



UNIVERSIDAD AUTONOMA DE BAJA CALIFORNIA

FACULTAD DE CIENCIAS MARINAS

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES OCEANOLOGICAS

***SOBRE LA INFLUENCIA DE GIROS DE MESOESCALA
EN LAS CAPTURAS DE ATUN ALETA AMARILLA
(Thunnus albacares) EN EL OCEANO PACIFICO
TROPICAL ESTE.***

TESIS QUE PARA OBTENER EL GRADO DE DOCTOR EN CIENCIAS EN
OCEANOGRAFIA COSTERA

PRESENTA

HECTOR GUILLERMO MANZO MONROY

ENSENADA, ABRIL 2003

RESUMEN

La distribución del recurso pesquero, atún aleta amarilla (*Thunnus albacares*) en el Océano Pacífico Tropical Este (OPTE) esta determinada por diversos factores oceanográficos-meteorológicos. Se ha considerado que la temperatura del mar es la principal variable de influencia en dicha distribución. En esta investigación se propone que los giros de mesoescala (~ 400 km diámetro) son propicios para la producción y/o concentración de alimento para el atún, lo cual es determinante para la concentración de este recurso pesquero. Estos giros de mesoescala que se forman por eventos de surgencias en el Golfo de Tehuantepec (México) y Golfo de Papagayo (Centroamérica) se desplazan hacia el oeste, a lo largo de entre 8N y 12N.

El propósito de este estudio es analizar la estructura de variabilidad y de correlación entre la distribución de la flota atunera y los giros de mesoescala en el OPTE, principalmente entre los 5 N y 15 N.

Se realiza un análisis exploratorio de datos con técnicas de estadística multivariada como; Funciones Empíricas Ortogonales, Correlación Canónica y Análisis de Series de Tiempo. Las variables estudiadas son; capturas de atún aleta amarilla por la flota Mexicana, anomalía de la altura de la superficie del mar (satélite), temperatura superficial del mar (asimilación), profundidad de la termoclina (modelo), corrientes superficiales del mar (modelo), pseudo esfuerzo de viento (asimilación). El período de estudio comprende de 1993 a 1998 en una malla de 1 x 1 x 1 (longitud-latitud-mes). Para la simulación de desplazamientos del recurso pesquero en secciones longitud-tiempo (latitud 10N constante) se emplea un modelo numérico de diferencias finitas con términos de difusión, dispersión, crecimiento poblacional y mortalidad por pesca.

La anomalía de la altura de la superficie del mar (**Aasm**) es usada para la detección de los giros de mesoescala. Se distinguen, principalmente dos zonas de mayor

variabilidad de la **Aasm**. Una región al este de los 115O – 120O con actividad pesquera concentrada en la primera mitad del año y al oeste con actividad en la segunda mitad. Se detecta claramente la señal del evento de El Niño para las algunas variables ambientales y en menor medida para la actividad pesquera. Esta señal es identificada a lo largo del Ecuador y en toda la zona costera de México.

Se definieron dos índices de variabilidad de la **Aasm**. Uno es el gradiente, como la diferencia de la **Aasm** entre dos localidades. Estas estaciones están ubicadas adyacentes a el flujo de los intensos eventos del viento que se presentan en el Golfo de Tehuantepec y el Golfo de Papagayo. El segundo índice de variabilidad es la rapidez ó razón de cambio en el tiempo de la **Aasm** para una misma posición en ambos Golfos. Estos índices son correlacionados con la razón de captura en dos regiones oceánicas (entre los 5N y 15N) de relativas altas capturas. Se obtienen mayores valores de correlación con la región del Golfo de Tehuantepec que con la de Papagayo.

Con el modelo numérico se obtienen perfiles simulados de captura en espacio y tiempo satisfactorios a los observados.


Universidad Autónoma del Estado de Baja California
Facultad de Ciencias Marinas
Instituto de Investigaciones Oceanológicas

**Sobre la Influencia de Giros de Mesoescala en las Capturas de Atún Aleta
Amarilla (*Thunnus albacares*) en el Océano Pacífico Tropical Este**

Tesis que para obtener el grado de Doctor en Ciencias
Presenta

Hector Guillermo Manzo Monroy

Tesis Aprobada por:



**Dr. Richard Deriso.
Director**



**Dr. Jorge de la Rosa Vélez.
Sinodal**



**Dr. Antonio Martínez Alcalá.
Sinodal**



**Dr. Eduardo Santa María del Ángel
Sinodal**



**Dr. Oscar Sosa Nishizaki
Sinodal**

INDICE

INTRODUCCION	pg
1.1. Oceanografía Pesquera del Atún.	1
1.2. Marco Ecológico.	9
1.3. Giros de Mesoescala y Actividad Biológica.	11
1.4. Procesos de Mesoescala en el Océano Pacífico	
Tropical Este.	16
1.5. Hipótesis.	20
 METODOS	
2.1. Fuente de Información y Adquisición.	22
2.2. Proceso de los Datos.	24
2.3. Procesamiento Estadístico.	27
2.4. Funciones Empíricas Ortogonales Independientes.	28
2.4.1. Funciones Empíricas Ortogonales Acopladas	30
2.5. Análisis de Componentes Principales.	31
2.6. Análisis de Correlación Canónica.	33
2.7. Velocidad de Fase de Ondas de Rossby.	34
2.8. Análisis de Series de Tiempo.	35
2.9. Modelo Numérico de la Dinámica de Población de Atún Aleta	
<i>Amarilla</i>	38

RESULTADOS

3.1. Climatología de las Variables Ambientales.	43
3.2. Patrones Espaciales de la Anomalía de la Superficie del Mar y Distribución de la Flota Atunera.	50
3.3. Secciones Hovmoller, Longitud-Tiempo.	64
3.4. Funciones Empíricas Ortogonales Independientes de <i>Aasm</i> y Capturas de Atún.	69
3.5. Funciones Empíricas Ortogonales Acopladas de <i>Aasm</i> y Capturas de Atún.	73
3.6. Análisis de Correlación Canónica.	77
3.7. Análisis de Series de Tiempo.	79
3.7.1. Viento y Variabilidad de la Superficie del Mar en el Golfo de Tehuantepec.	79
3.7.2. Viento y Variabilidad de la Superficie del Mar en el Golfo de Papagayo.	85
3.8. Modelo Numérico de la Dinámica de Población del Atún Aleta Amarilla.	88
DISCUSION	92
CONCLUSIONES	106
LITERATURA CITADA	109

APENDICE

Análisis Exploratorio de Datos de Viento, Corrientes Superficiales del Mar, Temperatura y Profundidad de la Termoclina en el OPTE, de 1993 a 1998.

1. Patrones Espaciales, Longitud – Latitud en el Tiempo.	120
1.1. Profundidad de la Termoclina y Distribución de la Flota Atunera.	120
1.2. Temperatura Superficial del Mar y Distribución de la Flota Atunera.	125
2. Análisis de Componentes Principales.	130
3. Funciones Empíricas Ortogonales.	149
4. Análisis de Correlación Canónica para los Modos de las FEO.	156
5. Análisis de Correlación Canónica para los Variables Originales.	159

LISTA DE FIGURAS

1. Área de estudio. Malla espacial de 1 x 1 grado, longitud – latitud en grados. 27
2. Localización de las estaciones para el viento en el Golfo de Tehuantepec y Golfo de Papagayo (flechas en negro). Estaciones para la variabilidad de **Aasm** en el Golfo de Tehuantepec **T1** y **T2**; en el Golfo de Papagayo **P1** y **P2**. Áreas de capturas de atún, **A, B, C, D**. 36
- 3a. Valores promedio para el período de 1993 a 1998 de temperatura superficial del mar (**Tsm**), componente “**x**” del pseudo esfuerzo del viento (**Pstx**), componente “**y**” del pseudo esfuerzo del viento (**Psty**) y magnitud del pseudo esfuerzo del viento. 44
- 3b. Valores promedio para el período de 1993 a 1998 de componente “**x**” de la corriente superficial del mar (**Ucur**), componente “**y**” de la corriente superficial del mar (**Vcur**) y profundidad de la termoclina (**Zterm**). 46
- 3c. Valore promedio para el período de 1993 a 1998 de la anomalía de la altura del mar (**Aasm**). 48
- 3d. Valores promedio anual para el período de 1993 a 1998 de las capturas de **Aaa**. 49
- 4a. Patrones espaciales de **Aasm** (color) y posiciones de los lances atuneros (puntos azules) para el año de 1993. 52

LISTA DE FIGURAS (CONTINUACION)

- 4b. Patrones espaciales mensuales, de enero a abril de 1993 para la **Aasm**, con corrientes geostróficas (vectores) derivadas de la **Aasm** y las posiciones de los lances atuneros (círculos azules). 53
- 4c. Patrones espaciales mensuales, de mayo a agosto de 1993 para la **Aasm**, con corrientes geostróficas (vectores) derivadas de la **Aasm** y las posiciones de los lances atuneros (círculos azules). 55
- 5a. Patrones espaciales de **Aasm** (color) y posiciones de los lances atuneros (puntos azules) para el año de 1995. 57
- 5b. Patrones espaciales mensuales, de enero a abril de 1995 para la **Aasm**, con corrientes geostróficas (vectores) derivadas de la **Aasm** y las posiciones de los lances atuneros (círculos negros). 58
- 5c. Patrones espaciales mensuales, de mayo a agosto de 1995 para la **Aasm**, con corrientes geostróficas (vectores) derivadas de la **Aasm** y las posiciones de los lances atuneros (círculos negros). 59
- 6a. Patrones espaciales de **Aasm** (color) y posiciones de los lances atuneros (puntos azules) para el año de 1997. 61
- 6b. Patrones espaciales mensuales, de enero a abril de 1997 para la **Aasm**, con corrientes geostróficas (vectores) derivadas de la **Aasm** y las posiciones de los lances atuneros (círculos negros). 62

LISTA DE FIGURAS (CONTINUACION)

- 6c. Patrones espaciales mensuales, de mayo a agosto de 1997 para la **Aasm**, con corrientes geostróficas (vectores) derivadas de la **Aasm** y las posiciones de los lances atuneros (círculos negros). 63
7. Secciones Hovmoller, longitud (x) – tiempo (y) de Aasm (color). La unidad en tiempo corresponde a 10 días de ciclo repetido del satélite Topex con origen al 1 de enero de 1985. Línea punteada (- - -) representa la pendiente o la velocidad de Aasm. Línea continua (—) representa la pendiente o velocidad del frente de la flota atunera. 65
8. Primeros tres modos de las FEO independientes para las capturas del atún. Los cuadros superiores representan la amplitud de los respectivos modos. Recuadros inferiores representan la componente espacial de los modos. Unidades de tiempo en meses; 1993 (1 – 12), 1994 (13 – 24), 1995 (25 – 36), 1996 (37 – 48), 1997 (49 – 60) y 1998 (61 – 72). 70
9. Primeros tres modos para las FEO independientes para Aasm. Los cuadros superiores representan la amplitud de los respectivos modos. Recuadros inferiores representan la componente espacial de los modos. Unidades de tiempo en meses; 1993 (1 – 12), 1994 (13 – 24), 1995 (25 – 36), 1996 (37 – 48), 1997 (49 – 60) y 1998 (61 – 72). 72
10. Primeros tres modos para las FEO acopladas entre **Aasm** y **Aaa**. La matriz **U** representa la covarianza explicada en términos Aaa. La matriz **V** representa la covarianza explicada en términos **Aasm**. 74

LISTA DE FIGURAS (CONTINUACION)

11. Amplitud o variabilidad en tiempo de los primeros tres modos de las FEO acopladas entre **Aaa** y **Aasm**, para el período 1993 a 1998. Tiempo en meses. 76
12. Correlación canónica entre **Aaa** y **Aasm**. Recuadros superiores con las tres primeras variables canónicas para **Aaa**. Recuadros inferiores con las tres primeras variables canónicas para **Aasm**. 78
13. Correlación cruzada para las series de tiempo de la componente “**y**” del pseudo esfuerzo de viento (**Psty**) y la variabilidad de la superficie del mar (**Vsm**) en el Golfo de Tehuantepec. Correlación cruzada entre **Vsm** y la razón de captura en las áreas **C** y **D**. 81
14. Series de tiempo de la componente “**y**” del pseudo esfuerzo del viento (**Psty**, originales y suavizados) en Tehuantepec (recuadro superior). **Psty** suavizado y **Vsm** (recuadro segundo). **Vsm** y capturas en el área **C** (tercer recuadro). **Vsm** y capturas en el área **D** (recuadro inferior). 82
15. Correlación cruzada para las series de tiempo de la componente “**x**” del pseudo esfuerzo de viento (**Pstx**) y la variabilidad de la superficie del mar (**Vsm**) en el Golfo de Papagayo. Correlación cruzada entre **Vsm** y la razón de captura en las áreas **C** y **D**. 85

LISTA DE FIGURAS (CONTINUACION)

16. Series de tiempo de la componente "x" del pseudo esfuerzo del viento (***Pstx***, originales y suavizados) en Tehuantepec (recuadro superior). ***Psxy*** suavizado y ***Vsm*** (recuadro segundo). ***Vsm*** y capturas en el área ***C*** (tercer recuadro). ***Vsm*** y capturas en el área ***D*** (recuadro inferior). 87
17. Sección longitud- tiempo simulada de la concentración de atún. Eje "x" longitud, eje "y" tiempo. 89
18. Perfiles observados de la razón de captura a lo largo de la banda 10N (integrada entre 5N y 15N). Ejemplo de comportamiento anual. 90
19. Perfiles longitudinales simulados de la concentración atún. 91

LISTA DE TABLAS

- Tabla I. Velocidad de fase con dirección al oeste de giros anticiclónicos (valores positivos de Aasm) y del frente atunero, anuales. 68
- Tabla II. Velocidad del frente atunero y defasamiento entre las áreas costeras y las zonas de pesca oceánicas en función de la distancia. 84
- Tabla III. Defasamiento del frente atunero entre las zonas costeras y las zonas de pesca oceánicas en función de distancia y velocidad. 84

LISTA DE FIGURAS, APENDICE "A"

1. Profundidad de la termoclina (**Zterm**), mensual (color). Posición de los lances atuneros (puntos azules). 1993. 122
2. Profundidad de la termoclina (**Zterm**), mensual (color). Posición de los lances atuneros (puntos azules). 1995. 123
3. Profundidad de la termoclina (**Zterm**), mensual (color). Posición de los lances atuneros (puntos azules). 1997. 124
4. Temperatura superficial del mar (**Tsm**), mensual (color). Posición de los lances atuneros (puntos azules). 1993. 127
5. Temperatura superficial del mar (**Tsm**), mensual (color). Posición de los lances atuneros (puntos azules). 1995. 128
6. Temperatura superficial del mar (**Tsm**), mensual (color). Posición de los lances atuneros (puntos azules). 1997. 129
- 7a. Varianza explicada acumulativa de análisis de componentes principales (ACP), 1993 a 1996. 131
- 7b. Varianza explicada acumulativa de análisis de componentes principales (ACP), 1997 y 1998. 132
- 8a. Pesos de ACP para **Aaa** y variables ambientales; **Tsm**, **Pstx**, **Psty**, **Zterm**, **Ucur**, **Vcur** y **Aasm**. 1993 a 1996. 133

LISTA DE FIGURAS, APENDICE "A" (CONTINUACION)

- 8b. Pesos de ACP para *Aaa* y variables ambientales; *Tsm, Pstx, Psty, Zterm, Ucur, Vcur* y *Aasm*. 1997 y 1998. 134
9. Pesos de ACP proyectados de las variables originales para cada variable ambiental sobre los componentes 1 y 2, 1993. 137
10. Pesos de ACP proyectados de las variables originales para cada variable ambiental sobre los componente 1 y 2, 1994. 138
11. Pesos de ACP proyectados de las variables originales para cada variable ambiental sobre los componente 1 y 2, 1995. 139
12. Pesos de ACP proyectados de las variables originales para cada variable ambiental sobre los componente 1 y 2, 1996. 140
13. Pesos de ACP proyectados de las variables originales para cada variable ambiental sobre los componente 1 y 2, 1997. 141
14. Pesos de ACP proyectados de las variables originales para cada variable ambiental sobre los componente 1 y 2, 1998. 142
15. Pesos de ACP proyectados de las variables originales para cada variable ambiental sobre los componente 2 y 3, 1993. 143
16. Pesos de ACP proyectados de las variables originales para cada variable ambiental sobre los componente 2 y 3, 1994. 144

LISTA DE FIGURAS, APENDICE "A" (CONTINUACION)

17. Pesos de ACP proyectados de las variables originales para cada variable ambiental sobre los componente 2 y 3, 1995. 145
18. Pesos de ACP proyectados de las variables originales para cada variable ambiental sobre los componente 2 y 3, 1996. 146
19. Pesos de ACP proyectados de las variables originales para cada variable ambiental sobre los componente 2 y 3, 1997. 147
20. Pesos de ACP proyectados de las variables originales para cada variable ambiental sobre los componente 2 y 3, 1998. 148
21. Primeros tres modos de las FEO para **Tsm**. Recuadros superiores con la amplitud o variabilidad temporal. Recuadros inferiores con la variabilidad espacial. 150
22. Primeros tres modos de las FEO para **Zterm**. Recuadros superiores con la amplitud o variabilidad temporal. Recuadros inferiores con la variabilidad espacial. 151
23. Primeros tres modos de las FEO para **Pstx**. Recuadros superiores con la amplitud o variabilidad temporal. Recuadros inferiores con la variabilidad espacial. 152
24. Primeros tres modos de las FEO para **Psty**. Recuadros superiores con la amplitud o variabilidad temporal. Recuadros inferiores con la variabilidad espacial. 154

LISTA DE FIGURAS, APENDICE "A" (CONTINUACION)

25. Primeros tres modos de las FEO para **Ucur**. Recuadros superiores con la amplitud o variabilidad temporal. Recuadros inferiores con la variabilidad espacial. 155
26. Primeros tres modos de las FEO para **Vcur**. Recuadros superiores con la amplitud o variabilidad temporal. Recuadros inferiores con la variabilidad espacial. 156
27. Primeras dos variables canónicas de análisis de correlación canónica (ACC) entre **Aaa** y **Psty**, 1993. 161
28. Primeras dos variables canónicas de análisis de correlación canónica (ACC) entre **Aaa** y **Pstx**, 1993. 162
29. Primeras dos variables canónicas de análisis de correlación canónica (ACC) entre **Aaa** y **Tsm**, 1993. 163
30. Primeras dos variables canónicas de análisis de correlación canónica (ACC) entre **Aaa** y **Aasm**, 1993. 164
31. Primeras dos variables canónicas de análisis de correlación canónica (ACC) entre **Aaa** y **Psty**, 1995. 165
32. Primeras dos variables canónicas de análisis de correlación canónica (ACC) entre **Aaa** y **Pstx**, 1995. 166

LISTA DE FIGURAS, APENDICE "A" (CONTINUACION)

33. Primeras dos variables canónicas de análisis de correlación canónica (ACC) entre *Aaa* y *Tsm*, 1995. 167
34. Primeras dos variables canónicas de análisis de correlación canónica (ACC) entre *Aaa* y *Aasm*, 1995. 168
35. Primeras dos variables canónicas de análisis de correlación canónica (ACC) entre *Aaa* y *Psty*, 1997. 169
36. Primeras dos variables canónicas de análisis de correlación canónica (ACC) entre *Aaa* y *Pstx*, 1997. 170
37. Primeras dos variables canónicas de análisis de correlación canónica (ACC) entre *Aaa* y *Tsm*, 1997. 171
38. Primeras dos variables canónicas de análisis de correlación canónica (ACC) entre *Aaa* y *Aasm*, 1997. 172
39. Concentración de clorofila de "CZCS" 173
40. Concentración de clorofila de "Sea WIFS" 173

LISTA DE TABLAS, APENDICE "A"

Tabla I. Variables importantes en los ejes de componentes principales.	136
Tabla II. Coeficientes de correlación canónica entre los primeros tres modos de las FEO de Aaa y los tres primeros modos de las FEO de las variables ambientales.	157
Tabla III. Coeficientes de correlación canónica.	159

INTRODUCCION

1.1 Oceanografía Pesquera del Atún.

El volumen de pesca de atún en el Océano Pacífico es mayor que en los Océanos Atlántico e Índico. La captura de atún aleta amarilla (*Thunnus albacares*) (~ 34 %) en el Pacífico se ubica en el segundo lugar, después del barrilete (*Katsuwonus pelamis*) (~ 52%), de entre 6 principales especies capturadas de túnidos.

La pesquería del atún en México representa una actividad significativa, tanto por los volúmenes de captura como por el empleo generado (directo e indirecto) y aporte de alimento a precios accesibles. México cuenta con una flota pesquera relativamente moderna, con personal de amplia experiencia y la distribución natural del recurso pesquero es favorable. Por lo que los volúmenes de captura de túnidos corresponden a los primeros lugares con respecto a flotas de otras banderas en el Océano Pacífico Oriental (OPO). El OPTE también es identificado como el Océano Pacífico Tropical Este (OPTE), esta última denominación es la utilizada en el presente trabajo. El atún aleta amarilla

representa aproximadamente un 80 % del total de los túnidos capturados por la flota mexicana.

El tema de estudio de la presente investigación se identifica en la línea de la oceanografía pesquera. Una definición apropiada de oceanografía pesquera es “el estudio de los procesos oceanográficos que afectan la abundancia y disponibilidad de peces comerciales”, dada por Wooster (1961). Una definición más amplia de oceanografía pesquera es “el estudio de los procesos oceánicos que afectan los ecosistemas marinos y la relación de estos ecosistemas con la abundancia y disponibilidad de los peces” (*Parsons and Harrison, 2000*). Uno de los principales propósitos de la investigación pesquera relacionada con los atunes es el entendimiento de la distribución ó los límites en espacio y tiempo donde existen las especies y como varia su abundancia de dentro de estos límites, (*Blackburn, 1965*). Con respecto al esfuerzo pesquero, los términos apropiados son vulnerabilidad y disponibilidad, definidos como; la promoción de la población reclutada que se encuentra físicamente dentro del rango geográfico de la flota durante la temporada de pesca, y la accesibilidad de los peces dentro del rango geográfico de la flota para el esfuerzo de la pesca (*Howard, 1963*).

El conocer la distribución del atún y la variabilidad de su abundancia es el primer paso para la predicción. Los pasos lógicos para el estudio de este tema son del análisis exploratorio (descriptivo y explicativo), a la fase experimental, análisis

numérico y eventualmente predicción, (*Uda, 1963; Seckel, 1972; Sund et al., 1981*).

Inicialmente, se realizó un considerable trabajo relacionado con propiedades oceánicas específicas como determinantes de la distribución del atún. Las principales propiedades oceánicas consideradas son: la temperatura del océano (distribución horizontal y vertical), el oxígeno disuelto, salinidad, transparencia y nutrientes-productividad-primaria-plancton. Otra línea de investigación en el conocimiento de la distribución del atún en relación a masas y tipos de agua es con respecto al desove del atún. Una tercera línea de investigación es con respecto a características y procesos oceánicos en un sentido más físico y dinámico, tales como frentes, giros, mezcla vertical y fertilización de la columna de agua (*Howard, 1963; Laevastu and Rosa, 1963; Uda, 1963; Blackburn, 1965; Sund et al., 1981*);). Esta tercera línea se integra en un marco más unificado. Para el conocimiento de las relaciones entre propiedades-procesos oceánicos y distribución del atún debemos pensar en términos de dinámica causal.

La máxima distribución latitudinal del atún tropical aleta-amarilla es, en general de los 40 N a 40 S, de acuerdo a registros de captura por cerco y palangre (*Wild, 1995*). La distribución vertical, en general, es entre los 0 y 150 m. Se establece que el atún ocurre entre los 18⁰ y 31⁰ C y se localiza comercialmente entre los 20⁰ y 28⁰ C (*Broadhead and Barret, 1964; Blackburn, 1965*). Una temperatura

de 20⁰ C, tanto en los planos vertical como horizontal, directamente limita el rango de distribución del atún. La especie se localiza ocasionalmente en aguas tan frías como de 14⁰ C en la profundidad y de 25⁰ C en la horizontal (*Broadhead and Barret, 1964; Blackburn, 1965; Sund et al., 1981*). El desove del atún aleta amarilla esta relacionado con la presencia de una temperatura superficial del mar mayor de 25⁰ C. (*Schaefer, 1998*).

Existen también sugerencias que la concentración vertical del oxígeno puede ser un factor limitante para la distribución del atún. Valores aproximados de contenido de oxígeno en la capa de mezcla son de 4 a 6 ml/lit seguido de una disminución drástica a 1 ml/lit bajo de la termoclina. Coincidentemente, el núcleo de la termoclina es definido por la isoterma de los 20⁰ C. Consecuentemente, no es claro si la temperatura o el oxígeno son los factores limitantes para la concentración del atún en sobre la termoclina (*Yabe et al., 1963; Wild, 1995*). En todo caso el atún presenta sensibilidad a niveles bajos de oxígeno y afinidad a rangos de temperatura que lo confinan a los primeros ~ 100m de profundidad en el OPTE (*Sharp and Dizon, 1978*).

Existe un acuerdo general de que la temperatura determina los límites de la distribución del atún pero no los patrones variables de distribución dentro de estos límites. Se puede esperar que la variación de abundancia del atún de

región a región sea en proporción a la abundancia de alimento (*Alverson, 1963; Blackburn, 1965; Sund et al., 1981*).

Antiguas referencias (*Yamanaka et al., 1957, citado por Blackburn, 1965*) sugieren que existe una relación causal entre la distribución de las masas de agua y de las especies de atún. Para algunas especies y estadios de vida existe una relación muy estrecha entre estas relaciones. En términos de características y procesos oceánicos existen evidencias de que diferentes especies de atún tiene su centro de distribución o hábitats característicos en corrientes oceánicas diferentes (*Blackburn, 1965; Sund et al., 1981*). Sin embargo, esto no es concluyente. Dentro de un sistema de corrientes, los atunes tienden a agregarse en las fronteras de masas de agua (convergencias y/o divergencias). Estas son áreas de mezcla de diferentes masas de agua y usualmente son más abundantes de alimento pelágico (*Laevastu and Rosa, 1963*).

Los frentes son considerados importantes en la ecología de los túnidos y otros organismos pelágicos. Los frentes son fronteras entre aguas de diferentes densidades, reconocibles por fuertes gradientes de temperatura y/o salinidad. Los frentes están presentes en una amplia escala; sistemas frontales a lo largo del Pacífico, frentes de surgencias y frentes de giros entre otros. Se establece que las divergencias-convergencias a lo largo de los frentes son lugares adecuados para la agregación de plancton y necton, por lo tanto, la presencia de

los túnidos esta asociada al alimento (*Laevastu and Rosa, 1963; Blackburn, 1965; Sund et al., 1981*).

La topografía promedio de la termoclina es considerada de gran importancia en la determinación de la distribución de parches del atún aleta-amarilla en el OPTE. Existe en general, consistencia entre las posiciones de altas y bajas abundancias de atún con la posición de las elevaciones térmicas. La razón de captura de los túnidos se incrementan significativamente ya sea con la isoterma de 23 °C somera ó con un fuerte gradiente térmico. Sin embargo, en numerosas ocasiones, la presencia de lo anterior no resultó en incremento de las capturas. Pueden existir otros factores que dispersen o congreguen el alimento (*Wild, 1995*). *Brandhorst (1958)* encontró altas densidades de zooplancton sobre los domos y elevaciones térmicas y bajas densidades sobre las depresiones térmicas.

Laevastu and Rosa (1963) mencionan la presencia de diferentes especies de túnidos asociados con giros. Atún aleta-azul en las zonas frontales de giros ciclónicos fríos. La albacora también se presenta en zonas frontales en paquetes de aguas cálidas cerca de los límites fríos y en giros oceánicos ciclónicos fríos, el barrilete usualmente se encuentra en lenguas cálidas cerca de zonas frontales y en giros anticiclónicos. *Sette (1955)* encontró la presencia de cardúmenes de

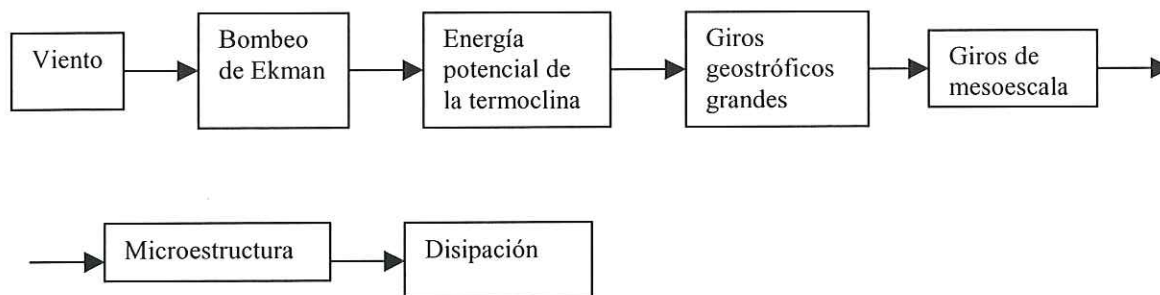
barrilete asociados con un sistema semi-permanente de giros corriente abajo de las Islas Hawai.

Las conclusiones generales de estos estudios iniciales se pueden resumir en las siguientes aseveraciones:

- La temperatura superficial restringe la extensión horizontal de la distribución del atún aleta-amarilla.
- La variabilidad intra-anual en el desplazamiento latitudinal de agua cálida (isoterma de los 18⁰C - 20⁰ C) se asocia con los movimientos latitudinales del atún.
- El alimento parece ser la fuerza conducente para el movimiento y agregación de los túnidos dentro del rango apropiado de temperatura del mar (18⁰ C a 30⁰ C).
- Los frentes, en diferentes escalas y los límites de corrientes oceánicas son características apropiadas para la producción y/o concentración de alimento para los túnidos.
- La termoclina somera permanente en el OPTE, entre los 30 a 70 m de profundidad parece establecer una barrera vertical para los movimientos del atún. Coincidentemente, justo bajo la termoclina se encuentran bajas concentraciones de oxígeno que refuerzan la barrera vertical en el océano.

El OPTE se puede considerar como un sistema de dos capas, una capa superficial somera ~ 75m, separada de la capa profunda por valores altos de estabilidad estática en la piconclina. Esta condición favorece la disminución de nutrientes en la capa superficial. Por lo tanto, son críticos los procesos ó mecanismos que produzcan un aporte de nutrientes en la capa superficial (zona fótica) para incrementar la productividad primaria y producción de forraje para el atún. Los mecanismos físicos importantes para la transformación de energía a movimiento vertical son; surgencias (costeras y oceánicas), cizallamiento entre corrientes oceánicas con direcciones opuestas, giros y jets, y las poco estudiadas mareas internas.

Los mecanismos causales para la dinámica del océano superficial pueden ser descrita por el siguiente esquema (*Stern, 1975*).



1.2 Marco Ecológico

Uno de los temas importantes en los estudios ecológicos es la variabilidad en la abundancia de poblaciones naturales y los procesos que causan esta variabilidad, ó establecen límites a esta. La oceanografía pesquera puede ser vista como una área de estudio de la ecología.

Mullin (1993) propuso dos temas fundamentales en el estudio de las poblaciones marinas ó comunidades pelágicas: redes tróficas o la interrelaciones entre grupos de organismos con la transferencia de energía alimenticia y escalas ó los rangos de importancia en espacio y tiempo para la sobrevivencia de post-larvas y para los procesos de reclutamiento.

Otra propuesta importante en el estudio general de la ecología fue por *Levin (1992)*, quien menciona dos temas importantes e interrelacionados: el desarrollo y mantenimiento de patrones en el espacio-tiempo y sus consecuencias en la dinámica de poblaciones y ecosistemas. Por lo que conocimiento de los patrones, sus causas y consecuencias son importantes en el entendimiento de los procesos ecológicos y evolutivos.

La heterogeneidad espacial en el medio ambiente es un factor crucial en la dinámica de poblaciones, en la organización de comunidades, en la estabilidad

ecológica y en consecuencias evolutivas. La variabilidad en ecosistemas, a través de escalas, se exhibe en parches. Se propone que variaciones en la intensidad de los parches de fitoplancton tiene un impacto mayor en la sobrevivencia tanto de poblaciones de herbívoros como de carnívoros (*Haury et al., 1978; Levin, 1992; Smith et al., 1996*).

La definición de escalas apropiadas es fundamental para el estudio de procesos específicos. Una forma de representar este problema es por medio del diagrama de Stommel, el cual representa la distribución espectral de energía (variabilidad física) en el espacio-tiempo. *Haury et al. (1978)* presentaron un diagrama de escalas de espacio-tiempo para la variabilidad del zooplancton. Un pico de la variabilidad de energía de propiedades físicas y biológicas es en la mesoescala, lo cual está asociado a giros y eventos de surgencia. De estudios observacionales, significativa variabilidad en los parches de productividad primaria en el océano se ha detectado en la mesoescala (*Hitchcock et al., 1985; Smith and Baker, 1985; Yentsch and Phinney, 1985; Gould, 1988; Duarte et al., 1992; Levy et al., 1999*).

La variabilidad bio-física de procesos de mesoescala parece tener un importante papel en la complejidad organizacional. En el extremo menor de la mesoescala, los estudios observacionales y modelos teóricos presentan suficiente resolución para explicar en gran medida procesos individuales o específicos con suficiente

detalle. Muchos de los procesos oceánicos en el extremo superior de la mesoescala pueden explicar variabilidad observada de la macro escala.

Por lo tanto, conceptos importantes como: patrones, escalas y redes tróficas (causas y consecuencias) son fundamentales tanto para la oceanografía pesquera, en particular, como para la ciencia ecológica, en general.

1.3. Giros de Mesoescala y Actividad Biológica

La productividad de los océanos depende de un aporte apropiado de nutrientes en la zona fótica. Las principales zonas de producción primaria son las zonas costeras, latitudes altas y en el ecuador. Estas áreas de surgencias son inducidas, generalmente, por el viento.

Giros de mesoescala de núcleo cálido han sido estudiados ampliamente en la Corriente del Golfo (Atlántico Oeste) Kuroshio, en la corriente del Este de Australia, en Canadá y recientemente en el sistema de la corriente de California

Los giros son estructuras semi-permanentes con características identificables de las aguas que los rodean. La productividad biológica se incrementa en asociación con estos giros (*McGillicuddy, et al., 1998, Williams and Follows, 1998 (a); Williams and Follows, 1998(b)*). La producción primaria, material biogénico y

bacterias tienden a cambiar en composición, abundancia relativa y zonas de concentración, ya sea lateralmente ó con la profundidad conforme a las características de los giros (*Hitchcock et al., 1985; Nelson et al., 1985; Peele et al., 1985; Smith and Baker, 1985; Bishop et al., 1986*). Los parches de fitoplancton y zooplancton son claramente delineados con los giros (*Gower et al., 1980; Wiebe et al., 1988; Yamamoto and Nishizawa, 1986; Gould, 1988; Duarte et al., 1992; Strass, 1992; Smith et al., 1996; Washburn et al., 1998*). Peces meso pelágicos mictófidios se han encontrado en zonas frontales de los extremos de los giros (*Brandt, 1981; Olson and Backus, 1985*). Existen evidencias de que los giros de núcleo cálido controlan la migración del “saury” del Océano Pacífico en las aguas del Kuroshio (*Saito et al., 1986*). Congregaciones de barrilete se han encontrado en un giro semi-permanente en las aguas de Hawai (*Sette, 1955*). Actividad biológica similar es altamente probable que ocurra con la presencia de los giros en el OPTE.

Existen diferentes procesos oceánicos que presentan un efecto fertilizante para las capas superiores del océano asociadas a estructuras de mesoescala. Uno de estos procesos es por advección horizontal de giros de mesoescala desde aguas costeras ricas en nutrientes hacia los grandes giros subtropicales oligotróficos. Un segundo mecanismo es por bombeo de Ekman en océanos con picnoclinas someras, un campo de viento no homogéneo (rotacional) produce sobre el océano una componente vertical de desplazamiento de partículas de

agua, lo que produce convergencias y divergencias horizontales (*Gower et al., 1980; McGillicuddy et al., 1998; William and Follows, 1998(b)*). Otro proceso propuesto para la fertilización oceánica es la surgencia de mesoescala en las zonas frontales (*Woods, 1988; Strass, 1992*). La frontogénesis esta asociada con surgencia del lado anticiclónico de un jet frontal acelerado. Un tercer proceso es el mecanismo de surgencia por un giro es debido al desplazamiento vertical de las isopicnas (*Yentsch and Phinney, 1985; McGuillicuddy et al., 1998*). Se ha propuesto que la distribución de clorofila refleja la distribución de energía cinética de los jets de mesoescala (*Woods, 1988; Pollard and Regier, 1990; Strass, 1992*). La teoría dinámica que relaciona la distribución en parches de la productividad primaria con los procesos físicos es la dinámica de los jets de mesoescala. Específicamente, la surgencia asociada con el estrechamiento de vórtice de los jets de mesoscala modula la producción primaria.

La explicación física del proceso que produce desplazamiento vertical es la vorticidad potencial (VP), la cual es el equivalente para los fluidos del momento angular de un sólido. La ecuación de vorticidad potencial expresa el balance entre la razón de rotación y la altura de la columna de agua. Para un océano de dos capas

$$\frac{D}{Dt} \left(\frac{\zeta + f}{h} \right) = 0$$

ζ : es definida como la componente vertical de vorticidad relativa.

h : profundidad de la capa superior (sobre la piconclina).

$$\zeta = \frac{\partial v}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial y}$$

f : vorticidad planetaria: $f = f_0 + \beta y$

La ecuación de vorticidad relativa establece que la razón entre la vorticidad total ($\zeta + f$) y la profundidad de la capa superior (h) es constante a lo largo de trayectorias de movimiento. Tal que al existir cambios en la vorticidad total se manifiesta cambio en la profundidad considerada h .

Las teorías generales que predicen la estructura vertical y horizontal de la termoclina incorporan el papel de la vorticidad relativa. El predecir el campo de la vorticidad potencial significa predecir la separación vertical entre superficies de densidad. Bajo algunas simplificaciones la vorticidad potencial es expresada como (McDowell, 1982)

$$q \cong \frac{f}{\rho_0} \frac{\partial \rho}{\partial z}$$

ρ : es la densidad del mar

z : profundidad

En ausencia de mezcla, la vorticidad potencial, más que el gradiente vertical de densidad se tiene que conservar a lo largo de líneas de flujo. Las teorías de la vorticidad potencial dependen si consideran o no que las capas de la termoclina sean ventiladas (tocan la superficie) o no ventiladas (no tocan la superficie).

La distribución a gran escala de la clorofila refleja la distribución de energía cinética de los jets de mesoescala. Estos jets pueden describirse como la manifestación Euleriana de la formación de los giros. Las condiciones físicas que controlan la formación de los giros de mesoescala es la variación horizontal de la estratificación de densidad, la cual se describe mejor por el gradiente isopícnico de vorticidad potencial (GIVP). La frecuencia de Brünt-Vaisala (estratificación de densidad de la termoclina N) esta linealmente relacionada con la GIVP (*Woods, 1988*).

1.4 Procesos de Mesoescala en el Océano Pacífico Tropical Este

La variabilidad estacional e interanual en el OPTE ha sido descrita por fluctuaciones del transporte del sistema de corrientes ecuatoriales. Esta variabilidad se ha detectado por las oscilaciones laterales de la posición promedio de la principales corrientes y por las fluctuaciones de la temperatura del mar (superficial y de la termoclina), (*Wyrki, 1978; Hayes, et al., 1983; White, 1983; White et al., 1985; Kessler and Taft, 1987; Kessler, 1990; McPhaden and Hayes, 1990; Hayes et al., 1991; Taft and Kessler, 1991; Frankignoul et al., 1996*). La información se ha obtenido por diversos instrumentos; de presión, XBT, boyas, hidrolances, etc.

La anomalía de altura de la superficie del mar (***Aasm***), determinada por altimetría desde satélite (Seasat, Geosat, Topex/POSEIDON, ERS, Jason) ha sido usada para monitorear la variabilidad del océano en un escala sinóptica en el OPTE (*Legeckis, 1977; Mallardé et al., 1987; Miller et al., 1988; Delcroix et al., 1994; Giese et al., 1994*). Estos resultados muestran dos distintivas zonas de alta energía de variabilidad de la ***Aasm*** en forma de ondas: a lo largo de 5 N de latitud y de ~ 165 O a 110 O de longitud, con períodos de 28 a 40 días y longitudes de onda de ~ 1,000 a 2,200 km. La otra zona de variabilidad es a lo largo de 10 N-12 N desde la costa hasta ~130 O, con períodos de 20 a 90 días y longitudes de onda de 600 a 950 km. La variabilidad a los 5 N se identifica

como ondas de inestabilidad formadas justamente al sur de la Contra Corriente Ecuatorial del Norte (CCEN). La variabilidad a los 10 N tiene la forma de giros anticiclónicos. Estos giros se propagan a velocidades aproximadas de 15 a 20 km/día, consistentes con las características de dispersión de ondas libres de Rossby.

La física que explica la variabilidad oceánica en el OPTE es en forma de: ondas planetarias forzadas de Kelvin y Rossby, giros o anillos de mesoescala y bombeo local de Ekman (*Wijffels et al., 1993*). Por observaciones, la formación de los giros de mesoescala se atribuye a surgencias en las costas inducidas por el viento (*Stumpf, 1975; Legeckis, 1988; Trasviña et al., 1995; Müller-Karger and Fuentes-Yaco, 2000*). Otra explicación de la formación de los giros es por tensión de corte lateral entre corrientes oceánicas y conversión de energía potencial a energía cinética, de estas a giros, por inestabilidad (*Hansen y Mauer, 1992*).

Diferentes modelos regionales explican la formación y propagación hacia el oeste de estos giros anticiclónicos (*McCreary, 1976; Busalacchi and O'Brien, 1980; Cox, 1980; Clarke, 1988; McCreary et al., 1989; Umatami and Yamagata, 1991*).

El OPTe es dominado por una celda de alto valor de vorticidad potencial, localizada aproximadamente a 10 N, entre la Corriente Ecuatorial del Norte (CEN) y la CCEN (Talley, 1988). Los valores más altos de VP se encuentran entre la superficie del mar y 26.0 σ -t, a los 120 O, cubriendo únicamente los primeros 250m de profundidad, adicionalmente se caracteriza por una relativa baja salinidad y poco oxígeno disuelto. Los mapas de VP de los 24.0 a 26.0 σ -t, también muestran una lengüeta de alto valor con mayores intensidades hacia el extremo este de los 120 O. El valor mayor extremo se localiza como un parche aislado a los 130 O. Esta lengüeta se localiza en la banda donde la velocidad vertical de Ekman es positiva, justamente al norte de la Zona de Convergencia Inter Tropical (ZCIT). Adicionalmente, los máximos valores de N (estabilidad estática) en el Océano Pacífico se localizan al oeste de los 120 O entre el Ecuador y los 20 N (Emery et al., 1984). Por lo que se espera que en esta región existan las condiciones propicias para la presencia de valores significativos de producción primaria y de forraje para el atún.

Por lo anterior se puede explicar en gran medida las condiciones que propician la concentración del atún aleta amarilla en las zonas de surgencias y a lo largo de la banda latitudinal de los 10 N – 12 N:

- Termoclina y nutriclina somera (~ 75m.), con bombeo de Ekman.

- Giros de mesoescala formados por surgencias costeras con desplazamiento hacia el interior del Océano Pacífico.
- Rango de temperatura superficial apropiado.
- Celdas de valores altos de vorticidad potencial en la subsuperficie ó termoclina somera no ventilada.

Desde los estudios iniciales de la oceanografía atunera en los 70's, una conclusión general es que la temperatura determina los límites de la distribución de los túnidos; con lo que se tiene un rango de temperatura apropiado. El alimento es la fuerza conducente más importante para la distribución del atún dentro de una gran área delimitada por el rango apropiado de temperatura.

Por argumentos previos se concluye que el OPTE es una región oceánica de alta estabilidad estática en la profundidad de la termoclina. Lo que no es favorable para la productividad primaria de las capas superficiales del mar. Áreas locales de surgencias costeras se encuentran en el sistema de la Corriente de California, en Punta Banderas, Golfo de Tehuantepec, Golfo de Papagayo y Golfo de Panamá. Estructuras semi-permanentes se encuentran en asociación con estos eventos de surgencias, tales como; giros, anillos, jets y girones. Aguas de las surgencias son incorporadas entre estas estructuras y bajo algunas condiciones los giros se desprenden de los sistemas costeros viajando hacia el oeste bajo la dinámica de las ondas de Rossby. Por lo que

aguas con características costeras son transportadas mar adentro hacia condiciones oceánicas.

La variabilidad de la distribución de los peces, interactuando con el esfuerzo de pesca definen dos términos: disponibilidad y vulnerabilidad. La pesquería de los túnidos en el OPTE es considerada madura. Pescadores experimentados y tecnología avanzada se encuentran involucrados en esta pesquería de larga vida. Por lo tanto la vulnerabilidad es cercana a la disponibilidad. En otras palabras, es muy probable que los barcos de pesca de atún se distribuyen donde se concentra el recurso.

1.5. Hipótesis

Las capturas totales y las tasas de captura de atún aleta amarilla a lo largo de los 10 N, desde la costa (~ 85 O) hasta los 140 O, se pueden explicar por las altas concentraciones de atún debido a la concentración de alimento del atún. Los mecanismos bio-físicos asociados con los giros concentran y/o producen alimento para el atún.

El propósito de la presente investigación es:

- Describir el patrón de agregación y desplazamiento de la flota atunera (proxy del atún) en el OPTE.

- Definir las relaciones estadísticas entre la distribución de la flota atunera y los giros de mesoescala.
- Explicar las relaciones causales entre estas estructuras y la distribución de la flota atunera.

METODOS

2.1 Fuente de Información y Adquisición

Las variables oceanográficas usadas fueron:

- Temperatura del mar a diferentes profundidades estándar. Se usó la temperatura superficial (***Tsm***) y se determinó la profundidad de la termoclina. Definida esta como la profundidad de la isoterma de 20° , y denominada como ***Zterm***.
- Anomalía de la Altura de la Superficie del Mar (***Aasm***). Unidades ***cm***.
- Corrientes oceánicas a diferentes profundidades, en sus componentes $[u(x), v(y)]$. Definidas como: ***Ucur*** y ***Vcur***. Unidades ***cm s⁻¹***
- Pseudo-esfuerzo del viento, en sus componentes $[u(x), v(y)]$. Definidos como ***Pstx*** y ***Psty***. Unidades ***m² s⁻²***

Las bases de datos de temperatura y corrientes se obtuvieron de "Leetmaa Pacific Ocean Analysis Center" de la NOAA-CIRES, Centro de Diagnóstico del Clima, Boulder, Colorado, EU. Por medio de la página de red (portal) <http://www.cdc.noaa.gov/>. La fuente original es "Coupled Model Project", NMC, NOAA, Washington DC, EU.

