

*Research Article*

## Asociación entre la Corriente de Deriva de los Vientos del Oeste y la abundancia relativa del pez espada (*Xiphias gladius*) frente a la costa de Chile

Claudio Gatica<sup>1</sup>, Renato A. Quiñones<sup>2</sup>, Dante Figueroa<sup>3</sup>, Rodrigo Wiff<sup>4,5</sup>,  
Eduardo Navarro<sup>1</sup> & Miguel Donoso<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Instituto de Investigación Pesquera, Colón 2780, Talcahuano, Chile

<sup>2</sup>Centro de Investigación Oceanográfica en el Pacífico Suroriental (COPAS-FONDAP) y Departamento de Oceanografía, Universidad de Concepción, Casilla 160-C, Concepción, Chile

<sup>3</sup>Departamento de Geofísica, Universidad de Concepción, Casilla 160-C, Concepción, Chile

<sup>4</sup>Centre for Research into Ecological and Environmental Modelling, University of St Andrews Scotland, United Kingdom

<sup>5</sup>Instituto de Fomento Pesquero, Blanco 839, Valparaíso, Chile

**RESUMEN.** Se analizó la relación entre los niveles de abundancia relativa de pez espada (*Xiphias gladius*) frente a la costa de Chile y la posición latitudinal de la Corriente de Deriva de los Vientos del Oeste (CDO) desde una perspectiva de macroescala espacial en el período 1989-1996. La posición del eje del borde oriental de la CDO, fue estimada mediante la determinación de la latitud a la cual se bifurcan las isotermas obtenidas desde promedios mensuales de temperatura superficial del mar (TSM). Se utilizó la captura por unidad de esfuerzo (CPUE) de la flota artesanal redera como índice de abundancia relativa del recurso. El análisis entre las series de tiempo de la CDO y CPUE fue realizado a escala mensual con diferentes retardos entre las series. Se aplicaron dos enfoques metodológicos para determinar la existencia de relación entre estas dos series de tiempo. Primero, se utilizó la metodología propuesta por Pyper & Peterman (1998) para corrección de los grados de libertad efectivos en la prueba de hipótesis de correlación cruzada y segundo, se analizó la correlación a diferentes retardos de dos series estacionarias. Los dos enfoques metodológicos indicaron una relación significativa entre la posición latitudinal de la CDO y la CPUE en una escala mensual. La relación encontrada entre la CDO y la abundancia relativa de pez espada sugiere que la CDO constituye un posible indicador de macroescala de la variabilidad oceanográfica meteorológica, frente a la cual este especie presenta patrones de distribución y cambios en su disponibilidad.

**Palabras clave:** pez espada, *Xiphias gladius*, distribución, Corriente de Deriva del Oeste, Chile, Pacífico suroriental.

## Relationship between the West Wind Drift and swordfish (*Xiphias gladius*) relative abundance off Chile

**ABSTRACT.** The relationship between the relative abundance of swordfish (*Xiphias gladius*) off the Chilean coast and the latitudinal location of the West Wind Drift (WWD) was analyzed from a macro scale standpoint for the period between 1989 and 1996. The position of the axis of the eastern boundary of the WWD was estimated by determining the latitude of the bifurcation of the isotherms obtained from the average monthly sea surface temperatures. The capture per unit effort (CPUE) of the small-scale driftnet fleet was used as a relative abundance index for the resource. The WWD and CPUE time series were analyzed on a monthly scale with different lags between the series. Two methodological approaches were used to determine the relationship between these two time series. The first was the methodology proposed by Pyper & Peterman (1998), which was used to correct the actual degrees of freedom in the cross-correlation test. The second approach consisted in analyzing the correlation of two stationary time series at different lags. Those approaches indicated a signifi-

cant relationship between the latitudinal location of the WWD and the CPUE on a monthly scale. The relationship found between the WWD and the swordfish relative abundance suggests that the WWD could be a macro scale indicator of oceanographic and meteorological variability that could affect swordfish distribution patterns and availability.

**Keywords:** swordfish, *Xiphias gladius*, distribution, West Wind Drift, Chile, southeastern Pacific.

---

Corresponding author: Claudio Gatica (cgatica@inpesca.cl)

## INTRODUCCIÓN

El pez espada (*Xiphias gladius* Linnaneus, 1758), se caracteriza por ser una especie altamente migratoria de amplia distribución, encontrándose en aguas tropicales, subtropicales y templadas (Nakamura, 1985; Joseph *et al.*, 1994). Bedford & Hagerman (1983), reportan para el Pacífico una distribución latitudinal entre 50°N y 50°S, con áreas de mayor concentración en el Pacífico noroeste entre 20°N y 45°N, en el Pacífico este desde California a Chile y en el Pacífico suroeste desde Australia a Nueva Zelanda. En Chile se distribuye latitudinalmente entre 18°30' y 40°S (IFOP, 1998).

En Chile, la pesquería de este recurso presenta registros de captura desde 1938 y fue considerada de escasa importancia hasta el 1986, donde comienza un rápido desarrollo, alcanzando el máximo nivel de desembarque en 1991 con 7.255 ton (Serra *et al.*, 1998). Posteriormente, los desembarques disminuyen, dando señales del estado de sobreexplotación del recurso (Serra & Donoso, 1997; Serra *et al.*, 1998).

