

Distribución de los peces continentales de España asociada a las características físicas, meteorológicas e hidrológicas de las cuencas hidrográficas

K. Nieto, M. Lizana¹, J.C. Velasco²

(1) Departamento de Biología Animal, Universidad de Salamanca, 37008, Salamanca, España.

(2) Junta de Castilla y León, C. Villar y Macías 1, 37001, Salamanca, España.

Se analizó la distribución espacial de los principales peces continentales de España y su relación con variables tales como: altitud, orden de los ríos, pendiente, precipitaciones, temperaturas medias mínima y máxima, de invierno y verano respectivamente. Se consideraron las cuencas hidrográficas del Norte, Duero, Tajo, Ebro, Guadiana, Guadalquivir, Júcar, Segura, Sur e Internas de Cataluña. Las variables se analizaron bajo un enfoque espacial, utilizando un Sistema de Información Geográfica (SIG). Las asociaciones de las variables antes mencionadas, tanto cuantitativas como cualitativas, se determinaron aplicando un Análisis de Correspondencias Múltiples.

Spatial distribution of the mainly continental fishes of Spain and its relation by such variables as: altitude, rivers orders, slope, rainfalls, average minimal and maximum temperatures, on winter and summer respectively, was analyzed. The hydrographical basins of the: North, Duero, Tajo, Ebro, Guadiana, Guadalquivir, Júcar, Segura, South and Internal Catalonia were considered. The variables were analyzed under a spatial approach, using a Geographical Information System (GIS). The relationships of the variables mentioned before, both quantitative and qualitative, were determined applying a Multiple Correspondences Analysis

Introducción

La investigación científica ha alcanzado en los últimos años un gran avance en el conocimiento de la ictiofauna española, principalmente por el incremento de la actividad de campo. El ejemplo más claro de este avance ha sido la aparición, en el año 2001, del Atlas y Libro Rojo de Peces Continentales de España. Esta publicación reúne una síntesis de los conocimientos sobre la diversidad real de la ictiofauna continental y su distribución en todo el territorio español (Doadrio, 2002).

Según el Atlas y Libro Rojo, en la península ibérica existen 69 especies, entre autóctonas y exóticas. De éstas, 35 son autóctonas de agua dulce; 10, también autóctonas, son de hábitos estuarinos y/o migradores; y 24 son exóticas de agua dulce. Si bien España es pobre en número de especies, al compararla con Centroeuropa, es rica en especies endémicas (Elvira, 1997). Aproximadamente el 80% de las especies estrictamente fluviales de la Península ibérica, son exclusivas de su territorio (Doadrio, 2002). El elevado número de especies endémicas se debe a la antigüedad de su origen, 25 millones de años, y al asilamiento posterior de la península ibérica con relación a las faunas europeas y africanas (Elvira y Almodóvar, 2001).

La mayor parte de las especies ibéricas han evolucionado bajo un régimen climático Mediterráneo. Una de las características más importantes de este clima es la variación intra e interanual en la distribución de las precipitaciones, dando lugar a una gran inestabilidad en sus ecosistemas acuáticos. En estos ambientes tan impredecibles, se ha visto favorecida en los peces la capacidad de utilizar prácticamente la totalidad de los hábitats disponibles en los ecosistemas fluviales (Prenda *et al*, 2002).

Granado (2002) señala que son pocos los trabajos realizados sobre las asociaciones de peces de ríos ibéricos y que en muchos de ellos, el objetivo es más bien describir ciertos aspectos de la biología de una o varias especies de la taxocenosis que realizar un análisis general de la comunidad o establecer 'asociaciones'. Esta situación determina que el análisis holístico, en la mayoría de los casos sea más un ejercicio intelectual especulativo que una labor de síntesis en base a procesos descritos en la literatura científica reciente. Por lo anterior, es menester realizar investigaciones enfocadas a establecer relaciones entre las especies y variables indicadoras del medioambiente en el que se distribuyen para contribuir con información en temáticas orientadas al manejo y conservación de los peces.

