

## ESTIMACIÓN DEL ÁREA HÚMEDA, ACTUAL Y POTENCIAL, DISPONIBLE PARA LA ANGUILA EUROPEA (*Anguilla anguilla*) USANDO TÉCNICAS SIG

PILAR GARCÍA MANTECA<sup>1</sup>, CARLOS NORES QUESADA<sup>1</sup>, NOELIA CUERVO<sup>1</sup>, ANA COLUBI<sup>2</sup> y LUCÍA GARCÍA FLÓREZ<sup>3</sup>

<sup>1</sup>INDUROT (Universidad de Oviedo). <sup>1</sup>Edificio científico. Campus Universitario de Mieres 33600. Asturias. España.

<sup>2</sup>Departamento de Estadística I.O. y Didáctica de las Matemáticas (Universidad de Oviedo). Facultad de Ciencias, C/ Calvo Sotelo, s/n 33007 Oviedo Asturias. España.

<sup>3</sup>Centro de Experimentación Pesquera del Principado de Asturias. Avenida Príncipe de Asturias s/n. 33212 Gijón. Asturias. España.

[pilar@indurot.uniovi.es](mailto:pilar@indurot.uniovi.es)

### RESUMEN:

El área húmeda, es decir, la superficie total de río disponible como hábitat, y el tamaño total de la cuenca, actual y prístina, son características que se usan para calcular variables relativas a la producción de la anguila europea. Hemos desarrollado métodos sencillos basados en el modelo digital de elevaciones y datos de campo para calcular estas variables. Usando Sistemas de Información Geográfica (SIG) y análisis de regresión se han generado modelos georreferenciados, obteniendo una función potencial ( $R^2 = 0,501$  y  $p < 0,0001$ ) para el cálculo del ancho del río, en función del flujo acumulado en cada celda. La función obtenida se ha extrapolado al territorio del Principado de Asturias, en la vertiente cantábrica de España, para obtener el área húmeda de tramos fluviales lineales. La identificación del área de cuenca y los tramos fluviales por encima de los obstáculos permite obtener información tanto de la cuenca como del hábitat fluvial perdido para la anguila (29,2 % y 47,9 %, respectivamente).

Palabras clave: SIG, modelo estadístico, área húmeda, flujo acumulado, hábitat anguila.

### ESTIMATION OF PRESENT AND POTENTIAL WETTED AREA FOR EUROPEAN EEL (*Anguilla anguilla*) USING GIS TECHNIQUES

#### ABSTRACT

The wetted area, that is the total area available as habitat, and the useful basin area are river characteristics used to calculate variables of European eel production. We have developed simple

García Manteca, P., Nores Quesada, C., Cuervo, N., Colubi, A., y García Flórez, L. (2015): "Estimación del área húmeda, actual y potencial, disponible para la anguila europea (*Anguilla anguilla*) usando técnicas GIS", *GeoFocus (Artículos)*, nº 16, p.41-60. ISSN: 1578-5157

---

methods based on a digital elevation model and field data to calculate these variables. georeferenced models are produced using GIS techniques and multivariate analyses. Statistically valid regression function is obtained for the calculation of wetted area:  $y = 0.480 * x^{0.385}$  ( $R^2 = 0.501$   $p < 0.0001$ ). GIS techniques have been used to extrapolate the functions to the territory of the Eel Region of Asturias in the Cantabrian shede of Northern Spain. The identification of the river basin extent and length above the impassable obstacles for the eel enables to obtain data about the area of eel fluvial habitat loss (22.9 % and 47.9 % respectively).

Keywords: GIS, statistical model, wetted area, accumulated flow, eel habitat.

## 1. Introducción

La anguila europea (*Anguilla anguilla*) ha sufrido una progresiva reducción de sus poblaciones en las últimas décadas en la mayor parte de su área de distribución. Se calcula que el reclutamiento es menos del 10 % de la capacidad prístina (Dekker *et al.*, 2007). Se trata, además, de una especie considerada vulnerable en el ámbito de estudio (Doadrio, 2001; Nores *et al.*, 2007), pero la prolongación de esta situación en su ámbito general de distribución ha elevado su grado de amenaza general hasta el peligro crítico en el catálogo de la UICN (Freyhof y Kottelat, 2010).

Para restaurar sus poblaciones, la Comisión Europea aprobó el Reglamento (CE) Nº 1100/2007, según la cual cada Estado Miembro debe elaborar los *Planes de Gestión de la Anguila* (PGA) para cada cuenca que sea hábitat natural de la especie. Habitualmente la cantidad de hábitat se estima sobre el *área húmeda*, que es la superficie de cauce disponible para una zona dada. Los PGA necesitan la estimación del área húmeda actual y prístina y esto depende de variables hidrológicas y morfológicas complejas o, al menos, de la disponibilidad de recursos, como mapas en formato digital, fotografías aéreas y SIG.

El desconocimiento de las dimensiones del hábitat actual y prístino en diferentes tipos de ríos, a una escala operativa para este requerimiento, ha impedido hacer unos cálculos aceptables de la productividad en los diferentes países europeos. Muchos investigadores han obtenido datos de campo en cuencas particulares (Feunteun *et al.*, 1998 y 2000; Aprahamian, 2000; Chadwick *et al.*, 2007; Bark *et al.*, 2007) o modelos predictivos más generales (Aprahamian *et al.*, 2007; McGinnity *et al.*, 2012), obteniendo resultados desde diferentes perspectivas.

En la actualidad, la cartografía de la longitud de los cauces no representa un problema. Los servicios cartográficos de los países europeos disponen de mapas detallados con esta información y, con frecuencia, también se dispone de un Modelo Digital de Elevaciones (MDE) con suficiente precisión. Sin embargo, la anchura del cauce es una variable más difícil de obtener y ésta condiciona la superficie húmeda sobre la que se construyen los modelos de productividad en cada zona (McGinnity *et al.*, 2012). Con frecuencia este área húmeda se ha obtenido con sencillos cálculos, promediando anchuras en diferentes tramos y multiplicando ésta por la longitud fluvial

García Manteca, P., Nores Quesada, C., Cuervo, N., Colubi, A., y García Flórez, L. (2015): "Estimación del área húmeda, actual y potencial, disponible para la anguila europea (*Anguilla anguilla*) usando técnicas GIS", *GeoFocus (Artículos)*, nº 16, p.41-60. ISSN: 1578-5157

---

conocida o con criterio de experto (Gobierno del Principado de Asturias, 2010 y Aprahamian *et al.*, 2007). Así, por ejemplo, en el País Vasco, donde se cuenta con una red extensa de pescas eléctricas, se ha considerado la anchura para los tramos de cada orden de cauces como la media de las anchuras medidas en las muestras realizadas en cada tramo de ese orden (Díaz, 2012). Recientemente algunos autores han aplicados métodos SIG para la modelización de estas variables (McGinnity *et al.*, 2003 y 2012; Hughes *et al.*, 2011; Gargan *et al.*, 2011). Modelos hidrológicos complejos serían de gran utilidad, pero necesitan de variables de valor desconocido en muchos cauces (De Rose *et al.*, 2008; Harman *et al.*, 2008; Stewardson, 2005; Wohl y Wilcox, 2005).

Evidentemente, el área húmeda varía de una época del año a otra e, incluso, de un año a otro; se trata, sin embargo, de calcular un área húmeda representativa de la zona de estudio, que pueda servir como dato medio a lo largo del tiempo. En el presente trabajo se plantean métodos de cálculo sencillos para la modelización del área húmeda, en la primavera de un año de características climatológicas medias, utilizando únicamente datos topográficos y sus derivados, como variables predictivas, y SIG con estadística multivariante como herramientas principales.

El cómputo de las cuencas fluviales río arriba de un punto determinado (Greenlee, 1987; Jenson y Domingue 1988) es una variable usada en la solución de problemas ambientales (Liu *et al.*, 2014). Los obstáculos fluviales (presas, azudes, etc.) pueden llegar a impedir a las anguilas europeas la colonización de muchos tramos fluviales, reduciendo su hábitat prístino, en ocasiones de manera dramática. Para elaborar los planes de gestión se hace imprescindible conocer la extensión total de la cuenca perdida y la superficie total de área húmeda útil para la anguila en la situación actual (Gargan *et al.*, 2011).