El pez espada se encuentra asociado tanto a zonas de alta productividad (Sakagawa, 1989 *fide* Joseph *et al.*, 1994), como a sistemas de corrientes con aguas de temperaturas entre 18 y 20°C (Izumi, 1982). En Chile, la generación de nuevas áreas de pesca y el distanciamiento gradual del recurso desde las áreas tradicionales de extracción (Serra & Donoso, 1997), podrían constituir una señal de cambios en los patrones de distribución del recurso.

Numerosos estudios han demostrado la influencia de procesos oceanográficos y meteorológicos de macroescala sobre los patrones de distribución (Belyaev & Shatilina, 1995; Wyllie, 1995; Wyllie & Wooster, 1998) y abundancia de los stocks de peces (Mysak, 1986; Pauly & Tsukayama, 1987; Ohtani & Azumaya, 1995; Ware & McFarlane, 1995; Sunyé & Servain, 1998). Frente a la costa chilena, el Sistema de la Corriente de Humboldt (SCH) se encuentra influenciado, desde el punto de vista meteorológico, principalmente por la interacción de los siguientes centros de presión:

el Anticiclón Atmosférico Subtropical Suroriental (APS), la Baja Polar (BP) y la Baja Costera (BC) (Saavedra & Foppiano, 1992). Estos centros de presión, actúan sobre los patrones generales de vientos en el Pacífico suroriental. La Corriente de Deriva de los Vientos del Oeste (CDO) se origina en el borde occidental del océano Pacífico, llegando a la zona frente a Chile con una dirección general hacia el sureste (Reid, 1965; Wyrтки, 1975; Silva & Neshyba, 1977). Esta corriente transporta aguas comparativamente más salinas desde el occidente, las que van disminuyendo su salinidad y enfriándose a medida que se acercan al continente sudamericano (Silva & Neshyba, 1979). Es indudable que la dinámica de macroescala del SCH, ejerce una importante influencia sobre el medio ambiente marino y las especies que en él habitan (Figueroa & Quiñones, 1997), por lo que es razonable suponer que la posición latitudinal del eje del borde oriental de la CDO constituye un indicador de macroescala de la variabilidad oceanográfico-meteorológica en el SCH.

En este contexto, el presente trabajo tiene como objetivo analizar la relación entre la posición de la CDO y los niveles de abundancia relativa de pez espada en el Pacífico suroriental frente a la costa de Chile durante el período 1989-1996.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Información pesquera

El área de estudio, comprendió el Pacífico suroriental frente a la costa chilena entre 17°29'S y 44°S. La información de rendimiento (captura por unidad de esfuerzo, CPUE) correspondió a la flota artesanal redera para el período 1989-1996. Esta información se originó de los registros diarios de captura obtenidos de las capitanías de puerto y entrevistas realizadas a patrones, capitanes y armadores de esta flota pesquera realizado en el Programa de Monitoreo de la Pesquería de pez espada I a X Regiones. El rendimiento nominal se

expresa en unidades de kilogramos por día fuera de puerto ( $\text{kg} \cdot \text{dfp}^{-1}$ ).

Considerando la marcada estacionalidad de la pesquería que se desarrolla entre febrero y junio, fue necesario considerar que la discontinuidad en el registro de las capturas durante algunos meses del año, en especial entre octubre y enero, no respondió a la ausencia del recurso, sino más bien a un problema de disponibilidad y/o abundancia relativa que desincentiva la actividad extractiva en ese período. En este contexto y con el objeto de mantener la continuidad de la serie, para hacerla homologable a la serie mensual de CDO, las discontinuidades de la serie de CPUE fueron completadas, manteniendo la tendencia de la serie, por medio de un método de interpolación lineal simple (Martínez & Martínez, 2002).

### Construcción de la serie de Corriente de Deriva de los Vientos del Oeste

Se construyó una serie temporal mensual de la posición latitudinal relativa de la CDO (Fig. 1), entre 1989 y 1996. La posición del eje meridional del borde oriental de la CDO, se estimó observando la bifurcación latitudinal de las isotermas superficiales de TSM a una longitud de referencia de  $78^\circ\text{W}$  (Fig. 2). La selección de  $78^\circ\text{W}$  responde al criterio de observar el comportamiento de las isotermas en una zona intermedia entre el área costera y la zona oceánica. Las isotermas provienen de imágenes mensuales de temperatura superficial del mar (TSM) entregadas por el NODC (National Oceanographic Data Center, EEUU), integrando información satelital entregada por la NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration, EEUU). La ventana de observación utilizada para analizar la variación del eje meridional de la CDO (bifurcación de las isotermas) fue desde los  $34^\circ\text{S}$  hasta  $45^\circ\text{S}$ .

### Relación entre la posición de la CDO y los rendimientos de pez espada

La información de posición entre de la CDO y la CPUE fue analizada a escala mensual estableciendo distintos retardos entre las series. Para determinar la existencia de una relación entre la posición de la CDO y la abundancia relativa de pez espada, se aplicaron dos metodologías de análisis de series de tiempo. Ambas series fueron correlacionadas utilizando la metodología propuesta por Pyper & Peterman (1998), que implica ajustar una prueba de hipótesis de los coeficientes de correlación cruzada entre las series autocorrelacionadas, en este caso CDO y CPUE. En un procedimiento clásico de correlación cruzada se

deberían llevar las dos series a procesos estacionarios, es decir, básicamente sin autocorrelación, y con media y varianza constante. Para el caso del método de Pyper & Peterman (1998), se correlacionaron las series directamente y se corrigieron (o castigan) los grados de libertad “efectivos” de la correlación cruzada dada por la autocorrelación de las series. De esta forma, la autocorrelación de las series (mayormente provenientes de la estacionalidad de estas) no se remueve desde las series *per se* sino que se incorpora en el coeficiente de correlación crítico ( $r_{crit}$ ) a determinar. La aproximación teórica de los grados de libertad “efectivos” ( $N^*$ ) para la correlación cruzada de dos series  $X, Y$  con un retardo ( $k$ ),  $r_{xy}(k)$  está dada por:

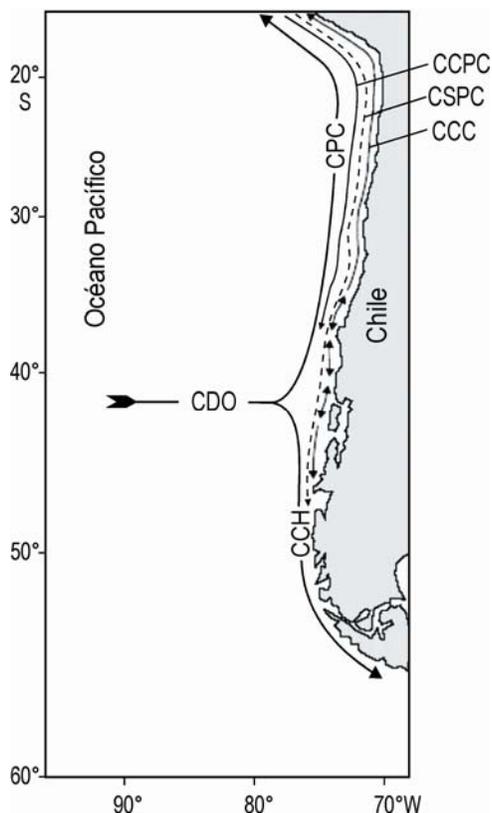
$$\frac{1}{N^*} \approx \frac{1}{N} + \frac{2}{N} \sum_{k=1}^{(N/5)} \frac{(N-k)}{N} \rho_{XX}(k) \rho_{YY}(k) \quad (1)$$

donde  $N$  es el número de muestras,  $\rho_{XX}(k)$  y  $\rho_{YY}(k)$  es la autocorrelación de las series  $X$  (CDO) e  $Y$  (CPUE) en el retardo  $k$ . Según la recomendación de Pyper & Peterman (1998) la sumatoria de la ecuación 1 está truncada en  $N/5$ . El valor  $r_{crit}$ , para las correlaciones  $r_{xy}(k)$  a un nivel  $\alpha = 0,05$  de significancia es derivado a través de la distribución  $t$  para un test de dos colas (Zar, 1984):

$$r_{crit} = \sqrt{\frac{t_{\alpha/2, (N^*-2)}^2}{t_{\alpha/2, (N^*-2)}^2 + (N^* - 2)}} \quad (2)$$

De esta forma en series donde la autocorrelación es grande, los grados de libertad efectivos,  $N^*$ , son menores aumentando el  $r$  crítico con lo cual disminuyen las posibilidades de encontrar correlaciones significativas entre las dos series.

Para que la fuerte estacionalidad de las series (ver más adelante) no genere correlaciones espurias (aún aplicada la metodología de Pyper & Peterman, 1998), se aplicó un procedimiento clásico de correlación cruzada a series sin autocorrelación. La autocorrelación de las series puede ser removida ajustando un modelo de series de tiempo a cada serie y luego correlacionando sus residuales. Otro procedimiento es a través de diferenciación de las series (sustrayendo cada punto desde su respectivo vecino, Thompson & Page, 1989). La premisa detrás de estos métodos indica que si las nuevas series transformadas están libres de autocorrelación, los test de inferencia clásicos pueden ser apropiados para definir la



**Figura 1.** Visión esquemática de las principales corrientes de Chile. La línea discontinua indica una corriente superficial. Las principales corrientes son: Corriente de Deriva de los Vientos del Oeste (CDO), Corriente Subsuperficial Perú-Chile (CSPC), Corriente del Cabo de Hornos (CCH), Contra Corriente Perú-Chile (CCPC), Corriente Costera de Chile (CCC), Corriente Perú-Chile (CPC). (Modificado de Leth & Shaeffer, 2001).

**Figure 1.** Schematic view of the major ocean currents off Chile. The dashed line indicates a subsurface current. The major currents are the West Wind Drift (CDO), Peru-Chile Current (CSPC), Cape Horn Current (CCH), Peru-Chile Countercurrent (CCPC), Chile Coastal Current (CCC) and Peru-Chile Undercurrent (CPC). (Modified from Leth & Shaeffer, 2001).

significancia de la correlación. En este caso, se removió la autocorrelación de las series por doble diferenciación (de grado 1). Una vez diferenciadas las series, los coeficientes  $\rho_{XY}(k)$  de la función de correlación cruzada se estimaron mediante series transformadas X e Y para los retardos  $\pm k$ , donde los valores no significativos ( $p > 0,05$ ) cumplen con la condición  $-2/\sqrt{(N-k)} \leq \rho_{XY}(k) \leq 2/\sqrt{(N-k)}$  (Box & Jenkins, 1976).

## RESULTADOS

### Series de tiempo de la CDO

La posición intra-anual de la CDO (Fig. 3), osciló entre los 34 y 45°S, presentando por lo general, una tendencia a desplazarse hacia el sur a partir de enero, alcanzando su latitud más austral en mayo y junio. De octubre a diciembre alcanzó su posición más al norte. Sin embargo, de acuerdo a los patrones generales de viento producidos por el APS (Saavedra & Foppiano, 1992), la posición de la CDO debería ser predominantemente norte en invierno y sur en verano. Esta diferencia temporal se explica por el tiempo que demoran los vientos en desplazar la CDO hacia el norte o hacia el sur.

