

## *Research Article*

# **La variabilidad climática y las pesquerías en el Pacífico suroriental**

**Marco Espino<sup>1</sup> & Carmen Yamashiro<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Instituto del Mar del Perú, Chucuito, Callao, Perú

**RESUMEN.** El Pacífico suroriental es una de las áreas más productivas del planeta debido a su intensa dinámica de circulación oceánica cuya manifestación más importante, desde el punto de vista oceanográfico y biológico, la constituye los afloramientos costeros que generan una elevada producción primaria y secundaria que sustentan importantes poblaciones de peces que son la base de la economía pesquera de la región. Sin embargo, en esta región la normalidad es la variabilidad, que responde a patrones reguladores de macroescala como los estacionales, interanuales, periódicos y seculares, como procesos de corto, mediano, largo y muy largo plazo. En estos escenarios ambientales aparecen como factores o manifestaciones de variabilidad el ENOS (El Niño Oscilación del Sur), la ODP (Oscilación Decadal del Pacífico) y la VSP (Variabilidad Secular del Pacífico) como los más conspicuos. Tanto la temporalidad como los factores de variabilidad afectan el ecosistema y, dentro de éste a los recursos y sus pesquerías. Estos cambios están referidos al tiempo, espacio, poblaciones y pesquerías. Es decir, los procesos de dinámica poblacional de los recursos, como reclutamiento, crecimiento y mortalidad natural y por pesca, están siendo afectados permanentemente, a intensidades y frecuencias escalares diferentes. Esta situación estaría induciendo respuestas dinámicas de las poblaciones que a su vez generan estados poblacionales frente a cada uno de los momentos o escenarios ambientales imperantes. El trabajo presenta un análisis de los patrones normativos y factores de variabilidad usando variables ambientales, biológicas y pesqueras y se identifican escenarios que explicarían los cambios de las poblaciones y sus pesquerías facilitando la adopción de medidas de gestión aplicables a cada estado ambiental. Esto permitirá la planificación de las pesquerías para prevenir colapsos socioeconómicos y financieros, así como obtener los máximos beneficios en los diferentes momentos ambientales.

**Palabras clave:** variabilidad ambiental, ENOS, ODP, desembarques, pesquerías, Pacífico suroriental, Perú, Chile.

## **Climate variability and fisheries in the southeastern Pacific**

**ABSTRACT.** The southeastern Pacific Ocean is one of the most productive areas of the planet due to its intense oceanic circulation dynamics, whose most important manifestation from the point of view and biological oceanography is the coastal upwelling. This manifestation generates a high primary and secondary production which support important fish stocks that are the basis of the fishing economy of the region. However in this region, variability is a common event that meets regulatory standards of macro-scale such as seasonal, inter-annual, periodical and secular as processes of short, medium, long and very long term. In this scenario appear as environmental factors or manifestations of variability, ENSO (El Niño Southern Oscillation), PDO (Pacific Decadal Oscillation) and PSV (Pacific Secular Variability) as the most conspicuous. Naturally, the temporality and variability factors affect the ecosystem and within it, the resources and its fisheries. These changes are referred to time, space, populations and fisheries. That is, the processes of population dynamics of marine resources, such as recruitment, growth, natural and fishing mortality, are being affected permanently, a different scalar intensities and frequencies. This situation would induce a response in the dynamic populations, which in turn produce states population against each of the moments or environmental scenarios prevailing. This paper presents an analysis of standard patterns and variability factors using environmental variables, biological and fisheries, and identifies scenarios that could explain changes in populations and its fisheries, facilitating the adoption of management measures for each environmental

condition. This will allow planning of fisheries to prevent socio-economic and financial collapse, as well as maximize the benefits in different environmental moments.

**Keywords:** environmental variability, ENSO, PDO, landings, fisheries, southeastern Pacific, Peru, Chile.

Corresponding author: Marco Espino (marcoespinosanchez@hotmail.com)

## INTRODUCCIÓN

En el Pacífico suroriental la variabilidad es la normalidad expresada en patrones de corto, mediano, largo y muy largo plazo, como la estacionalidad (verano-invierno), interanualidad (El Niño-La Niña), periodicidad (frío-cálido) y secularidad (alta-baja variabilidad) con clara diferenciación a través de la temperatura superficial del mar (TSM) y sus anomalías para la estacionalidad, la Oscilación Decadal del Pacífico (ODP) para la periodicidad y la varianza del Índice de Oscilación del Sur (IOS) para la Variabilidad Secular del Pacífico (VSP). Los patrones de variabilidad ambiental como la estacionalidad, interanualidad, periodicidad y secularidad se ven afectados secuencialmente de mayor a menor en procesos concatenados. El VSP afecta al ODP y este a El Niño Oscilación del sur (ENOS), que luego incide sobre la estacionalidad. De esta manera, El Niño afecta la estacionalidad haciendo que los veranos sean más cálidos y extensos y, los inviernos menos fríos y más breves. Por su parte, la periodicidad de la ODP afecta las manifestaciones de El Niño haciendo que durante un periodo frío se manifieste a partir del otoño austral; mientras que en periodo cálido lo hace en primavera (Espino, 1997). La alternancia entre periodos cálidos y fríos es armónica y asimétrica, con aproximadamente 30 y 20 años, para las fases fría y cálida, respectivamente; es decir, un ciclo completo comprende alrededor de 50 años (Espino, 2003).

Por su parte, la secularidad (VSP) afecta las manifestaciones de ENOS dependiendo del periodo en que se encuentre; es decir, en un momento de alta variabilidad y periodo frío, las manifestaciones de La Niña son extremas, mientras que en un periodo cálido las manifestaciones de El Niño son máximas. En un momento de baja variabilidad, las manifestaciones positivas y negativas del ENOS serán moderadas. Esta oscilación secular del Pacífico, es cíclica armónica simétrica, con una duración aproximada de 100 años, con una fase de alta variabilidad durante el último y primer "quarter" de cada siglo, y una fase de baja variabilidad durante el segundo y tercer "quarter" de cada siglo (Espino, 2003). Eso explica las manifestaciones intensas de El Niño al final y principio de cada siglo (1578, 1728, 1791, 1828, 1877, 1891, 1905, 1925, 1983, 1997) (Quinn *et al.*, 1987).

Estas manifestaciones de los patrones de variabilidad ambiental producen cambios severos en los stocks y sus pesquerías, haciendo que aumenten, se reduzcan o desaparezcan, mientras que otros aparecen como "nuevos" recursos o aumentan sus poblaciones permitiendo el desarrollo de pesquerías diferentes. Esto se observa en los cambios producidos en los últimos 60 años que a continuación se detallan, como: a) la disminución de las poblaciones de anchoveta (*Engraulis ringens*) en Chile y Perú durante las décadas de los 70's y 80's, y su recuperación en la década del 90's, que persisten hasta el presente; b) aumento de la población de sardina (*Sardinops sagax sagax*) en Ecuador, Perú y Chile en la segunda mitad de la década de los 70's y principios de los 80's, seguido de su disminución en la década de los 90's, con una tendencia contraria a la anchoveta; c) inicio de una importante pesquería de jurel (*Trachurus murphy*) en Chile en la década de los 80's y su descenso en los últimos años; d) disminución de la pesca de bonito (*Sarda chilensis*) en Chile y Perú en la década del 70's y aumento de los desembarques a partir de la década del 90's, mantenido hasta el presente; e) disminución de las capturas de atunes en Colombia, Ecuador, Perú y Chile durante las décadas de los 70's y 80's, y su recuperación a partir de los 90's; f) inicio de una importante pesquería de pota o jibia (*Dosidicus gigas*) en el Perú en la década de 1990 y su intermitencia en el centro-norte de Chile, Ecuador y Colombia, hasta la actualidad; e) existencia de importantes biomásas (>15x10<sup>6</sup> ton) de peces mesopelágicos frente a Perú y norte de Chile, como *Vinciguerria* spp. y mictófidós, que son alimento para recursos como la jibia (*D. gigas*), el jurel y atunes, entre otras especies; y, g) disminución significativa de las poblaciones de aves guaneras al disminuir la disponibilidad de la presa principal, la anchoveta, a principios de los 70's y 80's, y con tendencia a su recuperación en los últimos años.

El objetivo del presente estudio es analizar los cambios producidos en el ambiente, los recursos y las pesquerías en el Pacífico suroriental, como una contribución para la planificación de las pesquerías en el largo plazo, para prevenir quiebres socioeconómicos traumáticos para obtener los máximos beneficios en los diferentes momentos ambientales.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Los datos mensuales del Índice de Oscilación del Sur (IOS) de 1876 a 2011, fueron obtenidos del Bureau of Meteorology National Climate Center de Australia. Con estos datos se calcularon los promedios anuales en toda la serie y se emplearon para explicar la variabilidad de muy largo plazo, definiendo a partir de la tendencia media de la desviación estándar, el Índice Variabilidad Secular del Pacífico (VSP) como una oscilación armónica simétrica de acuerdo a la siguiente expresión empírica (Espino, 2003):

$$\text{VSP} = \text{Var IOS} = 7,5 - 1,5 \\ [\text{sen}(2 * 3,1416 \text{Ti} - 2050 + 5) / 100]$$

Los datos mensuales del Índice de Oscilación Decadal del Pacífico (ODP), de 1900 a 2011, fueron obtenidos del Joint Institute for the Study of the Atmosphere and Ocean (JISAO), cuya tendencia fue definida con los promedios anuales como una oscilación armónica asimétrica de acuerdo a la siguiente expresión empírica (Espino, 2003):

$$\text{ODP} = -0,8 - 2,75 [\text{sen}(2 * 3,1416 \text{Ti} - 1875 + 5) / 50]$$

Por otro lado, se analizaron los desembarques entre 1960 y 2009, obtenidos del Servicio Nacional de Pesca de Chile (SERNAPESCA) y del Ministerio de la Producción de Perú. Se seleccionaron doce especies de las pesquerías de cada país, que representaron el 96,5 y 80,5%, respectivamente. Dado que ambos países sustentan las pesquerías más importantes de la región (95,7%), se compararon ambas pesquerías usando las capturas estandarizadas para cada año de acuerdo a lo propuesto por Noakes & Beamish (2009).