## 2. Material y métodos

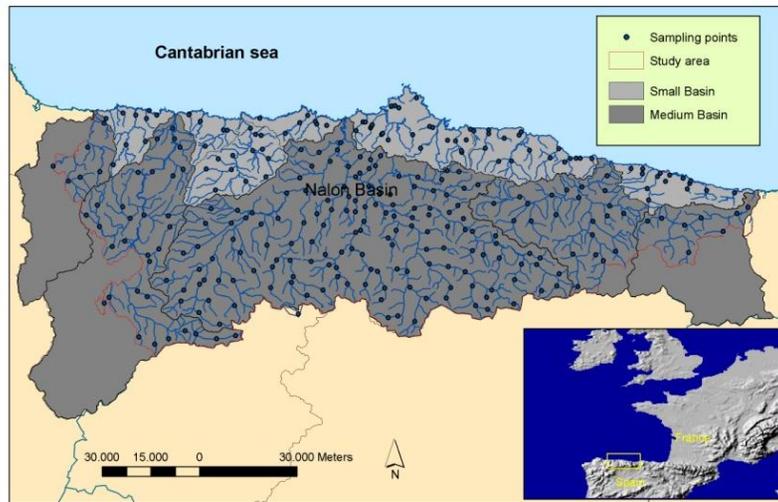
### 2.1. Área de estudio

En España el desarrollo de los planes de gestión de la anguila (*Anguilla anguilla*) debe realizarse a partir de Unidades de Gestión que están limitadas a los cauces de la cuenca potencial para la anguila en cada comunidad autónoma. El área de estudio (figura 1) se corresponde con la Unidad de Gestión de Anguila del Principado de Asturias (UGAPA), con una superficie aproximada de 10.600 km<sup>2</sup>, que pertenece a la Demarcación Hidrográfica del Cantábrico Occidental y se sitúa en el centro de la vertiente cantábrica.

Esta vertiente se caracteriza por el desarrollo de un sistema montañoso paralelo al mar que supera los 2.600 m de altitud y a escasa distancia de la costa (unos 60 km). Además, por su situación geográfica, las precipitaciones son abundantes, con una precipitación mensual media de 108 mm y con una estación seca corta en la que la precipitación mensual media desciende a 61 mm (Marquínez *et al.*, 2003) Todo ello determina que los ríos sean cortos, abruptos, caudalosos y en

García Manteca, P., Nores Quesada, C., Cuervo, N., Colubi, A., y García Flórez, L. (2015): "Estimación del área húmeda, actual y potencial, disponible para la anguila europea (*Anguilla anguilla*) usando técnicas GIS", *GeoFocus (Artículos)*, nº 16, p.41-60. ISSN: 1578-5157

gran parte estrechos, con un régimen pluvial o pluvionival. Estas características condicionan la productividad de la anguila.



**Figura 1. Área de estudio, cuencas fluviales y puntos de medición *in situ*.** Elaboración propia

La longitud total de los cauces (sobre MDE 5 m) es de 20.137 km. Si se descuentan los tramos fluviales de menos de 2 km<sup>2</sup> de cuenca y los situados por encima de 800 m de altitud, que históricamente parecen no haber sido un hábitat adecuado para la anguila (Cuervo *et al.*, 2012), tenemos 4.898 km, que son el objeto de este trabajo. De este total, 263 km son de tramos fluviales con más de 20 m de anchura (más de 500 km<sup>2</sup> de cuenca vertiente). El resto, 4.635 km de cauces, son tramos lineales.

La mayor cuenca del Cantábrico es la del río Nalón, con una superficie total de menos de 4.900 km<sup>2</sup>. Esta cuenca es, sin embargo, de tamaño mediano o pequeño en comparación con otras cuencas europeas. La máxima distancia al mar de este río es de 120 km. Son numerosas las cuencas de pequeño tamaño (menores de 500 km<sup>2</sup>), con ríos de menos de 50 km de longitud, que se corresponde con la orografía descrita. Dada la limitación de recursos disponibles para realizar las pescas eléctricas, se eligió muestrear dos cuencas grandes (Nalón y Sella), una cuenca mediana (Esva) y otra pequeña (Villaviciosa), con el fin de extrapolar los datos de densidad de anguila a partir de una variada tipología de muestras que representase la diversidad de cuencas fluviales de toda la cornisa cantábrica.

## 2.2. Área húmeda

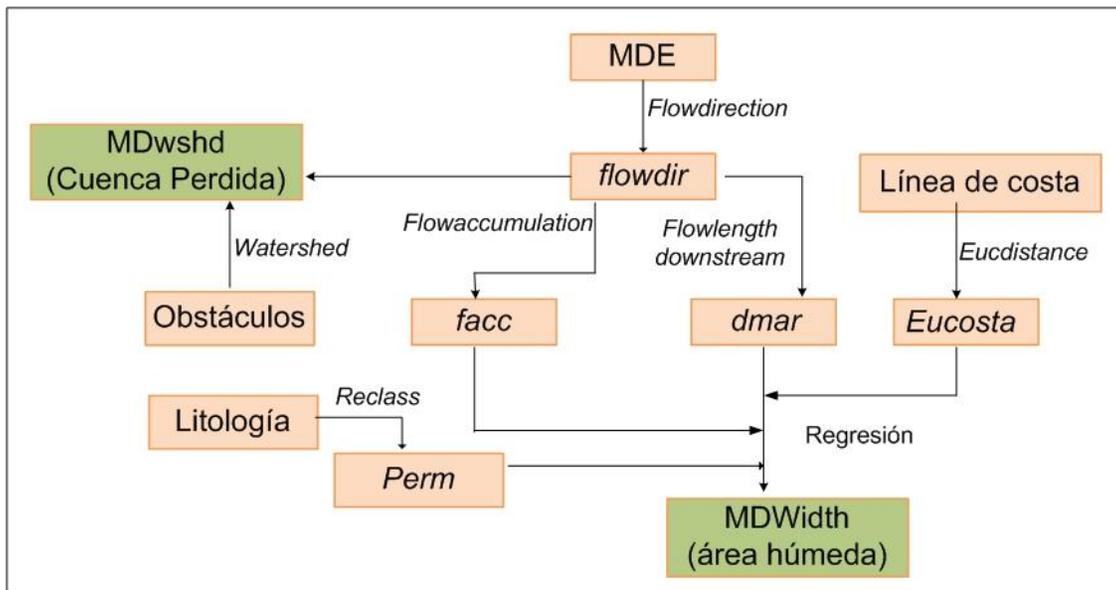
La anchura de un río en un punto dado depende de muchos parámetros, algunos de ellos difíciles de modelizar, sin embargo, es conocido que, por lo general, los ríos aumentan en anchura a

García Manteca, P., Nores Quesada, C., Cuervo, N., Colubi, A., y García Flórez, L. (2015): "Estimación del área húmeda, actual y potencial, disponible para la anguila europea (*Anguilla anguilla*) usando técnicas GIS", *GeoFocus (Artículos)*, nº 16, p.41-60. ISSN: 1578-5157

medida que aumenta el caudal y esto, en una zona de clima común, depende del tamaño de la cuenca vertiente en un punto fluvial determinado. Esta variable se denomina flujo acumulado (*facc*). También se puede sospechar de la relación de la anchura con otras variables como la distancia euclidiana al mar (*Eucosta*), la distancia al mar a lo largo del cauce (*dmар*) o la permeabilidad del sustrato (*Perm*). Estas variables, en una u otra combinación, han sido utilizadas por otros autores en sus modelos previos (McGinnity *et al.*, 2003; Shreven, 1974).

