

## Relación entre los eventos oceánicos observados a partir de datos de satélite y la pesquería de alacha (*Sardinella aurita*, Valenciennes, 1847) en aguas de Mauritania.

J. Coca<sup>(1)</sup>, A.G. Ramos<sup>(1)</sup>, A. Redondo<sup>(1)</sup> y J.J. Zeeberg<sup>(2)</sup>

<sup>(1)</sup> Departamento de Biología Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, Edificio de Ciencias Básicas, Campus Universitario de Tafiya, Las Palmas de Gran Canaria, 35017. jcoca@pesca.gi.ulpgc.es

<sup>(2)</sup> Netherlands Institute for Fisheries Research (RIVO B.V.) Haringkade 1, P.O. Box 68,1970 AB IJmuiden, The Netherlands. JaapJan.Zeeberg@wur.nl

### Resumen

La proliferación de sensores a bordo de plataformas orbitales ha generado en los últimos años un aumento considerable del número de parámetros potencialmente utilizables para la observación del océano y la gestión de sus recursos. Existen numerosos trabajos que relacionan pesquerías pelágicas con parámetros geofísicos obtenidos a partir de radiómetros a bordo de satélites operacionales. Por el contrario, escasean aquéllos que utilizan datos obtenidos a partir de radares. En este trabajo se realiza un estudio de las pesquerías de clupeidos en aguas de Mauritania con escenas radiométricas de temperatura superficial del mar (SST) y concentración de clorofila-a (CHL), y datos rádar de anomalía del nivel del mar (SLA) calculada con datos procedentes de radares altimétricos y de bombeo de Ekman, obtenidos a partir de los datos de viento derivados del dispersómetro a bordo del QuikSCAT. La combinación de estos cuatro parámetros permitió caracterizar escenarios oceanográficos superficiales complejos y determinar el tipo de relación con la pesquería de alacha. A partir de técnicas de análisis multivariantes se superó la dificultad del análisis simultáneo de las capturas sobre cuatro parámetros geofísicos distintos, permitiendo con ello, establecer relaciones cuantificables más allá del mero estudio descriptivo.

### 1. Introducción

Para comprender el uso de parámetros oceanográficos derivados de satélite y su relación con pesquerías pelágicas, es preciso comprender las peculiaridades específicas de cada tipo de especie. Debido a que éstas peculiaridades generan respuestas etológicas y patrones de comportamiento

específicos respecto al entorno geofísico que las rodea. Por ello, este trabajo desarrolla nuevas técnicas de teledetección aplicada a este tipo de pesquerías y permite analizar ese “entorno” geofísico y por ende la respuesta de la especie, ante nuevos parámetros (radar) complementarios a los ya disponibles (radiométricos).

## 2. Metodología

### 2.1 Bases de datos geofísicos

La base de datos geofísicos obtenida mediante técnicas de teledetección incluía la SST, la CHL, el bombeo de Ekman y la SLA. Para el cálculo de la SST y de la CHL se dispuso de datos diarios de 0,087890625° de resolución, en una proyección equidistante cilíndrica (*Standard Mapped Image, SMI*). Los datos AVHRR/NOAA de la SST fueron extraídos del *Jet Propulsion Laboratory (JPL)* de NASA. Con el objeto de minimizar la cobertura nubosa, se realizaron síntesis de cinco días que incluían las escenas correspondientes a los dos días anteriores, el mismo día y los dos posteriores al día de captura de alacha. La síntesis de la SST se obtuvo a partir del píxel más cálido de la serie de cinco días correspondiente a cada coordenada geográfica. Las escenas de CHL provenían de la base de datos con nivel de tratamiento L3m del SeaWiFS/OrbView-2 disponibles en el *Distributed Active Archive Center (DAAC)* de NASA. Los datos altimétricos para la obtención de la SLA fueron suministrados por el *Collecte, Localisation, Satellite - Archiving, Validation and Interpretation of Satellite Oceanographic data (CLS-AVISO)* y correspondían a datos de trazas conjuntas (*merged*) recogidas en 7 días. La proyección original *mercator* de los datos obligó a que fueran re proyectados a otra, en equidistante cilíndrica, con

una resolución espacial de 0.25° para homogeneizarlos con el resto de parámetros obtenidos.

