

## EFFECTO DEL CLIMA EN LAS PESQUERÍAS DE ABULÓN Y LANGOSTA ESPINOSA EN BAJA CALIFORNIA, MÉXICO

Castro-Ortiz, Jose Luis & Sergio A. Guzmán-del-Proó

Departamento de Pesquerías y Biología Marina, Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, Instituto Politécnico Nacional. Av. Instituto Politécnico Nacional s/n. Col. Playa Palo de Santa Rita Apdo. Postal 592. La Paz, B.C.S. México 23096. Tels. (52+612) 1234658, 1234734, 1234666 Ext. 81601. email: jcastro@ipn.mx

**RESUMEN.** La pesquería de abulón y de langosta en la costa occidental de Baja California son actividades económicas de gran importancia para las comunidades de pescadores asentados a lo largo de ese litoral. Su producción histórica desde 1950 a 2001 muestra tendencias opuestas. En el caso de la langosta, la captura es ascendente, mientras que la de abulón muestra una continua tendencia descendente, además de presentar oscilaciones menores. Como hipótesis se propone que, tanto la tendencia como las oscilaciones se deben a la variación del esfuerzo de pesca y del ambiente que actúan simultáneamente. Por tanto, con el objetivo de ponderar las fuentes de variabilidad, se aplicó un análisis de correlación múltiple, considerando adicionalmente los efectos estacional y decenal. Como variables ambientales se usaron los índices: ENOS Multivariado (MEI), Oscilación Decenal del Pacífico (DOP), Oscilación Giro del Pacífico Norte (OGPN), y variables locales como el Índice de Surgencias (IS) y la temperatura de la superficie del mar (TSM). Los resultados indican que en el caso del abulón, la tendencia descendente de la captura y su variabilidad son mejor explicadas por el ambiente; en cambio, en el caso de la langosta el esfuerzo de pesca resultó ser el factor con mayor peso. Las oscilaciones menores se relacionan, además, con eventos fuertes de El Niño para ambos recursos.

**Palabras clave:** Baja California, clima, México, pesquería de abulón, pesquería de langosta.

### Climate effects in Abalone and Spiny lobster fisheries in Baja California, Mexico

**ABSTRACT.** The abalone and lobster fisheries on the western coast of Baja California are economic activities of great importance to the fishing communities settled along that coast. Its historical production from 1950 to 2001 shows opposite trends. In the case of the lobster, the catch is upwards, while that of the abalone shows a continuous downward trend, in addition to presenting minor oscillations. As a hypothesis, it is proposed that both the trend and the oscillations are due to the variation of the fishing effort and the environment acting simultaneously. Therefore, with the aim of weighing the sources of variability, a multiple correlation analysis was applied, considering additionally the seasonal and decennial effects. As environmental variables, indices were used: Multivariate ENSO (MEI), Pacific Decadal Oscillation (PDO), Oscillation Gyre Pacific North (OGPN), and local variables such as the Upwelling Index (U) and Sea Surface Temperature (SST). The results indicate that, in the case of abalone, the downward trend of the catch and its variability are better explained by the environment; on the other hand, in the case of lobster, the fishing effort turned out to be the most important factor. The minor oscillations are also related to strong El Niño events for both resources.

**Key words:** Baja California, climate, Mexico, abalone fishery, lobster fishery.

Castro-Ortiz, J. L. & S. A. Guzmán-del-Proó. 2018. Efecto del clima en las pesquerías de abulón y langosta espinosa en Baja California, México. *CICIMAR Océánides*, 33(2): 13-25.

### INTRODUCCIÓN

La pesca de abulón (*Haliotis* spp.) y langosta (*Panulirus* spp.) se realiza en la costa occidental de Baja California (Fig. 1), cuyas aguas corresponden a la Provincia Costera de Surgencias de California (Longhurst, 2001). Este hecho beneficia a la actividad pesquera por su elevada productividad biológica, pero por otra parte, muestra una alta variabilidad ambiental que impacta a la pesca, en particular cuando se presenta un evento El Niño intenso (Tegner *et al.*, 2001).

Los ecosistemas de la Corriente de California, y por ende sus pesquerías, están bajo la influencia de cambios ambientales en diferentes escalas de tiempo; desde los interanuales, como los eventos de El Niño, hasta los decenales como los descritos en el llamado Cambio de Régimen (Anderson & Piatt, 1999; Hare & Mantua, 2000; Mantua *et al.*, 1997;

McGowan *et al.*, 2003; Miller *et al.*, 1994), que ocurrió a mediados de la década de 1970, y se caracterizó por el paso de un periodo frío a un periodo cálido en el Pacífico norte.

### Las pesquerías

La pesca de abulón y de langosta se han desarrollado formalmente desde 1940, cuando se establecieron las organizaciones cooperativas (Sierra-Rodríguez, 2006; Vega-Velázquez, 2006); estas dos pesquerías han sido el principal soporte económico de las poblaciones de la costa occidental de la Península de Baja California (Vega *et al.*, 1997; Vega *et al.*, 2000). Aunque se cuenta con datos estadísticos desde el inicio de las dos pesquerías, en este trabajo se analizan las capturas históricas entre 1950 y 2011, porque corresponden a un periodo con mejor información ambiental y de esfuerzo pesquero, al menos para el caso de langosta. Un primer as-

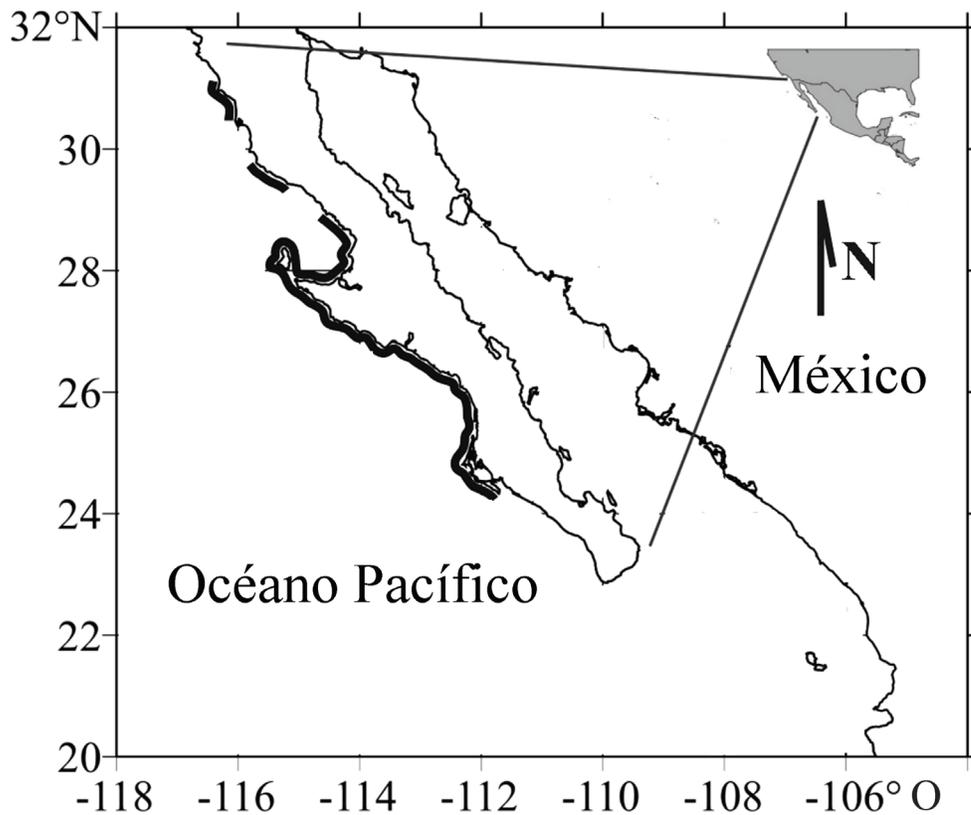


Figura 1. Zonas de captura de abulón y langosta en la Península de Baja California, México.

pecto es la tendencia opuesta en la captura de estas especies (Fig. 2); en el caso del abulón se presentó una notable caída a partir de la década de 1970, y en el caso de la langosta, con todo y sus oscilaciones muestra una tendencia al aumento.