La distribución de los peces fluviales a lo largo de las cuencas hidrográficas esta condicionada por un conjunto de factores físicos, químicos y biológicos. Factores como la altitud y la pendiente de la cuenca inciden en la velocidad, oxigenación y rango de variación de la temperatura del agua y en el arrastre de materiales erosivos por ésta (de Sostoa, 2002).

Bajo la hipótesis que las características de las cuencas hidrográficas, así como los factores climáticos e hidrológicos, influyen en la distribución de los peces fluviales, el objetivo de este estudio es determinar las asociaciones entre las características físicas de las cuencas hidrográficas, variables meteorológicas, hidrológicas y la distribución de los peces continentales de España. Para ello se dispone de bases de datos y programas especializados que permiten almacenar, procesar y analizar la información geográfica recopilada. Para este estudio se considera la cuenca hidrográfica desde un punto de vista ecológico, como hábitat de los peces fluviales.

Metodología

Fuentes de datos

Base SIG (Sistema de Información Geográfica) externas. Gracias a la colaboración del Editor del Atlas y Libro Rojo de los Peces Continentales de España, se contó con los archivos digitales en formato *.shp (Shapefile de ArcView 3.1) de la distribución espacial de todas las especies de peces fluviales de España. La cartografía fue realizada considerando una malla de cuadrículas UTM 10x10 Km (de Ambrosio, 2002). Además se accedió a las redes fluviales de las Cuencas del Ebro y Guadalquivir, gracias a la colaboración de las respectivas Confederaciones Hidrográficas. Se trata de archivos vectoriales en formato *.shp a escala 1:50.000.

Teledetección. Por un lado, se utilizaron seis imágenes satelitales Landsat, que conforman el territorio español continental, para la digitalización de las redes fluviales. Estas imágenes fueron descargadas del servidor de imágenes MrSID de la NASA (Applied Sciences Directorate). Tienen formato *.sid con proyección UTM/WGS84 y una resolución de 28,5 m. Por otro lado, se obtuvo el Modelo Digital de Elevación (MDE) gracias al conjunto de datos SMRT-3 (Shuttle Radar Topography Mission). Estos datos son el resultado del esfuerzo de colaboración entre la NASA y la NIMA, y la participación de las agencias espaciales alemana e italiana, para generar un MDE global de la tierra usando interferometría radar. Cada imagen es descargada en formato *.bil (band interleaved by line), proyección latitud longitud y resolución de 90 m.

Mapas impresos. Los mapas de precipitaciones medias anuales, temperaturas medias máximas y mínimas, de verano e invierno respectivamente, fueron obtenidos del Nuevo Atlas de España (Salvat, 2001).

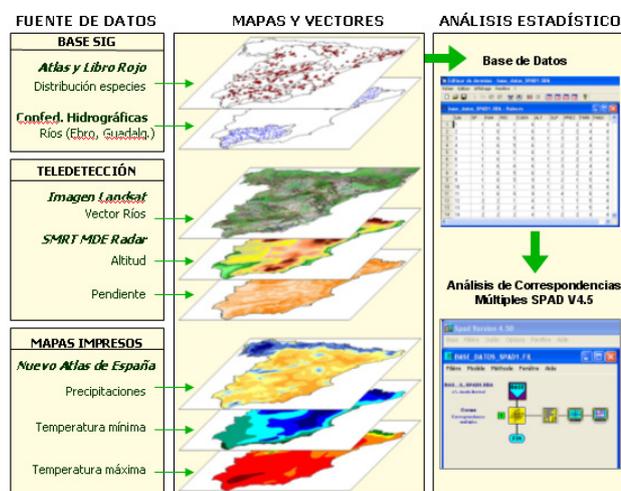


Figura 1. Esquema Metodológico.