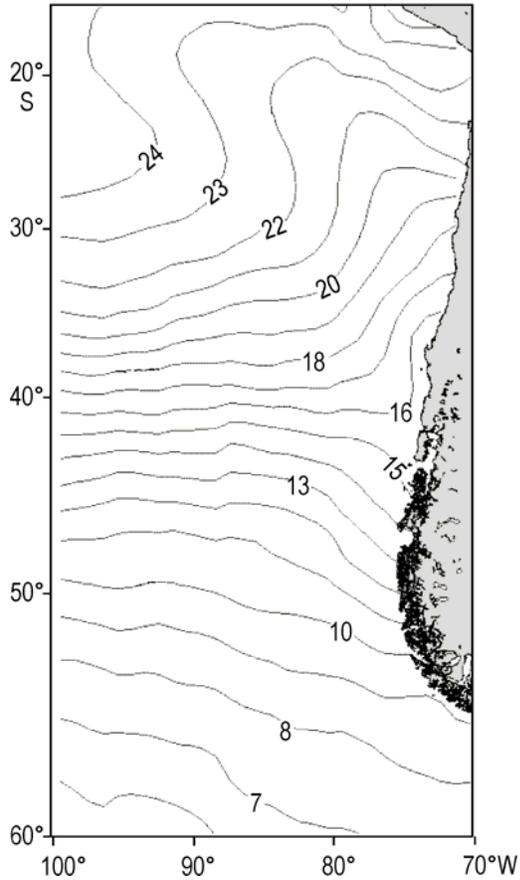
### Relación entre la posición latitudinal de la CDO y la abundancia relativa de pez espada

Tanto la serie de CDO como la de CPUE presentaron una fuerte autocorrelación, indicando la presencia de una marcada estacionalidad con un período de 12 meses (Figs. 4a y 4b). Esta estacionalidad fue eliminada aplicando una doble diferenciación sobre las series (Figs. 4c y 4d). A pesar que aún aparecen escasas autocorrelaciones significativas a retardos  $> 1$  en ambas series diferenciadas, en términos generales la autocorrelación fue eficientemente removida de ambas series.

La correlación crítica de Pyper & Peterman (1998) se estimó en 0,356 ( $N = 93$ ,  $N^* = 19$ ,  $t_{\alpha/2, N^*-2}^2 = 2,11$ ).

Acorde a esta correlación crítica, se encontraron correlaciones cruzadas significativas tanto positivas como negativas en la escala de año (correlaciones múltiplos de 12, Fig. 5a). Esto indica que aunque la estacionalidad de las series es alta, aun así es posible encontrar correlaciones cruzadas significativas entre ambas series, obedeciendo a un patrón inter-anual.

Para determinar si (a pesar de la corrección de Pyper & Peterman (1998) aplicada) dada la marcada estacionalidad de las series se están generando correlaciones espurias, se procedió a correlacionar las series diferenciadas (sacando el efecto de la estacionalidad).



**Figura 2.** Metodología visual de determinación de la posición latitudinal de la CDO según las isotermas.

**Figure 2.** Visual methodology for determining the latitudinal position of the West Wind Drift (CDO) according to isotherms.

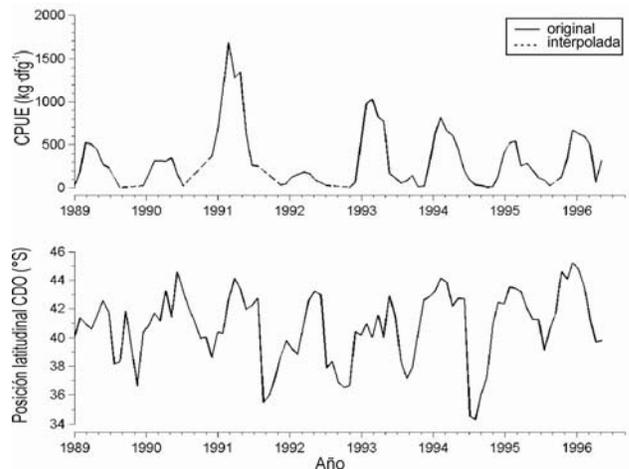
Este proceso de diferenciación dificulta la interpretación del retardo a la cual la correlación es significativa. Sin embargo, se puede señalar que se encuentran correlaciones cruzadas significativas en las series diferenciadas en las escalas de  $\pm 1$  año (Fig. 5b). Estos dos análisis son complementarios y demuestran que existe una asociación positiva entre la CDO y la CPUE, y es muy probable que este efecto tenga un retardo de escala anual.