El año 1950 coincide con la máxima captura obtenida de abulón, que después de un periodo de aparente estabilidad, se precipitó a los niveles más bajos de su historia. La tendencia decreciente de la captura de abulón en México se atribuye a la sobreexplotación (Carreón-Palau *et al.*, 2003). Pero esta misma tendencia también se observa en las pesquerías de abulón de California (Rogers-Bennett *et al.*, 2002), y en Canadá (Shepherd & Baker, 1998). En el caso de la población de abulón de Alaska *Haliotis kamtschatkana kamtschatkana*, se estima que ha disminuido diez veces (Rogers-Bennett *et al.*, 2002). Para la pesquería de México el promedio de captura entre 1950 y 1975 fue de 2,839 t (peso desconchado), y entre 1976 y 2002 el promedio disminuyó a 738 t (Guzmán del Proó, 1992; Arreguín-Sánchez *et al.*, 2006), es decir una reducción de casi cuatro veces.

En relación al efecto de cambios ambientales de corto plazo, se ha observado el descenso de la captura de abulón después de un evento intenso de El Niño, cuando se afecta el crecimiento y la condición

reproductiva (Rodríguez-Valencia & Caballero-Alegria, 2002; Tegner *et al.*, 2001), y se afirma que el reclutamiento también puede ser afectado (Shepherd *et al.*, 1998).

La influencia del ambiente en una escala mayor de tiempo (décadas) se ha presentado con el cambio de régimen climático (Tegner *et al.*, 2001). En particular, el observado en la mitad de los 1970's, cuando la Oscilación Decenal del Pacífico (ODP) pasó de una fase fría a una cálida (Mantua, 2002); además de la caída de la captura, se observa un cambio en la composición de la captura, pues durante la fase fría la especie dominante fue *Haliotis corrugata* (abulón amarillo), mientras que, durante la fase cálida dominó el abulón azul, *H. fulgens* (Guzmán del Proó, 1992; Ponce-Díaz *et al.*, 2003). Experimentos realizados con dos especies de abulón *Haliotis rufescens* (abulón rojo) y *H. fulgens*, mostraron la capacidad del abulón azul para tolerar temperaturas más altas (Vilchis *et al.*, 2005), lo cual explicaría que esta especie fuera abundante después del cambio de régimen.

La pesquería de langosta se sostiene en varias especies, pero la más importante es la langosta roja *Palinurus interruptus* que representa el 90% de la captura; en el sur de la zona de pesca (desde La Poza

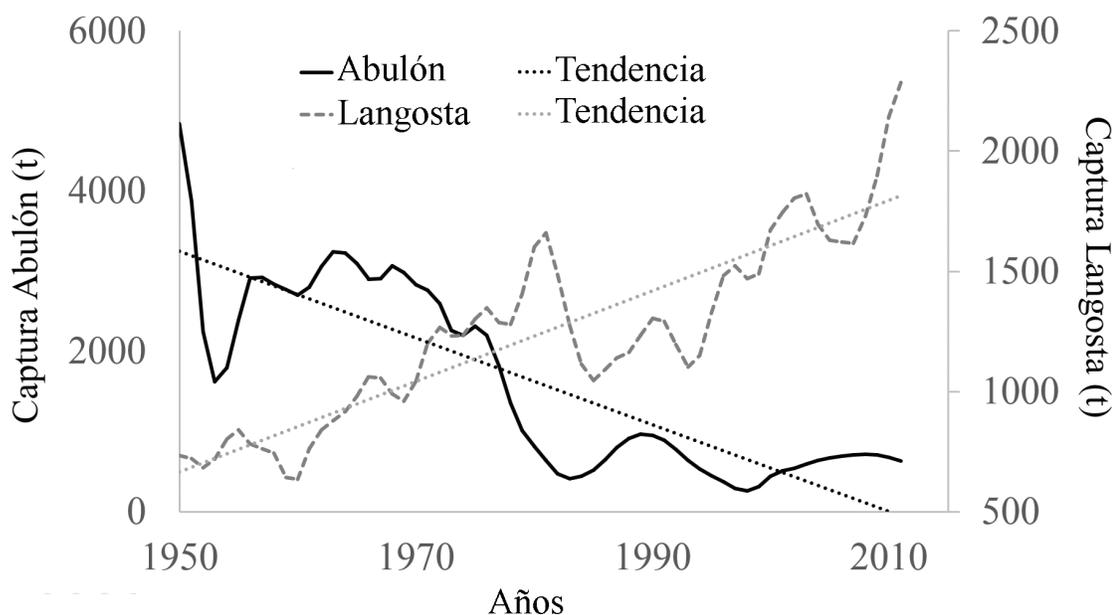


Figura 2. Producción pesquera de abulón y de langosta en toneladas, entre 1950 y 2011. En el caso de abulón el peso es de abulón desconchado, y en el de la langosta es peso total.

a Bahía Magdalena se pescan otras especies menos abundantes como *P. inflatus* (langosta azul) y *P. gracilis* (langosta verde) que se conocen como langostas tropicales (Vega *et al.*, 2006).

La pesquería de langosta muestra una tendencia de incremento en las capturas a lo largo del periodo de estudios; Vega (2006) considera que después de 1975 la pesquería está en su fase de máxima explotación sostenible.

La reproducción ha sido el aspecto mejor estudiado de la biología esta especie en diferentes localidades (Lindberg, 1955; Mitchel, 1968; Pineda, 1981; Ayala, 1982; Vega *et al.*, 1996, 1997) e indica que las etapas del proceso reproductivo están sincronizadas con los ciclos estacionales de temperatura y surgencias (Vega, 2003).

Adicionalmente, se ha documentado que la variabilidad interanual en las fechas de inicio, pico y terminación de la reproducción de la langosta roja, responde a cambios de temperatura del mar asociados a eventos ENSO. La especie muestra una notable capacidad de modular el proceso de reproducción, retrasándolo a bajas temperaturas o acelerándolo durante condiciones cálidas (Vega, 2003).

De acuerdo con lo anterior, las estrategias de manejo de los recursos pesqueros se enfrentan a complejos patrones de variabilidad, en parte producto de los cambios relacionados con el esfuerzo y poder de pesca, así como de los cambios ocurridos en el ambiente en las diferentes escalas de tiempo, lo que tradicionalmente se enfoca en términos de

incertidumbre. En este trabajo, se trató de diferenciar los efectos debidos a la pesca y los debidos al ambiente, lo que podría ser un elemento de juicio complementario en el manejo de los recursos, especialmente en la escala de décadas, debido a que este patrón parece recurrente en la cuenca del Pacífico (Klyashtorin, 2001; MacDonald & Case, 2005). Como hipótesis se propone que, tanto la tendencia como las oscilaciones de la captura del abulón y la langosta se deben, por un lado, a la propia pesquería, y por otro a la variabilidad ambiental.

## MATERIAL Y MÉTODOS

Los datos de producción de abulón y langosta de la costa occidental de Baja California se obtuvieron de diferentes fuentes (SAGARPA, 2006; SAGARPA, 2011; Vega *et al.*, 2008; Vega, 2010). Las series abarcan un intervalo de 62 años entre 1950 y 2011. En el caso de la pesquería de langosta, adicionalmente se dispuso de datos de Esfuerzo de Pesca (Vega, 2010), lo que permitió estimar la Captura por Unidad de Esfuerzo que se analizó paralelamente a la captura. Se contó con algunos datos de esfuerzo para la abulón, pero fueron series cortas y de algunas cooperativas, por lo que no se consideraron para el análisis.

Las variables ambientales utilizadas en el análisis, fueron: 1) El Índice Multivariado del ENOS (IME, página web de NOAA-ESRL PSD ENSO, Wolter & Timlin, 1998), el cual representa la variabilidad del Pacífico Tropical; 2) el Índice de Oscilación Decenal del Pacífico (ODP, página web de NOAA-NCEI, Mantua *et al.*, 1997), que represen-

ta la variabilidad del Océano Pacífico Norte; 3) el Índice de la Oscilación del Giro del Pacífico Norte (OGPN), el cual se relaciona con los procesos de surgencia y convección influenciados por los vientos del Pacífico Norte y explican las variaciones en los ecosistemas de la Corriente de California (Di Lorenzo *et al.*, 2008); 4) los Índices de Surgencia (IS) en la región 24°N -116°O, de la página web Pacific Fisheries Environmental Laboratory; y 5) la Temperatura Superficial del Mar (TSM) frente a la costa de Baja California en 24°N-112°O, 26°N-114°O y 26°N-116°O, obtenidas de la base de datos de Temperatura Superficial del Mar ERSST v3b (Xue *et al.*, 2003).

