



INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL
CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE CIENCIAS MARINAS



REPRODUCCIÓN DE LA SARDINA DEL
PACÍFICO *Sardinops sagax* (JENYNS, 1842)
EN LA REGIÓN SUR DE LA CORRIENTE DE
CALIFORNIA.

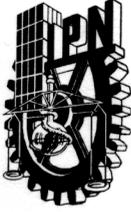
TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRO EN CIENCIAS
EN
MANEJO DE RECURSOS MARINOS

PRESENTA

GABRIELA GARCÍA ALBERTO

LA PAZ, B.C.S., JUNIO DE 2010.



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
SECRETARIA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO
ACTA DE REVISIÓN DE TESIS

En la Ciudad de La Paz, B.C.S., siendo las 12:00 horas del día 11 del mes de Mayo del 2010 se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de Tesis designada por el Colegio de Profesores de Estudios de Posgrado e Investigación de CICIMAR para examinar la tesis titulada:

“REPRODUCCIÓN DE LA SARDINA DEL PACÍFICO *Sardinops sagax* (JENYNS, 1842) EN LA REGIÓN SUR DE LA CORRIENTE DE CALIFORNIA”

Presentada por el alumno:

GARCÍA

Apellido paterno

ALBERTO

materno

GABRIELA

nombre(s)

Con registro:

A	0	8	0	0	6	4
----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------

Aspirante de:

MAESTRIA EN CIENCIAS EN MANEJO DE RECURSOS MARINOS

Después de intercambiar opiniones los miembros de la Comisión manifestaron **APROBAR LA DEFENSA DE LA TESIS**, en virtud de que satisface los requisitos señalados por las disposiciones reglamentarias vigentes.

LA COMISION REVISORA

Directores de Tesis

DR. ROBERTO FÉLIX URAGA

Director de Tesis

MC. FELIPE NESTOR MENDOZA BARRERA

Director de Tesis

DR. CASIMIRO QUIÑONEZ VELÁZQUEZ

DRA. BERTHA PATRICIA CEBALLOS VÁZQUEZ

DR. FEDERICO ANDRÉS GARCÍA DOMÍNGUEZ

PRESIDENTE DEL COLEGIO DE PROFESORES

DR. RAFAEL CERVANTES DUARTE



**IPN
CICIMAR
DIRECCION**



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

CARTA CESIÓN DE DERECHOS

En la Ciudad de La Paz, B.C.S., el día 17 del mes Mayo del año 2010, el (la) que suscribe BIOL. GABRIELA GARCÍA ALBERTO alumno(a) del Programa de MAESTRÍA EN CIENCIAS EN MANEJO DE RECURSOS MARINOS con número de registro A080064 adscrito al CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE CIENCIAS MARINAS manifiesta que es autor (a) intelectual del presente trabajo de tesis, bajo la dirección de: DR. ROBERTO FÉLIX URAGA y MC. FELIPE NERI MELO BARRERA y cede los derechos del trabajo titulado:

"REPRODUCCIÓN DE LA SARDINA DEL PACÍFICO *Sardinops sagax*
(JENYNS, 1842) EN LA REGIÓN SUR DE LA CORRIENTE DE CALIFORNIA"

al Instituto Politécnico Nacional, para su difusión con fines académicos y de investigación.

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el permiso expreso del autor y/o director del trabajo. Este puede ser obtenido escribiendo a la siguiente dirección: gabi_garalb@hotmail.com rfelix@ipn.mx fmelo@ipn.mx
Si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente del mismo.


BIOL. GABRIELA GARCIA ALBERTO
nombre y firma

AGRADECIMIENTOS

Al Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas (CICIMAR) del Instituto Politécnico Nacional (IPN) permitiéndome realizar esta investigación en sus instalaciones y en especial al Laboratorio de Dinámica Poblacional al que tuve el honor de pertenecer durante mi estancia en la Maestría.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) y al Programa de Formación de Investigadores (PIFI) de IPN por el apoyo otorgado a través de las becas, para la realización de esta investigación.

Agradezco a mi comité revisor: Dr. Casimiro Quiñónez Velázquez, Dra. Bertha Patricia Ceballos Vázquez y Dr. Federico Andrés García Domínguez, por sus valiosas observaciones y sugerencias que enriquecieron este estudio.

De manera particular agradezco al Dr. Roberto Félix Uraga y al M. en C. Felipe Neri Melo Barrera, por su dirección en esta tesis, por ser excelentes tutores académicos, por brindarme todo el apoyo, las facilidades y enseñanzas, por tenerme toda la confianza y la paciencia, pero sobretodo por brindarme su amistad, por siempre sonreír y hacerme pasar momentos muy gratos. De igual manera agradezco a sus familias que me acogieron con cariño. Mil gracias.

Agradezco al Dr. Casimiro Quiñónez Velázquez por el apoyo brindado tanto en la elaboración del trabajo, como por sus valiosas observaciones y comentarios, por los consejos otorgados y por los buenos momentos. De manera personal agradezco a su esposa por su amistad.

A todos los profesores que me instruyeron y formaron a lo largo de la Maestría, por la disposición, comprensión y paciencia mostrada.

Al C. Humberto Ceseña Amador, por su atención, amabilidad y disposición mostrada día a día, a cada uno de los estudiantes e investigadores de este centro de investigación.

Mi mayor agradecimiento a Yonadxandi Manríquez Ledezma por todo el apoyo recibido, por ser mi amiga todo este tiempo, por estar en momentos tan complicados y por darme la oportunidad de compartir esta aventura contigo. De verdad muchas gracias.

A Dana Arizmendi y Genoveva Cerdenares, por su sincera amistad, por lo buenos momentos, por comprenderme, apoyarme y hacerme reír en todo momento. Las quiero muchísimo. Gracias.

A Rocío Ronzón y Alicia León por estar presentes desde que comenzó esta aventura y brindarme su sincera amistad y por los bellos momentos que hemos pasado a lo largo de estos tres años.

A Rebeca, Mónica y Luis por brindarme la oportunidad de conocerlos, por su apoyo, sencillez y disponibilidad, pero sobretodo por los hermosos momentos que hemos pasado. Gracias por ser tan buenos amigos.

Agradezco a cada uno de mis amigos y compañeros que conocí en La Paz porque hicieron más agradable mi estancia en esta ciudad. Sin orden en especial a: Irela, Elin, Jareny, Ivette, Luis Fernando, Marian, Josué, Marcela, Saúl, Itzel, Gladys, Ale Chávez, Ricardo, Fito y Naty. Gracias.

A todas aquellas personas que me apoyaron a pesar de la distancia, y que siempre confiaron en mí. Gracias por todo.

Dedicatoria

A mis padres:

Elidia Alberto Domínguez

Andrés Manuel García Téllez

A mis hermanas y cuñados:

Laura, Ana Lilia, Javier y César

A mis sobrinos:

Omar Daniel, Valeria e Ingrid Jocelyn

*Por todo el apoyo recibido durante toda mi vida,
en especial en esta etapa. Y por el simple hecho de quererme.*

Gracias por todo.



ÍNDICE

LISTA DE TABLAS.	I
LISTA DE FIGURAS.	II
RESUMEN.	IV
ABSTRACT.	V
1. INTRODUCCIÓN.	1
2. ANTECEDENTES.	4
3. ÁREA DE ESTUDIO.	7
4. HIPÓTESIS.	10
5. OBJETIVO GENERAL.	10
5.1. Objetivos Específicos.	10
6. MATERIALES Y MÉTODOS.	11
6.1. MUESTREO.	11
6.2. PROPORCIÓN SEXUAL.	12
6.3. FACTOR DE CONDICIÓN.	12
6.3.1. Relación Peso-Longitud.	12
6.3.2. Factor de Condición de Clark y Fulton.	13
6.4. CICLO REPRODUCTIVO.	14
6.5. TALLA DE PRIMERA MADUREZ (L_{50}).	14

6.6. FACTORES AMBIENTALES.	15
6.6.1. Temperatura Superficial del Mar (TSM).	15
6.6.2. Índice de Surgencias (Surg).	15
6.6.3. Clorofila "a" (Clf a).	15
7. RESULTADOS.	16
7.1. MUESTREO.	16
7.2. PROPORCIÓN SEXUAL.	16
7.3. FACTOR DE CONDICIÓN.	19
7.3.1. Relación Peso-Longitud.	19
7.3.2. Factor de Condición de Clark y Fulton.	20
7.4. CICLO REPRODUCTIVO.	25
7.5. TALLA DE PRIMERA MADUREZ (L_{50}).	30
8. DISCUSIÓN.	34
8.1. PROPORCIÓN SEXUAL.	34
8.2. FACTOR DE CONDICIÓN.	35
8.3. CICLO REPRODUCTIVO.	38
8.4. TALLA DE PRIMERA MADUREZ (L_{50}).	40
9. CONCLUSIONES.	44

10. RECOMENDACIONES.....	45
11. REFERENCIAS.....	46
12. ANEXOS.....	58

.

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Escala de madurez morfocromática.	12
Tabla 2. Número de individuos analizados en cada una de las zonas de pesca.	16
Tabla 3. Constantes <i>a</i> y <i>b</i> de la relación peso-longitud para machos, hembras y sexos combinados para las zonas de pesca.	19
Tabla 4. Correlación de Spearman del factor de condición de Fulton en un año tipo entre las zonas de pesca.	21
Tabla 5. Correlación de Spearman entre el factor de condición de Fulton y las variables ambientales en la zona de estudio.	21
Tabla 6. Valores anuales del factor de condición de la sardina del Pacífico en las tres zonas de pesca y señalización de los eventos “El Niño” y “La Niña” (✱) en el periodo de estudio.	24
Tabla 7. Correlación de Spearman entre el factor de condición y las variables ambientales en cada zona de pesca.	25
Tabla 8. Correlación de Spearman entre la frecuencia relativa de individuos reproductores, el factor de condición de Fulton y las variables ambientales en las tres zonas de pesca.	29
Tabla 9. Valores de la L_{50} de la sardina del Pacífico por sexo y combinados en las tres zonas de pesca.	31
Tabla 10. Correlación de Spearman entre la L_{50} con el factor de condición, el % IR y las variables ambientales en las tres zonas de pesca.	33

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Esquema de la Corriente de California y localización del área de estudio.	7
Figura 2. Sardina del Pacífico <i>Sardinops sagax</i> mostrando los puntos de referencia para la medición de la Longitud Patrón (LP) y Total (LT).	11
Figura 3. Variación de la proporción sexual de un año tipo de <i>S. sagax</i> en las zonas de pesca.	17
Figura 4. Variación interanual de la proporción sexual en las zonas de pesca. . . .	18
Figura 5. Variación mensual del factor de condición en un año tipo para las zonas de pesca.	20
Figura 6. Relación entre el factor de condición y las variables ambientales en las zonas de pesca.	22
Figura 7. Variación interanual del promedio del factor de condición de <i>Sardinops sagax</i> en las tres zonas de pesca y años en el que se presenta el fenómeno de “El Niño”.	23
Figura 8. Ciclo reproductivo de la sardina del Pacífico en un año tipo para las zonas de pesca.	26
Figura 9. Porcentaje de individuos reproductores por sexo en cada zona de pesca.	27
Figura 10. Relación entre el porcentaje de individuos reproductores y el factor de condición de Fulton y con la TSM en cada zona de pesca.	28
Figura 11. Frecuencia relativa de individuos reproductores en relación con el índice de surgencias y con clorofila <i>a</i> en cada zona de pesca.	29

Figura 12. Modelos logísticos de la L_{50} para sexos combinados en cada zona de pesca.	30
Figura 13. Variación interanual de la talla de primera madurez de <i>Sardinops sagax</i> en cada zona de pesca.	32

RESUMEN

En este estudio se analizó la variación espacial y temporal del ciclo reproductivo de la sardina del Pacífico *Sardinops sagax* en la región sur de la Corriente de California y su relación con factores ambientales durante 1981 a 2005. Se utilizó información proveniente de las zonas de pesca de Bahía Magdalena (BM), Ensenada (EN) y San Pedro, California (SP). No se encontraron diferencias significativas en la proporción de sexos, por lo que se considera que en estas zonas de pesca la proporción fue de 1M:1H. El ciclo reproductivo, nos indicó que la principal época reproductiva ocurrió de enero a marzo, aunque su duración e intensidad varió ligeramente entre las zonas. El factor de condición presentó una relación inversa con el porcentaje de individuos reproductores. La mejor condición de los peces se encontró en agosto y septiembre. La temperatura superficial del mar se correlacionó significativamente, tanto con el porcentaje de individuos reproductores como con el factor de condición, en las tres zonas de pesca. Sin embargo, la correlación de estos últimos con las surgencias y la clorofila *a*, no fue significativa. La talla promedio de primera madurez (L_{50}) fue estimada para sexos combinados en cada zona de pesca: BM= 173 mm LP, EN=191 mm LP, SP= 182 mm LP, presentando una alta variabilidad interanual. Las estimaciones anuales de la L_{50} fueron mayores a la talla mínima reglamentaria de 150 mm LP. Al relacionar las estimaciones anuales de la L_{50} con los factores ambientales, no se encontraron correlaciones significativas en las tres zonas, a excepción de BM, donde fueron significativas con las surgencias y la clorofila *a*. Estos cambios interanuales en los aspectos reproductivos de la sardina del Pacífico en la zona de estudio, se deben a las variaciones del ambiente y a los cambios en su abundancia poblacional. Los resultados del presente estudio aportaran información para un mejor aprovechamiento de este recurso pesquero, que es actualmente el más abundante en el sistema de la corriente de California.

ABSTRACT

In this study the space-time variation of the reproductive cycle of the Pacific sardine *Sardinops sagax*, in the southern region of the California Current was analyzed and their relationship to environmental factors during 1981 to 2005. Information from the fishing areas of Magdalena Bay (BM), Ensenada (EN) and San Pedro, California (SP) was used. There were not significant differences in the proportion of sexes; therefore it is considered that in these fishing areas the proportion was 1M:1H. The reproductive cycle, indicated us that the main reproductive season happened from January to March, although its duration and intensity varied lightly among the areas. The condition factor presented an inverse relationship with the percentage of reproductive individuals. The best condition of fishes was in August and September. The sea surface temperature was significantly correlated with the percentage of reproductive individuals, as well as the condition factor, in the three fishing areas. However, the correlation of these with the upwelling and the chlorophyll *a*, it was not significant. The average of first maturity size (L_{50}) was calculated for sexes combined for each fishing area: BM = 173 mm LP, EN=191 mm LP, SP = 182 mm LP, presenting a high inter-annual variability. The annual estimates of the L_{50} were bigger to the minimum legal size of 150 mm LP. When relating the annual estimates of the L_{50} with the environmental factors, there were not significant correlations in the three areas, excepting BM, where there were significant values with the upwelling and the chlorophyll *a*. These inter annual changes in the reproductive aspects of the Pacific sardine in the study area, are due to the variations of the atmosphere and the changes in their population abundance. The results of the present study will contribute with information for a better use of this fishing resource that is at the moment the most abundant in the California current system.

1. INTRODUCCIÓN

La sardina del Pacífico *Sardinops sagax* (Jenyns 1842) es el recurso pesquero más abundante del Sistema de la Corriente de California (SCC). Cuando la abundancia de esta población es muy alta, su distribución va desde el sureste de Alaska hasta el sur de la Península de Baja California y Golfo de California (Kramer & Smith 1971; Parrish *et al.* 1989).

La sardina del Pacífico sostuvo la pesquería más grande de Norteamérica desde 1930 a 1945, con un máximo de 790,000 toneladas en la temporada 1936-37. El colapso de esta pesquería a partir de la década de los cincuenta (Wolf 1992), que incluyó también la región de Ensenada, determinó el desplazamiento hacia el sur de la pesquería mexicana hacia nuevas áreas, como Isla Cedros y posteriormente Bahía Magdalena (Félix-Uraga 1986). En los últimos años la captura de sardina del Pacífico ha presentado un incremento sostenido en el SCC (Wolf 1992; Félix-Uraga *et al.* 1996; McFarlane & Beamish 1999, 2001).

Los aspectos de la historia de vida de los peces tales como crecimiento, mortalidad, reproducción y la covariancia entre estos aspectos, determinan la respuesta de las poblaciones hacia la explotación (Cushing 1975). La historia de la pesquería de sardina en California es un buen ejemplo de este axioma. Una característica importante del colapso de la pesquería de sardina fue su progresión norte-sur. La gran variabilidad en la abundancia de este recurso pesquero se debe a los cambios ambientales, a la presión de pesca y a la gran variación interanual del reclutamiento (Murphy 1966; Radovich 1982).

Diversos estudios indican que el reclutamiento de la sardina es altamente variable y está relacionado con los procesos ambientales que ocurren en una escala de decenas de años. Los estudios de la relación stock-reclutamiento muestran que la abundancia de sardinias jóvenes disminuye con altos niveles de biomasa desovante (Clark & Marr 1955; Murphy 1966; MacCall 1979). En estudios más recientes se encontró que tanto los factores dependientes de la densidad, como los factores

ambientales son muy importantes para el éxito del reclutamiento (Jacobson & MacCall 1995).

El desove de la sardina del Pacífico se lleva a cabo en amplias áreas cuyos límites se expanden y contraen de año a año, dependiendo del tamaño de la población y las condiciones oceánicas. Se ha documentado que durante eventos o periodos donde dominan condiciones térmicas adversas, los stocks de pelágicos menores tienden a contraer su distribución a regiones pequeñas adyacentes a la costa, mientras que durante condiciones óptimas se presenta una expansión del área de desove (Lluch-Belda *et al.* 1991b). La selección de un sitio específico para el desove parece estar relacionado a sitios con un suministro adecuado de alimento para los adultos. La mayoría de los desoves intensos de sardina coinciden con una alta incidencia de individuos adultos con estómagos llenos, indicando una relación entre la condición alimenticia del adulto y el desove (Walsh *et al.* 1980).