Los cálculos del bombeo de Ekman se realizaron a partir de la ecuación (1), utilizando para ello los datos de Quikscat disponibles en el JPL. Cada fichero de nivel L2B (vectores de viento recuperados, más parámetros de calidad e informaciones complementarias), contenía una órbita completa alrededor de la tierra de polo sur a polo sur e incluían entre 14 y 15 ficheros/día. Las escenas fueron obtenidas a partir del promedio de datos correspondientes a cinco días. En el promedio se utilizaron los datos del día y los de los cuatro días anteriores. La proyección al igual que en los anteriores parámetros se realizó sobre una equidistante cilíndrica de 0.25° de resolución en una ventana geográfica del Atlántico NE comprendida entre el 20° N y 50° N, y el 5° E y 30° W (2000-2003).

$$(\nabla V_1 - \nabla V_2)h = \frac{1}{\rho f} \left( \frac{\partial \tau_y}{\partial x} - \frac{\partial \tau_x}{\partial y} \right) \quad (1)$$

## 2.2 Tratamiento de la base de datos de pesca y de teledetección

El *Netherlands Institute for Fisheries Research* (RIVO) facilitó la base de datos de la pesquería de arrastre pelágico de alacha en aguas de Mauritania para el periodo 2000 - 2003. Cada campo incluía la fecha, la latitud, la longitud y la captura obtenida. El tratamiento informático de la base de datos consistió en la obtención de 82 variables geofísicas y variables derivadas (operador de sobel, distancia a los cambios de signo, etc) en la coordenada de captura definida por la fecha, la latitud y la longitud. Ello permitiría evaluar la respuesta etológica de la alacha en un área concreta, frente a situaciones o escenarios oceanográficos precedentes en la misma ventana geográfica 15, 10 y 5 días previos.

Con estas variables “derivadas” también se pretendía describir la variación espacial de los parámetros geofísicos alrededor de la coordenada de captura.

## 2.3 Visualización

Sobre las imágenes obtenidas se representaban los caladeros de alacha permitiendo con ello un análisis descriptivo de los distintos escenarios oceanográficos. El análisis descriptivo permitió además definir algunas de las variables derivadas de las geofísicas que fueron incluidas en la base de datos.

## 2.4 Histogramas y gráficos de dispersión

Posteriormente se graficaron los histogramas del conjunto de variables y los diagramas de dispersión en la coordenada geográfica del caladero con 15, 10 y 5 días de retardo, el mismo día de la pesca, y 5 días después de éste. Ello permitió cuantificar y obtener los rangos de los distintos valores de la variable que acumulaban o limitaban la presencia de alacha.

## 2.5 Análisis multivariante

También se realizó un análisis de regresión lineal múltiple, empleando para ello la selección por pasos sucesivos como método de introducción de variables en los distintos modelos obtenidos. La variable dependiente utilizada fue la captura por unidad de esfuerzo (CPUE) como estimación de la abundancia de alacha en una coordenada concreta. Se consideraron independientes aquellas variables geofísicas y derivadas incluidas en la base de datos que mantenían un nivel de correlación *rho* de Spearman entre ellas inferior a 0,5.

La implementación del modelo obtenido en la regresión lineal múltiple permitió generar mapas de probabilidad *alta*, *media* y *baja* de acumulación de alacha. Sobre ellos se proyectaron los rendimientos pesqueros cuantificados mediante la CPUE para la misma fecha mediante círculos cuyo tamaño es proporcional a la captura obtenida.