## DISCUSIÓN

Los resultados señalan que variaciones históricas del rendimiento de pez espada frente a la costa de Chile, están asociadas con la posición latitudinal de la Corriente de Deriva de los Vientos del Oeste. La dinámica del SCH, se encuentra claramente influenciada por la acción del Anticiclón Atmosférico Subtropical Sur-

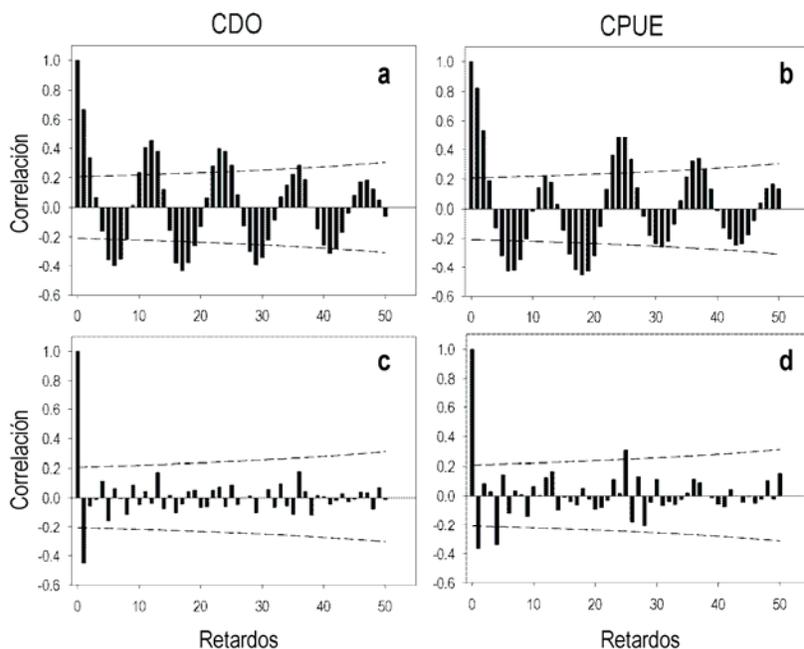
oriental, la Baja Polar y la Baja Costera (Saavedra & Foppiano, 1992; Quiñones *et al.*, 1996). La interacción océano-atmósfera de macroescala ha sido demostrada en otros sistemas marinos tales como en la costa oeste de norteamérica, donde el patrón principal de las presiones atmosféricas ejerce un efecto sobre el sistema de corrientes marinas del área (Davis, 1978; Chelton & Davis, 1982). Numerosas investigaciones confirman la existencia de asociaciones entre eventos oceanográficos y climáticos a macroescala y la supervivencia larval, reclutamiento y patrones de distribución y migración de diferentes stocks de peces (Svendsen *et al.*, 1995; Wyllie & Wooster, 1998). En el caso de recursos altamente migratorios, tales como *Trachurus symmetricus*, *Thunnus thynnus* y *Oncorhynchus* sp. Trenberth & Hurrell (1995) demuestran el efecto de los cambios en la circulación atmosférica de macroescala en el océano Pacífico norte, sobre el sistema de corrientes y la TSM, afectando los patrones de migración y la abundancia de estas especies. En otras palabras, la distribución de especies altamente migratorias puede ser especialmente sensible a los cambios ambientales y, en consecuencia, estos pueden alterar su disponibilidad para las actividades extractivas.

El pez espada prefiere aguas cálidas (Nakamura, 1985) y las aguas frías transportadas por la CDO (Silva & Neshyba, 1979), pueden ser una barrera física para su distribución. De hecho existen determinados rangos de temperatura óptimos para el desarrollo de las distintas etapas de su desarrollo (Joseph *et al.*, 1994). Así, las mayores concentraciones del recurso a nivel mundial, en distintas zonas oceanográficas, generalmente, no



**Figura 3.** Series de tiempo analizadas entre los años 1989 y 1996. a) CPUE de pez espada en  $\text{kg}\cdot\text{dfp}^{-1}$ , b) posición latitudinal promedio mensual de la CDO.

**Figure 3.** Time series analyzed between 1989 and 1996. a) Swordfish CPUE in  $\text{kg}\cdot\text{dfp}^{-1}$ , b) mean monthly latitudinal location of the West Wind Drift (CDO).



**Figura 4.** Estructuras de autocorrelación. La línea punteada indica el rango no significativo de correlación. a) CDO cruda, b) CPUE cruda, c) CDO doble diferenciada en 1, d) CPUE doble diferenciada en 1.

**Figure 4.** Autocorrelation structures. The dotted line shows the non-significant correlation range. a) Raw CDO, b) raw CPUE, c) double differentiated CDO (first order), d) double differentiated CPUE (first order).

sobrepasan los 40°S (Weidner & Serrano, 1997). En consecuencia, es razonable esperar que en años cuando la posición latitudinal de la CDO se encuentra más austral, el pez espada tiende a incrementar su distribución hacia el sur con el consecuente efecto sobre la disponibilidad del recurso en el Pacífico suroriental frente a Chile.

Gibson (1992) basado en el análisis de la intensidad de los vientos sugiere que el APS se está desplazando hacia el sur en las últimas décadas. La posición e intensidad del APS afecta los patrones de vientos y la circulación del Pacífico suroriental y por ende la posición latitudinal de la CDO (Bateen *et al.*, 1995; Figueroa & Quiñones, 1997). El posible desplazamiento interdecadal de la CDO hacia el sur estaría permitiendo al pez espada alcanzar paulatinamente latitudes más altas, lo cual se ve reflejado en variaciones en su distribución y alteraciones de los patrones migratorios de entrada y salida a las zonas de pesca frente a la costa chilena. De hecho, la evolución de los registros de captura indican que al comienzo de la actividad pesquera en 1938, los desembarques de la flota redera se producían básicamente a los 17°-20°30'S (Barbieri *et al.*, 1990), mientras que posteriormente los desembarques se realizan fundamentalmente en los