La resolución original de los datos de temperatura y corrientes fué de 1 x 1.5 grados de latitud-longitud y mensuales.

Los datos de **Aasm** se obtuvieron de "Laboratory for Satellite Altimetry", NOAA, Silver Spring, MD. Se solicitó una resolución específica de 0.5 (lat) grados a lo largo de la trayectoria del satélite. La separación de trayectoria corresponde a ~ 2.5 grados en longitud. La información se clasifica en ciclos que corresponden al tiempo que tarda el satélite en muestrear la misma posición. Comúnmente se denominan ciclos de 10 días. Específicamente son 9.9156 días. El ciclo 1 inició en Septiembre 23 de 1992 + ~5 hrs (UTC). Esta fecha corresponde a 2822.17 días a partir de 1 Enero de 1985 0:00 hrs. Todos los datos de altimetría Topex están referenciados a esta fecha. Para determinar la fecha (en días de 1985) a partir del numeral de los ciclos del satélite (N) se emplea: $T=2822.17 + 9.9156(N-1)$. Los datos fueron corregidos por: troposfera húmeda y seca, ionosfera, marea, presión atmosférica, estado del mar y geoide.

El pseudo-esfuerzo del viento se derivó de reportes de barcos. El análisis original fue realizado por "National Climatic Data Center" (NCDC) catalogado en datos de observación de superficie del mar (TD-1129). El método fué desarrollada por "Center for Ocean-Atmospheric Prediction Studies Group" de "Florida State University" (FSU). La resolución original fue de 2 (lat) x 2 (long) grados, mensuales.

La información de la flota atunera se obtuvo del “Programa Nacional de Aprovechamiento del Atún y Protección de los Delfines” (PNAAPD), de México, Ensenada, BC. y de “Comisión Inter Americana del Atún” (CIAT), La Jolla CA, EU. La base de datos corresponde a la generada por el programa de observadores a bordo. Se utilizó información de la flota atunera Mexicana. Los registros corresponden a los lances realizados: Posición, fecha, hora, captura de atún (diferentes especies).

2.2 Proceso de los Datos.

Variables: ***Tsm, Ucur, Vcur***

Datos originales de temperatura en formato net-CDF se interpolaron con el uso del programa FERRET y se transformaron a formato ASCII e importados al paquete S-Plus.

Variables: ***Pstx, Psty***

Datos originales en formato net-CDF se interpolaron con el uso del programa FERRET y se transformaron a formato ASCII e importados al paquete S-Plus.

Variable: ***Zterm***

De la base de datos de temperatura se calculó la profundidad de la termoclina empleando el programa FERRET. Finalmente se importó a S-Plus.

Variable: ***Aasm***

Datos originales en ASCII se importaron a S-Plus. Un ciclo representativo de cada mes se interpoló a 1 (lat) x 1 (lon) grados. Los datos mostraban alta variabilidad por lo que empleó un Modelo de Regresión Local (loess, en inglés) para su suavizamiento. Los modelos loess son mas flexibles que los Modelos Lineales Generalizados (GLM's en inglés) y que los Modelos Aditivos Generalizados (GAM's en inglés). En los Modelos de Regresión Local se emplea un ajuste de una sola función de suavizamiento para todos los predictores. No existen restricciones con respecto a la función de distribución de los predictores, es totalmente empírico y permiten interacción entre los términos de los predictores. La especificación básica en modelos loess es de que existe una vecindad que contiene a \mathbf{x} (predictores) sobre la que la regresión es aproximada por una clase de función paramétrica específica, por un polinomio de grado 1 ó 2. En un modelo de regresión local la respuesta y el predictor se relacionan por:

$$y_i = g(\mathbf{x}_i) + \varepsilon_i$$

Donde \mathbf{g} es la superficie de regresión o el valor esperado de y , ε_i son los errores estándar.

La **Aasm** se emplea para detectar los giros de mesoescala. Celdas de valores positivos están asociadas a giros ciclónicos, anomalías negativas se asocian a giros ciclónicos. Esto bajo el supuesto de balance geostrofico entre el gradiente de presión y la fuerza de Coriolis.

Variable: ***Capturas de atún aleta amarilla***

Los datos originales fueron agrupados en totales de capturas y número de lances por cuadrantes de 1 x 1 x 1. Unidades en toneladas métricas. Los datos fueron suavizados por medio de loess. Las posiciones de los lances cambian anualmente. Para definir una rejilla regular se empleó el criterio de que sí por lo menos una tonelada de captura se obtuvo en un cuadrante, entonces ese cuadrante se consideraba presente para todo el período de 1993 a 1998. La figura 1 muestra la rejilla obtenida con este criterio, todas las otras variables se redujeron a esta rejilla de capturas.

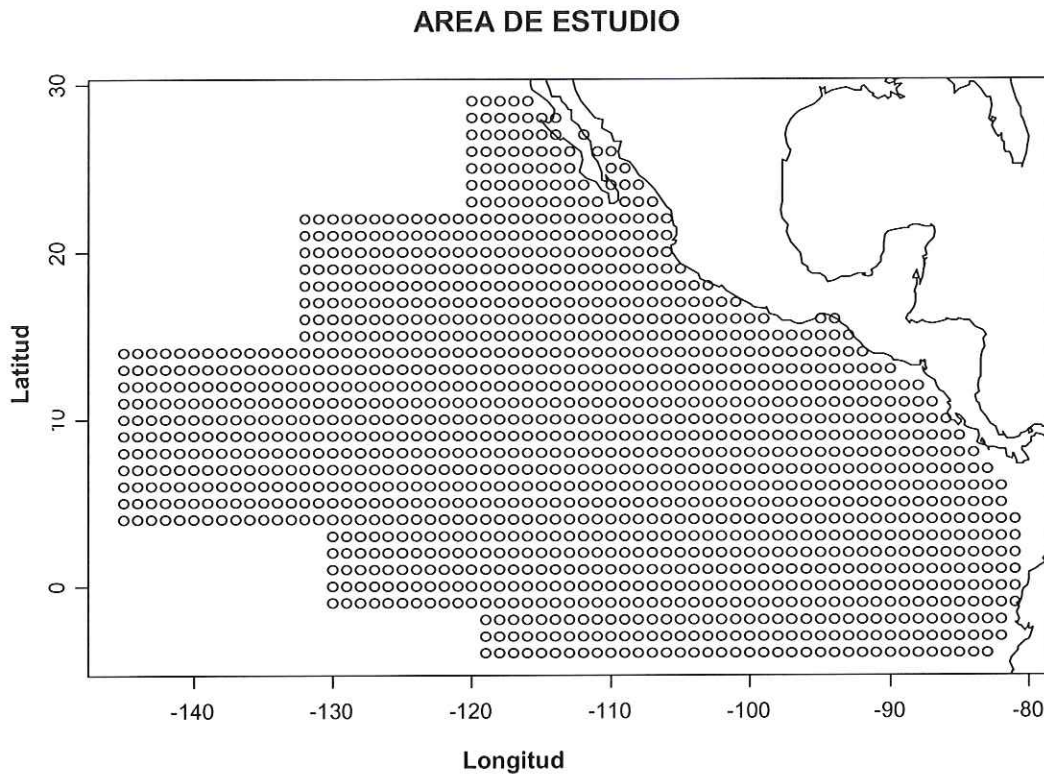


Figura 1. Área de estudio. Malla espacial de 1 x 1 grado, longitud – latitud en grados.

2.3 Procesamiento Estadístico

Se emplearon diferentes técnicas estadísticas multivariadas para analizar los datos de captura y de *Aasm*:

- Funciones Empíricas Ortogonales. FEO.
- Correlación Canónica. CC.
- Análisis de Series de Tiempo. AST.

Para la base de datos completa de las variables ambientales se emplearon las técnicas de:

- Funciones Empíricas Ortogonales. FEO.
- Correlación Canónica. CC.
- Análisis de Componentes Principales. ACP

A continuación se describen cada una de estas técnicas:

2.4 Funciones Empíricas Ortogonales Independientes

El análisis de FEO se realizó para identificar la variabilidad de ***Aasm*** y captura por lance. Una ventaja del análisis de FEO es que representa en forma compacta la variabilidad espacial y temporal de una serie de datos en términos de funciones ortogonales, o “modos” estadísticos.

El propósito de esta técnica es el representar una serie de datos $\psi_m(t)$ en cualquier posición dada X_m como la suma de ***M*** funciones espaciales ortogonales $\phi_i(X_m) = \phi_{im}$ tales que (Emery and Thomson, 1988)

$$\Psi(X_m, t) = \Psi_m(t) = \sum_{i=1}^M [a_i(t) \phi_{im}]$$

Donde $a_i(t)$ es la amplitud *i*-ma del modo ortogonal en el tiempo. Tal que, la variación temporal de la variable escalar $\psi(X_m, t)$ en cada posición resulta de una combinación de M funciones espaciales ϕ_i cuyas amplitudes son ponderadas por M los coeficientes $a_i(t)$ temporales, independientes. Los pesos nos dicen como los modos espaciales varían en el tiempo. Una forma de calcular los FEO es por medio de la matriz de covarianza, lo que requiere de almacenar temporalmente cantidades intermedias y puede resultar en tiempo de computadora muy largo. En su lugar, aquí se empleó la técnica de descomposición de valores singulares DVS. Este es un método de un solo paso para calcular los diferentes componentes de un problema de valores propios. La matriz original D (renglones = posiciones, columnas = tiempo), se puede escribir como el producto de tres matrices:

$$D = USV^T$$

Las columnas de U son denominadas los vectores singulares de D . Las columnas de V son llamadas los vectores izquierdos singulares. Los elementos de la matriz diagonal están relacionados con los valores singulares, donde $s_1 \geq s_2 \geq s_3 \geq \dots \geq s_n = 0$. Las amplitudes son los vectores propios de V multiplicados por los valores singulares de S . Para emplear este método se

requiere remover la tendencia, la media y estandarizar los datos originales con la varianza local, de tal forma que la varianza es uno para todas las posiciones.

2.4.1. Funciones Empíricas Ortogonales Acopladas

Usualmente DVS es emplea para análisis simultáneo de dos campos de datos \mathbf{X} , \mathbf{Y} que varían en espacio y tiempo, con la finalidad de identificar pares acoplados de patrones espaciales y temporales que expliquen mayormente la covarianza de las dos variables. Por este uso reciben el nombre genérico de FEO acoplados.

La DVS de la matriz de covarianza-cruzada produce dos conjuntos no-correlacionados de valores singulares asociados con cada par de vectores (análogos a los valores propios), (*Newman and Sardeshmuk., 1995; Peng and Fyfe, 1996*)

$$C_{xy} = \frac{XY^T}{N} = U\sigma V^T$$

\mathbf{U} y \mathbf{V} son matrices ortogonales cuyas columnas son los vectores singulares izquierdos y derechos y σ es la matriz diagonal de valores no-negativos ó los valores propios. \mathbf{N} es la serie de tiempo total.

Cada par de valores singulares describe una fracción de la covarianza cuadrática entre las dos variables. El primer par describe la fracción más alta de la covarianza cuadrática entre las dos variables. Cada sucesivo par describe la mayor covarianza no explicada por el previo par de valores singulares.

El ***k-ésimo*** coeficiente de expansión o coeficiente temporal de cada variable se calcula con la proyección del respectivo ***k-ésimo*** vector singular en cada campo de los datos originales. Estos son análogos a las amplitudes de los FEO's individuales.

$$X_{tc} = (U^T * x) / Stdev \quad y \quad Y_{tc} = (V^T * y) / Stdev$$

2.5. Análisis de Componentes Principales

ACP se aplicó a un conjunto de variables con la finalidad de encontrar cual de estas son relativamente independientes en forma de un subconjunto coherente. ACP concierne con la explicación de la estructura de varianza-covarianza a través de unas pocas combinaciones lineales de las variables originales. El objetivo general de ACP es de reducción de datos e interpretación. El procedimiento general de ACP se describe a continuación (*Johnson and*

Wichern, 1992; Manly, 1995): El primer componente principal es una combinación lineal de las variables $X_1, X_2, X_3, \dots, X_p$

$$Z_1 = a_{11}X_1 + a_{12}X_2 + \dots + a_{1p}X_p$$

Con máxima varianza y no está correlacionada con el segundo componente principal

$$Z_2 = a_{21}X_1 + a_{22}X_2 + \dots + a_{2p}X_p$$

Y así sucesivamente hasta Z_n .

Sujeto a un conjunto de restricciones

$$a_{11}^2 + a_{12}^2 + \dots + a_{1p}^2 = 1$$

$$a_{21}^2 + a_{22}^2 + \dots + a_{2p}^2 = 1$$

Sucesivamente para las siguientes componentes principales.

Las varianzas de los componentes principales son los valores propios de la matriz de covarianza C . Así como C_{ii} es la varianza de X_i , y λ_i es la varianza de Z_i . La suma de las varianzas de los componentes principales es igual a la suma

de las varianzas de las variables originales. Por lo tanto, los componentes principales conforman toda la variación de los datos originales.

2.6. Análisis de Correlación Canónica

ACC fue usado para investigar las relaciones entre las variables ambientales y las capturas. ACC busca identificar y cuantificar las asociaciones entre dos conjuntos de variables (*Johnson and Wichern, 1992; Manly, 1995*). ACC busca la combinación lineal de \mathbf{X}_i de la forma:

$$U = \sum_i a_i X_i$$

Y una combinación lineal de \mathbf{Y}_i de la forma:

$$V = \sum_i b_i Y_i$$

El propósito de ACC es determinar un primer par de combinaciones lineales que tengan la mayor correlación posible. Posteriormente determinar un segundo par de combinaciones lineales que tengan la mayor correlación entre todos los pares no correlacionados con el par inicial. Los pares de combinaciones lineales son llamados las variables canónicas y sus correlaciones son las correlaciones canónicas. Las correlaciones canónicas miden la fuerza de asociación entre los dos conjuntos de variables. La característica de maximización de la técnica

representa un intento para concentrar en unos pocos pares de variables canónicas una relación original de alta dimensión entre dos conjuntos de variables originales.

El ACC usado aquí es para las variables **Aasm** y capturas de atún en su distribución espacial a un tiempo fijo.

2.7. Velocidad de Fase de Ondas de Rossby

La velocidad fase aproximada para una onda de Rossby se calcula con un modelo de gravedad reducida. Se usaron datos de una estación a 120 O – 8 N del programa TOGA-TAO. Las ondas planetarias de Rossby se desplazan hacia el oeste con una velocidad de fase dada por:

$$C_r = -\frac{\beta g' H}{f^2}$$

β : gradiente latitudinal de la vorticidad planetaria o variación de **f** con la latitud.

f : parámetro de Coriolis.

g' : gravedad reducida.

H : profundidad de la termoclina.

Se encontraron diversos valores de gravedad reducida en la literatura: 2 cm s^{-2} (Cushman-Roisson et al., 1990), 3 cm s^{-2} (White, 1983), 4 cm s^{-2} (White, 1977). El valor estimado para este trabajo fue de 3.15 cm s^{-2} .

2..8 Análisis de Series de Tiempo

Con el análisis de series de tiempo (AST), se trata de identificar las relaciones entre el pseudo-esfuerzo del viento, la respuesta de la superficie del océano en las zonas de surgencias y las capturas de atún en áreas oceánicas específicas. Se extrajeron series de tiempo mensual de las componentes del pseudo esfuerzo del viento en una posición (94 O, 14 N) del Golfo de Tehuantepec y del Golfo de Papagayo (88 O, 11 N). Estas dos posiciones corresponden a localizaciones donde son reportados los intensos vientos que provocan surgencias costeras. En dos posiciones laterales a los intensos vientos de jet se extrajeron series de tiempo de **Aasm** de la base de datos de altimetría de ciclo de 10 días. Estación T1 (99.1 O, 14 N) y estación T2 (93.4 O, 14 N) en Tehuantepec. En Papagayo, la estación P1 (87.3 O, 12 N) y estación P2 (85.6 O, 8 N) (figura 2).

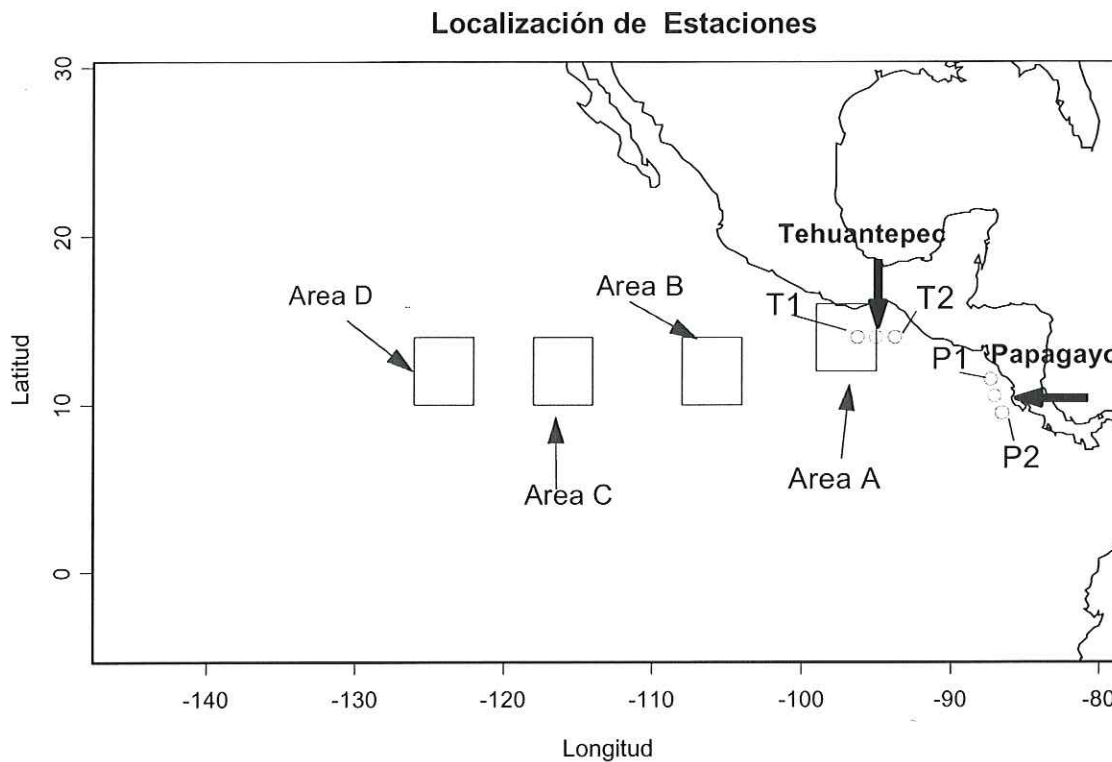


Figura 2. Localización de las estaciones para el viento en el Golfo de Tehuantepec y Golfo de Papagayo (flechas en negro). Estaciones para la variabilidad de **Aasm** en el Golfo de Tehuantepec **T1** y **T2**; en el Golfo de Papagayo **P1** y **P2**. Áreas de capturas de atún, **A**, **B**, **C**, **D**.

Se definieron dos índices de variabilidad a partir de los datos de **Aasm**: El gradiente; o la diferencia de los valores de **Aasm** para cada unidad de tiempo (10 días) para cada par de estaciones **T1 – T2** (Tehuantepec) y **P1 – P2** (Papagayo). El segundo índice es denominado la velocidad o la razón de cambio de **Aasm** en sucesivas unidades de tiempo, determinado como; **Aasm(t -1) – Aasm(t)** para cada estación **T1** (Tehuantepec) y **P2** (Papagayo), únicamente. Estas dos estaciones fueron escogidas por presentar una mayor estructura de

variación de las cuatro posibles. El propósito de definir y usar estos dos índices es para detectar una posible respuesta del mar a los intensos vientos por medio de variaciones de altura del océano. Se emplea el término de Variabilidad de Altura del Mar (VAM) como referencia ya sea a los índices de gradiente o a la razón de cambio en el tiempo

Para la serie de tiempo de las capturas se escogieron cuatro áreas de 4 x 4 grados, en la banda de los 10° N. El centro geográfico de cada área es; **A** [97° O, 14° N], **B** [106° O, 12° N], **C** [116° O, 12° N] y **D** [124° O, 12° N]. Se tomó el total mensual de capturas y lances dentro de cada área. De las cuatro áreas originales se escogieron únicamente la **C** y **D**, para las correlaciones en series de tiempo

Para explorar las relaciones temporales de estas variables de viento, superficie del mar y capturas se empleó la correlación y la varianza cruzada entre las series de tiempo. El procedimiento general de la correlación cruzada se describe de la siguiente forma (*Emery and Thomson, 1998*): supongamos \mathbf{x}_t es una serie de tiempo **M-variables** y x_{it} es la **i-ésima** serie de tiempo $i=1\dots m$ con valor medio de $m_i=E(x_{it})$. La matriz de la función de covarianza para $\mathbf{x}_t=(x_{1t}, \dots, x_{mt})$ en el defase **k** es definida como:

$$\Gamma(k) = E(x_t - \mu)(x_{t+k} - \mu)^T$$

El **ij-ésimo** elemento fuera de la diagonal de $\Gamma(k)$ es la covarianza cruzada:

$$\gamma_{ij}(k) = E(x_{it} - \mu_i)(x_{j(t+k)} - \mu_j)$$

La estimación del defasamiento de la autocorrelación y correlación cruzada es por medio de:

$$\rho_{ij}(k) = \frac{\gamma_{ij}(k)}{\sqrt{\hat{\gamma}_{ij}(0) \hat{\gamma}_{ij}(0)}}$$

Se realizó un análisis adicional por inspección de las gráficas mensuales de distribución de los lances de la flota atunera y el campo de la **Aasm** en los planos latitud-longitud y de longitud-tiempo (capas Hovmoller) a una latitud constante de 10 N. Para este último caso los datos de la flota atunera se integraron desde los 5 N a los 15 N.

2.9 Modelo Numérico de la Dinámica de Población de Atún Aleta Amarilla.

Uno de los modelos más simples pero útil de dinámica de poblaciones es el logístico, también denominado de compensación pura ó producción excedente

$$\frac{d\rho}{dt} = r\rho \left(1 - \frac{\rho}{K}\right) \quad (1)$$

r: tasa de crecimiento intrínseco de la población. Valor empleado de 2.2 [T^{-1}]

K: capacidad de carga o tamaño máximo de población natural. [**Ton**].

ρ : densidad de población. [**Ton**].

Este modelo tiene dos puntos de equilibrio: $\rho = 0$ (inestable) y $\rho = K$ (estable), si se considera que no existe migración ni emigración al área de distribución. En este modelo el tiempo es la única variable independiente. Al considerar la variación espacial y a la reproducción como un término fuente, entonces un modelo plausible es el de la ecuación de difusión.

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} = v \frac{\partial^2 \rho}{\partial x^2} + r\rho \left(1 - \frac{\rho}{K}\right) \quad (2)$$

v : coeficiente de difusión con dimensiones $L^2 T^{-1}$

La cual establece que el cambio en el tiempo de la concentración de atún depende del gradiente de una concentración inicial más el crecimiento de la población. Si existe un factor específico que tenga una fuerza de atracción para el recurso pesquero, se puede incorporar un término de interacción (atracción) en la ecuación de la población como el término de dispersión. Un término adicional es la captura, especificada como el producto de la tasa de mortalidad por pesca (constante) y la densidad del recurso pesquero

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} = v \frac{\partial^2 \rho}{\partial x^2} + r\rho \left(1 - \frac{\rho}{K}\right) - c \frac{\partial \rho}{\partial x} - F\rho \quad (3)$$

c : coeficiente advectivo con dimensiones $[L T^{-1}]$

F : tasa de mortalidad por pesca con dimensiones $[T^{-1}]$. Se define a su vez $F=q*f$, $q=0.000039$ (coeficiente de capturabilidad), $f=2000$ (esfuerzo de pesca) para 5 N a 15 N.

No es posible una solución analítica, por lo que se emplea como aproximación una solución numérica a este modelo unidimensional. Esta ecuación se puede considerar como una aproximación de la ecuación viscosa de Burgers

$$\frac{\partial u}{\partial t} + (\alpha + \beta u) \frac{\partial u}{\partial x} = \nu \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} \quad (4)$$

donde α y β son parámetros definidos.

La ecuación diferencial parcial número 4 (EDP) se resuelve con el uso de diferencias finitas. La representación en el esquema numérico de las derivadas parciales se obtiene de la expansión de series de Taylor. La ecuación aproximada resultante, que representa a la EDP, es llamada una ecuación de diferencias finitas (EDF). La cual es un sistema de ecuaciones algebraicas. Estas ecuaciones están escritas para cada punto en la región de la malla (espacio-tiempo) dentro del dominio numérico. La solución de la EDF nos da los valores de la variable dependiente en cada punto.

Cualquier técnica numérica usada debe satisfacer las siguientes condiciones (Hoffman and Chiang, 1983):

- Consistencia: Una aproximación de diferencias finitas de la EDP es consistente si la ecuación de diferencias finitas se aproxima a la EDP conforme el tamaño de los incrementos en espacio-tiempo tiende a cero.

- Estabilidad: se dice que es estable un esquema de diferencias finitas si el error introducido en las ecuaciones de diferencias finitas no crece con la solución de la ecuación de diferencias finitas.
- Convergencia: Un esquema de diferencias finitas es convergente si la solución de las diferencias finitas se aproxima al de la EDP conforme el tamaño de los incrementos tiende a cero.

Se emplea un esquema numérico explícito de diferencias centradas tanto para la derivada en tiempo como para el término de difusión y el de dispersión (“advectivo”). El esquema en general se denomina de salto de sapo, que se expresa de la siguiente forma:

$$\frac{\rho_i^{n+1} - \rho_i^{n-1}}{2 * \Delta t} + c \left(\frac{\rho_{i+1}^n - \rho_{i-1}^n + \rho_i^n}{2\Delta x} \right) = v \frac{\rho_{i+1}^n - 2\rho_i^n + \rho_{i-1}^n}{(\Delta x)^2} + r\rho_i^n \left(1 - \frac{\rho_i^n}{K} \right) - F\rho_i^n \quad (5)$$

donde:

n: dimensión de tiempo

i: dimensión de espacio

Δt : intervalo de tiempo

Δx : intervalo de espacio

c: coeficiente advectivo

v: coeficiente de difusión

Se trabajó en un unidades **mks**. El dominio en espacio es de 90 O a 120 O (30 grados), con un incremento en espacio de 10 **km** y un total de 330 puntos. El dominio en tiempo fue de 6 meses (180 días), con un incremento en tiempo de 5,000s y un total de pasos de 3,110.

El valor del coeficiente “advectivo” corresponde al promedio de la rapidez del desplazamiento de los giros en la zona de interés, con un valor de 0.2 m s^{-1} (17.7 km día^{-1}). El valor del coeficiente de difusión turbulenta es de $50 \text{ m}^2\text{s}^{-1}$. El cual se considera ligeramente alto para diversas situaciones del océano. Se inicializa el modelo numérico con condiciones iniciales dadas como un perfil de capturas en forma de campana tipo gaussiana. Las condiciones de frontera se establecen como cero.

El movimiento que se desea simular es el correspondiente al que se observa a lo largo de la banda de los 10 N. La idea general es representar la estructura de la capa Hovemoller o sea una sección de longitud (x) – tiempo (y). El recurso se localiza cerca de la costa a principios del año cuando se presenta la surgencia por los Tehuanos y formación de los giros. El movimiento del recurso es hacia el oeste (mar adentro) hasta el extremo de su presencia a una distancia de $\sim 30^0$ de longitud para mediados del año (6 meses). Se estima que la abundancia ó concentración del recurso es directamente proporcional a la captura por unidad de esfuerzo, que en el presente estudio se aproxima por la captura por lance.

RESULTADOS

3.1 Climatología de las Variables Ambientales

Los mapas de valores promedio de las variables oceanográficas, meteorológicas y de las capturas de atún, aquí estudiadas se presentan en las figuras 3a, 3b, 3c y 3d.

La temperatura superficial del mar presenta valores altos (isoterma de 28°C) en una región costera del sur de México y Centro América y hacia el océano hasta los 118°O (figura 3a). Se evidencian dos celdas de temperaturas extremas ($\geq 29^{\circ}\text{C}$). Al noroeste del Domo de Costa Rica, entre los Golfos de Tehuantepec y Papagayo. La segunda celda se localiza al oeste del Golfo de Tehuantepec. En la región costera ecuatorial se presentaron aguas relativamente frías (23°C a 25°C). En el norte se presenta un gradiente latitudinal bien definido.

La componente x de pseudo esfuerzo del viento (***Pstx***) presenta en general, una región costera y una oceánica. La región costera muestra valores promedio con dirección hacia el este, con una mayor intensidad en las costas de la Península de Baja California. Dentro de esta área costera, se distinguió una región entre los Golfos de Tehuantepec y Papagayo, por presentar componente con dirección hacia el oeste (valores negativos). La región oceánica se distingue por el

esfuerzo con componente hacia el este, con los valores mayores en ~ 140 O, 15 N. En esta región se observa una banda de intensidades relativamente bajas a los 5 N.

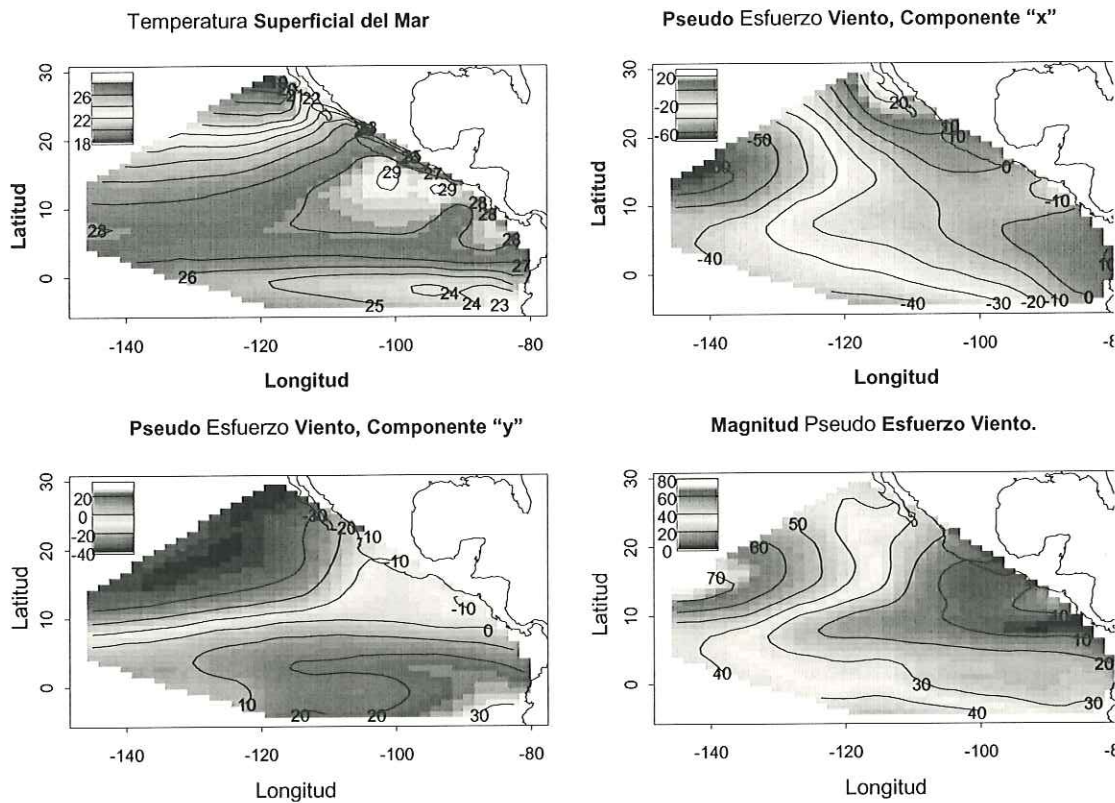


Figura 3a. Valores promedio para el período de 1993 a 1998 de temperatura superficial del mar (T_{sm}), componente "x" del pseudo esfuerzo del viento (P_{stx}), componente "y" del pseudo esfuerzo del viento (P_{sty}) y magnitud del pseudo esfuerzo del viento.

Con los valores promedio de la componente del pseudo esfuerzo del viento (P_{sty}) se distinguen claramente dos áreas: al norte de los 8 N-10 N, con

dirección hacia el sur (negativos). La región del sur se distingue por su componente con dirección hacia el norte. A lo largo del Ecuador se distingue una banda de intensidades relativamente bajas.

La magnitud (rapidez) del pseudo esfuerzo del viento muestra una área costera en forma triangular de bajas intensidades o 'calmas'. Los vértices se localizan en: las costas centrales de México, las costas ecuatoriales y en una posición oceánica a los 120 O, 18 N. Las magnitudes más altas se localizan en la región oceánica a los 140 O, 15 N.

La componente u (***Ucur***) de las corrientes superficiales del océano muestra en forma intensa tres corrientes Tropicales y Ecuatoriales (figura 3b): La Corriente Ecuatorial del Norte (CEN) con dirección oeste con un eje de valores intensos a lo largo de los 12 N-13 N. La Contra Corriente Ecuatorial del Norte (CCEN) (dirección al este) con su eje de valores intensos a los 8 N y la Corriente Ecuatorial del Sur (CES) con un centro intenso entre los 90 O y 120 O. La región más norteña muestra bajas intensidades de la ***Ucur*** con dirección al oeste.

La componente v (***Vcur***) presenta intensidades relativamente bajas con dirección sur en las costas de casi todo México y en la región Panameña. En los Golfos de Tehuantepec y Papagayo y en el Domo de Costa Rica se tiene

componente con dirección norte. A lo largo del Ecuador es notoria la divergencia superficial, con dirección al norte a los 3 N y al sur a los 3 S.

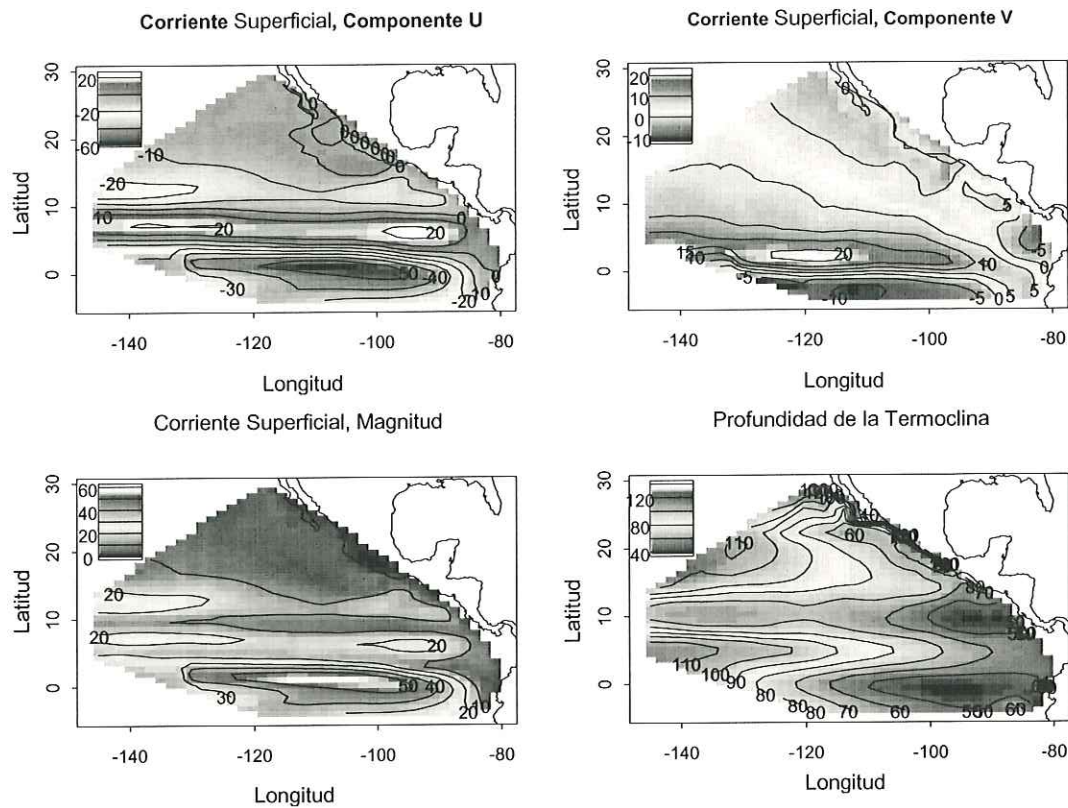


Figura 3b. Valores promedio para el período de 1993 a 1998 de componente "x" de la corriente superficial del mar (U_{cur}), componente "y" de la corriente superficial del mar (V_{cur}) y profundidad de la termoclina (Z_{term}).

La rapidez de las corrientes (magnitud) muestra en general bandas latitudinales alternantes de corrientes débiles y fuertes. Las corrientes fuertes se identifican

en: El Ecuador, 8 N y 12 N. A lo largo de los 10 N se observan bajas magnitudes de la corriente.

La profundidad promedio de la Termoclina se caracteriza por una termoclina somera (40m) en las costas, principalmente en el Ecuador, el Domo de Costa Rica y el centro-sur de México. Es notorio, también un domo de baja profundidad a lo largo de los 10 N.

El promedio de las **Aasm** muestra una zona de anomalías positivas a lo largo de los 10 N, con tres celdas distintivas (figura 3c): en El Domo de Costa Rica, aproximadamente a los 108 O y al oeste de los 120 O. Se observa una región ecuatorial oceánica con anomalías negativas

Promedio de la Anomalia de la Altura del Mar

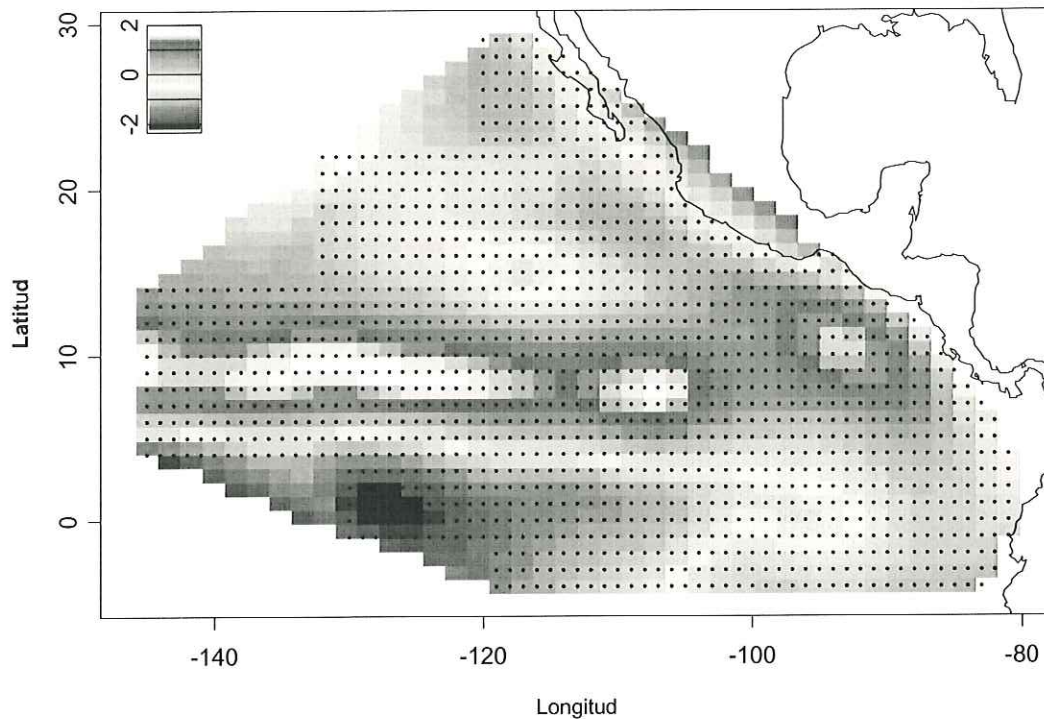


Figura 3c. Valor promedio para el período de 1993 a 1998 de la anomalía de la altura del mar (*Aasm*) en cm.

Las capturas promedio anuales de atún aleta amarilla presentan altos valores en tres zonas primordialmente (figura 3d); la boca del Mar de Cortés-Islas Revillagigedo, en la región del Istmo de Tehuantepec y en escala menor en una amplia región oceánica a lo largo de la banda latitudinal entre los 5 N y 15 N.

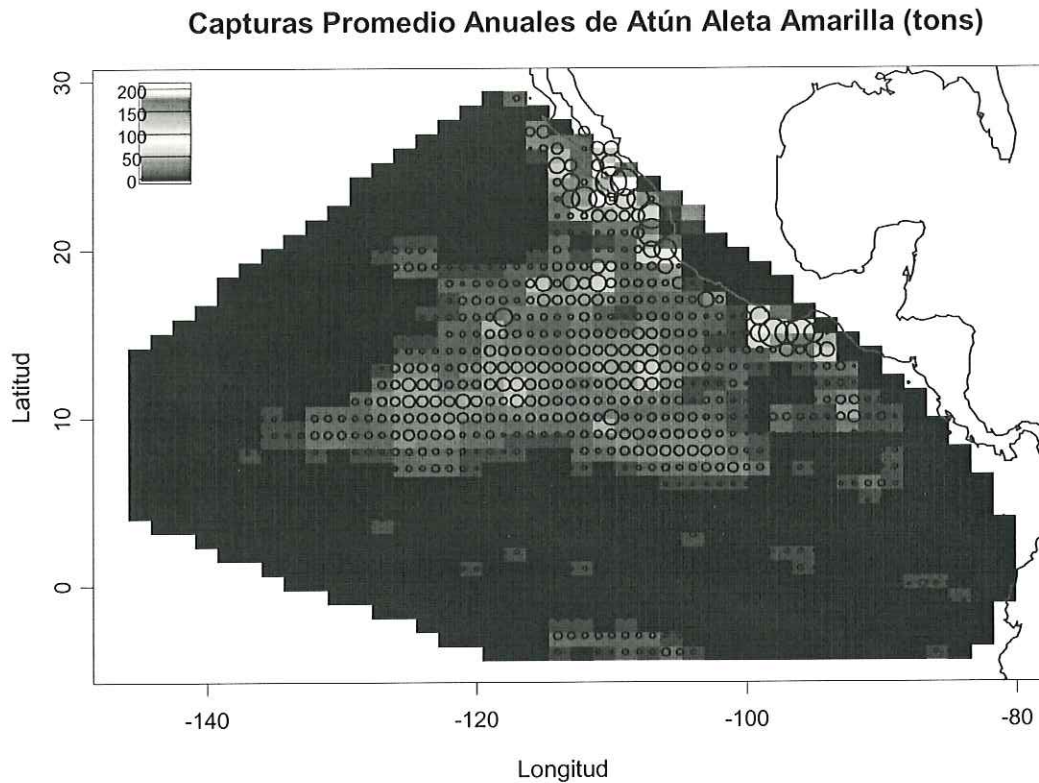


Figura 3d. Valores promedio anuales para el período de 1993 a 1998 de las capturas de **Aaa**.

Con las anteriores descripciones se pueden resumir las condiciones ambientales en relación a la banda de altas capturas a lo largo de los 10 N-12 N.

La parte costera de esta banda esta caracterizada por las siguientes condiciones: El esfuerzo del viento presenta una dirección hacia el suroeste, dentro de una mayor región de vientos débiles. La termoclina es poco profunda (~ 40 m). Las mayores temperaturas superficiales ($\geq 28^{\circ}$ C) se presentan desde

el centro de México hasta Panamá. En el Domo de Costa Rica se localiza una celda de **Aasm** positivas.

La región oceánica de esta banda de los 10 N-12 N se caracteriza por lo siguiente: El esfuerzo del viento no muestra un claro patrón. Se observa la frontera entre las CEN (dirección oeste) y la CCE (dirección este) con intensidades bajas de su magnitud. La termoclina es poco profunda. La **Aasm** muestra un patrón muy similar al de la termoclina en esta región. La temperatura superficial no muestra un patrón bien definido para esta región.

Dadas estas condiciones 'climatológicas' (promedio de 1993 a 1998), descritas previamente, se estudia el patrón de variabilidad espacio-temporal de las capturas y de la anomalía de la altura del mar. Principalmente para la banda de los 10 N-12 N.

3.2 Patrones Espaciales de la Anomalia de la Altura del Mar y Distribución de la Flota Atunera.

Con la intención de reducir la descripción de los patrones espaciales de la **Aasm** y de distribución de la flota atunera, se escogieron los años de 1993, 1995 y 1997. El criterio fue en relación a las condiciones del índice multivariado de EL Niño. El año de 1993 fue relativamente cálido, 1995 fue relativamente frío y

1997 un intenso evento del Niño. El índice multivariado de ENSO es preparado por NOAA-CIRES "Climate Diagnostic Center" de la Universidad de Colorado, en Boulder. Figuras para los años 1994, 1996 y 1998 se presentan en el Anexo I.

1993: Un centro de **Aasm** positivo (giro anticiclónico) inicia su desarrollo (es visible) en febrero, a los 95 O, 10 N (figuras 4a, 4b y 4c). Este giro se mueve hacia el oeste a lo largo de los 10 N – 12 N, inicia su desaparición en el mes de agosto a los 135 O. Los valores positivos mas altos son de ~25 cm entre Mayo y Junio. Otras dos áreas de valores positivos inician su desarrollo en julio-agosto a los 8 N, 115 O y 8 N 125 O. En esta banda los valores mas altos de **Aasm** son de ~ 15 cm en el mes de octubre, con dos giros; a los 120 O y a los 135 O.

Otra característica interesante es la presencia de valores de **Aasm** negativos a lo largo del ecuador (iniciando en Julio) y cerca de las costas de Centro América y del sur de México; entre los 10 N – 15 N. Esta anomalía aparenta tener un desplazamiento hacia el este a lo largo del ecuador y hacia el oeste a lo largo de 10 N-15 N. Los menores valores se presentaron en Noviembre.