Las especies seleccionadas fueron anchoveta (*Engraulis ringens*), sardina (*Sardinops sagax sagax*), jurel (*Trachurus murphyi*), caballa (*Scomber japonicus*), bonito (*Sarda chilensis*), merluza (*Merluccius gayi*), cojinoba (*Seriotelella violacea*), pejerrey (*Odonesthes regia regia*), cabinza (*Isacia conceptionis*), machete (*Ethmidium maculatum*), sierra (*Scomberomorus sierra*, en Perú y *Thyrstites atun*, en Chile) y pota o jibia (*Dosidicus gigas*).

Se establecieron relaciones entre los desembarques de las especies más representativas como anchoveta, sardina y jurel con las otras especies empleando la correlación de Pearson. Asimismo, se correlacionaron las mismas especies de ambas pesquerías para, a partir del  $r$  de Pearson se aplicó un análisis de agrupamiento por distancia euclidiana y análisis de componentes principales de acuerdo a la versión 6.1.6 de PRIMER. Además, con el mismo programa se diferenciaron ambas pesquerías por décadas utilizando un análisis de

clasificación jerárquica y análisis de componentes principales.

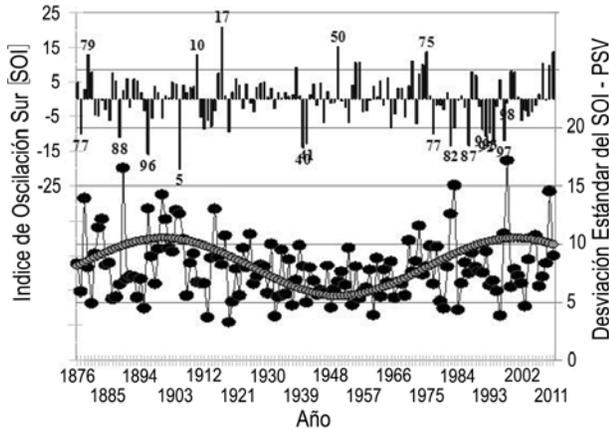
## RESULTADOS

### Comportamiento del Índice de Oscilación Sur (IOS)

La serie disponible desde 1876, reflejó alta variabilidad en procesos estacionales (verano-invierno), interanuales (El Niño-La Niña) y seculares (momentos de alta y baja variabilidad). En tal sentido, se observó que entre 1876 y 1925 (Fig. 1) predominaron valores negativos indicando manifestaciones de El Niño más intensos y más extensos. Entre 1925 y 1975 las manifestaciones negativas fueron menos frecuentes y menos intensas. Luego entre 1976 y 2011 se repitió la tendencia observada entre 1876 y 1925. Por otro lado, el análisis de la varianza del IOS como indicador de variabilidad, reflejó mayor intensidad en los periodos 1876-1925 y 1976-2011, mientras que entre 1926 y 1975, la variabilidad fue menor con un valor mínimo a mediados de la década de los 40'. De esta manera, se identificaron periodos de alta y baja variabilidad en el Pacífico suroriental, expresados por manifestaciones de mayor y menor intensidad de El Niño y La Niña. Esto haría que en los últimos y primeros "quarters" de cada siglo aumentó la probabilidad de manifestaciones de El Niño fuertes y muy fuertes, inclusive aquellos que podrían calificarse como extraordinarios. Al respecto, se puede mencionar los eventos de 1877, 1881-1882, 1884-1885, 1888, 1895-1896, 1905, 1911-1912-1913-1914-1915, 1919, 1925, 1977, 1982-1983, 1992-1993 y 1997-1998. En esos mismos periodos destacaron los eventos La Niña en 1879-1880, 1906, 1910, 1916-1917, 1971, 1973-1975, 1988-1989, 1994, 1996, 1999-2000, 2001, 2002-2003, 2004, 2006, 2008 y 2010.

Por su parte, en los "quarter" intermedios, de menor variabilidad, las manifestaciones de El Niño fueron menos frecuentes y de menor intensidad; aunque no se puede descartar manifestaciones fuertes o muy fuertes del mismo. Tal es el caso de El Niño 1940-1941 cuya desviación del IOS fue significativa, pero como expresión de variabilidad (varianza) no fue significativa.

En conclusión, a través del Índice de Oscilación del Sur (IOS) y su varianza se han definido momentos de alta y baja variabilidad en periodos alternados de aproximadamente 50 años, con manifestaciones fuertes y muy fuertes de El Niño en los últimos y primeros "quarter" de cada siglo. En los "quarter" intermedios, son menos probables manifestaciones muy drásticas de este fenómeno.



**Figura 1.** Índice de Oscilación del Sur y su varianza. Promedios anuales entre 1876 y 2010.

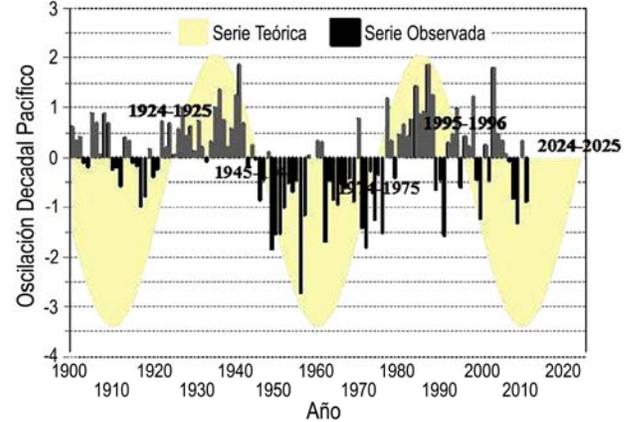
**Figure 1.** Southern Oscillation Index and its variance. Annual average from 1876 to 2010.

### Comportamiento de la Oscilación Decadal del Pacífico (ODP)

La ODP expresa fases positivas y negativas que se alternan entre sí condicionando escenarios fríos y cálidos en el Pacífico suroriental (Fig. 2). A comienzos del siglo XX, se alternaron momentos cálidos y fríos con una periodicidad de alrededor de 25 años coincidiendo con un periodo de alta variabilidad expresada en la Variación Secular del Pacífico (VSP). Luego se observó una fase positiva que se extendió hasta 1946, momento alrededor del cual también se produjo la mínima expresión de variabilidad para la serie analizada del IOS. A partir de 1947 y hasta 1976, se observaron fundamentalmente expresiones negativas de la ODP.

Luego, de 1926 a 1975 se observó alternadamente una fase cálida y una fría coincidiendo con un momento de baja variabilidad de acuerdo al IOS. De 1976 a 1998 predominaron condiciones positivas con dos momentos notorios: uno entre 1977 y 1988 y, otro entre 1992 y 1998, definido por una declinación de los valores entre 1999 y el 2000, para luego ingresar a una fase negativa de la oscilación con algunas desviaciones positivas, como desde el 2003 hasta el 2007 y el 2011.

Se puede concluir que el ODP presentó expresiones de variabilidad coherentes con las encontradas para el IOS, destacando pasajes muy rápidos entre momentos cálidos y fríos a comienzos del siglo XX. Sin embargo, en la fase intermedia (1925-1976) de menor variabilidad, se definió claramente una fase fría y una cálida. Hacia finales del siglo XX, la fase cálida predominante fue alterada por momentos fríos (1989-1991 y 1999-2000).



**Figura 2.** Oscilación Decadal del Pacífico y su tendencia. Promedios anuales de 1900 a 2011.

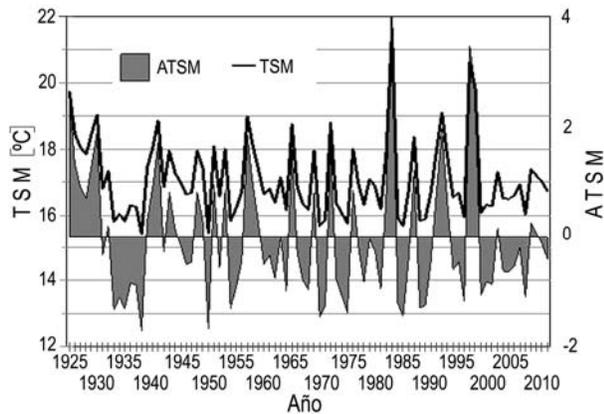
**Figure 2.** Pacific Decadal Oscillation and tendency. Annual average from 1900 to 2011.

### Temperatura superficial del mar (TSM) y sus anomalías (ATSM)

La serie más extensa de información de temperatura superficial del mar (TSM) y sus anomalías (ATSM) proviene de la Estación de Chicama ( $07^{\circ}41'41''S$ ,  $79^{\circ}26'03''W$ ) en Perú (Fig. 3). Estas muestran que la variabilidad es la principal característica en el ecosistema de afloramiento peruano; es decir, la "normalidad" es la variabilidad. En tal sentido, se debe considerar que el Pacífico suroriental oscila entre anomalías positivas y negativas, cuyas manifestaciones extremas corresponden a El Niño y La Niña, respectivamente. En cuanto a las anomalías, se observó que las desviaciones positivas son mayores que las negativas; las primeras no superan los  $+4,5^{\circ}C$ , mientras que las últimas no descienden, en promedio anual, de  $-2^{\circ}C$ . Mensualmente, las anomalías positivas pueden ser de hasta  $+10$  y las negativas de  $-3,3$ , es decir, hay una tendencia asimétrica hacia condiciones cálidas. Al respecto, vale recordar que este ecosistema de afloramiento está localizado en la zona tropical, que le confiere una caracterización cálida al sistema.

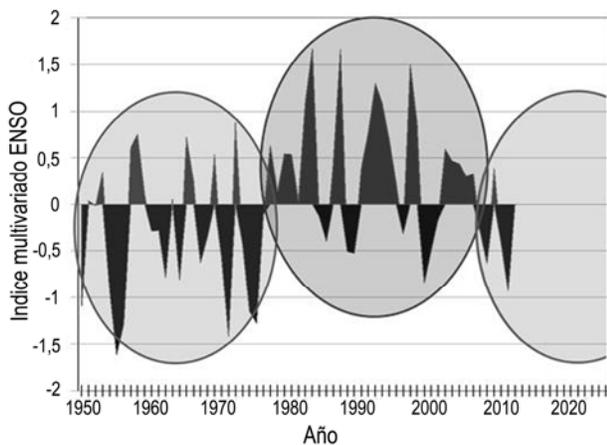
En la serie analizada, hacia finales del siglo pasado se registraron anomalías muy notorias (1982-1983 y 1997-1998) (Fig. 3), con una repetición en un intervalo de 15 años, no observada antes. Esto ha inducido a que algunos autores sugieran que hacia finales del siglo pasado se habrían acelerado las manifestaciones de El Niño y su intensidad, como producto del calentamiento global; pero si se considera lo observado en el IOS se puede inferir que esta sería una expresión de máxima variabilidad correspondiente al último "quarter" del siglo XX.