Para el análisis exploratorio de la información se usó el Análisis de Regresión Lineal Múltiple (ARLM), que es uno de los métodos exploratorios que permite diferenciar en una primera aproximación los efectos de un conjunto de variables independientes sobre la variable dependiente.

El proceso de análisis de regresión lineal múltiple se hace con datos originales  $x$ , y con una transformación de estos  $z = (x - x\text{-promedio}) / \text{desviación estándar}$ , resultando en dos ecuaciones, la primera que representa la de los valores originales, y la segunda que representa los valores estandarizados; los coeficientes (B) de la primera permiten hacer el pronóstico, y los coeficientes de la segunda ( $\beta$ ) permiten evaluar la contribución de cada variable como predictor.

En una primera etapa los datos fueron suavizados para reducir la variación de alta frecuencia, lo que permite comparar los modos de variación de mayor escala; por ejemplo, para comparar la variación entre el IME de alta variabilidad interanual con el ODP de baja variabilidad interanual, se usó la técnica de las ventanas de Hamming de 5 años (2012), que minimiza las discontinuidades. La ventana de 5 años permite un nivel de suavizado suficiente para reducir la alta variabilidad del IME.

Las variables ambientales (IME, ODP, OGPN, Surgencias, TSM), son variables que representan la

variación del ambiente en diferentes regiones y escalas; por ejemplo, el IME es la variación del Pacífico Tropical cuyo efecto se manifiesta en el verano, y el ODP corresponde a la variación del Pacífico Norte, y cuya influencia se presenta en invierno. En tanto, las surgencias y la temperatura superficial del mar son variables regionales. En la tabla 1, se resumen las variables del ambiente que fueron analizadas.

En una segunda etapa, antes de aplicar el ARLM, el conjunto de variables ambientales fue sometido al análisis factorial, con el objeto de identificar grupos de variables con modos de variación similar, con los que se conformarían los componentes principales, ya que las variables correlacionadas significativamente entre sí producirían los problemas de colinealidad y autocorrelación que limitan la aplicación del ARLM.

En la tercera etapa, con el conjunto de datos filtrados y reducidos (componentes principales) se les aplicó el ARLM con el siguiente modelo.

$$\text{Captura} = a + b_1 F_1 + b_2 F_2 + b_3 F_3 + \quad (1)$$

## RESULTADOS

De acuerdo con los resultados del análisis factorial que se presentan en la tabla 2, se pueden agrupar en un primer factor (F1) las variables de los índices IME, ODP y TSM. El primer factor explica hasta el 43% de la variación del conjunto de datos, con el mayor valor propio (Eigenvalor) de 4.335, lo que identifica a un modo de variación dominante (tabla 2). El segundo factor F2 se identifica con el OGPN, y el tercero con las surgencias (Tabla 3). Es conveniente destacar que no existe diferencia estacional en ningún caso.

### Abulón

El análisis indica que los tres factores explican aproximadamente el 60% de la variabilidad de la captura de abulón (tabla 4); en primer lugar, el F1 es el que contribuye con la mayor parte ( $\beta = -0.621$ ) y se relaciona con la tendencia, y dado que el signo es negativo su efecto es inverso. Por otra parte, los factores F2 (OGPN) y F3 (Índices de Surgencias), tienen un peso similar (0.378 y -0.323, respectivamente), pero en el caso de las surgencias el efecto es inverso.

Como un segundo paso y partiendo de los valo-

Tabla 1. Variables ambientales sometidas al análisis, el subíndice s significa que la variable fue suavizada, y el 1 y 2 representa el promedio de semestre frío (enero-junio), y semestre cálido (julio-diciembre) respectivamente.

Nombre Variable	Invierno	Verano
Índice Multivariado del ENOS	IME <sub>1s</sub>	IME <sub>2s</sub>
Oscilación Decenal del Pacífico	ODP <sub>1s</sub>	ODP <sub>2s</sub>
Oscilación del Giro del Pacífico Norte	OGPN <sub>1s</sub>	OGPN <sub>2s</sub>
Surgencias	IS <sub>1s</sub>	IS <sub>2s</sub>
Temperatura Superficial del Mar	TSM <sub>1s</sub>	TSM <sub>2s</sub>

Tabla 2. Análisis factorial de variables ambientales suavizadas. Eigenvalores parte superior. Factores de carga, parte inferior. Extracción Componentes principales, Rotación Varimax normalizada.

	Eigenvalor	% Var. Total	Eigenvalor Acumulativo	% Acumulativo
F1	4.335157	43.35157	4.335157	43.35157
F2	2.136591	21.36591	6.471748	64.71748
F3	1.215338	12.15338	7.687085	76.87085

Tabla 3. Análisis factorial de variables ambientales suavizadas. Factores de carga, identificados por el coeficiente de correlación de las variables con el factor correspondiente, los valores en negrita representan coeficientes de correlación mayores de 0.7. Los subíndices 1s y 2s corresponden al 1° y 2° semestre del año.

Variabes	F1	F2	F3
SST <sub>1s</sub>	<b>0.887484</b>	0.017377	0.035460
SST <sub>2s</sub>	<b>0.759931</b>	-0.003874	0.147551
MEI <sub>1s</sub>	<b>0.877862</b>	-0.018212	0.052933
MEI <sub>2s</sub>	<b>0.722940</b>	-0.004721	0.216127
PDO <sub>1s</sub>	<b>0.824615</b>	0.020791	0.109900
PDO <sub>2s</sub>	<b>0.825735</b>	-0.056946	0.127825
SI <sub>1s</sub>	-0.165872	0.106208	-0.859644
SI <sub>2s</sub>	-0.149117	0.100672	<b>-0.878497</b>
OGPN <sub>1s</sub>	-0.007680	<b>0.990439</b>	-0.096272
OGPN <sub>2s</sub>	-0.003574	<b>0.987444</b>	-0.119500

res encontrados para los coeficientes, se calculó la captura de abulón según el modelo siguiente.

$$\text{Captura estimada} = 1600 - 717.0 * F1 + 436.0 * F2 - 373.1 * F3$$

La figura 3 muestra los valores de captura de abulón observados, y los calculados según el modelo empírico. Los residuales se representan con las barras verticales en color gris. La curva calculada muestra en general congruencia con la curva de valores observados, con excepción de 1957 y el periodo de 1990 a 2010.

### Langosta

Para el caso de la pesquería de langosta, los resultados del ARML para la captura se presentan en la tabla 5, y los correspondientes a la CPUE en la tabla 6.

En el caso de esta especie, la captura de langosta es explicada en primer término por el esfuerzo ( $\beta = 0.898$ ), y en menor grado por el F1 ( $\beta = -0.210$ ). En este caso, los factores F2 y F3 no contribuyen significativamente a la explicación de la captura, por lo que se excluyeron del modelo empírico, el cual quedó expresado de la siguiente manera:

$$\text{Captura langosta} = 261.15 - 83.16 * F1 + 0.551 * \text{Esfs}$$

$$R^2 = 0.685; F(2,57) = 61.843 \text{ } p < 0.0000$$

En la figura 4, se representan las capturas observada y calculada; se observa un buen ajuste hasta 1981, pero posteriormente difieren notablemente, lo que se hace muy evidente en sus residuales, que son negativos entre 1983 a 1994, y positivos entre 1996 y 2009.

Los resultados del análisis de los datos de CPUE de langosta (Tabla 6), destacan también en primer término el esfuerzo ( $\beta = -0.623$ ) como el factor más importante, aunque en este caso el signo es negativo, y en segundo lugar al F1 ( $\beta = -0.251$ ). En tanto, los factores F2 y F3, no contribuyen significativamente a la CPUE, lo que también se observó en el caso de los datos de captura.