Anomalía de la Altura del Mar (color), Posiciones de Lances Atuneros, Mensuales. 1993

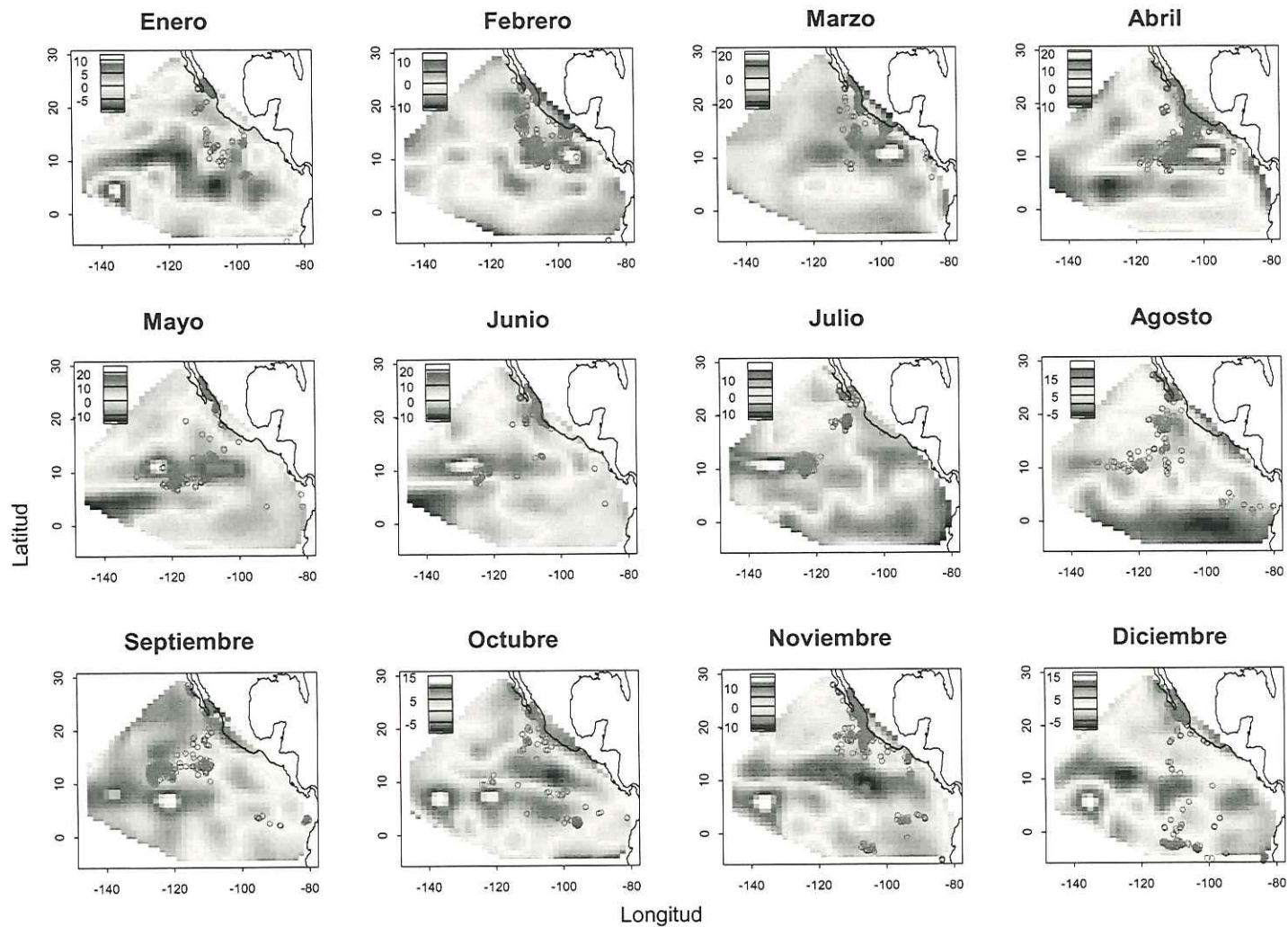


Figura 4a. Patrones espaciales de *Aasm* (color) y posiciones de los lances atuneros (puntos azules) para el año de 1993.

Giros de Mesoescala y Distribución de Lances Atuneros. 1993

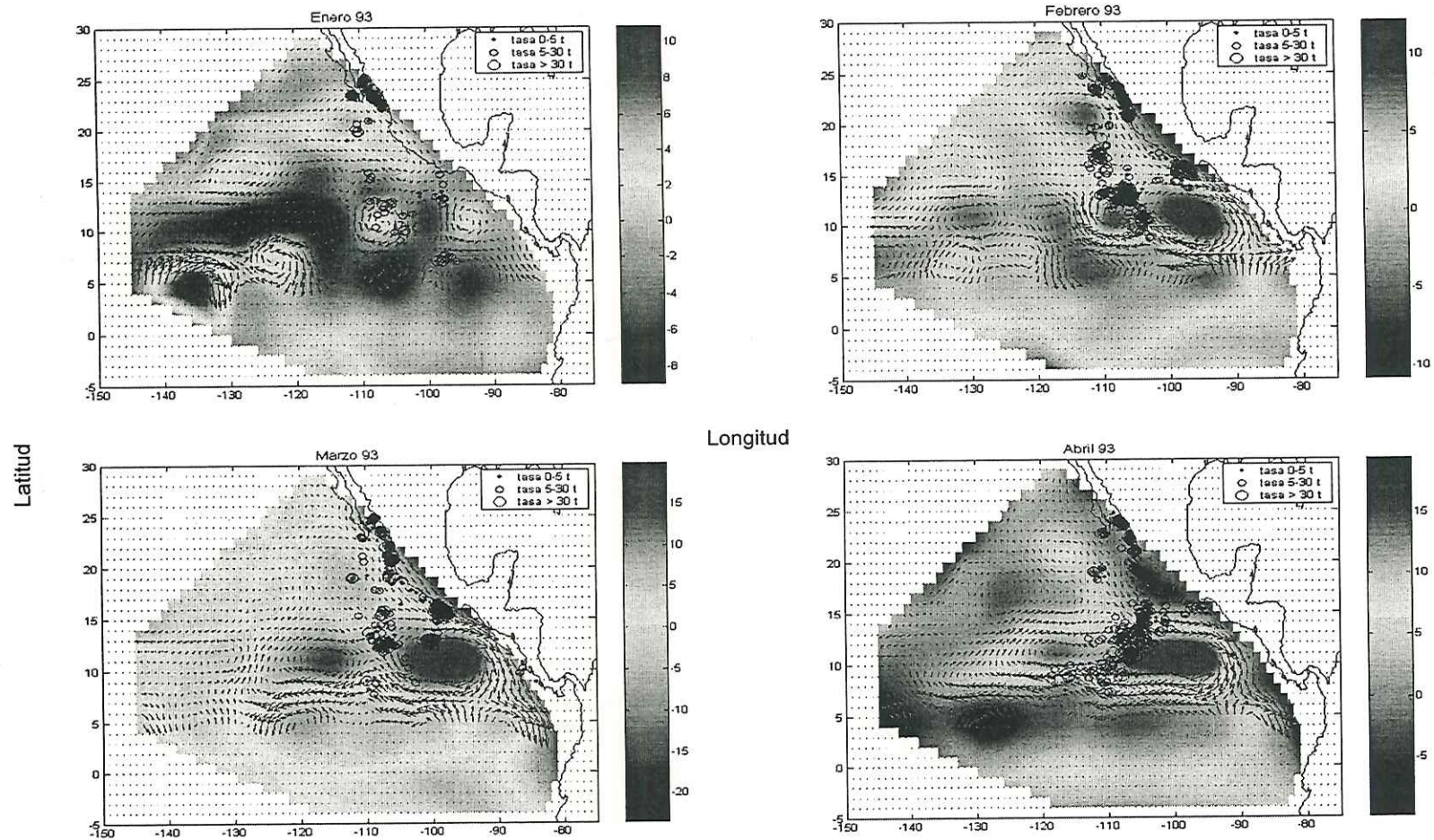


Figura 4b. Patrones espaciales mensuales, de enero a abril de 1993 para la Aasm, con corrientes geostróficas (vectores) derivadas de la Aasm y las posiciones de los lances tuneros (círculos negros).

La distribución de los lances atuneros (puntos azules y círculos negros en las figuras) en enero-febrero se concentra en las áreas tradicionales de actividad pesquera, a lo largo de la costa de Mexicana, principalmente en la boca del Mar de Cortés y el flanco oeste del Golfo de Tehuantepec. La actividad pesquera mar adentro se encuentra en los alrededores de las Islas Revillagigedo (116 O – 18 N) y en las cercanías de los giros anticiclónicos en la banda de los 10 N. Las posiciones de los lances son en las orillas o entre los giros. La flota presenta un movimiento hacia el oeste, presumiblemente siguiendo a los giros en su desplazamiento, hasta el mes de julio. Entre los meses de Agosto a Octubre los lances se localizan en una zona de transición entre anomalías positivas y negativas.

Giros de Mesoescala y Distribución de Lances Atuneros.

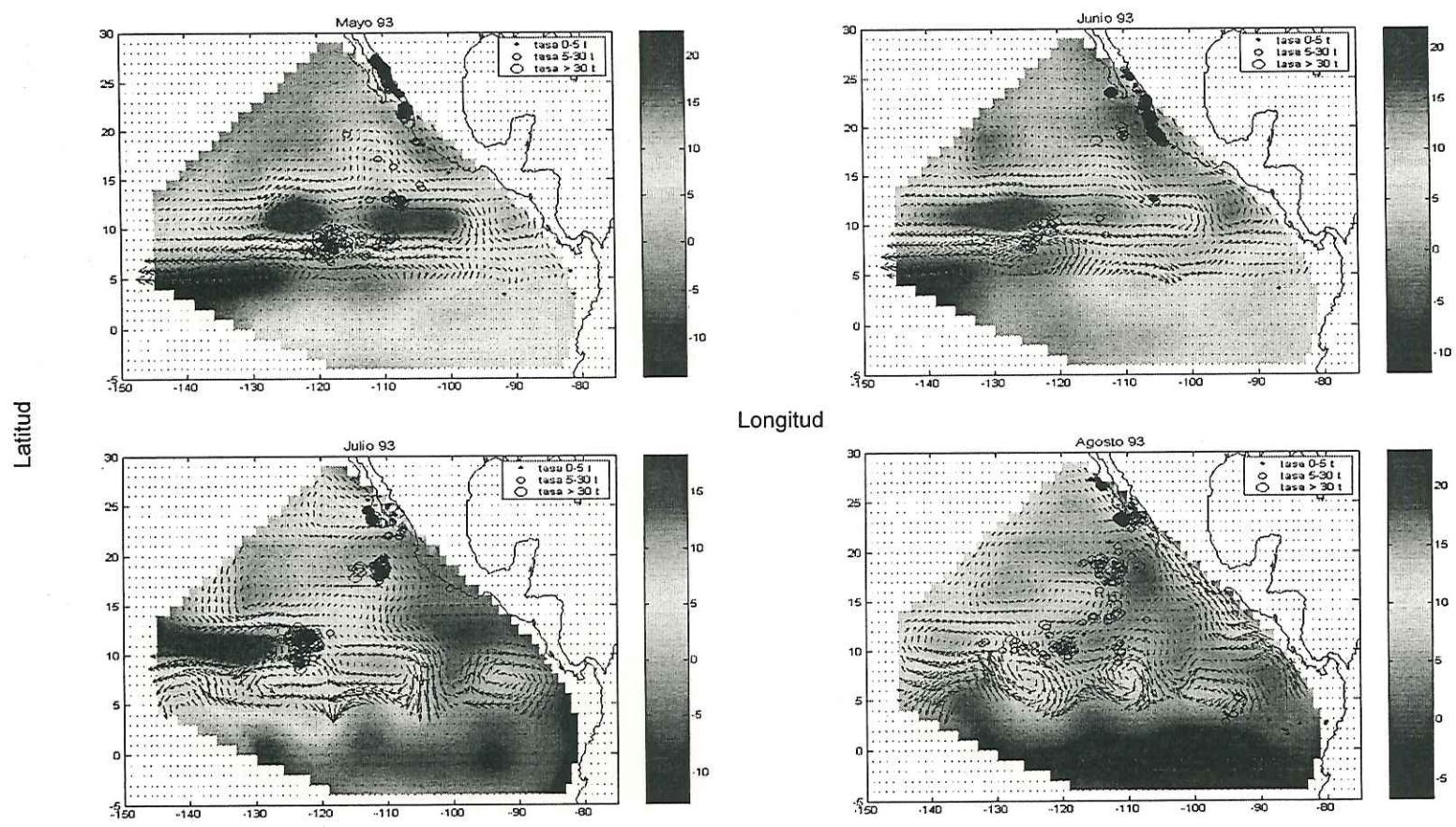


Figura 4c. Patrones espaciales mensuales, de mayo a agosto de 1993 para la *Aasm*, con corrientes geostróficas (vectores) derivadas de la *Aasm* y las posiciones de los lances atuneros (círculos negros).

1995: Valores positivos de anomalía son visibles en enero cerca de las costas de Centro América (figuras 5a, 5b y 5c). De febrero a julio éstas se mueven a lo largo de los 10 N – 12 N, se localiza inicialmente a lo 95 O y en julio a los 135 O. Los valores positivos más altos (~ 20 cm) se encuentran a los 105 O en abril. Otra banda de valores positivos se localiza entre los 5 N – 8 N de julio a noviembre. Durante casi el mismo período se manifiestan valores negativos en la banda de los 10 N (junio a diciembre). Esta señal negativa se mueve con el tiempo desde la costa hasta los 120 O – 130 O.

Los movimientos de la flota son dispersos en este año. De enero a marzo se presenta un frente latitudinal de la flota, desde los 20 N hasta 5S, entre los 115 O – 120 O. A lo largo de la banda de los 10 N la flota se localiza en el lado oeste de un giro anticiclónico, en febrero-marzo, después de 3 a 4 meses la flota atunera se localiza en el lado este del giro. En la segunda mitad del año, las capturas se atún se encuentran alrededor de un giro ciclónico (valores negativos de *Aasm*).

Anomalia de la Altura del Mar (color), Posiciones de Lances Atuneros, Mensuales 1995

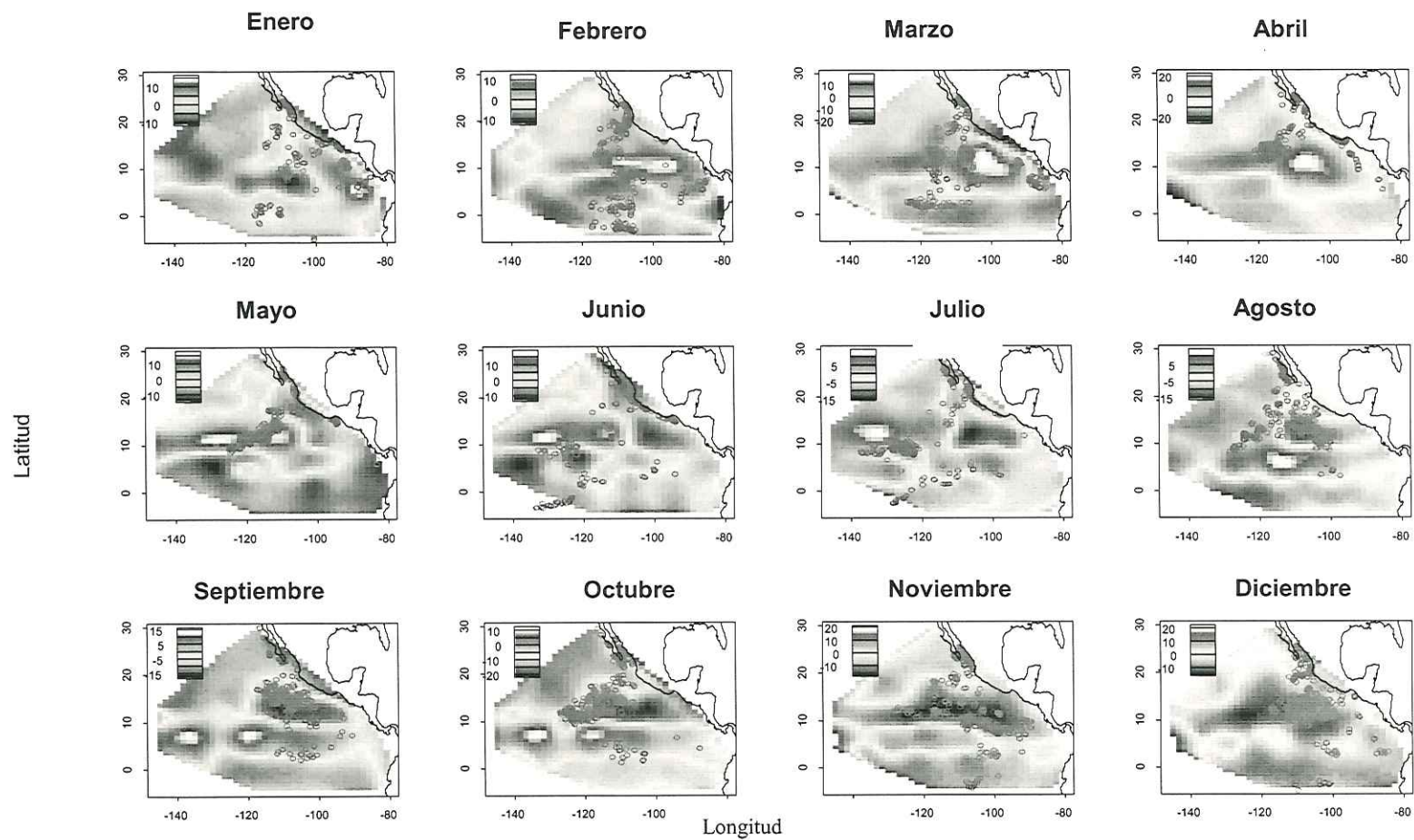


Figura 5a. Patrones espaciales de *Aasm* (color) y posiciones de los lances atuneros (puntos azules) para el año de 1995.

Giros de Mesoescala y Distribución de Lances Atuneros. 1995

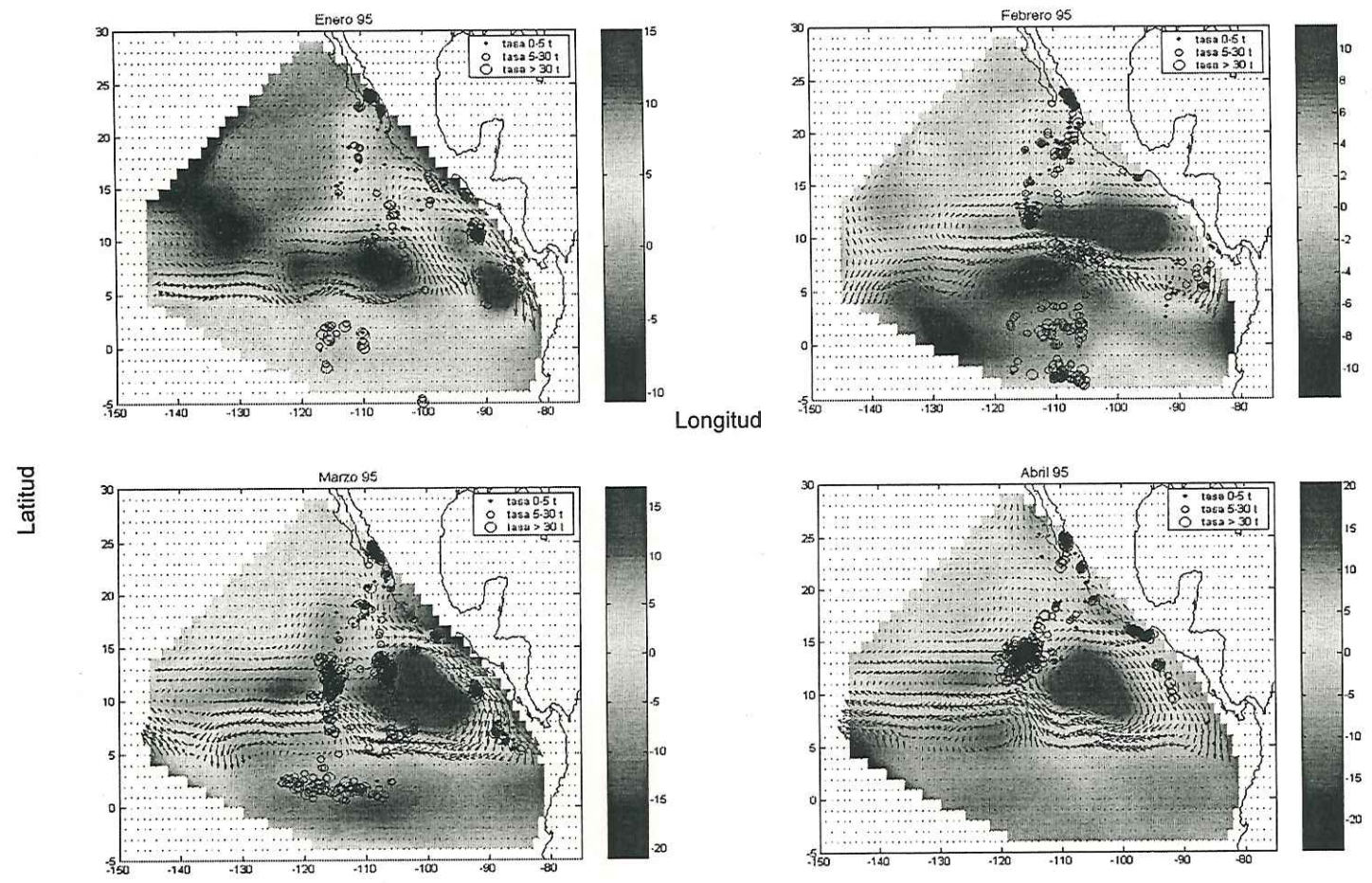


Figura 5b. Patrones espaciales mensuales, de enero a abril de 1995 para la *Aasm*, con corrientes geostróficas (vectores) derivadas de la *Aasm* y las posiciones de los lances atuneros (círculos negros).

Giros de Mesoescala y Distribución de Lances Atuneros. 1995

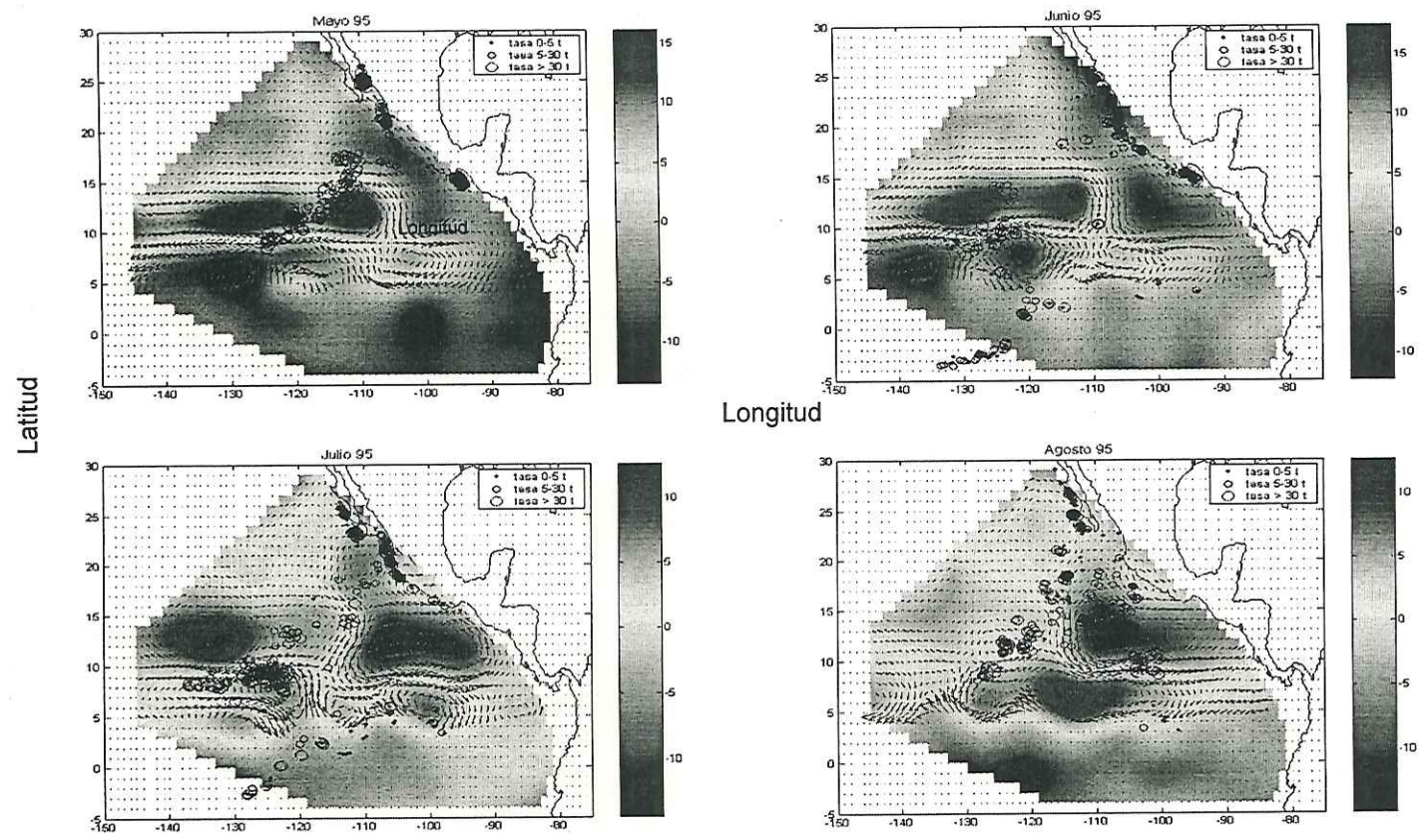


Figura 5c. Patrones espaciales mensuales, de mayo a agosto de 1995 para la *Aasm*, con corrientes geostróficas (vectores) derivadas de la *Aasm* y las posiciones de los lances atuneros (círculos negros).

1997: Una señal de valores positivos de **Aasm** (+ 10 cm) se localiza en las costas de Centro América, a los 100 O – 12 N en febrero (figuras 6a, 6b y 6c). Para el mes de mayo se encontraron dos áreas de valores positivos, aunque relativamente bajos a los 100 O y los 120 O.

Una característica sobresaliente es la presencia de una banda de valores negativos de **Aasm** (-15 cm), entre los 5 N – 8 N, en la primera mitad del año. Durante este período se inicia el desarrollo de otra área de valores negativos de **Aasm** desde la costa de México, con una orientación hacia el suroeste. Ambas áreas en junio-julio se unen, cubriendo una amplia región desde los 5 N hasta los 30 N y desde la costa hasta los 150 O. A lo largo del ecuador es notorio un comportamiento de tipo de onda de una señal positiva de **Aasm**, con valores extremos mayores de los 40 cm, en el mes de noviembre.

La característica más notoria de la distribución de la flota atunera es una área de concentrada actividad en una región norteña, a los 120 O - 20 N de julio a octubre. Esta área de actividad de pesca no se presenta en los años previos, de 1992 a 1996.

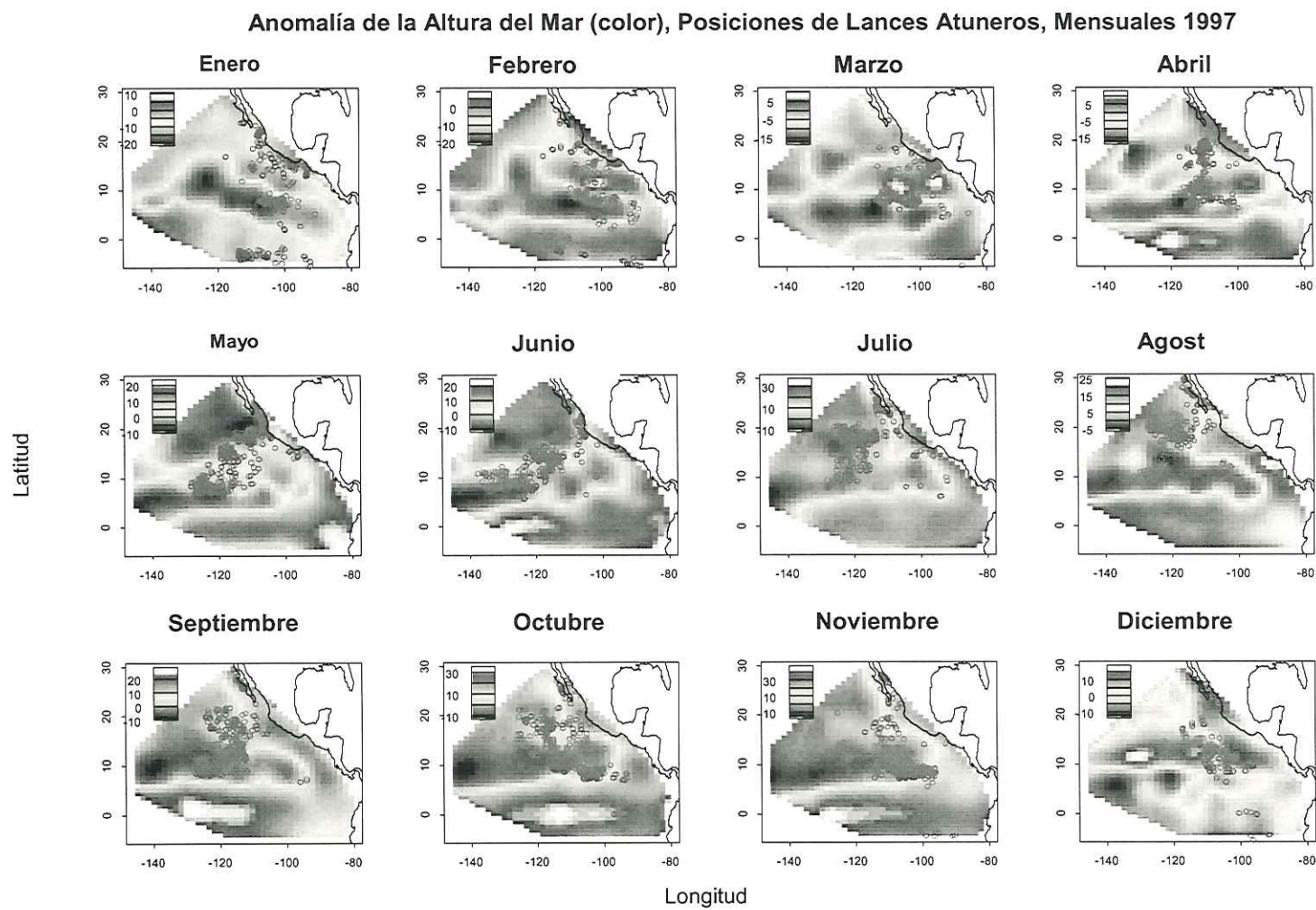


Figura 6a. Patrones espaciales de *Aasm* (color) y posiciones de los lances atuneros (puntos azules) para el año de 1997.

Giros de Mesoescala y Distribución de Lances Atuneros. 1997

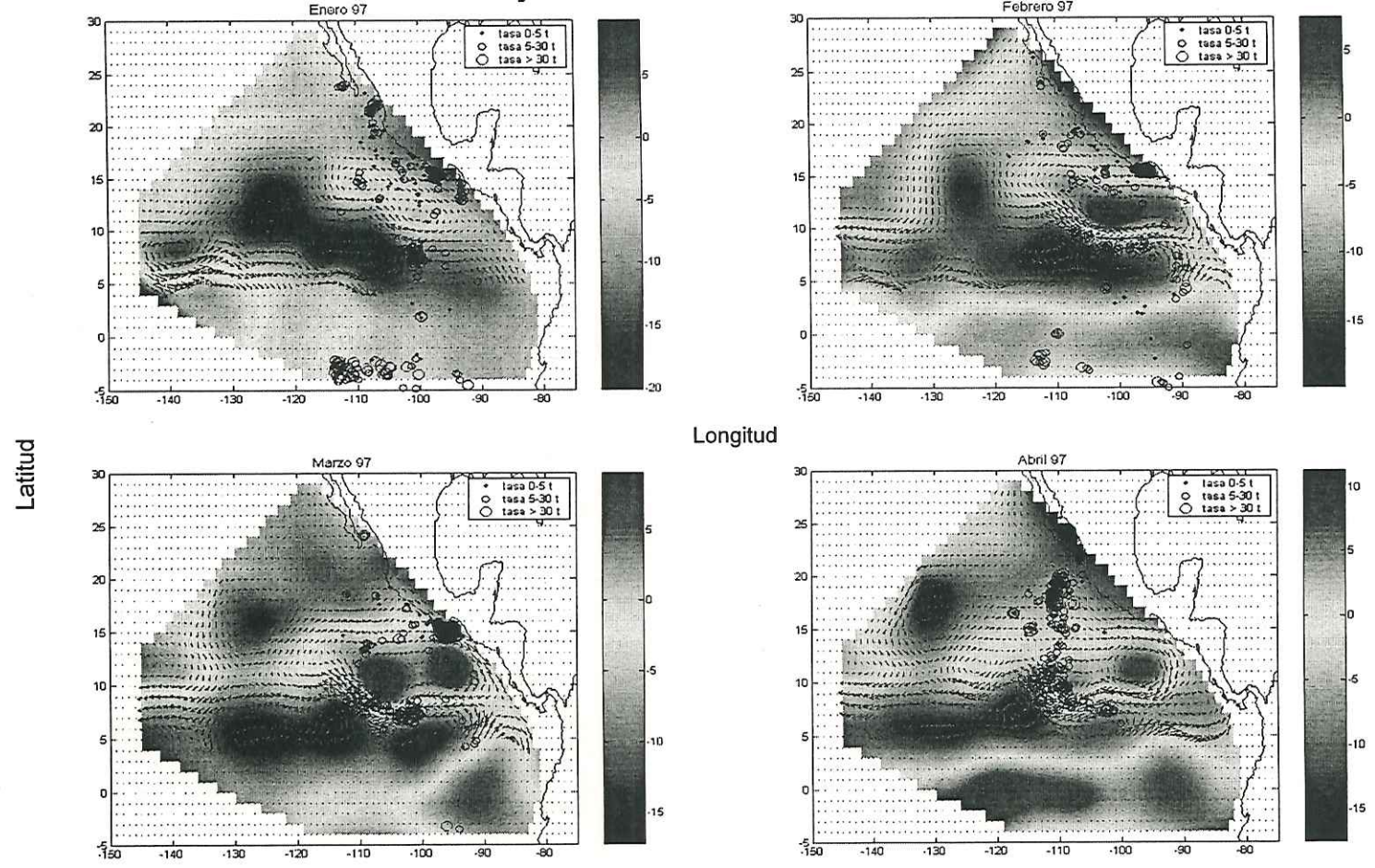


Figura 6b. Patrones espaciales mensuales, de enero a abril de 1997 para la *Aasm*, con corrientes geostróficas (vectores) derivadas de la *Aasm* y las posiciones de los lances atuneros (círculos negros).

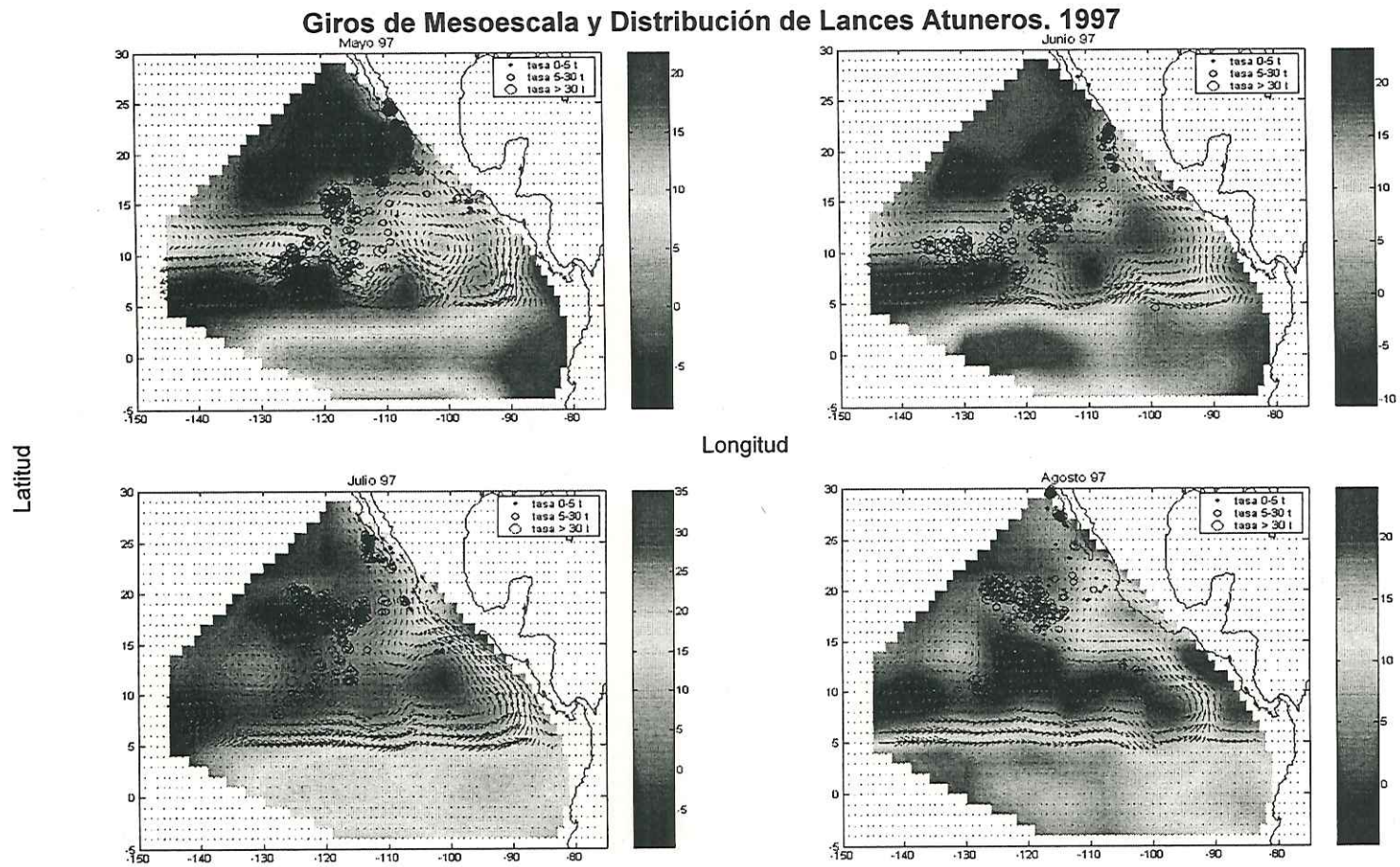


Figura 6c. Patrones espaciales mensuales, de mayo a agosto de 1997 para la *Aasm*, con corrientes geostróficas (vectores) derivadas de la *Aasm* y las posiciones de los lances atuneros (círculos negros).

En general, el comportamiento de la distribución de la flota pesquera en estos años indica que los lances de la flota atunera se localizan en los extremos de los giros anticiclónicos (anomalías positivas) en la primera mitad del año, de enero-febrero a julio-agosto. La flota se mueve desde: La boca del Mar de Cortés, Golfo de Tehuantepec y Centro América (principios del año) hacia mar abierto hasta los 130 O – 140 O en julio-agosto.

Los giros anticiclónicos observados se forman por eventos de surgencias en las costas y se mueven al oeste, a lo largo de la banda de los 10 N.

3.3. Secciones Hovmoller. Longitud – Tiempo

Con la idea de reducir dimensionalidad e incorporar mayor cantidad de información para la descripción de la variabilidad de **Aasm** y capturas se presentan secciones longitud (x) - tiempo (y) a latitud constante de 10 N. Estos resultados se presentan en la siguiente sección.

Gráficas de secciones longitud-tiempo de **Aasm** presentan un movimiento de tipo de flecha (figura 7): de la costa hacia mar adentro y nuevamente a la costa, en el período de tiempo definido por: inicio – mitad – final del año. Se sobrepone

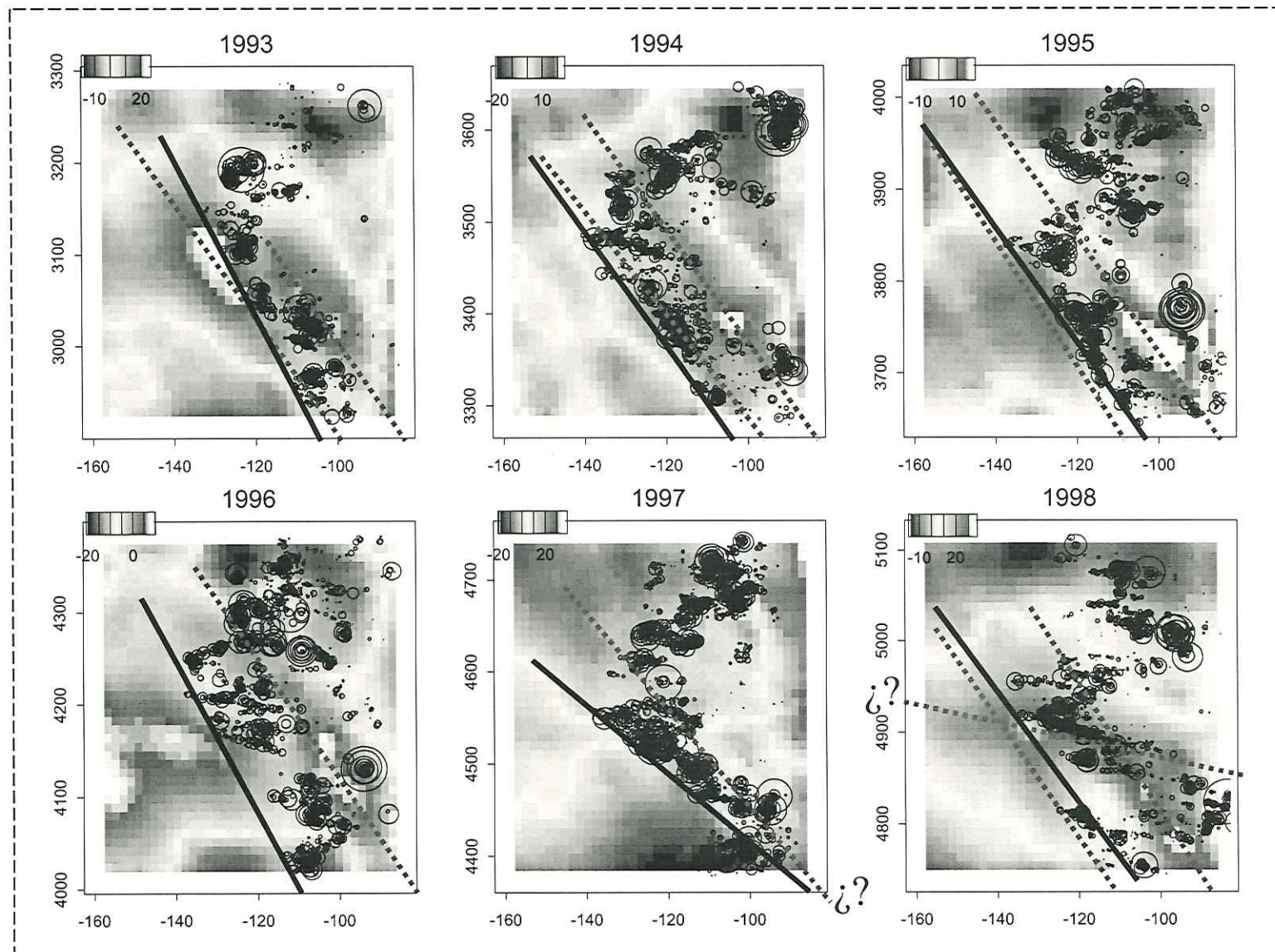


Figura 7. Secciones Hovmoller, longitud (x) – tiempo (y) de Aasm (color). La unidad en tiempo corresponde a 10 días de ciclo repetido del satélite Topex con origen al 1 de enero de 1985. Línea punteada (- - -) representa la pendiente o la velocidad de **Aasm**. Línea continua (—) representa la pendiente o velocidad del frente de la flota atunera.

el patrón de los lances en las mismas dimensiones, el diámetro de los círculos es proporcional a la magnitud de la captura de atún por lance.

Los primeros dos años (1993 y 1994) presentan un patrón similar. A los 100 O una anomalía positiva se inicia en los primeros dos meses. Se observa un desplazamiento casi lineal de esta señal positiva, alcanzando su posición más occidental, 135 O poco después de la mitad del año. En ambos años se identifican dos señales de anomalías positivas (giros anticiclónicos). En 1993 el giro más intenso es visible a ~ 115 O, crece con el tiempo y alcanza su mayor amplitud a los 130 O. El giro más intenso en 1994 se presenta a los 105 O, más tardío que en 1993, y se desplaza al oeste hasta los 120 O para el tercer cuarto del año.

La actividad de la captura muestra un patrón similar, con la apariencia de seguir a los giros. En 1993, las posiciones (longitud-tiempo) de las capturas se localizan entre dos giros anticiclónicos.

Los años de 1995 y 1996 presentan una mayor semejanza entre sí, comparativamente a 1993 y 1994. En este último período (95-96) se observan señales positivas entre los 95 O y 115 O, en la primera mitad de los años, así como valores positivos al oeste de los 130 O. Esta región del extremo oeste tiene amplia distribución pero estacionaria en el tiempo. El año de 1997 se caracteriza por la manifestación de intensas y amplias regiones de anomalías negativas. El patrón de capturas muestra el característico movimiento de flecha sin una asociación específica con el campo de **Aasm**. Para 1998 se presentan los valores positivos extremos de todo el período estudiado. El patrón de variabilidad de este año es más parecido al de 1993 que al de 1997.

Aquí se define el frente de la flota atunera como: las posiciones más occidentales de los lances a lo largo de la banda de 10 N, en sucesivos períodos de tiempo. Las posiciones del frente atunero se estiman por medio de una inspección gráfica de las secciones longitud-tiempo (secciones Hovmöller). Una relación lineal de posiciones y tiempo estimadas nos permiten calcular la velocidad de desplazamiento del frente atunero. Se traza una línea recta entre posiciones, cerca de la costa a principios del año y en el extremo oeste a mediados del año. Este procedimiento también se emplea para estimar las velocidades de desplazamiento de los giros anticiclónicos (anomalías positivas). Con lo que se obtienen las siguientes velocidades (Tabla I):

Tabla I. Velocidad de fase con dirección al oeste de giros anticiclónicos (valores positivos de **Aasm**) y del frente atunero, anuales.

Año	Velocidad de Giros (km/día)	Velocidad del Frente Atunero (km/día)
1993	16.8	12.0
1994	18.2	18.8
1995	18.3	17.5
1996	16.6	11.7
1997	15.2	17.3
	21.5	12.5
1998	$\bar{x} = 17.7$	$\bar{x} = 14.9$

Esta es una técnica cualitativa, por lo que estos resultados son una primera aproximación.

