.103	13.064
Longitud de ríos y arroyos (m)	138.571	237.226	13.953
Distancia media a núcleos urbanos (m)	3671.22	3611.87	2761.31
Pendiente (%)	2.35	1.82	2.07
Número medio de teselas/km ²	5.28	3.69	6.04



Foto 1. Paisaje tipo 1.

Photo 1. Landscape type 1.



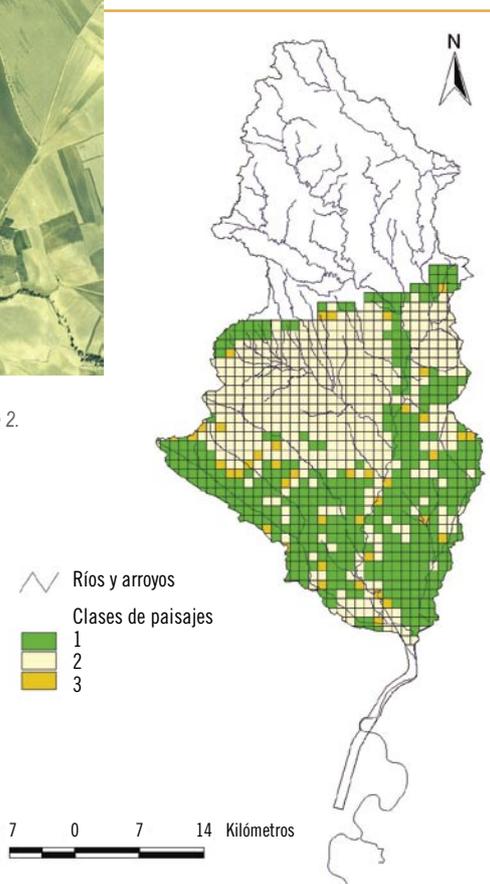
Foto 2. Paisaje tipo 2.

Photo 2. Landscape type 2.



Foto 3. Paisaje tipo 3.

Photo 3. Landscape type 3.



rentemente muy disminuida. La longitud de elementos lineales es superior a los paisajes tipo1 (534 km) al igual que su densidad, 1153 m/km². El área total de este tipo de paisaje es de 463 km² (Foto 2).

Los paisajes tipo 3 se caracterizan por ser zonas heterogéneas cercanas a núcleos urbanos, con elevada densidad de líneas de vegetación asociadas principalmente a caminos y lindes entre cultivos (1654 m/km²). Este tipo de paisajes tiene una superficie escasa (42 km²) y se distribuye de forma dispersa por todo el territorio. Este tipo de paisajes puede desempeñar un papel importante actuando como puntos de paso (*stepping stones*) para algunas especies (Foto 3).

Figura 2. Tipos de paisajes presentes en la cuenca del río Guadamar obtenidos mediante análisis estadístico de clasificación multivariante. Se calcularon el valor medio de distintas variables del paisaje para la malla de cuadrículas de 1 km². Con la matriz resultante de la integración de todas las variables se realizó el análisis multivariante que dio como resultado los tres tipos de paisajes que se muestran en la figura.

Figure 2. Types of landscapes in the basin of the river Guadamar obtained with multivariate classification statistical analysis. The average value of different variables of the landscape have been calculated for grids of 1 km². With the resultant database of the integration of all the variables was realized multivariate analysis that gave three types of landscapes that appear in the figure.

ESCENARIOS DE RESTAURACION DEL PAISAJE Y CONECTIVIDAD ECOLÓGICA

Con el objeto de identificar los elementos lineales con incidencia en la conectividad del paisaje, se ha definido tres escenarios paisajísticos en grado creciente de conectividad (Figura 3):

Escenario 1: Estado actual de las coberturas vegetales.

Escenario 2: Restauración de las riberas de todo el área de estudio.

Escenario 3: Restauración de los Elementos con especial incidencia como vías pecuarias, líneas de vegetación natural y riberas.

