

INDICES DE SURGENCIA Y CIRCULACION SUPERFICIAL DEL MAR: IMPLICANCIAS BIOLÓGICAS EN UN ÁREA DE DESOVE DE PECES ENTRE LOS VILOS Y VALPARAÍSO, CHILE.

ALDO MONTECINOS¹ y FERNANDO BALBONTÍN²

ABSTRACT: Aldo Montecinos¹ and Fernando Balbontín². Upwelling indices and sea surface circulation: biological consequences for a spawning area of fishes located between Los Vilos and Valparaíso, Chile.

Upwelling indices and sea surface circulation were analysed in a spawning area of fishes located between Los Vilos and Valparaíso, in the central coast of Chile. Upwelling indices were computed from daily wind observations during 1987, 1988 and 1989, in four coastal stations. Tracks of drift bottles released in the study area were analysed. In addition, already existing oceanographic and meteorological information was reviewed.

Upwelling indices showed a well defined annual cycle, with maximum positive values between October and December, and negative values during July. The magnitude of the index was higher in Punta Angeles and Los Vilos stations than in Montemar and Quintero. Surface circulation showed a southward flux during April and May, and a northward flux during springtime and summer, that could be explained by a balance between geostrophy and wind action.

The biological consequences of the annual cycle of the Ekman transport and surface circulation were evaluated. A time concordance was observed between the period of maximum spawning of many species of fishes and the months with moderated upwelling indices. At the same time, possible recirculation mechanisms in the area could favour larval retention in the coastal zone.

Key words: larval retention; drift bottles; Ekman transport.

RESUMEN: Aldo Montecinos¹ y Fernando Balbontín². Indices de surgencia y circulación superficial del mar: implicancias biológicas en un área de desove de peces entre Los Vilos y Valparaíso, Chile.

Se analizaron índices de surgencia y la circulación superficial del mar en un área de desove de peces de la costa central de Chile, comprendida entre Los Vilos y Valparaíso. Los índices de surgencia se computaron a partir de observaciones diarias de los vientos durante 1987, 1988 y 1989, en cuatro estaciones costeras. Se analizó la trayectoria de botellas de deriva lanzadas en la zona de estudio. Además, se efectuó una revisión de los antecedentes oceanográficos y meteorológicos ya existentes.

Los índices de surgencia mostraron un ciclo anual bien definido, con valores máximos positivos entre octubre y diciembre y negativos durante julio. La magnitud del índice fue superior en las estaciones de punta Angeles y Los Vilos, en comparación con las estaciones de Montemar y Quintero. La circulación superficial mostró un flujo hacia el sur durante abril y mayo, y hacia el norte durante la primavera y verano, lo cual se explicaría por un balance entre la geostrofia y la acción del viento.

1 Departamento de Geofísica, Universidad de Chile, Casilla 2777, Santiago, Chile.

2 Instituto de Oceanología, Universidad de Valparaíso, Casilla 13-D, Viña del Mar, Chile.

Se evaluaron las implicancias biológicas que tendría el ciclo anual del transporte de Ekman y la circulación superficial. Se observó una concordancia en el tiempo entre la época de máximo desove de muchas especies de peces y los meses en que el índice de surgencia es moderado. Al mismo tiempo, posibles mecanismos de recirculación en el área favorecerían la retención larval en la zona costera.

Palabras claves: retención larval; botellas de deriva; transporte de Ekman.

INTRODUCCION

Las condiciones ambientales imperantes durante los estadios planctónicos de los peces marinos tienen importantes consecuencias en el reclutamiento (Bakun & Parrish 1980, 1982), en particular el transporte mar afuera hacia zonas alejadas de las áreas adecuadas para su alimentación (Norcross & Shaw 1984, Simpson 1987).

La zona costera comprendida entre

punta Curaumilla y Los Vilos posee condiciones ambientales de especial interés desde el punto de vista pesquero: un centro de surgencia frente a Curaumilla (Silva 1973, Fonseca 1977, Fonseca & Farías 1987) y un área de desove de peces en Papudo, al norte del centro de surgencia (Fig. 1). En particular, es un área de desove de merluza *Merluccius gayi gayi*, aunque un número importante de otras especies de peces desova regularmente en esta zona (Tabla 1).

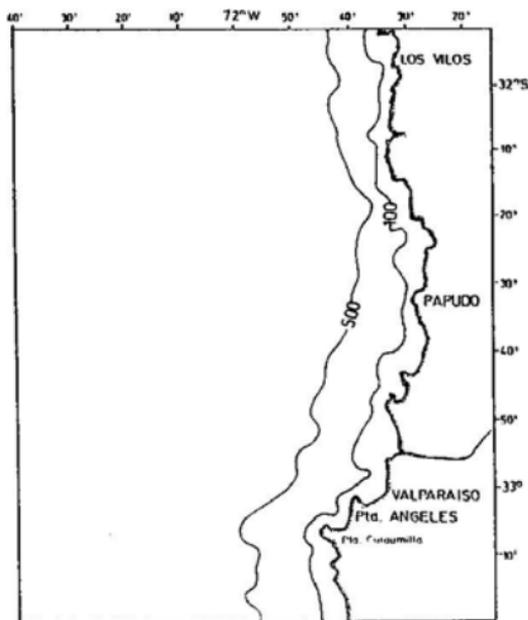


Figura 1. Área geográfica de estudio. Se señalan las isóbatas de 100 y 500m.

Tabla 1. Incidencia mensual de huevos y larvas de peces en la bahía de Valparaíso desde agosto de 1988 a julio de 1989. La x indica desove; X, valores máximos detectados en el período estudiado. Los espacios en blanco indican que no se detectó actividad reproductiva ese mes.

MESES	1988				1989						
	A	S	O	N	D	E	M	A	M	J	J
N° DE PESCAS DE PLANCTON	14	14	12	14	12	12	14	8	12	8	4
HUEVOS Y LARVAS											
<i>Strangomera bentincki</i>	x	X	x	x							
<i>Ethmidium maculata</i>	x		x					x			
<i>Sardinops sagax</i>	X	X	x	x					x	x	x
<i>Engraulis ringens</i>	X	X	x	x	x	X	x	x	x	x	x
Paralepididae											x
<i>Protomyctophum</i> sp	x		x								
<i>Hygophum bruuni</i>	x	x	x			x	x	x	x	X	x
<i>Diogenichthys atlanticus</i>			x	x			x			X	
<i>Diaphus theta</i>						x					x
<i>Triphoturus oculus</i>	x					x	x		x	x	x
<i>Lampanyctus</i> sp a	x	x	x				x		x	x	
<i>Lampanyctus</i> sp b								x			
<i>Lampanyctus</i> sp c						x					
<i>Merluccius gayi gayi</i>	X	X	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Macrouridae									x	x	
<i>Scomberesox saurus s.</i>	x	x	x	x	x	x					x
<i>Syngnathus macrobrachium</i>					x	x					
<i>Sebastes capensis</i>	x	x	x	x	x	x			x	X	x
<i>Normanichthys crockeri</i>	x	X	x	x	x	x		x	x	x	
<i>Hypsoblennius sordidus</i>	x	x	x		x	X	x	x	X	x	
<i>Tripterygion</i> sp			x				x				
Clinidae			x		x	x	x		x		X
<i>Sicyases sanguineus</i>			x			x					
<i>Gobiesox marmoratus</i>			x								
<i>Paralichthys microps</i>	x	x	x	x	x					X	
<i>Hippoglossina macrops</i>			x								

Fuente: Balbontín (1990).