Se puede identificar la variabilidad estacional así como la inter-anual de la presencia de los giros. La variabilidad inter-anual de la flota atunera no muestra la misma claridad que la estacional.

Con la finalidad de observar una posible relación entre los giros de mesoescala y las ondas planetarias de Rossby, se estimó una velocidad de fase de en el OPTE de ~ 13.5 km/día. Estas ondas planetarias presentan su desplazamiento hacia el oeste.

3.4 Funciones Empíricas Ortogonales Independientes de *Aasm* y Capturas de Atún

Con los resultados de las FEO se busca identificar los patrones espacio-temporales donde se concentra la mayor variabilidad del campo de interés. La varianza explicada se concentra en un número reducido de modos estadísticos. Se presentan los resultados de los primeros tres modos de las FEO, las que se descomponen en su parte espacial y temporal. Se presentan los resultados para la *Aasm* y las capturas de atún aleta amarilla (*Aaa*)

FEO de Capturas

Los tres primeros modos explican el 28% de la varianza total. El patrón espacial del primer modo de las capturas, presenta dos amplias regiones de valores contrastantes (figura 8): Al este de los $\sim 120^{\circ} \text{O} - 115^{\circ} \text{O}$ con valores positivos y en el oeste con valores negativos. En las costas de la Península de Baja California también se presentan valores negativos, igual que en la región oceánica. Este patrón espacial corresponde a la variabilidad estacional, la cual se determina por la amplitud del primer modo. Los valores extremos de amplitud en su fase negativa corresponden a los años de 1997 y 1998. La región del este se asocia a la primera mitad del año.

Funciones Empíricas Ortogonales del Atún

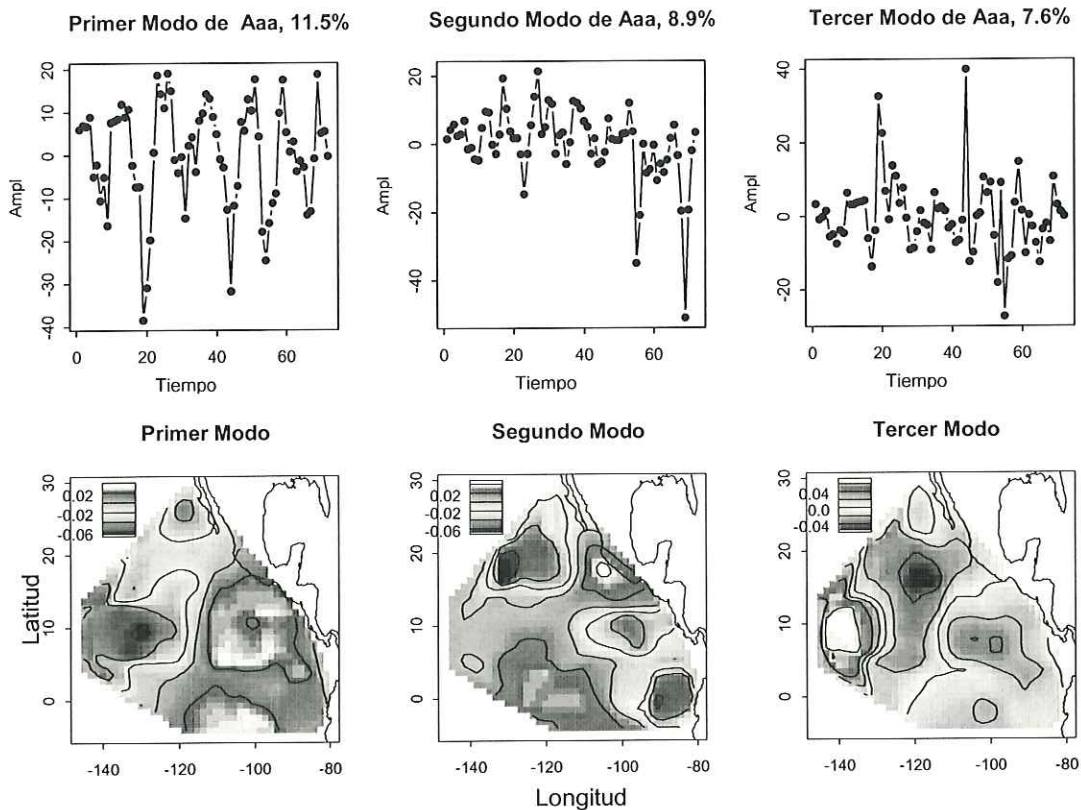


Figura 8. Primeros tres modos de las FEO independientes para las capturas del atún. Los cuadros superiores representan la amplitud de los respectivos modos. Recuadros inferiores representan la componente espacial de los modos. Unidades de tiempo en meses; 1993 (1 – 12), 1994 (13 – 24), 1995 (25 – 36), 1996 (37 – 48), 1997 (49 – 60) y 1998 (61 – 72).

El segundo modo espacial presenta tres regiones de valores positivos. Dos costeros, en Centro América y Sud América (Ecuador); y un tercero en aguas oceánicas en los 130 O, 18 N. Esta región, en el extremo noroeste no es reconocida como una zona tradicional de pesca. La cual no se identifica en las

capturas promedios anuales de largo plazo (1980 a 1994), reportadas por la CIAAT. Una región, contrastante, de valores positivos se extiende desde las costas del centro-sur de México (100 O, 18 N), hacia el suroeste (130 O, 5 N) y se curva hacia el sureste (115 O, 5S). La variabilidad temporal de este segundo modo muestra dos picos de valores negativos, en julio de 1997 (dato 55) y septiembre de 1998 (dato 69). Esto se asocia con el patrón espacial de áreas negativas en la costa y en la región extrema del noroeste.

El tercer patrón espacial de las capturas muestra un área central de valores negativos que separa dos regiones de valores positivos. Una al este con centro a los 100 O, 8 N y la segunda con centro a los 135 O, 10 N. La región del este se identifica desde las costas del centro sur de México (100 O, 15 N) hacia el sur hasta el hemisferio sur. La región central se extiende desde los 20 N hasta el ecuador con su centro en (115 O - 120 O, 0) y se extiende hacia el norte hasta los 20 N. El centro de la región oeste se localiza en 140 O, 10 N.

FEO de *Aasm*

Los primeros tres modos incorporan el 60 % del total de la varianza: 33.3%, 15% y 12.5% respectivamente. En general, la distribución espacial de los modos muestra una región de valores negativos a lo largo de 10 N (figura 9). El primer

modo, en la parte oeste ($\sim 145^\circ \text{O}$), el segundo modo en la región centro-oeste y el tercer modo en el este, $\sim 115^\circ \text{O}$. Valores contrastantes, positivos se presentan en el sur y en la costa (primer modo), en el Ecuador (segundo modo) y en el extremo norte (Baja California), además en una banda oceánica a los 5°N .

Funciones Empíricas Ortogonales de *Aasm*

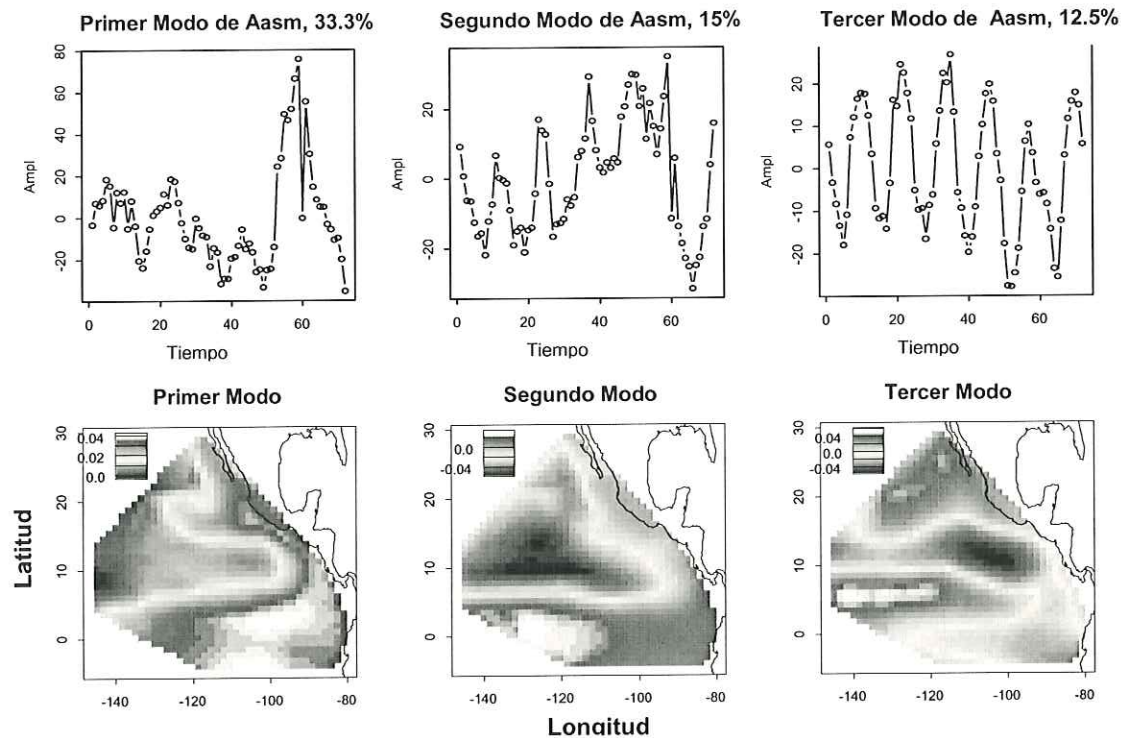


Figura 9. Primeros tres modos para las FEO independientes para *Aasm*. Los cuadros superiores representan la amplitud de los respectivos modos. Recuadros inferiores representan la componente espacial de los modos. Unidades de tiempo en meses; 1993 (1 – 12), 1994 (13 – 24), 1995 (25 – 36), 1996 (37 – 48), 1997 (49 – 60) y 1998 (61 – 72).

La amplitud del primer modo, o la componente de variabilidad temporal presenta una fuerte señal positiva para la segunda mitad del año de 1997 y principios de 1998. Valores negativos, en amplitud, se encuentran para los meses iniciales de 1996 y 1997. Este patrón temporal corresponde al evento de El Niño con una

fuerte señal en el Ecuador y a lo largo de la costa del Continente. La amplitud del segundo modo presenta una tendencia positiva, excepto para 1998. Se observa una variabilidad estacional más clara que en el primer modo. Valores positivos se asocian a la banda ecuatorial y valores negativos a la banda de los 10 N. La amplitud del tercer modo presenta una señal estacional bien definida con una ligera tendencia de disminución para 1997.

En general se observan dos patrones espacio-temporales bien definidos. La variabilidad inter-anual (primero modo) y un patrón estacional (tercer modo). El segundo modo se puede identificar como de transición entre los dos anteriores.

3.5 Funciones Empíricas Ortogonales Acopladas de *Assm* y Capturas de Atún

La matriz ortogonal \mathbf{U} se asocia con los modos ortogonales de las capturas y la matriz ortogonal \mathbf{V} con los modos de la \mathbf{Aasm} . El primer modo explica 33 % de la varianza total. El primer modo del patrón espacial (denominados también como mapas de correlación) de las capturas muestra tres áreas principales (figura 10): Se presenta una clara separación, aproximadamente a los 118 O-120 O, para una región al oeste con valores menores y la del este con valores mayores. Existe una tercera región costera con cierta alternancia de valores altos y bajos. El segundo modo espacial para las capturas, con 21% de varianza

explicada, muestra una área a lo largo de los 10 N (valores mayores), desde la costa (~85 O) hasta los 130 O, con dos brazos; hacia el norte a los 125 O y hacia el suroeste a los 130 O. El tercer modo espacial muestra dos núcleos de valores mayores, aproximadamente a los 105 O-7 N y a los 108 O-11 N. Una segunda región (valores menores) en el norte y hacia el oeste de los 115 O.

Patrones Espaciales de las FEO Acopladas, *Aasm* - *Aaa*

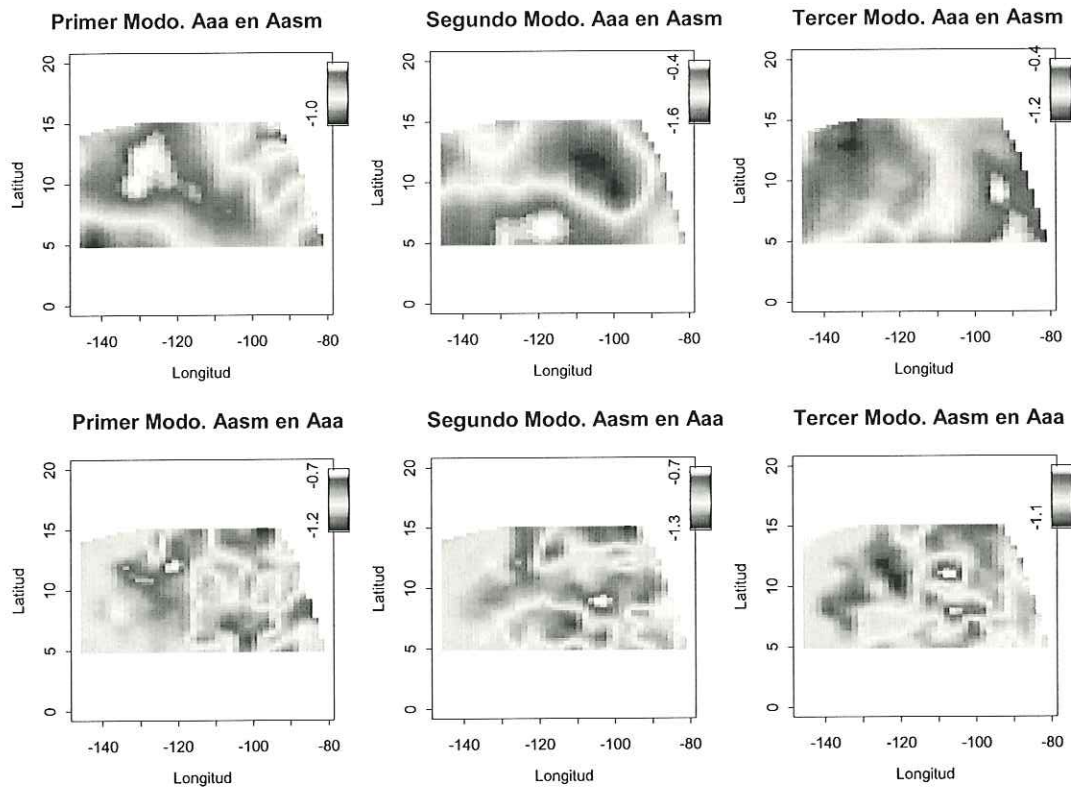


Figura 10. Primeros tres modos para las FEO acopladas entre *Aasm* y *Aaa*. La matriz *U* representa la covarianza explicada en términos *Aaa*. La matriz *V* representa la covarianza explicada en términos *Aasm*.

Para la **Aasm**, el primer modo espacial predomina en una región con centro a los 10 N, con extensiones hacia el norte a los 125 O y hacia el sureste a los 115 O. Los valores menores se localizan en el extremo suroeste (140 O-5 N). En el segundo modo espacial de **Aasm** se contrastan dos regiones, una a lo largo de los 6-7 N, la segunda (valores menores) en la parte norte (> 10 N). Con valores extremos centrados a los 110 O-12 N. El tercer modo espacial, muestra semejanza al anterior, pero con los valores mayores corridos hacia la costa y a lo largo de 5 N. Los valores menores se presentan en toda la región oceánica desde los 5 N hasta los 15 N.

Los modos de variabilidad temporal se representan por medio de los coeficientes de expansión temporal, denominados como las amplitudes de las FEO (figura 11). El primer modo temporal (ambos campos) presenta una componente anual con tendencia negativa de 1993 hasta principios de 1997, posteriormente, en forma notoria se observan valores extremos positivos para la segunda mitad de 1997 y primera de 1998. El segundo modo presenta una clara señal anual, con simetría de oscilación entre valores positivos y negativos. El tercer modo de variabilidad temporal muestra tres picos de valores positivos, incrementándose sucesivamente; principios de 1993, de 1995 y finales de 1997-principios de 1998

Como un resultado general del uso de las FEO se puede resaltar que para las capturas se tiende a separar una región oceánica y una costera. La línea de

separación es aproximadamente entre los 115 O y 120 O. Para el campo de la *Aasm* se observa una tendencia a definir regiones extendidas latitudinalmente: en el Ecuador, a los 5 N (oeste de 115 O) y a los 10 N-12 N (desde la costa hasta los 140 O).

Amplitudes de las FEO Acopladas *Aaa* - *Aasm*

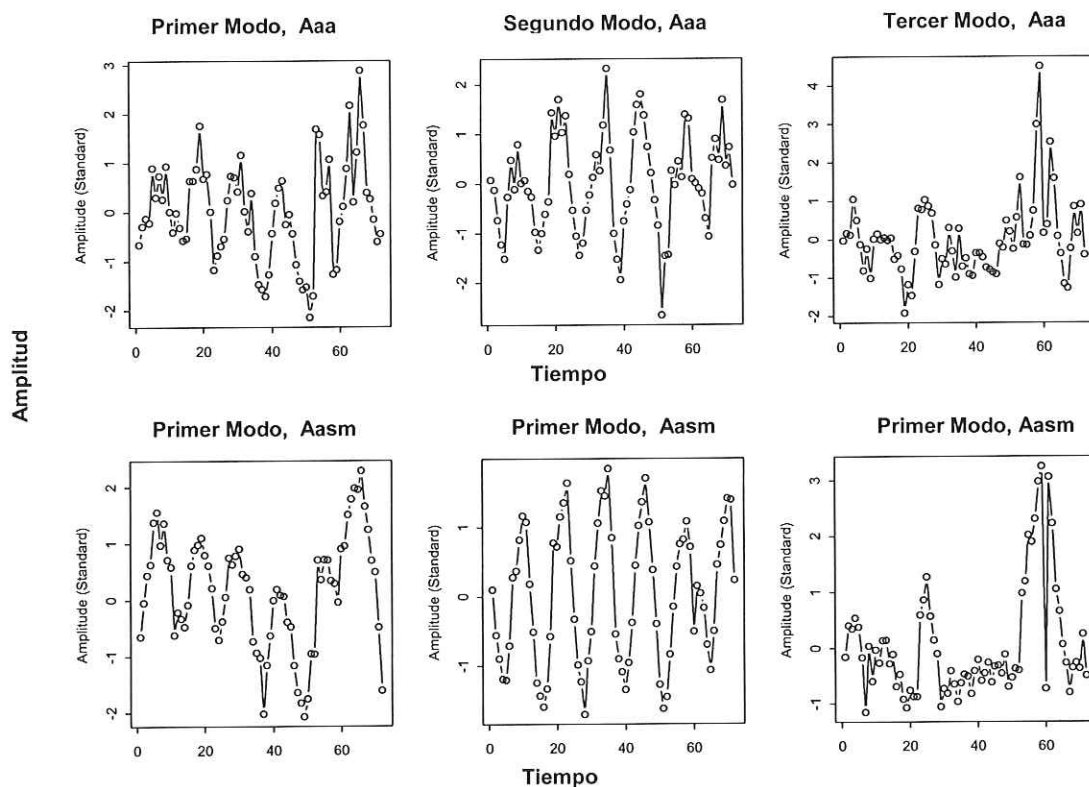


Figura 11. Amplitud ó variabilidad en tiempo de los primeros tres modos de las FEO acopladas entre *Aaa* y *Aasm*, para el período 1993 a 1998. Tiempo en meses.

3.6 Análisis de Correlación Canónica

Con el análisis de correlación canónica se busca identificar patrones de asociación entre dos campos de variables. Que puedan ser interpretados de baja dimensión.

La proyección espacial de la primera variable canónica sobre los valores originales de los datos de capturas de atún muestra una elongada área a los 10 N, desde $\sim 90^{\circ} O$ hasta los $130^{\circ} O$ (figura 12). Una área similar de valores positivos para la variable canónica de **Aasm** esta presente a lo largo de los 12 N. Este patrón espacial es notoriamente similar para los dos campos de las variables.

El patrón espacial de la segunda variable canónica para la **Aasm** y el atún son parecidos. La principal característica es la presencia de dos regiones; una costera y una oceánica. La línea de separación se encuentra a los $\sim 115^{\circ} O$. Este patrón espacial es similar a los resultados de las FEO acopladas.

La tercera variable canónica es semejante para ambos campos. Dos áreas de valores positivos, una a lo largo de la costa sur de México y la segunda a los $\sim 125^{\circ} O$, 10 N. Una área contrastante de valores negativos se localiza a $\sim 105^{\circ} O$, 13 N.

Patrones Espaciales de Análisis de Correlación Canónica, *Aaa* - *Aasm*

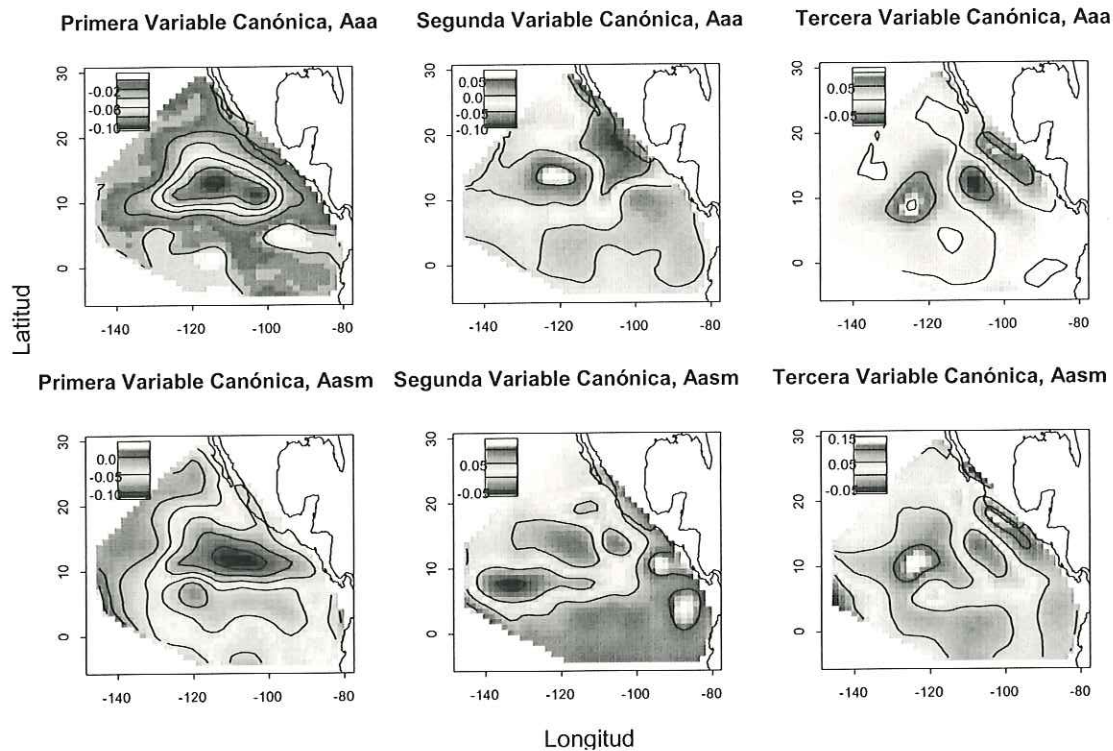


Figura 12. Correlación canónica entre *Aaa* y *Aasm*. Recuadros superiores con las tres primeras variables canónicas para *Aaa*. Recuadros inferiores con las tres primeras variables canónicas para *Aasm*.

El patrón general de la primera variable canónica se puede explicar que esta mayormente determinado por el campo de la *Aasm*. Ya que presenta una larga banda de correlación a lo largo de los 10 N-12 N. Este, también es un resultado general de las FEO. Para la segunda variable canónica se observa un patrón menos homogéneo. En este caso se puede considerar que el campo de la pesca tiene una mayor influencia en la determinación de los valores de la variable

canónica. Se identifican la región costera y la oceánica (en la banda de 10 N-12 N), con la línea de separación a los 115 O. Así también, otra región de correlación en la banda de los 5 N, al oeste de los 120 O.

3.7 Análisis de Series de Tiempo

El propósito de esta sección es el buscar relaciones causales entre variables ambientales y los patrones de captura de atún. El viento es el agente de forzamiento para la variabilidad de la superficie del mar, específicamente, para las surgencias en el Golfo de Tehuantepec y Golfo de Papagayo. Los giros de mesoescala se forman durante intensos eventos de surgencia en estas regiones, los cuales se desplazan hacia el oeste. En las secciones 3.1 y 3.2 se describen estos movimientos. Se espera que la variabilidad de capturas de atún en regiones oceánicas tengan correlación con los giros de mesoescala.

3.7.1 Viento y Variabilidad de la Superficie del Mar en el Golfo de Tehuantepec.

Se busca correlación cruzada significativa entre el pseudo esfuerzo del viento en la costa (Tehuantepec y Papagayo) y la variabilidad de la superficie del mar (*VSM*) en estas regiones. Una correlación cruzada semejante se espera entre la variabilidad de la superficie del mar en las regiones costeras y la tasa de captura en las regiones pesqueras oceánicas C y D (ver figura 2). El valor absoluto de la

razón de cambio (en el tiempo) de la **Aasm** en la estación **T1** en Tehuantepec se emplea como una medida de la **VSM**.

La componente *y* (norte-sur) del pseudo esfuerzo (**Psty**) del viento presenta una señal claramente estacional, no así la componente *x* (este-oeste) (**Pstx**). Valores altos de la componente *y* del viento se presentan durante el período de invierno de cada año. Las más altas correlaciones cruzadas se encuentran para la componente "*y*" (**Psty**) del viento y el valor absoluto de la velocidad en la estación **T1** (figura 13). Las correlaciones son significativas ($\alpha = 95\%$) a 0 y 1 mes de defasamiento en tiempo, con un coeficiente de correlación (*cc*) de ~ 0.5 y 0.3 , respectivamente. El siguiente paso es investigar la correlación significativa entre la variabilidad de la superficie del mar en la costa y las razones de captura en las estaciones **C** y **D**.

Correlación: Viento, Variabilidad del Mar en Tehuantepec y Capturas Oceánicas

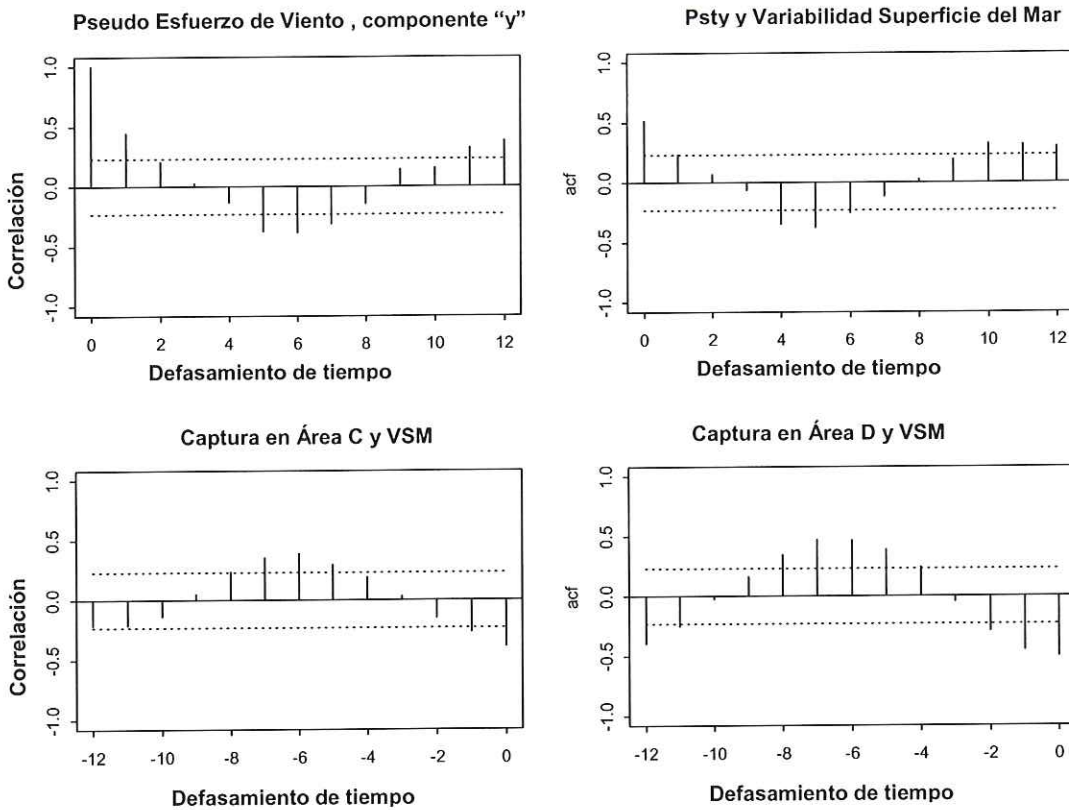


Figura 13. Correlación cruzada para las series de tiempo de la componente “y” del pseudo esfuerzo de viento (*Psty*) y la variabilidad de la superficie del mar (*Vsm*) en el Golfo de Tehuantepec. Correlación cruzada entre *Vsm* y la razón de captura en las áreas *C* y *D*.

Se encuentra la mayor correlación significativa entre el valor absoluto de la velocidad en la estación *T1* y la tasa de captura en la estación *C* a los 6 meses (cc ~ 45). Para la estación *D* la mayor correlación es a los 7 meses de defasamiento, dentro de un intervalo de defasamientos significativos entre 5 y 8 meses. Las series de tiempo para *Psty*, *VSM* del mar en *T1*, y la razón de captura para las áreas *C* y *D* se muestran en la figura 14.

La serie de tiempo de la componente **Psty** se presenta con valores invertidos. Convencionalmente la componente “**y**” es positiva con dirección norte. Para el presente caso se invirtieron sus valores (multiplicados por -1), la razón es que la dirección predominante de los vientos de surgencia se presenta con dirección sur. Con lo cual se observan los vientos intensos hacia el sur como positivos.

Series de Tiempo: Viento, Variabilidad Superficie Mar (Tehuantepec) y Capturas Oceánicas

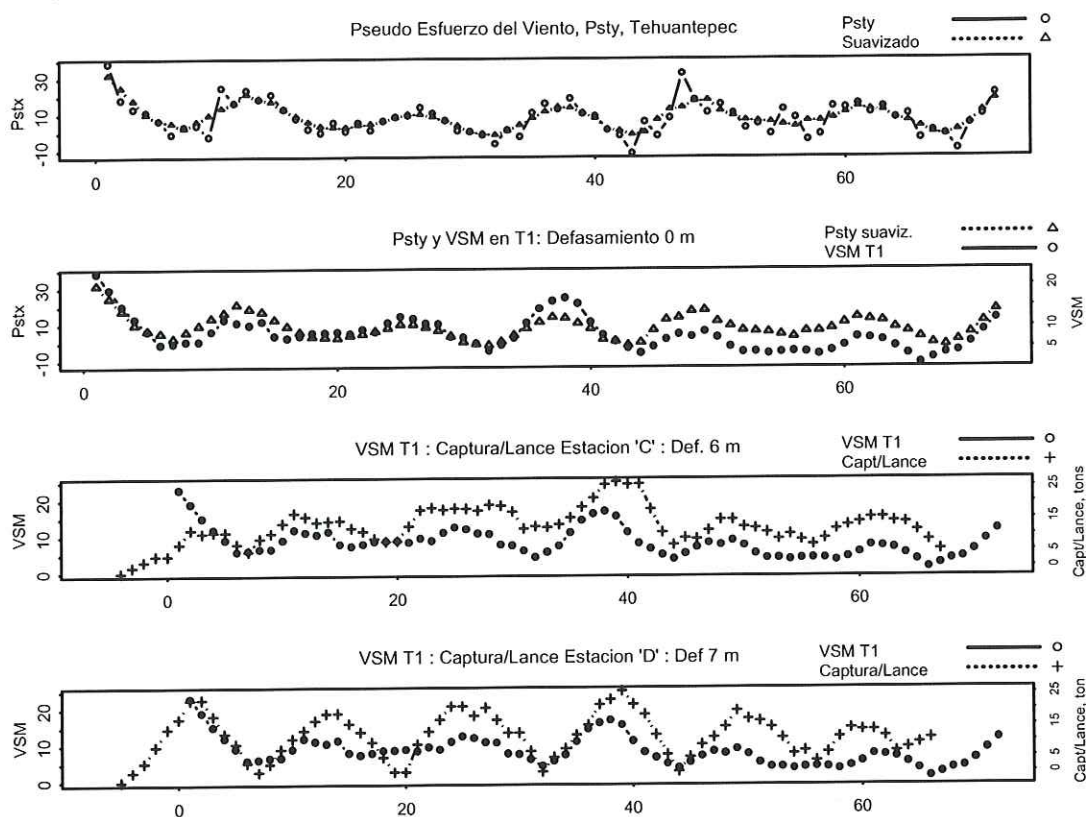


Figura 14. Series de tiempo de la componente “**y**” del pseudo esfuerzo del viento (**Psty**, originales y suavizados) en Tehuantepec (recuadro superior). **Psty** suavizado y **Vsm** (recuadro segundo). **Vsm** y capturas en el área **C** (tercer recuadro). **Vsm** y capturas en el área **D** (recuadro inferior).

Se grafican los valores originales de **Psty** y los suavizados por medio de un modelo loess. Es conveniente mencionar que, en general, en los meses de invierno de cada año se presentan los vientos más intensos que sobresalen a los valores suavizados. Otro punto de mención es que en los meses previos a los fuertes vientos de invierno la **Psty** se registran los vientos menos intensos hacia el sur y en ocasiones su dirección es hacia el norte (valores negativos).

Se observa una correlación en fase con 0 meses de defasamiento entre el viento (**Psty**) y la variabilidad de la superficie del mar (absoluto de la velocidad en **T1**) en Tehuantepec. Se presenta una tendencia hacia la baja de los valores de la **VSM** con el tiempo, pero no así del viento. La correlación entre la variabilidad del mar en la costa y la razón de captura en la región **D** presenta un mejor ajuste que para la región **C**. Los valores más altos de la razón de captura se presentan en el año de 1996 para la región **C** y en 1993 y 1996 para la región **D**. La **VSM**, también presenta sus valores más altos en 1993 y 1996. Para la parte final de la serie se observa una ligera tendencia hacia la baja, tanto de la razón de captura en las dos regiones (**C** y **D**) como de la **VSM**.

Con estos resultados y conocidas las distancias entre las áreas costeras de surgencias y las áreas oceánicas de pesca se calculó la velocidad del frente atunero (Tabla II).

Tabla II. Velocidad del frente atunero y defasamiento entre las áreas costeras y las zonas de pesca oceánicas en función de la distancia.

	Estación C			Estación D		
	Distancia (km)	Defasamiento (meses)	Velocidad (km/día)	Distancia (km)	Defasamiento (meses)	Velocidad (km/día)
Tehuantepec	2,442			3,330		
Estacion T1	1,875	6 (5 a 7)	10.4 (12.5 a 8.0)	2,763	6-7 (5 a 8)	15 - 13

Las velocidades del frente atunero son similares a las encontradas en la sección 3.2 por medios gráficos.

En forma inversa, con una velocidad promedio de 15 km/día (sección 3.2) y distancias conocidas se estima el defasamiento en meses (Tabla II).

Tabla III. Defasamiento del frente atunero entre las áreas costeras y las zonas de pesca oceánicas en función de la distancia y la velocidad.

	Estación C			Estación D		
	Distancia (km)	Velocidad (km/día)	Defasamiento (meses)	Distancia (km)	Velocidad (km/día)	Defasamiento (meses)
Tehuantepec	2,442			3,330		
Estacion T1	1,875	15	4.1	2,763	15	6.1

3.7.2 Viento y Variabilidad de la Superficie del Mar en Papagayo

La componente x (este-oeste) del pseudo esfuerzo ($Pstx$) del viento presenta un más claro patrón de variabilidad estacional (menos ruido) que la componente y (norte-sur, $Psty$). Para esta región la mejor correlación encontrada fue entre $Pstx$ y el valor absoluto del gradiente ($absgrad$) entre las estaciones $P1$ y $P2$, con un defasamiento de 0 meses (figura 15). En este caso el $absgrad$ es usado como una medida de la VSM .

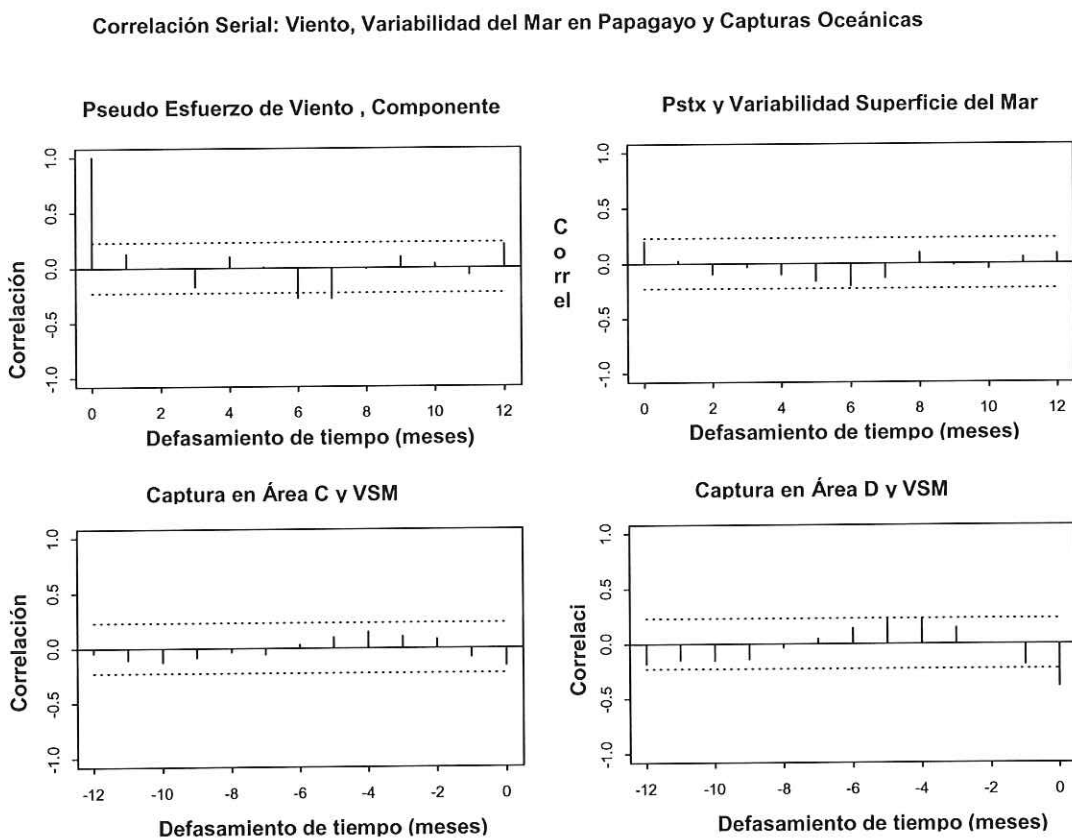


Figura 15. Correlación cruzada para las series de tiempo de la componente "x" del pseudo esfuerzo de viento ($Pstx$) y la variabilidad de la superficie del mar (Vsm) en el Golfo de Papagayo. Correlación cruzada entre Vsm y la razón de captura en las áreas C y D .

Las correlaciones cruzadas entre la **VSM** de las estaciones **P1** y **P2** y la razón de captura en la región **C** de pesca mostraron mayores valores (no-significativos) para un defasamiento de 4 meses. Para la región **D** de pesca la correlación significativa se encontró entre los 4 y los 5 meses de defasamiento.

Las series de tiempo para **Pstx**, variabilidad de la superficie del mar en **P1** y **P2**, y la razón de captura para las áreas **C** y **D** se muestran en la figura 16.

La relación de las series de tiempo para Papagayo presentan, en general: una menor concordancia entre sí y una señal 'ruidosa' de la componente **Pstx** (positiva hacia el oeste). La señal del viento presenta una variabilidad de valores altos en un período extendido de los primeros meses de casi todos los años observados.

La serie de tiempo de la variabilidad de la superficie del mar (**absgrad**) presenta un patrón estacional, pero con apreciable 'ruido'. Se observan valores mayores de la variabilidad de la superficie del mar en 1995 y 1998, y menores valores a finales de 1994 y de 1996. La relación entre la razón de captura en la región **C** y la variabilidad de la superficie del mar no muestra una clara asociación como en el caso de Tehuantepec. La correlación de la razón de captura en la región **D** y la variabilidad de la superficie del mar muestra un mejor ajuste que para la

región **C**. Las mayores diferencias se presentan en los años de 1993, 1996 y 1998.

Series de Tiempo del Viento, Variabilidad Superficie Mar en Papagayo y Capturas

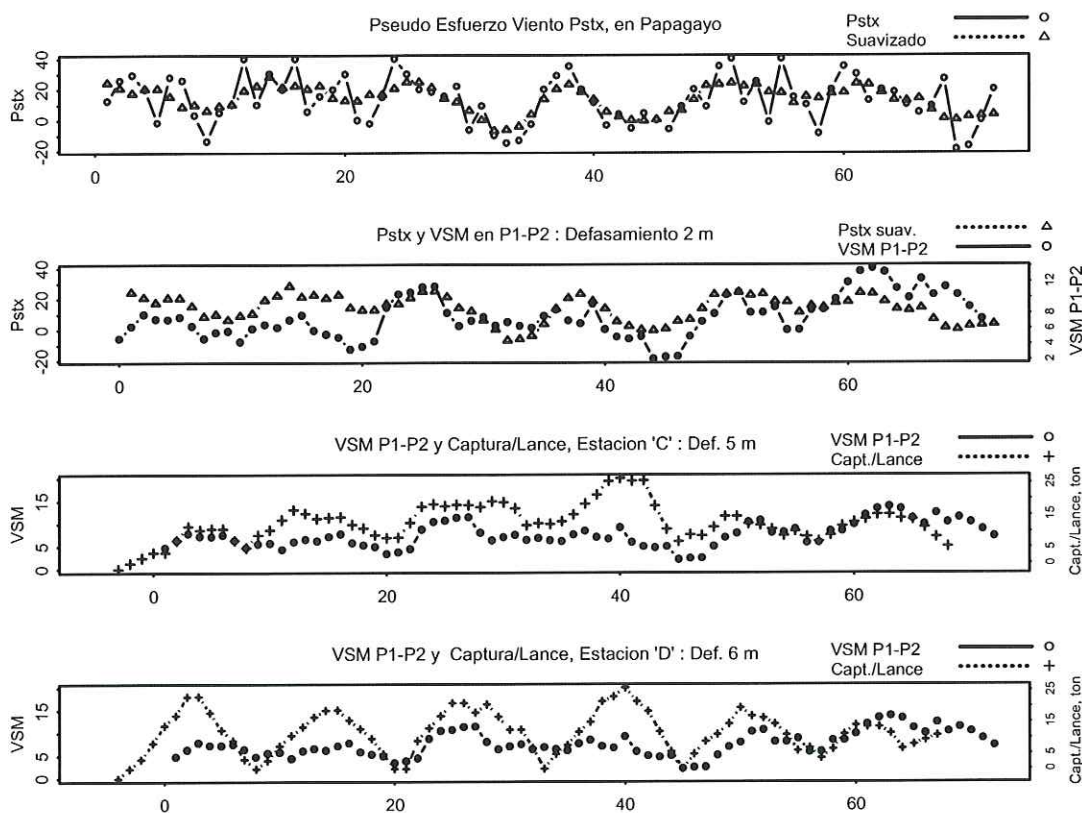


Figura 16. Series de tiempo de la componente "x" del pseudo esfuerzo del viento ($Pstx$, originales y suavizados) en Tehuantepec (recuadro superior). $Pstxy$ suavizado y Vsm (recuadro segundo). Vsm y capturas en el área **C** (tercer recuadro). Vsm y capturas en el área **D** (recuadro inferior).

3.8 Modelo Numérico de la Dinámica de Población del Atún Aleta Amarilla

Una representación cualitativa del frente atunero en su movimiento anual se obtiene por medio de un modelo numérico. Este movimiento se caracteriza por: su inicio en la costa a principios del año y movimiento hacia la región más oceánica para la mitad del año y de regreso a la costa para finales del año. Se busca representar el comportamiento observado en las secciones de Hovmoller. Con este modelo no se buscó representar las condiciones de la segunda mitad del año, esto es cuando se observa el regreso de la flota atunera hacia las costas de México.

En los resultados obtenidos (figura 17), el eje "x" corresponde a la longitud, de 90 O a 120 O. El incremento unitario en espacio corresponde a 10km, por lo tanto la concentración inicial (tiempo = 0) se ubica a los 50km a partir del origen, lo que equivale a 95 O. El eje "y" corresponde a tiempo (6 meses), que se representan en 3,110 pasos, el incremento unitario es de 5,000 s (~ 1.38 hr). La solución que se obtiene corresponde a una "onda" que con el tiempo se desplaza hacia el oeste. La velocidad de desplazamiento esta determinada por el coeficiente de dispersión ("advección"). Este perfil de concentración inicial se va transformando en el tiempo.

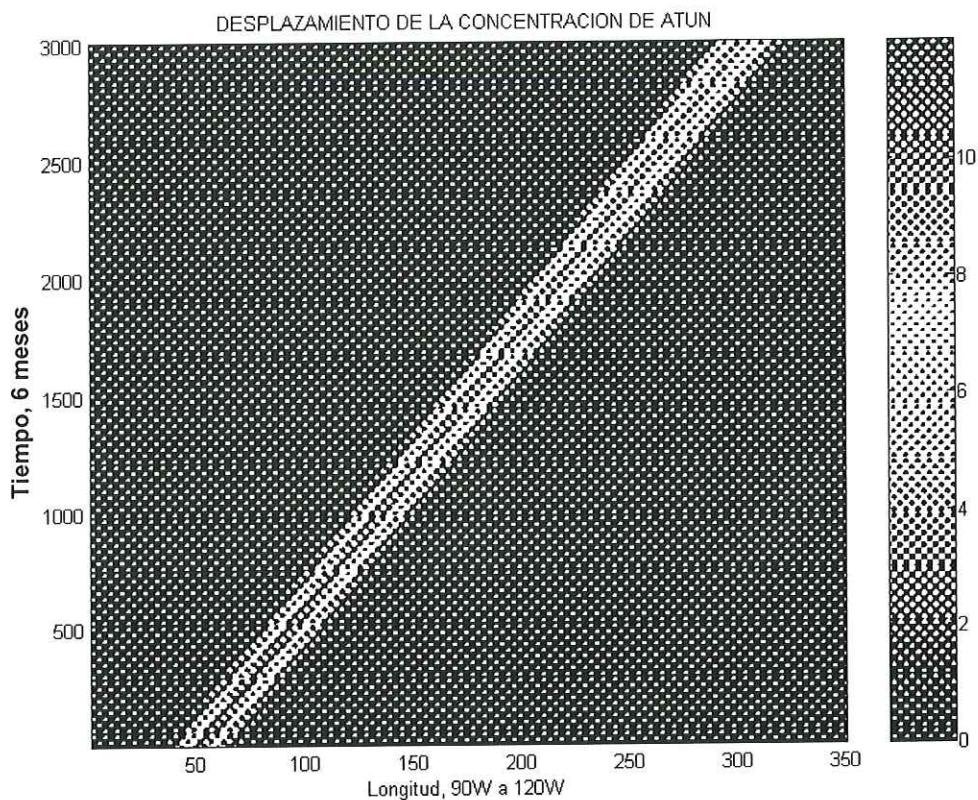


Figura 17. Sección longitud- tiempo simulada de la concentración de atún.