Creación de Mapas y Vectores

Se creó un archivo vectorial de las redes fluviales digitalizadas de las cuencas del Duero, Tajo, Guadiana, Sur, Segura, Júcar, Internas de Cataluña y Norte. Se digitalizaron vectores de líneas sobre las imágenes Landsat, utilizando el SIG Arcview, previa identificación de los nombres de los ríos en Atlas geográficos y otros mapas consultados a través de internet. Cada vector representa la red fluvial de la cuenca, la que incluye el cauce principal, afluentes, subafluentes y otros ríos menores que son posibles de visualizar en la imagen satelital (**Fig. 2**). En total se digitalizaron 409 ríos (**Fig. 3c**).

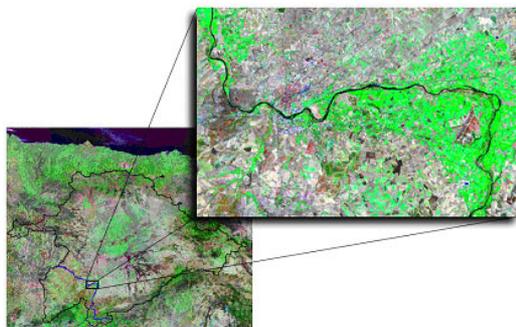


Figura 2. Ejemplo de visualización de un tramo del río Tormes (Cuenca del Duero) en la imagen Landsat RGB742.

El mapa de altitudes de España continental se creó a través de la unión de los MDE de cada cuenca, operación realizada en Idrisi32. Para el MDE de la cuenca Norte se utilizaron 19 imágenes, 20 para el Duero, 14 para la del Tajo, 14 para la del Guadiana, 11 para la del Guadalquivir, 8 para la del Sur, 6 para la del Segura, 11 para la del Júcar, 20 para la del Ebro y 6 para las Internas de Cataluña (**Fig. 3a**). La imagen de pendiente (**Fig. 3b**) se calculó a partir del MDE. Este proceso se realizó utilizando las herramientas de análisis de superficie de variables topográficas de Idrisi32. Este SIG determina la pendiente de una celda en base a la resolución de la celda y los valores de las celdas vecinas inmediatas de arriba, abajo, a la derecha y a la izquierda de la celda en cuestión (Eastman, 2001).

Los mapas impresos son escaneados, convertidos a imagen *.tif, exportados al SIG Idrisi32 y georreferenciados en proyección UTM. Para cada mapa, se digitalizan las modalidades como polígono. Luego se rasterizan estos vectores y se obtiene el mapa final de cada variable (**Fig. 3d, 3e y 3f**).

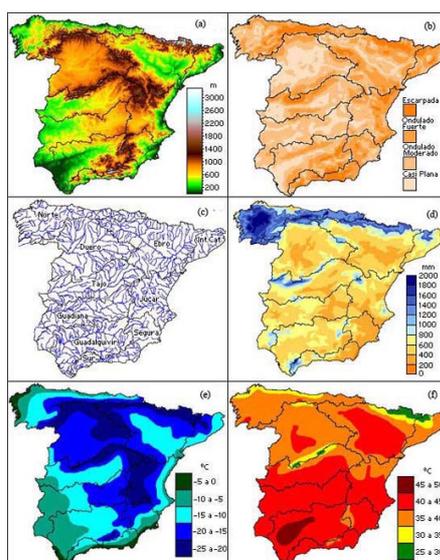


Figura 3. Mapas y Vectores: a) altitud, b) pendiente, c) red fluvial, d) precipitaciones, e) temperatura mínimas de invierno, f) temperaturas máximas de verano.

Base de Datos

Para cada cuadrícula de 10*10 km en la que se registraba la presencia de una especie determinada, se extrajo, para el tramo del río correspondiente a esa cuadrícula, la siguiente información: familia de la especie, coordenada UTM X, coordenada UTM Y, identificador UTM, nombre de la cuenca, nombre del río, orden del río, altitud promedio, pendiente promedio, precipitaciones, temperatura mínima y temperatura máxima. Se obtuvieron 12.047 registros en total. La base de datos final, aquella que fue exportada al software estadístico SPAD, requirió que cada variable fuera clasificada en modalidades (**Tabla 1**).