De acuerdo a lo señalado, se puede concluir que las TSM de Chicama presentan patrones de variabilidad



**Figura 3.** Temperatura superficial del mar (TSM) y sus anomalías (ATSM). Promedios anuales entre 1925 y 2011 en la estación costera de Chicama, Perú.

**Figure 3.** Sea Surface Temperature (SST) and anomalies (SSTA). Annual average from 1925 to 2011 in the coastal station of Chicama, Perú.



**Figura 4.** Índice multivariado ENOS. Promedio anual de 1950 a 2011.

**Figure 4.** Multivariate ENSO Index. Annual average from 1950 to 2011.

que siguen la misma tendencia del IOS, de tal manera que se podría dividir la distribución entre 1925-1974 y entre 1975-2025, ya que previamente a 1925 se habría dado una fase similar a la que se inició posteriormente a 1975.

### Índice Multivariado ENSO (IME)

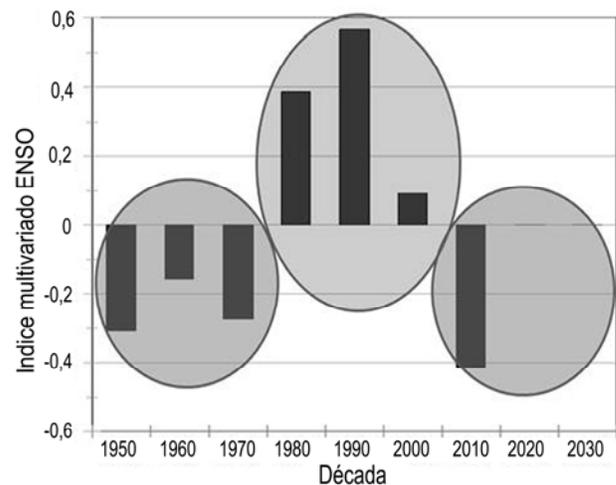
En la serie disponible entre 1950 y 2010 se observaron dos escenarios ambientales: uno con predominio de valores negativos entre 1950 y 1976 y otro con predominio de valores positivos entre 1977 y 2006 (Fig. 4). El escenario ambiental frío es coincidente con la declinación de una fase de baja variabilidad y con una fase fría de la ODP; mientras que el escenario

cálido coincide con el inicio de una fase de alta variabilidad y una fase cálida de la ODP.

Por otra parte, el análisis por décadas de la misma serie, en promedio mostraría diferencias significativas si se comparan los años 1950, 1960 y 1970 con 1980, 1990 y 2000 (Fig. 5). Esto sugiere que mediante este índice se definen más claramente los periodos fríos y cálidos con una marcada asimetría hacia periodos fríos, es decir, estos últimos tendrían una duración mayor. Asimismo, se observó que las desviaciones positivas al final de los periodos cálidos tienden a ser menores. Finalmente, se debe considerar que el IME, además de ser muy útil para monitorear El Niño también es útil para definir escenarios ambientales como sucede con el IOS, ODP y TSM de Chicama.

### El comportamiento de las pesquerías analizado a través de los desembarques

El Pacífico suroriental considerado por la FAO como el área estadística 87, está integrado por las áreas de jurisdicción y zonas de alta mar de Colombia, Ecuador, Perú y Chile y comprende una zona ubicada al norte y sur de la línea ecuatorial en que se encuentran ambientes tropicales y subtropicales influenciados por el Sistema de la Corriente de Humboldt, que es determinante en la productividad del área y la base de las pesquerías más importantes de la región. Esta zona ha producido, en los últimos 50 años un promedio de  $10,6 \times 10^6$  ton anuales destacando Perú y Chile como sus mayores contribuyentes.



**Figura 5.** Índice multivariado ENOS. Promedio por décadas de 1950 a 2010. La última década (2010) incluyó un solo año.

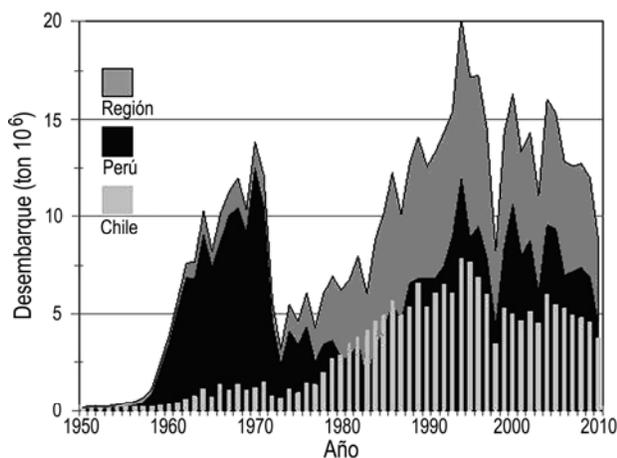
**Figure 5.** Multivariate ENSO Index. Decadal average from 1950 to 2010. The last decade included only one year (2010).

Los desembarques en las décadas de los 50' y 60' fueron dominados por Perú; sin embargo, luego del colapso de la pesquería de anchoveta en ese país, a partir de fines de los 70's, los desembarques se han compartido entre Chile y Perú. La región ha llegado a contribuir a la pesquería mundial con más de  $20 \times 10^6$  ton (1994), para mantenerse en los últimos años en alrededor de  $12 \times 10^6$  ton anuales. Ambos países contribuyen en conjunto con más del 95% de los desembarques de la región, compartiendo los desembarques en los últimos 20 años en una relación aproximada de 60 y 40% para Perú y Chile, respectivamente (Fig. 6).

Por especies, los recursos más importantes de la región -debido a la magnitud de sus desembarques- fueron la anchoveta, sardina, jurel y caballa. Estas dos últimas especies se extraen juntas, de tal manera que tanto en el Perú como en Chile constituyen unidades de pesquería. Las cuatro especies representaron, en promedio, en el período 1950-2009 más del 75% de los desembarques de la región, y sólo la anchoveta constituyó en promedio más del 50%, con algunos periodos en que tales porcentajes superaron el 90%, sobre todo durante la década de los 50's y 60's.

La sardina, jurel y caballa aparecen de manera significativa a partir de mediados de los 70's para declinar desde los 90's. Sin embargo, se observó que la sardina casi desaparece de los desembarques y que el jurel se mantiene hasta los últimos años, pero en cantidades poco significativas.

Los desembarques muestran que, en términos absolutos y relativos, en el Pacífico suroriental existen tres escenarios de producción que abarcan un primer

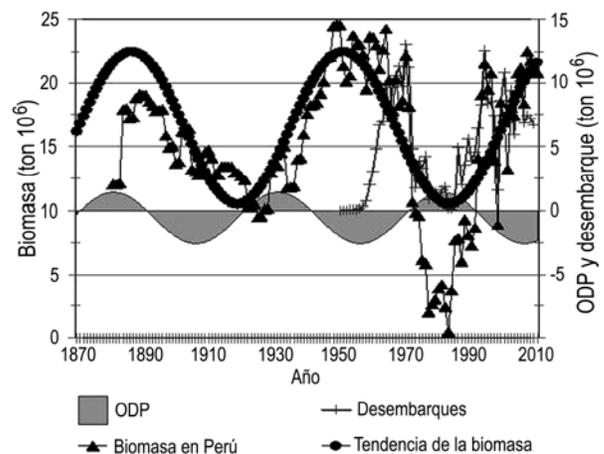


**Figura 6.** Desembarques regionales y nacionales de Perú y Chile de 1950 a 2009 (FAO, Área 87).

**Figure 6.** Regional and national landings off Peru and Chile from 1950 to 2009 (FAO, Area 87).

periodo dominado por la anchoveta, correspondiente a las décadas de los 50's y 60's hasta mediados de los 70's; un segundo periodo desde mediados de los 70's hasta mediados de los 90's con dominancia de la sardina e importante participación del jurel y, finalmente, un tercer periodo, desde mediados de los 90's a la actualidad (2011), con dominancia de anchoveta y participación de jurel con tendencia a desaparecer en los últimos años. En este contexto, los recursos están respondiendo a las condiciones ambientales, siendo necesario indicar que la gran pesquería de anchoveta se inició en los 50's y, la existencia de esta especie y las demás, se reportó desde antes del inicio de esa pesquería.

En función de estos resultados se pudo determinar que la biomasa de anchoveta ha sido máxima hacia fines del siglo XIX, mediados del siglo XX (50's-60's) y fines del siglo XX (a partir de 1990) e inicios del siglo XXI (actualmente, 2011); es decir, en momentos de alta y baja variabilidad. Asimismo, muestran marcadas depresiones alrededor de 1925 y 1976, pero con marcadas diferencias. La primera depresión alrededor de 1925, sin pesquería, correspondió a una reducción del 50%; durante la segunda depresión en 1983, con pesquería, la población se redujo a niveles alarmantes (Fig. 7). Es evidente que este comportamiento de la población de anchoveta peruana, no es aislado en el Pacífico



**Figura 7.** Biomasa de anchoveta en el mar peruano en millones de toneladas desde 1876 a 2010, curva de tendencia de la biomasa, desembarque de anchoveta en Perú y Chile de 1950 a 2009 y curva de tendencia de la Oscilación Decadal del Pacífico de 1876 a 2010.

**Figure 7.** Anchovy biomass in the Peruvian sea in million tons from 1876 to 2010, trend curve of biomasses, anchovy landings in Peru and Chile from 1950 to 2009 and trend curve of the Pacific Decadal Oscillation.

suroriental, correspondiendo la misma tendencia a la zona costera chilena, pero con magnitudes más bajas lo que se reflejó en sus desembarques con un promedio (1950-2009) del 15% del total desembarcado de anchoveta en esta parte del Pacífico, lo cual permite utilizar la tendencia de la biomasa de anchoveta reconstruida en el mar peruano como referente para el Pacífico suroriental.