Para construir un modelo de la anchura fluvial (figura 2) hemos tomado como punto de partida la medición de esta variable *in situ* en 309 puntos correctamente georreferenciados. Con el fin de normalizar los datos lo más posible y disminuir las variaciones derivadas de las diferencias de caudal en distintas épocas, las mediciones de la anchura de los ríos se hicieron durante el estiaje. Ésta es la época en la que se puede practicar la pesca eléctrica en mejores circunstancias operativas, de manera que las estimas de densidad de anguila se refieren a la superficie del río en los tramos muestreados en estas condiciones y también el cálculo de la superficie húmeda total para extrapolar los resultados.

Contamos además con un (MDE) de 5 m de celda del año 2005 del Principado de Asturias y el mapa litológico de la Cartografía Temática Ambiental del Principado de Asturias (INDUROT, 1989-2001).



**Figura 2** diagrama de flujo para la obtención las variables predictivas y del área húmeda. Enmarcadas las capas SIG, en cursiva los comandos o variables. En fondo verde los resultados finales.

García Manteca, P., Nores Quesada, C., Cuervo, N., Colubi, A., y García Flórez, L. (2015): "Estimación del área húmeda, actual y potencial, disponible para la anguila europea (*Anguilla anguilla*) usando técnicas GIS", *GeoFocus (Artículos)*, nº 16, p.41-60. ISSN: 1578-5157

---

El MDE se corrige para eliminar errores del modelo que producen hoyos artificiales que impedirían el correcto resultado de los modelos derivados. A partir de del modelo corregido se construye el modelo de dirección de flujo (*flowdir*) (comando *flowdirection*). El resultado es un modelo matricial en el que a cada celda se le asigna un valor entero que indica la celda vecina hacia la que fluye (Jenson y Domingue, 1988). Diferentes supuestos dudosos se resuelven con una tabla de decisión que define la dirección más probable, siguiendo lo propuesto por Greenlee (1987).

A partir de *flowdir* se construyen el modelo *facc* (comando *flowaccumulation*) (Jenson y Domingue, 1988; Tarboton *et al.*, 1991). Este modelo expresa para cada celda el número de celdas que fluyen a ella ladera abajo, sin contar la celda misma.

También se construye el modelo de distancia al mar por el cauce, *dmar* (comando *flowlength*), y se calcula la distancia más corta (euclídea) desde cada punto a la línea de costa (*Eucosta*). El cálculo de estos modelos derivados se realiza con el *software ArcInfo*. Además, a cada litología se le asocia una permeabilidad codificada en un valor del 1 al 3, de menor a mayor (Fernández, 2002). Con el fin de determinar la posible presencia de *outliers* o datos erróneos, se realizarán, en primer lugar, análisis unidimensionales.

Con estas variables se genera una matriz de datos para los 309 puntos de anchura conocida en período de estiaje, coincidente con la época en la que se realizaron las pescas eléctricas. Estos datos son procesados para buscar un modelo de regresión que permita modelizar la variable anchura en función de una o varias de las variables predictivas: permeabilidad, distancia euclidiana al mar, longitud del río hasta la desembocadura y flujo acumulado.

Los cauces con menos de 2 km<sup>2</sup> de cuenca vertiente representan, en el área de estudio, tramos de cabecera de flujo intermitente a lo largo del año. Estos cauces se consideraron, tras la revisión de 20 casos *in situ*, como no aptos, dado que en ninguno de estos puntos existía suficiente flujo de agua para mantener una población de anguila y no se consideran en el análisis. Este criterio es semejante al aplicado por otros grupos de trabajo en el anterior de la Anguila Europea (AZTI-Tecnalia, EKOLUR y Universidad del País Vasco, 2010; Gobierno de Cantabria, 2010; Gobierno de España, 2010).

Para el cálculo del modelo de regresión de la anchura fluvial (*MDWidth*) se eliminaron los cauces de más de 500 km<sup>2</sup> de área de captación, dado que la acotación de estos rangos de flujo aumentaba el porcentaje explicado por la función resultante. Otros autores ya han observado la necesidad de separar los tramos anchos de los estrechos para sus modelos (ICES, 2011).

El cálculo del área húmeda para los cauces de más de 500 km<sup>2</sup> de área de captación se obtuvo a partir de la medición directa de los polígonos cartografiados en el Mapa Topográfico Nacional (MTN) escala 1:25.000. Estos cauces se corresponden, por lo general, con tramos de más de 20 m de anchura. El error total medio de este cálculo (*Er*) fue estimado en 93 localizaciones al azar, con ayuda de la ortofoto digital.

García Manteca, P., Nores Quesada, C., Cuervo, N., Colubi, A., y García Flórez, L. (2015): "Estimación del área húmeda, actual y potencial, disponible para la anguila europea (*Anguilla anguilla*) usando técnicas GIS", *GeoFocus (Artículos)*, nº 16, p.41-60. ISSN: 1578-5157

---

$$Er = (Es - Em)/Em$$

donde  $Es$  es la anchura estimada, en la cartografía digital, y  $Em$  es la medida en la ortofoto.

Los datos de anchura obtenidos de la cartografía del MTN se corrigieron en los casos de embalses para la estimación de la anchura del cauce previa al embalse, suponiendo una anchura media similar a otros cauces próximos, de igual flujo acumulado, en condiciones naturales. Para modelizar la anchura de los estuarios se utilizó exclusivamente la superficie cartográfica del canal, sin considerar las marismas.

### 2.3. Área perdida por los obstáculos fluviales.

Dado que la anguila es una especie catadroma que debe remontar los ríos desde sus lugares de reproducción hasta sus lugares de crecimiento y engorde, la permeabilidad de los ríos que debe remontar es un tema crucial para que las poblaciones puedan completar su ciclo vital. Es por esto que una parte importante de la gestión de las anguilas consiste en incrementar su capacidad para superar los obstáculos que representan las presas y azudes para cerrar su ciclo vital (Legaut, 1992; Muchiut *et al.*, 2008). Las características de los obstáculos han permitido valorarlos en función de su franqueabilidad, adaptando a las circunstancias propias de los ríos cantábricos los criterios de Solá *et al.* (2011) y FAO/DVWK (2002).

En este sentido, se han denominado obstáculos franqueables con dificultad para la anguila aquellos que, si bien no resulta insalvable su superación, representan una dificultad tal que su densidad por encima del obstáculo es notablemente inferior a la que se encuentra normalmente aguas abajo. Son presas o azudes de menos de 4 m de altura o que, aunque tengan más de 4 m, albergan dispositivos para que las anguilas puedan remontar el obstáculo.

Los obstáculos infranqueables son aquellos que no pueden ser superados por las anguilas y no se encuentran por encima de ellos anguilas que hayan accedido de forma natural. Son presas que, generalmente, tienen más de 4 m de altura y que carecen de dispositivos que permitan su superación. Se comprobó que en las pescas eléctricas aguas arriba de estos obstáculos infranqueables no aparecían anguilas o aparecían esporádicamente ejemplares aislados, supervivientes escasos de trasvases de individuos realizados por pescadores deportivos o administraciones públicas.

El área que se considera hábitat accesible es el área húmeda hasta el primer obstáculo identificado como no franqueable por la anguila.

Para determinar la cuenca perdida se revisó el mapa de obstáculos, elaborado por Montes *et al.* (2007). La permeabilidad de los obstáculos para la anguila ha sido también revisada usando datos de 402 puntos de muestreo de pescas eléctricas realizados entre 1986 y 2010 con el objetivo de caracterizar la fauna piscícola y la monitorización de especies de salmónidos de la comunidad autónoma (tabla 1). Estos puntos se distribuyen por toda la geografía del área de estudio, estando

García Manteca, P., Nores Quesada, C., Cuervo, N., Colubi, A., y García Flórez, L. (2015): "Estimación del área húmeda, actual y potencial, disponible para la anguila europea (*Anguilla anguilla*) usando técnicas GIS", *GeoFocus (Artículos)*, nº 16, p.41-60. ISSN: 1578-5157

localizados a diferentes alturas y distancia al mar y se encuentran por encima y por debajo de obstáculos fluviales. La superficie muestreada en estas prospecciones varía entre 100 y 700 m<sup>2</sup> sobre poblaciones teóricamente cerradas. La densidad de población de anguila en los puntos de muestreo es estimada mediante el método de Zippin (1956).

