



II Encuentro Galaico-Portugués de Biometría  
Santiago de Compostela, 30 de junio, 1 y 2 de julio de 2016

## PREDICCIÓN DEL PATRÓN DE ASENTAMIENTO LARVARIO EN LAS RÍAS GALLEGAS CON GAM PARA DATOS REALES Y FUNCIONALES

Isabel Fuentes-Santos <sup>1</sup>, Uxio Labarta <sup>2</sup>, X. Antón Álvarez-Salgado <sup>3</sup> y M<sup>a</sup> José Fernández-Reiriz<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Instituto de Investigaciones Marinas - Consejo Superior de Investigaciones científicas.  
*isafusa@iim.csic.es*

<sup>2</sup>Instituto de Investigaciones Marinas - Consejo Superior de Investigaciones científicas.  
*labarta@iim.csic.es*

<sup>3</sup>Instituto de Investigaciones Marinas - Consejo Superior de Investigaciones científicas.  
*xsalgado@iim.csic.es*

<sup>4</sup>Instituto de Investigaciones Marinas - Consejo Superior de Investigaciones científicas.  
*mjreiriz@iim.csic.es*

### RESUMEN

La captación de semilla en sustratos artificiales es crucial para garantizar la sostenibilidad del cultivo de mejillón en las rías gallegas. Esta necesidad ha motivado el estudio del ciclo de asentamiento larvario del mejillón y su relación con condiciones ambientales y meteorológicas. Este trabajo muestra la utilización de los modelos GAM para datos reales y funcionales en el desarrollo de un sistema de predicción del patrón de asentamiento larvario a partir de variables meteorológicas medidas a diario por fuentes oficiales.

**Palabras e frases clave:** asentamiento larvario, datos funcionales, modelos aditivos generalizados, radiación solar.

### 1. INTRODUCCIÓN

El cultivo de mejillón en Galicia consiste en el engorde de juveniles en batea y depende de la magnitud del reclutamiento larvario, ya sea sobre sustratos naturales (litoral rocoso) o artificiales (colectores artificiales).

La necesidad de obtener semilla mediante cuerdas colectoras para mantener la sostenibilidad de la miticultura en Galicia ha puesto de manifiesto la importancia de conocer los patrones de asentamiento larvario y los factores ambientales que lo regulan, para poder evaluar y mejorar la estrategia actual de captación de semilla. Con este fin en el año 2006 se implantó un programa de monitorización del asentamiento larvario y captación de semilla de mejillón en la Ría de Ares-Betanzos.

El objetivo de este trabajo es predecir el ciclo e intensidad del asentamiento larvario en la Ría de Ares-Betanzos en función de condiciones meteorológicas. Para ello hemos utilizado modelos aditivos generalizados (GAM) [1], [2] para datos reales, que combinan la interpretabilidad de los modelos lineales y la flexibilidad de la inferencia no paramétrica, y su extensión al marco de los datos funcionales (FGKAM, functional generalizad kernel additive models) [3].

## 2. METODOLOGÍA

Se ha seguido el asentamiento larvario en el polígono de Arnela (Ría de Ares-Betanzos) mediante muestreos semanales en los periodos 2009-2010 y 2012-2015. La intensidad de asentamiento,  $N$ , se mide en individuos por metro de cuerda (ind/m). Consideramos que se ha producido asentamiento,  $Y = 1$ , cuando  $N \geq 500$ .

Como variables explicativas hemos utilizado datos diarios de radiación solar ( $R, MJ/(m^2 dia)$ ), recogidos en la estación meteorológica CIS-Ferrol (<http://www2.meteogalicia.gal>), datos diarios de velocidad ( $W, m/s$ ) y dirección ( $\theta$ ) del viento recogidos en la boya de Vilano (<http://www.puertos.es>), y la suma de los aportes diarios ( $Q, m^3/s$ ) de los ríos Eume (ENDESA S.A) y Mandeo (Augas de Galicia). Estas variables han sido seleccionadas teniendo en cuenta la influencia de la radiación solar en el ciclo reproductivo de los invertebrados marinos [4], [5] y la influencia del aporte de los ríos y el viento en los patrones de asentamiento larvario en la Ría de Ares-Betanzos [6].