Al respecto, se puede plantear una curva de tendencia de desembarques en función a la curva reconstruida de biomasa para determinar escenarios que permitan la planificación pesquera en el mediano y largo plazo; en esa medida, los desembarques de anchoveta tenderían a ser mayores al promedio ( $5 \times 10^6$  ton) en momentos que está transcurriendo entre la segunda mitad de un periodo cálido y la primera mitad de un periodo frío. También se observó que la gran pesquería de anchoveta se inició en la década de los 50's, pero los mayores desembarques se produjeron entre 1962 y 1971 promediando  $10 \times 10^6$  ton en este periodo. Estos elevados desembarques se produjeron cuando se desarrollaba la fase final de un periodo frío y la tendencia de la población era declinante. Si se considera una tasa de explotación razonable para pequeños pelágicos como la anchoveta ( $E = 0,4$ ), se tiene que en este periodo se habría excedido significativamente este límite superándolo en un 20%, mientras que en los últimos 20 años las tasas de explotación se han excedido sólo en 5%. Los aportes de la pesquería peruana fueron de 92 y 81% en el primer y segundo periodo, respectivamente. Durante los últimos cinco años los desembarques se han mantenido por debajo de la tasa de explotación teóricamente aceptable en alrededor de 30%.

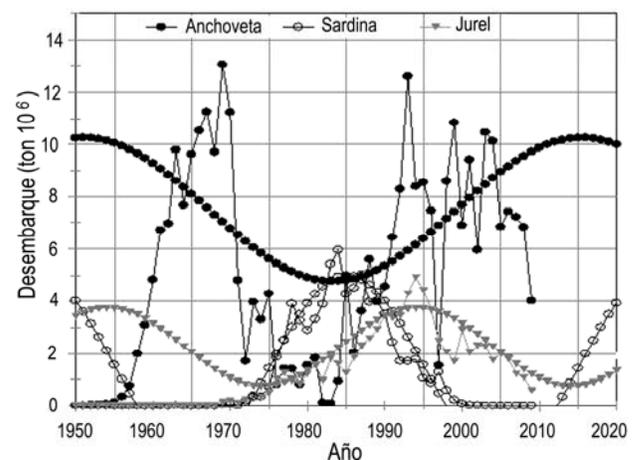
En el caso de la sardina, los desembarques significativos se iniciaron durante la década de los 70's, con valores máximos en el segundo lustro de los 80's, alcanzando sus máximos valores (ca  $6 \times 10^6$  ton) entre 1981 y 1983, llegando a representar más del 60% de los desembarques. Estos desembarques han sido compartidos en partes similares entre Perú y Chile, los cuales han superado en conjunto más del 95% de lo producido en la región.

En relación al jurel, los desembarques fueron más significativos a partir de 1980, con valores máximos entre 1990 y el 2000. No obstante, en los últimos años los desembarques han declinado sostenidamente hasta valores similares a los obtenidos en la década de los 70's. Los desembarques de la región han estado dominados por el aporte chileno, con una contribución promedio anual del 84%.

En general, se aprecia que los desembarques de la región han sido dominados por la anchoveta en dos periodos claramente identificables, el primero corres-

pondiente a la década de los 60's y el segundo a los últimos 20 años (1991-2010), con tendencia a permanecer dominando el escenario por lo menos en los próximos 10 años. La sardina se sostuvo en la pesquería de la región con participación compartida entre Perú y Chile durante 20 años (1975-1995); mientras que el jurel dominó la pesquería chilena desde 1975 a la actualidad, con una tendencia a disminuir significativamente en los últimos años (Fig. 8).

Por otro lado, el análisis de los porcentajes de participación en las pesquerías de Perú y Chile (Tabla 1) de las 12 especies elegidas, indica que a Chile le corresponde el 80,9% y a Perú el 96,5%. La participación de los desembarques de anchoveta en la pesquería peruana ha variado desde un tercio en la década de los 80's a cercar del 90% en los años 2000's. La sardina por su parte incrementó su participación en la pesquería peruana a 55% en la década de los 80's, lo que significaría que la pesquería peruana transcurre entre las pesquerías de anchoveta y sardina en momentos de dominancia de condiciones frías y cálidas respectivamente, evidenciada por manifestaciones negativas y positivas del ODP. Por su parte en la pesquería chilena, la anchoveta ha tenido una participación menor y con una menor variabilidad que descendió a su mínima expresión en los 90's por un incremento importante de la pesquería de jurel que llegó a constituir más del 50% de esta pesquería. En general, la pesquería peruana se observa concentrada en pocas especies, mientras que la chilena es más diversa, sólo basta con observar el rubro "otros" que en el Perú representa no más del 6%, mientras que en Chile está entre 18 y 30%.



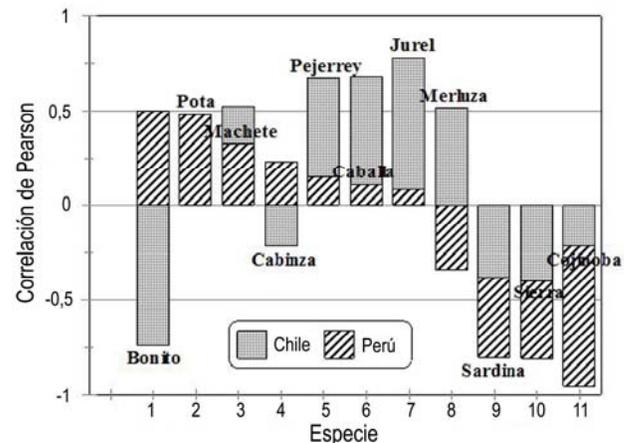
**Figura 8.** Desembarques de anchoveta, sardina y jurel y sus tendencias en el Pacífico suroriental.

**Figure 8.** Landings of anchovy, sardine and jackmackerel and their trends in the Southeastern Pacific.

**Tabla 1.** Participación porcentual por décadas de las doce especies más representativas de las pesquerías de Perú y Chile (1960-2009).**Table 1.** Percentage share by decades of twelve most representative species of the fisheries of Peru and Chile (1960-2009).

Chile						
Promedio	1960's	1970's	1980's	1990's	2000's	1960-2009
Seleccionadas (12)	83,62	78,57	89,83	81,89	70,36	80,85
Anchoveta	31,77	26,17	28,40	23,94	28,40	31,77
Jurel	25,78	38,99	29,76	48,22	29,76	25,78
Sardina	15,17	3,21	0,31	6,12	0,31	15,17
Caballa	2,78	4,68	7,24	2,12	7,24	2,78
Merluza	3,96	1,53	1,76	1,29	1,76	3,96
Pota	0,52	1,20	2,37	0,03	2,37	0,52
Otros	19,15	23,88	29,64	18,11	29,64	19,15
Total	99,12	99,66	99,48	99,85	99,48	99,12
Perú						
Promedio	1960's	1970's	1980's	1990's	2000's	1960-2009
Seleccionadas (12)	99,01	96,22	95,89	94,26	97,31	96,54
Anchoveta	97,34	72,76	34,70	64,26	87,70	71,35
Jurel	0,03	4,36	2,54	3,50	2,94	2,67
Sardina	0,05	13,27	54,93	21,09	0,31	17,93
Caballa	0,12	1,44	1,13	2,02	1,19	1,18
Merluza	0,06	2,94	1,43	1,45	0,58	1,29
Pota	0,00	0,01	0,01	1,33	4,14	1,10
Otros	0,99	3,78	4,11	5,74	2,69	3,46
Total	98,59	98,57	98,85	99,40	99,54	98,99

Dado que la anchoveta es la especie dominante del Gran Ecosistema de Afloramiento de la Corriente de Humboldt (GEMCH) y su alternancia con la sardina afecta a todo el ecosistema en su conjunto y a la economía pesquera de la región, es necesario analizar cómo se relacionan estas especies con las otras seleccionadas para el análisis. Al respecto, para el caso de la anchoveta las respuestas difieren para Chile y Perú en tres de las doce especies seleccionadas (Fig. 9). Mientras que para el caso peruano, la relación de anchoveta con bonito y cabinza es positiva, para la pesquería chilena es negativa; por otro lado, para Perú la relación de anchoveta con la merluza es negativa, mientras que para Chile es positiva. Las otras ocho especies (pota, machete, pejerrey, jurel, caballa, sardina, sierra y cojinoba) tienen respuestas similares en ambos países. Las cinco primeras con correlación positiva y las tres restantes con correlación negativa.

**Figura 9.** Relación entre la anchoveta y otros recursos pesqueros en Perú y Chile (1960-2009).**Figure 9.** Relationship between anchovy and other fisheries resources for Peru and Chile (1960-2009).

Debe tenerse en cuenta que para el pejerrey, jurel y caballa, las correlaciones son poco significativas en el caso peruano.

En ese contexto se puede definir para Perú un grupo de especies asociadas a la dinámica de anchoveta que estaría constituido por bonito, pota, machete y, en menor grado por cabinza, pejerrey, jurel y caballa. Para el caso de Chile el grupo asociado a la anchoveta sería la pota, machete, pejerrey, caballa, jurel y merluza.

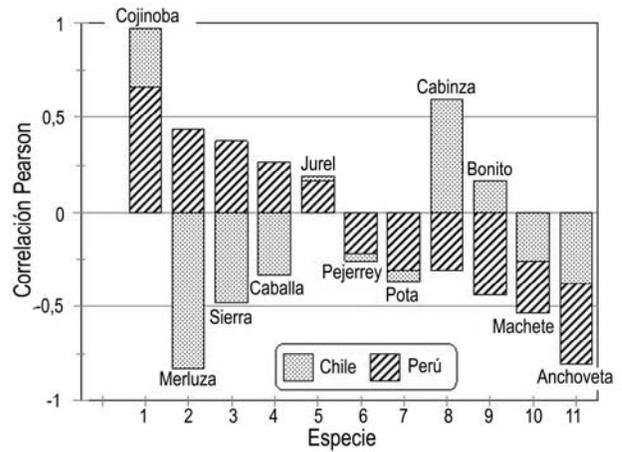
Por otro lado, en Perú la sardina muestra una relación positiva con cojinoba, merluza, sierra, caballa y jurel, mientras que para pejerrey, pota, cabinza, bonito, machete y anchoveta la relación es negativa. En Chile la sardina muestra una relación positiva con cojinoba y cabinza y, en menor grado, con jurel y bonito; pero las relaciones son negativas para merluza, sierra, caballa, pejerrey y machete.