Para la representación gráfica de este resultado, se usó el modelo empírico lineal siguiente:

$$\text{CPUE} = 1.049 - 0.048 * F1 + 0.000031 * \text{Esfs}$$

$$R^2 = 0.617; F(2,57) = 45.944; p < 0.0000$$

Los valores de CPUE observados y calculados se muestran en la figura 5, en la cual se observan dos tendencias, una descendente entre 1950 y 1985, y una ascendente entre 1986 y 2009. Por otra parte, si se analizan los cambios de tendencia de la CPUE contra el esfuerzo (Fig. 6), resulta evidente que la CPUE fue descendiendo desde 1950 hasta 1984-5 y a partir de ese año el esfuerzo disminuyó y la tendencia de la CPUE repuntó con valores más altos (Figs. 5 y 6).

De acuerdo con la figura 4, se supondría que la pesquería de langosta se encuentra todavía en una etapa de desarrollo, pero al analizar el esfuerzo y la CPUE (Figs. 5 y 6), la tendencia representada por la recta (Fig. 6) muestra el efecto esperado de la explotación, es decir, la CPUE desciende a medida que aumenta el esfuerzo hasta 1985, pero con un cambio en la tendencia hacia las últimas 2 décadas, cuando la CPUE se incrementa.

### DISCUSIÓN

La variabilidad del ambiente contribuye a la explicación de la variabilidad de la captura en ambas pesquerías. El primer factor F1 (IME, ODP y TSM) es el modo de variación dominante en la región y a la escala de la cuenca; su efecto se ha descrito para las pesquerías de salmón en la costa del Pacífico norte (Francis *et al.*, 1998), en pelágicos pequeños (Tourre *et al.*, 2007) y otras pesquerías a escala de la cuenca (Klyashtorin, 2001).

Tabla 4. Análisis de Regresión Lineal Múltiple (ARLM) de los datos de captura de Abulón vs. Factores Principales. En negrita se resaltan los valores significativos.

I.V.	$\beta$	Err. Est.	b	Err. Est.	t(58)	p
<b>a</b>			1600.6	91.0	17.594	0.000
F1	-0.621	0.079	-717.0	91.7	-7.817	0.000
F2	0.378	0.079	436.0	91.7	4.754	0.000
F3	-0.323	0.079	-373.1	91.7	-4.068	0.000

$$R^2 = 0.634; F(3,58) = 33.4; p < 0.000$$

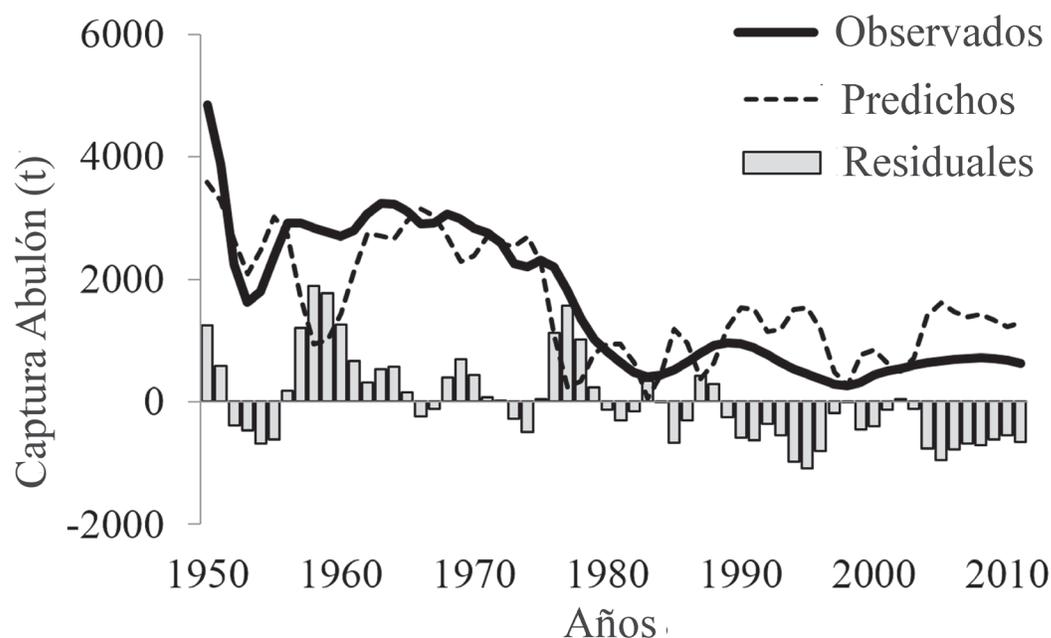


Figura 3. Captura de abulón observada (línea gruesa) vs. Captura calculada (línea discontinua), con modelo que incluye las tres variables F1, F2 y F3. Los residuales se representan con barras arriba y abajo del eje X.

Tabla 5. Análisis de Regresión Lineal Múltiple (ARLM) de datos suavizados de langosta

Captura de langosta vs Factores principales						
I.V.	$\beta$	Err.Est.	b	Err.Est.	t(54)	p
<b>a</b>			<b>321.37</b>	<b>114.08</b>	<b>2.817</b>	<b>0.010</b>
<b>F1</b>	<b>-0.210</b>	<b>0.100</b>	<b>-72.17</b>	<b>34.24</b>	<b>-2.108</b>	<b>0.040</b>
F2	-0.131	0.085	-46.51	29.84	-1.558	0.125
F3	-0.057	0.078	-19.49	26.71	-0.729	0.469
<b>Esf<sub>t</sub></b>	0.898	0.112			8.027	0.000
	0.52	0.064				
<b>R<sup>2</sup>= 0.710; F(4,54)=33.122; p&lt;0.0000</b>						

Tabla 6. Captura por Unidad de Esfuerzo frente a los principales factores F1, F2 y F3.

CPUE de langosta vs Factores principales						
V.I.	$\beta$	Err. Est.	b	Err. Est.	t(55)	p
<b>a</b>			<b>1.068</b>	<b>0.067</b>	<b>16.06</b>	<b>0.000</b>
<b>F1</b>	<b>-0.251</b>	<b>0.112</b>	<b>-0.045</b>	<b>0.020</b>	<b>-2.244</b>	<b>0.029</b>
F2	-0.080	0.095	-0.015	0.017	-0.837	0.406
F3	-0.034	0.087	-0.006	0.016	-0.387	0.700
<b>Esf<sub>t</sub></b>	<b>-0.623</b>	<b>0.126</b>	<b>0.000186</b>	<b>0.000</b>	<b>-4.941</b>	<b>0.000</b>
<b>R<sup>2</sup>= 0.624; F(4,55)=22.837; p&lt;0.0000</b>						

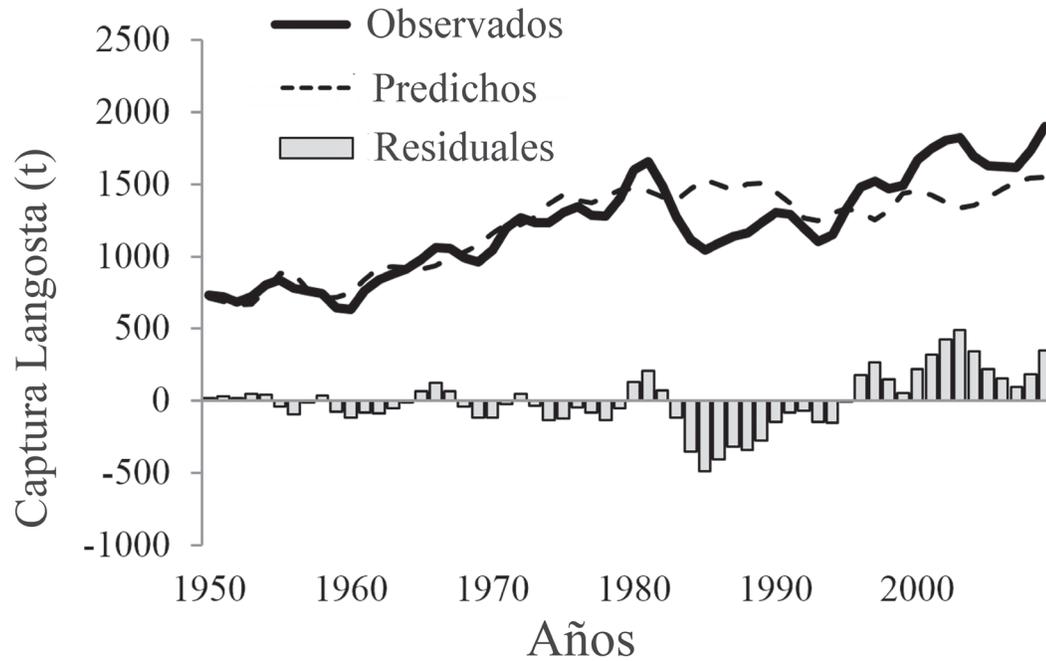


Figura 4. Captura de langosta, valores observados (línea continua) y calculados (línea discontinua). Los residuales son las barras en el eje de las x.