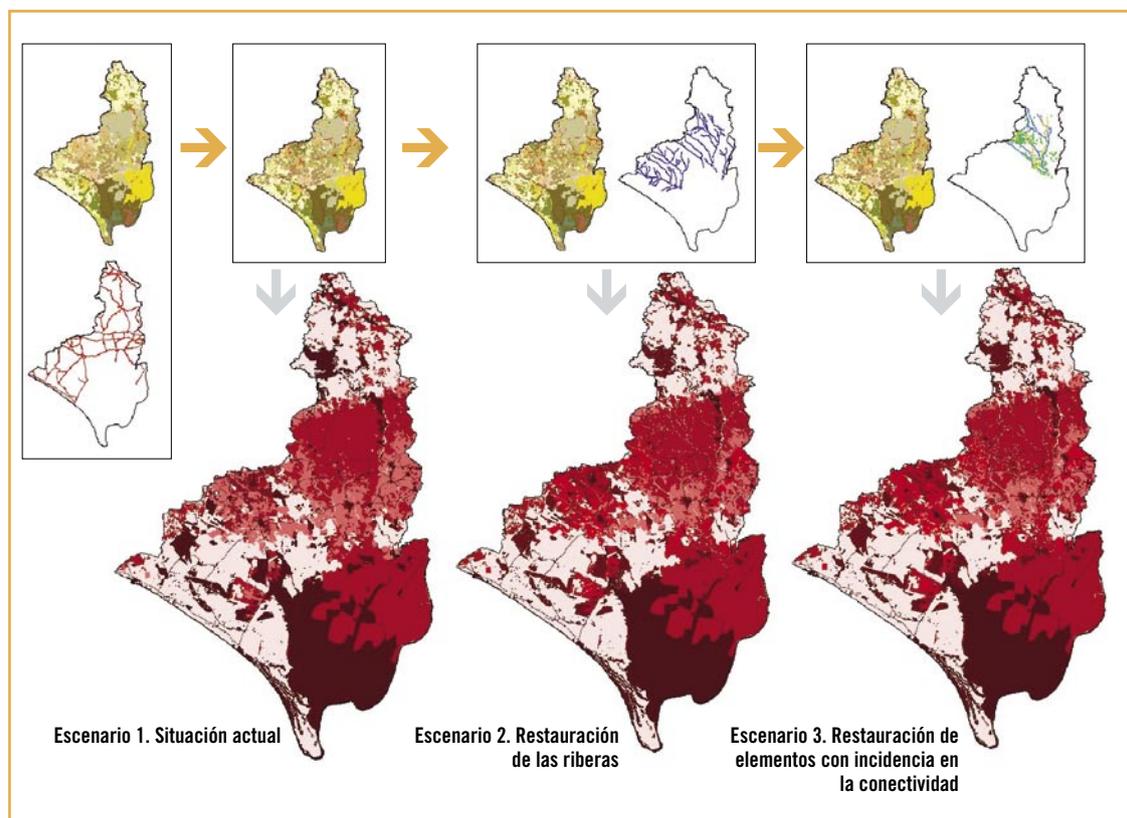


Figura 3. Proceso de elaboración de los escenarios de restauración y correspondientes mapas de resistencia. Escenario 1: Situación actual, se crea a partir del mapa de usos y coberturas naturales, sobre este se superponen las vías de comunicación dándoles una anchura de 100 metros. Sobre el escenario 1 se elabora el escenario 2, añadiéndole los ríos y arroyos (buffer de 20 m), y el escenario 3, añadiéndole los elementos lineales con incidencia en la conectividad (Vías Pecuarias, arroyos y líneas de vegetación natural).

Figure 3. Process of production of the scenes of restoration and corresponding resistance maps. Scene 1: current situation, it is created from the map of uses and natural coverages, on this one the road links are superposed giving them a width of 100 meters. On the scene 1 elaborates the scene 2, adding the rivers (buffer of 20 m), and the scene(stage) 3, adding the linear elements with incident in the connectivity (cattle routes, creeks and lines of natural vegetation).

Los modelos de conectividad se elaboran a partir de una superficie de coste o fricción y un mapa de fuentes de dispersión. La superficie de fricción o superficie de coste utilizada son los tres mapas de resistencias elaborados para cada uno de los escenarios. Para definir las fuentes de dispersión, se seleccionaron las teselas con vegetación natural arbolada de más de 200 ha. En cada una de ellas se seleccionó un punto al azar como origen. Aplicando la herramienta de distancia-coste ("Cost-distance") se calcularon los modelos de conectividad para cada escenario. Cada píxel de

un mapa de conectividad es función de la resistencia acumulada y la distancia a la fuente de dispersión más cercana. Los valores resultantes van de cero a infinito, siendo los valores próximos a cero alta conectividad y cuanto más alejados de cero menor conectividad. En el valor de conectividad interviene el tamaño del píxel y el valor de resistencia asignado (Figura 4). Los mapas resultantes tienen un tamaño de píxel de 20 m, este tamaño nos permite integrar elementos lineales con anchuras mínimas de 20 m.