De acuerdo a lo anterior, en Perú se define un grupo asociado a la sardina constituido por cojinoba, merluza, sierra y, en menor grado por jurel y caballa, mientras que para Chile este grupo estaría integrado por cojinoba y cabinza, con menor participación de jurel y caballa (Fig. 10).

En Perú, el jurel presenta relación directa con caballa, pota, cabinza, merluza y pejerrey; y en menor grado con la sardina, anchoveta y machete; con la sierra, cojinoba y bonito la relación es inversa (negativa). En ese sentido, el grupo asociado a la dinámica del jurel estaría integrado por caballa, pota, cabinza, merluza y pejerrey. En Chile, el jurel indica relación positiva, aunque en menor magnitud con caballa, pejerrey, machete y cojinoba; sin embargo, la relación directa con anchoveta es la más alta y mucho mayor que en Perú. Destaca asimismo, la relación positiva con cojinoba e inversa con cabinza contrariamente a lo que sucede en Perú. Estas diferencias, estarían explicadas en la naturaleza de la pesquería de esta especie en ambos países; mientras que en Perú es principalmente costera, en Chile tiende a ser más oceánica (Fig. 11).

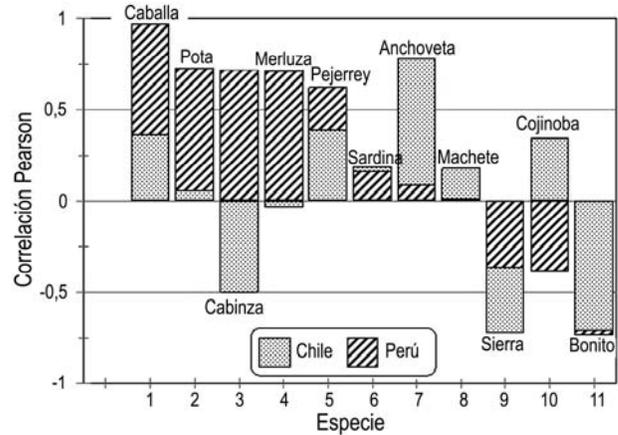
El análisis de la relación de estas tres especies representativas de la pesquería de la región, en función a los coeficientes de determinación, indica que las variaciones de la pesquería peruana estarían explicadas por los cambios en la pesquería de anchoveta en más del 80% y para la pesquería chilena, por el jurel con más del 90%. La sardina no constituye un recurso de relevancia en este sentido debido a su pasaje episódico en las pesquerías de la región (Tabla 2).

Finalmente, mediante Análisis de Componentes Principales (ACP) y de clasificación utilizando coeficientes de similitud de Bray-Curtis a partir de los



**Figura 10.** Relación entre la sardina y otros recursos pesqueros en Perú y Chile (1960-2009).

**Figure 10.** Relation between the sardine and other fisheries resources for Peru and Chile (1960-2009).



**Figura 11.** Relación entre el jurel y otros recursos pesqueros en Perú y Chile (1960-2009).

**Figure 11.** Relationship between jack mackerel and other fisheries resources for Peru and Chile (1960-2009).

promedios decenales de ambas pesquerías, se determinaron las diferencias entre ellas.

En este sentido, para la pesquería peruana el ACP indicó que los CP1 y CP2 explicaron, el 99,9% de variación (96,3 y 3,6%) explicado por la dominancia de la anchoveta en el mar peruano, esto corroboró en el análisis de clasificación al 75% de similitud, que mostró dos grupos claramente diferenciados, uno constituido por las décadas 60's y 2000 (92,3%), y otro por los 70's y 90's (77,8%), que indican una clara diferenciación entre la anchoveta y los otros recursos en la medida de que son coincidentes las décadas de los 60's y 2000's siendo similares a los 70's y 90's que a su vez, son similares entre sí (72,2%), en tanto

**Tabla 2.** Coeficientes de determinación ( $R^2$ ) entre los principales recursos (anchoveta, sardina, jurel) y las otras especies en Chile, Perú y la región (1960-2009).

**Table 2.** Determination coefficients ( $R^2$ ) among the main resources (anchovy, sardine, jack mackerel) and other species in Chile, Peru and the region (1960-2009).

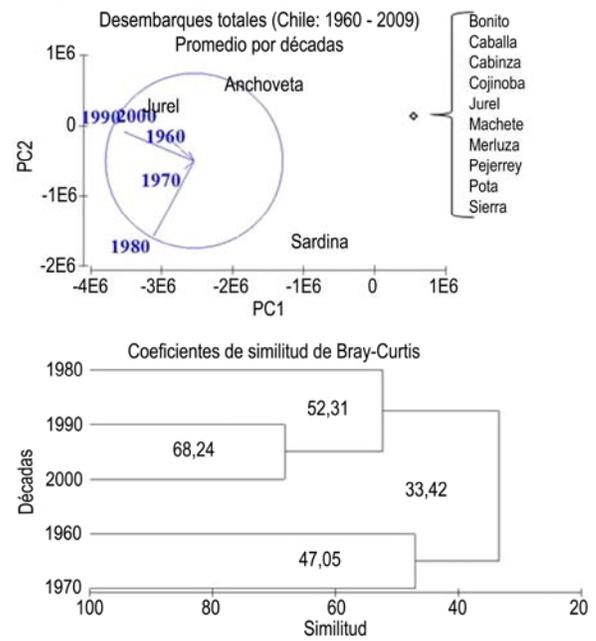
Especie	Perú	Chile	Región
Anchoveta	0,81	0,54	0,52
Sardina	0,23	0,11	0
Jurel	0,15	0,91	0,47

que los 80's son bastante disímiles (42,3%). Esto se explica en el análisis de los desembarques de la pesquería peruana con dominancia de los desembarques de anchoveta en los 60's, primer lustro de los 70's, 90's y 2000's. Asimismo, se individualiza la sardina por su destacada presencia en los desembarques en la década de los 80's, explicando la diferencia con las otras décadas (Fig. 12).

Por su parte, la pesquería chilena muestra una clara diferenciación entre anchoveta, jurel y sardina de los otros recursos, evidenciando una mayor proporcionalidad en la participación de estos recursos en los últimos 50 años. Al respecto, esto se ve reflejado en el ACP dado que el CP1 explicó sólo el 78,3% de la variación, el CP2 acumuló hasta el 97% y, finalmente el CP3 permitió explicar hasta el 99,8% de la variabilidad (78,3, 18,7 y 2,9%) a diferencia que en Perú la variabilidad se explicó casi en su totalidad por el CP1.

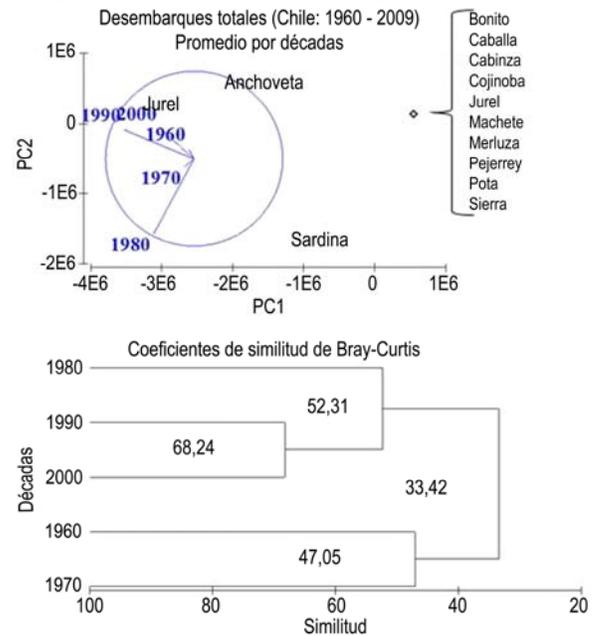
La similitud entre décadas de Chile, difiere de la pesquería peruana en la medida que los 60's son más parecidos a los 70's y 90's con los 2000's (68,2%), y ambos a su vez, más similares a los 80's (52,3%), que se explica por el desarrollo de la pesquería de sardina en los 80's y el subsecuente desarrollo de la pesquería de jurel en los 90's y su continuación hasta los años 2000. La similitud entre los 60's y 70's ocurre porque en esas décadas la pesquería chilena no superó los  $3 \times 10^6$  ton con una tasa de variación poco significativa; es recién a partir de 1983 en que los desembarques superan los  $4 \times 10^6$  ton hasta llegar a casi  $8 \times 10^6$  ton a mediados de los 90's. Esto hace que exista una clara diferenciación, o baja similitud (33,4%) entre los 60 y 70's, con los 80's, 90's y 2000's (Figs. 8 y 13).

La Figura 14 corrobora en gran medida lo indicado en las Figuras 12 y 13, donde son coincidentes las desviaciones negativas de las principales especies en los 60's y 70's. En las décadas finales muestran su similitud debido al incremento de los desembarques de



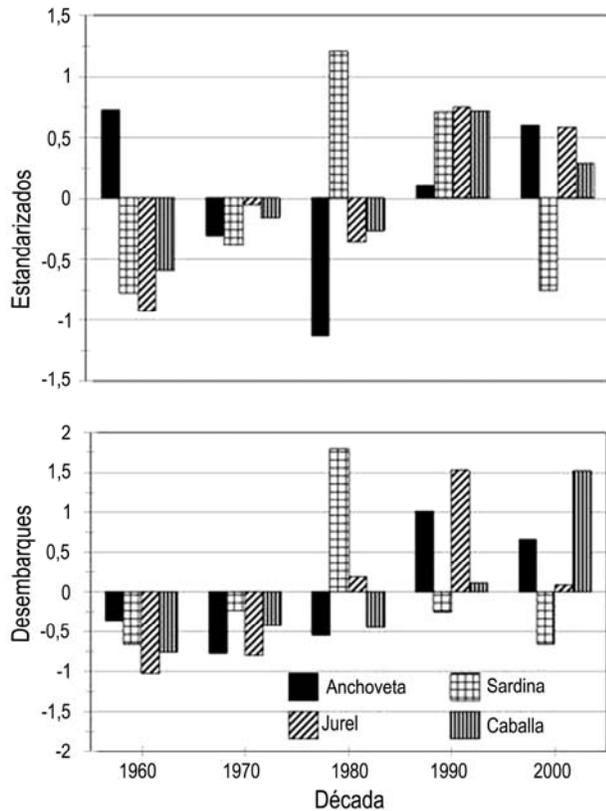
**Figura 12.** Resultados del análisis de componentes principales y de clasificación de los desembarques decenales para la pesquería peruana (1960-2009).