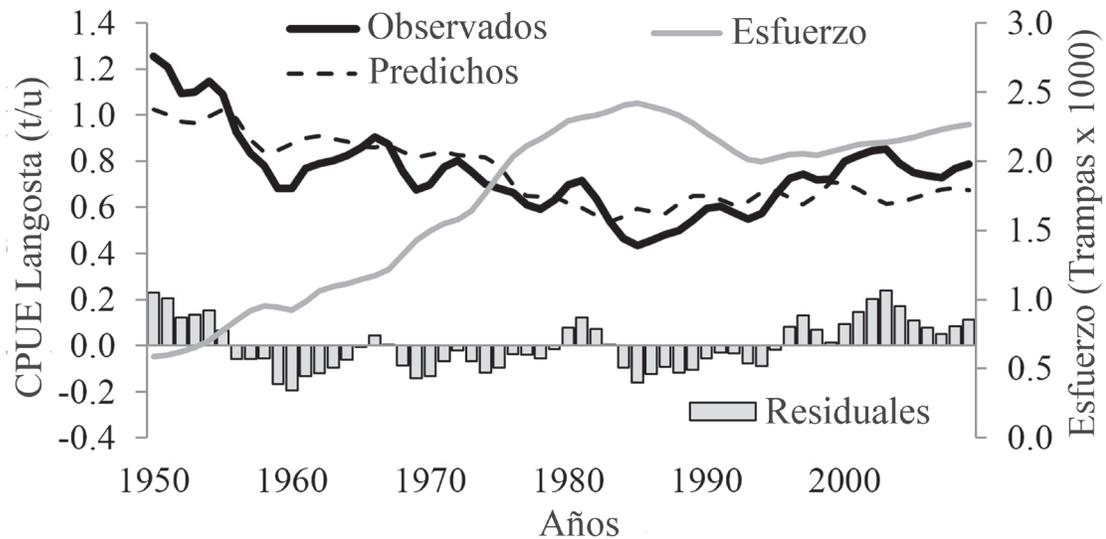


Figura 5. Captura por Unidad de Esfuerzo de langosta, Valores observados (línea continua) y valores calculados (línea discontinua). Los residuales son las barras en el eje de las x.

El modo de variación del factor F1 muestra una variación oscilante de un periodo irregular de aproximadamente 50 años, esta señal es persistente en largos periodos y se ha encontrado en anillos de árboles, corales, sedimentos (Biondi *et al.*, 2001; MacDonald & Case, 2005; Ware, 1995). Es conve-

niente considerar este modo de variación, especialmente para efectos de pronóstico en esta escala de tiempo.

Los resultados muestran que entre 1950 a 1975 fue un periodo frío, y entre 1975 y 2009 dominaron las anomalías cálidas; esto corresponde con lo des-

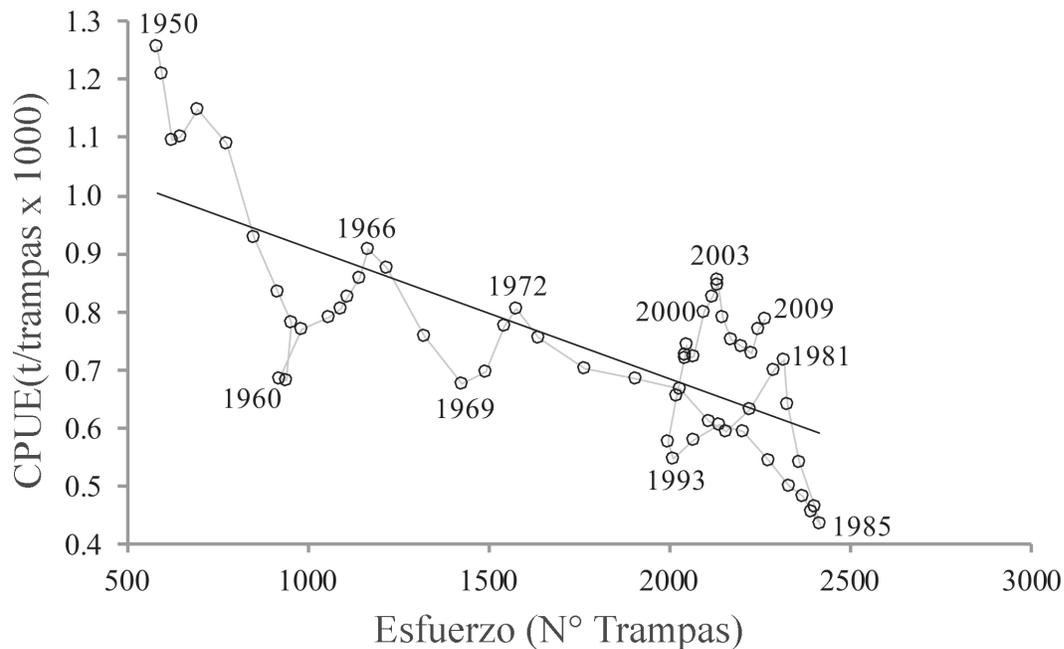


Figura 6. Captura por Unidad de Esfuerzo (CPUE) vs. Esfuerzo.

crito para las fases fría y cálida del ODP (Hare & Mantua, 2000; Miller *et al.*, 1994), y se relaciona también con los Cambios de Régimen (Miller *et al.*, 1994); estos cambios son representados por el primer factor (F1) en este trabajo.

#### Abulón

La mayor abundancia de abulón, se presentó durante la fase fría del ODP entre 1950 y 1975 (Hare & Mantua, 2000; Mantua *et al.*, 1997; Ramos-Rodríguez *et al.*, 2011). La abundancia de abulón descendió notablemente durante el Cambio de Régimen a mediados de la década de 1970, afectando a la actividad pesquera. También se presentó un cambio en la composición específica de la captura. En la fase fría, la especie dominante fue *Haliotis corrugata* (abulón amarillo), mientras que, durante la fase cálida dominó el abulón azul (*H. fulgens*) (Guzmán del Proó, 1992; Ponce-Díaz *et al.*, 2003). Experimentos realizados con dos especies de abulón *Haliotis rufescens* (abulón rojo) y *H. fulgens*, mostraron la capacidad del abulón azul para tolerar temperaturas más altas (Vilchis *et al.*, 2005), lo cual explica que esta especie sea la que domine actualmente y sostenga la pesquería después del cambio de régimen.

Con respecto a la frecuencia e intensidad de eventos El Niño y La Niña, en la fase fría predominó La Niña, en tanto solo se presentó un El Niño moderado (Fig. 7a), y en la fase cálida dominaron los eventos El Niño (Fig. 7c, d, e). Durante los eventos El Niño intensos, se registraron impactos en la

comunidad del bentos, particularmente con la disminución o desaparición temporal de los bosques de sargazo gigante (*Macrocystis pyrifera*) que, junto con otras macroalgas asociadas, constituyen la base alimenticia de estos organismos (Guzmán del Proó *et al.*, 2003; Kinlan, 2003; Tegner & Dayton, 1987; Wooster & Fluharty, 1985).

Las evidencias indican que la variabilidad ambiental tiene un impacto en la abundancia de abulón que se manifiesta en la pesca. En la fase fría, las condiciones ambientales del sistema de la Corriente de California propician una mayor productividad biológica con una termoclina profunda (McGowan *et al.*, 2003), mientras que durante la fase cálida se presenta un descenso de la producción biológica y una termoclina somera (Palacios *et al.*, 2004).

Durante los eventos El Niño fuertes se observa una reducción de la cobertura de los mantos de sargazo gigante y una afectación directa a la flora y fauna bentónicas asociadas a estos bosques marinos (Tegner & Dayton, 1987; Guzmán del Proó *et al.*, 2003), lo que afecta las poblaciones de abulón al disminuir la disponibilidad de biomasa de alimento.