El modelo de conectividad identificado en cada escenario se muestra en la figura 5. Utilizando una misma escala de colores podemos comparar los mapas de conectividad resultantes y analizar visualmente cuales son las diferencias entre los escenarios. De esta forma comprobamos que con una distancia-coste de 26.000 unidades, el escenario 1 muestra manchas no conectadas unas de otras, sin embargo en el escenario 2 y 3, con la misma distancia-coste aparecen todas las manchas conectadas. Para 300.000 unidades de distancia-coste las teselas foresta-

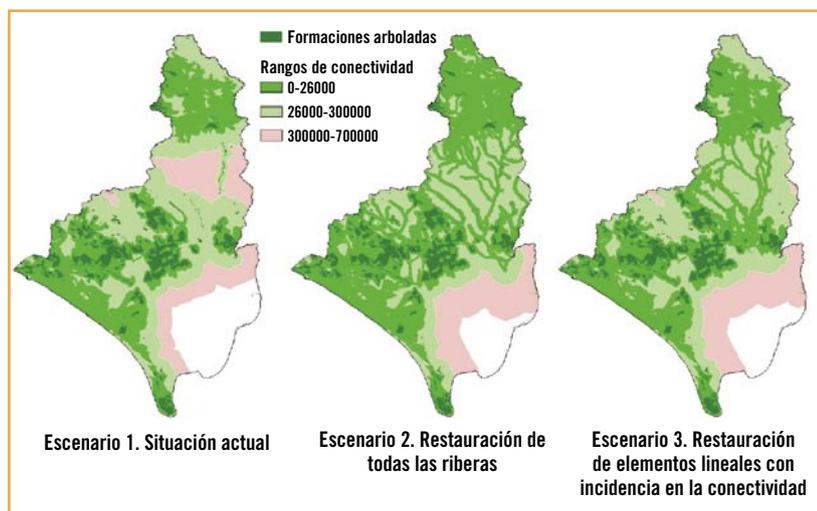


Figura 4. Mapas de permeabilidad del paisaje calculados para los 3 escenarios de restauración teniendo en cuenta una especie forestal tipo. Como fuentes de dispersión se han seleccionado las teselas arboladas con una superficie de más de 200 ha. Cada píxel del mapa es función de la resistencia por la distancia a la fuente más cercana. Toman color verde oscuro las áreas más permeables y rojo las menos permeables.

Figure 4. Maps of permeability of the landscape calculated for 3 scenes of restoration bearing a forest species type. Since sources of dispersion have selected the teselas with a surface of more than 200 ha. Every pixel of the map represents the resistance for the distance to the most nearby source. They take dark green color the most permeable areas and red the least permeable.

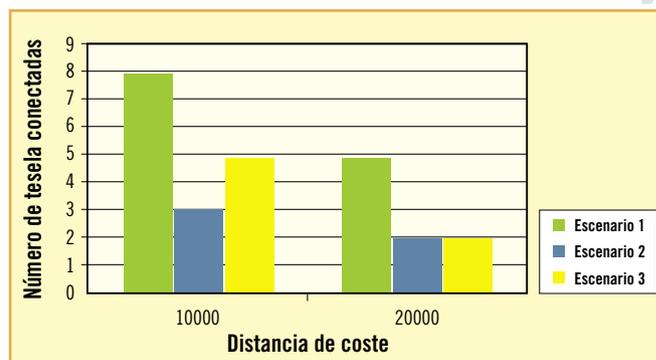


Figura 5. La gráfica representa el número de teselas conectadas con dos distancias de coste (10.000 y 20.000). Para una distancia-coste de 10.000 unidades, el paisaje resultante en el escenario 1 estaría formado por 8 teselas, en el escenario 2 por 3 y en el escenario 3 por 5. Para la distancia-coste de 20.000, el número de teselas para los escenarios 2 y 3 se reduce a 2 mientras que en el escenario 1 mantiene 5 teselas. En el escenario 3 con una menor superficie restaurada consigue el mismo número de teselas conectadas.

Figures 5. The graph represents the number of patches connected with two cost distances (10.000 and 20.000). For a Cost-distance of 10.000 units, the resultant landscape in the scene 1 would be formed by 8 patches, in 2 by 3 and in 3 by 5. For the cost-distance of 20.000, the number of patches for the scenes 2 and 3 diminishes to 2 whereas in the scene 1 supports 5 patches. In the scene 3 with a minor restored surface it obtains the same number of patches connected.

