



FONDO DE INVESTIGACION PESQUERA

INFORMES TECNICOS F I P

FIP - IT / 96 - 28

INFORME : DINAMICA DE STOCK DE MERLUZA COMUN Y
FINAL : SU RELACION CON EL MEDIO AMBIENTE

UNIDAD : INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO
EJECUTORA

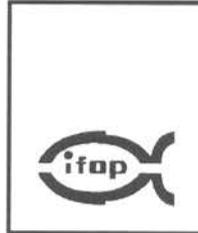
REQUIRENTE:

CONSEJO DE INVESTIGACION PESQUERA - CIP
Presidente del Consejo: JUAN MANUEL CRUZ SANCHEZ

EJECUTORES:

INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO - IFOP
Director Ejecutivo: PABLO ALVAREZ TUZA

INSTITUTO DE INVESTIGACION PESQUERA VIII REGION - IIP
Director Ejecutivo: DAGOBERTO ARCOS ROJAS



JEFE DE PROYECTO:

IGNACIO PAYA C.

AUTORES:

EVALUACION DE STOCK Y MODELOS DE
RECLUTAMIENTOS Y EXITO REPRODUCTIVO
IFOP

IGNACIO PAYA

SERIES AMBIENTALES Y MODELOS DE
DISTRIBUCION DEL STOCK - IIP

AQUILES SEPULVEDA

SERIES AMBIENTALES, FECUNDIDAD,
MADUREZ Y PRODUCCION DE HUEVOS - U.
VALPARAISO

FERNANDO BALBONTIN

MODELOS DE CRECIMIENTO INDIVIDUAL
IFOP

RENZO TASCHERI

ANALISIS EXPLORATORIO DE CORRELACIONES
LINEALES - IFOP

LUIS ADASME



RESUMEN EJECUTIVO

La abundancia del stock y de los reclutamientos de 3 años de edad entre 1968 y 1995, se estimó mediante el programa ADASIM, que realiza un ADAPT (análisis secuencial de poblaciones calibrado por un procedimiento mínimo cuadrático) calibrado con las evaluaciones directas de la abundancia de 1980, 1993 y 1995.

Para calcular la producción de huevos por año, se estimaron las ojivas de madurez y las fecundidades por talla y edad. Las ojivas de madurez se ajustaron mediante métodos de máxima verosimilitud, usando los datos de los muestreos realizados por el Instituto de Fomento Pesquero (IFOP) entre 1982 y 1995. No se encontraron cambios estadísticamente significativos (5% de plausibilidad) en las ojivas de madurez ni en la talla de 50% de madurez. Por lo tanto, para los años anteriores a 1982, se utilizó una ojiva ajustada con todos los datos disponibles (1965 y 1982 a 1995), la cual presentó una talla de 50% de madurez de 38,7 cm.

Debido a que sólo se disponían de mediciones de fecundidad para los años 1965 y 1992, se debió estimar la fecundidad para los otros años. Se ajustó una relación lineal ($r^2=0,74$) entre la fecundidad (fest) y el peso de la gónada (PG) con las mediciones disponibles:

$$\text{fest} = 50345 + 2743\text{PG}$$

Luego, utilizando los pesos de las gónadas y las longitudes de las merluzas registrados en los muestreos biológicos realizados entre 1982 y 1985 por el IFOP, se estimó para cada año, la fecundidad de las gónadas utilizando la ecuación anterior y se ajustó una relación ($f = aL^b$), entre la fecundidad (f) y la longitud (L). Para los años anteriores a 1982, se utilizó la relación entre la fecundidad y la longitud ajustada con la totalidad de los años disponibles.



La producción de huevos por talla se obtuvo combinando la abundancia, la madurez y la fecundidad. Luego, utilizando las claves talla-edad de cada año que posee el IFOP, se estimó la producción de huevos por edades.

Se analizaron las series ambientales de temperatura superficial del mar (TSM), índice de surgencia (IS) y turbulencia (W3), para los puertos de Valparaíso y Talcahuano.

Los promedios anuales de la TSM en Valparaíso y Talcahuano mostraron un período frío (1966-1977) seguido de uno cálido (1977-1988), con la presencia de un período frío en la actualidad. Los promedios anuales del índice de surgencia en Valparaíso superan los $300 \text{ m}^2/\text{s}/1000\text{m}$, lo que indica que la surgencia es un factor importante debido principalmente a la predominancia del anticiclón del Pacífico en la V Región. El índice de surgencia en Talcahuano muestra marcados niveles negativos entre los meses de mayo y julio ($-400 \text{ m}^2/\text{s}/1000 \text{ m}$), producto de la presencia de marcados sistemas frontales. Mientras que la máxima intensidad, se registra entre los meses de noviembre a marzo de cada año. El nivel medio del mar se ha incrementado $0,1 \text{ m}$ desde el período 1966-1972 ($1,05 \text{ m}$) hasta el período 1979-1995 (ca. $1,15 \text{ m}$).

Se determinaron las funciones de autocorrelación, parcial de las series mensuales de las variables ambientales y las correspondientes funciones de correlación cruzada. Tanto la TSM como los índices de surgencia y de turbulencia de Valparaíso y Talcahuano no evidenciaron desfases temporales y mostraron tendencias similares.

Para identificar la mejor forma de agrupar las variables ambientales, se realizaron análisis exploratorios de las correlaciones lineales entre el éxito reproductivo ($\ln(R/H)$) y el promedio de las variables ambientales considerando diferentes períodos de años en el cálculo de este promedio. La mejor correlación ($0,78$) se obtuvo con la turbulencia registrada en septiembre en la VIII región, cuando se utilizó el promedio entre el año de



desove y el de reclutamiento ($W3(T_{T+3})$). Este análisis se realizó también para la razón entre reclutamientos denso-independientes y denso-dependientes ($\ln(1+RI/RD)$) y las variables ambientales, pero todas las correlaciones fueron muy bajas.

Por otra parte, se realizó un análisis de componentes principales, que entregó que el primer componente sólo explicaba entre el 55-76% de la varianza de las variables ambientales (TSM, IS y W3). El error no explicado fue considerado muy alto para ser despreciado en los ajustes de los modelos posteriores, por lo que este tipo de análisis finalmente no se utilizaron.

El modelo de éxito reproductivo que presentó el mejor ajuste ($\alpha=3 \cdot 10^{-8}$, $r^2=0,78$) fue:

$$\ln(R/H) = f(W3(T_{T+3}))$$

Donde $f(W3(T_{T+3}))$, es la función obtenida con el procedimiento de "scatterplot smoothing", la cual se ajustó ($r^2=0,9863$) al siguiente polinomio:

$$y = -5E-05x^2 + 0,0291x - 16,343$$

El modelo de reclutamientos basado en las funciones de "scatterplot smoothing" fue estadísticamente significativo ($\alpha=0,00046$), pero escasamente explicativo ($r^2=0,45$), e incluyó sólo la producción de huevos:

$$\ln(R) = f(H)$$

donde la función de la producción de huevos se ajustó ($r^2=0,9862$) a un polinomio:

$$y = -0,0031x^5 + 0,0743x^4 + 0,6633x^3 + 2,7466x^2 - 5,3178x - 8,3733$$

Al emplear el algoritmo ACE (Alternating Conditional Expectation) para estudiar las relaciones no-lineales, se obtuvieron mejores resultados. El modelo general:



$$f(R) = f(H) + f(TSM) + f(W3) + f(IS)$$

consideró las variables ambientales de cada año para el área total y fue capaz de explicar el 87% y 78% de la variabilidad de los datos de agosto y septiembre, respectivamente.

En este modelo $f(R)$ fue ajustada ($r^2=0,9587$) a:

$$y = 0,0184x - 3,0123$$

La $f(H)$ fue ajustada ($r^2 = 0,9977$) a:

$$y = -0,0072x^6 + 0,2005x^5 - 2,2125x^4 + 12,363x^3 - 36,978x^2 + 56,879x - 36,368$$

La $f(TSM)$ fue ajustada ($r^2 = 0,942$) a:

$$y = -0,1125x^6 + 5,5038x^5 - 81,417x^4 - 129,2x^3 + 14887x^2 - 141345x + 430467$$

La $f(W3)$ fue ajustada ($r^2 = 0,9184$) a:

$$y = -3E-05x^2 + 0,0177x - 2,1591$$

y la $f(IS)$ fue ajustada ($r^2 = 0,9224$) a:

$$y = -3E-15x^6 + 1E-12x^5 + 5E-10x^4 - 1E-07x^3 - 1E-05x^2 + 0,003x + 0,0462$$

Debido a que la función de turbulencia presentó una forma de domo, que sustenta la hipótesis de una Ventana Ambiental Optima (VAO), se analizó el modelo:



$$f(R) = f(H) + f(W3)$$

en el cual $f(R)$ fue ajustada ($r^2 = 0,9926$) a:

$$y = 0,0187x - 3,0653$$

la $f(H)$ fue ajustada ($r^2 = 0,9959$) a:

$$y = -0,0103x^6 + 0,2916x^5 - 3,2864x^4 + 18,88x^3 - 58,36x^2 + 92,671x - 60,136$$

la $f(W3)$ fue ajustada ($r^2 = 0,9499$) a:

$$y = -5E-05x^2 + 0,0263x - 3,3008$$

Este modelo explicó el 78% de los datos y mantuvo la función de turbulencia asociada al efecto VAO. La presencia de la VAO fue consistente al analizar el modelo para cada mes y región por separado.

La hipótesis de VAO establece que cuando las intensidades de las surgencias son entre débiles y moderadas, los reclutamientos son favorecidos por el aumento de la disponibilidad de alimento, que se produce por el incremento de la producción primaria en un régimen de vientos que genera baja mezcla. Por el contrario, cuando las surgencias son muy intensas, aunque la productividad aumente, los reclutamientos son afectados negativamente, debido a que el grado de mezcla es demasiado grande (Cury y Roy, 1989).

Por otra parte, la relación con las variables ambientales se analizó considerando la relación entre la fracción denso-independiente (RI) y denso-dependiente (RD) de los reclutamientos. Estas fracciones, fueron obtenidas aplicando el filtro de Welch (1987) y



muestran que las grandes fluctuaciones de los reclutamientos están asociadas a procesos denso-independientes. Con los reclutamientos denso-dependientes se ajustó, en forma no-lineal, el modelo de stock-reclutamiento de Ricker, el cual presentó un buen ajuste ($r^2 = 0,99$). Este modelo indica que durante los años setenta el stock presentaba signos de sobreexplotación por reclutamiento, luego en la primera mitad de los ochentas, ésta situación se supera y desde la segunda mitad de los ochentas, el stock se encuentra sano, alejado de la sobreexplotación por reclutamiento.

Los modelos de la razón RI/RD, fueron analizados utilizando el algoritmo ACE. El ajuste del modelo.

$$f(\ln(1+RI/RD)) = f(TSM) + f(W3) + f(IS)$$

fue muy bueno ($r^2=0,87$), pero las funciones presentaron formas diferentes por mes. El modelo:

$$f(\ln(1+RI/RD)) = f(W3)$$

fue igualmente bueno ($r^2=0,84$) y la forma de las funciones fueron similares en ambos meses. La función de turbulencia presentó una forma de domo incompleto que sugiere el efecto VAO.

Del análisis del $\ln(1+RI/RD)$ a través de los años de desove, se encontró que los reclutamientos denso-independientes predominan en años en que se presenta el fenómeno de "El Niño". Debido a ésto, se ajustó el modelo global:

$$f(\ln(1+RI/RD)) = f(TSM) + f(W3) + f(IS) + f(IOSMIN)$$

donde IOSMIN es el valor mínimo del índice de oscilación del sur entre julio del año del desove y junio del año siguiente. Para agosto, el modelo tuvo un buen ajuste ($r^2=0,76$) y $f(TSM)$, $f(W3)$ y $f(IS)$ presentaron una VAO y $f(IOSMIN)$ presentó una forma lineal



inversa, que indica que el fenómeno de “El Niño” se relaciona positivamente con los reclutamientos denso-independientes.

En este modelo la $f(\ln(1+RI/RD))$ fue ajustada ($r^2= 0,9797$) a:

$$y = 4,6592x + 0,1439$$

la $f(TSM)$ se ajustó ($r^2= 0,7716$) a:

$$y = -0,1256x^6 + 6,0833x^5 - 88,802x^4 - 155,04x^3 + 16259x^2 - 152600x + 460573$$

la $f(W3)$ se ajustó ($r^2= 0,907$) a:

$$y = -3E-05x^2 + 0,0171x - 2,3587$$

la $f(IS)$ se ajustó ($r^2= 0,9195$) a:

$$y = 8E-11x^4 - 2E-08x^3 - 9E-06x^2 + 0,0021x + 0,1127$$

y la $f(IOSMIN)$ se ajustó ($r^2= 0,8157$) a:

$$y = -0,2559x - 0,6874$$

De los resultados encontrados se concluye que la teoría de la ventana ambiental óptima de 5-6 m/s de velocidad de viento desarrollada para recursos pelágicos, también se aplica para un recurso demersal como merluza, lo cual se explica por los hábitos pelágicos de sus huevos y larvas.

Por otra parte, se analizó el efecto de las variables ambientales (VA) en el crecimiento individual, a través de los años y las edades, utilizando el peso geométrico (GW), la tasa de crecimiento (SGR) y la tasa de cambio anual. Se



observó que los pesos disminuyeron desde 1968 hasta 1981 y luego aumentaron. Se ajustó el modelo de Nilssen *et al.* (1995):

$$SGR = C * e^{aVA} * GW^b$$

y su versión modificada que incluye el efecto densodependiente de la abundancia (N):

$$SGR = C * e^{aVA} * GW^b * (1/N^d)$$

pero ninguno de estos modelos presentó un buen ajuste ($r^2 < 0,3$)

En relación con las fluctuaciones de la abundancia del recurso, se analizó anualmente la información de las capturas por unidad de esfuerzo (CPUE). Durante las fases de estabilización, fluctuación y declinación de la pesquería (1960-1981), la CPUE mostró una alta proporcionalidad con las capturas anuales, mientras que el esfuerzo hacia 1980-81 se había incrementado 7,5 veces respecto del esfuerzo ejercido por la pesquería en 1977.

La actividad pesquera sobre el recurso merluza común se desarrolló inicialmente (1970-1975) en el área comprendida entre Los Vilos (31°51') y Punta Morguilla (38°S). Durante el período 1976-1981, esta área mostró una expansión de más de 90 mn hasta las localidades de Huentelauquén (31°40'S) y Punta Nihue (39°20'S). A partir de 1982, se produce una mayor expansión de la pesquería hacia el sur, realizando regularmente capturas al sur de la Isla Mocha y extendiendo su área de operación hasta la costa de Corral (Valdivia).

Similar a los modelos que relacionan, mediante un sistema de función de transferencia de lazo cerrado con retroalimentación, la temperatura superficial del



mar (TSM) proveniente de estaciones costeras con el índice de oscilación del sur (IOS), se estableció un modelo que relaciona la TSM promedio entre Valparaíso y Talcahuano con el IOS.

Se intentó identificar un modelo de función de transferencia para las series de los centros geográficos medios (CGM) de la distribución de la merluza común con las variables ambientales, lo que no fue posible de establecer puesto que cada vez que se intentó, se obtuvieron estimadores de parámetros que no eran invertibles; ésto es consecuencia de la poca información contenida en la serie de los CGM y debido a la varianza muy alta de la serie de ruido de salida.

Se observó una correlación significativa entre los valores de abundancia anual de las edades 3 y 4 (1986-1995) con el índice de surgencia. De este modo, incrementos en el IST, con un desfase de 5 años, estarían favoreciendo la incorporación de individuos de las edades 3 y 4 al stock de merluza común. Similar situación se observa al relacionar la biomasa de las edades 3 y 4 con la TSM de Talcahuano pero con un retardo de 2 años.

Las variaciones anuales de la abundancia del stock de merluza común (edades 3+) así como la anomalía de la abundancia de los individuos de edades 3 y 4 mostraron una correlación inversa con la anomalía de la temperatura superficial del mar promediada a partir de cartas satelitales para el área de océano localizada entre las latitudes 25°S - 45°S y las longitudes 75°W - 95°W.

Finalmente, se concluye que las variaciones de la abundancia de la merluza común dependen fuertemente de las fluctuaciones de los reclutamientos, las cuales se asocian principalmente a procesos denso-independientes relacionados con los eventos de turbulencia y surgencia y con el fenómeno de El "Niño". Estos eventos cuando tienen intensidades bajas a intermedias afectan favorablemente a la



sobrevivencia de huevos y larvas. Por su parte, el fenómeno de “El Niño” tendría un efecto positivo aumentando la fracción de reclutamientos denso-independientes.



INDICE GENERAL

Página

RESUMEN EJECUTIVO	I
INDICE GENERAL	XI
I. INDICE DE FIGURAS Y TABLAS	1
II. OBJETIVO GENERAL.....	16
III. OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	16
IV. ANTECEDENTES	17
V. MATERIALES Y METODOS.....	27
1. <i>Efectuar un análisis de la dinámica poblacional de merluza común en relación a los procesos biológicos poblacionales e individuales, de mortalidad y de distribución del stock de merluza común.</i>	27
1.1 Procesos biológicos poblacionales	27
a. Datos.....	27
b. Estimación de abundancia	27
c. Estimación de los reclutamientos	31
d. Mortalidad por pesca global y edad específica	31
e. Mortalidad natural.....	32
f. Producción de huevos y fertilidad a la edad	33
g. Distribución del stock de merluza común.	34
1.2 Procesos biológicos individuales	36
a. Crecimiento individual	36
b. Madurez	37
c. Fecundidad versus peso de la gónada y fecundidad histórica.	38
2. <i>Determinar el efecto de cambios ambientales en los procesos biológicos poblacionales e individuales para el stock de merluza común.</i>	40
2.1 Variables ambientales	41
2.2 Fuente de información ambiental	41
2.3 Estimadores de los índices derivados del viento	43
2.4 Análisis de error	45
2.5 Análisis exploratorio para definir la forma de agregar la información ambiental.....	46



3.	<i>Modelar los efectos de cambios ambientales en los procesos biológicos poblacionales e individuales, con el objeto que puedan ser incorporados en modelos de evaluación y manejo para el recurso.</i>	47
3.1	Análisis de la correlación entre las variables ambientales	47
3.2	Métodos no-lineales	48
3.3	Modelo de Reclutamiento.....	49
	a. Modelo de éxito reproductivo.....	50
	b. Modelo de reclutamiento	51
	c. Modelo de reclutamientos denso-dependientes y denso-independiente.	52
3.4	Modelo de crecimiento individual.....	54
4.	<i>Analizar las fluctuaciones de mediano y largo plazo de la abundancia de merluza común en relación a cambios en el sistema océano-atmósfera en el Océano Pacífico Sur.</i>	55
4.1.	EL NIÑO- Índice de Oscilación del Sur y procesos de calentamiento de las temperaturas superficiales del agua de mar	55
4.2	Identificación de procesos oceanográficos de escala media y su relación con las fluctuaciones de la abundancia de la merluza común.....	58
5.	Taller Técnico.....	60
VI.	RESULTADOS	63
1.	<i>Efectuar un análisis de la dinámica poblacional de merluza común en relación a los procesos biológicos poblacionales e individuales, de mortalidad y de distribución del stock de merluza común.</i>	63
1.1	Procesos biológicos poblacionales.....	63
	a. Abundancia del stock	62
	b. Mortalidades por pesca.	64
	c. Reclutamientos.....	64
	d. Producción de huevos y fertilidad a la edad	65
	e. Distribución del stock	65
1.2	Procesos biológicos individuales.....	71
	a. Crecimiento individual	71
	b. Madurez	71
	c. Fecundidad versus peso de la gónada y fecundidad histórica	71
2.	<i>Determinar el efecto de cambios ambientales en los procesos biológicos poblacionales e individuales para el stock.</i>	73
2.1	Variables ambientales	73
	a Variables ambientales de Valparaíso	73
	b. Variables ambientales de Talcahuano.....	75
	c. Relaciones entre las variables ambientales de Valparaíso y Talcahuano.	83



d. Nivel medio del mar en Talcahuano	67
e. Temperaturas superficiales del mar y su relación con otras series ambientales	88
2.2 Análisis exploratorio para definir la forma de agregar la información ambiental.....	89
a. Exito reproductivo.....	89
b. Razón entre reclutamientos independientes y dependientes de la densidad poblacional.....	90
3 <i>Modelar los efectos de cambios ambientales en los procesos biológicos poblacionales e individuales, con el objeto que puedan ser incorporados en modelos de evaluación y manejo para el recurso.</i>	90
3.1 Análisis de la correlación entre las variables ambientales.....	90
3.2 Modelos no-lineales con algoritmo ACE.....	91
3.3 Modelo de Reclutamiento.....	92
a. Modelo de éxito reproductivo.....	92
b. Modelo de reclutamiento	93
c. Modelo de reclutamientos denso-dependientes y denso-independiente.....	94
3.4 Modelo de crecimiento individual.....	98
4. <i>Analizar las fluctuaciones de mediano y largo plazo de la abundancia de merluza común en relación a cambios en el sistema océano-atmósfera en el Océano Pacífico Sur.</i>	99
4.1 El Niño - Índice de Oscilación del Sur (IOS) y procesos de calentamiento de las temperaturas superficiales del agua de mar en la costa	99
4.2 Identificación de procesos oceanográficos de escala media y su relación con las fluctuaciones de la abundancia de la merluza común	103
a. Identificación y análisis exploratorio de la relación entre procesos oceanográficos de escala media y la distribución de la merluza común.....	103
b. Relación entre la distribución mensual de los caladeros de pesca de la merluza común con la temperatura superficial del mar en Chile central.....	107
c. Relación de la abundancia y biomasa anual de la merluza común con procesos oceanográficos de escala media	110
5. <i>Taller Técnico.</i>	113
5.1 Participantes.....	113
5.2 Actividades realizadas.....	114
5.3 Conclusiones y recomendaciones.....	115
VII. DISCUSION	120
1. Abundancia y mortalidad por pesca del stock.....	120
2. Madurez, fecundidad y producción de huevos.....	121
3. Correlaciones entre las variables ambientales	125
4. Ventana ambiental óptima.....	126
5. Modelos de éxito reproductivo.....	127
6. Modelo de reclutamiento	127



7.	Modelo de reclutamientos denso-dependientes y denso-independiente.....	128
7.1	Modelo stock-reclutamientos denso-dependientes.....	128
7.2	Modelos de la razón reclutamientos denso-dependientes y denso-independientes (LN(1+RI/RD)).....	128
8.	Validez general de la "Ventana Ambiental Optima" de "5-6 m/s de velocidad de los vientos".....	130
9.	Crecimiento individual.....	130
10.	Modelo de la oscilación del sur - TSM Chile centro-sur.....	132
11.	Relación entre la abundancia y biomasa de la merluza común con factores ambientales.....	133
VIII.	CONCLUSIONES	136
IX.	BIBLIOGRAFIA	139

FIGURAS

TABLAS



I. INDICE DE FIGURAS Y TABLAS

- Fig. 1 Validación del ADASIM.
- Fig. 2 Biomasa de la fracción 3+
- Fig. 3 Biomasa de la fracción 5+
- Fig. 4 Número de individuos de la fracción 3+
- Fig. 5 Número de individuos de la fracción 5+
- Fig. 6 Mortalidades por pesca globales de hembra
- Fig. 7 Mortalidades por pesca globales de macho
- Fig. 8 Número de reclutas de 3 años
- Fig. 9 Producción de huevos
- Fig. 10 Fertilidad a la edad
- Fig. 11 Evolución del desembarque histórico de merluza común entre 1940 y 1995. fuentes: Servicio Agrícola y Ganadero (1940-1977) y Servicio Nacional de Pesca (1978-1995).
- Fig. 12 Evolución histórica de la captura (ton), esfuerzo (u.o.e.) y cpue (ton/h) de merluza común (período 1960-1981; modificado de Aguayo y Young, 1982).
- Fig. 13 a) Número de embarcaciones y b) toneladas de registro bruto de las embarcaciones que operaron desde los puertos de San Antonio y Talcahuano en la pesquería de merluza común (1960-1981; modificado de Aguayo y Young, 1982).
- Fig. 14 Distribución latitudinal de la captura anual (en porcentaje) por zonas de pesca (intervalos de 1°) para el periodo 1970-1981 (modificado de Aguayo y Young, 1982). a) capturas desembarcadas en San Antonio b) capturas desembarcadas en Talcahuano.



- Fig. 15 Variación temporal del centro de gravedad geográfico de acuerdo al porcentaje de capturas registrado anualmente entre 1970-1981.
- Fig. 16 Distribución espacial de las capturas (ton), esfuerzo (h) y de la cpue (ton/h) en 1982.
- Fig. 17 Distribución espacial de las capturas (ton), esfuerzo (h) y de la cpue (ton/h) en 1983
- Fig. 18 Distribución espacial de las capturas (ton), esfuerzo (h) y de la cpue (ton/h) en 1984
- Fig. 19 Distribución espacial de las capturas (ton), esfuerzo (h) y de la cpue (ton/h) en 1985
- Fig. 20 Distribución espacial de las capturas (ton), esfuerzo (h) y de la cpue (ton/h) en 1986
- Fig. 21 Distribución espacial de las capturas (ton), esfuerzo (h) y de la cpue (ton/h) en 1987
- Fig. 22 Distribución espacial de las capturas (ton), esfuerzo (h) y de la cpue (ton/h) en 1988
- Fig. 23 Distribución espacial de las capturas (ton), esfuerzo (h) y de la cpue (ton/h) en 1989
- Fig. 24 Distribución espacial de las capturas (ton), esfuerzo (h) y de la cpue (ton/h) en 1990
- Fig. 25 Distribución espacial de las capturas (ton), esfuerzo (h) y de la cpue (ton/h) en 1991
- Fig. 26 Distribución espacial de las capturas (ton), esfuerzo (h) y de la cpue (ton/h) en 1992
- Fig. 27 Distribución espacial de las capturas (ton), esfuerzo (h) y de la cpue (ton/h) en 1993
- Fig. 28 Variación en el peso geométrico medio (Kg) en hembra de merluza común de edades 2-12 entre 1968 y 1995.



- Fig. 29 Porcentaje de cambio del peso geométrico de hembras de merluza común de edades 2-12 entre 1968-1996.
- Fig. 30 Variaciones en la talla 50% de primera madurez sexual en la merluza común **Merluccius gayi** desde 1965 a 1995. Los valores previos a 1983 corresponden al promedio de los valores calculados.
- Fig. 31 Ojivas de madurez sexual para la merluza común **Merluccius gayi** desde 1965 a 1995.
- Fig. 32 Relación entre la fecundidad y el peso de la gónada en merluza común **Merluccius gayi** de la zona centro-sur de Chile.
- Fig. 33 Valores de los residuos de la relación entre la fecundidad y el peso de la gónada en merluza común **Merluccius gayi** de la zona centro-sur de Chile.
- Fig. 34 Relación entre la fecundidad estimada y la longitud total de las hembras de merluza común **Merluccius gayi** en 1985.
- Fig. 35 Relación entre la fecundidad estimada y la longitud total de las hembras de merluza común **Merluccius gayi** en 1986.
- Fig. 36 Relación entre la fecundidad estimada y la longitud total de las hembras de merluza común **Merluccius gayi** en 1987.
- Fig. 37 Relación entre la fecundidad estimada y la longitud total de las hembras de merluza común **Merluccius gayi** en 1988.
- Fig. 38 Relación entre la fecundidad estimada y la longitud total de las hembras de merluza común **Merluccius gayi** en 1989.
- Fig. 39 Relación entre la fecundidad estimada y la longitud total de las hembras de merluza común **Merluccius gayi** en 1990.
- Fig. 40 Relación entre la fecundidad estimada y la longitud total de las hembras de merluza común **Merluccius gayi** en 1991.
- Fig. 41 Relación entre la fecundidad estimada y la longitud total de las hembras de merluza común **Merluccius gayi** en 1992.



- Fig. 42 Relación entre la fecundidad estimada y la longitud total de las hembras de merluza común **Merluccius gayi** en 1993.
- Fig. 43 Relación entre la fecundidad estimada y la longitud total de las hembras de merluza común **Merluccius gayi** en 1994.
- Fig. 44 Relación entre la fecundidad estimada y la longitud total de las hembras de merluza común **Merluccius gayi** en 1995.
- Fig. 45 Variaciones en la fecundidad promedio estimada de la merluza común **Merluccius gayi** para el período 1985 -1995. GLOBAL corresponde al valor promedio de ese período; FB65 y FB92 son datos comparativos no estimados de 1965 y 1992, obtenidos de la literatura (ver texto).
- Fig. 46 Relación entre la fecundidad estimada y la longitud total de las hembras de merluza común **Merluccius gayi**, para el total de datos de 1985 a 1995. No se muestran los datos individuales debido a su elevado número.
- Fig. 47 a) Promedios anuales y b) señal anual de la temperatura superficial del mar de la bahía de Valparaíso del período 1966-1995.
- Fig. 48 Promedios mensuales de la temperatura superficial del mar de la bahía de Valparaíso, durante el período 1966-1995.
- Fig. 49 Promedios mensuales de la temperatura superficial del mar de los meses de a) agosto y b) septiembre del período 1966-1995 de la bahía de Valparaíso.
- Fig. 50 a) Promedios anuales y b) señal anual del índice de surgencia en el área de Valparaíso del período 1966-1995.
- Fig. 51 Promedios mensuales del índice de surgencia del área de Valparaíso, durante el período 1966-1995.
- Fig. 52 Promedios mensuales del índice de surgencia de los meses de a) agosto y b) septiembre del período 1966-1995 del área de Valparaíso.
- Fig. 53 a) Promedios anuales y b) señal anual del índice de turbulencia en el área de Valparaíso del período 1966-1995.



- Fig. 54 Promedios mensuales del índice de turbulencia del área de Valparaíso, durante el período 1966-1995.
- Fig. 55 Promedios mensuales del índice de turbulencia de los meses de a) agosto y b) septiembre del período 1966-1995 del área de Valparaíso.
- Fig. 56 a) Promedios anuales de la temperatura superficial del mar -TSM (Talcahuano: período 1965-1995) b) ciclo medio anual de la temperatura superficial del mar (Talcahuano)
- Fig. 57 Promedios mensuales de la temperatura superficial del mar -TSM (Talcahuano: período 1965-1995)
- Fig. 58 Promedios mensuales de la temperatura superficial del mar (Talcahuano) a) promedios de agosto b) promedios de septiembre.
- Fig. 59 a) Promedios anuales del índice de surgencia -IS (Talcahuano: período 1971-1995) b) ciclo medio anual del índice de surgencia (Talcahuano).
- Fig. 60 Promedios mensuales del índice de surgencia -IS (Talcahuano: período 1970-1995).
- Fig. 61 Promedios mensuales del índice de surgencia - IS (Talcahuano) a) promedios de agosto b) promedios de septiembre.
- Fig. 62 a) Promedios anuales del índice de turbulencia - w^3 (Talcahuano: período 1971-1995) b) ciclo medio anual del índice de turbulencia (Talcahuano).
- Fig. 63 Promedios mensuales del índice de turbulencia - w^3 (Talcahuano: período 1970-1995).
- Fig. 64 Promedios mensuales del índice de turbulencia - w^3 (Talcahuano) a) promedios de agosto b) promedios de septiembre.
- Fig. 65 a) Promedios anuales del nivel medio del mar - NMM (Talcahuano: período 1965-1995) b) ciclo medio anual del nivel medio del mar (Talcahuano).
- Fig. 66 Promedios mensuales del nivel medio del mar -NMM (Talcahuano: período 1965-1995).



- Fig. 67 Promedios mensuales del nivel medio del mar -NMM (Talcahuano) a) promedios de agosto b) promedios de septiembre.
- Fig. 68 Funciones de a) autocorrelación y de b) autocorrelación parcial de la serie de temperatura superficial del mar -TSM en Talcahuano.
- Fig. 69 Valores predichos de TSM Talcahuano (l.c.: limites de confianza superior e inferior).
- Fig. 70 Promedios mensuales de la temperatura superficial del mar -TSM (Talcahuano: periodo 1965-1995).
- Fig. 71 Funciones de autocorrelación (ACF) y de autocorrelación parcial (PACF) para las series de temperatura superficial del mar (TSM) de Valparaíso y Talcahuano. a) ACF TSM Valparaíso b) PACF TSM Valparaíso c) ACF TSM Talcahuano d) PACF TSM Talcahuano e) función de correlación cruzada (CCF) TSM Valparaíso - TSM Talcahuano.
- Fig. 72 a) Anomalía de la tsm anual de Valparaíso y Talcahuano b) anomalía de la tsm promedio entre ambas localidades y c) periodos fríos (66-76; 89-94) y cálido de la TSM (77-88).
- Fig. 73 Funciones de autocorrelación (ACF) y de autocorrelación parcial (PACF) para las series del índice de surgencia (IS) de Valparaíso y Talcahuano. a) ACF IS Valparaíso b) PACF IS Valparaíso c) ACF IS Talcahuano d) PACF IS Talcahuano e) función de correlación cruzada (CCF) IS Valparaíso - TSM Talcahuano.
- Fig. 74 Índice de turbulencia (W3) de Valparaíso y Talcahuano. a) función de autocorrelación (ACF) de W3 Valparaíso b) función de autocorrelación parcial (PACF) de W3 Valparaíso c) ACF W3 Talcahuano d) PACF W3 Talcahuano e) función de correlación cruzada (CCF) W3 Valparaíso - TSM Talcahuano. f) ACF nivel medio del mar (nmm) de Talcahuano y g) PACF nivel medio del mar (nmm).
- Fig. 75 Funciones de correlación cruzada entre series de tiempo de Valparaíso y Talcahuano a) CCF TSM Valparaíso - IS Valparaíso b) CCF TSM Valparaíso - w^3 Valparaíso c) CCF IS Valparaíso - w^3 Valparaíso d) CCF TSM Talcahuano - IS Talcahuano e) CCF TSM Talcahuano - w^3 Talcahuano f) CCF TSM Talcahuano - NMM Talcahuano g) CCF IS



Talcahuano - w^3 Talcahuano h) CCF IS Talcahuano - NMM Talcahuano
i) CCF w^3 Talcahuano - NMM Talcahuano.

- Fig. 76 Ajuste de funciones ACE para Agosto en el área total.
- Fig. 77 Funciones para Septiembre en el área total.
- Fig. 78 Ajuste de funciones para Agosto en el área total.
- Fig. 79 Funciones de Agosto de Valparaíso.
- Fig. 80 Funciones de Septiembre de Valparaíso.
- Fig. 81 Funciones de Agosto de Talcahuano.
- Fig. 82 Funciones de Septiembre de Talcahuano.
- Fig. 83 Reclutamiento estimados con ACE para Agosto en el área total.
- Fig. 84 Modelo de éxito reproductivo con turbulencia ($\ln(R/H) = f(W^3(T - T+3))$).
- Fig. 85 Residuales del modelo de éxito reproductivo ($\ln(R/H) = f(W^3(T - T+3))$).
- Fig. 86 Modelo de éxito reproductivo $R/H = W(T - T+3)$.
- Fig. 87 Residuales de modelo de éxito reproductivo $R/H=W(T - T+3)$.
- Fig. 88 Prueba n°1 del filtro de Welch con datos simulados.
- Fig. 89 Prueba n°2 del filtro de Welch con datos simulados.
- Fig. 90 Reclutamientos.
- Fig. 91 Distribución del esfuerzo reproductivo.
- Fig. 92 Espectro.
- Fig. 93 Reclutamientos.



- Fig. 94 Relación huevos y reclutas.
- Fig. 95 Relación huevos y reclutas.
- Fig. 96 Funciones ACE para LN (1+RI/RD) para Agosto en el área total.
- Fig. 97 Funciones ACE para LN (1+RI/RD) de Septiembre en el área total.
- Fig. 98 Ajuste de funciones ACE para reclutamiento y turbulencia para el mes de Agosto en el área total.
- Fig. 99 Ajuste de funciones ACE para reclutamiento y turbulencia para Septiembre en el área total.
- Fig. 100 LN (1+RI/RD) e índice de oscilación del Sur.
- Fig. 101 Ajuste de funciones ACE para reclutamientos e índice de oscilación del Sur.
- Fig. 102 Funciones ACE para LN (1+RI/RD) para Agosto área total.
- Fig. 103 Funciones ACE para LN (1+RI/RD) para Septiembre área total.
- Fig. 104 Promedios mensuales de la temperatura superficial del mar -TSM (Talcahuano: periodo 1965-1995).
- Fig. 105 Promedios mensuales del índice de oscilación del sur -IOS (1966-1994).
- Fig. 106 Función de correlación cruzada entre el índice de oscilación del sur (IOS) y la temperatura superficial promedio de Chile central (preblanqueada con modelo ar(3)).
- Fig. 107 Función de correlación cruzada del modelo entre el índice de oscilación del sur (IOS) y la temperatura superficial promedio de Chile central (preblanqueada con modelo arma(1,1)).
- Fig. 108 Ajuste del modelo de función de transferencia (valores observados y estimados).



- Fig. 109 Funciones de autocorrelación y de autocorrelación parcial de los centros geográficos determinadas para los caladeros de pesca 1 a 4 (1982-1992).
- Fig. 110 Funciones de autocorrelación y de autocorrelación parcial de los centros geográficos determinadas para los caladeros de pesca 5 a 8 (1982-1992).
- Fig. 111 Funciones de autocorrelación y de autocorrelación parcial de los centros geográficos determinadas para los caladeros de pesca 9 a 12 (1982-1992).
- Fig. 112 Serie de tiempo del centro geográfico promedio de los 12 caladeros de pesca de la merluza común.
- Fig. 113 Serie de tiempo para la diferencia de la temperatura superficial entre Talcahuano y Valparaíso.
- Fig. 114 Funciones de autocorrelación y de autocorrelación parcial para la serie de centros geográficos medios de la distribución de la merluza común.
- Fig. 115 Funciones de autocorrelación y de autocorrelación parcial para la serie del índice de surgencia.
- Fig. 116 Función de correlación cruzada entre la serie mensual del centro geográfico medio con el índice de surgencia y con la diferencia de la TSM.
- Fig. 117 Series mensuales de: a) anomalía del índice de surgencia de Talcahuano b) diferencia de la temperatura superficial del mar entre Talcahuano y Valparaíso c) índice de oscilación del sur (1982-1992).
- Fig. 118 Función de correlación cruzada entre la serie mensual del centro geográfico medio con: a) la anomalía del índice de surgencia, b) la diferencia de la TSM y c) el índice de oscilación del sur - IOS.
- Fig. 119 Función de correlación cruzada entre la serie preblanqueada del centro geográfico medio con : a) residuos de la anomalía del índice de surgencia, b) residuos de la diferencia de la TSM y c) residuos del índice de oscilación del sur.



- Fig. 120 Función de correlación cruzada entre la serie preblanqueada del centro geográfico medio (modelo arima(1,2,1)) con los residuos del IOS
- Fig. 121 Imágenes satelitales de la temperatura superficial del mar 1992 a) 13-02-92 b) 11-03-92 c) 20-11-92 d) 24-12-92.
- Fig. 122 Imágenes satelitales de la temperatura superficial del mar 1993 a) 24-01-93 b) 25-01-93 c) 26-01-93 d) 27-01-93 e) 28-01-93.
- Fig. 123 Imágenes satelitales de la temperatura superficial del mar 1993 a) 02-02-93 b) 05-02-93 c) 12-02-93 d) 02-11-93.
- Fig. 124 Imágenes satelitales de la temperatura superficial del mar 1994 1995 a) 13-01-94 b) 09-02-94 c) 26-01-95 d) 19-10-95.
- Fig. 125 Distribución de valores acumulados de irradiancia (en número de pixeles) para 3 sectores costeros.
- Fig. 126 Distribución espacio-temporal de la anomalía de la TSM en una franja del océano pacifico sur entre las latitudes 25°s-45°s y las longitudes 75°w-95°w (periodo de 60 meses: enero de 1991- diciembre de 1995).
- Fig. 127 Funciones de correlación cruzada entre variables ambientales y la abundancia de la merluza común (1968-1995) a) IST - biomasa edades 3 y 4 b) IST - log(abundancia 3+) c) IST - log(abundancia 5+) d) tsmt - biomasa edades 3 y 4 e) IOS - log(abundancia 3 y 4) f) IOS - log(abundancia 3+).
- Fig. 128 Relación entre la abundancia y la biomasa de la merluza común con factores ambientales. índice de surgencia IS Thno - abundancia edades 3 y 4 a) 1971-1995 b) 1986-1995. temperatura superficial del mar TSM Thno - biomasa edades 3 y 4 : c) 1971-1995 d) 1986-1995. índice de oscilación del sur IOS - abundancia edades 3 y 4: e) 1973-1995 f) 1986-1995.
- Fig. 129 Relación entre la abundancia de la merluza común (edades 3 y 4) y la anomalía de la TSM a nivel regional (lat. 25°S-45°S y long. 75°W-95°W). a) TSM regional - abundancia 3+ b) TSM regional - anomalía de la biomasa edades 3 y 4.



TABLAS

- Tabla 1. Parámetros de las ecuaciones correspondientes al ajuste no lineal de la relación entre la fecundidad estimada (f) y la longitud total (LT) en la merluza común **Merluccius gayi**, desde 1985 a 1995. Para el resto de los años, se calculó un valor promedio (1985-1995). a y b , parámetros de la relación $f = a \cdot L^b$; src , suma de los residuos al cuadrado.
- Tabla 2. Matriz de correlaciones entre el $\ln(R3/H)$ y el índice de surgencia de agosto en la V región.
- Tabla 3. Matriz de correlaciones entre el $\ln(R3/H)$ y la temperatura superficial del mar de agosto en la V región.
- Tabla 4. Matriz de correlaciones entre el $\ln(R3/H)$ y la turbulencia de agosto en la V región.
- Tabla 5. Matriz de correlaciones entre el $\ln(R3/H)$ y el índice de surgencia de agosto en la VIII región.
- Tabla 6. Matriz de correlaciones entre el $\ln(R3/H)$ y la temperatura superficial del mar de agosto en la VIII región.
- Tabla 7. Matriz de correlaciones entre el $\ln(R3/H)$ y la turbulencia de agosto en la VIII región.
- Tabla 8. Matriz de correlaciones entre el $\ln(R3/H)$ y el índice de surgencia de septiembre en la V región.
- Tabla 9. Matriz de correlaciones entre el $\ln(R3/H)$ y la temperatura superficial del mar de septiembre en la V región.
- Tabla 10. Matriz de correlaciones entre el $\ln(R3/H)$ y la turbulencia de septiembre en la V región.
- Tabla 11. Matriz de correlaciones entre el $\ln(R3/H)$ y el índice de surgencia de septiembre en la VIII región.
- Tabla 12. Matriz de correlaciones entre el $\ln(R3/H)$ y la temperatura superficial del mar de septiembre en la VIII región.



- Tabla 13. Matriz de correlaciones entre el $\ln(R3/H)$ y la turbulencia de septiembre en la VIII región.
- Tabla 14. Matriz de correlaciones entre el $\ln(R3/H)$ y el índice de surgencia de agosto, en promedio para la V y VIII región.
- Tabla 15. Matriz de correlaciones entre el $\ln(R3/H)$ y la temperatura superficial del mar de agosto, en promedio para la V y VIII región.
- Tabla 16. Matriz de correlaciones entre el $\ln(R3/H)$ y la turbulencia en agosto, en promedio para la V y VIII región.
- Tabla 17. Matriz de correlaciones entre el $\ln(R3/H)$ y el índice de surgencia de septiembre, en promedio para la V y VIII región.
- Tabla 18. Matriz de correlaciones entre el $\ln(R3/H)$ y la temperatura superficial del mar de septiembre, en promedio para la V y VIII región.
- Tabla 19. Matriz de correlaciones entre el $\ln(R3/H)$ y la turbulencia de septiembre, en promedio para la V y VIII región.
- Tabla 20. Matriz de correlaciones entre el $\ln(R3/H)$ y el primer componente principal de agosto en la V región.
- Tabla 21. Matriz de correlaciones entre el $\ln(R3/H)$ y el primer componente principal de septiembre en la V región.
- Tabla 22. Matriz de correlaciones entre el $\ln(R3/H)$ y el primer componente principal de agosto en la VIII región.
- Tabla 23. Matriz de correlaciones entre el $\ln(R3/H)$ y el primer componente principal de septiembre en la VIII región.
- Tabla 24. Matriz de correlaciones entre el $\ln(1+RI/RD)$ y el índice de surgencia de agosto en la V región.
- Tabla 25. Matriz de correlaciones entre el $\ln(1+RI/RD)$ y la temperatura superficial del mar de agosto en la V región.
- Tabla 26. Matriz de correlaciones entre el $\ln(1+RI/RD)$ y la turbulencia de agosto en la V región.



- Tabla 27. Matriz de correlaciones entre el $\ln(1+RI/RD)$ y el índice de surgencia de agosto en la VIII región.
- Tabla 28. Matriz de correlaciones entre el $\ln(1+RI/RD)$ y la temperatura superficial del mar de agosto en la VIII región.
- Tabla 29. Matriz de correlaciones entre el $\ln(1+RI/RD)$ y la turbulencia de agosto en la VIII región.
- Tabla 30. Matriz de correlaciones entre el $\ln(1+RI/RD)$ y el índice de surgencia de septiembre en la V región.
- Tabla 31. Matriz de correlaciones entre el $\ln(1+RI/RD)$ y la temperatura superficial del mar de septiembre en la V región.
- Tabla 32. Matriz de correlaciones entre el $\ln(1+RI/RD)$ y la turbulencia de septiembre en la V región.
- Tabla 33. Matriz de correlaciones entre el $\ln(1+RI/RD)$ y el índice de surgencia de septiembre en la VIII región.
- Tabla 34. Matriz de correlaciones entre el $\ln(1+RI/RD)$ y la temperatura superficial del mar de Septiembre en la VIII región.
- Tabla 35. Matriz de correlaciones entre el $\ln(1+RI/RD)$ y la turbulencia de agosto en la VIII región.
- Tabla 36. Matriz de correlaciones entre el $\ln(1+RI/RD)$ y el primer componente principal de agosto en la V región.
- Tabla 37. Matriz de correlaciones entre el $\ln(1+RI/RD)$ y el primer componente principal de septiembre en la V región.
- Tabla 38. Matriz de correlaciones entre el $\ln(R3/H)$ y el primer componente principal de agosto en la VIII región.
- Tabla 39. Matriz de correlaciones entre el $\ln(R3/H)$ y el primer componente principal de septiembre en la VIII región.
- Tabla 40. Resultados del 1º componente principal.



- Tabla 41. Ajuste de las funciones del algoritmo ACE. H=Producción de huevos, TSM=Temperatura Superficial del Mar IS= Índice de Sugerencia y W3= Turbulencia.
- Tabla 42. Ajuste de la función de reclutamiento del algoritmo ACE.
- Tabla 43. Función de producción de huevos del algoritmo ACE.
- Tabla 44. Función de turbulencia del algoritmo ACE.
- Tabla 45. Resultados del ajuste del modelo de éxito reproductivo $LN(R/H)= A+f(H) + F(W3(T_{-}T+3)+e$.
- Tabla 46. Modelo de éxito reproductivo $LN(R/H)= F(W3(T_{-}T+3)$.
- Tabla 47. Modelo de éxito reproductivo $(R/H)= A + W(T_{-}T+3)$.
- Tabla 48. Modelo de éxito reproductivo $(R/H)= W(T_{-}T+3)$.
- Tabla 49. Modelo de reclutamiento con funciones de Cleveland $LN(R)= A+f(H) + F(W3(T_{-}T+3)$.
- Tabla 50. Modelo de reclutamiento con funciones de Cleveland $LN(R)= f(H)$.
- Tabla 51. Ajuste del modelo stock-reclutas denso-dependientes.
- Tabla 52. Ajuste de las funciones ACE para $ln(1+RI/RD)$.
- Tabla 53. Parámetros de la función $SGR_e=e^{aVA}GW^b$ ajustada para la merluza común,SGR: tasa específica de crecimiento a la edad E; C: Constante; VA: variable ambiental; GW:peso geométrico a la edad. ES: error estándar respectivo, ISV: índice surgencia Valpo.;W3V:turbulencia Valpo.; TSMT: temperatura superficial del mar Thno.
- Tabla 54. Parámetros de la función $SGR =C eaVA GW^b (1/Nd)$ ajustada para merluza común, SGR : tasa específica de crecimiento a la edad E; C: constante; VA: variable ambiental; GW: peso geométrico a la edad. N: abundancia promedio estimada. ES: error estándar respectivo. ISV: índice surgencia Valpo.; W3T: turbulencia Thno ; W3V: turbulencia Valpo.; TSMT: temperatura superficial del mar de Talcahuano.



- Tabla 55. Variación interanual de los centros geográficos medios y del porcentaje acumulado del esfuerzo de los 12 caladeros de pesca de la merluza común.
- Tabla 56. Centros geográficos medios por caladero de pesca y promediados por sector (sector 1: caladeros 9-12; sector 2: caladeros 4-8; sector 3: caladeros 1-3) en 1992 y 1993.



II. OBJETIVO GENERAL

Analizar la dinámica poblacional del stock de merluza común (**Merluccius gayi**) explotado entre el límite norte de la IV región y el paralelo 41°28,6' L.S., considerando los efectos que puedan tener los cambios ambientales en los procesos poblacionales e individuales

III. OBJETIVOS ESPECIFICOS

1. Efectuar un análisis de la dinámica poblacional de merluza común en relación a los procesos biológicos poblacionales e individuales, de mortalidad y de distribución del stock de merluza común.
2. Determinar el efecto de cambios ambientales en los procesos biológicos poblacionales e individuales para el stock de merluza común.
3. Modelar los efectos de cambios ambientales en los procesos biológicos poblacionales e individuales, con el objeto que puedan ser incorporados en modelos de evaluación y manejo para el recurso.
4. Analizar las fluctuaciones de mediano y largo plazo de la abundancia de merluza común en relación a cambios en el sistema océano-atmósfera en el Océano Pacífico Sur.



IV. ANTECEDENTES

La merluza común, **Merluccius gayi gayi**, es una especie de hábitos demersales que junto a otras especies pelágicas, es un habitante característico del ecosistema marino asociado a uno de los sistemas de margen oriental conocido como Corriente de Humboldt. Este ecosistema comparte con otras tres regiones subtropicales asociadas a las corrientes de California, Canarias y Benguela, rasgos comunes entre los que destacan la alta productividad, la dinámica ambiental intensa expresada en anomalías térmicas, fenómenos advectivos y de transporte (Bakun 1985).

La pesquería de merluza se **desarrolló** durante la primera mitad de la década del cuarenta, con desembarques de 10 mil t, luego experimentó un **crecimiento** sostenido, alcanzando a mediados de los cincuenta un desembarque máximo de 90 mil t, posteriormente presentó una fase de **estabilidad** que duró hasta el inicio de los sesenta con desembarques de 80 mil t. Durante los años sesenta presentó una fuerte **fluctuación**, en la cual se registró el máximo desembarque histórico de 128 mil t (1968). En los setenta la pesquería sufrió una gran **declinación**, para volver a alcanzar un período de **estabilidad** en el inicio de los ochenta con desembarques de 30 mil t. Finalmente, desde mediados de los ochenta la pesquería ha entrado en una fase de **crecimiento**, desembarcándose en 1995 un total 70 mil t.

Esta gran variabilidad histórica de los desembarques se corresponde con cambios en las abundancias del stock. No obstante, la gran importancia de esta pesquería existe escaso conocimiento de las causas de estas fluctuaciones. En relación con los cambios de abundancia en el período 1968-1981, Aguayo y Young (1982) y Aguayo y Robotham (1984) postulan que la gran disminución de la abundancia entre 1968 y 1971 se debió a una progresiva disminución de los reclutamientos, producto de una sobrexplotación por reclutamiento. También postulan como causa probable, la



ocurrencia de relaciones interespecíficas desfavorables, debido a la disminución de la abundancia de las principales presas (sardina común y langostino) y al aumento de la abundancia de los competidores (jurel). Con relación al período 1972-1981, los autores indican que el tamaño del stock parental se estabilizó, sin embargo esta estabilidad en los reclutamientos se mantuvo sólo hasta 1975, cuando los reclutamientos volvieron a caer, producto de readecuaciones frente a la disminución de la abundancia de presas y aumento de los competidores. En estas hipótesis destaca la ausencia de los posibles efectos de variables ambientales en la dinámica del stock de merluza común.

El hecho que el reclutamiento de peces a una pesquería puede exhibir fluctuaciones fuertes de varios ordenes de magnitud (Peterman y Bradford 1987), ha motivado diversos estudios que han puesto de manifiesto la importancia de la componente ambiental en la tasa de sobrevivencia larval. Condiciones favorables o bien desfavorables para su desarrollo y crecimiento serían determinantes de la fuerza de la clase anual a que estas larvas dan origen (Hjort 1914, Cushing 1975, Lasker 1975, Sinclair e Iles 1988).

A fines de la década de los años 70, Lasker (1975, 1985) destacó que la turbulencia generada por el viento afecta la sobrevivencia de las larvas en primera alimentación, debido a los efectos disruptivos de la turbulencia sobre las concentraciones de alimento disponible. Más tarde, Bakun y Parrish (1982) y Parrish *et al.* (1983) establecieron argumentos acerca de porque el transporte de agua inducida por la velocidad y dirección del viento deberían ser un factor importante en el reclutamiento.

Cury y Roy (1989) postulan que en ambientes de surgencia tipo Ekman, en los cuales la turbulencia se relaciona directamente con la surgencia, existe una relación no-lineal tipo "domo" entre el éxito del reclutamiento y la intensidad del viento, que define una



ventana ambiental optima, la cual se genera cuando los vientos desarrollan velocidades entre 5 a 6 m/s. Esto se ha encontrado en la anchoveta peruana (**Engraulis ringens**), en la sardina del Pacífico (**Sardinops sagax caerulea**), en la sardina de Moroco (**Sardina pilchardus**), en las sardinelas de Senegal (**Sardinella aurita** y **Sardinella maderensis**) (Cury y Roy 1989) y en la anchoveta del norte (**Engraulis mordax**) (Roy et al. 1992).

En la merluza de California (**Merluccius productus**), se determinó que la fuerza de la clase anual y el transporte de Ekman mar afuera en el momento del desove, estaban negativamente correlacionados (Bailey 1981). En esta especie, en la etapa temprana del ciclo vital se determina la fuerza de la clase anual (Hollowed y Bailey 1989). La dinámica de este recurso está relacionada con procesos climáticos y oceánicos que experimentan fluctuaciones periódicas (Francis et al. 1989). La sobrevivencia larval estaría favorecida por períodos de transporte débil mar afuera durante el comienzo del invierno, seguido por períodos de surgencia crecientes uno o dos meses después (Hollowed y Bailey 1989).

Por otra parte, y en contraste con las teorías actuales, que indican que los factores ambientales durante los primeros estados de la historia de vida dan cuenta de la mayoría de las variaciones en los reclutamientos, Jacobson y MacCall (1995) encuentran que para la sardina (**Sardinops sagax**) el éxito reproductivo (reclutas producidos por biomasa desovante), se correlaciona mejor con el promedio de la temperatura superficial del mar que incluye las temporadas en que los reclutas tienen de 1 a 4 años de edad.



Recientemente, Balbontín **et al.** (1994) estudiaron el efecto de variables ambientales sobre los reclutamientos de merluza común. Para esto dividieron la serie de reclutamientos en su componente denso-dependiente y denso-independiente, mediante la aplicación del filtro de Welch (1986 y 1987). Analizando diferentes variables ambientales en la época de desove, lograron ajustar un modelo que relaciona la razón entre los reclutamientos denso-dependientes y denso-independiente con la temperatura superficial del mar y la intensidad de la surgencia. No obstante, que el modelo fue significativo ($P=0,0004$), éste sólo fue capaz de explicar el 53% ($R^2=0,53$) de la varianza total. Dos causas principales podrían dar cuenta de la baja capacidad explicativa del modelo: 1) Las series de reclutamiento se estimaron mediante un análisis secuencial de poblaciones (ASP) calibrado con una serie de captura por unidad de esfuerzo (cpue) que proviene de un esfuerzo de pesca sin estandarizar, lo que significa que la tendencia de la cpue no sólo reflejaría la abundancia del stock, sino que también cambios en la eficiencia de las embarcaciones y 2) La aplicación a toda la serie histórica de la fecundidad y la ojiva de madurez del año 1965 estimada por Balbontín y Fisher (1981).

Más recientemente, Payá **et al.** (1996a) estiman la abundancia de merluza común mediante un ASP calibrado con las evaluaciones directas realizadas por métodos hidroacústicos en los años 1980, 1993 y 1995, obteniendo estimados de abundancia independientes de la cpue, que no estarían afectados por los cambios tecnológicos realizados en la mayoría de las embarcaciones (Payá **et al.** 1996b). Utilizando los nuevos estimados de abundancia Paya **et al.** (1996a), lograron ajustar una relación lineal entre el número de reclutas producidos por biomasa desovante (R/SSB) y el índice de surgencia del mes de septiembre. Este nuevo modelo fue altamente significativo ($P=0,000007$), siendo el índice de surgencia capaz de explicar el 71% de la variabilidad de R/SSB .



No obstante los avances en los últimos años en el estudio del efecto de variables ambientales en los reclutamientos del stock de merluza común, persisten una gran cantidad de interrogantes. Dentro de éstas las más importantes se refieren a: 1) El efecto de la incorporación de datos actualizados en las estimaciones de reclutamientos del ASP; 2) La incorporación de datos actualizados de las variables ambientales, que sólo se han analizado hasta 1984 (Balbontín **et al.** 1996 y Payá **et al.** 1996a); 3) El estudio de las variables ambientales de la VIII región, ya que sólo se han analizado las provenientes de la V región (Balbontín **et al.** 1996 y Payá **et al.** 1996a).

Por otra parte, resulta claro que las variables ambientales también pueden afectar otros procesos biológicos poblacionales e individuales, como el crecimiento, la reproducción y mortalidad del stock.

Para analizar el efecto de variables ambientales sobre la dinámica reproductiva del recurso se debe considerar que en peces es frecuente que se produzcan cambios interanuales en la madurez (ojiva de madurez y talla de 1º madurez) y en la fecundidad. En varias especies de peces se han observado cambios de largo plazo en estos parámetros. En estudios comparativos de poblaciones de peces (**Coregonus clupeaformis** y **Salvelinus namaycush**) de lagos sometidos a explotación y no explotados, se encontró un aumento en la fecundidad individual en los lagos explotados (Healey 1978). Resultados similares se encontraron para el lucio (**Esox lucius**) en tres lagos de Michigan, en los cuales el aumento de la intensidad de pesca produjo la disminución de la edad de primera madurez y un crecimiento de la energía total destinada a reproducción (Diana 1983). En el bacalao del Atlántico (**Gadus morhua**) la disminución de la longitud de la primera madurez sexual entre 1959 y 1979 se habría producido por la remoción de los individuos más grandes y más viejos y/o por la disminución del stock (Beachman 1983). En la merluza de Sudáfrica



(**Merluccius capensis**), la disminución observada en la longitud de la primera madurez, entre otros procesos, habría permitido la recuperación de su abundancia (Payne 1991). Evidencia empírica de cambios en la fecundidad en función de la densidad poblacional se han descrito en el "halibut" (Schmitt y Skud 1978), en el arenque del Atlántico (Anthony y Waring 1980, Kelly y Stevenson 1986), en el arenque y en la anchoveta (Shelton y Armstrong 1983).

Debido a que la merluza común ha presentado fuertes fluctuaciones de la abundancia es probable que esta especie haya experimentado cambios interanuales en la producción de huevos. Sin embargo, existen escasos antecedentes sobre su madurez y fecundidad (Poulsen 1952; Balbontín y Fischer 1981; Furet 1982, citado en Alarcón y Arancibia 1993; Alarcón y Arancibia 1993; Balbontín y Bravo 1993). Por lo tanto, en este trabajo se analizó los posibles cambios interanuales en la madurez y fecundidad, que pudieran afectar la producción de huevos.

En relación al posible efecto de las variables ambientales sobre el crecimiento de merluza común, la temperatura surge como una variable que podría estar afectando las tasas de crecimiento. Para el caso del bacalao (**Gadus morhua**), la temperatura junto con la densidad poblacional y la disponibilidad de las presas presenta una fuerte correlación con la tasa específica de crecimiento (Nielsen *et al.* 1995). Por lo tanto, en este trabajo se analizó este tipo de modelos para merluza.

También, es posible que la distribución del recurso, así como su disponibilidad puedan ser alterados por variables ambientales, determinando cambios en los rendimientos de pesca obtenidos en los diferentes caladeros. Autores como Mendelsohn y Cury (1987), Yáñez *et al.* (1992) y Horne (1994) han identificado que la temperatura superficial del mar es una variable que podría reflejar cambios espaciales y temporales en áreas de surgencia.



En relación con esto último se deben considerar los antecedentes relativos al área de estudio. El área entre los 30° y 40° de latitud sur constituye la principal área de distribución de la merluza común en Chile centro-sur (Payá *et al.* 1996b). Esta área se caracteriza por una serie de peculiaridades a considerar en estudios de interacción entre las condiciones oceanográficas y la pesquería: (1) la existencia de un complejo de bahías; (2) una compleja batimetría que incluye, la plataforma continental más ancha del país, limitada al norte y sur, por dos cañones submarinos lo que interrumpe la continuidad del fondo marino; (3) la existencia de una marcada estacionalidad de la oceanografía y del ciclo de producción, fundamentalmente debido a la existencia de procesos de surgencia costera en el período estival y, (4) la existencia de aportes fluviales de importancia.

El sistema de bahías está conformado, de norte a sur, por las bahías de Coliumo, de Concepción, de San Vicente y por el Golfo de Arauco. Todas éstas, a excepción de la de San Vicente, están controladas por fallas geológicas de rumbo N-S, quedando su eje meridional orientado hacia el norte. La topografía submarina de la región (Mordojovic 1983 *fide* Cáceres y Arcos 1991) se distingue, de norte a sur, por: (1) el valle submarino del Itata, que corresponde a la proyección del río Itata, el que se diferencia del cañón del río Biobío por presentar menor profundidad y mayor anchura; (2) la terraza del Itata, extendiéndose entre 30-35 m.n. desde la costa, conformando la más ancha plataforma continental de la costa chilena; (3) la existencia de promontorios importantes (50 - 60 m de profundidad) situados en el borde de la plataforma continental del Itata; (4) el cañón submarino del río Biobío, angosto y profundo (ancho: 3-10 km; profundidad: 1000 m a 15 m.n.de la costa), el que virtualmente divide la plataforma continental en dos sectores; (5) el golfo de Arauco, sistema semicerrado con una profundidad media de aproximadamente 50 m; y por último (6) el valle submarino Lleulleu (38° S) situado al norte de la Isla Mocha. Los



aportes fluviales de mayor importancia son consecuencia de dos ríos: el Itata y el Biobío, ambos de carácter nivo-pluvial con origen en la Cordillera de los Andes.

Otra característica extremadamente importante del área que habita la merluza común son los cambios en la interacción Océano-atmósfera, como el fenómeno de "EL NIÑO" y presencia de períodos cálidos y fríos.

Desde la década de los sesenta se ha planteado y estudiado la relación existente entre diferentes procesos atmosféricos vinculados a procesos oceánicos. Jacob Bjerknes (1966) es quién primero estableció conexiones entre "El Niño" (EN) y el fenómeno atmosférico asociado a éste, al cual denominó como Oscilación del Sur (OS); posteriormente, numerosos trabajos han estudiado la relación existente entre "El Niño" y la Oscilación del Sur (Wirtky 1975; Chen 1982; Quinn *et al.* 1978). Además algunos estudios han sugerido que un mecanismo de retroalimentación positiva entre el océano y la atmósfera, puede ser un importante gatillador de los eventos denominados ENSO (Bjerknes 1966; Philander 1983; Philander y Lau 1985; Gill y Rasmusson 1983; Cane y Zebiak 1985; Rennick y Haney 1985; Vallis 1985). Esta serie de trabajos han motivado investigaciones tanto estadísticas como físicas en las cuales están envueltas series de datos meteorológicas y oceanográficas (Namias y Cayan 1981).

La Oscilación del Sur es una fluctuación en la intensidad de la circulación atmosférica intertropical y la circulación en la región Indo-Pacífica, lo que produce un intercambio de masas de aire entre los centros de altas presiones subtropicales del Pacífico Sur y las bajas presiones Indonésica-ecuatoriales.

La situación "normal" puede ser descrita cuando el sistema de altas presiones se ubica en el Pacífico Este produciendo un flujo de aire hacia el sistema de bajas presiones sobre Indonesia (vientos alisios) que inducen una circulación hacia el Oeste, acumulándose en esa porción del océano aguas cálidas que producen un



desnivel en la altura del mar y un flujo subsuperficial de aguas más frías compensa este desbalance. Bajo esta situación, las capas de aguas cálidas se ubican superficialmente a través de la costa de Sudamérica (condición Anti-"El Niño") y además se favorece la ocurrencia de surgencias costeras y ecuatoriales.

La situación "anormal" es producida cuando el sistema de bajas presiones en Indonesia se mueve hacia el Este y las habituales altas presiones disminuyen. Esto último hace que también se atenúe el efecto de los vientos alisios y éste sea reemplazado por vientos en dirección Este que hacen que la corriente superficial se invierta y aguas más cálidas fluyan hacia Sudamérica a través de ondas Kelvin (condición "El Niño"); este hecho produce un aumento en las temperaturas superficiales del agua de mar (Quinn y Zopf 1984), un aumento en la altura del nivel del mar (Fonseca 1986), una profundización de la termoclina (Zuta y Urquizo 1974), un aumento en la pluviosidad en el Pacífico Central y en Sudamérica (Cornejo **et al.** 1986) migración de aves guaneras en "Christmas Island" (Kerr 1986) y presencia de peces tropicales en las cercanías de la costa sudamericana (Guillen **et al.** 1985).

De lo antes señalado se puede observar un gran número de efectos producidos por esta situación "anómala". Hasta ahora se cuenta con suficiente información histórica de lo que sucede con la temperatura superficial del agua de mar en la costa del Perú; pero pocas relaciones se han establecido entre la oscilación del sur y las temperaturas superficiales a lo largo de la costa chilena.



Finalmente, el hábitat de la merluza común se caracteriza por presentar procesos de escala mediana que pueden afectar también su abundancia. En Chile centro-sur se reconocen numerosos fenómenos de pequeña y/o mediana escala espacial que están asociados al sistema de surgencia (Bernal **et al.** 1982, Espinoza **et al.** 1983, Arcos y Salamanca 1984, Arcos y Navarro 1986; Cáceres y Arcos 1991; Cáceres 1992; Pizarro **et al.** 1994). Una descripción actualizada de procesos identificables como: remolinos, filamentos y frentes de surgencia, fue realizada por Cáceres (1992). Este autor identifica estos procesos a través de imágenes satelitales de temperatura superficial del satélite NOAA/AVHRR para el período entre marzo de 1988 y febrero de 1989.



V. MATERIALES Y METODOS

A continuación se describe la metodología separadamente para cada objetivo específico.

1. *Efectuar un análisis de la dinámica poblacional de merluza común en relación con los procesos biológicos poblacionales e individuales, de mortalidad y de distribución del stock de merluza común.*

1.1. Procesos biológicos poblacionales

Para obtener estimar los procesos biológicos poblacionales se empleó el análisis secuencial de población (ASP) calibrado con estimaciones de abundancia directa realizadas por el método hidroacústico para los años 1980, 1993 y 1995.

a. Datos

Se utilizaron las matrices de captura en número de individuos y pesos promedios a la edad que dispone el Instituto de Fomento Pesquero (IFOP). Estas matrices son las que se emplean en las estimaciones de abundancia y de capturas totales permisibles (CTP) que anualmente contrata la Subsecretaría de Pesca con IFOP.

b. Estimación de abundancia

Para realizar el ASP calibrado con datos hidroacústica se empleó el programa **ADASIM** recientemente generado y validado por Payá (1996). Este programa está escrito en lenguaje FORTRAN 77 y se estructuró tomando como base el programa ADAPT de Mohn (1993).

ADASIM: Análisis secuencial de población



ADASIM realiza un análisis secuencial de poblaciones (ASP) calibrado con índices auxiliares (abundancia directa y/o cpue) minimizando una función objetivo mediante el algoritmo de MARQUADT.

El análisis secuencial se realiza utilizando la ecuación de captura de Baranov:

$$C_{i,j} = \frac{F_{i,j} N_{i,j} (1 - e^{-Z_{i,j}})}{Z_{i,j}}$$

El primer set de parámetros de entrada que se utilizan son las mortalidades por pesca de las edades más viejas ($F_{1,j}$), las mortalidades por pesca del último año ($F_{i,j}$), las selectividades del último año ($S_{i,j}$) y la mortalidad natural (M). El primer set de datos que se utilizan son las matrices de captura en número y pesos promedios a la edad.

Dados los parámetros iniciales se estima la abundancia del último año ($N_{i,j}$) reordenando la ecuación de captura:

$$N_{i,j} = \frac{C_{i,j} Z_{i,j}}{F_{i,j} (1 - e^{-Z_{i,j}})}$$

Luego se estima la abundancia que las cohortes tuvieron en los años anteriores (solución hacia atrás), resolviendo numéricamente la ecuación de captura mediante el método de Newton-Rapson. Esto difiere del ADAPT de Mohn que utiliza el análisis de cohortes de Pope. La abundancia de las edades más viejas de cada año ($N_{1,j}$) se estiman utilizando las mortalidades por pesca de las edades más viejas.



Una vez realizado el primer ASP se recalculan las mortalidades por pesca de las edades más viejas como el promedio ponderado por la abundancia de las F de la penúltima y antepenúltima edades.

El ajuste de las mortalidades por pesca de las edades más viejas se efectúa reingresando el nuevo valor calculado para éstas mortalidades y realizando un nuevo ASP. Esto se repite hasta que los valores de mortalidad por pesca de las edades más viejas convergen. Este procedimiento se conoce como suavización y no importando los valores de ingreso iniciales siempre converge a la misma solución.

ADASIM: Calibración con abundancia directa de acústica

La calibración se realizó con la abundancia directa de acústica, descartándose el uso de la captura por unidad de esfuerzo (cpue) como índice de calibración. Aunque, la serie de cpue fue recientemente corregida empleando esfuerzo estandarizado, ésta no considera los cambios tecnológicos que han ocurrido en los últimos años en las embarcaciones, lo cual invalida el supuesto de la calibración, que considera que la variación en cpue es proporcional a la abundancia del recurso (Payá *et al.* 1996b).

Para calibrar con datos de acústica, se estima la abundancia presente en agosto ($NEST_{i,j}$) en los años en que se realizaron evaluaciones directas (las tres evaluaciones de merluza común se han realizado en este mes, que corresponde a la época del desove) siguiendo el decaimiento exponencial de las cohortes.

$$NEST_{i,j} = N_{i,j} e^{(-8/12(Z_{i,j}))}$$



Considerando los datos de la abundancia evaluada por hidroacústica ($NACU_{i,j}$) y el set de parámetros de capturabilidad (q_i) de la acústica se calcula la función objetivo (FOB) como:

$$FOB = \sum_i^I \sum_j^J \lambda_j [\ln(1 + NEST_{i,j} q_i) - \ln(1 + NACU_{i,j})]^2$$

Los lambda corresponden a multiplicadores de LaGrange que permiten ponderar el peso de la suma de cuadrados de cada año. Estos se ingresan como valores conocidos y se les asigna el valor 0,25, 0,25 y 0,5 para los años 1980, 1993 y 1995, respectivamente (Payá 1996 y Payá *et al.* 1996a). Esto se basa en que la evaluación directa realizada en 1995 es más confiable que la de los años anteriores, ya que en estos años no se cubrió toda el área de distribución de la pesquería y no se realizó un muestreo destinado a obtener la estructura de tallas, sino más bien a realizar pesca de identificación para los ecotrazos de acústica. Estos problemas fueron superados en la evaluación del 1995.

El algoritmo de MARQUADT modifica los parámetros iniciales y evalúa la función objetivo. Para ésto cada vez que se recalcula el ASP, se realiza nuevamente el proceso de suavización de las mortalidades por pesca de las edades más viejas.

ADASIM: Validación del programa ADASIM

El programa **ADASIM** ha sido probado (Payá 1996), logrando reconstituir la abundancia de tres poblaciones simuladas, que presentan características similares a merluza común (edades, años, pesos promedios, M y reclutamientos variables). Las tres poblaciones simuladas representaron condiciones de abundancia estable, decreciente y creciente (Fig 1).



c. Estimación de los reclutamientos

Los reclutamientos fueron obtenidos de los resultados del programa **ADASIM**. Siguiendo el criterio aplicado en los cálculos de las capturas totales permisibles (Payá 1992, Payá y Aguayo 1993 y Payá *et al.* 1996a) se consideraron como reclutas los individuos de 3 años de edad, ya que los ejemplares de edades menores presentan valores de mortalidad por pesca muy bajos y sus estimados de abundancia dependen básicamente del valor de mortalidad natural, lo que los hace menos confiables.

d. Mortalidad por pesca global y edad específica

Las mortalidades por pesca edad específica se obtuvieron de los resultados del **ADASIM**.

Para poder evaluar el efecto de los cambios en la fuerza de los reclutamientos se estimaron tres valores de mortalidad por pesca global para cada año.

Mortalidad por pesca promedio

Se estima como el promedio de las mortalidades por pesca edad específica ponderado por la abundancia de las diferentes edades, por lo que depende de las fluctuaciones de los reclutamientos.

Mortalidad por pesca F_p

El valor de F_p es un índice del "efecto de la explotación" que es independiente de las variaciones en los reclutamientos (Shepherd, 1983) y se calcula como:



$$F_p = \sum_i^I P_i F_i / \sum_i^I P_i$$

donde P_i corresponde a:

$$P_i = \exp(-\bar{Z}_i)(1 - \exp(-Z_i)) / Z_i$$

Y

$$\bar{Z} = \sum_{j=1}^{i-1} Z_j, \dots, \text{for } i \geq 2$$

F_p es independiente de las variaciones del reclutamiento por que corresponde a la razón entre la captura por recluta (CPR) y la población o número medio por recluta (PPR).

Mortalidad por pesca F_c

El valor de F_c es un índice del "nivel de explotación" y se calcula como:

$$F_c = \sum_i^I F_i^2 X P_i / \sum_i^I F_i X P_i$$

e. Mortalidad natural

Se emplearon los valores de 0,26 y 0,43 para hembras y machos, respectivamente. Estos corresponden a los valores utilizados en los cálculos anuales de capturas totales permisibles (Payá 1992, Payá **et al.** 1996a). Estos valores se obtuvieron aplicando el método bioanalógico de Pauly (1980) que relaciona los valores de mortalidad natural con los parámetros de crecimiento (K y Loo) y la temperatura del mar. Estos valores difieren levemente de los estimados de Aguayo y Robotham (1984), quienes calcularon mediante el mismo método valores de 0,43 para machos y 0,28 para hembras. La diferencia se debe a que en las estimaciones más recientes de



M se emplearon los últimos parámetros de crecimiento calculados por Aguayo y Ojeda (1987).

f. Producción de huevos y fertilidad a la edad

Un porcentaje de las hembras de merluza común se encuentran sexualmente activas durante todo el año, pero el período reproductivo de la población se concentra entre agosto y septiembre en la zona central o hasta octubre en la zona centro-sur (ver Balbontín y Fischer 1981; Alarcón y Arancibia 1993; Payá *et al.* 1993 y 1994). El área correspondiente a la V Región es una de las principales áreas de desove de la especie (Avilés *et al.* 1979).

La producción anual de huevos (H) se estimó mediante la expresión:

$$H = \sum_{ij} f_{ij} N_{ij} P_j$$

donde f_j es la fecundidad del intervalo de talla j , N_{ij} es el número de hembras de edad en el intervalo de tallas j , y p_j es la proporción de hembras maduras en el intervalo de tallas j .

El número de hembras a la talla dentro de una edad particular se obtuvo del número de hembras estimado por el ADASIM a esa edad, repartidos según la proporción del intervalo en la clave talla-edad. La proporción de hembras maduras a la edad se calculó mediante la aplicación a los datos de las ojivas de madurez. Cabe hacer notar que en la propuesta técnica original se había planteado el cálculo de la producción de huevos sobre la base de la fecundidad media a la edad, pero se eligió esta expresión por ser más representativa de la producción de huevos.



La fertilidad a la edad se obtuvo dividiendo la producción de huevos a la edad por el número de hembras maduras.

g. Distribución del stock de merluza común

La distribución del stock de merluza común se analizó considerando la actividad diaria de operación de la flota industrial, ya que ésta cubre la mayor parte de la distribución del stock. Para estos efectos, no se consideró la información proveniente de la flota artesanal debido a la escasa información histórica existente en relación a las áreas de pesca de esta flota y debido a que ésta realiza su actividad fundamentalmente concentrada en la V región.

El período 1982-1993 fue analizado basándose, según se propuso en la oferta técnica, en los resultados de Payá *et al.* (1996b), proyecto FIP donde se analizó detalladamente la distribución espacio-temporal de las capturas, el esfuerzo de pesca y los rendimientos de pesca para el período 1982-1993. En este proyecto se identificaron los principales caladeros existentes en la pesquería de la merluza común así como el patrón temporal de visitas de estos caladeros por parte de la flota industrial. Esta información permitió inferir acerca de la distribución del recurso, particularmente a través de la localización de los centros geográficos o de masa de los lances de pesca realizados por la flota. El razonamiento lógico a deducir de este aspecto, es que las embarcaciones tienden a operar primordialmente en aquellas áreas en donde se encuentran las mayores concentraciones del recurso y tanto el éxito de captura como los rendimientos son más altos. Para evaluar este supuesto, se consideró la distribución observada del recurso a través del proyecto hidroacústico realizado en el año 1995 (Payá *et al.* 1995).



Los centros geográficos medios fueron agrupados mensualmente y constituyen parte de la información que fue analizada en el objetivo 4 de este informe, donde se relaciona procesos ambientales de mediana escala con la distribución de los centros geográficos como un indicador de la distribución y abundancia del recurso.

El centro de gravedad geográfico fue calculado multiplicando la latitud media de cada área de pesca o caladero por el porcentaje de esfuerzo aplicado por intervalos de 10' de latitud. Según Senocak et al. (1989), este índice se determina de acuerdo a la siguiente ecuación :

$$CG_j = LAT_g = \frac{\sum_{j=1}^i \%f_j \times Lat_j}{\sum_{j=1}^i \%f_j}$$

donde CGg (=LATg) determina el centro de gravedad geográfico del área de pesca g, %fj corresponde al porcentaje del esfuerzo anual en el intervalo de latitud j ; Latj es la latitud que determina el centro del intervalo j.

Los centros de gravedad geográficos en cada área de pesca, fueron determinados en escala anual agrupando la información de posición de lances de pesca obtenida a lo largo de un año. Como se puede apreciar, la fórmula anterior permite identificar los principales centros de distribución de los lances de pesca tras la ponderación por el porcentaje de esfuerzo que fue ejercido en cada área a lo largo del año correspondiente.

Para el período anterior a 1982, el análisis de la distribución del recurso se basó en la información previamente publicada por Aguayo y Young (1982). Estos autores estudiaron los factores que incidieron en los cambios de la abundancia relativa del recurso entre 1968 y 1981.



Las capturas fueron analizadas en términos del porcentaje de aporte de las diferentes zonas de pesca a la captura total. El esfuerzo de pesca fue estandarizado y expresado a la forma de horas de arrastre estándar. Esta variable de esfuerzo fue calculada como la diferencia entre la hora de inicio del virado de la red y la hora de término del calado. De este modo, se obtuvo el rendimiento de pesca dividiendo la captura (ton) por las horas de arrastre.

Los datos de esfuerzo estandarizado anteriores a 1982 fueron obtenidos desde Aguayo y Young (1982) y para el período posterior de Payá *et al.* (1996b). La estandarización presentada por Aguayo y Young (1982) fue realizada por el Señor Alejandro Zuleta (com.pers) aplicando la metodología sugerida por Robson (1966) y considerando como barco patrón una categoría de capacidad de bodega. La estandarización realizada por Payá *et al.* (1996b) consideró un modelo de regresión lineal múltiple similar al propuesto por Large (1992). El barco patrón fue escogido por su representatividad espacial y temporal, mayores detalles de esta metodología pueden ser encontrados in extenso en Payá (1996b, páginas 9-22).

La captura por unidad de esfuerzo como un índice de la abundancia del recurso, fue expresada a la forma de toneladas por hora de arrastre estándar (ton/h). Para este período, el centro de gravedad geográfico fue calculado utilizando la ecuación anteriormente planteada, pero en reemplazo del porcentaje de esfuerzo, se utilizó el porcentaje que representaron las capturas en rangos de 1° de latitud.

1.2 Procesos biológicos individuales

a. Crecimiento individual

Como indicador de los cambios en el crecimiento individual se analizó el crecimiento somático en términos de los pesos promedios a la edad (W_i). Estos se calculan



basándose en la longitud promedio de los individuos de una determinada edad utilizando la relación longitud-peso y la corrección de Piennar y Ricker (1968), que consideran las varianzas asociadas a las tallas promedios.