En cuanto a los factores F2 (OGPN) y F3 (surgeencias), también tienen una contribución menor pero significativa en la variabilidad de las capturas de abulón. El OGPN que se ha relacionado con la variabilidad de la Corriente de California y del Pacífico Norte, explica la variabilidad de los nutrientes y la salinidad (Di Lorenzo, 2008); su influencia es de

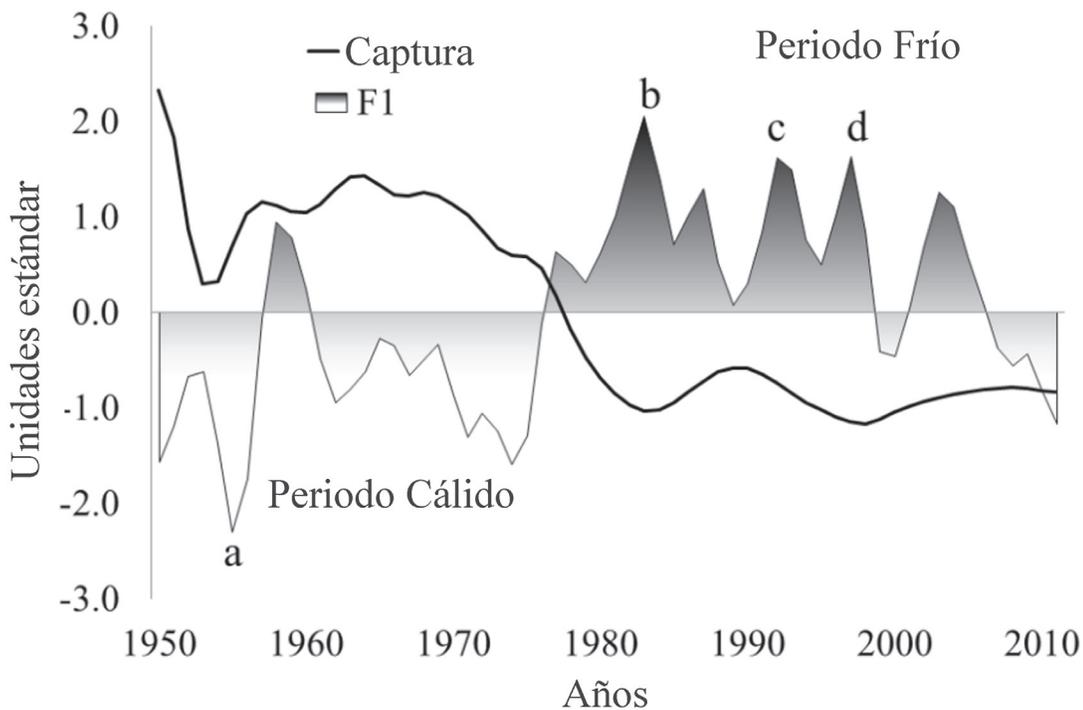


Figura 7. El factor principal F1, mostrando la presencia de anomalías cálidas y frías (área sombreada) y la captura de abulón (línea).

menor escala que la del F1. Con respecto a las surgencias que es un proceso costero local relacionado directamente con el ambiente del abulón, no se encontró información que permitiera explicar su efecto; no se esperaba que este fuera negativo, aunque la surgencia puede ser modulada por los procesos de mayor escala, por ejemplo, por la disminución de la profundidad de la termoclina que reduce la eficiencia de las surgencias (Palacios *et al.*, 2004).

#### Langosta

En esta pesquería, el factor con mayor peso es el esfuerzo de pesca, evidente en el incremento en las capturas y en la reducción de la CPUE. Por otra parte, el F1 tiene un impacto negativo tanto en la captura y en la CPUE, lo que se puede explicar con lo mencionado anteriormente, esto es, con la baja de la productividad biológica a lo largo del periodo.

También se pueden notar los efectos de eventos extremos El Niño-La Niña. Por ejemplo, el intenso El Niño de 1982-83 (Fig. 8-c), parece estar relacionado con el descenso de la captura entre 1980 y 1985; así mismo, otros eventos similares parecen coincidir con descensos menores de la captura (Figs. 8-b, d, f); sin embargo, El Niño de 1997-98 no afectó tanto.

Después de 1985, la captura y el CPUE mostraron una tendencia de aumento, lo que sugiere una recuperación de la población (Fig. 5). Ello podría

ser consecuencia de una mejoría en el sistema de administración de esta pesquería (Vega, 2010), y también como consecuencia de la introducción del GPS y Ecosonda que permitieron encontrar nuevas áreas de pesca y ampliar el área de captura; además de cambios en las condiciones del ambiente después de 1998, que fueron favorables a las poblaciones de langosta (Vega, 2006). Según Peterson y Schwing (2003) después del El Niño de 1997-98, se incrementaron vientos y surgencias, asociado con un descenso de la TSM en el norte del sistema de la Corriente de California, notándose un incremento del zooplancton, de anchovetas y osméricos. Otro estudio de dos décadas de duración (1989-2009), en las costas de Oregon (EUA), indica que la variación de indicadores ODP, OGPN y las surgencias, pueden explicar gran parte de la variabilidad en el reclutamiento observado en el asentamiento de las formas juveniles de invertebrados (Menge *et al.*, 2011).

Los cambios de gran escala relacionados con el factor principal F1, influyen por décadas en los ambientes marinos, y tienen un efecto sobre los ecosistemas en la Corriente de California, como los descritos para el periodo frío (1945-1975) y el cálido a partir de 1975 (Anderson & Piatt, 1999; Hare & Mantua, 2000; King, 2005). Estos, se relacionan con un cambio ambiental en las condiciones generales de TSM, vientos y surgencias, así como en la composición y abundancia del plancton (McGowan *et al.*, 2003).

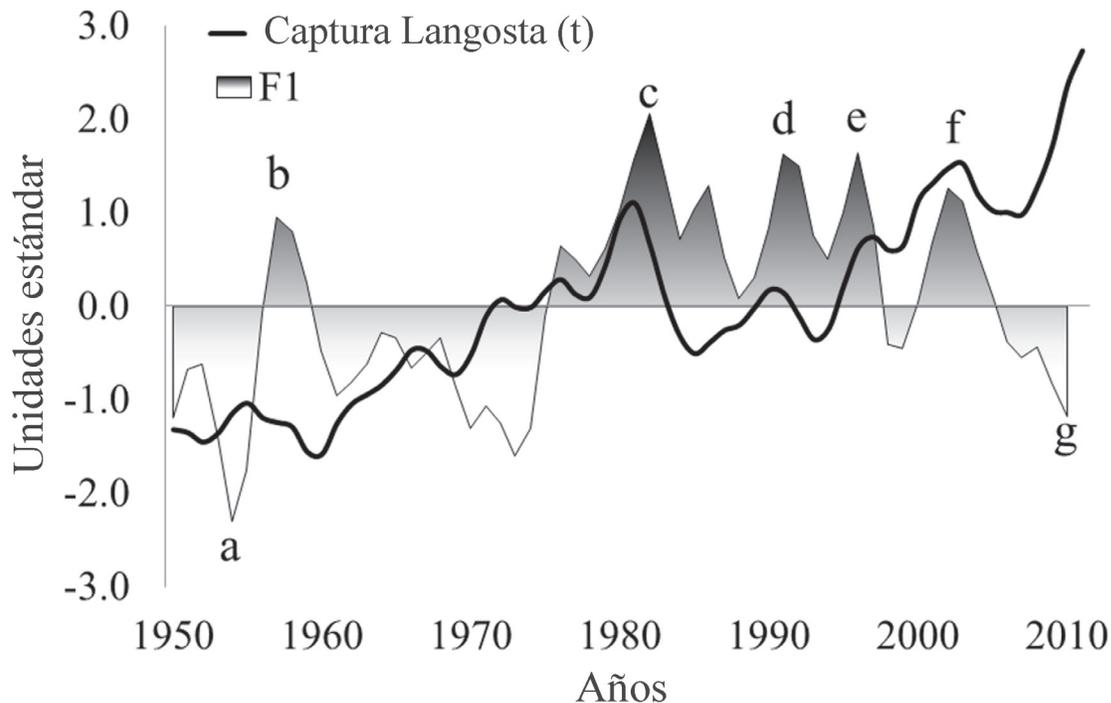


Figura 8. Captura estandarizada de langosta (línea), y Factor 1 (área sombreada) indicador condiciones ambientales, y los eventos extremos El Niño (b, c, d y f) y La Niña (a y g).