El perfil de concentración simulado es comparable en una gruesa aproximación a los perfiles observados para diferentes tiempos (figuras 18 y 19). Se observa que disminuye el valor máximo de la concentración de atún de 12 a aproximadamente 9 ton/lance, esto es por un mayor efecto de la tasa explotación (mortalidad por pesca) que por la tasa de crecimiento poblacional. Otro cambio en el perfil de concentración, con el tiempo, es un ensachamiento en la base del mismo, esto es explicado por el efecto de la difusión turbulenta.

Estos resultados se consideran aceptables dada la sencillez del modelo en cuestión. Es interesante como un modelo tan sencillo puede representar un comportamiento complejo como el sistema pesquero del atún en el OPTE.

Perfiles de Captura por Lance, Banda 10N, 1995

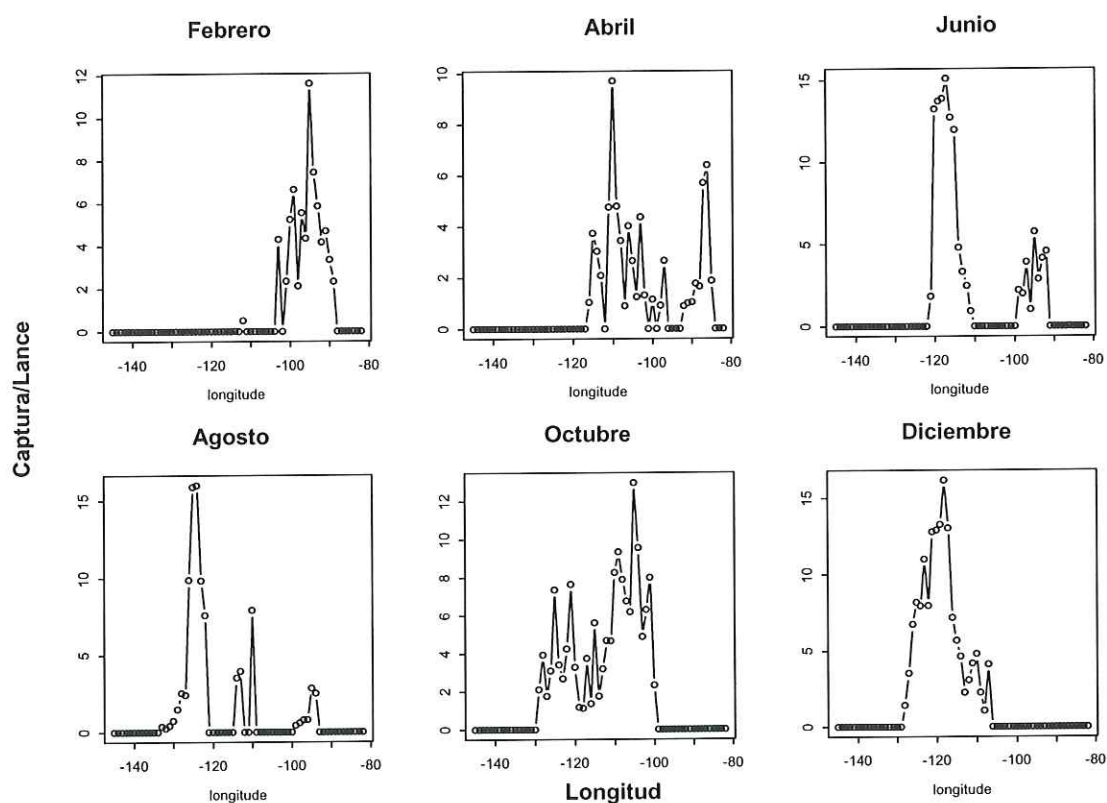


Figura 18. Perfiles observados de la razón de captura a lo largo de la banda 10 N (integrada entre 5 N y 15 N). Ejemplo de comportamiento anual.

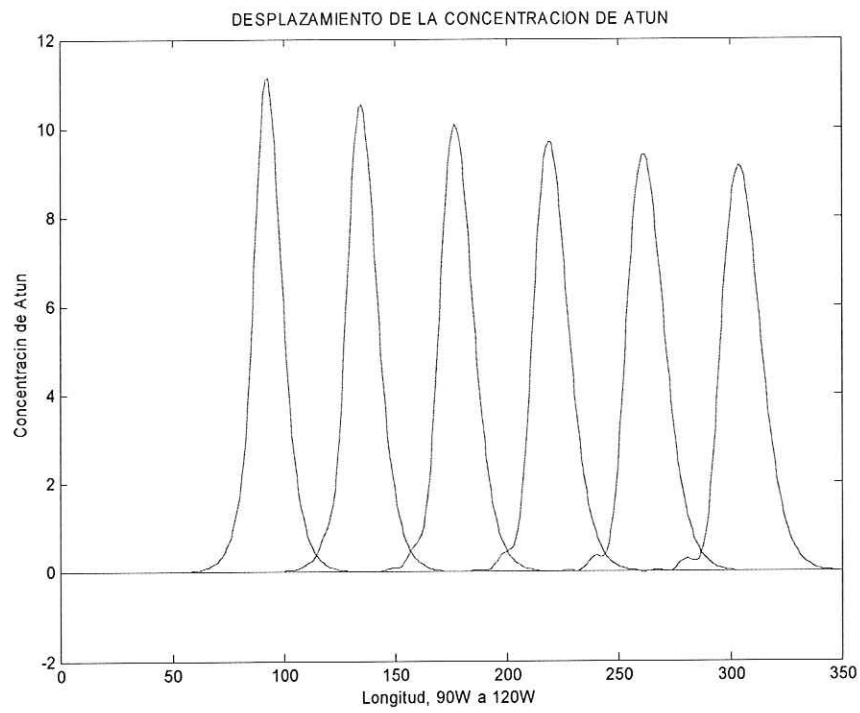


Figura 19. Perfiles longitudinales simulados de la concentración atún.

DISCUSION

Una de las principales áreas de pesca en el mundo corresponde casi exclusivamente al área determinada como el Océano Pacífico Tropical Este (OPTE). En términos biogeográficos el OPTE es definido como una de las cinco provincias del Océano Pacífico en base a los patrones de distribución de especies planctónicas y nectónicas, (*McGowan, 1974*). Quien ha propuesto que las provincias bióticas en el Océano Pacífico son de hecho, ecosistemas. La persistencia de los patrones parece estar relacionado con los principales procesos climáticos y oceanográficos que causan la estructura de las masas de agua. La evolución de los patrones parece estar relacionada con sistemas de paleocirculación interactuando con mecanismos de especiación. La distribución, abundancia y persistencia de las especies marinas están influenciadas por cambios genéticos intra e inter-poblaciones. La naturaleza y organización de la información genética en conjuntos (assemblages) de especies está influenciada por factores climáticos y oceánicos que afectan a los ecosistemas marinos. La relación entre los ecosistemas marinos y las especies componentes de estos están grabadas en la variabilidad genética de las especies componentes y por la interacción de esta variabilidad con medio ambiente (*Grant and Waples, 2000*).

Es de esperarse que la climatología de las variables oceanográficas en el OPTE en los tiempos recientes representan un patrón dentro de las escalas evolutivas

del atún. Sin embargo, posibles ampliaciones de los cambios climáticos, aunado a la intensidad de pesca pudiesen tener implicaciones para la estabilidad de la población de atún.

Las masas de agua en el OPTE están caracterizadas por baja salinidad (< 34 ppm) y alta temperatura superficial ($> 25^{\circ}$ C) y una fuerte termoclina somera. Esta área está influenciada por: la CEE (flujo hacia el oeste) en su parte norte, la CCEN (flujo al este) en el extremo sur, las surgencias costeras en el extremo este y el extremo oeste por una región difusa a los ~ 150 O. A estas longitudes la termoclina se profundiza apreciablemente. La circulación superficial se correlaciona con la topografía de la termoclina. La CEN se localiza en el flanco norte de una elevación de la termoclina (~ 60 m de profundidad) a los 10 N y la CCEN se ubica en el flanco sur.

Las capturas anuales de atún aleta amarilla del período aquí estudiado (1993 – 1998) presentan áreas específicas de altos valores: En la boca del Mar de Cortés, en el Golfo de Tehuantepec, en las Costas de Sudamérica (Ecuador) y en una elongada área que se extiende desde la costa (~ 80 a 90 O) hacia mar adentro hasta los ~ 140 O. Esta área se localiza a lo largo de los 10 N a 12 N. Este patrón de altas capturas es semejante al reportado por la CIAT (Anónimo, 1997) para un período mayor de tiempo y con el total de la flota internacional.

Esta concordancia nos permite suponer que los resultados obtenidos aquí son representativos de las condiciones generales de la flota y su medio ambiente.

Tanto para la teoría ecológica como por razones puramente prácticas de la pesca, el conocer y entender patrones de agregación del recurso pesquero, así como las relaciones causales con los procesos oceanográficos es de fundamental importancia. Eventualmente se busca el poder realizar predicciones de los patrones de agregación del recurso pesquero.

Los estudios iniciales, en la década de los 60 y 70, de la oceanografía pesquera del atún concluyeron que la temperatura delimita una amplia área de la distribución espacial en escalas oceánicas. En la dimensión vertical, tanto la temperatura como la concentración del oxígeno establecen una barrera. Otra conclusión fue de que en escalas menores, las estructuras tales como; frentes, convergencias, giros, meandros, girones son importantes para la concentración del atún y su capturabilidad. La principal razón para esta congregación del atún es el alimento.

Parece ser que las limitaciones operacionales de los cruceros oceanográficos y de los instrumentos de medición fueron limitantes para continuar en el estudio de la oceanografía pesquera del atún en la mesoescala, es posible que otros intereses de tipo económico y político se involucrasen. En años recientes la

presencia más sistemática de los sensores oceanográficos remotos, principalmente desde satélites, son apropiados para el estudio de procesos de mesoescala del océano (*Lauritsen and Polovina, 2000*).

La hipótesis básica de este estudio es de que la distribución y agregación del atún se deben a la variabilidad de la concentración de forraje para el atún. Las estructuras de mesoescala, tales como; jets, giros y anillos son los principales factores que modulan la producción y concentración de productividad primaria. Se espera una relación cercana entre la productividad primaria y la concentración de forraje para el atún. Composiciones de imágenes de color del océano (CZCS y SeaWiFS) muestran tres importantes áreas en el OPTE (figuras 39 y 40, apéndice "A"): a lo largo del Ecuador, en las costas (Tehuantepec, Papagayo, boca del Mar de Cortés) y en menor medida a lo largo de la banda de los 10 N.

Las capas superficiales del océano en el OPTE presentan una alta estabilidad estática (*Emery et al., 1984*) a la profundidad de la termoclina, lo que limita el flujo de nutrientes hacia las capas superiores. Por lo tanto la presencia de movimientos verticales son importantes para la fertilización de las capas superficiales. Componentes verticales de velocidad están asociados con la presencia de los giros de mesoescala y los jets asociados. La conservación de vorticidad potencial (q) causa la existencia de velocidades verticales en las

regiones de la vorticidad anticiclónica, donde las isopícnas se afloran y las partículas se mueven hacia la profundidad en regiones de vorticidad ciclónica (*Woods, 1988*).

Por observaciones directas en el Océano Atlántico altos valores de vorticidad potencial (q), causan velocidades verticales del orden de 50 m/día. Lenguetas de q se elevan 50 m a lo largo de frentes de densidad conforme estos se mueven en distancias de 20 km. Los parches de pequeña escala de fitopláncton en la capa superficial están directamente relacionados con los procesos físicos (*Pollard y Regier, 1990*). Los mapas de vorticidad potencial muestran regiones de altos valores en el OPTE (*Talley, 1988*), localizadas alrededor de los 10 N. Los valores más altos se localizan en los primeros 250m, entre la superficie y la profundidad de los 26 σ_θ a los 120 O. Es precisamente en esta área donde se presenta surgencia (no superficial) por Ekman.

En el OPTE con una termoclina muy somera la presencia de los giros puede causar la ondulación de la termoclina con incursiones de la picnoclina en la zona fótica. En las aguas oligotróficas del Atlántico, el flujo vertical de nutrientes inducidos por la dinámica de giros de mesoescala es suficiente para equilibrar el balance de nutrientes en el Mar de los Sargazos. Este es el llamado mecanismo de bombeo (*McGillicuddy and Robinson, 1997*).

Los giros de mesoescala son un efectivo mecanismo que favorece la productividad primaria e incrementa la actividad bío-geo-química en el océano superior. Los giros también son importantes en el transporte de propiedades del mar. Los nutrientes son atrapados en las capas superiores del océano durante la formación de los giros por surgencias costeras, posteriormente los giros se desplazan mar adentro transportando propiedades de aguas costeras.

En el OPTE los giros de mesoescala se localizan en las costas del sur de México y Centro América en invierno, con un patrón estacional. Se desplazan al oeste con una velocidad casi constante de 17 km/día, a lo largo de la banda de los 10 N – 12 N. La posición mas occidental detectada con la presencia de giros es a ~ 150 O. No se conoce si estos desaparecen, se disipan, son destruidos ó continúan en una manifestación subsuperficial. La profundidad de la termoclina presenta un incremento de su pendiente y se profundiza a los ~ 140 O. Es probable que los giros superficiales tengan interacción con la elevación de la termoclina a los 10 N, puesto que esta se localiza a profundidades relativamente someras ~50m y por el hecho de presentar valores altos de la fuerza de la termoclina. Estas son condiciones propicias para la manifestación de ondas internas de alta energía.

El patrón de variabilidad estacional de la superficie del mar, detectado por altimetría, es modulado por la variabilidad inter-anual. Los años de 1996 y 1997

muestran mayores diferencias del patrón "promedio". En la primera mitad de 1996 se presentó una amplia región de anomalías positivas al oeste de los 130 O. La cual pudo extenderse al Pacífico central. Durante 1997 las anomalías positivas de la superficie del mar con sus valores más altos se presentaron a lo largo de la costa en la segunda mitad del año y a lo largo del Ecuador durante todo el año. Los giros fueron de corta duración comparados con otros años para esta región y con valores positivos de anomalías de la superficie del mar de relativa baja intensidad. El índice multivariado de ENSO, muestra que 1996 fue relativamente frío (La Niña) y 1997 un intenso año cálido (El Niño). Las señales de **Aasm** mostraron claramente esta variabilidad.

En la banda ecuatorial del Océano Pacífico los mecanismos importantes que causan variabilidad en la superficie del mar y en la termoclina son ondas de inestabilidad que se desplazan al oeste, y ondas de Kelvin con desplazamiento al este. Se han detectado cuatro escalas de variabilidad en el OPTE: ondas de inestabilidad de 20 a 30 días de período, ondas de Kelvin intra-estacionales, estacionalidad y eventos inter-anales (ENSO) (Foley, et al., 1997). La variabilidad detectada en el presente trabajo es: estacional e inter-anual (ENSO). La detección de señales a mayores frecuencias esta limitada por la frecuencia de las mediciones altimétricas y por el procesamiento estadístico aquí realizado.

Mecanismos similares se pueden presentar a lo largo de la banda de los 10 N. Las ondas de Kelvin están restringidas al Ecuador (± 4 grados) y a las costas. Las ondas de Rossby observadas y las teóricas presentan velocidades de fase de entre los 15 a 20 km/día para una latitud de los 10 N. Este rango de velocidades de fase coincide con la velocidad de desplazamiento de los giros de mesoescala de ~ 15 km/día, observados en el OPTE. Existe una pregunta interesante ¿Los giros de mesoescala y las ondas de Rossby pueden estar relacionadas? Los giros decaen por tres factores: difusión turbulenta en pequeña escala, radiación de energía hacia las ondas planetarias y por mezcla y aislamiento al encontrarse dentro de un campo advectivo medio. Las ondas son un medio efectivo de transmitir energía, los giros transmiten energía y masa.

La variabilidad espacio temporal de **Aasm** y de las capturas se puede explicar por los resultados de las **FEO**. Esta técnica estadística, exploratoria, es útil para la interpretación de la variabilidad de la **Aasm**. La amplitud o variabilidad temporal de la **Aasm** muestra el evento de El Niño en el primer modo. Esta es la frecuencia más baja detectada para el período 1993-1998. El patrón de variabilidad estacional está bien definido en la amplitud del tercer modo. Se muestra una fase de transición con el segundo modo.

La zonas de altas capturas promedio de atún aleta amarilla se pueden interpretar en términos de la variabilidad espacio-temporal detectada por las **FEO**. Una zona costera, al este de los 120 O y la oceánica (oeste de los 120 O). Asociadas a respectivas estaciones del año.

Se ha afirmado desde hace años que la termoclina somera en el OPTE es reponsible de las altas tasas de captura a lo largo de la elevación de la termoclina en la banda de los 10 N. En particular que la barrera térmica causa un incremento de la vulnerabilidad del atún para la pesca por las embarcaciones. En el presente contexto, se puede argumentar que la concentración del atún por sí misma tiene un papel importante en la tasa de captura y que la concentración es causada por la presencia estacional de los giros de mesoescala en el OPTE.

La variabilidad espacio-temporal de la profundidad de la termoclina muestra un sobresaliente patrón similar con la variabilidad inter-anual de la **Aasm**, en las bajas frecuencias. El evento de El Niño de 1997-1998 es detectado por el primer modo de las FEO. La variabilidad temporal del modo transicional (2do. modo FEO) y la estacional (3er. modo FEO) son similares tanto en el campo de la **Aasm** y de la profundidad de la termoclina. La variabilidad espacial muestra mayor semejanza entre el 2do. modo de **Aasm** con el 3er. modo de la profundidad de la termoclina. Tomando en cuenta los argumentos de correlación entre las razones de captura y la profundidad de la termoclina, y de esta con el

campo de **Aasm**, entonces la señal altimétrica es una variable promisoría para el estudio de los patrones de captura del atún aleta amarilla en el OPTE.

La estructura de correlación entre las capturas de atún y variables oceanográficas se exploró por medio del análisis de correlación canónica. El pseudo esfuerzo del viento en ambas componentes es el más frecuente de los coeficientes de correlación altos, esto en una base anual. En segundo lugar se presentó la **Aasm** y en tercero la temperatura superficial del mar. Por lo tanto se puede esperar que el viento sea un importante mecanismo causal para la variabilidad de las capturas. Esto puede ser por medio de la influencia directa en la operación de las embarcaciones atuneras durante los lances de captura, se conoce que las embarcaciones atuneras no realizan lances cuando la fuerza del viento excede valores de 3 a 4 en la escala de Beaufort . Una segunda explicación es de que el viento es una fuerza determinante para el océano e indirectamente (por medio de las estructuras de mesoescala) una fuerte influencia en la concentración y la capturabilidad del recurso atunero. Las variables de correlación canónica entre las capturas y la componente "x" del pseudo esfuerzo del viento (**Pstx**) para todo el período (93-98) se encuentran cercanamente asociadas en la banda de los 10 N – 12 N.

El patrón espacial de correlación canónica para las capturas y la componente "y" del pseudo esfuerzo del viento (**Psty**) esta asociada con una amplia área a lo

largo de la costa y en una área triangular, con centro a los 120 O. La distribución espacial de la primera variable de correlación canónica entre capturas de atún y **Aasm** presenta gran similitud con la primera variable canónica entre capturas de atún y **Pstx**. El área a lo largo de los 10 N-12 N se localiza con corrimiento hacia el oeste para **atún-Aasm**, o **atún-pstx** hacia el este. El patrón espacial de la segunda variable de correlación canónica entre **atún-Pstx** y **atún-Aasm** presentan gran similitud.

Otra semejanza en los resultados de ACC se presenta en la primera variable canónica entre las variables oceanográficas-meteorológicas y las capturas de atún. El área de gran similitud es la banda de los 10 N –12 N. La zona de mayor correlación entre **atún-zterm**, se localiza ligeramente desplazada hacia el sur de la mayor correlación entre **atún-Aasm**.

La interacción aire-mar (océano-atmósfera) es un sistema complejo con mecanismos de retro-alimentación en escalas mas ó menos diferenciadas e identificadas. En el OPTE se manifiesta una distribución ecuatorialmente asimétrica de las condiciones del viento, lo cual causa en gran medida la asimetría del patrón de temperatura del mar con respecto al Ecuador. Una de las características prominentes de la distribución asimétrica de la atmósfera es la manifestación de la **ZCIT**. Se han identificado tres escalas de interacción

oceáno-atmósfera para el Océano Pacífico Tropical: tiempo-medio, inter-anual y estacional.

Variaciones inter-anales en la interacción oceáno-atmósfera en los trópicos esta estructurado por los eventos **ENSO**. El ciclo estacional involucra interacciones complejas. En el OPTE las condiciones del clima son esencialmente con asimetría ecuatorial. Las características distintivas son: la zona de convergencia atmosférica, el máximo de la temperatura superficial del mar, los vientos alisos del sur que cruzan el Ecuador y la Contra Corriente Ecuatorial del Norte.

En las regiones oceánicas, donde la termoclina es relativamente somera, la respuesta dinámica del oceáno a los vientos es suficientemente grande para afectar la atmósfera y por ende a los vientos. Existen evidencias de dos tipos de modos acoplados de interacción oceáno-atmósfera. Los desplazamientos de la termoclina determinan la temperatura superficial del mar en escalas de tiempo asociadas con velocidades de propagación de ondas planetarias, bombeo de Ekman y corrientes. El segundo modo corresponde a la divergencia que determina tanto los cambios de la temperatura superficial del mar como la escala de tiempo dominante.

Las relaciones causales entre la variabilidad del viento-variabilidad del mar en la costa con la actividad pesquera en las áreas oceánicas se explora por medio de un análisis de series de tiempo en posiciones específicas. Esto implica conocer la derivada local del tiempo y los procesos advectivos que determinan la correlación defasada entre las variables de interés.

La serie de tiempo de **Psty** en Tehuantepec muestra menos variabilidad (ruido) que la componente **Pstx** en Papagayo. Los datos suavizados de variabilidad de la superficie del mar (**VSM**) en Tehuantepec presenta un patrón estacional con una tendencia a la baja. A principios de 1996 se observa un incremento en los valores de **VSM**. Los menores valores de **VSM** se presentan en el invierno de 1997. Las mayores razones de captura por lance se presentan en 1995 y 1996 para las estaciones **C** y **D**.

Los resultados de las correlaciones en serie de tiempo entre el viento-VSM-tasa de captura muestra acuerdo general con el patrón estacional en Tehuantepec. Para Papagayo una relación semejante no se observa. Una posible explicación para este último caso es de que los giros formados en la costa son fuertemente influenciados por la dinámica del Domo de Costa Rica. Esta área de surgencia oceánica se localiza en la trayectoria de los giros de Papagayo con desplazamiento hacia el oeste. Otra posible razón para la falta de correlación es

que los índices y/o las posiciones para la detección de la VSM no son los apropiados para esta área.

La variabilidad inter-anual no se percibe claramente en las series de tiempo de las variables analizadas para estas dos regiones de surgencias. Se recomienda el usar datos de viento que presenten una mejor resolución en las posiciones de los jets del viento. La escala de un mes y 1 x 1 grado espacialmente, pueden ser muy gruesas para los intensos eventos del viento y de surgencias.

CONCLUSIONES

- La actividad anual de pesca por la flota atunera en la banda de los 5 N a 15 N presenta un desplazamiento en forma de punta de flecha. Inicia actividades en una región costera (Golfo de Tehuantepec ~ 95 O) a principios del año. Se desplaza la flota hasta los 130 O para la mitad del año y retorna a la costa en la segunda mitad del año.
- Se logran detectar giros de mesoescala (~ 400 km diámetro) por medio de altimetría por satélite, estos giros presentan en balance geostrofico.
- Las posiciones de los lances atuneros en regiones cercanas a la costa se ubican en todo el perímetro de giros anticiclónicos, al desplazarse los giros mar adentro, los lances atuneros se ubican en los flancos este y/u oeste de estos.
- La velocidad promedio de desplazamiento de los giros anticiclónicos es de 17.7 km día^{-1} .
- La velocidad promedio de desplazamiento del frente de la flota atunera es de 14.9 km día^{-1} .

- La variabilidad temporal de la anomalía de la altura del mar presenta períodos inter-anales (El Niño) y estacionales claramente definidos.
- La variabilidad temporal las capturas de atún presenta períodos estacionales claramente definidos, únicamente.
- La variabilidad de la superficie del mar en el Golfo de Tehuantepec se atribuye principalmente a intensas ráfagas de viento (Tehuanos), las que producen surgencias. Existe correlación serial significativa ($cc = .5$) entre el pseudo-esfuerzo del viento y la variabilidad de la superficie del mar en esta región, el defasamiento es de cero meses.
- La correlación serial es significativa entre la variabilidad de la superficie del mar y la tasa de captura en el área C (distancia de 1,875 km), con un defasamiento de 5 a 7 meses, la máxima correlación se presenta a los 6 meses.
- La correlación serial es significativa entre la variabilidad de la superficie del mar y la tasa de captura en el área D (distancia de 2,763 km), con un defasamiento de 5 a 8 meses, la máxima correlación se presenta a los 6 y 7 meses.

- No existe correlación serial significativa entre el pseudo-esfuerzo del viento y la variabilidad de la superficie del mar en el Golfo de Papagayo. Así también, no existe correlación serial significativa entre la variabilidad de la superficie del mar en Papagayo y las tasas de captura en las áreas C y D.

LITERATURA CITADA

Alverson, F. G., 1963. The food of yellowfin and skipjack tunas in the eastern tropical pacific ocean. Bulletin. Inter-American Tropical Tuna Commission. VII(5): 295-396.

Anónimo, 1997. Informe Anual, Comisión Interamericana del Atún Tropical.

Bishop, J. K. B., M. H. Conte, P. H. Wiebe, M. R. Roman and C. Langdon, 1986. Particulate matter production and consumption in deep mixed layers: observations in a warm-core ring. Deep-Sea Research. 33(11/12): 1813-1841.

Blackburn, M., 1965. Oceanography and the ecology of tunas. Oceanogr. Mar. Bio. Ann. Rev. 3: 299-322.

Brnadhorst, W., 1958. J. Cons. Perm. Int. Explor. Mer, 24,16-31.

Brandt, S. B., 1981. Effects of a warm-core eddy on fish distributions in the Tasman Sea off East Australia. Marine Ecology-Progress Series. 6:19-33.

Broadhead, G. C. and I. Barret., 1964. Some factors affecting the distribution and apparent abundance of yellowfin and skipjack tuna in the Eastern Pacific Ocean. IATTC, Bulletin. VIII(8): 419-451.

Busalacchi, A. J. and J. J. O'Brien, 1980. The seasonal variability in a Model of the Tropical Pacific. Journal of Physical Oceanography. 10: 1929-1951.

Clarke, A. J., 1988. Inertial wind path and sea surface temperature patterns near the Gulf of Tehuantepec and Gulf of Papagayo. Journal of Geophysical Research. 93: 15,491-15,501.

Cox, M. D., 1980. Generation and propagation of 30-day waves in a numerical model of the Pacific. *Journal of Physical Oceanography*. 10: 758-768.

Cushman-Roison, B., E. P. Chassignet and B. Tang, 1990. Westward motion of mesoscale eddies. *Journal of Physical Oceanography*, (20), 758-768.

Delcroix, T., J-P Boulanger, F. Masia and C. Menkes., 1994. Geosat-derived sea level and surface current anomalies in the equatorial Pacific during the 1986-1989 El Niño and La Niña. *Journal of Geophysical Research*. 99(C12): 1168-1186.

Duarte, C. M., M. Masó and M. Merino, 1992. The relationship between mesoscale phytoplankton heterogeneity and hydrographic variability. *Deep-Sea Research*. 39(1): 45-54.

Emery, W. J., W. G., Lee and L. Magaard, 1984. Geographic and seasonal distributions of Brunt-Väisälä Frequency and Rossby radii in the North Pacific and North Atlantic. *Journal of Physical Oceanography*. 14: 294-317.

Emery W. J. and R. E. Thomson, 1988. *Data analysis methods in physical oceanography*. Pergamon. Pg 634.

Frankignoul, C., F. Bonjean and G. Reverdin, 1996. Interannual variability of surface currents in the tropical Pacific during 1987-1993. *Journal of Geophysical Research*. 101: 3629-3647.

Foley, D. G. and T. D. Dickey, 1997. Longwaves and primary productivity variations in the equatorial Pacific at 0, 140W. *Deep-Sea Research*, Vol 44, No. 9-10, 1801-1826.

Giese, B. S., J. Carton and L. Holl, 1994. Sea level variability in the eastern tropical Pacific as observed by TOPEX and Tropical Ocean-Global Atmosphere Tropical Atmosphere-Ocean Experiment. *Journal of Geophysical Research*. 99: 24,739-24,748.

Gould, R. W., 1988. Net phytoplankton in a Gulf Stream warm-core ring: species composition, relative abundance, and the chlorophyll maximum layer. *Deep-Sea Research*. 35: 1595-1614.

Gower, J. F. R., K. L. Denman and R. J. Holyer, 1980. Phytoplankton patchiness indicates the fluctuation spectrum of mesoscale oceanic structure. *Nature*. 288(13): 157-159.

Grant, W. S. and R. S. Waples, 2000. Spatial and temporal scales of genetic variability in marine and anadromous species: Implications for fisheries oceanography. In: Harrison, P. J. and T. R. Parsons, (ed). *Fisheries Oceanography*. Fish and aquatic resources series 4. Blackwell Science; 61-93.

Hansen, D. V. and G. A. Maul, 1991. Anticyclonic current rings in the eastern tropical Pacific ocean. *Journal of geophysical research* Vol, 96, No. C4. 6965-6979.

Haury, L. R., J. A. McGowan and P. H. Wiebe, 1978. Patterns and processes in the time-space scales of plankton distribution. In: Steele, J. H. (editor). *Spatial pattern in plankton communities*. Plenum, NY. 277-327.

Hayes, S. P., J. M. Toole and L. J. Magnum, 1983. Water-mass transport variability at 110W in the equatorial Pacific. *Journal of Physical Oceanography*. 13: 153-168.

Hayes, S. P., P. Chang and M. J. McPhaden, 1991. Variability of the sea surface temperature in the Eastern Equatorial Pacific during 1986-1988. *Journal of Geophysical Research*. 96: 10,533-10,566.

Hitchcock, G. L., C. Langdon and T. J. Smayda, 1985. Seasonal variations in the phytoplankton biomass and productivity of a warm-core Gulf Stream ring. *Deep -Sea Research*. 32(11): 1287-1300.

Hoffman, K. A and S. J. Chiang, 1983. *Computaitonal fluid dynamics for engineers*. Vol I. Engineering Education System. Pg. 468.

Howard, G. V., 1963. The matter of availability and the harvest of tunas. *Proceedings of the World Scientific Meeting on the Biology of Tunas and Related Species*. FAO Fish. Rept. No.6(3): 1041-1055.

Johnson, A. R. and D. W. Wichern, 1992. *Applied multivariate statistical analysis*. Prentice Hall. Pg. 642.

Kessler, W. S., 1990. Observations of long Rossby waves in the northern Tropical Pacific Ocean. *Journal of Geophysical Research*. 95(C4): 5183-5217.

Kessler, W. S. and B. A. Taft, 1987. Dynamic height and zonal geostrophic trnasports in ht central Tropical Pacific during 1979-1984. *Journal of Physical Oceanography*. 17: 97-122.

Laevastu, Taivo and Horacio Rosa Jr., 1963. Distribution and relative abundance of tunas in relation to their environment. *Proceedings of the World Scientific Meeting on the Biology of Tunas and Related Species*. FAO Fish. Rept. No. 6(3): 1837-1851.

Laur, R. M. and J. J. Polovina, 2000. Satellite remote sensing: An important tool in fisheries oceanography. In: Harrison, P. J. and T. R. Parsons, (ed). Fisheries Oceanography. Fish and aquatic resources series 4. Blackwell Science; 146-157.

Legeckis, R., 1977. Long waves in the eastern equatorial Pacific Ocean: a view from a Geostationary satellite. *Science*. 197: 1179-1181.

Legeckis R., 1988. Upwelling off the Gulfs of Panama and Papagayo in the Tropical Pacific during march 1985. *Journal of Geophysical Research*. 93: 15,485-15,489.

Levin, S. A., 1992. The problem of patterns and scale in ecology. *Ecology*. 73(6): 1943-1967.

Levy, M., M. Visbeck and N. Naik, 1999. Sensitivity of primary production to different eddy parameterizations: A case study of the spring bloom development in the northwestern Mediterranean Sea. *Journal of Marine Research*. 57: 427-448.

Malardé, J-P, P. M. Mey, C. Périgaud and J-F Minster, 1987. Observation of long equatorial waves in the Pacific Ocean by Seasat altimetry. *Journal of Physical Oceanography*. 17: 2273-2279.

Manly, B. F. J., 1995. *Multivariate statistical methods*. Pg 215.

McCreary, J. P., 1976. Eastern Tropical Ocean response to changing wind systems: with application to El Niño. *Journal of Physical Oceanography*. 6: 632-645.

McCreary, J. P., H. S., Lee and D. B. Enfield, 1989. The response of the coastal ocean to strong offshore winds: with application to circulations in the Gulfs of Tehuantepec and Papagayo. *Journal of Marine Research*. 47: 81-109.

McDowell, S., 1982. North atlantic potential vorticity and its relation to the general circulation. *Journal of Physical Oceanography*. Vol. 12, 1417-1435.

McGillicuddy, D. J., A. R. Robinson, D. A. Siegel, H. W. Jannasch, R. Johnson, T. D. Dickey, J. McNeil, A. F. Michaels and A. H. Knap, 1998. Influence of mesoscale eddies on new production in the Sargasso Sea. *Nature*. 394: 263-266.

McGowan, J. A., 1974. The nature of oceanic ecosystems. In: *The Biology of the Oceanic Pacific*, C. B. Miller (ed.). 9-28. Oregon State University Press.

McPhaden, M. J. and Hayes, S. P., 1990. Variability in the Eastern Equatorial Pacific Ocean during 1986-1988. *Journal of Geophysical Research*. 95: 13,195-13,208.

Miller, L., R. E. Cheney and B. C. Douglas, 1988. GEOSAT altimeter observations of Kelvin waves and the 1986-97 El Niño. *Science*. 239: 52-54.

Mullin, M. M. 1993. Webs and scales. Washington Sea Grant Program. University of Washington Press. pg. 135.

Müller-Karger Frank E. and C. Fuentes-Yaco, 2000. Characteristics of wind-generated rings in the eastern tropical Pacific Ocean. *Journal of Geophysical Research*. 105: 1271-1284.

Nelson D. M., H. W. Ducklow, G. L. Hitchcock, M. A. Brzezinski, T. J. Cowles, C. Garside, R. W. Gould, T. M. Joyce, C. Langdon, J. J. McCarthy and C. S. Yentsh, 1985. Distribution and composition of biogenic particulate matter in a Gul Stream warm-core ring. *Deep-Sea Research*. 32(11): 1347-1369.

Newman, M. and P. D. Sardeshmukh. 1995. A caveat concerning singular value decomposition. *Journal of Climate*. Vol. 8: 352-360.

Olson, D. and R. H. Backus, 1985. The concentrating of organisms at fronts: a cold-water fish and a warm-core Gulf Stream ring. *Journal of Marine Research*. 43: 113-137.

Parsons, T. R. and P. J. Harrison, 2000. Introduction. In: P. J. Harrison and T. R. Parsons, (eds). *Fisheries Oceanography. An integrative Approach to Fisheries Ecology and Management*. 1-23.

Peele, E. R., R. E. Murray, R. B. Hanson, L. R. Pomeroy and R. E. Hodson. 1985. Distribution of microbial biomass and secondary production in a warm-core Gulf Stream ring. *Deep Sea Research*, 1393-1403.

Peng, S. and J. Fyfe. 1996. The coupled patterns between sea level pressure and sea surface temperature in the midlatitude north Atlantic. *Journal of Climate*. Vol. 9: 1824-1839.

Pollard R. T. and L. Regier, 1990. Large variations in potential vorticity at small spatial scales in the upper ocean. *Nature*. 348: 227-229.

Saitoh, S. I., S. Kasoka and J. Iisaka, 1986. Satellite infrared observations of Kuroshio warm-core rings and their application to study of Pacific saury migration. *Deep-Sea Research*. 33(11/12): 1601-1615.

Seckel, G. R., 1972. Hawaiian-caught skipjack tuna and their physical environment. *Fishery Bulletin*. 72(3): 763-786.

Schaefer, K.M., 1998. Reproductive biology of yellowcoffin tuna (*thunnus albacares*) in the eastern Pacific Ocean. *Bull. Inter-Am. Trop. Tuna Com.* 21 (5): 201-272

Sette, O. E., 1955. Consideration of midocean fish production as related to oceanic circulatory systems. *Journal of Marine Research.* 14(4): 398-414.

Sharp, G. D. and A. E. Dizon, 1978. *The physiological ecology of tunas.* (Eds).

Smith, C. L., K. J. Richards and M. J. R. Fasham, 1996. The impact of mesoscale eddies on plankton dynamics in the upper ocean. *Deep-Sea Research.* 43(11-12): 1807-1832.

Smith, R. C. and K. S. Baker, 1985. Spatial and temporal patterns in pigment biomass in Gulf Stream warm-core ring 82B and its environs. *Journal of Geophysical Research.* 90(C5): 8859-8870.

Stern, M. E., 1975. *Ocean Circulation Physics.* Pg. 246.

Strass V. H., 1992. Chlorophyll patchiness caused by mesoscale upwelling fronts. *Deep-Sea Research.* 39(1): 75-99.

Stumpf, H. G., 1975. Satellite detection of upwelling in the Gulf of Tehuantepec, México. *Journal of Geophysical Research.* 5: 383-388.

Sund, Paul N., M. Blackburn and F. Williams, 1981. Tunas and their environment in the Pacific Ocean: A review. *Oceanogr. Mar. Ann. Rev.* 19: 443-512.

Taft, B. A. and W. S. Kessler, 1991. Variations of zonal currents in the central tropical Pacific during 1970 to 1987: sea level and dynamic height measurements. *Journal of Geophysical Research.* 96(C7): 12,599-12,618.

Talley L. D., 1988. Potential vorticity distribution in the North Pacific. *Journal of Physical Oceanography*; 18(1): 89-106.

Trasviña A., E.D. Barton, J. Brown, H.S. Velez, P.M. Kosro and R.L. Smith, 1995. Offshore wind forcing in the Gulf of Tehuantepec, Mexico: The asymmetric circulation. *Journal of Geophysical Research*. 100: 20,649-20,663.

Uda, M., 1963. Future lines of tuna research, mainly in relation to fisheries oceanography. *Proceedings of the World Scientific Meeting on the Biology of Tunas and Related Species*. FAO Fish. Rept. No. 6(3): 1087-1095.

Umatani, S and T. Yamagata, 1991. Response of the Eastern Tropical Pacific to Meridional migration of the ITCZ: the generation of the Costa Rica Dome. *Journal of Physical Oceanography*. 21: 364-363.

Washburn, L., B. M. Emery, B. H. Jones and D. G. Oudercin, 1988. Eddy stirring and phytoplankton patchiness in the subarctic North Atlantic in late summer. *Deep-Sea Research*. I(45): 1411-1439.

White, W. B., 1983. Westward propagation of short-term climatic anomalies in the western North Pacific Ocean from 1964-1974. *Journal of Marine Research*. 41:113-125.

White, W. B., Meyers G. A., Donguy J. R., and P. S. E., 1985. Short-term climatic variability in the thermal structure of the Pacific Ocean during 1979-82. *Journal of Physical Oceanography*. 15: 917-935.

Wiebe, P. H., G. R. Flierl, C. S. Davis, V. Barber and S. H. Boyd, 1985. Macrozooplankton biomass in the Gulf Stream warm-core rings: spatial distribution and temporal changes. *Journal of Geophysical Research*. 90(C5): 8885-8901.

Wijffels, S., E. Firing and H., Bryden, 1993. Direct observations of the Ekman balance at 10° N in the Pacific. *Journal of Physical Oceanography*. 24: 1666-1679.

Wild, A., 1995. A review of the biology and fisheries for yellowfin tuna, *Thunnus albacares*, in the Eastern Pacific Ocean. *FAO*: 52-107.

Williams, R. G. and M. J. Follows, 1998a. Eddies make ocean deserts bloom. *Nature*. 1998; 394: 228-229.

Williams, R. G. and M. J. Follows, 1998b. The Ekman transfer of nutrients and maintenance of new production over the North Atlantic. *Deep-Sea Research*. 1998; I(45): 461-489.

Woods, J. D., 1988. Scale upwelling and primary production. en Rothschild, B. J. (editor). *Toward a theory on biological-physical interactions in the world ocean*. Kluwer Academic Press. 7-38.

Wooster, W. S., 1961. *Fisheries Oceanography*. Rep. Calif. Ocean. Fish. Invest. 8: 73-74.

Wyrtki, K., 1978. Lateral oscillations of the Pacific Equatorial Countercurrent. *Journal of Physical Oceanography*. 8: 530-532.

Yabe, H., Y. Yabuta and S. Ueyanagi, 1963. Distribucion comparativa de huevos, larvas y ejemplares adultos en relacion con los factores ambientales bioticos y abioticos.

Proceedings of the World Scientific Meeting on the Biology of Tunas and Related Species. FAO Fish. Rept. No. 6(3): 981-1009.

Yamamoto, T and S. Nishizawa, 1986. Small-scale zooplankton aggregations at the front of a Kuroshio warm-core ring. *Deep-Sea Research*. 33(11/12): 1729-1740.

Yentsch, C. S. and D. A. Phinney, 1985. Rotary motions and convection as a means of regulate primary production in warm core rings. *Journal of Geophysical Research*. 90(C2): 3237-3248.

Apéndice A

Análisis Exploratorio de Datos de Temperatura Superficial del Mar y Profundidad de la Termoclina en el OPTE, de 1993 a 1998.

1. Patrones Espaciales Mensuales. Longitud-Latitud .

1.1 Profundidad de la Termoclina y Distribución de la Flota.

En este estudio, la termoclina esta representada por la termoclina de los 20° C, como convencionalmente se usa en el OPTE (*Fiedler, 1992*). Se considera que existe una termoclina permanente poco profunda es esta región. Aún cuando patrones estacionales, en algunos años son detectados.

1993: En general la termoclina poco profunda se localiza cerca de la costa del continente, se profundiza hacia el oeste (figura 1). Se distinguieron tres zonas distintivas de la termoclina somera: en la costa de la Península de Baja California, a lo largo de la banda de los 10N, y a lo largo del Ecuador. La flota atunera se localiza cercanamente asociada con la manifestación de un domo aislado de termoclina somera (~ 50 m) a lo largo de los 10N, desde mayo a septiembre. Este domo aislado permanece casi estacionario a los 135 O-140 O de octubre a diciembre, pero no se manifiesta actividad pesquera en estas posiciones.

1995: A lo largo de los 10N, se observa un domo aislado de la termoclina somera con desplazamiento al oeste desde los 115O (febrero) hasta los 130 O-140 O (julio) (figura 2). Meses mas tarde, se identifica otro domo de la termoclina a los 140 O. A lo largo del Ecuador la termoclina se localiza ~ 20 m sin ninguna aparente variabilidad durante este año.

1997: Una característica prominente es la presencia durante casi todo el año de una elevación de la termoclina, a 30 m a todo lo largo de la banda de los 10N, desde los 90 O hasta los 15 O O (figura 3). Esta elevación de la termoclina se profundiza a los 70m, desde los 120 O hasta los 140 O, de febrero a abril. La actividad pesquera se concentra en esta banda. Pero aún cuando la elevación de la termoclina muestra una amplia extensión, la flota atunera no se distribuye a todo lo largo. Es interesante notar que la actividad pesquera en la región extrema del noroeste (120 O-20N) se localiza sobre una termoclina profunda (~ 100 m) de julio a octubre. Esta situación no es común en los diferentes años. El segundo aspecto más importante es la presencia de la termoclina profunda a lo largo del Ecuador, lo cual se desplaza desde el oeste al este, de abril a diciembre.