Se utilizó el peso geométrico ($GW_{i,j}$) para cada edad de la serie histórica (1968-1995), que se calcula como:

$$GW_{i,j} = e^{\left(\frac{\ln W_{i,j-1} + \ln W_{i,j}}{2}\right)}$$

Para analizar los cambios en las tendencias y en la periodicidad del crecimiento, se empleó la tasa de crecimiento específica ($SGR_{i,j}$) (Hopkins *et al.* 1984, 1993; Pedersen y Jobling, 1989 y Nilssen *et al.* 1994), que se estima como:

$$SGR_{i,j} = \left(\frac{\ln W_{i,j} - \ln W_{i,j-1}}{360}\right) 100$$

b. Madurez

– Cálculo de las ojivas y las tallas de la primera madurez sexual

Los datos de madurez sexual tienen una distribución binomial, ya que un individuo puede estar maduro o inmaduro, y no presenta un rango continuo de valores. Por esta razón, el uso del análisis "probit" basado en estimaciones de mínimos cuadrados ha sido cuestionado por Welch y Foucher (1988), sobre la base de tres características indeseables de los residuos: 1) Los residuos mayores son aquéllos que tienen menor tamaño de muestra; 2) La asimetría no se toma fácilmente en consideración y 3) Los residuos no se distribuyen normalmente. Estos problemas no están presentes cuando se utiliza el método de máxima verosimilitud para ajustar un modelo logístico de madurez, ya que el tamaño de muestra de cada grupo de talla es considerado explícitamente en la función de máxima verosimilitud (Welch y Foucher 1988). Por lo tanto, se utilizó esta metodología para ajustar el siguiente modelo logístico de madurez.



$$m(l) = \frac{\beta}{1 + \exp(\alpha_1 + \alpha_2 l)}$$

donde $m(l)$ es la fracción de individuos maduros en función de la talla, l es la talla (longitud total) y β , α_1 , α_2 son los parámetros que representan la asíntota, la posición y la pendiente, respectivamente. El parámetro β fue fijado en 1, basándose en los análisis preliminares que indican que a medida que los ejemplares crecen la fracción de individuos maduros se aproxima a 1.

La función log de máxima verosimilitud corresponde a:

$$L(\beta, \alpha_1, \alpha_2) = \sum [(h) \ln(m(l)) + (1-h) \ln(1-m(l))]$$

donde h es la variable dicotómica que representa la condición de madurez ($h=1$) o inmadurez ($h=0$) y la sumatoria es a través de todas las longitudes. Esta función fue maximizada utilizando el algoritmo de quasi-Newton del modulo NONLIN del SYSTAT (Wilkinson 1988). Utilizando la base de datos del IFOP, se calculó este parámetro desde 1983 a 1995. Para el período previo a 1983, del que no se dispone de datos, se empleó el promedio de los valores calculados de 1983-1995.

c. Fecundidad versus peso de la gónada y fecundidad histórica

Para construir la serie de la fecundidad histórica de merluza común, parámetro necesario para elaborar el filtro biológico propuesto por Welch (1987), se contó con las determinaciones realizadas en 1965 y en 1992 (Balbontín y Fischer 1981, Balbontín y Bravo 1993). Con los datos previamente calculados de fecundidad de esos años, se obtuvo una nueva relación, esta vez entre la fecundidad y el peso de la gónada de cada hembra, la que se ajustó a un modelo de regresión lineal simple.



En el segundo paso, se utilizó la base de datos biológicos del Instituto de Fomento Pesquero, de la que se pudo utilizar información recolectada desde 1985 a 1995. Esta información corresponde a muestreos rutinarios en que se señala la longitud total de las hembras, el peso corporal, el peso de la gónada y el estadio de madurez sexual utilizando una escala de madurez macroscópica (Balbontín y Fischer 1981), que ha sido histológicamente caracterizada por Herrera *et al.* (1988).

Se seleccionaron aquellos ovarios que según la escala macroscópica correspondían a estadios de maduración avanzada y maduros, que son algunos de los requisitos para efectuar estimaciones de fecundidad. Como en los datos originales de 1965 y 1992 utilizados para estimar la relación no se encontraron pesos gonadales inferiores a 8 g, se aplicó ese criterio de selección en la base de datos. A estos datos se les aplicó la ecuación de regresión correspondiente a la relación entre la fecundidad y el peso del ovario. Con esta información se estimó la fecundidad de cada hembra para cada año de la base de datos, la que se relacionó tanto con la LT como con el peso corporal.

La utilización del peso de la gónada para estimar la fecundidad, se basa en el supuesto que el número de ovocitos por gramo de ovario en peces en estadio de madurez sexual avanzada o maduros, es aproximadamente constante. En estos estadios de madurez, el proceso de vitelogénesis de los ovocitos ya se ha completado y no hay nuevas incorporaciones de ovocitos a partir del stock de oogonias, a la moda de mayor diámetro que será desovada (Foucher y Beamish 1977, Balbontín y Fischer 1981).

Posteriormente, a los datos de cada año se les aplicó un análisis de regresión interactiva del software Statgraphics, eliminándose valores atípicos (outliers), que se atribuyeron a causas ajenas a la variabilidad natural de los datos. Finalmente, con el software Excel 5.0 se realizó un ajuste no lineal de los valores anuales de la



fecundidad estimada por el procedimiento ya señalado y la longitud total de las hembras, de acuerdo a la siguiente relación

$$f_j = a \cdot L_j^b$$

donde L_j es la marca de clase del intervalo j .

2. *Determinar el efecto de cambios ambientales en los procesos biológicos poblacionales e individuales para el stock de merluza común.*

Normalmente, se postula que el reclutamiento está determinado en los primeros estadios de vida de los peces. Así, en los estudios del reclutamiento, según Sissenwine (1984), se reconoce dos tipos de enfoques: (i) la investigación orientada al análisis de los procesos involucrados en la sobrevivencia de huevos y larvas, y (ii) el enfoque empírico, producto de relacionar las fluctuaciones del reclutamiento en función de las variables ambientales que demuestren tener significancia o incidencia sobre la mortalidad de prereclutas.

El presente estudio complementa el punto de vista orientado a la evaluación de procesos con el enfoque empírico para estudiar el problema del reclutamiento y las fluctuaciones de la abundancia (Bakun y Parrish 1982; Sharp 1987; Taggart y Leggett 1987; Sissenwine 1984; Schneider y Metven 1988). Así, el objetivo de esta sección es establecer y detallar los criterios biológicos y procedimientos estadísticos a utilizados para determinar el efecto que tendrían los procesos ambientales sobre la abundancia de la merluza común. El enfoque empírico usualmente se realiza sobre una base de tiempo anual, debido a que la evaluación de las poblaciones de peces (ADASIM) normalmente se llevan a cabo en esa escala de tiempo.



Como se mencionó en la sección de antecedentes los estudios del efecto de variables ambientales sobre el reclutamiento de merluza común son recientes. El reclutamiento estaría relacionado con la temperatura superficial y el índice de surgencia de la época de desove (Balbontin *et al.* 1994), mientras que el éxito reproductivo (reclutas producidos por unidad de biomasa desovante) se relacionaría linealmente con el índice de surgencia presente durante el desove (Payá *et al.* 1996a).

2.1 Variables ambientales

De acuerdo a lo expuesto en los antecedentes, índices de turbulencia (W^6) y de surgencia (IS), son variables derivadas de la intensidad del viento que deben ser analizadas. Con respecto a la utilidad de esta información como indicador de procesos físicos que ocurren en el océano, Arcos (1987) demostró que existe una estrecha relación entre la intensidad del viento y la respuesta del océano. Además, se debe recordar que una de las principales características de la merluza común es la fuerte distribución costera que presenta este recurso en Chile centro-sur. Por lo tanto, también se analizó la temperatura superficial del mar, que podría afectar el reclutamiento como la distribución del recurso.

2.2 Fuente de información ambiental

Para la obtención de los indicadores ambientales se consideraron series de mediciones diarias provenientes tanto de la V y de la VIII Regiones.

En la V Región, las fuentes de datos analizadas fueron originadas a partir de dos instituciones. Las temperaturas superficiales del mar (TSM) fueron registradas en el Instituto de Oceanología de la Universidad de Valparaíso, localizado en Montemar. Para el cálculo de los promedios mensuales, se dispuso de 3 observaciones diarias para el período 1968-1994. La dirección y velocidad del viento fueron registradas en el



faro de Punta Angeles perteneciente al Servicio Meteorológico de la Armada de Chile. De estas variables se determinaron los índices de surgencia (IS) y de turbulencia (IT o W^3), índices que fueron calculados por Rosales y Balbontín (manuscrito). La extensión de estas series corresponde al período 1968-1994.

En la VIII Región, las fuentes de datos fueron obtenidas a partir de dos estaciones. Primeramente, se dispuso de series históricas de temperatura superficial del mar (TSM) y de nivel medio del mar (NMM) provenientes de la estación del Instituto Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada localizada en Punta Tumbes, Talcahuano. Los promedios mensuales de ambas series fueron obtenidos a partir de 3 registros diarios disponibles para el período 1965-1995. En el caso de la dirección y velocidad del viento, estas mediciones correspondieron a las determinadas horariamente en la estación meteorológica del Aeropuerto de Carriel Sur, Talcahuano, dependiente de la Dirección de Aeronáutica de Chile. Esta serie fue obtenida para el período 1971-1995.

Las propiedades y comportamiento medio anual, medio mensual y estacional de todas las series consideradas fueron analizados para el período comprendido entre 1971 y 1994. Con respecto a las variables ambientales que se analizaron, éstas fueron medidas en estaciones meteorológicas estándar; es decir, se ajustan a un formato estandarizado tanto en el tipo de instrumentos de medición, disposición de estos y condiciones de horizonte despejado de medición (viento) así como el momento en el cual se realizan las mediciones. Cabe señalar que la ubicación de una estación meteorológica se determina por la capacidad de ésta de ser representativa en la escala sinóptica de medición (1.000 m). En el caso de la estación de vientos de Valparaíso (faro Punta Angeles), ésta se localiza en un sector costero expuesto a los vientos provenientes del océano lo que permite caracterizar favorablemente la intensidad de los vientos que producen la surgencia; mientras que la estación de Carriel Sur se localiza en un plano al interior y distante aproximadamente 5 km de la costa. Esto implica que la



intensidad de los vientos medidos en esta estación sea menor que la medible en algún punto expuesto de la costa; sin embargo su dirección sería correcta. Esto fue previamente comprobado al contrastar las mediciones de esta localidad durante los meses de verano de 1985 con determinaciones de viento realizadas en la Estación de Biología Marina de Dichato, bahía de Coliumo (Sepúlveda 1990). No se encontraron diferencias significativas en los índices diarios del viento determinados en ambas estaciones, ni entre las mediciones diarias de las temperaturas superficiales del mar determinadas en la Punta Tumbes con las de Dichato.

2.3 Estimadores de los índices derivados del viento

El índice de surgencia fue calculado a partir de la componente paralela a la costa del stress del viento de acuerdo a la metodología de Bakun (1973, 1975). Esta metodología está basada en la teoría de Ekman, bajo la suposición de movimiento en estado estable, viento uniforme, un océano infinitamente homogéneo, cuyo transporte de masa por unidad de superficie está dirigido en 90° a la izquierda, en el hemisferio sur, de la dirección en la cual está fluyendo el viento y es relacionado a la magnitud del stress del viento de la siguiente forma:

$$M_x = \frac{\tau_y \rho}{f} k$$

donde M_x es el transporte de masa (Transporte de Ekman) resultante a partir del stress del viento, τ_y y f es el parámetro de Coriolis ($8,5 \times 10^{-5} \text{s}^{-1}$ a los 36°). La teoría de Ekman permite por tanto una descripción válida del flujo perpendicular a la costa durante la fase temprana de la surgencia así como durante la fase de estado estable posterior (Smith, 1981).



La aproximación asumida para generar un índice de surgencia consistió en estimar el stress medio diario del viento y a partir de éste calcular el transporte de Ekman, para finalmente determinar la componente del transporte de Ekman perpendicular a la costa.

El campo superficial del stress del viento fue calculado de acuerdo a la expresión:

$$\tau_y = \rho_a C_d V|V|$$

donde, ρ_a es la densidad del aire ($0,00125 \text{ g cm}^{-3}$), C_d corresponde al coeficiente empírico de dragado ($0,0013$), y V es el vector de viento estimado cercano a la superficie del mar.

El transporte costa afuera resultante en la capa superficial es finalmente expresado por unidad de volumen dividiendo la expresión del transporte por la densidad media del agua de mar. La componente calculada del transporte de Ekman dirigido hacia afuera de la costa es utilizado como un índice de surgencia y es considerado como un estimador de la tasa de afloramiento superficial de las capas de agua más profundas producto de la deriva costa afuera por efecto del stress del viento. Los resultados se expresan en metros cúbicos por segundo por 1000 m de línea de costa. Mayores detalles de las expresiones de cálculo se pueden encontrar en Arcos (1987) y Arcos y Navarro (1986).

De este modo el índice de surgencia (IS) se determinó de acuerdo a la expresión:

$$IS = \frac{\rho_a C_d u_y^2}{f} \times \frac{1000}{\rho_w} ; [\text{m}^2 \text{ s}^{-1} 10^{-3} \text{ m}^{-1}]$$



donde:

- ρ_a = densidad media del aire
- ρ_w = densidad media del agua de mar
- C_d = coeficiente de arrastre
- u_y = $|V| \cos(\alpha \cdot \pi / 180)$, componente norte-sur del viento
- $|V|$ = magnitud del viento ($m s^{-1}$)
- α = dirección del viento (grados)
- f = $2\Omega \sin(\theta)$, parámetro de coriolis
- Ω = velocidad angular de rotación de la tierra
- θ = latitud de la estación meteorológica

El índice de turbulencia (IT o W^3), que da cuenta de la mezcla turbulenta producto de la acción forzante del viento en la capa superior de la columna de agua es proporcional al cubo de la magnitud de la velocidad del viento ($[m^3 s^{-3}]$; Elsberry y Garwood 1978 fide Mendo **et al.** 1987).

2.4 Análisis de error

Con todas las series temporales de información se realizó una remoción y corrección de las observaciones erróneas y las posibles discontinuidades de las series fueron corregidas por interpolación o por medio de repetición de eventos cíclicos y autocorrelación. Esto fue realizado especialmente, como se verá en los resultados de esta sección, en la serie de temperatura superficial del mar registrada en Talcahuano. Para estos efectos, se optó por reconstruir las brechas mediante el uso de modelos ARIMA (Box y Jenkins 1976), establecidos para las porciones completas de la serie.



Un paso importante dentro del procesamiento de las respectivas series de tiempo es el proceso de filtrado y eliminación de posibles tendencias, estabilidad de varianzas y las respectivas correcciones. Previo a esto, se utilizará un método que permita interpolar datos, en las series, para los casos en que algunas observaciones se han realizado a un intervalo de tiempo diferente del originalmente indicado.

La comparación de las diferentes series ambientales se realizó, en el dominio del tiempo, determinando las funciones de correlación cruzada (Box y Jenkins, 1976). De este modo, sobre pares de series, se evaluó el tiempo de precedencia en los diferentes procesos.

2.5 Análisis exploratorio para definir la forma de agregar la información ambiental

Como se mencionó en los antecedentes, Jacobson y MacCall (1995) postulan que las variaciones en los reclutamientos no sólo están relacionadas con los factores ambientales durante los primeros estados de la historia de vida, sino que también en etapas posteriores (reclutas de 1 a 4 años de edad). Debido a esto se aplicó un análisis exploratorio similar al Jacobson y MacCall (1995), que consistió en calcular las correlaciones entre el éxito reproductivo y diferentes promedios de las variables ambientales. Estos promedios se calcularon considerando distintos rangos de años dentro de un intervalo máximo de 5 años antes y 5 años, después del año en que se produjo el desove.



3. *Modelar los efectos de cambios ambientales en los procesos biológicos poblacionales e individuales, con el objeto que puedan ser incorporados en modelos de evaluación y manejo para el recurso.*

3.1 Análisis de la correlación entre las variables ambientales

Cuando se analiza el efecto de variables ambientales sobre el reclutamiento normalmente se ajustan modelos lineales múltiples que incluyen variables independientes como temperatura, surgencia y turbulencia (Balbontín *et al.* 1994 y DeAnda *et al.* 1994). Es esperable, que estas variables ambientales presenten un alto grado de correlación, lo que puede generar problemas serios de multicolinealidad en el ajuste del modelo de regresión Neter *et al.* (1985). Para evaluar esta situación se realizaron dos análisis exploratorios de correlación entre las variables ambientales. El primero consistió en analizar modelos que consideren el uso de una sola variable ambiental que, basándose en los análisis exploratorios del objetivo anterior, resultó ser la más importante o atrayente. Esta aproximación es similar a la empleada por Jacobson y MacCall (1995). La segunda aproximación fue realizar un análisis multivariado de componentes principales (ACP), para evaluar si se podía utilizar el primer componente principal en el ajuste de los modelos. Esta solución a los problemas de multicolinealidad, se presenta en Neter *et al.* (1985) y ha sido aplicada por Payá *et al.* (1996b) en un modelo de regresión lineal múltiple, para estandarizar el esfuerzo de pesca en la pesquería de merluza común, en la cual el primer componente principal explicó el 90% de la varianza total. Debido a esto se definió como aceptable que el primer componente principal explique a lo menos el 80% de la varianza total, con el fin de poder realizar el ajuste de los modelos posteriores sin considerar la varianza no explicada por el primer componente principal.



3.2 Métodos no-lineales

Los análisis se realizaron sobre una escala anual para los reclutamientos y una escala mensual para las variables ambientales. La escala anual del reclutamiento se basa en que el desove principal de merluza común ocurre una vez al año en los meses de agosto-septiembre, y por lo tanto los reclutas corresponden principalmente a los individuos nacidos en esos meses. Consecuentemente, las variables ambientales relevantes de analizar corresponden a las registradas en los meses (agosto-septiembre) del desove principal.

Muchos modelos basados en variables ambientales han sido ineficientes en la predicción o se ven afectados tras la incorporación de nuevos datos (Walters y Collie, 1988). Por otra parte, la relación entre las variables puede ser no-lineal y el uso de regresiones lineales (o transformaciones *a priori*) podría resultar en un enmascaramiento de posibles conexiones no-lineales.

De acuerdo a lo expuesto, la no-linearidad de los efectos positivos o negativos de las diversas variables ambientales, se analizó a través de la técnica estadística desarrollada por Breiman y Friedman (1985), la cual estima transformaciones óptimas para regresiones múltiples, en forma empírica.

Usualmente, los modelos de regresión múltiple tienen una variable respuesta aleatoria Y y p variables predictoras aleatorias X_1, X_2, \dots, X_p . Un conjunto de n realizaciones independientes de estas variables aleatorias es observado, denotados por $(y_1, x_{11}, \dots, x_{1p}), \dots, (y_n, x_{n1}, \dots, x_{np})$ y es deseable estimar la esperanza condicional $E(Y/X_1, X_2, \dots, X_p)$. El modelo de regresión lineal asume que la esperanza condicional es lineal, *i.e.*,

$$E(Y/X_1, X_2, \dots, X_p) = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + \dots + b_pX_p$$



y dada una muestra, los estimados de b (b_0, b_1, \dots, b_p) son normalmente encontrados por mínimos cuadrados. Una generalización natural es considerar modelos aditivos no-lineales (Hastie y Tibshirani, 1990) de la forma

$$E(Y | X_1, X_2, \dots, X_p) = \sum_{j=1}^p T_j(X_j)$$

donde las funciones no-lineales T_j deben ser estimadas. El algoritmo de Breiman y Friedman (1985) estima los T_j como un "promedio" de alguna parte de los datos rodeando un punto, a través de un "ploteo" suavizado. Así, la variable respuesta Y y las variables predictoras X_1, X_2, \dots, X_p son reemplazadas por funciones $T_1(Y)$ y $T_2(X_1), \dots, T_{p+1}(X_p)$ y el algoritmo estima estas funciones minimizando,

$$e^2 = \frac{E[(T_1(Y) - \sum_{j=1}^p T_{j+1}(X_j))^2]}{\text{Var}(T_1(Y))}$$

Un algoritmo iterativo (ACE: Alternating Conditional Expectation) permite el cálculo de esas funciones no-lineales T_j , no perteneciendo a una familia parametrizada en particular. Así, la técnica se puede decir corresponde a regresiones no-paramétricas que estiman transformaciones tanto para la variable dependiente como para las independientes. El algoritmo converge a una solución óptima y no produce una ecuación dada, sino más bien una transformación suavizada y empírica de los datos-puntos de cada variable. Aplicaciones de la técnica estadística se puede encontrar en Mendelsohn y Mendo (1987), Cury y Roy (1989), Roy *et al.* (1992).

3.3 Modelo de Reclutamiento

Sin duda los modelos de los efectos de las variables ambientales sobre los reclutamientos son los principales modelos que se han generado, ya que éstos permitirían entender la dinámica de los reemplazos poblacionales.



a. Modelo de éxito reproductivo

Un modelo ampliamente utilizado por diferentes autores (Parrish y MacCall 1978, Csirke 1980, Bakun *et al.* 1982, DeAnda *et al.* 1994, Jacobson y MacCall 1995 y Balbontín *et al.* 1994) corresponde al modelo de stock-reclutamiento de Ricker modificado para incluir el efecto de variables ambientales:

$$R = b_1 H e^{(-b_2 H)} e^{(b_3 VA)}$$

La aproximación para ajustar este modelo fue la de modelos aditivos generalizados (Hastie y Tibshirani 1990, Prager y MacCall 1993 y Jacobson y MacCall 1995). Este modelo se transforma logaritmicamente para obtener un modelo lineal aditivo y estabilizar las varianzas (Hilborn y Walter 1992).

$$\ln(R / H) = \alpha + f(VA) + g(H) + e$$

en donde R es el reclutamiento, alpha es el parámetro del intercepto, f(VA) es la función de la variable ambiental, g(H) es la función de la producción de huevos y e es el término de error que se distribuye normalmente. Estas funciones de las variables independientes se obtuvieron mediante el procedimiento "scatterplot smoothing", el cual permite buscar la función sin prejuizar su forma (Wilkinson 1988 y Jacobson y MacCall 1995). Este método para encontrar los valores suavizados involucra una regresión robusta ponderada localmente, mediante el algoritmo "lowes" de Cleveland *et al.* (1988). Para estimar cada valor suavizado se utilizó el 50% de todos los datos (F=0,5).

El modelo de reclutamiento utilizado puede generar correlaciones espurias, ya que la variable independiente (P) también está presente en la variable dependiente como el denominador de la razón (Atcheley *et al.* 1976, citado por Jacobson y MacCall 1995).



Payá *et al.* (1996a) basados en los últimos estimados de abundancia mediante el uso de un ASP calibrado con hidroacústica ajustó el siguiente modelo de éxito reproductivo:

$$\frac{R}{SSB} = 563 + 3,11 IS_{sep}$$

en donde R son los reclutas, SSB biomasa de stock desovante y IS_{sep} el índice de surgencia de septiembre. Este modelo de regresión lineal simple fue capaz de explicar el 70% de la variabilidad de los datos y fue altamente significativo ($P < 0,000007$). Aunque, este modelo no utiliza transformaciones de los datos para estabilizar las varianzas, la conducta de los residuos del modelo fue buena. Por otra parte, el índice de surgencia corresponde a un promedio móvil centrado con un desfase de un año con respecto a la fecha del reclutamiento. Debido a esto, este modelo también fue evaluado en el presente proyecto, considerando un análisis exploratorio de las correlaciones entre R/H y de la forma de agrupar la variable ambiental (ver sección anterior).

b. Modelo de reclutamiento

Se analizó el modelo aditivo propuesto por Jacobson y MacCall (1995):

$$\ln(R) = \alpha + h(VA) + j(H) + e$$

en donde R es el reclutamiento, alpha es el intercepto, h(VA) es la función de la variable ambiental y j(H) es la función de la producción de huevos y e el término de error. Las funciones de las variables independientes fueron obtenidas con el procedimiento de "scatterplot smoothing".



c. Modelo de reclutamientos denso-dependientes y denso-independiente

Utilizando la técnica sugerida por Welch (1986, 1987), es posible realizar un tratamiento a los datos de reclutamiento para separar los efectos dependientes e independientes del tamaño del stock, el cual está representado por la producción de huevos. Esta técnica se sustenta en la hipótesis biológica que en poblaciones con estructura de edades compleja, la variabilidad de baja frecuencia observada en el reclutamiento, se relaciona con la producción de huevos, mientras que la variabilidad de alta frecuencia se relaciona con la sobrevivencia de la etapa de prerrecluta. De esta manera se desarrolla un filtro que permite extraer la variabilidad de alta frecuencia atribuible a factores del ambiente no relacionados con la densidad.

c.1. Filtro de Welch

El filtro se basa en las transformaciones de Fourier de la serie de reclutamientos y de la distribución del esfuerzo reproductivo.

La distribución del esfuerzo reproductivo a la edad "x" se estima como:

$$k(x) = l(x)m(x)$$

donde $l(x)$ es la sobrevivencia y m es la fecundidad a la edad. Se empleó la sobrevivencia y la fecundidad promedio de merluza en el período 1968-1995.

La transformada de Fourier del esfuerzo reproductivo $K(s)$ corresponde a:

$$K(s) = a_k(s) + ib_k(s)$$



donde $a_k(s)$ es la parte real y $b_k(s)$ es la parte imaginaria e i es la raíz cuadrada de -1 . Estas identidades se relacionan con la ganancia ($|K(s)|$) y con la fase ($O_k(s)$):

$$|K(s)| = (a_k(s)^2 + ib_k(s)^2)^{1/2}$$

$$O_k(s) = \tan^{-1}(b_k(s) / a_k(s))$$

En forma similar para la serie de reclutamiento se tiene que:

$$N(s) = a_n(s) + ib_n(s)$$

$$|N(s)| = (a_n(s)^2 + ib_n(s)^2)^{1/2}$$

$$O_n(s) = \tan^{-1}(b_n(s) / a_n(s))$$

El reclutamiento filtrado se obtiene multiplicando tanto la parte real como la imaginaria de los coeficientes de Fourier de la serie de reclutamientos, por la ganancia de la distribución del esfuerzo reproductivo y calculando la transformada inversa de Fourier desde los coeficientes modificados (Welch 1987).

c.2 Modelo

Con el empleo de la técnica descrita, Zuleta **et al.** (manuscrito en revisión), lograron filtrar la serie de reclutamiento de merluza común. La serie filtrada de reclutamiento denso-dependiente y su diferencia respecto a la serie original sin filtrar (reclutamiento denso-independiente) se ajustaron separadamente a modelos de reclutamiento que lograron explicar un 59% y un 53% de la varianza, respectivamente.



En modelo ajustado por Zuleta **et al.** (manuscrito en revisión) y Balbontin **et al.** (1994) para evaluar el efecto de las variables ambientales fue:

$$\ln\left(1 + \frac{RI}{RD}\right) = -5,68 + 0,466 T_{sep} - 9,17 * 10^{-4} IS_{ago}$$

en donde: RI es el reclutamiento denso-independiente; RD es el reclutamiento denso-dependiente; Tsep es la temperatura superficial del mar en septiembre; ISago es el índice de surgencia de agosto. Este modelo fue capaz de explicar sólo el 20,29% (R²) de la varianza al considerar todos los datos. Al excluir del modelo un dato con un residuo muy grande, éste aumentó su capacidad explicativa a 52,89% (R²), dejando en evidencia su inestabilidad.

En el presente proyecto se modificó levemente este modelo, utilizando un modelo general aditivo reemplazando los coeficientes de regresión lineal por funciones (no-lineales) en las variables independientes, estimadas por el procedimiento de "scatterplot smoothing". El modelo fue:

$$\ln\left(1 + \frac{RI}{RD}\right) = \alpha + f(VA) + e$$

en donde F(VA) es la función de la variable ambiental, alpha el parámetro del intercepto y e el término de error.

3.4 Modelo de crecimiento individual

Para modelar el efecto de variables ambientales en el crecimiento individual, se utilizó el modelo de Jobling (1988) modificado por Nilssen **et al.** (1995):



$$SGR = C e^{aVA} GW^b$$

donde: SGR es la tasa de crecimiento específica; Ce^{aVA} es una descripción simple de la relación entre SGR y VA; VA es una variable ambiental (temperatura en el modelo de Nilssen *et al.* 1995); GW es el peso geométrico; y a y b son parámetros a estimar.

También se evaluó otra modificación del modelo propuesta por Nilssen *et al.* 1995, que considera los posibles efectos denso-dependientes en el crecimiento:

$$SGR = C e^{aVA} GW^b \left(\frac{1}{N^d} \right)$$

en el cual N corresponde a la abundancia de un conjunto de edades y d es un exponente a estimar.

4. *Analizar las fluctuaciones de mediano y largo plazo de la abundancia de merluza común en relación a cambios en el sistema océano-atmósfera en el Océano Pacífico Sur.*

4.1 EL NIÑO - Índice de Oscilación del Sur y procesos de calentamiento de las temperaturas superficiales del agua de mar

Este objetivo fue abordado considerando como variable de largo plazo del stock de merluza común a los estimados de abundancia obtenidos por el programa ADASIM, cuya metodología de cálculo y estimación fue descrita en detalle en secciones previas de este informe (objetivo 1). Los estimados correspondieron a las abundancias y biomásas de las edades 3+ y 5+ para el período 1968-1995.



El principal objetivo fue evaluar la existencia de posibles relaciones entre la ocurrencia de eventos ambientales de mayor escala como son el fenómeno de El Niño, representado a través del índice de oscilación del sur (IOS), y su probable efecto en el sistema hidrográfico de Chile central. La aproximación metodológica consideró el análisis de la significancia estadística que tiene relacionar la serie temporal del IOS existente para el Pacífico Sur con las fluctuaciones temporales observadas en la temperatura superficial del mar y el índice de surgencia, así como en los estimados de abundancia de la merluza común.

Se modeló mediante un análisis de series de tiempo en el dominio temporal, la relación existente entre las diferencias de presiones normalizadas del nivel del mar (PNM) entre Tahiti y Darwin (T-D) como índice de la Oscilación del Sur (IOS), siendo utilizadas como series predictoras de las temperaturas superficiales del mar, en las estaciones costeras localizadas en Valparaíso y Talcahuano.

Para este análisis se utilizó información registrada en estaciones del Pacífico Sur (parte central) de las cuales el Instituto de Investigación Pesquera posee extensos registros de presiones a nivel del mar (PNM), las que provienen de la estación meteorológica de Tahiti (17°30'S, 150°W), la que se encuentra en la zona del predominancia de los centros de altas presiones del Pacífico (Anticiclón); mientras que otra estación, representativa de la celda Indonésica de bajas presiones ecuatoriales, es Darwin (12°S, 131°E).

Un índice representativo de la OS, corresponde a la diferencia de presiones atmosféricas medidas al nivel del mar entre estaciones ubicadas en el Pacífico Central (asociadas al Anticiclón del Pacífico) y estaciones de la región Indonésica (Bajas ecuatoriales). Según Rasmusson y Carpenter (1982) y Chen (1982) la diferencia entre presiones superficiales al nivel del mar (PNM), registradas en Tahiti y



Darwin (T-D), representaría a los cambios producidos en la fase de la OS y estos cambios, estadísticamente preceden en algunos meses a los cambios producidos en la temperatura superficial del agua de mar en la costa sudamericana.

La diferencia entre las series de PNM de Tahiti y Darwin, como variable que representa al IOS, ha sido utilizada y recomendada anteriormente (Cid 1985; Rasmusson y Carpenter 1982; Chen 1982; Trenberth 1984).

Similar al análisis que realizaron estos autores, en la relación de las presiones a nivel del mar con las temperaturas superficiales del agua de mar (TSM), en 5 estaciones de la costa del Perú (Talara, Chicama, Chimbote, La Punta y San Juan), se intentó en este trabajo relacionar el índice de la OS con las series de TSM existentes para Chile centro-sur en la V y VIII Regiones desde 1968 hasta 1994.

La escala de observación de los datos, es diaria pero para reducir el efecto de altas frecuencias se utilizaron promedios mensuales de todas las series. Debido al comportamiento del fenómeno, la escala mensual parece ser la más apropiada.

El primer paso en el proceso de modelación consistió en el preblanqueado, de las series de entrada de PNM y de TSM. Para identificar, en una mejor forma, la estructura asociada a cada serie se utilizaron sus funciones de autocorrelación (FAC) y de autocorrelación parcial (FACP).

En las series de PNM y de TSM, el análisis de las funciones de autocorrelación y autocorrelación parcial fue modelado de acuerdo a los procesos que se identificaron en cada una de las series (modelos de tipo ARIMA). La estructura de los residuos de los modelos generados fue diagnosticada de acuerdo a si éstos se comportaban como ruido blanco o no.



La identificación del modelo definitivo se realizó a través de la función de correlación cruzada (FCC) entre los residuos de cada una de las series de entrada reblanqueadas y los residuos de la serie de salida transformados de acuerdo a las metodologías y procesos de identificación de modelos del tipo ARIMA, planteados por Montgomery y Weatherby (1980), Box y McGregor (1974) y Box y Jenkins (1976).

4.2 Identificación de procesos oceanográficos de escala media y su relación con las fluctuaciones de la abundancia de la merluza común

Se utilizó la información relativa a la actividad de la flota industrial para el período 1982-1993 (Payá *et al.* 1996b). Dicha información incluye la ubicación de los principales caladeros de pesca y el patrón de explotación mensual al que éstos fueron sometidos. De este modo, se infiere la distribución del recurso a partir de la actividad de la flota y según el centro geográfico de los diferentes caladeros de pesca. El área de estudio que fue caracterizada en las cartas de TSM, se circunscribió a la región entre los 30°00' y 40°00' S, área en la cual se distribuyeron los principales caladeros de merluza común en el período 1982-1993 (Payá *et al.* 1996b).

Los procesos oceanográficos identificables en el sistema de surgencia de Chile centro-sur, fueron analizados de manera similar al trabajo realizado por Cáceres (1992). Para estos efectos, se catalogaron y analizaron más de 100 imágenes recolectadas para el período 1992-1995 y almacenadas en medios magnéticos en la estación satelital del Instituto de Investigación Pesquera. Una vez que las imágenes libres de nubosidad y en buenas condiciones para el análisis fueron seleccionadas, se calibraron previamente, para luego extraer algunos atributos o mediciones realizadas con el programa IMAGE versión 1.41 para MacIntosh. En cada imagen se seleccionó el área comprendida entre los 30° y 40° S. A esta área se le redujo el ruido contenido en las imágenes mediante el uso de un filtro que suavizó la información contenida en



ellas. Cada imagen fue calibrada en kilómetros, para luego dividir el área costera en 3 sectores :

- Sector 1 - Desde Punta Lavapié a Corral
- Sector 2 - Desde el Golfo de Arauco a San Antonio
- Sector 3 - Desde San Antonio a Coquimbo

El análisis fue realizado de dos formas:

Primeramente, en cada uno de estos sectores se delimitaron áreas de aproximadamente 1000 km², las que fueron mantenidas constante para cada imagen. De estas áreas se extrajeron los valores de densidad media, desviación estándar, mínimos y máximos de irradiancia en cada sector. El tamaño de los píxeles en cada imagen fue cercano a 0,28 píxeles/km².

En segundo lugar, se seleccionó un área de forma irregular, siguiendo la línea de costa en cada uno de los 3 sectores seleccionados previamente. Dicha área tuvo un ancho de aproximadamente 60 mn; y en ella se cuantificó para la cobertura total, el porcentaje numérico de píxeles según valores de irradiancia entre 0 y 266. Cabe destacar, que los valores de TSM se distribuyeron mayormente en el rango de valores entre 130 y 170. Estos valores modales permitieron caracterizar la cobertura del área de surgencia costera en la superficie del mar y posteriormente relacionarla con la distribución del recurso para la misma época.

En la propuesta técnica original se propuso la identificación de un modelo de función de transferencia adecuado para la relación entre las variables ambientales y el tamaño del stock estimado a partir de ADASIM. Considerando que los estimados de abundancia y biomasa del stock se realizan en base anual y que la serie de



abundancia estimada corresponde al período 1968-1995, es decir una serie relativamente corta en la escala anual, se optó además por utilizar las series mensuales de los centros geográficos de los 12 caladeros de pesca identificados por Payá *et al.* (1996b) para el período 1982-1993. Sin embargo, se exploró mediante correlaciones cruzadas y análisis exploratorio de datos, la posible relación entre las anomalías de los índices ambientales, calculados como promedios anuales y los estimados anuales de biomasa y abundancia para los grupos de edad 3+ y 5+.

Además de las series de tiempo analizadas en los capítulos anteriores de este informe, se contó con una serie de datos mensuales de anomalías de la temperatura superficial del mar, para un período comprendido entre 1986 y 1995. Esta serie se diferencia sustancialmente con la serie de temperaturas medidas en estaciones costeras, ya que se basa en cartas semanales de temperatura confeccionadas a partir de imágenes satelitales de alta resolución para un área de gran escala en el Pacífico Sur, la cual fue delimitada entre los 25° - 45°S y entre los 75° - 95°W. De este modo, se asocia en mejor forma con los procesos cálido-frío que puedan estar ocurriendo en una mayor escala frente a las costas de Chile central. A las matrices de datos agrupados en valores promedios de la TSM en una cuadrícula de 1° x 1° se le sustrajo el promedio mensual histórico de la serie, el cual fue calculado para cada mes del período de 10 años analizados. Finalmente, se calculó la anomalía media anual promediando los valores mensuales para cada año y para cada cuadrícula.

5. Taller Técnico

Este taller correspondió a la última actividad del proyecto y tuvo por objetivo analizar los principales resultados obtenidos y recoger las recomendaciones y sugerencias de investigadores y técnicos relacionados con el tema. El taller se llevó a cabo los días 5



y 6 de junio en el piso 19º de la Subsecretaría de Pesca, una vez terminado el pre-informe final.

Se realizaron presentaciones orales de los principales resultados obtenidos por objetivos específicos, para lo cual los expositores dispusieron de 30 minutos, luego de los cuales se utilizaron 15 minutos de discusión. Finalmente, se efectuó una mesa redonda en la cual se realizó la discusión final y la redacción de las principales recomendaciones y conclusiones del taller.





VI. RESULTADOS

1. *Efectuar un análisis de la dinámica poblacional de merluza común en relación a los procesos biológicos poblacionales e individuales, de mortalidad y de distribución del stock de merluza común.*

1.1 Procesos biológicos poblacionales

a. Abundancia del stock

La biomasa total del stock (fracción 3+) se mantuvo relativamente estable desde 1968 hasta 1981, con biomásas que fluctuaron entre 250 a 300 mil t, luego se produjo un fuerte crecimiento hasta 1995, para mantenerse fluctuando hasta 1995, entre las 500 y 650 mil t (Fig. 2). Por sexo, la tendencia histórica fue similar, aunque en los machos se observa una mayor fluctuación, que es la responsable de las variaciones de la biomasa total en el último período.

La biomasa de la componente más adulta del stock (fracción 5+) presentó una tendencia creciente desde 15 mil t en 1968 hasta 50 mil t en 1979, para luego disminuir hasta 30 mil t en 1982. Luego se produce otro fuerte crecimiento que duró hasta 1990, cuando esta fracción alcanzó las 170 mil t, finalmente las biomásas disminuyen hasta 110 mil t en 1995 (Fig. 3). La biomasa de la fracción 5+, estuvo compuesta principalmente por hembras, debido a que éstas presentan un crecimiento más rápido que los machos, alcanzando un mayor peso a la edad.

El número de individuos totales del stock (fracción 3+) disminuyó desde 900 millones en 1968 hasta 700 millones en 1978, luego aumentó exponencialmente hasta 1450 millones en 1986, para luego caer nuevamente a 950 millones en 1991, posteriormente aumentó hasta 1600 millones en 1994 y finalmente disminuyó a 1250 millones en 1995 (Fig. 4). Los machos fueron más numerosos que las hembras hasta 1976, luego



presentaron fuertes fluctuaciones, que dan cuenta de las variaciones del número de individuos totales.

Los individuos más adultos (fracción 5+) presentaron un crecimiento sostenido desde alrededor de 250 millones en 1968 hasta 650 millones en 1988, luego disminuyeron hasta 400 millones en 1993 y volvieron a aumentar hasta 550 millones en 1995 (Fig. 5). Hasta 1977 la proporción en número de los sexos fue similar, pero luego las hembras han sido más abundantes que los machos, los cuales se presentan con mayores fluctuaciones.

b. Mortalidades por pesca

En las hembras las mayores mortalidades por pesca se produjeron en 1968, luego éstas disminuyeron fuertemente hasta 1976, para mantenerse relativamente estables hasta 1990, a partir de cuando se produjo un nuevo aumento (Fig. 6). En la mortalidad por pesca promedio ponderado por la abundancia, se observa un aumento notable en los años 1980 y 1981, mientras que en el "nivel" (F_c) y en el "efecto" (F_p) de la explotación la tendencia es similar y menos fluctuante.

En el caso de los machos, las tendencias globales son similares a las de las hembras, pero con fluctuaciones mayores en la mortalidad por pesca promedio, que aumenta notablemente en los años 1976, 1981 y 1994 (Fig. 7). Por otra parte, los valores de las mortalidades por pesca de machos fueron mayores que la de hembras.

c. Reclutamientos

Los reclutamientos totales disminuyeron desde 450 millones en 1969 hasta 280 millones en 1977, luego aumentaron fuertemente hasta 550 millones en 1985, para luego caer a 250 millones en 1991 y volver a aumentar hasta 750 millones en 1993 y finalmente disminuir a 200 millones en 1995 (Fig.8). La fluctuaciones de los reclutamientos totales se deben principalmente a la conducta de los machos, los



cuales fueron más abundantes y fluctuantes que las hembras. No obstante, ambos sexos presentaron sus mayores reclutamientos en los mismos años.

d. Producción de huevos y fertilidad a la edad

La producción de huevos se presentó relativamente estable desde 1968 hasta 1981, con alrededor de $2 \cdot 10^{13}$ huevos, luego se presenta una tendencia creciente hasta $7 \cdot 10^{13}$ en 1991 y finalmente se produce una disminución, llegando en 1995 a los $5 \cdot 10^3$ (Fig. 9). La fertilidad aumentó con la edad (Fig. 10)

e. Distribución del stock

e.1 Desembarques históricos en la pesquería de merluza común

La explotación comercial de merluza común se inició en Chile en 1938. En el desarrollo de la pesquería se pueden identificar los siguientes períodos (Fig. 11): desarrollo (1938-1945), en el cual los desembarques no superaron de las 10.000 ton; crecimiento (1946-1955), caracterizado por un creciente aumento de los desembarques hasta las 98.000 ton; luego le sigue un período de estabilización (1956-1961), con desembarques estabilizados alrededor de las 76.000 ton; fluctuación (1962-1968), donde al final del período se logra el desembarque más alto en la historia de la pesquería (128 mil ton); luego se observa un período de declinación (1969-1976), producto de los altos niveles de intensidad por pesca.

A esta época se le agrega finalmente un período de recuperación en el cual hacia 1987, los desembarques se estabilizan en alrededor de 30 mil toneladas anuales, para luego iniciar una nueva tendencia al aumento (recuperación), alcanzando en 1995 a 75.403 ton en la unidad de pesquería (Fig. 11). Se destaca que el período más reciente de incremento del desembarque de merluza común ha estado regulado según el establecimiento de cuotas anuales de captura.



Durante los procesos de estabilización, fluctuación y declinación de la pesquería (período 1960-1981), la CPUE, como un índice de la abundancia relativa del recurso, mostró una alta proporcionalidad con las capturas anuales (Fig. 12), sin embargo el esfuerzo hacia 1980-81 se había incrementado 7,5 veces respecto del esfuerzo ejercido por la pesquería en 1977 (Fig. 12).

e.2 Distribución histórica de las capturas para el período 1970-1981

Según los resultados expuestos por Aguayo y Young (1982), la actividad pesquera sobre el recurso merluza común se desarrolló inicialmente (1970-1975) en el área comprendida entre Los Vilos 31°51' y Punta Morguilla (38°S), para luego entre 1976-1981 expandirse el área de captura entre Huentelauquén (31°40'S) y Punta Nihue (39°20'S), situación que implicó una expansión en aproximadamente 90 mn del rango inicial de distribución del recurso. Esto se debió principalmente a que en las primeras etapas de este período (1970-1975), la flota concentraba su operación desde el puerto de San Antonio y estaba compuesta por embarcaciones de mayor tamaño, las cuales en promedio alcanzaban a las 300 toneladas de registro grueso; mientras que en el área de Talcahuano las embarcaciones en promedio no superaban las 100 toneladas de registro grueso (Fig. 13). Este patrón cambió a partir de 1979, año en el cual se observa un mayor número de embarcaciones operando desde el puerto de Talcahuano (más de 10 embarcaciones industriales) y un marcado incremento del tonelaje de registro grueso de estas embarcaciones (TRG > 300 ton) respecto de las embarcaciones que operaban desde el puerto de San Antonio (TRG < 200 ton, Fig. 13). Aguayo y Young (1982) atribuyeron estos cambios en la composición y estructura de la flota a una paulatina modernización de las unidades de pesca, la reorientación de algunas embarcaciones a otros recursos con pesquerías más rentables y al redestino de la merluza común hacia un mayor consumo directo, hecho que puso una cota superior a la captura para así evitar la saturación del mercado.



El análisis de la procedencia de los desembarques, según la distribución porcentual de las capturas a partir de zonas separadas de 1° de latitud entre los 30° y 39° S permite reconocer la dinámica del recurso a través del tiempo. Es así como, la flota de San Antonio entre 1970 y 1975 obtuvo las mayores capturas en la región comprendida entre Valparaíso (33°S) y Mataquito (35°S). En el período 1976-1979 se observa un marcado desplazamiento de la flota hacia el área comprendida entre los 34°S y hasta Punta Nugurne (36°S), alcanzando además hasta la región de Puerto Saavedra, al sur de la Isla Mocha (39°S). En 1980-1981, mostró un desplazamiento hacia el norte con una distribución de la captura nuevamente centrada entre los 33° y 35°S (Fig. 14). En las capturas realizadas por la flota de Talcahuano entre 1970 y 1979, se observa una marcada concentración de la actividad en el área entre Punta Nugurne (36°S) y Punta Morguilla (38°S, Fig. 14). En 1980-1981, la flota amplió su rango de operación, particularmente hacia el norte, alcanzando el área al sur de Valparaíso (33°S).

La fluctuación de los centros de gravedad geográficos a través de esta fase de la pesquería fue analizada para las dos flotas en operación. En la flota de San Antonio, se observa para los años 1970-1975 que el mayor aporte a las capturas provino de la región al norte de los 34°S, para luego producirse un marcado desplazamiento del centro de gravedad al sur de los 36°S en 1977 y después retornar paulatinamente hacia la región norte en 1981 (Fig. 15). En el caso de la flota que operaba desde el puerto de Talcahuano, los centros de gravedad geográficos mostraron sólo leves desplazamientos con variaciones no mayores a 1° de latitud y centrados aproximadamente en los 36° 30'S (Fig. 15).

e.3 Distribución histórica de las capturas y CPUE para el período 1982-1993

La distribución histórica de las capturas, el esfuerzo de pesca y la CPUE se utilizaron como un índice de la distribución del recurso y particularmente como identificador de las regiones de máxima concentración de éste. Se trata de un índice, ya que se está



infiriendo o suponiendo que las embarcaciones de la flota merlucera operan dentro del rango de distribución del recurso y particularmente desarrollan su actividad en áreas de máximas concentraciones del recurso, donde el éxito de captura y los rendimientos obtenidos son favorables o máximos.

A modo de corroboración de este supuesto, se analizó la distribución del recurso identificada a través de los cruceros hidroacústicos de merluza que fueron realizados en 1993 y 1995 (Payá *et al.* 1995). De acuerdo a los resultados hidroacústicos, la merluza muestra sus mayores densidades entre las latitudes 33°00'S y 38°30'S, con valores máximos en las cercanías del área de Talcahuano y San Vicente, mientras que hacia los extremos de la distribución, las densidades mostraron una tendencia decreciente (Payá *et al.* 1995). Otro aspecto importante de considerar con respecto a los resultados de estos cruceros, es que se detectó un alto grado de agregación del recurso ya que un 40% de las muestras de densidad por milla náutica cadrada fueron iguales a cero (intervalo básico de muestreo = 1 mn²).

A continuación se presenta la distribución espacio-temporal de la captura, el esfuerzo y la CPUE anual a la forma de mapas de distribución por cuadrículas de 10 mn x 10 mn desde los 30°S hasta los 40°S (Figuras 16 a 27). Esta información fue previamente procesada y analizada para el período 1982-1993 en el marco del proyecto FIP denominado: "Análisis de la captura y del esfuerzo de pesca en la pesquería demersal de merluza común en la zona centro-sur" (Payá *et al.*, 1996b). Se destaca la marcada tendencia existente en las capturas al concentrarse en 3 focos principales de capturas: al norte de los 33°S ; al sur, en el área entre Lebu y Morguilla (37°30'S) y al sur de la isla Mocha (39°S).

En 1982 se registraron 3 focos de capturas superiores a las 1000 ton. El primero, localizado al sur del puerto de San Antonio (Fig. 16), otro ubicado en las cercanías de Punta Nugurne (36°S) y el tercero localizado al sur de Punta Lavapié (sector de Lebu -



Morguilla). El esfuerzo (h) aplicado por la flota fue mayor a 200 h de arrastre en las zonas anteriormente descritas, existiendo además un incremento en el área frente a Constitución. Debido a que los 3 focos mencionados anteriormente fueron sometidos a una mayor intensidad de pesca por parte de la flota, se observa una reducción en los rendimientos globales en dichas áreas registrándose los mayores rendimientos hacia los extremos norte y sur de la distribución del recurso (Fig. 16). En 1983, se observa un patrón similar a 1982 de distribución de las capturas anuales, manteniéndose la importancia de los focos de Punta Nugurne y de Lebu (Fig. 17). El esfuerzo aplicado por la flota, al igual que en 1982, fue de menor intensidad en los extremos de la distribución (<25 h); sin embargo se destaca una cuadrícula con altos valores de esfuerzo (>500 h) frente a Papudo. En general, los rendimientos fueron inferiores a 3 ton/h y los mayores valores se registraron hacia los extremos de la distribución (Fig. 17), destacándose la incursión a zonas al sur de Corral y de los 40°S.

En 1984, se observa en el foco de Punta Nugurne, una mayor cobertura de las cuadrículas con capturas superiores a las 500 ton (Fig. 18). Los mayores valores de esfuerzo fueron registrados principalmente entre los puertos de San Antonio y Talcahuano, con un máximo al oeste de Punta Nugurne (4 cuadrículas superiores a 500 h de arrastre). Además, se mantuvo la operación de la flota con altos rendimientos hacia el área de Corral (Fig. 18) y la aparición de centros de altos rendimientos en áreas alejadas de la costa frente a los focos de San Antonio y de Punta Nugurne. En 1985 (Fig. 19), se observó un patrón de distribución de las capturas muy similar al año 1984, faltando sólo las capturas del área al sur de los 40°S. Se mantuvo la existencia de focos de máxima concentración del esfuerzo en 3 zonas, Punta Nugurne, norte de Constitución y sur del puerto de San Antonio. Similarmente en 1986, no se registraron desembarques con capturas provenientes del área al sur de Valdivia (Fig. 20). Los rendimientos de pesca, obtenidos por la flota en el año 1986, a diferencia de otros años fueron prácticamente en todas las cuadrículas al sur de Punta Lavapié superiores a 2 ton/h (Fig. 20). En 1987, disminuyó notoriamente el aporte de capturas y el esfuerzo



efectuado en la región de Los Vilos y Papudo, incrementándose la actividad y las capturas costeras entre Iloca y Achira (Fig. 21) con máximas intensidades de operación entre Punta Nugurne y Punta Tumbes; mientras que son notables los rendimientos del área al sur de la Isla Mocha y frente a la costa de Puerto Saavedra y Qeule (Fig. 21).

En 1988, se mantiene la actividad centrada en los 3 principales focos de captura al sur de San Antonio, Punta Nugurne y al sur de Punta Lavapié (Fig 22). Sin embargo los rendimientos del área frente a Punta Nugurne son inferiores a otros años, aumentando la importancia del área al sur de Punta Lavapié, y en especial al sur de la Isla Mocha (Fig. 22). También se destaca una mayor cobertura de la operación de la flota hacia áreas más alejadas de la costa, pero de baja intensidad de pesca (<10 h de arrastre). Esta expansión operacional de la flota, en el sentido longitudinal, se observa con mayor notoriedad hacia los años 1989 (Fig. 23) y 1990 (Fig. 24). En 1989, se mantuvo un máximo de aplicación del esfuerzo entre Punta Nugurne y Constitución (> 500 h de arrastre) y una reducida actividad entre Papudo y Valparaíso. Las cuadrículas de mayores rendimientos de pesca en el área de Constitución a San Vicente, se localizaron en una franja alejada a unas 40 mn de la costa (Fig. 23).

En 1990, el principal centro de concentración de las capturas se desarrolló al sur de Constitución, sin embargo el esfuerzo de pesca fue máximo en una extensa zona costera localizada entre Algarrobo y Talcahuano (Fig. 24), sin embargo los rendimientos de pesca fueron bajos en esta región (Fig. 24). En cambio durante 1991, este centro se desplazó o concentró al norte del puerto de Constitución (Fig. 25), con máximos valores de esfuerzo frente al puerto de San Antonio, áreas en las cuales los rendimientos también fueron satisfactorios (Fig 25).

En 1992, se registraron importantes capturas por cuadrícula en el área al sur de Punta Lavapié (>100 ton ; Fig. 26). Estas capturas reportaron, para esta misma área, notables rendimientos de pesca (Fig. 26), los que fueron predominantemente



superiores a 4 ton/h. En 1993, se registraron capturas hasta Tongoy por el norte (Fig. 27), mientras que el esfuerzo fue incrementado en las áreas al sur de la Punta Lavapié y hasta la Isla Mocha, sin embargo se destacan los altos valores de rendimiento en el área al oeste de Corral (Fig. 27).

1.2 Procesos biológicos individuales

a. Crecimiento individual

Las fluctuaciones en el peso promedio a la edad reflejadas en las fluctuaciones del peso geométrico son enfatizadas por el porcentaje de cambio del mismo, en donde las diferencias en el patrón de fluctuación de las diferentes edades se hace evidente (figuras 28 y 29).

Los pesos disminuyeron desde 1971 a 1981, para luego volver a incrementar, presentando una mayor variabilidad hacia las edades extremas (Fig.28). En el período 1971-1981, la tasa de cambio para individuos de 2 y de 4 a 10 años de edad, fue del orden de 10-15%, mientras que para los ejemplares de 3, 11 y 12 años alcanzó un 25% (Fig.29). La mayor tasa de cambio positiva se observó en el año 1982.

b. Madurez

La base de datos permitió calcular la talla 50% de primera madurez sexual de las hembras para el período 1983-1995. Se observaron variaciones en esa talla, con valores extremos de 37,5 cm LT en 1995 y 40,7 cm LT en 1991. Para los años anteriores, se utilizó el valor promedio del período indicado, estimado en 38,7 cm LT. A cada valor, se le calculó el límite inferior y superior de plausibilidad (Fig. 30). Las ojivas de madurez sexual para cada uno de los años considerados, se muestran en la Figura 31.

c. Fecundidad versus peso de la gónada y fecundidad histórica

La merluza común se caracteriza por realizar desoves fraccionados, en que a medida que maduran los ovocitos, son expulsados al agua de mar en camadas (Balbontín y



Fischer 1981). Un porcentaje de las hembras se encuentra sexualmente activas durante todo el año, pero el período reproductivo de la población se concentra entre agosto y septiembre en la zona central o hasta octubre en la zona centro-sur (ver Balbontín y Fischer 1981; Alarcón y Arancibia 1993; Payá *et al.* 1994). El área correspondiente a la V Región, es una de las principales áreas de desove de la especie (Avilés *et al.* 1979).

La fecundidad relativa promedio en la merluza común, es decir, el número de ovocitos de la moda más avanzada expresada por gramo de peso corporal dio valores para Valparaíso de 345 y 202 ovocitos en 1965 y 1992, respectivamente; para San Vicente, estos valores fueron 206 y 179 (Balbontín y Bravo 1993). También para este último puerto, otra estimación entregó un valor de 115 ovocitos para datos de 1992 (Alarcón y Arancibia 1993).

El cálculo de la relación entre la fecundidad (f) y el peso de la gónada expresada en gramos (PG) se ajustó a un modelo de regresión simple, cuya ecuación es la siguiente:

$$f \text{ est.} = 50345 + 2742,9 \text{ PG}$$

El error típico de la estimación fue de 87446; el $r^2 = 0,74$ y $n = 445$ (Figuras 32 y 33). Esta ecuación se utilizó para estimar las fecundidades a la talla de los ejemplares, considerando su peso gonadal y estadio de madurez sexual desde 1985 a 1995. Los resultados de las estimaciones se muestran en las Figuras 34 a 44. Los parámetros de las ecuaciones de cada una de estas relaciones se resumen en la Tabla 1.

Para comparar las variaciones de la fecundidad en el tiempo, se calculó para cada año un valor promedio. Este valor se obtuvo de datos estimados de fecundidad de hembras en un rango de tallas iguales (35 a 85 cm LT). Se observó que la fecundidad presenta variaciones anuales, con cierta estabilidad entre 1985 y 1987, para después presentar fluctuaciones de mayor magnitud. Los valores más elevados correspondieron a 1991 y



1994 (Fig. 45). En esa Figura se incluyen como referencia las determinaciones de fecundidad realizadas en 1965 y 1992, indicadas como FB65 y FB92 (Balbontín y Fischer 1981, Balbontín y Bravo 1993) y el promedio de las estimaciones (GLOBAL). Se observa que estos últimos valores tienen magnitudes comparables al resto de la serie. Al no detectarse en la serie una tendencia clara en el tiempo, que pudiera extrapolarse a los años anteriores para los que no se dispone de información, se optó por aplicar a esos años la media de los datos individuales del período 1985-1995 (Fig. 46).

2. *Determinar el efecto de cambios ambientales en los procesos biológicos poblacionales e individuales para el stock.*

2.1 Variables ambientales

a Variables ambientales de Valparaíso

a1. Temperatura superficial del mar en Valparaíso

Los promedios anuales de la TSM mostraron un período frío (1966-1977) seguido de uno cálido (1977-1991), con la presencia de un período frío en la actualidad. Tanto en el primer período frío como en el cálido, se observó años en que se produjo una situación inversa. En 1972 la temperatura alcanzó valores por sobre el promedio de los 29 años analizados y en 1990 la temperatura disminuyó por debajo del mismo promedio (Fig. 47).

La señal anual de la temperatura mostró un ciclo anual con menores temperaturas en agosto y septiembre y máximas en febrero (Fig. 48). El ciclo anual se repite durante todo el período analizado, sobrepuesto con el ciclo de largo período nombrado en el párrafo anterior (frío - cálido - frío), no apreciándose a simple vista detalles importantes en sus fluctuaciones (Fig. 49). Por otro lado, al graficar sólo los promedios de agosto y



septiembre, en consideración de que en estos meses ocurre el desove principal de merluza común, se ve que durante agosto la temperatura sigue el ciclo de largo período, con diferencias entre años consecutivos menores de un grado y medio (Fig. 49a). En tanto que en septiembre, también existe un ciclo de largo período con diferencias menores a un grado entre años consecutivos, con la excepción de 1972 que presenta una diferencia de 2°C respecto a 1971 y 1973 (Fig. 49b). Esto hace que El Niño 1972-1973 sea muy diferente respecto al resto de los otros años El Niño que se produjeron entre 1966 y 1995, ya que la perturbación que introdujo en el ecosistema fue de mayor intensidad.

a2. Índice de surgencia de Valparaíso

Los promedios anuales del índice de surgencia indican que normalmente en el área de Valparaíso la surgencia es un factor importante en el sistema (Fig. 50a), ya que los valores promedios anuales de este índice superan los 300 m²/s/1000 m. La excepción está representada por 1966, 1992, 1993 y 1994, en que los promedios del índice fueron menores de 100 m²/s/1000 m. Al analizar la señal anual de este índice se aprecia que presenta un ciclo anual, en el cual los menores valores ocurren en junio y julio, en tanto que los mayores entre octubre y febrero (Fig. 50b).

Los promedios mensuales del índice de surgencia durante la época de estudio presentaron las típicas fluctuaciones de este índice, mostrando variaciones anuales, siendo el período de 1992 a 1994 el más diferente, producto de la disminución notoria del índice (Fig. 51). Se observa que en los promedios mensuales de agosto, las diferencias entre años consecutivos no superan en promedio a los 300 m²/s/1000 m, con la excepción de 1966, 1973 y 1974 en que esa diferencia fue superior a los 400 m²/s/1000 m (Fig. 52a). En tanto que los promedios mensuales de septiembre mostraron una situación parecida, aunque con excepciones representadas por valores sobre los 400 (m²/s/1000 m) en 1982, 1983, 1984 y 1995 (Fig. 52b).



a3. Índice de turbulencia de Valparaíso

Los promedios anuales del índice de turbulencia indican que normalmente en el área de Valparaíso la mezcla turbulenta, al igual que el transporte fuera de la costa es un factor importante en el sistema (Fig. 53a). Los valores promedios anuales de este índice superan los 400 m³, con excepción de 1966, 1992, 1993 y 1994 en que los promedios del índice fueron menores de 200 m³. Al analizar la señal anual de este índice, se aprecia que presenta un ciclo anual en el cual los menores valores ocurren en mayo a julio, en tanto que los mayores entre octubre y febrero (Fig. 53b).

Los promedios mensuales del índice durante la época de estudio presentaron las típicas fluctuaciones de este índice, mostrando variaciones anuales, siendo los períodos de 1966 a 1967 y 1992 a 1994 los más diferentes, producto de la disminución notoria del índice (Fig. 54). Los promedios mensuales de agosto señalan que las diferencias entre años consecutivos no supera en promedio a los 300 m³, con excepción de 1973 y 1995 en que esa diferencia fue superior a los 500 m³ (Fig. 55a). En tanto que los promedios mensuales de septiembre correspondieron a una situación parecida, aunque las excepciones con valores sobre los 400 m³, se presentaron en 1982, 1983, 1984 y 1995 (Fig. 55b).

b. Variables ambientales de Talcahuano

b1. Temperatura superficial del mar en Talcahuano

En la serie de promedios anuales de la temperatura superficial del mar, medida en Talcahuano, se observan 2 períodos de fluctuación de la temperatura en torno al valor medio, con una duración aproximada de 10 años; el primer período, de tipo frío se presentó entre los años 1965 y 1976, a éste le siguió un período cálido entre 1977 y 1988; para finalmente evolucionar nuevamente hacia un período frío desde 1989 a 1995 (Fig. 56a).



El promedio de los valores de temperatura superficial agrupados mensualmente, para todo el período de estudio, permite reconocer la estacionalidad de la temperatura con máximos valores medios entre enero y marzo (ca. 14 °C); mientras que los más bajos valores, e inferiores a 12°C, se registran entre los meses de junio y agosto de cada año (Fig. 56b).

En la serie de promedios mensuales de la temperatura superficial, se observa la presencia de los ciclos de períodos frío-cálido-frío (Fig. 57). A diferencia del período cálido, los períodos fríos se caracterizan por tener una menor amplitud y variabilidad en las fluctuaciones mensuales. Además, se observa la ausencia de algunos valores a lo largo de la serie, los que obedecen a fallas en la toma de registros o mediciones defectuosas, las que fueron corregidas y estimadas para así obtener una serie sin información faltante. El tratamiento mediante el cual fue corregida esta situación es tratado en detalle en secciones posteriores de este objetivo.

Los promedios de todos los agostos de la serie de temperatura revelan marcadas fluctuaciones (Fig. 58a) de año en año. Sin embargo, también se identifica la existencia de los períodos frío-cálido-frío observados previamente en la serie anual y mensual. De comportamiento menos fluctuante, se observa que las TSM de septiembre (Fig. 58b) manifiestan pequeñas diferencias entre años consecutivos. El único valor que se desvía considerablemente del patrón cíclico observado, es el promedio de septiembre de 1979 (10,6 °C).

b2. Índice de surgencia de Talcahuano

El índice de surgencia estimado para el área de Talcahuano también muestra una fluctuación interanual que forma parte de un ciclo de oscilación de mayor escala, mostrando 3 períodos a lo largo de la historia de la serie de tiempo. El primero, dominado por valores positivos del índice entre 1971 y 1974; seguido de un período



de valores negativos del índice entre 1975 y 1987; para luego volver a un período de valores positivos a partir de 1988 en adelante (Fig. 59a).

La serie anual de este índice muestra que los menores valores ocurren entre los meses de mayo y julio ($-400 \text{ m}^2/\text{s}/1000 \text{ m}$) mientras que la máxima intensidad de este índice se registra entre los meses de noviembre a marzo de cada año (Fig. 59a).

A diferencia de lo que ocurre con el índice de surgencia para Valparaíso, al analizar la serie mensual del índice (Fig. 60), en Talcahuano se observan valores extremadamente negativos debido principalmente a la ocurrencia de fuertes vientos norte y al paso de sistemas frontales, durante la época invernal, lo que influencia en consecuencia a los promedios anuales de este índice. Mientras el área de Valparaíso se localiza bajo la constante acción del anticiclón del Pacífico, el área de Talcahuano en tanto se encuentra bajo la acción estacional de los sistemas frontales que ocurren durante la época invernal. Debido a esto último es que en el índice de surgencia de Talcahuano se observan valores promedios negativos durante los meses de invierno y durante el período 1975-1987.

Los promedios para el mes de agosto de cada año se presentan en la Fig. 61a. Estos tienden a ser influenciados por la componente norte del viento, es decir valores negativos del índice. Los máximos valores medios se registraron en 1972 y en 1979 alcanzándose hasta $-650 \text{ m}^2/\text{s}/1000 \text{ m}$. Los promedios de septiembre de cada año (Fig. 61b) muestran una tendencia inicial de valores positivos y de baja fluctuación entre 1970 y 1975, para luego pasar a un período de mayores fluctuaciones, y marcados valores negativos del índice, hasta 1985. Desde ese año en adelante los valores fluctúan más bien en el rango de valores positivos.



b3. Índice de turbulencia de Talcahuano

A diferencia de las series anteriormente analizadas, los promedios anuales del índice de turbulencia estimados para el área de Talcahuano muestran una marcada tendencia descendente a través de los años de estudio, descendiendo de valores cercanos a $425 \text{ m}^3/\text{s}^3$ en 1971 a valores inferiores a $200 \text{ m}^3/\text{s}^3$ en 1995 (Fig. 62a). Al analizar la variación estacional de este índice, el menor valor se registra en el mes de abril ($180 \text{ m}^3/\text{s}^3$) y el máximo valor se observa en el mes de julio ($383 \text{ m}^3/\text{s}^3$), por efecto de los frentes de mal tiempo, mientras que en la época estival se alcanzan promedios máximos de $366 \text{ m}^3/\text{s}^3$ en el mes de enero (Fig. 62b). Los promedios mensuales de este índice muestran fuertes fluctuaciones estacionales, con valores que superan los $900 \text{ m}^3/\text{s}^3$ durante los meses de julio (Fig. 63).

En los promedios del IT de agosto se observa el paso de un período de alta fluctuación, con valores máximos que alcanzaron superaron los $500 \text{ m}^3/\text{s}^3$ (Fig. 64a), para luego oscilar en torno al valor medio y disminuir su amplitud, mostrando un período de 5 años (1986-1990) con valores sobre la media y otro posterior, con valores bajo el promedio para el mes en todo el período. La serie anual de valores del IT en septiembre (Fig. 64b) es más consistente con el patrón evidenciado claramente en la señal anual del índice (Fig. 62a); donde, de acuerdo a los resultados, se observaría un descenso en los valores de la turbulencia en el sistema costero de Talcahuano.

b4. Nivel medio del mar en Talcahuano

Los promedios anuales de esta serie muestran un incremento a través del tiempo (Fig. 65a), en aproximadamente $0,1 \text{ m}$ desde el período 1966-1972 ($1,05 \text{ m}$) hasta el período 1979-1995 (ca. $1,15 \text{ m}$). La estacionalidad existente en el nivel medio del mar permite observar los más altos valores entre los meses de junio-julio ($> 1,17 \text{ m}$),



mientras que los valores más bajos (ca. 1,09 m) se registran entre septiembre-noviembre de cada año (Fig. 65b).

El incremento de aproximadamente 0,1 m en la serie del nivel medio del mar también se observa claramente en la serie mensual del NMM (Fig. 66) y en las señales de agosto (Fig. 67a) y de septiembre (Fig. 67b). Si bien la serie de nivel medio del mar muestra una tendencia, el nivel de fluctuación de sus valores es bastante homogéneo en varianza. La periodicidad existente, también se refleja en los valores para los meses de agosto y septiembre ya que existen pocas diferencias entre valores contiguos de esta variable.

b5. Corrección de datos faltantes de la serie de temperaturas superficiales de Talcahuano.

El primer paso dentro del análisis exploratorio de las series de tiempo correspondió en revisar éstas e identificar posibles discontinuidades existentes a través del tiempo.

Por ejemplo, la serie de las temperaturas superficiales del mar medidas en Talcahuano, presentaba un total de 21 brechas o promedios mensuales faltantes (Fig. 57):

Período	Meses	Año
abril-diciembre	9	1975
enero	1	1982
mayo-junio	2	1982
enero-junio	6	1984
octubre-diciembre	3	1992



Puesto que se trata de información no existente, principalmente debido a desperfectos en los equipamientos de medición de las estaciones costeras, no fue posible recuperar las observaciones diarias correspondientes. Por lo tanto, se optó por ajustar un modelo de series de tiempo de tal forma de poder predecir los datos faltantes.

El primer modelo ajustado consideró solo a la serie completa desde enero de 1966 hasta marzo de 1975. Las funciones de autocorrelación (ACF; Fig. 68a) y de autocorrelación parcial (PACF; Fig. 68b) de esta serie, muestran la marcada estacionalidad de la TSM con máximas correlaciones en los rezagos múltiplos de 6 meses de desfase (i.e. 6, 12, 18, 24) y una correlación muy fuerte en el rezago 1 (Fig. 68b). Con estos antecedentes se intentó identificar un modelo que pudiera predecir el período abril-diciembre de 1975. En el ajuste de modelos del tipo ARIMA, se probaron los supuestos básicos de estacionariedad en la serie, esto es media y varianza constante a través del tiempo. La serie en análisis no cumplía con estos supuestos por lo que se aplicó distintos tipos de diferenciación (sugeridas por Box y Jenkins, 1976) para garantizar la estacionariedad.

Dentro de las diferenciaciones ensayadas, se consideró a) una diferenciación de primer orden, la cual no fue efectiva ya que transformó a la serie en ruido; seguidamente se utilizó b) una diferenciación estacional de primer orden, la que solo logró reducir la estacionalidad presente. Luego, se utilizó c) una diferenciación regular de segundo orden, la que logró estabilizar la serie ; para finalmente utilizar d) una diferenciación regular y una estacional de primer orden, la que cumplió con el objetivo inicialmente propuesto.

Es importante considerar que durante este proceso de identificación, se pueden encontrar variadas formas y tipos de diferenciación y puesto que nuestra idea es eliminar la posible relación entre meses consecutivos en un mismo año, y al mismo



tiempo la relación para el mismo mes en años sucesivos, la diferenciación óptima para este análisis la constituyó la diferenciación expuesta en el punto d), para así con esta nueva serie estacionaria ajustar modelos para completar los datos faltantes.

De diferentes modelos ajustados, muchos de ellos rechazados en la etapa de diagnóstico, debido a que sus residuos no satisfacían la condición de ser ruido blanco, se llegó a los siguientes tipos de modelos:

- 1)..... ARIMA (1,2,1), el que presentó un estadístico Q=18,16 y rp = 0,45;
- 2)..... ARIMA(0,1,1) (0,1,1)₁₂ con un valor de Q = 16,97 y rp = 0,53

Puesto que es sabido que los modelos con parámetros autoregresivos son mejores modelos descriptores y considerando que nuestro objetivo es predecir parte de la serie original, es que el modelo 2 fue elegido para completar los datos faltantes.

Esto es:

$$\begin{aligned} \nabla_{12} \nabla X_t &= \theta(B)\Theta(B)a_t \\ &= (1-\theta_1(B))(1-\Theta_1(B^{12}))a_t \\ &= (1-\Theta_1(B^{12})-\theta_1(B)+\theta(B)\Theta(B))a_t \end{aligned}$$

lo que equivale a:

$$(1-B)(1-B^{12})X_t = a_t - 0.67413a_{t-12} - 0.57351a_{t-1} + 0.38662a_{t-13}$$

Los valores predichos por este modelo son presentados con sus respectivos límites de confianza en la Fig. 69.



El siguiente paso consistió en completar la serie y volver a ajustar un modelo con los datos acumulados hasta diciembre de 1981 y así poder estimar enero de 1982. Para la continuidad de la serie, previa observación de las funciones de autocorrelación (ACF) y de autocorrelación parcial (PACF), se utilizó el mismo modelo modificándose sólo los parámetros de la siguiente forma:

$$(1 - B)(1 - B^{12})X_t = a_t - 0.81147a_{t-12} - 0.40919a_{t-1} + 0.33205a_{t-13}$$

con un valor del estadístico $Q = 24,38$ y $rp = 0,143$

Nuevamente, con lo anterior se completa la serie y se utiliza completa hasta abril de 1982, para luego predecir mayo y junio con el siguiente modelo:

$$(1 - B)(1 - B^{12})X_t = a_t - 0.80524a_{t-12} - 0.42574a_{t-1} + 0.34282a_{t-13}$$

con un valor del estadístico $Q = 22.41$ y $rp = 0.214$

hasta que con la serie hasta diciembre de 1983, se predice enero-junio de 1984 con el modelo:

$$(1 - B)(1 - B^{12})X_t = a_t - 0.80701a_{t-12} - 0.41354a_{t-1} + 0.33373a_{t-13}$$

con un valor del estadístico $Q = 29.03$ y $rp = 0.05$

Finalmente, la completación del último tramo faltante, no pudo ser realizada con el modelo antes utilizado ya que durante la fase de diagnóstico de la serie, los residuos no se comportaron como ruido blanco, por lo que una pequeña variación fue necesaria de aplicar en el modelo; ésta consistió en agregar un parámetro regular de media móvil, el que no presenta correlación con el anterior. De este modo se



ajustó un modelo del tipo:

$$\nabla_{12}\nabla X_t = (1 - \theta_1(B)\theta_2(B^2))(1 - \Theta_1(B^{12}))a_t$$

o equivalentemente:

$$(1 - B)(1 - B^{12})X_t = a_t - \Theta_1 a_{t-12} - \theta_1 a_{t-1} + \theta_1 \Theta_1 a_{t-13} - \theta_2 a_{t-2} + \theta_2 \Theta_1 a_{t-14}$$

lo que nos lleva al siguiente modelo:

$$(1 - B)(1 - B^{12})X_t = a_t - 0.82259a_{t-12} - 0.46787a_{t-1} + 0.38487a_{t-13} - 0.22312a_{t-2} + 0.18354a_{t-14}$$

con un valor del estadístico Q =26,02 y rp= 0,94

Importante de destacar hasta esta etapa del análisis, es que la información autocontenida en la serie y su capacidad autopredictiva permitieron estimar los meses faltantes mediante un modelo de media móvil multiplicativo estacional, cuyos estimadores en todos los modelos anteriormente ajustados presentaron parámetros muy parecidos entre sí, lo que implica mayor estabilidad en el uso de un modelo de la forma ARIMA (0,1,1)(0,1,1)₁₂ como para completar los datos faltantes.

La serie definitiva y completa de TSM (Fig. 70) será la utilizada en posteriores análisis en este informe.

c. Relaciones entre las variables ambientales de Valparaíso y Talcahuano.

c1. Temperaturas superficiales de Valparaíso y Talcahuano

La comparación de las funciones de autocorrelación (ACF; Fig. 71a) y de autocorrelación parcial (PACF; Fig. 71b) de la serie de temperatura superficial de



Valparaíso con las correspondientes funciones de la serie de temperatura superficial de Talcahuano (Fig. 71c y 71d), describen el mismo tipo de tendencia y estacionalidad en las series. Ambas funciones de autocorrelación tienen máximas correlaciones en los 2 primeros rezagos, para luego describir una función estacional con máximos en los rezagos de 6, 12, 18 y 24 meses. Esto último debido a la marcada estacionalidad (invierno-verano) existente en ambas series de temperatura.

Las funciones de autocorrelación parcial de las temperaturas superficiales son prácticamente idénticas (Figs. 71b y 71d), destacándose la señal intra-anual en ambas series y la ocurrencia de correlaciones significativas en los rezagos 13 y 23-24.

La función de correlación cruzada de ambas series (CCF; Fig. 71e), muestra una correlación altamente significativa en el rezago cero, es decir sin necesidad de desfase en alguna de las series ($r= 0,7$).

Con estos antecedentes, las series mensuales de temperaturas superficiales de Valparaíso y Talcahuano, no muestran diferencias en su comportamiento estacional e interanual. Es probable que en la escala diaria se verifiquen probables desfases y diferencias en las series; sin embargo, para este trabajo y en la relación con los procesos que ocurren en la población de la merluza común, no es necesario identificar procesos de menor escala asociados a estas series.

En conclusión, ambas series pueden ser promediadas mensualmente o se puede explorar una diferencia entre ambas, sin necesidad de desfazarlas. Al promediarlas, se aporta con mayor información, ya que la función de correlación cruzada muestra que la señal aportada por ambas series es muy fuerte, producto de los altos valores en sus correlaciones.

Un aspecto que no se debe dejar de considerar en cualquier análisis posterior,



particularmente en la asociación de los procesos biológicos con los ambientales, es que las temperaturas superficiales del mar, tanto en Valparaíso como en Talcahuano, manifiestan la alternancia de ciclos de mayor escala (interdecadal) de períodos que pueden ser denominados como "fríos" y "cálidos". Con la finalidad de poder precisar o delimitar la amplitud de dichos períodos, a las series anuales se les sustrajo el promedio de largo plazo (período 1966-1994). En la Fig. 72a se presenta la anomalía de la TSM promedio anual de ambas localidades y se muestra la tendencia que muestran ambas series (polinomio de segundo orden).

Primeramente, se observa un período frío entre los años 1966 a 1976; éste se continua con un período cálido, de una duración de doce años desde 1977 a 1988 y diferencias de 0,5 °C respecto del promedio histórico; para finalmente volver a un período con anomalías negativas a partir de 1989. Para poder identificar en mejor forma los 3 períodos y concordante con lo expresado en el párrafo anterior, las series de TSM fueron promediadas y se calculó la anomalía para la serie promedio resultante (Fig. 72b), destacándose así en mejor forma los cambios promedios. Finalmente, los períodos denominados "fríos" (1966-1976; 1989-1994), no mostraron diferencias significativas entre si ($p=0,695$; test de Kolmogorov-Smirnov); mientras que ambos mostraron diferencias significativas con respecto al período "cálido" de los años 1977-1988 ($p<0,001$; test de Kolmogorov-Smirnov; Fig72c).

c2. Índice de surgencia de Valparaíso y Talcahuano

Las funciones de autocorrelación (Fig. 73a) y de autocorrelación parcial (Fig. 73b) estimadas para el índice de surgencia (IS) de Valparaíso muestran una conducta cíclica, producto de la marcada estacionalidad existente en esta serie. Similares funciones se observan para la serie del índice de surgencia estimado para Talcahuano (Fig. 73c y 73d). Los máximos en las funciones de autocorrelación se observan en el segundo y tercer rezago de ambas series, sólo en Valparaíso el



índice de surgencia muestra además una correlación significativa en el tercer mes de rezago. Luego, los máximos presentes en estas funciones son coincidentes para ambas series y se manifiestan en los rezagos 6, 12, 18 y 24, destacando la marcada oscilación estacional existente en el índice de surgencia.

Las funciones de autocorrelación parcial tanto para el IS de Valparaíso como para el de Talcahuano, muestran correlaciones parciales significativas pero negativas a partir del segundo rezago. En la PACF del IS de Valparaíso (Fig. 73b) se observa un incremento lineal en la correlación parcial, siendo máxima en el décimo rezago; mientras que en la PACF de Talcahuano el máximo valor se obtiene con el undécimo rezago (Fig. 73d).

La función de correlación cruzada de ambas series del índice de surgencia se presenta en la Fig. 73e. Al igual que para las series de temperatura superficial del mar, la correlación es máxima sin ningún desfase de ambas series (rezago cero), para luego mostrar un patrón cíclico oscilatorio hacia ambos lados de la función. Basándose en esta información, se puede concluir que ambas series son factibles de ser promediadas o calculada alguna diferencia entre ellas.

c3. Índice de turbulencia de Valparaíso y Talcahuano

A diferencia de las tendencias anteriormente identificadas para las series de temperatura superficial del mar y para el índice de surgencia, en el caso del índice de turbulencia tanto las funciones de autocorrelación como de autocorrelación parcial, son bastante disímiles entre el índice de Valparaíso y el de Talcahuano (Fig. 74). Mientras la función descrita por la autocorrelación del índice de turbulencia de Valparaíso es de tipo estacional cíclica (Fig. 74a), probablemente siguiendo un comportamiento similar al del índice de surgencia, la ACF del índice de Talcahuano (Fig. 74c) no muestra un comportamiento de estacionalidad de tipo oscilatorio. Esto



también se refleja en las funciones de autocorrelación parcial de ambas series.

En Valparaíso se alternan correlaciones significativas en los valores positivos y negativos del eje (Fig. 74b); mientras que en la PACF de Talcahuano (Fig. 74d), se observan sólo correlaciones positivas como significativas en la función.

La función de correlación cruzada entre ambas series (Fig. 74e) prácticamente no indica una relación importante entre ambas series; sólo se observa correlaciones positivas y levemente significativas al desfazar en 2 y 12 meses la serie de Talcahuano respecto de la serie de Valparaíso.

d. Nivel medio del mar en Talcahuano

En este proyecto no se dispuso de una serie de información del nivel medio del mar para Valparaíso. Sin embargo esta serie, disponible para el área de Talcahuano, será analizada en su interacción con otras series de tiempo en secciones posteriores de este informe. De este modo, se describe tanto la función de autocorrelación como la función de autocorrelación parcial del nivel medio del mar en Talcahuano.