**Figure 12.** Results of principal component analysis and classification of decadal landings for the Peruvian fishery (1960-2009).



**Figura 13.** Resultados del análisis de componentes principales y de clasificación de los desembarques decenales para la pesquería chilena (1960-2009).

**Figure 13.** Results of principal component analysis and classification of decadal landings for the Chilean fishery (1960-2009).



**Figura 14.** Desembarques estandarizados de los principales recursos (anchoveta, sardina, jurel y caballa en Chile y Perú (1960-2009).

**Figure 14.** Standardized landings of the main resources (anchovy, sardine, jack mackerel and mackerel for Chile and Peru (1960-2009).

anchoveta, jurel y caballa, a diferencia de la pesquería peruana que responde principalmente a los de anchoveta.

El análisis comparativo entre las mismas especies para ambas pesquerías, Chile y Perú (Tabla 3) indica que las especies que mejor se correlacionan entre sí son la pota, sardina, bonito, jurel y caballa; observándose la baja correlación entre anchoveta, machete, pejerrey y cabinza y, la correlación inversa existente entre merluzas. Es explicable que las especies más costeras circunscritas a áreas definidas por los procesos de afloramiento costero, como estas últimas, incluyendo la anchoveta, presenten baja correlación con sus similares en ambos países porque su dinámica poblacional y disponibilidad a sus pesquerías están definidas por condiciones y sistemas de circulación más localizados. Para el caso de la merluza, la relación es opuesta en la medida que la peruana está sometida a la Extensión Sur de la Contracorriente Subsuperficial de Cromwell, cuya extensión no sobrepasa los 14°S, con desplazamientos

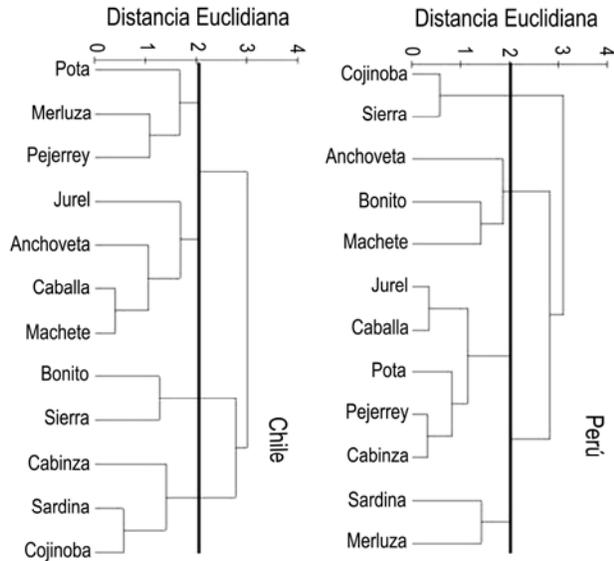
**Tabla 3.** Coeficientes de correlación y determinación que explican la relación entre los promedios de desembarques decenales de las mismas especies en Chile y Perú.

**Table 3.** Correlation and determination coefficients that explain the relationship between decadal averages landings of the same species for Chile and Perú.

Especie	Coefficiente de correlación R	Coefficiente de determinación R <sup>2</sup>
Pota	0,93	0,865
Sardina	0,832	0,692
Cojinoba	0,817	0,667
Bonito	0,79	0,623
Jurel	0,766	0,586
Anchoveta	0,458	0,21
Cabinza	0,097	0,009
Pejerrey	0,031	0,001
Sierra	-0,105	0,011
Machete	-0,313	0,098
Merluza	-0,352	0,124
Otros	0,758	0,575
Total	0,169	0,028

excepcionales al norte de Chile durante eventos El Niño muy intenso como el 1982-1983 y el 1997-1998. Por su parte la chilena está sometida a regímenes de circulación subsuperficiales más australes y más fríos.

Asimismo, los agrupamientos por distancia euclidiana definieron la asociación con dominancia de anchoveta sobre machete y bonito para el Perú y dominancia de anchoveta sobre machete y caballa para Chile, incluyendo este agrupamiento bajo la dominancia de jurel. En tal sentido, la pesquería peruana estaría regida por la anchoveta, mientras que la chilena estaría por el jurel, destacándose en ambos casos la relación anchoveta-machete, algo que aún no se observa en los últimos años correspondientes a dominancia de anchoveta. Es de esperar que exista un despegue de los desembarques de machete para que se configure definitivamente la similitud de la década de los 60's con la actual (Fig. 15). Asimismo, destaca la asociación con la dominancia de pota sobre pejerrey y cabinza en Perú, mientras que en Chile la dominancia es de pota sobre merluza y pejerrey, con similitud en la asociación de pejerrey y pota para ambas pesquerías coincidiendo con una oscilación fría de la ODP. En este sentido, se tendría para Chile un grupo dominado por pota y otro por jurel, relacionados entre sí y que coincidirían con una fase fría del ODP, mientras que



**Figura 15.** Agrupamiento por especies en función a la distancia euclidiana para las pesquerías de Perú y Chile (1960-2009).

**Figure 15.** Grouping species according to the euclidian distance for the fisheries of Peru and Chile (1960-2009).

para Perú el grupo dominado por la anchoveta es más independiente y el grupo de pota está más relacionado con jurel y caballa.

Por otro lado, la asociación sardina y merluza en Perú, se contraponen con una asociación de sardina con cojinoba en Chile coincidente con una fase cálida de la ODP, en tanto que la merluza chilena muestra una relación directa con la anchoveta coincidiendo con una fase fría del ODP. Esta situación, indicaría que la merluza peruana y la chilena (*M. gayi peruanus* y *M. gayi gayi*) corresponden a dos poblaciones independientes, con comportamiento totalmente diferente por estar sometidas a regímenes de circulación oceánica diferentes.

### Las pesquerías y las variables ambientales

La pesquería chilena al igual que la peruana, muestra una importante depresión en la década de los 70's, pero con una recuperación hacia finales de la misma debido al inicio de las pesquerías de sardina y jurel, las cuales se han mantenido hasta el primer lustro de los 2000's para tender a declinar en años recientes; es decir, favorecidos por una oscilación positiva de la ODP. Por su parte, la pesquería peruana muestra un incremento importante en los 60's para luego presentar una marcada depresión durante los 70's y 80's y nuevamente reiniciar una importante recuperación desde 1990 a la actualidad, siguiendo un comportamiento inverso a la ODP. Por este compor-

tamiento opuesto de las pesquerías más importantes, a nivel de la región no se observan grandes cambios en los volúmenes totales en los últimos 30 años. Sin embargo, la mayor producción se presenta hacia finales de un periodo cálido manteniéndose altos durante el periodo frío. Esta alta producción es porque coinciden el reinicio de la pesquería de anchoveta en el Perú con los máximos desembarques de jurel en Chile (Fig. 9). Por otro lado, si se analiza el comportamiento de los desembarques estandarizados y los indicadores ambientales se obtendrá lo siguiente:

**Oscilación Decadal del Pacífico (ODP):** para Perú, correlaciona positivamente ( $>0,5$ ) con la sardina y cojinoba; negativamente y de manera significativa correlaciona con el machete, anchoveta y bonito, lo que explica la abundancia de anchoveta en momentos de ODP negativa (Tabla 4). En el caso de Chile, presenta coeficientes altos ( $>0,5$ ) para cojinoba, sardina y jurel; de manera inversa relacionan merluza y sierra. En este caso, la coincidencia, en dirección y magnitud de la correlación entre Chile y Perú es para sardina y cojinoba; es decir, ambas especies presentan mayores desembarques en condiciones positivas de la ODP, lo que sugiere mayor abundancia de tales especies en dicho escenario ambiental. Es interesante la significativa relación inversa (negativa) con merluza en Chile, lo que significaría que esta especie es más abundante durante la ODP negativa, caso contrario a lo que sucede con la misma especie en Perú, que con la ODP positiva es más abundante y con mejores tamaños, ratificando la naturaleza diferenciada de las dos poblaciones de *Merluccius gayi*.

**Índice de Oscilación del Sur (IOS):** para Perú se correlaciona positivamente con machete e inversamente con sardina y caballa, lo que significa que condiciones frías favorecerían los desembarques de machete, en tanto que condiciones cálidas serían apropiadas para sardina y caballa, guardando coherencia con la ODP para el caso de sardina. En Chile, no se observa una relación positiva significativa con ninguna de las especies; pero es negativa (inversa) con jurel, anchoveta y pejerrey lo que evidencia que en momentos de IOS negativos los desembarques de estas especies serían mayores.

**Variación Secular del Pacífico (PSV-Varianza del IOS):** en Perú presenta correlaciones positivas para merluza, jurel y sardina, mientras que para bonito y anchoveta resultan negativas, lo que indicaría que en momentos de mayor variabilidad los desembarques de merluza, jurel y sardina serían mayores, sucediendo lo contrario con las otras especies. En Chile presenta correlación positiva con cojinoba y, negativa para sierra, merluza, bonito y pejerrey. Al igual que con la

**Tabla 4.** Correlación de Pearson entre los desembarques estandarizados por décadas de las especies y variables ambientales seleccionadas (Perú y Chile, 1960-2009).**Table 4.** Pearson correlation between standardized decadal landings of selected species and selected environmental variables (Peru and Chile, 1960-2009).