Profundidad de la Termoclina

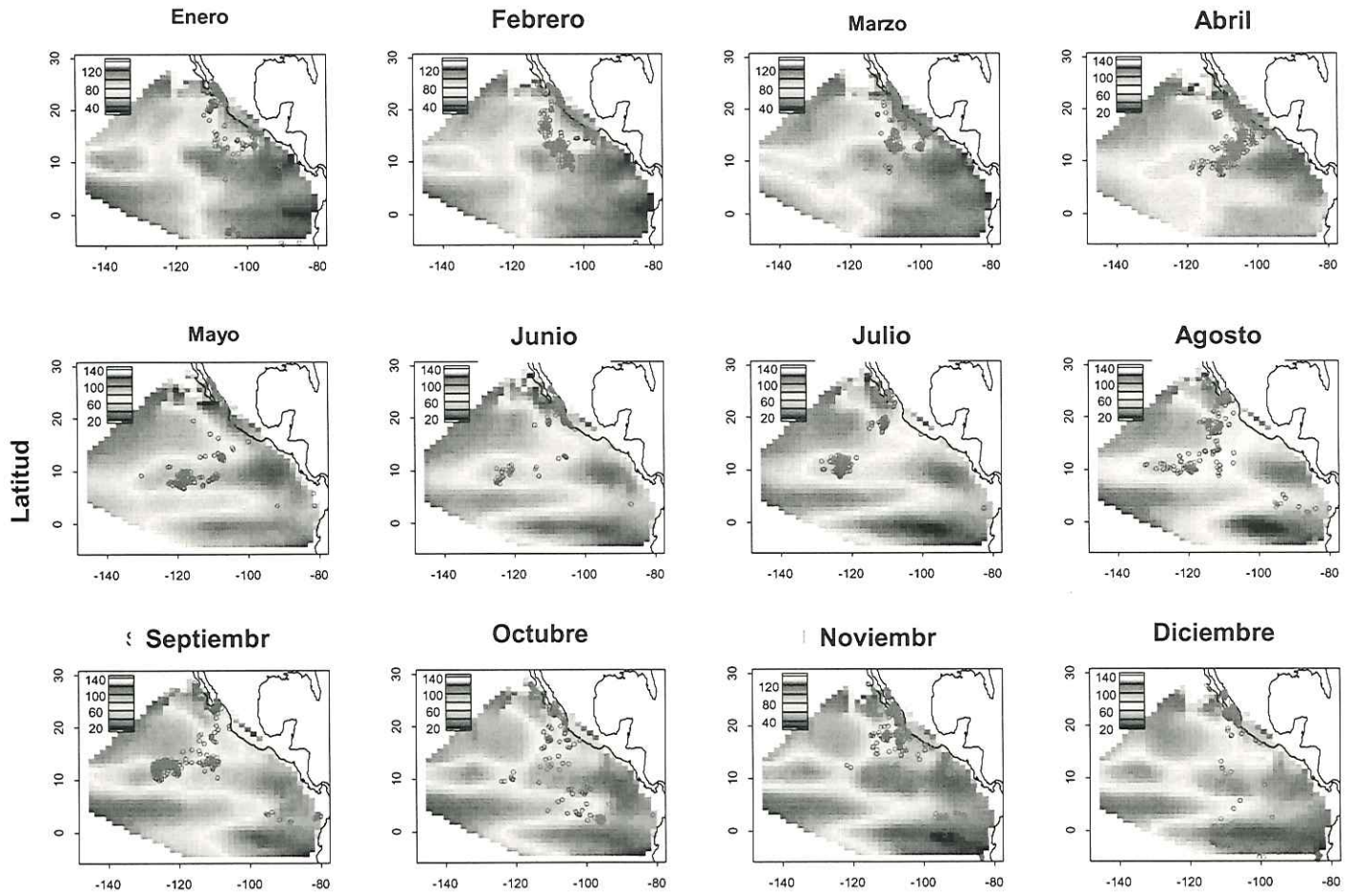


Figura 1. Profundidad de la termoclina (Z_{term}) mensual (color). Posición de los lances atuneros (puntos azules). 1993.

Profundidad de la Termoclina

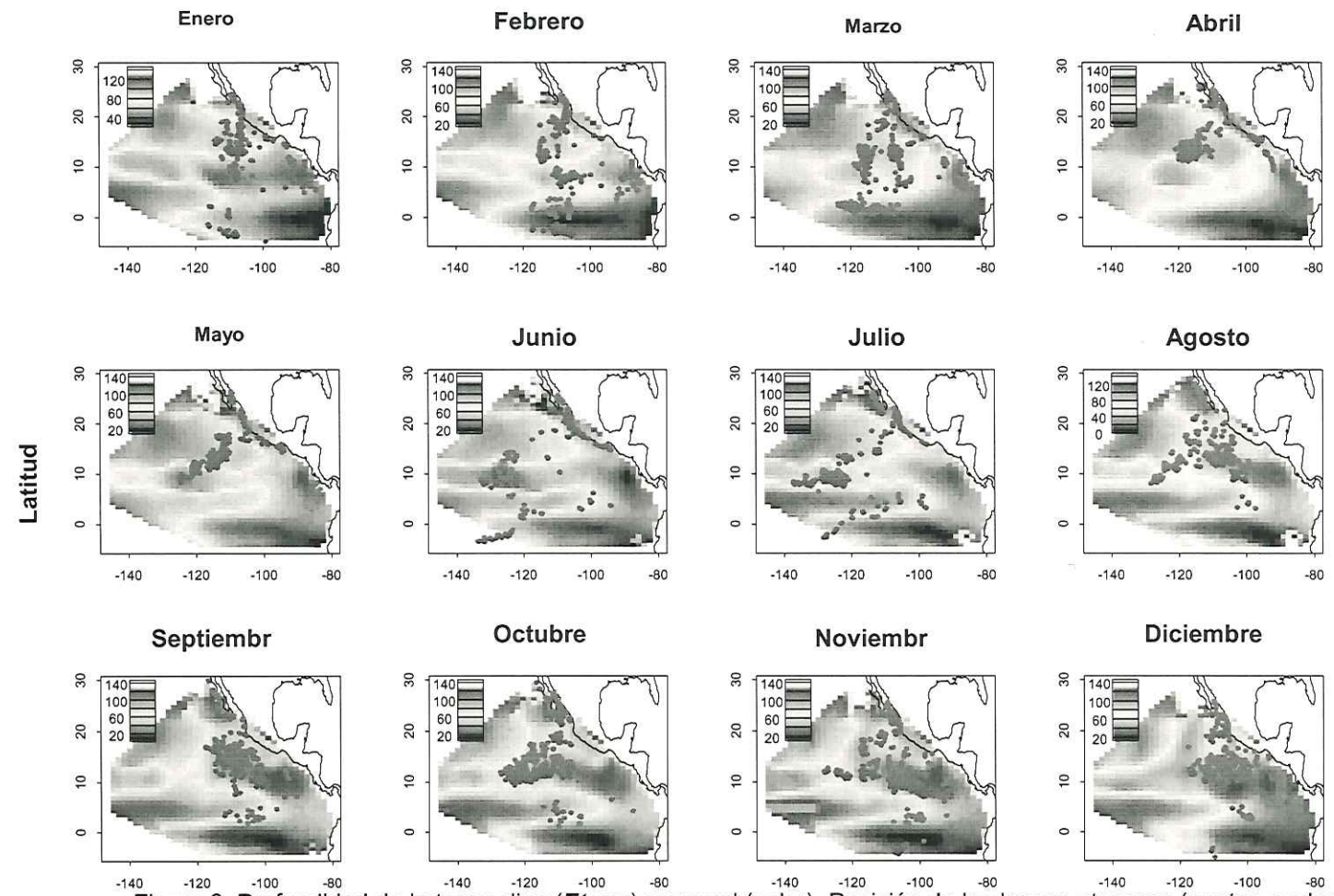


Figura 2. Profundidad de la termoclina (Z_{term}) mensual (color). Posición de los lances atuneros (puntos azules). 1995.

Profundidad de la Termoclina

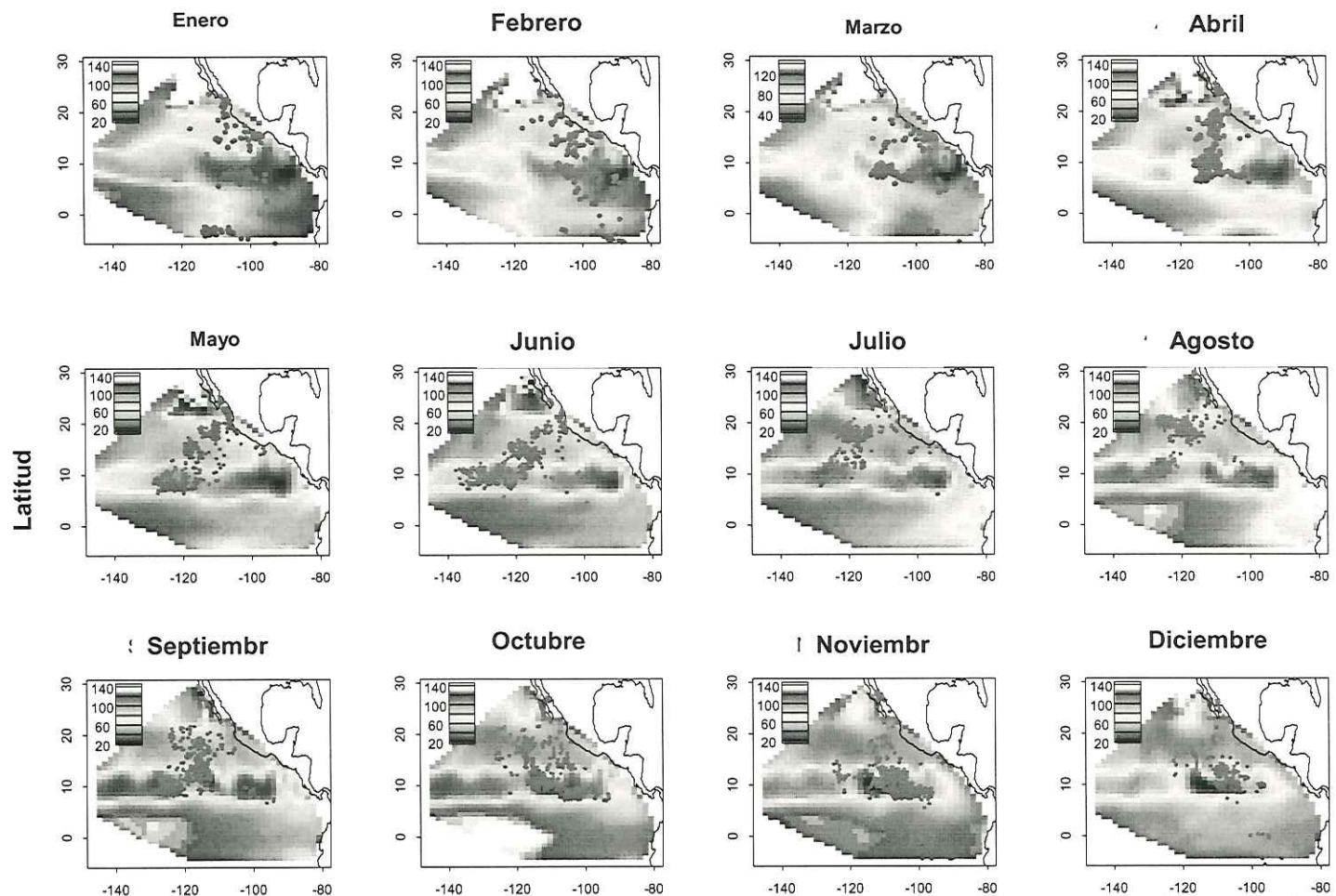


Figura 3. Profundidad de la termoclina (Z_{term}) mensual (color). Posición de los lances atuneros (puntos azules). 1997.

1.2 Temperatura Superficial del Mar y Distribución de la Flota Atunera.

1993: Temperaturas mayores a los 28° C se localizan en tres áreas costeras en los primeros tres meses del año (figura 4): en la parte oeste del Golfo de Tehuantepec, en Centro América (Costa Rica) y cerca del Istmo de Panamá. Se observa una extensión de esta agua cálida hacia el suroeste. Mas tarde, de abril a julio esta agua cálida se extiende a una amplia región, de forma triangular, desde la costa hasta los 120 O, 5N-8N. En este período se detectan las temperaturas más altas, > 30° C, en el OPTE. En la segunda mitad del año, dos áreas de relativa alta temperatura superficial se localizan: cerca de la costa del sur de México y en una región al oeste de los 140 O, 8N.

Amplias extensiones de agua de mar con temperaturas mayores a los 26° C se detectan en dos períodos: marzo a abril y octubre a diciembre. El enfriamiento ecuatorial se presenta en la segunda mitad del año. Las capturas son detectadas entre estas áreas de altas temperaturas del mar, de febrero a marzo. Para el resto de la primera mitad del año la distribución de la flota atunera se concentra en el flanco oeste de las aguas más cálidas.

1995: En este año el patrón espacial de la temperatura superficial es similar al de 1993: regiones costeras con temperaturas mayores a 28° C, de febrero a marzo (figura 5), una extensión oceánica de esta agua cálida hasta los ~ 120 O de abril a junio, y una agua cálida permanente al sur de México. En la segunda mitad del año, una agua mas fría es evidente en el Ecuador. El patrón general de la distribución de la flota muestra una aparente alejamiento de las aguas más calientes (> 29° C). En las aguas más oceánicas no se muestra alguna relación de la flota atunera con la temperatura superficial del mar. Una agua cálida,

mayor de 26° C cubre una amplia región en el OPTE, desde los 15N hasta el Ecuador y desde la costa hasta los 145 O, pero la flota atunera muestra agregación.

1997: Nuevamente, el patrón de temperaturas superficial muestra similitud a lo descrito para 1993 y 1995, durante los primeros siete meses. A lo largo del Ecuador en este año, mayor a 30° C (figura 6). En diciembre aguas cálidas cubren toda la zona Ecuatorial y aguas costeras de Centro América y México. La flota atunera no se localiza en las aguas más cálidas (> 29° C). Las capturas se localizan nuevamente en las regiones al noroeste de esta agua caliente de gran extensión. Una característica interesante es la actividad pesquera oceánica en el extremo noroeste (120 O, 20N), de julio a octubre. Esta región se localiza sobre aguas relativamente frías, de 24° C a 25° C.

Temperatura Superficial del Mar

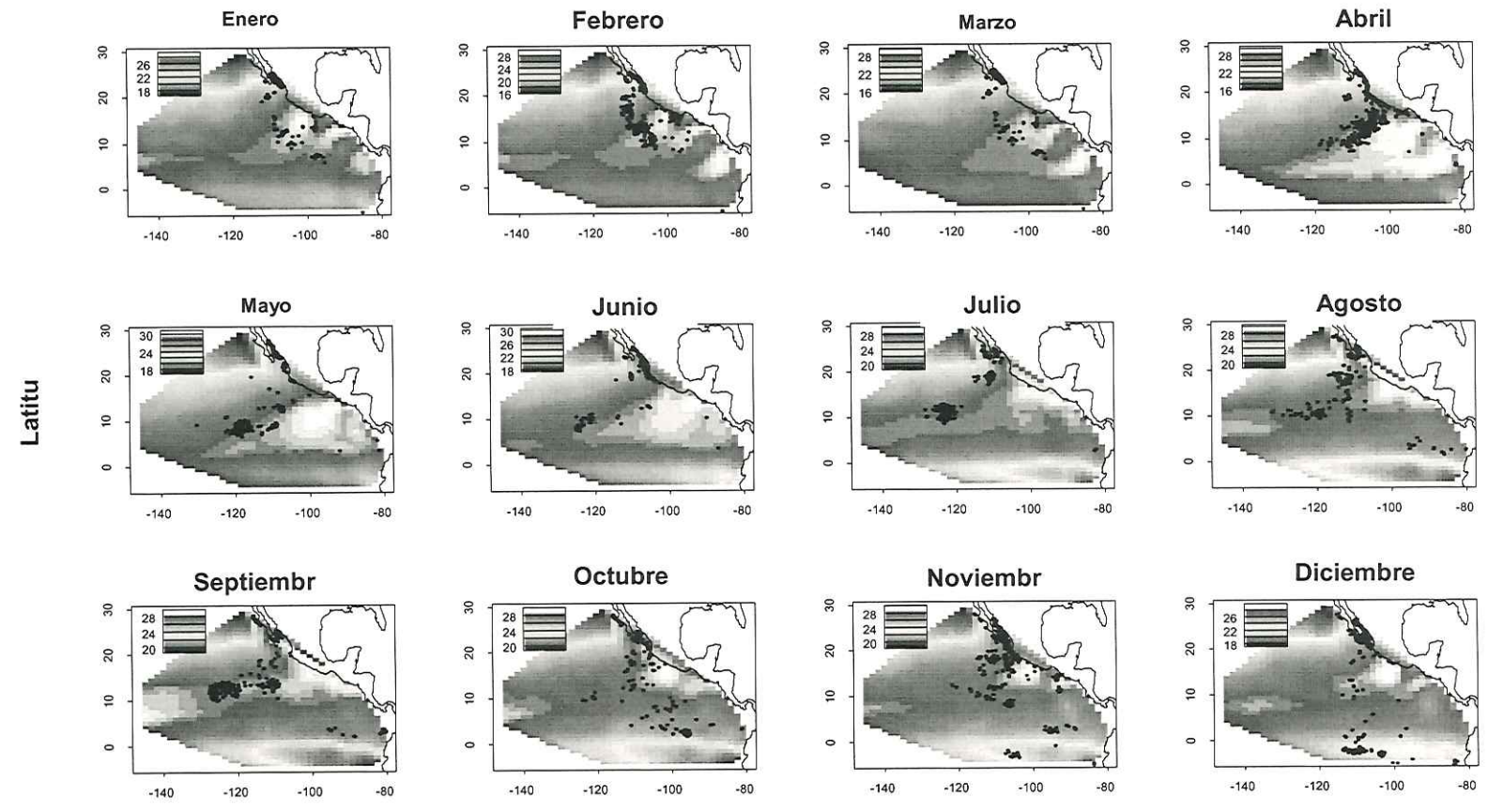


Figura 4. Temperatura superficial del mar (*Tsm*), mensual (color). Posición de los lances atuneros (puntos negros). 1993.

Temperatura Superficial del Mar

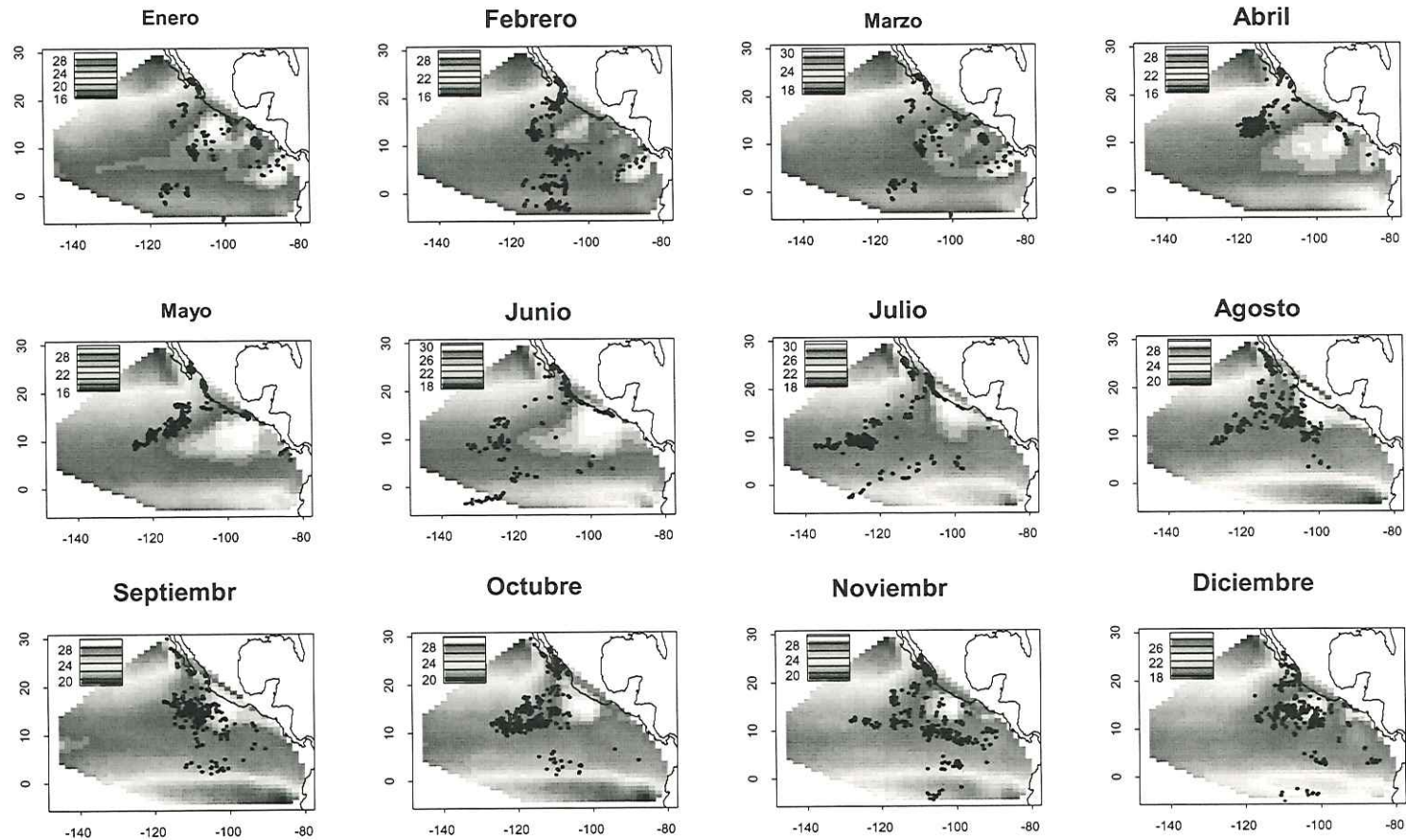


Figura 5. Temperatura superficial del mar (*Tsm*), mensual (color). Posición de los lances atuneros (puntos negros). 1995.

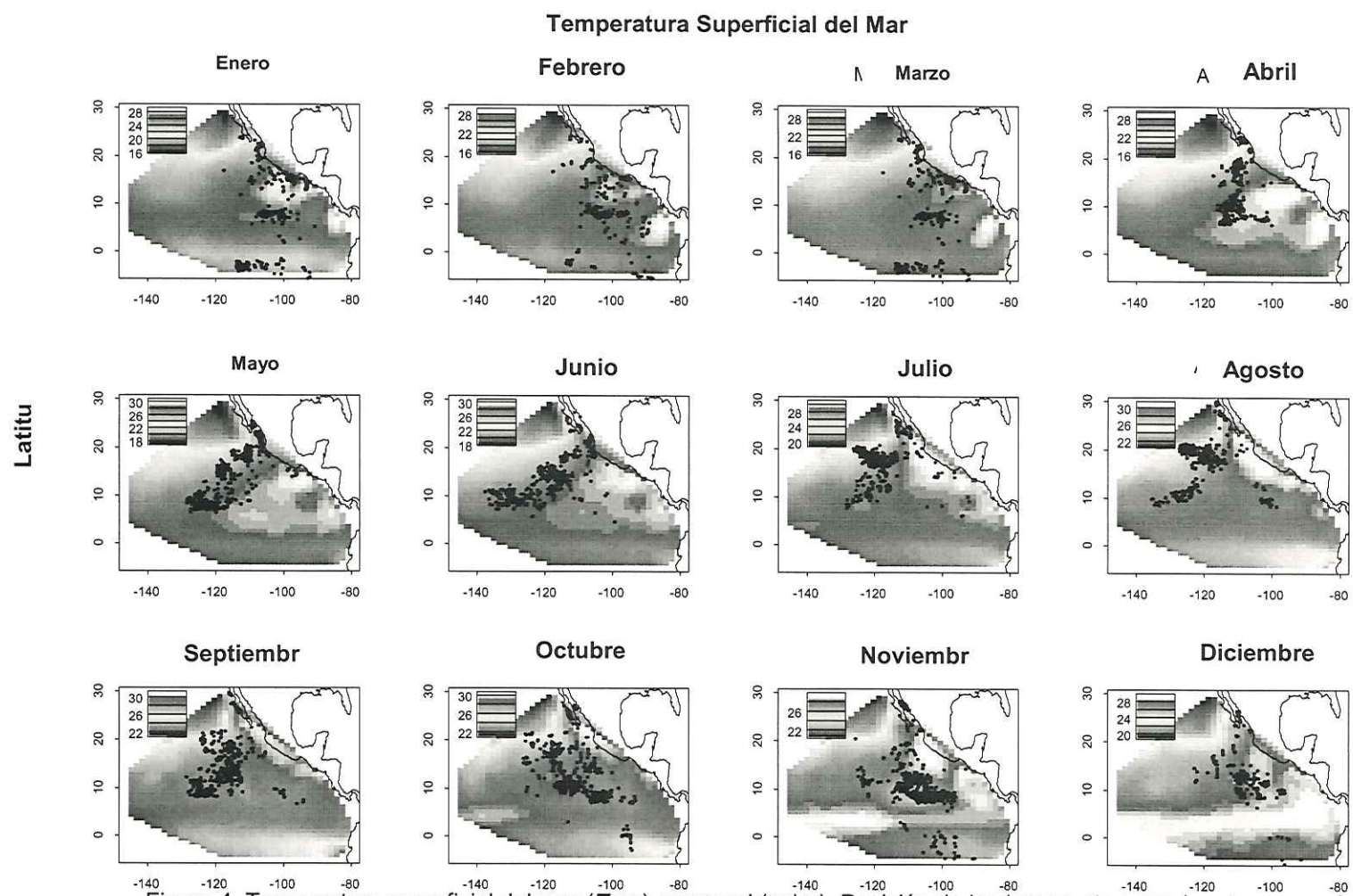


Figura 4. Temperatura superficial del mar (Tsm), mensual (color). Posición de los lances atuneros (puntos negros). 1997.

2. Análisis de Componentes Principales

ACP busca la asociación entre variables como una función de los ejes de componentes principales. La presentación de los resultados es con la idea de buscar posibles relaciones causales entre las variables. Así, la variable de forzamiento fue el viento y con una respuesta directa y/o indirecta el campo de la temperatura (superficial y termoclina), la **Aasm** y las corrientes del mar. Las capturas de atún se conciben como una respuesta de ambos conjuntos previos de variables. Otro aspecto a considerar es la posible asociación entre las variables de respuesta.

Los primeros dos componentes explican cerca del 50% de la varianza en todos los años (figura 7a y 7b). La menor es de 49% (1997) y la mayor de 59% (1995). Esto puede observarse en las graficas de los valores propios vs. sus índices. El cambio de la contribución de varianza entre los componentes dos y tres es de ~ 10%, comparado con ~ 25% entre componentes uno y dos.

Los pesos (loadings) del primer componente principal es del mismo signo en los años 1993(-), 1994(+), 1997(-) y 1998(-), con un tamaño moderado (figura 8a y 8b). En los años de 1995 y 1996, la variable **Pstx** contrasta en signo con **Vcur**.

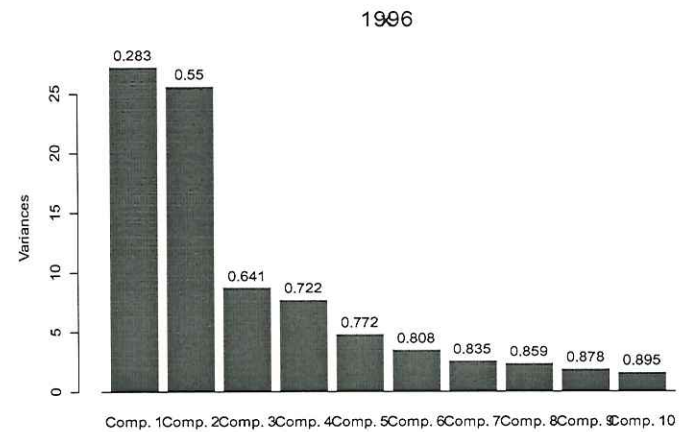
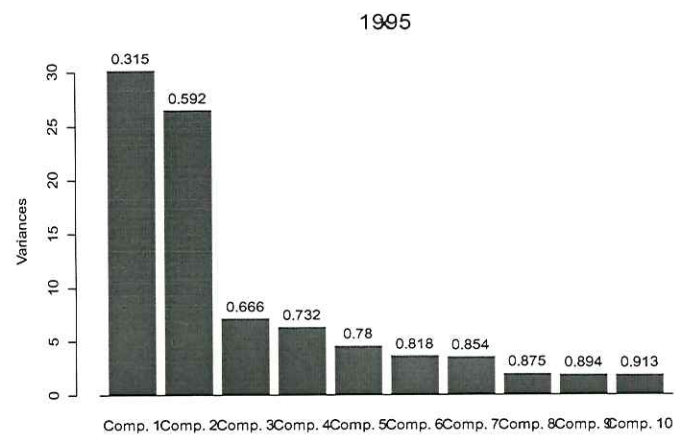
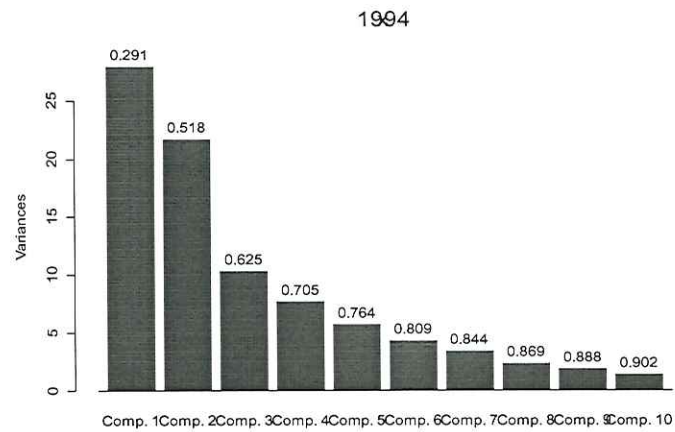
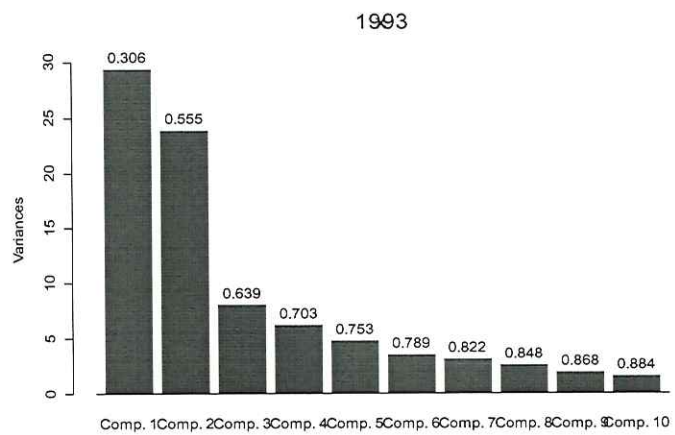


Figura 7a. Varianza explicada acumulativa de análisis de componentes principales (ACP), 1993 a 1996.

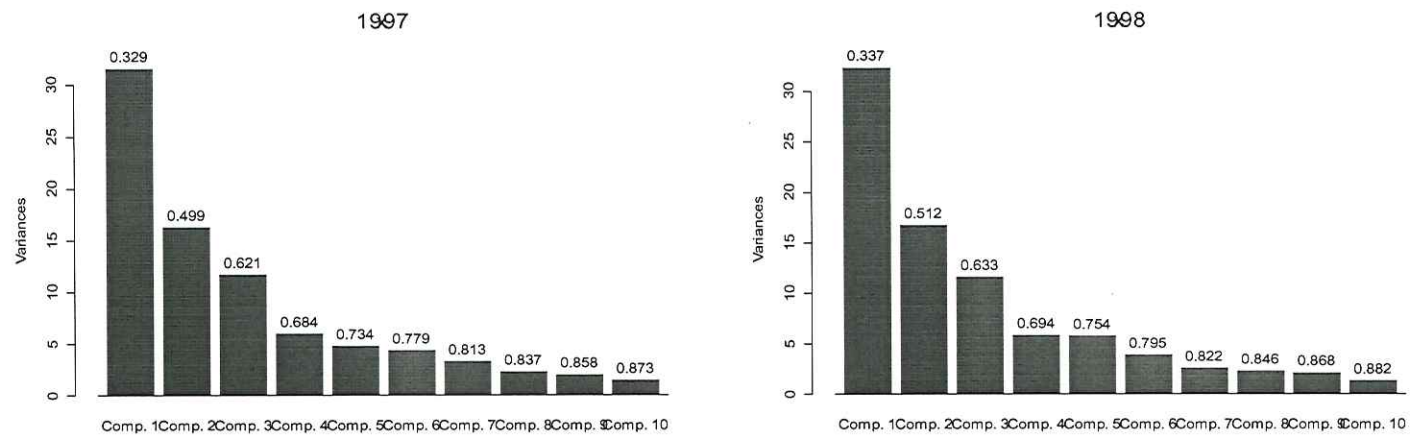


Figura 7b. Varianza explicada acumulativa de análisis de componentes principales (ACP), 1997 y 1998.

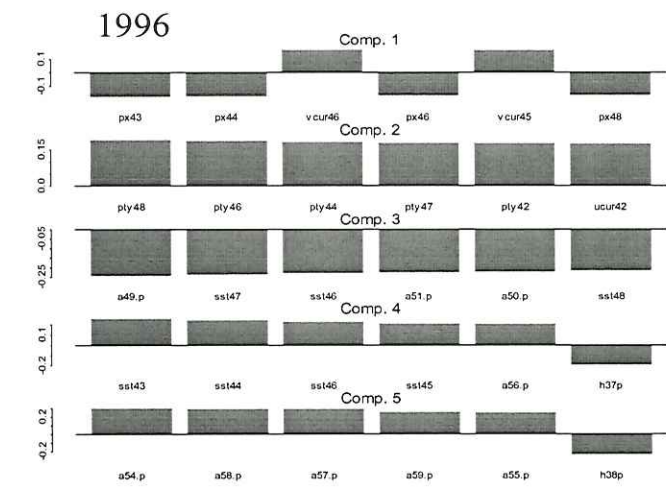
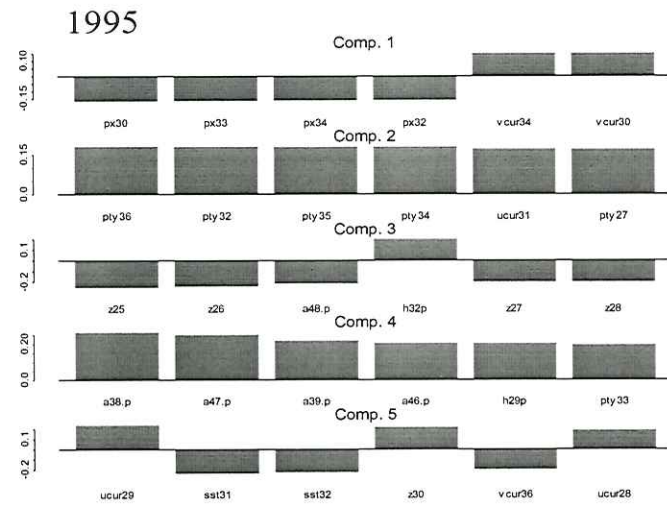
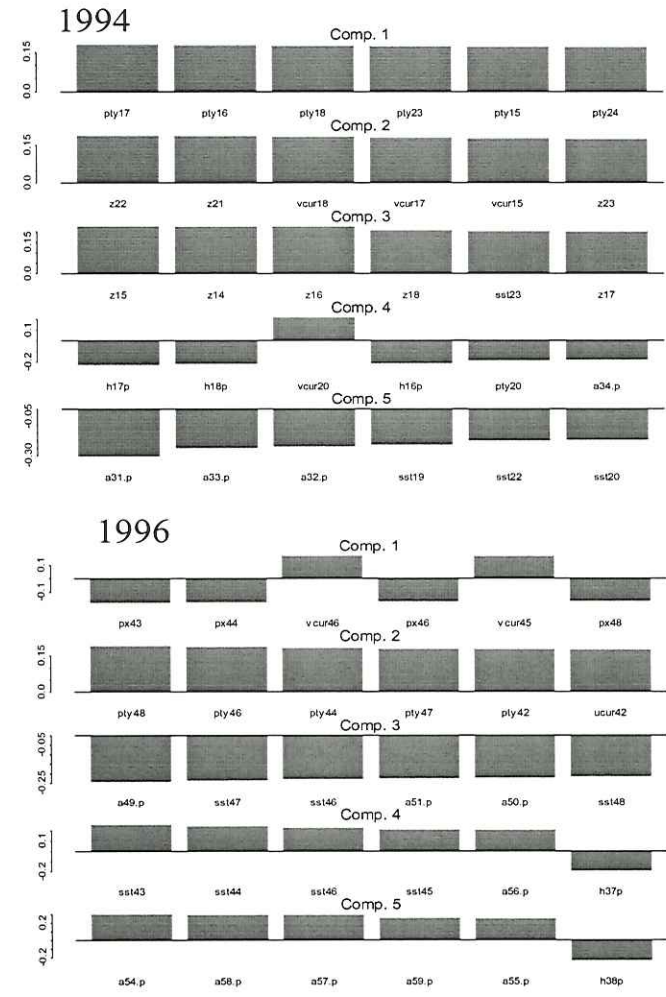
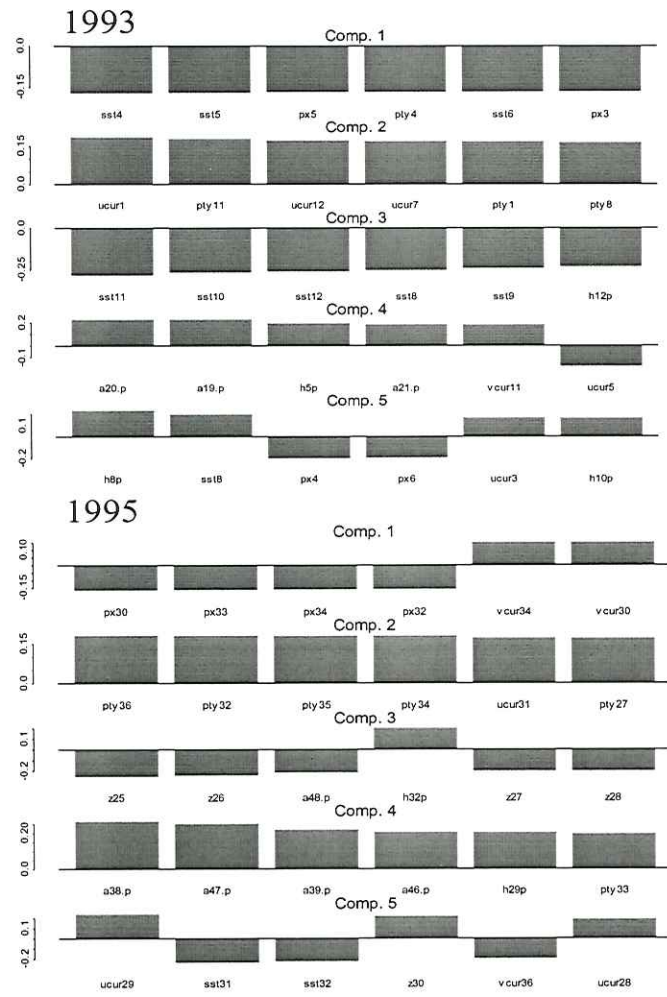


Figura 8a. Pesos de ACP para *Aaa* y variables ambientales; *Tsm*, *Pstx*, *Psty*, *Zterm*, *Ucur*, *Vcur* y *Aasm*. 1993 a 1996.

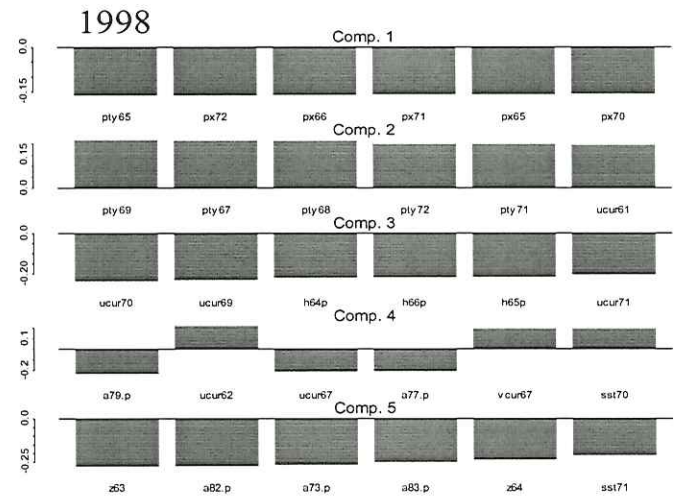
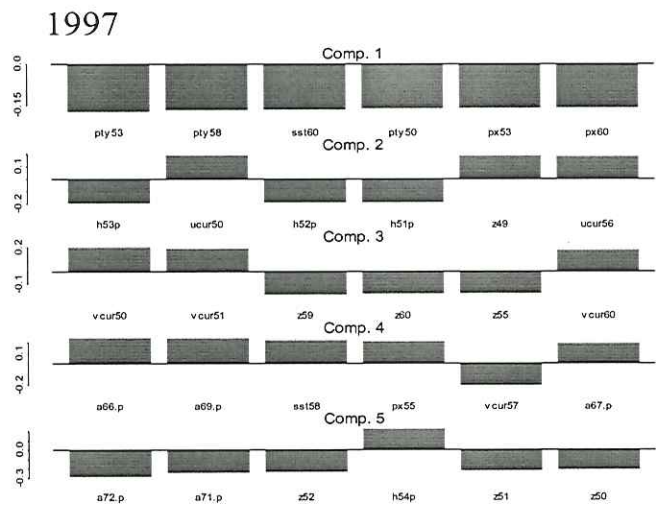


Figura 8b. Pesos de ACP para *Aaa* y variables ambientales; *Tsm*, *Pstx*, *Psty*, *Zterm*, *Ucur*, *Vcur* y *Aasm*.1997 y

Pstx se muestra mayormente en 1998, 1996 y 1995, respectivamente. **Psty** tiene mayor presencia en los años de 1994 y 1997.

Para todos los años, **Pstx** es la variable con mayor frecuencia de presencia en el primer componente, en el siguiente orden:

Pstx	17
Psty	11
Vcur	4
Tsm	3

La variable **Psty** fue la más frecuente en el segundo componente principal:

Psty	18
Ucur	8
Zterm	4
Vcur	3
Aasm	3

Información adicional se puede obtener por medio de las relaciones entre las variables originales y las observaciones transformadas sobre los ejes de los componentes principales. Con esto se puede ver no únicamente los pesos más elevados (loadings) en valor absoluto sino también los pesos contrastantes (positivo o negativos) de las variables originales en los ejes. (figuras 9 a 14, componentes 1-2), (figuras 15-20, componentes 2-3).

A lo largo del eje del primer componente, las variables principales contrastantes son **Vcur** y **Zterm** (positivas) y **Tsm-Pstx-Psty** (negativas). Para el componente

dos, las variables contrastantes son **Pstx-Ucur** (positivos) y **Aasm** (negativo). La tabla I resume las variables 'importantes' bajo el criterio de asociación previo.

Tabla I. Variables Importantes en los Ejes de Componentes Principales.

Ejes

	Component 1	Component 2	Component 3
1993	+ vcur, zterm - pstx, psty	+ psty, ucur - aasm	+ aasm - sst
1994	+ pstx, psty - aasm, zterm, aaa	+ vcur, zterm, aasm - pstx, tsm	+ zterm, tsm - pstx, ztherm
1995	+ vcur, zterm - pstx, tsm	+ psty, ucur - aasm, aaa, tsm	+ aasm - tsm, zterm
1996	+ vcur, zterm - pstx	+ psty - aasm, aaa	+ ---- - aaa, tsm
1997	+ aasm, zterm, aaa - psty, pstx, tsm	+ ucur, zterm - aasm, pstx	+ vcur, ucur - aasm, zterm
1998	+ vcur, zterm - pstx, psty	+ psty, ztherm - ucur, aaa	+ ---- - ucur, aasm

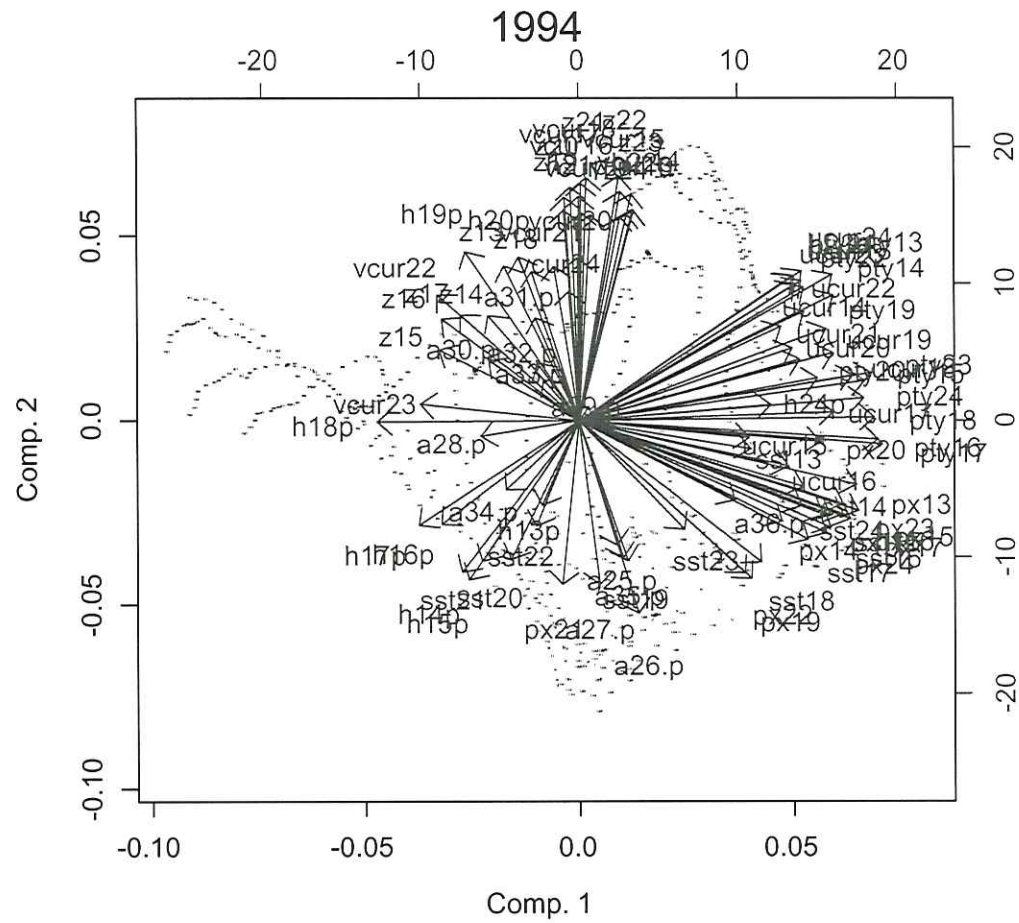


Figura 10. Pesos de ACP proyectados de las variables originales para cada variable ambiental sobre los componente 1 y 2,

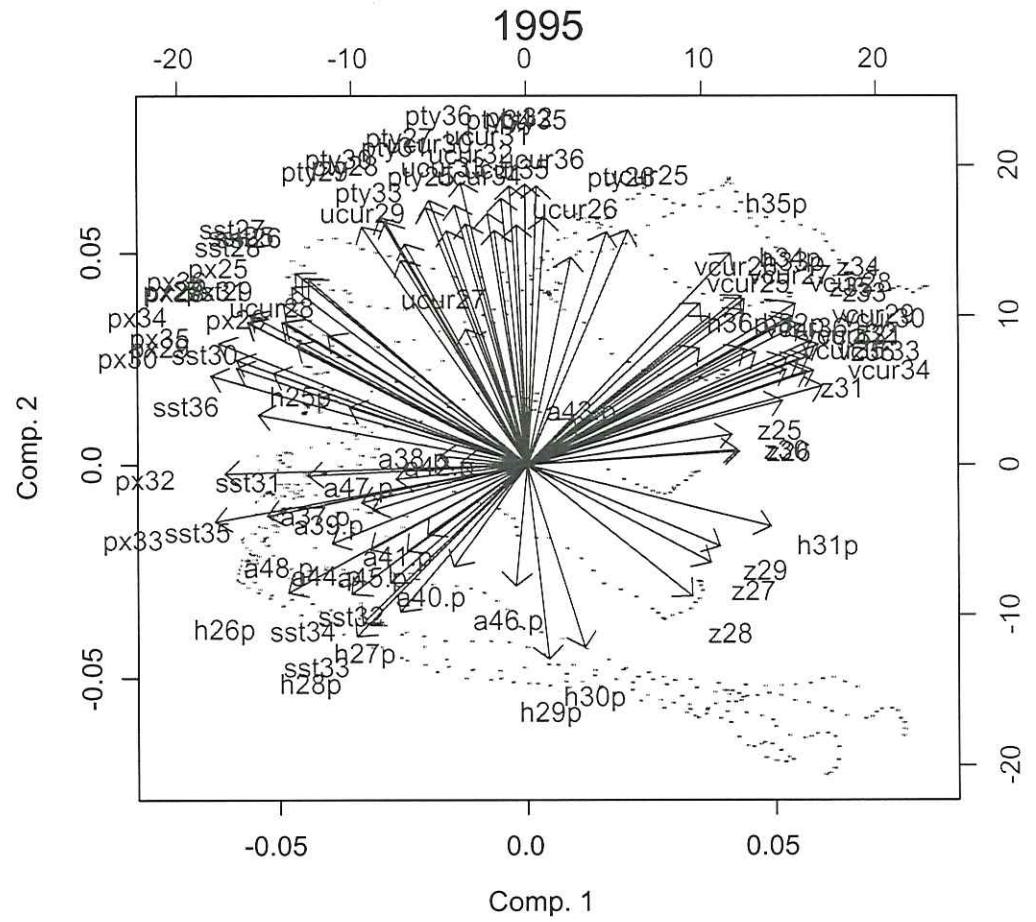


Figura 11. Pesos de ACP proyectados de las variables originales para cada variable ambiental sobre los componente 1 y 2, 1995.