El viento es a menudo la fuente de energía para el bombeo de aguas ricas en nutrientes a la capa iluminada del océano. A mayor intensidad de viento, mayor cantidad de material disponible para la producción biológica. Sin embargo, cuando el viento es muy intenso puede ser responsable de altos niveles de turbulencia y transporte horizontal que resultan en un fracaso de la actividad reproductiva de las especies (Bakun 1996). Un ejemplo de ello son las “ventanas ambientales óptimas” (Cury & Roy 1989) en donde se evalúa el efecto de la intensidad del viento sobre la reproducción de pelágicos menores. En el caso de la sardina, el pico de desove, coincide con el mínimo de velocidad de la corriente de deriva estacional hacia fuera de la costa en la capa de mezcla superficial (Bakun 1985), esto disminuye la dispersión de los huevos y larvas desde el hábitat de desove costero lo que parece ser un componente importante en la estrategia de desove de los peces pelágicos en la cuenca del sur de California (Fiedler 1986; Parrish *et al.* 1989).

Es difícil definir que parte del proceso reproductivo afecta de manera importante el reclutamiento, pero al parecer la reproducción de los pelágicos menores (desove y supervivencia larval), es afectada principalmente por la temperatura y surgencias en cada región (Hinojosa-Medina 2004).

El factor de condición es un parámetro cuantitativo del estado de bienestar de los peces y refleja las condiciones alimentarias recientes (Costa & Araújo 2003), puede ser usado como un indicador de la calidad del hábitat y es una herramienta útil para la evaluación de las pesquerías (Paukert & Rogers 2004), pues es un índice de la reserva de energía de los peces, lo que puede influenciar el potencial reproductivo, la supervivencia y el éxito del reclutamiento. Una condición pobre puede disminuir la oportunidad de supervivencia de los organismos e incrementar la mortalidad natural. La condición de los peces puede verse afectada por las interacciones entre las características del hábitat y la fisiología del pez (Lloret & Planes 2003; Morgan 2004).

Dada la importancia de la sardina del Pacífico es necesario hacer un análisis de su dinámica poblacional para fortalecer las políticas de manejo de este recurso y asegurar su sustentabilidad. El estudio de la dinámica poblacional debe considerar en cada zona de pesca, entre otros aspectos, el ciclo de madurez gonádica, épocas y áreas de reproducción, así como la talla de primera madurez y su relación con los factores ambientales que determinan el éxito reproductivo.

2. ANTECEDENTES

Se han publicado diversos trabajos que han abordado varios aspectos de la dinámica poblacional de la sardina del Pacífico. Felin y Phillips (1948), Clark y Marr (1955), Felin *et al.* (1958), Wolf (1961) reportan que al inicio de la pesquería de sardina en California, se capturaban individuos de hasta once años de edad y 270 mm de longitud patrón, aunque predominaban los de dos a cuatro años con tallas entre 196 y 235 mm. Clark (1928) reporta para California que la especie presenta un crecimiento de tipo alométrico ($b= 3.15$). En años más recientes Mendoza-Bañuelos (2001) en un estudio realizado en Bahía Magdalena para el periodo de 1986 a 1990 reporta este tipo de crecimiento, sin embargo Álvarez-Trasviña (2008) en un estudio realizado en la misma zona reporta un crecimiento isométrico ($b= 3.1$) para el periodo de 1981 a 2005

La sardina del Pacífico es una especie euritérmica que desova a niveles intermedios de surgencia (Lluch-Belda *et al.* 1991a) y es un desovador asincrónico (MacGregor 1957; Torres-Villegas *et al.* 1995; Macewicz *et al.* 1996) es decir, es un desovador parcial en cuyas gónadas es posible encontrar simultáneamente óvulos en diferentes fases de maduración (Wallace & Selmam 1981; Redding & Patiño 1993).

La temporada reproductiva de la sardina del Pacífico puede variar dependiendo de la zona, por lo que es posible encontrarlas en actividad reproductiva a lo largo del año, aunque la mayor actividad se presenta de enero a agosto entre San Francisco y Bahía Magdalena (Allen *et al.* 1990). Hernández-Vázquez (1994), menciona que la reproducción de *S. sagax* ocurre de febrero a agosto con un pico en abril y mayo en la zona sur de California. Alshtrom (1954), reporta un máximo reproductivo de abril a junio para el sur de California y norte de Baja California y para la parte central de la Península de Baja California demuestra que se reproduce todo el año, con la época reproductiva de febrero a mayo. Coterio y Valles (2006), reportan que la temporada reproductiva para la costa occidental de Baja California ocurre en febrero y marzo.

En Bahía Magdalena es posible encontrar organismos maduros durante todo el año, aunque el mayor porcentaje se presenta en febrero y marzo, con un segundo periodo

de menor importancia entre mayo y junio (Félix-Uraga 1986; Torres-Villegas *et al.* 1995a). La reproducción de la sardina del Pacífico en el Golfo de California ocurre de diciembre a abril con un pico en enero-febrero (Wong 1973; Torres-Villegas *et al.* 1986, 1995b;).

Andrews (1931, citado en Macewicz *et al.* 1996), es uno de los primeros en realizar una descripción mediante cortes histológicos de las diferentes fases por las que atraviesa la gónada durante la época reproductiva de *S. sagax* para el sur de California. Alarcón *et al.* (1984), Goldberg *et al.* (1984), Retamales y González (1984), Aguilera *et al.* (1986), Chong *et al.* (1991) y Herrera *et al.* (1994), estudiaron el desarrollo ovárico de la sardina del sistema Chile-Perú por métodos histológicos describiendo el proceso con escalas de madurez desde cuatro hasta ocho estadios. Además determinaron que la época reproductiva en este sistema ocurre en los meses de abril a octubre, presentándose la mayor actividad en agosto-septiembre y un segundo evento en febrero-marzo de menor intensidad.

En México, uno de los primeros estudios sobre aspectos reproductivos de *Sardinops sagax* es el de Torres-Villegas (1986), quién realizó una descripción histológica de las gónadas en Bahía Magdalena, encontrando que la temporada de reproducción tiene dos máximos, uno en invierno y otro en verano. Por otro lado, Torres-Villegas *et al.* 1995b reportan que el evento reproductivo para esta especie ocurre en un amplio intervalo de temperatura (16-27 °C) y se sugiere que el desarrollo embrionario en Bahía Magdalena es más rápido que en latitudes más altas.

Las mayores áreas de desove de *S. sagax* se localizan alrededor de las islas en el sur de California (34° N) y frente a la parte central de Baja California (23° N) (Parrish *et al.* 1989; Hernández-Vázquez 1994). Sin embargo, en algunas temporadas el desove se extiende hacia el norte en respuesta a cambios favorables en el hábitat. Los requerimientos de temperatura para el desove son flexibles, ya que los huevos de sardina son más comunes en temperaturas de 22 a 25° C en el Golfo de California, de 17 a 21° C frente al centro y sur de la Península de Baja California y de 13 a 15° C frente a las costas de California (Lluch-Belda *et al.* 1991a).

Hay evidencias de que la mayor parte de las sardinas adultas capturadas en California provienen de las áreas de crianza ubicadas frente a California y el norte de Baja California (Clark 1947; Ahlstrom 1966). Los stocks masivos de peces pelágicos solo son posibles en áreas donde la productividad es alta. Las áreas de surgencias en las costas de California y Baja California están entre las más productivas del mundo, y las surgencias se reconocen como una causa fundamental de esta productividad (Nelson 1979). La combinación de la temperatura y las surgencias parecen determinar el espacio y tiempo del desove de la sardina debido a que la temperatura es un factor que influye sobre la actividad reproductora de los organismos, regula los procesos metabólicos, la velocidad a la que éstos se realizan y es un factor determinante en la distribución de los organismos (Hinojosa-Medina 2004).

La sardina madura al primer año de edad con niveles bajos de biomasa, mientras que con niveles altos de biomasa la edad de primera madurez aumenta (MacCall 1979; Macewicz *et al.* 1996), en un estudio realizado a lo largo de la costa de California y Baja California en 1994, estimaron que la sardina del Pacífico alcanza la talla de primera madurez a los 158.6 mm de longitud patrón (LP), similar a la de Bahía Magdalena, que fue de 156.4 mm LP (Álvarez-Trasviña 2008), mientras que la talla de primera madurez determinada para el Golfo de California fue de 146-150 mm de LP (Torres-Villegas *et al.* 1986).

Los niveles poblacionales bajos de la sardina del Pacífico en California estuvieron asociados con altos factores de condición y mayores tallas promedio de los peces y viceversa (MacGregor 1959). La mejor condición de la sardina del Pacífico, tanto en Bahía Magdalena como en el Golfo de California, se presenta en los meses de verano y la más pobre durante el invierno (Wong 1973, Álvarez-Trasviña 2008).

3. ZONA DE ESTUDIO

La zona de estudio comprende tres áreas localizadas en la región sur de la Corriente de California (CC): Bahía Magdalena, B.C.S., Ensenada, B.C. y San Pedro, California, E.U.A. (Figura 1). La Corriente de California se origina de la Corriente del Pacífico Norte la cual se divide en dos: la Corriente de Alaska, que se dirige hacia el norte y la Corriente de California que fluye hacia el sur, paralela a la costa desde Columbia Británica en Canadá, hasta la península de Baja California (Aguirre-Gómez 2001, Lluch-Belda *et al.* 2003).

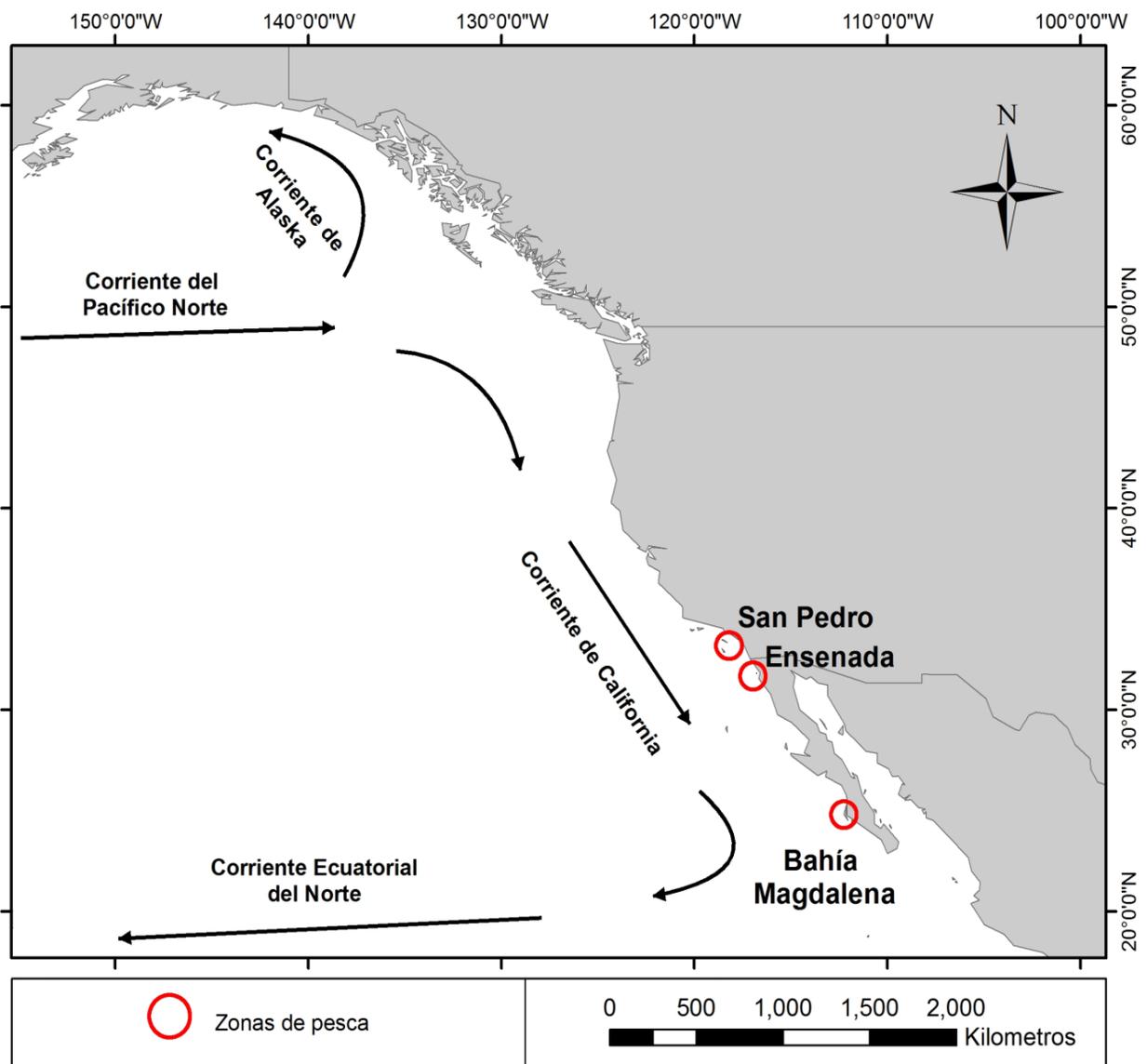


Figura 1. Esquema de la Corriente de California y localización del área de estudio.

La CC es una corriente ancha (200-400 km), de profundidad somera (0-100 m) y flujo lento (25 cm/ s), se caracteriza por su temperatura y salinidad bajas, calentándose conforme avanza hacia el sur. Debido a las bajas temperaturas tiene concentraciones de oxígeno disuelto altas a nivel superficial, con una disminución de norte a sur. La clorofila *a* muestra una marcada variación espacial y temporal cerca de la costa, ya que a nivel oceánico permanece más o menos constante todo el año, pero durante la época de surgencias se obtienen los contenidos máximos de este pigmento en la zona costera (Lynn & Simpson 1987; de la Lanza-Espino 2001). La surgencia costera es posiblemente el proceso dominante que más afecta la estructura física y ecológica de la CC. Las surgencias de primavera y verano afectan de manera significativa la circulación regional y local, la estabilidad y estructura de la termoclina y el intercambio de las masas de agua costera y del océano profundo, a esto se debe la alta productividad biológica de este sistema de corriente (Schwing *et al.* 2000).

La CC se relaja durante el verano, mientras que la Contracorriente Ecuatorial (costera) se intensifica y calienta el área hasta un máximo en septiembre. Durante la época fría del año, el agua de la CC se extiende a lo largo de la costa de la península de Baja California e incluso ingresa en el Golfo de California. En esta época, el viento induce la surgencia y ocurre el enriquecimiento de las aguas (marzo-junio), simultáneamente con la advección hacia al sur de la Corriente de California. Durante el verano, la surgencia se relaja hasta un mínimo, se incrementa la temperatura y las aguas empobrecidas cubren la mayor parte del área (Lluch-Belda *et al.* 2003).

San Pedro, California, E.U.A. se localiza dentro de la Bahía del Sur de California. La circulación de las aguas en esta zona es muy compleja debido a la presencia de crestas, bancos e islas, sin embargo se sabe que está fuertemente influenciada por la variabilidad estacional de la CC (Tsuchiya 1980, Hewitt 1981).

La zona de pesca de Ensenada, Baja California, abarca desde la Bahía de Todos Santos hasta Bahía San Quintín. Durante los meses de primavera y verano las condiciones frías de esta región se relacionan a los afloramientos fuera de la costa, influenciados por el sistema de la corriente de California (Álvarez-Borrego & Álvarez-

Borrego 1982). En esta región se registran altas concentraciones de clorofila *a* (0.36 a 1.95 mg/m³) por lo que es una zona de alta productividad (de la Lanza-Espino 2001).

Bahía Magdalena, B.C.S., tiene tres zonas geomorfológicamente distintas: Zona de Canales (137 km²) ubicada al noroeste; Bahía Magdalena (883 km²) situada en la parte central del complejo y Bahía Almejas (370 km²) situada al sureste. El área oceánica adyacente a Bahía Magdalena es una zona típica de surgencias, donde los nutrientes son introducidos al sistema por medio de una combinación entre el transporte vertical de la surgencia y el horizontal producido por intensas corrientes de marea. La máxima actividad de surgencia se presenta durante la primavera (Funes-Rodríguez *et al.* 2007). La pesca de sardina se realiza principalmente dentro de Bahía Magdalena, aunque en los últimos años (2000 a la fecha) han aumentado los viajes de pesca fuera de la bahía hacia la zona norte (Eduardo Álvarez, Pesquera México, com. pers.).

4. HIPÓTESIS

Las variaciones latitudinales y temporales en la reproducción de la sardina de Pacífico *Sardinops sagax* están relacionadas a los cambios de temperatura, surgencias y clorofila *a*.

5. OBJETIVO GENERAL

Determinar la variación espacial y temporal del ciclo reproductivo de la sardina del Pacífico *Sardinops sagax* en la región sur de la Corriente de California y su relación con algunos factores ambientales, durante el periodo de 1981 a 2005.