La función de autocorrelación del nivel medio del mar (Fig. 74f) muestra altos valores de correlación a diferentes rezagos de esta serie. La función es inicialmente decreciente hasta el cuarto rezago, para aumentar hacia el rezago 12 y nuevamente repetir el ciclo hasta el rezago 24. En el caso de la función de autocorrelación parcial (Fig. 74g), se observan correlaciones positivas y significativas en los rezagos 3, 4, 8, 9, 10, 11, 22 y 23, mientras que sólo en el rezago 13 se observa una correlación negativa y significativa. Por lo tanto, esta serie se diferencia sustancialmente de las anteriormente analizadas.



e. Temperaturas superficiales del mar y su relación con otras series ambientales

La función de correlación cruzada de la TSM de Valparaíso con el índice de surgencia de Valparaíso (Fig. 75a) muestra una marcada estacionalidad con máximas correlaciones positivas en los rezagos -2 y 10, además de máximas correlaciones negativas en los rezagos -8 y 4. Esto significa que un aumento en la temperatura superficial de Valparaíso es precedido en aproximadamente 2 meses por un aumento en el índice de surgencia.

Similarmente, la función de correlación cruzada (CCF) de la temperatura superficial del mar respecto del índice de turbulencia (Fig. 75b), se comporta idénticamente a la función descrita previamente para la TSM y el índice de surgencia. Esto es completamente lógico, ya que al observar la CCF entre el índice de surgencia y el índice de turbulencia (Fig. 75c), la máxima correlación se obtiene en el rezago cero y la función es simétrica con correlaciones significativas hacia ambos costados.

A diferencia de las temperaturas superficiales de Valparaíso, el retardo que se observa en las TSM de Talcahuano respecto del índice de surgencia en esa localidad, sería sólo de un mes (Fig. 75d).

En el caso de la función de correlación cruzada entre la TSM y el índice de turbulencia de Talcahuano (Fig. 75e), las correlaciones son prácticamente no significativas, lo que probablemente indica que existe una débil relación entre ambas series, siendo significativos los retardos -2, -3 y -4. Diferente es la situación de la relación entre la TSM y en nivel medio del mar en Talcahuano (Fig. 75f), donde la función de correlación cruzada muestra un predominio de correlaciones positivas y significativas con retardos máximos centrados en los -8 y 4 meses de rezago, con funciones de decaimiento de tipo exponencial.



Como ya se había hecho notar en secciones previas, existe una función de correlación muy débil entre el índice de surgencia y el índice de turbulencia (IT), ambos determinados para Talcahuano. La CCF muestra su mayor correlación con cero rezago (Fig. 75g) pero negativa, es decir un incremento en el IS es consistente con un decremento en el valor del IT de Talcahuano. Una segunda correlación positiva se registra en el rezago -2. A diferencia de esto, la CCF entre el IS y el nivel medio del mar (NMM) de Talcahuano describe una función de mayor significancia, con varios niveles de correlación significativos y con el mayor valor de correlación centrado en el rezago cero (Fig. 75h). En el caso de la CCF entre el índice de turbulencia y el NMM de Talcahuano, se observa que un incremento en el nivel medio del mar precede en ca. 2 meses a un decremento en el IT (Fig. 75i).

2.2 Análisis exploratorio para definir la forma de agregar la información ambiental

a. Exito reproductivo

El éxito reproductivo, expresado como el logaritmo de la razón entre los reclutas y los huevos ($\ln(R3/H)$), presentó correlaciones lineales muy bajas con la mayoría de las variables ambientales, excepto para la turbulencia en septiembre.

En agosto, en ambas (V y VIII) regiones, las correlaciones no superaron el valor 0,3 (Tablas 2 a 7). En septiembre, las correlaciones fueron bajas para la V región, pero alcanzaron niveles importantes en la VIII región (Tablas 8 a 13).

La mayor correlación (0,78), se obtuvo con la turbulencia (vientos) de septiembre en la VIII región, cuando el promedio analizado incluyó desde el año del desove (T) hasta el año del reclutamiento (T+3)(Tabla 13). Luego, se obtuvieron correlaciones altas pero negativas (-0,61), al promediar el índice de surgencia desde el año del desove y hasta el año del reclutamiento (Tabla 11).



Al analizar las variables ambientales promediadas entre la V y VIII región, las correlaciones continuaron bajas para agosto y altas para la turbulencia en septiembre (Tablas 14 a 19).

Por otra parte, el primer componente principal, que recoge principalmente la variabilidad de la turbulencia y la surgencia (ver más adelante), presentó bajas correlaciones en agosto y altas en septiembre al promediar desde el año del desove hasta el del reclutamiento (Tablas 20 y 21).

b. Razón entre reclutamientos independientes y dependientes de la densidad poblacional.

La razón reclutamientos independientes y dependientes de la densidad, obtenidos con el filtro de Welch (ver más adelante), presentó bajas correlaciones con las variables ambientales por separado, así como con el primer componente principal (Tablas 22 a 39).

3. *Modelar los efectos de cambios ambientales en los procesos biológicos poblacionales e individuales, con el objeto que puedan ser incorporados en modelos de evaluación y manejo para el recurso.*

3.1 Análisis de la correlación entre las variables ambientales

El análisis de componentes principales se realizó sobre la base de la matriz de correlaciones y analizando cada mes y región por separado. El primer componente principal logró explicar sólo entre un 55 a 76% de la variabilidad de la temperatura superficial, la surgencia y la turbulencia (Tabla 40). Los coeficientes del primer componente muestran que éste recoge principalmente la variabilidad de la turbulencia y la surgencia.



3.2 Modelos no-lineales con algoritmo ACE.

Considerando los valores de las variables ambientales en cada año de desove y promediándolas para el área total, se ajustó para agosto y septiembre, el siguiente modelo de reclutamiento:

$$f(R) = f(H) + f(TSM) + f(W3) + f(IS)$$

donde: $f(R)$ es la función de reclutamiento; $f(H)$ es la función de la producción de huevos; $f(TSM)$ es la función de la temperatura superficial del mar; $f(W3)$ es la función de la turbulencia y $f(IS)$ es la función del índice de surgencia.

La forma de las funciones se presentan en las figuras 76 y 77, las cuales fueron capaces de explicar el 87% y 78% de la variabilidad de los datos de agosto y septiembre, respectivamente (Tabla 41). La función del reclutamiento en ambos meses fue lineal. Se destaca que en agosto la función de la turbulencia presenta una forma de domo, que corresponde a la función a partir de la cual se ha definido el concepto de "Ventana ambiental optima" (VAO). Debido a esto, para el mes de agosto se ajustaron las funciones que se presentan en la figura 76.

Para evaluar si en el mes de agosto, al excluir las otras variables ambientales, se mantenía la forma de la función de turbulencia, el modelo se redujo a:

$$f(R) = f(H) + f(W3)$$

Este modelo explicó el 78% de los datos y mantuvo la función de turbulencia asociada al efecto VAO (Fig. 78 y Tabla 41). Debido a que este modelo presentó una buena capacidad explicativa (78%) y requiere sólo una variable ambiental, se ajustaron las funciones correspondientes (Tablas 42 a 44).

Para evaluar que el efecto de VAO fuera consistente, el último modelo se volvió a



ajustar para cada región y mes. El efecto VAO se presentó en ambos meses y regiones, siendo más fuerte y claro en agosto y septiembre en la VIII región (figuras 79 a 82).

Los reclutamientos estimados anualmente, mediante las funciones de reclutamiento ajustas del modelo inicial y el reducido, para agosto y el área total, se presentan en la figura 83.

3.3 Modelo de Reclutamiento

a. Modelo de éxito reproductivo

De los análisis exploratorios de las correlaciones entre el éxito reproductivo y las variables ambientales, se identificó que la mayor correlación se presenta con la turbulencia promedio que incluye desde el año de desove hasta el año de reclutamiento ($W3(T_T+3)$). Por lo tanto, el modelo de éxito reproductivo fue:

$$\ln(R/H) = A + f(H) + f(W3(T_T+3))$$

donde A es el intercepto, $f(H)$ es la función de la producción de huevos y $f(W3(T_T+3))$ es la función de la turbulencia promedio.

Este modelo fue altamente significativo ($\alpha=1 \cdot 10^{-7}$) y explicó el 81% de la variabilidad de los datos (Tabla 45). Sin embargo, el intercepto y la función de producción de huevos no fueron significativamente distintas de cero, razón por lo cual el modelo se redujo a:

$$\ln(R/H) = f(W3(T_T+3))$$

Este modelo también fue altamente significativo ($\alpha=3 \cdot 10^{-8}$) y explicó el 78% de la



variabilidad de los datos (Tabla 46). El ajuste fue bueno sin una clara tendencia en los residuos (figuras 84 y 85).

También se analizó el modelo de éxito reproductivo en su escala natural:

$$R/H = A + W(T-T+3)$$

Este modelo fue altamente significativo ($\alpha = 1,4 \cdot 10^{-5}$) y logró explicar el 62% de la variabilidad de los datos (Tabla 47), pero el intercepto no fue significativamente distinto de cero, razón por la cual el modelo se redujo a:

$$R/H = W(T-T+3)$$

El cual también fue altamente significativo ($\alpha = 1 \cdot 10^{-5}$) y explicó el 62% de la variabilidad (Tabla 48). No obstante, en los residuos se aprecia una clara tendencia creciente, que invalida el supuesto de normalidad de los residuos, que demanda la regresión lineal (figuras 86 y 87).

b. Modelo de reclutamiento

Dado los resultados de los análisis de las correlaciones de las variables ambientales, se ajustó el siguiente modelo:

$$\ln(R) = A + f(H) + f(W(T-T+3))$$

donde A es el intercepto, $f(H)$ es la función de producción de huevos y $f(W(T-T+3))$ es la función de la turbulencia promedio entre el año del desove y el del reclutamiento.

Aunque, este modelo fue estadísticamente significativo ($\alpha = 0,0029$), solo fue capaz de explicar el 45% de la variabilidad de los datos (Tabla 49). Dado que el intercepto



y el coeficiente de la función de turbulencia no fueron significativamente distintos de cero, el modelo se redujo a:

$$\ln (R)= f(H)$$

La significancia estadística de este modelo fue mayor ($\alpha=0,00046$), pero también sólo fue capaz de explicar el 45% de la variabilidad de los datos (Tabla 50).

c. Modelo de reclutamientos denso-dependientes y denso-independiente

c.1. Validación del Filtro de Welch

Para validar los resultados del filtro de Welch (1987) se simularon dos poblaciones de peces con características poblacionales similares a las de merluza, en términos de número de edades, fecundidad y sobrevivencia. La simulación se inició desde el vector inicial de abundancia a la edad obtenido del ADASIM para el año 1968, luego se generaron 100 años de reclutas y huevos, manteniendo estable la sobrevivencia y la fecundidad a la edad y utilizando el modelo de stock-reclutamiento de Ricker, en el cual se adicionó un término de error (20%) aditivo para simular el efecto de variaciones denso-independientes. Las dos poblaciones simuladas se diferencian en los parámetros del modelo de Ricker. Para evitar el efecto del vector inicial de abundancia sólo se utilizaron los últimos 30 años de las simulaciones.

Para ambas poblaciones simuladas el filtro de Welch fue capaz de reducir la variabilidad de los reclutamientos asociada a efectos denso-independientes y aproximar los datos al modelo de stock-reclutamiento (figuras 88 y 89).



c.2 Aplicación del filtro a merluza

El filtrado de la serie de reclutamientos (Fig 90) con la distribución del esfuerzo reproductivo (Fig. 91) produjo la disminución del espectro de poder esperada (Fig. 92), lo cual permitió extraer la fracción denso-dependiente o filtrada de los reclutamientos totales (Fig. 93).

c.3. Modelo stok - reclutamientos denso-dependientes

Utilizando los reclutamientos denso-dependientes se ajustó el modelo stock-reclutamiento de Ricker:

$$R = A * H * EXP(-B * H)$$

donde R son los reclutamientos, H los huevos y A y B los parámetros a estimar. Este modelo presentó un buen ajuste (Tabla 51).

En la figura 94 se presenta el modelo ajustado con los reclutamientos denso-dependientes correspondientes a los años de desove indicados en los rótulos, también se han adicionado los reclutamientos denso-independientes para poder percibir mejor el efecto del filtro. Con el fin de apreciar mejor el modelo ajustado, en la figura 95 se presenta el modelo con una escala más amplia en la producción de huevos.

c.4. Modelos de la razón reclutamientos denso-dependientes y denso-independiente.

En la sección de los análisis exploratorios se encontró que las correlaciones entre la razón de reclutamientos denso-independientes y denso-dependientes ($LN(1+RI/RD)$) y



las variables ambientales son muy bajas. Esto concuerda con la baja capacidad explicativa ($R^2=20\%$) del modelo ajustado por Zuleta **et al.** (manuscrito). Debido a ésto, en el presente proyecto no se ajustaron modelos con las variables ambientales en su escala natural.

Por otra parte, en la sección anterior sobre modelos de reclutamiento, donde se utilizaron funciones de las variables ambientales obtenidas mediante el “scatterplot smoothing” basadas en el algoritmo de Cleveland, no se obtuvieron buenos ajustes. Por lo tanto, en la presente sección en los modelos se utilizaron funciones de las variables dependientes e independientes obtenidas por medio del algoritmo ACE.

C.4.1 Modelo con variables ambientales

Se analizó el modelo general:

$$f(LN(1 + RI / RD)) = f(TSM) + f(W3) + f(IS)$$

utilizando el valor de las variables para el área total (promedio V y VIII región) correspondiente a agosto y septiembre por separado.

Para agosto, se obtuvo un $R^2=0.87$ mientras que para septiembre un $R^2=0.69$ (Tabla 52). La función del $\ln(1+RI/RD)$ fue lineal en agosto, mientras que en septiembre fue parabólica; las funciones de la temperatura y turbulencia fueron similares en ambos meses y la función de la surgencia fue creciente en agosto y decreciente en septiembre (Figuras 96 y 97).

Considerando la importancia que tuvo la turbulencia en los otros modelos, se analizó para cada mes el modelo:



$$f(LN(1 + RI / RD) = f(W3)$$

el cual presentó una capacidad explicativa tan buena como el modelo anterior (Tabla 52). Las funciones de $\ln(1+RI/RD)$ y de la turbulencia fueron muy similares en ambos meses, sugiriendo una forma de domo incompleta (Figuras 98 y 99).

c.4.2 Modelo con variables ambientales e índice de oscilación del sur

Esta sección no estaba comprometida en la oferta técnica, pero debido a su relevancia se entrega como un producto adicional.

Del análisis de la razón entre los reclutamientos denso-independientes y los denso-dependientes ($\ln(1+RI/RD)$) a través de los años de desove, se aprecia que los reclutamientos denso-independientes fueron predominantes en los años 1976-1977, 1982-1983 y 1990-1991 (Fig. 100a). Estos años se asocian al fenómeno de "El Niño", debido a los valores negativos del índice de oscilación del sur (IOS). Para apreciar en mejor forma esta relación, se calcularon tres IOS: el promedio anual; el mínimo anual y el mínimo entre julio del año t y junio del año t+1. Este último índice recoge el hecho que el mínimo valor del IOS se presenta en los meses de verano. La relación más clara se aprecia con este último índice (Fig. 100b). El mínimo anual aparece desfasado en un año (Fig. 100c) y el promedio anual suaviza la intensidad del fenómeno en los diferentes años (Fig. 100d).

El modelo:

$$f(\ln(1 + RI / RD) = f(IOSMIN)$$

donde $f(IOSMIN)$ es la función del valor mínimo del IOS entre julio del año t y junio del año t+1, presentó un $R^2=0,60$ y la forma de las funciones (Fig.101) indica que $\ln(1+RI/RD)$ aumenta con la disminución del IOSMIN, lo cual significa que la fracción de reclutamientos denso-independientes aumenta en los años en que ocurre el



fenómeno de “El Niño”.

Finalmente, para cada mes se analizó un modelo general con todas las variables ambientales y el índice de oscilación del sur:

$$f(LN(1 + RI / RD)) = f(TSM) + f(W3) + f(IS) + f(IOSMIN)$$

Para agosto el modelo explicó el 76% de la variabilidad total mientras que para septiembre explicó el 87% (Tabla 52).

En agosto las funciones de temperatura, turbulencia y surgencia presentaron la forma de domo que indica la presencia de ventanas ambientales óptimas en cada una de estas variables (Fig.102). La función del índice de oscilación del sur fue lineal, indicando que a mayor intensidad del fenómeno de “El Niño” mayor es la fracción de reclutas denso-independientes.

En septiembre, la forma de las funciones del $\ln(1+RI/RD)$, de la temperatura y del índice de oscilación del sur fueron similares a las de agosto, mientras que la turbulencia presentó una función creciente y la surgencia una decreciente (Fig.103).

3.4 Modelo de crecimiento individual

Los dos modelos examinados suponen que las tendencias y la periodicidad de la tasa de crecimiento específica son dependientes tanto del peso geométrico como de las variables ambientales (promedio anual) consideradas. Para evaluar esta relación se efectuó un análisis de correlación simple por edad entre las diferentes variables involucradas con el fin de explorar a priori relaciones potenciales, las que luego de ser identificadas fueron incluidas en los diversos ajustes. Las variables ambientales que fueron consideradas en los diferentes modelos, las edades para las cuales estas exploraciones fueron realizadas y los coeficientes de los diferentes modelos ajustados



se muestran en las Tablas 53 y 54. Las correlaciones son predominantemente bajas, las que no experimentan mayores mejoras al desfasar los pesos con respecto a las variables ambientales, por lo que los modelos asumidos no son una buena descripción del crecimiento individual en merluza común.

4. *Analizar las fluctuaciones de mediano y largo plazo de la abundancia de merluza común en relación a cambios en el sistema océano-atmósfera en el Océano Pacífico Sur.*

4.1 El Niño - Índice de Oscilación del Sur (IOS) y procesos de calentamiento de las temperaturas superficiales del agua de mar en la costa

Este análisis constituye un importante aspecto, previo a la posible relación que se desee evaluar entre el índice de oscilación del sur y la abundancia del recurso, ya que primero se debe establecer si existen efectos que El Niño o sus indicadores asociados puedan tener sobre el sistema hidrográfico de Chile central, particularmente sobre las temperaturas de las zonas costeras de Chile central. Por lo tanto la aproximación metodológica consideró el análisis de la significancia estadística que tiene relacionar la serie temporal del IOS existente para el Pacífico Sur con las fluctuaciones temporales observadas en la temperatura superficial del mar .

Las series de tiempo de la temperatura superficial del mar medidas en Valparaíso y Talcahuano fueron promediadas (Fig. 104) y analizada su relación con el índice de oscilación del sur IOS (Fig. 105), de tal forma de poder establecer un modelo de función de transferencia entre ambas series.

Lo primero en consideración para el establecimiento de un modelo que relacione el IOS con variables ambientales de la costa de Chile central, consiste en analizar las propiedades de la serie del IOS.



La función de autocorrelación (ACF) presenta un decaimiento de tipo exponencial con las primeras 7 correlaciones, todas significativas fuera de la banda de confianza y la función de autocorrelación parcial (PACF) muestra las 3 primeras correlaciones sobre las bandas de confianza. Considerando ésto, se sugiere no realizar transformaciones ya que el comportamiento de la serie es bueno, lo que permite ajustarle de inmediato un modelo autorregresivo del tipo AR(3) de la forma:

$$(1 - \phi_1(B) - \phi_2(B^2) - \phi_3(B^3))X_t = a_t$$

$$X_t - 0,52420X_{t-1} - 0,15795X_{t-2} - 0,11685X_{t-3} = Z_t$$

donde, los residuos son ruido blanco con $\sigma^2 = 0,64$

Posteriormente, se utilizó el modelo anterior como filtro para la serie de temperaturas superficiales del mar promediadas de Valparaíso y Talcahuano (TSMPR), con lo que se obtiene una nueva serie de ruido Y_t .

Considerando la función de correlación cruzada (FCC) para así poder identificar algún modelo de función de transferencia y/o de retroalimentación, se toma ambas series de ruido y al observar la FCC para ambas series, no se observa correlación significativa ni a izquierda o derecha de la función (Fig. 106). Esto implicó la reiniciación del proceso de preblanqueado de la serie, esta vez utilizando un AR(2), dado el comportamiento del ruido de la serie de entrada. Esta función, al igual que el caso anterior, no permite identificar el orden de los parámetros de un posible modelo de función de transferencia puesto que todas las correlaciones son muy cercanas a cero incluso hacia los desfases negativos de ambas series. En consecuencia, se insistió en el preblanqueo para así lograr una FCC que aporte información. La mayor dificultad radica en el comportamiento de la ACF y PACF de la serie de entrada, que no permiten ajustar cualquier modelo y probar que en la etapa de diagnóstico se obtiene una serie de ruido blanco.



Nuevamente, se preblanqueó la serie, esta vez con un modelo del tipo ARMA(1,1) de la forma:

$$X_t = 0,88115X_{t-1} - 0,37178a_{t-1} + a_t$$

con residuos del tipo ruido blanco y un valor $Q = 14,647$ y $rp = 0,69$

Una vez filtrada la serie de salida, se obtuvo la FCC, en la que se observa que todas las correlaciones a la derecha son no significativas, mientras que en lag cero la correlación es significativa (0,31) y en el lag -1 (lead) se obtiene una correlación de 0.83, es decir altamente significativa. De esto se puede deducir que estas series se relacionan principalmente de manera inversa, es decir, cambios positivos en la serie del IOS afectan negativamente a las TSM de Chile central, con un desfase de 1 mes. Además de esta correlación, se observa otro valor también significativo pero de menor importancia sin desfazar las series y el comportamiento alternado de la función de correlación hacia la derecha (Fig. 107). No obstante esta correlación significativa, la evidencia es poca como para que se plantee un esquema de retroalimentación en función de un valor de correlación. Con esto, se validó el posible efecto de retroalimentación entre las series de la siguiente forma: a) preblanquear utilizando el mismo modelo ARMA(1,1), pero invirtiendo las series de salida y de entrada; de existir rezagos significativos hacia la derecha de la FCC, esto indicará la existencia de una probable función de transferencia, tal como se encuentran las variables. La existencia de 2 correlaciones significativas a ambos costados serán indicio de retroalimentación. De este análisis se obtuvo los siguientes resultados:

A la serie TSMPR se le ajustó un modelo del tipo ARMA(1,1) previa desestacionalización de la serie y el modelo es:

$$X_t = 0,99984X_{t-1} - 0,18412a_{t-1} + a_t$$



con valores de $Q = 6,503$ y $r_p = 0,99$

posteriormente, filtrando la serie con el modelo anterior, se obtiene la FCC con correlaciones fuera de la banda de confianza en lag cero ($\rho_{yz}(0) = 0,1628$) y 1 ($\rho_{yz}(1) = -0,2325$) a la derecha (Fig. 107). Por tal motivo se ajustó un modelo de función de transferencia del tipo:

$$(1-\phi(B))X_t = (1-\theta(B))Z_t; \text{ con } Z_t \approx N(0;1.06)$$

$$(1-\phi(B))Y_t = (1-\theta(B))\varepsilon_t;$$

$$Y_t = \frac{(1-\theta(B))}{(1-\phi(B))} \varepsilon_t = v_t$$

luego, el modelo de función de transferencia sería de la forma:

$$v_t = 0,24267X_t + N_t$$

donde

$$N_t = (1-\theta_1(B)-\theta_2(B^2))W_t; W_t \approx N(0;2.24)$$

$$(1-\theta(B))X_t = (1-\theta(B))Z_t$$

$$v_t = \frac{(1-\theta(B))}{(1-\phi(B))} \varepsilon_t$$

que equivale a:



$$v_t = 0,24267X_t + (W_t + 0,3722W_{t-1} + 0,0786W_{t-2})$$

Con el modelo definitivo se evaluó la similitud entre los valores observados de éste con los valores esperados, encontrándose una buena relación entre ambas series (Fig. 108).

Este resultado permite hasta aquí concluir que eventos de tipo El Niño, representados por el IOS, afectan el sistema hidrográfico de Chile central, particularmente la temperatura superficial del mar, de manera inversa con 1 a 3 meses de desfase entre ambas variables. Es decir, después de 3 meses se pueden percibir efectos del IOS sobre el comportamiento de las TSM. Estos resultados son similares a los registrados para la costa del Perú, en donde los cambios que ocurren en el sistema costero se producen hasta 2 meses después de registrados en la zona del Pacífico central y ecuatorial (Quinn y Zopf, 1984; Sepúlveda *et al.* 1987). Con estos antecedentes, se pueden ensayar en las siguientes secciones relacionar el IOS y los procesos de mayor escala que ocurren tanto en el Pacífico Ecuatorial con los que ocurren en los indicadores del stock de merluza común en Chile centro-sur.

4.2 Identificación de procesos oceanográficos de escala media y su relación con las fluctuaciones de la abundancia de la merluza común

a. Identificación y análisis exploratorio de la relación entre procesos oceanográficos de escala media y la distribución de la merluza común

Los centros geográficos, de cada uno de los 12 caladeros reconocidos para la merluza común en Chile central, muestran un comportamiento bastante similar en cuanto a su desplazamiento latitudinal a través de los meses. Esto hace que exista un gran parecido entre las respectivas funciones de autocorrelación y autocorrelación parcial de los centros geográficos de los 12 caladeros (Figs. 109 a 111). No se observa la existencia de periodicidades, con la excepción del centro geográfico del caladero 9,



que si muestra un ciclo pero que se encuentra dentro de las bandas de confianza. A través de un análisis exploratorio de los datos, se observa que las desviaciones estándar son muy pequeñas respecto de la magnitud de los datos. De este modo, considerando estos antecedentes, se optó por promediar la información de centros geográficos de los 12 caladeros, en una sola serie promediada de estos. Teniendo en consideración la ausencia de información mensual para algunos caladeros, ya que estos sencillamente no fueron visitados, la completación de algunos meses en la serie promedio de los centros geográficos se obtuvo considerando los valores promedios de los meses presentes dentro de cada año. La serie promedio de los centros geográficos resultantes se muestra en la Fig. 112.

Con esta serie de centros geográficos medios para los 12 caladeros en estudio, se propuso evaluar las fluctuaciones en la distribución media de la merluza común y su relación con procesos ambientales asociados a la surgencia costera a través del índice de surgencia y la diferencia en la temperatura superficial del mar entre Talcahuano y Valparaíso (Fig. 113), además de la serie del índice de oscilación del sur (IOS). Este análisis se realizó para los períodos 1982-1992; los datos de 1993 no fueron considerados ya que de existir algún modelo que describa el comportamiento de estas series, se puede evaluar su capacidad predictiva al estimar los valores mensuales de los centros geográficos para el período siguiente, es decir para el año 1993.

Tras la observación de las funciones de autocorrelación y de autocorrelación parcial de la serie promedio del centro geográfico de la distribución de la merluza, se observa que esta serie muestra una clara tendencia. Por consiguiente, no es una serie estacionaria (Fig. 114). Como se indicó anteriormente, la serie del índice de surgencia presenta una clara estacionalidad (Fig. 115), mientras que la serie de diferencia de la temperatura superficial también presenta una estacionalidad, pero en un período más corto.



Con esta información, se analizaron las funciones de correlación cruzada de los centros geográficos medios (CGM) con el índice de surgencia (IS) y de los CGM con la diferencia de la temperatura superficial entre Talcahuano y Valparaíso (DIFTSM). Al observar esta CCF, es clara la influencia ejercida por las series que presentan estacionalidad (Fig. 116). Debido a esto se decidió, tanto en la serie de IS como en la DIFTSM, filtrarlas a la forma de anomalías para el período en estudio y luego estudiar alguna posible relación. Además, se incorporó en el análisis al índice de oscilación del sur (IOS). Las series modificadas, se presentan en la Fig. 117.

La función de correlación cruzada (CCF) de la serie de CGM con la anomalía del IS presenta una suave estacionalidad a la derecha y por dentro de las bandas de confianza (correlaciones entre los rezagos -2 y 2) y en menor frecuencia hacia la izquierda de la función (Fig. 118a). La CCF de la serie de CGM con la de anomalías de la DIFTSM presenta la mayoría de sus correlaciones negativas y prácticamente en un 90% dentro de la banda de confianza, con sólo algunas correlaciones significativas fuera de las bandas (Fig. 118b). La CCF entre la serie de CGM con la del IOS presenta, si bien no altas, correlaciones negativas con una leve tendencia a ser más significativas para luego disminuir en los 15 primeros rezagos por fuera de las bandas de confianza y hacia el lado derecho las correlaciones se presentan todas coincidiendo con la banda de confianza a partir del rezago 15 y hasta el 30, con algunos rezagos por fuera de la banda de confianza (Fig. 118c).

Tras analizar todas las CCF determinadas, es imposible poder identificar un modelo de función de transferencia, puesto que las correlaciones no son significativas y aún no se ha aplicado ningún preblanqueado a la serie de entrada CGM. Por lo tanto, se decidió preblanquear esta serie con un modelo de media móvil de primer orden (MA(1)) previa diferenciación regular de orden 1 para estacionarizar la serie. Este modelo permite la obtención de ruido blanco de entrada con valores del estadístico $Q = 20,67$ y $rp = 0,6$.



Se procedió a filtrar las tres series de interés y observar sus funciones de correlación cruzada:

La CCF entre la serie preblanqueada de los CGM con los residuos de la anomalía del IS presenta correlaciones, en general no significativas, con sólo algunas que superan la banda de confianza y con valores más altos hacia la derecha (Fig. 119a). Si bien pudiera establecerse algún modelo de función de transferencia, la relación entre estas variables no es clara.

La CCF entre la serie preblanqueada de los CGM con los residuos de la anomalía de la DIFTSM muestra algunas correlaciones fuera de la banda de confianza en los rezagos 3 y 4, mientras que hacia la izquierda, la mayoría de los rezagos están por dentro de la banda con la excepción de los rezagos 10 y 12, los que sobresalen pero son menos significativos que los de la derecha (Fig. 119b). En este caso, también se dispone de información débil para el establecimiento de un modelo de función de transferencia, sin embargo se intentará probar algún modelo.

La CCF entre la serie preblanqueada de los CGM con los residuos del IOS muestra la primera correlación significativa fuera de la banda en el rezago 14 y hacia la izquierda en el rezago -9, siendo siempre numéricamente más altos hacia la derecha de la función (Fig. 119c).

Si bien las CCF contienen una información muy débil, se intentó establecer algún modelo de función de transferencia. Además, las correlaciones no significativas no permiten establecer una relación entre las variables y la posterior identificación de un modelo puesto que cada vez que se intentó, se obtuvieron estimadores de parámetros que no eran invertibles; por lo que no se puede continuar con el proceso de establecimiento de un modelo. Esto es consecuencia de la poca información contenida en la serie de los CGM y debido a la varianza muy alta de la serie de ruido



de salida, lo que indicaría que se debe intentar un nuevo preblanqueo de las series. Este nuevo preblanqueo se intentó inicialmente con la serie del IOS, siendo éste de la forma ARIMA(1,2,1) en la serie de los CGM ($Q = 24,72$ y $rp = 0,13$). Lamentablemente, la CCF resultante no fue muy distinta de las anteriormente obtenidas (Fig. 120) y se obtuvieron una vez más estimadores de parámetros no invertibles como consecuencia de las correlaciones no significativas y debido a la varianza de la serie de ruido de salida, por lo que no se pudo identificar un modelo. Puesto que el objetivo era el establecimiento de un modelo que describa el comportamiento de los CGM con cierta capacidad predictiva, se sugiere analizar la serie de salida en forma independiente, en cuanto a su estacionariedad, para luego filtrarla basándose en el procedimiento clásico de funciones de transferencia o bien filtrar la serie de entrada utilizando polinomios.

b. Relación entre la distribución mensual de los caladeros de pesca de la merluza común con la temperatura superficial del mar en Chile central

Luego de catalogar y analizar más de 150 imágenes satelitales de la TSM durante el período entre enero de 1992 y diciembre de 1995 para el área comprendida entre los 30 y 40° S, se seleccionó un total de 45 imágenes, de las cuales se extrajo información mediante el sistema de análisis de imágenes propuesto en la metodología. Las figuras 121 a 124 son un ejemplo de las condiciones y comportamiento de la surgencia observada en diferentes períodos. A través de estas figuras se puede apreciar un alto grado de sobreposición entre la ocurrencia de focos de surgencia, representados en las figuras con colores azul y verde, con temperaturas entre 11 y 13 °C, con la distribución de la merluza común descrita previamente en el objetivo 1.

En la figura 122e se señalan los 3 sectores seleccionados, en los cuales se delimitaron áreas irregulares que en promedio tuvieron una extensión de 8.627 km² para el sector 1, de 9.526 km² para el sector 2 y de 10.629 km² para el sector 3. De la paleta total de 256 tonos o valores de los píxeles en cada área, los valores en las



áreas de surgencia seleccionadas fluctuaron entre 75 y 205, siendo los valores más altos representativos de temperaturas más altas.

Al analizar la distribución acumulada de valores de irradiancia determinadas para cada año en el sector 1 (Fig. 125a), se observa la mayor presencia de aguas de surgencia en superficie durante el año 1992, con un paulatino desplazamiento de las frecuencias acumuladas de la TSM hacia valores más cálidos en 1995 y una reducción en la magnitud de cobertura de la surgencia. Si bien estos resultados no se observan en las series de tiempo de las estaciones costeras de la TSM y del IS, si serían consistentes con lo observado en las anomalías de la TSM registrada para el Pacífico Suroriental entre los 25°S y los 45°S (Fig. 126). En esta figura se observa claramente la ocurrencia de un período de tipo cálido durante gran parte del año 1995, entre los meses de mayo y octubre. Las anomalías positivas llegaron a generar diferencias de hasta 2 °C en un amplio rango latitudinal desde los 27°S hasta los 39°S. Lamentablemente, para efectos de este proyecto, no se consideró en la oferta técnica incluir el análisis de la distribución de la merluza en 1994 y 1995, siendo prácticamente imposible, debido al tiempo de procesamiento de la información, incorporar estos datos como parte de un análisis para este proyecto.

A lo menos en la escala anual, no se observa mayores diferencias en la localización de los centros geográficos donde se concentra la actividad de la merluza común. Dentro de las variaciones interanuales de los CG medios para los 12 caladeros de la merluza (Tabla 55), no ocurren desplazamiento altamente significativos, según se desprende de los valores mínimos y máximos en cada año, ya que por ejemplo se observa que las mayores diferencias en el desplazamiento de los centros geográficos medios ocurren principalmente en los caladeros localizados al interior del sector 2, mostrando diferencias que van de los 14 km para el CG del caladero 4 hasta diferencias máximas de hasta 33 km como es el caso del caladero 5. Los caladeros 10 y 12 presentan los mínimos desplazamientos interanuales, ya que las diferencias



máximas no superan de los 6 km para el caladero 10 y de 9 km para el caladero 12.

En la Tabla 56 se resumen los valores medios de los centros de distribución latitudinal de los caladeros agrupados por sector de acuerdo a la siguiente conformación: sector 1: caladeros 9-12; sector 2: caladeros 4-8; sector 3: caladeros 1-3. Como se puede apreciar, los CGM no muestran grandes diferencias en la distribución latitudinal entre los años 1992 y 1993. Un índice más adecuado que podría haberse probado en su relación con los factores ambientales habría sido la utilización de la CPUE o CPUA mensual, como un índice de la abundancia, determinada ya sea para cada caladero de pesca o por áreas de interés. Sin embargo, se debe explorar con mayor énfasis este tipo de relaciones entre la distribución del recurso y los factores ambientales.

En una escala interanual, el recurso responde con bastante estabilidad en cuanto a su patrón de distribución; sin embargo, en la escala mensual o estacional se observó mayores variaciones en la localización de los centros geográficos de cada caladero. Por lo tanto, se debiera analizar la posible relación de la surgencia costera y de la TSM zonal con los centros geográficos de distribución de la merluza en una escala mensual, o de estar disponible la información, incluso en una escala semanal. En principio, se esperaría que la permanencia y extensión de los eventos activos de surgencia, traigan consigo la presencia de aguas pobres en oxígeno, las que debieran alterar las condiciones cercanas al fondo marino y por ende afectar el hábito y distribución de la merluza común. Brandhorst (1959) caracterizó las condiciones de bajo contenido de oxígeno en el sistema de la corriente de Chile-Perú en la plataforma continental chilena y su relación con la pesquería de la merluza. Recientemente Leming y Stuntz (1984), utilizando imágenes satelitales, analizaron la relación entre la actividad de una pesquería de peces de fondo con las condiciones de hipoxia en el fondo. Una probable relación en esta escala espacio-temporal, permitiría mejorar la capacidad de monitoreo en la pesquería de la merluza



común en Chile central.

c. Relación de la abundancia y biomasa anual de la merluza común con procesos oceanográficos de escala media

El objetivo de esta sección fue evaluar posibles relaciones existentes entre los indicadores anuales de abundancia y biomasa de la merluza común para el período 1968 a 1995 con procesos oceanográficos de escala media.

Los índices poblacionales fueron obtenidos a partir de las estimaciones de ADASIM y correspondieron a valores anuales de abundancia y biomasa de las edades 3+ y 5+.

Dentro de los procesos oceanográficos se consideró el índice de surgencia medido a partir de datos de Talcahuano (IST), la temperatura superficial del mar medida en Talcahuano (TSMT), el índice de oscilación del sur (IOS) y las anomalías promedio de la temperatura superficial del mar medidas desde cartas satelitales promediadas semanalmente durante el período 1986-1995 para un área entre las latitudes 25°S-45°S y las longitudes 75°W - 95°W.

Con la finalidad de evaluar probables desfases entre los procesos ambientales, y su generación, con las fluctuaciones de la abundancia y biomasa del recurso, se analizaron las funciones de correlación cruzada (CCF) para diferentes combinaciones de variables. Sin embargo, sólo se presentan en este informe las CCF que pueden ofrecer un mayor aporte a la identificación de posibles tiempos de desfase o retardo y por ende un mejoramiento en las relaciones estadísticas de las variables.

En la Fig. 127 se observa que el promedio anual del índice de surgencia medido en Talcahuano muestra una función de correlación de tipo oscilatoria tanto en su relación con los logaritmos de las abundancias de los grupos de edad 3+ y 5+ (Figs.



127a y 127b) como con la biomasa acumulada de las edades 3 y 4 (Fig. 127c). Las tres funciones de correlación cruzada tienen el mismo tipo de estructura de las correlaciones, positivas hacia los retardos y negativas hacia los adelantos de la segunda serie. En la relación con la abundancia 3+ (Fig. 127a), se observa correlaciones significativas en los retardos 4-7, mientras que con la abundancia logaritmizada 5+ (Fig. 127b), se observa correlaciones significativas a partir del retardo 6, exactamente 2 años antes que para la abundancia 3+. En el caso de las temperaturas superficiales de Talcahuano (Fig. 127d), se describe una función de correlación también oscilatoria pero inversa entre ambas variables. La máxima correlación se observó en los años 6 y 7. La relación observada en la CCF entre el IOS y el logaritmo de la abundancia de las edades 3+ (Fig. 127e), muestra que las correlaciones son de tipo negativas, con máximos en los retardos 0 - 3. Similar a lo observado para el IST, en el caso de la CCF del índice de oscilación del sur IOS con la abundancia de las edades 3 y 4, las máximas correlaciones se identifican entre los retardos -2 a -5 (Fig. 127f), con la diferencia de que la oscilación a través de las correlaciones negativas no es significativa.

Considerando las relaciones anteriormente identificadas, se intentó generar modelos que permitan establecer algún grado de dependencia entre la abundancia y la biomasa de la merluza común con los procesos ambientales. Cabe recordar que tanto la abundancia como la biomasa del stock de merluza común se vieron fuertemente afectadas por la intensidad por pesca aplicada en los años 1969-1976, durante la fase de declinación de la pesquería. Como a esta fase le siguió un extenso período de recuperación (1977-1986), se hace muy difícil poder aislar los efectos de los factores ambientales de los denso-independientes, particularmente de los generados por la actividad pesquera. Teniendo ésto en consideración, los análisis se realizaron tanto para el período 1968-1995 como especialmente para el período 1986-1995.



La Figura 128 resume las relaciones más importantes encontradas entre los procesos ambientales y las fluctuaciones en el stock de merluza común. Al considerar todo el período de análisis, se observa una alta dispersión entre los puntos al graficar la abundancia de las edades 3 y 4 (1971-1995) versus el índice de surgencia de Talcahuano, esta última serie con un retardo de 5 años (1968-1992; Fig. 128a); no observándose ninguna relación significativa. Sin embargo, utilizando el mismo retardo pero para la serie de valores de abundancia 3 y 4 de 1986 a 1995 (Fig. 128b), se observa una correlación significativa entre ambas variables. De este modo, incrementos en el IST, con un desfase de 5 años, estarían favoreciendo la incorporación de individuos de las edades 3 y 4 al stock de merluza común.

Similar situación se observa al relacionar la biomasa de las edades 3 y 4 con la TSM de Talcahuano. Al agrupar todos los puntos para las biomásas del período 1971-1995, no se observa una relación significativa entre ambas variables (Fig. 128c). Sin embargo, si se observa la información, separando los años de estudio, los años con biomásas superiores a 200.000 toneladas de las edades 3+4 y correspondientes al período 1985 a 1994 entregan una correlación significativa con las TSM del período 1984-1993, es decir con un retardo de 2 años en la TSM de Talcahuano (Fig. 128d; $R^2=0,536$; $p<0,05$). Interesante de destacar es la dependencia similar que se observa con la TSM en años anteriores (i.e. período 1971-1984 en la Fig. 128c), pero a niveles de biomasa inferiores a 200.000 toneladas.

Al intentar relacionar la abundancia de las edades 3 y 4 con el índice de oscilación del sur retardado en 5 años, la relación es menos significativa (Figs. 128e y 128f), no obstante se puede inferir la existencia de algún nivel umbral del índice donde la tendencia general indica que la abundancia se ve favorecida en años de anomalías positivas del IOS y se alcanzarían bajos niveles de abundancia de estos grupos de edad en años con anomalías negativas del IOS.



Las variaciones anuales de la abundancia del stock de merluza común (edades 3+) así como la anomalía de la abundancia de los individuos de edades 3 y 4 fueron también analizadas en función de la anomalía de la temperatura superficial del mar promediada a partir de cartas satelitales para el área de océano localizada entre las latitudes 25°S - 45°S y las longitudes 75°W - 95°W. Primeramente, la abundancia del stock mostró una relación inversa con la anomalía regional de la TSM (Fig. 129a); es decir, durante años de períodos fríos (anomalías < -0.1 °C) se obtuvieron altos niveles de abundancia en el stock (años 1988, 1993 y 1994); mientras más bajos niveles de abundancia fueron alcanzados a partir de anomalías positivas o representativas de años cálidos. Esta tendencia es más marcada aún si se relaciona la anomalía de la abundancia de las edades 3 y 4 para el período 1988-1995 con la anomalía de la TSM para el período 1986-1993 (Fig. 129b).

5. Taller técnico

5.1 Participantes

En el taller participaron los siguientes invitados:

Nombre	Especialidad	Institución
Doris Oliva	Secretaria ejecutiva	FIP
Gonzalo Tabuada	Ing. Pesquero	FIP
Jorge Farías	Ing. Pesquero	SUBPESCA
Hugo Arancibia	Dr. Biología Marina	U. de Concepción
Gabriel Claramunt	Biólogo Marino	U. del Norte (UNAP)
Sergio Rosales	Oceanógrafo	IFOP
Mario Aguayo	Biólogo Marino	IFOP
María A. Barbieri	Dra. Oceanografía Biológica	IFOP
Sergio Lillo	Ing. Pesquero	IFOP
Sergio Avilés	Biólogo Marino	IFOP



Mauricio Braun	Oceanógrafo	IFOP
Mauricio Gálvez	Ing. Pesquero	INPESCA

y los miembros del proyecto:

Nombre	Especialidad	Institución
Ignacio Payá	Biólogo Marino	IFOP
Renzo Tascheri	Biólogo Marino	IFOP
Aquíles Sepulveda	Dr. Biología Marina	INPESCA
Luis Cubillos	Biólogo Pesquero	INPESCA
Fernando Balbontín	Biólogo Marino	U. de Valparaíso

5.2 Actividades realizadas

En el taller se realizaron las siguientes actividades por día:

El jueves 5 de junio:

HORA	TEMA
11:00	Presentación general Expositor: Ignacio Payá
11:10	Análisis de la distribución del recurso inferida de la actividad de la flota. Expositor: Aquíles Sepúlveda
11:55	Café
12:10	Estimación de la abundancia y reclutamiento Expositor: Ignacio Payá
12:55	Almuerzo
14:30	Estimación de la fecundidad, la madurez y producción de huevos Expositor: Fernando Balbontín
15:15	Análisis histórico de las variables ambientales de la V región Expositor: Fernando Balbontín



- 16:00 Café
- 16:15 Análisis histórico de las variables ambientales de la VIII región.
Expositor: Aquíles Sepúlveda
- 17:00 Correlación de las variables ambientales de la V y VIII región
Expositor: Aquíles Sepúlveda
- 17:45 Modelos de éxito reproductivo y condiciones ambientales
Expositor: Ignacio Payá
- 18:30 Modelos de reclutamiento y condiciones ambientales
Expositor: Ignacio Payá
- 19:15 Término

El viernes 6 de junio se realizaron las siguientes actividades:

- 9:00 Modelos de crecimiento individual
Expositor: Renzo Tascheri
- 9:45 El fenómeno de El Niño y su relación con la abundancia.
Expositor: Aquíles Sepúlveda
- 10:30 Café
- 10:45 Fenómenos de mediana escala relacionados con la distribución del stock.
Expositor: Aquiles Sepulveda
- 11:30 Mesa redonda: Discusión final
- 12:30 Almuerzo
- 14:00 Redacción de conclusiones y recomendaciones de investigaciones futuras
- 16:00 Término

5.3 Conclusiones y recomendaciones

Las principales conclusiones y recomendaciones obtenidas por tema fueron:



a. Análisis de la distribución del recurso inferida de la actividad de la flota.

No es posible inferir la distribución del recurso a partir de la actividad de la flota, ya que esta última se ve afectada por diferentes variables, como por ejemplo, la intencionalidad de pesca orientada a la captura de ciertos calibres de pesca.

Se recomienda en estudios futuros incluir la información recolectada en las evaluaciones directas realizadas mediante técnicas hidroacústicas.

Se considera que la disminución de los desembarques a partir de 1968, se debió a un cambio en la vulnerabilidad del recurso, el cual se concentró y permitió el máximo desembarque histórico de 128 mil t en 1968. Esto produjo una sobreexplotación por reclutamiento de acuerdo a Aguayo y Young (1982). La reorientación de la utilización de la captura de merluza desde la producción de harina hacia el consumo humano, afectaría los niveles de desembarques hacia finales de la década del setenta y no se relaciona con la disminución de los desembarques producida inmediatamente después de 1968.

Se recomienda investigar la presencia de merluza de media-agua en el borde del talud, lo que se denomina "la pestaña". Para ésto se sugiere ver los muestreos de las capturas de jurel y analizar cuando aparece merluza como fauna acompañante. Este fenómeno parece ser más frecuente en noviembre.

b. Estimación de la abundancia y reclutamiento

Se recomienda revisar el uso de los lambdas para ponderar la suma de cuadrados residuales de la función objetivo. Aparentemente, los lambdas corresponden a una razón de varianzas que debe ser analizada.



c. Estimación de la fecundidad, la madurez y producción de huevos

Se recomienda realizar estudios futuros destinados a mejorar las estimaciones de producción de huevos, especialmente en términos de: Número de desoves por talla y año; Mediciones anuales de la fecundidad; y Zonas y fechas del desove principal y del secundario.

d. Análisis histórico de las variables ambientales de la V región

Para el informe final definir los períodos cálidos y fríos en términos de la anomalías con respecto al promedio histórico.

Se destaca que el índice de surgencia en niveles moderados no implica necesariamente un evento de surgencia, por lo que se debe revisar bibliográficamente, cual podría ser el valor umbral del IS que produce una surgencia.

Se recomienda que en estudios futuros el IS sea analizado en una escala diaria.

e. Análisis histórico de las variables ambientales de la VIII región

Aplican los mismos comentarios que para las variables de la V región

f. Correlación de las variables ambientales de la V y VIII región

Ya que la conducta estacional de la turbulencia difiere entre Valparaíso y Talcahuano, se recomienda que en futuros estudios se mantenga en análisis separado por región.

g. Modelos de éxito reproductivo y condiciones ambientales

En estudios futuros orientados a la predicción de reclutamientos se deberían ajustar las funciones de las transformaciones de las variables independientes.



Se sugiere en estudios futuros explorar el uso de modelos de producción con variables ambientales, para lo cual se requiere continuar con estudios de la estandarización del esfuerzo de pesca que consideren los cambios tecnológicos y que permitan considerar que la cpue es proporcional a la abundancia del recurso.

h. Modelos de reclutamiento y condiciones ambientales

Parte de la variabilidad de los reclutamientos es explicable por la conducta de las variables ambientales.

Se destaca el hallazgo de la ventana ambiental óptima relacionada con la turbulencia registrada en la VIII región en el mes de agosto y septiembre. Se recomienda validar, con la conducta futura de los reclutamientos, la velocidad del viento de 6-6,5 m/s como umbral de la ventana ambiental óptima.

Se destaca que existe una concordancia entre el cambio de nivel de la biomasa del recurso de 200-300 mil t en 1968-1980 a 500-600 mil t en 1985-1995 con los cambios que se observan en las variables ambientales, que podrían sugerir diferentes estados de equilibrio o ciclos.

i. Modelos de crecimiento individual

Considerando el tipo de información disponible el modelo no permitió explicar la variabilidad de la información.

Se recomienda en el futuro realizar estudios específicamente destinados a estudiar procesos individuales y su relación con las variables ambientales.



j. Fenómenos de mediana escala relacionados con la distribución del stock

Se destaca que el fenómeno de El Niño aumentaría la temperatura superficial del mar con un desfase de 6 meses y que se produciría una relajación de las surgencias por el cambio en el régimen de los vientos. Sin embargo, es necesario invertir esfuerzos en conocer el efecto de este fenómeno en la zona centro-sur del país, ya que se han encontrado relaciones que sugieren que el fenómeno de El Niño de 1982, habría afectado el factor de condición de merluza del sur y congrio dorado, recursos de la zona sur-austral.

Se recomienda que en estudios futuros se considere una escala diaria de análisis de las capturas y rendimientos de pesca, ya que es probable que el efecto de El Niño se evidencie a una escala temporal y espacial menor.

Finalmente, se recomienda que en estudios futuros se realicen estudios de coherencia y fase de las series de tiempo.



VII. DISCUSION

1. Abundancia y mortalidad por pesca del stock

Las grandes fluctuaciones de la abundancia se deben principalmente a las fuertes fluctuaciones de los reclutamientos y en menor grado al crecimiento somático de los peces. Los máximos valores de abundancia total (fracción 3+) se presentaron en los años 1968-1970, 1985-1988 y 1993-1994, los cuales se corresponden con los máximos reclutamientos de individuos de 3 años de edad (Figs. 2, 4 y 8). De igual forma los máximos de abundancia de la edades más adultas (fracción 5+) se corresponden con los reclutamientos con un desfase de 2 años (Fig. 5). Por su parte, el crecimiento somático, expresado como la tasa de cambio del peso geométrico por edad, presentó un claro período de crecimiento entre 1979 y 1982 (Fig. 29), el cual también contribuyó a aumentar la abundancia en términos de biomasa (Fig. 2).

La gran disminución de las mortalidades por pesca durante los años setenta, se puede relacionar con la situación de sobreexplotación que experimentó la merluza en 1968, cuando se obtuvo el máximo desembarque histórico de 128 mil t y luego del cual los desembarques cayeron fuertemente para estabilizarse en torno a las 30 mil t hasta 1986. La estabilidad de las mortalidades por pesca en la última década, se explican por que la pesquería ha estado sometida a un régimen de manejo basado en cuotas de capturas. Sin embargo, en los últimos años estas cuotas han ido en aumento, lo cual ha producido un nuevo aumento de la mortalidades por pesca, las cuales han llegado a niveles cercanos a un tercio de las máximas mortalidades registradas en 1968. Por lo tanto, los niveles actuales de mortalidad por pesca son bajos, por lo que el recurso se encuentra sano. Sin embargo, la estructura actual del stock está basada principalmente en dos clases anuales que son producto de los fuertes reclutamientos de individuos nacidos en 1990 y 1991.



Los estimados de abundancia obtenidos en el presente proyecto son concordantes con las evaluaciones anteriores realizadas por Payá (1996). Por otra parte, las abundancias se encuentran dentro de los intervalos de confianza al 95% estimados por Payá *et al.* (1997) utilizando datos hasta 1995 y considerando la incertidumbre asociada a las frecuencias de longitudes, claves talla-edad, mortalidad natural y a la abundancia estimada por hidroacústica.

2. Madurez, fecundidad y producción de huevos

Para poder analizar en forma adecuada la dinámica de merluza se requería disponer de un mejor estimado de la producción de huevos, ya que sólo se contaba con estimados de fecundidad y madurez para 1965 y 1992 (Balbontín y Fischer 1981, Alarcón y Arancibia 1993, Balbontín y Bravo 1993).

El cálculo de la fecundidad de merluza común para el período 1985 a 1995 se realizó bajo el supuesto que en ovarios en estado avanzado de maduración sexual, no había nuevas incorporaciones de oogonias a la moda más avanzada de ovocitos y que el número de ovocitos por gramo de ovario se mantiene relativamente constante. Este supuesto se basó en lo señalado para la sardina **Sardinops sagax** del norte de Chile, en la cual las variaciones mensuales en la fecundidad modal no van acompañadas de una fluctuación en el tamaño de los ovocitos (Claramunt *et al.* 1993).

Considerando los resultados obtenidos se puede concluir que no han existido cambios estadísticamente significativos en la talla de 50% de madurez, como lo muestra la sobreposición de las regiones de plausibilidad de la talla de primera madurez. Por otra parte, los resultados no permiten establecer que existan cambios en la fecundidad y en la madurez en función de la densidad poblacional, ya que el año con la más alta producción de huevos coincidió con el año en que la talla 50 %



de primera madurez sexual fue elevada, lo que probablemente tenga una mejor relación con la estructura de tallas de la población.

El método utilizado en este estudio para determinar la talla 50 % de primera madurez sexual fue diferente al utilizado en merluza común para calcular ese parámetro. De todas maneras, los valores determinados son comparables a lo señalado en la literatura (Poulsen 1952, Balbontín y Fischer 1981, Alarcón y Arancibia 1993, Balbontín y Bravo 1993).

En relación con las limitaciones de las estimaciones de la producción de huevos realizadas, se debe considerar que se debió suponer que el número de desoves en la época reproductiva es igual entre individuos de diferentes tallas, ya que a la fecha de este trabajo no existen estimaciones realizadas para merluza común sobre el número de desoves por talla. Este aspecto que podría generar algunas modificaciones en los estimados realizados es difícil de evaluar y obviamente requiere de estudios orientados a los aspectos reproductivos de merluza, lo cual escapaba del ámbito del presente proyecto. No obstante, por el momento parece no existir evidencia de que el número de desoves cambie según la talla.

Existen pocos antecedentes sobre los parámetros reproductivos de las especies del género *Merluccius* (Pitcher and Alheit, 1995). Se han descrito especies de merluza que presentan fecundidad determinada e indeterminada, pero según estos autores, es probable que todas las especies de merluza tengan fecundidad de camada indeterminada. En el caso de la merluza del Mediterráneo **M. merluccius**, la estrategia reproductiva consiste en una combinación de período de desove extenso, desove seriado y alta fecundidad (Papaconstantinou y Stergiou, 1995), lo que también podría aplicarse a la merluza común de Chile.

Para la merluza común existe escasa información sobre el número de desoves por



temporada de puesta. Tomando en cuenta la incidencia de hembras con ovocitos hidratados, según el método desarrollado por Hunter y Goldberg (1980) para la anchoveta del norte **Engraulis mordax**, Alarcón y Arancibia (1993), estiman que cada hembra desovaría cada dos semanas en promedio, con 16 tandas de desove en la temporada de reproducción, sin indicar si el número de desoves podría estar relacionado con la longitud corporal.

En la merluza **Merluccius hubbsi** de la costa argentina, se estimó la frecuencia del desove sobre la base del número de generaciones ovocitarias presentes en el ovario (Olivieri y Christiansen, 1987). La presencia de series o generaciones de ovocitos indicaría la existencia de más de un desove por cada hembra en la temporada reproductiva, con un total de cuatro a cinco, los que se llevan a efecto cada 22 días. No se menciona la posibilidad que la dinámica sea afectada por la talla de los ejemplares.

En la anchoveta del norte, el equivalente calórico presente en el ovario en el período de puesta equivale al de dos desoves. El resto de los desoves de la temporada proviene de la energía almacenada en los tejidos y la proveniente en el alimento (Hunter y Leong, 1981). No hay información sobre la energía acumulada en el ovario de merluza común ni tampoco respecto de la energía gastada en cada desove de camada. A pesar de no contar con esta información, Balbontín y Fischer (1981) consideraron que el cociente entre el número total de ovocitos en vitelogénesis (de 0,22 mm de diámetro y mayores) y el número de ovocitos de la moda de tamaño más avanzada (0,72 mm y mayores) reflejaba el número de desoves de la temporada, dando como resultado una mediana que, según el puerto de desembarque de las hembras estudiadas, varió entre 2,9 y 4,3. A pesar de que el método de análisis es cuestionable, es interesante destacar que este cociente es relativamente constante con la talla de las hembras, por lo que el número de desoves sería independiente de la longitud total.



Existe abundante información sobre variaciones en el número de desoves y frecuencia reproductiva en Clupeiformes. En la anchoveta de California se estimó que la fecundidad de camada promedio no cambia durante los primeros meses de desove. Esta conclusión se obtuvo mediante la comparación de la fecundidad de las hembras en diferentes meses de 1979 (Hunter y Macewicz, 1980). Por otra parte, puede observarse cambios interanuales en el número de desoves que produce la población de anchoveta (Hunter y Leong, 1981). En la sardina **Sardinops sagax** del norte de Chile, se observó que las rectas correspondientes a la forma linearizada de la relación entre la fecundidad parcial y el peso corporal, calculadas para diferentes meses de la época de desove, son paralelas y que los cambios que se observan corresponden a la posición de las rectas y no a sus pendientes (Claramunt *et al.*, 1993). Por lo tanto, los cambios mensuales en la fecundidad durante el período de puesta son independientes del peso corporal (talla).

En consecuencia, de los antecedentes disponibles no existen evidencias claras, ni menos estimaciones, de los cambios en el número de desoves por talla en la merluza común. Debido a esto, se debió emplear una estimación simplificada de la producción de huevos de merluza, la cual obviamente debería ser mejorada en trabajos posteriores, una vez que se disponga de antecedentes y estimaciones más finas de los procesos reproductivos de esta especie.

De los resultados encontrados en el presente proyecto, se desprende que el comportamiento reproductivo de la merluza común se caracteriza por una época principal de desove a fines de invierno y comienzos de primavera cuando predominan índices de surgencia débiles. Esto concuerda con los resultados encontrados en términos de que existe una ventana ambiental óptima para la sobrevivencia de huevos y larvas asociada a niveles intermedios de turbulencia, lo cual en ambientes tipo Ekman, indica niveles intermedios de surgencia. Esta conducta es similar a la descrita para la merluza de California (**Merluccius**



productus), en la cual se determinó que la fuerza de la clase anual y el transporte de Ekman mar afuera en el momento del desove, estaban negativamente correlacionados (Bailey 1981). En esta especie, en la etapa temprana del ciclo vital se determina la fuerza de la clase anual (Hollowed y Bailey 1989). La dinámica de este recurso está relacionada con procesos climáticos y oceánicos que experimentan fluctuaciones periódicas (Francis *et al.* 1989). La sobrevivencia larval estaría favorecida por períodos de transporte débil mar afuera durante el comienzo del invierno, seguido por períodos de surgencia crecientes uno o dos meses después (Hollowed y Bailey 1989).

3. Correlaciones entre las variables ambientales

El análisis de los componentes principales de las variables ambientales reveló que, en el mejor de los casos, el primer componente recogió sólo el 76% de la varianza total. Debido a esto, se prefirió realizar los ajustes de los diferentes modelos con las variables directamente, para evitar que el uso del primer componente principal, aumentara aparentemente la capacidad explicativa de los modelos. Por otra parte, el hecho que el primer componente refleje la turbulencia y la surgencia, se explica por que ambas variables se construyen a partir de la información de los vientos.

Al utilizar el análisis exploratorio propuesto por Jacobson y MacCall (1995) para buscar la mejor la correlación lineal entre el éxito reproductivo ($\ln(R3/H)$) y las variables ambientales, se obtuvo que ésta se produce al considerar el valor promedio de la turbulencia entre el año del desove y el año del reclutamiento. Esto concuerda con lo encontrado por estos autores para la sardina (***Sardinops sagax***), en la cual el éxito reproductivo se correlaciona mejor con el promedio de la temperatura superficial del mar que incluye las temporadas en que los reclutas tienen de 1 a 4 años de edad. Por lo tanto, en ambas especies, los resultados encontrados contrastan con las teorías actuales que indican que los factores ambientales durante los primeros



estados de la historia de vida dan cuenta de la mayoría de las variaciones en los reclutamientos.

Las correlaciones lineales entre la razón reclutamientos denso-independientes y denso-dependientes y las variables ambientales fueron bajas, lo cual concuerda con la baja capacidad explicativa ($R^2=0,2$) del modelo ajustado por Zuleta *et al.* (manuscrito), ya que éste se basó en el mismo tipo de variables.

4. Ventana ambiental óptima

El uso del algoritmo ACE mostró que existen claras relaciones no-lineales que se enmascaran al realizar análisis de correlaciones lineales. Esta técnica permitió identificar claramente una relación con forma de domo entre los reclutamientos y la turbulencia, que concuerda con la hipótesis de Cury y Roy (1989), la cual establece que en ambientes de surgencia existiría una ventana ambiental óptima (VAO) para los reclutamientos. Esta hipótesis se basa en que: 1) Para que las larvas sobrevivan, deben existir concentraciones aceptables de alimento, que están asociadas con condiciones de estabilidad del océano (Lasker 1981); 2) Cuando existe alta turbulencia, generada por vientos muy rápidos, las concentraciones del alimento y de las larvas se disgregan, teniendo un efecto negativo en la sobrevivencia de las larvas (Peterman y Bradford 1987) y 3) En ambientes de surgencia tipo Ekman, la advección vertical, los nuevos nutrientes y la turbulencia están asociados a la velocidad del viento. Por lo tanto, la hipótesis de la ventana ambiental óptima establece que cuando las intensidades de las surgencias son entre débiles y moderadas, los reclutamientos son favorecidos por el aumento de la disponibilidad de alimento, que se produce por el incremento de la producción primaria en un régimen de vientos que genera baja mezcla. Por el contrario, cuando las surgencias son muy intensas, aunque la productividad aumente, los reclutamientos son afectados negativamente debido a que el grado de mezcla es demasiado grande Cury y Roy (1989).



5. Modelos de éxito reproductivo

En el ajuste de estos modelos se utilizó el procedimiento de “scatterplot smoothing”, el cual a diferencia del algoritmo ACE, que estima las funciones de las variables dependientes e independientes, éste sólo estima las funciones de las variables independientes sin modificar la variable dependiente. Por lo tanto, este procedimiento es conceptualmente más restringido que el algoritmo ACE.

De los modelos ajustados, el mejor ($\alpha=3 \cdot 10^{-8}$ y $R^2=78\%$) fue el que relacionó el éxito reproductivo con la función de la turbulencia promedio entre el año del desove y el del reclutamiento. Esto concuerda con los resultados del algoritmo ACE, que muestran que la ventana ambiental óptima de los reclutamientos está también asociada a la turbulencia. Por otra parte, el hecho que este modelo considera la turbulencia promedio entre el año del desove y el del reclutamiento, sugiere que las variables ambientales podrían estar afectando la sobrevivencia no sólo de huevos y larvas, sino que también de la fase pre-recluta, probablemente por cambios en la disponibilidad de alimento. En el caso de merluza común, esto podría explicarse por el hecho que su alimentación está basada principalmente en especies pelágicas como eufaúsidos, sardinas y anchovetas, cuyas abundancias deberían ser afectadas por procesos locales como surgencias y de mayor escala como el fenómeno de “El Niño”.

6. Modelo de reclutamiento

El uso de las transformaciones basadas en el “scatterplot smoothing” para estos modelos no entregó buenos resultados, lo que contrasta con los resultados obtenidos al usar el algoritmo ACE, con el cual se obtuvo la ventana ambiental óptima. Esto refuerza la idea que el algoritmo ACE es superior y que se deben considerar las transformaciones de las variables dependientes e independientes en este tipo de análisis.



7. Modelo de reclutamientos denso-dependientes y denso-independiente.

7.1 Modelo stock-reclutamientos denso-dependientes

La aplicación del filtro fue exitosa indicando que las grandes fluctuaciones en los reclutamientos están relacionadas con procesos denso-independientes (Fig. 93). Esto concuerda con lo encontrado para **Merluccius productus** por Hollowed y Bailey (1989), quienes aplicaron el mismo filtro.

Los reclutamientos denso-dependientes filtrados, permitieron ajustar el modelo de stock-recluta de Ricker en forma satisfactoria por primera vez en este recurso. La distribución histórica de los datos alrededor de la curva ajustada del modelo indica que durante los años setenta el stock presentaba signos de sobreexplotación por reclutamiento, ya que los datos se encontraban en la parte ascendente de la curva, en la cual los reclutamientos son proporcionales a la producción de huevos. Esto concuerda con la hipótesis de Aguayo y Young (1982), que indica que la fuerte caída de los desembarques luego del máximo desembarque histórico en 1968 se debió a una situación de sobreexplotación por reclutamiento. En los años ochenta, disminuye la proporcionalidad entre la producción de huevos y los reclutamientos denso-dependientes, indicando que ya se había superado la condición de sobreexplotación por reclutamiento. Desde la segunda mitad de los ochenta, los datos se distribuyen en torno al máximo de la curva, indicando que el recurso se encuentra en una condición sana, alejado de la sobreexplotación por reclutamiento.

7.2 Modelos de la razón reclutamientos denso-dependientes y denso-independientes ($\ln(1+RI/RD)$).

Estos modelos fueron analizados utilizando transformaciones de la variable dependiente y de las variables independientes mediante el algoritmo ACE. El ajuste del $\ln(1+RI/RD)$ con todas las variables ambientales fue muy bueno ($R^2=0,87$),



observándose que la forma de las funciones obtenidas era distinta al hacer el ajuste para agosto y para septiembre. El modelo más simple que considera sólo la turbulencia, fue igualmente bueno ($R^2=0,84$) y la forma de las funciones fueron similares al ajustar los datos de agosto y septiembre. La forma de la función de turbulencia semeja una forma domo incompleto, que podría asociarse al efecto ventana ambiental identificado en el modelo de éxito reproductivo.

Un análisis adicional que no estaba comprometido en la oferta técnica, permitió determinar que la importancia de los reclutamientos denso-independientes se relaciona también con el fenómeno de "El Niño". Esta relación fue evidente al graficar el $\ln(1+RI/RD)$ y el valor mínimo del IOS entre julio del año del desove y junio del año siguiente (IOSMIN) y muestra que la fracción de reclutas denso-independiente aumenta en los años en que se produce el fenómeno de "El Niño". Una hipótesis para explicar esta relación es que durante el fenómeno de "El Niño" se producirían condiciones que favorecen la sobrevivencia de las larvas.

Aunque, el modelo global con todas las variables ambientales y el IOSMIN, presentó un mejor ajuste con los datos de septiembre ($R^2=0,87$) que con los de agosto, este último, cuyo ajuste también es bueno ($R^2=0,7$), entregó una visión global de las funciones, que permite una clara explicación teórica. Las funciones de la turbulencia, la surgencia y la temperatura presentaron una forma de domo que muestra que existiría una ventana ambiental asociada a cada una de estas variables. Los valores umbrales de la ventana de estas tres variables tienen una clara explicación. Los umbrales de turbulencia y surgencia están directamente relacionados, ya que en ambiente tipo Ekman, el índice de turbulencia es proporcional al índice de surgencia. El umbral de temperatura de 12°C corresponde a un valor intermedio (11 y 13°C) de la temperatura superficial del mar registrado en las zonas de surgencia a través de las imágenes satelitales (Figs. 121 a 124). Por su parte, la función del IOSMIN presentó una forma lineal inversa que significa que el fenómeno de "El Niño" se relaciona positivamente con los reclutamientos denso-independientes.



8. Validez general de la “Ventana Ambiental Óptima” de “5-6 m/s de velocidad de los vientos”.

Para los reclutamientos de merluza común se encontró que existe una ventana ambiental óptima asociada a la turbulencia, en la cual los reclutamientos comienzan a disminuir a partir de los $219 \text{ m}^3/\text{s}^3$ (Fig. 76), lo cual corresponde a una velocidad de viento de 6 m/s. Por otra parte, la razón de reclutamientos denso-independientes y denso-dependientes también presentó una ventana ambiental óptima a $271 \text{ m}^3/\text{s}^3$ (Fig. 102), que corresponde a una velocidad de 6,5 m/s. Por lo tanto, la teoría de la ventana ambiental óptima de 5-6 m/s de velocidad de viento desarrollada para recursos pelágicos, también se aplica para un recurso demersal como merluza común, lo cual se explica por los hábitos pelágicos de sus huevos y larvas.

Esta ventana entre 5 a 6 m/s de velocidad del viento tiene explicaciones físicas y biológicas (Roy y Cury 1989). El umbral de 5 m/s es la velocidad en la cual el stress del viento comienza a ejercer un efecto de mezcla medible sobre la capa superficial en aguas costeras (Kullenber 1971, 1972, 1974, 1976 y 1978). A velocidades mayores de 7 m/s se produce la ruptura de las ondas y se generan fuertes turbulencias (Pond y Pickard 1978). Biológicamente, la velocidad de 5 m/s es el umbral a partir del cual el viento tiende a destruir las agrupaciones (“patches”) de fitoplancton (Therriault y Platt 1981 y Demers *et al.* 1987). Por otra parte, fuertes turbulencias producen fuertes capas de mezcla y poblaciones de fitoplancton limitadas por la disponibilidad de luz, lo que afecta negativamente la producción primaria y la biomasa del zooplancton (Hunstmann y Barber 1977).

9. Crecimiento individual

Aunque se observaron cambios en los pesos medios a la edad y por ende en la tasas de crecimiento, éstas no se relacionaron con las promedios anuales de las variables ambientales analizadas, lo cual se tradujo en que los ajustes de los modelos no fueron buenos. Por lo tanto, los modelos analizados no describen adecuadamente los



cambios en el crecimiento individual. No obstante, los cambios observados en los pesos medios sugieren que podría existir alguna relación con el fenómeno de “EL Niño”, ya que las tasas de crecimiento parecen aumentar en los períodos pre-Niño y disminuir en los períodos post-Niño. Este tipo de análisis, que no está comprometido en el presente proyecto, debe ser considerado en investigaciones futuras que se realicen sobre el crecimiento individual.

10. Distribución del recurso y estandarización del esfuerzo de pesca.

El uso de la cpue y del esfuerzo de pesca estandarizado (Payá *et al.* 1996) permitió identificar las principales zonas de concentración de merluza y como estas fluctuaron entre y al interior de los diferentes años. Se destaca que se encontró una gran sobreposición entre las zonas de concentración de capturas y las zonas de surgencia identificadas mediante las imágenes satelitales.

El modelo de estandarización del esfuerzo utilizado explica el 68% de la varianza de los datos, es altamente significativo ($P < 0.0001$) y presenta residuales que se distribuyen en forma normal (Payá *et al.* 1996). Según los autores, la variación de los datos no explicada por el modelo (32%), es probable que se deba a variables que no fueron consideradas, como la presencia de equipos de detección y la experiencia de los capitanes. No obstante, el efecto de estas variables debería ser de menor importancia al interior de un año, donde se reducen los efectos de los cambios y modernización de los equipos. Los cambios en los equipamientos de las embarcaciones fueron detectados mediante encuestas que tuvieron un bajo índice de respuestas, lo que impidió su incorporación en el modelo final.

Para efectos de los análisis realizados en el presente proyecto, las limitaciones de la estandarización del esfuerzo no son de mucha relevancia. Los principales efectos de estas limitaciones se relacionan con el uso de la cpue como un índice de abundancia



auxiliar para la calibración de modelos de evaluación de stock, como el análisis de poblaciones virtuales (APV), en los cuales todas las variaciones de la cpue deben ser producidas por cambios en la abundancia, de forma tal que se cumpla el supuesto de proporcionalidad directa entre estas dos variables. Por el contrario, en el presente proyecto la cpue y el esfuerzo estandarizado se utilizó para identificar las zonas de concentración del recurso, lo cual perfectamente se podría haber hecho incluso utilizando un esfuerzo de pesca no estandarizado.

11. Modelo de la oscilación del sur - TSM Chile centro-sur

La diferencia entre las series de PNM de Tahiti y Darwin, como variable que representa al IOS, ha sido utilizada y recomendada anteriormente (Cid 1985; Rasmusson y Carpenter 1982; Chen 1982; Trenberth 1984, Sepúlveda *et al.* 1987). Estos autores han encontrado que los cambios producidos en la fase de la OS preceden estadísticamente en algunos meses a los cambios producidos en la temperatura superficial del agua de mar en la costa sudamericana, particularmente de la costa peruana (5 estaciones de la costa del Perú: Talara, Chicama, Chimbote, La Punta y San Juan). En este proyecto se intentó, por primera vez, relacionar el índice de la OS con las series de TSM existentes para Chile centro-sur en la V y VIII Región desde 1968 hasta 1994, estableciéndose un modelo de función de transferencia que relaciona mediante un sistema de lazo cerrado ambas series. Esto bajo el concepto de que el sistema océano-atmósfera actúa bajo retroalimentación.

Previamente han sido detectadas marcadas anomalías en las TSM del Perú y norte de Chile, que en algunos casos muestran tendencias alejadas de lo normal, éstas se deben a la ocurrencia de 4 episodios moderados-fuertes del fenómeno "El Niño" claramente identificados en los años 1957-58, 1965, 1972-73, 1982-83 (Quinn *et al.* 1978; Guillen *et al.* 1985), 1986-87, y 1991-92 (Rutlant *et al.* 1992). De acuerdo a los resultados de este proyecto, la serie del IOS también produce un efecto significativo



sobre las TSM de estaciones costeras chilenas, pero sin mostrar marcadas anomalías de la TSM.

12. Relación entre la abundancia y biomasa de la merluza común con factores ambientales

La mayoría de los trabajos que analizan la influencia de factores ambientales sobre la abundancia de un recurso íctico, se concentran en recursos pelágicos (Mysak, 1986; Mendelsohn y Cury, 1987; Shannon *et al.* 1992; Bloomer *et al.* 1994). Dentro de este esquema de análisis y para el área de Talcahuano, se destaca un estudio que relaciona la tasa de captura y los desembarques de especies como la sardina, anchoveta y el jurel, con los promedios anuales de las TSM y el índice de turbulencia en Talcahuano (Yáñez *et al.* 1992).

En el intento por identificar modelos que permitan establecer algún grado de dependencia de la abundancia y la biomasa de la merluza común, con los procesos ambientales, se debe tener presente que tanto la abundancia como la biomasa del stock de merluza común se vieron fuertemente afectadas por la intensidad por pesca aplicada en los años 1969-1976, durante la fase de declinación de la pesquería. A su vez, a esta fase le siguió un extenso período de recuperación (1977-1986), lo que limita fuertemente poder aislar los posibles efectos inducidos por los factores ambientales de los producidos por procesos denso-independientes, particularmente de los generados por la actividad pesquera.

La relación observada entre la abundancia anual de las edades 3 y 4 de la merluza común con el índice promedio de surgencia anual de Talcahuano muestra que la surgencia es un proceso que favorece el reclutamiento y aporte en número de estos grupos de edad. En la literatura, este proceso favorable ha sido documentado en otras escalas temporales; es así como por ejemplo, en las aguas costeras de



Newfoundland, Canada, se ha identificado que los episodios de surgencia favorecen la tasa de captura de recursos como bacalao **Gadus morhua** y capelin **Mallotus villosus** (Ings et al. 1997).

Similar a la relación o dependencia existente entre las biomásas de las edades 3 y 4 (Figs. 128c y 128d), Ware y Mc Farlane (1995) encontraron que los cambios en la temperatura del agua modula fuertemente la distribución y abundancia de la merluza del Pacífico (**Merluccius productus**) de la Isla de Vancouver. Estos autores muestran la existencia de una dependencia lineal entre la biomasa del stock y la TSM de los meses de junio-julio y una dependencia significativa entre los niveles de predación de eufáusidos y arenques (principales presas de la merluza del Pacífico) con los cambios en la distribución y abundancia de la merluza (Mc Farlane et al.; 1997).

Los análisis realizados especialmente para el período 1986-1995, revelan la existencia de relaciones entre los procesos ambientales y las fluctuaciones de la abundancia. La existencia de una relación inversa entre la anomalía de la abundancia de las edades 3 y 4, así como de la abundancia del stock de merluza (3+) con la anomalía de la TSM promediada para una amplia área del Pacífico Suroriental ofrece resultados similares a los obtenidos en otras especies del género **Merluccius**, de otros sistemas de surgencia. Por ejemplo, se destaca el trabajo de Shannon et al. (1988), quienes concluyeron que los peces de fondo, que habitan en el sistema de surgencia de Benguela, se benefician con la existencia de períodos fríos. De acuerdo a Macpherson et al. (1991), las condiciones cálidas inducen a que la merluza del Cabo, **Merluccius capensis**, se concentre más cercana al fondo reduciendo el espacio existente entre los individuos, incrementándose la vulnerabilidad ante los artes de pesca de arrastre. Según Shannon et al. (1988), durante períodos excesivamente cálidos, se vería afectado el reclutamiento de esta especie; de ahí la explicación a la existencia de una correlación negativa entre la TSM y el reclutamiento de la merluza. Macpherson et al. (1991) sugieren que a lo menos en la época estival,



el uso de imágenes satelitales podría ofrecer consecuencias económicas de beneficio para la pesquería de la merluza del Cabo.

Si bien se pueden establecer algunas relaciones plausibles entre los procesos ambientales y los indicadores de abundancia y biomasa de la merluza común, no menos cierto es que se hace difícil construir modelos empíricos que consideren los procesos oceanográficos y ambientales y su influencia sobre la distribución, el crecimiento, la abundancia y el reclutamiento de un recurso. Similares conclusiones estableció el grupo de trabajo de ICES/GLOBEC en torno a los cambios de la abundancia del bacalao con el clima (ICES 1995a). Más aún, en ese grupo de trabajo fue de consenso el que debido a que las series de tiempo biológicas y pesqueras que actualmente existen constan sólo de 20 a 30 años de observaciones, ellas serían muy cortas para realizar análisis de series de tiempo más sofisticados. La mayor parte de la varianza en las series biológico-pesqueras puede ser explicada por variables ambientales con señales de baja frecuencia, de tal modo que en muchos casos cuando tales modelos son aplicados a datos futuros, éstos fallan en su capacidad predictiva. Sin embargo, la comparación de estas relaciones en diferentes poblaciones o entre especies de diferentes regiones permiten probar los patrones estadísticos y la robustez de los modelos. Una de las pocas series de tiempo de largo plazo, existente para el período 1800 - presente, la constituye la pesquería de bacalao del golfo de San Lorenzo (ICES 1995b). En este último reporte de ICES/GLOBEC se citó a otro estudio que relacionó las condiciones ambientales, particularmente el índice de oscilación del Atlántico norte (NAO) con los stocks de bacalao (ICES mar Sci. Symp. 198), los que mostraron, a partir de datos para un período de 35 años, que índices negativos del NAO se asociaban a niveles favorables de biomasa de bacalao y una serie de datos positivos de este índice mostraron niveles desfavorables de biomasa de estos stocks.



VIII. CONCLUSIONES

1. La biomasa total del stock experimentó un fuerte cambio de nivel desde 250-300 mil t en 1968-1981 hasta 500-600 mil t en 1982-1995. Estas fluctuaciones se deben principalmente a las variaciones en la fuerza de los reclutamientos.
2. La talla 50% de primera madurez sexual de las hembras para el período 1983-1995 no presenta variaciones estadísticamente significativas (plausibles al 5%), con un valor promedio de 38,7 cm LT.
3. La producción de huevos se presentó relativamente estable hasta 1981, para luego presentar una tendencia creciente. El año con la producción anual de huevos más baja fue 1968 y la más alta fue 1991. La fertilidad se incrementó a medida que aumentaba la edad de la población.
4. En el período de desove principal de la merluza común, las condiciones ambientales se caracterizan por las bajas temperaturas del agua de mar, inicio del incremento de la surgencia, junto con el incremento de la mezcla turbulenta.
5. El éxito reproductivo se relaciona ($R^2=0,78$) con la turbulencia promedio entre el año del desove y el del reclutamiento, registrada en septiembre en la VIII región.
6. El reclutamiento se relaciona con la producción de huevos y la turbulencia del año del desove medida en la V y VIII región en agosto ($R^2=0,78$).