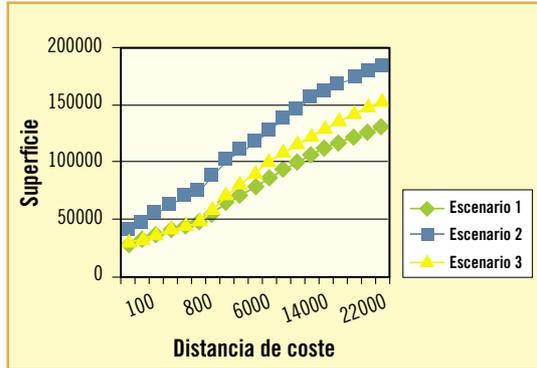


Figura 6. La gráfica representa la superficie conectada para distintas distancias de coste. La curva del escenario 1 simula la situación actual de las coberturas del suelo, la curva del escenario 2 todas las riberas de la matriz agrícola restaurada (superficie de 3890,69 Ha) y la curva del escenario 3, la superficie conectada a partir de una selección de elementos lineales con incidencia en la conectividad (2474,34 Ha).

Figure 6. The graph represents the surface connected for different cost distances. The curve of the scene 1 simulates the current situation of the land covers, the curve of the scene 2 included the restoration of all the banks (surface of 3890,69 Ha) and the curve of the scene 3, the surface connected from a selection of linear elements with incident in the conectividad (2474,34 Ha).

les del escenario 1 siguen permaneciendo desconectadas y se unen a partir de una distancia superior a 300.000.

La comparación cuantitativa entre los distintos escenarios obtenidos puede ser realizada mediante un sencillo gráfico acumulativo de “superficie conectada”, entendiendo como tal el área asequible desde un elemento de la red de conectividad. En la Figura 6 se muestra como se va incrementando la superficie conectada desde una distancia-coste de cero hasta 26.000 unidades. Se observa como el escenario 2 es más eficiente ya que acumula más superficie en cada distancia-coste, seguido del 3 y 1.

Un objetivo del diseño de elementos conectores en el paisaje es conseguir una red continua. En la figura 4 (página anterior) se analiza el número de manchas continuas internamente y aislada del resto que resultan de cada uno de los escenarios analizados. Observamos que el menor número de teselas se alcanza en el escenario 2, si bien es cierto que a una distancia-coste de 20.000 unidades las teselas resultantes se iguala con el escenario 3. No olvidemos que el escenario 3 implica la restauración de un mayor número de elementos lineales.

Conclusiones

El tramo medio de la cuenca del Guadiamar presenta coberturas de vegetación inferiores a los umbrales de percolación, presentándose como una barrera entre las áreas protegidas situadas en sus extremos (Área de Doñana y Sierra Morena).

La matriz agraria presenta un complejo entramado lineal formado por una densa red de ríos, arroyos, caminos, vías pecuarias y carreteras. Sin embargo, los porcentajes de estos elementos que aparecen acompañados de una orla vegetal son muy reducidos. Las líneas de vegetación presentes en la matriz agraria se pueden agrupar en cinco clases en función de las principales especies constituyentes, las cuales hacen referencia a un gradiente de hume-

dad y naturalidad. Además las categorías de líneas definidas muestran una morfología (anchura y porte) significativamente distinta.

El mosaico agrícola representa un obstáculo a la dispersión de las especies debido a la carencia de vegetación natural. A pesar de su mal estado de conservación es necesario resaltar que a través de la restauración y revegetación de ciertos elementos del paisaje, sería posible aumentar la permeabilidad del paisaje para ciertas especies. El incremento de la permeabilidad del mosaico agrícola daría lugar a una mejora general de la conectividad de la cuenca, haciendo viable la conexión este-oeste como complemento al eje principal del río Guadiamar.