**Tabla 1. Relación de muestreos con pescas eléctricas orientadas a la caracterización faunística y la monitorización de salmónidos en el Principado de Asturias**

Origen	Año de muestreo	Número de pescas	Presencia de anguila
Braña (1996)	1986-1995	163	70
Apilánez y Mortera (1997)	1997	15	15
Aristipo, SL	2001	7	7
Apilánez y Mortera (2001)	2001	8	3
Apilánez y Mortera, (2002a)	2002	5	2
Apilánez y Mortera (2002b)	2002	13	3
Apilánez y Mortera (2002c)	2002	12	0
Apilánez y Mortera (2003)	2003	7	7
Apilánez y Mortera (2006)	2006	39	15
CHC (2008)	2006-2008	75	43
Biosfera, SL (2010)	2008-2010	34	15
Apilánez y Mortera (2009)	2009	12	6
Apilánez y Mortera (2010)	2010	12	6

Nota: Referencias bibliográficas en el Apéndice 1.

Se consideró que eran obstáculos infranqueables para la anguila aquellos por encima de los cuales en los muestreos no aparecieron anguilas o aparecían esporádicamente muestras con menos de dos anguilas por pesca eléctrica. Las capturas esporádicas de muy pocas anguilas pueden deberse a la superación limitada de un obstáculo difícilmente franqueable, pero es probable que esté en relación con la práctica de trasvase de individuos realizada en ocasiones por los pescadores deportivos.

Los obstáculos finalmente catalogados como infranqueables o poco franqueables han sido usados para generar la cuenca río arriba sobre el MDE con el comando *watershed* del *software ArcGIS*. Este comando utiliza como variables de entrada un modelo de dirección de flujo y una capa de puntos, que representan los obstáculos. Los puntos deben estar precisamente situados sobre el MDE para obtener resultados coherentes.

En el área perdida así calculada se ha descontado la zona húmeda situada por encima de 800 m de altitud, en la que no se había constatado presencia histórica de anguila (Cuervo *et al.*, 2012).

### 3. Resultados

#### 3.1. Área húmeda

Del análisis de las variables utilizadas para la función predictora de la anchura del cauce fluvial se observa que la distribución de la única variable ordinal (*perm*) es bastante típica, no hay *outliers*, (por ejemplo, valores alejados del resto con baja frecuencia) y casi el 90 % de la muestra se concentra en los dos valores centrales (tabla 2).

**Tabla 2. Distribución de datos de la variable permeabilidad (*perm*).**

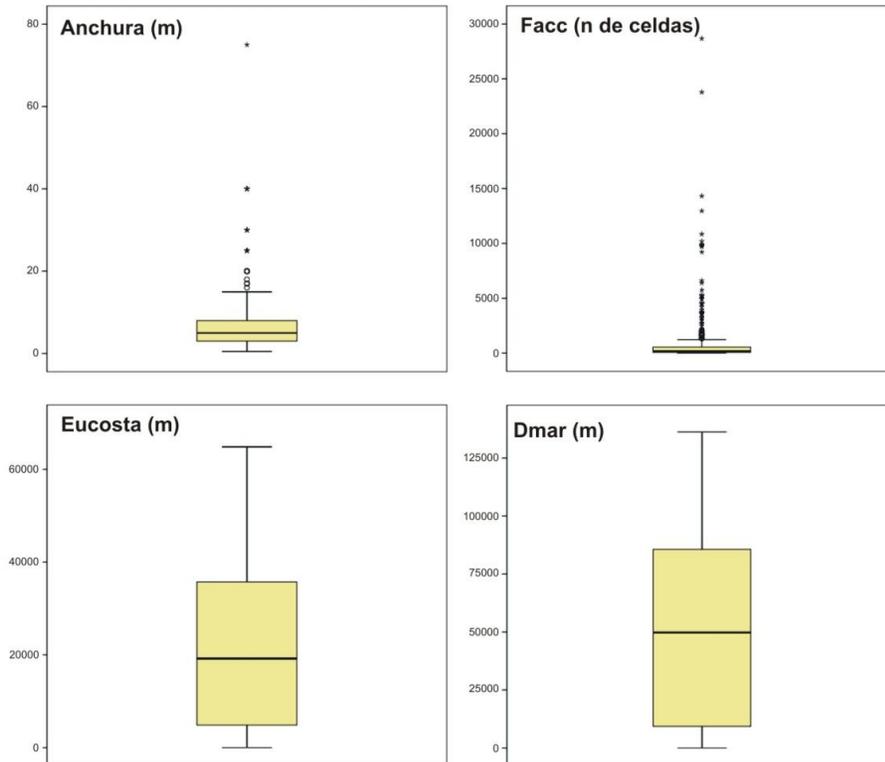
<i>perm</i>	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
0	4	1,3	1,3	1,3
1	160	51,8	51,8	53,1
2	117	37,9	37,9	90,9
3	28	9,1	9,1	100,0
<b>Total</b>	<b>309</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>	

Entre las variables cuantitativas, los gráficos de cajas indican que *anchura* y *facc* presentan distribuciones marcadamente asimétricas, mientras que *Eucosta* y *dmar* son simétricas y no se aprecian *outliers* (aunque en ningún caso las distribuciones son normales, de acuerdo con el test de Shapiro-Wilks) (figura 3).

Como los cinco valores con anchura por encima de 20 se pueden considerar *outliers*, se prescindirá de ellos a la hora de buscar relaciones. Para la variable *facc* se ha buscado un punto de corte que combine el criterio estadístico y experto y se ha decidido considerar sólo aquellos puntos con *facc* inferior a 500 km<sup>2</sup> de cuenca río arriba. Dentro de esos rangos se ha buscado la mejor relación funcional para explicar la anchura a partir de cada una de las variables por separado, con el fin de determinar si resultan suficientemente explicativas.

Las variables *Eucosta* y *dmar* tienen algunos valores nulos que se han eliminado del estudio para poder considerar todas las relaciones funcionales habituales, de entre las que pueden resultar naturales. A pesar de ello, los coeficientes de determinación de todas las relaciones han resultado significativos, pero excesivamente bajos, siempre por debajo de 0,09. Esto significa que, a pesar de poder rechazarse la independencia, la variabilidad explicada por dichas características no llega al 10 % en ningún caso. En concreto, *Eucosta* y *dmar* aportarían a lo sumo un 9 % para explicar la variabilidad de la anchura. Como se aprecia en los gráficos, la relación es, por tanto, extremadamente baja y, aunque podría considerarse en un modelo múltiple, la complejidad del modelo no compensaría la escasa aportación predictiva.

García Manteca, P., Nores Quesada, C., Cuervo, N., Colubi, A., y García Flórez, L. (2015): "Estimación del área húmeda, actual y potencial, disponible para la anguila europea (*Anguilla anguilla*) usando técnicas GIS", *GeoFocus (Artículos)*, nº 16, p.41-60. ISSN: 1578-5157

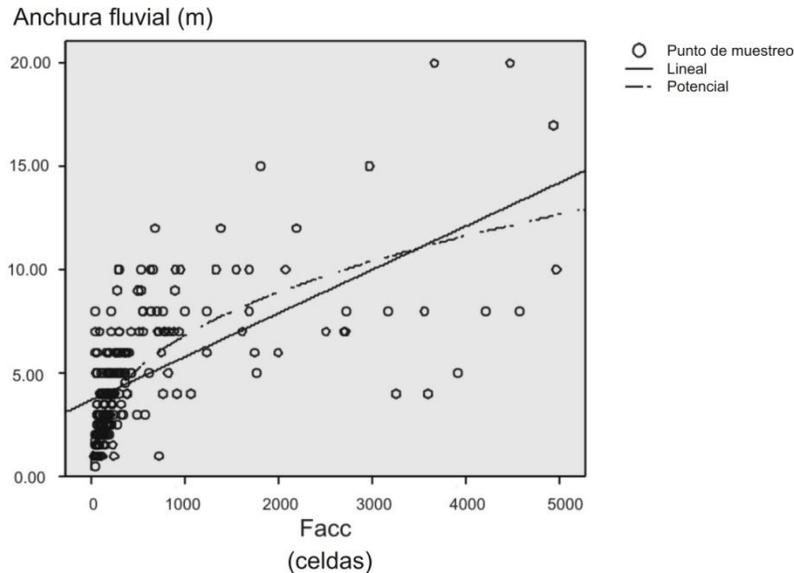


**Figura 3. Diagrama de cajas de las variables cuantitativas usadas en el análisis multivariante.**

La relación con la variable ordinal (*perm*) tampoco es buena. Las distribuciones de la anchura no parecen diferenciarse mucho dependiendo de *perm*. De hecho el coeficiente de correlación de Spearman carece de significación estadística ( $Rho = 0,008$ , en la muestra).