7. Existe un ventana ambiental óptima para los reclutamientos, asociada a la turbulencia de agosto registrada en la V y VII región. Los reclutamientos son favorecidos por turbulencias débiles y de mediana intensidad y son afectados negativamente por turbulencias de mayor intensidad.
8. El modelo stock-reclutamiento de Ricker ajustado con los reclutamientos denso-dependientes indica que en los años setenta el stock se encontraba en un estado de sobreexplotación por reclutamiento, que en la primera mitad de los ochenta se supera esta situación y que a partir de la segunda mitad de los ochenta, el stock está sano y alejado de la sobreexplotación por reclutamiento.
9. La razón entre reclutamientos denso-independientes y denso-dependientes ($\ln(1+RI/RD)$) está relacionada ($R^2=0,76$) con ventanas ambientales óptimas de la temperatura superficial del mar, de la turbulencia y de la surgencia y con el fenómeno de "EL Niño", mediante una relación lineal positiva.
10. La teoría de la ventana ambiental óptima de 5-6 m/s de velocidad de viento desarrollada para recursos pelágicos, también se aplica para un recurso demersal como merluza, lo cual se explica por los hábitos pelágicos de sus huevos y larvas.
11. La temperatura superficial del mar promedio entre Valparaíso y Talcahuano se relaciona con el índice de oscilación del sur, mediante un modelo basado en un sistema de transferencia de lazo cerrado con retroalimentación.
12. Existe una correlación significativa entre los valores de abundancia anual de las edades 3 y 4 (1986-1995) con el índice de surgencia y la temperatura superficial de Talcahuano. Incrementos del IS y la TSM, con un desfase de 5 y 2 años, respectivamente, favorecen la abundancia de individuos de 3 y 4 años de edad.



13. Existe una correlación inversa entre la abundancia del stock (fracciones de 3, 4 y 3+ años) y la anomalía de la temperatura superficial del mar promediada a partir de cartas satelitales para el área de océano localizada entre las latitudes 25°S - 45°S y las longitudes 75°W - 95°W.



IX. BIBLIOGRAFIA

- Aguayo, M., J. Córdova, R. Bustos y H. Robotham. 1981. Evaluación directa de los principales recursos demersales utilizando el método de área barrida. En: Perspectivas de desarrollo de pesquerías nacionales. Evaluación de los principales recursos demersales entre Papudo (32°00'S) y Chiloé (42°00'S). Corporación de Fomento de la Producción (AP 82-9). IFOP. 86 p.
- Aguayo, M. y Z. Young. 1982. Determinación de los factores que han incidido en los cambios de la abundancia relativa de la merluza común (**Merluccius gayi gayi**) en el período 1968-1981. Instituto de Fomento Pesquero. 79 páginas + 22 tablas.
- Aguayo, M. y R. Robotham. 1984. Dinámica poblacional de Merluza común (**Merluccius gayi gayi**) (gadiformes-Merluccidae). Invest. Pesq. (Chile). 31:17-45.
- Aguayo, M. y H. Robotham. 1986. Diagnóstico de las principales pesquerías nacionales demersales (peces) zona centro sur. Estado de situación del recurso 1985. Informe Técnico IFOP (Chile) AP 86-51.
- Aguayo, M y V. Ojeda. 1987. Estudio de la edad y crecimiento de merluza común (**Merluccius gayi gayi** Guichenot, 1848) (Gadiformes-Merluccidae). Invest. Pesq. (Chile) 34:99-112
- Aguayo, M. y A. Zuleta. 1989. Captura total permisible del recurso merluza común, 1989. Informe Técnico IFOP - SUBPESCA (circulación restringida).



- Alarcón, R. y H. Arancibia. 1993. Talla de primera madurez sexual y fecundidad parcial en la merluza común, **Merluccius gayi gayi** (Guichenot, 1848). Cienc. Tec. Mar, CONA 16: 33-45.
- Anthony, V.C. y G.T. Waring. 1980. Estimates of herring spawning stock biomass and egg production for the Georges Bank-Gulf of Maine region. NAFO SCR Doc. 80/IX/135, 37 p.
- Arcos, D. F. y M. Salamanca. 1984. Distribución de clorofila y condiciones oceanográficas superficiales frente a Chile Central (Latitudes 32°S - 38°S, Febrero 1982). Biología Pesquera 13: 5-14.
- Arcos, D.F. y N. Navarro. 1986. Análisis de un índice de surgencia para la zona de Talcahuano, Chile (Lat. 37°S). Invest. Pesqu. (Chile), 33, 91-98.
- Arcos, D. F. 1987. Seasonal and short time scale variability in Copepod abundance and species composition in an upwelling area off Concepción Coast, Chile. Ph. D. Thesis Dissertation, State University of New York, Stony Brook, 203 pp.
- Avilés, S., M. Aguayo, F. Inostroza & J. Cañón. 1979. Merluza común, **Merluccius gayi** (Guichenot). Teleostomi, Gadiformes, Merluccidae. En: Estado actual de las principales pesquerías nacionales. Bases para un desarrollo pesquero, Parte I (Peces), 89 p. CORFO e IFOP, Ap 79-18, Santiago, Chile.
- Bailey, K.M. 1981. Larval transport and recruitment of Pacific hake **Merluccius productus**. Mar. Ecol. Progr. Ser. 6: 1-9.



- Bakun, A. 1973. Coastal upwelling indices, west coast of north América, 1967-73. U.S. Dept. of Commerce, NOAA Technical Report, NMFS-SSRS-693, 113 p.
- Bakun, A. 1973. Coastal upwelling indices, West Coast of North América, 1946-71. U.S. Dep. Commer., NOAA Tech. Rep. NMFS SSRF-671, 103 pp.
- Bakun, A. 1975. Daily and weekly upwelling indices, West Coast of north América 1967-73. U.S. Dep. Comm., NOAA Tech. Rep. NMSF SSRF-693, 114 p.
- Bakun, A. y R. H. Parrish. 1982. Turbulence, transport, and pelagic fish in the California and Perú Current systems. CalCOFI Rep. 23, 99-112.
- Bakun, A. 1985. Comparative studies and the recruitment problem: Searching for generalizations. CalCOFI Reports, 26: 30-40.
- Bakun, A. J. Bayer, D. Pauly, J. pope y G. Sharp. 1982. Ocean science in relation to living resources. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 39(7):1059-1070.
- Balbontín, F. y R. Bravo. 1993. Variaciones temporales en la fecundidad y en la talla de primera madurez sexual en la merluza común. Inf. Cient. y Técn., Instituto de Oceanología, U. de Valpo. N°012/93, 30 p.
- Balbontín, F. y W. Fischer. 1981. Ciclo sexual y fecundidad de la merluza, **Merluccius gayi gayi**, en la costa de Chile. Rev. Biol. Mar., Valparaíso, 17: 285-334.



- Balbontín F, A. Zuleta, M. Aguayo, S. Rosales y O. Rojas. 1994. El reclutamiento de merluza común **Merluccius gayi gayi** y las condiciones ambientales. Informe final FONDECYT 92-0531.
- Beachman, T.D. 1983. Variability in median size and age at sexual maturity of Atlantic cod, **Gadus morhua**, on the Scotian shelf in the northwest Atlantic Ocean. Fish. Bull. 81 (2): 303-321.
- Bendat, J. S. y A. G. Piersol. 1971. Random Data: Analysis and measurement procedures. John Wiley and Sons, Inc. New York, 407 pp.
- Bernal, P. A., F. L. Robles y O. Rojas. 1982. Variabilidad física y biológica en la región meridional del sistema de corrientes Chile-Perú. In: Castilla, J. C. (ed.) Segundo Seminario Taller. Bases biológicas para el uso y manejo de recursos naturales renovables: Recursos biológicos marinos. Monografías Biológicas 2, 75-102.
- Beverton, R. y S.J. Holt. 1957. On the dynamics of exploited fish populations. FAO, Fishery investigations serie II Volumen XIX. Londres: Her majestys stationery office. 533 p.
- Bjerknes, J. 1966. A possible response of the atmospheric Hadley circulation to equatorial anomalies of ocean temperature. Tellus 18: 820-829.
- Bloomer, S. F.; K. L. Cochrane y J. G. Field 1994. Toward predicting recruitment success of anchovy **Engraulis capensis** Gilchrist in the Southern Benguela system using environmental variables: A rule-based model. S. Afr. J. mar. Sci. 14: 107-119.



- Bloomfield, P. 1976. *Fourier Analysis of Time Series: An Introduction*. Wiley, New York.
- Box, G.E.P. y J. F. MacGregor. 1974. The analysis of close-loop dynamics-stochastic systems, *Technometrics* 16 (3): 391-398.
- Box, G.E.P. y G.M. Jenkins. 1976. *Time Series Analysis: Forecasting and Control*. Holden Day, San Francisco: 575 pp.
- Breiman, L. y J. H. Friedman. 1985. Estimating optimal transformations for multiple regression and correlation. *J. Am. Stat. Assoc.* 80: 580-619.
- Brandhorst, W. 1959. Relationship between the hake fishery and a southerly subsurface return flow below the Peru Current off the Chilean coast. *Nature* 183: 1832-1833.
- Cáceres, M. y D. Arcos. 1991. Variabilidad en la estructura espacio-temporal de un área de surgencia frente a la costa de Concepción. *Investigación Pesquera* 36: 27-38.
- Cáceres, M. 1992. Vórtices y filamentos observados en imágenes de satélite frente al área de surgencia de Talcahuano, Chile central. *Investigación Pesquera* 37: 55-66.
- Cane, M. y S. Zebiak. 1985. A Theory for El Niño and the Southern Oscillation. *Science* 228: 1085-1087.



- Chen, W. Y. 1982. Assessment of southern oscillation sea-level pressure indices. *Monthly Weather Review* 110: 800-807.
- Cid, L. S. 1985. Estimation of the feedback parameters in a close-loop system: A geophysical problem. Ph. D. thesis Oregon State University. 93 pp.
- Claramunt, G., G. Herrera y P. Pizarro. 1993. Fluctuaciones de la fecundidad parcial en sardina española (**Sardinops sagax**) durante la época principal de desove de 1990, en la zona norte de Chile. *Scientia Marina* 57: 9-14.
- Cleveland, W.S., S.J. Devlin, E. Grosse. 1988. Locally weighted regression: an approach to regression analysis by local fitting. *J. Am. Stat. Assoc.* 37:87-114.
- Cornejo, A., C. Del Carmen & J. Marengo. 1986. On the changes in the Atmospheric circulation over South America associated with the 1982-83 El Niño. Chapman Conference on El Niño an International Symposium. Guayaquil, Ecuador.
- Cury, P. y C. Roy. 1989. Optimal environmental window and pelagic fish recruitment success in upwelling areas. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 46: 670-680.
- Cushing, D.H. 1975. *Ecología Marina y Pesquerías*. Editorial Acribia, España, 256 p.
- Csirke, J. 1980. Recruitment in the Peruvian anchovy and its dependence on the adult population. *Rapp.P.-V. Réun. CIEM.* 177:307-313.



- DeAnda, M.J.A. 1994. Reclutamiento y variabilidad ambiental en la pesquería de sardina monterrey (**Sardinops sagax**) del Golfo de California, México. Invest. Pesq. (Chile) 38: 23-36.
- Demers, S., J.C. Therriault, E. Bourget y A. Bah. 1987. Resuspension in the shallow sublittoral zone of a macrotidal estuarine environment: wind influence. Limnol. Oceanogr. 32(2)327-339.
- Diana, J.S. 1983. Growth, maturation, and reproduction of northern pike in three Michigan lakes. Trans. Amer. Fish. Soc. 112: 38-46.
- Efron, B. y R. Tibshirani. 1993. An Introduction to the Bootstrap. Chapman and Hall, New York.
- Espinoza, F. R., Neshyba, S. y Z. Maoxians. 1983. Surface water motion off Chile revealed in Satellite images of surface chlorophyll and temperature. En: Arana, P. A. Marine Resources of the Pacific, 621 pp.
- Fonseca, T. R. 1986. Anomalies of Coastal Temperature and Sea Level along the Chilean Coast during the Last three Decades. Chapman Conference on El Niño an International Symposium. Guayaquil, Ecuador.
- Foucher, R.P. y R.J. Beamish. 1977. A review of oocyte development in fishes with special reference to Pacific hake (*Merluccius productus*). Fis. Mar. Serv. Tech. Rep. 755:1-16.
- Francis, R.C., S.A. Alderstein y A. Hollowed. 1989. Importance of environmental fluctuations in the management of Pacific hake (**Merluccius productus**). En: R.J. Beamish & G.A. McFarlane (eds.) Effects of ocean variability on



recruitment and an evaluation of parameters used in stock assessment models. Can. Spec. Publ. Fish. and Aq. Sci. 108: 51-56.

Gill, A. E. y E. M. Rasmusson. 1983. The 1982/83 climate anomaly in the equatorial Pacific. Nature 306: 229-234.

Guillen, O., N. Lostaunau y M. Jacinto. 1985. Características del Fenómeno <<El Niño>> 1982-83. Boletín (volumen extraordinario) del Inst. del Mar del Perú: 11-21.

Gulland, J.A. y L.K. Boerema. 1973. Scientific advice on catch levels. Fishery Bulletin. 71:325-335.

Guzmán, O., S. Lillo, I. Giakoni y J. Avilés. 1981. Evaluación directa del recurso merluza común utilizando técnicas hidroacústicas. En Perspectivas de desarrollo de las pesquerías nacionales. Evaluación de los principales recursos demersales entre Papudo (32°30') y Chiloé (42°00'). Instituto de Fomento Pesquero.

Hastie, T. J. y R. J. Tibshirani. 1990. Generalized Additive Models. Chapman and Hall, London.

Healey, M.C. 1978. Fecundity changes in exploited populations of lake whitefish (**Coregonus clupeaformis**) and the lake trout (**Salvelinus namaycush**). J. Fish. Res. Bd. Can. 35: 945-950.



- Herrera, G., E. Bustos-Obregón y F. Balbontín. 1988. Morphological aspects of gonadal maturation in the hake **Merluccius gayi gayi**. Rev. Biol. Mar., Valparaíso 24 (1): 55-71.
- Hilborn, R. y Walters C. 1992. Quantitative fisheries stock assessment: choice, dynamics and uncertainty. Chapman and Hall Inc. New York, N.Y.
- Hjort, J. 1914. Fluctuations in the great fisheries of northern Europe viewed in the light of biological research. Rap. Proc.-V. Réun. Cons. Int. Explor. Mer 20: 1-228.
- Hollowed, A.B. & K.M. Bailey. 1989. New perspectives on the relation between recruitment of the Pacific hake **Merluccius productus** and the ocean environment. En: R.J. Beamish & G.A. McFarlane (eds.) Effects of ocean variability on recruitment and an evaluation of parameters used in stock assessment models. Can. Spec. Publ. Fish. and Aqu. Sci. 108: 207-220.
- Hopkins, C.C.E. K.S. Tande, K.S. Gronvik y J.R. Sargent. 1984. Ecological investigations of the zooplankton community of Balsfjorden, northern Norway: an analysis of growth and overwintering tactics in relation to niche and environment in **Metridia longa** (Lubbock), **Calanus finmarchicus** (Gunnerus), **Thysanoessa inermis** y **Thysanoessa raschi** (M.Sars). J. Exp. mar Biol. Ecol., 82: 77-99.
- Hopkins, C.C.E., J.R. Sargent y E.M. Nilssen. 1993. Total lipid content, and lipid and fatty acid composition of the deep-water prawn **Pandalus borealis** from Balsfjord, northern Norway: growth and feeding relationships. Mar. Ecol. Prog. Ser. 96:217-228.



- Horne, J. K. 1994. Spatial Variance of Capelin (*Mallotus villosus*) in Coastal Newfoundland Waters. *J. Northw. Atl. Fish. Sci.* 17: 33-43
- Hunstman, S.A. y R.T. Barber. 1977. Primary production off northwest Africa: the relationship to wind and nutrient conditions. *Deep-Sea Res.* 24:25-33.
- Hunter, J. and B. Macewicz. 1980. Sexual maturity, batch fecundity, spawning frequency, and temporal pattern of spawning for the northern anchovy, ***Engraulis mordax***, during the 1979 spawning season. *CalCOFI Reports* 21: 139-149.
- Hunter, J. and S. Goldberg. 1980. Spawning incidence and batch fecundity in northern anchovy, ***Engraulis mordax***. *Fish. Bull.* 77: 641-652.
- Hunter, J. and R. Leong. 1981. The spawning energetics of female northern anchovy, ***Engraulis mordax***. *Fish. Bull.* 79: 215-230.
- ICES. 1995a. Report of the ICES/GLOBEC working group on cod and climate changes. *ICES C. M.* 1995 / A:8, 16 p.
- ICES. 1995b. Report of the cod and climate backward-facing workshop. *ICES C.M.* 1995 / A:7, 23 p.
- Ings, D. W.; J. K. Horne y D. C. Schneider. 1997. Influence of episodic upwelling on capelin, *Mallotus villosus*, and Atlantic cod, *Gadus morhua*, catches in Newfoundland coastal waters. *Fisheries Oceanography* 6: 41-48.



- Jacobson L.D. y A.D. MacCall. 1995. Stock-recruitment models for Pacific sardine (**Sardinops sagax**). Can. J. Fish. Aquat. Sci. 52:566-577.
- Jenkins, G. M. y D. G. Watts. 1968. Spectral Analysis and its applications. Holden Day, San Francisco. 525 pp.
- Jobling, M. 1988. A review of the physiological and nutritional energetics of the cod with particular reference to growth under farmed conditions. Aquaculture. 710:1-19.
- Kelly, K.H. y D.K. Stevenson. 1986. Fecundity of Atlantic herring (**Clupea harengus**) from three spawning areas in the western Gulf of Maine, 1962 and 1982. J. Northw. Atl. Fish. Sci. 6: 149-166.
- Kerr, R. A. 1986. Another Try at Forecasting El Niño. Science 232: 155.
- Kullenberg, G. 1971. Vertical diffusion in shallow waters. Tellus. 23:129-135.
- Kullenberg, G. 1972. Apparent horizontal diffusion in stratified vertical shear flow. Tellus 24:17-28.
- Kullenberg, G. 1974. Effects of environmental factors, part 1, p. 1-9. En A.L.H. Gameson (de). Discharge of sewage from sea outfalls. Int. Symp. Pap. 33. Pergamon press, N.Y.
- Kullenberg, G. 1976. On vertical mixing and the energy transfer from the wind to water. Tellus 28:159-165.
- Kullenberg, G. 1978. Vertical processes and the vertical-horizontal coupling, p.43-71. En J.H. Steele (de). Spatial pattern in plankton communities. Plenum Press, N.Y.



- Lapointe M. y R. Peterman. 1991. Spurious correlations between fish recruitment and environmental factors due to errors in the natural mortality rate used in virtual population analysis. ICES. J. mar. sci. 48: 219-228.
- Lasker, R. 1975. Field criteria for survival of anchovy larvae: the relation between inshore chlorophyll maximum layers and successful first feeding. Fish. Bull. 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. Rapp. P.-V.Reun.Cons.Int.Explor.Mer 178:375-388.
- Lasker, R. 1985. What limits clupeoid production? Can. J. Fish. Aquat. Sci. 42: 31-38.
- Leming, T. D. y W. E. Stuntz 1984. Zones of coastal hypoxia revealed by satellite scanning have implications for strategic fishing. Nature 310: 136-138.
- Lillo, S., I. Giakoni, A. Paillaman, I. Payá, S. Mora, C. Cerda, J. Blanco y H. Arancibia. 1994. Evaluación directa del stock de merluza común en la zona centro sur. Pre-informe final.
- Macpherson, E.; M. Masó; M. Barange y A. Gordo 1991. Relationship between measurements of hake biomass and sea surface temperature off Southern Namibia. S. Afr. J. mar. Sci. 10: 213-217.
- McFarlane, G. A.; D. M. Ware; R. E. Thomson; D. L. Mackas y C. L. Robinson. 1997. Physical, biological and fisheries oceanography of a large ecosystem (west coast of Vancouver Island) and implications for management. Oceanologica Acta 20: 191-200.



- Manly, B. 1991. Randomization and Monte Carlo Methods in Biology. Chapman and Hall, London.
- Mendelssohn, R. y P. Cury. 1987. Fluctuations of a fortnightly abundance index of the Ivorian coastal pelagic species and associated environmental conditions. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 44: 408-421.
- Mendelssohn, R. y J. Mendo. 1987. Exploratory analysis of anchoveta recruitment off Peru and related environmental series. En: D. Pauly y I. Tsukayama (eds.). The Peruvian anchoveta and its upwelling ecosystem: three decades of change. 294-306.
- Mendo, J., L. Pizarro y S. Castillo. 1987. Monthly turbulence and Ekman transport indexes, 1953 to 1985, based on local wind records from Trujillo and Callao, Perú. En: Pauly, D. & I. Tsukayama (eds.) The Peruvian anchoveta and its upwelling ecosystem: three decades of change. ICLARM Studies and Reviews 15: 75-88. IMARPE, Perú.
- Mohn R. 1993. Fortran version of ADAPT using sample data from NAFO special session workbook. Anexo 3. En Mohn R. y R. Cook. 1993. Workbook, introduction to sequential population analysis. Scientific Council Studies N°17, NAFO.
- Montgomery, D. C. y G. Weatherby. 1980. Modelling and Forecasting Time Series Transfer Function and Intervention Methods. AIIE Transactions 12(4): 289-307.



- Montecinos, A. & F. Balbontín. 1993. Indices de surgencia y circulación superficial del mar: implicancias biológicas en un área de desove de peces de la zona central de Chile. *Rev. Biol. Mar.*, Valparaíso 28: 133-150.
- Mysak, L. A. 1986. El Niño, interannual variability and fisheries in the Northeast Pacific Ocean. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 43: 464-497.
- Namias, J. y D. R. Cayan. 1981. Large-Scale Air-Sea Interactions and Short-Period Climatic Fluctuations. *Science* 214: 869-876.
- Neter, J., W. Wasserman y M. Kuther. 1985. *Applied Linear Statistical Models. Regresion, Analysis of variance and Experimental Designs.* Richard D. Irwin Homewood, Illinois. 1127 p.
- Nilssen E.M., T. Pedersen, C.C.E. Hopkins, K. Thyholt y J.G. Pope. 1994. Recruitment variability and growth of Northeast Arctic cod: influence of physical environment, demography, and predator-prey energetics. *ICES mar. Sci. Symp.*, 198: 449-470.
- Olivieri, C. y H. Christiansen. 1987. Consideraciones preliminares sobre la frecuencia reproductiva de la merluza común (**Merluccius hubbsi**). *Publ. Com. Téc. Mix. Fr. Mar.* 3: 67-71.
- Papaconstantinou, C. and K. Stergiou. 1995. Biology and fisheries of eastern **Mediterranean hake** (*M. merluccius*). En: *Hake. Fisheries, ecology and markets.* Alheit, J. and T. Pitcher (eds). Chapman and Hall, Fish and Fisheries Series 15: 149-180.



- Parrish, R.H. y A.D. MacCall. 1978. Climatic variation and exploitation in the Pacific mackerel fishery. Calif. Dept. Fish Game, Fish. Bull. 167, 109 p.
- Parrish, R. H., Bakun, A., Husby, D. M. y C. S. Nelson. 1983. Comparative climatology of selected environmental processes in relation to eastern boundary current pelagic fish reproduction. In: Sharp, G. D. and Csirke, J. (eds.) Proceeding of the Expert Consultation to Examine Changes in Abundance and Species composition of Neritic Fish Resources, San José, Costa Rica, April 1983. FAO Fish. Rep. 291 (3), 731-777.
- Pauly, D. 1980. On the relationships between natural mortality, growth parameters and mean environmental temperature in 175 fish stocks. J. Cons.CIEM.39(2):175-192.
- Pavéz P. 1977. Análisis de situación actual y algunas alternativas de manejo de la pesquería de merluza común (**Merluccius gayi** Guichenot, 1948) en Chile. Informe Interno. Universidad Católica de Valparaíso. Escuela de >Pesquerías y Alimentos. 28 p.
- Payá I. 1992. Captura total permisible del recurso merluza común. Informe Técnico IFOP-SUBPESCA (Circulación restringida).
- Payá I. 1996. Investigación CTP merluza común - 1995. Informe Técnico IFOP - SUBPESCA (circulación restringida).
- Payá, I., J. Sateler, J. Donoso & S. Mora. 1993. Diagnóstico de las principales pesquerías nacionales 1992. Pesquerías demersales (peces). Zona centro sur. Estado de situación y perspectivas del recurso. IFOP-CORFO SGI-IFOP



93/2, 41 p.

- Payá I. y M. Aguayo. 1993. Investigación cálculo captura total permisible merluza común 1993. Informe Técnico IFOP - SUBPESCA (circulación restringida).
- Payá, I., S. Mora, J. Sateler, J. Donoso, J. Arias, J. Olivares, G. Walter, L. Cid y V. Ojeda. 1994. Diagnóstico de las principales pesquerías nacionales 1993. Pesquerías demersales (peces). Zona centro sur. Estado de situación y perspectivas del recurso. IFOP-CORFO, 65 p. 1992.
- Payá I., S. Lillo, A. Paillaman, S.Mora, E. Figuerora y M. Morel. 1995. Evaluación hidroacústica de merluza común. En preparación.
- Payá I. A. Zuleta y M. Aguayo. 1996a. Investigación CTP merluza común - 1996. Informe Técnico IFOP - SUBPESCA (circulación restringida).
- Payá I., J. Ortega, R. Saldías, H. Arancibia, A. Hernández y L. Cubillos. 1996b. Análisis de la captura y del esfuerzo de pesca en la pesquería demersal de merluza común en la zona centro-sur. Informa final IFOP-FIP.
- Payá I. A. Zuleta y M. Aguayo. 1996c. Investigación CTP merluza común - 1997. Informe Técnico IFOP - SUBPESCA (circulación restringida).
- Peterman, R. M. y M. J. Bradford. 1987. Wind speed and mortality rate of a marine fish, the northern anchovy (**Engraulis mordax**). Science 235, 354-356.
- Philander, S. G. H. 1983. Anomalous El Niño of 1982-83. Nature 305: 16.



- Philander, S. G. H. y N. C. Lau. 1985. Predictability of El Niño. Trop. Ocean-Atmosphere Newsletter 31: 13-15.
- Pitcher, T. and J. Alheit. 1995. What makes a hake? A review of the critical biological features that sustain global hake fisheries. En: Hake. Fisheries, ecology and markets. Alheit, J. and T. Pitcher (eds). Chapman and Hall, Fish and Fisheries Series 15: 1-14.
- Pizarro, O., S. Hormazábal, A. Gonzáles y E. Yañez. 1994. Variabilidad del viento, nivel del mar y temperatura en la costa del norte de Chile. Investigaciones Marinas 22: 85-101.
- Payne, A.L. 1991. A remarkably robust resource. Hake south Africa's biggest catch. S. Afr. Comml. Fisherman 3 (3): 12-14.
- Pedersen, T. 1984 y M. Jobling. 1989. Growth rates of large, sexually mature cod, **Gadus morhua**, in relation to condition and temperature during an annual cycle. Aquaculture. 81:161-168.
- Piennar, L. V. and W. E. Ricker. 1968. Estimating mean weight from length statistics. J. Fish. Res. Board Com. 25:2743-2747.
- Pond, S y G.L. Pickard. 1978. Introductory dynamic oceanography. Pergamon Press, 241 p.
- Poulsen, E. 1952. Informe al Gobierno de Chile sobre investigaciones biológicas acerca de los peces alimenticios de Chile, con referencia especial a la merluza. Informe FAO/ETAP 45: 1-78 + 16 figs. y 9 fotografías.



- Prager, M.H. y A.D. MacCall. 1993. Detection of contaminant and climate effects on spawning success of three pelagic fish stocks off southern California: northern anchovy **Engraulis mordax**, Pacific sardine **Sardinops sagax**, and chub mackerel *Scomber japonicus*. Fish. Bull. U.S. 91:310-327.
- Quinn, W. H., D. O. Zopf, K. S. Short, y R. T. W. Kuo Yang. 1978. Historical trend and statistics of the Southern Oscillation, El Niño, and Indonesian Droughts. Fish. Bull. 76(3): 663-678.
- Quinn, W. H. y D. O. Zopf. 1984. The unusual intensity of the 1982-83 ENSO event. Trop. Ocean-Atmosphere Newsletter 26: 17-19.
- Rasmusson, E. M. y T. H. Carpenter. 1982. Variations in Tropical Sea Surface Temperature and Surface Wind Fields Associated with the Southern Oscillation / El Niño. Monthly Weather Review 110: 354-384.
- Rennick, M. A. y R. L. Haney. 1985. Stability of Some Simple Coupled Models. Trop. Ocean-Atmosphere Newsletter 29: 18-19.
- Rosales, S. y F. Balbontín. Variaciones de las series de tiempo de temperatura superficial del mar, viento y nivel medio del mar, del período 1961 a 1991, en Los Vilos y Valparaíso, Chile. (manuscrito).
- Roy, C., P. Cury y S. Kifani. 1992. Pelagic fish recruitment success and reproductive strategy in upwelling areas: environmental compromises. En: A. I. L. Paine, K. H. Brink, K. H. Mann y R. Hilborn (eds.). Benguela Trophic Functioning S. Afr. J. mar. Sci. 12: 135-146.



- Rutland, J. C., P. Aceituno y A. Montecinos. 1992. Análisis comparativo de aspectos atmosféricos para los eventos de El Niño/Oscilación del Sur de 1982-83, 1986-87 y 1991-92. *Investigación Pesquera* 37: 45-54.
- Shannon, L. V., R. J. M. Crawford, G. B. Brundrit y L. G. Underhill. 1988. Response of fish populations in the Benguela ecosystem to environmental change. *J. Cons. perm. int. Explor. Mer* 45: 5-12.
- Shannon, L. V., R. J. M. Crawford, D. E. Pollock, L. Hutchings, A. J. Boyd, J. Tauton-Clark, A. Badenhorst, R. Melville-Smith, C. J. Augustyn, K. L. Cochrane, Y. Hampton, G. Nelson, D. W. Japp y R. J. Q. Tarr. 1992. The 1980s - A decade of change in the Benguela Ecosystem. *S. Afr. J. mar. Sci.* 12: 271-296.
- Schmitt, C.C. & B.E. Skud. 1978. Relation of fecundity to long term changes in growth, abundance and recruitment. *Int. Halibut Comm. Sci. Rep. N°66*. Seattle, Wash., 31 p.
- Schneider, D. C. y D. A. Methven. 1988. Response of capelin to wind-induced thermal events in the southern Labrador Current. *J. Mar. Res.* 46, 105-18.
- Sepúlveda, A. 1990. Variabilidad temporal del ictioplancton en el área de surgencia costera de Chile central: Procesos ambientales y biológicos asociados. Tesis de Magister en Oceanografía, Universidad de Concepción, 85 p.
- Sepúlveda, A., M. J. Poblete y L. Cid. 1987. Ajuste de un modelo de retroalimentación para la interacción ENSO. *Actas VII Jornadas de Ciencias del Mar*: 133.



- Shannon, L. V., R. J. M. Crawford, G. B. Brundrit y L. G. Underhill. 1988. Response of fish populations in the Benguela ecosystem to environmental change. *J. Cons. perm. int. Explor. Mer* 45: 5-12.
- Shannon, L. V., R. J. M. Crawford, D. E. Pollock, L. Hutchings, A. J. Boyd, J. Tauton - Clark, A. Badenhorst, R. Melville-Smith, C. J. Augustyn, K. L. Cochrane, Y. Hampton, G. Nelson, D. W. Japp y R. J. Q. Tarr. 1992. The 1980s - A decade of change in the Benguela Ecosystem. *S. Afr. J. mar. Sci.* 12: 271-296.
- Sharp, G. D. 1987. Climate and fisheries: cause and effect or managing the long and short of it all. In: Payne, A. I. L., Gulland, J. A. and Brink, K. H. (eds.) *The Benguela and Comparable Ecosystems*, *S. Afr. J. mar. Sci.* 5, 811-838.
- Shelton, P.A. y M.J. Armstrong. 1983. Variations in the parent stock and recruitment of pilchard and anchovy populations in the southern Benguela system. En: Sharp, G.D. & J. Csirke (eds.) *Proceedings of expert consultation to examine changes in abundance and species composition of neritic fish resources*. *FAO Fish. Rep. N° 291*: 1113-1132.
- Shepherd, J.G. 1983. Two measures of overall fishing mortality. *J. Cons. int. Explor. Mer*, 41: 76-80.
- Sissenwine, M. P. 1984. Why do fish populations vary? En: R. M. May (ed.). *Exploitation of marine communities, Dahlem Konferenzen*. Springer-Verlag, *Life Science Research Report* 32: 59-94.
- Sissenwine M.A. y J.G. Shepherd. 1987. an alternative perspective on recruitment overfishing and biological reference point. *Can.J.Fish.Aquat.Sci.* 44:913-918.



- Sinclair, M. & T.D. Iles. 1988. Population richness of marine fish species. *Aquatic Living Resources* 1: 71-83.
- Smith, P. E. 1981. Fisheries on pelagic schooling fish. In: Lasker, R. (ed.) *Marine fish larvae: morphology, ecology and relation to fisheries*, University of Washington Press, Seattle, WA., 2-31.
- Taggart, C. T. y W. C. Leggett. 1987. Wind-forced hydrodynamics and their interaction with larval fish and plankton abundance: A time-series analysis of physical-biological data. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 44, 438-451.
- Thompson, W. F. y F.H. Bell. 1934. Biological statistics of the Pacific halibut fishery.2. Effect of changes in intensity upon total yield and yield per unit of gear. *Rep. Int. Fish. (Pacific Halibut) Comm.* 8: 49 p.
- Therriault, J.C. y T. Platt. 1981. Environmental control of phytoplankton patchiness. *J.Fish.aquat.Sci.*42(Suppl. 1):174-180.
- Trenberth, K. E. 1984. Signal Versus Noise in the Southern Oscillation. *Monthly Weather Review* 112: 326-332.
- Troadec, J.P., W.G. Clark y J.A. Gulland. 1980. A review of some pelagic fish stocks in other areas. *Rapp.P.-v. Réun. Cons.Int. Explor. Mer*, 177:252-277
- Vallis, G. K. 1986. El Niño: A Chaotic Dynamical System? *Science* 232: 243-245.
- Walters, C. J. y J. S. Collie. 1988. Is research on environmental factors useful to fisheries management? *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 45: 1848-1854.



- Ware, D. M., G. A. Mc Farlane. 1995. Climate induced changes in hake abundance and pelagic community interactions in the Vancouver Island Upwelling System. En: R. J. Beamish ed. Climate changes and northern fish populations. Canadian Special Publication of Fisheries and Aquatic Sciences 121: 509-521.
- Welch, D.W. 1986. Identifying the stock-recruitment relationship for age-structured populations using time-invariant matched linear filters. Can. J. Fish. Aq. Sci. 43: 108-123.
- Welch, D. 1987. Frequency domain filtering of age-structured population data. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 44:605-618
- Welch, D Y Foucher. 1988. A maximum likelihood methodology for estimating length-at-maturity with application to pacific cod (**Gadus macrocephalus**) populations dynamics. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 45:333-343.
- Wilkinson L. 1988. SYSTAT: The System for Statistics. Evanson. II
- Wirtky, K. 1975. El Niño dynamic response of the equatorial Pacific Ocean to atmospheric forcing. J. Phys. Oceanogr. 5: 572-584.
- Vallis, G. K. 1986. El Niño: A Chaotic Dynamical System? Science 232: 243-245.
- Yáñez, E., M. A. Barbieri y L. Santillán. 1992. Long-term environmental variability and pelagic fisheries in Talcahuano, Chile. En: A. I. L. Payne, K. H. Mann y R. Hilborn (eds.) Benguela Trophic Functioning. S. Afr. J. mar. Sci. 12: 175-188.



Zuleta, A., F. Balbontín, S. Rosales & M. Aguayo. Factores dependientes e independientes de la densidad del stock que influyen en el reclutamiento de la merluza común **Merluccius gayi gayi** de la costa de Chile. Rev. Chil. Hist. Nat. (en revisión por el Comité Editor).

Zuta, S. y W. Urquiza. 1974. Informe de los cruceros 7211 y 7212 del bap unanue. Ser. Informes Espec. No. IM-60, Instituto del Mar del Perú.



INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO

FIGURAS

FIG. 1 POBLACIONES SIMULADAS Y ESTIMADAS POR ADASIM

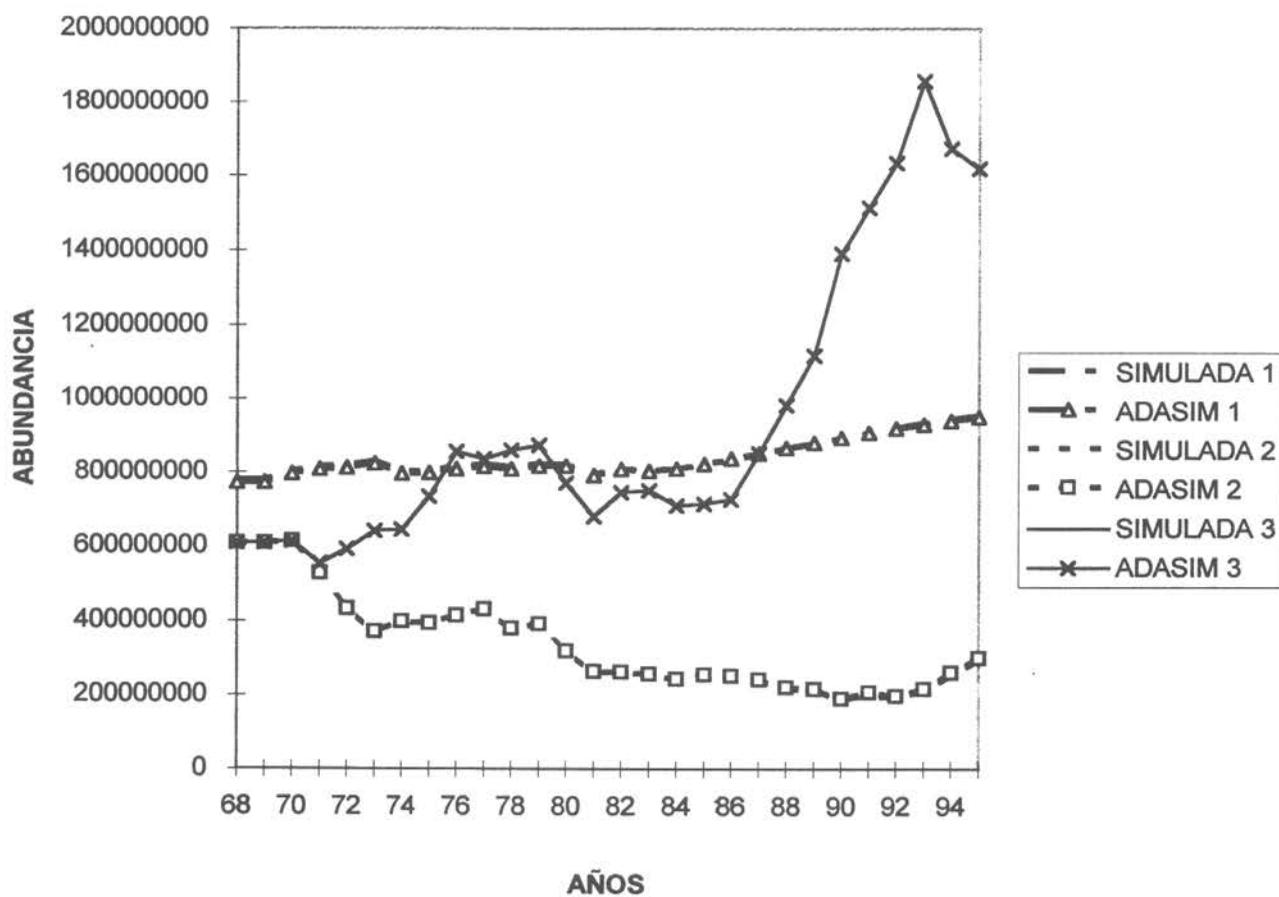


FIG. 2. BIOMASA DE LA FRACCION 3+

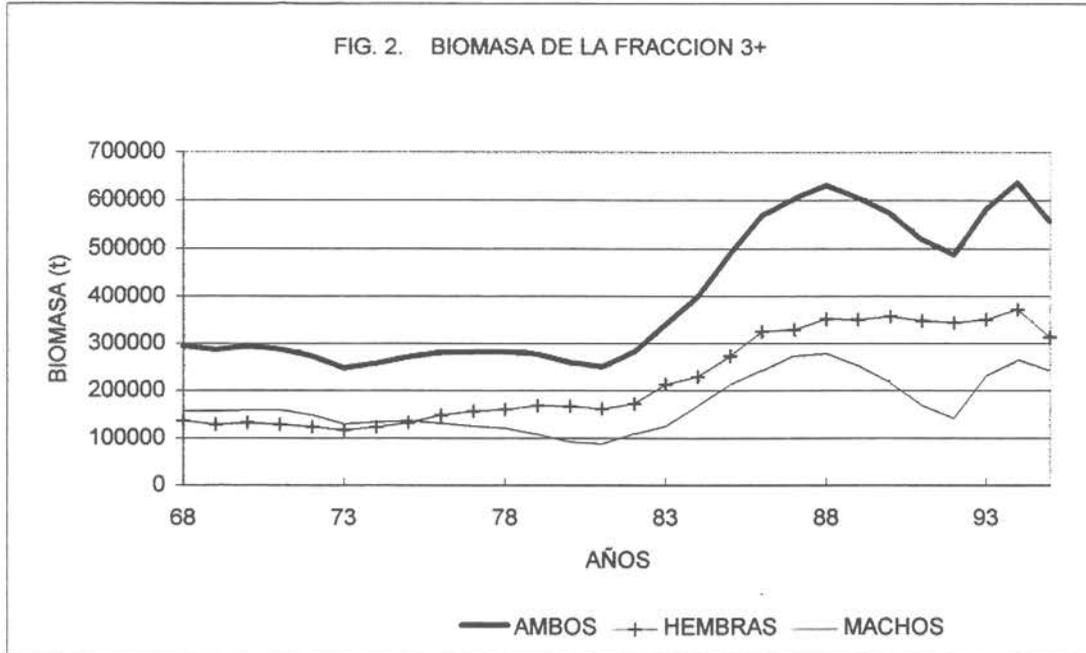


FIG. 3. BIOMASA DE LA FRACCION 5+

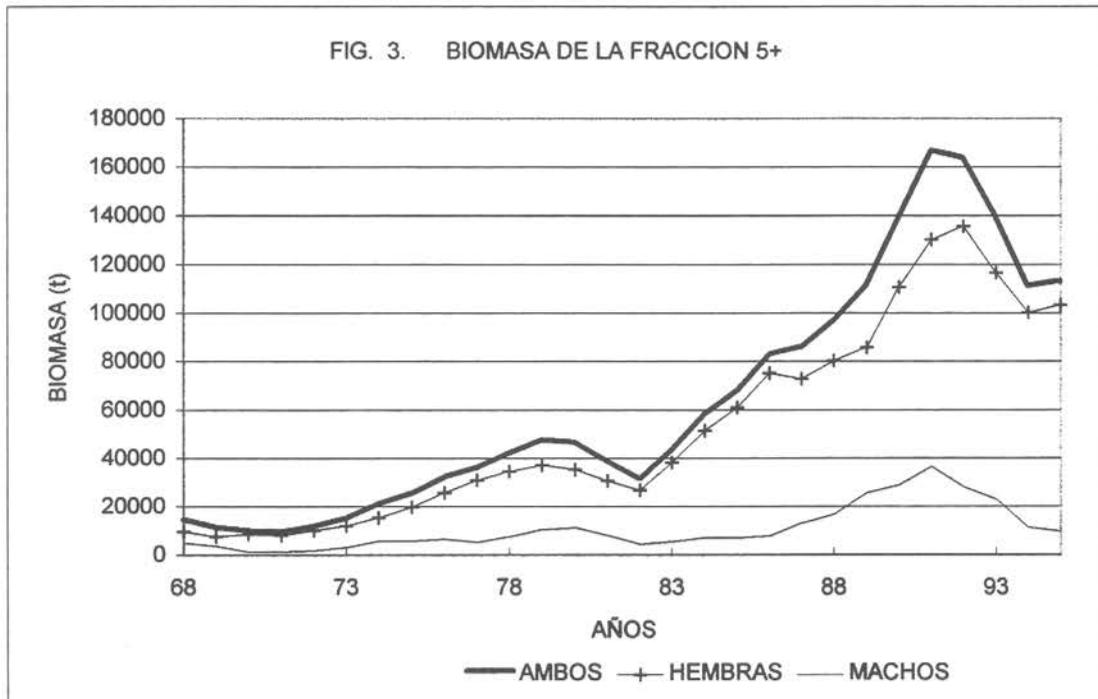


FIG. 4. NUMERO DE INDIVIDUOS DE LA FRACCION 3+

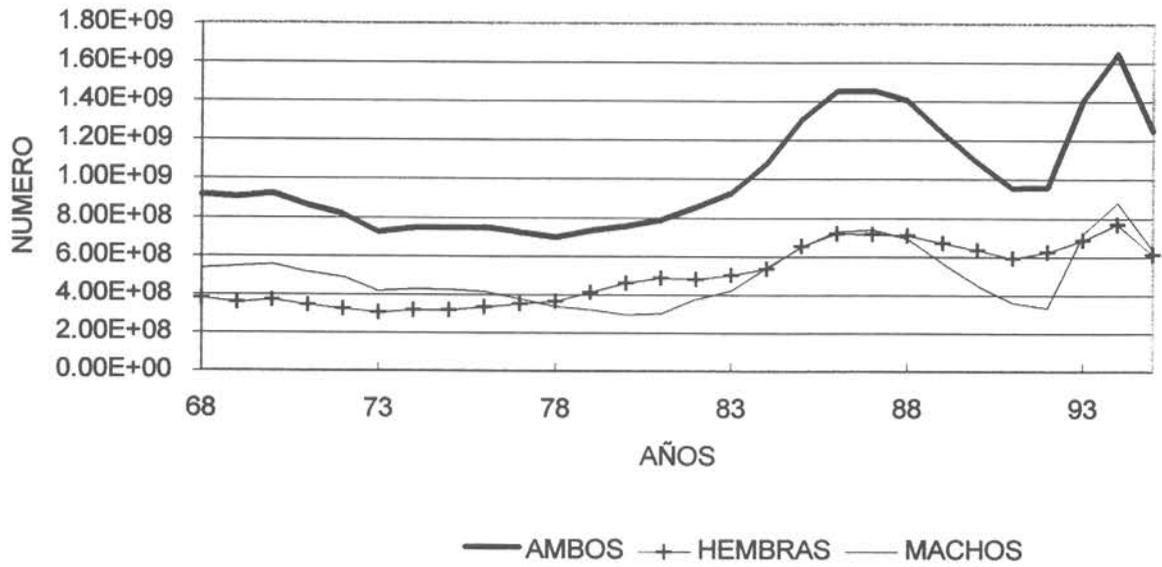


FIG. 5. NUMERO DE INDIVIDUOS DE LA FRACCION 5+

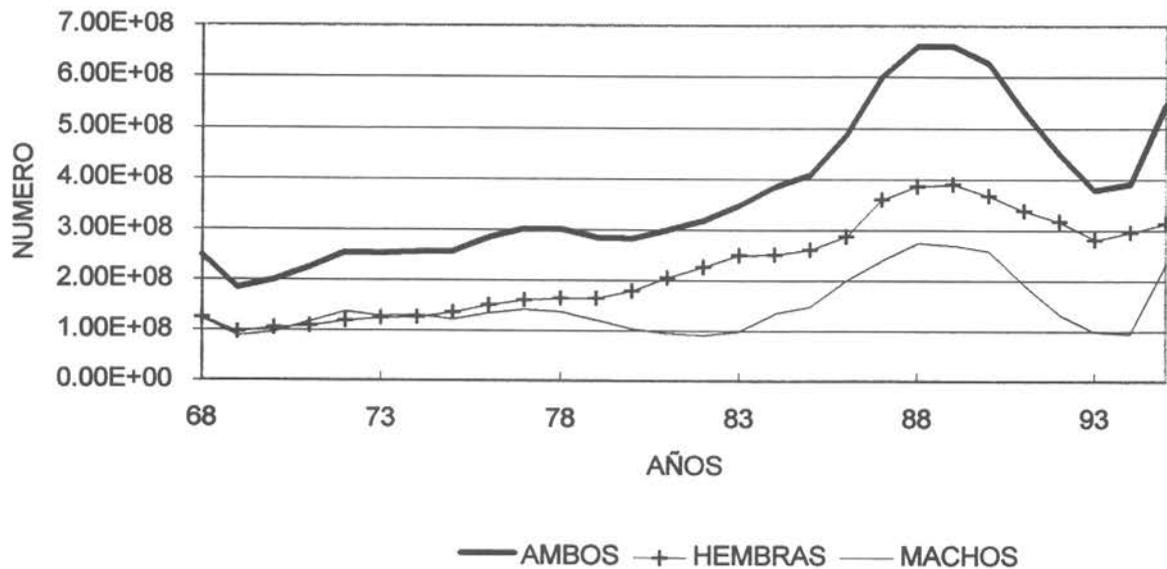


FIG.6 MORTALIDADES POR PESCA GLOBALES DE HEMBRAS

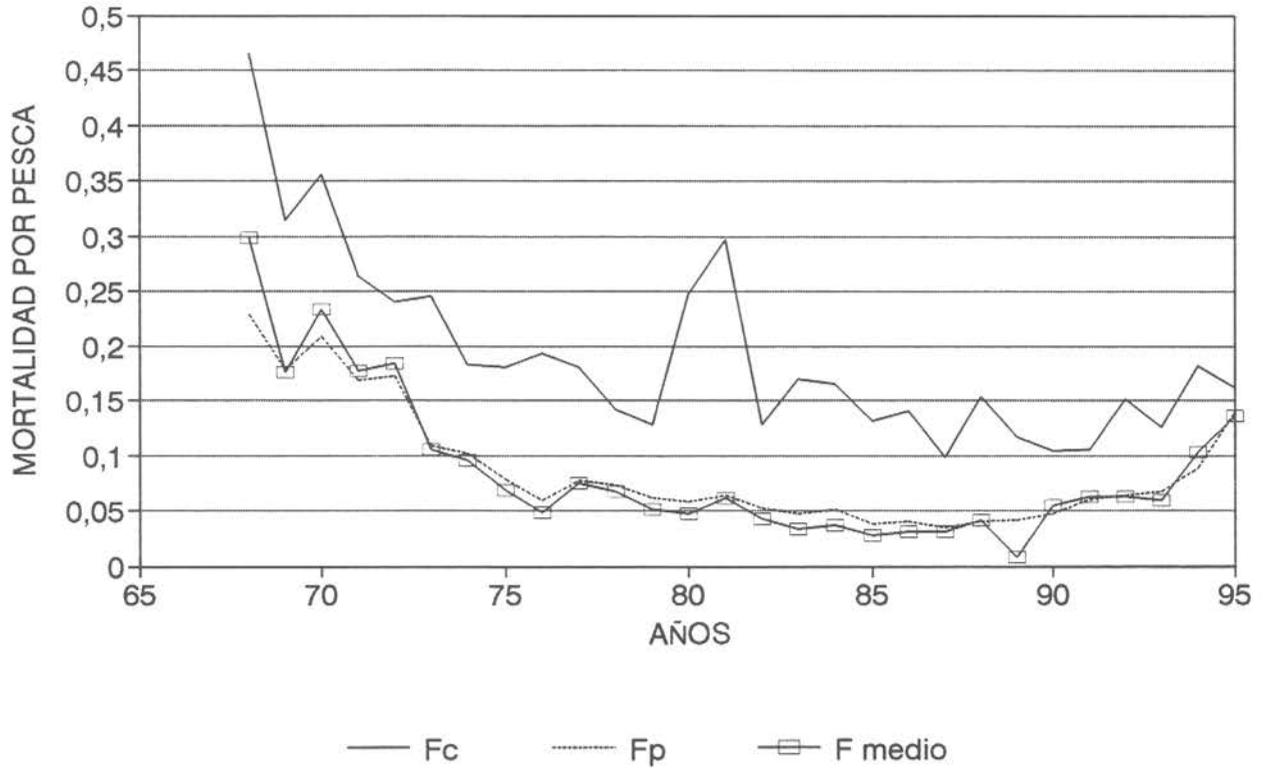


FIG.7. MORTALIDADES POR PESCA GLOBALES DE MACHOS

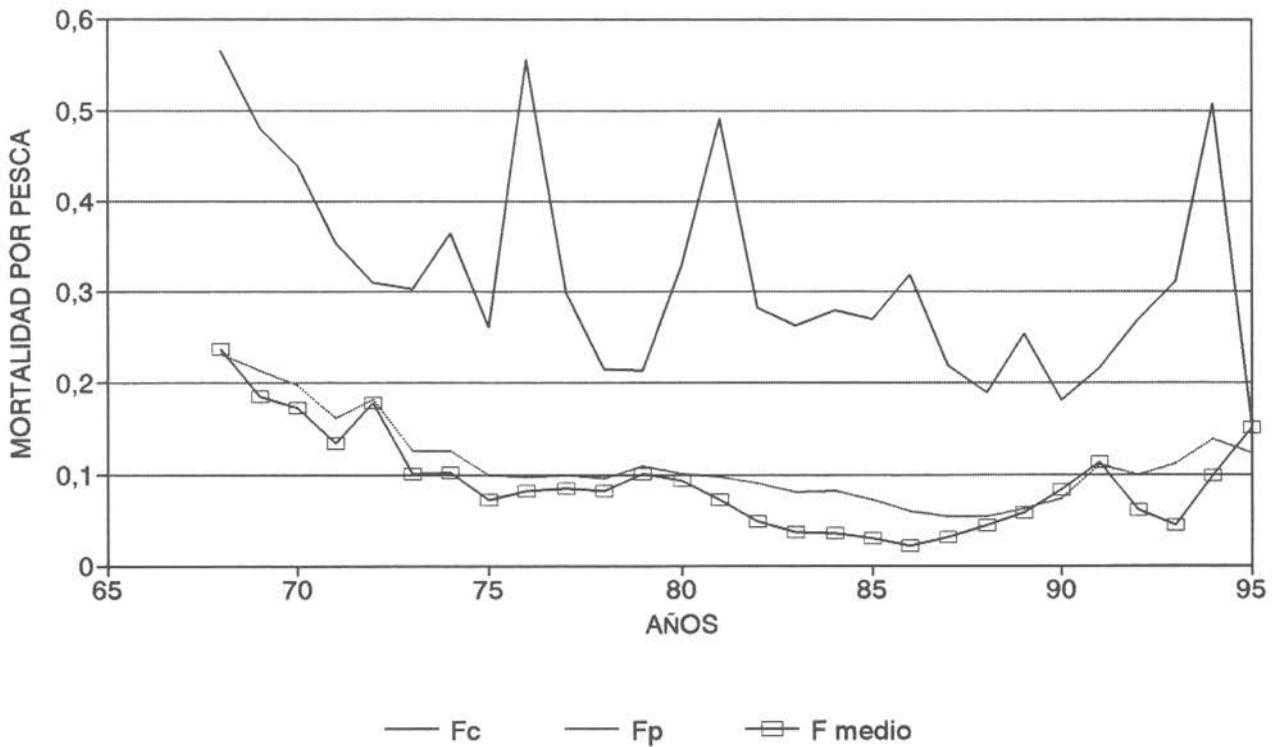


FIG.8 NUMERO DE RECLUTAS DE 3 AÑOS

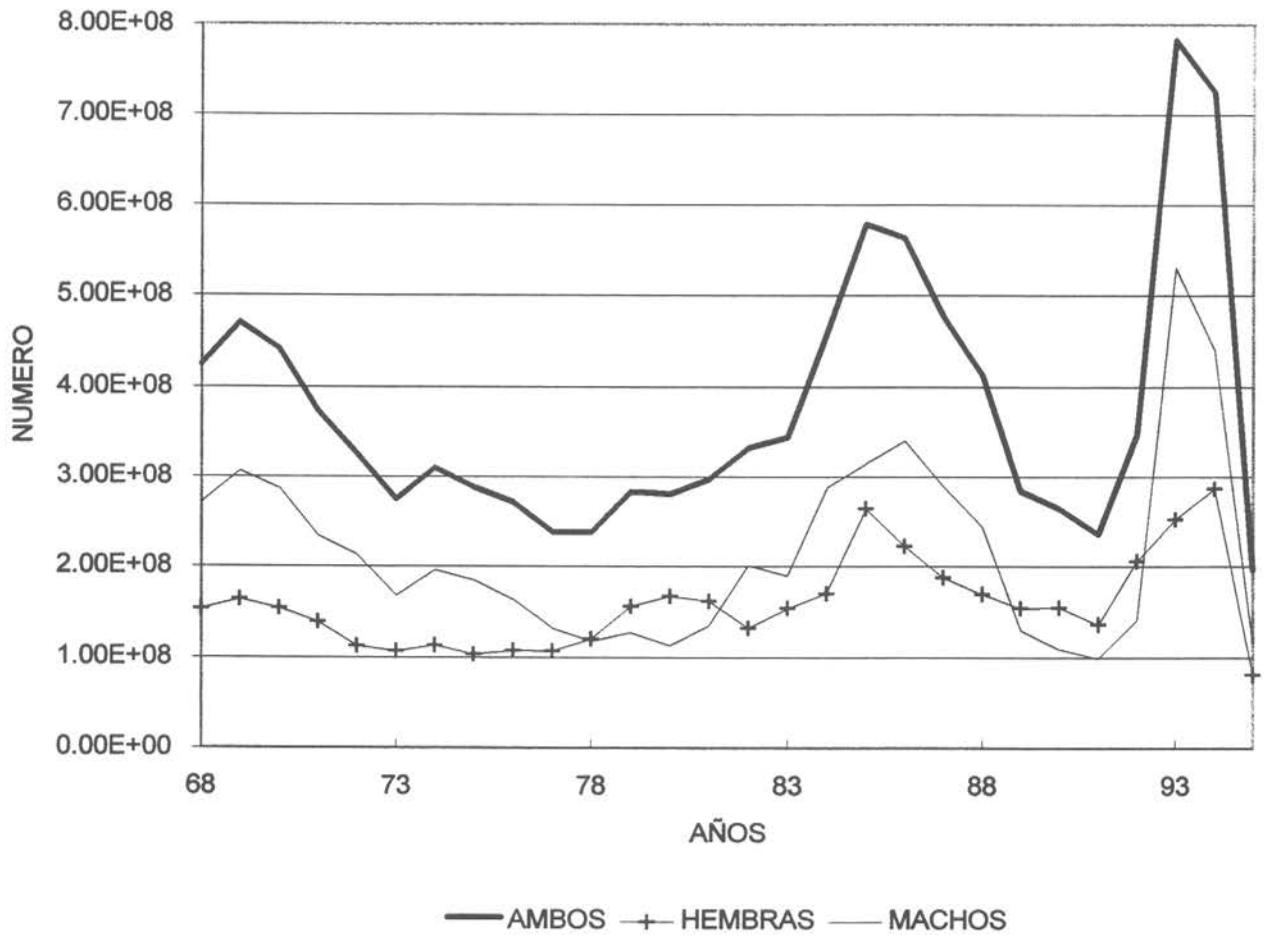


FIG. 9 PRODUCCION DE HUEVOS



FIG. 10 FERTILIDAD A LA EDAD

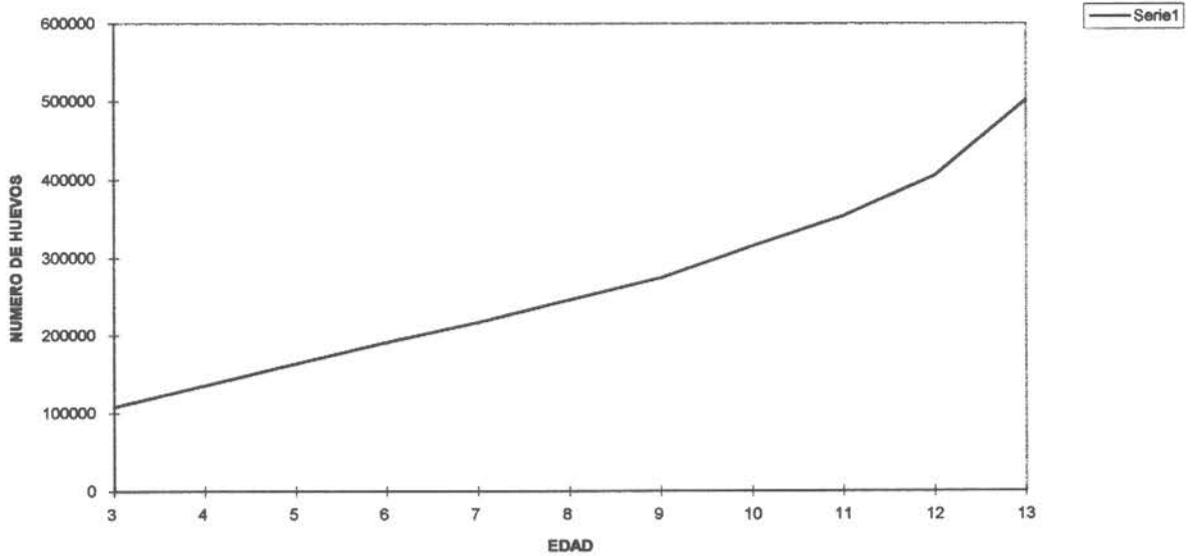


FIG. 11 EVOLUCION DEL DESEMBARQUE HISTORICO DE MERLUZA COMUN ENTRE 1940 Y 1995. FUENTES: SERVICIO AGRICOLA Y GANADERO (1940-1977) Y SERVICIO NACIONAL DE PESCA (1978-1995).

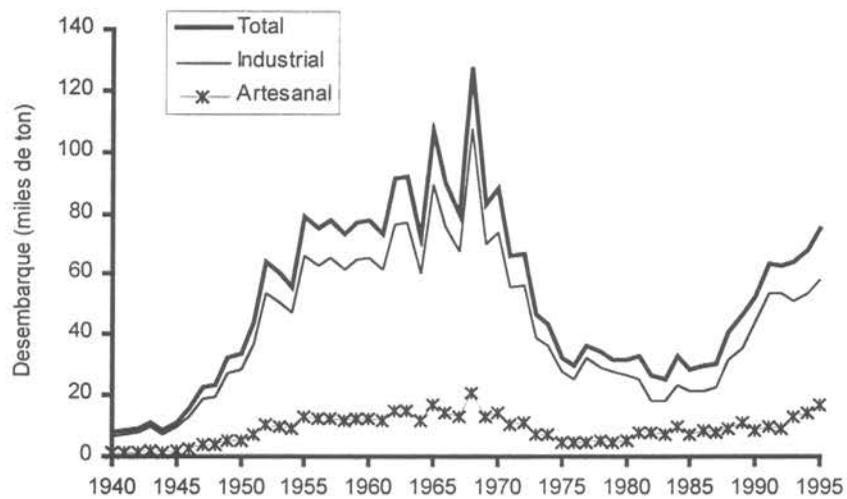


FIG. 12 EVOLUCION HISTORICA DE LA CAPTURA (TON), ESFUERZO (U.O.E.)Y CPUE (TON/H) DE MERLUZA COMUN (PERIODO 1960-1981 ; MODIFICADO DE AGUAYO Y YOUNG, 1982)

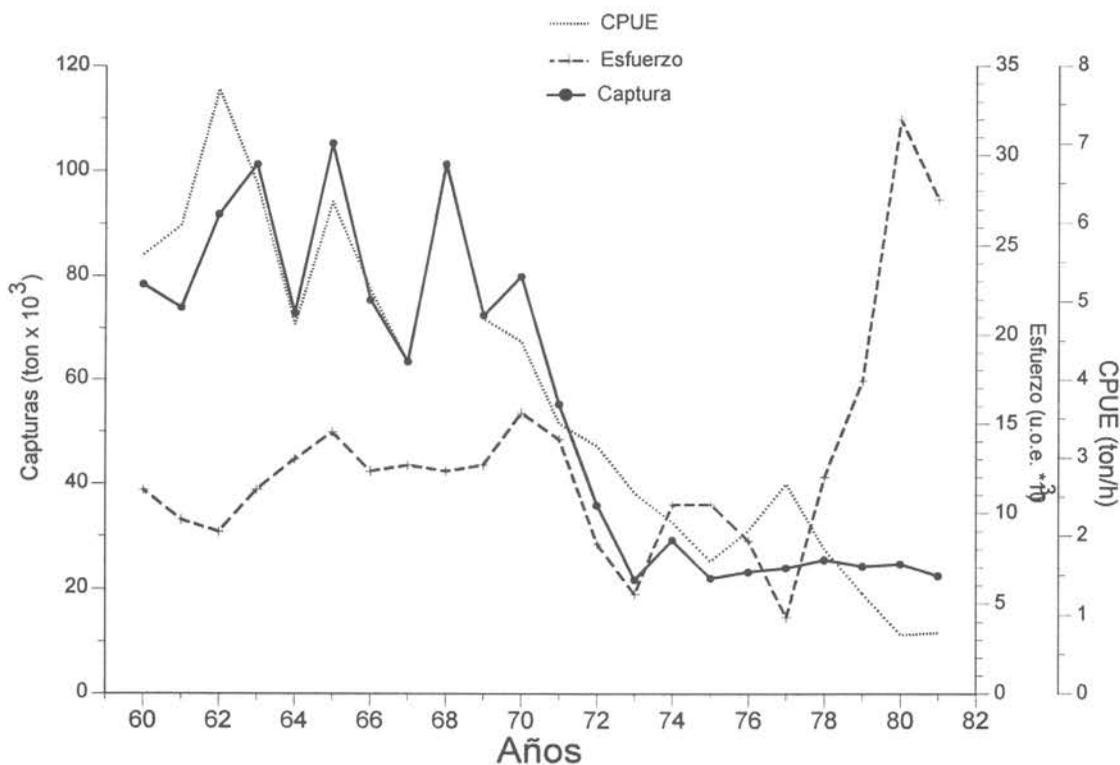


FIG. 13 A) NUMERO DE EMBARCACIONES Y B) TONELADAS DE REGISTRO BRUTO DE LAS EMBARCACIONES QUE OPERARON DESDE LOS PUERTOS DE SAN ANTONIO Y TALCAHUANO EN LA PESQUERIA DE MERLUZA COMUN (1960-1981 ; MODIFICADO DE AGUAYO Y YOUNG, 1982)

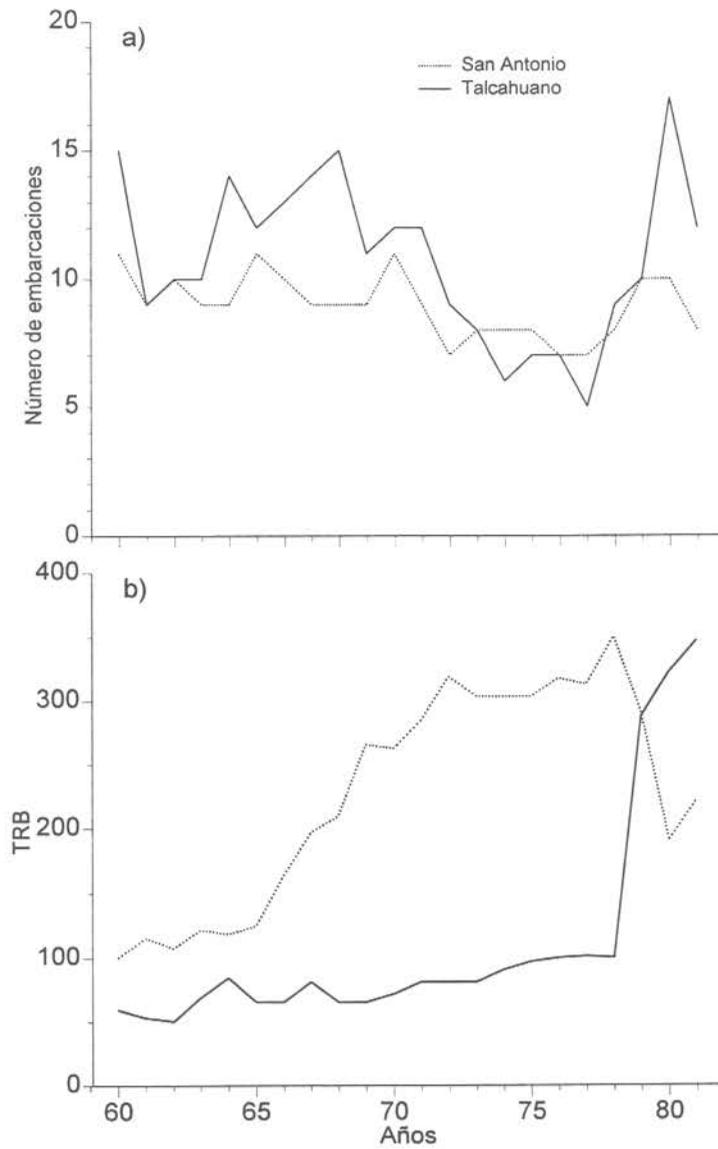


FIG. 14 DISTRIBUCION LATITUDINAL DE LA CAPTURA ANUAL (EN PORCENTAJE) POR ZONAS DE PESCA (INTERVALOS DE 1°) PARA EL PERIODO 1970-1981 (MODIFICADO DE AGUAYO Y YOUNG, 1982). A) CAPTURAS DESEMBARCADAS EN SAN ANTONIO B) CAPTURAS DESEMBARCADAS EN TALCAHUANO

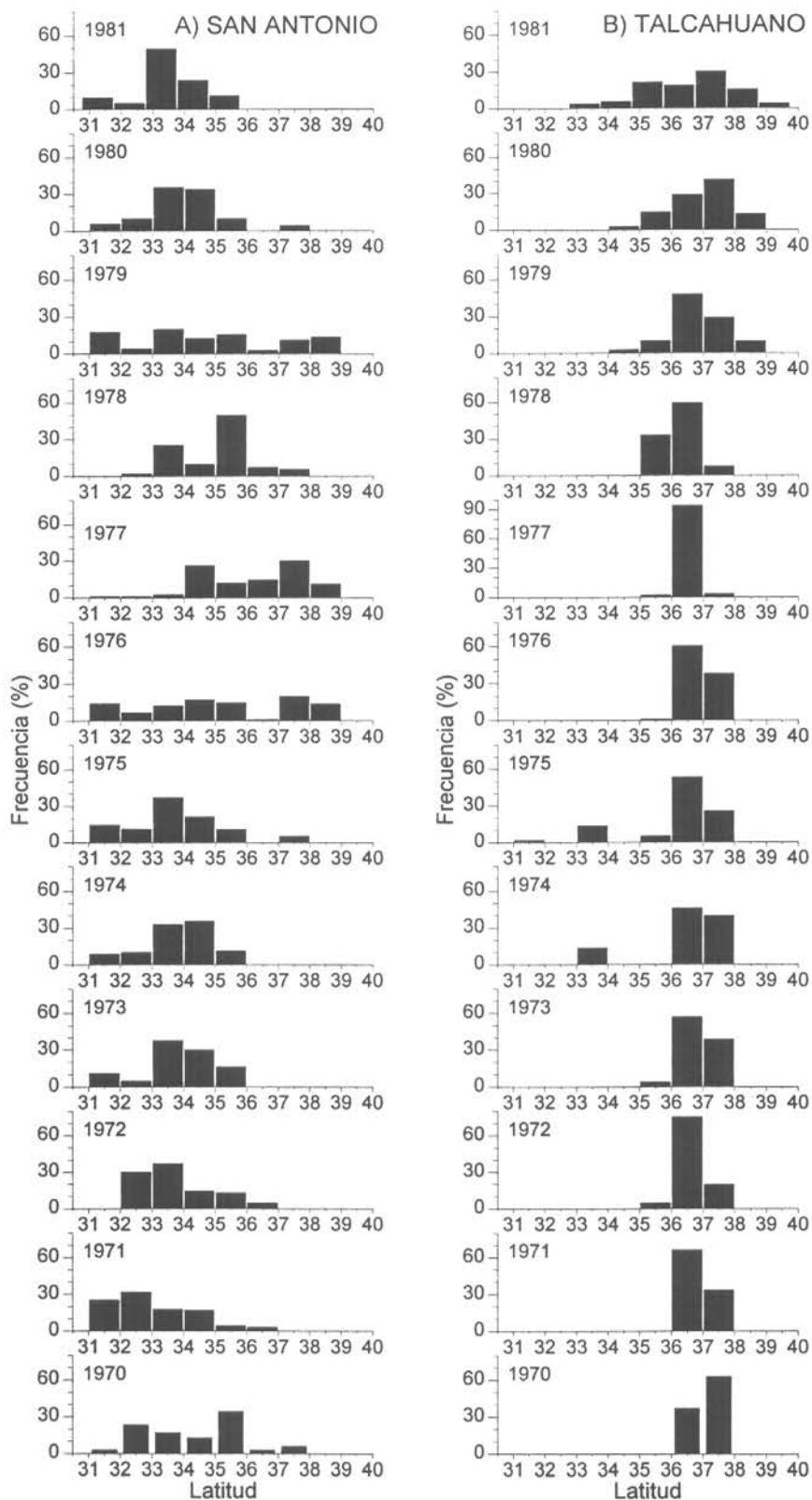


FIG. 15 VARIACION TEMPORAL DEL CENTRO DE GRAVEDAD GEOGRAFICO DE ACUERDO AL PORCENTAJE DE CAPTURAS REGISTRADO ANUALMENTE ENTRE 1970-1981.