Otros modos de variación del ambiente, como el atribuible al OGPN (F2) y a las Surgencias (F3), podrían influir en la pesquería de abulón, pero no se detectaron en el caso de la langosta. Un cuarto modo de variación que debería ser considerado es el correspondiente a las oscilaciones del ENSO, pero que en este estudio se eliminó con la ventana de suavización de 5 años.

Las estrategias de manejo de los recursos pesqueros, deberán considerar que las poblaciones explotadas son sistemas dinámicos que responden a los cambios ambientales (Vega, 2012), a su vez la dinámica del ambiente resulta de la interacción del sistema océano-atmósfera, que responde a procesos de diferentes escalas de tiempo, y que presentan patrones de variabilidad en la escala de décadas que podrían ofrecer una perspectiva predictiva (Keller, 1999) y que sería conveniente explorar.

#### REFERENCIAS

- Alheit, J. & A. Bakun. 2010. Population synchronies within and between ocean basins: apparent teleconnections and implications as to physical-biological linkage mechanisms. *Journal of Marine Systems*, 79(3): 267-285. <https://doi.org/10.1016/j.jmarsys.2008.11.029>
- Anderson, P.J. & J.F. Piatt. 1999. Community reorganization in the Gulf of Alaska following ocean climate regime shift. *Marine Ecology Progress Series*, 189(26): 117-123. <https://doi.org/10.3354/meps189117>
- Arreguín-Sánchez, F., L. Beléndez-Moreno, I. Méndez-Gómez, R. Solana-Sansores & C. Rangel-Dávalos. 2006. Sustentabilidad y pesca responsable en México: Evaluación y manejo. Instituto Nacional de Pesca. Secretaría de Agricultura Ganadería Desarrollo Rural Pesca y Alimentación. México. 543 p.
- Ayala, M.Y. 1983. Madurez sexual y aspectos reproductivos de la langosta roja *Panulirus interruptus* (Randall 1840) en la costa oeste central de la Península de Baja California, México. *Ciencia Pesquera*, 4: 33-48.
- Biondi, F., A. Gershunov & D.R. Cayan. 2001. North Pacific decadal climate variability since 1661. *Journal of Climate*, 14(1): 5-10. [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(2001\)014<0005:NPDCVS>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(2001)014<0005:NPDCVS>2.0.CO;2)
- Bond, N., J. Overland, M. Spillane & P. Stabeno. 2003. Recent shifts in the state of the North Pacific. *Geophysical Research Letters*, 30(23): 1-4. <https://doi.org/10.1029/2003GL018597>
- Carreón-Palau L., S.A. Guzmán del Proó, J. Belmar-Pérez, J. Carrillo-Laguna & R. Herrera-Fragoso. 2003. Microhábitat y biota asociada de juveniles de abulón *Haliotis fulgens* y *H. corrugata* en Bahía Tortugas, Baja California Sur, México. *Ciencias Marinas*, 29: 325-341. <https://doi.org/10.7773/cm.v29i3.153>

- Cloern, J. E., K.A. Hieb, T. Jacobson, B. Sansó, E. Di Lorenzo, M.T. Stacey & T.M. Powell. 2010. Biological communities in San Francisco Bay track large-scale climate forcing over the North Pacific. *Geophysical Research Letters*, 37(21): 1-6. <https://doi.org/10.1029/2010GL044774>
- Di Lorenzo, E., N. Schneider, K. Cobb, P. Franks, K. Chhak, A. Miller & E. Curchitser. 2008. North Pacific Gyre Oscillation links ocean climate and ecosystem change. *Geophysical Research Letters*, 35(8): 1-6. <https://doi.org/10.1029/2007GL032838>
- Francis, R.C., S.R. Hare, A.B. Hollowed & W.S. Wooster. 1998. Effects of interdecadal climate variability on the oceanic ecosystems of the NE Pacific. *Fisheries Oceanography*, 7(1): 1-21. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2419.1998.00052.x>
- Guzmán del Proó, S.A. 1992. A review on the biology and Mexican fishery of the abalone (*Haliotis* spp.). 341-360. En: Shepherd, S.A., M. Tegner & S.A. Guzmán del Proó (eds.). Abalone of the world: biology, fishery and culture. London: Blackwell.
- Guzmán del Proó, S.A., L. Carreon, J. Belmar, J. Carrillo & R. Herrera. 2003. Effects of the 'El Niño' event on the recruitment of benthic invertebrates in Bahía Tortugas, Baja California Sur. *Geofísica Internacional*, 42(3): 429-438.
- Hallett, T., T. Coulson, J. Pilkington, T. Clutton-Brock, J. Pemberton & B. Grenfell. 2004. Why large-scale climate indices seem to predict ecological processes better than local weather. *Nature*, 430(6995): 71-75. <https://doi.org/10.1038/nature02708>
- Hamming, R. 2012. *Numerical methods for scientists and engineers*. Courier Corporation.
- Hare, S.R. & N.J. Mantua. 2000. Empirical evidence for North Pacific regime shifts in 1977 and 1989. *Progress in Oceanography*, 47(2): 103-145. [https://doi.org/10.1016/S0079-6611\(00\)00033-1](https://doi.org/10.1016/S0079-6611(00)00033-1)
- Keller, C.F. 1999. Climate, modeling, and predictability. *Physica D: Nonlinear Phenomena* 133: 1-296-308. [https://doi.org/10.1016/S0167-2789\(99\)00086-X](https://doi.org/10.1016/S0167-2789(99)00086-X)
- King, J.R. 2005. Report of the study group on fisheries and ecosystem responses to recent regime shifts. *PICES*, 28: 1-162.
- Kinlan, B.P. 2003. Linking environmental forcing, kelp forest habitat dynamics, and community structure in the Northeast Pacific. *Journal of Phycology*, 39(s1), 29-29. [https://doi.org/10.1111/j.0022-3646.2003.03906001\\_84.x](https://doi.org/10.1111/j.0022-3646.2003.03906001_84.x)
- Klyashtorin, L.B. 2001. Climate change and long-term fluctuations of commercial catches: the possibility of forecasting: *FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper*. 410. 86 p.
- Linberg, R.G. 1955. Growth, population dynamics and field behavior in the lobsters, *Panulirus interruptus* (Randall). *Univ. of Calif. Zool. XXII* (6): 157-248.
- Longhurst, A.R. 2001. *Ecological Geography of The Sea*. Academic Press. 542 p.
- MacDonald, G.M. & R.A. Case. 2005. Variations in the Pacific Decadal Oscillation over the past millennium. *Geophysical Research Letters*, 32(8): 1-4. <https://doi.org/10.1029/2005GL022478>
- 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. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 78: 1069-1079. [https://doi.org/10.1175/1520-0477\(1997\)078<1069:APICOW>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0477(1997)078<1069:APICOW>2.0.CO;2)
- McGowan, J.A., S.J. Bograd, R.J. Lynn & A.J. Miller. 2003. The biological response to the 1977 regime shift in the California Current. *Deep-Sea Research Part II-Topical Studies In Oceanography*, 50(14): 2567-2582. [https://doi.org/10.1016/S0967-0645\(03\)00135-8](https://doi.org/10.1016/S0967-0645(03)00135-8)
- Menge, B.A., T.C. Gouhier, T. Freidenburg & J. Lubchenco. 2011. Linking long-term, large-scale climatic and environmental variability to patterns of marine invertebrate recruitment: Toward explaining "unexplained" variation. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 400(1-2): 236-249. <https://doi.org/10.1016/j.jembe.2011.02.003>
- Mitchell, C.T., C.H. Turner & A. Strachan. 1969. Observation on the biology and behavior of the California spiny lobster *Panulirus interruptus* (Randall). *Calif. Fish and Game*, 55(2): 121-131.
- Miller, A.J., D.R. Cayan, T.P. Barnett, N.E. Graham & J.M. Oberhuber. 1994. The 1976-77 climate shift of the Pacific Ocean. *Oceanography*, 7(1): 21-26. <https://doi.org/10.5670/oceanog.1994.11>
- Ortiz-Quintanilla, M. & G. Leon-Carballo. 1988. Los recursos pesqueros de México y sus perspectivas, recurso abulón *Haliotis* spp. *Secretaría de Pesca-INP*. 1: 11-51
- Palacios, D.M., S.J. Bograd, R. Mendelssohn & F.B. Schwing. 2004. Long-term and seasonal trends in stratification in the California Current, 1950-1993. *Journal of Geophysical Research. C. Oceans*, 109(C10): 1-12. <https://doi.org/10.1029/2004JC002380>