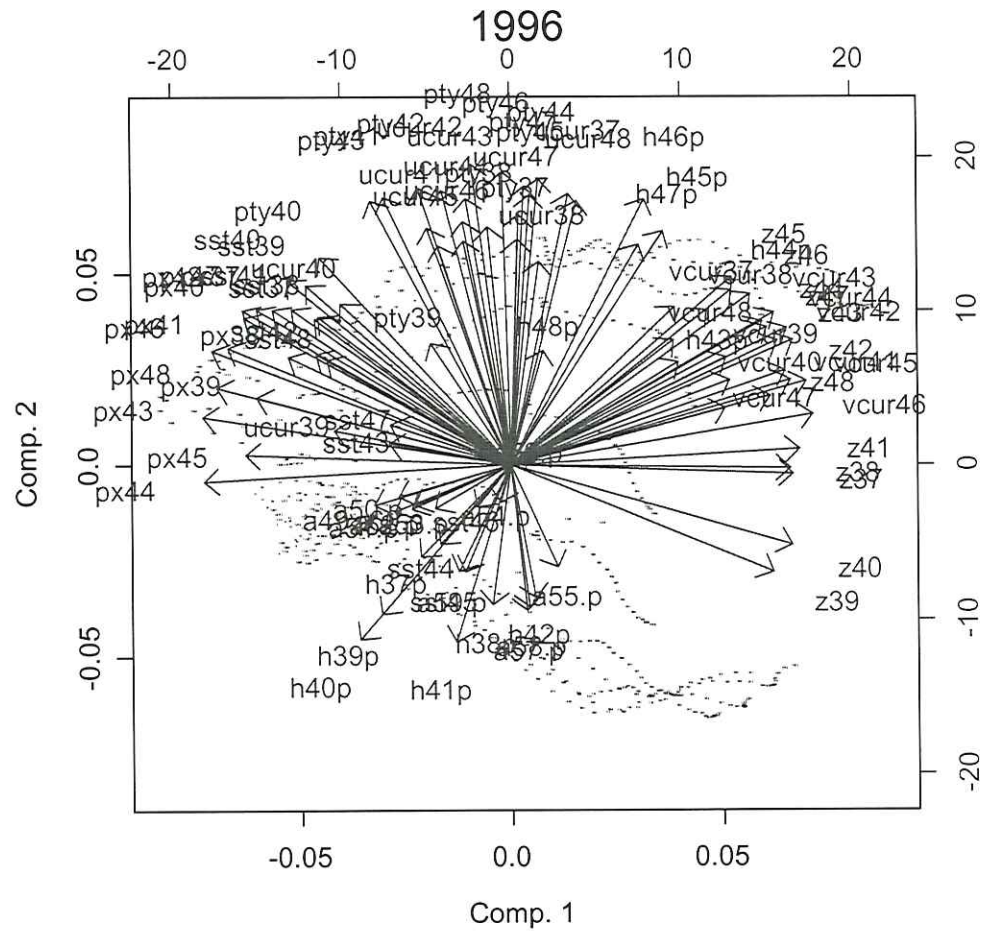


Figura 12. Pesos de ACP proyectados de las variables originales para cada variable ambiental sobre los componente 1 y 2, 1996.

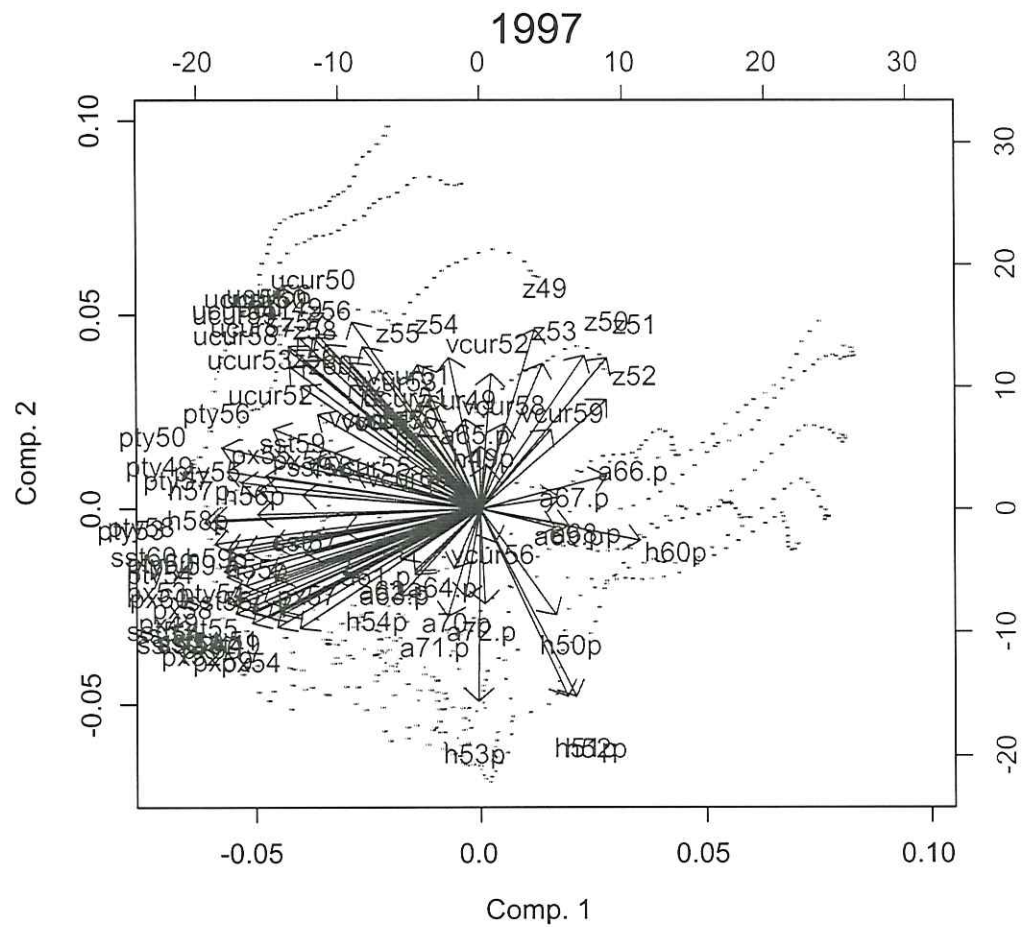


Figura 13. Pesos de ACP proyectados de las variables originales para cada variable ambiental sobre los componente 1 y 2,

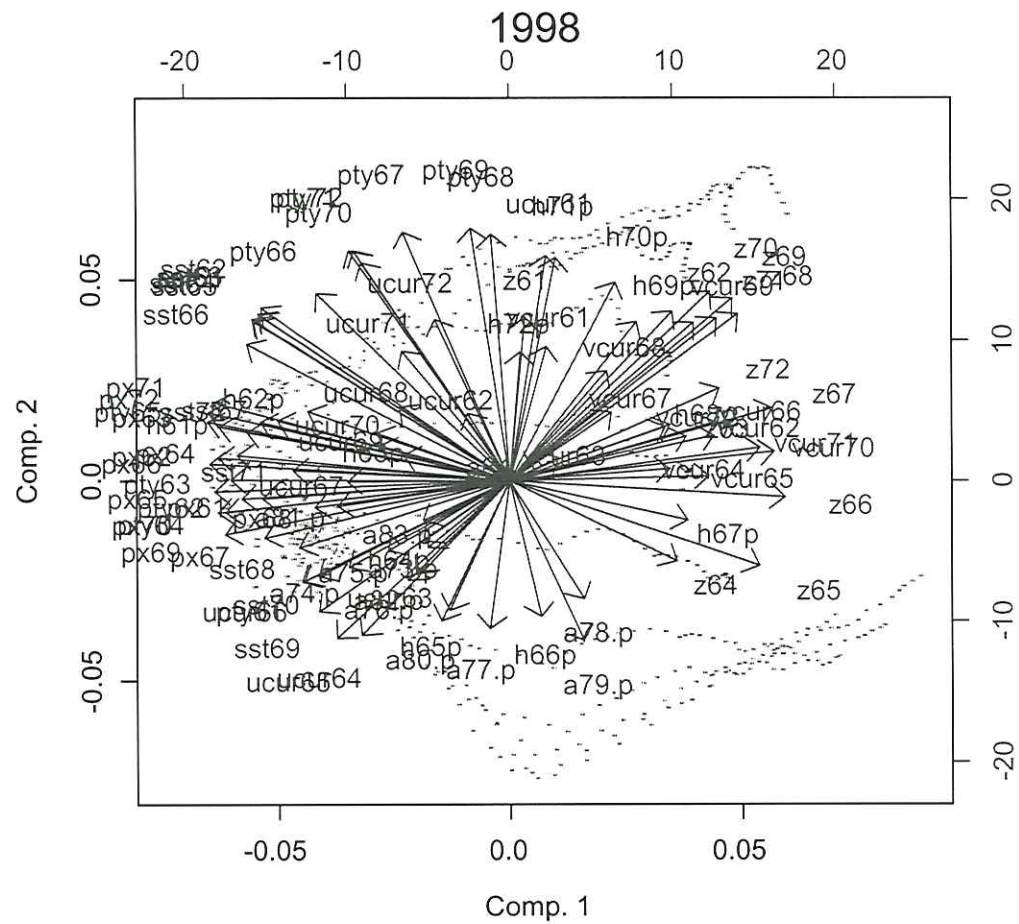


Figura 14. Pesos de ACP proyectados de las variables originales para cada variable ambiental sobre los componente 1 y 2,

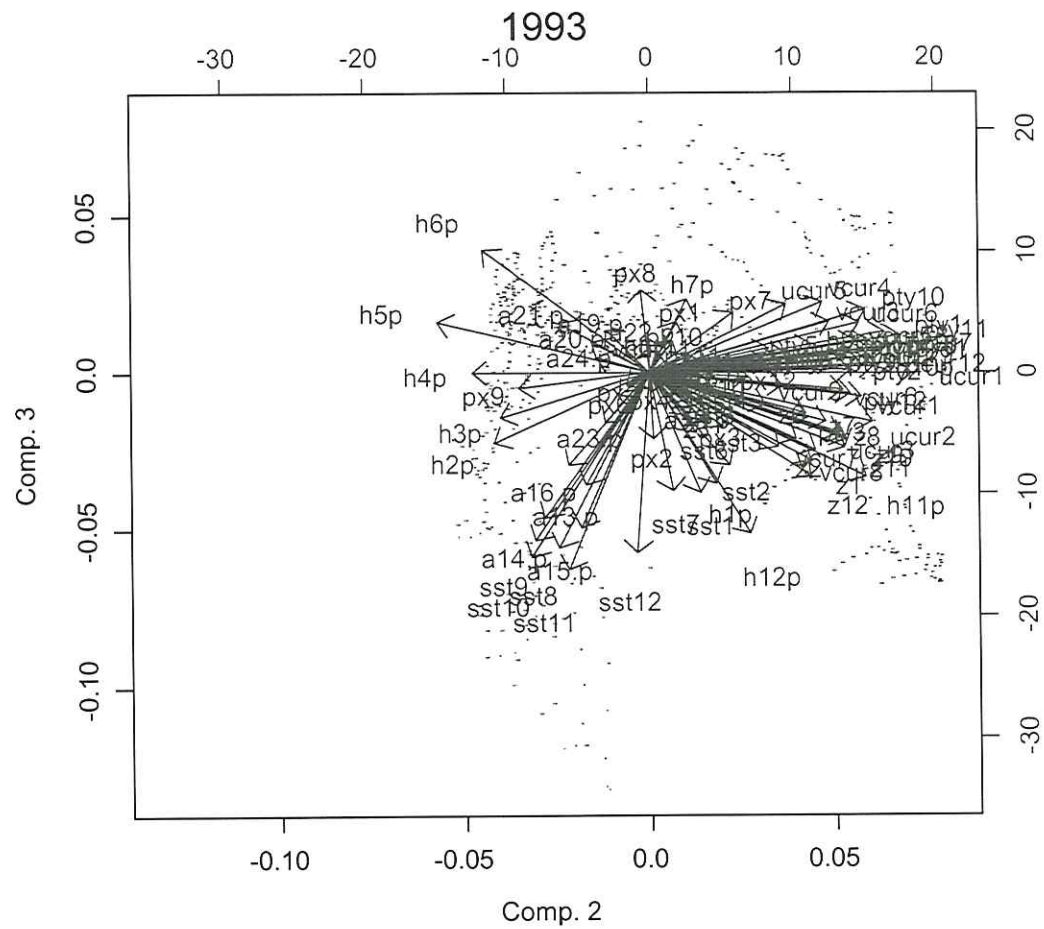


Figura 15. Pesos de ACP proyectados de las variables originales para cada variable ambiental sobre los componente 2 y 3,

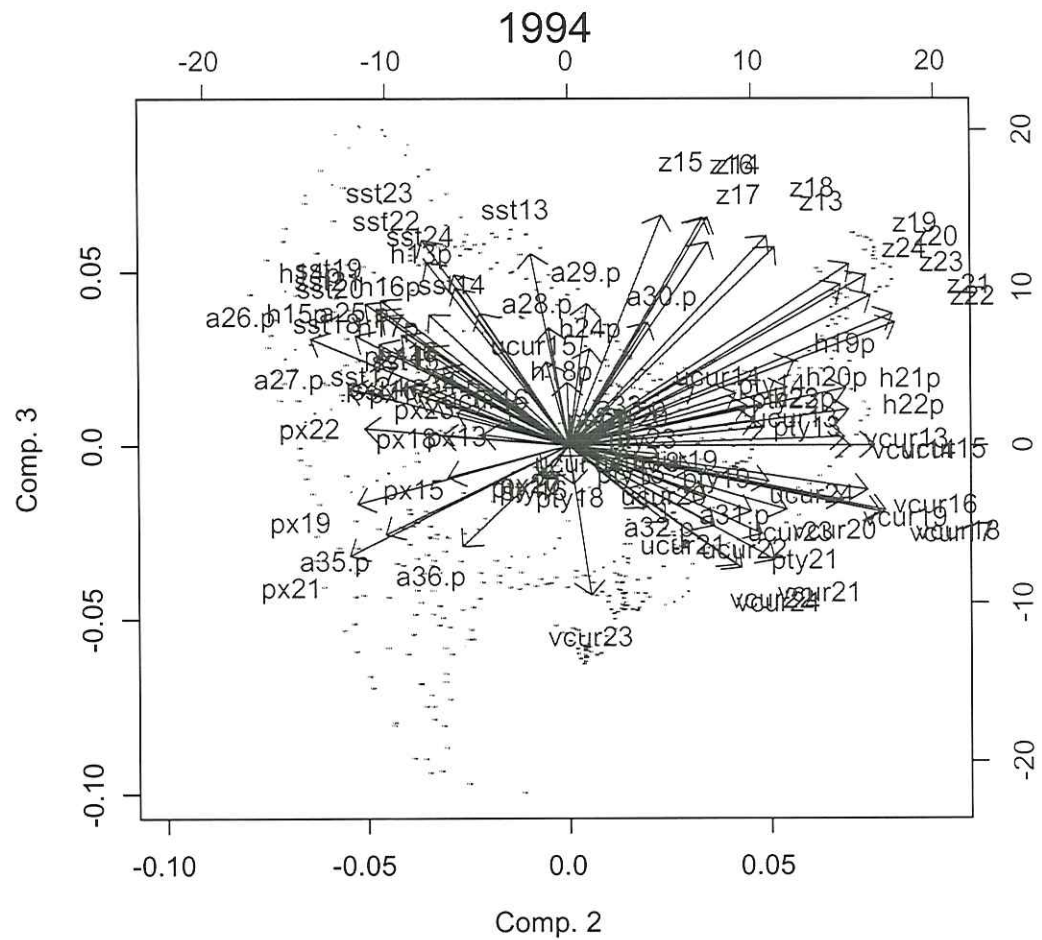


Figura 16. Pesos de ACP proyectados de las variables originales para cada variable ambiental sobre los componente 2 y 3, 1994.

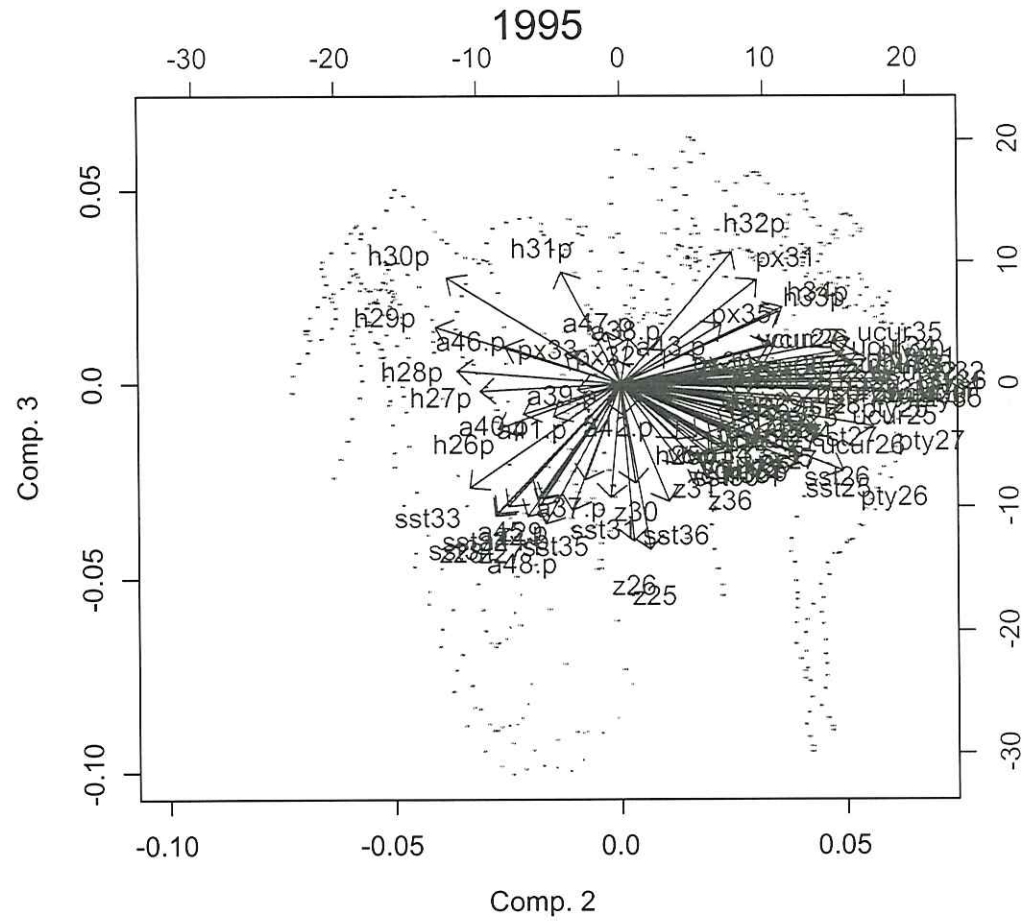


Figura 17. Pesos de ACP proyectados de las variables originales para cada variable ambiental sobre los componente 2 y 3,

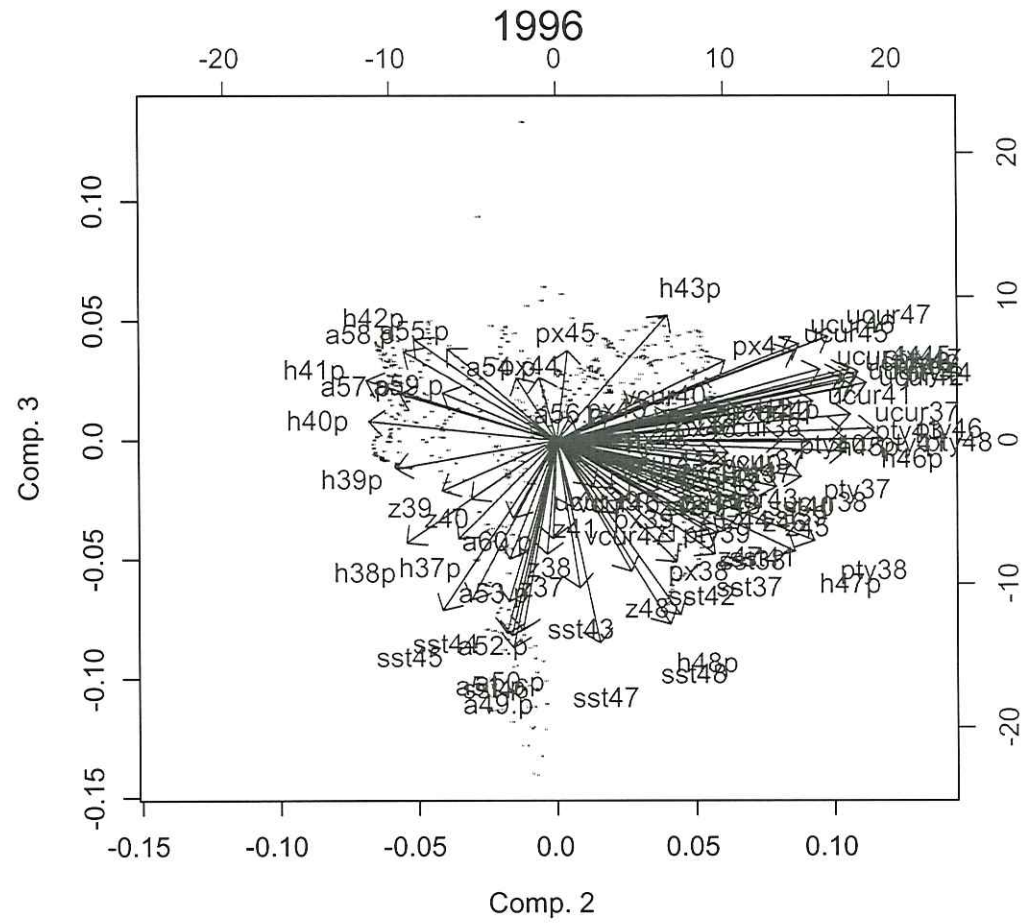


Figura 18. Pesos de ACP proyectados de las variables originales para cada variable ambiental sobre los componente 2 y 3,

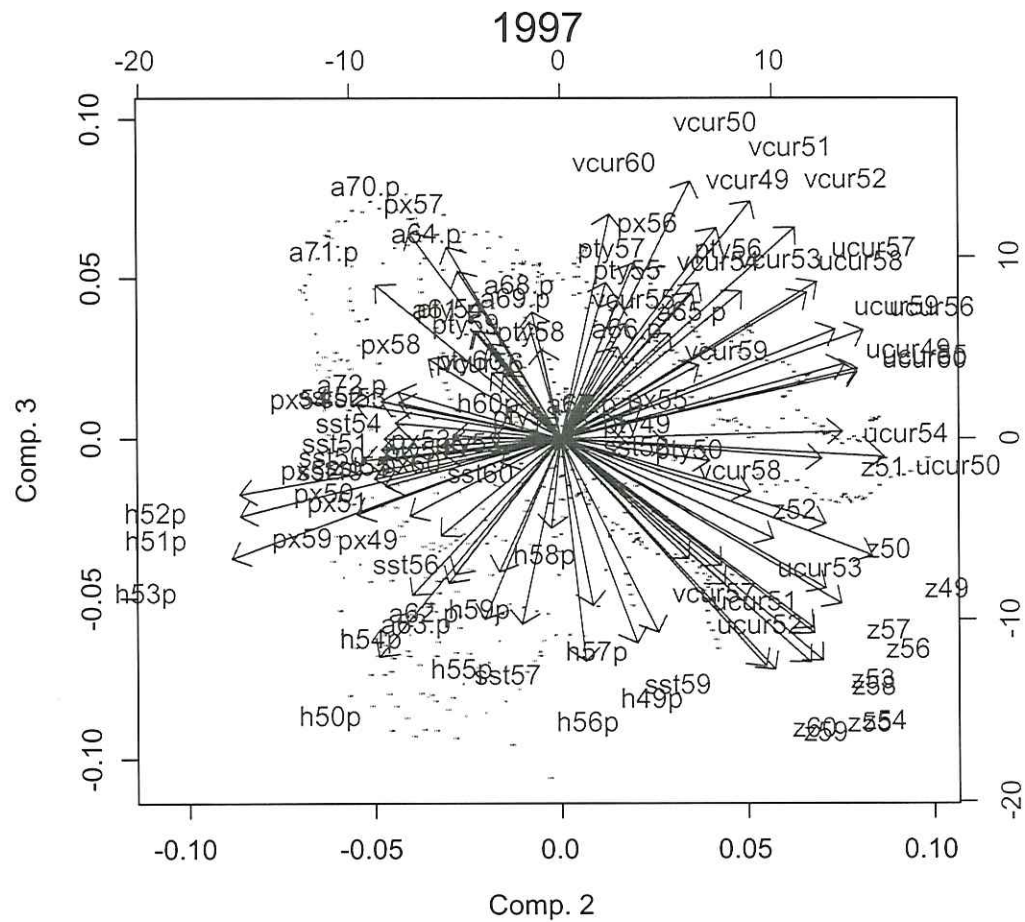


Figura 19. Pesos de ACP proyectados de las variables originales para cada variable ambiental sobre los componente 2 y 3,

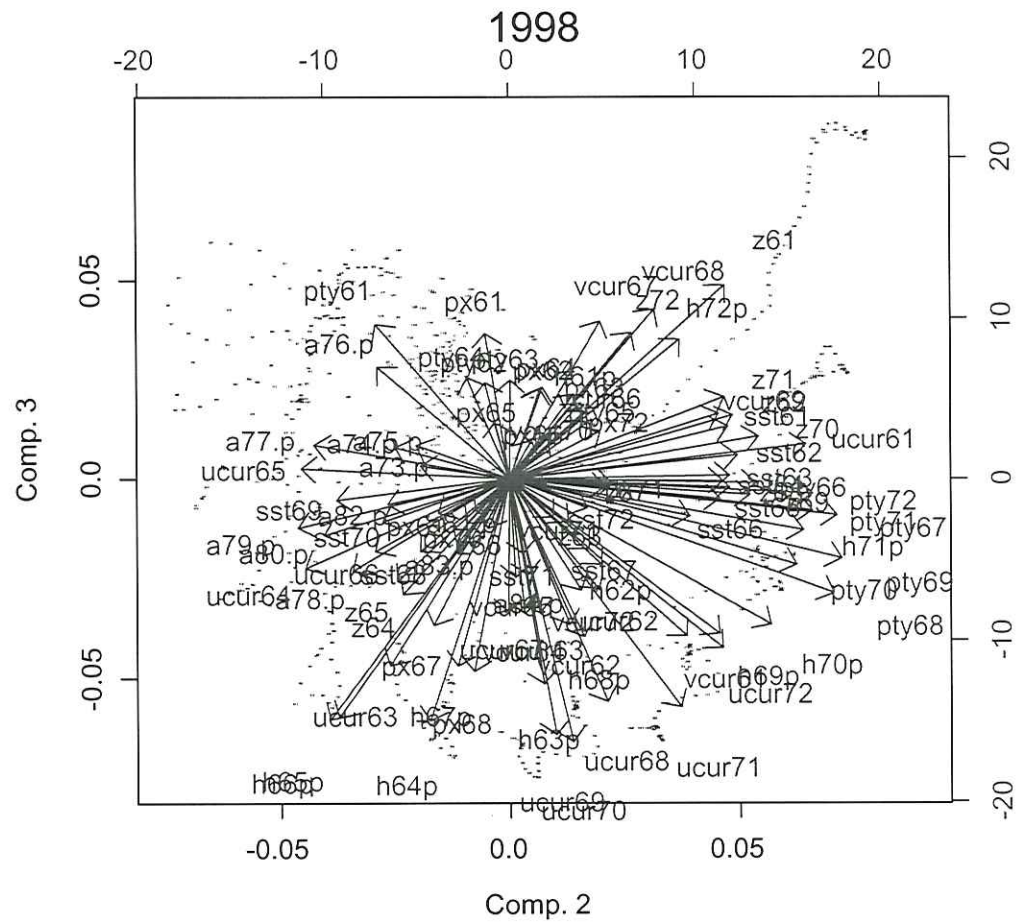


Figura 20. Pesos de ACP proyectados de las variables originales para cada variable ambiental sobre los componente 2 y 3,

3. Funciones Empíricas Ortogonales

Los resultados de las funciones empíricas ortogonales, en sus primeros tres modos se presentan para cada variable ambiental y las capturas de atún. Cada modo se descompone en una variabilidad temporal o amplitud y una distribución espacial. Se presentan los resultados de las FEO para las variables: pseudo esfuerzo del viento (*Pstx*, *Psty*), la temperatura superficial del mar (*Tsm*), profundidad de la termoclina (*Zterm*) y las corrientes del mar (*Ucur*, *Vcur*).

Tsm: Los primeros tres modos explican el 88.8% de la varianza total, con el 44.9%, 36.5% y 7.8%, respectivamente. El primer modo espacial de FEO muestra dos áreas de valores contrastantes (figura 21). El área mas norteña (valores positivos) esta separada de la del sur por una línea que va de el Golfo de Tehuantepec (15 N) a los 140 O, 5 N. El primer modo temporal de FEO presenta un patrón claramente estacional, con valores extremos en 1997 y 1998, asociados con el evento de El Niño.

El segundo modo espacial de la FEO muestra los valores mas negativos en la banda de los 140 O, 5 N hacia la costa en Centro América. Valores menos negativos se localizaron en una zona más sureña, en las costas del Ecuador. La amplitud del segundo modo presenta valores contrastantes, positivos para los años de 1995 y 1996, y negativos para 1997 y 1998.

El tercer modo espacial presenta valores positivos en las porciones norte y sur del OPTE. Una banda latitudinal de valores negativos esta presentes a lo largo de los 10 N, desde la costa hasta los 120 O. La amplitud del tercer modo muestra valores negativos para los años iniciales y de mediados del período. Valores extremos positivos están presentes para 1997.

FEO de Temperatura Superficial del Mar (*Tsm*)

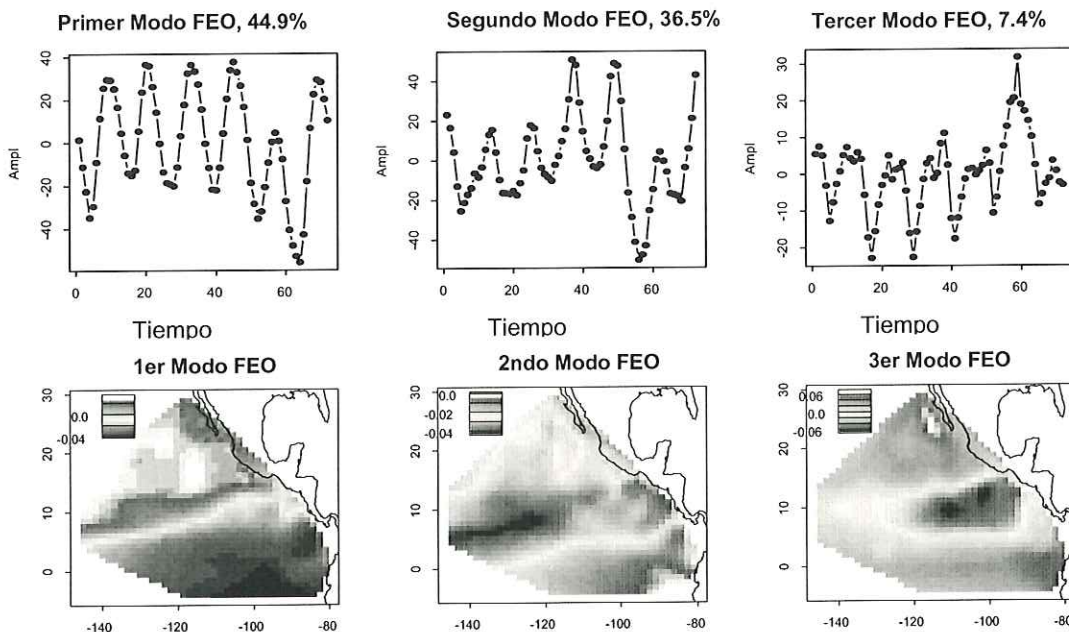


Figura 21. Primeros tres modos de las FEO para **Zterm**. Recuadros superiores con la amplitud o variabilidad temporal. Recuadros inferiores con la variabilidad espacial.

Zterm: Los primeros tres modos explican el 68.7% de la varianza total, con el 34.2%, 24.5% y 10%, respectivamente. El primer modo espacial identifica una área costera y una ecuatorial (90 O a 120 O) con un patrón similar (signo) (figura 22). La segunda área de valores negativos se localiza mar adentro a lo largo de 10 N y en el extremo norte, en las aguas de la Península de Baja California. El primer modo temporal muestra un pico sobresaliente (positivo) para 1997 y principios de 1998.

El segundo modo espacial define un área norteña, desde los 8 N, con una celda de valores negativos a los 100 O, 10N. La región del sur presenta un centro de valores positivos a los 130 O, 5 N. La amplitud del segundo modo muestra un patrón estacional con un valor extremo (negativo) a principios de 1998.

El tercer modo espacial define una banda latitudinal a lo largo de 8 N de valores positivos, en la región oceánica. Hacia el norte, están presentes áreas alternantes de valores negativos y positivos. El tercer modo temporal muestra un patrón estacional con amplitudes crecientes y una tendencia positiva para los dos últimos años.

FEO de Profundidad de la Termoclina

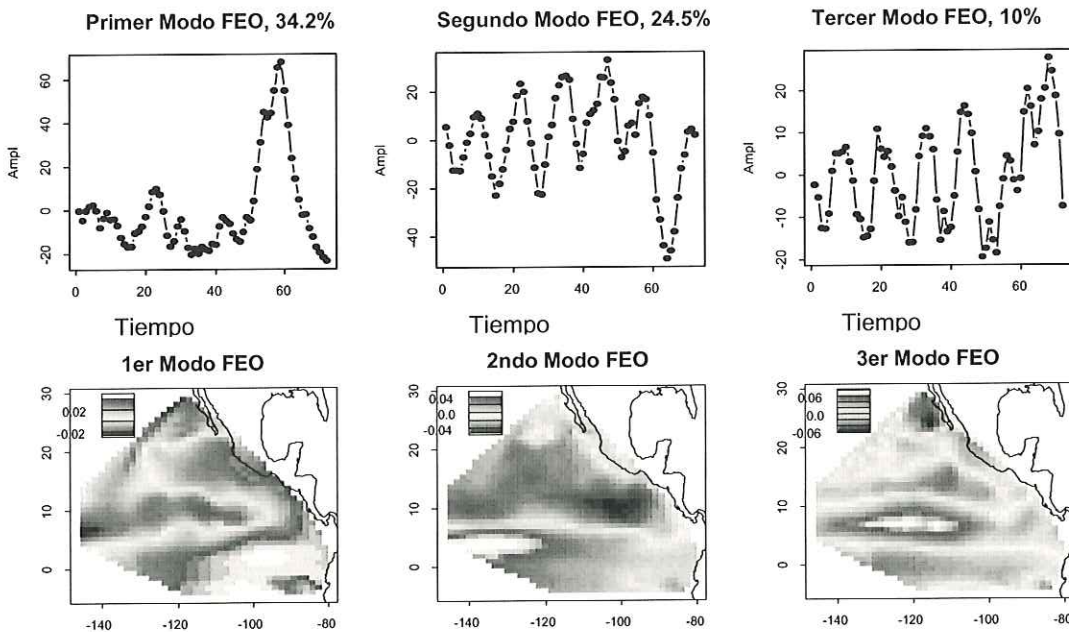


Figura 22. Primeros tres modos de las FEO para *Zterm*. Recuadros superiores con la amplitud o variabilidad temporal. Recuadros inferiores con la variabilidad espacial.

Pstx: Los primeros tres modos explican el 64.7% de la varianza total, con el 38.7%, 17.2% y 8.8%, respectivamente. EL primer modo espacial identifica un área central, a lo largo de 10N, de la costa hasta los 145 O, con una ancha celda de 90 O a 120 O (figura 23). En la región del sur, en el Ecuador, se muestra un área de valores positivos. La amplitud del primer modo muestra un claro patrón estacional.

El segundo modo espacial presenta un patrón dipolo: valores positivos en el sur y el norte y valores negativos en el este y oeste. La variabilidad temporal muestra una tendencia de incremento para los dos últimos años.

Con el tercer modo espacial se identifica una ancha región costera, con su mayor extensión a $\sim 20N$. El área oceánica muestra una amplia celda con centro entre los 110 O y 140 O. La amplitud es altamente variable, con un valor extremo negativo a finales de 1996.

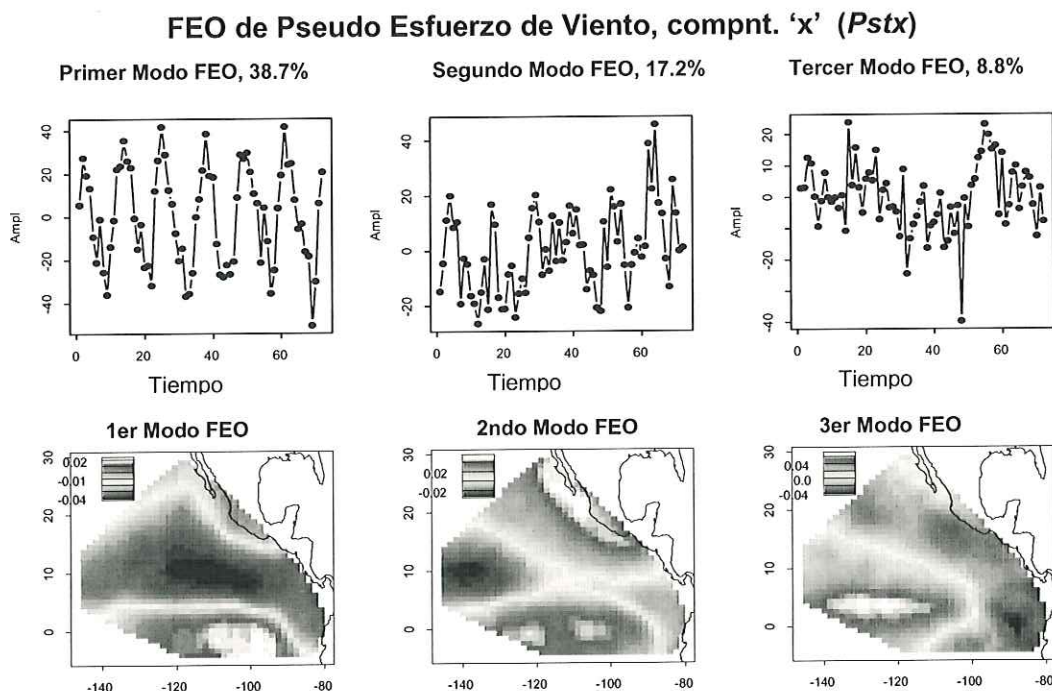


Figura 23. Primeros tres modos de las FEO para *Pstx*. Recuadros superiores con la amplitud o variabilidad temporal. Recuadros inferiores con la variabilidad espacial.

Psty: Los primeros tres modos explican el 74.5% de la varianza total, con el 54.5%, 12% y 8%, respectivamente. En el primer modo espacial dominan los valores negativos en casi toda la región (figura 24). Valores positivos pequeños se localizan en el extremo sur y norte. La variabilidad temporal presenta una clara señal estacional, con valores relativamente altos a principios de 1998.

El segundo modo espacial define una región costera (valores negativos) y una región oceánica norteña con valores positivos. La variabilidad temporal presenta las mayores amplitudes en los primeros 40 meses.

El tercer modo espacial es similar al primero, con una amplia región desde la costa hasta mar adentro. Dos áreas más pequeñas con valores positivos se localizan en el extremo norte y sur. La variabilidad temporal presenta más ruido que en el primer modo.

FEO de Pseudo Esfuerzo del Viento, compt. "y" (*Psty*)

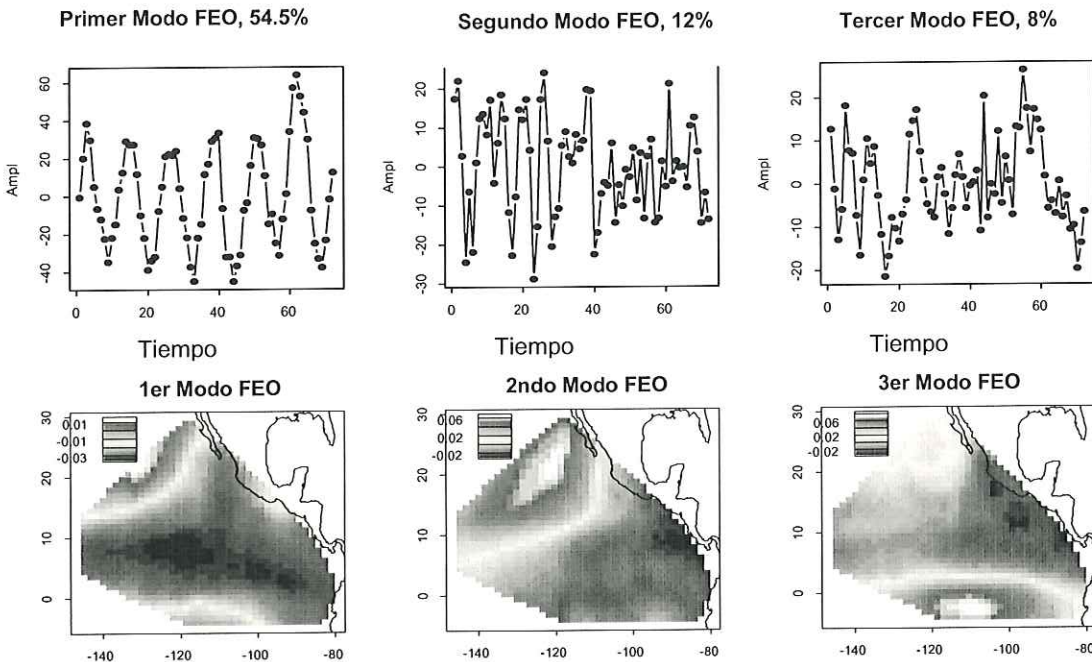


Figura 24. Primeros tres modos de las FEO para *Psty*. Recuadros superiores con la amplitud o variabilidad temporal. Recuadros inferiores con la variabilidad espacial.

Ucur: Los primeros tres modos explican el 53.2% de la varianza total, con el 22.9%, 19.5% y 10.8%, respectivamente. Una larga banda centrada en los 10N, desde la costa de Centro y Sudamérica hasta las posiciones más occidentales dominan en el primer modo (figura 25). En el sur se presenta una área contrastante de valores negativos con su centro en el Ecuador. La variabilidad temporal es dominada por un patrón estacional con tendencia negativa para los dos últimos años.

El segundo modo espacial muestra una región norteña (valores positivos) y una sureña (negativos), con una línea de separación a los 10 N. La variabilidad temporal muestra un valor extremo negativo a finales de 1997.

El tercer modo espacial define una región costera con extensión oceánica a los 15 N, con valores negativos. Valores positivos se encuentran en le región del norte, en el oeste y en aguas ecuatoriales.

FEO de Corriente del Mar, compnt. 'u' (*Ucur*)

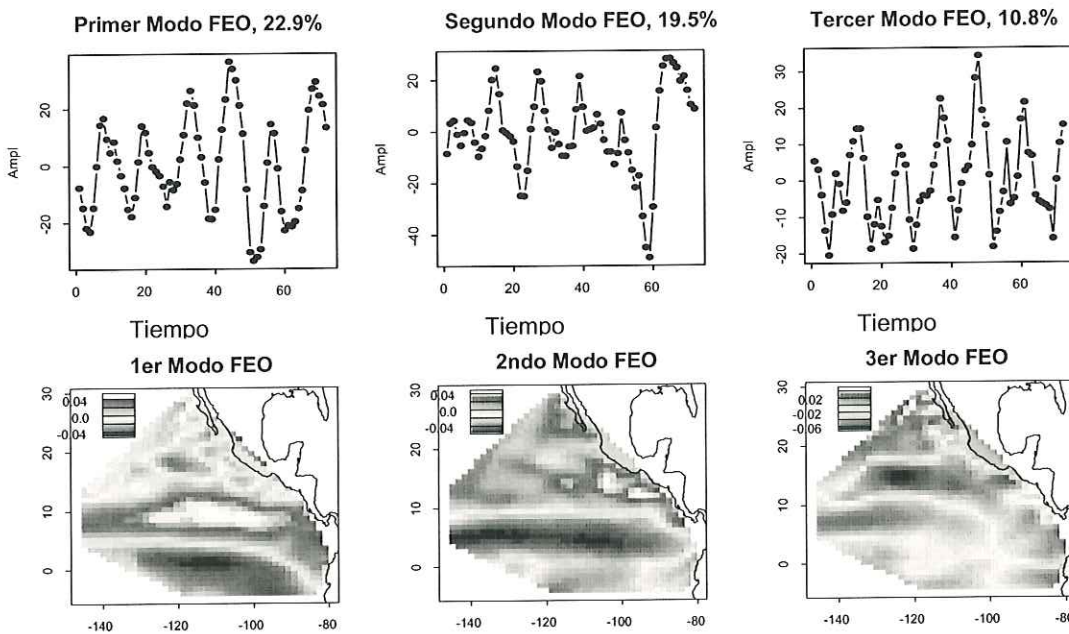


Figura 25. Primeros tres modos de las FEO para *Ucur*. Recuadros superiores con la amplitud o variabilidad temporal. Recuadros inferiores con la variabilidad espacial.