5.1. Objetivos Específicos

- Estimar la proporción sexual de la *S. sagax* en el área de estudio.
- Estimar las variaciones temporales del factor de condición de *S. sagax* en el área de estudio.
- Estimar los cambios espaciales y temporales del ciclo reproductivo de *S. sagax* en el área de estudio.
- Estimar la talla de primera madurez de *S. sagax* en el área de estudio.
- Evaluar la relación entre el ciclo reproductivo, el factor de condición y la talla de primera madurez con las variables ambientales.

6. MATERIALES Y MÉTODOS

6.1. MUESTREO

Los datos para este estudio se obtuvieron de muestreos mensuales, realizados por personal del Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas (CICIMAR), de la captura de sardina en Bahía Magdalena desde 1981 a 2005. Los datos en Ensenada fueron obtenidos por personal del Centro Regional de Investigación Pesquera (CRIP-El Sauzal) de 1989 a 2002. Los de San Pedro, correspondan al período de 1986 a 2005 y fueron proporcionados por personal del Southwest Fisheries Science Center (SWFSC) de La Jolla, California, E.U.A.

El muestreo efectuado en cada una de las zonas de pesca consistió en recolectar de la banda de desembarque o directamente de la bodega de los barcos aproximadamente 100 organismos elegidos al azar, a los cuales se les midió la longitud patrón, registrándose su frecuencia de aparición en intervalos de 5 mm (muestreo masivo). De cada intervalo de longitud se eligieron al azar hasta cinco peces (muestra biológica) a los que se les registro en el laboratorio la longitud patrón (LP) y total (LT) (± 1 mm) (Figura 2), el peso total (PT) y eviscerado (PE) (± 0.1 g). Los organismos se diseccionaron para exponer las gónadas y determinar el sexo y la madurez gonádica con base en la escala propuesta por Holden y Raitt (1975). La descripción de cada estadio se encuentra en la Tabla 1.

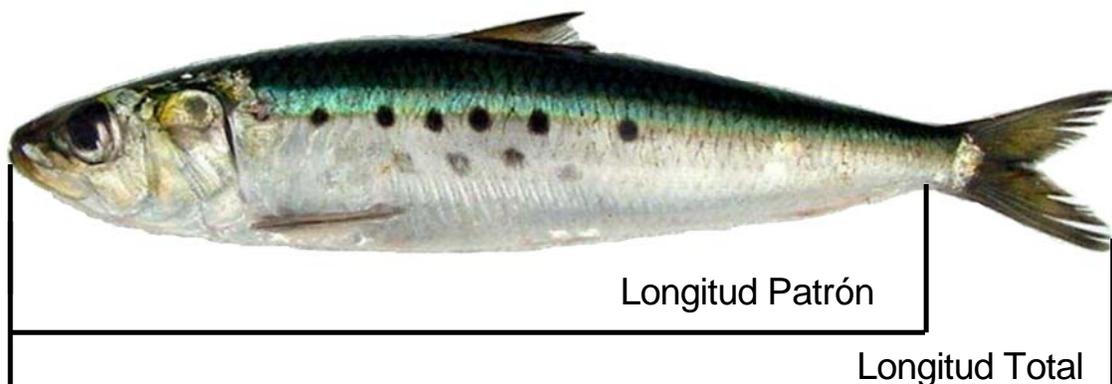


Figura 2. Sardina del Pacífico *Sardinops sagax* mostrando los puntos de referencia para la medición de la Longitud Patrón (LP) y Total (LT).

Tabla 1. Escala de madurez morfocromática (Holden y Raitt 1975).

Fase	Estadio	Descripción macroscópica de las gónadas
I	Inmaduro	Ocupan un tercio de la longitud de la cavidad abdominal. Testículos y ovarios blancuzcos a rosáceos, traslucidos. Óvulos invisibles a simple vista.
II	Desarrollo o Recuperación	Ocupan la mitad de la longitud de la cavidad abdominal. Testículos blancuzcos, más o menos simétricos. Ovarios rosáceos, traslucidos. Óvulos visibles a simple vista.
III	En maduración	Ocupan dos tercios de la longitud de la cavidad abdominal. Testículos blancuzcos a crema. Ovarios de color rosáceo amarillo, con aspecto granular. No hay óvulos transparentes o traslucidos visibles.
IV	Maduro	Ocupan de dos tercios a toda la longitud de la cavidad abdominal. Testículos blancuzcos crema, blandos. Ovarios de color naranja rosáceo con vasos sanguíneos superficiales visibles. Óvulos grandes, maduros, transparentes.
V	Posdesove	Ocupan la mitad de la longitud de la cavidad abdominal. Paredes flojas. Sanguinolentos o flácidos. Pueden contener restos de los óvulos opacos maduros, en desintegración, oscurecidos o traslucidos.

Se realizó un análisis exploratorio de datos (longitud total, longitud patrón, peso total, peso eviscerado), para depurar la base de datos (Salgado-Ugarte 1992).

6.2. PROPORCIÓN SEXUAL

Se calculó la proporción sexual de la sardina del Pacífico en forma anual y global en cada zona. Se aplicó una prueba de chi cuadrada (χ^2) para determinar si existen diferencias significativas en dicha proporción (Zar 1996), teniendo como hipótesis que la proporción entre los sexos es un macho por cada hembra (1M:1H).

6.3. FACTOR DE CONDICIÓN

6.3.1. Relación Peso – Longitud

Con el fin de determinar posibles diferencias en la relación peso-longitud entre machos y hembras se realizó un análisis F para pendientes y elevaciones (análisis de covarianza) (Zar 1996), utilizando los datos de longitud patrón y peso total. De

acuerdo con esta prueba se estableció la relación peso-longitud (Ricker 1975) de manera anual y global por medio de la siguiente ecuación:

$$P = a L^b$$

Donde:

P = peso total (g)

L = longitud patrón (mm)

a y b = constantes

Los valores de las constantes se obtuvieron por medio de una regresión no lineal. Se analizó el valor del parámetro “b” para determinar el tipo de crecimiento de esta especie. Se dice que el crecimiento es isométrico cuando “b” es igual a 3, y alométrico si es distinto de 3 (Pauly 1984). Se aplicó una prueba de t-student para determinar si existen diferencias significativas entre el valor encontrado de “b” y el teórico de $b=3$.

6.3.2. Factor de Condición de Clark y Fulton

Para establecer el estado de condición de los peces de manera anual y global, se utilizó el parámetro “b” de la relación peso-longitud. Con el peso total del pez se calculó el factor de condición de Fulton y con el peso eviscerado se calculó el factor de condición de Clark, de acuerdo a Nikolsky (1963). Las ecuaciones matemáticas utilizadas fueron:

$$FC = \left(\frac{Pe}{L^b} \right)$$

Clark

$$FC = \left(\frac{P}{L^b} \right)$$

Fulton

Donde:

FC = Factor de condición

Pe = Peso eviscerado (g)

P = Peso total (g)

L = Longitud patrón (mm)

b = Pendiente de la relación peso-longitud

Con el FC de Clark es posible definir la verdadera condición del pez sin el efecto del peso de las gónadas y el contenido intestinal, ya que pueden enmascarar la dinámica de la condición del pez. Para la zona de San Pedro, California, solo se calculó el factor de condición de Fulton debido a que no se contó con los datos de peso eviscerado.

6.4. CICLO REPRODUCTIVO

Para determinar el ciclo reproductivo, los datos de madurez registrados según la escala propuesta por Holden y Raitt (1975), se agruparon mensualmente, de esta manera la mayor abundancia de individuos maduros y en posdesove definió la época reproductiva. Este análisis se realizó de manera global construyendo un año tipo para cada zona de pesca.

Para analizar de manera cuantitativa el periodo reproductivo se agruparon los organismos maduros y en posdesove definiéndolos como individuos reproductores (% IR). Para establecer si había diferencias significativas en el % IR debidas al sexo, se aplicó un análisis no paramétrico de Kruskal-Wallis. La relación entre las variables ambientales y el % IR se estableció a través del análisis de correlación de Spearman.

6.5. TALLA DE PRIMERA MADUREZ (L_{50})

Por medio del modelo logístico (Sparre y Venema 1992), se obtuvo la longitud media de primera reproducción o longitud media de maduración (L_{50}) que se define como la longitud a la cual el 50% de los individuos son sexualmente maduros. Para esto se utilizó la talla y la proporción de organismos con actividad reproductiva (estadios III, IV y V) en cada zona de pesca en forma anual y global.

$$P = \frac{1}{1 + e^{-(a+(b*LP))}}$$

Donde:

P = Proporción de peces con actividad reproductiva (estadios III, IV y V)

LP = Longitud patrón

a y b = constantes

6.6. FACTORES AMBIENTALES

Los factores ambientales fueron relacionados con las variables reproductivas (%IR, FC y L_{50}) utilizando para ello el análisis de correlación de Spearman (R_s).

6.6.1. Temperatura superficial del mar (TSM)

Los datos de TSM fueron proporcionados por el Hadley Center Global Sea Ice and Sea Surface Temperature (HadISST) de Inglaterra. Estos datos son promedios mensuales de TSM referidos a cuadrantes de 1° de latitud por 1° de longitud, localizados en Bahía Magdalena, Ensenada y San Pedro, para el período de 1981 a 2005. Se graficó la TSM para establecer la variación estacional e interanual en cada zona de pesca durante el periodo de 1981 a 2005 y se estableció la relación con las variables reproductivas.

6.6.2. Índice de surgencias (Surg)

Los índices de surgencias frente a cada zona de pesca, fueron obtenidos del sitio de Internet del Pacific Fisheries Environmental Laboratory de la NOAA:

<ftp://orpheus.pfeg.noaa.gov/outgoing/upwell/monthly/upindex.mon> [Fecha de acceso: 28 de septiembre de 2009], los cuales se refieren a m^3/s por 100 km de costa (índice de Bakun). Este índice se analizó gráficamente para establecer su variación estacional e interanual en cada zona de pesca durante el periodo de estudio.

6.6.3. Clorofila “a” (Clf a)

Los datos de clorofila “a” de cada zona de pesca, fueron proporcionados por el M. en C. Ricardo García Morales (Depto. de Oceanología, CICIMAR), obtenidos de imágenes satelitales (Modis-SeaWiFS) con 1 km de resolución tipo HRPT (High Resolution Picture Transmission), en formato HDF (Hierarchical Data Format), obtenidas de Scripps Institution of Oceanography, University of California, para los años 1985-1986 y 1997-2005. Los datos de clorofila “a” (mg/m^3) se analizaron gráficamente para establecer su variación estacional e interanual en cada zona de pesca durante el periodo de estudio.

7. RESULTADOS

7.1. MUESTREO

Se registraron los datos de 77,754 individuos, de los cuales 16,121 fueron de Bahía Magdalena (1981-2005), 8,354 de Ensenada (1989-2002) y 53,279 de San Pedro de 1986 a 2005 (Tabla 2). Los detalles de los muestreos anuales en cada zona se presentan en los anexos 1, 2 y 3.

Tabla 2. Número de individuos analizados en cada una de las zonas de pesca.

	Machos	Hembras	Indeterminados	Total
Bahía Magdalena	6,998	8,482	641	16,121
Ensenada	3,683	4,330	341	8,354
San Pedro	23,736	27,309	2,234	53,279
Total	34,417	40,121	3,216	77,754

Los organismos indeterminados son aquellos a los que no se les pudo determinar el sexo por el deterioro de las gónadas. Estos individuos no se incluyeron en los análisis posteriores.

7.2. PROPORCIÓN SEXUAL

La proporción sexual de la sardina del Pacífico en la zona de Bahía Magdalena fue de 1M:1.2H. Para la zona de Ensenada la proporción fue 1M:1.18H y para San Pedro fue de 1M:1.15H. No se encontraron diferencias significativas (χ^2 ; $p>0.05$) con respecto a la proporción teórica (1M:1H) en las tres zonas de estudio.

El análisis de la proporción sexual de los meses en las zonas de pesca no mostró diferencias significativas (χ^2 ; $p>0.05$) respecto a la proporción teórica 1M:1H, aunque las hembras son ligeramente más abundantes en todos los meses sobre todo entre los meses de agosto a octubre, siendo más evidente en Bahía Magdalena (Figura 3, A, B y C).

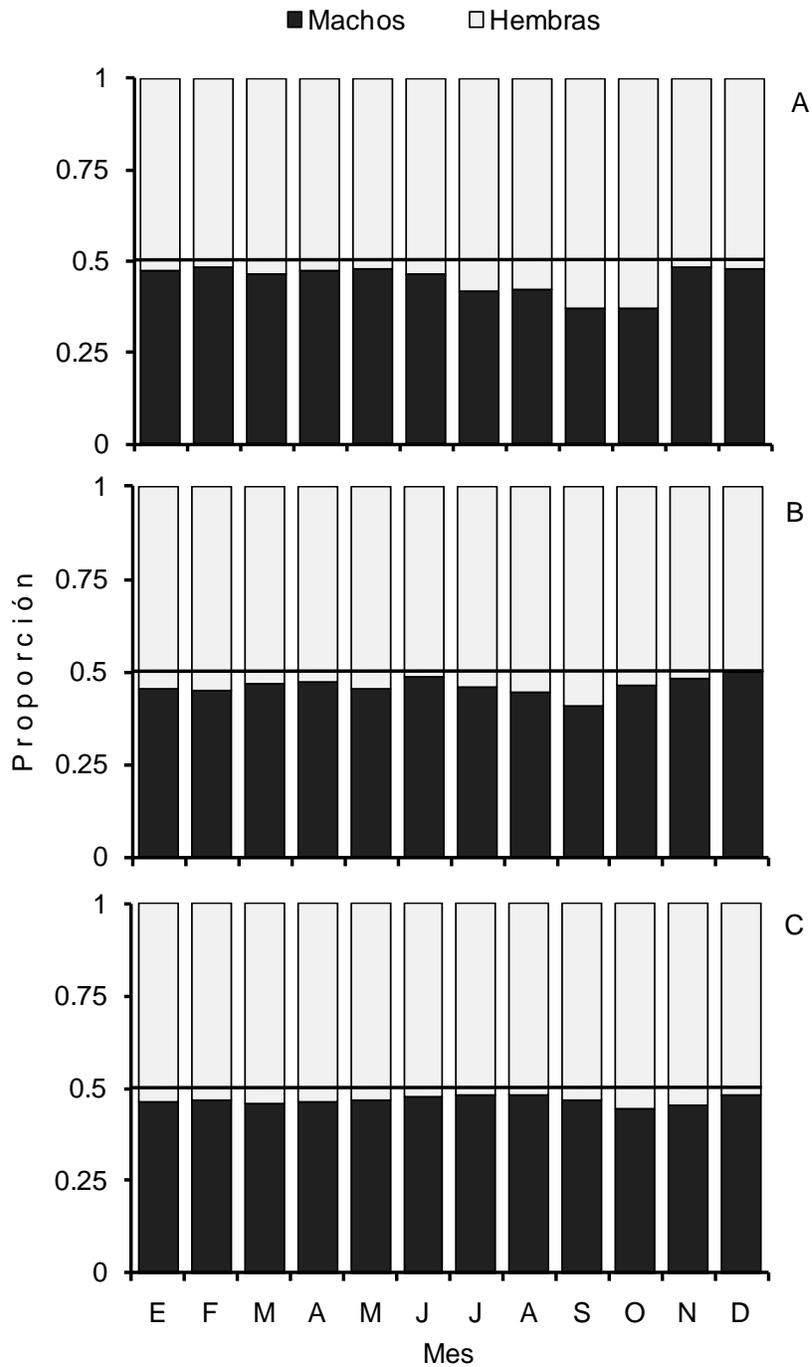


Figura 3. Variación de la proporción sexual de un año tipo de *S. sagax* en las zonas de pesca: A) Bahía Magdalena, B) Ensenada y C) San Pedro.

El análisis interanual de la proporción sexual en las tres zonas de pesca (Figura 4) no mostro diferencias significativas (χ^2 ; $p > 0.05$) respecto a la proporción teórica 1M:1H, excepto en el año de 2004 (χ^2 ; $p < 0.05$) en la zona de Bahía Magdalena. A pesar de eso, en la mayoría de los años, las hembras tienden a ser más abundantes,

principalmente en Bahía Magdalena, particularmente en los últimos años (Figura 4A), en este sentido la zona de San Pedro es la más homogénea (Figura 4C).