El problema de estos modelos es que se generan extrayendo variables relacionadas espacio - temporalmente con las áreas de pesca, pero no incluyen información del entorno circundante. Así, si el valor de cualquiera de las cuatro variables geofísicas sobre un píxel el día de pronóstico quedaba fuera de los rangos que se apreciaron en los histogramas y diagramas de dispersión descritos en el apartado 2.4, no se aplicaba el modelo y se le asignaba el valor de fuera de rango o no evaluado. La generación de los mapas de probabilidad asumía que los valores de los parámetros de teledetección (SST, SLA bombeo de Ekman y CHL) que quedaban fuera de los esos rangos no eran adecuados para la presencia de alacha. Era necesario por tanto comprobar si existían diferencias entre las distribuciones de las variables extraídas en los puntos de captura respecto a toda la área de estudio. Para ello se procedió a la extracción de los valores numéricos de todas las variables (geofísicas y derivadas) en 5 posiciones obtenidas al azar. Para comprobar la igualdad de medias se utilizó la prueba U de Mann-Whitney. Para el contraste de las varianzas entre las variables en los puntos de captura y las extraídas al azar, se utilizó la prueba de homogeneidad de varianzas de Levene.

### 3. Resultados

#### 3.1. Visualización

El análisis descriptivo de los datos permitió apreciar una tendencia de la alacha a ubicarse en áreas de gradiente intenso de SST pero en un rango de valores relativamente amplio (17°-28° C). Además, la alacha mostraba una tendencia a ubicarse en aguas muy turbias con valores de CHL superiores a 1 mg\*m<sup>-3</sup>. En muchas de las observaciones las áreas de acumulación de este clupeido estaban cercanas a zonas de gradiente intenso de clorofila. Los caladeros mostraban además valores de SLA significativamente positivos, pero cercanos a cambio de signo. El comportamiento de la alacha respecto al bombeo de Ekman era más variable y parecía estar ligado a las áreas donde cambiaba el signo.

#### 3.2. Histogramas y gráficos de dispersión

Los histogramas de SST que la alacha se distribuía entre 17 y 27° C, con una moda a 18° C. El histograma de CHL mostraba la preferencia de la alacha a ubicarse en áreas con valores superiores a 1 mg\*m<sup>-3</sup>. El histograma presentaba dos modas entre 1 y 5 mg\*m<sup>-3</sup>. La distribución de la SLA mostraba que la alacha mostraba preferencias por las áreas con valores positivos cercanos a cero sin gradientes muy marcados. El bombeo de Ekman mostraba las mayores acumulaciones de alacha en valores cercanos a 5\*10<sup>-6</sup> (ligeramente positivo).

#### 3.3. Análisis multivariante

Para conseguir porcentajes de explicación cercanos al 50% se combinaron 6 variables derivadas de las variables geofísicas. El modelo de regresión lineal obtenido (2) explicaba un 46% (R<sup>2</sup> corregida) de la variabilidad de la CPUE con un error estándar de 221.5.

$$CPUE = 459,930 + 24,714 * CHL0 + 16,291 * CHL5d10 - 46,193 * SST10 + 46,692 * SST30 + 109,374 * PUMPd5 + 148,692 * PUMPd0 \quad (2)$$

El modelo utilizaba dos variables derivadas de la CHL; el valor de ésta el día de pesca (CHL0) y el rango de CHL en una ventana de 5 píxeles, 10 días antes de la pesca (CHL5d10). El modelo también utilizaba dos variables derivadas de la SST, el valor de ésta 10 días antes de la pesca (SST10) y el operador de sobel sobre la SST el día de la captura (SSTs0). Además empleaba dos variables derivadas del bombeo de Ekman, la distancia al cambio de

signo 15 días antes (PUMPd15) y el día de pesca (PUMPd0). El peso de los coeficientes estandarizados obtenido para cada variables fue diferente pero del mismo orden de magnitud.

#### 3.4. Mapas de probabilidad

Para la generación de los mapas de probabilidad se implementó el modelo de regresión lineal. En la comparación de las varianzas entre las variables extraídas al azar y las extraídas en los puntos de captura mediante la prueba de Levene se obtuvo como resultado que únicamente 17 de las 82 variables extraídas tenían varianzas iguales en ambos casos. En la comparación de medias mediante la prueba de Mann-Whitney se obtuvo que 4 de las 82 variables tenían medias iguales y ninguna variable tenía medias y varianzas iguales. Esto apoyó la generación de los mapas de probabilidad excluyendo los rangos que quedan fuera de los histogramas para los puntos de captura. Debido al elevado número de variables (6) en muchos puntos y periodos no se dispuso de datos para poder calcular el modelo, y es preciso destacar que el bombeo de Ekman a partir de datos de dispersómetro de viento no puede evaluarse en una franja paralela a la costa donde en determinados periodos se acumulan las capturas. En las situaciones en las que los resultados lo permiten las probabilidades mostradas son coherentes con las áreas de captura.