- Paul J.A. & F.P. John 1999. Community reorganization in the Gulf of Alaska following ocean climate regime shift. *Marine Ecology Progress Series*, 189: 117-123.  
<https://doi.org/10.3354/meps189117>
- Peterson, W.T. & F.B. Schwing. 2003. A new climate regime in northeast Pacific ecosystems. *Geophysical Research Letters*, 30(17): 1-4.  
<https://doi.org/10.1029/2003GL017528>
- Pineda Barrera, J. & J.A. Diaz de León C. 1981. Fecundidad de la langosta roja *Panulirus interruptus* (Randall, 1840) en Baja California. *Ciencia Pesquera*, 1: 99-118.
- Ponce-Diaz, G., S.E. Lluch-Cota, J.J. Bautista-Romero & D. Lluch-Belda. 2003. Multiscale characterization of the sea temperature in an area of abalone banks (*Haliotis* spp.) at Bahía Asunción, Baja California Sur, Mexico. *Ciencias Marinas*, 29(3): 291-303.  
<https://doi.org/10.7773/cm.v29i3.156>
- Ramos-Rodríguez, A., D. Lluch-Cota, S. Lluch-Cota & A. Trasviña-Castro. 2011. Sea surface temperature anomalies, seasonal cycle and trend regimes in the eastern Pacific coast. *Ocean Science Discussions*, 8(3): 81-90.  
<https://doi.org/10.5194/os-8-81-2012>
- Rodriguez-Valencia, J.A. & F. Caballero-Alegria. 2002. Temporal fluctuations (1989-1999) in the populations of *Haliotis fulgens* and *H. corrugata* (Gastropoda: Haliotidae), at Islas San Benito (Baja California, Mexico). *Journal of Shellfish Research*, 21(1): 163-171.  
<https://doi.org/10.4067/S0717-7178200203010057>
- Rogers-Bennett, L., P.L. Haaker, T.O. Huff & P.K. Dayton. 2002. Estimating baseline abundances of abalone in California for restoration. *California Cooperative Oceanic Fisheries Investigations Reports*, 43, 97-111.
- SAGARPA. 2011. Anuario Estadístico de Pesca.
- Shepherd, S.A. & J.L. Baker. 1998. Biological reference points in an abalone (*Haliotis laevis*) fishery. En: Jamieson G.J. & A. Campbell (eds). North Pacific Symposium on Invertebrate Stock Assessment and management. *Can. Spec. Publ. Fish. Aquat. Sci.*, 125: 441-449.
- Shepherd, S.A., J.R. Turrubiates-Morales & K. Hall. 1998. Decline of the abalone fishery at La Navidad, Mexico: Overfishing or climate change? *Journal of Shellfish Research*, 17(3): 839-846.
- Sierra-Rodríguez, P., M. Muciño-Díaz, J.L. Gutiérrez-González & J.R. Turrubiates-Morales. 2006. La Pesquería de Abulón. 1-33, En: Arreguín-Sánchez, F., L. Beléndez-Moreno, I. Méndez-Gómez & C. Rangel-Dávalos (eds). Sustentabilidad y pesca responsable en México: Evaluación y manejo. México.
- Tegner, M.J. & P.K. Dayton. 1987. El Niño effects on Southern California kelp forest communities. *Advances in Ecological Research*. 17: 243-279.  
[https://doi.org/10.1016/S0065-2504\(08\)60247-0](https://doi.org/10.1016/S0065-2504(08)60247-0)
- Tegner, M.J., P.L. Haaker, K.L. Riser & L.I. Vilchis. 2001. Climate variability, kelp forests, and the southern California red abalone fishery. *Journal of Shellfish Research*, 20(2): 755-763.
- Tourre, Y.M., S.E. Lluch-Cota & W.B. White. 2007. Global multi-decadal ocean climate and small-pelagic fish population. *Environmental Research Letters*, 2(3): 1-9.  
<https://doi.org/10.1088/1748-9326/2/3/034005>
- Vega-Velazquez, A. 2003. Reproductive strategies of the spiny lobster *Panulirus interruptus* related to the marine environmental variability off central Baja California, Mexico: management implications. *Fisheries Research*, 65: 123-135.  
<https://doi.org/10.1016/j.fishres.2003.09.011>
- Vega, A. 2006. Langosta de la Península de Baja California. 155-210. En: Arreguín-Sánchez, F., L. Beléndez-Moreno, I. Méndez-Gómez, R. Solana-Sansores & C. Rangel-Dávalos. (eds). Sustentabilidad y pesca responsable en México: Evaluación y manejo. México.
- Vega, V.A., G. Espinoza C. & C. Gómez Rojo. 1996. Pesquería de la langosta (*Panulirus* spp.): 227-262. En: Casas Valdéz, M.M. y G. Ponce Díaz (eds.), Estudio del potencial pesquero y acuícola del estado de Baja California Sur.
- Vega, A. 2010. Evaluación de la pesquería de langosta roja (*Panulirus interruptus*) en la región centro occidental de la Península de Baja California, mediante modelos dinámicos de biomasa: puntos de referencia y recomendaciones de manejo. Informe Técnico CRIP. La Paz, México. 21 p.
- Vega, A., J. Castro, A. Vega, R. Sanchez, & A. Cosío. 2012. Plan de manejo de la pesquería de langosta en las costas de la Península de Baja California. Informe Técnico CRIP. La Paz, México. 143 p.
- Vega, A., D. Lluch-Belda, D.M. Muciño, C.G. León, V.S. Hernández, D. Lluch-Cota, V.M. Ramade & C.G. Espinoza. 1997. Development, perspectives and management of lobster and abalone fisheries, off northwest Mexico, under a limited access system. 136-142. En: Hancock, D.A., D.C. Smith & J.P. Beumer (eds.). The State of the Science and Management. 2nd World Fish-

- ries Congress proceedings.
- Vega, A., F. Caballero, G. Espinoza, J. Castro & E. Treviño. 2008. Plan de manejo de la pesquería de langosta (*Panulirus* spp.) en las costas de la península de Baja California. Documento de trabajo. Proyecto SAGARPA-CONACYT, 12099.
- Vilchis, L.I., M.J. Tegner, J.D. Moore, C.S. Friedman, K.L. Riser, T.T. Robbins & P.K. Dayton. 2005. Ocean warming effects on growth, reproduction, and survivorship of southern California abalone. *Ecological Applications*, 15(2): 469-480. <https://doi.org/10.1890/03-5326>
- Ware, D. 1995. A century and a half of change in the climate of the NE Pacific. *Fisheries Oceanography*, 4(4): 267-277. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2419.1995.tb00072.x>
- Wolter, K. & M.S. Timlin. (1998). Measuring the strength of ENSO - how does 1997/98 rank? *Weather*, 53: 315-324. <https://doi.org/10.1002/j.1477-8696.1998.tb06408.x>
- Wooster, W. & D. Fluharty. 1985. El Niño North. Washington Sea Grant Program, University of Washington, Seattle. 312 p.
- Xue, Y., T.M. Smith & R.W. Reynolds. 2003. Interdecadal changes of 30-yr SST normals during 1871-2000. *Journal of Climate*, 16(10): 1601-1612. <https://doi.org/10.1175/1520-0442-16.10.1601> [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(2003\)016<1601:ICOYSN>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(2003)016<1601:ICOYSN>2.0.CO;2)

Copyright (c) 2018 Castro-Ortiz, José Luis & Sergio A. Guzmán-del-Proó



Este texto está protegido por una licencia <https://creativecommons.org/>

Usted es libre para Compartir —copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato— y Adaptar el documento —remezclar, transformar y crear a partir del material— para cualquier propósito, incluso para fines comerciales, siempre que cumpla la condición de:

Atribución: Usted debe dar crédito a la obra original de manera adecuada, proporcionar un enlace a la licencia, e indicar si se han realizado cambios. Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que tiene el apoyo del licenciante o lo recibe por el uso que hace de la obra.

[Resumendelicencia - Textocompletodelalicencia](#)