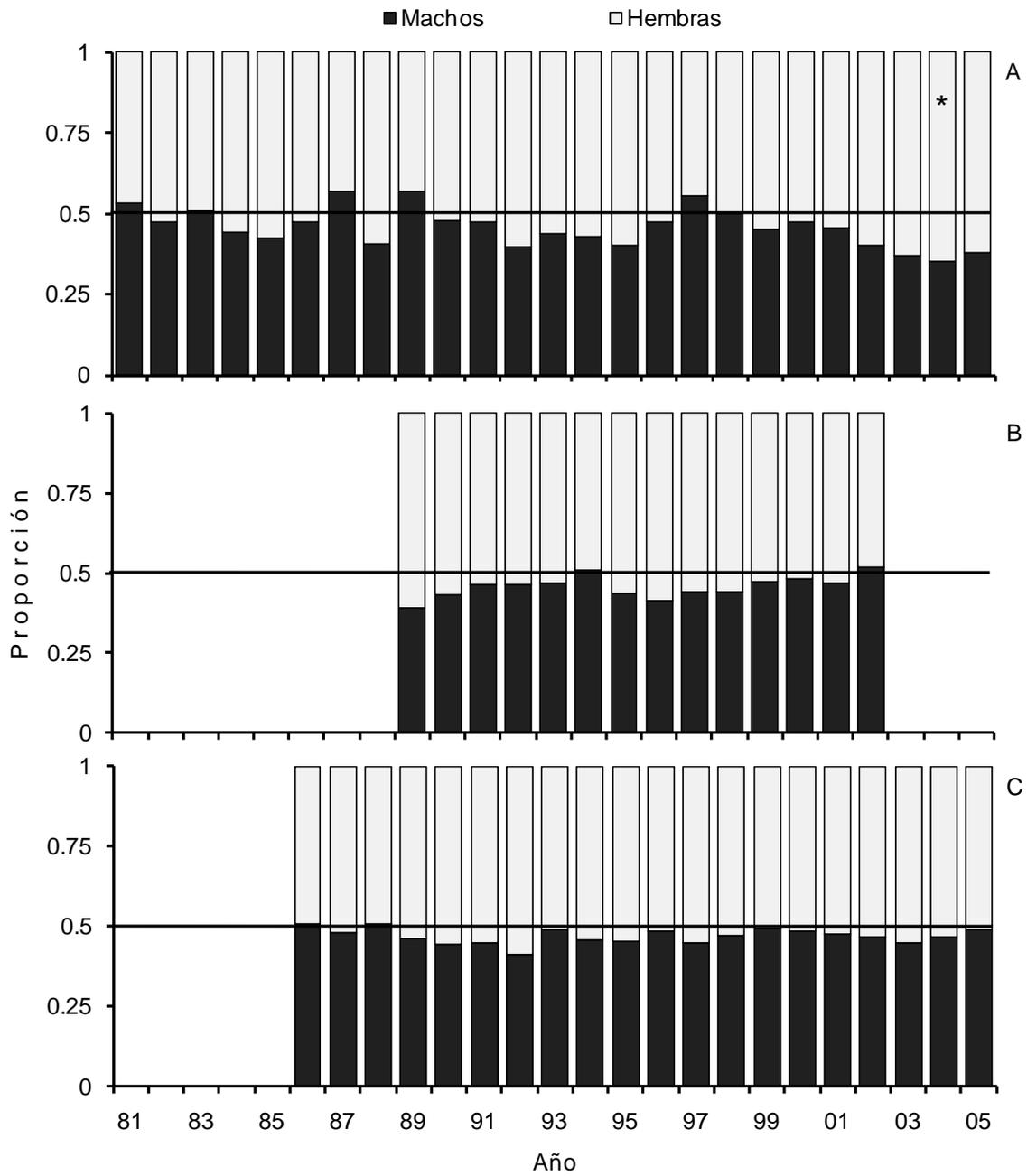


Figura 4. Variación interanual de la proporción sexual en las zonas de pesca: A) Bahía Magdalena, B) Ensenada y C) San Pedro. *=diferencia significativa.

7.3. FACTOR DE CONDICIÓN (FC)

Para estimar el FC de Clark y de Fulton de la sardina del Pacífico, primero se obtuvo la relación peso-longitud en cada zona de pesca.

7.3.1 Relación Peso-Longitud

Debido al tamaño desigual de las muestras, se estandarizó el número de datos de peso y talla en cada zona, realizándose un submuestreo, para obtener muestras de tamaño igual ($n=1000$). La comparación entre las relaciones peso-longitud estimadas con el total de los datos y con las muestras estandarizadas, no mostró diferencias significativas en ninguna de las zonas de estudio (anexo 4).

Se estimó la relación peso-longitud para machos, hembras y sexos combinados en cada zona de estudio, los valores de las constantes se presentan en la Tabla 3. Para determinar si el sexo tiene un efecto sobre ésta relación, se aplicó un prueba F para pendientes y elevaciones (ANCOVA), a las muestras estandarizadas, no encontrando diferencias significativas entre los sexos (BM, $F= 0.03$, $p>0.05$; EN, $F=0.02$, $p>0.05$; SP, $F=0.0$, $p>0.05$), por lo que el FC se estimó considerando la b de sexos combinados para cada zona de pesca. Los valores anuales de los parámetros a y b para cada zona de pesca se presentan en los anexos 5, 6 y 7.

Tabla 3. Constantes a y b de la relación peso-longitud para machos, hembras y sexos combinados para las zonas de pesca.

Zona	Sexo	a	b
Bahía Magdalena	Machos	1.302×10^{-5}	3.039
	Hembras	1.372×10^{-5}	3.030
	Combinados	1.340×10^{-5}	3.034
Ensenada	Machos	6.133×10^{-6}	3.142
	Hembras	6.885×10^{-6}	3.120
	Combinados	6.534×10^{-6}	3.130
San Pedro	Machos	5.882×10^{-6}	3.167
	Hembras	6.242×10^{-6}	3.155
	Combinados	6.112×10^{-6}	3.159

7.3.2. Factor de Condición de Clark y Fulton

Para Bahía Magdalena y Ensenada se estimó el FC de Clark y el de Fulton, mientras que en San Pedro solo se calculó el de Fulton, ya que no se contó con los datos de peso eviscerado. Se encontró un alto grado de correlación entre el factor de condición de Clark y el de Fulton en Bahía Magdalena y Ensenada ($r=0.978$ y $r=0.981$, respectivamente, anexo 8), por lo que es factible utilizar cualquiera de los índices. Por esta razón para poder realizar las comparaciones entre las zonas se utilizó el FC de Fulton.

El promedio mensual del FC en un año tipo para cada zona de pesca (anexo 9), indicó que los valores más bajos se presentaron a principios de año y los mayores en los meses de julio a septiembre con un pequeño desplazamiento temporal entre Bahía Magdalena y San Pedro (Figura 5, anexo 9). En Bahía Magdalena se presentaron los valores mayores de este índice disminuyendo en las zonas más norteñas. El análisis de correlación de Spearman del FC en un año tipo, presentó una correlación significativa ($p<0.05$) entre las zonas (Tabla 4).

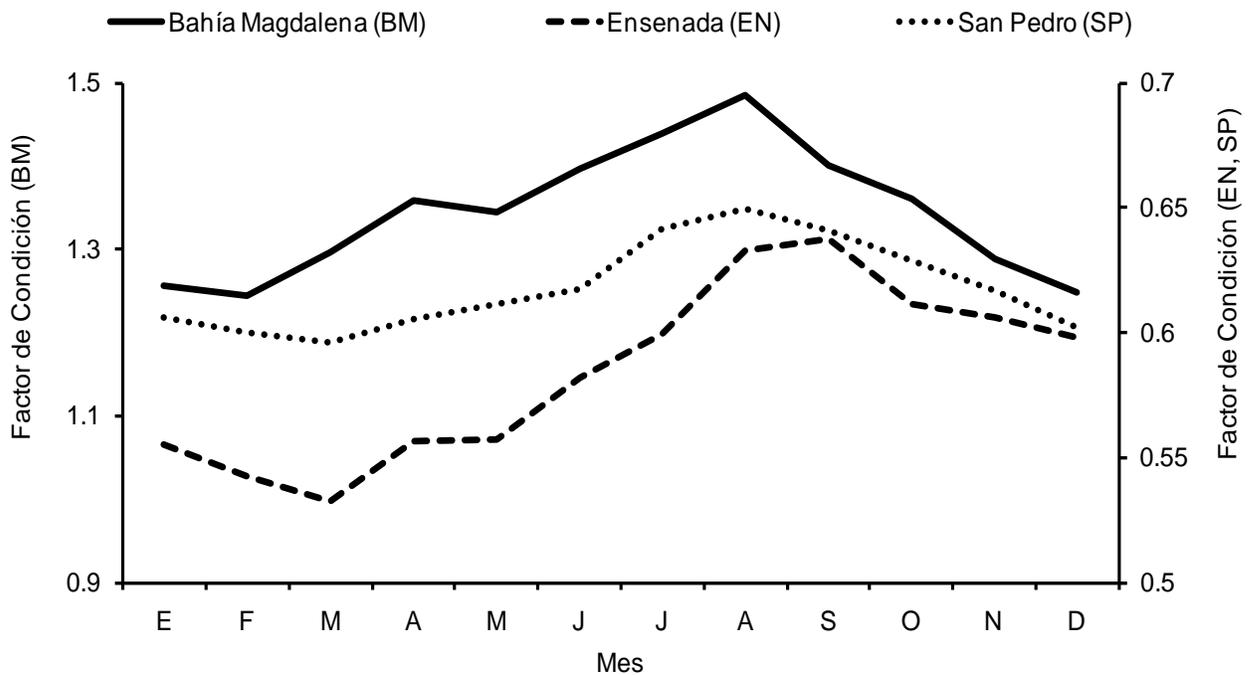


Figura 5. Variación mensual del factor de condición en un año tipo para las zonas de pesca.

Tabla 4. Correlación de Spearman del factor de condición en un año tipo entre las zonas de pesca.

	Bahía Magdalena	Ensenada	San Pedro
Bahía Magdalena	1		
Ensenada	0.636*	1	
San Pedro	0.853*	0.846*	1

*=correlación significativa ($p < 0.05$)

Los valores promedio de las variables ambientales (TSM, Surgencias y Clf *a*) en un año tipo, fueron graficados con el FC en cada zona de pesca (Figura 6). El valor máximo del FC coincide con la TSM más alta en las tres zonas (Figura 6, A, B y C), con un desfase de un mes. Los valores más altos de las surgencias se presentaron dos meses antes que el valor más alto del FC en las tres zonas (Figura 6, D, E y F), mientras que hubo un retraso de cuatro meses entre los valores mayores de Clf *a* y el FC (Figura 6, G, H e I).

Al relacionar el FC con las variables ambientales (TSM, Surgencias, Clf *a*) mediante el análisis de correlación de Spearman en un año tipo para las zonas de pesca resultó significativa la TSM en las zonas de Ensenada y San Pedro, mientras que con las surgencias y la Clf *a*, la correlación fue baja y no significativa en las tres zonas de pesca (Tabla 5).

Tabla 5. Correlación de Spearman entre el factor de condición de Fulton y las variables ambientales en la zona de estudio.

	Bahía Magdalena	Ensenada	San Pedro
TSM	0.392	0.951*	0.923*
Surg	-0.266	0.168	0.510
Clf <i>a</i>	0.371	-0.154	-0.399

*=correlación significativa ($p < 0.05$)
 Surg (Surgencias) TSM (Temperatura Superficial del Mar)
 Clf *a* (Clorofila *a*)

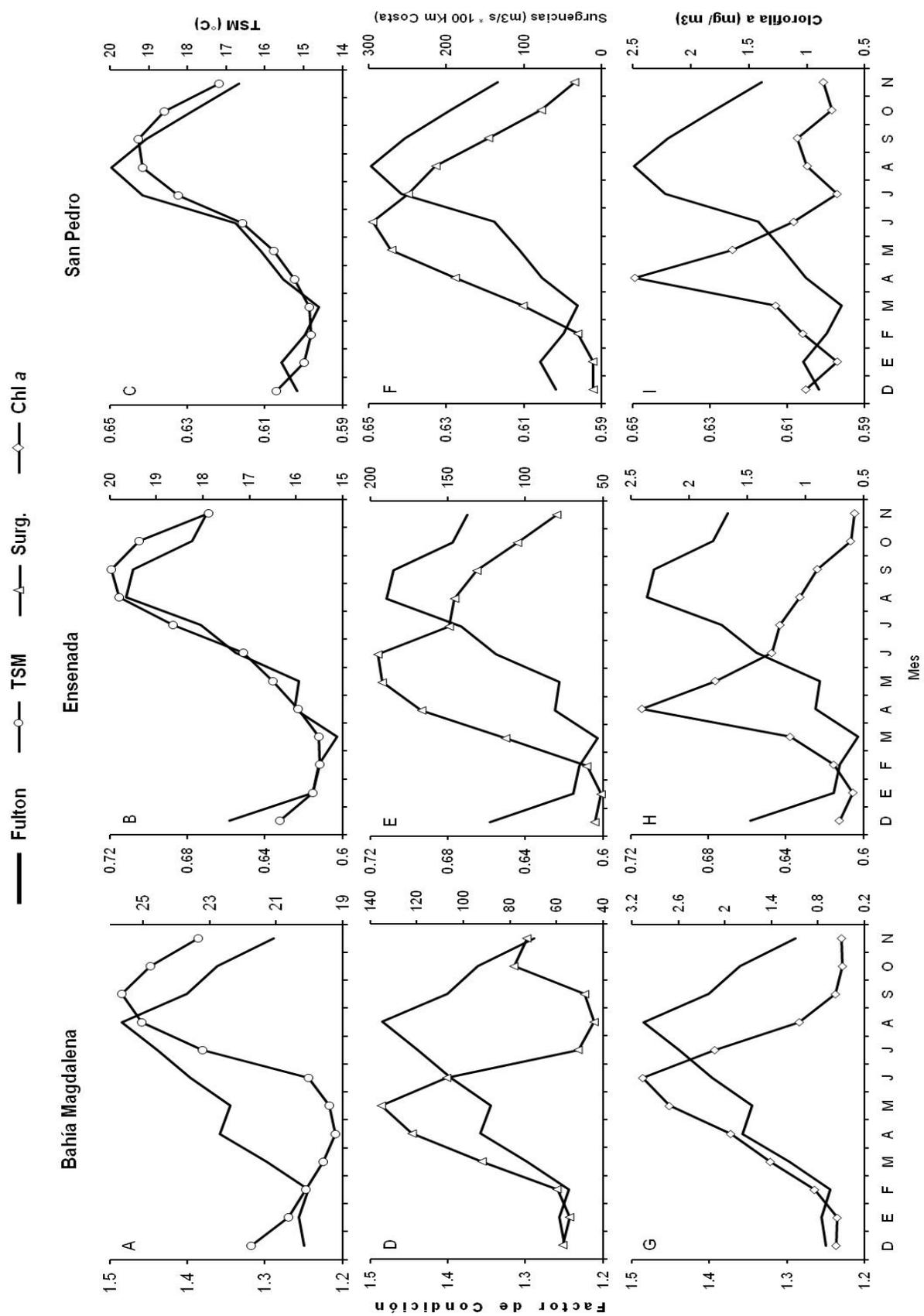


Figura 6. Relación entre el factor de condición y las variables ambientales en las zonas de pesca.

El FC anual presentó amplias variaciones en las 3 zonas (Figura 7, Tabla 6), sobretodo en Bahía Magdalena, donde los valores van desde 0.03 (1985) hasta 16.7 (1992), seguido por Ensenada con valores desde 0.07 (2000) hasta 12.1 (1992), la menor variación la presentó San Pedro con un mínimo de 0.29 (1993) y un máximo de 2.78 (1986).

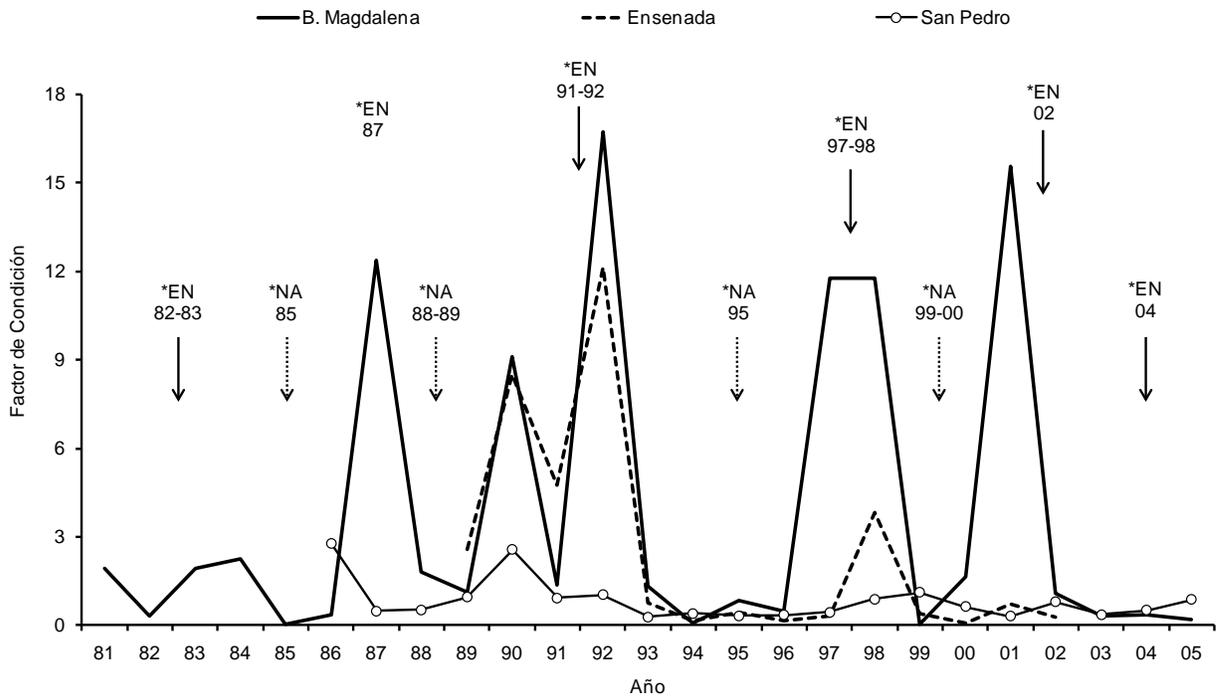


Figura 7. Variación interanual del promedio del factor de condición de *Sardinops sagax* en las tres zonas de pesca. *EN= Periodo en el que se presenta el fenómeno de “El Niño” y *NA= Periodo en el que se presenta el fenómeno de “La Niña”.