Tabla 1. Modalidades de las variables cualitativas y cuantitativas.

Orden de los ríos		Altitud		Pendiente				
1	Principal	1	Zonas Bajas	0-400 m	1	Casi Plana	0-0.2	
2	Afluente	2	Cursos Medios	400-800	2	Ondulada Moderada	0.2-0.6	
3	Subafluente	3	Cursos Altos	800-1200	3	Ondulada Fuerte	0.6-1.3	
4	Menores	4	Tramos de montaña	1200-3460	4	Escarpada	1.3-3.9	
Precipitaciones		Temperatura Máxima		Temperatura Mínima				
1	Débil	0-400 mm	1	Poco Cálida	25-30°C	1	Extremadamente Fría	-25 a -20°C
2	Moderada	400-800	2	Moderadamente Calida	30-35	2	Muy Fría	-20 a -15
3	Fuerte	800-1200	3	Calida	35-40	3	Fría	-15 a -10
4	Muy Fuerte	1200-1600	4	Muy Cálida	40-45	4	Moderadamente Fría	-10 a -5
5	Severa	1600-2000	5	Extremadamente Cálida	45-50	5	Poco Fría	-5 a 0

Análisis de Correspondencias Múltiples

El Análisis de Correspondencias es una técnica estadística cuya finalidad es poner de manifiesto gráficamente las relaciones de dependencia existentes entre las diversas modalidades de dos o más variables categóricas a partir de la información proporcionadas por sus tablas de frecuencias cruzadas (Salvador Figueras, 2003). Para el análisis de la base de datos se utilizó el software estadístico SPAD 4.5 (Système Portable pour l'Analyse des Données), específicamente el método Correspondencias Múltiples (CORMU) del grupo de métodos de Análisis Factoriales. Joaristi y Lizasoain (2000) recomiendan el uso de SPAD para el Análisis de Correspondencias Múltiples, ya que a diferencia de otros paquetes estadísticos, como SPSS, proporciona la posibilidad de manejar los elementos suplementarios como variables nominales y cuantitativas, modalidades y sujetos; elementos que juegan un papel muy importante en el análisis de correspondencias.

Resultados y Discusión

Considerando como representativas a aquellas familias que aportan más del 1% del total de registros presentes en una determinada cuenca, se puede observar que la familia Cyprinidae es la más representativa de la ictiofauna española con más del 70% del total de registros. Dentro de esta familia, los géneros *Chondrostoma* y *Barbus* abarcan más del 60%, seguido por el género *Squalius* (16%) y el resto entre los demás géneros de la familia Cyprinidae (*Abramis*, *Carassius*, *Cyprinus*, *Gobio*, *Phoxinus*, *Scardinius* y *Tinca*). Cabe señalar que para los análisis estadísticos, la familia Cyprinidae, por su gran representatividad, se dividió en cuatro categorías: Cyprinidae-*Barbus*, Cyprinidae-*Chondrostoma*, Cyprinidae-*Squalius* y Cyprinidae-Otros (la que abarca el resto de los géneros). Las cuencas que presentan más número de cuadrículas con especies son, en orden de representatividad, las Cuencas del Ebro, del Tajo, del Duero, del Guadalquivir y del Norte.

Al analizar los gráficos de Análisis de Correspondencias Múltiples de cada cuenca, se pudo observar que las cuencas que presentan el mayor número de asociaciones entre la distribución de peces y demás variables, son las cuencas del Ebro, Júcar, Norte e Internas de Cataluña. No obstante, aquellas cuencas que siguen un patrón de asociación similar, es decir, resultados similares para una misma familia, género o especie que se encuentre asociada a la misma modalidad de una variable, son las cuencas Internas de Cataluña, Guadalquivir y Cuenca del Sur. En las **Figuras 4, 5 y 6** se muestran los gráficos de ACM para las cuencas del Ebro, Guadalquivir y Júcar, consideradas como representativas de las asociaciones.

