

# **Heterogeneidad en la estructura de vegetación en sistemas agrarios. Relación con la disponibilidad de recursos alimenticios para aves esteparias**

Leticia Arribas Sánchez.  
Universidad Autónoma de Madrid

## **Resumen**

Los sistemas agrarios extensivos son el hábitat principal de muchos organismos, entre ellos las aves esteparias. La composición en mosaico que muestran estos sistemas (con cereales, labrados y barbechos) presentan una variabilidad a macro y micro escala de la estructura horizontal y vertical de la vegetación que tiene influencia sobre la disponibilidad de alimento y refugio. Para analizarlo se recolectaron datos de biomasa de artrópodos y de vegetación, volumen de semillas, coberturas, y contactos a distinta altura de la vegetación y su altura modal en los distintos sustratos. Se ha realizado un test ANOVA para comprobar a macro escala las posibles diferencias en recursos tróficos entre los diferentes sustratos y un Análisis de Componentes Principales para comprobar a micro escala si existen diferencias en la estructura de vegetación vertical y horizontal, así como su relación con las variables de disponibilidad de alimento. Como resultado se ha obtenido que los barbechos son el sustrato que presenta una mayor disponibilidad de alimento y mayor complejidad estructural horizontal, y que ésta se relaciona positivamente con la disponibilidad trófica. Es por tanto necesaria una gestión agraria que favorezca la biodiversidad y permita mantener esta complejidad estructural.

## **Introducción**

Los sistemas agrarios extensivos están compuestos por un mosaico de campos de cereales, tierras labradas y barbechos (Martínez & Purroy, 1993; Delgado & Moreira, 2000). Son sistemas aparentemente simplificados pero que presentan una importante heterogeneidad estructural y ambiental debido a la diversidad de dicho mosaico agrario (parcelas en cereal, labrado, barbecho). Además, estos sistemas presentan una elevada variabilidad a microescala

de la estructura horizontal y vertical de la vegetación, lo que en ocasiones se ha relacionado con la disponibilidad de alimento y refugio para distintas especies animales (ver, p.e. Morales *et al.*, 2008). Los cultivos extensivos, de hecho, podrían ser un hábitat con más recursos que las estepas semiáridas naturales, ya que tienen una mayor producción vegetal y mayor biomasa de artrópodos (Wolff *et al.*, 2001). Por otro lado, la intensificación de la agricultura reduce dicha heterogeneidad (Benton *et al.*, 2003), dando lugar a la pérdida de plantas arvenses y artrópodos (Guerrero *et al.*, 2010), lo que reduce, a su vez, la disponibilidad de determinados recursos como el alimento y el refugio para muchas especies.

Probablemente debido a esta variabilidad a macro y micro escala, los sistemas agrarios extensivos son el hábitat principal de multitud de organismos, entre ellos las aves esteparias, que son el grupo de aves más amenazado de Europa (Traba *et al.*, 2007; Traba *et al.*, 2008; García de la Morena *et al.*, 2004). Con anterioridad se han analizado las preferencias que manifiestan las distintas especies por los diferentes sustratos agrarios (Lane *et al.*, 2001; Moreira *et al.*, 2004; Sanza *et al.*, 2012), vinculando la distribución de estas especies a la variación a macroescala de dichos sustratos.

Existen pocos estudios, sin embargo, que vinculen la abundancia y distribución de estas especies a cambios en la estructura de la vegetación a microescala, asociando los patrones encontrados con la complejidad horizontal y vertical de la vegetación, e infiriendo relaciones entre dicha complejidad y la disponibilidad de alimento y refugio (Morales *et al.*, 2008; Morales & Traba, 2009; Traba *et al.*, 2012). A pesar de ello, hasta la fecha no existen trabajos que permitan relacionar de forma directa la estructura a microescala de la vegetación en sistemas agrarios con la disponibilidad de alimento.

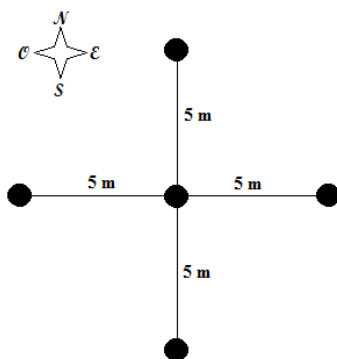
En este trabajo se pretende analizar la variación en la disponibilidad de alimento a macroescala, es decir, entre tres tipos de sustratos agrarios típicos de los sistemas cerealistas extensivos (cereales, barbechos y labrados). En este trabajo se ha considerado disponibilidad de alimento para tres grupos de aves esteparias propias de estos ambientes: herbívoras, granívoras e insectívoras, que son los elementos principales del gremio ecológico de las aves esteparias (Traba *et al.*, 2007). Nuestra predicción en este sentido se refiere a que los sustratos con mayor vegetación natural (barbechos) presentarán mayor disponibilidad de alimento que cereales y labrados, en este orden debido a su cobertura vegetal total. Asimismo, se analizará la variación de dicha disponibilidad de alimento en función de cambios en la estructura de la vegetación a microescala, es decir, con independencia del sustrato agrario. En este sentido,

nuestra predicción es que la complejidad horizontal de la vegetación a microescala estará asociada positivamente con la disponibilidad de alimento, y de manera más clara que la complejidad vertical.

Los resultados serán discutidos en el contexto de la gestión agraria en sistemas cerealistas extensivos y del uso del hábitat que realizan las aves esteparias.

## Materiales y métodos

El estudio se realizó en la Zona de Especial Protección para las Aves (ZEPA) "Estepas Cerealistas de los Ríos Jarama y Henares", en los municipios de Valdetorres del Jarama y Talamanca de Jarama, noreste de la Comunidad de Madrid, entre mayo y junio de 2013. En la zona dominan los cultivos de cereales, barbechos y áreas labradas, albergando una diversa comunidad de aves esteparias como la avutarda (*Otis tarda* L.) y el sisón (*Tetrax tetrax* L.) (Traba *et al.*, 2008). Para la realización del muestreo se establecieron treinta estaciones, de las que diez se localizaron en cultivos de cereales, diez en labrados y diez en barbechos/eriales.



**Figura 1.** Esquema de la colocación de los puntos en una estación

### Vegetación

#### *Trabajo de campo*

Durante la primavera (mayo) de 2013, en cada estación se ubicaron cinco puntos de muestreo, en los extremos y el centro de una cruz y separados 5 m entre sí (Figura 1). En cada uno de los cinco puntos de cada estación se estableció un cuadrado de muestreo de 1x1 m,

donde se estimó la cobertura de suelo desnudo, cobertura vegetal verde, cobertura de detritus, cobertura vegetal arvense verde y cobertura de matorral. Además para analizar la complejidad vertical se colocó una varilla graduada y se anotó la altura modal de la vegetación y el número de contactos a diferentes alturas: menos de 5 cm, entre 5 y 10 cm, entre 10 y 30 cm y por encima de 30 cm.