Por medio del análisis de correlación de Spearman no se detectaron relaciones significativas entre el FC de las tres zonas de pesca (BM vs EN, $R_s = 0.521$; BM vs SP, $R_s = -0.027$; EN vs SP, $R_s = 0.468$) no obstante lo relativamente alto de los valores entre Ensenada y las otras dos zonas.

Aunque la mayoría de los máximos del factor de condición en las tres zonas de pesca ocurrieron en años asociados a eventos “El Niño” (Tabla 6, Figura 7), algunos de ellos no se asocian a este evento. Cuando se presentó el fenómeno de “La Niña” los valores del factor de condición fueron bajos, sin embargo son muy similares a los que se observan en años normales (Figura 7, Tabla 6). En este mismo sentido, no se

encontraron relaciones significativas del factor de condición con las variables ambientales en ninguna de las tres zonas (Tabla 7, anexo 10, 11 y 12).

Tabla 6. Valores anuales del factor de condición de la sardina del Pacífico en las tres zonas de pesca y señalización de los eventos “El Niño” (☀) y “La Niña” (✱) en el periodo de estudio.

Año	B. Magdalena	Ensenada	San Pedro	El Niño y La Niña
1981	1.939			
1982	0.313			☀
1983	1.926			☀
1984	2.272			
1985	0.032			✱
1986	0.354		2.781	
1987	12.389		0.502	☀
1988	1.795		0.542	
1989	1.116	2.570	0.960	✱
1990	9.092	8.526	2.570	✱
1991	1.376	4.776	0.932	☀
1992	16.737	12.131	1.034	☀
1993	1.324	0.770	0.295	
1994	0.063	0.147	0.409	
1995	0.838	0.423	0.331	✱
1996	0.498	0.177	0.360	
1997	11.774	0.332	0.455	☀
1998	11.766	3.832	0.903	☀
1999	0.059	0.394	1.108	✱
2000	1.662	0.069	0.630	✱
2001	15.561	0.731	0.318	
2002	1.101	0.281	0.797	☀
2003	0.319		0.363	
2004	0.379		0.519	☀
2005	0.212		0.869	

Tabla 7. Correlación de Spearman entre el factor de condición y las variables ambientales en cada zona de pesca.

	Bahía Magdalena	Ensenada	San Pedro
TSM	0.322	0.042	-0.361
Surg	-0.251	-0.033	0.257
Clf a	-0.027	0.086	-0.394

7.4. CICLO REPRODUCTIVO

El ciclo reproductivo de *Sardinops sagax* se determinó considerando cinco estadios de madurez para machos y hembras, encontrándose un patrón muy similar entre los sexos en las tres zonas de pesca (anexo 13), por lo que se decidió describir el ciclo de reproducción sin tomar en consideración el sexo de los organismos. De esta manera se encontró que los organismos inmaduros estuvieron presentes a lo largo del año en las tres zonas, sin embargo su abundancia máxima varió entre ellas, en Bahía Magdalena se observó en octubre mientras que en Ensenada ocurrió en abril y en San Pedro en mayo-junio, alcanzando en este último sitio cerca del 40 % de la muestra (Figura 8).

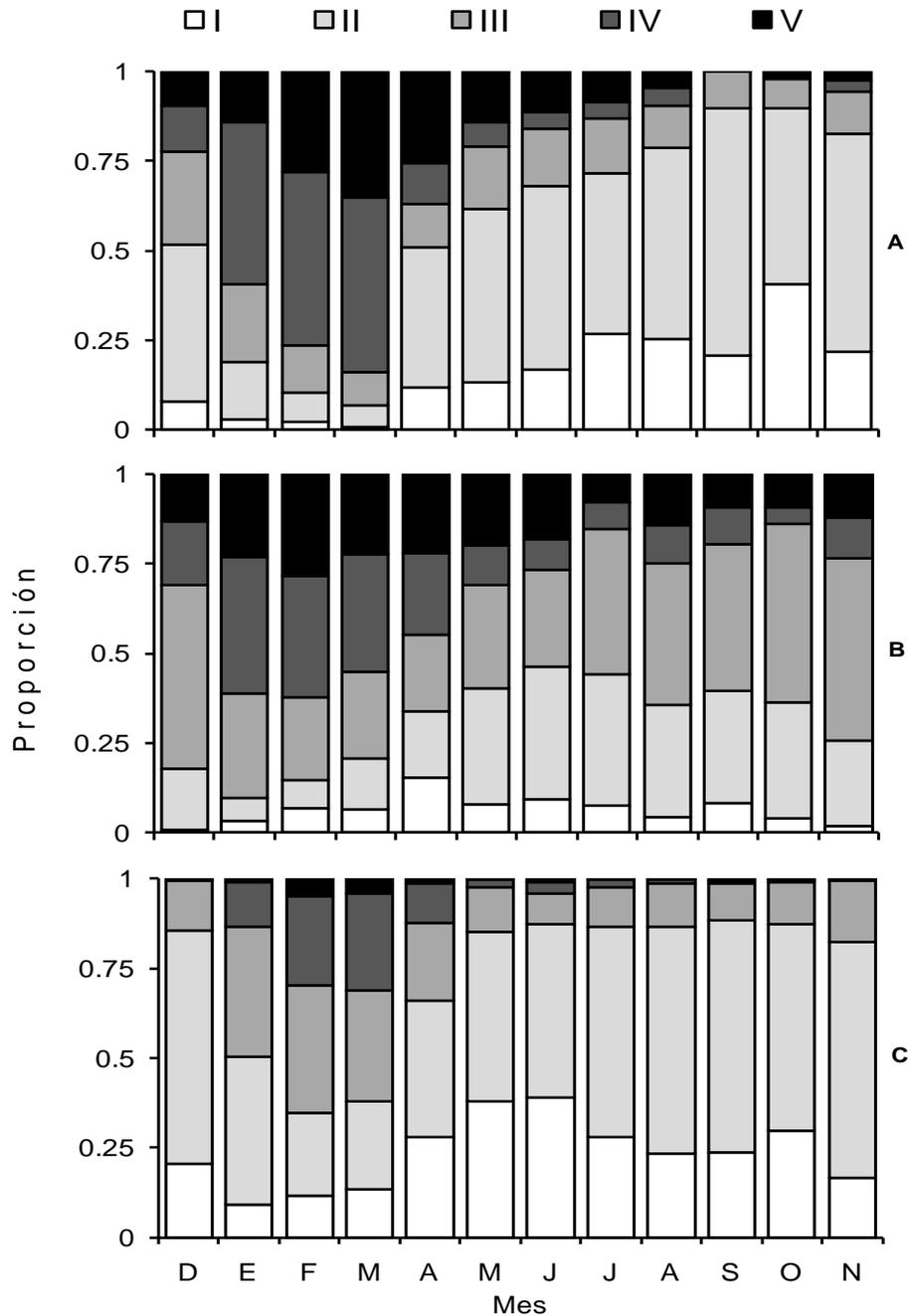


Figura 8. Ciclo reproductivo de la sardina del Pacífico en un año tipo para las zonas de pesca. A) Bahía Magdalena, B) Ensenada y C) San Pedro.

El máximo de organismos maduros y en posdesove (estadios IV y V) se presentó en invierno-primavera, con el mínimo en el otoño, sin embargo la amplitud (cantidad de meses que abarca) e intensidad (medida como la abundancia relativa de organismos maduros y en posdesove) de la temporada reproductiva fue diferente entre las zonas, siendo más amplia (diciembre-mayo) y de intensidad media (62 % en enero-febrero)

en Ensenada (Figura 8B) y más restringida (febrero-marzo) y de menor intensidad (31 %) en San Pedro (Figura 8C), mientras que Bahía Magdalena presentó una duración media (enero-abril) y la mayor intensidad de las tres zonas alcanzando hasta el 85 % de la muestra en el mes de marzo (Figura 8A).

Al analizar el porcentaje de individuos reproductores (% IR) definidos como los organismos en estadios IV y V, no se encontraron diferencias significativas (prueba Kruskal-Wallis) debidas al sexo en ninguna de las zonas de pesca (Figura 9), por lo que los análisis siguientes se desarrollaron sin considerar el sexo de los organismos.

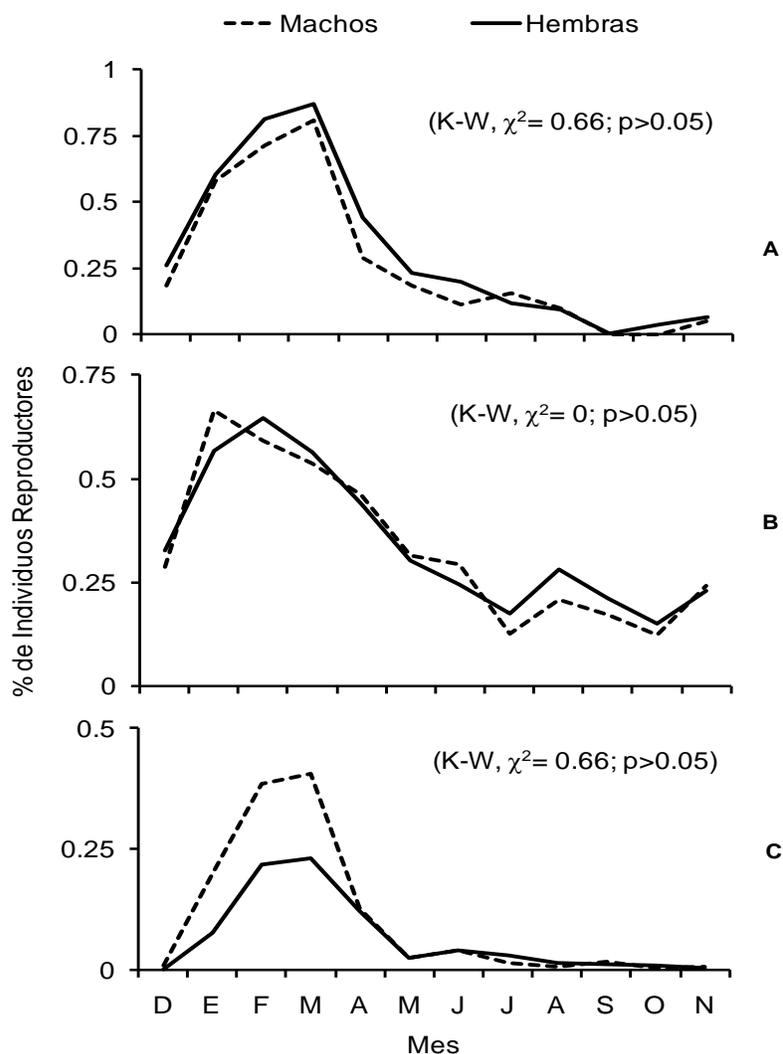


Figura 9. Porcentaje de individuos reproductores por sexo en cada zona de pesca.

El % IR se correlacionó de manera inversa con el FC, esto es, a valores altos del %IR le corresponden valores bajos del FC (Figura 10, A, B y C), lo que indica que el

FC es un indicador de la época reproductiva. La correlación más alta se obtuvo en Ensenada, seguido por Bahía Magdalena y San Pedro (Tabla 8), en las primeras dos zonas fue significativa, sin embargo en San Pedro se encontró una correlación relativamente alta, pero esta no fue significativa.

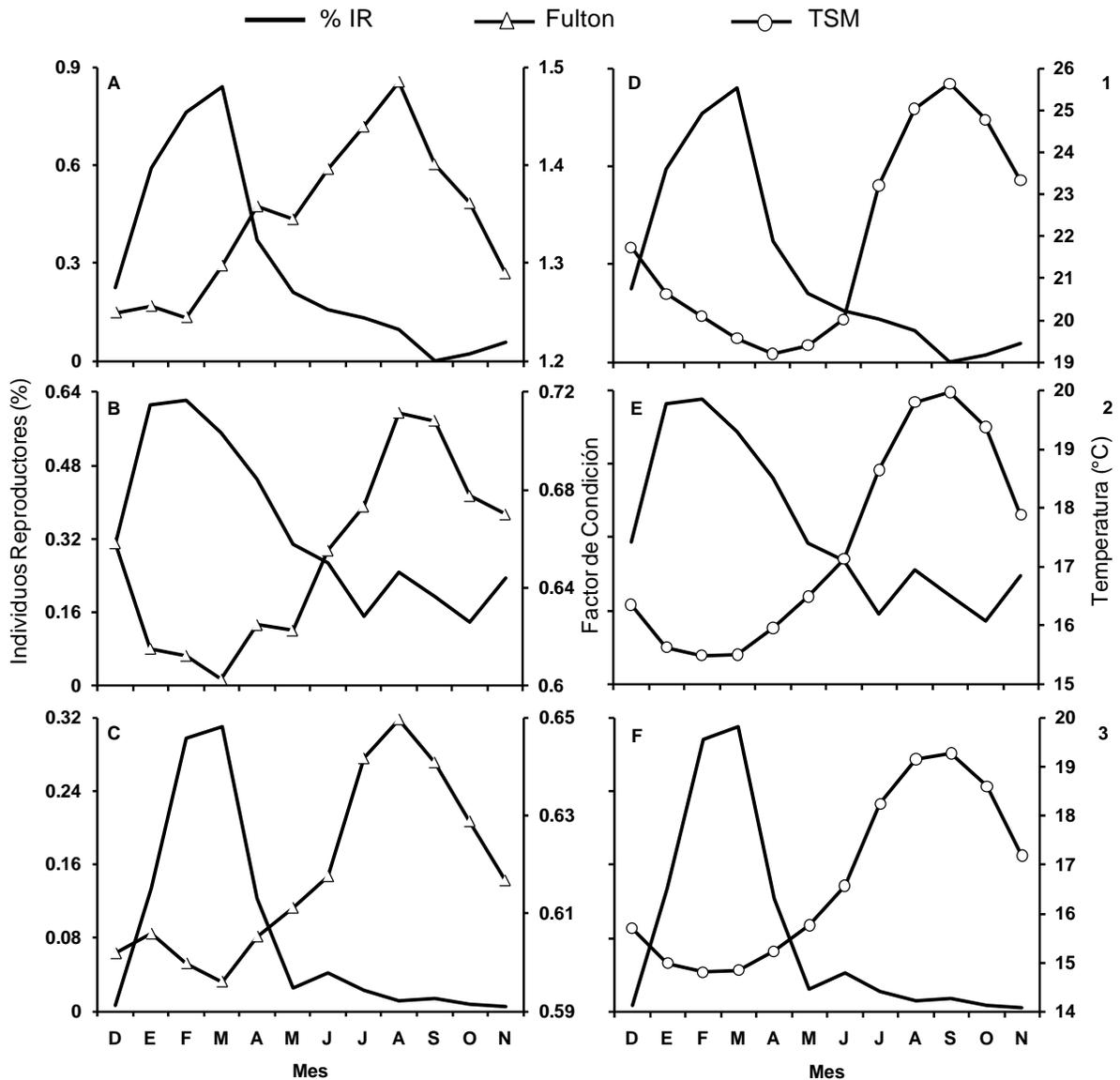


Figura 10. Relación entre el % IR y el factor de condición de Fulton (A, B, C) y con la TSM (D, E, F) en cada zona de pesca. 1) Bahía Magdalena, 2) Ensenada y 3) San Pedro.

El % IR se correlacionó de manera inversa y significativa con la TSM en las tres zonas de pesca (Figura 10, D, E y F). En Ensenada se encontró la mayor correlación, seguida de la de Bahía Magdalena y en San Pedro se observó la menor correlación (Tabla 8).

Tabla 8. Correlación de Spearman entre la frecuencia relativa de individuos reproductores, el factor de condición de Fulton y las variables ambientales en las tres zonas de pesca.

	Bahía Magdalena	Ensenada	San Pedro
Fulton	-0.629*	-0.853*	-0.538
TSM	-0.769*	-0.916*	-0.713*
Surg	0.336	-0.315	0.105
Clf a	0.266	0.070	0.378

*= correlación significativa ($p < 0.05$).

No se encontró correlación significativa del % IR con las surgencias ni con la Clf a (Tabla 8). El máximo % IR ocurre entre dos y cuatro meses antes de que se presenten los valores máximos del índice de surgencias (Figura 11, A, B y C) y clorofila a (Figura 11, D, E y F) en las tres zonas de pesca.