Dentro de los factores reguladores del éxito de la reproducción de los peces, destaca el viento por su incidencia en la intensidad de la surgencia, en la mezcla de la capa de agua superficial y en el transporte de huevos y larvas (Bakun & Parrish 1982). Otro mecanismo que regularía el transporte de larvas de peces es el de ondas internas, que transportarían las larvas hacia la costa (Shanks 1988). Además, en una escala espacial y temporal mayor, destaca el sistema de circulación superficial, y los remolinos de mesoescala (Simpson 1987).

Los objetivos del presente trabajo son caracterizar estacionalmente la surgencia costera y la circulación superficial, en una área de desove de peces de Chile central y estimar las implicancias de estos procesos en la sobrevivencia larval.

ANTECEDENTES

Frente a la costa central de Chile, se presenta el sistema de corrientes de Chile-Perú, el cual ha sido estudiado mediante el método geostrófico (e.g. Günther 1936, Wooster & Gilmartin 1961, Wyrтки 1963,

Sievers & Silva 1975, Konow 1976, Silva & Neshyba 1977), por análisis de isotermas superficiales (Neshyba & Méndez 1976) y por análisis de temperatura y clorofila superficial medidas por satélite (Espinoza *et al.* 1983). En general, se reconoce la rama oceánica y costera de la corriente de Perú-Chile fluyendo hacia el norte y la contracorriente subsuperficial Perú-Chile que se dirige hacia el sur.

Silva & Fonseca (1983), analizaron 6 cruceros hidrográficos realizados entre Valparaíso y Arica, desde la costa hasta 150 millas mar afuera. Estos autores indican que en la zona central habría un flujo superficial permanente hacia el norte durante el verano y el invierno, el cual alcanzaría la costa desde Coquimbo al sur. Por otra parte, utilizando la señal anual del nivel medio del mar en Valparaíso, computado por Konow (1976), se concluye que el flujo medio de la columna de agua iría hacia el sur entre diciembre y mayo, y hacia el norte entre julio y noviembre (Fonseca 1985).

La circulación sobre la plataforma también ha sido estudiada con mediciones directas, mediante botellas de deriva y correntómetros. Los primeros indicios de la variación estacional obtenidos con la utilización de botellas de deriva, mostraron que las corrientes superficiales en la zona costera de Valparaíso fluyen hacia el sur durante abril y mayo, y hacia el norte desde agosto hasta octubre (Hickman 1976).

Por otra parte, mediciones efectuadas con un correntómetro perfilador en punta Curaumilla, mostraron un flujo superficial en dirección nor-oeste (Fonseca 1977). Igualmente, en julio de

1978 se observó que en la bahía de Valparaíso la corriente neta tuvo una dirección hacia el NW (Fonseca 1981). Durante septiembre de 1989 y enero de 1990, Rojas (1991) realizó un estudio correntométrico de corta duración a 2 millas de Papudo y a 30 metros de profundidad. El autor concluye que los fenómenos que más afectan las corrientes en esta zona tienen una periodicidad diurna y que el viento y las mareas serían los responsables de este forzamiento.

Observaciones hidrográficas y mediciones de corrientes, señalaron que en punta Curaumilla se localiza un foco de intensa surgencia (Silva 1973, Fonseca 1977, Johnson *et al.* 1980). Se sugiere que se trataría de una surgencia de doble celda, en conformidad al modelo propuesto por Mooers *et al.* (1976). Además, se indica que el flujo superficial se dirige hacia el nor-oeste, como una proyección de punta Curaumilla. Las puntas en particular, intensifican la surgencia debido a una aceleración de la vorticidad relativa (Arthur 1965). Igualmente, observaciones satelitales de la temperatura superficial del mar realizadas desde el satélite NOAA-F, sugirieron que en punta Curaumilla y en el área al sur de San Antonio se localizan dos focos de surgencia (Fonseca & Farías 1987).

El viento es el principal agente forzante de la surgencia y su estudio permite establecer algunas características de este fenómeno. Su análisis ha sido contemplado en estudios meteorológicos realizados en la zona (Reyes 1960, 1965, Reyes & Romero 1977, y Malet & Arancibia 1983). En particular, se muestra que en punta Angeles, durante el período 1962-1970, el viento predominante

fue del SW y favorable a la surgencia entre octubre y marzo (Reyes & Romero 1977).

MATERIAL Y METODOS

La zona de estudio abarcó desde Los Vilos hasta Valparaíso, extendiéndose desde la costa hasta 60 millas mar afuera (Fig. 1).

Para estudiar la surgencia costera, se analizaron los datos de magnitud y dirección del viento medidos en las estaciones meteorológicas de punta Angeles (33° 03' S, 71° 38' W), Montemar (32° 57' S, 71° 33' W), Quintero (32° 47' S, 71° 32' W) y Los Vilos (31° 56' S, 71° 30' W), observados a las 12, 18 y 24 GMT. El período de estudio comprendió desde enero de 1987 hasta diciembre de 1989. Los resultados se expresaron como índices diarios y mensuales de surgencia (Bakun 1973, 1975). El índice fue calculado utilizando la siguiente expresión:

$$M_x = \frac{\tau_y}{f * \delta_0} * 1000$$

donde M_x = transporte de volumen perpendicular a la costa en m^3/seg por 1000 m de costa (los valores positivos indican un transporte hacia afuera de la costa); f = parámetro de Coriolis; δ_0 = la densidad del mar, considerada constante e igual a 1025 kg/m^3 ; τ_y = la componente del esfuerzo del viento paralelo a la costa que actúa sobre la superficie del mar, estimada sobre la base de la relación:

$$\tau_y = \delta_a * C_d | \bar{W} | \bar{W}$$

donde δ_a = densidad del aire, considerada constante e igual a $1,22 \text{ kg/m}^3$; C_d = coeficiente de arrastre (0,0013) y \bar{W} = velocidad del viento.