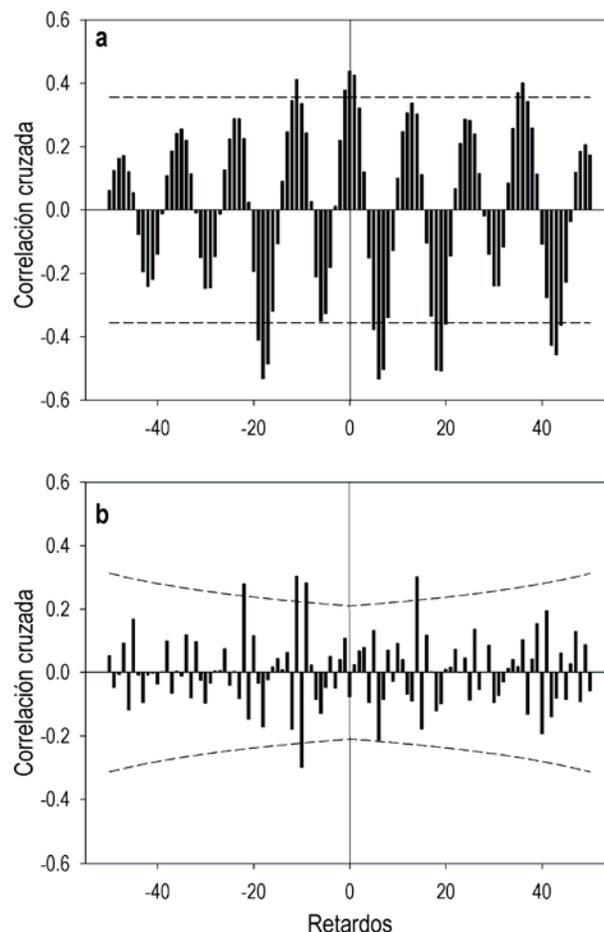
32°02'-38°30'. La evolución de la CDO frente al calentamiento global tendría entonces importantes consecuencias sobre la distribución de pez espada, toda vez que uno de los escenarios más probables es un desplazamiento hacia el sur del APS (Quiñones *et al.*, 1996; Figueroa & Quiñones, 1997).

El análisis de correlación entre la posición de la CDO y los rendimientos de pez espada, considerando todo el rango de variación en posición para la CDO, indica la existencia de una asociación entre la ubicación de la CDO y su abundancia relativa. Según los resultados entregados por la corrección de Pyper & Peterman (1998) (Fig. 5a) es probable que la CDO actúe como una barrera física térmica de la distribución de pez espada. Esto porque la Figura 5a, muestra correlaciones cruzadas significativas a retardo 0 indicado la "inmediata" reacción de los individuos a los cambios ambientales. Desde este punto de vista, mientras más al sur se localice la CDO mayor será la probabilidad de que ingresen fracciones importantes del stock de pez espada al Pacífico suroriental frente a Chile, incrementando la disponibilidad del recurso. Es necesario señalar con respecto a la abundancia relativa, que en invierno se producen las mayores capturas. En consecuencia, se desestimó que los mayores registros en

los índices de captura obedezcan a condiciones oceanográficas favorables para el desarrollo de las operaciones extractivas.

Con respecto a la hipótesis, un posible mecanismo de influencia del ambiente sobre los patrones de distribución de pez espada, lo constituye la oferta alimenticia. Un cambio en las condiciones generales del medio ambiente, puede ser recibido y asimilado en forma diferencial por las distintas especies del sistema, de acuerdo a la naturaleza del proceso involucrado y a la sensibilidad de cada especie en la cadena alimenticia (Weidner & Serrano, 1997). Por lo tanto, la abundancia de pez espada podría verse afectada en forma indirecta por la respuesta de organismos ubicados en la base de la cadena alimenticia o en lugares intermedios afectando a sus organismos presa. El hecho que las mayores concentraciones de pez espada se encuentren en zonas de alta productividad (Joseph *et al.*, 1994), permite hipotetizar que el alimento constituye uno de los principales factores que determina su abundancia y distribución. Se sabe que el jurel (*Trachurus symmetricus murphyi*), una presa importante del pez espada (Weidner & Serrano, 1997), tiene una relación importante con la CDO en su ciclo migratorio (Grechina & Arcos, 1995). Por otra parte, Polovina (1996) demuestra que las variaciones en los niveles de abundancia relativa de *Thunnus thynnus*, se relacionan con el efecto de variaciones climáticas de escala decadal sobre la abundancia de presas, afectando en forma similar la abundancia de especies pelágicas, como anchoveta y sardina (Quinn & Brodeur, 1991 *vide* Polovina, 1996). En cuanto a que efectos indirectos, como la alimentación, sean el mecanismo de influencia de la CDO sobre la CPUE de pez espada, las correlaciones diferentes de retardo 0 juegan un rol relevante. Así, las correlaciones se hacen significativas a retardos en la escala anual para las series diferenciadas (Fig. 5b). En este contexto y complementando las dos metodologías empleadas se puede señalar que la hipótesis de la influencia de la CDO sobre la CPUE se pueda deber más bien a mecanismos indirectos.

Los resultados obtenidos permiten concluir la existencia de una asociación entre los niveles de disponibilidad de pez espada en el Pacífico suroriental frente a Chile y la posición de la CDO. En la mayoría de estos estudios, la autocorrelación (variabilidad de baja frecuencia) es removida desde las series de tiempo antes que el análisis de correlación cruzada sea realizado, en un esfuerzo por controlar el error de tipo I (cuando existe una probabilidad alta de concluir que una correlación es estadísticamente significativa, cuando en



**Figura 5.** Estructuras de correlación cruzada. a) Correlación cruzada CDO-CPUE cruda. La línea punteada indica el nivel de correlación crítico de Pyper & Peterman (1998). b) Correlación cruzada CDO-CPUE doble diferenciada en 1. La línea punteada indica el nivel crítico de correlación de Box & Jenkins (1976).