La familia Anguillidae muestra su mayor asociación con la modalidad 'zonas bajas' de la variable altitud, mostrando coincidencia con esta modalidad en las cuatro cuencas en que se observa una asociación con la altitud (Norte, Internas de Cataluña, Júcar y Sur). Estos resultados coinciden con García y González (1988), de Sostoa (2002) y Granado (2002), quienes señalan que la familia Anguillidae, que comprende una sola pero abundante especie *Anguilla anguilla*, habita principalmente los tramos bajos de los ríos. En las Cuencas del Guadalquivir e Internas de Cataluña muestra una asociación con los ríos principales, y en las Cuencas Internas de Cataluña y Júcar con las temperaturas de invierno intermedias (-15 a -10). Esto último indicaría indirectamente que esta familia tiene un rango de tolerancia a la temperatura del agua y no se encontraría en aquellas zonas que en invierno se presentan como demasiadas frías.

Para la familia Salmonidae, que muestra las más claras asociaciones en todas las cuencas que se distribuye, autores como García y González (1988), Sostoa (2002) y Granado (2002) coinciden en señalar que son especies típicas de los tramos de montaña y cursos altos de los ríos, así como que habita en aguas frías y bien oxigenadas. En siete de las diez cuencas muestra que la mayor asociación la presenta con las modalidades 'tramos de montaña' y 'cursos altos'. También se observa que en las cuencas del Tajo y Ebro están asociadas a los ríos menores de la red fluvial. Se asocia además zonas en que las precipitaciones sobrepasan los 800 mm, es decir zonas consideradas de precipitaciones fuertes y muy fuertes, aunque también es posible encontrarla asociada a zonas de precipitaciones moderadas como es el caso de la Cuenca del Segura.

Los resultados muestran que los géneros *Chondrostoma* y *Barbus* de la familia Cyprinidae presentan las mayores asociaciones. El primero asociado a los cursos medios (Cuenca del Norte y el Sur), y tanto a pendientes 'casi planas' (Guadiana y Guadalquivir) como 'escarpadas' (Internas de Cataluña y Sur). El segundo asociado a 'zonas bajas' y 'cursos medios', así como a precipitaciones débiles y moderada (Guadiana, Segura y Ebro), y pendientes que van desde casi plana a ondulada fuerte. La familia Cyprinidae, que es la más representativa de la Península, está adaptada a casi todos los tipos de hábitat. Lo mismo señala García y González (1988), indicando además que predominan en los tramos medios y bajos de los ríos. Granado (2002) señala que habitan en todos los tramos de los ríos, entre las zonas de Ritron y Potamon. El género *Squalius* se asocia principalmente a la pendiente, observándose asociación con zonas 'onduladas fuertes' en las cuencas del Internas de Cataluña y Segura, y con zonas 'ondulada moderada' en la cuenca del Guadiana. Los otros géneros de la familia Cyprinidae, es decir, géneros *Abramis*, *Carassius*, *Cyprinus*, *Gobio*, *Phoxinus*, *Scardinius* y *Tinca*, muestran asociaciones con varias modalidades de una misma variable, lo que indicaría que son especies adaptadas a un rango de tolerancia más amplio de las variables estudiadas.

Para la familia Poeciliidae, los autores citados en el párrafo anterior señalan que viven en aguas remansadas, lo que coincide con los resultados que indican una mayor asociación con las zonas bajas y de pendientes casi planas. En efecto, en las cuatro cuencas donde presenta asociación con la variable altitud, la hace con la modalidad 'casi plana' (Duero, Tajo, Guadalquivir y Segura). También muestra un recurrencia en la asociación con la pendiente, asociándose en dos de las cuatro cuencas donde se observa relación con la modalidad de pendiente 'casi plana', y las otras dos con 'cursos medios' y 'cursos altos', en las Cuencas del Duero y Guadiana respectivamente.