Para estudiar la circulación superficial, se lanzaron botellas de deriva durante septiembre de 1989 y enero de 1990 frente a Papudo. Además se analizaron lanzamientos realizados durante mayo de 1982 frente a punta Angeles, por el Instituto de Oceanología y los efectuados en la zona interior y exterior de Valparaíso durante abril, mayo, agosto, septiembre y octubre de 1975 (Hickmann 1976). En la Tabla 2 se puede apreciar la cantidad de botellas utilizadas y las fechas de lanzamiento. La cobertura temporal de información permitió analizar los resultados estacionalmente.

Tabla 2. Fecha y número de botellas de deriva lanzadas en el área de estudio.

FECHA DE LANZAMIENTO	NUMERO DE BOTELLAS
21 y 22 abril 1975	250*
10 y 11 mayo 1975	53*
26 mayo 1975	77*
29 mayo 1975	110*
29 agosto 1975	70*
12 septiembre 1975	50*
3 octubre 1975	9*
15 octubre 1975	120*
27 mayo 1982	1387***
6 septiembre 1989	250***
10 septiembre 1989	250***
4 enero 1990	250***
6 enero 1990	220***

* Hickmann (1976).

** Alcázar, F., datos no publicados. Instituto de Oceanología, Universidad de Valparaíso.

*** Presente estudio.

Para separar los lanzamientos cercanos a la costa y lejanos de ella, las botellas se ordenaron según la distancia del

punto de lanzamiento a la costa. El dato principal que se obtuvo es la dirección relativa al punto de lanzamiento que siguió la botella de deriva. No se computaron velocidades medias debido a la incerteza en el tiempo de recuperación.

Adicionalmente, se analizaron imágenes del satélite NOAA que mostraron la temperatura superficial del mar durante septiembre de 1989 y enero de 1990.

RESULTADOS Y DISCUSION

INDICES DE SURGENCIA

Los índices de surgencia (IS) diarios en los cuatro puntos de observación durante 1987, 1988 y 1989, mostraron en general, que la magnitud del índice fue mayor en punta Angeles y Los Vilos, y menor en Montemar y Quintero (Fig. 2). Se pudo observar que valores positivos del IS se presentaron durante todo el año, siendo más frecuentes en los meses de primavera y verano, y valores negativos fueron más frecuentes en invierno. Valores altos del IS se alternaron con calmas, incluso por valores negativos, lo que es característico de los eventos de surgencia. En otros términos, el viento favorable a la surgencia se presentó como pulsos. Esto ha sido observado por Arcos & Navarro (1986), Fonseca & Farías (1987) y Rutllant (1993) en la costa central de Chile.

Los valores promedios mensuales del IS para las cuatro estaciones durante el período de estudio, mostraron concordancia en la variabilidad temporal en las

estaciones (Fig. 3). El IS alcanzó valores negativos en julio, y valores positivos máximos entre octubre y febrero.

Los índices de surgencia computados en Talcahuano, en el Aeropuerto Carriel Sur (Arcos & Navarro 1986), son del orden de los computados en este estudio. Sin embargo, el período en que la surgencia se mantiene activa durante el año, es mayor en Valparaíso que en Talcahuano, lo que refleja la mayor influencia del anticiclón subtropical del Pacífico sudoriental en esta zona.

Si bien el viento es el agente responsable de la surgencia, existen otros factores que influyen en las características de este fenómeno, tales como la topografía, la forma de la costa y la estratificación de la columna de agua. En este sentido, el IS calculado a partir del esfuerzo del viento, indica si existen o no condiciones favorables para la surgencia pero no da cuenta cabalmente de sus características.

CIRCULACION SUPERFICIAL

En total se lanzaron 3096 botellas y se recuperaron 184, lo que corresponde a un 5,9 % de retorno (Tabla 3). Estos porcentajes indicaron que las botellas lanzadas en la costa entre agosto y enero, se recuperaron al norte y las lanzadas entre abril y mayo fueron arrastradas hacia el sur (Tabla 4). A más de 25 millas de la costa, los porcentajes mostraron un flujo superficial al sur en mayo y ninguna recuperación en enero.