**Figure 5.** Cross-correlation structures. a) Raw CDO-CPUE cross-correlation. The dotted line shows the critical level of the Pyper & Peterman correlation. b) Double differentiated CDO-CPUE (first order) cross-correlation. The dotted line shows the critical level of the Box & Jenkins correlation.

efecto la correlación no existe, Box & Jenkins, 1976). Pyper & Peterman (1998) demuestran que el método de corrección de la correlación puede ser una alternativa útil a los métodos que intentan remover directamente la autocorrelación. Estos autores demuestran que el método de corrección puede tener alta significancia en especial en estudios donde la variabilidad de baja frecuencia es la mayor fuente de covarianza, que es lo que muchos estudios intentan dilucidar (Beamish, 1995). Considerando las dos metodologías presentadas, ambas deben ser tomadas como complementarias, toda vez que

apuntan (en términos específicos) a dilucidar problemas en distintas escalas temporales.

La asociación encontrada entre la disponibilidad de pez espada en el Pacífico suroriental y la posición de la CDO, sugiere la existencia de una cascada de efectos de macroescala hacia escalas menores, especialmente a nivel de mesoescala. Ante el gran número de variables ambientales que pueden afectar la distribución y abundancia relativa de pez espada en un sistema de alta variabilidad temporal y espacial como es el Pacífico suroriental, la posición latitudinal de la CDO constituye un posible indicador de macroescala de la variabilidad oceanográfica-meteorológica, ante la cual este recurso presenta determinados patrones de distribución, así como, alteraciones en su disponibilidad.

### AGRADECIMIENTOS

El autor principal agradece a los docentes del Programa de Magíster en Ciencias con Mención en Pesquerías, en especial al Dr. Ricardo Galleguillos por su apoyo durante los estudios de postgrado. Durante el desarrollo del manuscrito, Rodrigo Wiff fue financiado por la "Beca Presidente de la República para Estudios de Postgrado en el Extranjero. MIDEPLAN-Chile". Dante Figueroa agradece el apoyo de FONDECYT (Chile) a través del proyecto Anillo PBCT ACT-19 y Renato Quiñones al Programa FONDAP-CONICYT. Finalmente, agradecemos los comentarios y sugerencias de los revisores anónimos de este artículo.

### REFERENCIAS

- Barbieri, M.A., E.R. Yáñez, L.A. Ariz & A.C. González. 1990. La pesquería del pez espada: tendencias y perspectivas. In: M.A Barbieri (ed.). Perspectivas de la actividad pesquera en Chile. Escuela de Ciencias del Mar, Universidad Católica de Valparaíso, Valparaíso, pp. 195-214.
- Bateen, L., C-P. Hu, J.L. Bacon & C.S. Nelson. 1995. A numerical study of the effects of wind forcing on the Chile Current System. *J. Oceanogr.*, 51: 585-614.
- Beamish, R.J. 1995. Climate change and northern fish populations. *Can. Spec. Pub. Fish Aquat. Sci.*, 121: 739 pp.
- Bedford, D. & F. Hagerman. 1983. The billfish fishery resources of the California Current. *CALCOFI Rep.*, 24: 70-78.
- Belyaev, V.A. & T.S. Shatilina. 1995. Variations in abundance of pelagic fishes in the Kuroshio zone as related to climatic changes. In: R.J. Beamish (ed.). Climate change and northern fish populations. *Can. Spec. Publ. Fish. Aquat. Sci.*, 121: 553-559.
- Box, G.E. & G.W. Jenkins. 1976. Time series analysis: forecasting and control. Holden-Day, San Francisco, 592 pp.
- Chelton, D.B. & R.E Davis. 1982. Monthly mean sea-level variability along the west coast of North America. *J. Phys. Oceanogr.*, 12: 757-784.
- Davis, R.E. 1978. Predictability of sea level pressure anomalies over the North Pacific Ocean. *J. Phys. Oceanogr.*, 8: 223-246.
- Figueroa, D. & R.A. Quiñones. 1997. Cambio global y dinámica del Pacífico oriental suraustral costero. In: E. Tarifeño (ed.). Gestión de sistemas oceanográficos del Pacífico oriental. Comisión Oceanográfica Intergubernamental de la UNESCO. IOC / INF -1046: 253-258.
- Gibson, T. 1992. An observed poleward shift of the southern hemisphere subtropical wind maximum – a greenhouse symptom? *Int. J. Climatol.*, 12: 637-640.
- Grechina, A.S. & D.F. Arcos. 1995. Distribución y migración del jurel, *Trachurus symmetricus murphyi* (Nichols), en el Pacífico suroriental. *Gayana Oceanol.*, 3(1): 3-27.
- Instituto de Fomento Pesquero (IFOP). 1998. Investigación situación de las pesquerías pelágicas centro-sur 1997. Informe Final, 60 pp.
- Izumi, N. 1982. Bill fishes of the world. FAO Species Catalog/FAO. Fisheries Synopsis, Rome, 49 pp.
- Joseph, J., W.H. Bayliff & M.G. Hinton. 1994. A review of information on the biology, fisheries, marketing and utilization, fishing regulations, and stock assesment of swordfish, *Xiphias gladius*, in the Pacific Ocean. Internal Report, N 24 IATTC, La Jolla, California, 81 pp.
- Leth, O. & G. Shaffer. 2001. A numerical study of the seasonal variability in the circulation off central Chile. *J. Geophys. Res.*, 106(C10): 22.229-22.248.
- Martinez, W. & A. Martinez. 2002. Computational statistics handbook with MATLAB, Chapman & Hall/CRC, New York, 591 pp.
- Mysak, L.A. 1986. El Niño, interannual variability and fisheries in the Northeast Pacific Ocean. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 43: 464-497.
- Nakamura, I. 1985. FAO Species catalogue. Bill-fishes of the world. An annotated and illustrated. Catalogue of marlins, sailfishes, spearfishes and swordfishes known to date. *FAO Fish. Synop.*, 5(125): 1-65.
- Ohtani, K. & T. Azumaya. 1995. Influence of interannual changes in ocean conditions on the abundance of walleye pollock (*Theragra chalcogramma*) in the eastern Bering Sea. In: R.J. Beamish (ed.). Climate change and northern fish populations. *Can. Spec. Publ. Fish. Aquat. Sci.*, 121: 87-95.