Para la estima de la disponibilidad de materia vegetal, en el centro de cada uno de los puntos se colocó un cuadrado metálico de 20x20 cm. En las estaciones situadas en cultivos de cereales se contó el número de espigas y se recogió una de ellas, así como la totalidad de la vegetación arvense, en el caso de que estuviese presente. En labrados y barbechos/eriales se recogió toda la vegetación dentro de la cuadrícula.

#### *Trabajo de laboratorio*

En un tiempo inferior a 24 horas se pesó la vegetación en fresco, se secó durante tres días en la estufa a 60 °C y se pesó de nuevo para conocer su peso en seco. En el caso de las muestras recogidas en los campos de cereales, el peso de la espiga recolectada se multiplicó por el total de espigas presentes en la cuadrícula de 20x20 cm, para obtener así el peso total de vegetación de cereal. Para analizar los datos de vegetación se ha calculado la media de los cinco puntos de cada estación para las diferentes coberturas, contactos a distinta altura, altura modal, biomasa (peso) en fresco y biomasa (peso) en seco.

### **Semillas**

#### *Trabajo de campo*

Para determinar la disponibilidad de semillas se recogieron los primeros 1-2 cm de suelo dentro de cada cuadrícula de 20x20 cm, después de que fuera recolectada la vegetación. Para ello se llevó a cabo un rastrillado suave a dicha profundidad.

#### *Trabajo de laboratorio*

Posteriormente se tamizó la muestra de los cinco puntos en filtros de luz cada vez menor y se midió la longitud y la anchura de al menos treinta semillas de cada uno de los dos grupos de tamaño (entre 2 y 4 mm y mayores de 4 mm) en que se clasificaron las semillas encontradas. La estima de biomasa por estación se realizó estimando la media de la longitud y

de la anchura en cada grupo de tamaño en cada estación y calculando el volumen promedio para cada clase de tamaño. Este volumen promedio se multiplicó por el número de semillas de cada tamaño, obteniendo así el volumen total de semillas para cada clase tamaño.

## **Artrópodos**

### *Trabajo de campo*

La recolección de artrópodos se realizó en junio de 2013 mediante trampas *pit-fall* y mangueros con red entomológica. En cada estación, y a una distancia mínima de 10 m de los puntos de muestreo de vegetación se colocaron cinco trampas *pit-fall*, durante siete días. Cabe destacar que en el caso del muestreo de artrópodos el número de estaciones recolectadas se redujo a 27, ya que en las tres restantes no fue posible recoger las muestras. De este modo, se recogieron muestras de 10 estaciones en barbecho/erial, 9 en cereal y 8 en labrado. Las trampas *pit-fall* consistían en vasos de plástico protegidos dentro de tubos de PVC. Como conservante se utilizó etilenglicol, al que se añadió una gota de jabón para romper la tensión superficial. Además, en el momento de la recogida de las trampas se capturaron especímenes voladores y/u ocultos en la vegetación mediante mangueros con redes entomológicas. Una vez recolectados, los animales de una misma estación se juntaron y se almacenaron en botes tipo duquesa con etanol al 70%.

### *Trabajo de laboratorio*

Después se procedió a la identificación taxonómica hasta el nivel de orden, utilizando las claves de identificación de Abelló & Barrientos (2004) y Chinery (1997), conteo de individuos, medición de la longitud de los mismos, excluyendo apéndices, y su clasificación por taxón y, dentro de este, por tamaño (menor de 15 mm y mayor de 15 mm). Se midieron al menos treinta individuos de cada tamaño si el número era superior a treinta y todos los individuos si el número era inferior a treinta. La biomasa de artrópodos por estación se calculó estimando la media de las longitudes de los artrópodos en cada grupo de tamaño dentro de cada taxón. Utilizando las ecuaciones específicas propuestas por Hódar (1996) se estimó la biomasa media de un individuo y se multiplicó por el número total de individuos de ese tamaño.

## Análisis de datos

Para comprobar si existen diferencias en la disponibilidad de alimento y la estructura de la vegetación (variables respuesta, Tabla 1) entre los distintos sustratos (cereal, labrado, barbecho/erial) se utilizó ANOVA unifactorial, realizando primeramente una transformación para el correcto tratamiento estadístico de los datos. Para las variables continuas se utilizó el  $\log_{10}(x+1)$ , la raíz cuadrada en las variables discontinuas y el arcoseno para los porcentajes. En el caso de encontrar diferencias en el test ANOVA, las diferencias entre niveles del factor se analizaron con el test *a posteriori* de DMS.

**Tabla 1.** Abreviaturas y descripción de las variables respuesta obtenidas.

Abreviatura	Nombre	Descripción
<b>CobSueloDesn</b>	Cobertura de suelo desnudo	Porcentaje de suelo desnudo estimado en la cuadrícula de 1 x 1 m
<b>CobVegVerde</b>	Cobertura de vegetación verde	Porcentaje de vegetación verde estimado en la cuadrícula de 1 x 1 m
<b>CobDetr</b>	Cobertura de detrito	Porcentaje de detrito estimado en la cuadrícula de 1 x 1 m
<b>CobVegArvVerd</b>	Cobertura de vegetación arvense verde	Porcentaje de vegetación arvense verde estimado en la cuadrícula de 1 x 1 m
<b>CobMat</b>	Cobertura de matorral	Porcentaje de suelo desnudo estimado en la cuadrícula de 1 x 1 m
<b>Contactos0_5</b>	Contactos hasta 5 cm	Número de contactos de la vegetación por debajo de 5 cm.
<b>Contactos5_10</b>	Contactos de 5 a 10 cm	Número de contactos de la vegetación entre 5 y 10 cm.
<b>Contactos10_30</b>	Contactos de 10 a 30 cm	Número de contactos de la vegetación entre 10 y 30 cm.
<b>Contactos&gt;30</b>	Contactos a partir de 30 cm	Número de contactos de la vegetación por encima de 30 cm.
<b>AltMod</b>	Altura modal	Altura modal de la vegetación.
<b>VegFrescaCereal</b>	Vegetación fresca de cereal	Biomasa en gramos de vegetación fresca de cereal recolectada en la cuadrícula de 20 x 20 cm.
<b>VegFrescaArv</b>	Vegetación fresca arvense	Biomasa en gramos de vegetación fresca arvense recolectada en la cuadrícula de 20 x 20 cm.
<b>VegSeca</b>	Vegetación seca	Biomasa en gramos de vegetación seca tanto de cereal como arvense.
<b>VolSemP</b>	Volumen de semillas pequeñas	Volumen en mm <sup>3</sup> de semillas entre 2 y 4 mm recolectadas en la cuadrícula de 20 x 20 cm.
<b>VolSemG</b>	Volumen de semillas grandes	Volumen en mm <sup>3</sup> de semillas mayores de 4 mm recolectadas en la cuadrícula de 20 x 20 cm.
<b>VolSemT</b>	Volumen de semillas total	Volumen en mm <sup>3</sup> de semillas totales de todos los tamaños.
<b>BiomAranP</b>	Biomasa de Araneae pequeños	Biomasa en miligramos de Araneae con una longitud menor a 15 mm.
<b>BiomAranG</b>	Biomasa de Araneae grandes	Biomasa en miligramos de Araneae con una longitud mayor a 15 mm.
<b>BiomAranT</b>	Biomasa de Araneae total	Biomasa en miligramos de Araneae total de todos los tamaños.
<b>BiomColeopP</b>	Biomasa de Coleoptera pequeños	Biomasa en miligramos de Coleoptera con una longitud menor a 15 mm.
<b>BiomColeopG</b>	Biomasa de Coleoptera grandes	Biomasa en miligramos de Coleoptera con una longitud mayor a 15 mm.