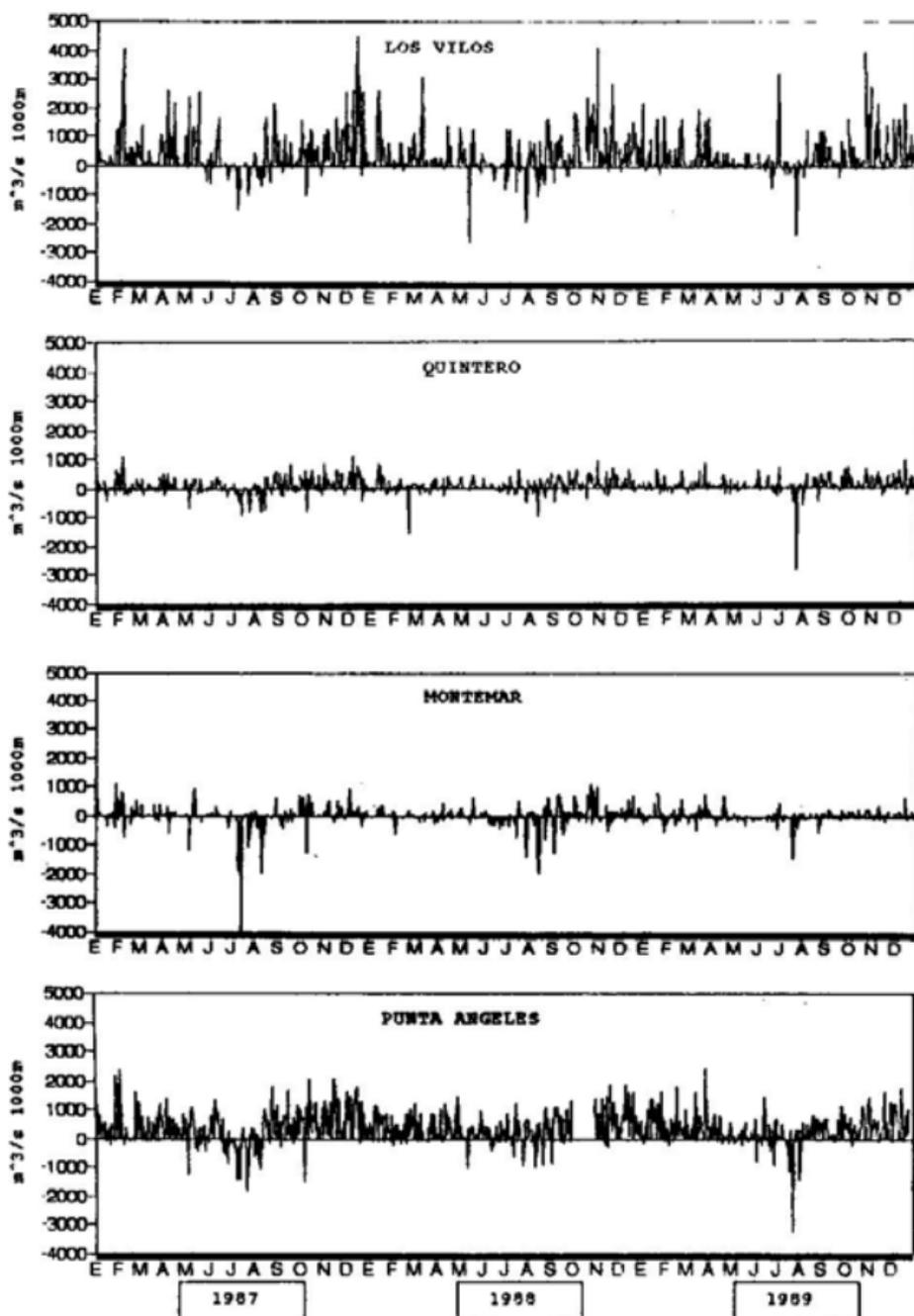


Figura 2. Índices diarios de surgencia en las estaciones de observación de Los Vilos, Quintero, Montemar y punta Angeles durante 1987, 1988 y 1989.

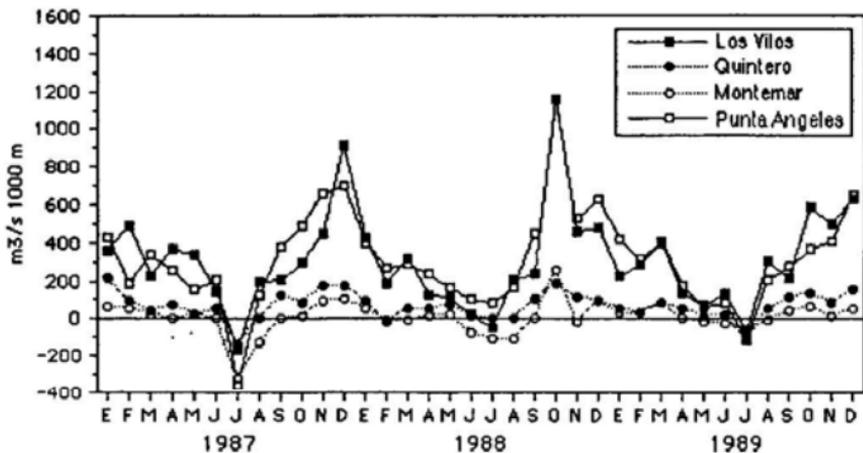


Figura 3. Indices mensuales de surgencia en las estaciones de observación de Los Vilos, Quintero, Montemar y punta Angeles.

La señal anual del nivel medio del mar (NMM), computada por Fonseca (1987), la señal anual del IS, considerando las cuatro estaciones analizadas en la sección anterior, la dirección de la corriente superficial obtenida con botellas lanzadas dentro de las primeras 5 millas (Tabla 4), y los valores medios de la frecuencia del viento SW, de las calmas y de los vientos N, NW y NE (Reyes & Romero 1977), mostraron que el flujo su-

perficial en dirección norte durante agosto, septiembre y octubre, se relaciona a un NMM que está bajo la media, estableciéndose un balance geostrofico entre ambos (Fig. 4). Además, durante estos meses el IS fue positivo, debido a la predominancia de viento SW, lo que implica un transporte de agua mar afuera y afloramiento de agua de menor temperatura, explicándose de esta manera la baja del nivel del mar en la costa.

Tabla 3. Número total de botellas lanzadas mensualmente en el área de estudio, total de botellas recuperadas y porcentaje de retorno.

MES	LANZADAS	RECUPERADAS	PORCENTAJE DE RETORNO
Enero	470	29	6,2
Abril	250	12	4,8
Mayo	1627	90	5,5
Agosto	70	26	37,1
Septiembre	550	25	4,5
Octubre	129	2	2,2
TOTAL	3096	184	5,9

Tabla 4. Porcentaje de botellas recuperadas al norte y al sur del punto de lanzamiento, ordenadas de acuerdo a los meses con observaciones en el área de estudio. Porcentaje expresado en botellas recuperadas según la distancia a la costa desde el punto de lanzamiento.

MES	DIRECCION	DISTANCIA A LA COSTA (MILLAS).			
		50-31	30-21	20-6	5-0
Enero	Norte		0		11,6
	Sur		0		0
Abril	Norte				0
	Sur				4,8
Mayo	Norte	0,2	0,2	0,3	1,3
	Sur	6,4	5,0	0,5	10,4
Agosto	Norte				37,1
	Sur				0
Septiembre	Norte		1,2		7,3
	Sur		0,4		0
Octubre	Norte			0	2,2
	Sur			0	0

Durante abril y mayo, el flujo superficial se dirigió hacia el sur, estando en balance geostrofico con el NMM que está por sobre la media. Sin embargo, durante estos meses el IS fue positivo, por lo que el NMM alto debiera tener otra explicación. Durante enero, y contrario a lo esperado por el NMM alto (flujo hacia el sur), el flujo superficial observado fue

hacia el norte, relacionándose a la predominancia durante estos meses del viento SW, lo que se traduce en un IS positivo. El NMM estaría por sobre la media, debido a la mayor insolación que hay durante el verano (Fonseca 1987), y a una intensificación durante el verano de la contracorriente Perú-Chile (Silva & Fonseca 1983).