En definitiva, la única variable de las utilizadas que podría aportar información significativa es *facc*. Al realizar un ajuste con *facc* entre 2 y 500 km<sup>2</sup>, quitando los valores extraños (anchura con encima de 15-18 m con *facc* pequeños), resulta una muestra de 234 datos con bastante dispersión (figura 4) y no se aprecia visualmente un ajuste global perfecto, dentro de las opciones clásicas, pero se visualiza una clara relación creciente.

García Manteca, P., Nores Quesada, C., Cuervo, N., Colubi, A., y García Flórez, L. (2015): "Estimación del área húmeda, actual y potencial, disponible para la anguila europea (*Anguilla anguilla*) usando técnicas GIS", *GeoFocus (Artículos)*, n° 16, p.41-60. ISSN: 1578-5157



**Figura 4. Diagrama de dispersión de la anchura del río respecto al flujo acumulado (*facc*).**

El mejor modelo disponible en este rango es el potencial y es estadísticamente válido. La variable *facc* explica algo más del 50 % de la variabilidad de la anchura ( $R^2 = 0,501$ ;  $R = 0,71$ ;  $p < 0,0001$ ). Esto significa que se puede aproximar la anchura media de los ríos en el tramo de *Facc*, señalado mediante la fórmula potencial.

$$y = 0,480 * x^{0,384}$$

El modelo potencial de regresión se aplicó a todas las celdas de río, en un modelo de 5 m de resolución, en los cauces entre 2 y 500 km<sup>2</sup> de cuenca. El resultado es un modelo de anchura de cada celda.

$$MDWidth = 0,480 * Facc^{0,384}$$

Este modelo puede ser convertido en superficie húmeda total, multiplicando por el factor de resolución del modelo y sumando el total de celdas. Posteriormente, se elimina la superficie de los cauces por encima de 800 m de altitud.

$$MDWetarea = MDWidth * 5$$

$$Wetarea = \sum MDWetarea$$

García Manteca, P., Nores Quesada, C., Cuervo, N., Colubi, A., y García Flórez, L. (2015): "Estimación del área húmeda, actual y potencial, disponible para la anguila europea (*Anguilla anguilla*) usando técnicas GIS", *GeoFocus (Artículos)*, nº 16, p.41-60. ISSN: 1578-5157

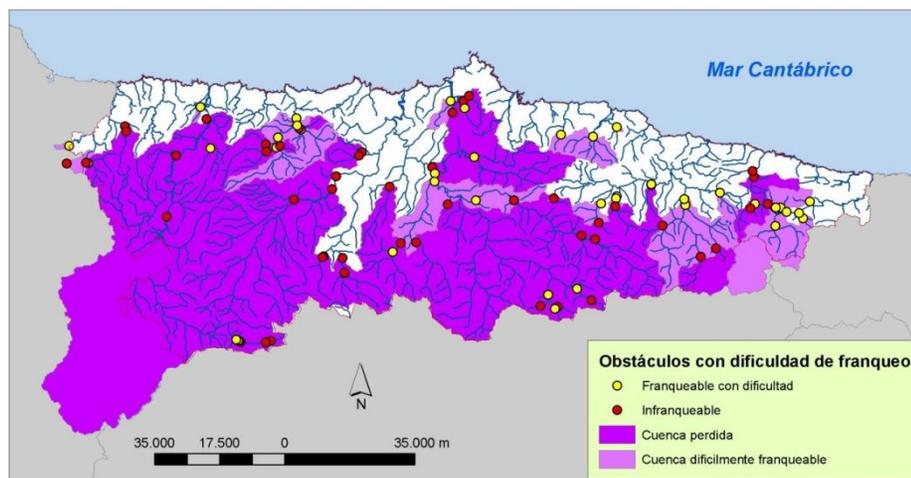
El cálculo da un total de 14,33 km<sup>2</sup> de superficie húmeda en los cauces de menos de 500 km<sup>2</sup> de cuenca en el área de estudio (equivalente a unos 20 m de anchura).

Por otro lado, la suma de la superficie de todos los cauces de aguas dulces que captan agua de una superficie mayor de 500 km<sup>2</sup> supone un total de 10,04 km<sup>2</sup>. La anchura delineada en la cartografía del MTN fue verificada, con un error total medio (*Er*) del 5,3 %.

Con estos datos se contabiliza una superficie húmeda total de Asturias, correspondiente a las aguas dulces, por tanto, de 24,37 km<sup>2</sup>. Hay, además, 13,37 km<sup>2</sup> de superficie estuarina en bajamar.

### 3.2 Área perdida por los obstáculos fluviales:

Atendiendo al mapa de obstáculos (Montes *et al.*, 2007) se ha obtenido un mapa con la clasificación de obstáculos según su posibilidad de franqueo para la anguila europea, del que se ha extraído los obstáculos infranqueables (que no pueden ser superados por la anguila) o franqueables con dificultad (figura 5). El primero de estos obstáculos en cada curso fluvial es el utilizado para el cálculo de la cuenca perdida aguas arriba.

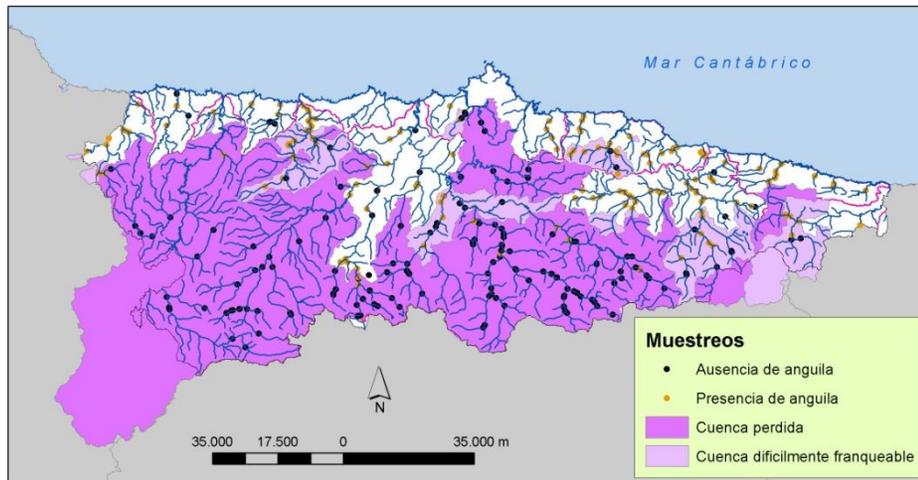


**Figura 5. Obstáculos con dificultad de franqueo y superficie de cuenca afectada.** Fuente: elaboración propia a partir de los datos de Montes *et al.* (2007).

La información resultante del análisis de presencia/ausencia de anguila en los muestreos efectuados para distintas administraciones públicas responsables de la gestión fluvial confirma, en gran medida, el acierto en la clasificación de los obstáculos, dado que casi nunca se observa presencia de anguila en las cuencas clasificadas como perdidas (figura 6). Hay, sin embargo, unos

García Manteca, P., Nores Quesada, C., Cuervo, N., Colubi, A., y García Flórez, L. (2015): "Estimación del área húmeda, actual y potencial, disponible para la anguila europea (*Anguilla anguilla*) usando técnicas GIS", *GeoFocus (Artículos)*, nº 16, p.41-60. ISSN: 1578-5157

pocos datos en los que se han observado presencia en cuencas infranqueables, que puede deberse a diferentes causas (ver epígrafe 2.3).