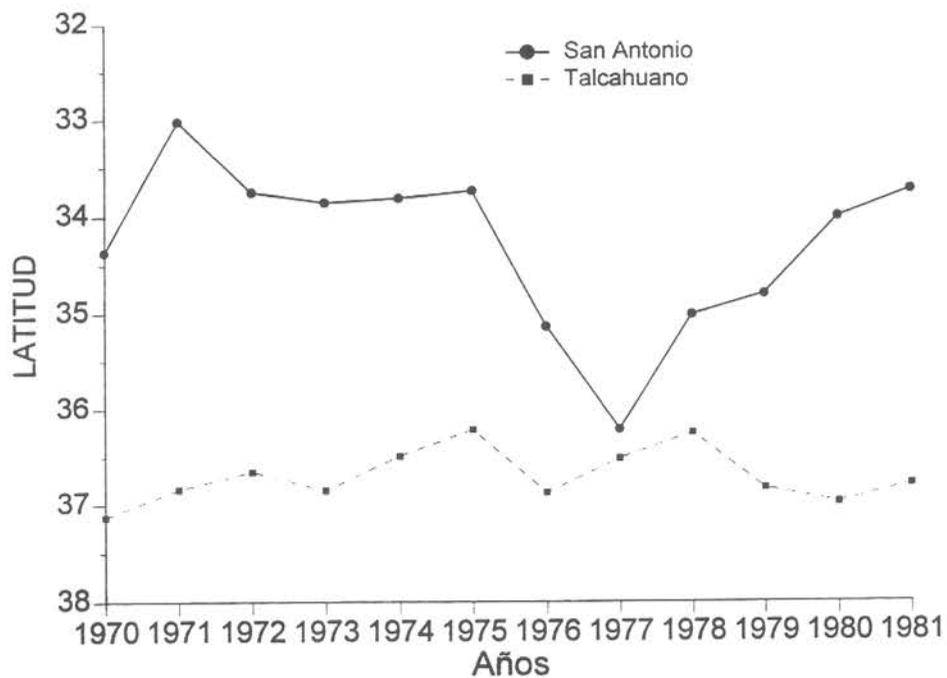


FIG. 16 DISTRIBUCION ESPACIAL DE LAS CAPTURAS (TON), ESFUERZO Y CPUE (TON/H) EN 1982

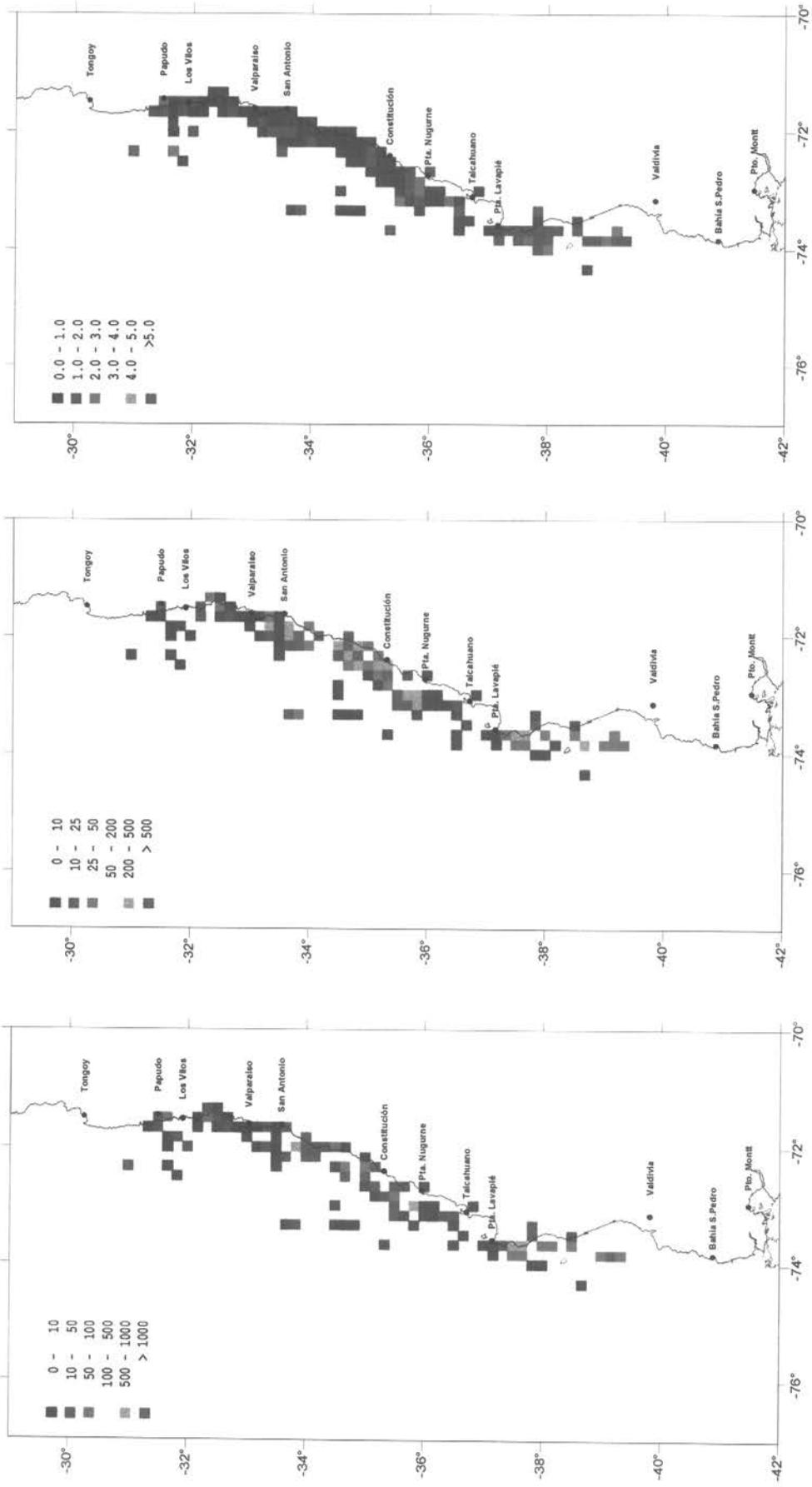


FIG. 17 DISTRIBUCION ESPACIAL DE LAS CAPTURAS (TON), ESFUERZO Y CPUE (TON/H) EN 1983

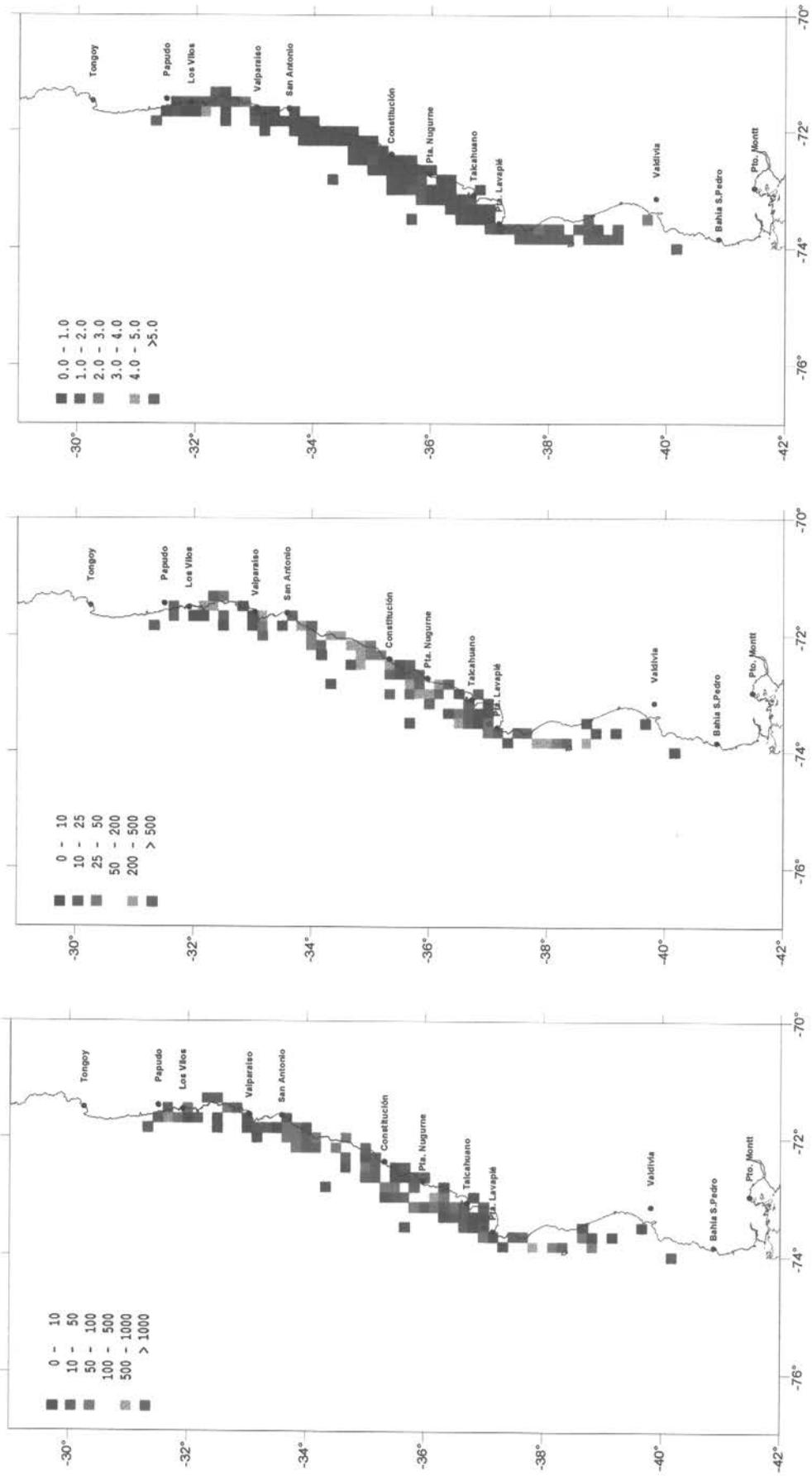


FIG. 18 DISTRIBUCION ESPACIAL DE LAS CAPTURAS (TON), ESFUERZO Y CPUE (TON/H) EN 1984

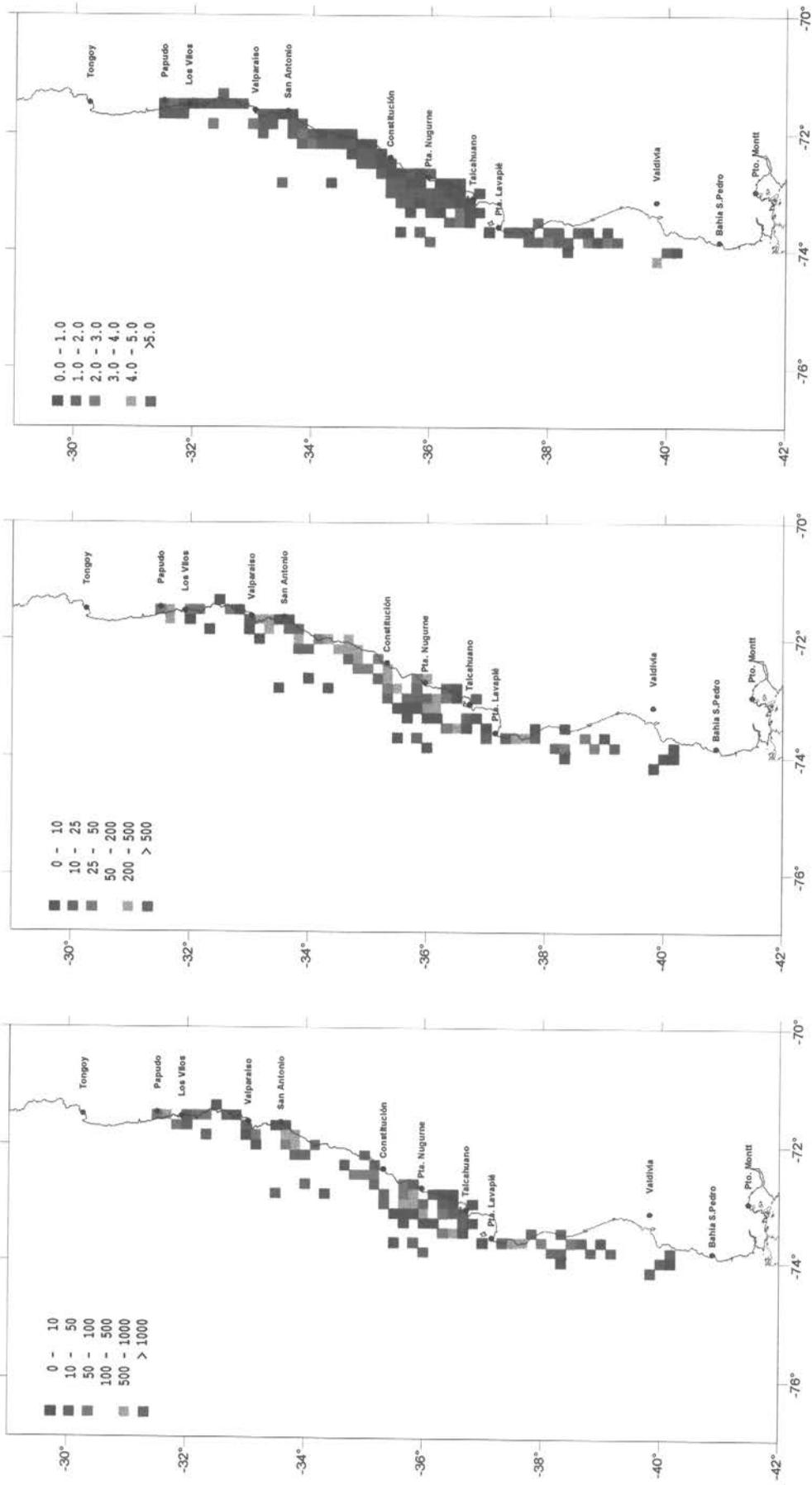


FIG. 19 DISTRIBUCION ESPACIAL DE LAS CAPTURAS (TON), ESFUERZO (H) Y CPUE (TON/H) EN 1985

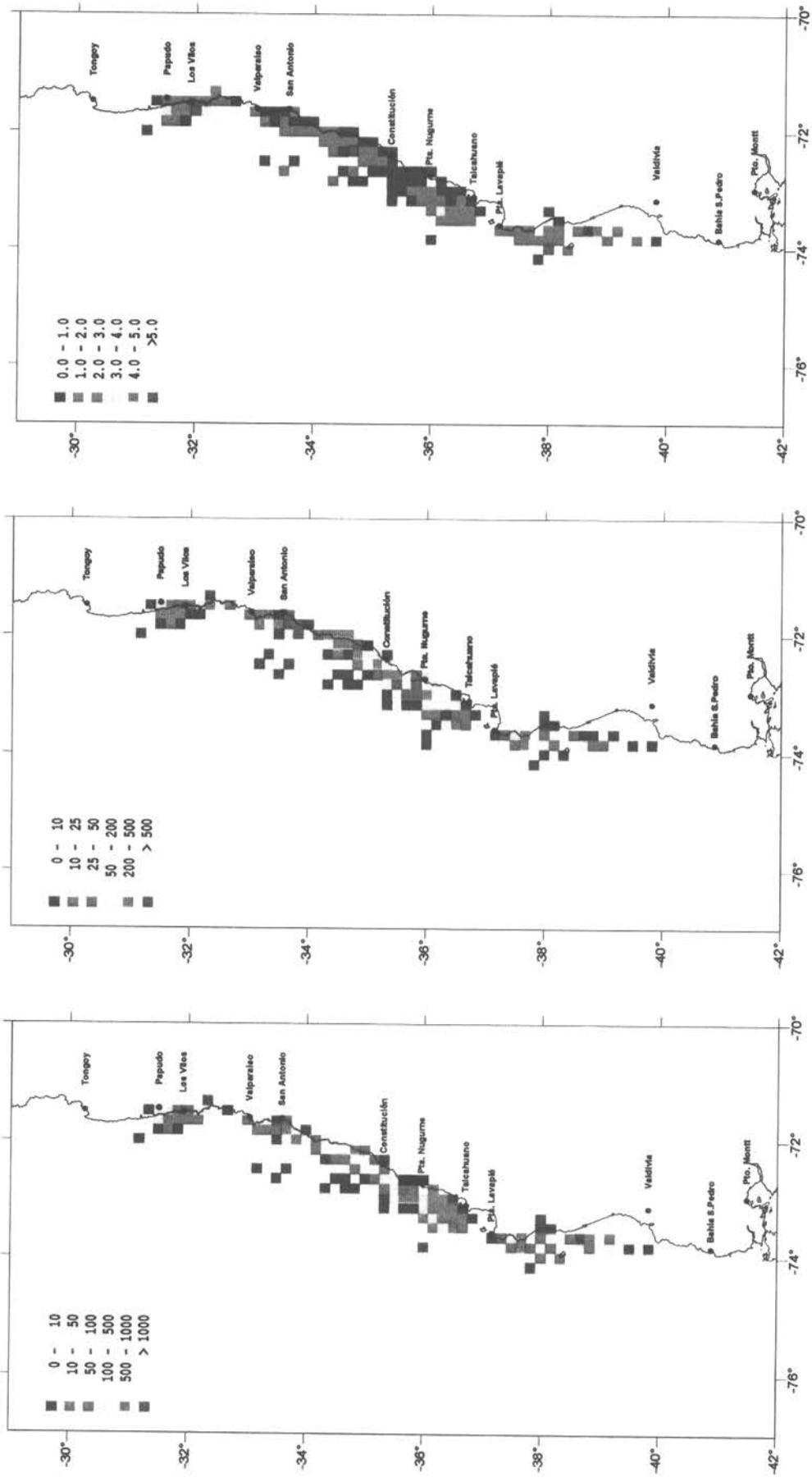


FIG. 20 DISTRIBUCION ESPACIAL DE LAS CAPTURAS (TON), ESFUERZO Y CPUE (TON/H) EN 1986

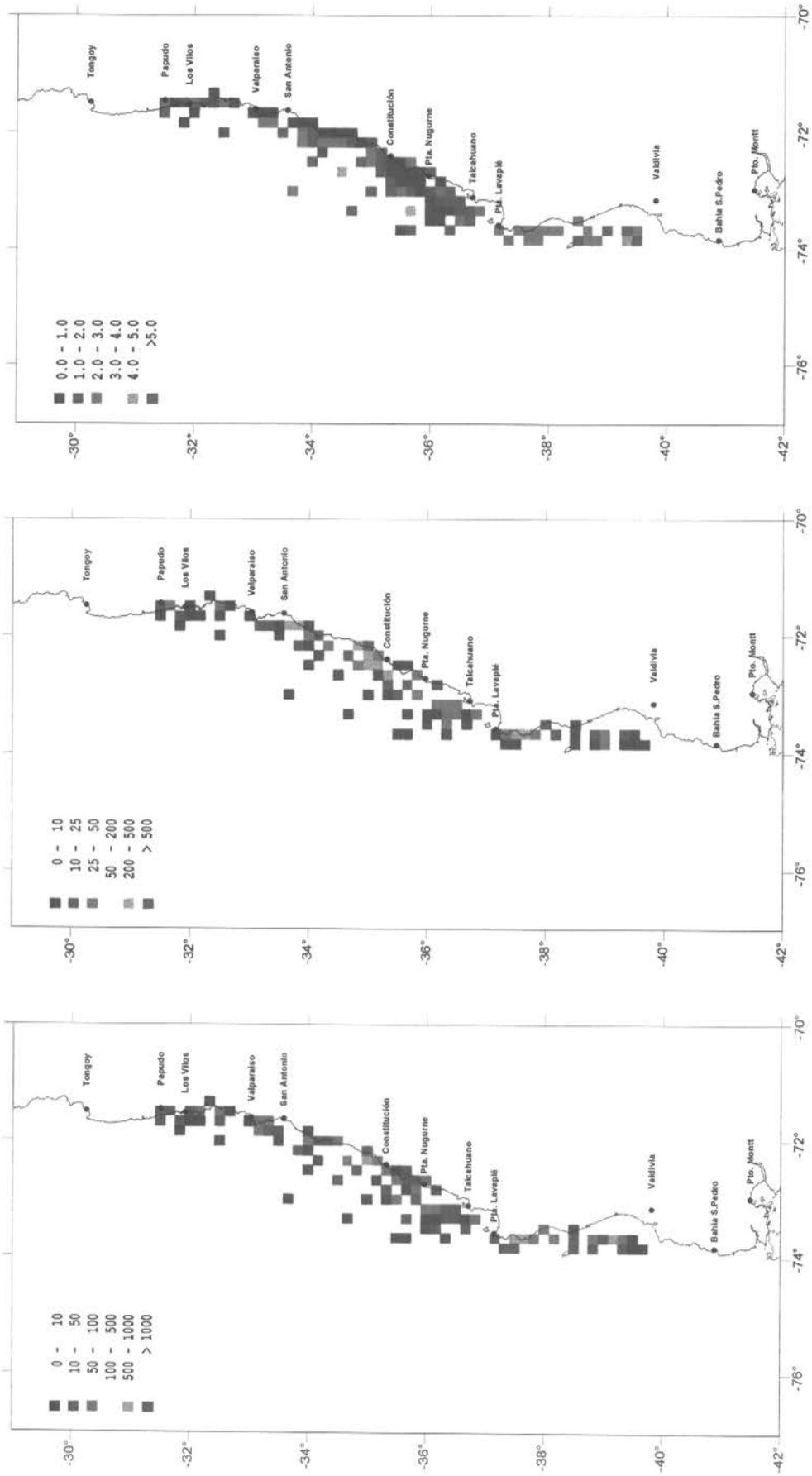


FIG. 21 DISTRIBUCION ESPACIAL DE LAS CAPTURAS (TON), ESFUERZO Y CPUE (TON/H) EN 1987

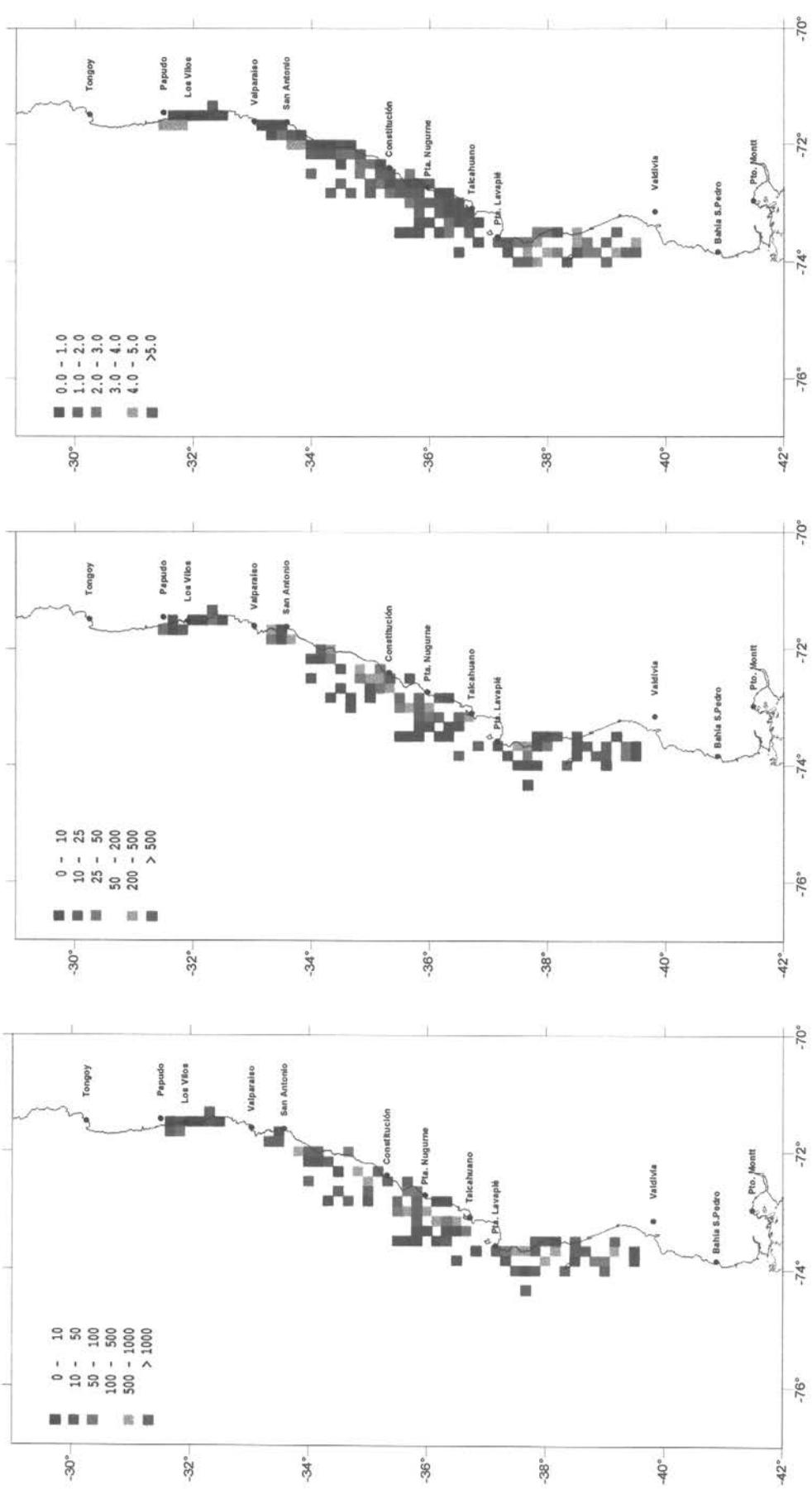


FIG. 22 DISTRIBUCION ESPACIAL DE LAS CAPTURAS (TON), ESFUERZO Y CPUE (TON/H) EN 1988

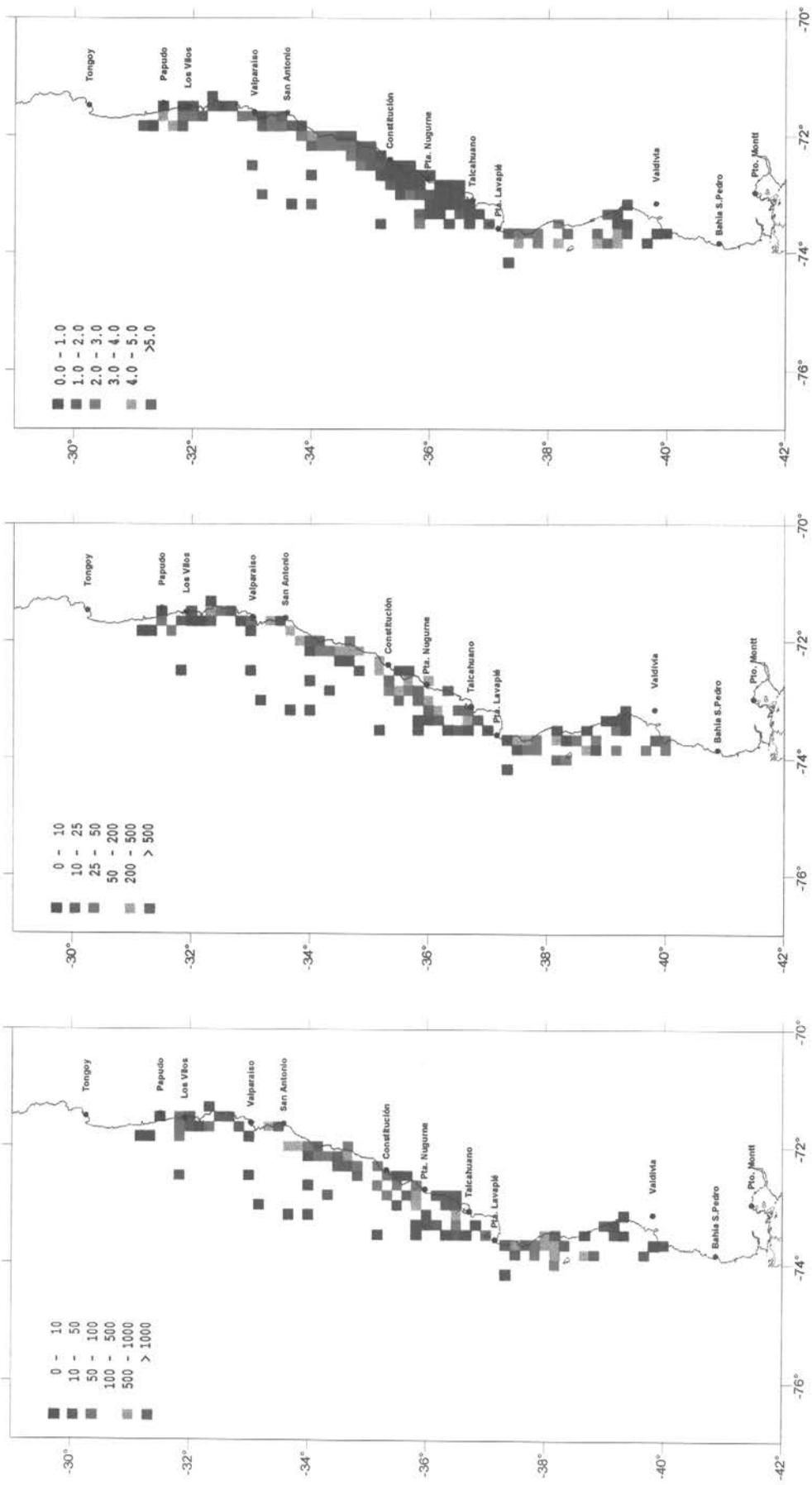


FIG. 23 DISTRIBUCION ESPACIAL DE LAS CAPTURAS (TON), ESFUERZO Y CPUE (TON/H) EN 1989

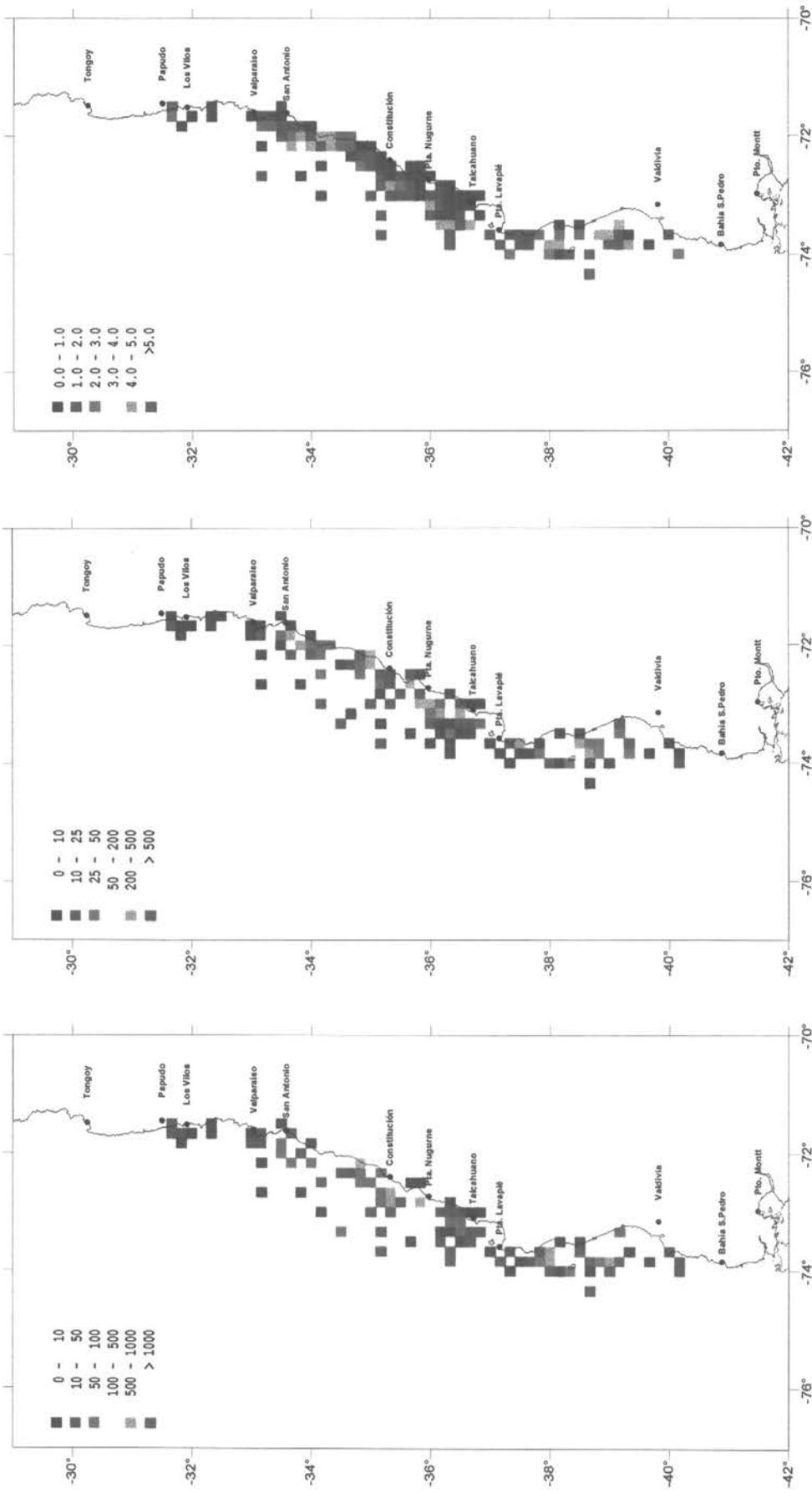


FIG. 24 DISTRIBUCION ESPACIAL DE LAS CAPTURAS (TON), ESFUERZO Y CPUE (TON/H) EN 1990

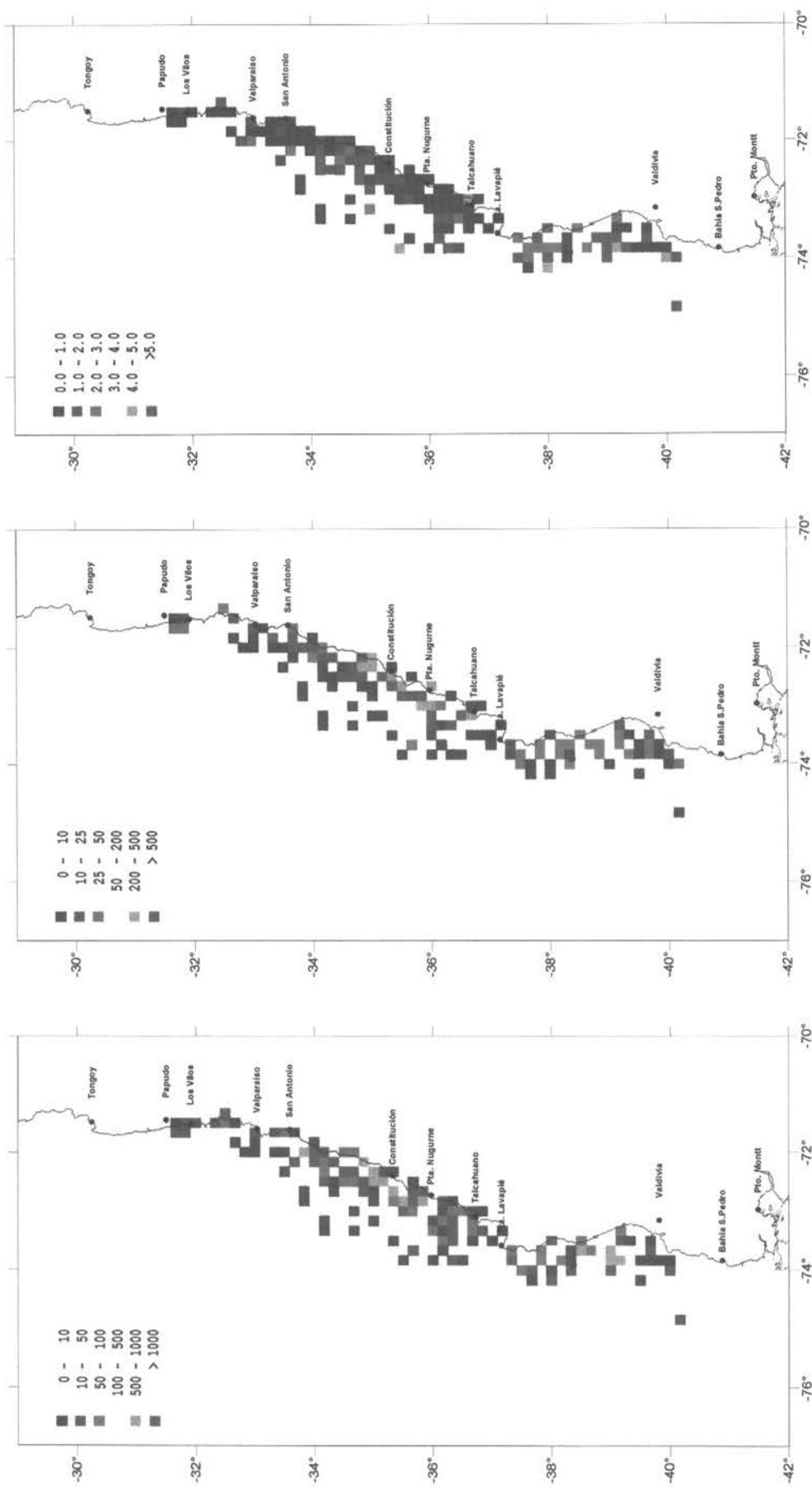


FIG. 25 DISTRIBUCION ESPACIAL DE LAS CAPTURAS (TON), ESFUERZO Y CPUE (TON/H) EN 1991

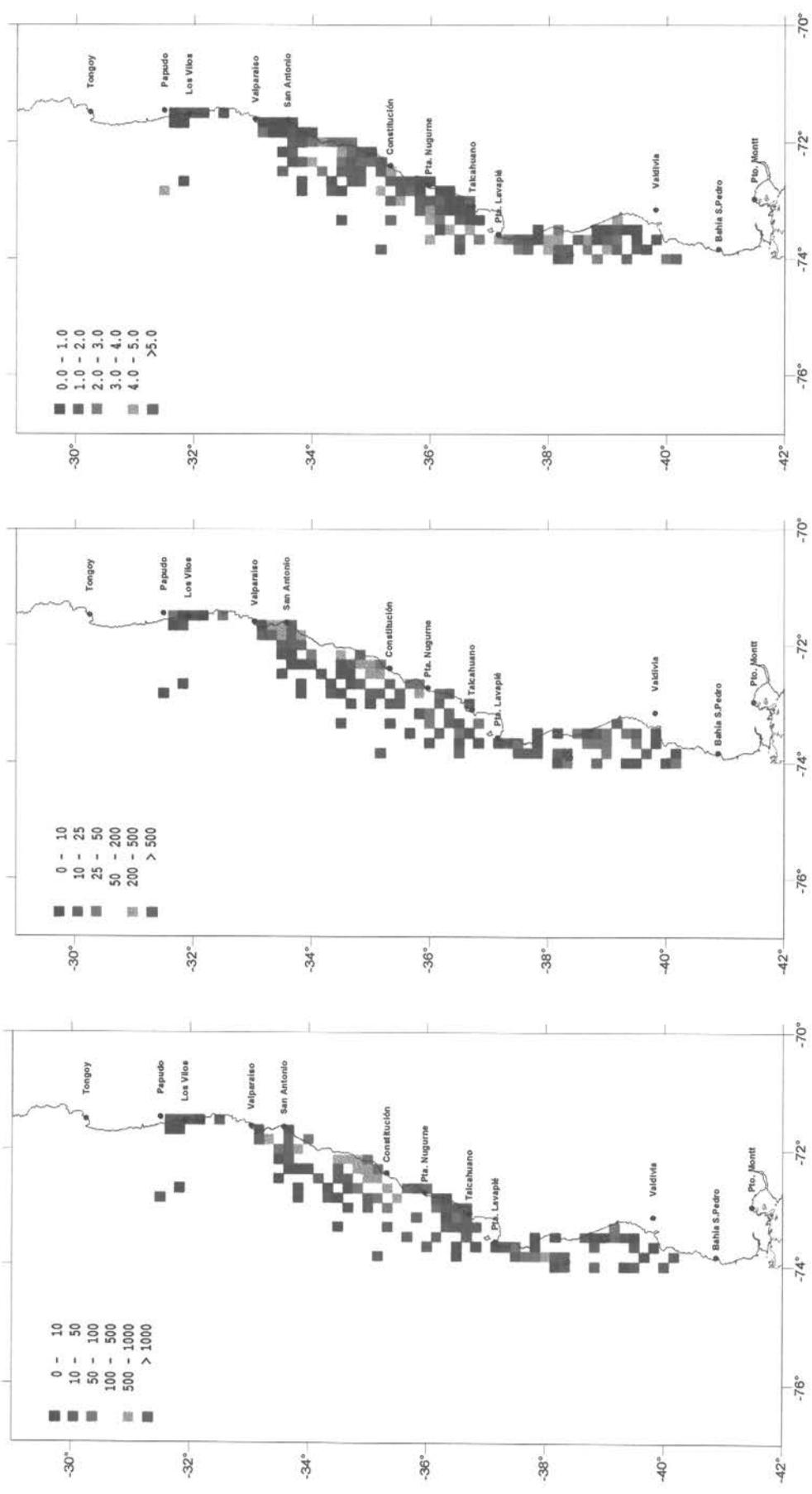


FIG. 26 DISTRIBUCION ESPACIAL DE LAS CAPTURAS (TON), ESFUERZO Y CPUE (TON/H) EN 1992

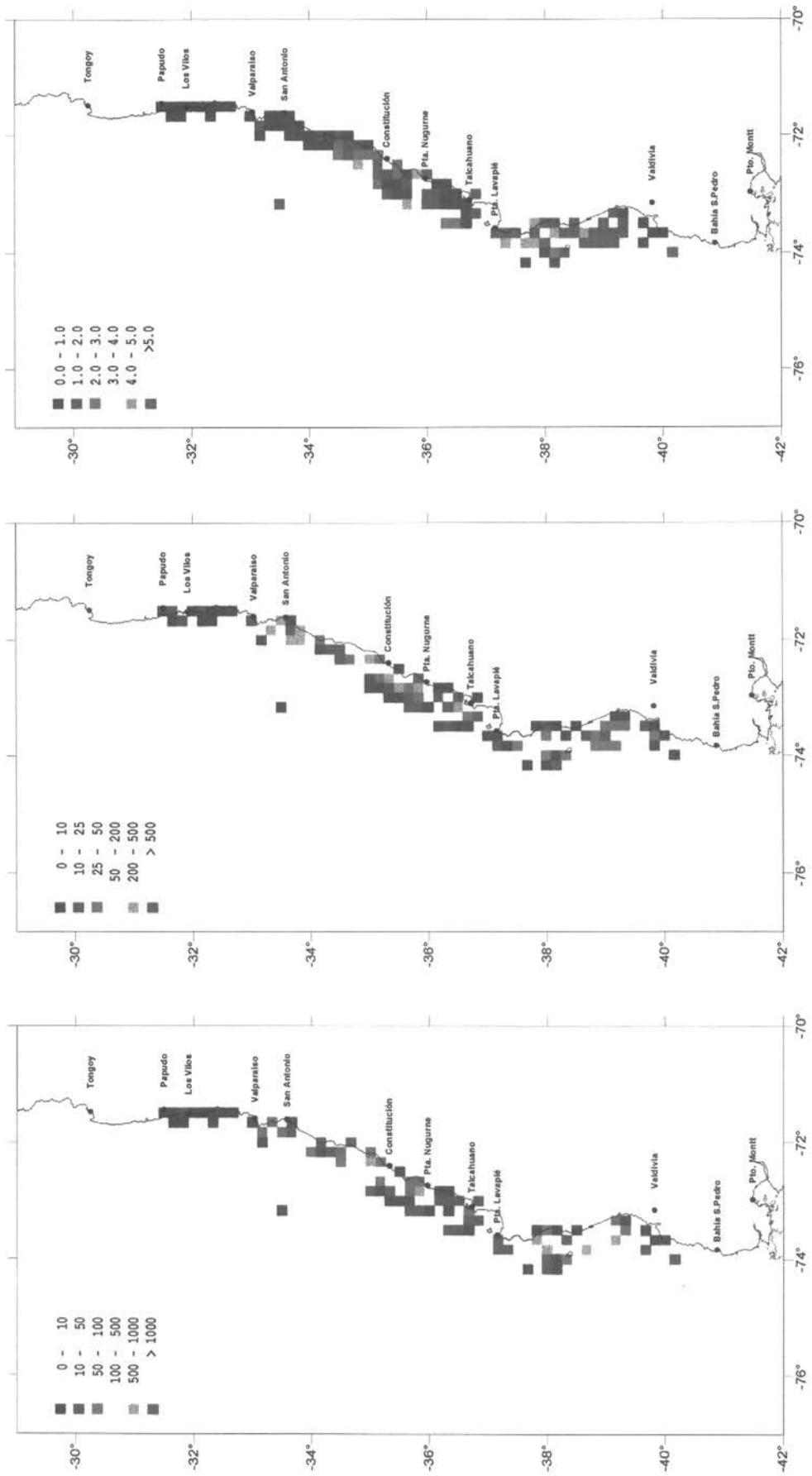


FIG. 27 DISTRIBUCION ESPACIAL DE LAS CAPTURAS (TON), ESFUERZO Y CPUE TON/H EN 1993

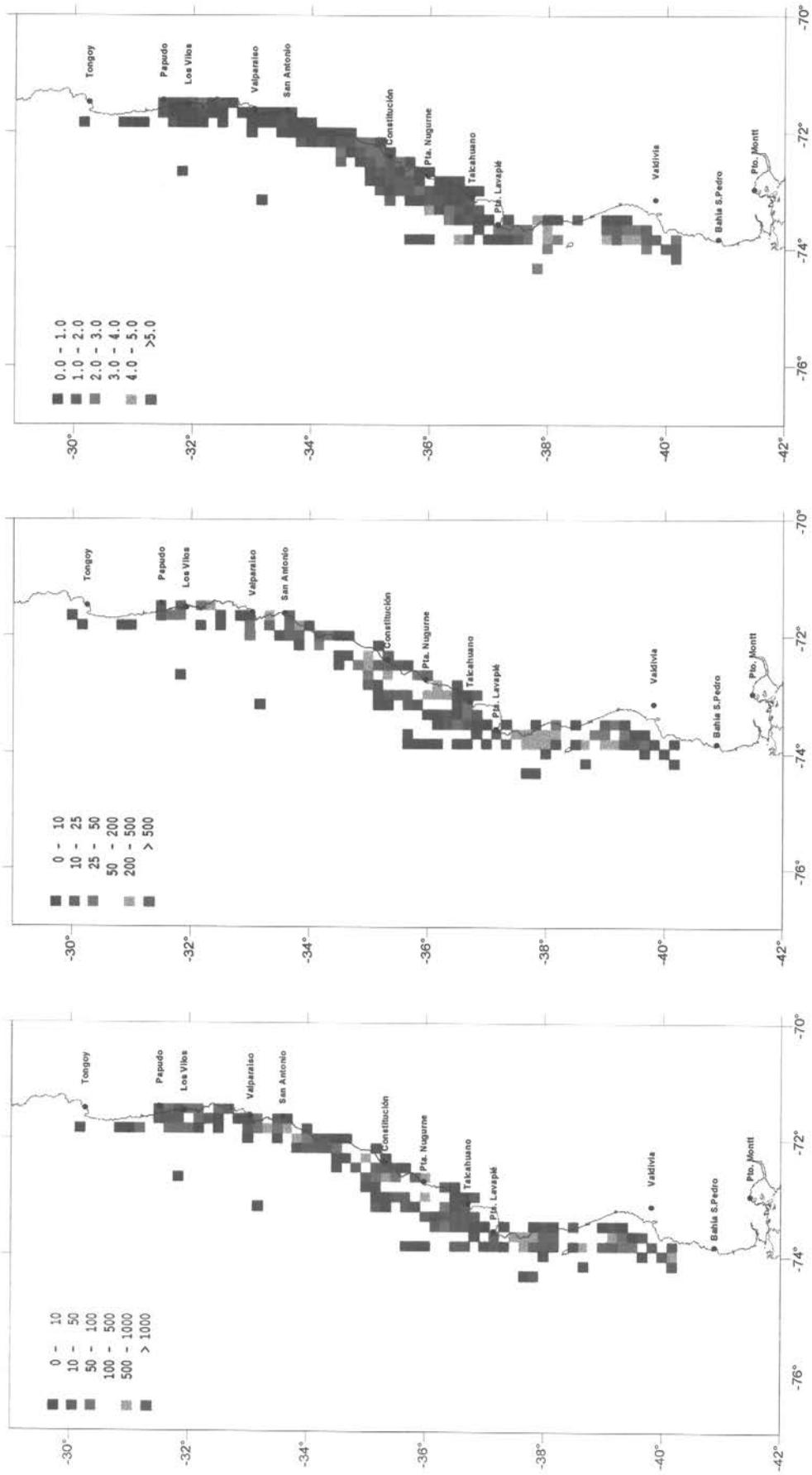


FIG. 28. VARIACION EN EL PESO GEOMETRICO MEDIO DE HEMBRAS DE EDADES 2-12

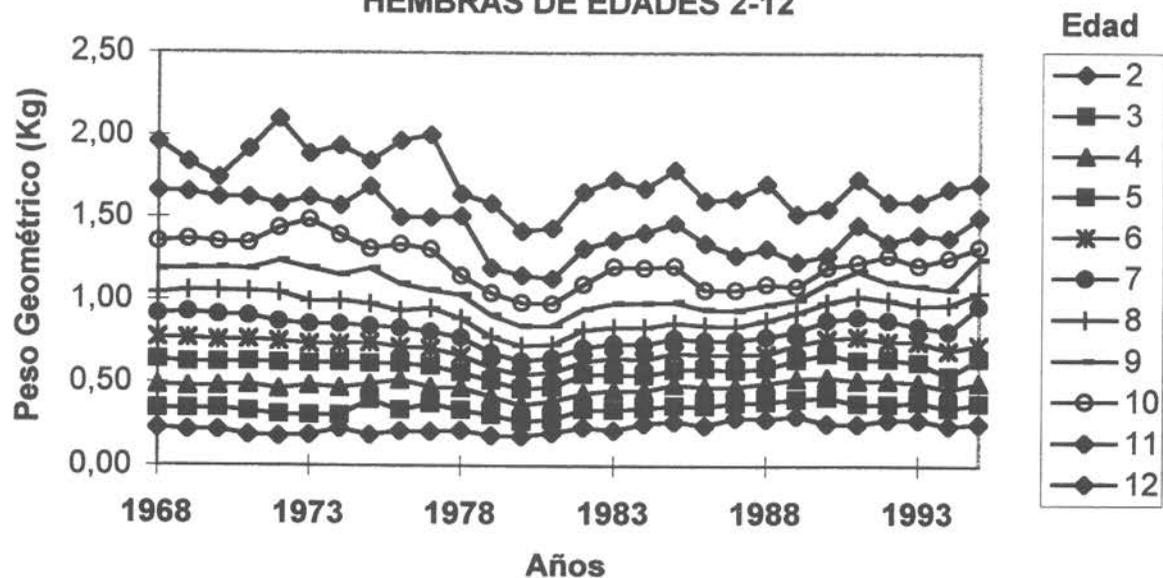


FIG. 29. PORCENTAJE DE CAMBIO DEL PESO GEOMETRICO DE HEMBRAS DE MERLUZA COMUN DE EDADES 2-12 ENTRE 1968-1995

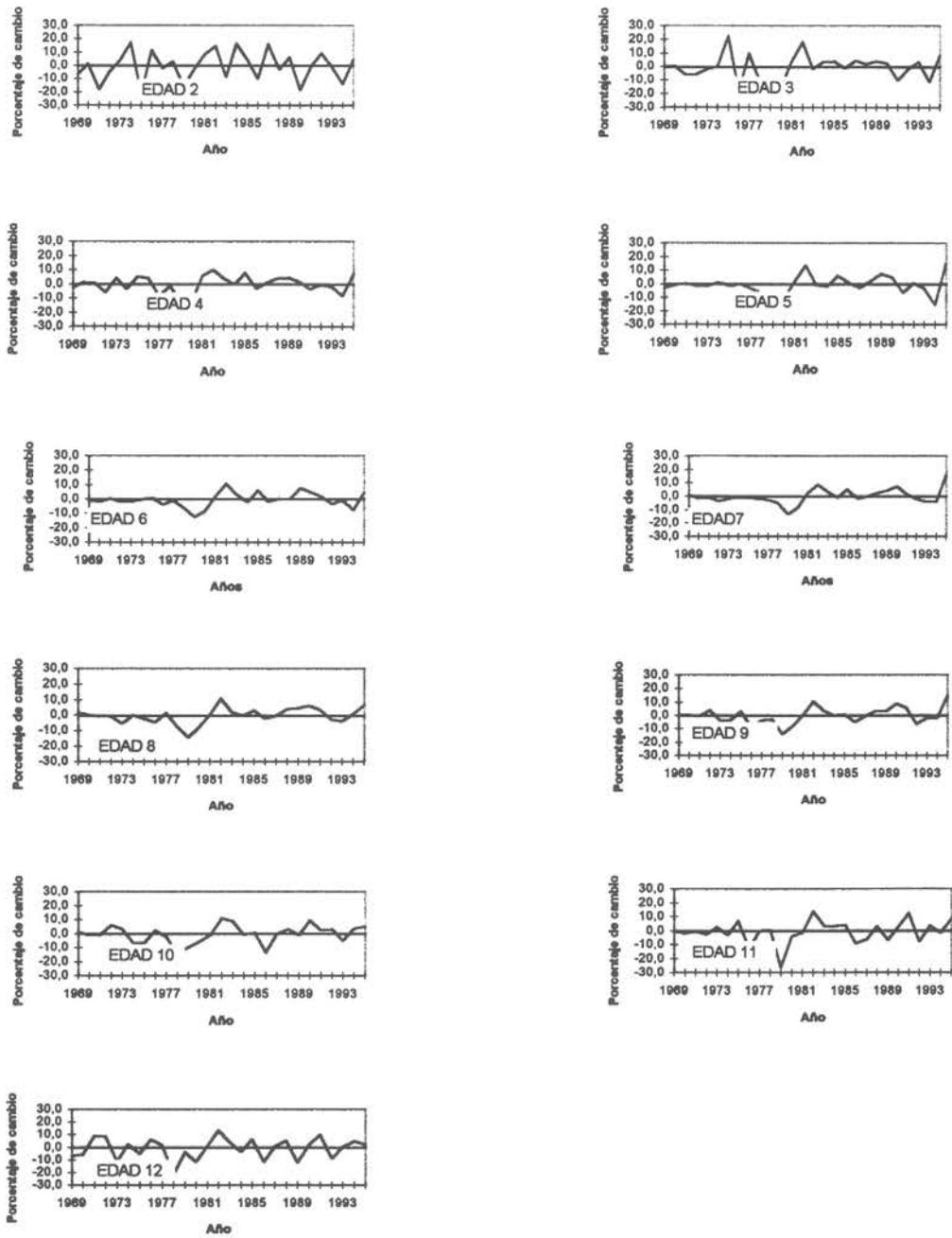


FIG. 30 TALLA DE 1º MADUREZ DE HEMBRAS

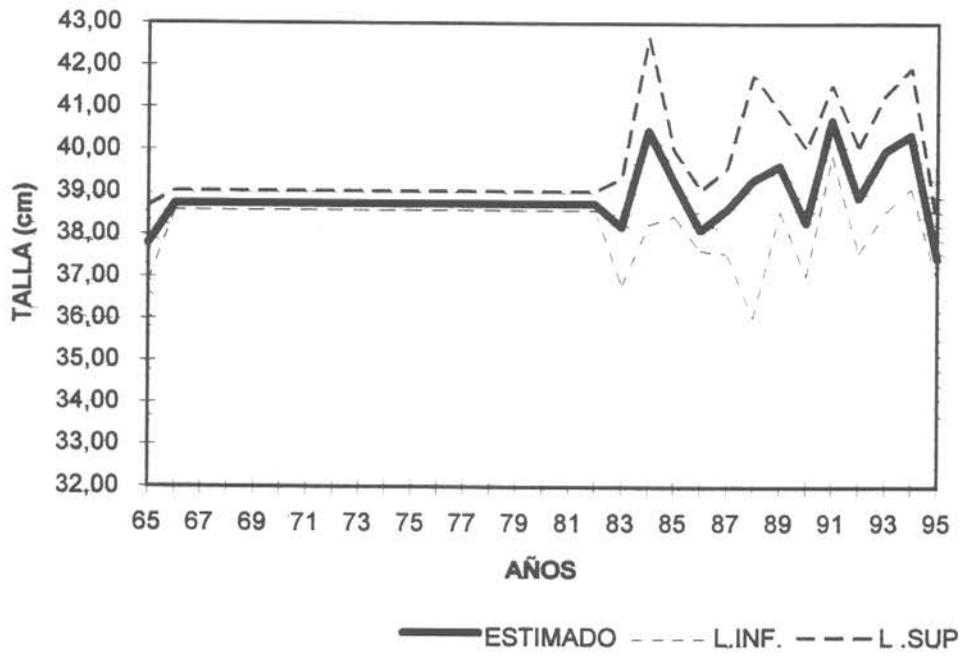


FIG. 31 OJIVAS DE MADUREZ DE HEMBRAS

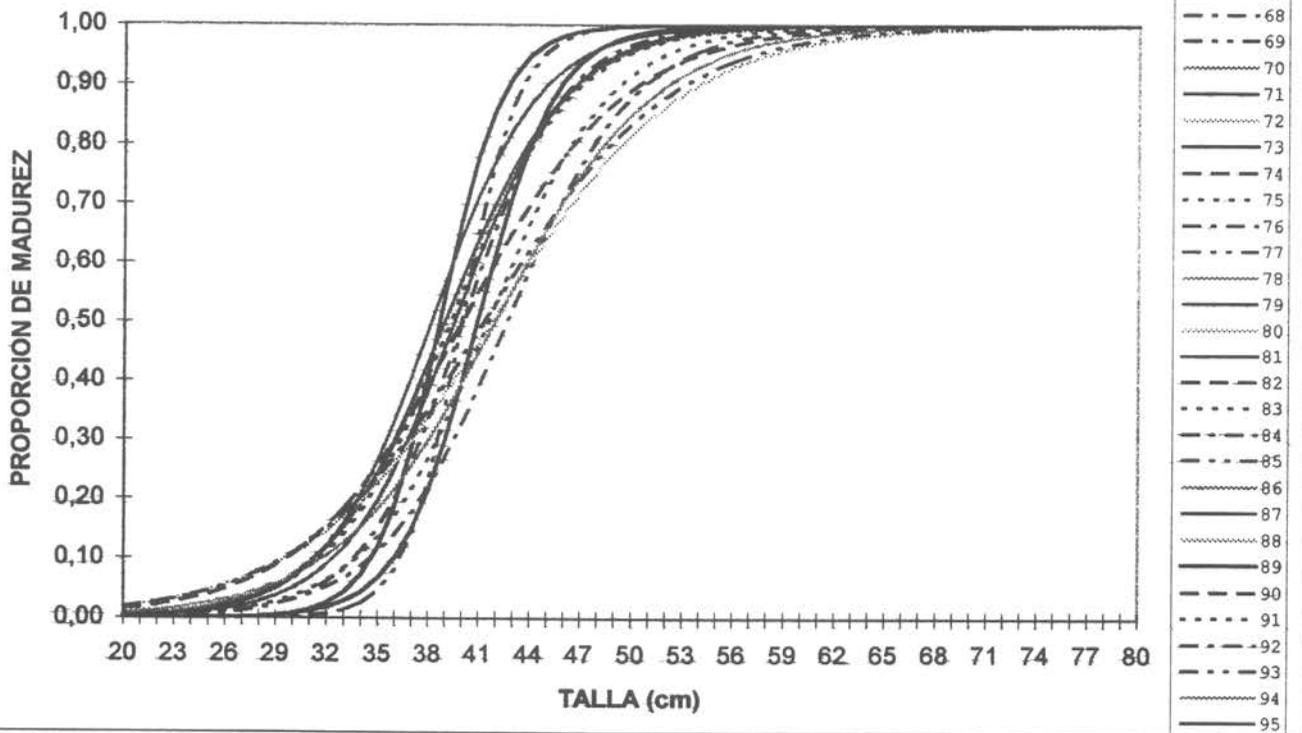


FIG. 32 RELACION ENTRE LA FECUNDIDAD Y EL PESO DE LA GONADA

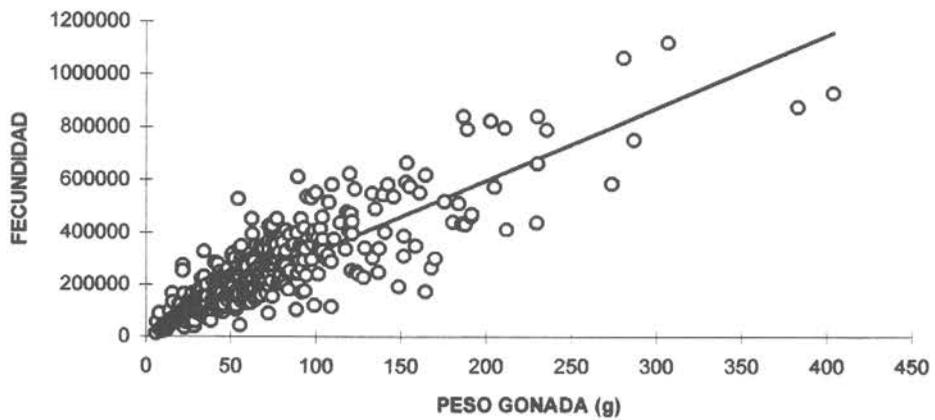


FIG. 33 RESIDUOS DE LA RELACION ENTRE LA FECUNDIDAD Y EL PESO DE GONADAS

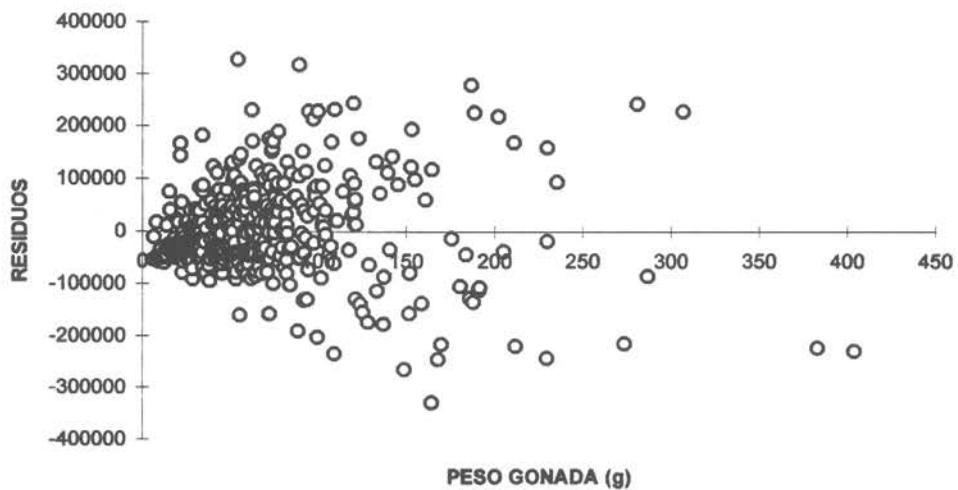


FIG. 34 RELACIÓN ENTRE LA FECUNDIDAD ESTIMADA Y LA LONGITUD TOTAL DE LAS HEMBRAS EN 1986.

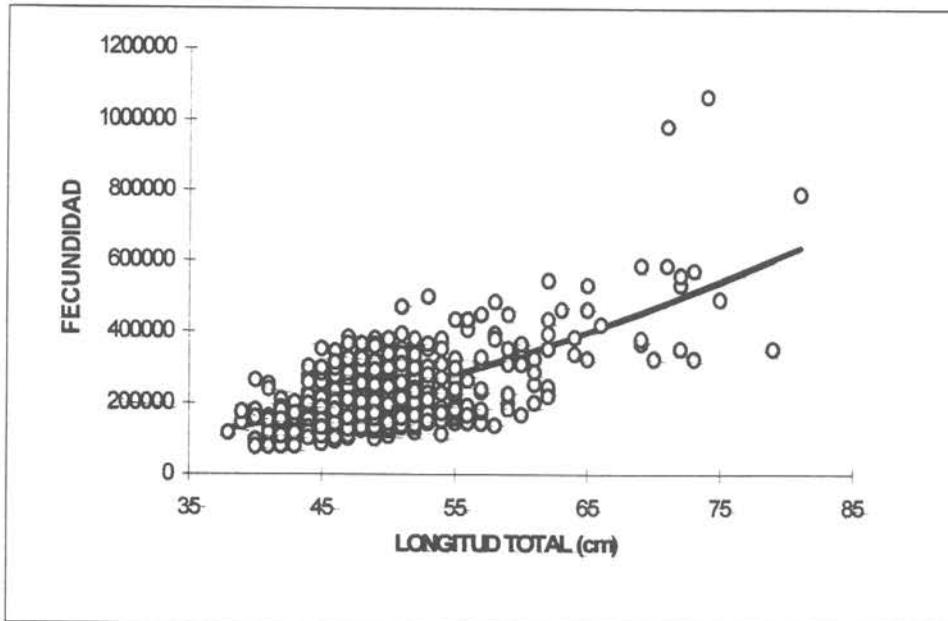


FIG. 35 RELACIÓN ENTRE LA FECUNDIDAD ESTIMADA Y LA LONGITUD TOTAL DE LAS HEMBRAS EN 1986.

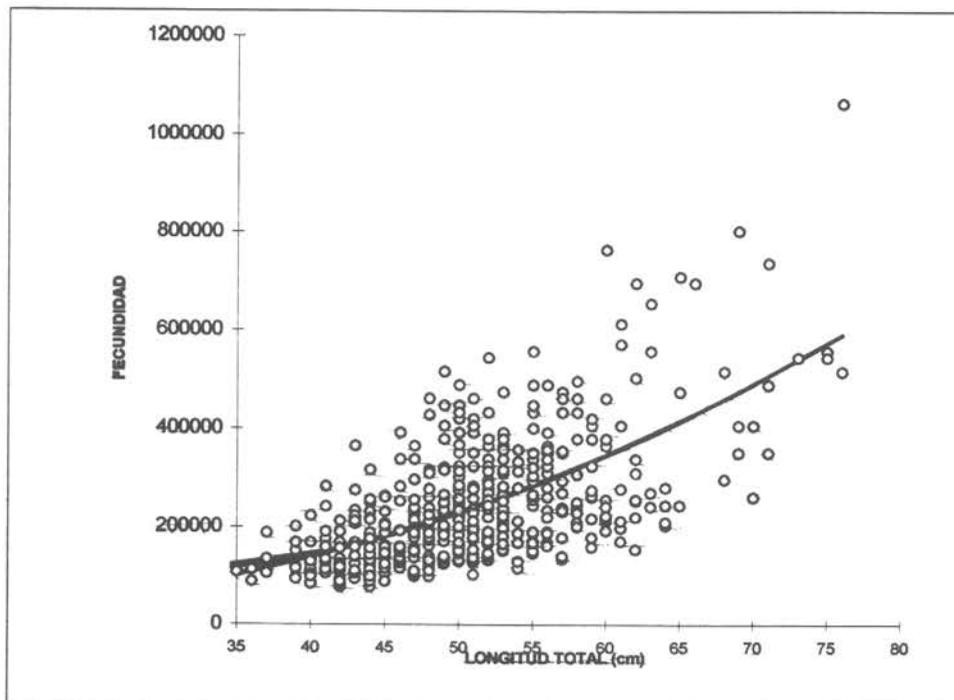


FIG. 36

RELACIÓN ENTRE LA FECUNDIDAD ESTIMADA Y LA LONGITUD TOTAL DE LAS HEMBRAS EN 1987.

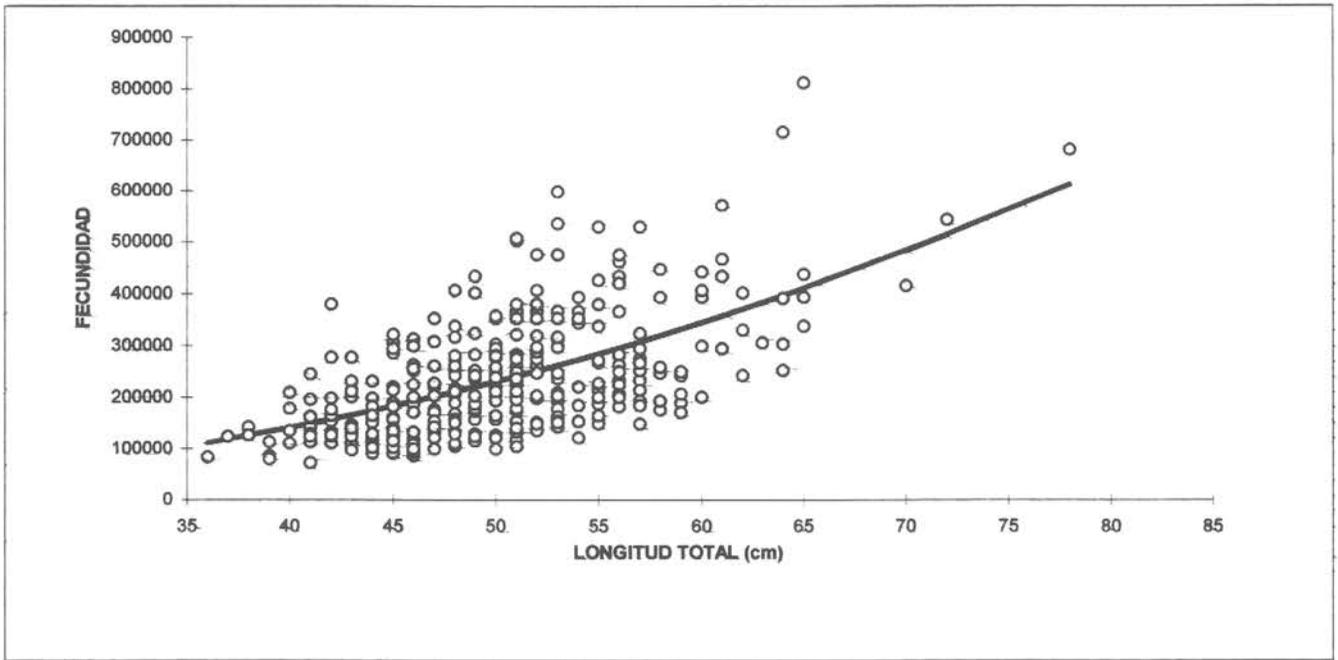


FIG. 37

RELACIÓN ENTRE LA FECUNDIDAD ESTIMADA Y LA LONGITUD TOTAL DE LAS HEMBRAS EN 1988.

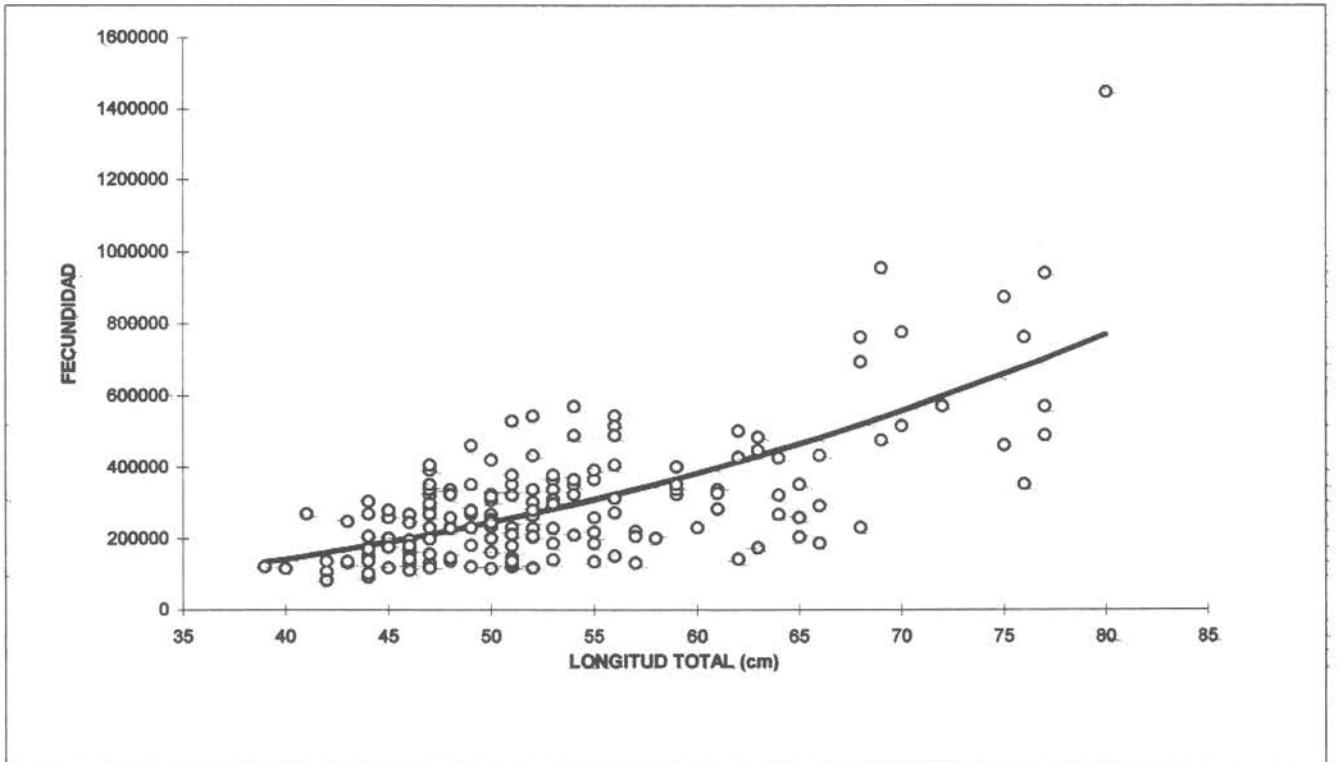


FIG. 38 RELACIÓN ENTRE LA FECUNDIDAD ESTIMADA Y LA LONGITUD TOTAL DE LAS HEMBRAS EN 1989.

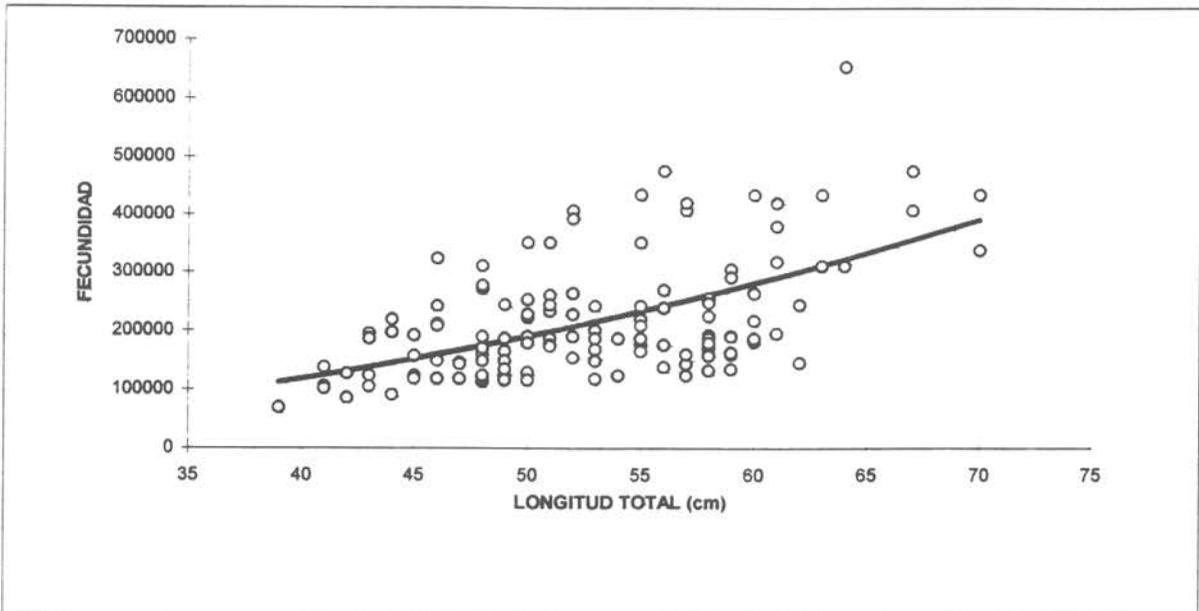


FIG. 39 RELACIÓN ENTRE LA FECUNDIDAD ESTIMADA Y LA LONGITUD TOTAL DE LAS HEMBRAS EN 1990.

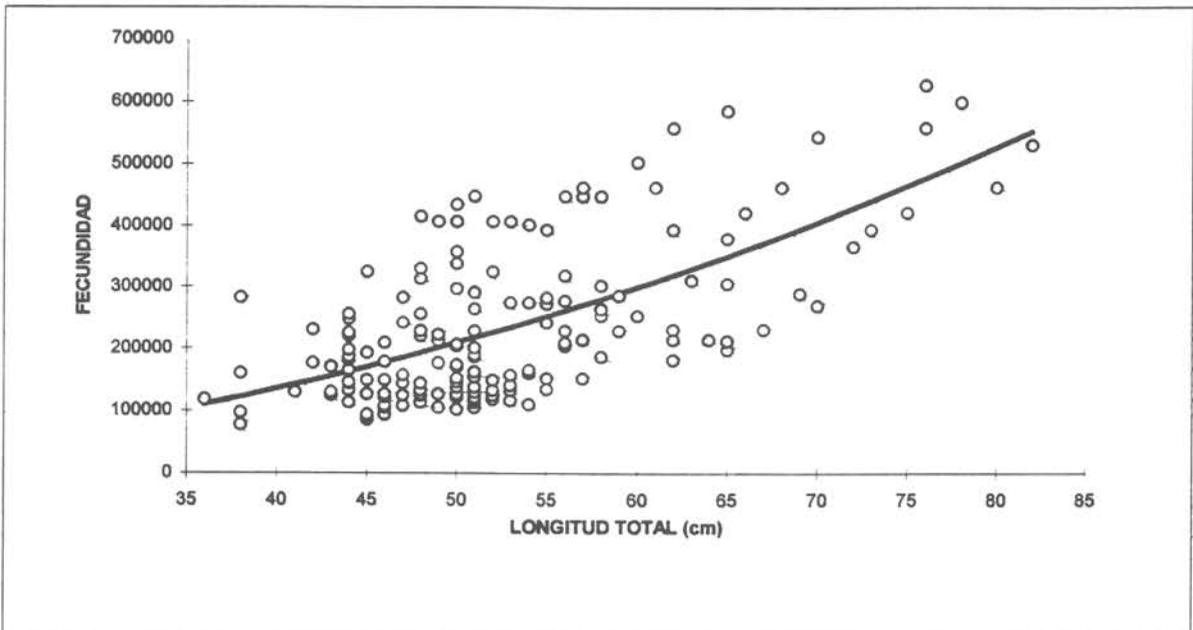


FIG. 40 RELACIÓN ENTRE LA FECUNDIDAD ESTIMADA Y LA LONGITUD TOTAL DE LAS HEMBRAS EN 1991.

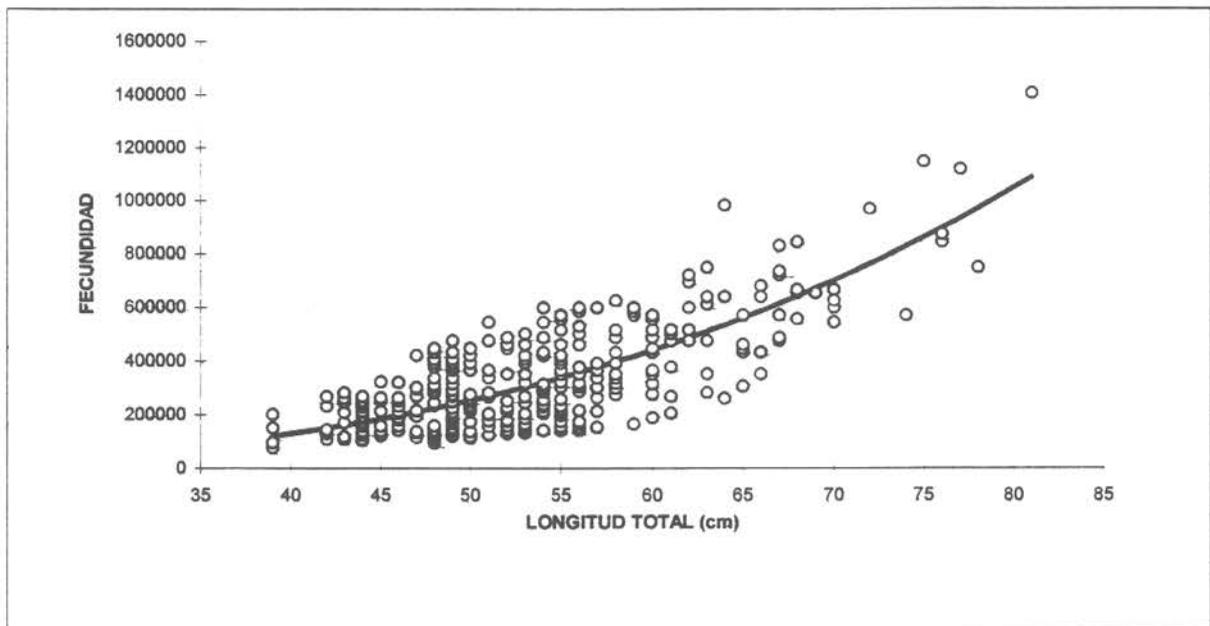


FIG. 41 RELACIÓN ENTRE LA FECUNDIDAD ESTIMADA Y LA LONGITUD TOTAL DE LAS HEMBRAS EN 1992.

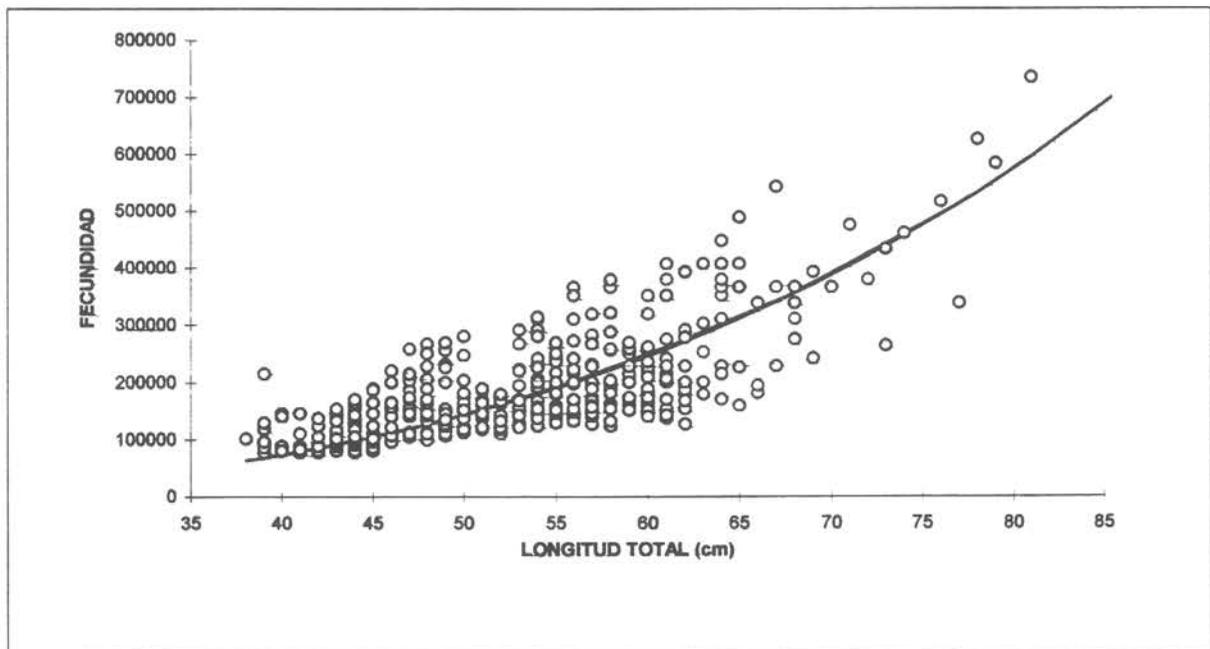


FIG. 42 RELACIÓN ENTRE LA FECUNDIDAD ESTIMADA Y LA LONGITUD TOTAL DE LAS HEMBRAS EN 1993.

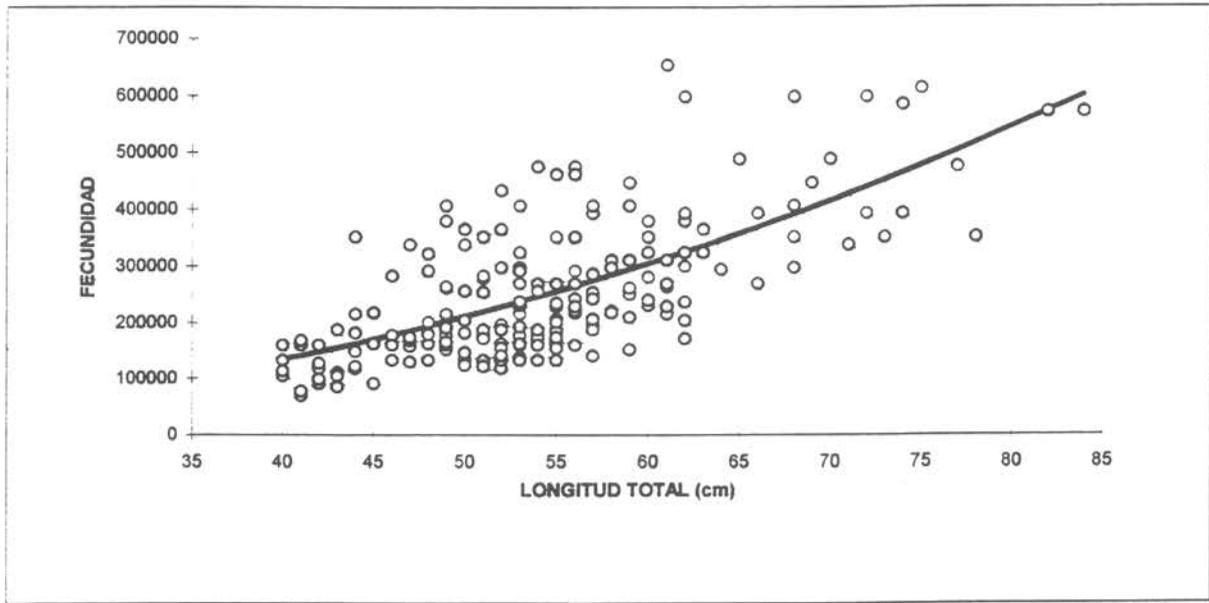


FIG. 43 RELACIÓN ENTRE LA FECUNDIDAD ESTIMADA Y LA LONGITUD TOTAL DE LAS HEMBRAS EN 1994.

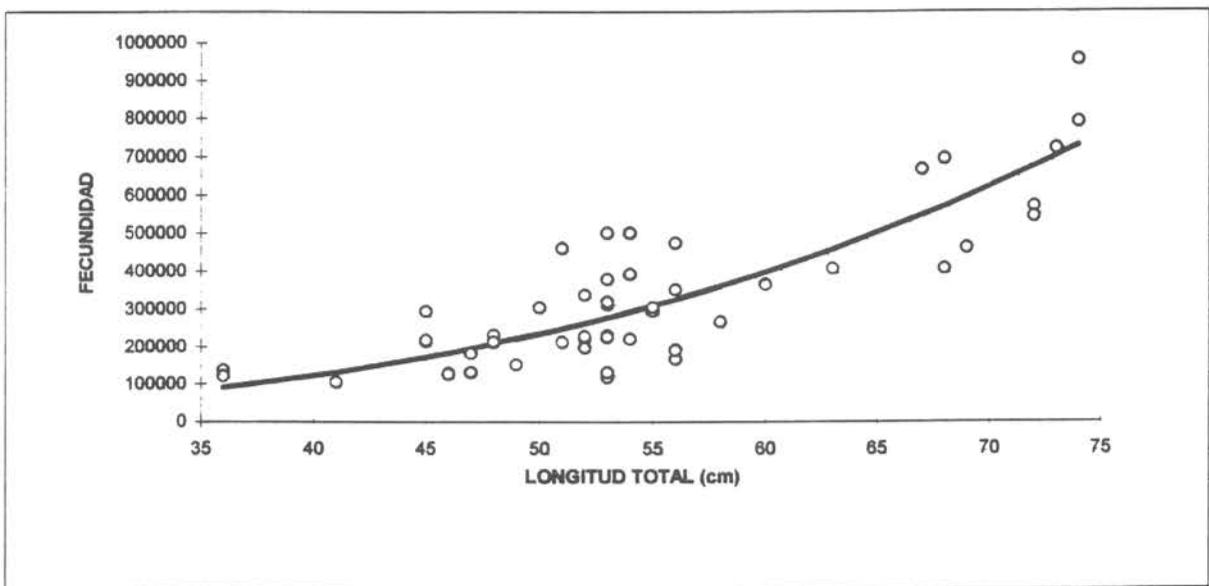


FIG. 44 RELACIÓN ENTRE LA FECUNDIDAD ESTIMADA Y LA LONGITUD TOTAL DE LAS HEMBRAS EN 1995.