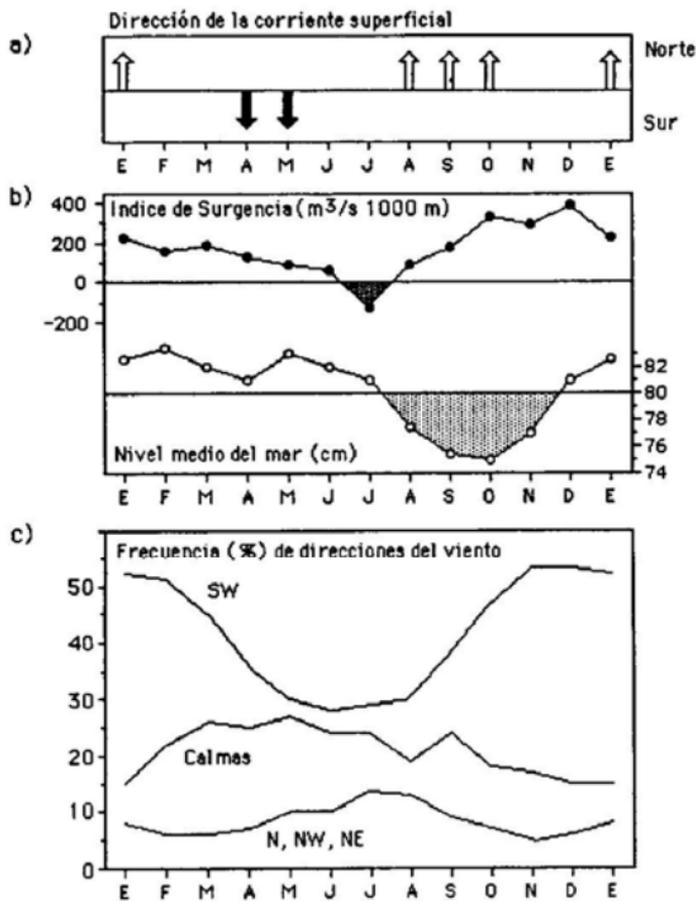
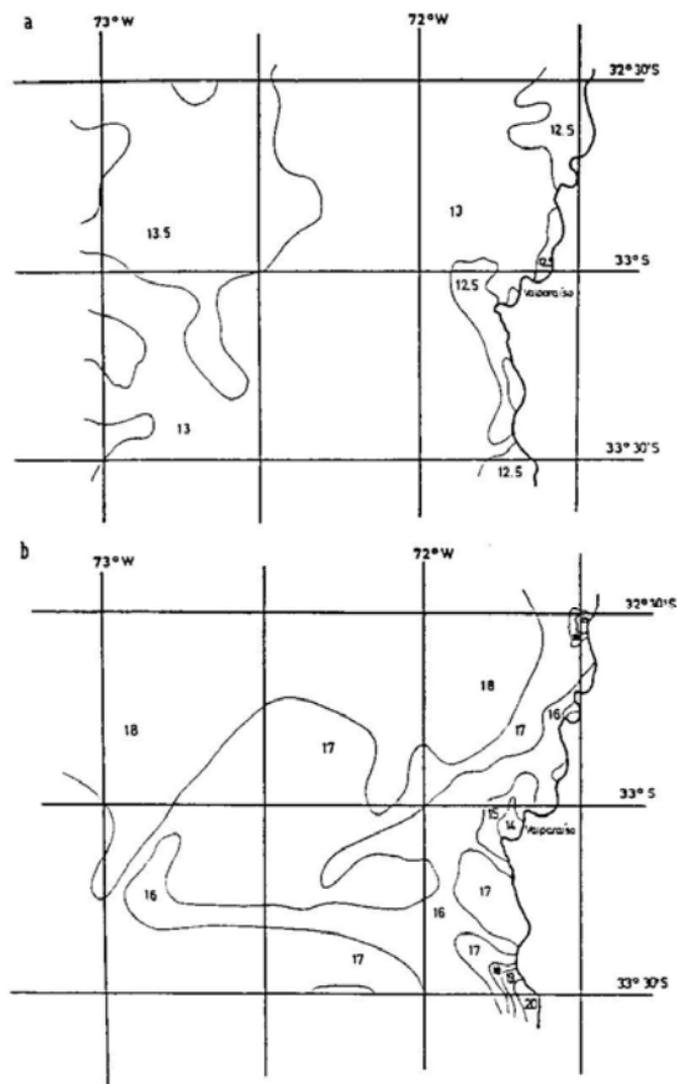


Figura 4. Dirección de las corrientes superficiales obtenidas en este estudio (flechas); señal anual del índice de surgencia (IS) obtenido para las 4 estaciones de observación; nivel medio del mar (Fonseca 1987) y porcentaje de frecuencia de vientos SW, de componente norte (N, NW y NE) y de calmas (Reyes & Romero 1977).

Las imágenes de satélite del 12 de septiembre de 1989 y del 3 de enero de 1990, permiten inferir flujos superficiales

en dirección nor-oeste, asociados a punta Curaumilla (Figs. 5 a y b).



Figuras 5 a y b. Imágenes de la temperatura superficial del mar obtenida por el satélite NOAA y facilitadas por el Centro de Estudios Espaciales de la Universidad de Chile. Escala 1:1000.000. (a) 12 de septiembre de 1989; (b) 3 de enero de 1990. Al sur de Valparaíso, las isotermas de 12,5° C (Fig. 5 a) y de 15° C (Fig. 5 b), permiten inferir un flujo con una componente hacia el norte.

La dirección de la corriente superficial obtenida por la deriva de las botellas, indicó que tanto las botellas lanzadas lejos de la costa como aquéllas que se lanzaron en la costa misma, se recuperaron al sur durante abril y mayo, corrobo-

rando el giro de las botellas hacia el este, o sea, hacia la costa por efecto de la rotación terrestre (Fig. 6). Además, el flujo costero podría asociarse al flujo geostrofico esperado durante estos meses.

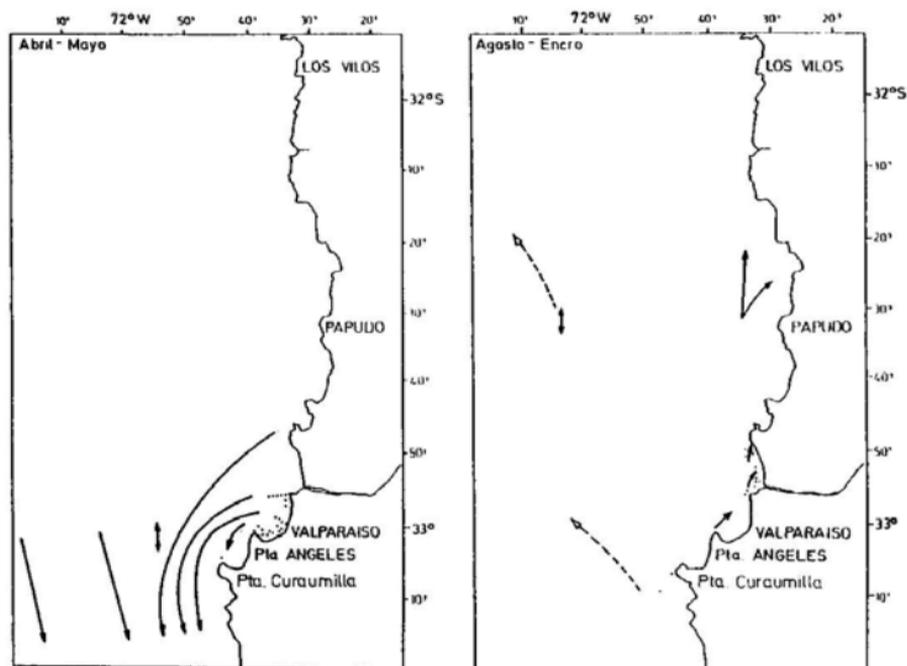


Figura 6. Esquema de la circulación superficial del mar obtenida con botellas de deriva en la zona central de Chile, durante abril-mayo y agosto-enero. Las flechas negras indican la dirección observada y las blancas sugieren la posible dirección al considerar que no hubo retornos. Los puntos señalan la ubicación de los lanzamientos.