La probabilidad de asentamiento larvario se ha estimado mediante ajustes GAM con familia binomial y link logit [1], [2]. El análisis de bondad de ajuste de distintos modelos nos ha llevado a seleccionar el siguiente ajuste

$$P(Y = 1|R) = H(\alpha + f(R)) = \frac{\exp(\alpha + f(R))}{1 + \exp(\alpha + f(R))} \quad (1)$$

donde  $R$  es la radiación solar media de los 30-45 días previos al muestreo de asentamiento larvario, y la función  $f$  se representa mediante splines planos penalizados (TPRS).

Para estimar la intensidad del asentamiento hemos utilizado ajustes GAM en dos etapas, con medias quincenales de las variables explicativas, y ajustes GAM para datos funcionales [3], con curvas que recogen el comportamiento de las condiciones ambientales durante un mes (15-45 días anteriores al muestreo). El análisis de bondad de ajuste de los candidatos evaluados nos ha llevado a seleccionar el siguiente ajuste:

$$E[N|fR, fQ] = H(\beta + g_1(fR) + g_2(fQ)) \quad (2)$$

donde  $fR$  y  $fQ$  son las curvas mensuales de radiación solar y caudal de ríos, y  $g_j, j = 1, 2$  se obtienen mediante estimadores núcleo. En este caso hemos usado la familia binomial negativa con link logarítmico, para reducir el efecto de la sobredispersión.

## 3. RESULTADOS

En primer lugar hemos ajustado el modelo (1) en el periodo 2009-2014 y utilizado este ajuste para predecir la probabilidad de asentamiento larvario durante 2015: La figura 1 muestra que el ajuste adelanta 10 días el inicio del periodo de asentamiento larvario, y predice el fin para una semana después del último muestreo. Además de predecir el inicio y fin del periodo de asentamiento, este ajuste identifica un umbral de radiación solar,  $R \approx 11MJ/(m^2 dia)$ , por debajo del que no se produce asentamiento larvario.

La Figura 2 muestra el patrón de asentamiento larvario observado durante 2015 y la predicción a 15 días a partir de las curvas mensuales de radiación solar y aporte de ríos (2). El modelo identifica correctamente el periodo de asentamiento y proporciona un ajuste razonable de la intensidad, aunque tiende a infraestimar los picos más altos.

## 3. CONCLUSIONES

En este trabajo se han aplicado ajustes GAM para datos reales y funcionales para desarrollar un sistema de predicción de asentamiento larvario. Hemos visto que la radiación solar, que apenas había sido considerada entre los factores que determinan la producción de larvas de mejillón, permite predecir con un mes de antelación el inicio y fin del periodo de captación de semilla.

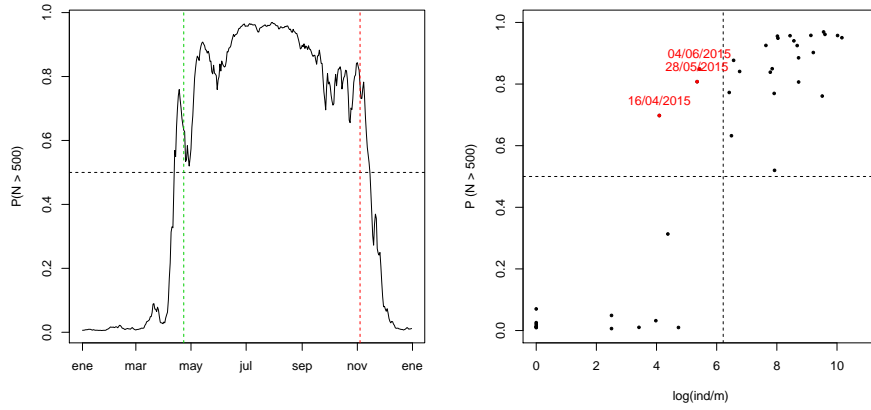


Figura 1: Izquierda: Predicción de la probabilidad de asentamiento larvario para el año 2015. Línea verde: inicio del periodo de asentamiento (23/04/2015); línea roja: fecha del último muestreo (04/11/2015). Derecha: comparación entre densidad observada y clasificación proporcionada por el modelo. Rojo: muestreos con  $N < 500$  ind/m clasificados incorrectamente.