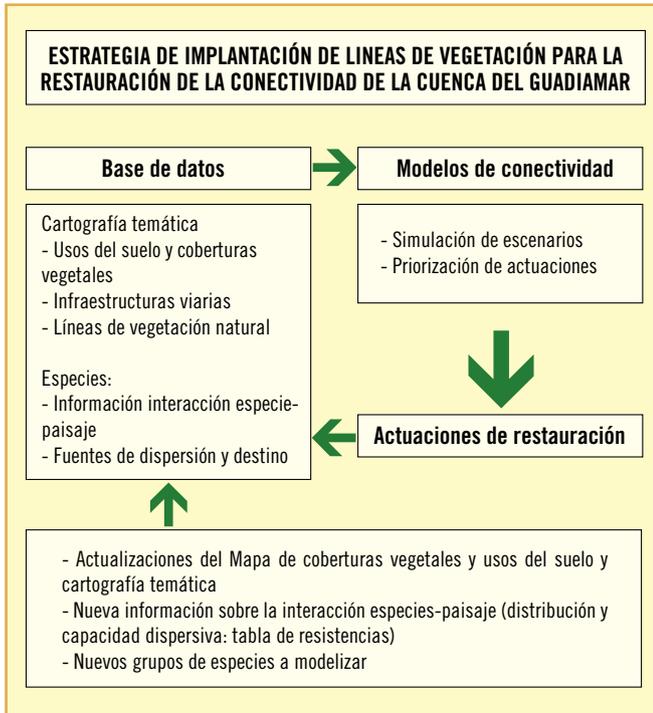


Figura 7. Esquema de la estrategia de restauración propuesta para la cuenca del Guadamar. Los modelos de conectividad necesitan como información de partida cartografía de los usos del suelo además de información referida a las especies. Permiten simular escenarios paisajísticos y priorizar medidas de restauración. Los modelos de conectividad son dinámicos en el tiempo y permiten una actualización.

Figure 7. Scheme of the strategy of restoration proposed for the basin of the Guadamar. Connectivity models need cartography of the land uses besides information referred to the species. They allow to simulate landscape scenes and to prioritize measures of restoration. Connectivity models are dynamic in the time and allow an update.

La aplicación de los modelos de conectividad ha permitido identificar las zonas más permeables para el grupo de mamíferos medianos estudiados y los puntos clave en los que la restauración tendría mayor relevancia. La comparación de los distintos escenarios permite valorar cual es el incremento de la conectividad dada unas medidas concretas de restauración. Así la restauración de determinados elementos del paisaje permite alcanzar estados de conectividad que se aproximan a un paisaje permeable para una especie forestal.

Las áreas de dominio público, tanto los márgenes de los cursos de agua como las vías pecuarias son áreas potenciales para ser revegetadas. Por su configuración espacial en el territorio de la cuenca son relevantes en la conectividad de la misma ciertos arroyos como los de Tejada, Pilas y Alcarayón.

La eficiencia del Corredor Verde del Guadamar como conexión entre los sistemas forestales de Sierra Morena con los sistemas naturales de Doñana requiere la restauración no sólo del cauce del principal río de esta cuenca, el río Guadamar, sino también la restauración de la permeabilidad de la matriz agrícola que separa estos dos sistemas naturales. Tras el trabajo de caracterización de los elementos lineales de la cuenca del río Guadamar, cabe señalar que el tramo medio de la cuenca, dominado por extensos campos de cultivo, presenta problemas de permeabilidad (de Lucio et al 2003).

Estudios como los llevados a cabo, ponen de manifiesto la importancia de los elementos lineales como facilitadores de la dispersión de ciertas especies. La revegetación de las lindes entre cultivos, riberas y vías pecuarias mejoraría en gran medida la permeabilidad de la cuenca del río Guadamar como se ha podido ver en apartados anteriores.

Los modelos de conectividad realizados permiten definir el papel de los distintos elementos del paisaje, asignándoles un valor en la conectividad en el paisaje. Lo que nos permite evaluar distintos escenarios de restauración y ver sus consecuencias en la conectividad del paisaje.

Se propone una estrategia para priorizar las intervenciones en función de la contribución de cada elemento del paisaje a la conectividad y de su estado actual. Esta estrategia combina la base de datos generada a través de los distintos muestreos realizados y los modelos de conectividad (Figura 7).

Recomendaciones de gestión

Con el objetivo de incrementar la permeabilidad de la matriz agrícola del tramo medio de la cuenca del Guadamar se recomienda incrementar las coberturas de vegetación natural que acompañan los ríos y arroyos, los lindes entre las fincas y vías pecuarias.

En los casos de que exista una banda vegetal en ríos y riberas se mejorará su estado de conservación, re-vegetando en los casos que así se precise con especies propias de la zona (Figura 8).

La superficie recomendada es de 783 Has repartida entre los que cabe señalar el arroyos de Pilas, Tejada, Alcarayón, de las Charcas, Algarbe, Garganta de Barbacena, entre otros. Estos espacios son de Dominio Público a cargo de la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir.

La mayoría de las vías pecuarias carecen de vegetación natural de porte arbustivo o arbóreo, por los que requerirá un esfuerzo mayor en la revegetación de estas áreas. La superficie recomendada a restaurar es de 908 Has localizada en las siguientes vías pecuarias: Cañada Real de la Marisma, Vereda del Fresnecillo, Cañada Real de los Isleños y Vereda del Pilar.

Aunque la recomendación es el mantenimiento y mejora del conjunto de las líneas de vegetación, se ha asignado un criterio de prioridad a cada línea de vegetación en función de su importancia en la conectividad del paisaje, estimada a partir de los modelos de conectividad realizados (Figura 9). Estos valores quedaron recogidos en la cartografía digital para su uso por los gestores de proyectos de restauración.