Entre agosto y enero, las botellas en la costa siguieron la dirección del viento pero hacia la costa. Esto se pudo deber al efecto directo que tendría el arrastre del viento y al transporte debido al oleaje. En cambio lejos de la costa, los

retornos son muy bajos durante septiembre y nulos durante octubre y enero (Tabla 4). Esto último puede interpretarse como producto de flujo superficial hacia el norte y hacia fuera de la costa.

La corriente neta con dirección NW detectada en la bahía de Valparaíso, podría arrastrar las aguas al exterior de la bahía y conectarlas al flujo a lo largo de la plataforma continental (Fonseca 1981). De hecho, el flujo superficial inferido de las imágenes de satélite, es hacia el nor-oeste en la zona de punta Curaumilla y punta Angeles. Al igual que para los meses de abril y mayo, la circulación superficial en la costa también estaría relacionada al flujo geostrofico mostrado por el nivel del mar.

Lo que muestran las imágenes de satélite adquiere una gran importancia al tratar de explicar el flujo hacia la costa en las estaciones costeras. El transporte de agua hacia afuera de la costa en el área de Valparaíso, con dirección nor-oeste, se proyecta desde la zona de punta Curaumilla y de punta Angeles, no alcanzando a afectar la bahía y las zonas costeras de Quintero y Papudo. Por otra parte, a 30 millas frente a Papudo, el flujo seguiría la dirección nor-oeste del transporte que viene desde el sur. Al no afectar este flujo la circulación superficial en la zona de Quintero y Papudo, adquiere mayor importancia el efecto del oleaje y el arrastre del viento.

IMPLICANCIAS BIOLÓGICAS

Se ha determinado que Papudo es un centro de desove de varias especies de peces (Avilés *et al.* 1979, Rojas *et al.* 1983, Balbontín & Orellana 1984). Muchas de estas especies desovan durante casi todo el año, aunque en algunos meses se observa una mayor abundancia de huevos (Tabla 1).

Para que exista una sobrevivencia

exitosa, debe haber suficiente alimento durante el tiempo en que la larva deriva, y las corrientes deben transportar las larvas hacia zonas favorables para su alimentación en el tiempo apropiado (Parrish *et al.* 1981). Lo último adquiere mayor relevancia si se considera que una vez que la larva consume el vitelo, debe encontrar alimento dentro de un corto período de tiempo. Se ha determinado experimentalmente en el laboratorio, que las larvas de sardina *Sardinops sagax* privadas de alimento, alcanzan el punto de inanición irreversible en sólo 3 días (Balbontín & Cannobbio 1992).

Hay dos hechos señalados en los resultados que se deben considerar detenidamente: la menor magnitud del IS en Montemar y Quintero, comparado con el IS de punta Angeles y Los Vilos; y la circulación superficial hacia el nor-este en Papudo y hacia el nor-oeste en punta Curaumilla durante la primavera-verano.

El primer punto podría indicar que Montemar, Quintero, y probablemente Papudo, son zonas con una mayor influencia local, debido a la acción de los grandes valles presentes en esas zonas.

El valle del río Aconcagua desemboca en Concón, entre Montemar y Quintero, y el valle de los ríos Petorca y de la Ligua desemboca al norte de Papudo. En la proximidad de los valles, en especial en las desembocaduras de los ríos, debiera haber una fuerte influencia del viento que se canaliza por el valle durante el día. En estas zonas, el viento favorable a la surgencia costera debiera ser de menor magnitud, lo que implica que la surgencia sería menor.

Además, si el viento de valle no es de gran magnitud (menor turbulencia), esta zona costera podría considerarse apropiada para el desove y posterior desarrollo larval, de existir además, otras condiciones ambientales apropiadas. Al respecto, el 65 % de la varianza de un índice de mortalidad larval de anchoveta (*Engraulis mordax*) de las costas de California, se explica por el número mensual de "eventos Lasker", los que se computan como el número de veces que se mantienen durante 4 días valores medios del viento bajo 5 m/s (Peterman & Bradford 1987). La razón de esta relación, es que las calmas o vientos de menor magnitud, permiten mantener concentraciones de alimento en la capa superficial, asegurando una mayor probabilidad de que las larvas se ubiquen en esas concentraciones (Lasker 1975, 1981). El valor de 5 m/s, expresado como IS para la zona de estudio, es de aproximadamente 500 m³/s por 1000 m de costa. Este valor umbral es más frecuente en Montemar y Quintero (Fig. 2).

La magnitud del viento señalada, está dentro de la denominada ventana ambiental óptima para el reclutamiento de peces en áreas de surgencia tipo Ekman (Cury & Roy 1989). Por lo tanto, en Montemar y Quintero, y probablemente en Papudo, las condiciones descritas favorecerían la sobrevivencia larval. Mediciones directas de viento y de la TSM en la zona de Papudo, serían de gran utilidad para reafirmar esta hipótesis.

El segundo punto tiene relación con el posible mecanismo de transporte que permite la mayor concentración de huevos y larvas en la zona de Papudo. En

la capa superficial, o sea entre la superficie y la profundidad hasta la cual afecta el viento, el transporte neto en punta Curaumilla es hacia el nor-oeste. Los frentes térmicos son zonas de convergencia donde se hunde el agua proveniente de la costa debido a su mayor densidad. En diciembre de 1975, bajo los 40 m de profundidad frente a punta Curaumilla, el flujo se dirigió hacia la costa y hacia el sur (Fonseca 1977). Estos hechos puntuales podrían ser indicativos de una celda de recirculación en la cual en superficie habría un transporte hacia afuera de la costa hasta llegar a la zona frontal, donde habría un hundimiento y luego en la capa subsuperficial habría un flujo de retorno.

La dinámica que puede explicar el flujo hacia la costa en la capa subsuperficial se encuentra en el modelo denominado "wind setup", propuesto por Csanady (1982). Este mecanismo de recirculación, podría ser utilizado por las larvas para mantenerse en la zona costera.