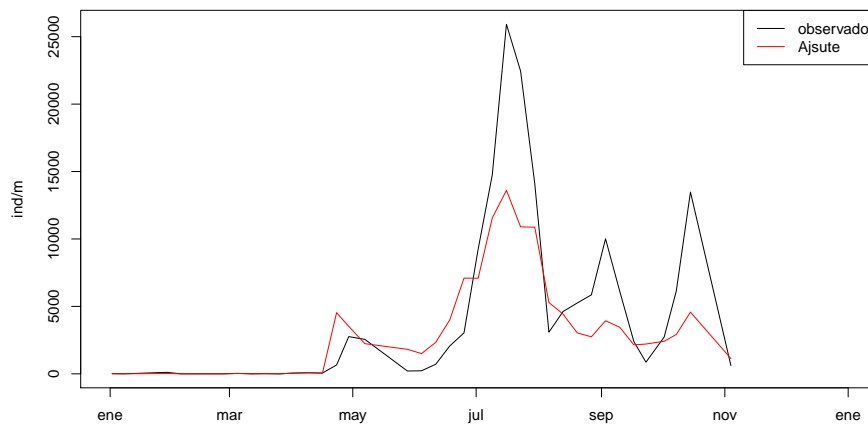


Figura 2: Comparación entre densidad de asentamiento observada en los muestreos (negro) y predicción (rojo) proporcionada por el modelo (2)

Los datos funcionales permiten incorporar en los modelos biológicos toda la información derivada de la monitorización continua de las condiciones ambientales. Esto resulta de gran utilidad en nuestro caso dado que el asentamiento es el final de la etapa larvaria del mejillón, que puede durar un mes.

En conclusión, la flexibilidad de los ajustes GAM y los datos funcionales nos han permitido desarrollar un sistema de predicción de asentamiento larvario de bajo coste, que puede resultar de gran utilidad en el diseño de estrategias de captación de semilla.

### AGRADECIMIENTOS

Queremos agradecer la colaboración de la empresa PROINSA S.A., en particular a H. Regueiro y M. García por su labor en los muestreos. Este trabajo ha sido financiado por el convenio entre PROINSA y CSIC CSIC 0704101100001 y los proyectos CSIC 201540E107 y ClimeFish (EU 677039).

### Referencias

- [1] Hastie, T. J., Tibshirani, R. J. (1990). *Generalized Additive Models*. Chapman and Hall/CRC, London.
- [2] Wood, S. (2006). *Generalized Additive Models: An Introduction with R*. Chapman and Hall/CRC, London.
- [3] Febrero-Bande, M., González-Manteiga, W. (2013). Generalized additive models for functional data. *Test* 22, 278–292
- [4] Fiorillo I, Rossi S, Alva V, Gili JM, López-González PJ (2013) Seasonal cycle of sexual reproduction of the Mediterranean soft coral *Alcyonium acaule* (Anthozoa, Octocorallia). *Marine Biology* 160:719–728
- [5] Van Woesik R, Lacharnoise F, Köksal S (2006) Annual cycles of solar insolation predict spawning times of Caribbean corals. *Ecology Letters* 9:390–398
- [6] Peteiro LG, Labarta U, Fernández-Reiriz MJ, Álvarez-Salgado XA, Filgueira R, Piedracoba S (2011). Influence of intermittent-upwelling on *Mytilus galloprovincialis* settlement patterns in the Ría de Ares-Betanzos. *Marine Ecology Progress Series* 443:111–127