De Sostoa (2002) señala que en las cuencas mediterráneas la familia Cobitidae, peces bentónicos de pequeño tamaño, son especies termófilas que ocupan principalmente los tramos medios de los ríos. Los resultados para la cuenca del Ebro asocian su distribución a pendientes onduladas moderadas, generalmente asociadas a los cursos medios, y en la Cuenca del Júcar muestra la mayor asociación con rangos de temperatura máxima del aire de 40 a 45 °C, lo que indicaría, indirectamente, que la temperatura del agua influye en su distribución.

Es menester incluir un análisis detallado de los embalses y su influencia en la ictiofauna, ya que se puede incurrir en errores a la hora de analizar los resultados. Por ejemplo, la familia Centrarchidae muestra que en la cuenca del Sur está asociada a zonas de pendiente 'escarpada'. Sin embargo, esta es una familia que se asocia más bien a zonas de pendientes casi planas, y que se encontrarían bien adaptadas a las aguas mansas de los embalses. Coincide que los embalses generalmente son construidos en zonas de pendientes 'escarpadas', por lo que probablemente la asociación que muestra la familias Centrarchidae con la pendiente 'escarpada', estaría ocultando realmente una relación con una zona de embalses.

Además otras variables como la geología, características químicas, físicas y biológicas propias de las aguas de los ríos deberían ser incluidas para una mayor comprensión y explicación de las asociaciones entre los peces fluviales y su entorno. Sin embargo, las características de las aguas de los ríos son difíciles de conseguir en la actualidad, debido a que sólo existen estudios locales para ciertos tramos de algunos ríos. Por esta razón, en este estudio se utilizaron las variables temperaturas medias máximas y mínimas del aire como un 'indicador' de la temperatura del agua, a pesar de que ésta, tal como lo señala Yamasaki (2000), depende de más factores, tales como la intensidad de la luz solar, el volumen del agua, la altitud y otros factores geográficos locales.

Conclusiones

Las familias que presentan las más claras asociaciones con determinadas modalidades o categorías de las variables analizadas, son (en orden descendente): Salmonidae; Anguillidae; géneros *Chondrostoma* y *Barbus* de la familia Cyprinidae; Poeciliidae y Centrarchidae, mostrando tendencias similares para las diversas cuencas, lo que indicaría que su distribución está más restringida a ciertas rangos de tolerancia. Las demás familias estudiadas tiene una distribución restringida a una o dos cuencas, por lo que se debe realizar un análisis específico y detallado para cada caso.

La familia Salmonidae es la que muestra la más claras asociaciones con las variables analizadas en todas las cuencas en que se distribuye. La tendencia es distribuirse en los cursos altos y tramos de montaña, en zonas de precipitaciones fuertes y muy fuertes, temperaturas de invierno extremadamente frías y en menor medida a los ríos menores.

La familia Anguillidae se asocia principalmente a las variables altitud, orden del río, pendiente y temperaturas medias frías. La tendencia es a distribuirse en zonas bajas de los ríos principales de pendientes casi plana y zonas donde las temperaturas de invierno alcanzan valores de -15 a -10 °C.

La familia Poeciliidae tiende a distribuirse en zonas de pendiente casi plana y mayoritariamente en zonas bajas (aunque también se puede asociar a cursos medios y altos). Se asocia a casi todo el rango de temperaturas frías de invierno a excepción de los valores extremos (-25 a -20°C).

El género *Chondrostoma* se asocia principalmente a la pendiente 'ondulada moderada' seguida de 'ondulada fuerte', a los cursos medios y a los subafluentes. El género *Barbus* se asocia a pendientes 'ondulada fuerte', precipitaciones de débiles a fuertes, y principalmente cursos medios, aunque también se distribuye en zonas bajas y tramos de montaña y cursos altos (en el caso de *Barbus haasi* de la Cuenca del Júcar).