Frente a Papudo, la circulación superficial mostrada por botellas de derivas fue hacia el nor-este. Huevos y larvas ubicados en la capa superficial deberían seguir esa dirección. Es difícil establecer, a la luz de los antecedentes existentes, una celda de recirculación horizontal que explique la mayor retención larval en Papudo. En 3 cortes hechos frente a los 32°, 32° 30' y 33° S, se observó en general, que el ictioplancton se ubicaba preferentemente en los primeros 100 m de la columna de agua; los huevos y larvas de merluza *Merluccius gayi gayi* se concentraron entre los 25 y 75 m de profundidad; en cambio, huevos y larvas de sar-

dina *Sardinops sagax* y de anchoveta *Engraulis ringens* se concentraron sobre los 25 m (1). Obviamente, los mecanismos de transporte que afectarían a estas especies debieran ser distintos. Huevos y larvas concentrados en la capa superficial serían más afectados por la circulación horizontal, en cambio, para huevos y larvas ubicados bajo esta capa, la circulación vertical, y probablemente el mecanismo de recirculación vertical propuesto, sería más importante.

En términos mensuales, el índice de surgencia y la circulación superficial mostraron que el flujo superficial está dominado exclusivamente por la acción del viento durante enero, inclusive diciembre si se considera que se ha descrito para el área un flujo superficial hacia el nor-oeste (Fonseca 1977). Durante agosto, septiembre y octubre se da un balance entre la acción del viento y el flujo geostrofico. En cambio, durante abril y mayo, el flujo es dominado sólo por las corrientes geostroficas.

Un modelo de circulación que considere las corrientes geostroficas y el transporte Ekman (IS), sería lo bastante bueno para indicar el comportamiento de la deriva de larvas, ya que éstas lo hacen por un período considerable (Parrish *et al.* 1981). De esta manera, las fluctuaciones de corto período del transporte, producidos por mareas o por fluctuaciones diarias del viento, son integradas en el

tiempo, dando como resultados flujos netos. En estos términos, para obtener un reclutamiento exitoso, el desove debiera darse cuando el transporte mar afuera no fuera máximo, ni tampoco durante los meses en que no hay surgencia.

El análisis de la señal anual del IS para las cuatro estaciones consideradas, destaca que el IS es máximo durante octubre, noviembre y diciembre, y que el IS es negativo durante julio, lo que indica que se darían las condiciones favorables para el desarrollo de una surgencia moderada desde enero a junio y de agosto a septiembre (Fig. 4). Es interesante observar que los mayores desoves de sardina común *Strangomera bentincki*, sardina *Sardinops sagax*, anchoveta *Engraulis ringens*, merluza *Merluccius gayi gayi* y mote *Normanichthys crockeri*, efectivamente se observaron durante los meses de agosto y septiembre (Tabla 1).

Resultados obtenidos del estudio de condiciones ambientales en las áreas de desove de diversas especies de peces, sugieren que es factible proponer generalizaciones. Fundamentalmente, estas áreas se caracterizan por favorecer la cohesión de las cohortes de larvas, limitando su dispersión (Bakun & Parrish 1982, Fortier & Gagné 1990). El área de desove descrita en el presente estudio también se ajustaría a las características señaladas.

(1) Balbontín, F. Bravo, R. & V. Valenzuela. 1991. Distribución vertical del ictioplancton en un área de desove de *Merluccius gayi gayi*. XI Jornadas de Ciencias del Mar, Viña del Mar, pág. 9.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen la colaboración de los Sres. Sergio Villaseca y Agustín Aljaro del Instituto de Investigaciones Agropecuarias por la entrega de información meteorológica de la estación de Los Vilos; a la Dirección Meteorológica de Chile, en especial al Sr. Jorge Thienel, por la información proporcionada de la estación de Quintero; al Sr. Martín Farías, del Centro de Estudios Espaciales de la Universidad de Chile, por el suministro de cartas de satélite y al Capitán Américo Rivera, Jefe del Servicio Meteorológico de la Armada, por la información correspondiente al faro punta Angeles; al Sr. Oscar Pizarro, por la revisión del manuscrito, al igual que a dos revisores anónimos. De la misma manera, expresan su reconocimiento al Sr. Luis Rodríguez por su cooperación en la digitación de los datos.

El presente trabajo fue financiado por el proyecto FONDECYT 89-0311.

LITERATURA CITADA

- Arcos, D. & N. Navarro. 1986. Análisis de un índice de surgencia para la zona de Talcahuano, Chile (lat. 37° S). *Investigación Pesquera*, (Chile) 33: 91-98.
- Arthur, R.S. 1965. On the calculation of vertical motion in eastern boundary currents from determination of horizontal motion. *Journal of Geophysical Research*, 70: 2799-2803.
- Avilés, S.; Aguayo, M.; Inostroza, F. & J. Cañón. 1979. Merluza común *Merluccius gayi* (Guichenot). En: Estado actual de las principales pesquerías nacionales. Bases para un desarrollo pesquero. Vol. 1 (peces). Corporación de Fomento de la Producción (AF-79-18). Instituto de Fomento Pesquero, Chile, 90 p.
- Bakun, A. 1973. Coastal upwelling indices, west coast of north America, 1946-71. U. S. Department of Commerce, NOAA Technical Report, NMFS-SSRS-671, 103 p.
- Bakun, A. 1975. Daily and weekly upwelling indices, west coast of north America, 1967-73. U. S. Department of Commerce, NOAA Technical Report, NMFS-SSRS-693, 113 p.
- Bakun, A. & R. H. Parrish. 1980. Environmental inputs to fishery population models for eastern boundary currents regions. En: G.D. Sharp (ed.), *Workshop on the effects of environmental variation on the survival of larval pelagic fishes*. IOC Workshop Report 28, UNESCO, Paris, 67-104.
- Bakun, A. & R. H. Parrish. 1982. Turbulence, transport and pelagic fish in the California and Peru current systems. *CalCOFI Report*, Vol XXIII: 99-112.
- Balbontín, F. 1990. Ictioplancton. En: Variabilidad ambiental y biológico-marina frente a Valparaíso, Chile. *Informes Científicos y Técnicos*, Instituto de Oceanología, Universidad de Valparaíso 11/90: 39-50 + 5 figs. y 4 tablas.
- Balbontín, F. & M. C. Orellana. 1984. Ictioplancton. En: Informe Final del Proyecto: Vigilancia de variaciones climatológicas y bioceanográficas en la zona de Quintero, Chile (L. 32° 45' S) en relación al fenómeno "El Niño", págs. 17-19, 87-104 + anexos.
- Balbontín, F. & A. Cannobbio. 1992. Growth and survival of Chilean sardine *Sardinops sagax*, larvae reared at different densities of food. *Revista de Biología Marina*, 27 (1): 101-112.
- Csanady, G.T. 1982. *Circulation in the coastal ocean*. D. Reidel Publishing Company, London, 274p.
- Cury, P. & C. Roy. 1989. Optimal environmental window and pelagic fish recruitment success in upwelling areas. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 46: 670-680.