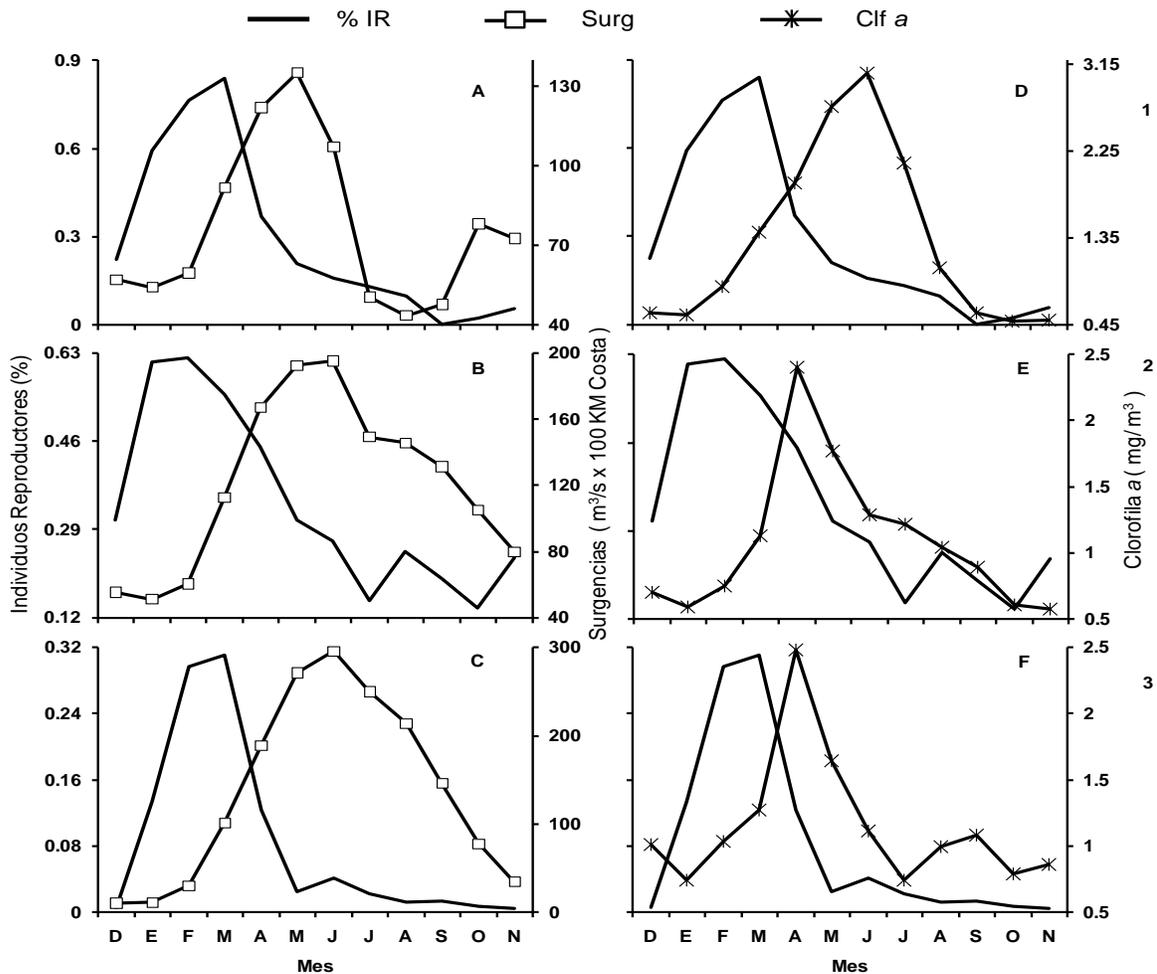


Figura 11. Frecuencia relativa de individuos reproductores en relación con el índice de surgencias (A, B, C) y con clorofila a (D, E, F) en cada zona de pesca. 1) Bahía Magdalena, 2) Ensenada y 3) San Pedro.

7.5. TALLA DE PRIMERA MADUREZ (L₅₀)

Las tallas de primera madurez (L₅₀) estimadas a través del modelo logístico para todo el periodo de estudio en cada zona de pesca no presentaron diferencias significativas (BM, $\chi^2=0.07$; $p>0.05$, EN, $\chi^2=0.03$; $p>0.05$, SP, $\chi^2=0.049$; $p>0.05$) entre los sexos en ninguna de las zonas, por lo que se presentan los modelos logísticos considerando los sexos combinados (Figura 12). Los valores de la L₅₀ para cada sexo se presentan en la tabla 9 y los modelos logísticos en el anexo 14.

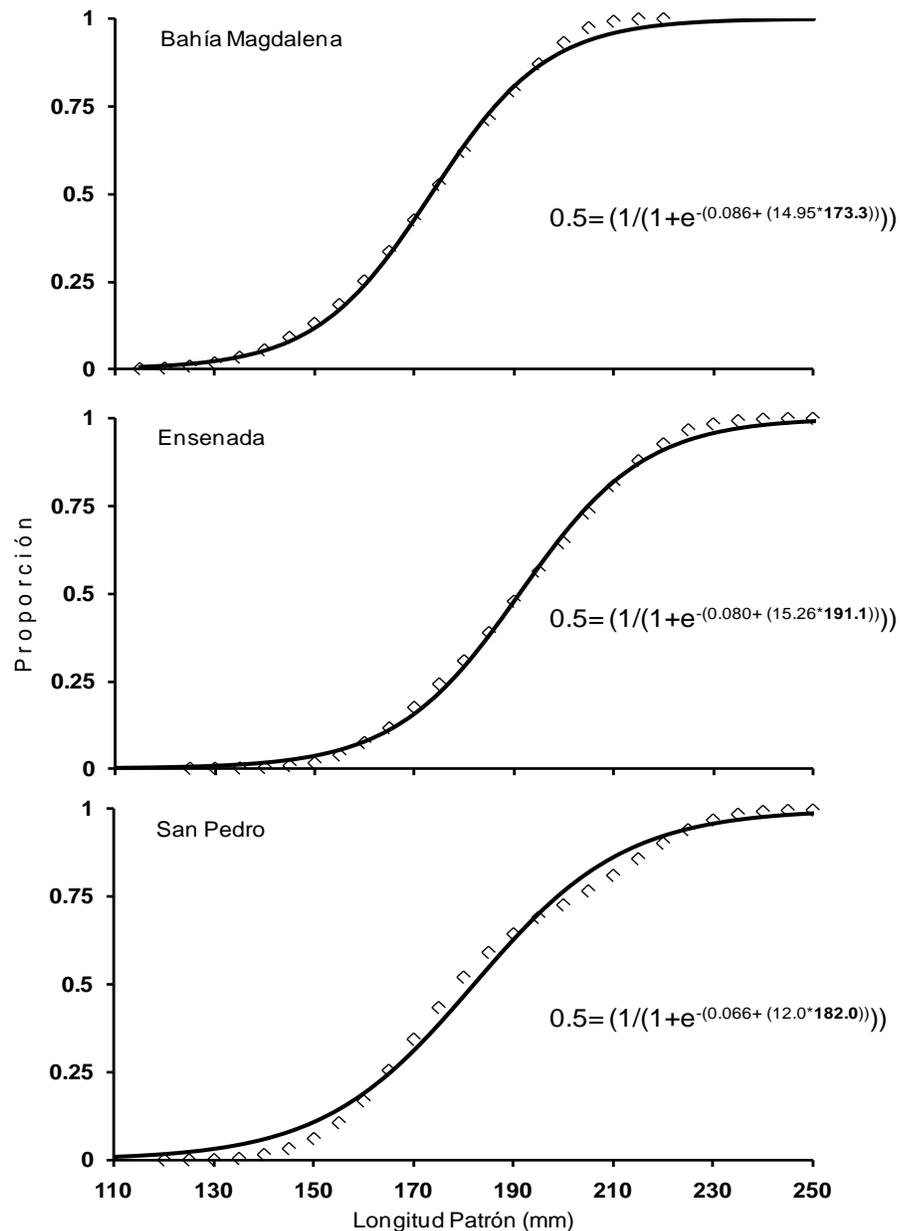


Figura 12. Modelos logísticos de la L₅₀ para sexos combinados en cada zona de pesca.

Bahía Magdalena presentó las L_{50} más pequeñas, mientras que Ensenada las más grandes; San Pedro mostró L_{50} intermedias entre Bahía Magdalena y Ensenada (Tabla 9). Esto podría considerarse un patrón latitudinal, ya que las tallas más pequeñas se encontraron en Bahía Magdalena y las tallas más grandes en las zonas de mayor latitud (Ensenada y San Pedro). Las estimaciones anuales de la L_{50} para las zonas de pesca se presentan en el anexo 15, no encontrándose diferencias significativas (K-W, BM: $\chi^2= 1.23$; EN: $\chi^2= 0.13$; SP: $\chi^2= 0.09$; $p<0.05$) debidas al sexo, por lo cual se utilizaron los valores de la L_{50} de sexos combinados en los siguientes análisis.

Tabla 9. Valores de la L_{50} (mm LP) de la sardina del Pacífico por sexo y combinados en las tres zonas de pesca.

	Machos	Hembras	Combinados
Bahía Magdalena	171.4	174.9	173.3
Ensenada	189.7	192.0	191.1
San Pedro	180.4	183.4	182.0

Las estimaciones anuales de la talla de primera madurez de la sardina del Pacífico en cada una de las zonas de pesca (Figura 13), nos muestra que entre 1982 y 1991 los valores de la L_{50} en Bahía Magdalena estuvieron por debajo del promedio para la zona (173.3 mm LP) con variaciones relativamente pequeñas, mientras que entre 1992 y 2005 las valores de la L_{50} fueron mayores al promedio. En esta zona es posible observar una tendencia a incrementarse la talla de primera madurez conforme pasan los años (Figura 13A). Las variaciones interanuales de la L_{50} presentaron un comportamiento similar en Ensenada y San Pedro, con valores por arriba del promedio en los primeros años del muestreo (Ensenada: 1989-1993 y San Pedro: 1986-1993) seguido por un descenso brusco hasta alcanzar valores por debajo del promedio que se mantienen en el resto del periodo excepto en algunos años (Ensenada: 1996-1998 y San Pedro: 1997-1998 y 2002). La tendencia general de ambas zonas, al contrario que en Bahía Magdalena, es a disminuir la talla de primera madurez conforme pasa el tiempo. (Figura 13 B y C), lo cual se comprobó al

encontrar una correlación positiva y significativa entre la talla de primera madurez de San Pedro y Ensenada ($R_s = 0.69$, $p < 0.05$) mientras que con Bahía Magdalena la correlación fue significativa e inversa (BM vs EN, $R_s = -0.69$, $p < 0.05$; BM vs SP, $R_s = -0.74$, $p < 0.05$).

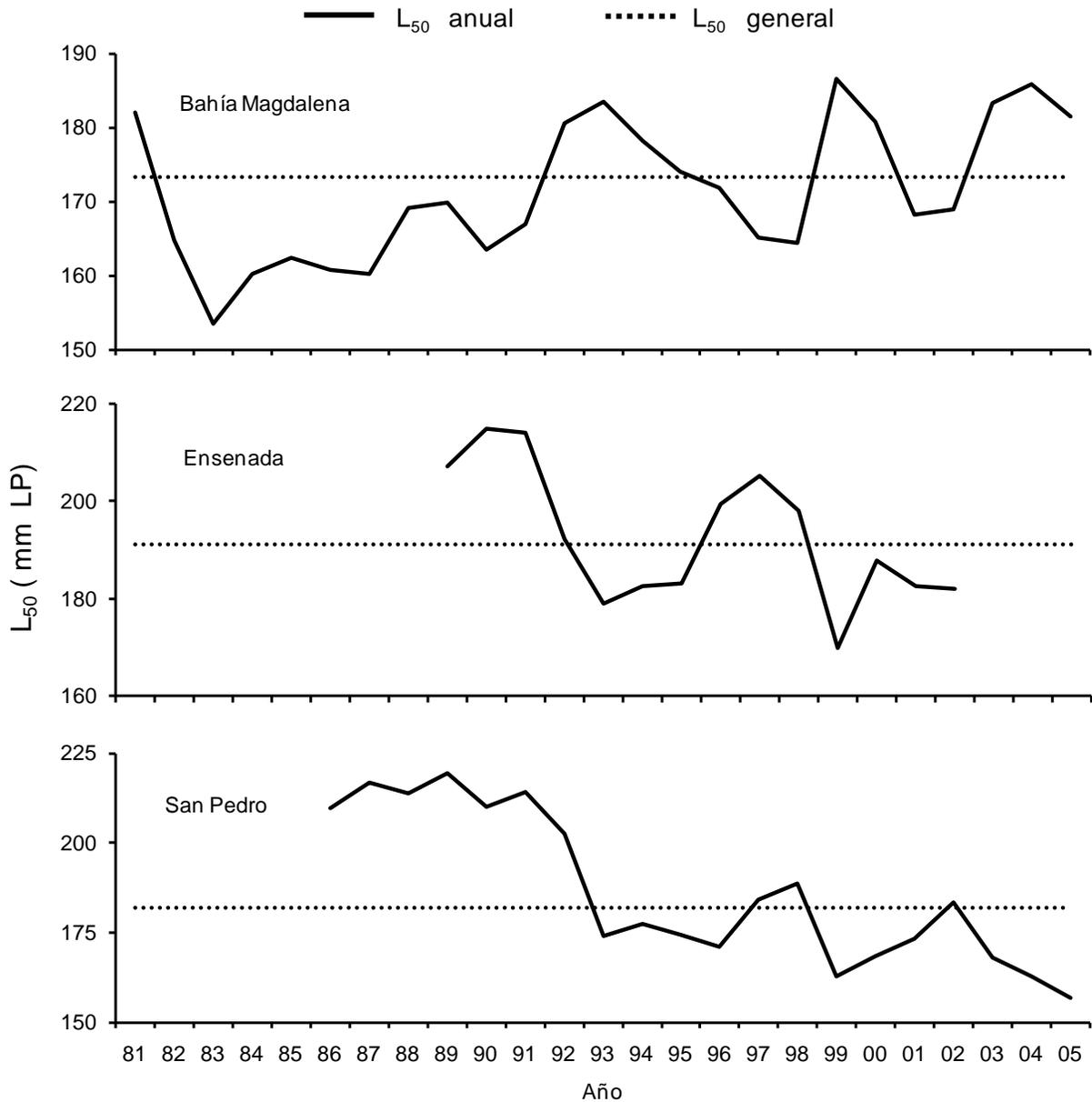


Figura 13. Variación interanual de la talla de primera madurez de *Sardinops sagax* en cada zona de pesca.

Al relacionar los valores anuales de la L₅₀ con el factor de condición, con el % IR y con las variables ambientales (TSM, surgencias y Clf a) no se encontraron correlaciones significativas con el factor de condición en las tres zonas de pesca, ni

con el % IR excepto en San Pedro (Tabla 10). Con la TSM tampoco se encontró una correlación significativa en las tres zonas. En el caso de las surgencias, se encontró una correlación significativa en Bahía Magdalena, mientras que en las otras dos zonas la correlación no fue significativa a pesar de su valor relativamente alto (Tabla 10). Para el caso de la Clf *a*, tanto San Pedro como Bahía Magdalena se encontró una relación significativa aunque inversa y directa respectivamente. Es de llamar la atención que para Ensenada la correlación no fue significativa a pesar de que el valor de correlación es mayor que en las otras zonas (Tabla 10), lo cual podría estar asociado al reducido número de datos de Clf *a* en esta zona. Las graficas de la relación de las variaciones anuales de la L_{50} con el factor de condición de Fulton, con el % IR y con las variables ambientales en las zonas de pesca se pueden observar en los anexos 16, 17 y 18.

Tabla 10. Correlación de Spearman entre la L_{50} con el factor de condición, el % IR y las variables ambientales en las tres zonas de pesca.

	Bahía Magdalena	Ensenada	San Pedro
Fulton	-0.341	0.437	0.361
%IR	-0.222	-0.108	0.519*
TSM	0.050	0.116	-0.296
Surg	0.442*	0.411	0.350
Clf <i>a</i>	0.673*	-0.714	-0.673*

*= correlación significativa ($p < 0.05$)

8. DISCUSIÓN

8.1. PROPORCIÓN SEXUAL

La proporción sexual de la sardina del Pacífico, encontrada en la zona de estudio fue cercana a 1M:1H, lo cual sugiere que esta población está en equilibrio sexual (Lucano-Ramírez *et al.* 2005). Esta proporción también ha sido reportada para *Sardina pilchardus* en las Islas Canarias (Méndez-Villamil *et al.* 1997; Amenzoui *et al.* 2006). Se ha reportado una mayor presencia de hembras en el Golfo de California en 1970 (Wong 1973), en California durante 1994 (Macewicz *et al.* 1996), así como en Australia durante 1995-2006. Sin embargo, estas diferencias pueden ser atribuidas a una supervivencia diferencial o a una distribución preferencial de cada uno de los sexos (Lucano-Ramírez *et al.* 2005). No obstante Wong (1973) menciona que en la época del pre-desove pueden encontrarse cardúmenes de un solo sexo, característica que podría deberse al movimiento masivo de los reproductores de las zonas de engorda a las de desove.

A pesar de que no se encontraron diferencias significativas en la proporción de sexos, en las tres zonas de pesca fueron más abundantes las hembras que los machos, Sin embargo, en Bahía Magdalena fue mayor la abundancia de hembras, sobre todo en los últimos años (2002-2005), esta situación fue menos notoria en las otras dos zonas de pesca. La proporción sexual es uno de los factores importantes dentro de las poblaciones de peces, la cual puede cambiar de un año a otro y entre zonas (Nikolsky 1963). Esta proporción puede verse afectada por distintos factores como pueden ser la temperatura, las condiciones fisicoquímicas del agua y la nutrición; así como factores intraespecíficos (Korpelainen 1990).

Al igual que la proporción sexual anual, la proporción M:H mensual no presentó diferencias significativas, aunque las hembras siempre son más abundantes. Amenzoui *et al.* (2006) encontró para *Sardina pilchardus* una mayor proporción de hembras en la temporada reproductiva, no obstante que esas diferencias no fueron significativas. Méndez-Villamil *et al.* (1997) tampoco encuentra diferencias significativas en la proporción sexual, aunque hay una presencia ligeramente mayor de machos para *Sardina pilchardus* en las Islas Canarias.

A pesar de conocer la proporción sexual de las poblaciones, son escasos los estudios donde se discute esta proporción, enfocándose de manera particular en describir los aspectos reproductivos de las hembras y extrapolándolos a la población.

8.2. FACTOR DE CONDICIÓN

La relación peso longitud ha sido usada ampliamente en la biología pesquera con distintos propósitos: para estimar el peso promedio de un pez (basado en su talla); para convertir las ecuaciones de crecimiento de talla a peso; para hacer comparaciones morfométricas intrapoblacionales e interespecíficas, así como para estimar el estado de salud (condición) de los organismos (Hartman & Margraf 2006).