***Ucur*:** Los primeros tres modos explican el 49.4% de la varianza total, con el 25.1%, 14% y 10.3%, respectivamente. El primer modo espacial muestra una región central latitudinal, con extensión de la costa a 150 O (figura 26). Se identifican dos regiones similares, en el norte y sur con valores positivos. La variabilidad temporal muestra una señal estacional con un valor extremo positivo en 1998.

Una región al sur de los 8 N y una región norteña con extensión paralela a la costa definen el segundo modo espacial. La variabilidad temporal presenta una señal ruidosa con tendencia negativa para los dos últimos años.

El tercer modo espacial es similar al primero, pero con valores invertidos. La variabilidad temporal no muestra un claro patrón estacional y presenta un valor extremo negativo para finales de 1997.

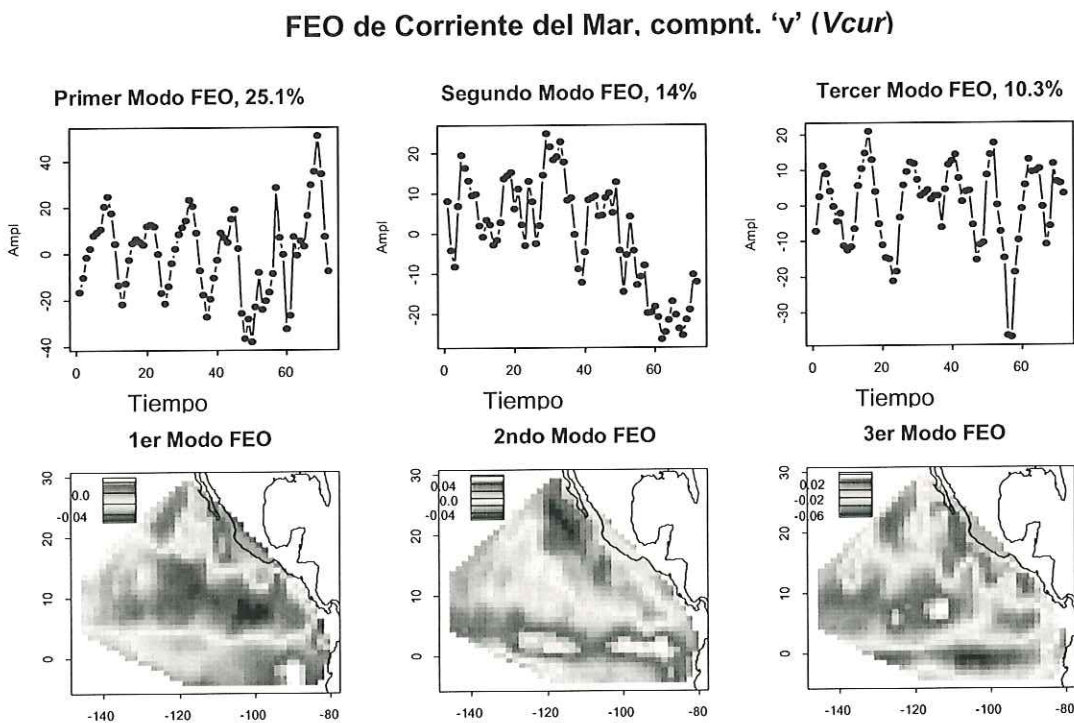


Figura 26. Primeros tres modos de las FEO para V_{cur} . Recuadros superiores con la amplitud o variabilidad temporal. Recuadros inferiores con la variabilidad espacial.

4. Análisis de Correlación Canónica para los Modos de las FEO

Se utilizó ACC para los modos espaciales de las FEO, con la intención de identificar posibles patrones similares entre las variables. Las FEO explican la

estructura de la varianza en modos estadísticos importantes. En este caso se buscó la correlación entre los diferentes modos de las FEO. La tabla II presenta los coeficientes de CC para los modos de las FEO entre las capturas y las variables ambientales.

Tabla II. Coeficientes de correlación canónica para los primeros tres modos espaciales de las FEO.

		(44.9%)	(36.5%)	(7.4%)
		1 FEO	2 FEO	3 FEO
Tsm				
1er. Aaa FEO	(11.5)	0.615	0.496	0.183
2do. Aaa FEO	(8.8%)	0.147	0.159	0.117
3er. Aaa FEO	(7.5%)	0.282	0.014	0.246
		(34.1%)	(24.5%)	(10.0%)
		1 FEO	2 FEO	3 FEO
Zterm				
1er. Aaa FEO		0.660	0.120	0.151
2do. Aaa FEO		0.110	0.423	0.071
3er. Aaa FEO		0.110	0.0435	0.079
		(38.7%)	(17.2%)	(8.8%)
		1 FEO	2 FEO	3 FEO
Pstx				
1er. Aaa FEO		0.311	0.470	0.352
2do. Aaa FEO		0.370	0.196	0.551
3er. Aaa FEO		0.001	0.421	0.129

Tabla II. Coeficientes de correlación canónica para los primeros tres modos espaciales de las FEO.
Continuación

		(54.5%)	(12.0%)	(8.0)
	Psty	1 FEO	2 FEO	3 FEO
1er. Aaa FEO		0.030	0.681	0.147
2do. Aaa FEO		0.229	0.280	0.149
3er. Aaa FEO		0.223	0.328	0.037
		(22.9%)	(19.5%)	(10.8%)
	Ucur	1 FEO	2 FEO	3 FEO
1er. Aaa FEO		0.187	0.115	0.364
2do. Aaa FEO		0.231	0.227	0.106
3er. Aaa FEO		0.201	0.271	0.138
		(25.1%)	(14.0%)	(10.3%)
	Vcur	1 FEO	2 FEO	3 FEO
1er. Aaa FEO		0.202	0.038	0.396
2do. Aaa FEO		0.012	0.182	0.130
3er. Aaa FEO		0.084	0.264	0.227
		(33.3%)	(15.0%)	(12.4%)
	Aasm	1 FEO	2 FEO	3 FEO
1er. Aaa FEO		0.639	0.505	0.430
2do. Aaa FEO		0.146	0.260	0.055
3er. Aaa FEO		0.085	0.045	0.188

Los valores mayores de los coeficientes fueron para: primer **Aaa** – segundo **Psty** (0.68), primer **Aaa** – primer **Zterm** (0.66), primer **Aaa** – primero **Aasm** (0.63), y primer **Aaa** – primer **tsm** (0.61).

5. Análisis de Correlación Canónica para las Variables Originales

Se aplicó ACC para las variables de captura y las ambientales. En general, mayores coeficientes de CC se encuentran para el atún y el pseudo esfuerzo del viento, ya sea *Pstx* ó *Psty*. En la tabla III se muestran los resultados con los coeficientes. Los mayores valores para el viento se encuentran en tres años (1993, 1996 y 1998) para la primera variable canónica y en dos años (1993 y 1995) para la segunda variable canónica.

La segunda correlación en importancia es para *Aaa – Aasm*, para los años de 1994 y 1995 para la primera variable canónica, y los años de 1994 y 1996 para la segunda variable. Los valores menores de correlación resultan para las corrientes oceánicas (*Ucur* y *Vcur*). Coeficientes de correlación fueron mayores para *Aaa – Tsm* que para *Aaa – Zterm*.

Tabla III. Coeficientes de correlación canónica.

Variables	1993		1994		1995	
	1er. corr-coef	2do. Corr-coef	1er. corr-coef	2do. corr-coef	1er. corr-coef	2do. corr-coef
<i>Aaa-Tsm</i>	0.82	0.76	0.83	0.77	0.85	0.69
<i>Aaa-Zterm</i>	0.71	0.57	0.70	0.65	0.75	0.70
<i>Aaa-Pstx</i>	0.86	0.73	0.80	0.75	0.87	0.79
<i>Aaa-Psty</i>	0.89	0.78	0.85	0.80	0.89	0.73
<i>Aaa-Ucur</i>	0.73	0.62	0.70	0.61	0.78	0.64
<i>Aaa-Vcur</i>	0.73	0.61	0.64	0.62	0.67	0.65
<i>Aaa-Aasm</i>	0.76	0.72	0.86	0.81	0.91	0.76

1996

1997

1998

Variables	1 st . corr-coef	2 nd . corr-coef	1 st . corr-coef	2 nd . corr-coef	1 st . corr-coef	2 nd . Corr-coef
<i>Aaa -Tsm</i>	0.78	0.71	0.92	0.86	0.84	0.83
<i>Aaa -Zterm</i>	0.67	0.44	0.79	0.70	0.78	0.72
<i>Aaa -Pstx</i>	0.89	0.77	0.87	0.83	0.91	0.81
<i>Aaa -Psty</i>	0.80	0.76	0.85	0.81	0.86	0.78
<i>Aaa -Ucur</i>	0.67	0.66	0.77	0.66	0.78	0.64
<i>Aaa -Vcur</i>	0.61	0.58	0.73	0.63	0.77	0.69
<i>Aaa -Aasm</i>	0.85	0.79	0.86	0.76	0.89	0.80

A continuación se describen los resultados de ACC por año para los pares de variables de las capturas con cada una de las variables ambientales.

1993:

Aaa - Psty

La distribución espacial de la primera variable de correlación canónica (**VCC**), presenta una región de valores negativos que se extiende de la costa del centro de México hacia el suroeste a los 100 O-130 O, 10 N (figura 27). Una región contrastante de valores positivos se distribuye desde la costa de Centro América, al sur de 10 N, a lo largo del Ecuador hasta las áreas más occidentales. La distribución espacial para la segunda **VCC** tiene una presencia costera (valores negativos) y dos celdas de valores positivos: en las costas de Baja California y a los 125 O, 12 N.

Análisis de Correlación Canónica, 1993

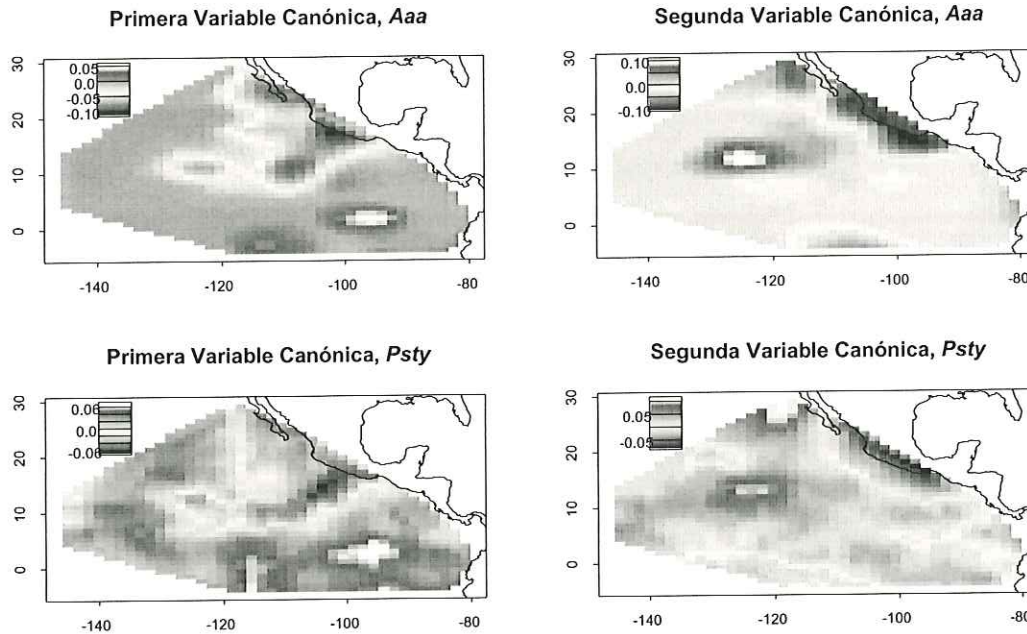


Figura 27. Primeras dos variables canónicas de análisis de correlación canónica (ACC) entre *Aaa* y *Psty*, 1993.

Aaa – Pstx

La distribución espacial de la primera **VCC** es muy similar a la correspondiente de *Aaa—Psty*. La diferencia es en la segunda **VCC**, con dos celdas (positivas) a los 105 O, 10 N y a los 125 O, 10 N (figura 28).

Aaa – Tsm

La primera **VCC** muestra una región de asociación (negativa) en la boca del Mar de Cortés. Otra región con no muy clara definición se presenta a lo largo de 5 N (figura 29). Para la segunda **VCC** se observa un patrón más definido de asociación a lo largo de la costa de Centro América y norte de México

(negativo). Una segunda región de valores positivos se localiza al sur de 5 N, desde la costa hacia mar adentro hasta los 120 O.

Análisis de Correlación Canónica, 1993

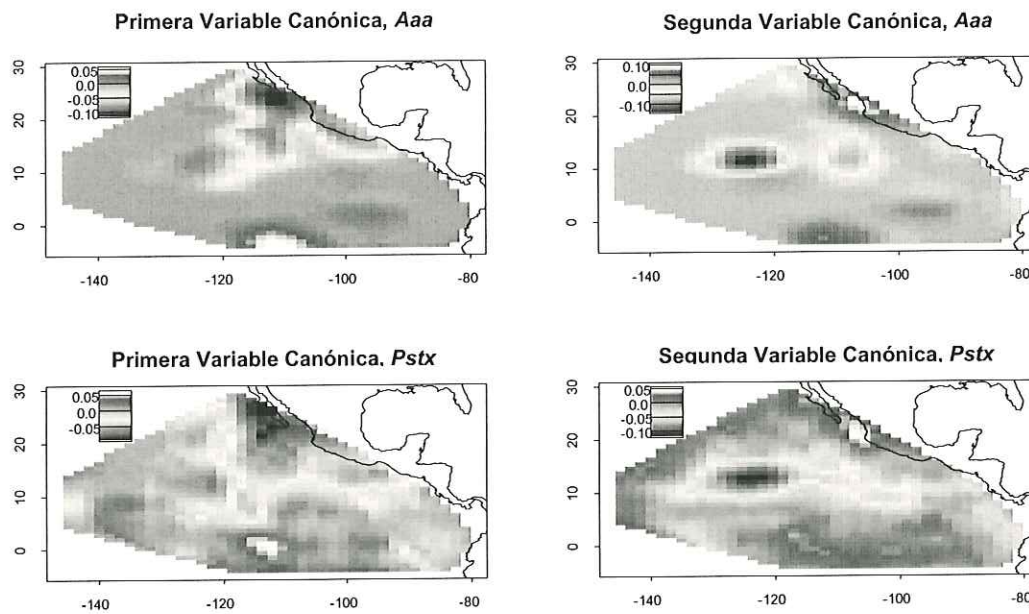


Figura 28. Primeras dos variables canónicas de análisis de correlación canónica (ACC) entre *Aaa* y *Pstx*, 1993.

Análisis de Correlación Canónica, 1993

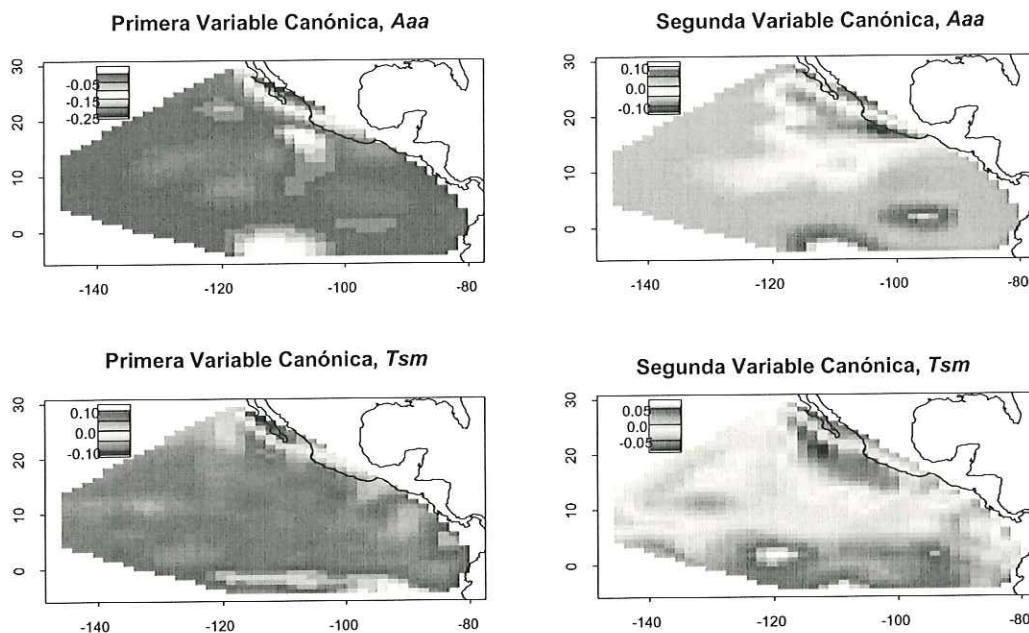


Figura 29. Primeras dos variables canónicas de análisis de correlación canónica (ACC) entre *Aaa* y *Tsm*, 1993.

Aaa – Aasm

La distribución espacial de la primera y segunda VCC es similar, en general. A lo largo de 10 N, dos celdas en 105 O y 125 O, para la primera VCC (figura 30). La segunda VCC presenta una celda más definida en 105 O a 120 O. La principal diferencia para las dos VCC se observa en el Golfo de Tehuantepec y la boca del Mar de Cortés (figura extra 1993, *Zterm*, *Ucur*, *Vcur*).

Análisis de Correlación Canónica, 1993

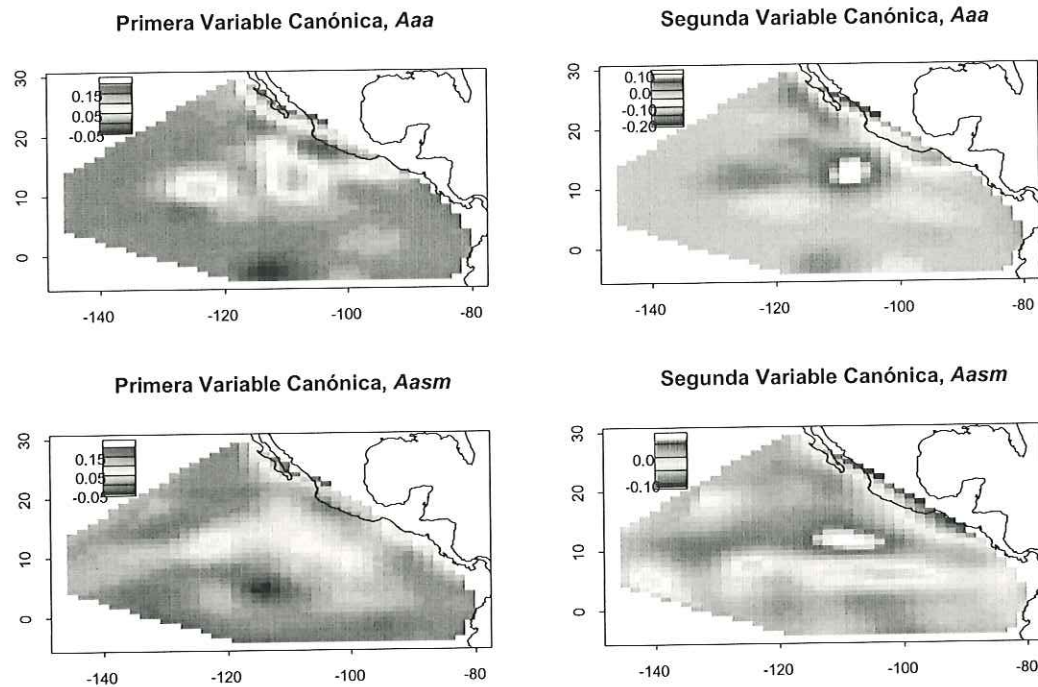


Figura 30. Primeras dos variables canónicas de análisis de correlación canónica (ACC) entre *Aaa* y *Aasm*, 1993.

1995:

Aaa* – *Aasm

La distribución espacial de la primera VCC presenta una amplia región de valores negativos en 105 O, 10 N (figura 31). Y dos áreas de valores positivos: una pequeña en las costas de México central, la segunda entre los 5 N y el Ecuador a los 110 O-120 O. La segunda VCC presenta una amplia área de valores positivos a los 118 O, 12 N, con una extensión en 5 N – 8 N desde 115 O a 90 O.

Análisis de Correlación Canónica, 1995

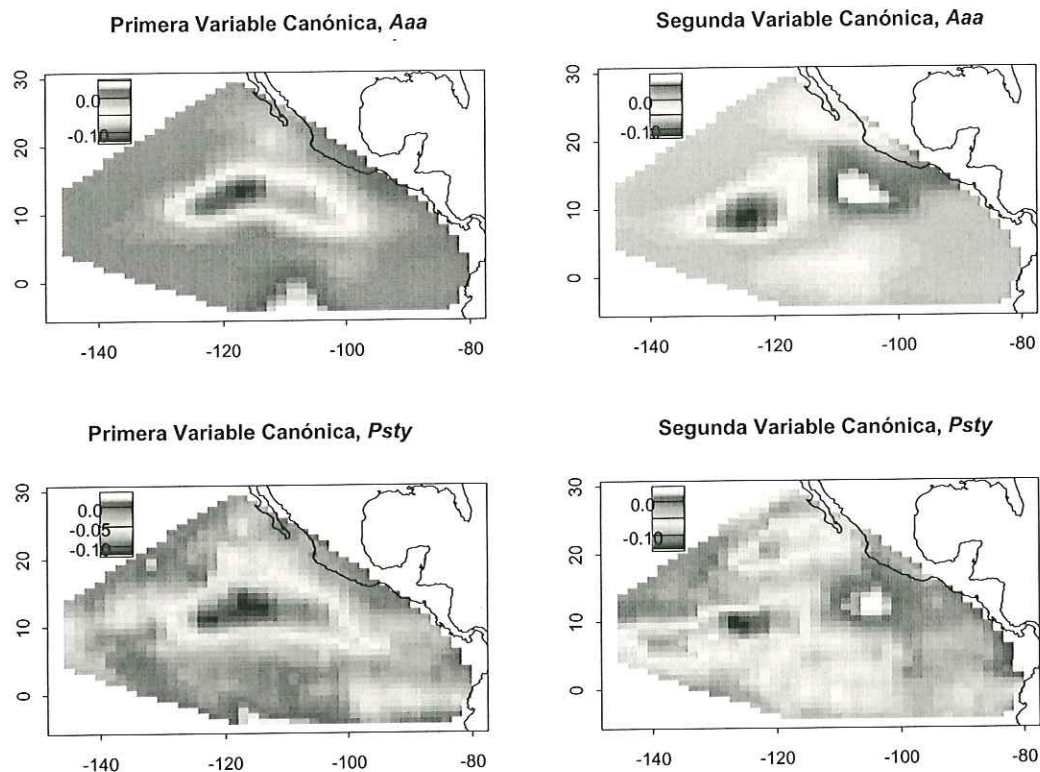


Figura 31. Primeras dos variables canónicas de análisis de correlación canónica (ACC) entre *Aaa* v *Pstv*, 1995.

Aaa – *Pstv*

La primera VC presenta una larga celda de valores negativos con su centro en 115 O, 12 N (figura 32), la cual se extiende desde 100 O a 125 O. Una contrastante área de valores positivos se localiza en el ecuador a 115 O. La segunda VC presenta dos áreas contrastantes: con valores negativos en 125 O, 10 N y positivos en 105 O, 12 N.

Análisis de Correlación Canónica, 1995

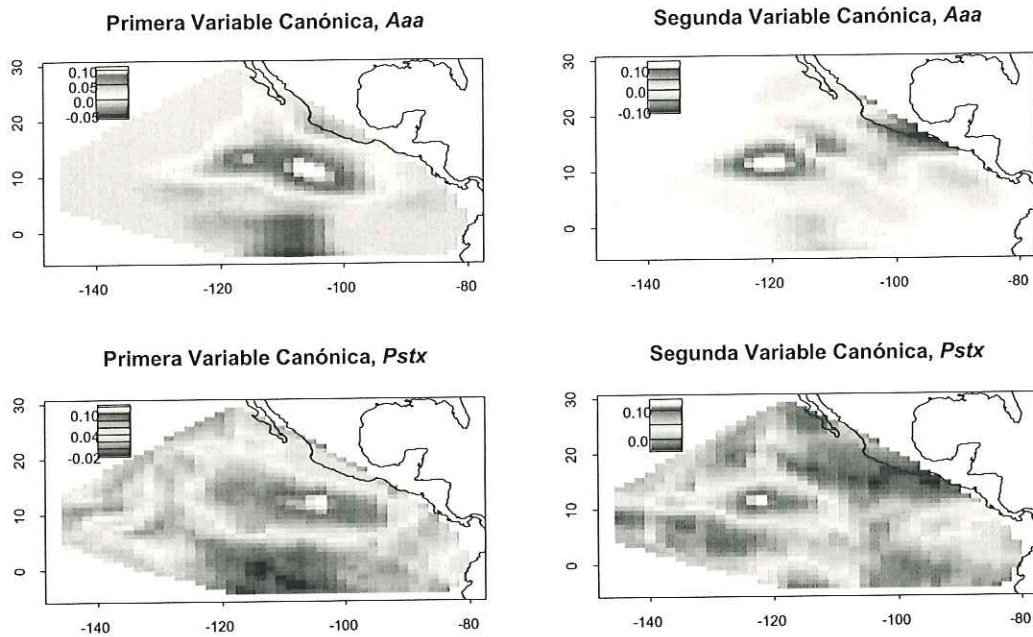


Figura 32. Primeras dos variables canónicas de análisis de correlación canónica (ACC) entre *Aaa* y *Pstx*, 1995.

Aaa – *Pstx*

Aquí se tiene un patrón casi idéntico para con *Aaa* – *Psty*, pero con los signos invertidos (figura 33).

Análisis de Correlación Canónica, 1995

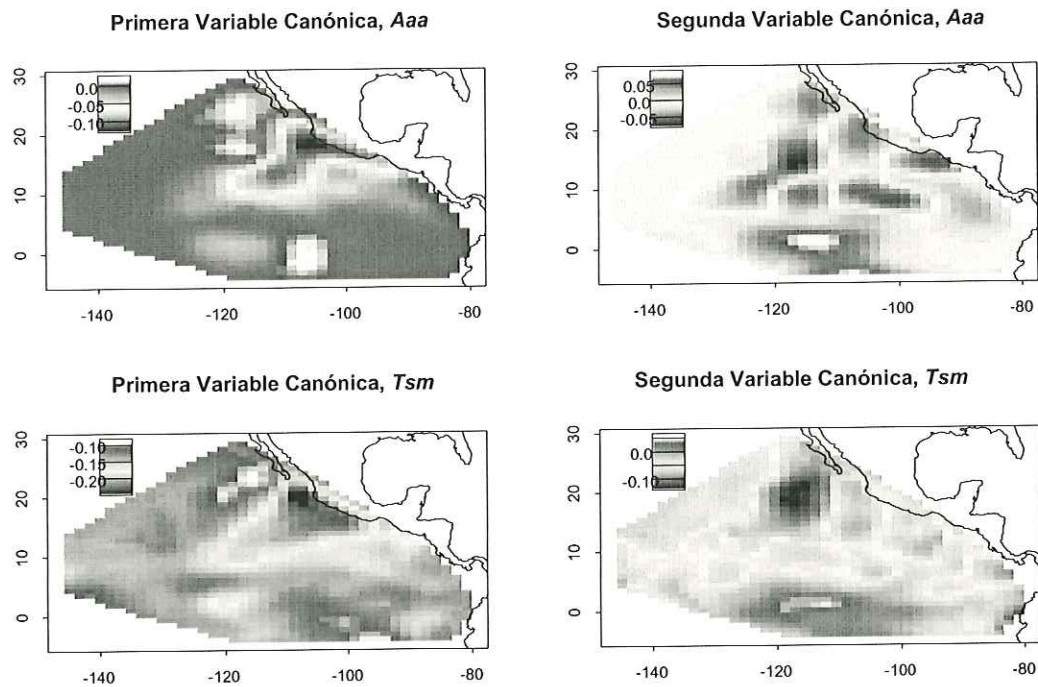


Figura 33. Primeras dos variables canónicas de análisis de correlación canónica (ACC) entre *Aaa* v *Tsm*. 1995.

Aaa – Tsm

La primera VCC presenta un área de valores negativos desde la costa de México central, hacia el suroeste a los 120 O, 10 N (figura 34). Dos áreas de valores positivos se localizan en el norte (Baja California) y en el sur entre 95 O y 105 O, en el Ecuador.

Análisis de Correlación Canónica, 1995

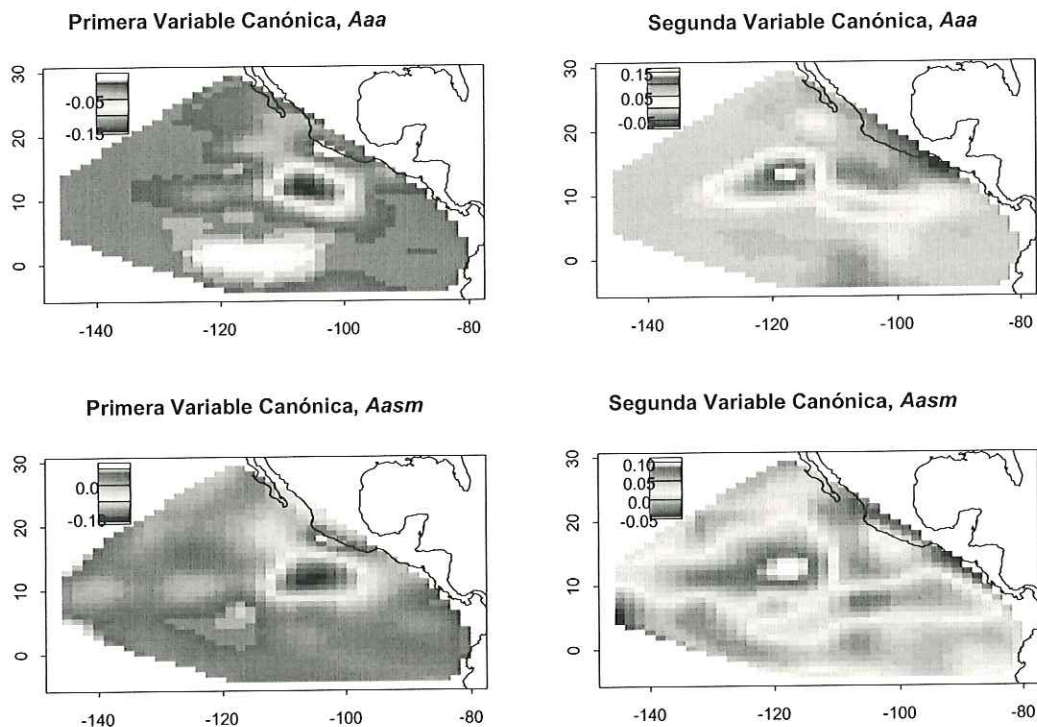


Figura 34. Primeras dos variables canónicas de análisis de correlación canónica (ACC) entre *Aaa* y *Aasm*, 1995.

1997:

Aaa – Tsm

Para la primera VCC se definen dos áreas: una región extendida (valores negativos) de 100 O a 120 O a los 10 N, la segunda se localiza cerca de la punta de la Península de Baja California, en 118 O, 20 N (figura 35). La segunda VCC presenta dos regiones de valores positivos: en la boca del Mar de Cortés e Islas Revillagigedo y a los 8 N, desde la costa hasta 115 O.

Análisis de **Correlación** Canónica, 1997

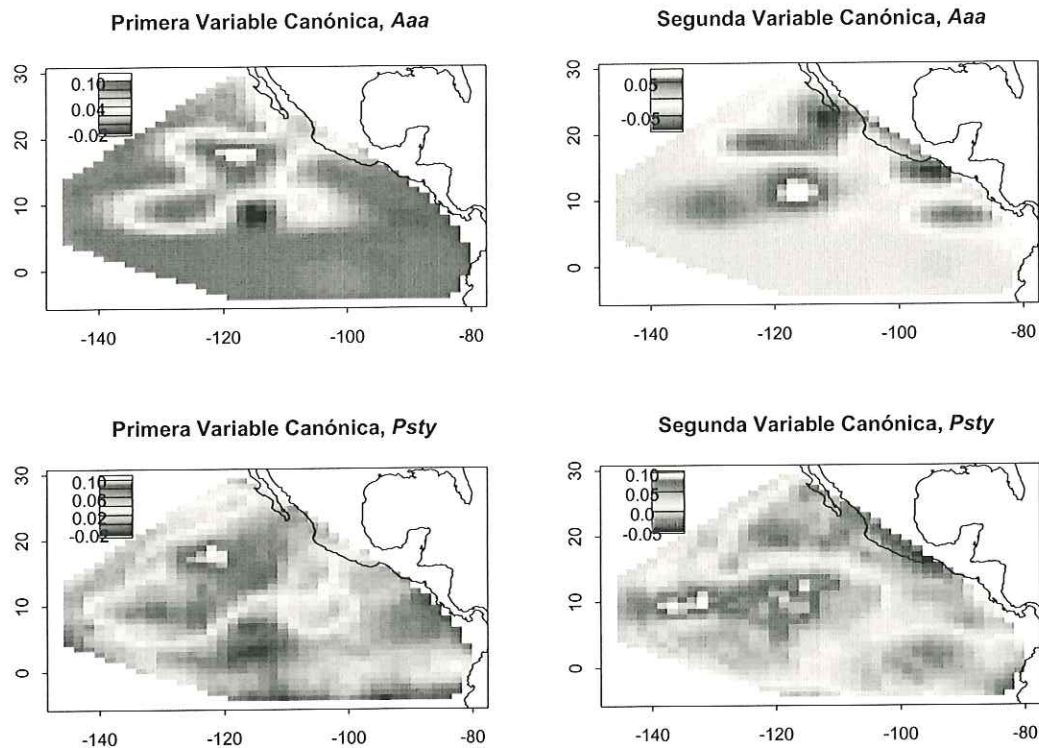


Figura 35. Primeras dos variables canónicas de análisis de correlación canónica (ACC) entre *Aaa* y *Psty*, 1997.

Aaa* – *Pstx

Aquí se observa una región sobresaliente de valores positivos para la primera VCC, con su centro en 118 O, 8 N (figura 36). Valores positivos se localizan cerca del Golfo de Tehuantepec y a los 135 O, desde 5 N a 13 N.

Análisis de Correlación Canónica, 1997

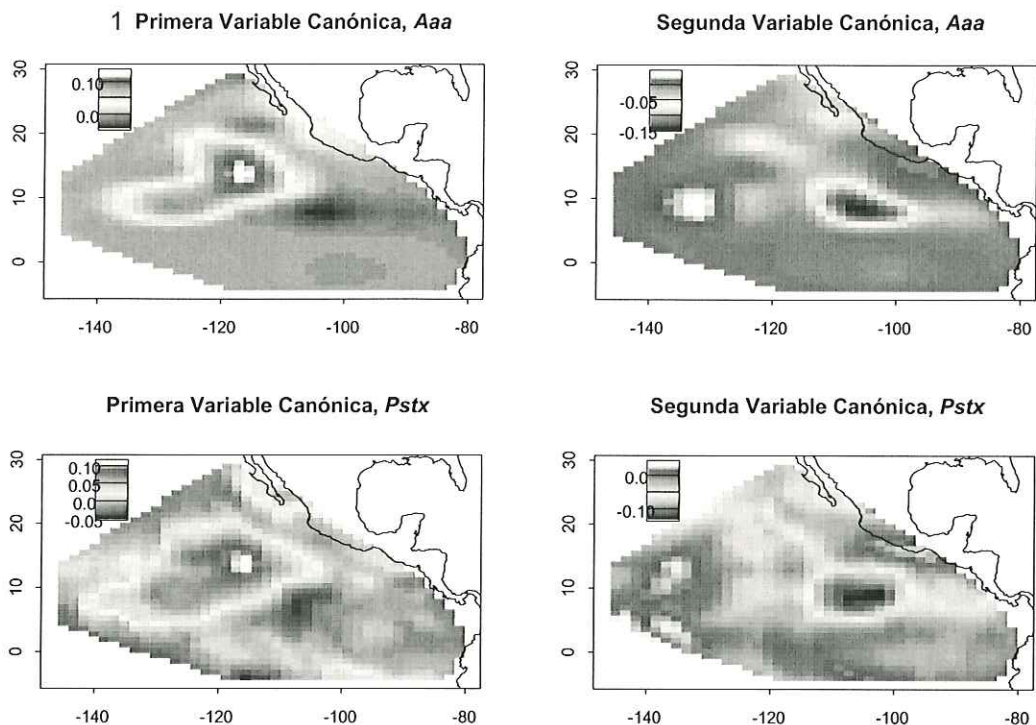


Figura 36. Primeras dos variables canónicas de análisis de correlación canónica (ACC) entre *Aaa* y *Pstx*, 1997.

Aaa – Pstx

La primera VCC muestra un patrón muy similar al de *Aaa – Pstx*. En este caso, no es visible una extensión de valores positivos a los 20 N, desde 118 O a 125 O (figura 37). No se observa un patrón similar para los otros años. La segunda VCC (negativa) se localiza a todo lo largo de la costa desde Centro América hasta el norte de México, con una extensión oceánica a los 130 O, 20 N.

Análisis de Correlación Canónica, 1997

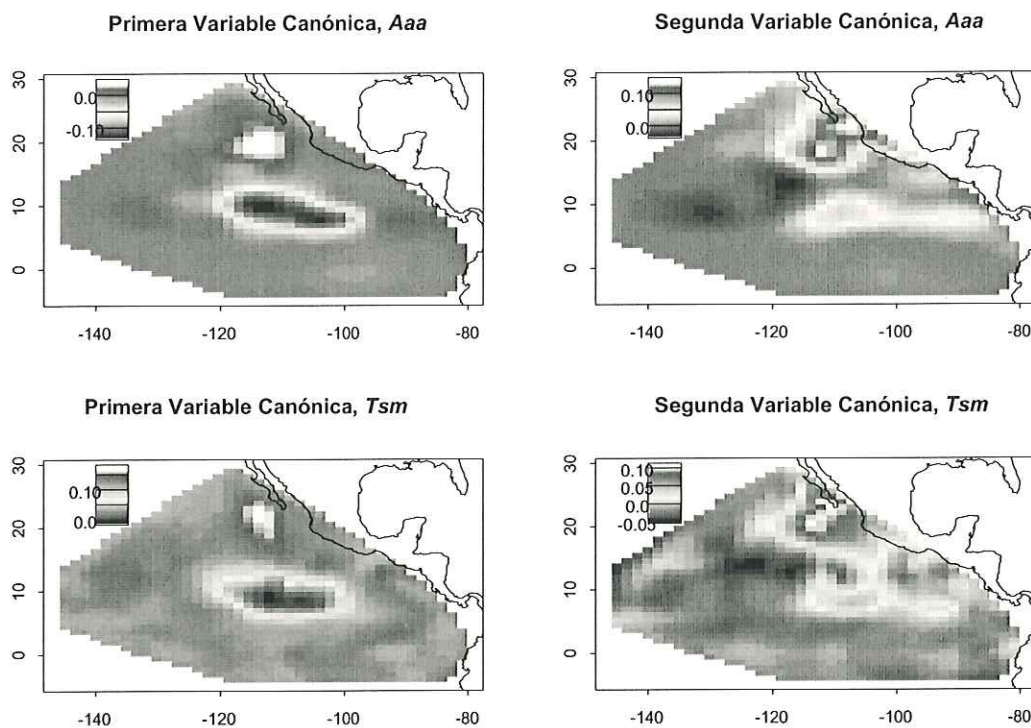


Figura 37. Primeras dos variables canónicas de análisis de correlación canónica (ACC) entre *Aaa* y *Tsm*, 1997

Aaa – *Aasm*

Se identifica una extendida región de valores negativos para la primera VCC en los 10 N -12 N desde 110 O hasta 135 O, y valores positivos se muestran en el noreste y suroeste de la primera región (figura 38). La segunda VCC presenta valores positivos en el Golfo de Tehuantepec con una extensión hacia el oeste a los 110 O, a lo largo de 10 N.

Análisis de Correlación Canónica, 1997

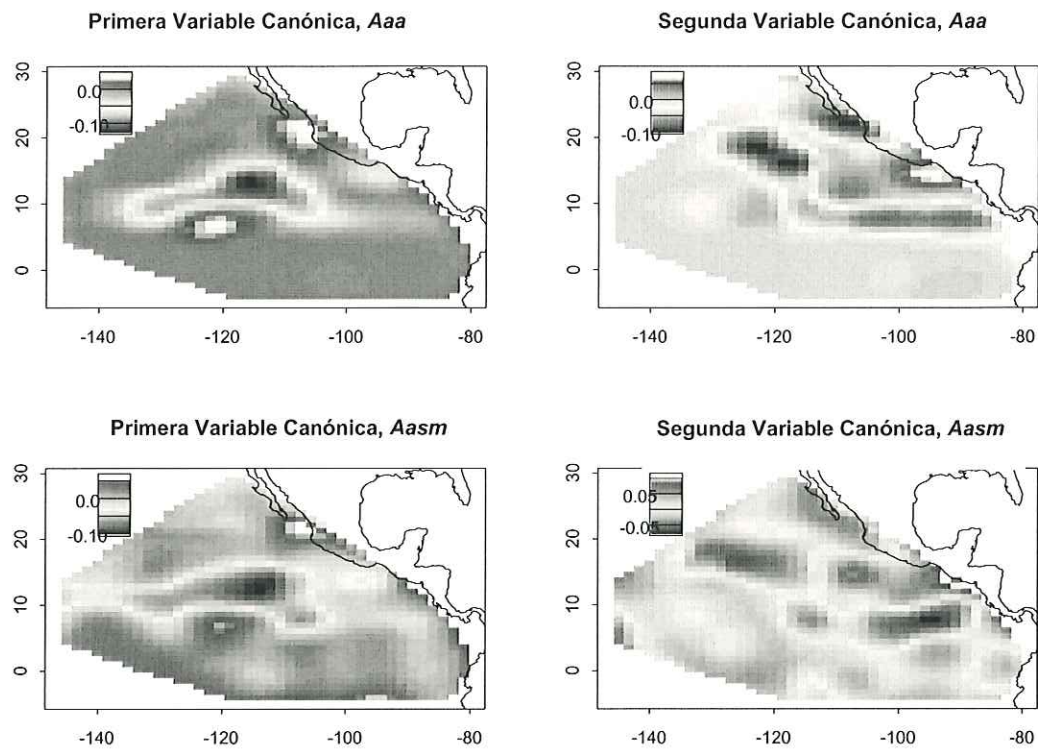


Figura 38. Primeras dos variables canónicas de análisis de correlación canónica (ACC) entre *Aaa* y *Aasm*, 1997.

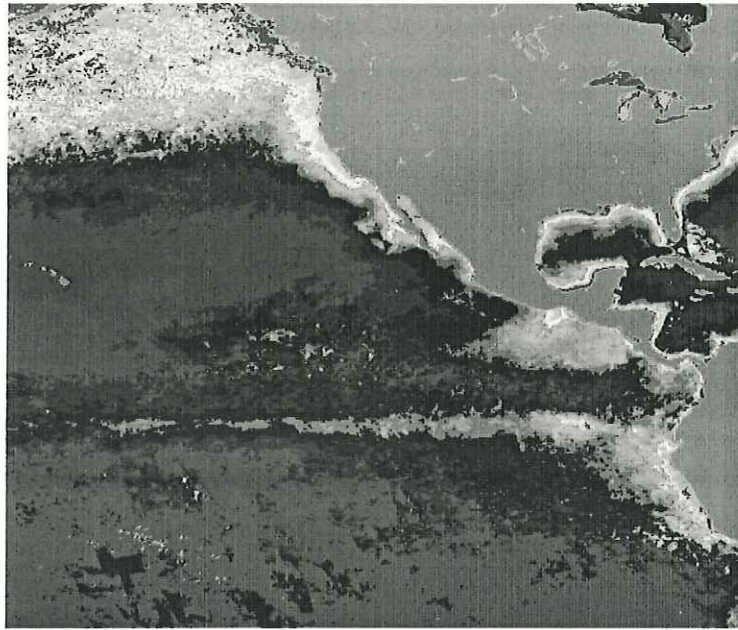


Figura 39. Concentración de clorofila de "CZCS"

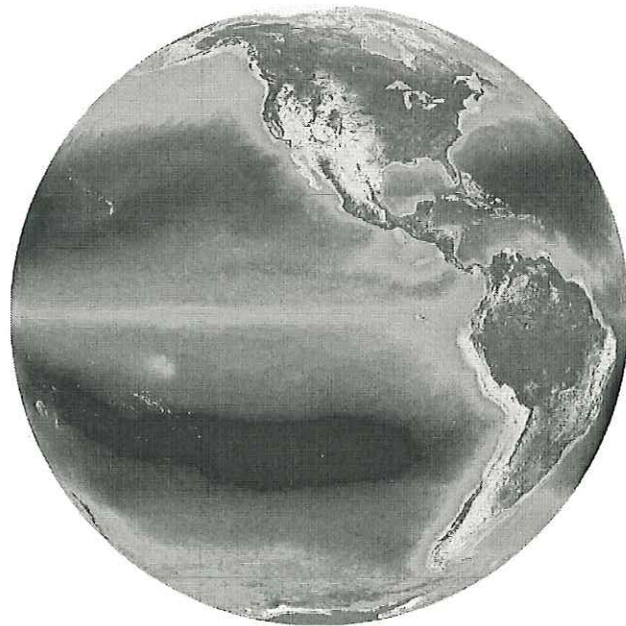


Figura 40. Concentración de clorofila de "SeaWIFS"