- Espinoza, F.R.; Neshyba, S. & Z. Maoxiang. 1983. Surface water motion off Chile revealed in satellite images of surface chlorophyll and temperatures. En: Recursos Marinos del Pacífico. F. Arana (ed.): 41-57.
- Fonseca, T. 1977. Proceso de surgencia en Punta Curaumilla con especial referencia a la circulación. Tesis Escuela de Pesquerías y Alimentos, Universidad Católica de Valparaíso, 90 p.
- Fonseca, T. 1981. Variabilidad de las corrientes en la bahía de Valparaíso. Investigaciones Marinas, Valparaíso 9: 39-60.
- Fonseca, T. 1985. Física de las aguas costeras de la zona central de Chile. Tralka 2(4): 337-354.
- Fonseca, T. 1987. Anomalías de temperatura y nivel del mar en la costa del Pacífico sudoriental. Ciencia y Tecnología del Mar, CONA, 11: 17-44.
- Fonseca, T. & M. Farías. 1987. Estudio del proceso de surgencia en la costa chilena utilizando percepción remota. Investigación Pesquera (Chile), 34: 33-46.
- Fortier, L. & J.A. Gagné. 1990. Larval herring (*Clupea harengus*) dispersion, growth and survival in the St. Lawrence estuary: match/mismatch or membership/vagrancy? Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 47: 1898-1912.
- Günther, E.R. 1936. A report on oceanographical investigations in the Perú coastal current. Discovery Reports, 13: 107-276.
- Hickmann, V. 1976. Corrientes superficiales de la bahía de Valparaíso y zona adyacente, determinada por el sistema de botellas de deriva. Tesis Escuela de Pesquerías y Alimentos, Universidad Católica de Valparaíso, 126 p.
- Johnson, S.R.; Fonseca, T. & H. Sievers. 1980. Upwelling in the Humboldt coastal current near Valparaíso, Chile. Journal of Marine Research, 38 (1): 1-16.
- Konow, D. 1976. Variaciones estacionales del transporte de volumen y velocidad geostrofica entre Valparaíso (71° 40'W) y los 78° W. Tesis Escuela de Pesquerías y Alimentos, Universidad Católica de Valparaíso, 130 p.
- Lasker, R. 1975. Field criteria for survival of anchovy larvae: the relation between inshore chlorophyll maximum layers and successful first feeding. Fishery Bulletin, U. S., 73: 453- 462.
- Lasker, R. 1981. Factors contributing to variable recruitment of the northern anchovy (*Engraulis mordax*) in the California current: contrasting years 1975 through 1978. Rapports et Procès-verbaux des Réunions, Conseil international pour l'Exploration de la Mer, 178: 375-388.
- Malet, B. & A. Arancibia. 1983. Aplicación del espectro rotacional al estudio de la brisa marina en Punta Curaumilla. Revista de Biología Marina, 19 (2): 193-203.
- Mooers, C.N.K.; Collins, C.A. & R.L. Smith. 1976. The dynamic structure of the frontal zone in the coastal upwelling region off Oregon. Journal of Physical Oceanography, 6: 3-21.
- Neshyba, S. & R. Méndez. 1976. Análisis de temperaturas superficiales del mar como indicadoras de movimientos de aguas superficiales en el Pacífico sur-este. Revista de la Comisión Permanente del Pacífico Sur, 5: 129-137.
- Norcross, B.L. & R.F. Shaw. 1984. Oceanic and estuarine transport of fish eggs and larvae: a review. Transactions of the American Fisheries Society, 113: 153-165.

- Parrish, R.H.; Nelson, C.S. & A. Bakun. 1981. Transport mechanisms and reproductive success of fishes in the California current. *Biological Oceanography* 1(2): 175-203.
- Peterman, R.M. & M.J. Bradford. 1987. Wind speed and mortality rate of a marine fish, the northern anchovy (*Engraulis mordax*). *Science (Washington)*, 235: 354-356.
- Reyes, E. 1960. Observaciones climatológicas en Montemar 1958-59. *Revista de Biología Marina*, 10(1-3): 155-179.
- Reyes, E. 1965. Valores climáticos de Montemar. *Revista de Biología Marina*, 12(1-3): 175-183.
- Reyes, E. & H. Romero. 1977. Climatología e interacción océano-atmósfera en la bahía de Valparaíso. *Revista de Biología Marina*, 16(2): 125-161.
- Rojas, R. 1991. Correntometría euleriana en un área de desove de la merluza, Papudo-Chile. *Revista de Biología Marina* 26(1): 141-160.
- Rojas, O.; Mujica, A.; Labra, M.; Ledermann, G. & H. Miles. 1983. Estimación de la abundancia relativa de huevos y larvas de peces. Corporación de Fomento de la Producción, AP 83 - 31, 98 p. + anexo.
- Rutllant, J. 1993. Coastal lows and associated southerly events in north-central Chile. IV International Conference on Southern Hemisphere Meteorology and Oceanography. Hobart, Australia.; 268-269.
- Shanks, A.L. 1988. Further support for the hypothesis that internal waves can cause shoreward transport of larval invertebrates and fish. *Fishery Bulletin, U.S.* 86(4): 703- 714.
- Sievers, H. & N. Silva. 1975. Masas de agua y circulación en el océano Pacífico Sud oriental, latitudes 18° S - 33° S. *Ciencia y Tecnología del Mar, CONA*, 1: 7-67.
- Silva, N. 1973. Variaciones estacionales de temperatura, salinidad y contenido de oxígeno en la zona costera de Valparaíso (septiembre de 1969 - agosto de 1970). *Investigaciones Marinas*, 4(3): 89-112.
- Silva, N. & S. Neshyba. 1977. Corrientes superficiales frente a la costa de Chile. *Ciencia y Tecnología del Mar, CONA*, 3: 37-42.
- Silva, N. & T. Fonseca. 1983. Geostrophic component of the oceanic flow off northern Chile. En: *Recursos Marinos del Pacífico*. P. Arana (ed.): 59-70.
- Simpson, J.J. 1987. Transport processes affecting the survival of pelagic fish stocks in the California Current. *American Fisheries Society Symposium* 2: 39-60.
- Wyrtki, K. 1963. The horizontal and vertical fields of motion in the Peru Current. *Bulletin Scripps Institution of Oceanography*, 8: 313-346.
- Wooster, W.S. & M. Gilmartin. 1961. The Peru-Chile undercurrent. *Journal of Marine Research*, 19: 97-122.