En general, el cambio en el peso de un pez puede ser descrito por la relación $P=aL^b$, donde P es el peso, L la talla, a es el intercepto o factor de condición y b es la pendiente o coeficiente de alometría, la cual es más apropiada que la ecuación: $P=aL^3$, ya que se ha demostrado que para la sardina del Pacífico, así como para otros peces, el crecimiento en peso puede ser mayor o menor que el cubo de la longitud (Keys 1928; Clark 1928, 1931; Carlander 1969; Jones *et al.* 1999; Rosa *et al.* 2006). Por esta razón para la estimación del factor de condición se utilizó el valor del exponente b obtenido para cada zona y para cada año.

En el presente estudio no se encontraron diferencias significativas en la relación peso-longitud entre machos y hembras, por lo cual, los valores obtenidos para sexos combinados deben ser indicativos de ambos sexos. Lo anterior ya ha sido reportado para esta especie en la zona de estudio (Clark 1928; 1931). Los valores promedio del coeficiente de alometría en las tres zonas de estudio ($b= 3.03-3.16$) se encuentra dentro del intervalo reportado para la especie, ya que Clark (1931) reporta valores de b desde 2.79 en el verano hasta 3.15 en el invierno. Sin embargo los valores de b anuales presentaron fluctuaciones importantes desde 2.45 hasta 3.78, lo cual puede ser normal, pues es posible esperar un amplio rango de variaciones en el coeficiente de alometría en poblaciones o especies ampliamente distribuidas, como resultado de los diferentes hábitats donde se encuentran (Costa & Araújo 2003).

La condición de los peces ha sido tradicionalmente estimada a través de la ecuación de la relación peso-longitud y ha sido utilizada como indicador del bienestar de los

peces. El estudio de la condición asume que peces más pesados a una longitud dada, están en mejor condición que peces menos pesados a esa misma talla (Jones *et al.* 1999). La condición puede reflejar la disponibilidad de alimento en las semanas previas al muestreo, esta condición es variable y dinámica a lo largo del ciclo de vida del pez (Schneider *et al.* 2000).

No se encontraron diferencias significativas en el factor de condición entre machos y hembras, situación que también se ha reportado para *Sardinops sagax* en California (Clark 1928, 1931) y para *Sardina pilchardus* en las Islas Canarias (Amenzoui *et al.* 2006).

El factor de condición mensual en un año tipo fue similar en las tres zonas de pesca, la tendencia indicó que los valores bajos se presentaron a principios de año (invierno) mientras que los altos en los meses de verano. Este comportamiento es similar para la especie en el Golfo de California (Wong 1973) y para la zona de Bahía Magdalena (Álvarez-Trasviña 2008), así como para otras especies como *Strangomera bentincki* y *Engraulis ringens* en Chile (Cubillos *et al.* 2001) y para *Sardina pilchardus* en las Islas Canarias (Amenzoui *et al.* 2006). Lo anterior está relacionado con las temperaturas de cada mes, lo que queda de manifiesto con las correlaciones entre el factor de condición y la TSM en Ensenada y San Pedro. A pesar de que en Bahía Magdalena esta correlación no es significativa, sí se desfasa un mes, esta correlación es significativa ($R_s=0.72$, $p<0.05$). La relación entre estas dos variables ha sido reportada para varias especies de sardinas (Cubillos *et al.* 2001; Amenzoui *et al.* 2006) así como para anchovetas (García-Franco *et al.* 1999; Cubillos *et al.* 2001).

En el estudio presente no se encontró relación entre el factor de condición, las surgencias y la clorofila *a*, sin embargo existe un evidente retraso del primero con respecto a las variables ambientales. Es posible pensar que estas variables alcancen su máximo antes del máximo del factor de condición, ya que las surgencias son las que aportan los nutrientes necesarios para la productividad (Clf *a*), de la cual se alimentan las sardinas, reflejándose en una mejor condición. En el caso del índice de

surgencias se ha reportado una relación directa con el factor de condición para *Strangomera bentincki* y *Engraulis ringens* en Chile (Cubillos *et al.* 2001).

El factor de condición anual presentó amplias variaciones en las tres zonas, las mayores se presentaron en Bahía Magdalena seguidas por Ensenada y las menores en San Pedro. Aunque no se encontró una correlación significativa en el factor de condición entre zonas, la correlación en zonas contiguas (BM vs EN y EN vs SP) fue relativamente alta, indicando una similitud entre ellas, esta correlación no se encontró en zonas extremas (BM vs SP), debido quizá a las diferencias en las condiciones ambientales entre estas zonas. La condición promedio de cada población puede variar considerablemente estacional y anualmente (Schneider *et al.* 2000).

De manera gráfica, podemos asociar los incrementos en el factor de condición con el fenómeno de “El Niño”, siendo más evidente en Bahía Magdalena que en Ensenada y San Pedro, esto es de esperarse porque el fenómeno del “El Niño” tiene una mayor influencia en Bahía Magdalena afectando la disponibilidad del recurso el cual se desplaza hacia el norte cuando ocurre este fenómeno (Félix-Uraga *et al.* 1996; Félix-Uraga 2006). Se ha documentado que “El Niño” puede afectar los aspectos biológicos (crecimiento, reproducción, etc) de *S. sagax* de manera negativa (Alvial 1987; Chong *et al.* 1991). No se observó un efecto evidente del fenómeno de “La Niña” en el factor de condición de la sardina del Pacífico en Bahía Magdalena lo cual puede ser debido a que la temperatura en Bahía Magdalena durante esos años es similar a la que existe de manera normal en la zona centro y norte de su distribución.

MacGregor (1959) menciona que a niveles de población elevados, los individuos tienen un factor de condición bajo debido a una menor disponibilidad de alimento, mientras que, niveles de población bajos cuentan con una mayor cantidad de alimento disponible por pez y en consecuencia una mejor condición, lo que indica una densodependencia. Para tratar de probar la densodependencia se relacionó el factor de condición y las capturas tomadas como índice de abundancia de cada zona (datos proporcionados por el Laboratorio de Dinámica Poblacional del CICIMAR). En todos los casos se encontró una relación inversa, aunque no fue significativa (anexo

19) a pesar de ello coincide con lo reportado por MacGregor (1959) para la zona de California.

No se encontraron relaciones significativas entre los valores anuales del factor de condición, TSM, surgencias ni Clf *a*. La sardina del Pacífico es una especie plástica que se reproduce a niveles de surgencias intermedios (Lluch-Belda *et al.* 1991a, 1991b), tiene varios centros de crianza (Hernández-Vázquez 1994), en un amplio intervalo de temperatura (Lluch-Belda *et al.* 1991a, 1991b), además de que realiza migraciones (Félix-Uraga *et al.* 1996; Macewicz *et al.* 1996; Félix-Uraga *et al.* 2004) todo esto podría ocasionar que no siempre se encuentre una correlación con las variables ambientales.

8.3. CICLO REPRODUCTIVO

La sardina del Pacífico es una especie gonocórica, que no presenta dimorfismo sexual (Serra & Tsukayama 1988). Debido a que no se apreciaron diferencias entre los ciclos reproductivos de machos y hembras, los datos de madurez obtenidos con la escala morfocromática se agruparon. En *Sardina pilchardus* (Amenzoui *et al.* 2006) y en *Engraulis mordax* (Parrish *et al.* 1986) tampoco se encontraron diferencias significativas.

A pesar de que en el estudio presente no se validó la escala morfocromática para Bahía Magdalena, el ciclo reproductivo encontrado coincide con lo reportado por Torres-Villegas *et al.* (1995a), quienes analizaron histológicamente las gónadas de la sardina del Pacífico en esta zona de estudio, de esta manera se validaron nuestros resultados. Las escalas morfocromáticas utilizadas en Ensenada y San Pedro han sido contrastadas mediante la técnica histológica por el personal encargado de analizar la pesquería en Ensenada (Eva Coter, Centro Regional de Investigaciones Pesqueras-Ensenada, com. pers.) y en San Pedro (Beverly J. Macewicz, Southwest Fisheries Science Center, La Jolla, Cal., com. pers.).

Las metodologías para estimar la condición reproductiva (escalas de madurez, índice gonadosomático) en lugar de la histología, son útiles siempre y cuando estén validadas y puedan ser utilizadas como un indicador del desove (Hunter & Macewicz 1985). Las técnicas histológicas para la estimación del ciclo reproductivo son más

finas y precisas que los índices morfocromáticos sin embargo son mucho más caros, requieren de equipo y personal muy especializado y mucho tiempo para la obtención de resultados, es por esto que a pesar de los sesgos de los sistemas macroscópicos, estos seguirán siendo usados, pues son una manera fácil, económica y rápida de obtener el estado reproductivo de los peces (Parrish *et al.* 1986; Hunter & Macewicz 2003).

Los organismos maduros y en posdesove se observaron a lo largo del año, aunque con intensidades variables en cada zona, definiéndose la época de reproducción en invierno-primavera, lo anterior ha sido reportado ampliamente para *Sardinops sagax* en la Corriente de California (Clark 1931; Ahlstrom 1954; Wong 1973; Lluch-Belda *et al.* 1991b; Hernández-Vázquez 1994; Torres-Villegas *et al.* 1995a; Álvarez-Trasviña 2008), en Australia (Ward & Staunton-Smith 2002) y en la Corriente de Bengala (Stenevik *et al.* 2003), para *Sardinops melanostictus* en la Corriente de Kuroshio (Aoki & Murayama 1993), para *Sardina pilchardus* en el Atlántico (Mendez-Villamil *et al.* 1997; Amenzoui *et al.* 2006), también para *Strangomera bentincki* y *Engraulis ringens* en Chile (Cubillos *et al.* 2001). Sin embargo, Hernández-Vázquez (1994) detectó en Punta Eugenia, B.C.S., el pico reproductivo (huevos y larvas) en agosto-octubre, esto puede estar asociado al segundo pico de reproducción que comenta Torres-Villegas *et al.* (1995a), que ocurre a principios de verano, aunque mencionan que este segundo periodo fue disminuyendo a partir de “El Niño” 1982-83 hasta desaparecer en 1986.

Se observó un clinal en la cantidad de organismos maduros y en posdesove, siendo más abundantes en Bahía Magdalena seguidos por Ensenada y San Pedro. Un patrón similar es encontrado entre San Pedro, San Francisco y Monterey. (Clark 1931), donde las zonas sureñas presentan una mayor intensidad en individuos maduros y desovantes, lo cual fue explicado a través de movimientos de las sardinas y su relación con la TSM. De acuerdo a lo anterior solo un porcentaje de sardinas de San Pedro desovarían en esta zona en un periodo limitado, cuando las temperaturas fueran adecuadas, moviéndose hacia el sur hacia las principales zonas de reproducción ubicadas en la parte central de la Península de Baja California (Ahlstrom 1954; Lluch-Belda *et al.* 1991b; Hernández-Vázquez 1994). En la zona de

Ensenada es posible encontrar organismos maduros y en posdesove a lo largo del año, esto quizás porque en la zona es posible encontrar dos grupos o stocks de sardinas en diferentes épocas del año, lo que aumenta la posibilidad de obtener organismos maduros a lo largo del año. En Bahía Magdalena solo es posible encontrar organismos maduros y en posdesove en la primera mitad del año, cuando la TSM es relativamente baja. En la segunda mitad del año cuando la temperatura aumenta estos individuos son muy escasos o no los hay. Este comportamiento se ajusta al modelo de distribución espacio-temporal propuesto por Félix-Uraga *et al.* (2004), para explicar los cambios en las capturas asociados a las temperaturas en el sur de la Corriente de California.

La relación inversa entre el porcentaje de individuos en estadios IV y V y el factor de condición, es un indicador más de que las estimaciones de madurez fueron adecuadas, ya que esta relación también es reportada por Cubillos *et al.* (2001), Amenzoui *et al.* (2006) y van der Lingen *et al.* (2006). Esto es debido a que en el verano los peces se alimentan abundantemente y acumulan reservas en forma de grasa, con lo que su condición mejora, mientras que en el invierno y primavera, cuando ocurre la reproducción y se observan los %IR más elevados, los peces han aprovechado todas las reservas en la producción de gametos y su desove, por lo que su condición disminuye.

8.4. TALLA DE PRIMERA MADUREZ (L_{50}).

La talla de primera madurez puede verse afectada por las condiciones poblacionales y ambientales que se dan en tiempo y espacio en el área de distribución (Torres-Villegas *et al.* 1995; van der Lingen *et al.* 2006). Esta variación depende mayoritariamente de la historia biológica de cada individuo y de la estrategia reproductiva de la especie (Saborido 2004), aunque la variabilidad interanual de la L_{50} también puede ser atribuida al crecimiento diferencial de las cohortes. Los factores que hacen que la tasa de crecimiento individual cambie son diversos, como los cambios en el medio ambiente, mayor disponibilidad o calidad del alimento y cambios en la tasa de mortalidad, ya sea natural o por pesca (Saborido 2004; Amenzoui *et al.* 2006).

Todas las tallas estimadas en Bahía Magdalena y Ensenada están por encima de la talla mínima legal de captura para México, establecida en la NOM-PESC-003-1993 (DOF, 1993). Tomando en cuenta esta situación y considerando que las condiciones ambientales en la costa Oeste de la península de Baja California son distintas a las del Golfo de California (lo que modifica la dinámica reproductiva de la especie) y que esta medida regulatoria se estableció con base en los análisis realizados en el Golfo de California, hace que sea necesario que se revise esta medida para la zona de estudio (Ensenada-Bahía Magdalena) para asegurar que la sardina del Pacífico tenga al menos un periodo de reproducción.

En el presente estudio, los valores de la L_{50} son mayores a los estimados por otros autores en la zona de estudio. Torres-Villegas (1986) encontró que la talla varió de 146 a 150 mm LP para las hembras de Bahía Magdalena; a su vez Torres-Villegas *et al.* (1995a) reportaron tallas desde 135 hasta 165 mm LP en el periodo 1982-1992; por su parte Álvarez-Trasviña (2008) encontró diferencias en la L_{50} de hembras y machos (sexos combinados=153.4 mm LP; machos=146.4 mm LP y hembras=165.9 mm LP). Para la zona de California Macewicz *et al.* (1996) reportaron que la L_{50} para hembras se ubicó entre 158.6 y 160.6 mm LP. Las diferencias observadas pueden ser debidas al periodo de estudio analizado, a los métodos de estimación, así como a los estadios de madurez utilizados para definir a los organismos maduros (Serra & Tsukayama 1988).

Variaciones tan amplias en la talla de primera madurez de *S. sagax* como las reportadas en el presente estudio ocurren en otras áreas. En el sistema Chile-Perú, Serra & Tsukayama (1988) hacen una recopilación de estudios realizados en diversas regiones del Pacífico Suroriental, donde reportan intervalos entre 200-270 mm LT, mencionando que las variaciones observadas se deben a los diferentes criterios utilizados en la estimación. Para el sistema de Bengala, van der Lingen *et al.* (2006) estiman la L_{50} entre 170 y 191 mm de LP en el periodo de 1953-2004. Ward *et al.* (2008) estiman que la L_{50} de la sardina del sur de Australia fue de 147 mm LP para hembras y de 141 mm LP para machos. Para *Sardina pilchardus* en las Islas Canarias, Amenzoui *et al.* (2006) estimaron la L_{50} de 158 (± 29) mm LT para machos y 158 (± 35) mm LT para hembras.

Existe una tendencia a incrementar la L_{50} en Bahía Magdalena con el paso del tiempo, mientras que en San Pedro y Ensenada la tendencia es decreciente. Esto último pudiera ser una respuesta a niveles de explotación elevados, donde los peces reducen la talla a la que se alcanza la madurez (Rochet *et al.* 2000). En Bahía Magdalena probablemente la explotación no sea tan intensa como en Ensenada y San Pedro.

La correspondencia entre los patrones temporales en la condición, los parámetros reproductivos y el tamaño de la población, sugieren fuertemente un efecto densodependiente, e indican una respuesta compensatoria que surge de una competencia intraespecífica reducida. Esto probablemente sea el resultado de una mayor ingesta de alimento per cápita, una mejor condición de los individuos y en consecuencia un crecimiento más rápido, permitiendo así al pez lograr la maduración a una edad presumiblemente más joven y a una talla más pequeña (van der Lingen *et al.* 2006). Para tratar de probar lo anterior se correlacionaron las capturas con la L_{50} en cada zona de pesca (anexo 20). Se obtuvo una correlación directa y significativa ($R_s = 0.401$; $p < 0.05$) en Bahía Magdalena, mientras que en San Pedro la correlación fue significativa pero inversa ($R_s = -0.657$; $p < 0.05$), en Ensenada se encontró una correlación inversa pero no es significativa ($R_s = -0.28$; $p > 0.05$).

Efectos denso-dependientes en parámetros biológicos y de la reproducción de la sardina han sido reportados previamente. La edad de primera madurez de *S. sagax* en California se redujo cuando se disminuyó el tamaño poblacional (Butler *et al.* 1996). Quiñonez-Velazquez *et al.* (2002) observaron una disminución de la talla al primer año de vida conforme se incrementó la abundancia en Isla de Cedros. Para *S. sagax* en la corriente de Bengala se ha observado que a niveles poblacionales elevados la talla de primera madurez se incrementa, y cuando la población disminuye, la L_{50} también.