<b>BiomColeopT</b>	Biomasa de Coleoptera total	Biomasa en miligramos de Coleoptera total de todos los tamaños.
<b>BiomHymP</b>	Biomasa de Hymenoptera pequeños	Biomasa en miligramos de Hymenoptera con una longitud menor a 15 mm.
<b>BiomHymG</b>	Biomasa de Hymenoptera grandes	Biomasa en miligramos de Hymenoptera con una longitud mayor a 15 mm.
<b>BiomHymT</b>	Biomasa de Hymenoptera total	Biomasa en miligramos de Hymenoptera total de todos los tamaños.
<b>BiomOrthopP</b>	Biomasa de Orthoptera pequeños	Biomasa en miligramos de Orthoptera con una longitud menor a 15 mm.
<b>BiomOrthopG</b>	Biomasa de Orthoptera grandes	Biomasa en miligramos de Orthoptera con una longitud mayor a 15 mm.
<b>BiomOrthopT</b>	Biomasa de Orthoptera total	Biomasa en miligramos de Orthoptera total de todos los tamaños.
<b>BiomDipP</b>	Biomasa de Diptera pequeños	Biomasa en miligramos de Diptera con una longitud menor a 15 mm.
<b>BiomDipG</b>	Biomasa de Diptera grandes	Biomasa en miligramos de Diptera con una longitud mayor a 15 mm.
<b>BiomDipT</b>	Biomasa de Diptera total	Biomasa en miligramos de Diptera total de todos los tamaños.
<b>BiomHemipP</b>	Biomasa de Hemiptera pequeños	Biomasa en miligramos de Hemiptera con una longitud menor a 15 mm.
<b>BiomHemipG</b>	Biomasa de Hemiptera grandes	Biomasa en miligramos de Hemiptera con una longitud mayor a 15 mm.
<b>BiomHemipT</b>	Biomasa de Hemiptera total	Biomasa en miligramos de Hemiptera total de todos los tamaños.
<b>BiomLitP</b>	Biomasa de Lithobiomorpha pequeños	Biomasa en miligramos de Lithobiomorpha con una longitud menor a 15 mm.
<b>BiomLitG</b>	Biomasa de Lithobiomorpha grandes	Biomasa en miligramos de Lithobiomorpha con una longitud mayor a 15 mm.
<b>BiomLitT</b>	Biomasa de Lithobiomorpha total	Biomasa en miligramos de Lithobiomorpha total de todos los tamaños.
<b>BiomOtrosP</b>	Biomasa de Otros pequeños	Biomasa en miligramos de órdenes minoritarios con una longitud menor a 15 mm.
<b>BiomOtrosG</b>	Biomasa de Otros grandes	Biomasa en miligramos de órdenes minoritarios con una longitud mayor a 15 mm.
<b>BiomOtrosT</b>	Biomasa de Otros total	Biomasa en miligramos de órdenes minoritarios total de todos los tamaños.
<b>BiomTotalP</b>	Biomasa de todos los órdenes encontrados con tamaño pequeño	Biomasa en miligramos total de órdenes encontrados con una longitud menor a 15 mm.
<b>BiomTotalG</b>	Biomasa de todos los órdenes encontrados con tamaño grande	Biomasa en miligramos total de órdenes encontrados con una longitud mayor a 15 mm.
<b>BiomasaTotal</b>	Biomasa total encontrada de todos los tamaños	Biomasa en miligramos total encontrada de artrópodos.

Con objeto de realizar una interpretación de la complejidad vegetal en términos de gradiente ecológico se realizó un Análisis de Componentes Principales sobre las variables originales de coberturas, altura y contactos a diferentes alturas. El ACP tiene por objeto reducir la dimensionalidad de las variables y producir la mejor interpretación bidimensional de las mismas, siendo especialmente útil cuando las variables originales muestran

colinealidad. Posteriormente, y con objeto de evaluar diferencias en los gradientes ecológicos de complejidad surgidos del ACP, se procedió a analizar diferencias en las puntuaciones sobre los dos primeros ejes del ACP entre tipos de sustratos mediante un MANOVA, completado con ANOVAs univariantes sobre cada eje resultante del ACP.

Por último, con objeto de evaluar la relación entre la complejidad de la vegetación y la disponibilidad de alimento se realizaron regresiones entre los ejes del ACP y las variables biomasa fresca, seca, volumen de semillas y biomasa de artrópodos.

## Resultados

### *Macroescala*

La mayoría de los artrópodos encontrados perteneció a la clase Insecta, aunque también se han encontrado individuos de Arachnida, Myriapoda y Crustacea (Tabla 2). El grupo que mayor biomasa aportó al total fueron los coleópteros y el que menos, sin tener en cuenta los incluidos en el grupo Otros, fueron los litobios.

**Tabla 2.** Órdenes de artrópodos encontrados con sus respectivas biomásas totales en miligramos (mg) por sustrato y total. El grupo Otros incluye los órdenes minoritarios en los que se han encontrado pocos individuos y/o con poca biomasa, tales como Opiliones, Solifugae, Dytioptera, Scolopendromorpha y Dermaptera, así como individuos sin identificar.