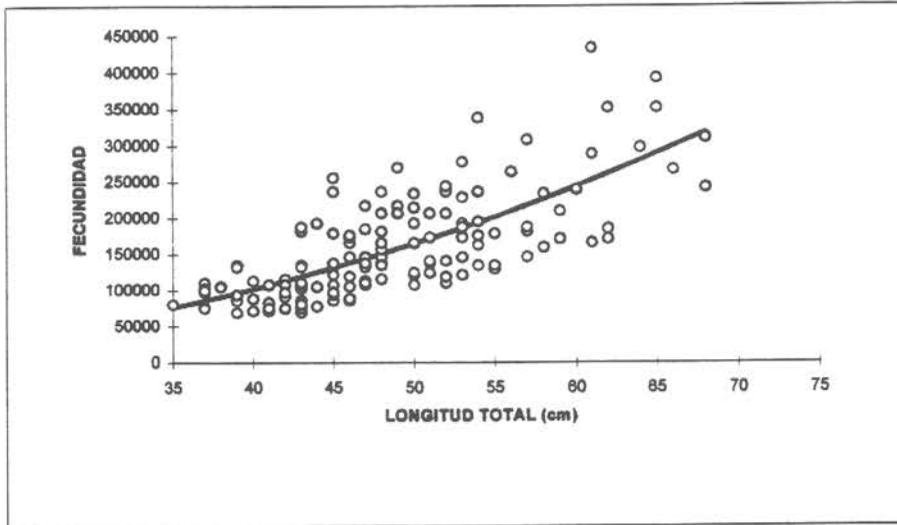


FIG. 45 VARIACIONES EN LA FECUNDIDAD ESTIMADA PROMEDIO DE LA MERLUZA COMÚN MERLUCCIVS GAYI PARA EL PERÍODO 1985 -1995. GLOBAL CORRESPONDE AL VALOR PROMEDIO DE ESE PERÍODO; FB65 Y FB92 SON DATOS COMPARATIVOS NO ESTIMADOS DE 1965 Y 1992, OBTENIDOS DE LA LITERATURA

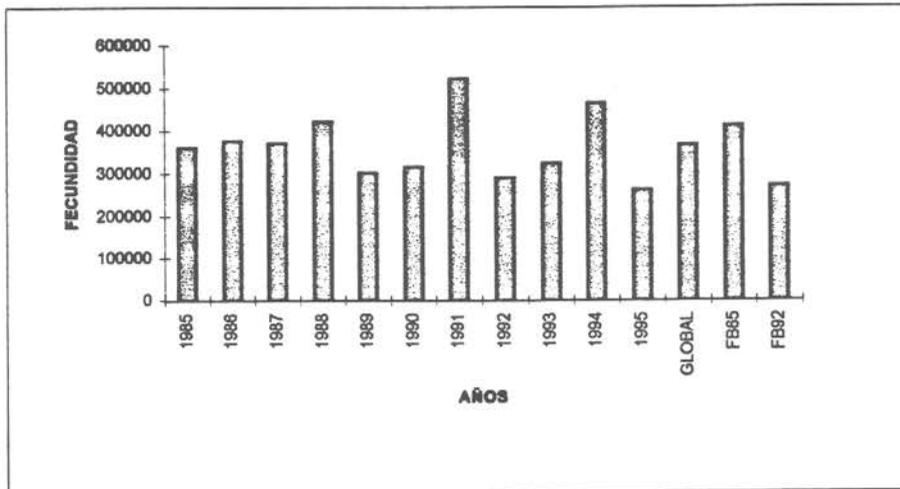


FIG. 46 RELACION ENTRE FECUNDIDAD ESTIMADA Y LONGITUD PARA EL TOTAL DE DATOS (1985-1995). NO SE MUESTRAN LOS DATOS DEBIDO A SU ELEVADO NUMERO

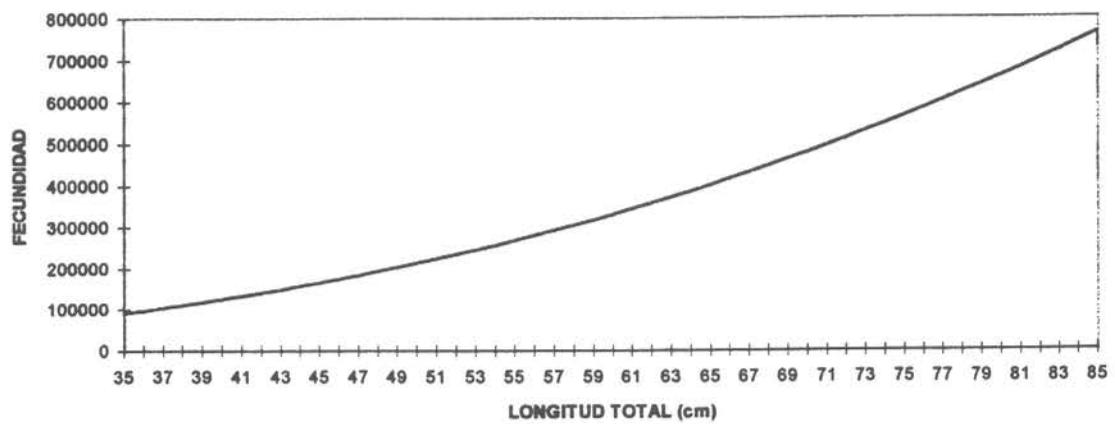


Figura : 47. a) Promedios anuales y b) señal de la temperatura superficial del mar de la Bahía de Valparaíso del período 1966 - 1995.

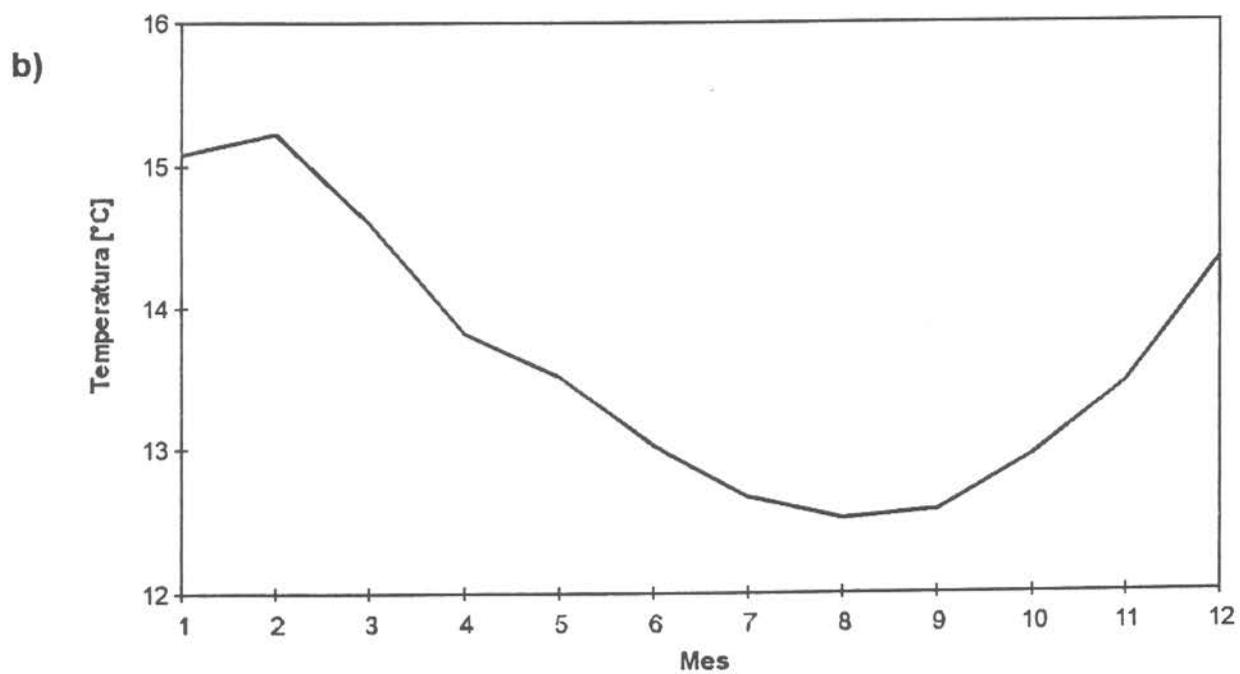
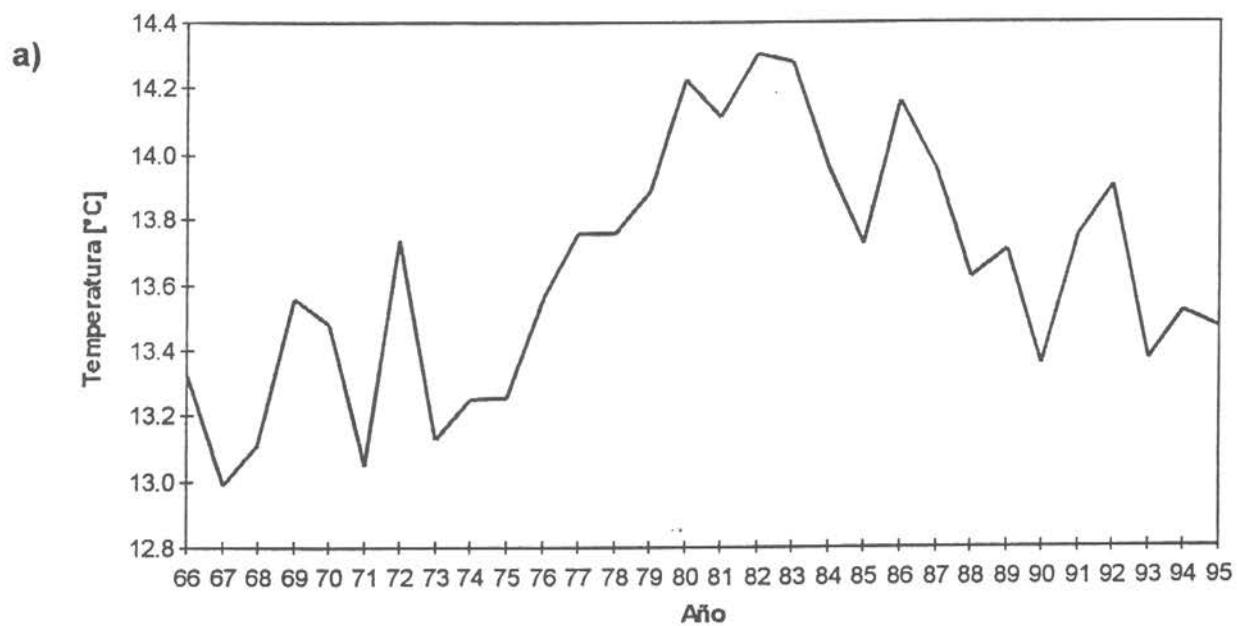


Figura :48. Promedios mensuales de la temperatura superficial del mar de la Bahía de Valparaíso del período 1966 - 1995.

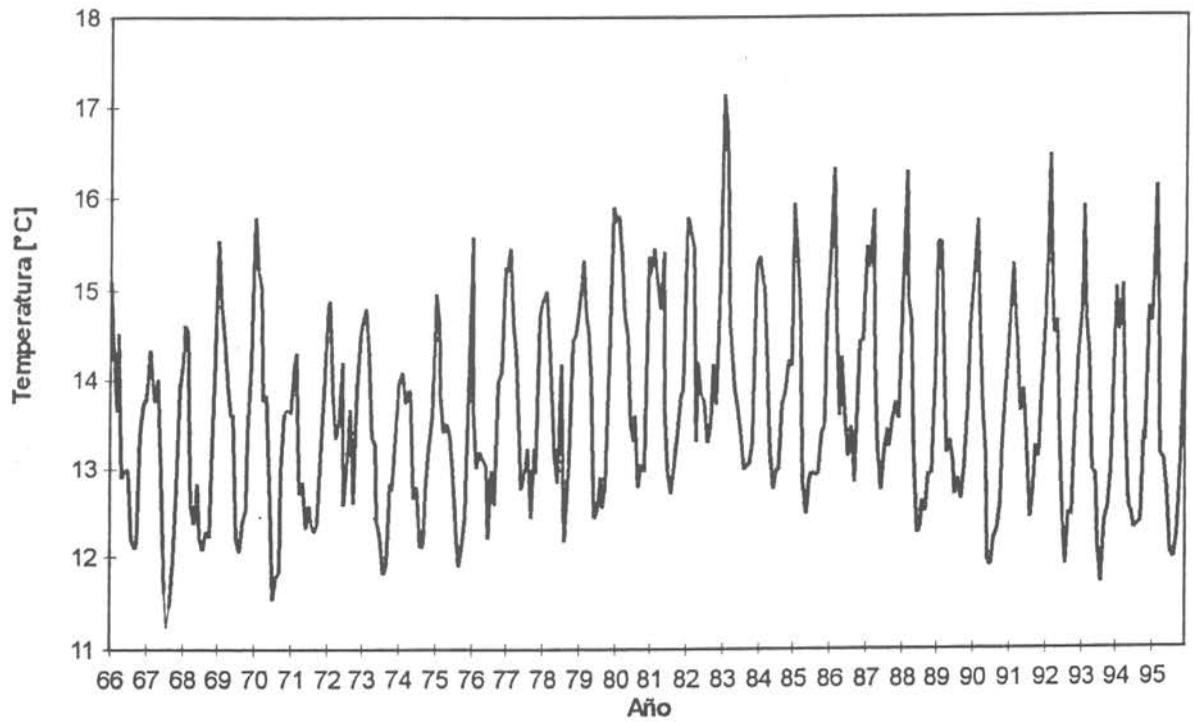


Figura : 49. Promedios mensuales de la temperatura superficial del mar de los meses de a) agosto y b) septiembre del período 1966 - 1995 de la Bahía de Valparaíso.

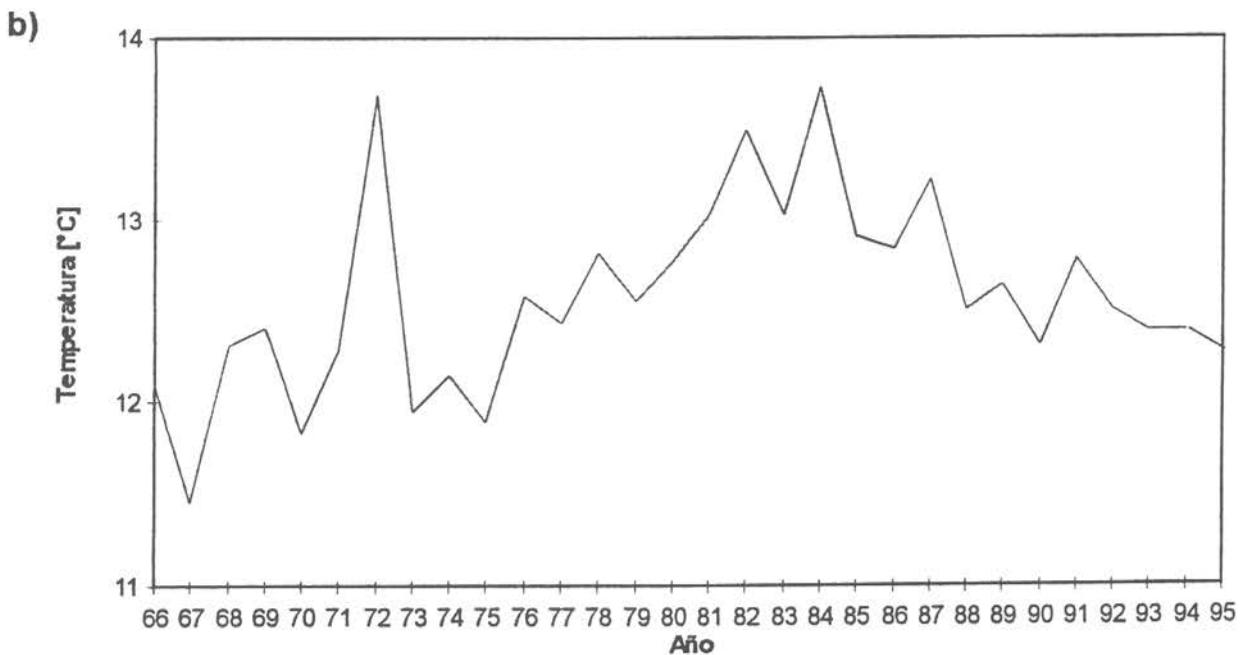
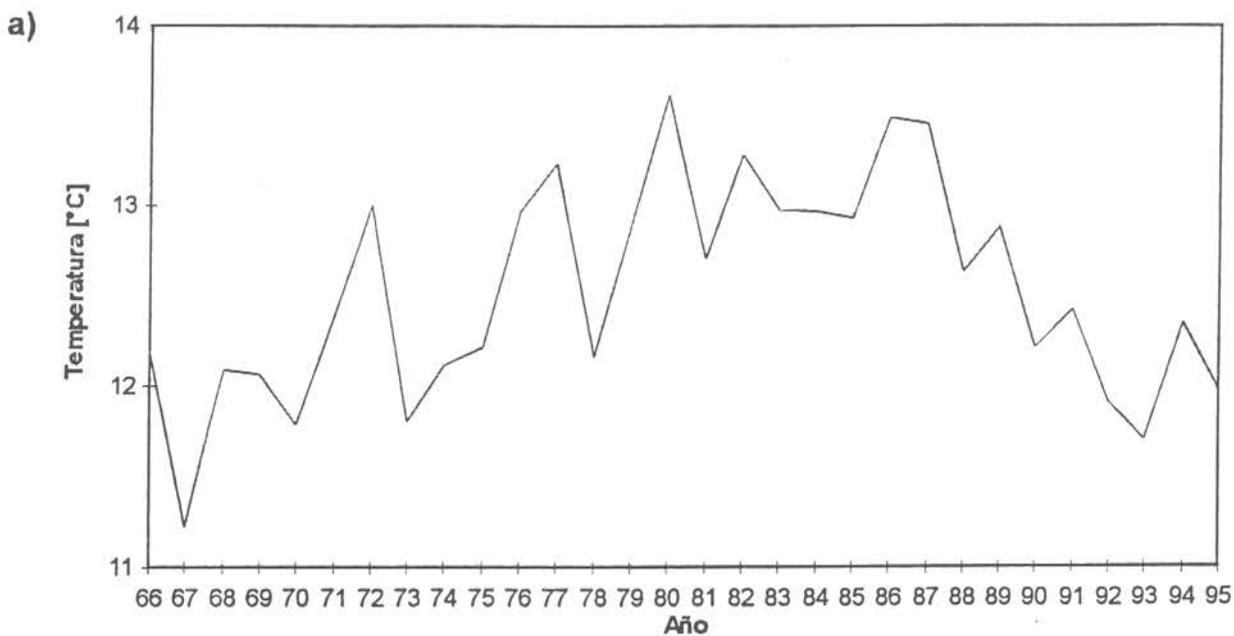


Figura : 50. a) Promedios anuales y b) señal anual del índice de surgencia en el área de Valparaíso del período 1966 - 1995.

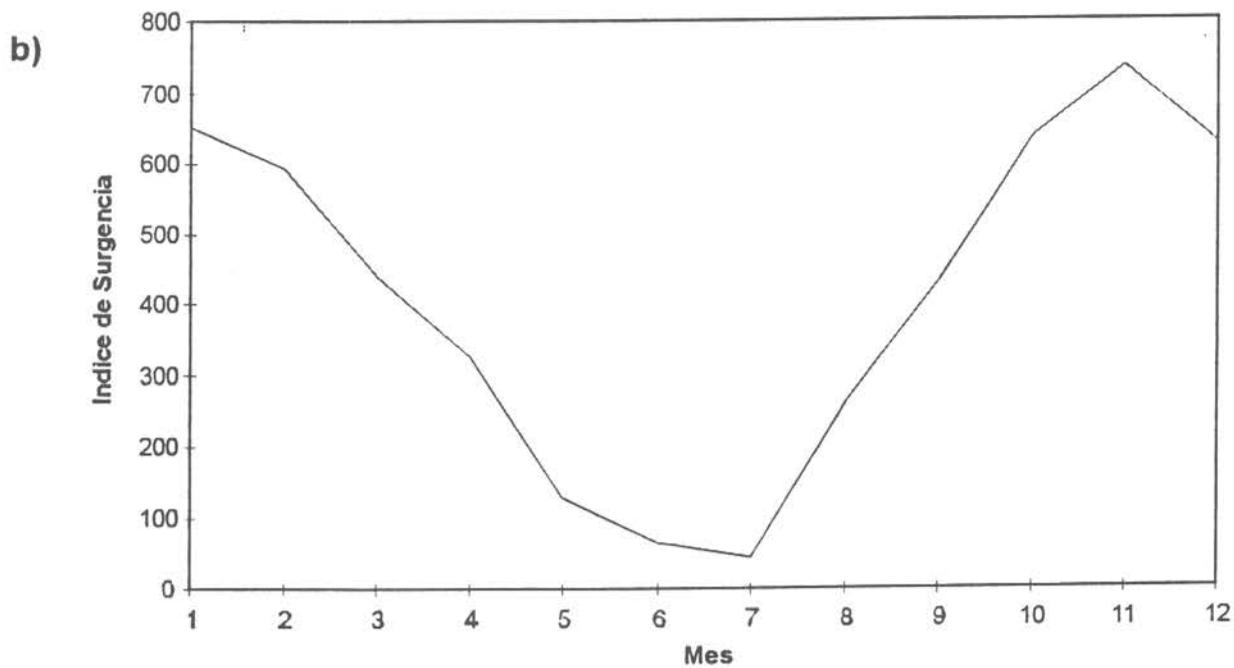
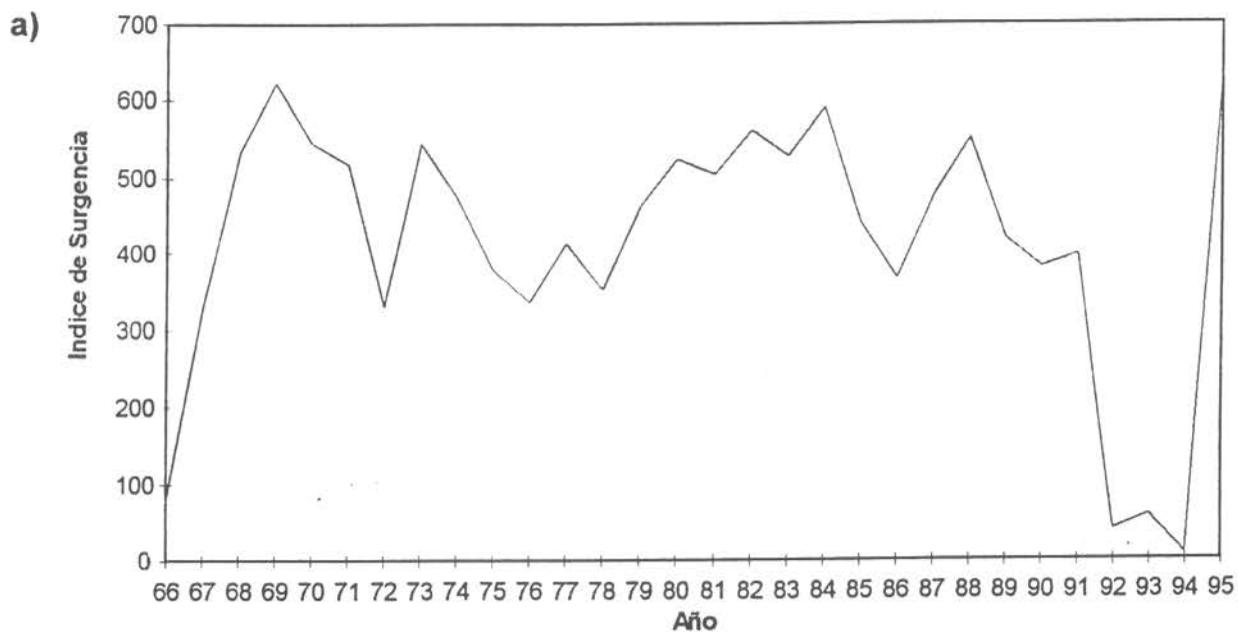


Figura :51. Promedios mensuales del índice de surgencia del área de Valparaíso, durante el período 1966 - 1995.

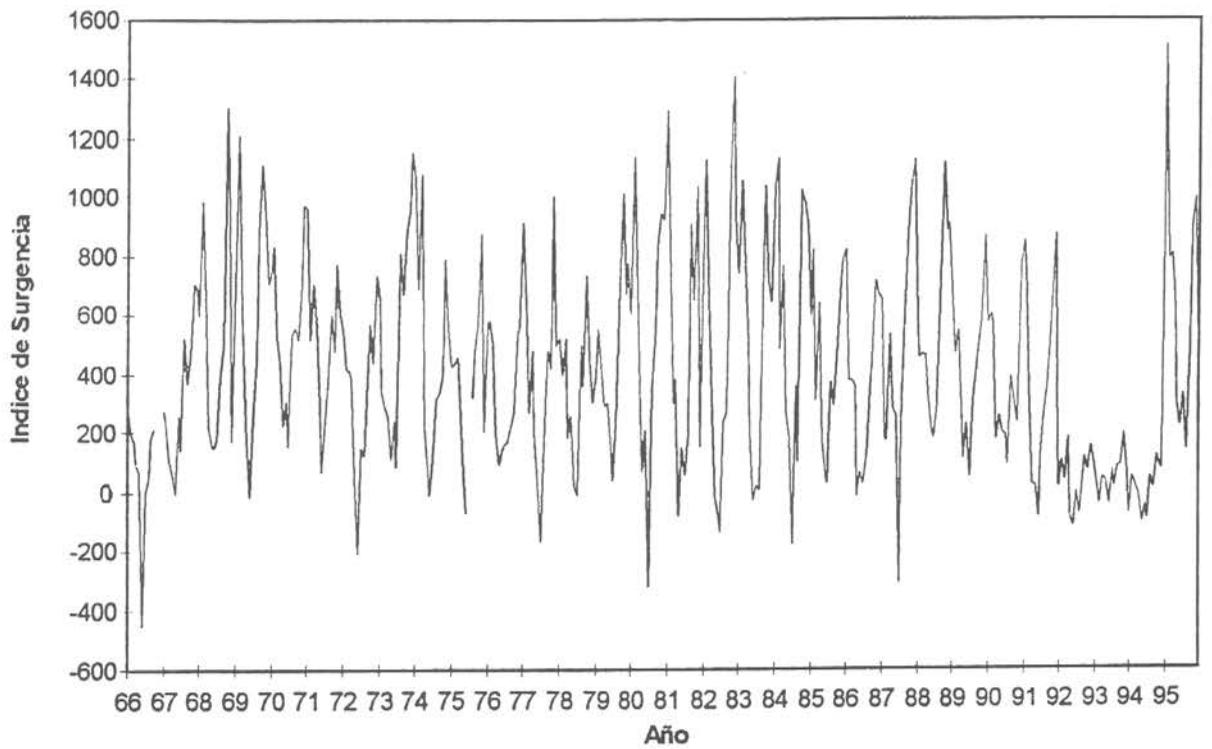


Figura : 52. Promedios mensuales del índice de surgencia de los meses de a) agosto y b) septiembre del período 1966 - 1995 del área de Valparaíso.

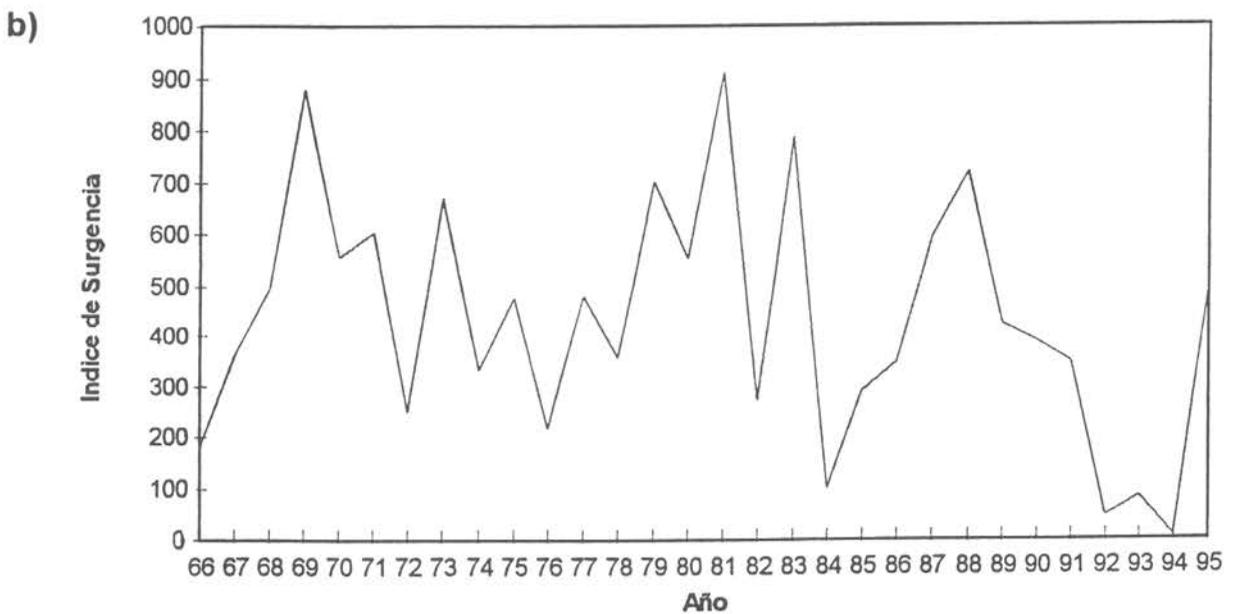
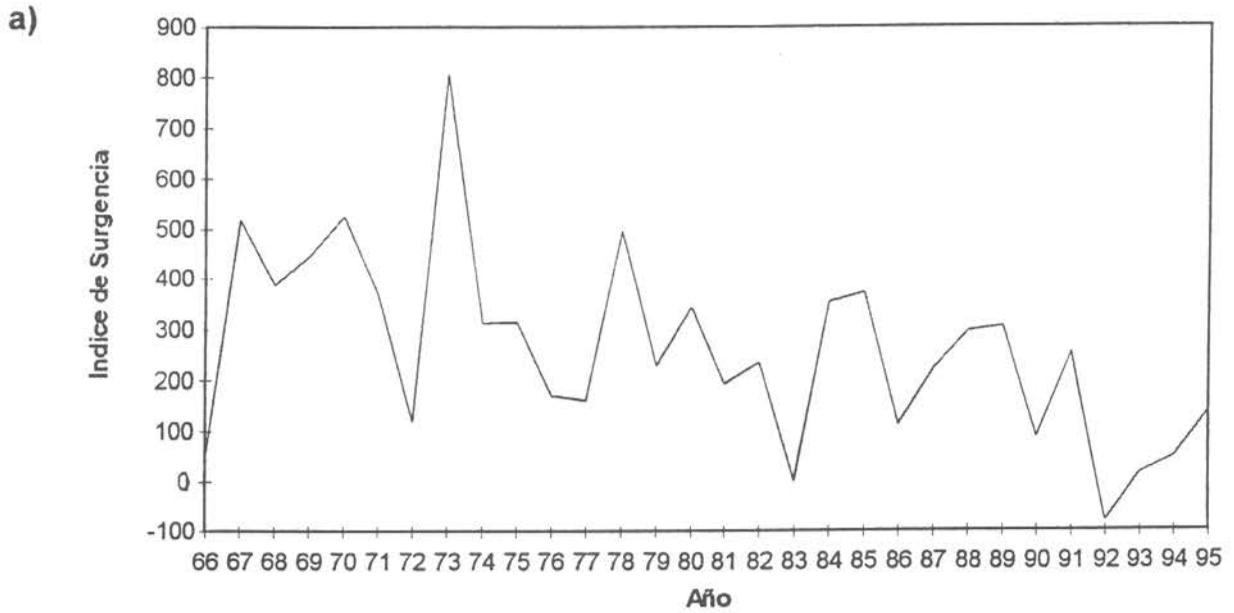


Figura : 53. a) Promedios anuales y b) señal anual del índice de surgencia en el área de Valparaíso del período 1966 - 1995.

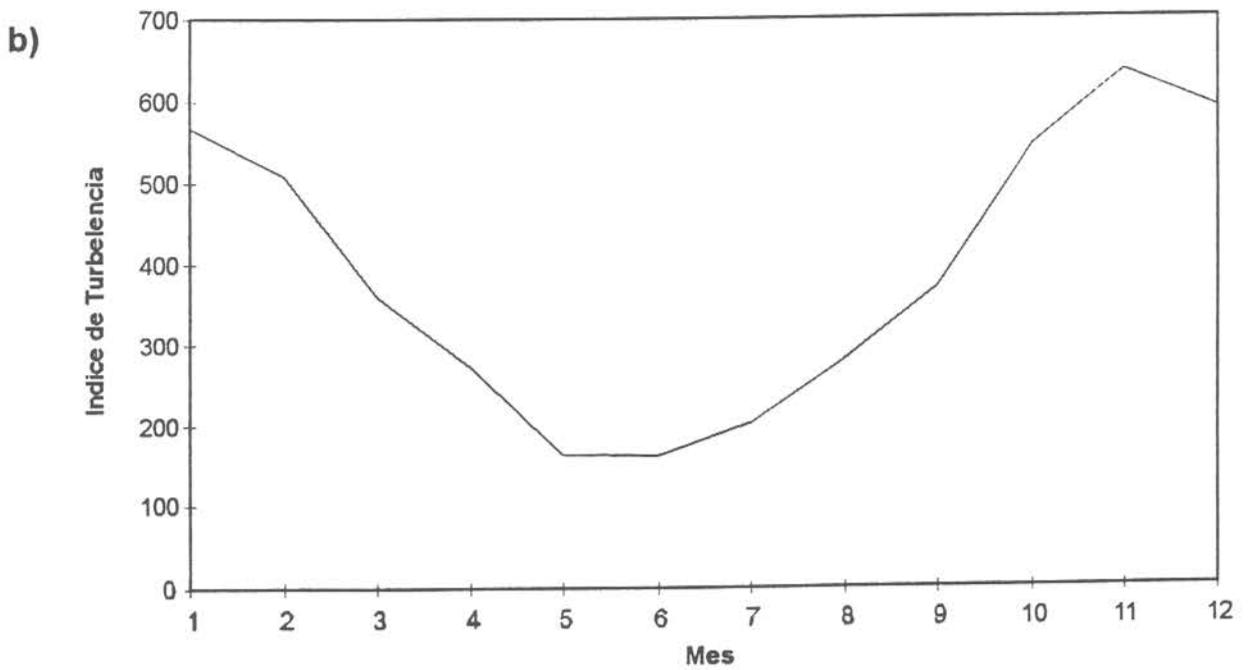


Figura : 54. Promedios mensuales del índice de turbulencia del área de Valparaíso durante el período 1996 - 1995.

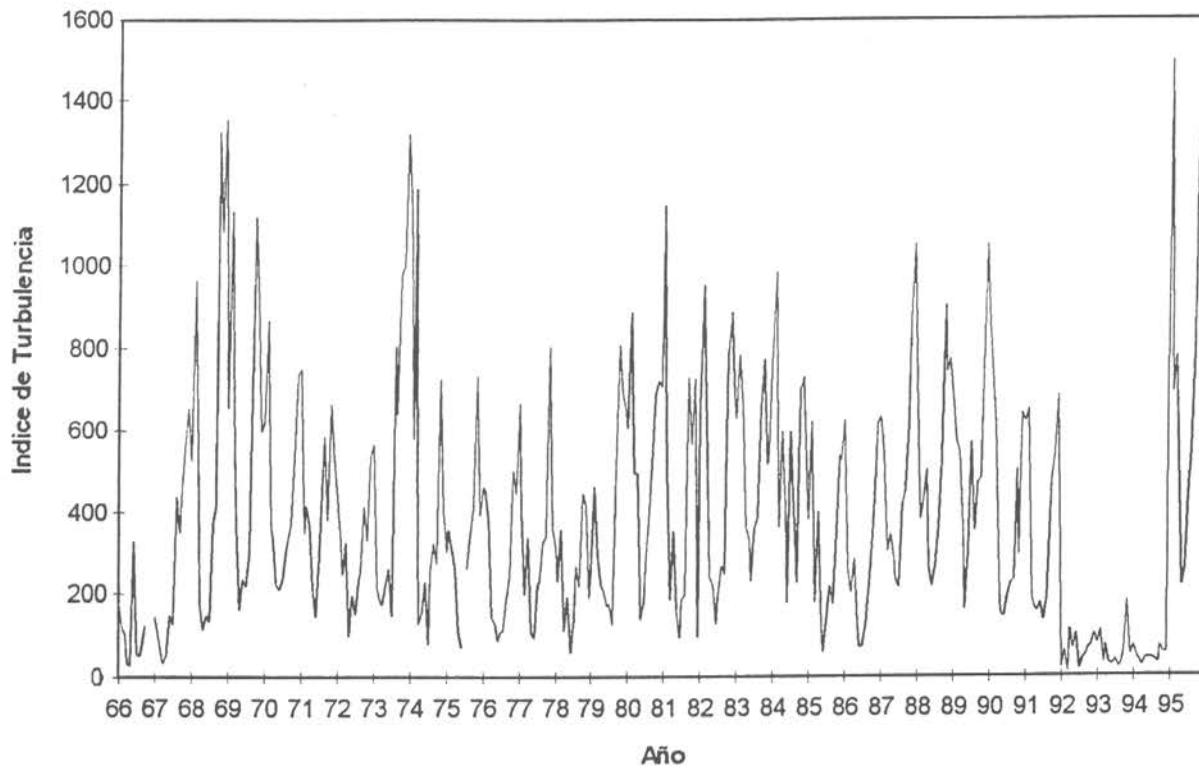


Figura : 55. Promedios mensuales del índice de turbulencia de los meses de a) agosto y b) septiembre del período 1966 - 1995 del área de Valparaíso.

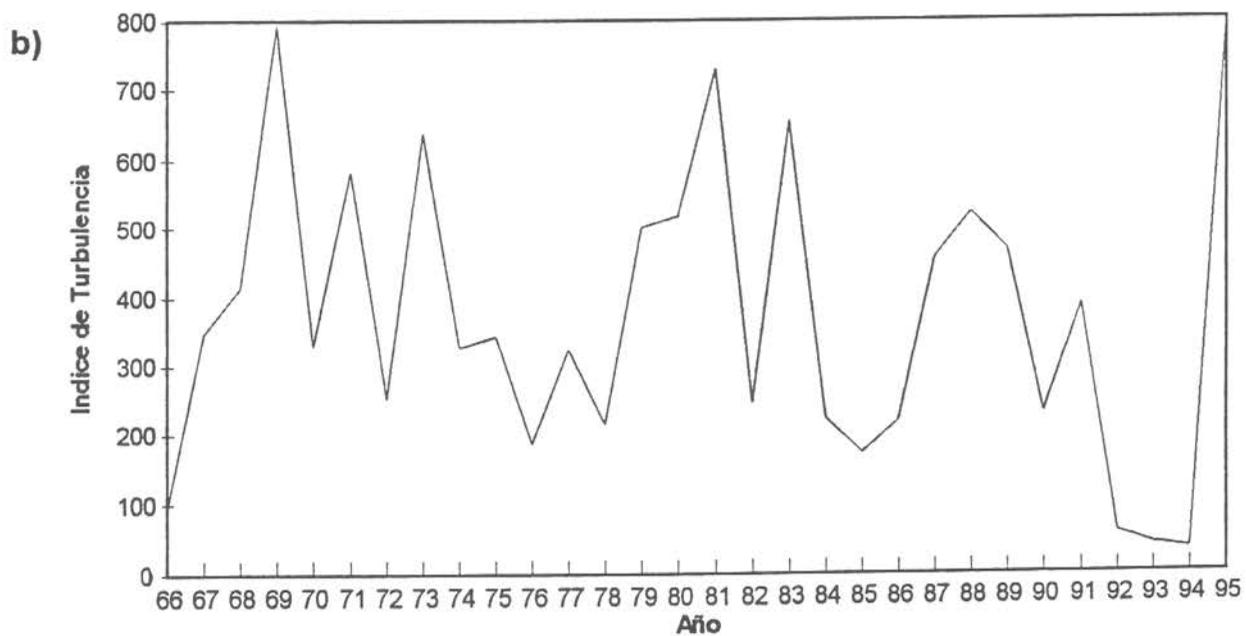
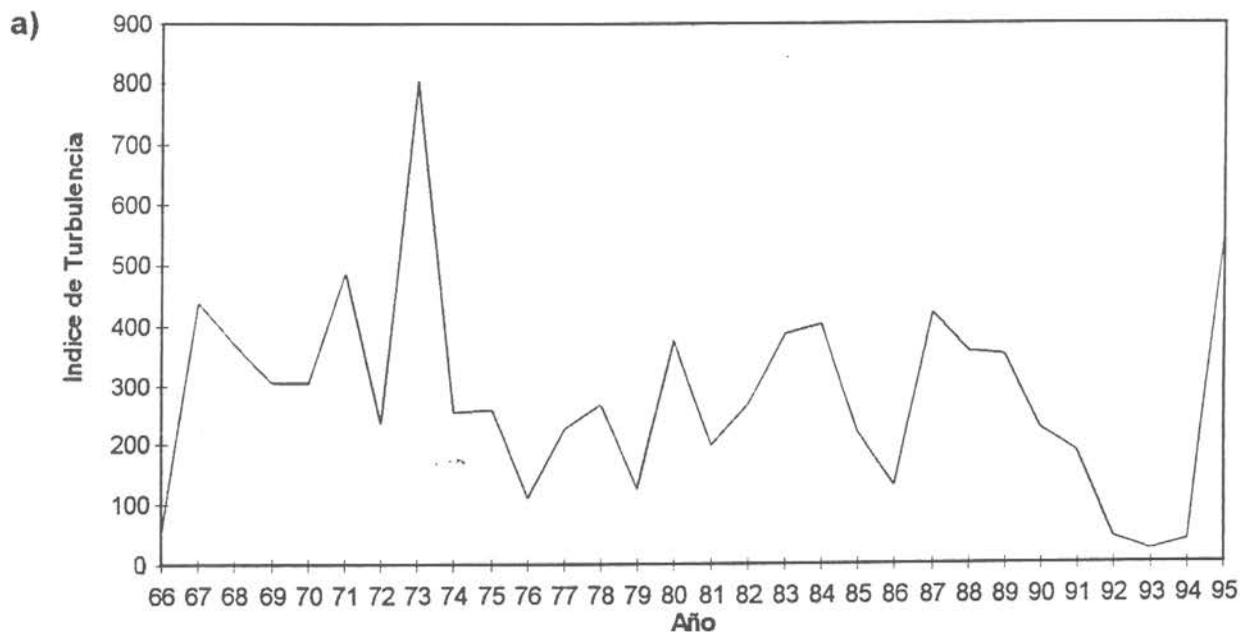


FIG. 56 A) PROMEDIOS ANUALES DE LA TEMPERATURA SUPERFICIAL DEL MAR -TSM (TALCAHUANO: PERIODO 1965-1995) B) CICLO MEDIO ANUAL DE LA TEMPERATURA SUPERFICIAL DEL MAR (TALCAHUANO)

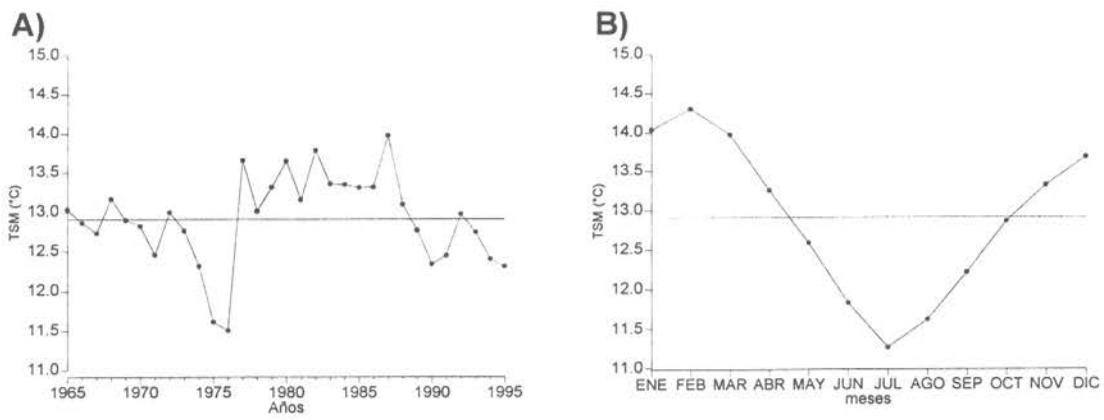


FIG. 57 PROMEDIOS MENSUALES DE LA TEMPERATURA SUPERFICIAL DEL MAR -TSM (TALCAHUANO : PERIODO 1965-1995)

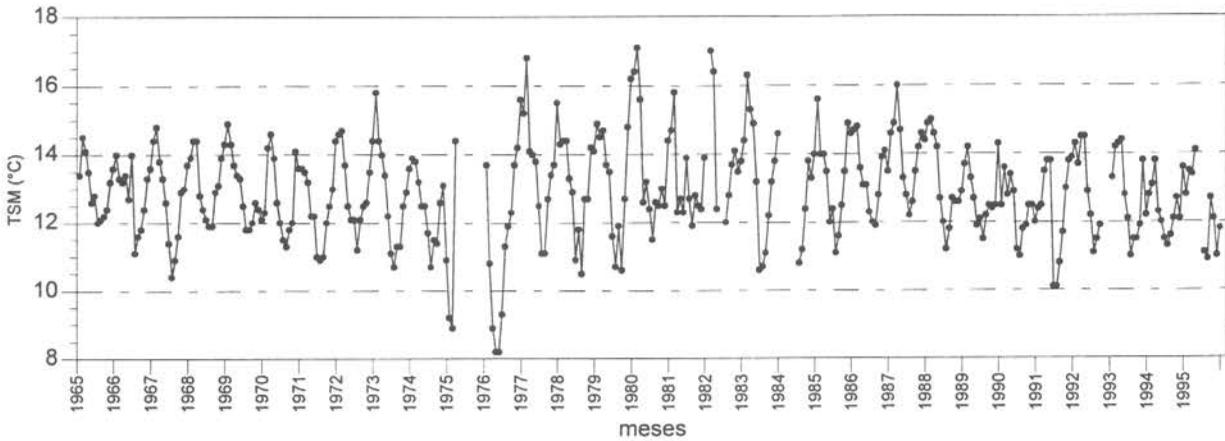


FIG. 58 PROMEDIOS MENSUALES DE LA TEMPERATURA SUPERFICIAL DEL MAR (TALCAHUANO) A) PROMEDIOS DE AGOSTO B) PROMEDIOS DE SEPTIEMBRE

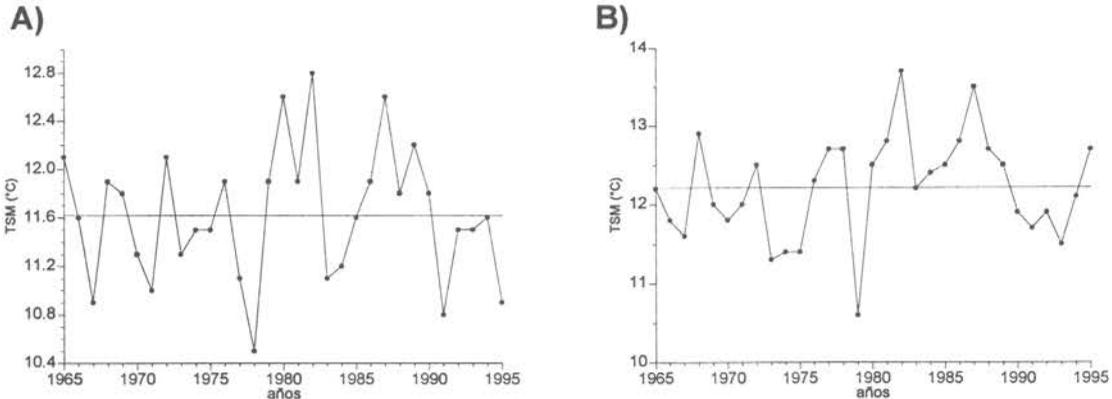


FIG. 59 A) PROMEDIOS ANUALES DEL INDICE DE SURGENCIA -IS (TALCAHUANO : PERIODO 1971-1995) B) CICLO MEDIO ANUAL DEL INDICE DE SURGENCIA (TALCAHUANO)

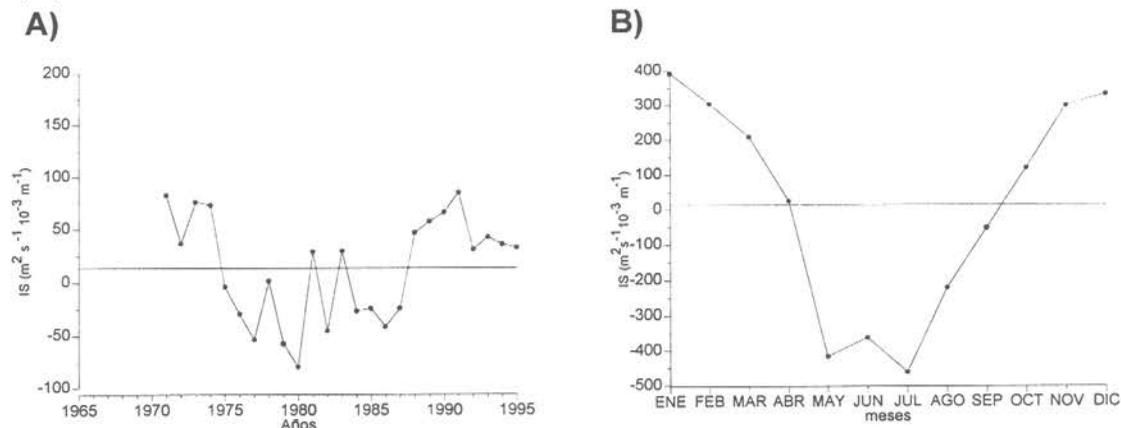


FIG. 60 PROMEDIOS MENSUALES DEL INDICE DE SURGENCIA -IS (TALCAHUANO : PERIODO 1970-1995)

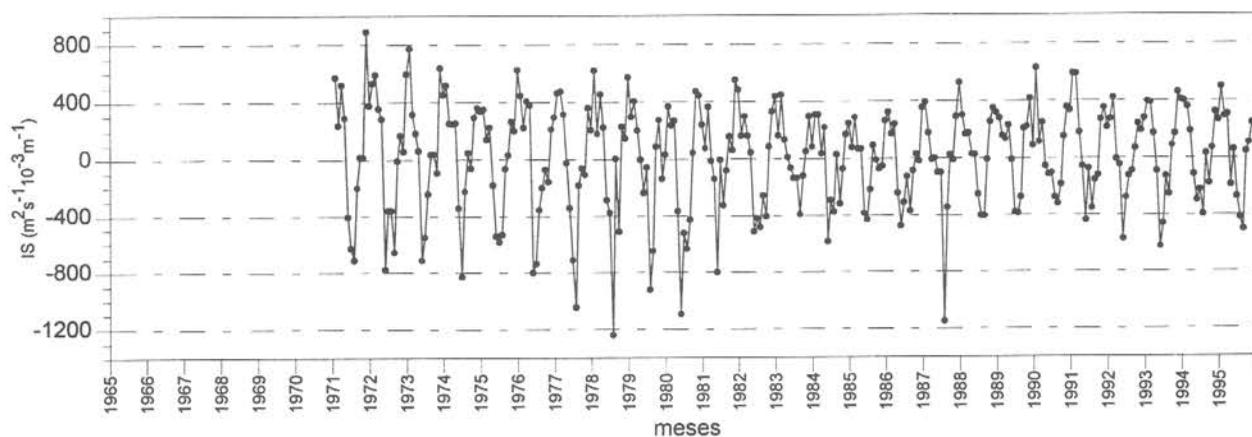


FIG. 61 PROMEDIOS MENSUALES DEL INDICE DE SURGENCIA -IS (TALCAHUANO) A) PROMEDIOS DE AGOSTO B) PROMEDIOS DE SEPTIEMBRE

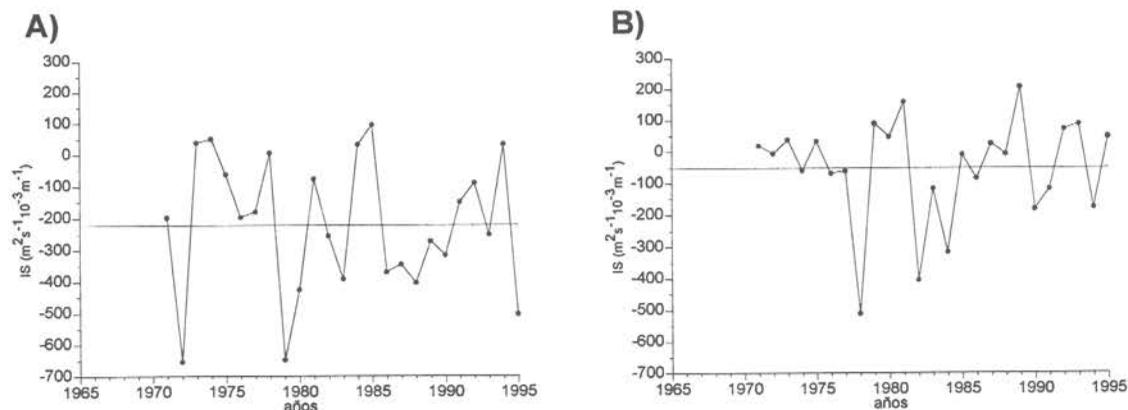


FIG. 62 A) PROMEDIOS ANUALES DEL INDICE DE TURBULENCIA - W^{β} (TALCAHUANO : PERIODO 1971-1995) B) CICLO MEDIO ANUAL DEL INDICE DE TURBULENCIA (TALCAHUANO)

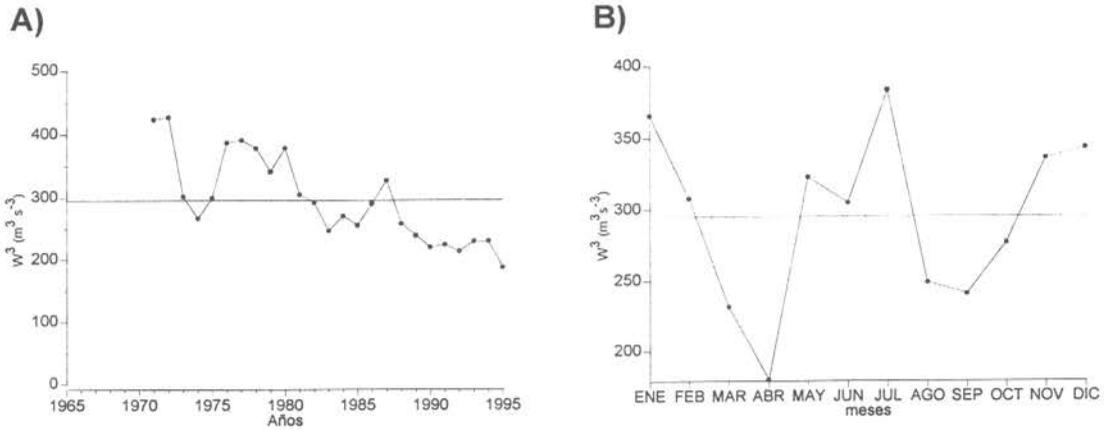


FIG. 63 PROMEDIOS MENSUALES DEL INDICE DE TURBULENCIA - W^{β} (TALCAHUANO : PERIODO 1970-1995)

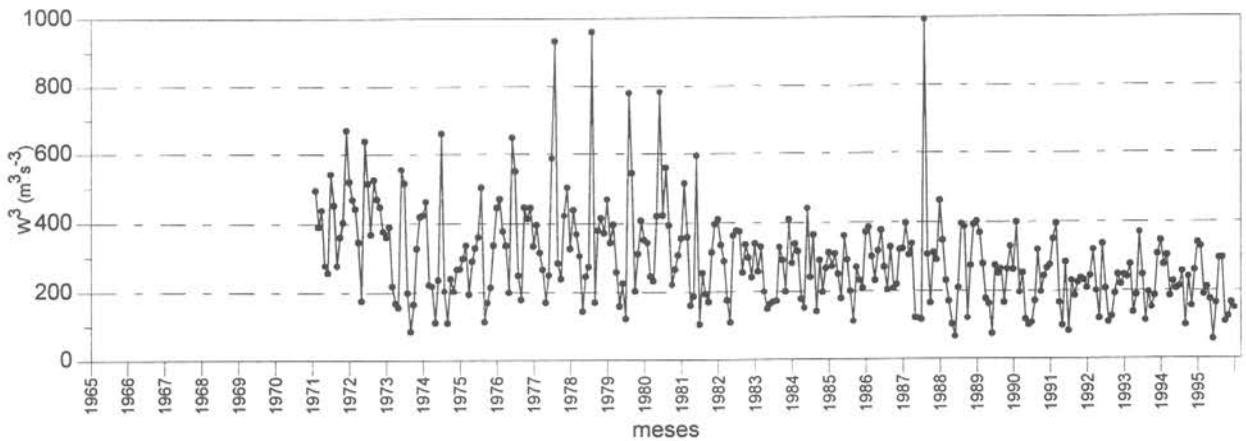


FIG. 64 PROMEDIOS MENSUALES DEL INDICE DE TURBULENCIA - W^{β} (TALCAHUANO) A) PROMEDIOS DE AGOSTO B) PROMEDIOS DE SEPTIEMBRE

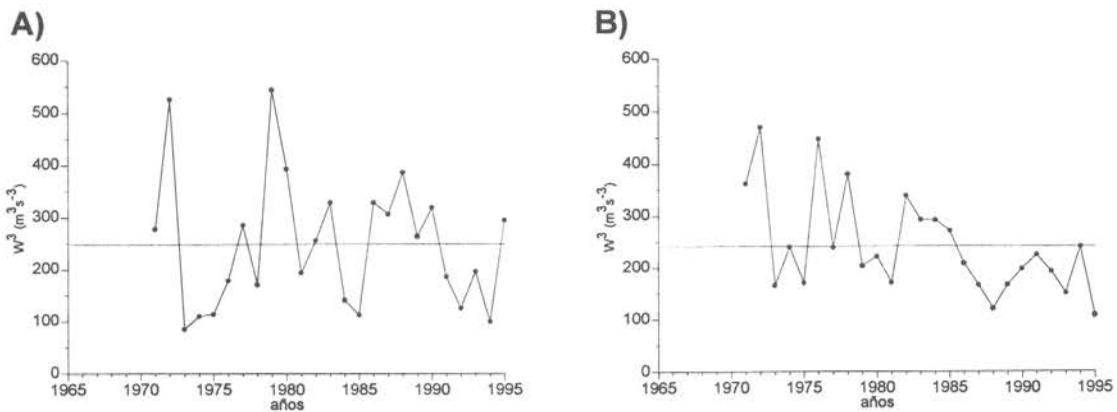


FIG. 65 A) PROMEDIOS ANUALES DEL NIVEL MEDIO DEL MAR - NMM (TALCAHUANO : PERIODO 1965-1995) B) CICLO MEDIO ANUAL DEL NIVEL MEDIO DEL MAR (TALCAHUANO)

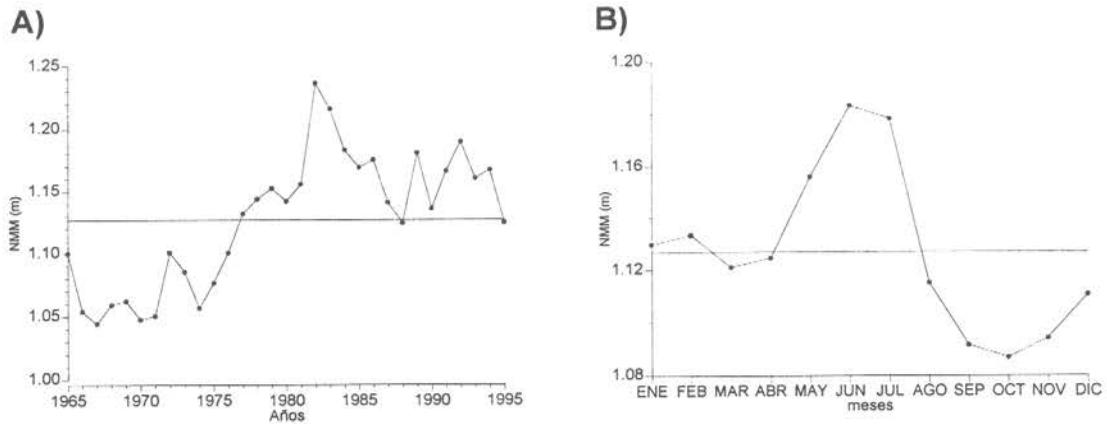


FIG. 66 PROMEDIOS MENSUALES DEL NIVEL MEDIO DEL MAR -NMM (TALCAHUANO : PERIODO 1965-1995)

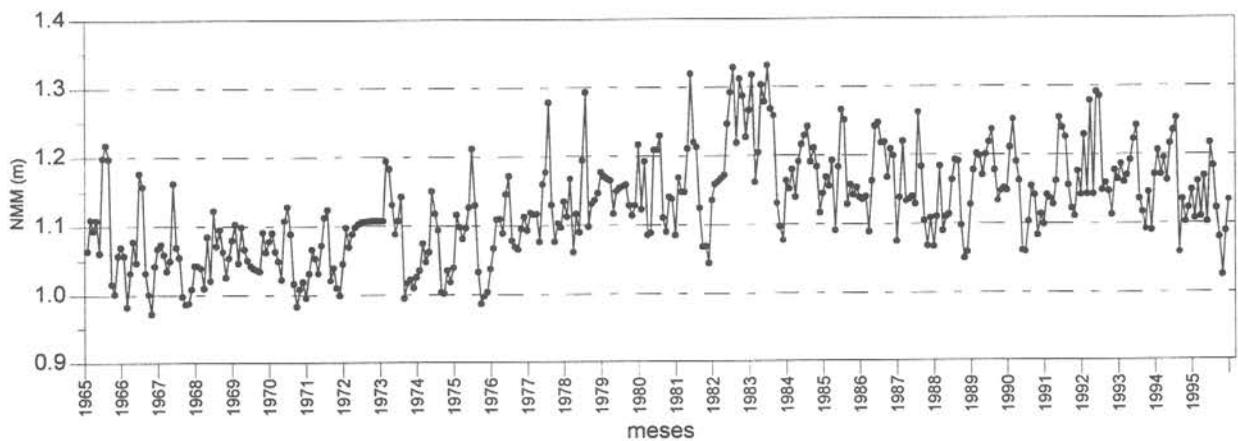


FIG. 67 PROMEDIOS MENSUALES DEL NIVEL MEDIO DEL MAR -NMM (TALCAHUANO) A) PROMEDIOS DE AGOSTO B) PROMEDIOS DE SEPTIEMBRE

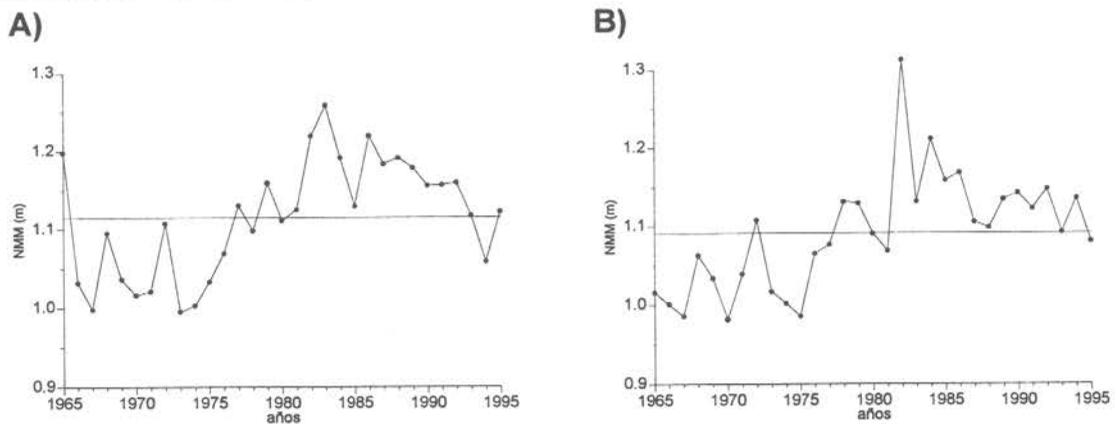


FIG. 68 FUNCIONES DE A) AUTOCORRELACION Y DE B) AUTOCORRELACION PARCIAL DE LA SERIE DE TEMPERATURA SUPERFICIAL DEL MAR -TSM EN TALCAHUANO

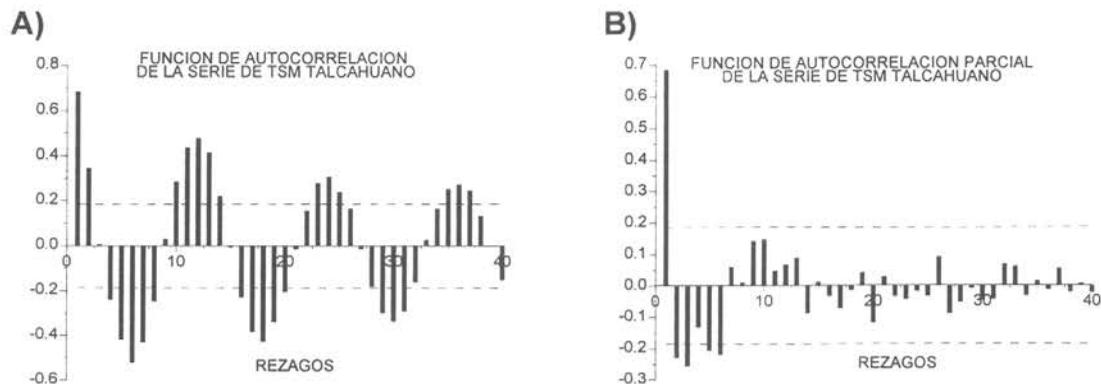


FIG. 69 VALORES PREDICHOS DE TSM TALCAHUANO (L.C. : LIMITES DE CONFIANZA SUPERIOR E INFERIOR)

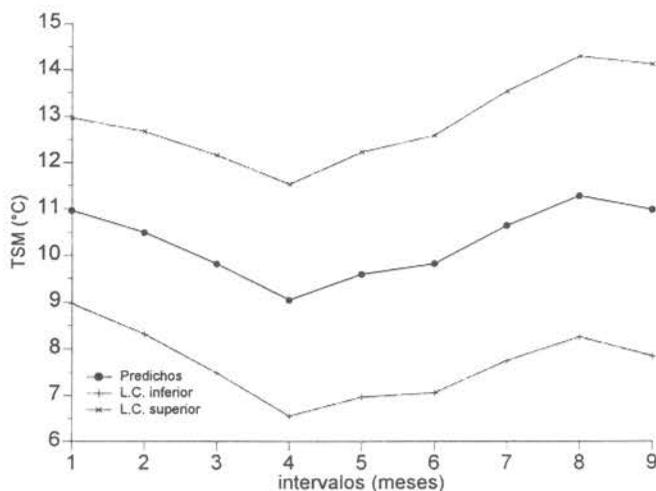


FIG. 70 PROMEDIOS MENSUALES DE LA TEMPERATURA SUPERFICIAL DEL MAR -TSM (TALCAHUANO : PERIODO 1965-1995)

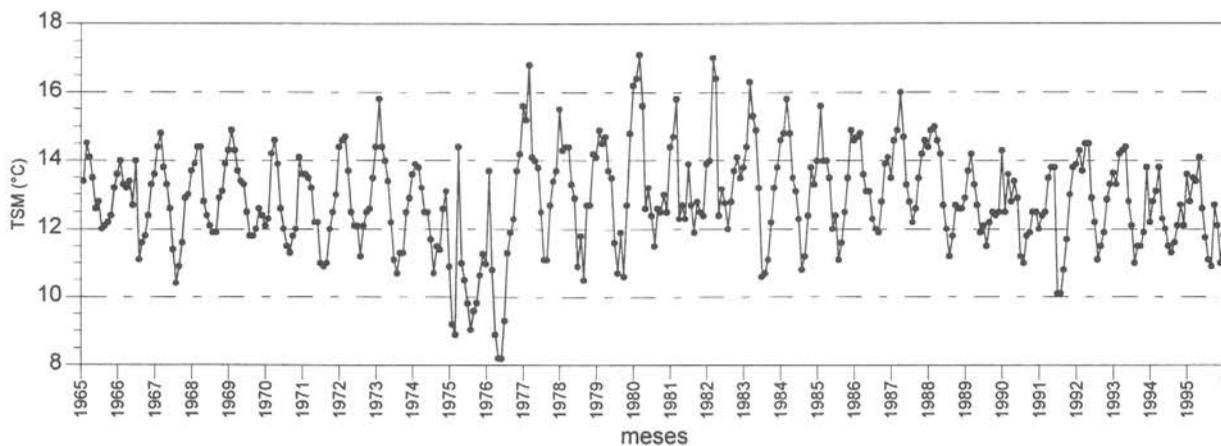


FIG. 71 FUNCIONES DE AUTOCORRELACION (ACF) Y DE AUTOCORRELACION PARCIAL (PACF) PARA LAS SERIES DE TEMPERATURA SUPERFICIAL DEL MAR (TSM) DE VALPARAISO Y TALCAHUANO. A) ACF TSM VALPARAISO B) PACF TSM VALPARAISO C) ACF TSM TALCAHUANO D) PACF TSM TALCAHUANO E) FUNCION DE CORRELACION CRUZADA (CCF) TSM VALPARAISO - TSM TALCAHUANO

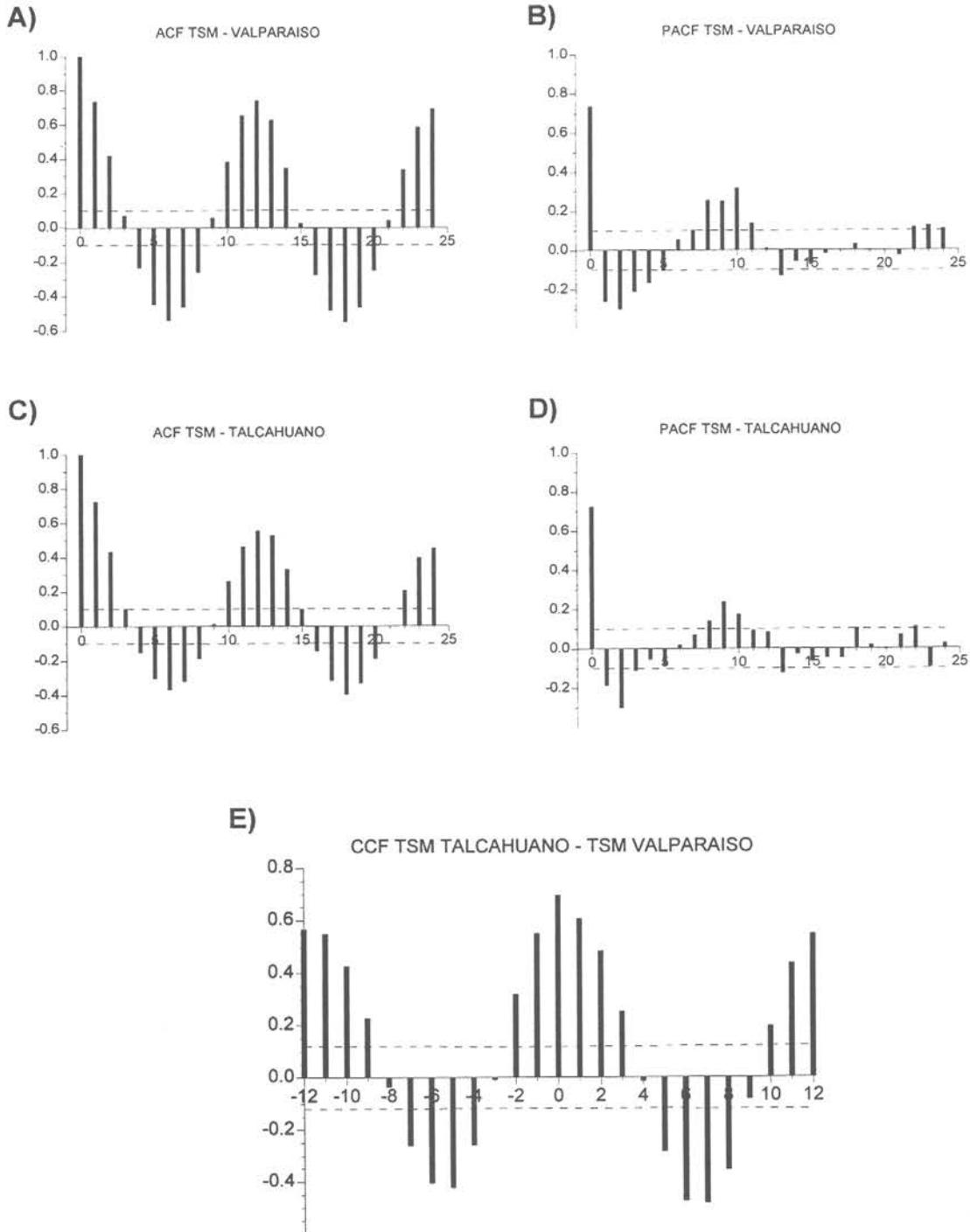


FIG. 72 A) ANOMALIA DE LA TSM ANUAL DE VALPARAISO Y TALCAHUANO B) ANOMALIA DE LA TSM PROMEDIO ENTRE AMBAS LOCALIDADES Y C) PERIODOS FRIOS (66-76; 89-94) Y CALIDO DE LA TSM (77-88)

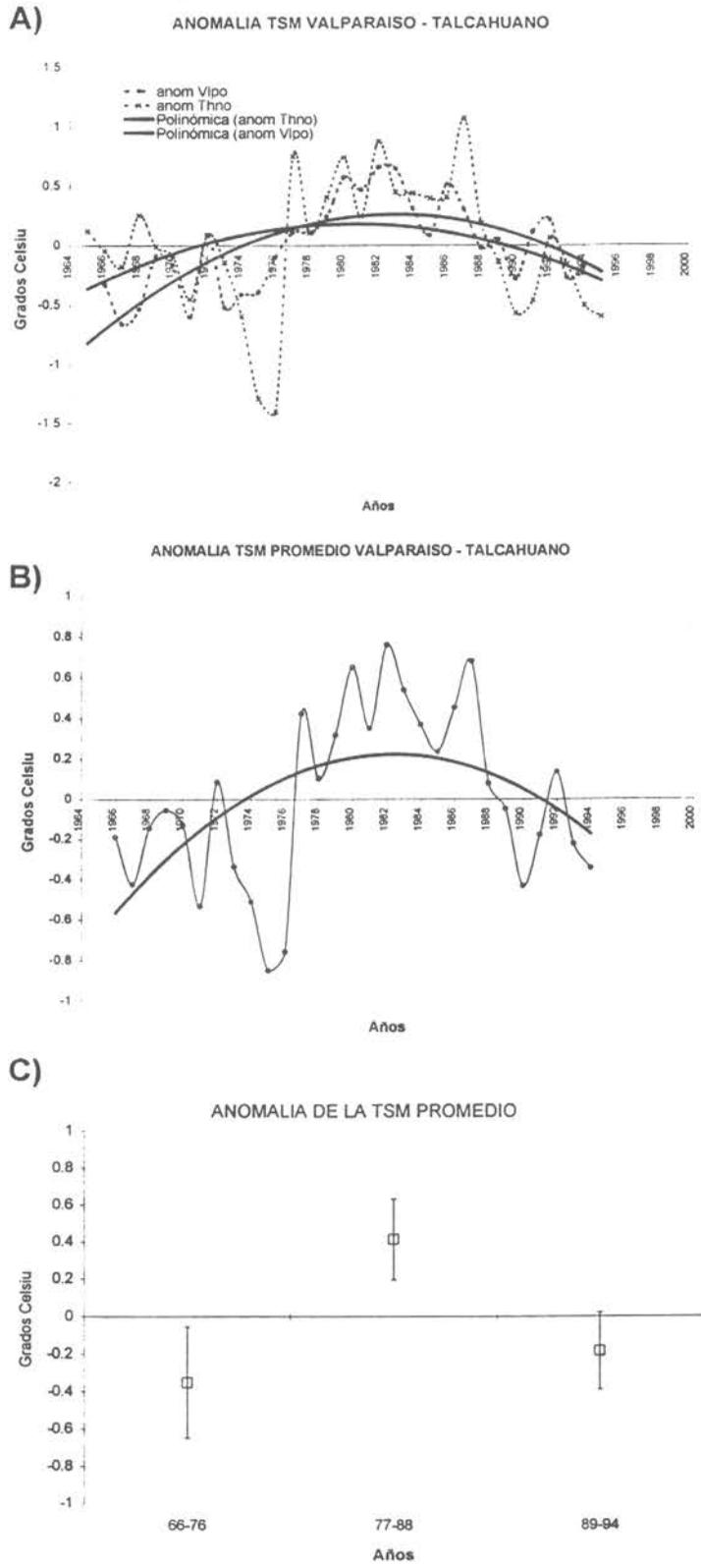


FIG. 73 FUNCIONES DE AUTOCORRELACION (ACF) Y DE AUTOCORRELACION PARCIAL (PACF) PARA LAS SERIES DEL INDICE DE SURGENCIA (IS) DE VALPARAISO Y TALCAHUANO. A) ACF IS VALPARAISO B) PACF IS VALPARAISO C) ACF IS TALCAHUANO D) PACF IS TALCAHUANO E) FUNCION DE CORRELACION CRUZADA (CCF) IS VALPARAISO - TSM TALCAHUANO

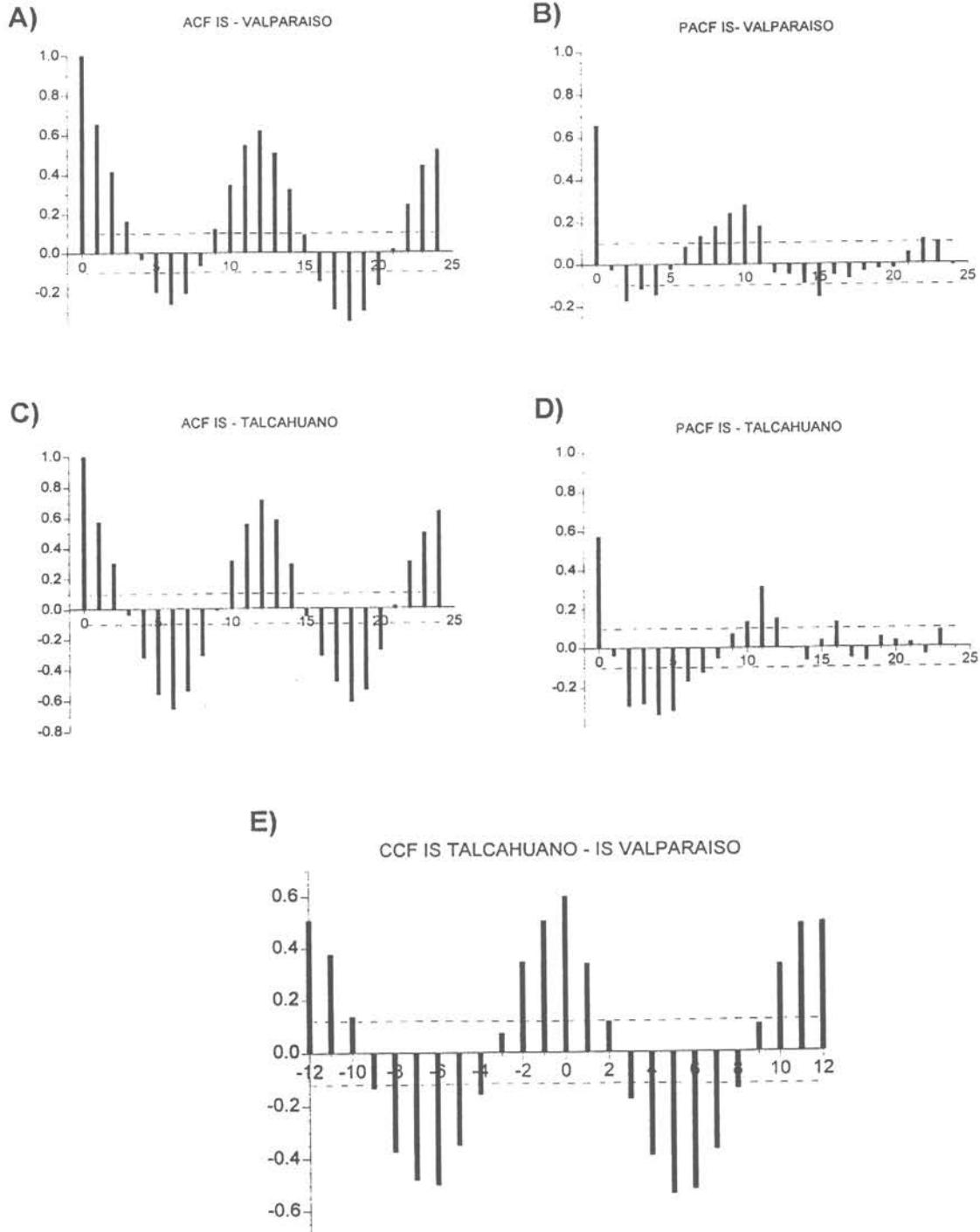


FIG. 74 INDICE DE TURBULENCIA (W^3) DE VALPARAISO Y TALCAHUANO. A) FUNCION DE AUTOCORRELACION (ACF) DE W^3 VALPARAISO B) FUNCION DE AUTOCORRELACION PARCIAL (PACF) DE W^3 VALPARAISO C) ACF W^3 TALCAHUANO D) PACF W^3 TALCAHUANO E) FUNCION DE CORRELACION CRUZADA (CCF) W^3 VALPARAISO - TSM TALCAHUANO. F) ACF NIVEL MEDIO DEL MAR (NMM) DE TALCAHUANO Y G) PACF NIVEL MEDIO DEL MAR (NMM)