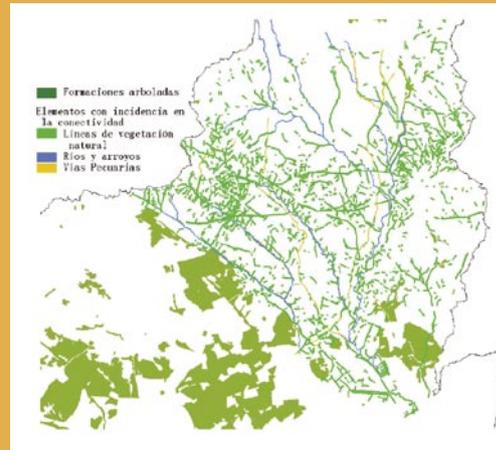


Figura 8. Localización de las medidas de restaurar.

Figure 8. Location of the restoration measures.

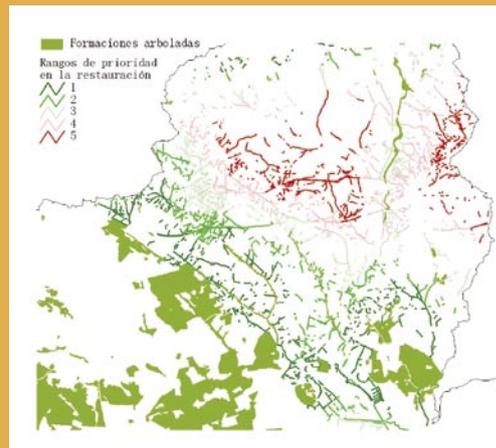


Figura 9. Asignación de un valor de prioridad en la restauración a cada línea de vegetación natural en función de su papel en la conectividad del paisaje. Para el cálculo de este valor se ha utilizado el mapa de conectividad elaborado para el escenario 1.

Figure 9. Assignment of a value of priority in the restoration to every line of natural vegetation depending on its role in landscape connectivity. To extract this value we have use the connectivity map of scene 1.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo forma parte del proyecto “Caracterización de la estructura y funcionalidad de los elementos lineales del paisaje de la cuenca del río Guadamar”, integrado en el Plan de Investigación del Corredor Verde del Guadamar (PICOVER) financiado por la Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía. Así mismo parte de las investigaciones fue financiada por Ministerio de Educación y Ciencia Proyecto de investigación REN2001-0972/GLO.