	<b>Cereal</b>	<b>Labrado</b>	<b>Barbecho/Erial</b>	<b>Total</b>
<b>Araneae</b>	2778,2607	1332,5154	2769,1491	6879,9252
<b>Diptera</b>	445,2859	595,2048	168,2783	1208,7690
<b>Coleoptera</b>	40651,5986	32757,9921	52559,0561	125968,6468
<b>Hemiptera</b>	59,2246	6,4441	266,1429	331,8116
<b>Hymenoptera</b>	2428,1133	2129,0448	6336,0992	10893,2574
<b>Lithobiomorpha</b>	58,9310	18,0689	132,1941	209,1940
<b>Orthoptera</b>	17363,3463	5683,7498	8919,9301	31967,0263
<b>Otros</b>	604,6610	682,8338	1475,6026	2763,0974
<b>Total</b>	64389,4214	43205,8537	72626,4524	180221,7276

Los análisis para evaluar diferencias en la disponibilidad de alimento entre sustratos (macroescala) arrojaron diferencias significativas para algunas, no todas, las variables analizadas. Tal y como se recoge en la Tabla 3, algunos grupos de artrópodos presentaron diferencias significativas entre sustratos, si bien estas diferencias no se observaron en todos los rangos de tamaño. El tipo de sustrato en el que mayor biomasa total de artrópodos se



encontró fue barbecho/erial, seguido de cereal, y por último, labrado, aunque las diferencias no fueron significativas. Por grupos, Hemiptera e Hymenoptera, y el grupo Otros presentaron significativamente más biomasa en los barbechos/eriales, mientras que Araneae y Orthoptera abundaron significativamente más en cereales y Diptera en labrados.

En lo relativo al volumen de semillas, tanto el total como para los dos rangos de tamaño, los barbechos presentaron una abundancia significativamente superior a cereales y labrados (Tabla 3). Lo mismo ocurrió para la biomasa de vegetación arvense, aunque fueron los cereales los sustratos que presentaron mayor biomasa de vegetación total, tanto fresca como seca (Tabla 3).

**Tabla 3.** Resultados del ANOVA para la disponibilidad de alimento (datos transformados). Se muestran sólo las variables significativas o aquellas que tienen cierta tendencia a la significación. En la segunda, tercera y cuarta columna se muestra la media y el error típico para esa variable sin transformar en cada sustrato y con las letras en superíndice se indica si existen diferencias entre los distintos sustratos para esa variable; letras diferentes indican diferencias significativas.

La vegetación fresca y seca está expresada en gramos (g), el volumen de semillas en milímetros cúbicos (mm<sup>3</sup>) y la biomasa de artrópodos en miligramos (mg).

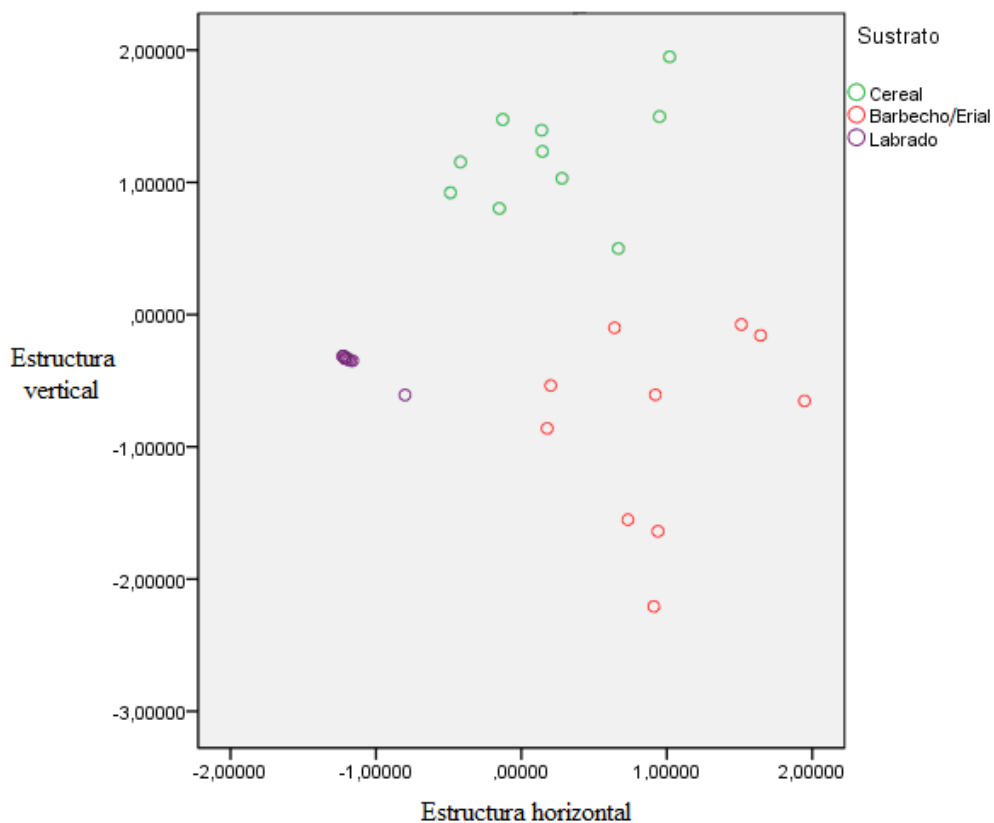
	Cereal	Labrado	Barbecho/Erial	F	P
<b>VegFresCereal</b>	146,667±22,0573 <sup>a</sup>	0,000±0,000 <sup>b</sup>	0,000±0,000 <sup>b</sup>	76,012	0,000
<b>VegFresArv</b>	1,356±1,3556 <sup>a</sup>	0,000±0,000 <sup>a</sup>	24,920±7,998 <sup>b</sup>	50,162	0,000
<b>VegSeca</b>	62,200±9,8986 <sup>a</sup>	0,000±0,000 <sup>b</sup>	9,100±1,9184 <sup>c</sup>	180,81	0,000
<b>VolSemP</b>	2,227±1,5029 <sup>a</sup>	3,765±1,622 <sup>a</sup>	31,782±13,820 <sup>b</sup>	5,009	0,014
<b>VolSemG</b>	16,282±14,384 <sup>a</sup>	19,857±17,641 <sup>a</sup>	811,667±365,224 <sup>b</sup>	10,379	0,000
<b>VolSemT</b>	18,510±15,228 <sup>a</sup>	23,622±18,216 <sup>a</sup>	843,450±365,798 <sup>b</sup>	11,278	0,000
<b>BiomAranP</b>	293,450±41,332 <sup>a</sup>	166,564±31,125 <sup>b</sup>	264,593±37,368 <sup>ab</sup>	3,255	0,056
<b>BiomAranT</b>	308,695±45,326 <sup>a</sup>	166,564±31,125 <sup>b</sup>	276,915±38,144 <sup>a</sup>	3,663	0,041
<b>BiomHymP</b>	265,81541±152,5529 <sup>ab</sup>	246,3429±133,5348 <sup>a</sup>	615,8526±151,6354 <sup>b</sup>	3,469	0,048
<b>BiomHymT</b>	269,7903±151,9069 <sup>ab</sup>	266,1306±131,3060 <sup>a</sup>	633,6099±151,7450 <sup>b</sup>	3,465	0,048
<b>BiomOrthP</b>	45,2399±15,6005 <sup>ab</sup>	66,2260±37,5972 <sup>a</sup>	169,5141±81,9843 <sup>b</sup>	2,851	0,077
<b>BiomOrthT</b>	1929,26±547,318 <sup>a</sup>	710,469±174,877 <sup>b</sup>	891,993±237,422 <sup>ab</sup>	2,749	0,084
<b>BiomDipP</b>	49,2864±13,3593 <sup>a</sup>	74,4005±35,6994 <sup>a</sup>	10,7378±2,5019 <sup>ab</sup>	10,845	0,000
<b>BiomDipT</b>	49,4762±13,3380 <sup>a</sup>	74,4006±35,6994 <sup>a</sup>	16,8278±4,7190 <sup>b</sup>	5,945	0,008
<b>BiomHemipP</b>	6,580±2,284 <sup>a</sup>	0,805±0,745 <sup>b</sup>	23,311±9,049 <sup>c</sup>	14,399	0,000
<b>BiomHemipT</b>	6,580±2,284 <sup>a</sup>	0,805±0,745 <sup>b</sup>	26,614±9,036 <sup>c</sup>	15,692	0,000
<b>BiomOtrosP</b>	41,279±5,906 <sup>a</sup>	10,189±2,092 <sup>b</sup>	45,780±11,430 <sup>a</sup>	10,483	0,001
<b>BiomOtrosT</b>	60,150±11,506 <sup>a</sup>	10,189±2,091 <sup>b</sup>	97,082±36,95 <sup>a</sup>	9,533	0,001