**Figura 6. Resultados de presencia/ausencia en 402 muestreos de anguila entre 1986 y 2010.**

Fuente: elaboración propia a partir de datos históricos que se numeran en el Apéndice 1.

La superficie de cuenca estimada según este resultado, por encima de los obstáculos infranqueables para la anguila (*MDwshed*), se ha agrupado en diferentes rangos altitudinales que guardan relación con los límites altitudinales para la anguila (tabla 3). Estos límites se han utilizado en el anterior Plan de Gestión del Principado de Asturias (Gobierno del Principado de Asturias, 2010)

**Tabla 3. Superficie de cuenca por encima de obstáculos con diferente dificultad de franqueo (km<sup>2</sup>).**

Altitud (m)	Infranqueables		Franqueables con dificultad		Ambos	
	Área	%	Área	%	Área	%
<600	1.925,32	18,1	747,21	7,0	2.672,53	
600-800	1.177,51	11,1	176,12	1,7	1.353,63	
<b>Total</b>	<b>3.102,82</b>	<b>29,2</b>	<b>923,34</b>	<b>8,7</b>	<b>4.026,16</b>	<b>37,9</b>
>800	2.720,70	25,6	404,92	3,8	3.125,62	
<b>Total</b>	<b>5.823,52</b>	<b>54,9</b>	<b>1.328,36</b>	<b>12,5</b>	<b>7.151,88</b>	<b>67,4</b>

En total se ha perdido, por los obstáculos infranqueables, un 54,9 % de cuenca (figura 4). El porcentaje se reduce al 29,2 % si nos referimos al área por debajo de los 800 m de altitud, es decir,

García Manteca, P., Nores Quesada, C., Cuervo, N., Colubi, A., y García Flórez, L. (2015): "Estimación del área húmeda, actual y potencial, disponible para la anguila europea (*Anguilla anguilla*) usando técnicas GIS", *GeoFocus (Artículos)*, n° 16, p.41-60. ISSN: 1578-5157

en el hábitat original de la anguila en el área de estudio. A esto habría que añadir el 8,7 % de la superficie, impactada en algún grado, por encima de obstáculos franqueables con dificultad.

Aunque la pérdida de área de cuenca determina pérdida en el área húmeda, los valores de estas variables no guardan correlación directa. En lo referente al cálculo del área húmeda disponible para la anguila, se han empleado siempre los datos por debajo de 800 m de altitud. Los obstáculos infranqueables producen en total una disminución del 47,9 % del área húmeda en el conjunto de los ríos (sin contar con la superficie estuarina) (tabla 4); este porcentaje es mayor en los tramos de poco caudal (54,3 %). Si consideramos también los obstáculos franqueables con dificultad, el porcentaje de área húmeda afectada aumenta hasta el 63,5 % del total.

**Tabla 4: Área húmeda actual y potencial (km<sup>2</sup>).**

	Área potencial	Bajo obstáculos infranqueables		Bajo obstáculos infranqueable o franqueables con dificultad	
		Área actual	% perdido	Área actual	% perdido
<b>Tramos lineares</b>	<b>14,33</b>	<b>6,54</b>	<b>54,3</b>	<b>4,42</b>	<b>69,2</b>
<b>Tramos de más de 20 m de ancho</b>	10,04	6,15	38,7	4,49	55,3
<b>TOTAL de área húmeda</b>	<b>24,37</b>	<b>12,69</b>	<b>47,9</b>	<b>8,91</b>	<b>63,5</b>

#### 4. Discusión

La estimación del área húmeda de los ríos, que constituye el hábitat de la anguila europea, en los ríos de corto recorrido, precisa de modelos aplicables a tramos estrechos cuya anchura no es cartografiada en los mapas existentes, lo que impide calcular directamente una superficie. Estos ríos suponen más del 90 % de la longitud fluvial total en la vertiente cantábrica, determinado por su orografía, con montañas próximas al mar. Es preciso contar con un método que permita calcular la anchura de estos cursos fluviales.

El área húmeda frecuentemente ha sido estimada con criterios de experto y, más recientemente, con técnicas SIG basadas en diferentes variables (McGinnity *et al.*, 2012). Algunos autores han encontrado que una sola variable puede dar un buen resultado en la estima del tamaño del río (Hughes *et al.*, 2011), obteniendo relaciones similares ( $R = 0,54 - 0,82$ ) entre el tamaño del río y la descarga media anual modelizada. Hughes *et al.* (2011) encuentra una fuerte colinealidad entre alguna de las variables usadas más frecuentemente (orden de Strahler, tamaño de cuenca o distancia a la fuente). Esta colinealidad invalidaría estadísticamente el uso conjunto de estas variables para extrapolar una función de regresión.

Sin embargo, las variables planteadas inicialmente para este análisis (elevación, distancia al mar y flujo acumulado) no revelan colinealidad y cumplen los criterios de linealidad y

García Manteca, P., Nores Quesada, C., Cuervo, N., Colubi, A., y García Flórez, L. (2015): "Estimación del área húmeda, actual y potencial, disponible para la anguila europea (*Anguilla anguilla*) usando técnicas GIS", *GeoFocus (Artículos)*, nº 16, p.41-60. ISSN: 1578-5157

---

homocedasticidad, permitiendo un sencillo recálculo de la función de regresión para otras áreas de similares características, usando datos de campo correspondientes a estas zonas.

El uso de la cartografía del MTN 1:10.000 permite, a su vez, calcular, con un pequeño error medio (del 5,3 %), el área húmeda de los tramos fluviales de más de 500 km<sup>2</sup> de cuenca o de 20 m de ancho que, frecuentemente, se delimitan por una doble línea o polígono.

También en los ecosistemas fluviales, las herramientas de los SIG son esenciales para la generación de los modelos digitales georreferenciados y el cálculo del modelo resultante de la aplicación de las funciones estadísticas obtenidas (Chee y Elith, 2012; McGinnity *et al.*, 2012). El resultado final no se queda en una función estadística sino que puede ser extrapolado al todo el territorio y a cada una de sus celdas. El modelo geográficamente explícito mediante álgebra de mapas permite obtener información por cuencas hidrográficas, tal y como se necesita para la aplicación de los Planes de Gestión. También sería posible obtener la información por municipios parroquias o cualquier otra entidad territorial.

Los Planes Nacionales de Gestión de la anguila de diferentes Unidades de Gestión han realizado cálculos simples para una primera aproximación a la superficie húmeda a partir de valores medios de tramos fluviales (Azzi-Tecnalia, EKOLUR y Universidad del País Vasco 2010; Gobierno de Cantabria, 2010). El método desarrollado aquí permite calcular con mayor detalle y precisión geográfica el área húmeda y el reparto de ésta en cada cuenca, en función del flujo acumulado por la extensión de la cuenca, lo que permite calcular con mayor exactitud la productividad y la biomasa de anguila en un tipo de ríos que representa casi el 60 % de su hábitat potencial.

El Reglamento 1100/2007 (EC, 2007) establece en su artículo 2, apartado 4, que cualquier Plan de Gestión de la anguila debe tener como objetivo reducir la mortalidad antropogénica, a fin de permitir la fuga hacia el mar de al menos el 40 % de la biomasa de anguilas europeas correspondiente al escape prístino. El área húmeda perdida por los obstáculos infranqueables para la anguila europea en el territorio de la Unidad de Gestión de la Anguila del Principado de Asturias alcanza el 47,9 % del total del hábitat fluvial disponible. Esto, sin duda, supone una importante pérdida de hábitat para la anguila, que dificulta el cumplimiento de los objetivos del Reglamento.