- Pauly, D. & I. Tsukayama. 1987. The Peruvian anchovy and its upwelling system: three decades of change. ICLARM Studies and Reviews, 15 pp.
- Pyper, B.J. & R.M. Peterman. 1998. Comparison of methods to account for autocorrelation in correlation analyses of fish data. Can. J. Fish. Aquat. Sci., 55: 2127-2140.
- Polovina, J. 1996. Decadal variation en the trans-Pacific migration of northern bluefin tuna (*Thunnus thynnus*) coherent with climate-induced change in the prey abundance. Fish. Oceanogr., 5(2): 114-119.
- Quiñones, R.A., D. Figueroa, M. Hermann, R. Serra, J. Inzunza, N. Saavedra & L. Castro. 1996. Cambio climático global y pesquerías en Chile. Universidad de Concepción, Informe final, 175 pp.
- Reid, J.L. 1965. Intermediate waters of the Pacific Ocean. The Johns Hopkins Oceanographic Studies, 2: 85 pp.
- Saavedra, N. & A.J. Foppiano. 1992. Contribución a la cinemática del anticiclón del Pacífico sur. Geoacta, 19: 95-110.
- Serra, R. & M. Donoso. 1997. Informe final Investigación situación: pesquerías pelágicas zona centro sur. Instituto de Fomento Pesquero, Valparaíso, 19 pp.
- Serra, R., G. Böhm & M. Donoso. 1998. Informe final proyecto de investigación situación de las pesquerías pelágicas zona centro-sur. Programa de seguimiento del estado de situación de las principales pesquerías nacionales. Instituto de Fomento Pesquero, Valparaíso, 61 pp.
- Silva, N. & S. Neshyba. 1977. Corrientes superficiales frente a la costa austral de Chile. Cienc. Tecnol. Mar, 3: 37-42.
- Silva, N. & S. Neshyba. 1979. Masas de agua y circulación geostrofica frente a la costa de Chile austral. Inst. Antár. Chi., Ser. Cient., 25/26: 5-32.
- Sunyé, P.S. & J. Servain. 1998. Effects of seasonal variations in meteorology and oceanography on the Brazilian sardine fishery. Fish. Oceanogr., 7(2): 89-100.
- Svendsen, E., A. Aglen, S.A. Iversen, D.W. Skagen & O. Smestad. 1995. Influence of climate on recruitment and migration of fish stocks in the North Sea. In: R.J. Beamish (ed.). Climate change and northern fish populations. Can. Spec. Publ. Fish. Aquat. Sci., 121: 641-653.
- Thompson, K.R. & F.H. Page. 1989. Detecting synchrony of recruitment using short, autocorrelated time series. Can. J. Fish. Aquat. Sci., 46: 1831-1838.
- Trenberth, K.E. & J.W. Hurrell. 1995. Decadal coupled atmosphere-ocean variations in the North Pacific Ocean. In: R.J. Beamish (ed.). Climate change and northern fish populations. Can. Spec. Publ. Fish. Aquat. Sci., 121: 15-24.
- Ware, D.M. & G.A. McFarlane. 1995. Climate-induced changes in Pacific hake (*Merluccius productus*) abundance and pelagic community interactions in the Vancouver Island upwelling system. In: R.J. Beamish (ed.). Climate change and northern fish populations. Can. Spec. Publ. Fish. Aquat. Sci., 121: 509-521.
- Weidner, D. & J. Serrano. 1997. World swordfish fisheries. An analysis of swordfish fisheries, market trends, and trade patterns past-present-future. Volume IV. Latin America. Part A. South America. Section 1. Pacific. Segment B. Chile. Prepared by The Office of Science and Technology. NOAA Tech. Memo. NMFS-F/SPO-27: 843 pp.
- Wyllie, E.T. 1995. Sea-ice conditions and the distribution of walleye pollock (*Theragra chalcogramma*) on the Bering and Chukchi Sea shelf. In: R.J. Beamish (ed.). Climate change and northern fish populations. Can. Spec. Publ. Fish. Aquat. Sci., 121: 131-136.
- Wyllie, E.T. & W. Wooster. 1998. Year-to-year variations in the Bering Sea ice cover and some consequences for fish distributions. Fish. Oceanogr., 7(2): 159-170.
- Wyrtyk, K. 1975. Fluctuation of the dynamic topography in the Pacific Ocean. J. Phys. Oceanogr., 5: 450-459.
- Zar, J.H. 1984. Biostatistical analysis. Prentice-Hall, New Jersey, 718 pp.

Received: 14 December 2006; Accepted: 30 July 2008