Perú						
Especie	ODP	IOS	VarIOS	IME	TSM	Niño 1+2
1 Anchoveta	-0,746	0,179	-0,691	-0,328	-0,142	-0,583
2 Bonito	0,607	0,227	-0,917	-0,462	-0,061	-0,5
3 Caballa	0,191	-0,581	0,497	0,646	0,586	0,604
4 Cabinza	0,004	0,151	0,432	0,014	-0,336	0,404
5 Cojinoba	0,589	0,015	0,476	0,091	-0,017	0,367
6 Jurel	0,172	-0,401	0,602	0,516	0,368	0,48
7 Machete	-0,832	0,594	-0,067	-0,647	-0,246	-0,347
8 Merluza	0,137	-0,286	0,751	0,382	0,483	0,682
9 Pejerrey	0,18	0,077	0,4	0,096	-0,349	-0,132
10 Pota	0,004	-0,144	0,139	0,225	-0,073	-0,089
11 Sardina	0,865	-0,726	0,552	0,798	0,681	0,682
12 Sierra	0,22	0,347	0,482	-0,244	-0,219	0,157
Otros	0,311	-0,755	0,447	0,789	0,771	0,753
Total	-0,475	-0,241	-0,505	0,104	0,254	-0,18
Chile						
Especie	ODP	IOS	VarIOS	IME	TSM	Niño 1+2
1 Anchoveta	0,08	-0,645	0,051	0,624	0,57	0,372
2 Bonito	-0,206	0,335	-0,648	-0,475	-0,268	-0,43
3 Caballa	0,063	-0,086	0,266	0,204	-0,141	-0,072
4 Cabinza	0,404	0,412	0,201	-0,269	-0,653	-0,29
5 Cojinoba	0,936	-0,389	0,666	0,549	0,216	0,636
6 Jurel	0,546	-0,887	0,463	0,929	0,84	0,865
7 Machete	0,088	0,028	0,166	0,093	-0,316	-0,229
8 Merluza	-0,634	-0,047	-0,777	-0,144	0,091	-0,42
9 Pejerrey	0,056	-0,61	-0,586	0,461	0,467	0,062
10 Pota	-0,046	0,142	0,06	-0,041	-0,411	-0,366
11 Sardina	0,883	-0,341	0,481	0,456	0,193	0,551
12 Sierra	-0,733	0,474	-0,888	-0,678	-0,314	-0,698
Otros	0,267	-0,467	0,353	0,562	0,273	0,307
Total	0,709	-0,85	0,531	0,941	0,688	0,806

ODP: Oscilación Decadal del Pacífico; IOS: Índice Oscilación del Sur; VarIOS: Varianza del IOS (VSP); IME: Índice Multivariado ENSO; TSM: Temperatura Superficial del Mar (Chicama-Perú); Niño 1+2: Temperatura Superficial del Mar en la Región 1+2.

ODP para la merluza los valores son opuestos para ambos países.

Índice Multivariado ENOS (IME): para Perú, existe correlación positiva con sardina, caballa y jurel; mientras que con machete la correlación es negativa.

Para Chile, presenta correlación positiva jurel, anchoveta y cojinoba, mientras que para sierra es negativa. Destaca la correlación altamente significativa con jurel, tal vez por la condición oceánica de su pesquería. En tal sentido, la disminución de sus

desembarques en los últimos años, en Chile y Perú, estarían explicados en la franca tendencia de esta variable hacia condiciones frías. En la medida que estas se acentúen la tendencia actual de los desembarques continuará, con algunas interrupciones producidas por El Niño, como en el presente año (junio 2012) (Fig. 5). No obstante, hay que tener en cuenta que para Perú, la correlación con esta variable es inferior y poco significativa, dado que la pesquería de jurel es más costera y de menor magnitud. Esto sugiere que se trataría de dos poblaciones diferenciadas de la misma especie, sometidas al igual que la merluza, a regímenes de circulación oceánica diferentes.

Temperatura superficial del mar (TSM) de Chicama: en Perú presenta correlación positiva con sardina y caballa; pero los valores no son altamente significativos. Para el caso de Chile las correlaciones positivas se dan con jurel y anchoveta, siendo similar a lo sucedido con el IME.

Anomalía de la TSM en la Región El Niño 1+2: las correlaciones son positivas en Perú para sardina, merluza y caballa, siendo negativas para anchoveta y bonito. Destaca la alta significancia de la correlación con sardina. En Chile las correlaciones son positivas con jurel, cojinoba y sardina, mientras que para sierra es negativa. En este caso resalta la alta significancia de la correlación con jurel.

En lo que se refiere a las variables que mejor explican los patrones de variabilidad de las pesquerías en el Pacífico suroriental y que, en cierta medida, están referidos a los patrones de disponibilidad de recursos se concluye que el ODP sería el indicador adecuado para ambas pesquerías, peruana y chilena, en la medida que explica la oscilación decenal con la cual coinciden los patrones de disponibilidad de los principales recursos pesqueros en ambos países. Asimismo, por el carácter episódico de los eventos El Niño, su accionar subyace a la inducción de la ODP.

## DISCUSIÓN

El Sistema de Corriente de Humboldt (SCH) es extremadamente productivo y está dominado por la dinámica de la anchoveta (Alheit & Ñiquen, 2004), la cual está sujeta a frecuentes perturbaciones del ENOS. Las grandes pesquerías de anchoveta se iniciaron en los años 50's; sin embargo, la existencia de esta especie y las demás del SCH han quedado documentadas en los restos de las culturas precolombinas asentadas en las costas del Perú y Chile (Tord, 2003). Asimismo, Schwartzlose *et al.* (1999) y Espino (2003) a partir de información de escamas depositadas en el

fondo marino frente al Perú hicieron una reconstrucción de la biomasa de anchoveta desde fines del siglo XIX hasta inicio de los 50's y luego, en base a análisis de cohortes, se continuaron hasta la actualidad (Ñiquen *et al.*, 2000; Espino, 2003).

Los mecanismos que definen la variabilidad ambiental se evidencian a través de diferentes indicadores climáticos, y se ha demostrado que la Oscilación Decadal del Pacífico (ODP) es la que refleja claramente los cambios de régimen mediante la oscilación decenal en Perú y Chile. Asimismo, El Niño no deja de ser importante (Mantua *et al.*, 1997), pero por su carácter episódico su accionar subyace a la inducción del ODP (Di Lorenzo *et al.*, 2008, 2010a, 2010b).

La ODP (Hare, 1996, Mantua *et al.*, 1997) es un patrón de variabilidad climática espacial persistente (20 a 30 años) que abarca todo el océano Pacífico (Fig. 2), con manifestaciones muy claras en el Pacífico Norte (Norte América) y efectos secundarios en los trópicos, contrario a todo lo que sucede con el ENOS cuyo escenario es la zona intertropical y es eventual con una duración de pocos meses a no más de dos años. Algunos estudios han presentado evidencias de la manifestación de este evento entre 1890 y 1924 (Fase fría), entre 1925 y 1946 (Fase cálida), entre 1947 y 1976 (Fase fría) y, finalmente, de 1977 a la mitad de los 90' (Fase cálida) (Mantua, 1999a, 1999b; Chávez *et al.*, 2003). Estas mismas fases serían de aplicación para el Pacífico suroriental pero en menor intensidad, sin que ello signifique que los impactos en el ecosistema sean de menor magnitud.

Por otro lado, el Índice Multivariado ENOS (IME) (Wolter, 1987; Wolter & Timlin, 1993, 1998) es el mejor parámetro para el monitoreo de El Niño debido a que integra seis variables que reflejan el acoplamiento entre el océano y la atmósfera, siendo menos sensible a las variaciones ocasionales de algunas variables por efectos locales. Integra presión a nivel del mar (P), componentes zonales (U) y meridionales (V) del viento superficial, temperatura superficial del mar (TSM), temperatura superficial del aire (A) y cobertura total del cielo (C).

Asimismo, las oscilaciones seculares juegan un papel que se ve reflejado en las intensidades de las variaciones estacionales (verano-invierno) y eventuales como el ENOS (El Niño-La Niña). En esa medida la Oscilación Decadal del Pacífico, al igual que en el Pacífico norte (Hare & Mantua, 2001; Lluch-Cota *et al.*, 2001), constituye un patrón de variación que condiciona estados que afectan la economía pesquera de la región y, en especial a Perú y Chile, que son afectados recurrentemente por la alternancia en la disponibilidad de los recursos para sus pesquerías.

En otras latitudes también existen evidencias de la existencia de regímenes ambientales (Zhang *et al.*, 1997; Mantua, 1999a, 1999b; Hare & Mantua 2000, 2001; Hollowed, 2001) y su efecto en los diferentes recursos pesqueros; tal es el caso de su influencia en la dinámica poblacional del lenguado del Pacífico norte (“halibut”), del “pollock” de Alaska o sardina del Pacífico norte (*Theragra chalcogramma*), la sardina japonesa (*Sardinops melanostictus*) y el lenguado de roca del Mar de Bering (*Lepidopsetta bilineata*), entre los más importantes, afectando los reclutamientos, procesos de denso-dependencia y patrones de crecimiento individual y poblacional (Jacobson & MacCall, 1995; Quinn & Niebauer, 1995; Hare, 1996; Francis *et al.*, 1998; Wada & Jacobson, 1998; Walters & Wilderbuer, 2000; Clark & Hare, 2002).

En cuanto a la merluza se evidencia un comportamiento opuesto de los desembarques entre Perú y Chile. En Perú, se relacionan positivamente con sardina coincidiendo con la ODP positiva, mientras que en Chile lo hace con anchoveta correspondiendo con la ODP negativa, lo que ratifica que corresponden a dos unidades poblacionales independientes y comportamientos particulares coincidiendo con Hernández *et al.* (2000).

Klyashtorin (2001) desarrolla un modelo predictivo basado en la correlación del Índice de Circulación Atmosférica (ICA) con las capturas de 12 especies comerciales del Atlántico y Pacífico que representan el 50% de la pesquería de estos océanos, y reporta que las sardinias japonesa, europea, peruana y de California, así como el jurel chileno pasarían de un punto de máximo stock e inicio de una declinación en la mitad final de los 80's a una etapa de mínimo stock en la mitad del 2010 para después incrementarse hasta inicios del 2040. El mismo autor empleando otros indicadores de variabilidad ambiental encuentra fluctuaciones cíclicas de las capturas con una periodicidad de 55-65 años, lo que coincide con los resultados del presente trabajo.