Aunque la recuperación total del hábitat es una tarea muy difícil, sí es posible mejorar notablemente el porcentaje de hábitat disponible mediante la recuperación de amplias zonas por encima de los obstáculos existentes en la actualidad. Esto sería posible con la eliminación de alguno de estos obstáculos o la creación de escalas para anguilas. Las escalas para la anguila no son necesariamente obras muy costosas. Simples estructuras de madera u otros materiales de bajo coste, con una superficie adecuada para que la anguila repte por ellas podrían tener buenos resultados, si bien habría que reponerlas cuando sean dañadas por las avenidas.

Por otro lado, la eliminación de barreras térmicas podría conseguirse con la actualización del equipamiento de las centrales térmicas, para lograr una reducción de la temperatura del agua vertida por estas industrias, lo que redundaría en un aumento del hábitat para la anguila.

## 5. Conclusiones

El área húmeda es una variable imprescindible para el cálculo de la productividad y para el desarrollo de los planes de gestión de la anguila europea. En este trabajo se concluye que el área que converge en su flujo en cada punto a lo largo del río (flujo acumulado) es una buena variable, en los tramos fluviales de menos de 500 km<sup>2</sup> de cuenca, para estimar el área húmeda en el área cantábrica. Estos tramos constituyen más del 90 % del total de la longitud de los cauces habitables para la anguila en el área de estudio.

La función obtenida explica, con una única variable, más del 50 % de la varianza y permite la extrapolación a todo el área del plan de gestión, utilizando álgebra de mapas sobre la capa de modelo de flujo acumulado. El modelo también puede ser extrapolado a toda la región cantábrica y a áreas que tengan características territoriales similares.

En el área del Plan de Gestión de la Comunidad Autónoma del Principado de Asturias se ha perdido el 47,9 % del área húmeda y otro 15,6 % puede tener problemas de acceso. Si bien la superficie de área húmeda que se conserva es la más próxima a la desembocadura, donde la densidad de biomasa de anguila europea es mayor, el importante porcentaje de área perdida, mayor que el del objetivo de la tasa de escape, impuesta por el Reglamento de recuperación de las poblaciones de anguila europea, obliga a medidas de conservación y recuperación estrictas para que en el hábitat que aún se conserva no haya limitaciones insalvables a la supervivencia y escape hacia el mar de la especie.

El aumento del hábitat disponible mediante eliminación o mejora de obstáculos y barreras podría mejorar sensiblemente estos datos en un futuro próximo.

## Agradecimientos

Este trabajo tiene su origen en la subvención de la Consejería de Agroganadería y Recursos Autóctonos del Principado de Asturias a la Universidad de Oviedo para la realización del proyecto 2009/000009 *Plan de recuperación de la anguila europea*. Para el estudio y caracterización de las condiciones de referencia y productividad de la anguila en Asturias.

Agradecemos en especial al personal de Centro de Experimentación pesquera las ayudas y comentarios a este trabajo. Agradecemos también a la Confederación Hidrográfica del Cantábrico, a la Dirección General de Recursos Naturales de la Consejería de Agroganadería y Recursos Autóctonos del Principado de Asturias y a la empresa Biosfera SL los datos sobre pesca eléctrica que nos han proporcionado.

García Manteca, P., Nores Quesada, C., Cuervo, N., Colubi, A., y García Flórez, L. (2015): "Estimación del área húmeda, actual y potencial, disponible para la anguila europea (*Anguilla anguilla*) usando técnicas GIS", *GeoFocus (Artículos)*, nº 16, p.41-60. ISSN: 1578-5157

---

## Referencias bibliográficas

Aprahamian, M.W. (2000): "The growth rate of eel in tributaries of lower River Severn, England, and its relationship with stock size", *Journal of Fish Biology* 56, pp. 223-227.

Aprahamian, M.W.; Walker, A.M.; Williams, B.; Bark, A. y Knights, B. (2007): "On the application of models of European eel (*Anguilla anguilla*) production and escapement to the development of Eel Management Plans: the River Severn"; *ICES Journal of Marine Science* 64, pp. 1472-1482.

AZTI-Tecnalia, EKOLUR y Universidad del País Vasco (2010): *Plan de gestión para la recuperación de la Anguila europea en el País Vasco*. Realizado para el Gobierno Vasco. Disponible en <http://goo.gl/Hrq3Sz>

Bark, A.; Williams, B. y Knights, B. (2007): "Current status and temporal trends in stocks of European eel in England and Wales", *ICES Journal of Marine Science* 64, pp. 1368-1378.

Cuervo, N.; Nores, C.; Garcia, P. y Garcia-Flórez, L. (2012): "Reconstruction of the pristine conditions of eel habitat in Asturias (Northern Spain)", *Book of Abstracts 6th World Fisheries Congress. Sustainable Fisheries in a Changing World* 7-11 May 2012. Edinburgh PE3.22, 231 págs.

Chadwick, S.; Knights, B.; Thorley, J.L. y Bark, A. (2007): "A long-term study of population characteristics and downstream migrations of the European eel *Anguilla anguilla* (L.) and the effects of a migration barrier in the Girnock Burn, north-east Scotland"; *Journal of Fish Biology* 70, pp. 1535-1553.

Chee, Y.E. y Elith, J. (2012): "Spatial data for modelling and management of freshwater ecosystems", *International Journal of Geographical Information Science* 26, pp. 2123-2140.

Dekker, W.; Pawson, M. y Wickström (2007): "Is there more to eels than slime? An introduction to papers presented at the ICES Theme Session in September 2006", *ICES J. Mar. Sci.* 64 7, pp. 1366-1367.

De Rose, R.C.; Stewardson, M.J. y Harman, C. (2008): "Downstream hydraulic geometry of rivers in Victoria, Australia", *Geomorphology*, 99 1-4, pp. 302-316.

Díaz, E. (2012): *RECANG: Recuperando la anguila: desarrollo de herramientas científico-técnicas para la implementación de planes de gestión en las cuencas europeas*. Azti Tecnalia. Sukarrieta, 139 págs.

Doadrio, I. (ed.), (2001): *Atlas y libro rojo de los peces continentales de España*. Dirección General de la Conservación de la Naturaleza-CSIC, Madrid. 374 págs.

EC, (2007): "Council regulation (EC) No 1100/2007 of 18 September 2007 establishing measures for the recovery of the stock of European eel". *Official Journal of the European Union* 248, pp. 17-23.

FAO/DVWK (2002): *Fish passes. Design, dimensioning and monitoring*. FAO. Rome. 119 págs.

García Manteca, P., Nores Quesada, C., Cuervo, N., Colubi, A., y García Flórez, L. (2015): "Estimación del área húmeda, actual y potencial, disponible para la anguila europea (*Anguilla anguilla*) usando técnicas GIS", *GeoFocus (Artículos)*, nº 16, p.41-60. ISSN: 1578-5157

---

Fernández, S. (2002): *Variables geomorfológicas y modelos predictivos de la distribución espacial de propiedades edáficas*. Memoria Tesis doctoral (Inédita).

Feunteun, E.; Acou, A.; Guillouët, J.; Laffaille, P. y Legault, A. (1998): "Spatial distribution of an eel population (*Anguilla anguilla* L.) in a small coastal catchment of northern brittany (France). Consequences of hydraulic works", *Bulletin France de la Peche Piscicole* 349, pp. 129-139.

Feunteun, E. ; Acou, A.; Laffaille, P. y Legault, A. (2000): "European eel (*Anguilla anguilla*): prediction of spawner escapement from continental population parameters", *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 57, pp. 1627-1635.

Freyhof, J. y Kottelat, M. (2010): "*Anguilla anguilla*", en IUCN 2011. *IUCN Red List of Threatened Species*. Version 2011.2. Disponible en [www.iucnredlist.org](http://www.iucnredlist.org). descargado el 16 Marzo 2012.

Gargan, P.G.; Roche, W.K.; Keane, S.; King, J.J.; Cullagh, A.; Mills, P. y Keeffe, J.O. (2011): "Comparison of field- and GIS-based assessments of barriers to Atlantic salmon migration: a case study in the Nore Catchment, Republic of Ireland", *Journal of Applied Ichthyology* 27, pp. 66-72.