Los dos primeros ejes resultantes del Análisis de Componentes Principales, realizado con las variables originales de cobertura horizontal, altura y contactos (Tabla 4) explicaron juntos el 65,69% de la varianza. Ambos ejes pueden ser interpretados en términos de gradientes ecológicos: el eje 1 muestra asociación con las variables relacionadas con la estructura horizontal, lo que se puede explicar como un gradiente de complejidad horizontal, mientras que el eje 2 lo hizo con las variables de estructura vertical, explicando un gradiente de complejidad vertical (Tabla 4).

**Tabla 4.** Matriz de componentes. Se muestran las correlaciones de las variables originales con los dos primeros ejes del ACP.

	Componentes	
	1	2
<b>CobSueloDesn</b>	-0,930	0,137
<b>CobVegVerde</b>	0,878	0,226
<b>CobDetr</b>	0,768	-0,201
<b>CobVegArvVerd</b>	0,800	-0,475
<b>CobMat</b>	0,172	-0,417
<b>Contactos0_5</b>	0,709	-0,300
<b>Contactos5_10</b>	0,763	0,173
<b>Contactos10_30</b>	0,852	0,182
<b>Contactos&gt;30</b>	0,361	0,856
<b>AltMod</b>	0,495	0,306
Varianza total explicada	5,082	1,488
% de la varianza	50,810	14,876

Como se observa en la figura 2, los tres tipos de sustrato mostraron diferencias en sus valores relativos a los dos ejes resultantes del ACP (test MANOVA; Lambda de Wilks = 0,041; F = 50,973; P = 0,000).



**Figura 2.** Disposición de los sustratos en función de la relación con los ejes del ACP

Como muestra el análisis PostHoc (Tabla 5), existieron diferencias significativas de complejidad estructural horizontal (eje 1) entre los tres tipos de sustratos. Para la complejidad

vertical (eje 2), existieron diferencias entre cereal y labrado y entre cereal y barbecho/erial, pero no entre labrado y barbecho/erial

**Tabla 5.** Resultados del análisis PostHoc para la comprobación de las diferencias de complejidad estructural entre sustratos.

Variable dependiente	Sustrato	Sustrato	P
<b>Eje 1</b>	Cereal	Labrado	0,000
	Cereal	Barbecho/Erial	0,003
	Labrado	Barbecho/Erial	0,000
<b>Eje 2</b>	Cereal	Labrado	0,000
	Cereal	Barbecho/Erial	0,000
	Labrado	Barbecho/Erial	0,107

### *Microescala*

Al analizar la relación entre los ejes de complejidad horizontal y vertical y las variables de disponibilidad, los análisis de regresión mostraron que los ejes de complejidad estructural se relacionaron significativamente con algunas de las variables de disponibilidad de alimento (Tablas 6a y 6b). Así, la complejidad horizontal (eje 1) se asoció positiva y significativamente con la biomasa total de Hemiptera y de Otros (para los dos rangos de tamaño) y para la vegetación arvense. Varias otras variables de disponibilidad mostraron claras tendencias (Tabla 6a).

**Tabla 6a.** Resultados de las regresiones lineales entre el eje de complejidad estructural horizontal y la disponibilidad de alimento. Sólo se muestran las variables significativas y las que tienen cierta tendencia a ser significativas.

Variable Explicada	Variable Respuesta	Constante	Beta	R <sup>2</sup> corregida	P
Complejidad horizontal - Eje 1	<b>BiomDipP</b>	44,475	-24,045	0,110	0,050
	<b>BiomDipG</b>	2,076	2,884	0,85	0,077
	<b>BiomDipTotal</b>	46,551	-21,162	0,79	0,084
	<b>BiomHemipP</b>	10,462	7,174	0,094	0,065
	<b>BiomHemipTotal</b>	11,532	8,997	0,155	0,024
	<b>BiomOtrosP</b>	14,861	32,484	0,244	0,005
	<b>BiomOtrosG</b>	23,022	26,950	0,146	0,028
	<b>BiomOtrosTotal</b>	55,506	41,811	0,243	0,005
	<b>VegVerdeArv</b>	9,294	12,184	0,413	0,000
	<b>VolumenSemP</b>	12,591	9,280	0,076	0,077
	<b>VolumenSemG</b>	282,603	246,158	0,076	0,076
	<b>VolumenSemTotal</b>	295,194	255,438	0,068	0,082

Por su parte, la complejidad vertical (eje 2) se asoció negativa y significativamente con la biomasa total de artrópodos pequeños y con la total y de pequeños Hymenoptera, y con el volumen de semillas en todos los rangos de tamaño. Por otra parte, se asoció positiva y

significativamente con Orthoptera grandes y total y con la biomasa de cereal fresca y seca (Tabla 6b).