Con relación a la metodología de análisis de la información, se demostró que el Análisis de Correspondencias Múltiples es un análisis estadístico que permite establecer las asociaciones antes mencionadas, desde un punto de vista general, al reducir la gran cantidad de información a resultados de fácil interpretación (tablas y gráficos) que han resultado consistentes con la literatura existente sobre este tema.

Referencias

Applied Sciences Directorate. John C. Stennis Space Center. 2005. Servidor de Imágenes MrSID, Provided through NASA's Earth Science Enterprise Scientific Data Purchase Program Produced, under NASA contract, by Earth Satellite Corporation, [en línea] <https://zulu.ssc.nasa.gov/mrsid/>

Doadrio, I. 2002. Origen y Evolución de la Ictiofauna Continental Española. En: *Atlas y Libro Rojo de los Peces Continentales de España* (ed. Doadrio, I.), pp. 20-34, CSIC y Ministerio del Medio Ambiente, 2ª Edición, Madrid, España.

de Ambrosio, L. 2002. Metodología Empleada para la Realización del Atlas de los Peces Continentales Españoles. En: *Atlas y Libro Rojo de los Peces Continentales de España* (ed. Doadrio, I.), pp. 51-56, CSIC y Ministerio del Medio Ambiente, 2ª Edición, Madrid, España.

de Sostoa, A. 2002. Las Comunidades de Peces en las Cuencas Mediterráneas: Caracterización y Problemática. En: *Atlas y Libro Rojo de los Peces Continentales de España* (ed. Doadrio, I.), pp. 51-56, CSIC y Ministerio del Medio Ambiente, 2ª Edición, Madrid, España.

Eastman, J.R. 2001. IDRISI32. Release 2, IDRISI for Windows Version 3.0, Worcester MA: Clark University

Elvira, B. 1997. El declive de los peces fluviales en España. *Ecosistemas*, 27: 66-71.

Elvira, B. y Almodóvar A. 2001. Freshwater fish introductions in Spain: facts and figures at the beginning of the 21st century. - *Journal of Fish Biology* 59 (Suppl. A): 323-331.

García, D. y González M. 1988. *Ríos y Riberas. Enciclopedia de la Naturaleza de España, Año Europeo del Medio Ambiente.* Borja Cardelús - Editorial Debate. 128 pp.

Granado, C. 2002. *Ecología de Peces.* Secretariado de Publicaciones, Universidad de Sevilla, 353 pp.

Joaristi, L. y Lizasoain L. 2000. *Análisis de Correspondencias. Cuadernos de Estadística*. Ed. La Muralla S.A. y Hespérides, Madrid, 141 pp.

Prenda J., M. Clavero, F. Blanco y Rebollo A. 2002. Consecuencias ecológicas de la creación de embalses en el ámbito mediterráneo: El caso de los peces. En: *III Congreso Ibérico sobre Gestión y Planificación del Agua. La Directiva Marco del Agua: realidades y futuro*. L. Moral (Ed.), Universidad de Sevilla, Universidad Pablo de Olavide, Fundación Nueva Cultura del Agua, 787 págs.

Yamasaki, H. 2000. La influencia de la temperatura en la pesca de la trucha. En: *La pesca deportiva en México: por la pesca libre y responsable*, [citado Julio 2004], [en línea] <http://www.pesca.org.mx/articulos/temperat.html>

Salvador Figueras, M. 2003. 'Análisis de Correspondencias', [en línea] *5campus.com, Estadística* [citado Julio 2004] <http://www.5campus.com/leccion/correspondencias>

Salvat, 2001. *Nuevo atlas de España : geografía general y temática*, Barcelona, 216 p.

Shuttle Radar Topography Mission. 2005. Mapping The World In 3 Dimensions. <http://srtm.usgs.gov/>