Gobierno de Cantabria. (2010): *Plan de Gestión de la Anguila Europea*. Comunidad Autónoma de Cantabria. Documento resumen. 55 págs. Disponible en <http://goo.gl/Hrq3Sz>

Gobierno del Principado de Asturias. (2010): *Plan de Gestión de la Anguila Europea en el Principado de Asturias*. Consejería de Medio Rural y Pesca. Disponible en <http://goo.gl/f02UkP>

Gobierno de España: (2010). *Plan de gestión de la anguila europea en España*. . Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. Secretaria Seneral del Mar, 118 págs. <http://goo.gl/qy0xfl> (último acceso febrero 2013).

Greenlee D. D. (1987): "Raster and Vector Processing for Scanned Linework", *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*. Vol. 53, No. 10, October 1987, pp. 1383-1387.

Harman C.; Stewardsoj, M. y De Rose, R. (2008): "Variability and uncertain in reach bankfull hydraulic geometry", *Journal of hydrology*, 351, pp. 13-25.

Hughes, R.M.; Kaufmann, P.R. y Weber, M.H. (2011): "National and regional comparisons between Strahler order and stream size", *Journal of the North American Benthological Society* 30, pp. 103-121.

ICES (2011): *Report of the 2010 session of the Joint EIFAC/ICES Working Group on Eels*. Hamburg, Germany, EIFAC Occasional Paper. No. 47. CM 2010/ACOM, 18, 721 pp. E-ISBN 978-92-5-106766-6 (PDF). Disponible en <http://goo.gl/YHIGe9>

INDUROT (1989-2001): *Cartografía Temática Ambiental del Principado de Asturias*. Realizado para el Gobiernno del Principado de Asturias. Disponible en <http://goo.gl/YrqJfV>

Jenson, S.K. y Domingue J.O. (1998): "Extracting Topographic Structure from Digital Elevation Data for Geographic Information System Analysis", *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*. 54 (11), pp. 1593-1600.

García Manteca, P., Nores Quesada, C., Cuervo, N., Colubi, A., y García Flórez, L. (2015): "Estimación del área húmeda, actual y potencial, disponible para la anguila europea (*Anguilla anguilla*) usando técnicas GIS", *GeoFocus (Artículos)*, nº 16, p.41-60. ISSN: 1578-5157

---

Legault, A. (1992): "Study of some selectivity factors in eel ladders", *Bulletin Francais de la Peche et de la pisciculture*, 325, pp. 83-91.

Liu, J.; Zhou, ZH.; Jia, YW.; Wang, H. y Chen, XD. (2014): "A stem-branch topological codification for watershed subdivision and identification to support distributed hydrological modelling at large river basins", *Hydrological Processes* Vol 28 4, pp. 2074-2081.

Marquínez, J.; Lastra, J. y García, P. (2003): "Estimation models for precipitation in mountainous regions: the use of GIS and multivariate analysis", *Journal of Hydrology* 270, pp. 1-11.

McGinnity, P.; Gargan, P., Roche, W., Mills, P. y McGarrigle, M. (2003): "Quantification of freshwater Salmon habitat asset in Ireland using data interpreted in a GIS platform", *Irish Freshwater Fisheries Ecology and Management Series* 3, pp. 1-32.

McGinnity, P.; De Eyto, E.; Gilbey, J.; Gargan, P., Roche, W.; Stafford, T.; McGarrigle, M.; O'Maoileidigh, N. y Mills, P. (2012): "A predictive model for estimating river habitat area using GIS-derived catchment and river variables", *Fisheries Management and Ecology* 19, pp. 69-77.

Montes, R.; Menéndez Muñoz, A.; Peón, P. y Sánchez Díaz, J.F. (2007): *Inventario de Obstáculos Fluviales en el Principado de Asturias*. Technical Report of Consejería de Medio Ambiente, Ordenación del Territorio e Infraestructuras, Oviedo. 135 págs.

Muchiut, S.; Susperregui, N. y Oroz-Urrizalki, I. (2008): "Indicateurs de l'environnement continental", Adam, G. et al. -eds.- (2008): *L'anguille européenne: Indicateurs d'abondance et de colonisation*. Savoir-faire, pp. 101-161.

Nores, C.; García-Rovés, P. y Suárez, A. (2007): "Peces", en C. Nores y P. García-Rovés (coord.): *Libro rojo de la fauna del Principado de Asturias*. Obra Social "La Caixa"/Gobierno del Principado de Asturias, Oviedo: pp. 129-154.

Shreven, R. (1974): "Variation of mainstream length with basin area in river networks", *Water Resources Research*, 10.6, pp. 1167-1117.

Solá, C.; Ordeix, M.; Pou-Rovira, Q.; Sellares, N.; Queralt, A.; Bardina, M.; Casamitjana, A. y Munne, A. (2011): "Longitudinal connectivity in hydromorphological quality assessments of rivers. The ICF index: A river connectivity index and its application to Catalan rivers", *Limnetica*. 30, pp. 273-292.

Stewardson, M. (2005): "Hydraulic geometry of stream reaches", *Journal of hydrology* 306, pp. 97-111

Tarboton D. G.; Bras, R. L. y Rodríguez-Iturbe, I. (1991): "On the Extraction of Channel Networks from Digital Elevation Data", *Hydrological Processes*. 5, pp. 81-100.

Wohl, E.E. y Wilcox. A., (2005): "Channel geometry of mountain stream in New Zealand", *Journal of hydrology* 300, pp. 252-266.

Zippin C. (1956): "An evolution of the removal method of estimating animal populations", *Biometrics* 12, pp. 163-189.

García Manteca, P., Nores Quesada, C., Cuervo, N., Colubi, A., y García Flórez, L. (2015): "Estimación del área húmeda, actual y potencial, disponible para la anguila europea (*Anguilla anguilla*) usando técnicas GIS", *GeoFocus (Artículos)*, nº 16, p.41-60. ISSN: 1578-5157

---

### APENDICE 1: Informes inéditos referidos en la tabla 1

Apilánnez y Mortera CEA (1997): *Estudio del Área de Distribución y Densidad de Juveniles de Salmón en la Cuenca del Sella*. Estudio realizado para el Gobierno del Principado de Asturias.

Apilánnez y Mortera CEA (2001): *Estudio de Gestión de un acotado en Teverga y caracterización poblacional*. Estudio realizado para el Gobierno del Principado de Asturias.

Apilánnez y Mortera CEA (2002a): *Estudio poblacional para la ordenación del régimen de pesca del Río Caudal*. Estudio realizado para el Gobierno del Principado de Asturias.

Apilánnez y Mortera CEA (2002b): *Estudio de ordenación fluvial de pesca en el parque de Somiedo y caracterización poblacional*. Estudio realizado para el Gobierno del Principado de Asturias.

Apilánnez y Mortera CEA (2002c): *Estudio poblacional para la ordenación del régimen de pesca en el río Caudal*. Estudio realizado para el Gobierno del Principado de Asturias.

Apilánnez y Mortera CEA (2003): "Caracterización poblacional de cotos del río Piloña". Estudio realizado para el Gobierno del Principado de Asturias.

Apilánnez y Mortera CEA (2009): *Resultados de los muestreos de la red de estaciones de control de muestreos de trucha*. Estudio realizado para el Gobierno del Principado de Asturias.

Apilánnez y Mortera S.L (2010): *Resultados de los muestreos de la red de estaciones de control de muestreos de trucha*. Estudio realizado para el Gobierno del Principado de Asturias.

Aristipo S.L. (2001): *Análisis de las poblaciones piscícolas en la cuenca del Esva*. Estudio realizado para el Gobierno del Principado de Asturias.

Biosfera S.L. (2010): *Datos de pescas eléctricas efectuadas para la CHC entre 2008 y 2010*.

Braña, F. (1996): *Criterios y Métodos de valoración de las poblaciones de peces fluviales en Asturias*. Estudio realizado para el Gobierno del Principado de Asturias

CHC (2008): *Datos de la red de muestreos biológicos para la Directiva Marco del Agua en la cuenca cantábrica en 2006-2008*. Confederación Hidrográfica del Cantábrico.