**Tabla 6b.** Resultados de las regresiones lineales entre el eje de complejidad estructural vertical y la disponibilidad de alimento. Sólo se muestran las variables significativas y las que tienen cierta tendencia a ser significativas.

Variable Explicada	Variable Respuesta	Constante	Beta	R <sup>2</sup> corregida	P
Complejidad vertical - Eje 2	<b>BiomTotalP</b>	1514,843	-214,909	0,113	0,048
	<b>BiomHymP</b>	385,124	-211,908	0,189	0,014
	<b>BiomHymTotal</b>	398,821	-215,041	0,197	0,012
	<b>BiomOrthopG</b>	1100,112	632,859	0,281	0,003
	<b>BiomOrthopTotal</b>	1197,109	610,168	0,253	0,004
	<b>VegFrescaCereal</b>	46,517	58,072	0,559	0,000
	<b>VegSeca</b>	-0,533	0,022	0,533	0,000
	<b>VolumenSemP</b>	12,591	-11,292	0,130	0,029
	<b>VolumenSemG</b>	282,602	-322,449	0,156	0,017
	<b>VolumenSemTotal</b>	295,194	-333,741	0,166	0,015

## Discusión

Los resultados de este trabajo han mostrado que la disponibilidad de alimento para las aves, fundamentalmente las esteparias, propias de este tipo de sistemas agrarios, es dependiente de la estructura a microescala de la vegetación, especialmente la que varía horizontalmente y depende de distintas coberturas. Igualmente, se ha comprobado que esa estructura difiere entre sustratos agrarios, siendo especialmente adecuados los barbechos y otros sustratos dominados por vegetación natural como suministradores de mayor cantidad de alimento y de distinto tipo. Estos resultados tienen, por tanto, implicaciones para la gestión si se desea maximizar la diversidad en sistemas agrarios extensivos como el analizado.

Distintos trabajos precedentes consideran los barbechos como los sustratos agrarios que ofertan mayor cantidad de alimento (ver, p.e. Morales *et al.*, 2008), aunque hasta la fecha no se había realizado una cuantificación precisa de distintos tipos de alimento. Los barbechos/eriales fueron el sustrato que presentó mayor complejidad en la estructura horizontal y mayor biomasa de vegetación fresca y de artrópodos, así como mayor volumen de semillas, y por tanto, una mayor disponibilidad de alimento. Algunas de las variables de disponibilidad de alimento, como la biomasa total de Hemiptera, de Otros y vegetación arvense estuvieron relacionadas positivamente con la complejidad estructural horizontal, y varias otras mostraron tendencia a ser significativas. Sólo la biomasa de dípteros total y la de

los de menor tamaño se asoció negativamente, aunque probablemente se trate de ítems poco nutritivos o de más difícil captura para insectívoros (Lane *et al.*, 1999). Por tanto, y tal y cómo se había predicho, la complejidad estructural horizontal y la disponibilidad de alimento tienen una relación positiva, tanto si se habla en términos de disponibilidad de alimento vegetal como animal. Las coberturas de vegetación verde y de vegetación verde arvense están estrechamente relacionadas con las biomásas de vegetación vegetal de cereal y arvense, así como con la cobertura de detrito. A mayor cobertura de vegetación verde, mayor disponibilidad de alimento vegetal verde, siendo además mayor la cobertura de detritos, lo que se traduce en una mayor presencia de artrópodos (Facelli, 1994; Morales *et al.*, 2008). Con los resultados obtenidos en este estudio, se observa que esto se cumple en los barbechos, donde se ha encontrado la mayor cobertura de vegetación arvense, mayor biomasa de vegetación verde, mayor cobertura de detritos y mayor biomasa total de artrópodos.

Con respecto a la mayor complejidad estructural vertical, ésta fue mayor en el cereal, pero no difirió entre labrados y barbechos/eriales. La complejidad vertical no mostró relaciones tan patentes con la disponibilidad de alimento, que sí se han encontrado en el caso de la complejidad horizontal. Aún más, la biomasa total de artrópodos pequeños y total, de Hymenoptera pequeños y volumen de semillas, tanto grandes como pequeñas y el total, se relacionó negativamente con la complejidad estructural vertical, mientras que sólo la biomasa de ortópteros grandes y total y la biomasa de cereal fresca y seca se relacionaron positivamente con esta complejidad vertical. Respecto al tipo de alimento, se observa que a mayor complejidad vertical, todas las variables relacionadas con el volumen de semillas lo hacen de manera negativa; en el caso de artrópodos, encontramos que las variables de biomasa de ortópteros lo hacen de manera positiva, mientras que las de himenópteros y los artrópodos de pequeños tamaño lo hacen negativamente; con la vegetación, la relación es positiva en ambas variables significativas. Por tanto, a la hora de hablar de disponibilidad de alimento, la complejidad estructural vertical facilitaría la presencia de vegetación y la presencia de determinados grupos de artrópodos, mientras que no favorece la presencia de semillas de ningún tamaño. En resumen, la complejidad estructural vertical de la vegetación no se relaciona tan claramente con la disponibilidad de alimento, aunque probablemente tiene otro tipo de significado en términos ecológicos para las especies de aves que utilizan estos hábitats. El número de contactos de la vegetación aumenta con la altura. Un menor número de contactos en la zona más cercana al suelo favorecería el desplazamiento de las aves entre la vegetación, mientras que un mayor número de contactos a más altura les conferiría refugio.

En el caso de las aves esteparias, por ejemplo, se ha sugerido la asociación entre este tipo de ejes de complejidad vertical con gradientes de visibilidad-refugio (ver, p.e., Morales *et al.*, 2008; Morales & Traba, 2009; Traba *et al.*, 2012).

Anteriormente se ha sugerido que los sistemas agrarios extensivos con paisaje en mosaico, es decir, que combinan diferentes estructuras de vegetación, aumentan la diversidad de especies a nivel local (Benton *et al.*, 2003). En el caso de las aves vinculadas a medios agrarios, e independientemente del tipo de sustrato, la altura de la vegetación, la presencia de matorral y la cobertura de suelo desnudo influyen en la densidad de las especies de aves (Delgado & Moreira, 2002). De forma similar a lo encontrado en este trabajo al analizar varios sustratos agrarios, estos autores mostraron que distintos cultivos de cereales proveen de diferentes recursos alimenticios, de hábitat y de refugio, ya que cada uno tiene un patrón de crecimiento distinto, existiendo un gradiente en el aumento de la altura y la densidad de la vegetación en los distintos cultivos de cereales.