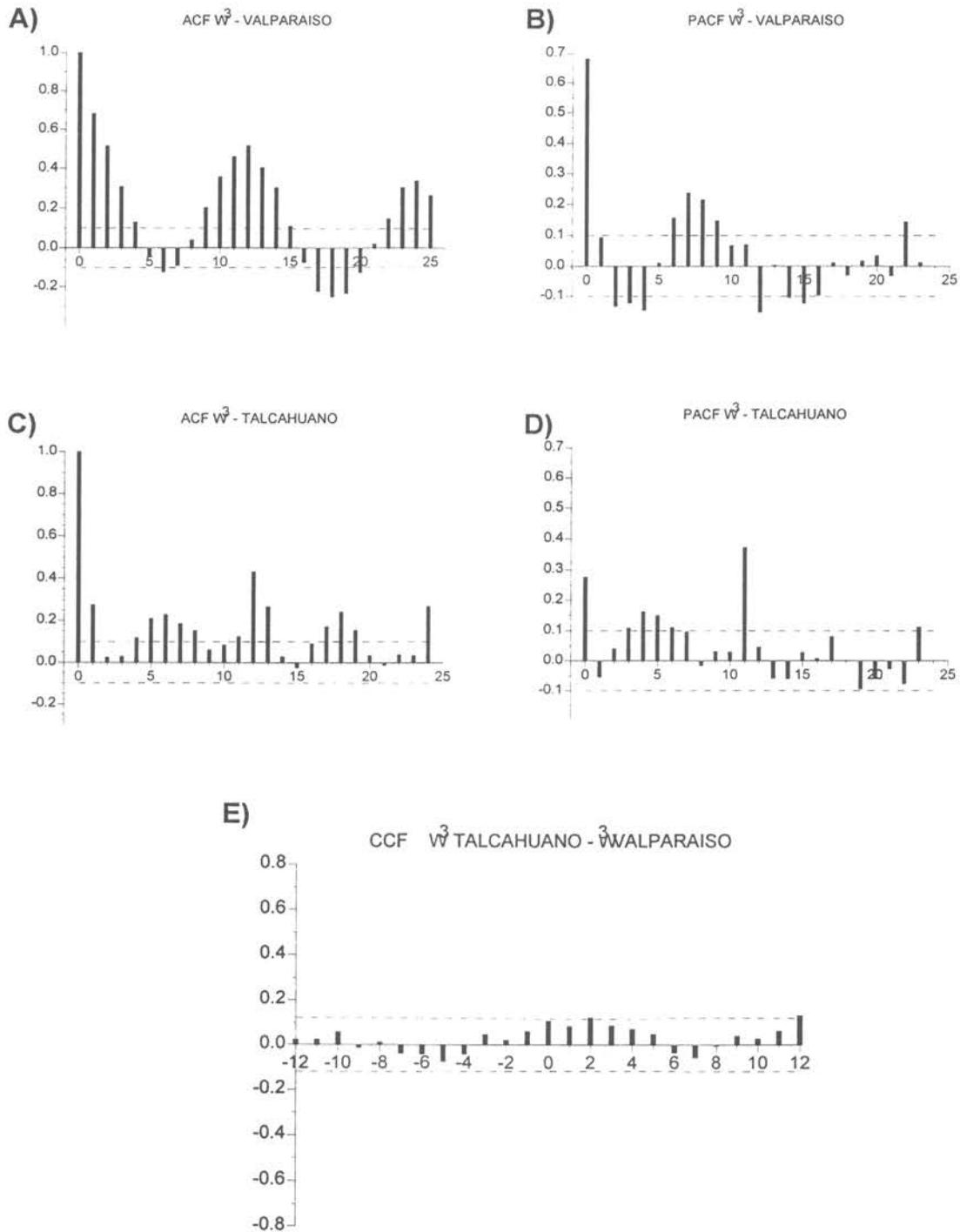
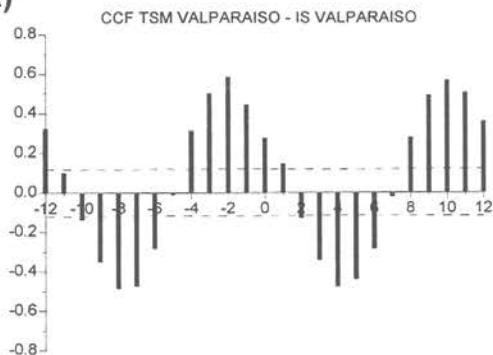
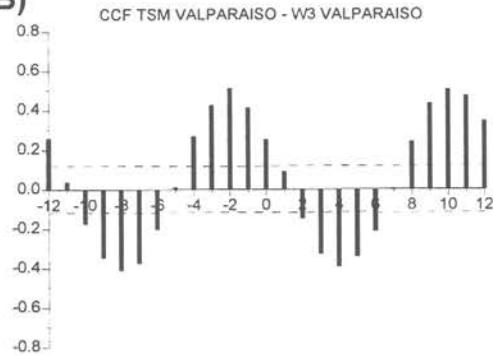


FIG. 75 FUNCIONES DE CORRELACION CRUZADA ENTRE SERIES DE TIEMPO DE VALPARAISO Y TALCAHUANO A) CCF TSM VALPARAISO - IS VALPARAISO B) CCF TSM VALPARAISO - W^3 VALPARAISO C) CCF IS VALPARAISO - W^3 VALPARAISO D) CCF TSM TALCAHUANO - IS TALCAHUANO E) CCF TSM TALCAHUANO - W^3 TALCAHUANO F) CCF TSM TALCAHUANO - NMM TALCAHUANO G) CCF IS TALCAHUANO - W^3 TALCAHUANO H) CCF IS TALCAHUANO - NMM TALCAHUANO I) CCF W^3 TALCAHUANO - NMM TALCAHUANO

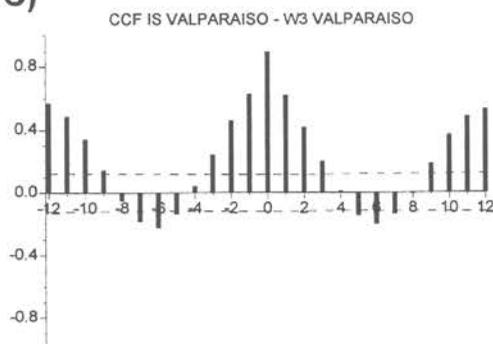
A)



B)



C)



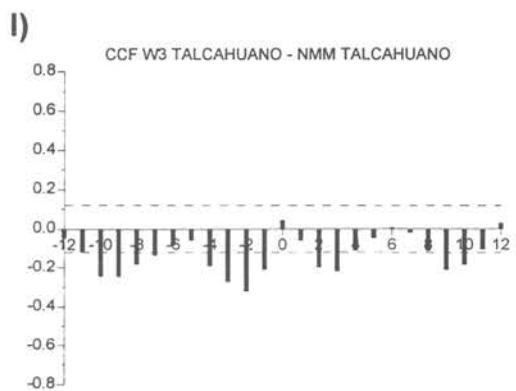
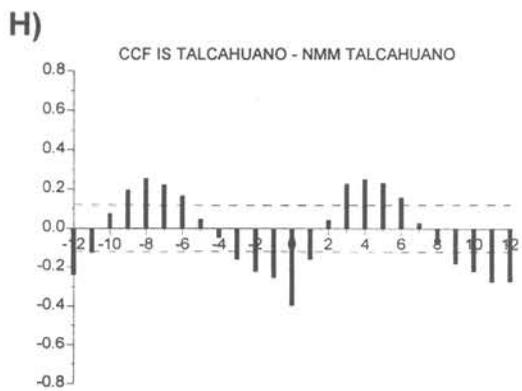
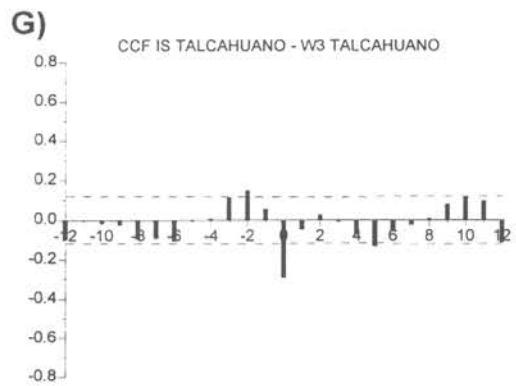
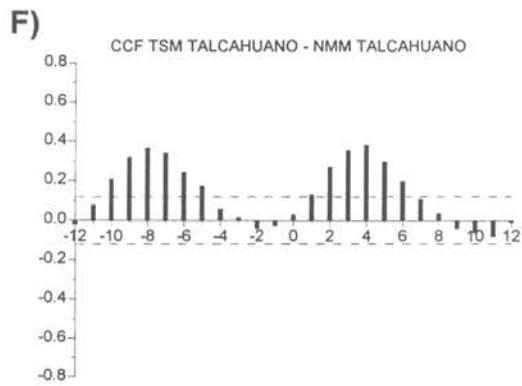
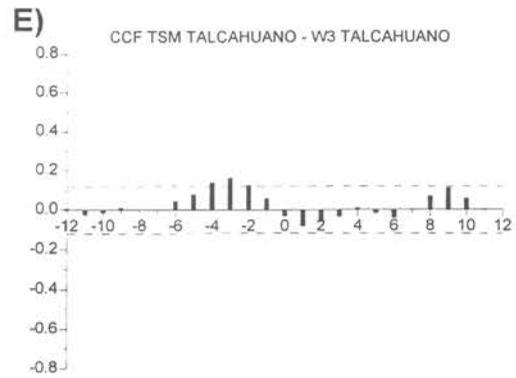
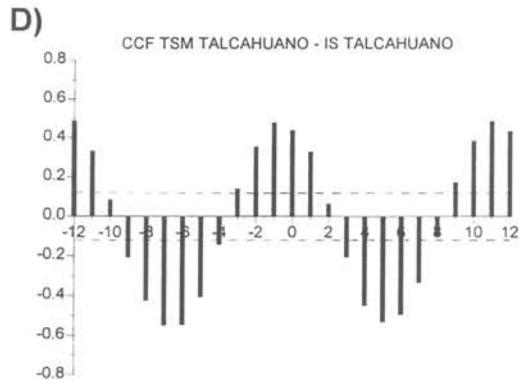


FIG. 76 AJUSTE DE FUNCIONES ACE PARA AGOSTO EN EL AREA TOTAL

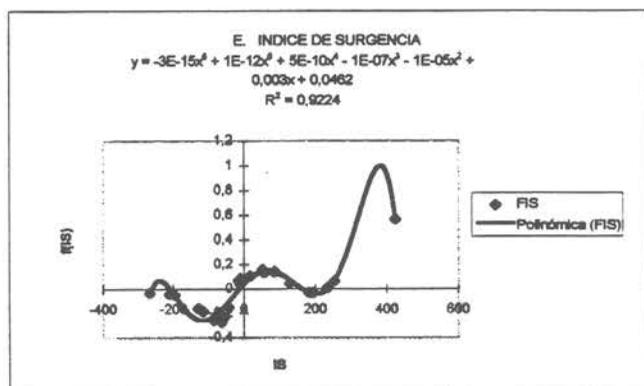
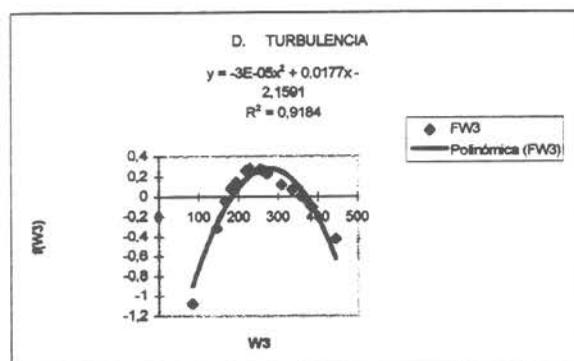
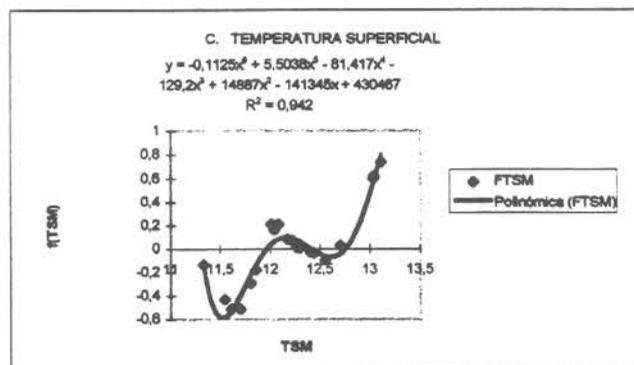
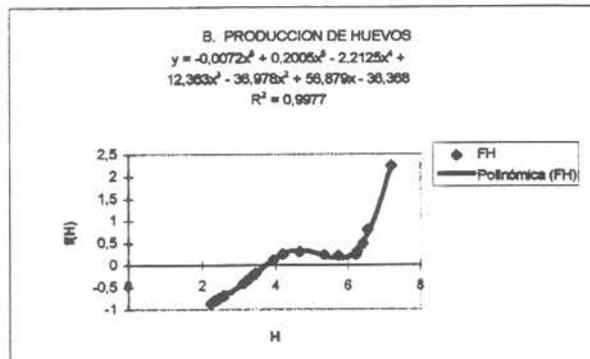
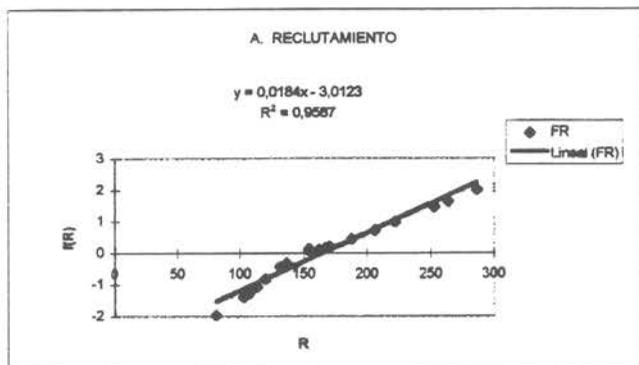


FIG. 77 FUNCIONES PARA SEPTIEMBRE EN EL AREA TOTAL

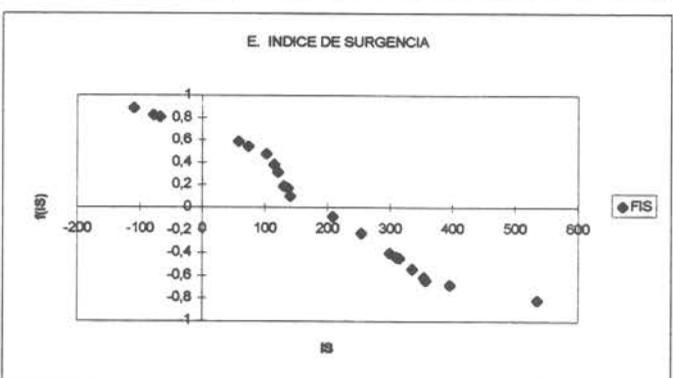
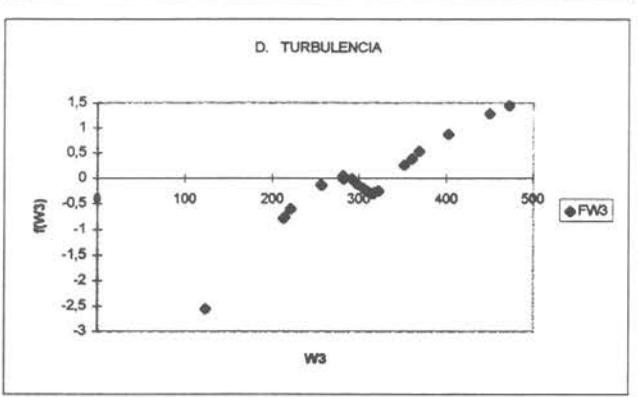
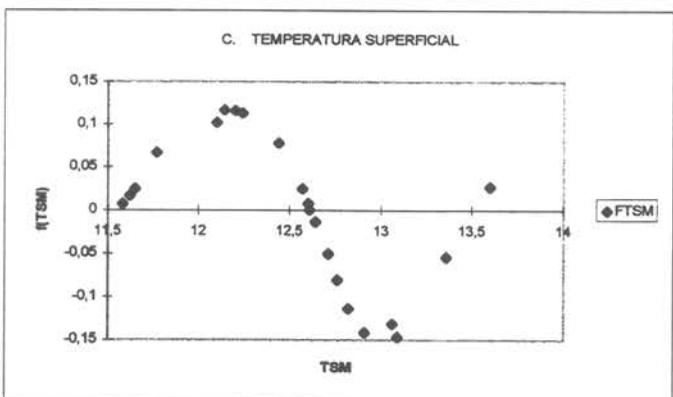
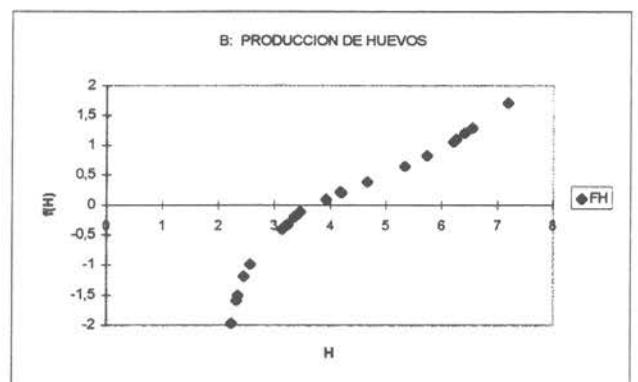
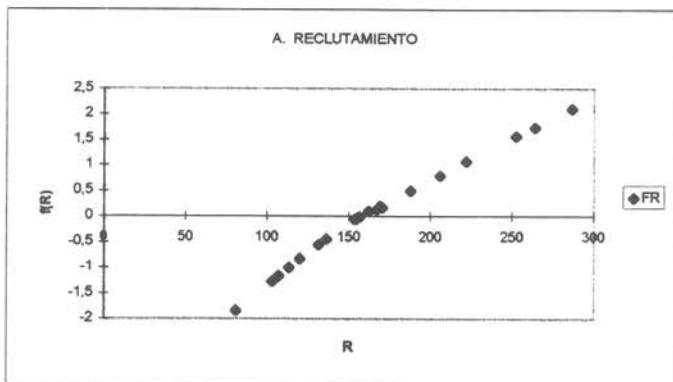


FIG. 78 AJUSTE DE FUNCIONES PARA AGOSTO EN EL AREA TOTAL

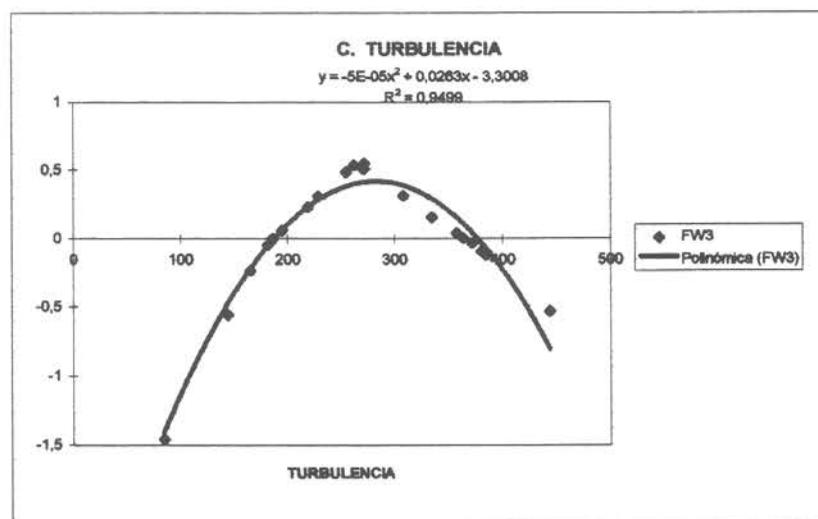
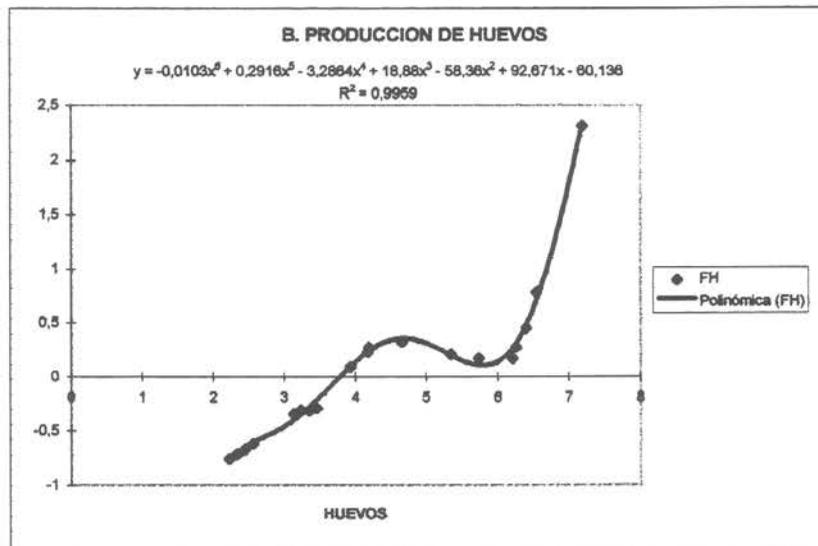
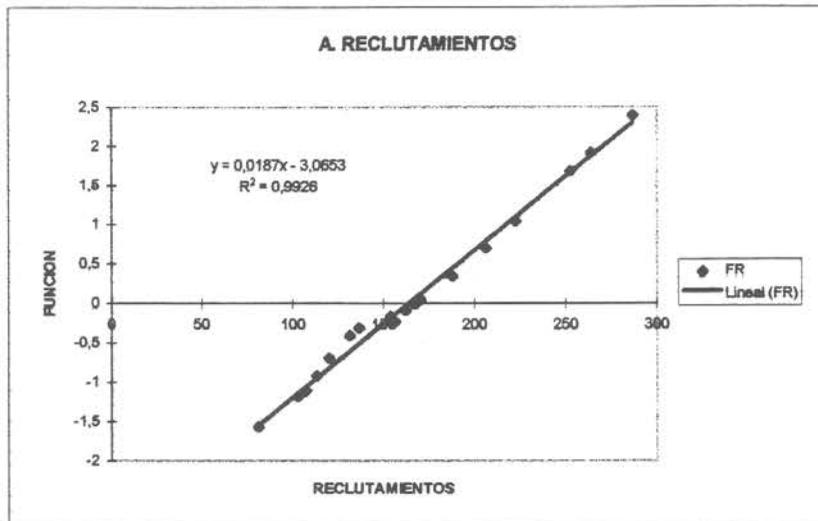


FIG. 79 FUNCIONES DE AGOSTO DE VALPARAISO

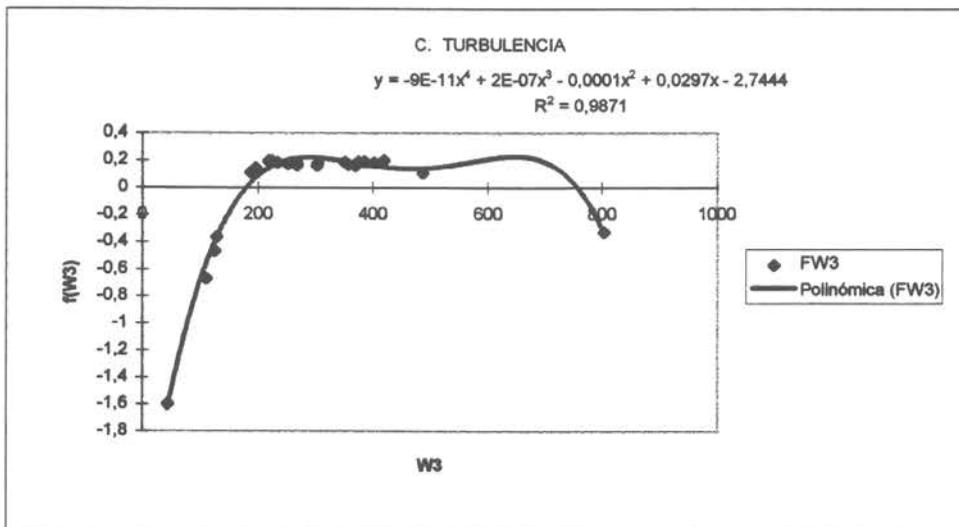
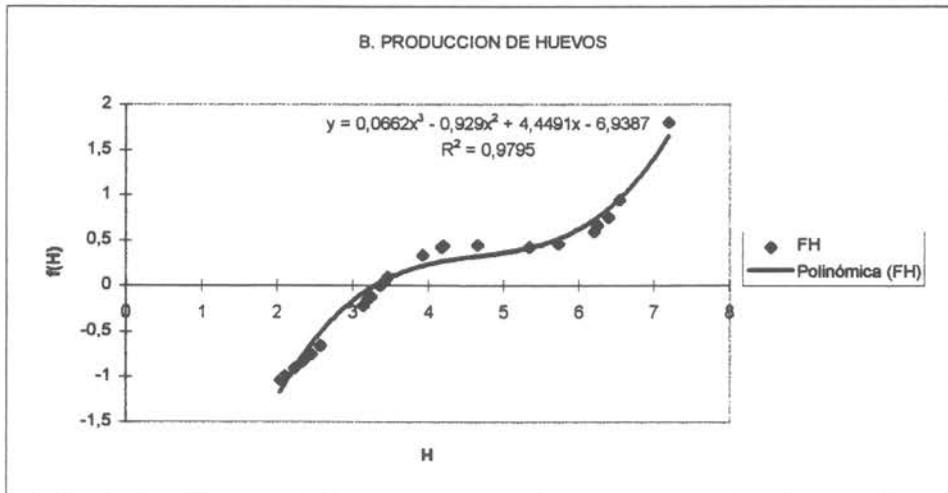
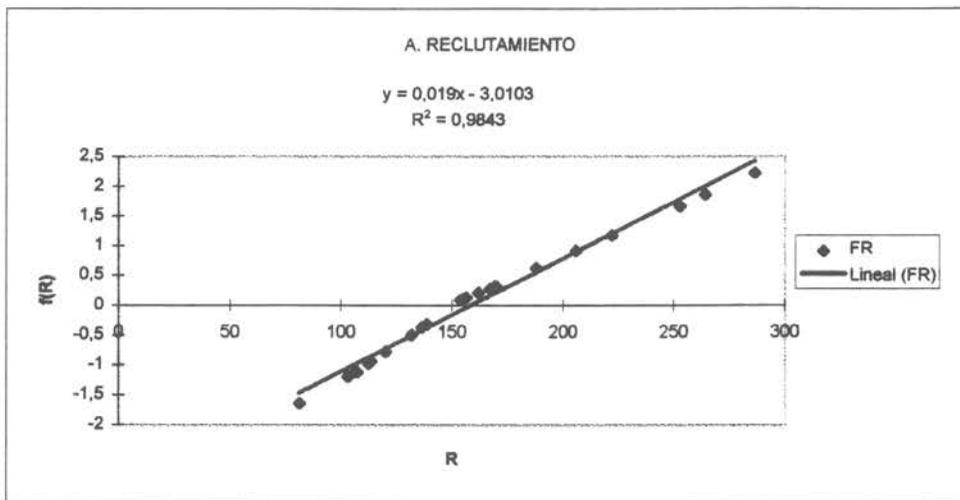


FIG. 80 FUNCIONES DE SEPTIEMBRE DE VALPARAISO

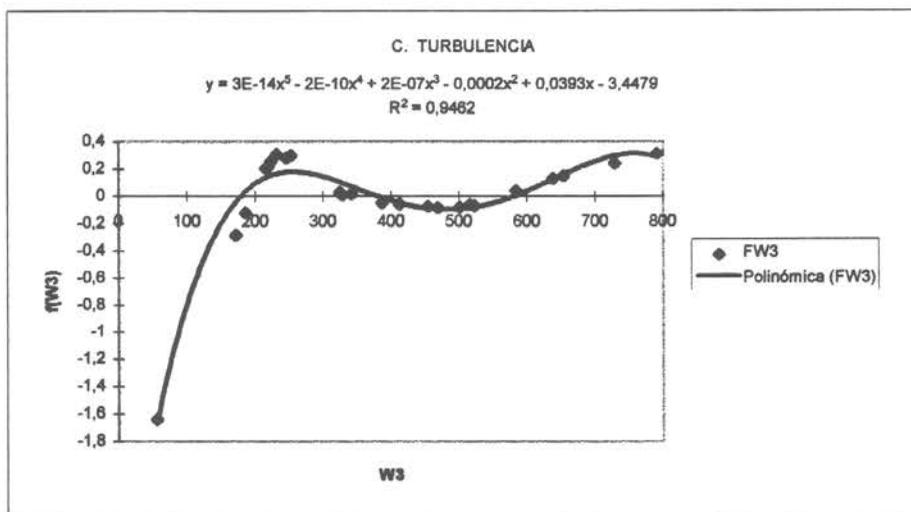
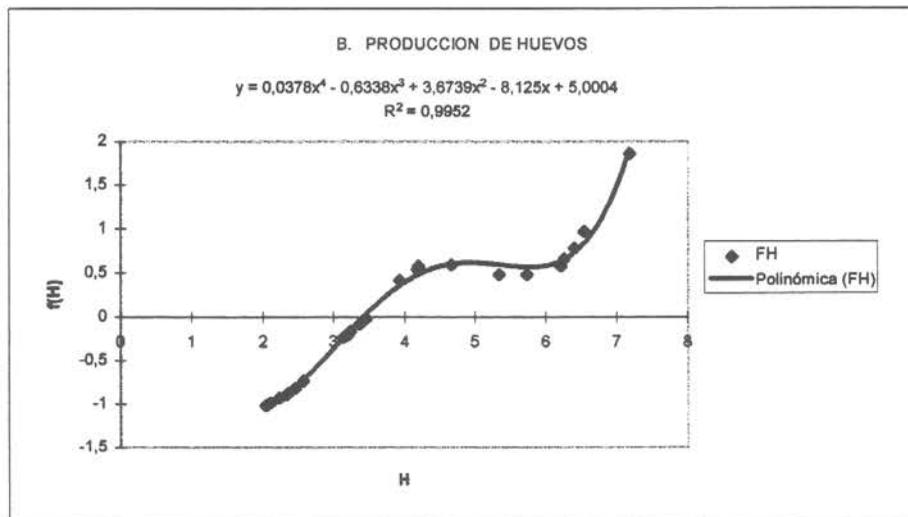
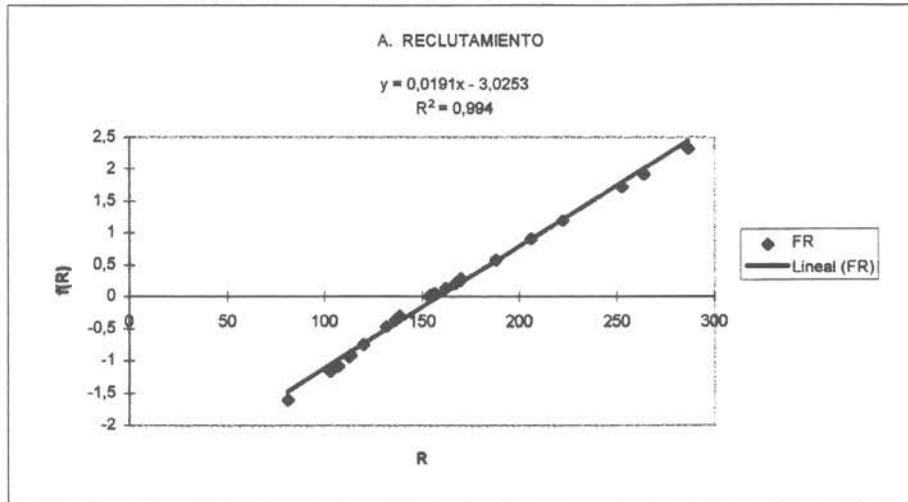


FIG. 81 FUNCIONES DE AGOSTO DE TALCAHUANO

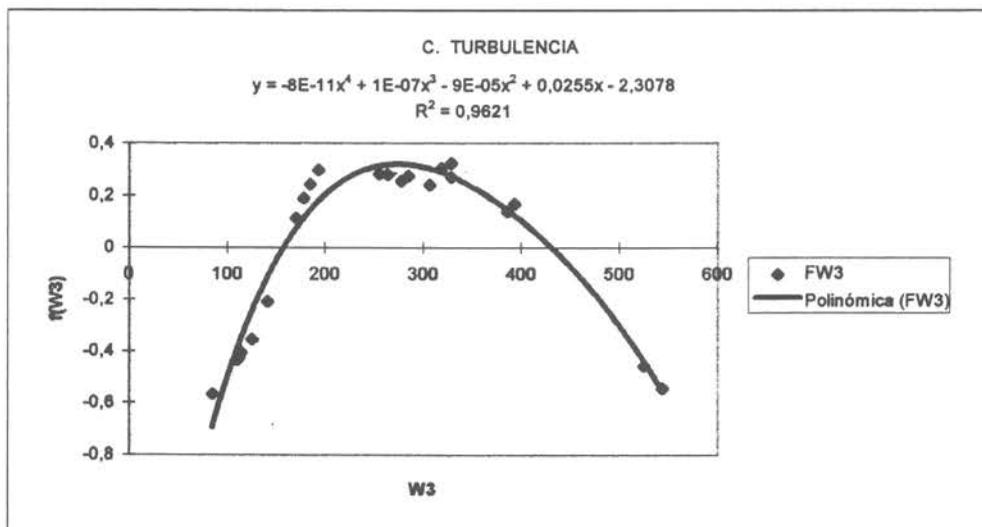
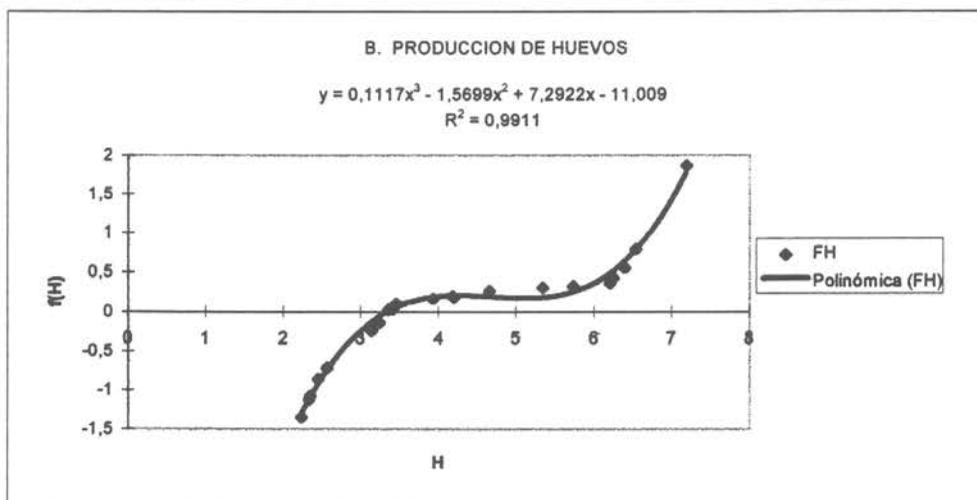
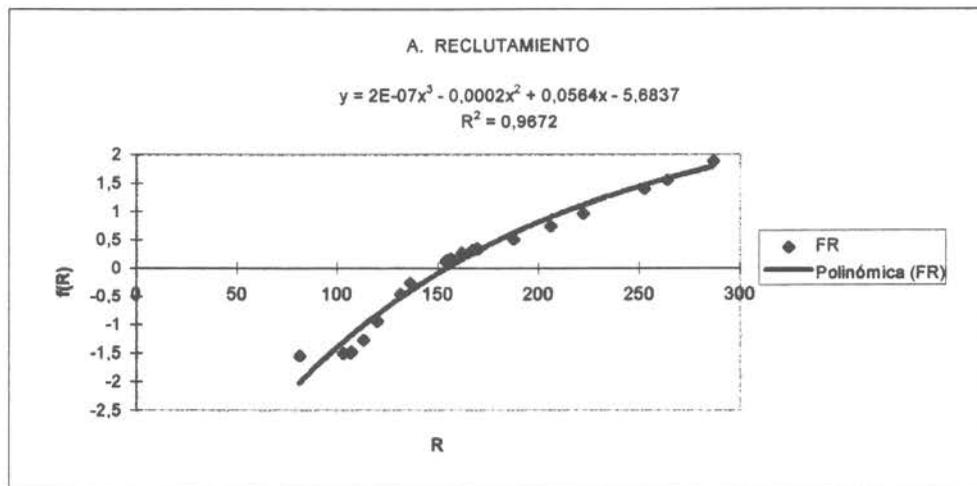


FIG. 82 FUNCIONES DE SEPTIEMBRE DE TALCAHUANO

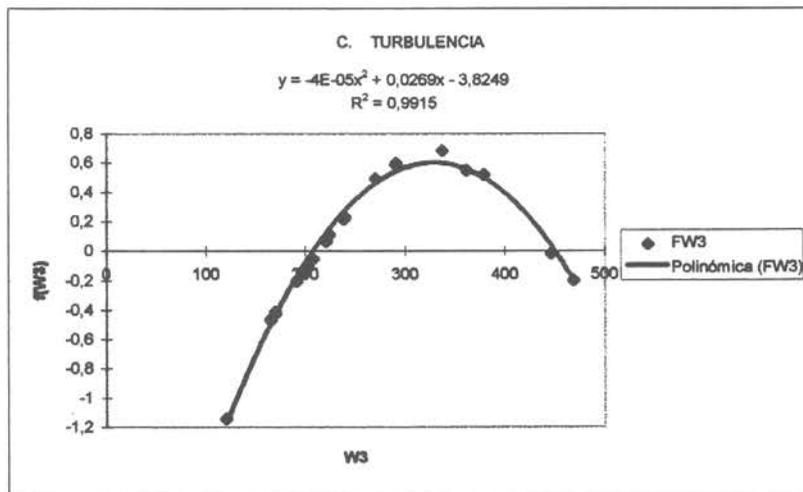
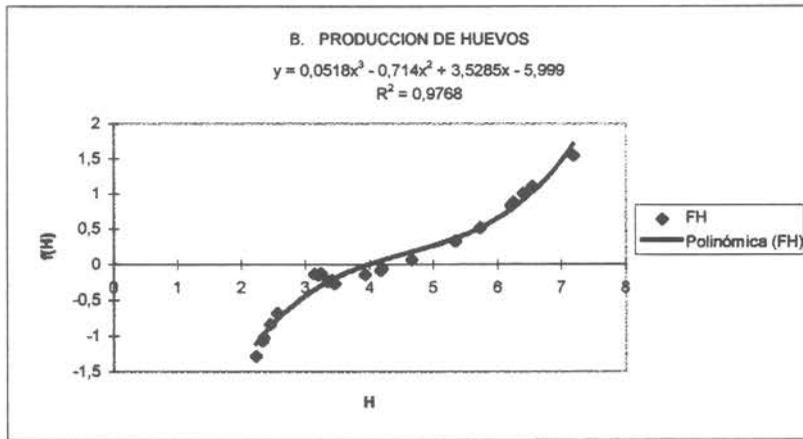
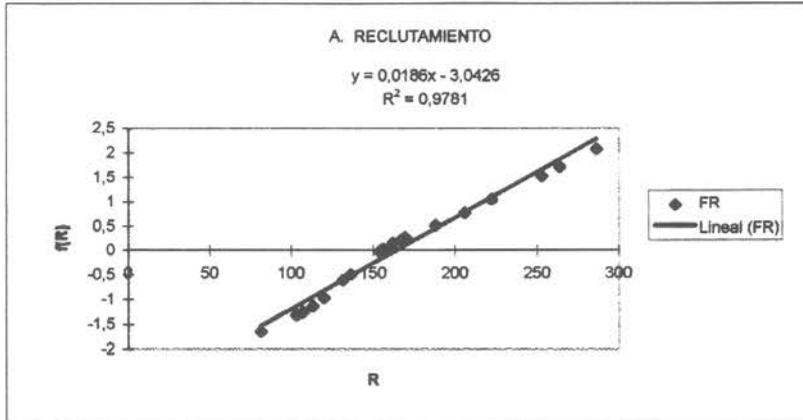


FIG. 83 RECLUTAMIENTOS ESTIMADOS CON ACE PARA AGOSTO EN EL AREA TOTAL

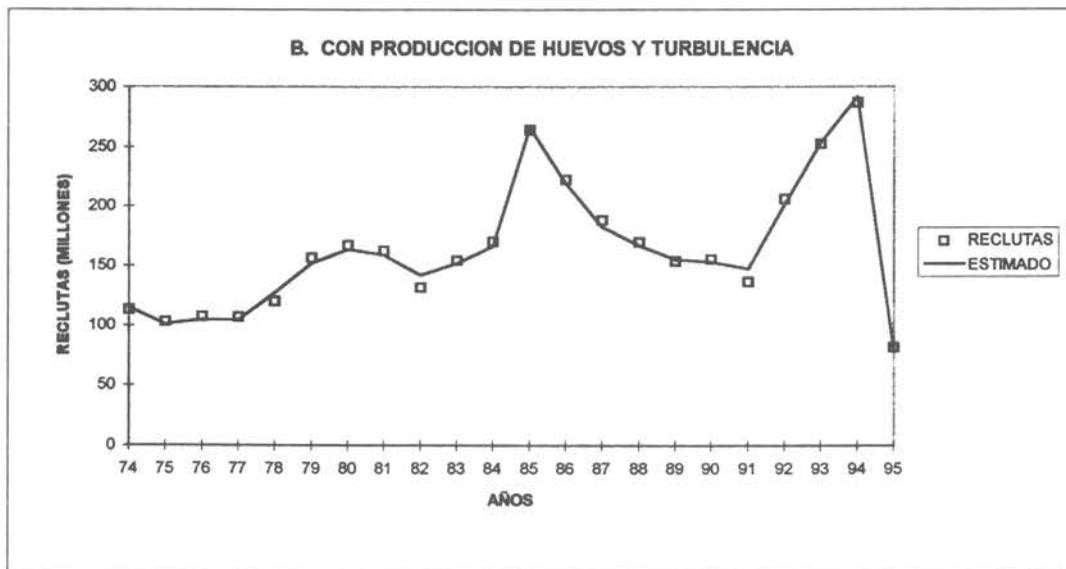
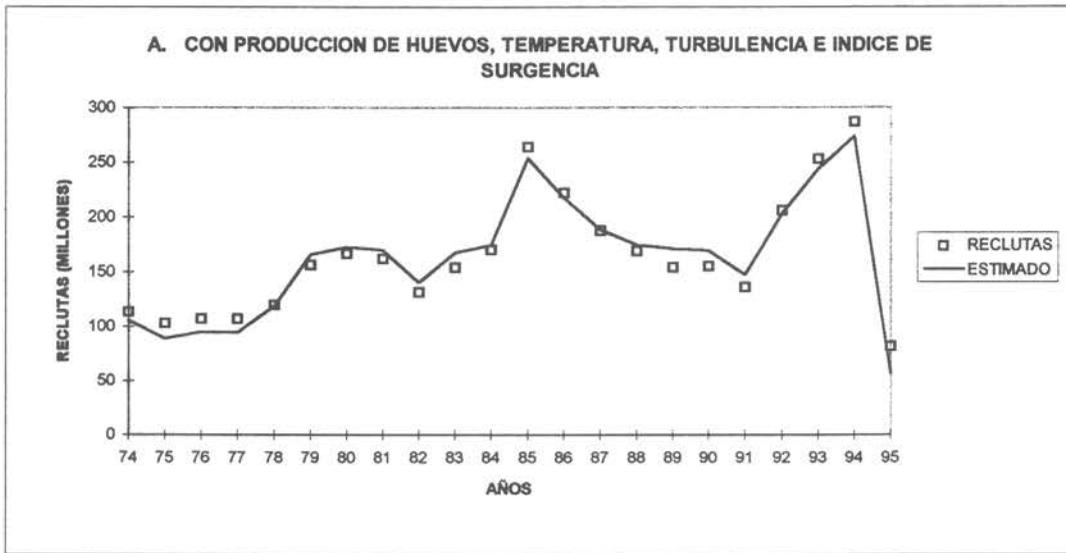


FIG. 84 MODELO DE EXITO REPRODUCTIVO CON TURBULENCIA ($LN(R/H) = f(W3(T_T+3))$)

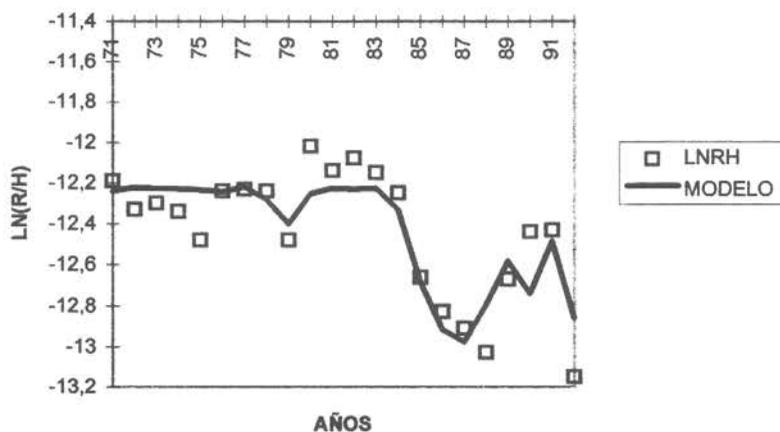


FIG. 85 RESIDUALES DEL MODELO DE EXITO REPRODUCTIVO ($LN(R/H) = f(W3(T_T+3))$)

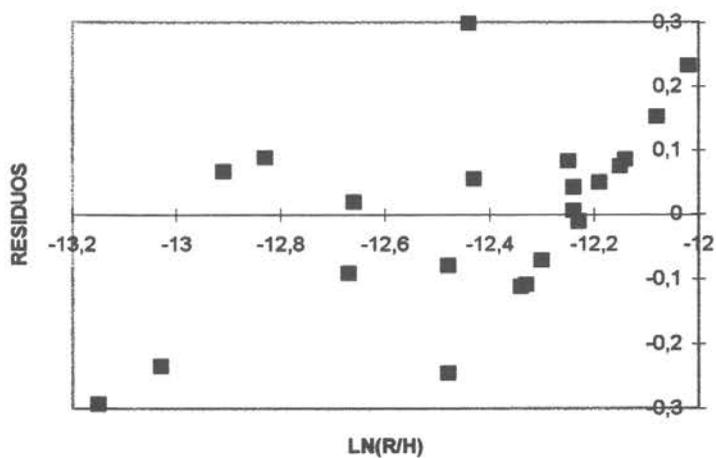


FIG. 86 MODELO DE EXITO REPRODUCTIVO
 $R/H = W(T, T+3)$

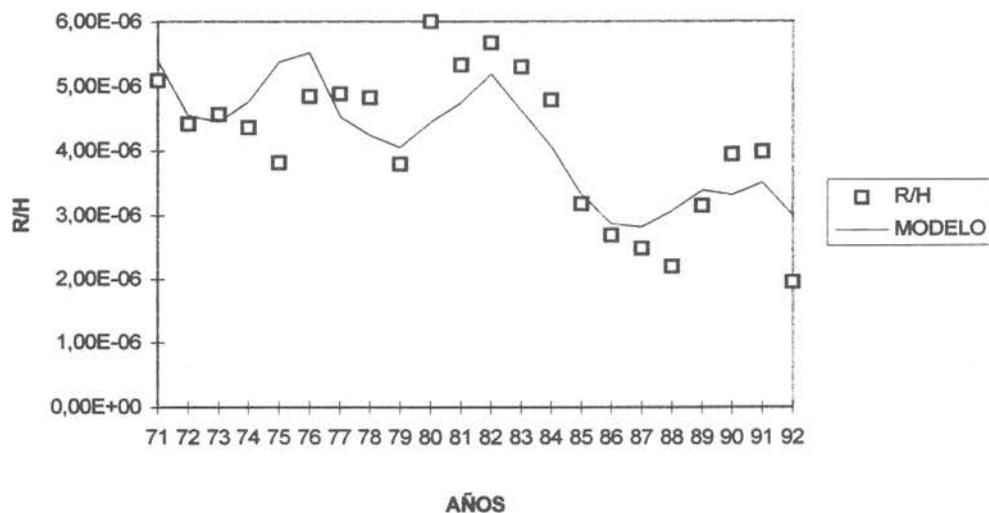


FIG. 87 RESIDUALES DE MODELO DE EXITO REPRODUCTIVO, $R/H = W(T, T+3)$

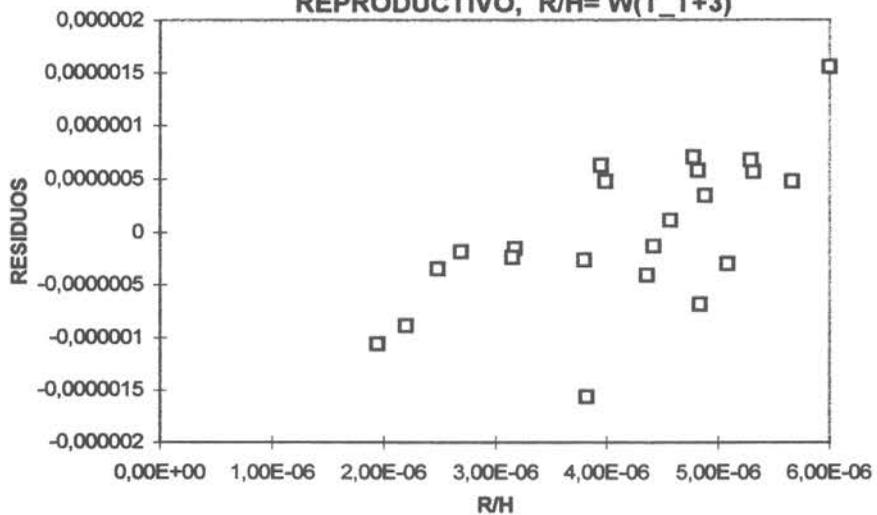


FIG. 88 PRUEBA N°1 DEL FILTRO DE WELCH CON DATOS SIMULADOS

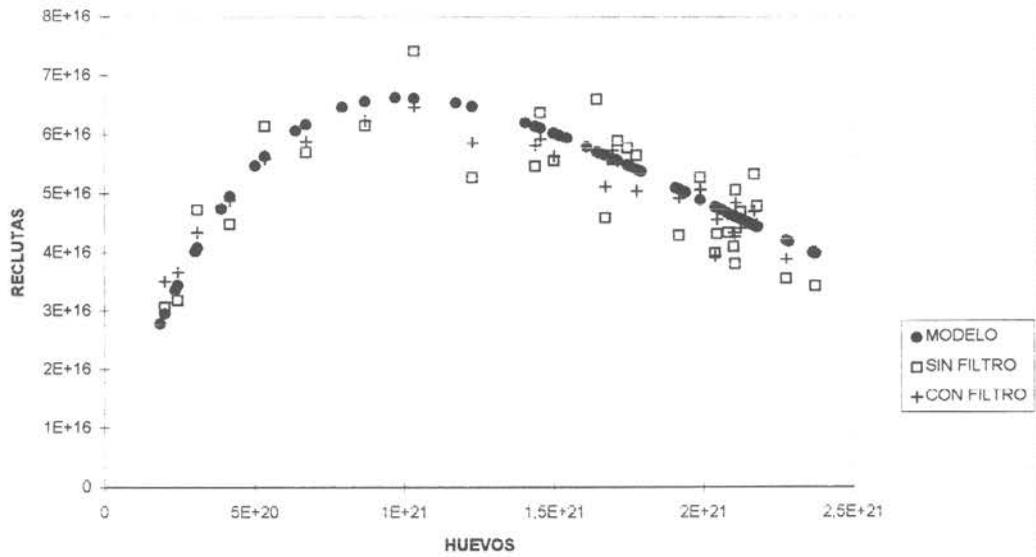


FIG. 89 PRUEBA N°2 DEL FILTRO DE WELCH CON DATOS SIMULADOS

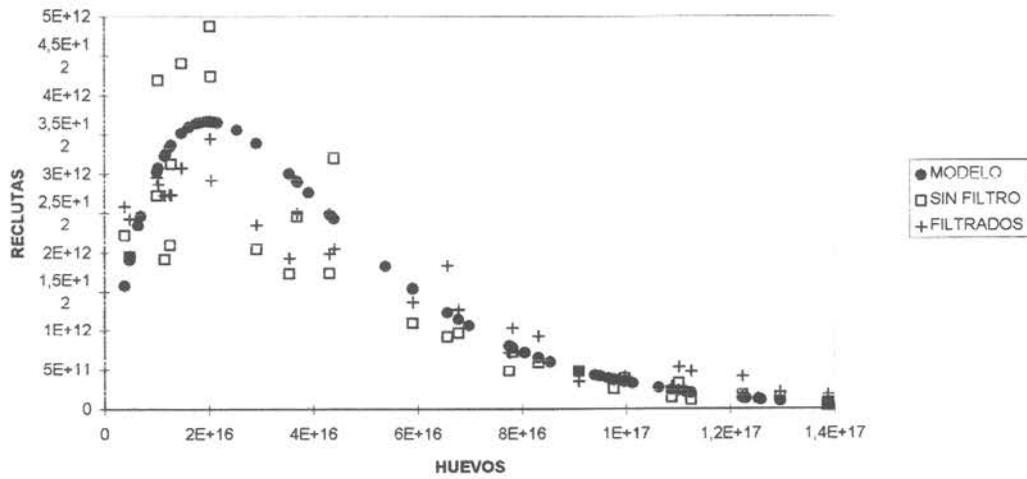


FIG. 90 RECLUTAMIENTOS

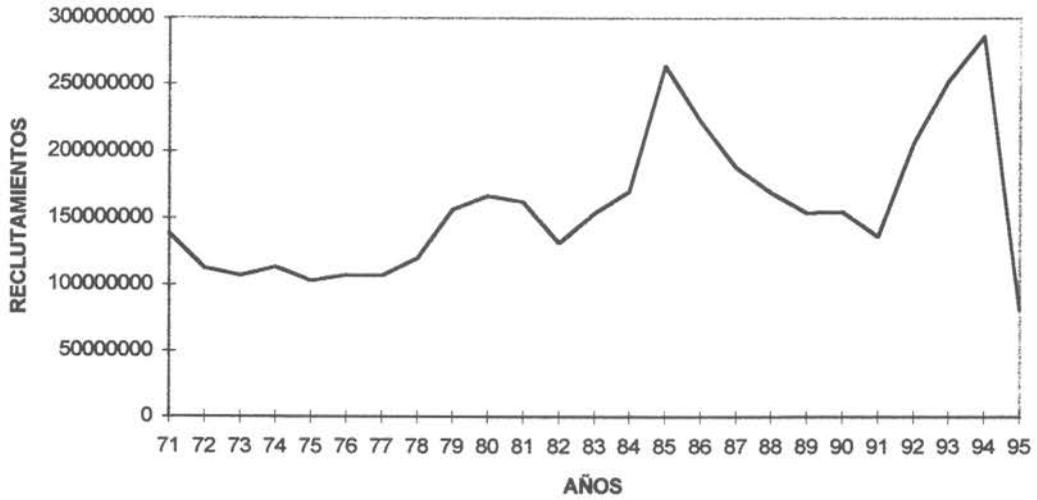


FIG. 91 DISTRIBUCION DEL ESFUERZO REPRODUCTIVO

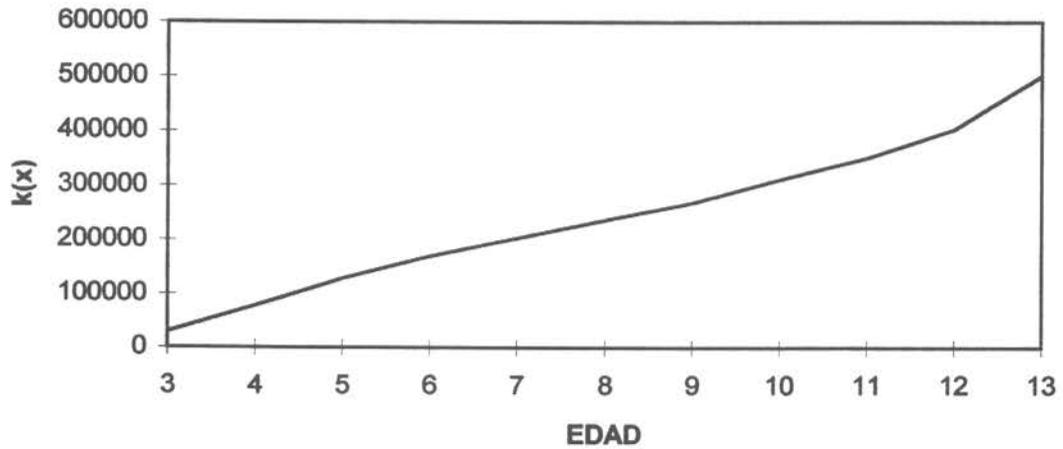


FIG. 92 ESPECTRO

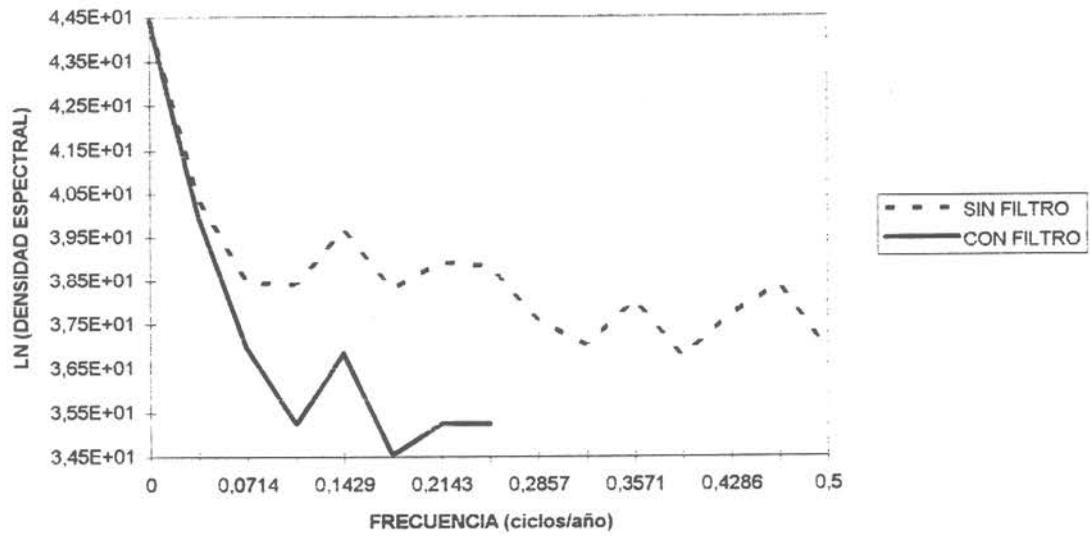
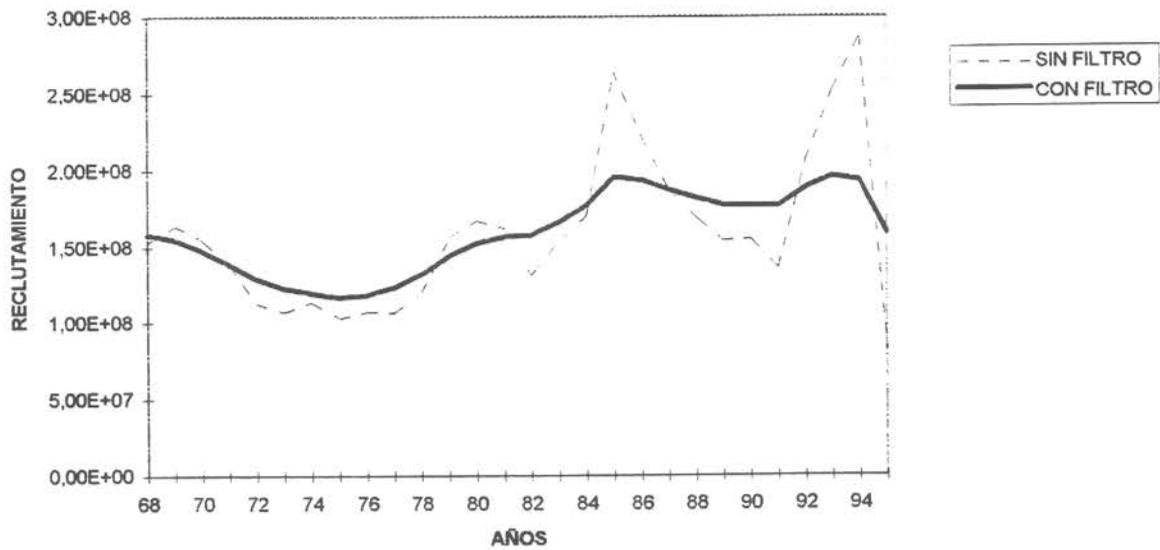


FIG. 93 RECLUTAMIENTOS



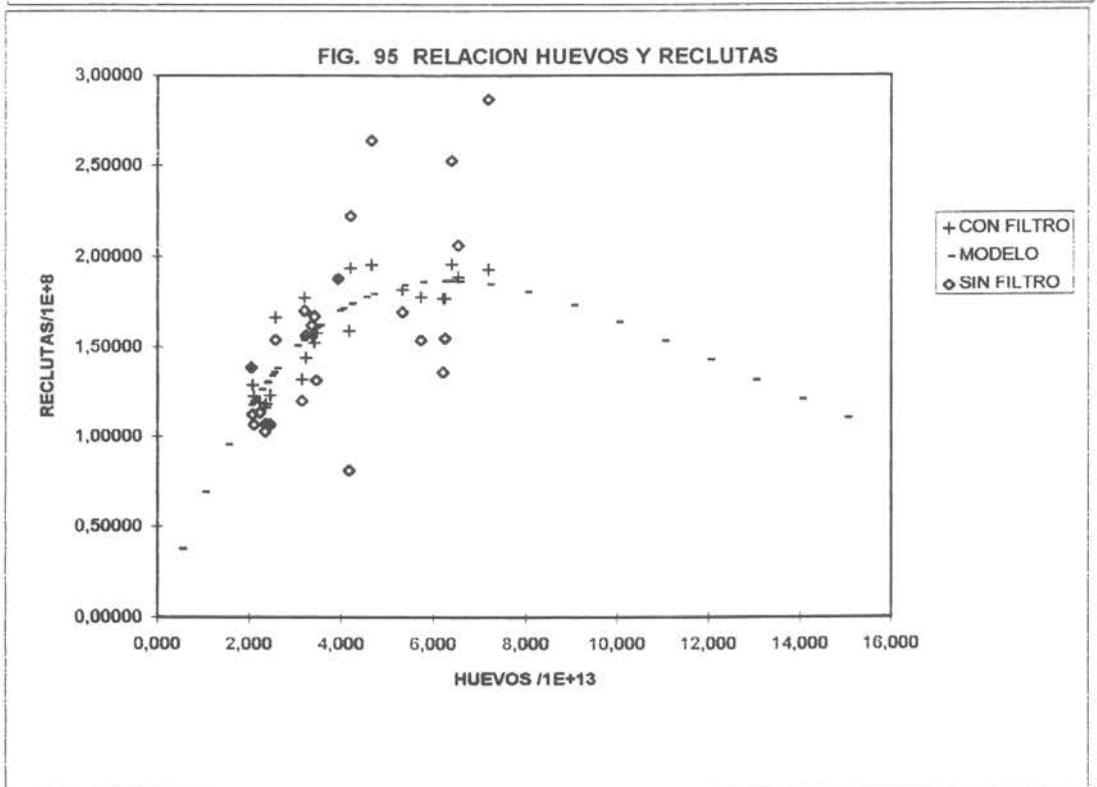
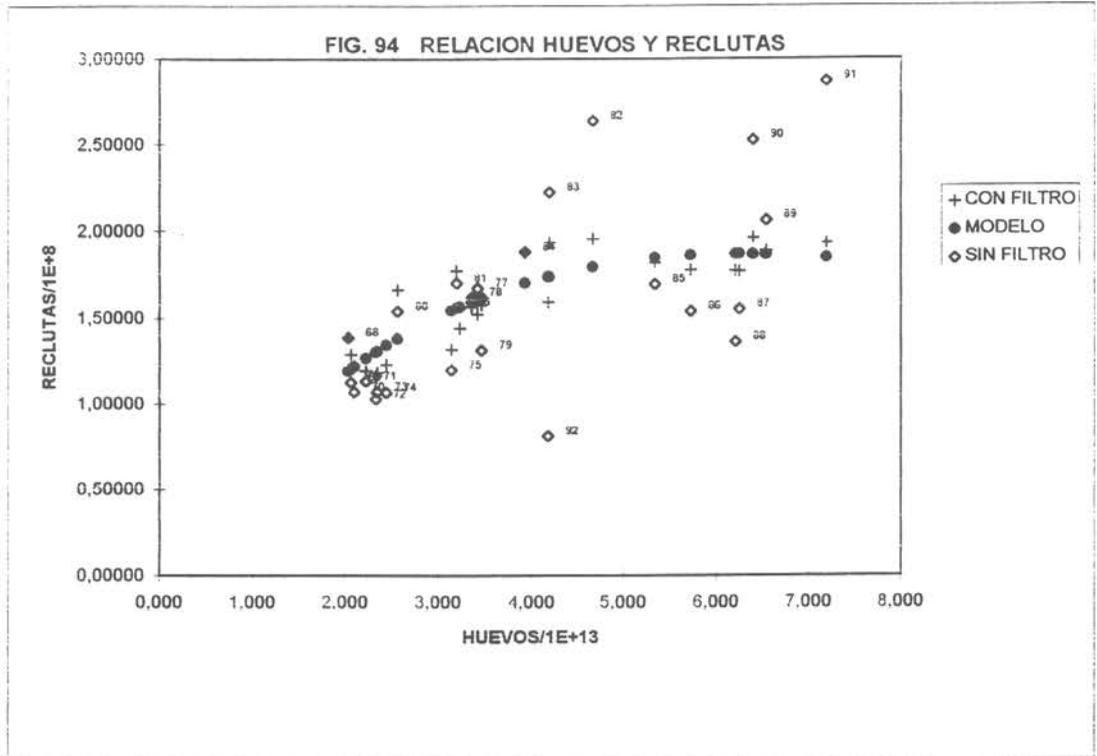


FIG. 96 FUNCIONES ACE PARA LN(1+RI/RD) PARA AGOSTO EN EL AREA TOTAL

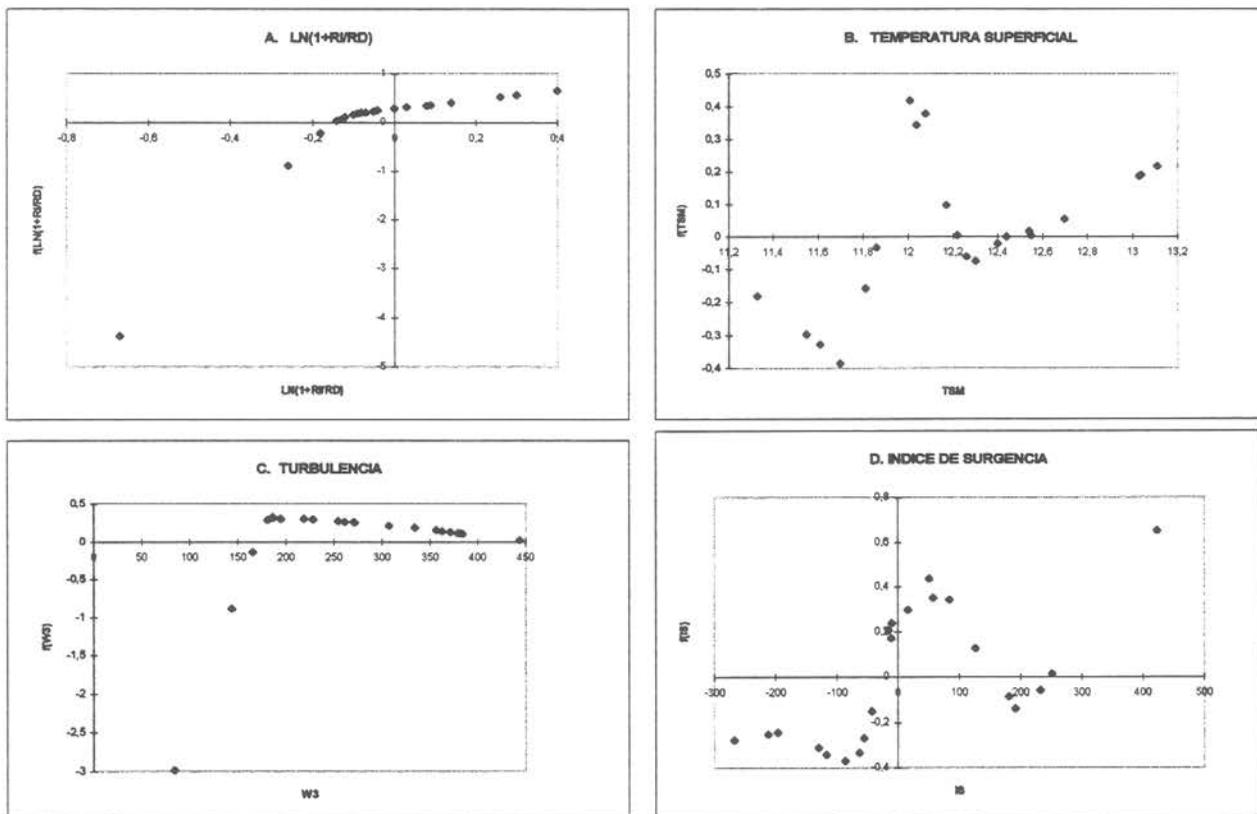


FIG. 97 FUNCIONES ACE PARA LN(1+RI/RD) DE SEPTIEMBRE EN EL AREA TOTAL

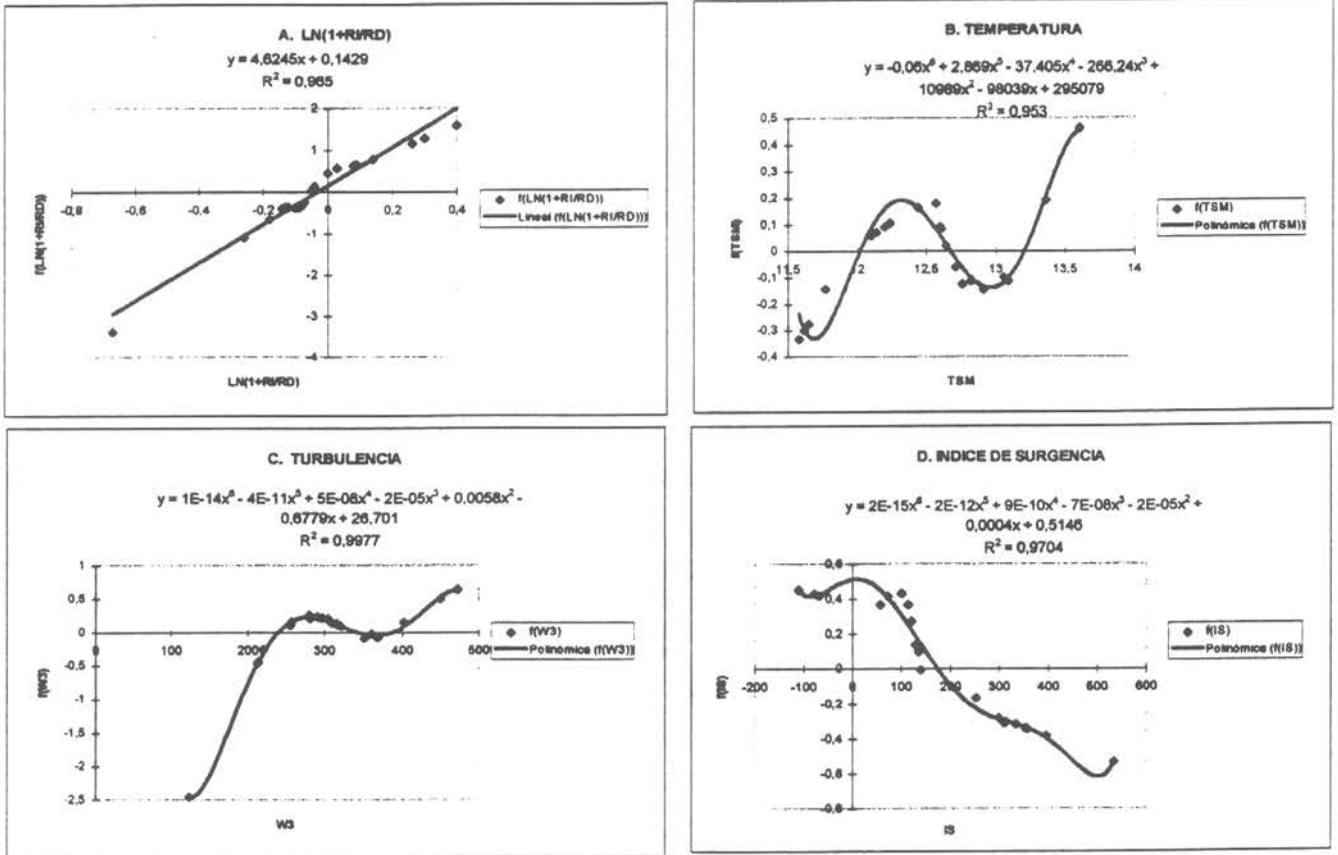


FIG. 98 AJUSTE DE FUNCIONES ACE PARA RECLUTAMIENTOS Y TURBULENCIA PARA EL MES DE AGOSTO EN EL AREA TOTAL

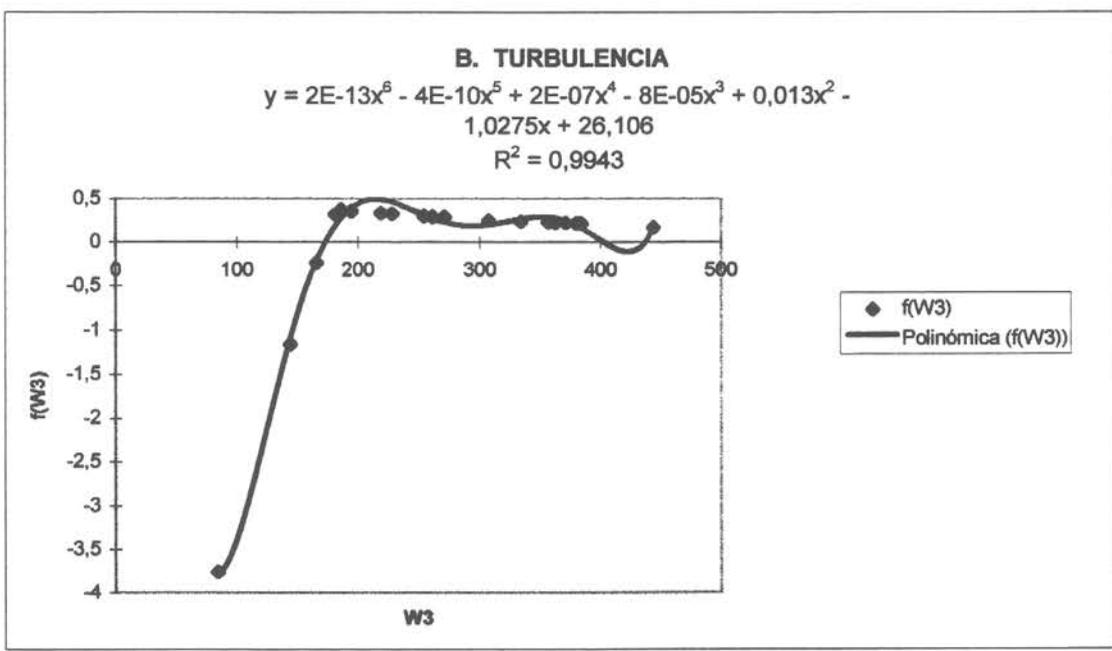
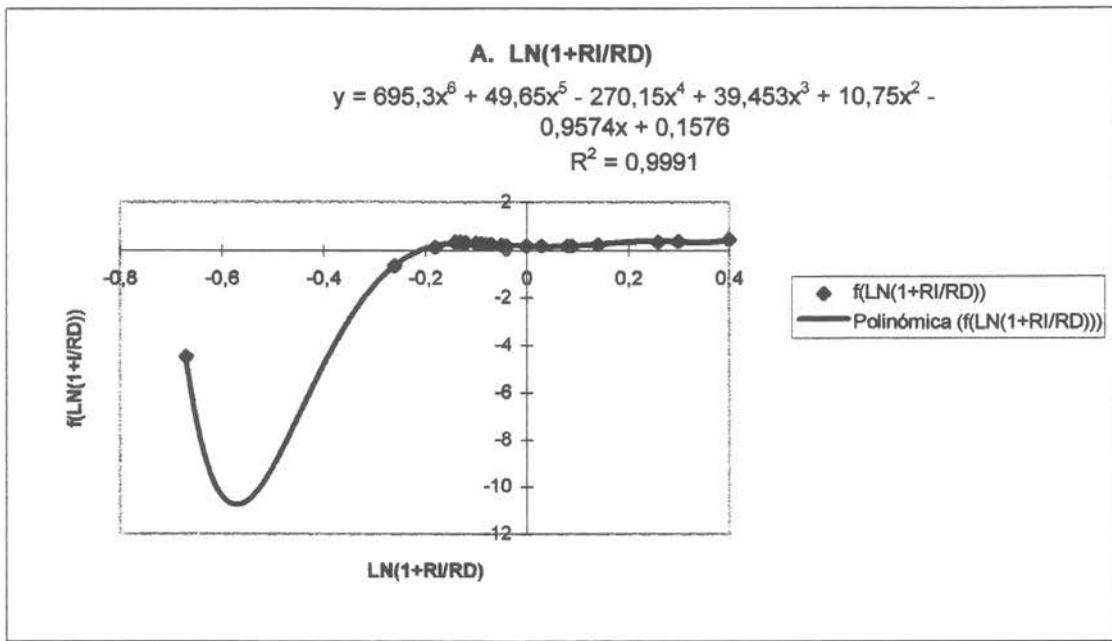


FIG. 99 AJUSTE DE FUNCIONES ACE PARA RECLUTAMIENTOS Y TURBULENCIA PARA SEPTIEMBRE EN EL AREA TOTAL

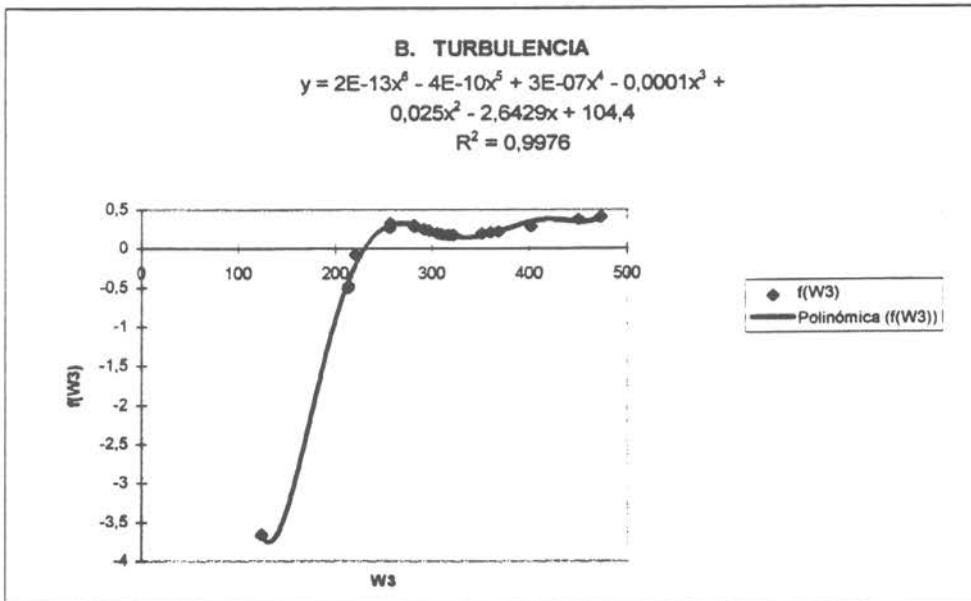
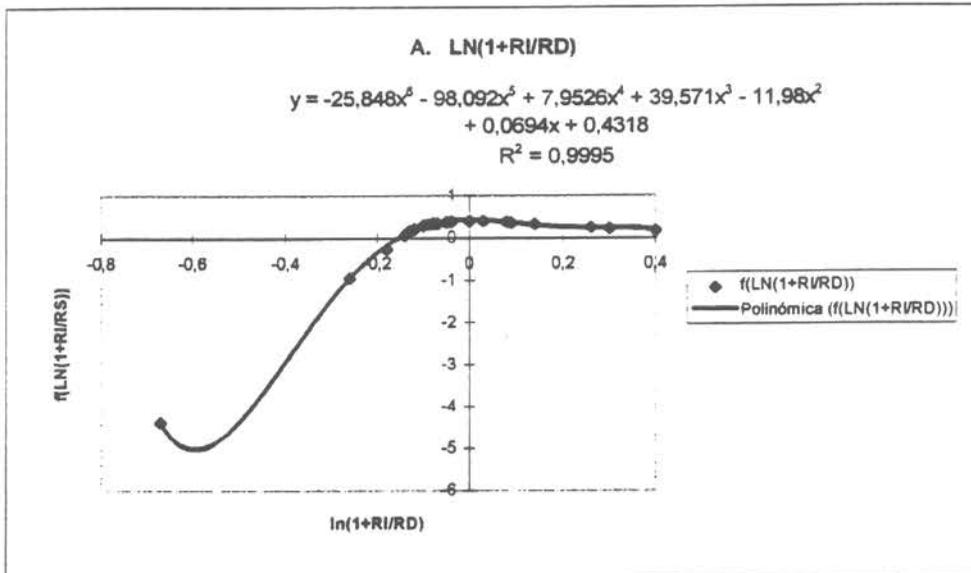