Ayón *et al.* (2004, 2008) confirman que los cambios de régimen caracterizados por la alta y baja abundancia de zooplancton durante periodos fríos y cálidos respectivamente, rigen el comportamiento de los recursos. Así durante mediados de los 70's y 80's se observó una fuerte prevalencia de aguas cálidas de alta salinidad dentro de las 60 mn de la costa peruana, determinando una baja abundancia de zooplancton y anchoveta, y una alta abundancia de sardina, jurel y caballa, y también la recuperación de la anchoveta coincide con la prevalencia de aguas frías de afloramiento en el segundo lustro de los años 80's.

El progresivo incremento del esfuerzo y poder de pesca sobre las principales especies comerciales puede

afectar la magnitud y estructura de sus poblaciones y consecuentemente los futuros reclutamientos, así como cambios significativos en el ecosistema con la consiguiente pérdida de la biodiversidad (Pauly *et al.*, 1998). Sin embargo, debe considerarse la influencia de la variabilidad ambiental sobre los recursos y ecosistemas, y sus interacciones espacio-temporales en el corto, mediano y largo plazo, las que han determinado cambios significativos en los volúmenes de producción, basados en su mayor o menor disponibilidad y abundancia, y las consiguientes implicancias socio-económicas.

El entendimiento de los procesos naturales de variabilidad en las diferentes escalas de tiempo y sus impactos sobre el ecosistema son esenciales para un efectivo manejo de los recursos vivos marinos (Alheit & Ñiquen, 2004), y contribuyen a que los pronósticos de pesca sean lo suficientemente robustos y adaptativos (Schindler *et al.*, 2008).

Finalmente, este trabajo constituye una primera aproximación al análisis pesquero comparativo en la región con la inclusión de variables de macroescala. Se estima que se deben explorar otras variables por ser de suma importancia para orientar la gestión de las pesquerías de la región a mediano y largo plazo.

## REFERENCIAS

- Ayon, P., S. Purca & R. Guevara. 2004. Zooplankton volumen trend off Perú 1964 and 2001. ICES J. Mar. Sci., 61: 478-484.
- Ayón, P., G. Swartzman, A. Bertrand, M. Gutiérrez & S. Bertrand. 2008. Zooplankton and forage fish species off Peru: large-scale bottom-up forcing and local-scale Perú depletion. Prog. Oceanogr., 79: 208-214.
- Chávez, F.P., J. Ryan, S.E. Lluch-Cota & M. Ñiquen. 2003. From anchovies to sardines and back: multidecadal change in the Pacific Ocean. Science, 299 (5604): 217-221.
- Clark, W.G. & S.R. Hare. 2002. Effects of climate and stock size on recruitment and growth of Pacific halibut. N. Am. J. Fish. Manage, 22: 852-862.
- Di Lorenzo, E., N. Schneider, K.M. Cobb, P.J.S. Franks, K. Chhak, A.J. Miller, J.C. McWilliams, S.J. Bograd, H. Arango, E. Curchitser, T.M. Powell & P. Rivière. 2008. North Pacific Gyre Oscillation links ocean climate and ecosystem change. Geophys. Res. Lett., 35, L08607, doi: 10.1029/2007GL032838.
- Di Lorenzo, E., K.M. Cobb, J.C. Furtado, N. Schneider, B.T. Anderson, A. Bracco, M.A. Alexander & D.J. Vimont. 2010a. Central Pacific El Niño and decadal climate change in the North Pacific Ocean. Nature Geoscience, 3(11): 762-765.

- Di Lorenzo, E., K.M. Cobb, J.C. Furtado, N. Schneider, B.T. Anderson, A. Bracco, M.A. Alexander & D.J. Vimont. 2010b. Central Pacific El Niño and decadal climate change in the North Pacific. *Nature Geosciences*, 3(11): 762-765.
- Espino, M. 1997. El Niño 1997-?: un análisis diferencial. Centro de Estudios y Prevención de Desastres, Lima-Perú, Prevención, 9: 9-15.
- Espino, M. 2003. Estrategia de gestión ambiental para el Pacífico oriental con especial mención a la pesquería peruana. Tesis Magister en Geografía, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, 112 pp.
- Hare, S.R. 1996. Low frequency climate variability and salmon production. Ph.D. Dissertation, School of Fisheries, University of Washington, Seattle, 306 pp.
- Hare, S.R. & N.J. Mantua. 2000. Empirical evidence for North Pacific regime shifts in 1977 and 1989. *Prog. Oceanogr.*, 47(2-4): 103-145.
- Hare, S.R. & N.J. Mantua. 2001. An historical narrative on the Pacific Decadal Oscillation, interdecadal climate variability and ecosystem impacts. Report of a talk presented at the 20th NE Pacific pink and chum workshop. Seattle, WA, 22 March 2001.
- Hernández, C., R. Galleguillos & C. Oyarzún. 2000. Diferenciación genética de *Merluccius gayi gayi* y *Merluccius gayi peruanus* (Pisces, Merlucciidae) y antecedentes paleográficos de su área de distribución. *Rev. Chil. Hist. Nat.*, 73: 23-29.
- Hollowed, A.B., S.R. Hare & W.S. Wooster. 2001. Pacific-basin climate variability and patterns of Northeast Pacific marine fish production. *Prog. Oceanogr.*, 49: 257-282.
- Jacobson, L.D. & A.D. MacCall. 1995. Stock-recruitment models for Pacific sardine (*Sardinops sagax*). *Can. J. Fish. Aquatic Sci.*, 52: 566-577.
- Klyashtorin, L.B. 2001. Climate change and long-term fluctuations of commercial catches: the possibility of forecasting. *FAO Fish. Tech. Pap.*, 410: 86 pp.
- Lluch-Cota, D.B., W.S. Wooster & S.R. Hare. 2001. Sea surface temperature variability in coastal areas of the Northeastern Pacific related to the El Niño-Southern Oscillation and the Pacific Decadal Oscillation. *Geophys. Res. Lett.*, 28: 2029-2032
- Mantua, N.J. 1999a. The Pacific Decadal Oscillation. In: M.C. McCracken & J.S. Perry (eds.). *The Encyclopedia of Global Environmental Change*, Vol 1. The Earth System: physical and chemical dimension of global environmental change, pp. 592-594.
- Mantua, N.J. 1999b. The Pacific Decadal Oscillation and Climate Forecasting for North America. To appear in premiere issue of "Climate Risk Solutions" newsletter.
- Mantua, N.J., S.R. Hare, Y. Zhang, J.M. Wallace & R.C. Francis. 1997. A Pacific interdecadal climate oscillation with impacts on salmon production. *Bull. Am. Meteor. Soc.*, 78: 1069-1079.
- Noakes, D.J. & R.J. Beamish. 2009. Synchrony of marine fish catches and climate and ocean regime shifts in the north Pacific Ocean. *Marine and Coastal Fisheries: Dynamics, Management and Ecosystem Science*, 1: 155-168.
- Ñiquen, M., M. Espino & M. Bouchón. 2000. Análisis de la anchoveta peruana durante el periodo 1961-1999. *Bol. Inst. Mar Perú-Callao*, 19(1-2): 103-107.
- Quinn, W., V.T. Neal & S.E. Antúnez de Mayolo. 1987. El Niño occurrences over the past four and half centuries. *J. Geophys. Res.*, 92, c13: 14449-14461.
- Quinn, W. & H.J. Niebauer. 1995. Relation of eastern Bering Sea wallege pollock (*Theragra chalcogramma*) recruitment to environmental and oceanographic variables. In: R.J. Beamish (ed.). *Climate change and northern fish populations*. *Can. Spec. Publ. Fish. Aquat. Sci.*, 121: 497-507.
- Schindler, D.E., X. Augerot, E. Fleishman, N.J. Mantua, B. Riddell, M. Ruckelshaus, J. Seeb & M. Webster. 2008. Cambio climático, impactos a nivel ecosistema y manejo del salmón del Pacífico. *Fisheries*, 33(10): 502-506.
- Schwartzlose, R.A., J. Alheit, A. Bakun, T.R. Baumgartner, R. Cloete, R.J.M. Crawford, W.J. Fletcher, Y. Green-Ruiz, E. Hagen, T. Kawasaki, D. Lluch-Belda, S.E. Lluch-Cota, A.D. MacCall, Y. Matsuura, M.O. Nevarez-Martínez, R.H. Parrish, C. Roy, R. Serra, K.V. Shust, M.N. Ward & J.Z. Zuzunaga. 1999. Worldwide large-scale fluctuations of sardina and anchovy populations. *Afr. J. Mar. Sci.*, 21: 289-347.
- Tord, L.E. 2003. La pesca en el Perú prehispanico. In: P. Trillo (ed.). *Libro de oro de la pesquería peruana*. Sociedad Nacional de Pesquería, Lima, pp. 41-69.
- Wada, T. & L.D. Jacobson. 1998. Regimes and stock-recruitment relationships in japanise sardine (*Sardinops melanostictus*) 1951-1995. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 55: 2455-2463.
- Walters, G.E. & T.K. Wilderbuer. 2000. Decreasing length at age in a rapidly expanding population of northern rock sole in the Bearing Sea and its effect on managment advice. *Netherlands J. Sea Res.*, 44: 17-26.
- Wolter, K. 1987. The Southern Oscillation in surface circulation and climate over the tropical Atlantic, Eastern Pacific, and Indian Oceans as captured by cluster analysis. *J. Climate Appl. Meteor.*, 26: 540-558.

- Wolter, K. & M.S. Timlin. 1993. Monitoring ENSO in COADS with a seasonally adjusted principal component index. Proc. of the 17th Climate Diagnostics Workshop, Norman, OK, NOAA/NMC/CAC, NSSL, Oklahoma Clim. Survey, CIMMS and the School of Meteorology, University of Oklahoma, Oklahoma, pp. 52-57.
- Wolter, K. & M.S. Timlin. 1998. Measuring the strength of ENSO events - how does 1997/98 rank? *Weather*, 53: 315-324.
- Zhang, Y., J.M. Wallace & D.S. Battisti. 1997. ENSO-like interdecadal variability: 1900-93. *J. Climate*, 10: 1004-1020.

*Received: 31 March 2011; Accepted: 10 June 2012*