En lo referente a la disponibilidad de artrópodos, debe mencionarse que la mayor parte de los artrópodos encontrados pertenece a la clase Insecta; de hecho, éste es el grupo con mayor número de especies y que mayor biomasa aporta de los ecosistemas terrestres (Ortuño & Martínez-Pérez, 2011). La mayor abundancia que presentan en barbechos puede deberse a la relación positiva que muestra este grupo, especialmente coleópteros y ortópteros, con la riqueza florística y abundancia de fabáceas (Faria *et al.*, 2012), más abundantes en sustratos dominados por vegetación natural. En nuestro caso, Coleoptera ha sido el orden del que mayor biomasa se ha recolectado. Es el orden más diverso en cuanto a número de especies y son capaces además de colonizar una gran diversidad de hábitats (Ortuño & Martínez-Pérez, 2011). Probablemente es debido a este hecho por lo que en el presente estudio los coleópteros suponen casi el 70% de la biomasa total y no existen diferencias en biomasa de coleópteros entre los sustratos.

El siguiente orden que más biomasa aporta en este estudio es Orthoptera, tal y como se espera, constituyendo casi el 18% de la biomasa total. Los ortópteros son un grupo clave en pastos y suponen un recurso alimenticio importante para aves. Los ortópteros prefieren hábitats con una estructura de la vegetación heterogénea, con presencia de suelo desnudo y sin detritos (Fartmann *et al.*, 2012). En el caso del presente estudio estas características se ven reflejadas en los campos de cereales, que presentan una estructura de vegetación vertical y horizontal relativamente compleja y con una presencia considerable de suelo desnudo. Es en

ellos donde cabría esperar, por tanto, la mayor biomasa de estos insectos, tal y como se ha encontrado.

El 6% de la biomasa encontrada de artrópodos se corresponde con el orden Hymenoptera, perteneciendo la mayoría de la biomasa a hormigas. Los himenópteros son un grupo heterogéneo, con unos hábitos de vida muy diversos y cosmopolita (Ortuño & Martínez-Pérez, 2011). En este estudio la mayor biomasa de himenópteros se da en barbechos/eriales, aunque no existen diferencias significativas con los cereales.

El siguiente orden con mayor aporte de biomasa es Araneae, perteneciente a la clase Arachnida, y suponen casi el 4% de la biomasa total recolectada. Las arañas presentes en sistemas agrarios son depredadores generalistas (Nyfeller, 1999; Cárdenas *et al.*, 2011). La biomasa encontrada en cereales y barbechos/eriales es muy similar, pero sí existen diferencias significativas entre estos dos sustratos y los labrados. El 2% de la biomasa total pertenece a Diptera, Hemiptera, Lithobiomorpha y a otros órdenes presentes en muy poca proporción.

En cuanto a la biomasa vegetal, la mayor biomasa de vegetación arvense se ha encontrado en barbechos/eriales. Los barbechos son un sustrato más naturalizado que cereales y labrados, por lo que es predecible encontrar mayor biomasa de vegetación arvense, frente a sistemas muy modificados y sometidos a tratamientos con herbicidas como los cultivos, o a sustratos sometidos a intensa mecanización, como son los labrados. De forma similar, la biomasa de vegetación de cereal se encuentra únicamente en los cereales, como era predecible. Sin embargo, se observa que los cereales conservan una mayor biomasa después de haber pasado por la estufa, ya que conservan el 42% del peso que tenían en fresco, mientras que el peso seco de vegetación arvense es sólo de un 4%. Por tanto, podría deducirse que el aporte energético absoluto de los cereales es mayor que el de la vegetación arvense, y que una menor cantidad de cereales aportaría igual o mayor cantidad de nutrientes. En este sentido deberían hacerse medidas específicas de aporte calórico de los componentes vegetales de cada sistema, al igual que considerar la menor palatabilidad y digestibilidad de las gramíneas de cultivo.

En cuanto a la disponibilidad de semillas, no se han encontrado diferencias significativas entre cereal y labrado, pero sí entre estas dos y barbecho/erial. Los barbechos son sustratos con mayor vegetación natural y por tanto con mayor diversidad florística, siendo ésta posiblemente una de las causas de las diferencias de volumen de semillas encontradas en

este tipo de sustrato con respecto a cereales y labrados. En Delgado & Moreira (2002) se apunta a la altura de los cereales como otra de las posibles causas de las diferencias en la disponibilidad de semillas y sugiere que la baja altura de la vegetación, y cita el caso de la avena, podría aumentar la disponibilidad de semillas. Si tenemos en cuenta esta sugerencia y presuponemos que ocurre lo mismo en todo tipo de vegetación, vemos que en nuestro estudio se han obtenido resultados similares. Así, en los barbechos, donde la altura modal medida es menor, se encuentra un mayor volumen de semillas.

Una gestión agraria adecuada, como los cultivos extensivos y/o tradicional, puede favorecer la heterogeneidad estructural de la vegetación en los sistemas agrarios cerealistas y de esta manera obtener una mayor disponibilidad de recursos tróficos para las aves esteparias y otros organismos que ocupan estos sistemas. Existen prácticas agrarias que se asocian con un incremento de la biodiversidad, como las rotaciones, control biológico de plagas, favorecer la fertilización orgánica, laboreo superficial y el retraso de la cosecha para no intervenir en la reproducción de aves esteparias (Sans, 2007). Dentro de la práctica de rotación, dejar terrenos en barbecho supone una importante práctica para la recuperación de la diversidad natural. Para la conservación de estos sistemas se debe llevar a cabo una gestión no intensiva cuando se trata de barbechos jóvenes, por ejemplo retrasar el labrado hasta el momento de la siembra, y en el caso de barbechos viejos, puede incluirse un pastoreo moderado que consuma la materia vegetal presente y así permitir la aparición de especies vegetales que ven dificultada su presencia por los cultivos de cereales (Gliessman, 2002)

## **Conclusiones**

Los barbechos/eriales son el sustrato con mayor disponibilidad de alimento, ya que presenta la mayor biomasa total de artrópodos, así como de la biomasa total de la mayor parte de los grupos, el mayor volumen de semillas y la mayor biomasa de vegetación arvense.

Los labrados son el sustrato con menos disponibilidad de alimento tanto en términos de biomasa de artrópodos como de semillas.



Los cereales se sitúan en un punto intermedio entre los otros dos en la mayor parte de variables de disponibilidad de alimento de artrópodos y de semillas. Sin embargo, es el sustrato con mayor biomasa de vegetación seca.

El sustrato que más complejidad estructural presenta son los cereales. Los barbechos presentan una ligera mayor complejidad horizontal, pero mucha menos vertical. Los labrados son los que presenta una menor complejidad de ambos tipos.