FIG. 100 LN(1+RI/RD) E INDICE DE OSCILACION DEL SUR

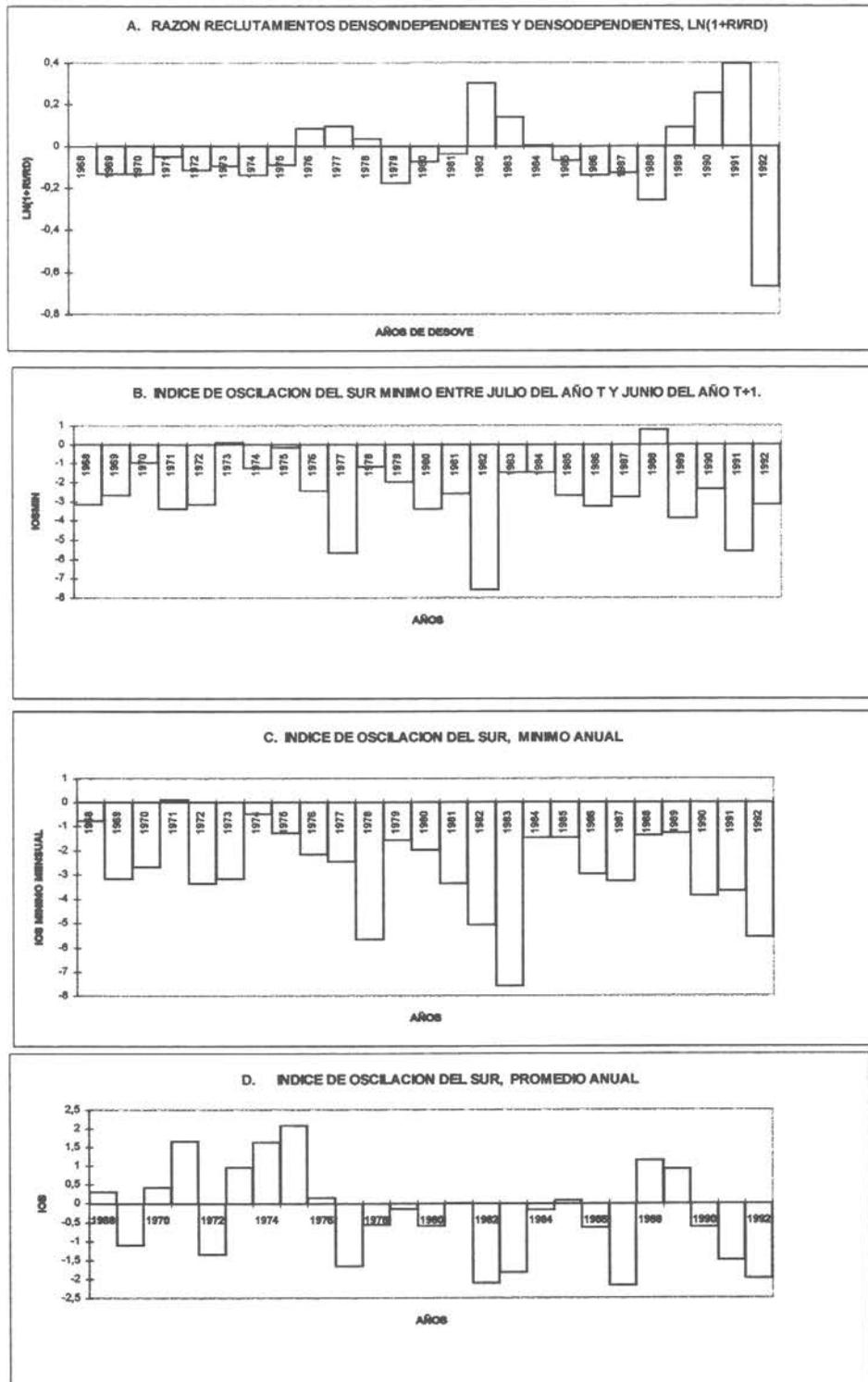


FIG. 101 AJUSTE DE FUNCIONES ACE PARA RECLUTAMIENTOS E INDICE DE OSCILACION DEL SUR

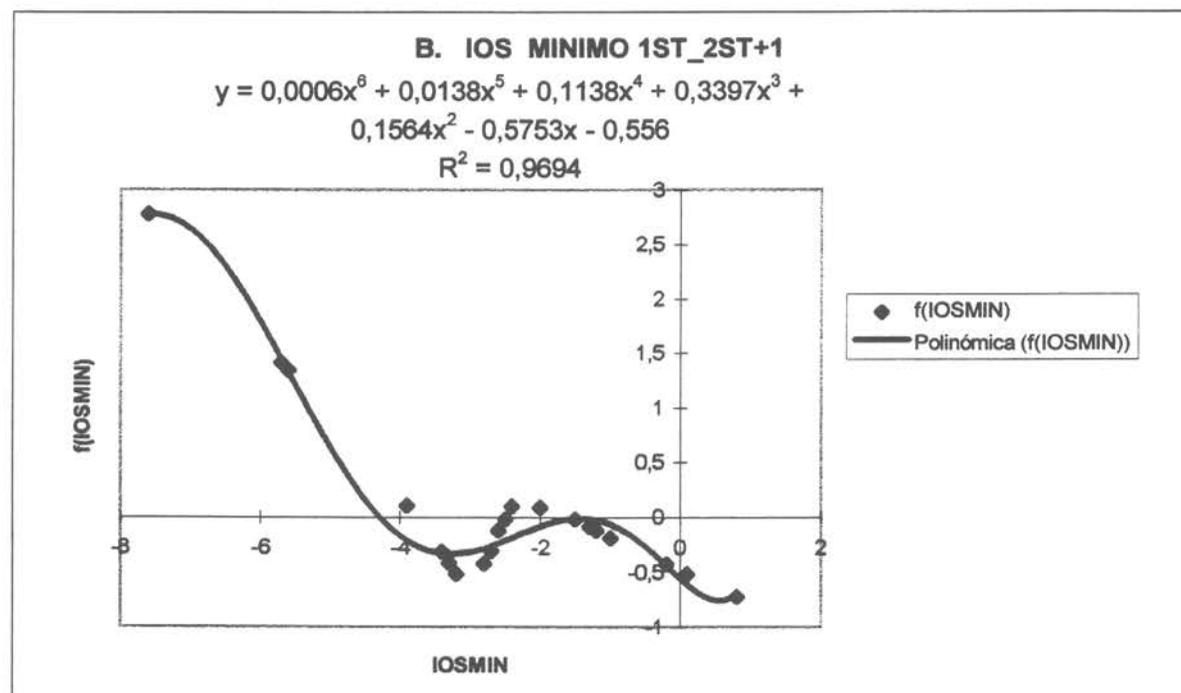
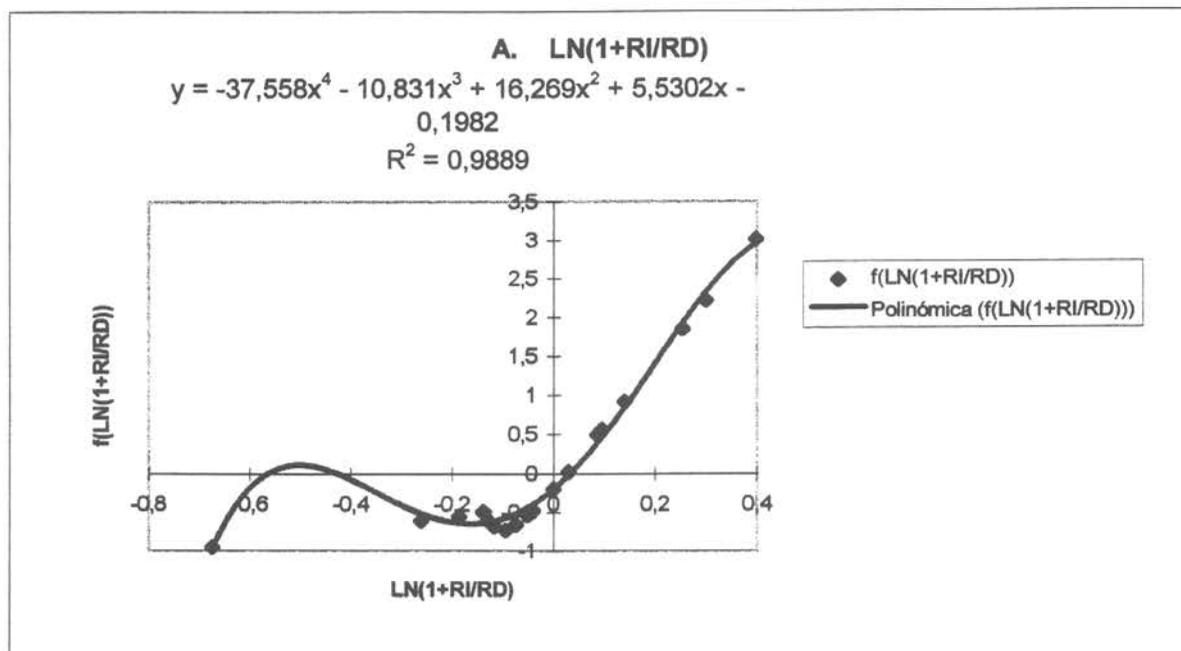


FIG. 102 FUNCIONES ACE PARA LN(1+RI/RD) PARA AGOSTO AREA TOTAL

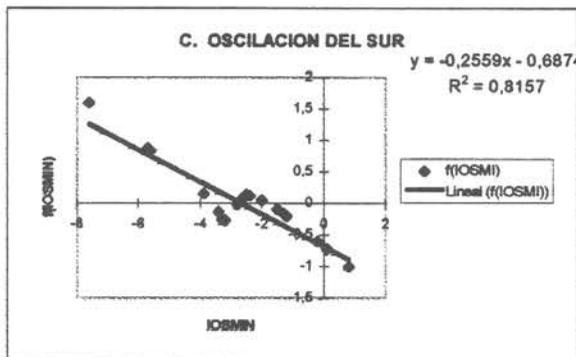
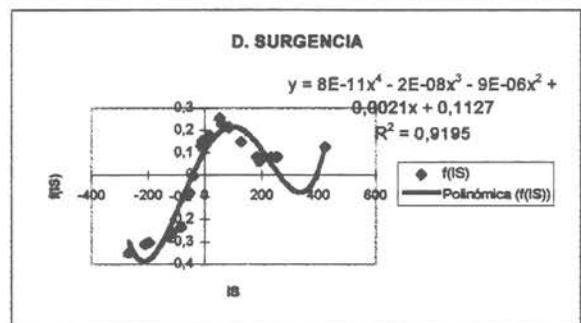
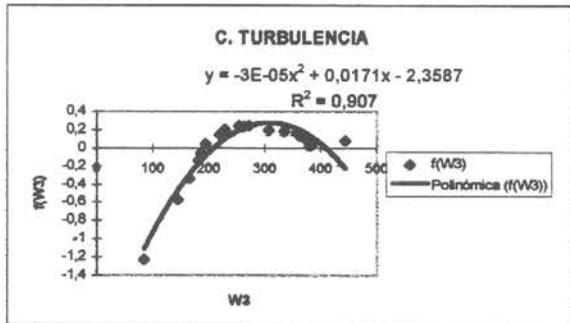
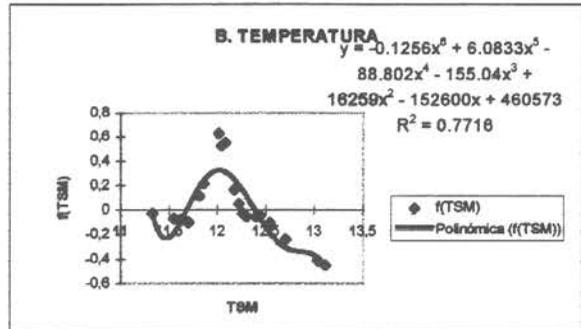
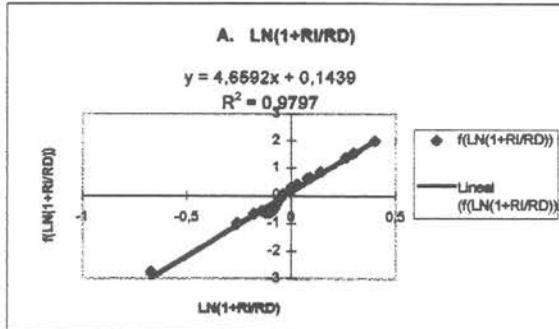


FIG. 103 FUNCIONES ACE PARA LN(1+R/RD) PARA SEPTIEMBRE EN EL AREA TOTAL

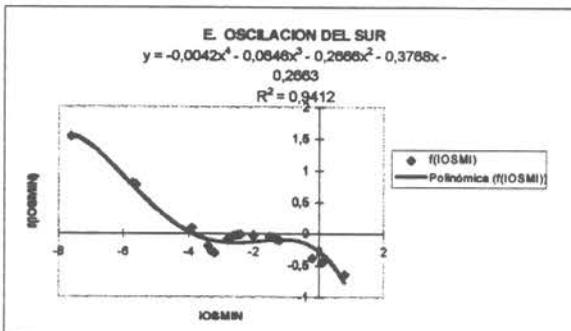
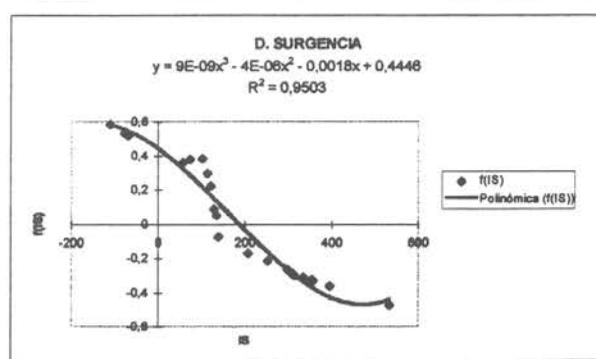
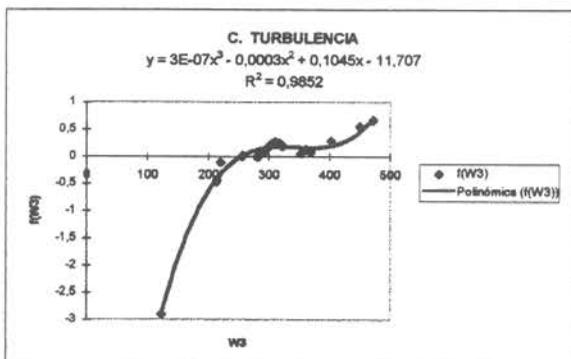
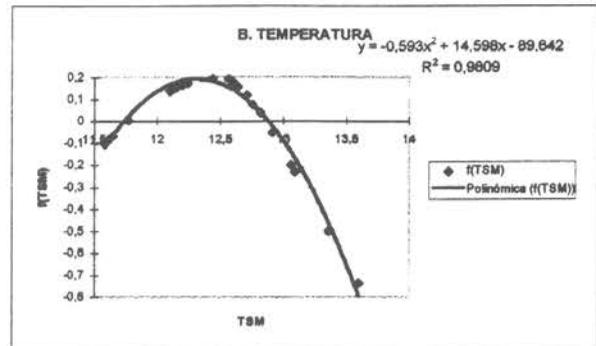
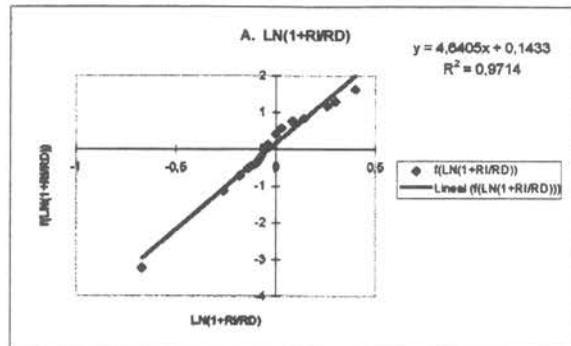


FIG. 104 PROMEDIOS MENSUALES DE LA TEMPERATURA SUPERFICIAL DEL MAR -TSM (TALCAHUANO : PERIODO 1965-1995)

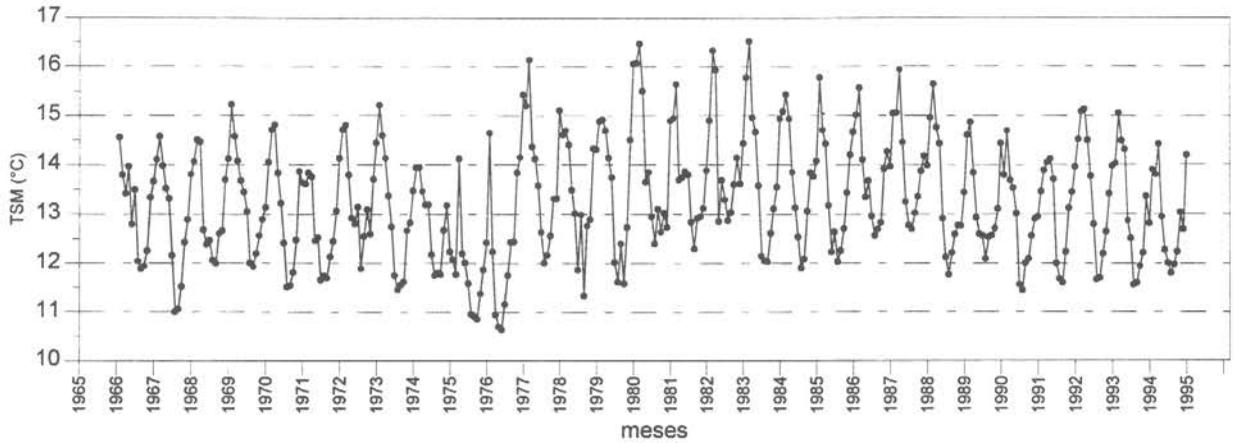


FIG. 105 PROMEDIOS MENSUALES DEL INDICE DE OSCILACION DEL SUR -IOS (1966-1994)

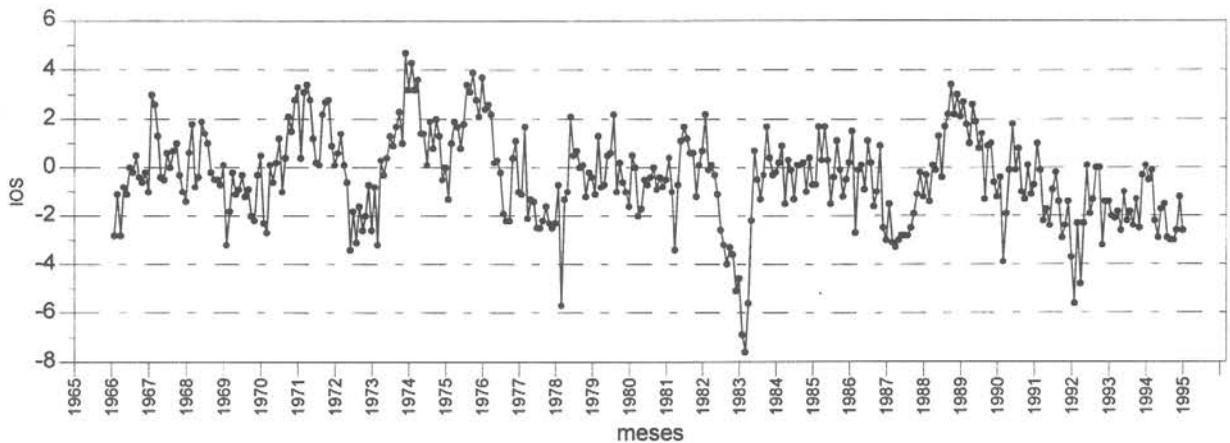


FIG. 106 FUNCION DE CORRELACION CRUZADA ENTRE EL INDICE DE OSCILACION DEL SUR (IOS) Y LA TEMPERATURA SUPERFICIAL PROMEDIO DE CHILE CENTRAL (PREBLANQUEADA CON MODELO AR(3))

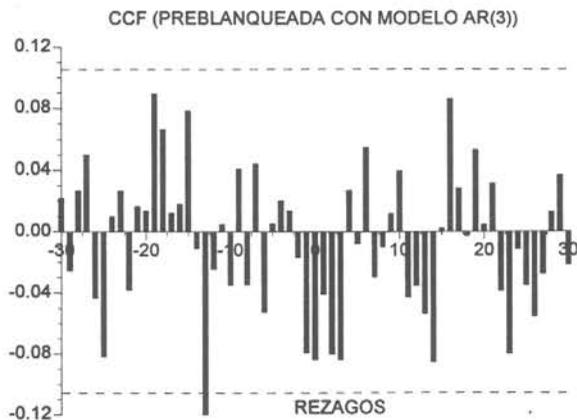


FIG. 107 FUNCION DE CORRELACION CRUZADA ENTRE EL INDICE DE OSCILACION DEL SUR (IOS) Y LA TEMPERATURA SUPERFICIAL PROMEDIO DE CHILE CENTRAL (PREBLANQUEADA CON MODELO AR(3))

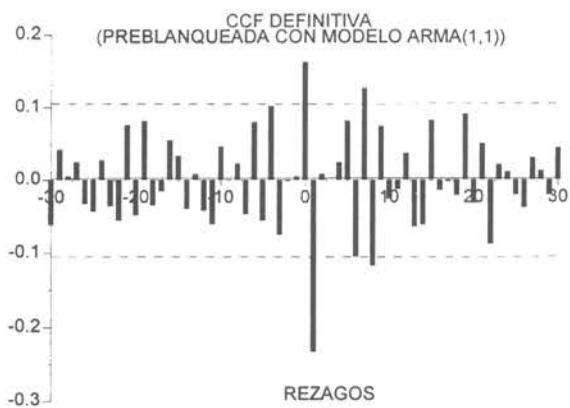


FIG. 108 AJUSTE DEL MODELO DE FUNCION DE TRANSFERENCIA (VALORES OBSERVADOS Y ESTIMADOS)

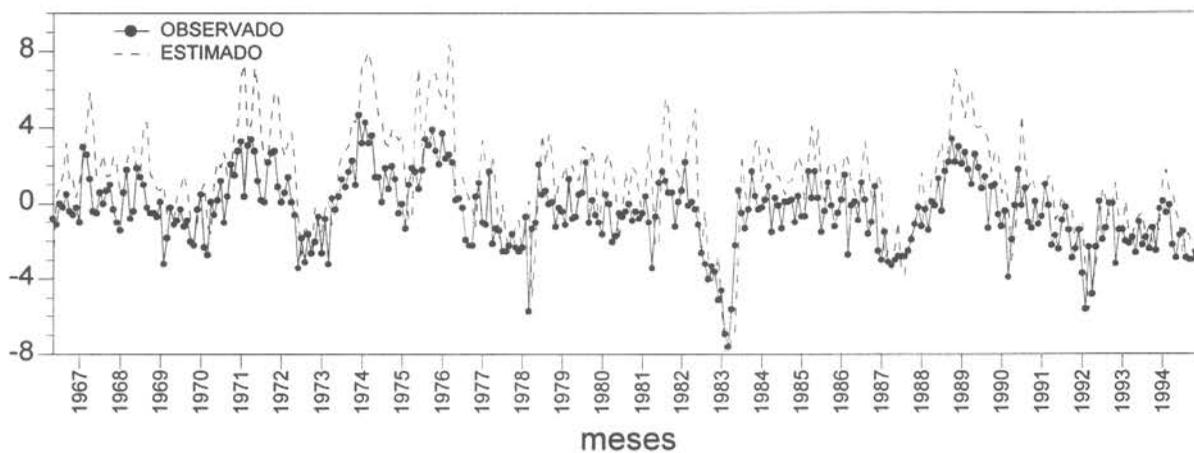


FIG. 109 FUNCIONES DE AUTOCORRELACION Y DE AUTOCORRELACION PARCIAL DE LOS CENTROS GEOGRAFICOS DETERMINADAS PARA LOS CALADEROS DE PESCA 1 A 4 (1982-1992)

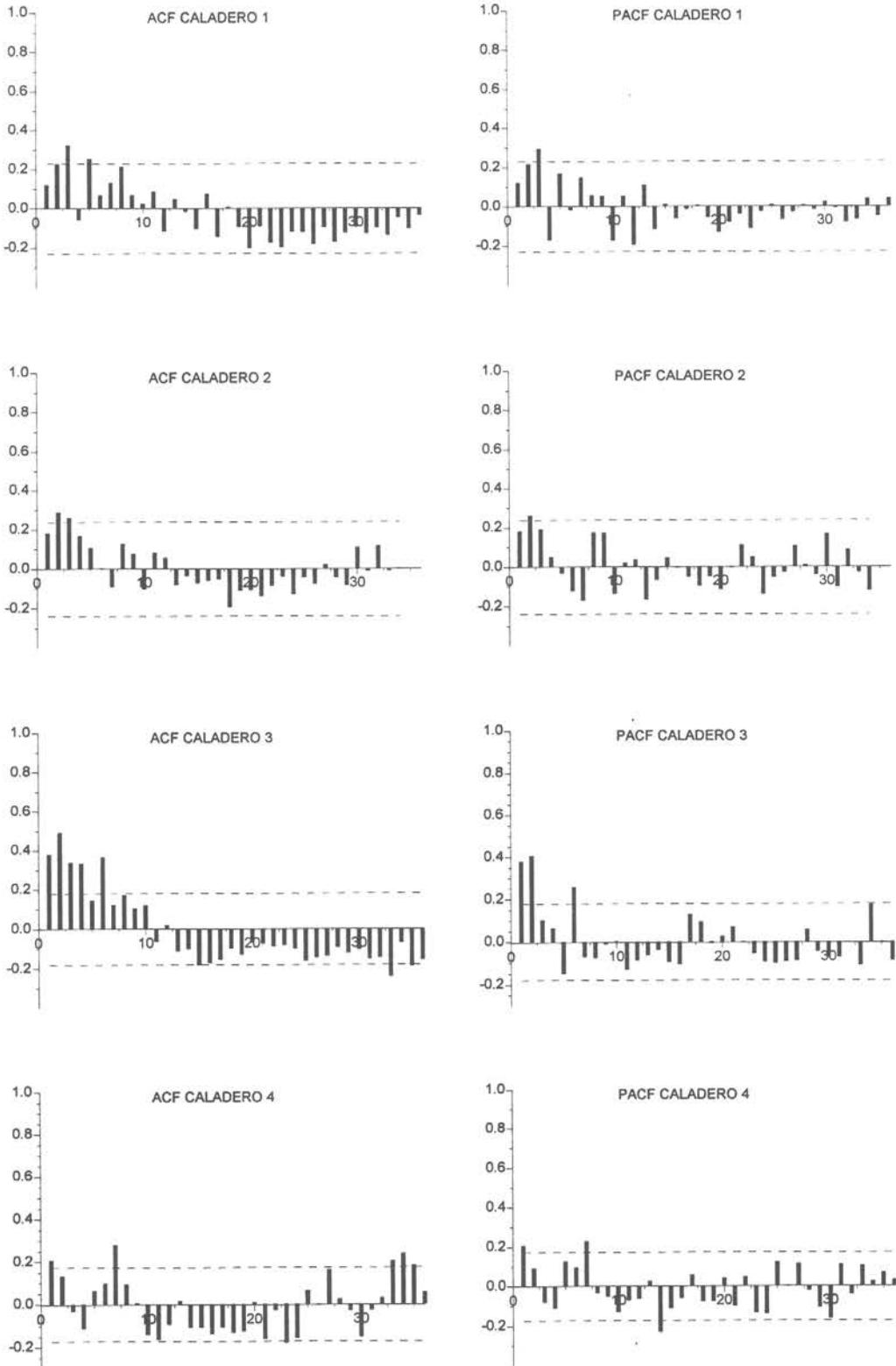


FIG. 110 FUNCIONES DE AUTOCORRELACION Y DE AUTOCORRELACION PARCIAL DE LOS CENTROS GEOGRAFICOS DETERMINADAS PARA LOS CALADEROS DE PESCA 5 A 8 (1982-1992)

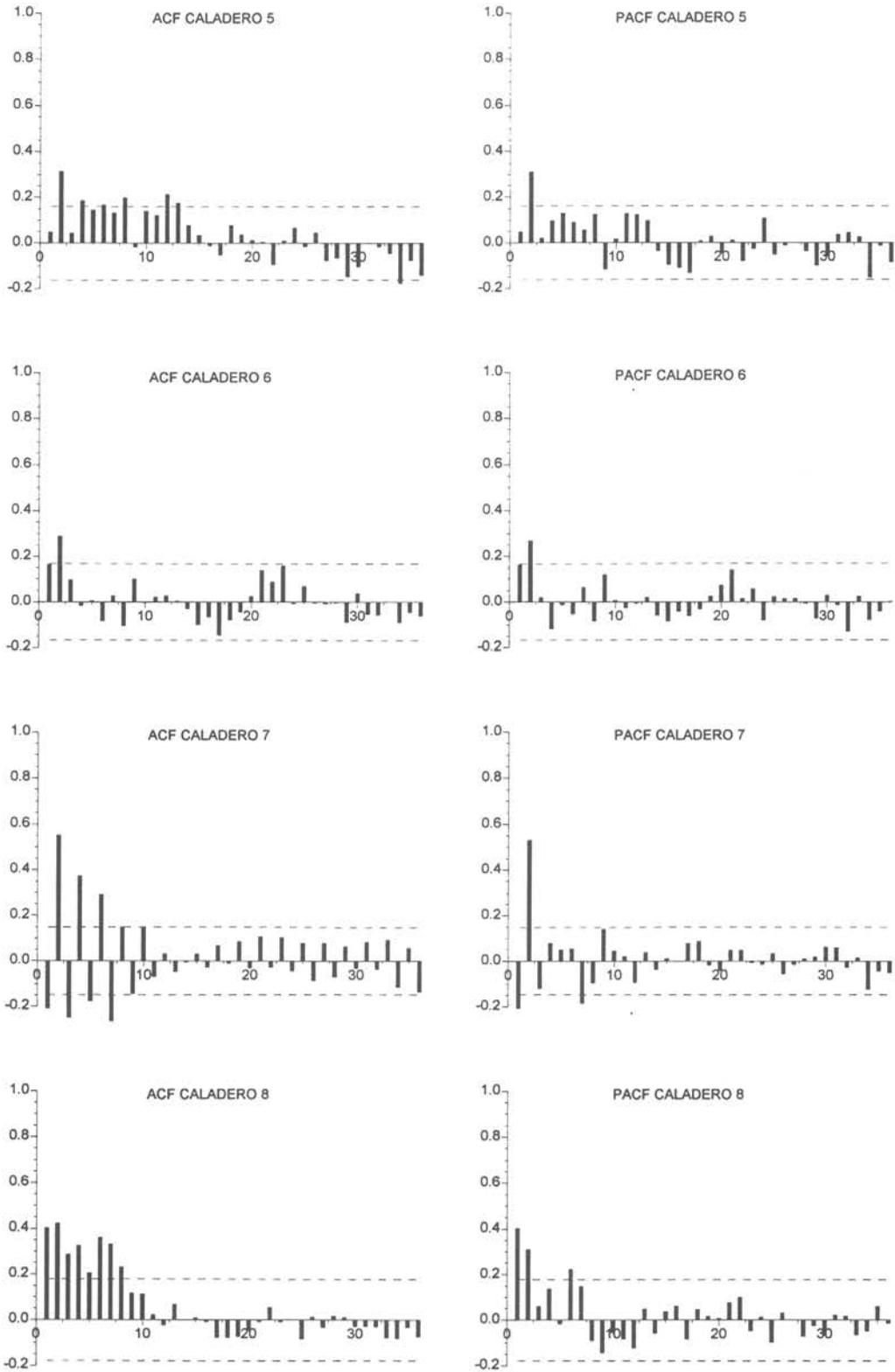


FIG. 111 FUNCIONES DE AUTOCORRELACION Y DE AUTOCORRELACION PARCIAL DE LOS CENTROS GEOGRAFICOS DETERMINADAS PARA LOS CALADEROS DE PESCA 9 A 12 (1982-1992)

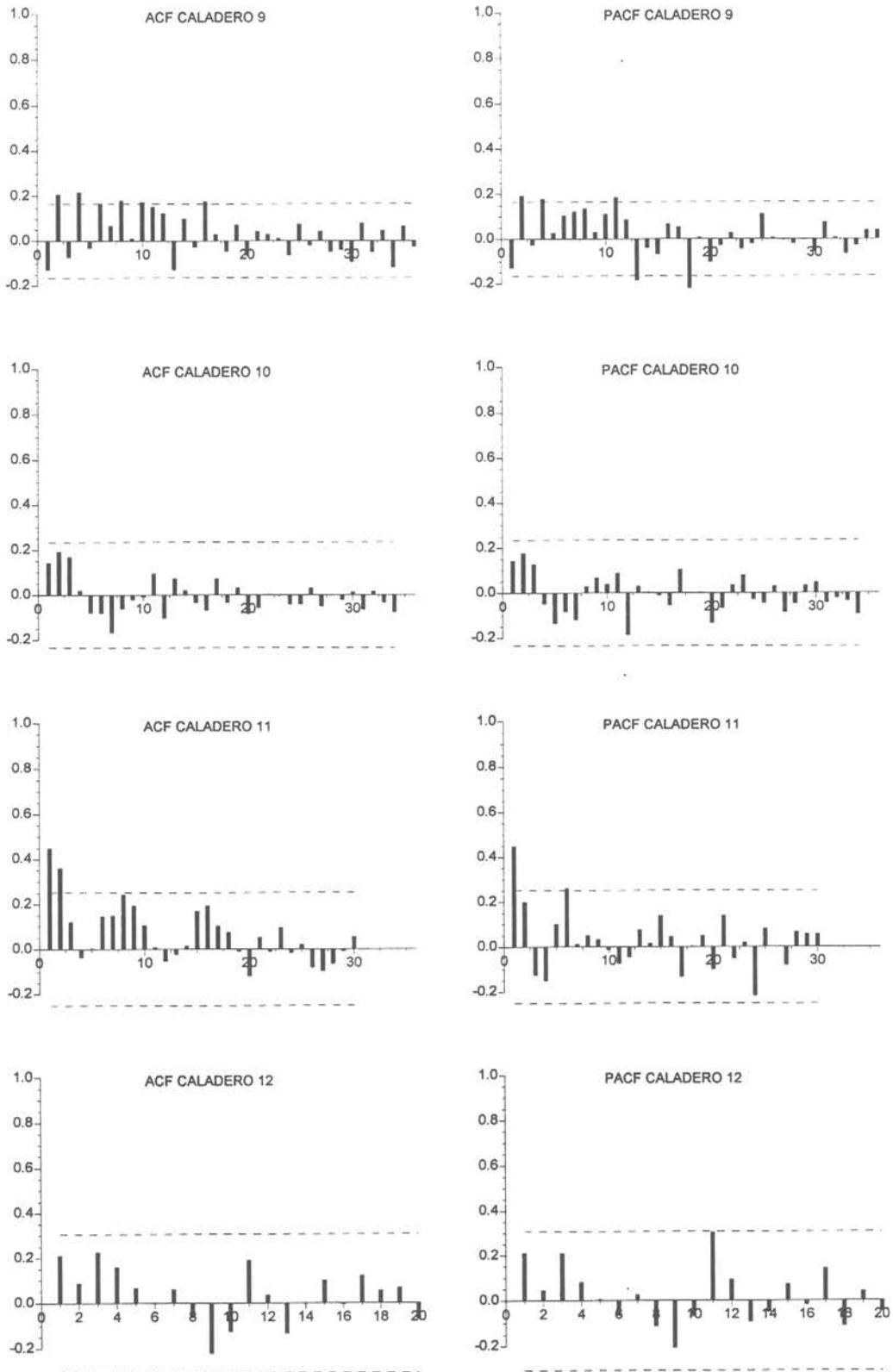


FIG 112 SERIE DE TIEMPO DEL CENTRO GEOGRAFICO PROMEDIO DE LOS 12 CALADEROS DE PESCA DE LA MERLUZA COMUN

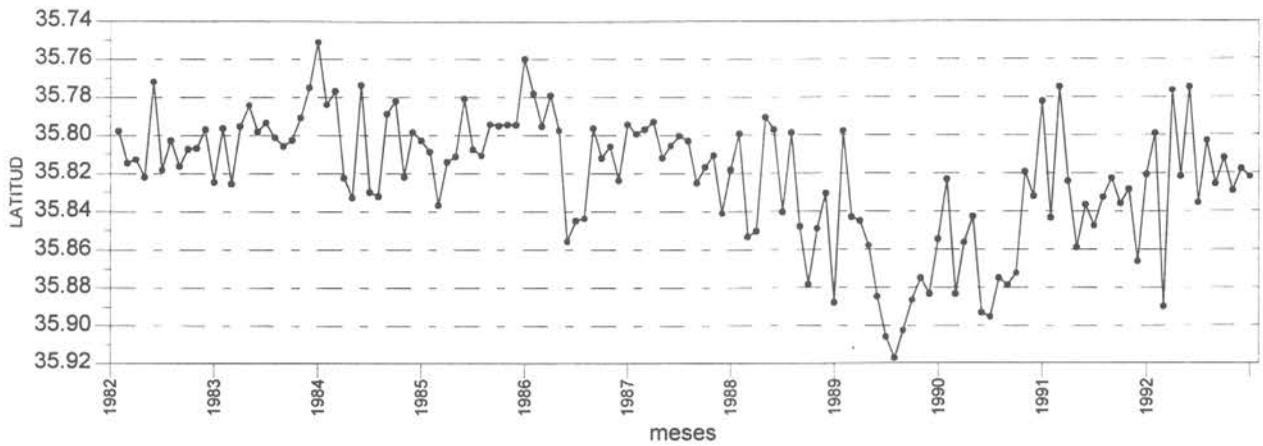


FIG 113 SERIE DE TIEMPO PARA LA DIFERENCIA DE LA TEMPERATURA SUPERFICIAL ENTRE TALCAHUANO Y VALPARAISO

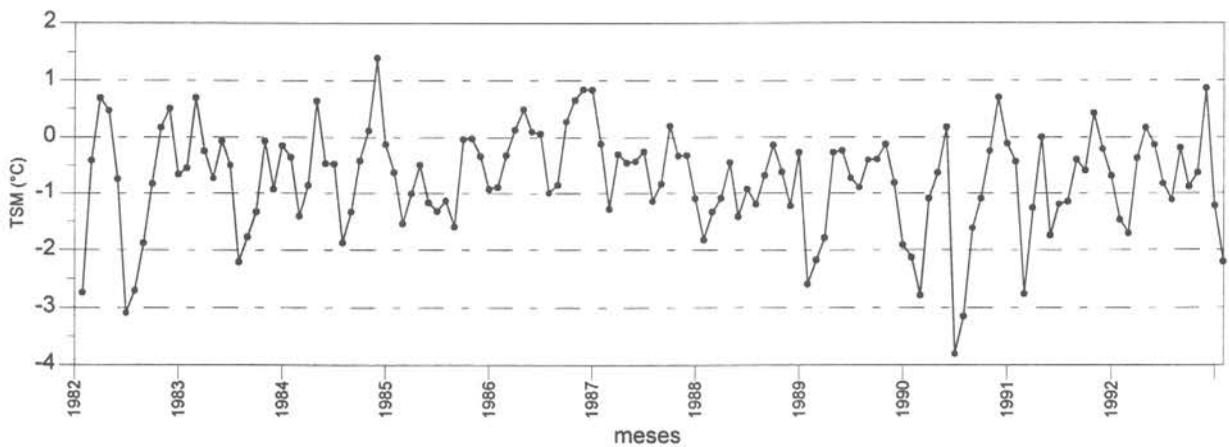


FIG 114 FUNCIONES DE AUTOCORRELACION Y DE AUTOCORRELACION PARCIAL PARA LA SERIE DE CENTROS GEOGRAFICOS MEDIOS DE LA DISTRIBUCION DE LA MERLUZA COMUN

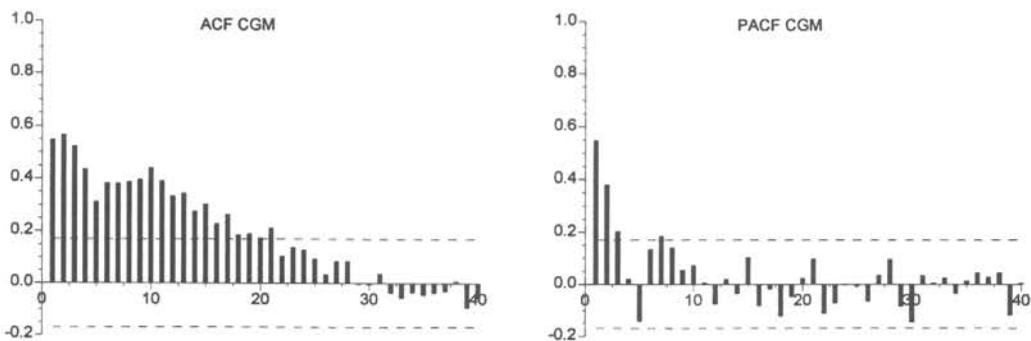


FIG 115 FUNCIONES DE AUTOCORRELACION Y DE AUTOCORRELACION PARCIAL PARA LA SERIE DEL INDICE DE SURGENCIA

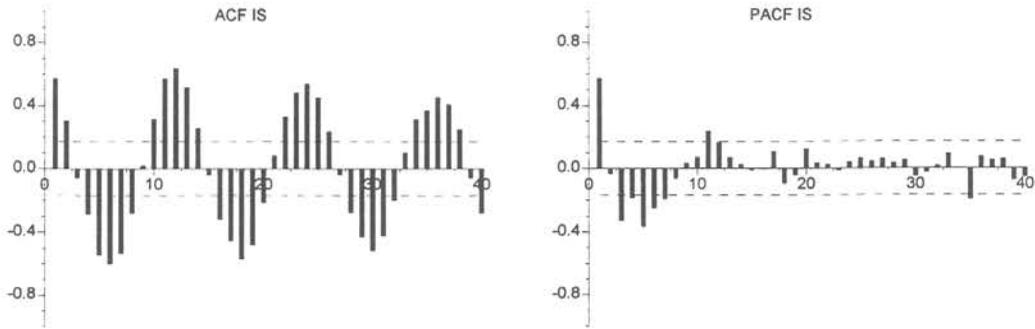


FIG. 116 FUNCION DE CORRELACION CRUZADA ENTRE LA SERIE MENSUAL DEL CENTRO GEOGRAFICO MEDIO CON EL INDICE DE SURGENCIA Y CON LA DIFERENCIA DE LA TSM

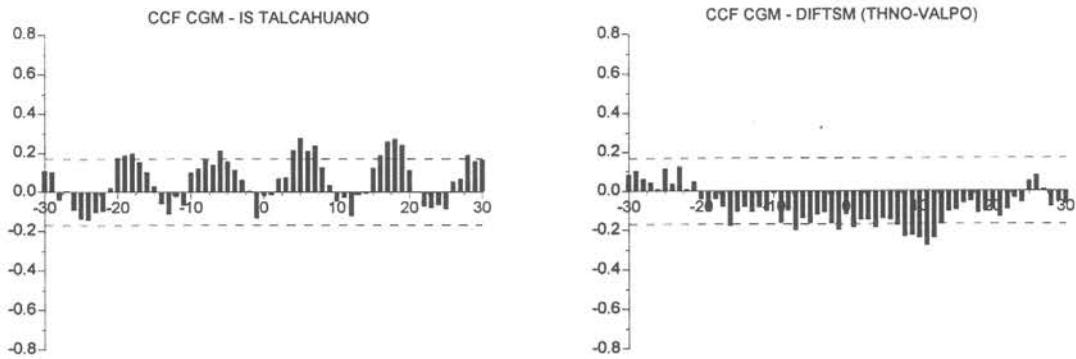
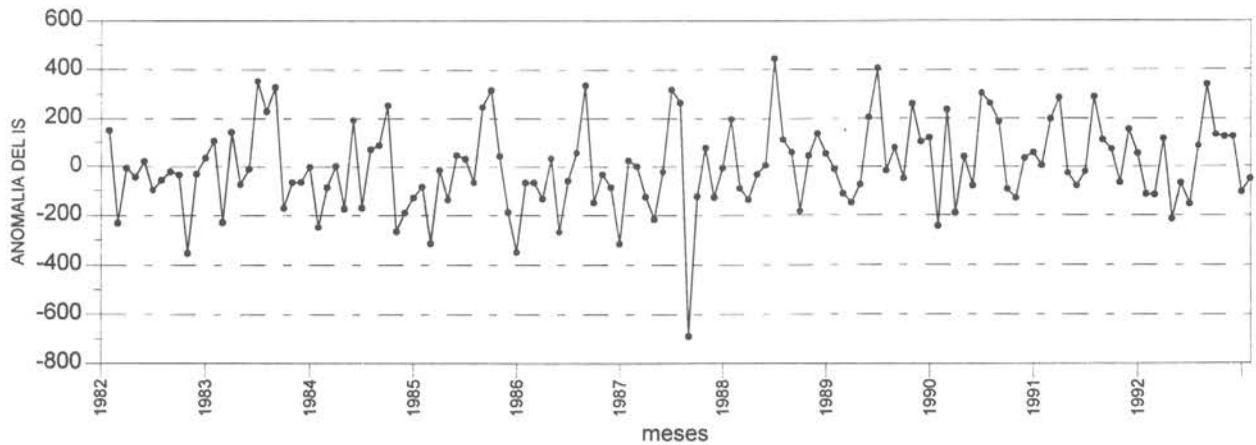
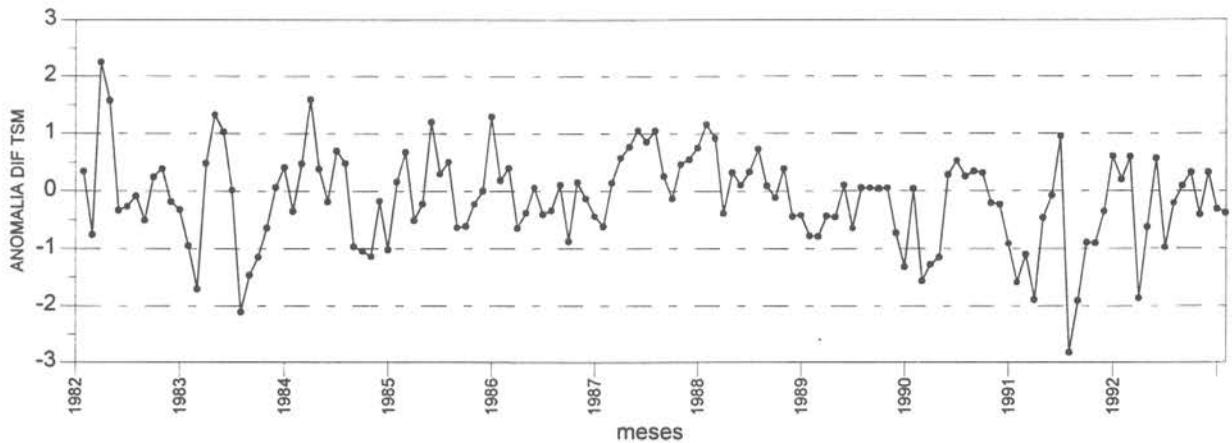


FIG. 117 SERIES MENSUALES DE : A) ANOMALIA DEL INDICE DE SURGENCIA DE TALCAHUANO B) DIFERENCIA DE LA TEMPERATURA SUPERFICIAL DEL MAR ENTRE TALCAHUANO Y VALPARAISO C) INDICE DE OSCILACION DEL SUR (1982-1992)

A)



B)



C)

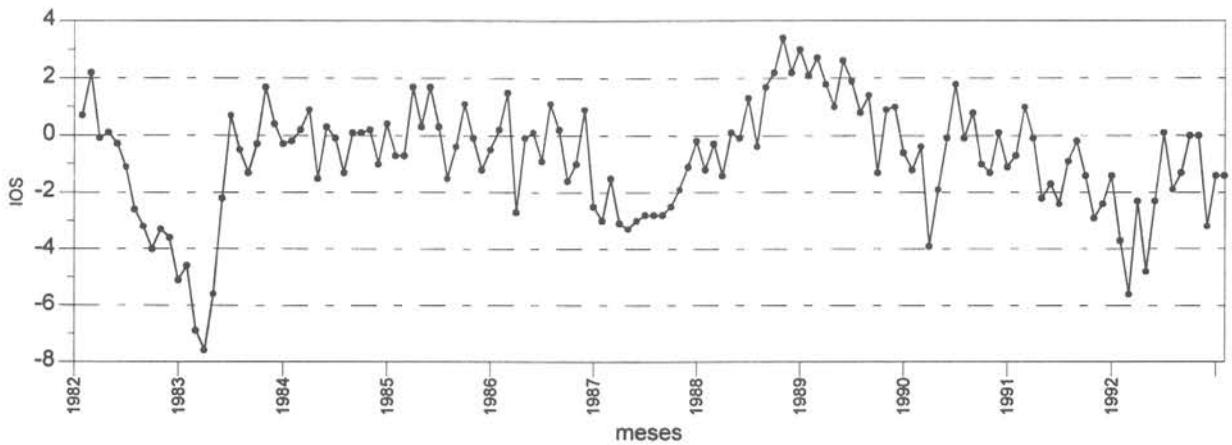
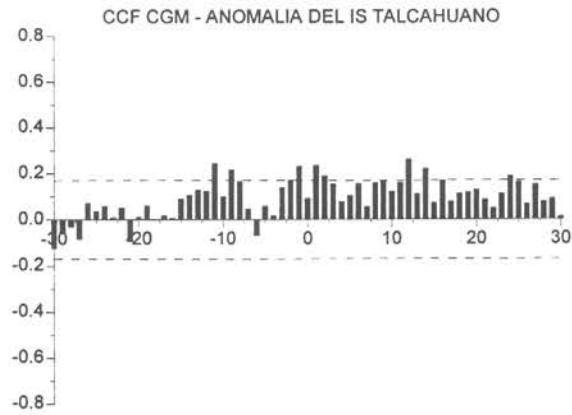
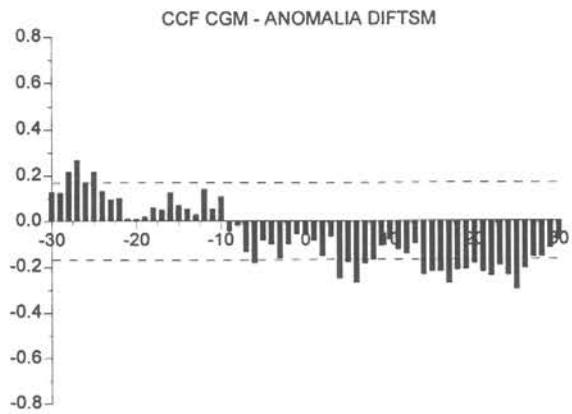


FIG. 118 FUNCION DE CORRELACION CRUZADA ENTRE LA SERIE MENSUAL DEL CENTRO GEOGRAFICO MEDIO CON : A) LA ANOMALIA DEL INDICE DE SURGENCIA, B) LA DIFERENCIA DE LA TSM Y C) EL INDICE DE OSCILACION DEL SUR - IOS

A)



B)



C)

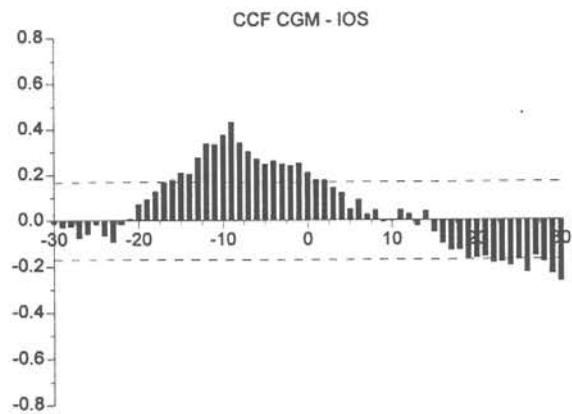
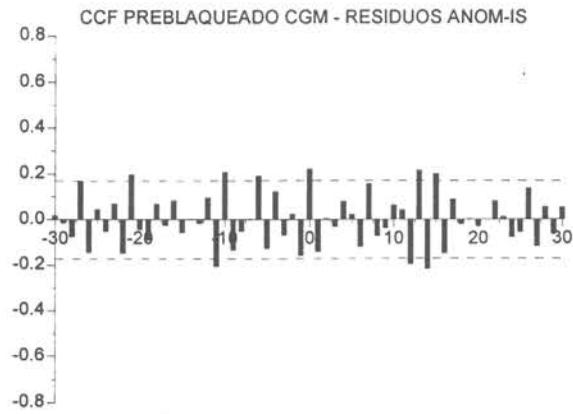


FIG. 119 FUNCION DE CORRELACION CRUZADA ENTRE LA SERIE PREBLANQUEADA DEL CENTRO GEOGRAFICO MEDIO CON: A) RESIDUOS DE LA ANOMALIA DEL INDICE DE SURGENCIA, B) RESIDUOS DE LA DIFERENCIA DE LA TSM Y C) RESIDUOS DEL INDICE DE OSCILACION DEL SUR

A)



B)



C)



FIG. 120 FUNCION DE CORRELACION CRUZADA ENTRE LA SERIE PREBLANQUEADA DEL CENTRO GEOGRAFICO MEDIO (MODELO ARIMA(1,2,1)) CON LOS RESIDUOS DEL IOS

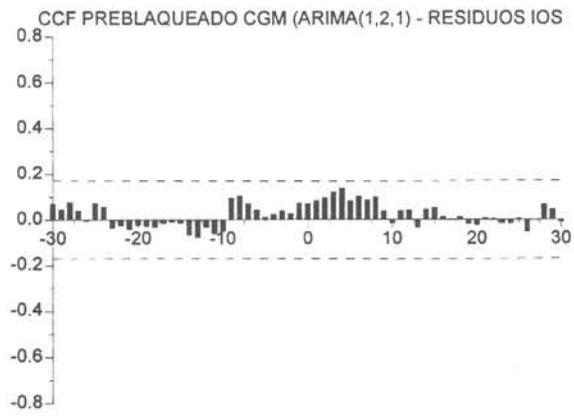


FIG. 121 IMAGENES SATELITALES DE TSM 1992 A) 13-02-92 B) 11-03-92 C) 20-11-92 D) 24-12-92

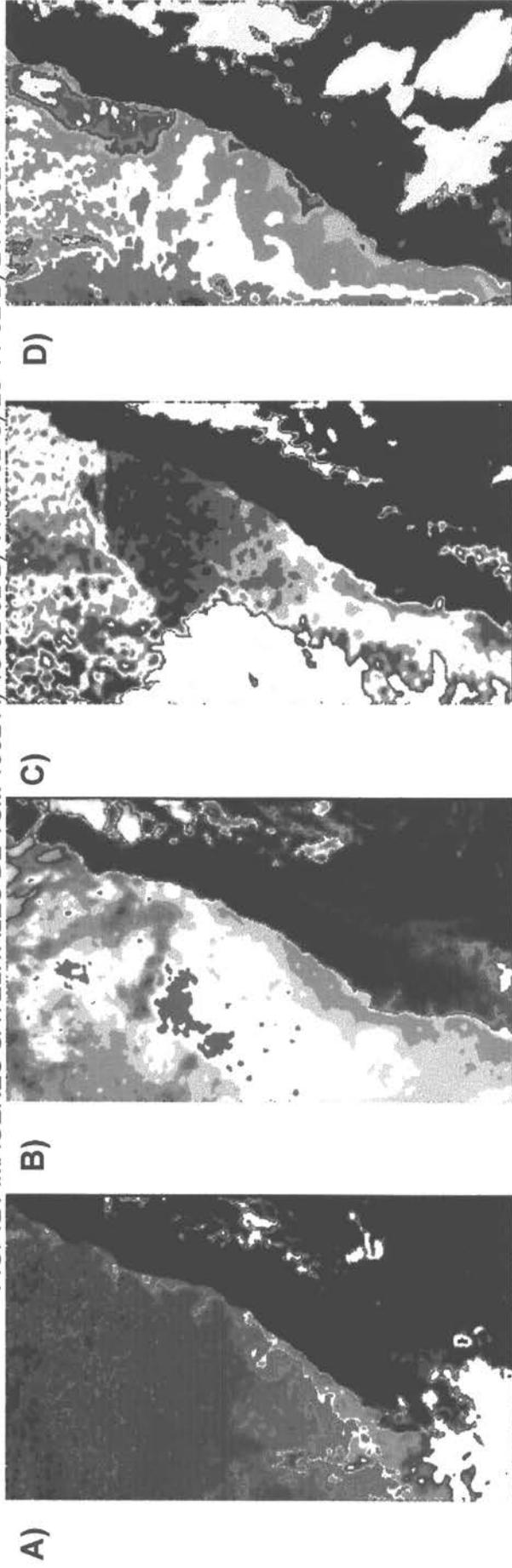


FIG. 122 IMAGENES SATELITALES DE TSM 1993 A) 24-01-93 B) 25-01-93 C) 26-01-93 D) 27-01-93 E) 28-01-93

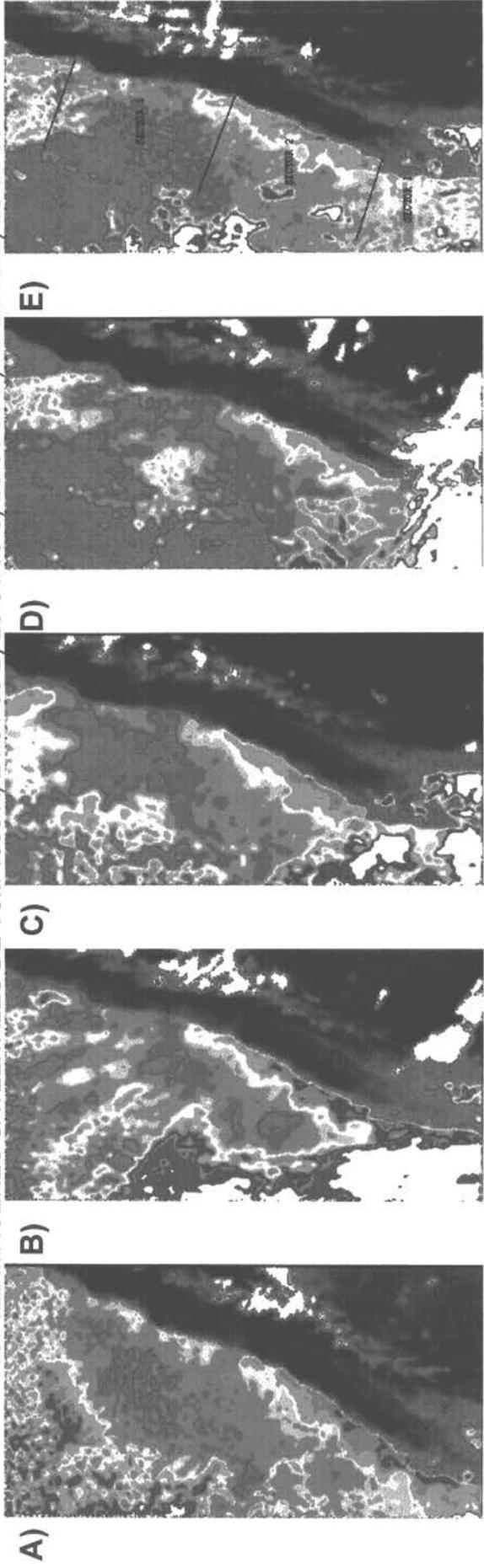


FIG. 123 IMAGENES SATELITALES DETSM 1993 A) 02-02-93 B) 05-02-93 C) 12-02-93 D) 02-11-93

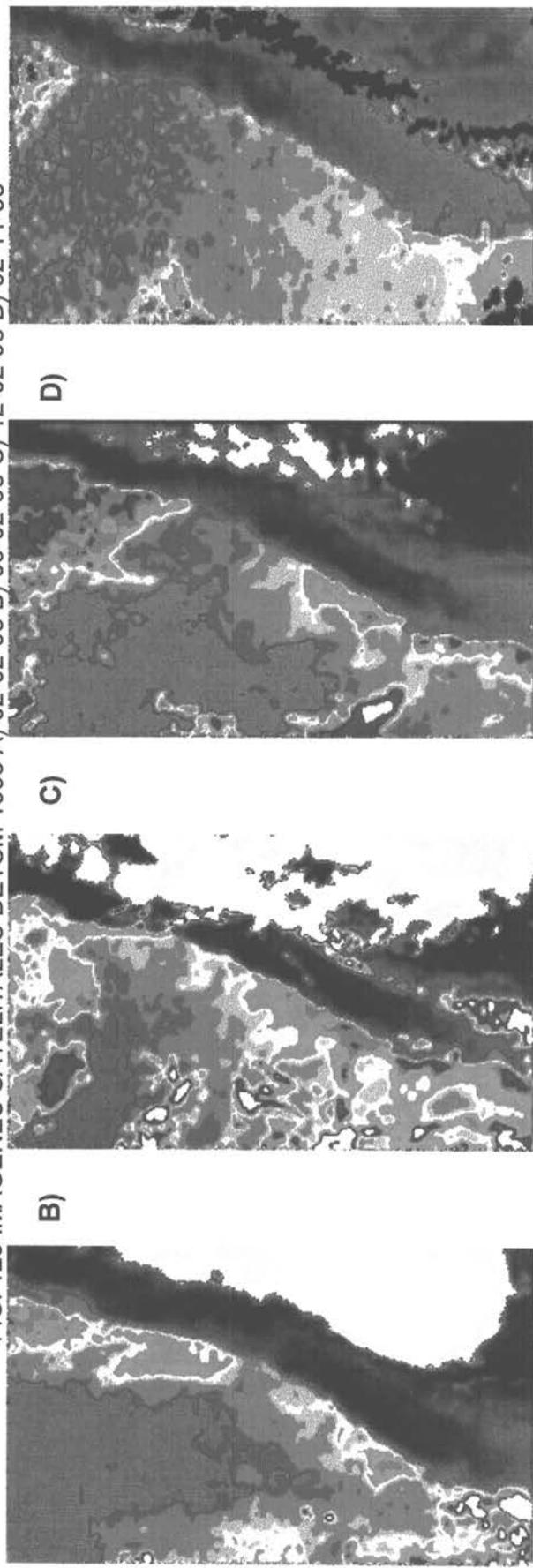
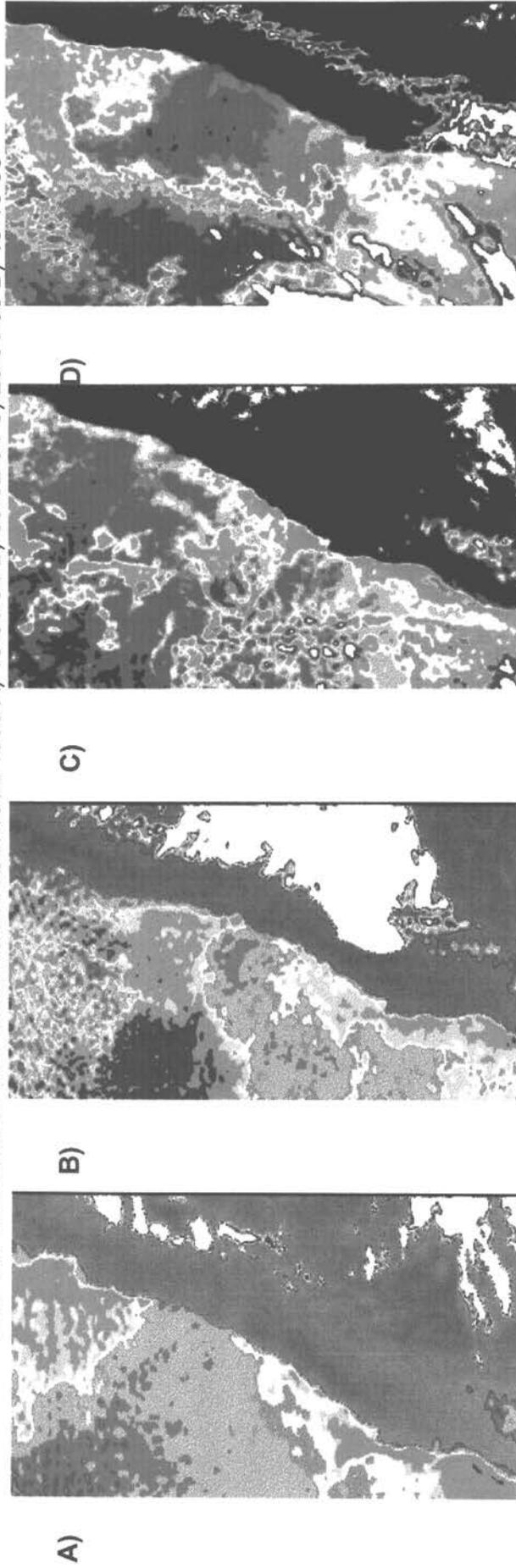


FIG. 124 IMAGENES SATELITALES DE TSM 1994 1995 A) 13-01-94 B) 09-02-94 C) 26-01-95 D) 19-10-95





INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO

TABLAS

TABLA 1. AJUSTE NO-LINEAL PARA LA RELACION
 ENTRE LA FECUNDIDAD Y LA LONGITUD TOTAL
 src=suma de los residuos cuadrados

AÑO	a	b	src	Número
1985	55,54	2,13	3,48E+12	479
1986	32,89	2,26	4,91E+12	486
1987	41,74	2,20	2,92E+12	339
1988	17,27	2,44	3,01E+12	169
1989	44,67	2,14	9,46E+11	133
1990	96,14	1,97	1,54E+12	165
1991	1,85	3,02	5,13E+12	351
1992	1,42	2,95	1,92E+12	445
1993	76,23	2,02	1,63E+12	210
1994	2,69	2,91	5,31E+11	49
1995	36,72	2,15	3,41E+11	142
1985-95	18,32	2,39	3,35E+13	2978

TABLA. 40 RESULTADOS DEL 1° COMPONENTE PRINCIPAL

	V REGION	V REGION	8 REGION	8 REGION
	AGOSTO	SEPTIEMBRE	AGOSTO	SEPTIEMBRE
% VARIANZA TOTAL	62,794	67,549	75,864	54,932
COEFICIENTES				
TSM	-0,311	-0,213	0,294	0,366
IS	0,489	0,479	-0,425	-0,507
W3	0,441	0,467	0,415	0,464

TABLA 41. AJUSTE DE LAS FUNCIONES DEL ALGORITMO ACE

H=PRODUCCION DE HUEVOS, TSM= TEMPERATURA SUPERFICIAL DEL MAR

IS= INDICE DE SURGENCIA Y W3= TURBULENCIA

AREA	MES	VARIABLES INDEPENDIENTES				R^2
TOTAL	AGOSTO	H	TSM	IS	W3	0,87
TOTAL	AGOSTO	H			W3	0,78
TOTAL	SEPTIEMBRE	H	TSM	IS	W3	0,8
TOTAL	SEPTIEMBRE	H			W3	0,75
VALPARAISO	AGOSTO	H			W3	0,7
VALPARAISO	SEPTIEMBRE	H			W3	0,75
TALCAHUANO	AGOSTO	H			W3	0,71
TALCAHUANO	SEPTIEMBRE	H			W3	0,73

TABLA 42. AJUSTE DE LA FUNCION DE RECLUTAMIENTO DEL ALGORITMO ACE

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coefficiente de correlación múltiple	0,996309658
Coefficiente de determinación R ²	0,992632934
R ² ajustado	0,99226458
Error típico	0,090022791
Observaciones	22

ANÁLISIS DE VARIANZA

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	1	21,83881376	21,83881376	2694,784866	8,32537E-23
Residuos	20	0,162082057	0,008104103		
Total	21	22,00089582			

	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%
Intercepción	-3,065294671	0,062087905	-49,37023872	2,25484E-22	-3,194807711	-2,93578163
R	0,018695604	0,000360145	51,91131732	8,32537E-23	0,017944355	0,01944685

TABLA 43. FUNCION DE PRODUCCION DE HUEVOS DEL ALGORITMO ACE

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coefficiente de correlación múltiple	0,997928363
Coefficiente de determinación R ²	0,995861018
R ² ajustado	0,994205425
Error típico	0,051438752
Observaciones	22

ANÁLISIS DE VARIANZA

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	6	9,54942664	1,591571107	601,5132441	5,36582E-17
Residuos	15	0,039689179	0,002645945		
Total	21	9,589115818			

	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%
Intercepción	-60,13547188	17,91099405	-3,35746144	0,004318728	-98,31187548	-21,9590683
H	92,67095446	26,44497605	3,504293379	0,003195257	36,30478763	149,037121
H ²	-58,35974264	15,76207188	-3,702542603	0,002127978	-91,95582424	-24,763661
H ³	18,87992421	4,862360392	3,882872244	0,001471769	8,516041989	29,2438064
H ⁴	-3,286375142	0,820045117	-4,007554064	0,001141643	-5,034261009	-1,53848927
H ⁵	0,291568096	0,071803356	4,060647168	0,0010249	0,13852277	0,44461342
H ⁶	-0,010308466	0,002554159	-4,035953182	0,001077609	-0,01575253	-0,0048644

TABLA 44. FUNCION DE TURBULENCIA DEL ALGORITMO ACE

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coefficiente de correlación múltiple	0,974602554
Coefficiente de determinación R ²	0,949850138
R ² ajustado	0,944571205
Error típico	0,104909556
Observaciones	22

ANÁLISIS DE VARIANZA

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	2	3,960673534	1,980336767	179,9322256	4,49327E-13
Residuos	19	0,209114284	0,011006015		
Total	21	4,169787818			

	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%
Intercepción	-3,300776581	0,176714017	-18,67863476	1,09918E-13	-3,670643384	-2,93090978
W3	0,02632762	0,001392809	18,90253506	8,86194E-14	0,023412437	0,0292428
W3 ²	-4,66308E-05	2,54129E-06	-18,34924711	1,51542E-13	-5,19498E-05	-4,1312E-05

TABLA 45. RESULTADOS DEL AJUSTE DEL MODELO DE EXITO REPRODUCTIVO
 $LN(R/H) = A + f(H) + F(W3(T, T+3)) + e$

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coefficiente de correlación múltiple	0,903311633
Coefficiente de determinación R ²	0,815971905
R ² ajustado	0,796600527
Error típico	0,141730233
Observaciones	22

ANÁLISIS DE VARIANZA

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	2	1,692270098	0,846135049	42,12255266	1,03848E-07
Residuos	19	0,381661721	0,020087459		
Total	21	2,073931818			

	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%
Intercepción	-2,909741983	2,379165864	-1,223009302	0,236279513	-7,889394913	2,06991095
SH	-0,548209453	0,303033662	-1,809071144	0,0862918	-1,182466393	0,08604749
SW3	1,31210699	0,18921517	6,934470379	1,3074E-06	0,916074965	1,70813901

TABLA 46. RESULTADOS DEL MODELO DE EXITO REPRODUCTIVO
 $LN(R/H) = f(W3(T_{-T+3}))$

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coefficiente de correlación múltiple	0,884887157
Coefficiente de determinación R ²	0,78302528
R ² ajustado	0,735406233
Error típico	0,14638351
Observaciones	22

ANÁLISIS DE VARIANZA

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	1	1,623941043	1,623941043	75,78546898	3,08378E-08
Residuos	21	0,449990775	0,021428132		
Total	22	2,073931818			

	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%
SW3	0,999751548	0,002508371	398,5660853	3,22019E-42	0,994535105	1,00496799

TABLA 47. MODELO DE EXITO REPRODUCTIVO
R/H = A+ W(T_T3)

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coefficiente de correlación múltiple	0,787152993
Coefficiente de determinación R ²	0,619609834
R ² ajustado	0,600590326
Error típico	7,19962E-07
Observaciones	22

ANÁLISIS DE VARIANZA

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	1	1,68864E-11	1,68864E-11	32,57759483	1,38292E-05
Residuos	20	1,03669E-11	5,18345E-13		
Total	21	2,72533E-11			

	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%
Intercepción	-1,67927E-07	7,71082E-07	-0,217781207	0,829806147	-1,77637E-06	1,4405E-06
W3 (T_T+3)	1,81245E-08	3,17546E-09	5,707678585	1,38292E-05	1,15006E-08	2,4748E-08

TABLA 48. MODELO DE EXITO REPRODUCTIVO
R/H= W(T_I+3)

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coefficiente de correlación múltiple	0,786579789
Coefficiente de determinación R ²	0,618707765
R ² ajustado	0,571088717
Error típico	7,034443E-07
Observaciones	22

ANÁLISIS DE VARIANZA

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	1	1,68618E-11	1,68618E-11	34,07586586	1,03654E-05
Residuos	21	1,03915E-11	4,94832E-13		
Total	22	2,72533E-11			

	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%
W3 (T_I+3)	1,74468E-08	6,17623E-10	28,24824621	3,42636E-18	1,61623E-08	1,8731E-08

TABLA 49. MODELO DE RECLUTAMIENTO CON FUNCIONES DE CLEVELAND
 $LN(R) = A + f(H) + f(W3(T, T+3))$

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coefficiente de correlación múltiple	0,677493543
Coefficiente de determinación R ²	0,4589975
R ² ajustado	0,402049869
Error típico	0,25253443
Observaciones	22

ANÁLISIS DE VARIANZA

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	2	1,028030128	0,514015064	8,059992801	0,002920069
Residuos	19	1,211699124	0,063773638		
Total	21	2,239729251			

	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%
Intercepción	-1,770324622	9,925194005	-0,178366752	0,860323037	-22,54400087	19,0033516
f(H)	0,894185751	0,276519646	3,23371509	0,004370732	0,315423301	1,4729482
f(W3(T, T+3))	0,197923712	0,616588154	0,32099824	0,751715747	-1,092610527	1,48845795

TABLA 50. MODELO DE RECLUTAMIENTO CON FUNCIONES DE CLEVELAND
 $\ln(R) = f(H)$

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coefficiente de correlación múltiple	0,674082506
Coefficiente de determinación R ²	0,454387225
R ² ajustado	0,406768178
Error típico	0,241229479
Observaciones	22

ANÁLISIS DE VARIANZA

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	1	1,01770436	1,01770436	17,48883488	0,000459699
Residuos	21	1,222024892	0,058191662		
Total	22	2,239729251			

	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%
f(H)	0,997952884	0,002720607	366,8125657	1,84058E-41	0,992295071	1,0036107

TABLA. 51. AJUSTE DEL MODELO STOCK-RECLUTAS DENSODEPENDIENTES

SOURCE	SUM-OF-SQUARE	DF	MEAN-SQUARE	
REGRESSION	64,662	2	32,331	
RESIDUAL	0,454	23	0,02	
TOTAL	65,115	25		
CORRECTED	1,859	24		
RAW R-SQUARED (1-RESIDUAL/TOTAL) =			0.993	
CORRECTED R-SQUARED (1-RESIDUAL/CORRECTED) =			0.756	
PARAMETER	ESTIMATE	A.S.E.	LOWER 95%	UPPER 95%
A	0,811	0,041	0,726	0,897
B	0,16	0,011	0,137	0,182

TABLA 52. AJUSTE DE LAS FUNCIONES ACE PARA LN(1+RI/RD)

TSM= Temperatura superficial, IS= Indice de Surgencia; W3=Turbulencia

IOSMIN= Minimo indice de oscilación del sur entre junio del año t y julio del año t+1

AREA	MES	VARIABLES AMBIENTALES				R^2
TOTAL	AGOSTO	TSM	IS	W3		0,8708
TOTAL	SEPTIEMBRE	TSM	IS	W3		0,6997
TOTAL	AGOSTO			W3		0,8451
TOTAL	SEPTIEMBRE			W3		0,8554
TOTAL					IOSMIN	0,6043
TOTAL	AGOSTO	TSM	IS	W3	IOSMIN	0,7588
TOTAL	SEPTIEMBRE	TSM	IS	W3	IOSMIN	0,8692

TABLA 53. Parámetros de la función $SGR_E = C e^{aVA} GW^b$ ajustada para merluza común SGR : tasa específica de crecimiento a la edad E; C: constante; VA: variable ambiental; GW: peso geométrico a la edad. ES: error estándar respectivo. ISV: índice surgencia Valpo.; W3V: turbulencia Valpo.; TSMT: temperatura superficial del mar de Talhno.

Edad	lnC	ES _c	VA	a	ES _a	b	ES _b	R ²	n
2	-3,612	0,707	ISV	5,10E-04	4,70E-04	-0,880	0,487	0,180	27
2	-3,708	0,716	W3V	5,50E-04	5,00E-04	-0,945	0,476	0,180	27
3	-3,418	0,777	W3V	2,60E-04	5,10E-04	-0,955	0,723	0,081	27
5	-1,962	1,423	W3V	2,60E-03	1,40E-03	4,409	2,404	0,220	27
10	-3,795	3,966	TSMT	1,80E-02	2,93E-01	0,953	1,493	0,022	26

TABLA 54. Parámetros de la función $SGR = C e^{aVA} GW^b (1/N^d)$ ajustada para merluza común, SGR : tasa específica de crecimiento a la edad E; C: constante; VA: variable ambiental; GW: peso geométrico a la edad. N: abundancia promedio estimada. ES: error estándar respectivo. ISV: índice surgencia Valpo.; W3T: turbulencia Talhno.; W3V: turbulencia Valpo.; TSMT: temperatura superficial del mar de Talcahuano.

Edad	lnC	ES _c	VA	a	ES _a	b	ES _b	d	ES _d	R ²	n
2	-1,421	2,367	W3T	-4,60E-04	1,89E-03	-1,008	0,805	-0,106	0,101	0,210	24
3	6,422	4,65	W3V	2,00E-04	5,00E-04	-0,779	0,679	-0,512	0,238	0,230	27
5	-15,327	13,254	W3V	3,00E-03	1,50E-02	4,480	2,404	0,73	0,72	0,250	27
5	-15,62	13,624	ISV	2,60E-02	1,40E-02	5,132	2,46	0,769	0,741	0,230	27
10	-7,231	5,341	TSMT	7,50E-02	2,99E-01	2,088	1,904	0,161	0,167	0,062	26

TABLA 55. VARIACION INTERANUAL DE LOS CENTROS GEOGRAFICOS MEDIOS Y DEL PORCENTAJE ACUMULADO DEL ESFUERZO DE LOS 12 CALADEROS DE PESCA DE LA MERLUZA COMUN

CALADERO	Datos	AÑO												TOTAL
		1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	
1	CG medio	31,79	31,73	31,69	31,68	31,72	31,76	31,76	31,74	31,80	31,74	31,80	31,71	31,74
	SUM%F	6,88	6,28	5,76	3,39	2,81	0,97	2,75	0,20	0,99	0,74	1,21	2,76	34,73
2	CG medio	32,42	32,38	32,43	32,39	32,37	32,36	32,44	32,41	32,47	32,41	32,40	32,47	32,41
	SUM%F	0,99	4,47	1,79	4,24	2,57	0,47	1,26	0,00	0,86	0,00	0,12	8,44	25,20
3	CG medio	33,29	33,27	33,25	33,28	33,26	33,29	33,25	33,31	33,35	33,38	33,32	33,04	33,28
	SUM%F	3,56	3,40	6,64	4,27	4,32	3,04	5,26	3,41	8,46	14,79	16,62	18,69	92,46
4	CG medio	33,79	33,78	33,78	33,79	33,77	33,77	33,78	33,87	33,76	33,74	33,77	33,88	33,79
	SUM%F	21,77	6,22	11,44	14,92	13,23	5,17	6,35	8,65	16,13	23,20	21,20	4,68	152,94
5	CG medio	34,68	34,63	34,62	34,64	34,73	34,63	34,70	34,82	34,85	34,72	34,65	34,55	34,68
	SUM%F	26,16	15,60	17,15	28,22	21,75	9,77	12,34	16,55	13,91	17,93	12,58	14,76	206,71
6	CG medio	35,30	35,34	35,38	35,36	35,32	35,38	35,33	35,48	35,36	35,33	35,29	35,34	35,35
	SUM%F	12,20	8,56	8,04	12,88	14,63	13,59	13,81	35,01	17,72	15,70	11,70	14,00	177,85
7	CG medio	35,80	35,85	35,92	35,87	35,98	35,92	35,93	36,07	35,89	35,92	35,92	35,90	35,91
	SUM%F	8,62	23,43	39,18	23,83	14,58	39,03	22,30	7,04	14,22	8,77	9,20	0,73	210,92
8	CG medio	36,56	36,56	36,52	36,48	36,46	36,52	36,54	36,50	36,53	36,51	36,53	36,72	36,54
	SUM%F	1,45	4,18	3,42	5,02	5,29	15,08	15,88	5,54	10,96	4,51	5,71	10,48	87,51
9	CG medio	37,74	37,70	37,76	37,79	37,78	37,74	37,88	37,96	37,87	37,88	37,84	37,76	37,81
	SUM%F	12,66	20,64	9,66	8,36	16,06	9,46	11,16	7,57	4,23	4,37	10,61	12,64	127,40
10	CG medio	38,64	38,63	38,63	38,66	38,66	38,65	38,64	38,64	38,66	38,67	38,61	38,63	38,64
	SUM%F	2,77	3,53	1,30	0,65	2,42	0,99	0,00	6,29	2,77	2,57	2,33	0,20	25,83
11	CG medio	39,16	39,10	39,11	39,15	39,14	39,16	39,19	39,11	39,20	39,20	39,14	39,25	39,16
	SUM%F	0,58	1,50	0,60	1,02	4,60	2,34	3,48	4,33	3,91	5,49	4,70	2,85	35,39
12	CG medio	40,54	40,54	40,56	40,54	40,54	40,54	40,59	40,53	40,51	40,50	40,53	40,54	40,54
	SUM%F	0,00	1,73	0,78	0,31	0,00	0,00	1,98	4,20	5,23	0,82	0,72	0,00	15,77
	Total CG medio	35,81	35,79	35,80	35,80	35,81	35,81	35,84	35,87	35,85	35,83	35,82	35,81	35,82
	Total Suma de SUM%F	97,64	99,53	105,77	107,12	102,25	99,91	96,55	98,78	99,38	98,88	96,68	90,23	1192,71

TABLA 56. CENTROS GEOGRAFICOS MEDIOS POR CALADERO DE PESCA Y PROMEDIADOS POR SECTOR (SECTOR 1: CALADEROS 9-12; SECTOR 2: CALADEROS 4-8; SECTOR 3: CALADEROS 1-3) EN 1992 Y 1993

CALADERO	CGM92	CGM93
1	31,80	31,71
2	32,40	32,47
3	33,32	33,04
CG medio	32,51	32,40
4	33,77	33,88
5	34,65	34,55
6	35,29	35,34
7	35,92	35,90
8	36,53	36,72
CG medio	35,23	35,28
9	37,84	37,76
10	38,61	38,63
11	39,14	39,25
12	40,53	40,54
CG medio	39,03	39,04