B I B L I O G R A F Í A

- Adriaensen, F., Chardon, J.P., De Blust, G., Swinnen, E., Villalba, S., Gulinck, H., Matthysen, E., 2003. The application of 'least-cost' modelling as a functional landscape model. *Landscape and Urban Planning* 64: 233–247.
- Altieri, M.A. 1980. The need for an agroecological approach to pest management. *Environmental Management* 4, 467–468.
- Baudry, J. 1998. Comparative biodiversity along a gradient of agricultural landscapes. *Acta Oecologica*, 19:47-60.
- Baudry, J., 2003. Agriculture, landscapes and connectivity. Environmental connectivity: protected areas the Mediterranean context, Malaga, Spain, Consejería de Medio Ambiente, Junta de Andalucía.
- Baudry, J., Burel, F., Aviron, S. Martín, M. Ouin, A. Pain, G., Thenail, C., 2003. Temporal variability of connectivity in agricultural landscapes: do farming activities help?. *Landscape Ecology* 18, 303-314.
- Boone, G.C., Tinklin, R., 1988. Importance of hedgerow structure in determining the occurrence and density of small mammals. *Aspects of Applied Biology* 16, 73–78.
- Boutin, C., Jobin, B., 1998. Intensity of agricultural practices and effects on adjacent habitats. *Ecological Applications* 8(2), 544-557.
- Burel, F. 1989. Landscape structure effect on carabids beetles spatial patterns in western France. *Landscape Ecology*, 2: 215-226.
- Burel, F. 1996. Hedgerows and their role in agricultural landscape. *Critical reviews in Plant Science*: 15:169-190.
- Burel, F. y Baudry, J. 1995. Aesthetic and ecological aspects of hedgerows in rural landscapes as framework for greenways. *Landscape and Urban Planning*, 33: 327-340.
- Clergeau, P. Burel, F., 1997. The role of spatio-temporal patch connectivity at landscape level: an example in a bird distribution. *Landscape and Urban Planning* 38, 37-43.
- Dawson, 1994. Are habitats corridors conduits for animal and plants in fragmented landscapes? A review of Science Evidence. *English Nature*.
- Dawson, 1994. Are habitats corridors conduits for animal and plants in fragmented landscapes?: A review of Science Evidence. *English Nature* .
- De Andrés Camacho, C; Cosano Porras, I y Pereda López S. 2002. Manual para la diversificación del paisaje agrario. Consejería de Medio Ambiente. Junta de Andalucía.
- De Lucio, J.V., Martínez Alandi, C. y Sastre Olmos, P. 2003. Caracterización de la estructura y funcionalidad de los elementos lineales del paisaje en la cuenca del río Guadamar. *Ciencia y Restauración del río Guadamar*. Consejería de Medio Ambiente. Junta de Andalucía. 312- 318.
- Dmowski, K. y Koziakiewicz, M. 1990. Influence of a shrub corridor on movement of passerine birds to a lake littoral zone. *Landscape ecology*, 4:98-108.
- Dover, J., Sparks, T., 2000. A review of the ecology of butterflies in British hedgerows. *Journal of Environmental Management* 60, 51–63.
- Duelli, P, Studer, M., Marchland, I y Jacob, S. 1990. Population movements of arthropods between natural and cultivated areas. *Biological Conservation*, 54:193-207.
- Ferreras, P., 2001. Landscape structure and symmetrical inter-patch connectivity in a metapopulation of the Endangered Iberian lynx. *Biological Conservation* 100, 125–136.
- Forman, R.T.T. 1995. *Land Mosaics: The Ecology of Landscape and Regions*. Cambridge, UK: Cambridge University Press
- Graham, C.H., 2001. Factors influencing movement patterns of keel-billed toucans in a fragmented tropical landscape in southern Mexico. *Conservation Biology* 15, 1789–1798.
- Gulinck, H. y Wagendorp, T. 2002. references for fragmentation analysis of rural matrix in cultural landscape. *Landscape and Urban Planning* 58: 137-146.
- Halpin, N.P., Bunn, A.G., 2000. In: *Proceedings of the 20th Annual ESRI User Conference on Using GIS to Compute a Least-Cost Distance Matrix: Comparison of Terrestrial and Marine Ecological Applications*. San Diego, CA, pp. 1–19.
- Hinsley, S. A., Bellamy, P. E., 2000. The influence of hedge structure, management and landscape context on the value of hedgerows to birds: a review. *Journal of Environmental Management* 60, 33–49.
- Hobbs, R. J. y A.-M. Wilson. 1998. "Corridors: Theory, Practice and Achievement of Conservation Objectives." Pp. 265-79 in *Key Concepts in Landscape Ecology*, Preston (UK): J.W. Dover & R.G.H. Bunce. Kemp, J. C. y G. W. Barrett. 1989. "Spatial Patterning: Impact of Uncultivated Corridors on Arthropod Populations Within Soybean Agroecosystems." *Ecology* 70 (1):114-28.
- Jobin, B.; Choinière, L., Bélanger, L., 2001. Bird use of three types of field margins in relation to intensive agriculture in Québec, Canada. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 84, 131-143.
- Joly, P., Morand, C., Comas, A., 2003. Habitat fragmentation and amphibian conservation: building a tool for assessing landscape matrix connectivity. *C.R. Biologies* 326, s132-139.
- Jongman, R.H.G. 2002. Homogenisation and fragmentation of European landscape: ecological consequences and solutions. *Landscape and Urban Planning*, 58: 211-221.
- Kantelhardt, J.; Osinski, E.; Heissenhuber, A., 2003. Is there a reliable correlation between hedgerow density and agricultural site conditions? In:

- Büchs, W. (Hrsg.): Biotic Indicators for Biodiversity and Sustainable Agriculture. Agriculture, Ecosystems and Environment, Elsevier, Amsterdam. (Article in press).
- Marshall, e.J.P. y Arnold, G. M 1995. Factor affecting field weed and field margin flora on a farm in Essex, UK. *Landscape and Urban Planning* 31:205-216.
- Martin, M., Bastardie, F., Richard, D., Burel, F., 2001. Boundary effects on animal movement in heterogeneous landscapes: the case of *Abax ater* (Coleoptera, carabidae). *Comptes Rendu del'Académie des Sciences Paris, Sciences de la vie* 324, 1-7.
- Maudsley, M.J., 2000. A review of the ecology and conservation of hedgerow invertebrates in Britain. *Journal of Environmental Management* 60, 65-67.
- McCollin, D., Jackson, J., Barr, C. J., Bunce, R. G. H., Stuart, R., 2000 Hedgerows as habitat for woodland plants. *Journal of Environmental Management* 60, 77-90
- Michels, E., Cottenie, K., Neys, L., De Gelas, K., Coppin, P., De Meester, L., 2001. Geographical and genetic distances among zooplankton populations in a set of interconnected ponds: a plea for using GIS modelling of the effective geographical distance. *Mol. Ecol.* 10, 1929-1938.
- Nikolakaki, P., 2004. A GIS site-selection process for habitat creation: estimating connectivity of habitat patches. *Landscape Urban Plan* 68(1), 77-94.
- Oreszczyn, S. and A. Lane. 2000. The meaning of hedgerows in the English landscape: different stakeholder perspectives and th implications for future hedge management. *Journal of Environmental Management* (2000) 60, 101-118.
- Ouin, A., Burel, F., 2002. Influence of herbaceous elements on butterfly diversity in hedgerow agricultural landscapes. *Agriculture, ecosystems and environment* 93, 45-53.
- Pearson S. M., Turner M. G., Gardner R. H. & O'Neill R. V. (1996) An organism-based perspective of habitat fragmentation. In: *Biodiversity in Managed Landscapes: Theory and Practice* (eds Szaro R. C. & Johnson D. W.) pp. 77-95. Oxford University Press, Oxford.
- Pither, J., Taylor P.D., 1998. An experimental assessment of landscape connectivity. *Oikos* 83, 166-174.
- Research Report 94, England: English Nature.
- Ricketts, T.H., 2001. The matrix matters: effective isolation in fragmented landscapes. *American Naturalist* 157, 87-99.
- Riffell, S. K. and K. J. Gutzwiller. 1996. "Plant-Species Richness in Corridor Intersection: Is Intersection Shape Influential?" *Landscape Ecology* 11 (3):157-68.
- Schadt, S., Knauer, F., Kaczensky, P., Revilla, E., Wiegand, T., Trepl, L., 2002. Rule-based assessment of suitable habitat and patch connectivity for Eurasian Lynx in Germany. *Ecological Application* 12, 1469-1483.
- Schippers, P., Verboom, J., Knaapen, J.P., van Apeldoorn, R.C., 1996. Dispersal and habitat connectivity in complex heterogeneous landscapes: an analysis with a GIS-based random walk model. *Ecography* 19, 97-106.
- Sutcliffe, O.L., Bakkestuen, V., Fry, G., Stabbetorp, O.E., 2002. Modelling the benefits of farmland restoration: methodology and application to butterfly movement. *Landscape and urban planning* 953, 1-17.
- Thenail C., Baudry J., 2004. Variation of farm spatial land use pattern according to the structure of the hedgerow network (bocage) landscape: a case study in northeast Brittany. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 101(1), 53-72.
- Thies, C., Tscharntke, T., 1999. Landscape structure and biological control in agroecosystems. *Science* 285(5429), 893-895.
- Tischendorf, L., Fahrig, L., 2000. How should we measure landscape connectivity? *Landscape Ecology* 15, 633-641.
- Van Apeldoorn, R.C., Knaapen, J.P., Schippers, P., Verboom, J., Van Engen, H., Meeuwsen, H., 1998. Applying ecological knowledge in landscape planning: a simulation model as a tool to evaluate scenarios for the badger in The Netherlands. *Landscape and Urban Planning* 41, 57-69.
- Villalba, S., Gulinck, H., Verbeylen, G., Matthysen, E., 1998. Relationship between patch connectivity and the occurrence of the European red squirrel, *Sciurus vulgaris*, in forest fragments within heterogeneous landscapes. In: Dover, J.W., Bunce, R.G.H. (Eds.), *Key Concepts in Landscape Ecology*. Preston, pp. 205-220.
- Vos, C.C., Verboom, J., Opdam, P.F.M., Ter Braak, C.J.F., 2001. Toward ecologically scaled landscape indices. *Am. Nat.* 183 (1), 24-41.
- Walker, R., Craighead, L., 1997. In: *Proceedings of the ESRI European User Conference on Analyzing Wildlife Movement Corridors in Montana Using GIS*, Copenhagen, 1997, pp. 1-18.
- Wiens, J.A. 1997. Metapopulation dynamics and landscape ecology. Pp. 43-62 in: *Metapopulation Biology* (I.A. Hanski and M.E. Gilpin, eds.). Academic Press, San Diego
- With, K.A. 1997. "The Application of Neutral Landscape Models in Conservation Biology." *Conservation Biology* 11 (5):1069-80.