La complejidad estructural horizontal se asocia positivamente con la mayor parte de las variables de alimento que tienen una relación significativa con ella.

La complejidad estructural vertical solo se asocia positivamente con variables de vegetación y grupos muy puntuales de artrópodos. De manera negativa, afecta a la presencia de semillas y la mayor parte de los artrópodos.

Para conservar esta complejidad estructural que favorece la disponibilidad de recursos tróficos para aves esteparias, deben llevarse a cabo prácticas agrarias no intensivas que favorezcan la biodiversidad.

## **Bibliografía**

ABELLÓ P & BARRIENTOS JA (2004) *Curso práctico de entomología*. Asociación Española de Entomología, Centro Iberoamericano de la Biodiversidad y Universidad Autónoma de Barcelona, Bellaterra (Barcelona). 947 pp.

BENTON TG, VICKERY JA & WILSON JD (2003) Farmland biodiversity: is habitat heterogeneity the key?. *Trends in Ecology and Evolution* 18: 182–188.

CÁRDENAS M, PASCUAL F & CAMPOS M (2011) Roles de las arañas en el ecosistema del olivar. *Phytoma España* 229: 41-48.

CHINERY M (1997) *Guía de campo de los insectos de España y Europa*. Ediciones Omega, S.A., Barcelona. 402 pp.

DELGADO A & MOREIRA F (2000) Bird assemblages of an Iberian cereal steppe. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 78: 65-76.

- DELGADO A & MOREIRA F (2002) Do wheat, barley and oats provide similar habitat and food resources for birds in cereal steppes? *Agriculture, Ecosystems and Environment* 93: 444-446.
- FACELLI JM (1994) Multiple indirect effects of plants litter affect the establishment of woody seedlings in old fields. *Ecology* 75(6): 1729-1735.
- FARIA N, RABAÇA JE & MORALES MB (2012) Linking plant composition and arthropod abundance to establish little bustard breeding requirements in pastureland dominated landscapes. *Biodiversity and Conservation* 21: 2109-2125.
- FARTMANN T, KRÄMER B, STELZNER F & PONIATO D (2012) Orthoptera as ecological indicators for succession in steppe grassland. *Ecological Indicators* 20: 337-344.
- GARCÍA DE LA MORENA EL, DE JUANA E, MARTÍNEZ C, MORALES MB & SUÁREZ F (2004) *Sisón Común, Tetrax tetrax*. En: MADROÑO A, GONZÁLEZ C & ATIENZA J (eds) *Libro Rojo de las Aves de España*. Dirección General de Conservación de la Naturaleza-Sociedad Española de Ornitología, Madrid. pp 202-207.
- GLIESSMAN SR (2002) *Factores bióticos*. En: RODRÍGUEZ E, BENJAMÍN T, RODRÍGUEZ L & CORTÉS A (eds) *Agroecología: procesos ecológicos en agricultura sostenible*. CATIE, Turrialba (Costa Rica). pp 153-170.
- GUERRERO I, MARTÍNEZ P, MORALES MB & OÑATE JJ (2010) Agricultural factors influencing bird, carabid and weed richness in a high conservation value, low-intensity cereal system. *Agriculture Ecosystems and Environment* 138: 103-108.
- HÓDAR JA (1996) The use of regression equations for estimation of arthropod biomass in ecological studies. *Acta Oecologica* 17(5): 421-433.
- LANE SJ, ALONSO JC, ALONSO JA & NAVESO M (1999) Seasonal changes in diet and diet selection of great bustards (*Otis t. tarda*) in north-west Spain. *Journal of Zoology* 247: 201-214.
- LANE SJ, ALONSO JC & MARTÍN CA (2001) Habitat preferences of great bustard *Otis tarda* flocks in the arable steppes of central Spain: are potentially suitable areas unoccupied? *Journal of Applied Ecology* 38: 193-203.
- MARTÍNEZ FJ & PURROY FJ (1993) Avifauna reproductora en los sistemas esteparizados ibéricos. *Ecología* 7: 391-401.

- MORALES MB, TRABA J, CARRILES E, DELGADO MP & GARCÍA DE LA MORENA EL (2008) Sexual differences in microhabitat selection of breeding little bustards *Tetrax tetrax*: Ecological segregation based on vegetation structure. *Acta Oecologica* 34: 345-353.
- MORALES MB & TRABA J (2009) *Compromisos adaptativos en la selección de hábitat de aves esteparias*. En: HERNÁN DOPAZO AN. *Evolución y Adaptación. 150 años después de Origen de las Especies*. Universidad de Valencia, Valencia. pp 304-313.
- MOREIRA F, MORGADO R & ARTHUR S (2004) Great bustard *Otis tarda* habitat selection in relation to agricultural use in southern Portugal. *Wildlife Biology* 10: 251-260.
- NYFFELER M (1999) Prey selection of spiders in the field. *The Journal of Arachnology* 27: 317-324.
- ORTUÑO V & MARTÍNEZ-PÉREZ FD (2011) Diversidad de artrópodos en España. *Real Sociedad Española De Historia Natural, 2º Época* 9: 235-284.
- SANS FX (2007) La diversidad de los agrosistemas. *Ecosistemas* 16(1): 44-49.
- SANZA MA, TRABA J, MORALES MB, RIVERA D & DELGADO MP (2012) Effects of landscape, conspecifics and heterospecifics on habitat selection by breeding farmland birds: the case of Calandra Lark (*Melanocorypha calandra*) and Corn Bunting (*Emberiza calandra*). *Journal of Ornithology* 153: 525-533.
- TRABA J, GARCÍA DE LA MORENA EL, MORALES MB & SUÁREZ F (2007) Determining high value areas for steppe birds in Spain: hot spots, complementary and the efficiency of protected areas. *Biodiversity and Conservation* 16: 3255-3275.
- TRABA J, MORALES MB, GARCÍA DE LA MORENA EL, DELGADO MP & KRIŠTÍN A (2008) Selection of breeding territory by little bustard (*Tetrax tetrax*) males in Central Spain: the role of arthropod availability. *Ecological Research* 23: 615-622.
- TRABA J, DELGADO MP, ALBENDEA DJ & MORALES MB (2012) Selección de macro y microhábitat del Alcaraván común (*Burhinus oedicnemus*) en dos localidades madrileñas durante la estación reproductiva. *Anuario Ornitológico De Madrid* 2009-2010: 23-40.
- WOLFF A, PAUL JP, MARTIN JL & BRETAGNOLLE V (2001) The benefits of extensive agriculture to birds: the case of the little bustard. *Journal of Applied Ecology* 38: 963-975.