### 4. Discusión

El modelo obtenido mostraba que uno o dos parámetros geofísicos obtenidos por satélite eran insuficientes para cuantificar las relaciones entre la acumulación de alacha y las variaciones de las condiciones oceanográficas en la misma ventana geográfica. Así, el nivel de explicación (46 %) obtenido con el modelo que introducía 6 variables, era menor al alcanzado aplicando la misma metodología al atún blanco (*Thunnus alalunga*) en el Cantábrico [1].

El modelo mostró una tendencia de la alacha a ubicarse en áreas frontales donde la SST cambiaba drásticamente entre 17° C (afloramiento NW africano) y las aguas cálidas del Banco de Arguín (28° C). Este amplio rango de distribución era explicado por el carácter de especie típicamente poiquiloterma (sangre fría) que no seleccionaba su entorno térmico por necesidades termofisiológicas como se observó en el atún blanco y el bonito listado (*Katsuwonus pelamis*) en el Atlántico NE [1],[2]. La tendencia de la alacha a ubicarse además en aguas muy eutróficas con valores muy altos de

CHL, 1 y 5  $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$  típicos de aguas de afloramiento delataban el carácter de este clupeido como especie fitoplanctófaga, que mostraba una “respuesta coherente” [3] a ubicarse en zonas con una especificidad térmica y de concentración de alimento no comparables al de otras especies de nichos tróficos superiores (pelágicos oceánicos)

El análisis de los escenarios oceanográficos en lapsos de tiempo anteriores al momento en el que la alacha era capturada mostraría si, al igual que se observó para otras especies, este clupeido presentaba una respuesta retardada respecto a dichas variables geofísicas o derivadas. Esta “respuesta praxeológica” [4], observada en otras especies de peces pelágicos costeros y oceánicos, mostró que las variaciones de la SST y de la CHL, determinaban en el caladero un proceso de evolución térmica y de concentración de alimento que causaba 15 días después acumulaciones de esta especie.

Finalmente, el modelo que generaba los mapas de probabilidad permitió además, caracterizar las áreas desfavorables excluidas donde la presencia de alacha era nula o escasa. Así, esta especie mostraba una tendencia a ubicarse en las áreas frontales del afloramiento NW africano, desplazándose rara vez más allá del talud continental, en áreas donde la calidad (tipo de fitoplancton) y las concentraciones no eran favorables a su presencia.

## 5. Agradecimientos

Los autores agradecen a NASA-JPL, NASA-DAAC, CLS-AVISO y RIVO los datos suministrados que permitieron el desarrollo del presente trabajo.

## 6. Referencias

- [1] Coca, J. and A.G. Ramos, 2004. “Relationships between satellite-derived oceanic events and the albacore tuna (*Thunnus alalunga*, Bonaterre, 1788) artisanal fishing grounds in the NE Atlantic”. In Remote Sensing of the Ocean and Sea Ice (Ed. C. Bostater Jr. and Rosalia Santoreli). Proceedings of the SPIE, 5569, 116-129.
- [2] Ramos, A. G., J. Santiago, P. Sangrá and M. Cantón, 1996. An application of satellite-derived sea surface temperature to de skipjack (*Katsuwonus pelamis*, Linnaeus, 1758) and albacore tuna (*Thunnus alalunga* Bonaterre, 1788) fisheries in the north-east Atlantic. *Int. J. Rem. Sens.*, 7 (4): 749-759.
- [3] M. Petit, “Télédétection aérospatiales et gestion des pêches; application: recherche environnementale et halieutique thonière opérationnelle”. Phd., Université Pierre et Marie Curie de Paris, 130 pp., 1991.
- [4] J.M. Stretta, “Forecasting tuna fishery with aerospatial remote sensing”, *Int. J. Rem. Sens.*, 12, 771-779, 1991.