La disminución de la L_{50} en la sardina que se captura en California pudiera ser un signo de reducción del tamaño de la población, como resultado de la densodependencia. De acuerdo a Hill *et al.* (2007), las estimaciones de biomasa realizadas con los datos de California, Oregón y Washington en Estados Unidos y de

Ensenada en México, indican que la biomasa de *S. sagax* en esa región tuvo un incremento sostenido hasta el 2000 cuando alcanzó su máximo (1,713,280 t) disminuyendo a partir de ese año y en 2007 el valor de la biomasa estimada fue de 832,706 t, lo que representa una reducción del 52%. La ausencia de correlación entre las capturas y la talla de primera madurez en Ensenada puede ser debida a la mezcla de los stocks frío y templado que se realiza en la zona (Félix-Uraga *et al.* 2004, Hill *et al.* 2007), lo cual está enmascarando el efecto de la densodependencia.

Los cambios en la talla de primera madurez representan un rasgo más de la plasticidad fenotípica de las sardinas, ya que las poblaciones sometidas a una tasa de explotación elevada, presentan individuos con una madurez temprana, por lo que se espera que estos cambios sean fácilmente reversibles cuando se retorne a la condición original (van der Lingen *et al.* 2006).

9. CONCLUSIONES

- ✍ La sardina del Pacífico en la región sur de la Corriente de California presenta un equilibrio en la proporción sexual (1M:1H).
- ✍ El factor de condición de *Sardinops sagax* es un buen indicador de la época de reproducción.
- ✍ La principal época reproductiva se sucede en invierno cuando se presentan las temperaturas más bajas y los menores valores del factor de condición.
- ✍ La talla de primera madurez presenta cambios espaciales y temporales, debido a las variaciones en el ambiente y a cambios en la abundancia poblacional.
- ✍ Las tallas de primera madurez (L_{50}) de la sardina del Pacífico fueron mayores a la talla mínima de captura reglamentaría de 150 mm LP, por lo que una parte de ellas no han tenido la oportunidad de reproducirse al menos una vez, pudiéndose afectar la renovabilidad del recurso.

10. RECOMENDACIONES

Debido a que la NOM-003-PESCA-1993 estipula una talla mínima legal de captura para la sardina del Pacífico de 150 mm de longitud patrón, y que esta reglamentación se tomó con base en información de la talla de primera madurez de esta especie en el Golfo de California; se recomienda una revisión de esta medida para las zonas de pesca de Bahía Magdalena y Ensenada, en virtud de que en estas zonas las tallas de primera madurez fueron mayores a 150 mm LP en todos los años del presente estudio. Esta revisión debería hacerse de manera rutinaria y para cada zona de pesca de sardina del Pacífico en el noroeste de México.

11. REFERENCIAS

- Aguilera, E. A., C. Oyarzún & J. Chong. 1986. Reproductive cycle of the Pacific sardine, *Sardinops sagax música* (Girard, 1854) from the fishery area of Talcahuano, Chile (1983-1984). *Biol. Pesq.* 15: 45-53.
- Aguirre-Gómez, R. 2001. Los mares mexicanos a través de la percepción remota. Temas selectos de Geografía de México: III. Métodos y técnicas para el estudio del territorio. Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México. 95 p.
- Ahlstrom, E. H. 1954. Distribution and abundance of egg and larval populations of the Pacific sardine. *U.S. Fish. Wildl. Serv., Fish. Bull.* 56: 83-140.
- Ahlstrom, E. H. 1966. Distribution and abundance of sardine and anchovy larvae in the California current region off California and Baja California, 1951-64: A summary. *U.S. Fish. Wildl. Serv., Spec. Sci. Rep.* 534: 71
- Alarcón, V. H., S. R. Goldberg & J. Alheit. 1984. Histología de folículos postovulatorios de la sardina (*Sardinops sagax*) del Perú. *Bol. Inst. Mar Perú-Callao* 8(1): 1-16.
- Allen, M. J., R. J. Wolotira, Jr., T. M. Sample, S. F. Noel & C. R. Iten. 1990. West coast of North America coastal and oceanic zones strategic assessment: Data Atlas, Invertebrate and fish. NOAA. Seattle, WA. 145 p.
- Álvarez-Borrego, J. & S. Álvarez-Borrego. 1982. Temporal and spatial variability of temperature in two coastal lagoons. *CalCOFI Rep.* 23: 188-198.
- Álvarez-Trasviña, E. 2008. Biología reproductiva de la sardina del Pacífico *Sardinops sagax* (Jenyns, 1842) en Bahía Magdalena, durante 1981 a 2005. Tesis de Licenciatura, Universidad Autónoma de Baja California Sur. La Paz, B.C.S., México. 56 p.

- Alvial, A. L. 1987. ENSO impacts on pelagic ecosystems in eastern pacific, with emphasis on fishery resources. Master of Science. College of Oceanography. Oregon State University, EUA. 86 p.
- Amenzoui K., F. Ferhan-Tachinante, A. Yahyaoui, S. Kifani & A. H. Meouei. 2006. Analysis of the cycle of reproduction of *Sardina pilchardus* (Walbaum, 1792) off the Moroccan Atlantic coast. C. R. Biol., 329: 892-901.
- Aoki, I. & T. Murayama. 1993. Spawning pattern of the Japanese sardine *Sardinops melanostictus* off southern Kyushu and Shikoku, southwestern Japan. Mar. Ecol. Prog. Ser. 97: 127-134.
- Bakun, A. 1985. Comparative studies and the recruitment problem: Searching for generalizations. CalCOFI Rep. 26: 30-40.
- Bakun, A. 1996. Patterns in the ocean: ocean processes and marine population dynamics. University of California Sea Grant, San Diego, California, in cooperation with Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, La Paz, B.C.S., México. 323 p.
- Butler, J. L., M. L. G. G., J. T. Barnes, M. Yaremko & B. J. Macewicz. 1996. Age composition, growth, and maturation of the Pacific sardine (*Sardinops sagax*) during 1994. CalCOFI Rep. 37:152-159.
- Carlander, K.D. 1969. Handbook of Freshwater fishery biology. Vol.1. The Iowa State Univ. Press, Ames. 752 p.
- Chong, J., C. Oyarzún, E. Aguilera & A. Arrizaga. 1991. Ciclo de maduración y puesta de la sardina española, *Sardinops sagax* (Jenyns, 1842) (Cupleidae), en la zona pesquera de Talcahuano, Chile (1984-1985). Sci. Mar. 55 (2): 397-404.
- Clark, F. N. 1928. The Weight-Length Relationship of the California Sardine (*Sardina caerulea*) at San Pedro. Calif. Div. Fish Game, Fish Bull. 12: 59 p.

- Clark, F. N. 1931. Maturity of the California Sardine (*Sardina caerulea*), determined by ovary diameter measurements. Calif. Div. Fish Game, Fish Bull. 42: 1-51.
- Clark, F. N. 1947. Analysis of populations of the Pacific sardine on the basis of vertebral counts. Calif. Div. Fish Game, Fish Bull. 65: 5-26.
- Clark, F. N. & J. C. Marr. 1955. Population dynamics of the Pacific sardine. CalCOFI Rep. 1 July 1953-31 March 1955: 11-48.
- Cotero C. E. & H. R. Valles. 2006. Reproducción de la Sardina *Sardinops caeruleus* de la Costa Occidental de Baja California. Memorias del XIV Taller de Pelágicos Menores. La Paz, B.C.S., 21 al 23 de Junio de 2006.
- Costa, M.R. da & F.G. Araújo. 2003. Length-weight relationship and condition factor of *Micropogonias furnieri* (Desmarest) (Perciformes, Scianidae) in the Sepetiba Bay, Rio de Janeiro, Brazil. Rev. Bras. Zool. 20(4): 685-690.
- Cubillos, L. A., D. F. Arcos, D. A. Bucarey & M. T. Canales. 2001. Seasonal growth of small pelagic fish off Talcahuano, Chile (37°S, 73°W): A consequence of their reproductive strategy to seasonal upwelling? Aquat. Living. Resour. 14: 15-124.
- Cury, P. & C. Roy. 1989. Optimal environmental window and pelagic fish recruitment success in upwelling areas. Can. J. Aquat. Sci. 46:670-680.
- Cushing, D. H. 1975. Marine Ecology and Fisheries. Cambridge; University Press. 278 p.
- de la Lanza-Espino, G. 2001. Características físico-químicas de los mares de México. Temas selectos de Geografía de México: I. Textos Monográficos: 9. Las costas y los mares de México. Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México. 149 p.
- DOF. 2003. Norma Oficial Mexicana NOM-003-PESC-1993, para regular el aprovechamiento de las especies de sardina Monterrey, piña, crinuda, bocona, japonesa y de las especies anchoveta y macarela, con embarcaciones de

cerco, en aguas de Jurisdicción Federal del Océano Pacífico, incluyendo el Golfo de California. 21 de diciembre de 1993. México.

Felin, F. E. & J. B. Phillips. 1948. Age and length composition of the sardine match off the pacific coast of the United States and Canada, 1941-42 through 1946-47. Calif. Div. Fish Game, Fish Bull. 69: 122 p.

Felin, F. E., R. S. Wolf, A. E. Daugherty & D. J. Millar. 1958. Age and length composition of the Pacific coast of the United States and Mexico in 1955-56 and 1956-57. Calif. Div. Fish Game, Fish Bull. 106: 72 p.

Félix-Uraga, R. 1986. Edad, crecimiento y estructura poblacional de *Sardinops sagax caerulea* en Bahía Magdalena, durante 1981 a 1984. Tesis de Maestría en Ciencias. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, Instituto Politécnico Nacional. La Paz, B. C. S., México. 102 p.

Félix-Uraga, R. 2006. Dinámica poblacional de la sardina del Pacífico *Sardinops sagax* (Jenyns 1842) (Cupleiformes: Clupeidae), en la costa oeste de la península de Baja California y el sur de California. Tesis de Doctorado. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, Instituto Politécnico Nacional. La Paz, B. C. S., México. 86 p.

Félix-Uraga, R., R. M. Alvarado-Castillo & R. Carmona-Piña. 1996. The sardine fishery along the western coast of Baja California, 1981 to 1994. CalCOFI Rep. 37: 188-192.

Félix-Uraga, R., V. M. Gómez-Muñoz, C. Quiñónez-Velázquez, F. N. Melo-Barrera & W. García-Franco. 2004. On the existence of Pacific sardine groups off the west coast of Baja California and Southern California. CalCOFI Rep. 45: 146-151.

Fiedler, P. C. 1986. Offshore entrainment of anchovy spawning habitat, eggs and larvae by a displaced eddy in 1985. CalCOFI Rep. 27: 144-152.

- Funes-Rodríguez, R., J. Gómez-Gutiérrez & R. Palomares-García. 2007. Estudios Ecológicos en Bahía Magdalena. Instituto Politécnico Nacional. México. 311 p.
- García-Franco, W., R. Vidal-Talamantes, A. Cota-Villavicencio, J. R. Corrales & I. Prieto-Montalvo. 1999. Variation in fat content of northern anchovy (*Engraulis mordax*) in relation to the Baja California environment. CalCOFI Rep. 40: 165-169.
- Goldberg, S. R., V. H. Alarcón & J. Alheit. 1984. Postovulatory follicle histology of the Pacific sardine, *Sardinops sagax*, from Peru. Fish Bull. 82: 443-445.
- Hartman, K. J. & F. J. Margraf. 2006. Relationships among condition indices, feeding and growth of walleye in Lake Erie. Fisheries Manag. Ecol. 3: 121–130.
- Hernández-Vázquez, S. 1994. Distribution of eggs and larvae from sardine and anchovy off California and Baja California, 1951-1989. CalCOFI Rep. 35: 94-107.
- Herrera, G., G. Claramunt & P. Pizarro. 1994. Dinámica ovárica de la sardina española (*Sardinops sagax*) del norte de Chile, periodo abril 1992-marzo 1993. Análisis por estrato de talla. Rev. Biol. Mar. Valparaíso. 29 (2): 147-166.
- Hewitt, R. 1981. Eddies and speciation in the California Current. CalCOFI Rep. XXII: 96-99.
- Hill, K. T., E. Dorval, N. C.H. Lo, B. J. Macewicz, C. Show & R. Félix-Uraga. 2007. Assessment of the pacific sardine resource in 2007 for U.S. management in 2008. NOAA-TM-NMFS-SWFSC-413. U.S. Department of Commerce. NOAA. 186 p.
- Hinojosa-Medina, A. 2004. Bahía de La Paz; Hábitat de desove de peces de la familia Cupleidae. Tesis de Maestría. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, Instituto Politécnico Nacional. La Paz, B. C. S., México. 107 p.

- Holden, M. J. & D. F. S. Raitt. 1975. Manual de ciencia pesquera. Parte 2. Métodos para investigar los recursos y su aplicación. Doc. Tec. FAO. Pesca. (115) Rev. 1: 211 p.
- Hunter, J. R. & B. Macewicz. 1985. Measurement of spawning frequency in multiple spawning fishes. An Egg Production Method for Estimating Spawning Biomass of Pelagic Fish: Application to the Northern Anchovy, *Engraulis mordax*. NOAA Tech. Rep. NMFS. R. Lasker. Washington, DC., U.S. Dept. Commerce. 79-94.
- Hunter JR & BJ Macewicz. 2003. Improving the accuracy and precision of reproductive information used in fisheries. En: Modern approaches to assess maturity and fecundity of warm and cold water fish and squids. Kjesbu OS, JR Hunter & PR Witthames (eds). Institute of Marine Research. The Research Council of Norway, Bergen. 57-68.
- Jacobson, L. D. & A. D. MacCall. 1995. Stock-recruitment models for Pacific sardine *Sardinops sagax*. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 52: 566-577.
- Jones, R. E., R. J. Petrell & D. Pauly. 1999. Using modified length-weight relationships to assess the condition of fish. Aquacult. Eng. (20): 261-276.
- Kramer, D. & P. E. Smith. 1971. Seasonal and geographic characteristics of fishery resources. California current region VII. Pacific Sardine Com. Fish. Rev. 33(10): 711.
- Keys, A. B. 1928. The weight-length relation in fishes. Proc. N.A.S. 14 (12): 922-925.
- Korpelainen, H. 1990 Sex ratios and conditions required for environmental sex determination in animals. Biol. Rev. 65 (2): 147-184.
- Lloret, J. & S. Planes. 2003. Condition, feeding and reproductive potential of white seabream *Diplodus sargus* as indicators of habitat quality and the effect of reserve protection in the northwestern Mediterranean. Mar. Ecol. Prog. Ser. 248: 197-208.

- Lluch-Belda, D., S. Hernández-Vázquez & R. A. Schwartzlose. 1991a. "A hypothetical model for the fluctuation of the California sardine population (*Sardinops sagax caerulea*)." In Long-term variability of pelagic fish populations and their environment. T Kawasaki et al., eds. Pergamon Press.: 293-300.
- Lluch-Belda, D., D. B. Lluch-Cota, S. Hernández-Vázquez, C. A. Salinas-Zavala & R. A. Schwartzlose. 1991b. Sardine and anchovy spawning as related to temperature and upwelling in the California current system. CalCOFI Rep. 32: 105-111.
- Lluch-Belda, D., D. B. Lluch-Cota & S. E. Lluch-Cota. 2003. Baja California's Biological Transition Zones: Refuges for the California Sardine. J. Oceanogr. 59: 503-513.
- Lucano-Ramírez, G., Ruiz-Ramírez, S. & J. A. Rojo-Vázquez. 2005. Biología reproductiva de *Prionotus ruscarius* (Pisces:Triglidae) en las costas de Jalisco y Colima, México. Revista Digital Universitaria. 6(8): 2-13.
- Lynn R. J. & J. J. Simpson. 1987. The California Current System: The Seasonal Variability of its Physical Characteristics. J. Geophys. Res. 92: 12,947-12,966.
- MacCall, A. D. 1979. Population estimates for the warming years of the Pacific sardine fishery. CalCOFI Rep. 10: 72-82.
- Macewicz, B. J., J. J. Castro-Gonzalez & J. R. Hunter 1996. Adult reproductive parameters of Pacific sardine (*Sardinops sagax*) during 1994. CalCOFI Rep. 37: 140–151.
- MacGregor, J. 1957. Fecundity of the Pacific sardine (*Sardinops caerulea*). Fish Bull. 57(121):427-449.
- MacGregor, J. 1959. Relation between fish condition and population size in the sardine, *Sardinops caerulea*. Fish. Res. Biol. 166: 215-230.
- McFarlane, G. A. & R. J. Beamish. 1999. Sardines return to British Columbia waters
In: Proceedings of the 1998 Science Board Symposium on the impacts of the

- 1997/98 El Niño event on the north Pacific ocean and its marginal seas, H. Freeland, W. P. Peterson & A. Tyler (eds.) Sidney, Canada. PICES Scientific Report, 10. N. Pac. Mar. Sci. Org., 77-82.
- McFarlane, G. A. & R. J. Beamish. 2001. The re-occurrence of sardines off British Columbia characterizes the dynamic nature of regimes. *Prog. Oceanogr.* 49: 151-165.
- Méndez-Villamil, M. M., J. M. Lorenzo-Nespereira, J.M. González-Pajuelo & R. Soto-Aguilera. 1997. Periodo reproductor y madurez sexual de la sardina *Sardina pilchardus* (Walbaum, 1792) en aguas de Gran Canaria (Islas Canarias). *Bol. Inst. Esp. Oceanogr.* 13 (1 y 2): 47-55.
- Mendoza-Bañuelos, H. 2001. Parámetros de crecimiento y relación longitud-peso de la sardina Monterrey *Sardinops caeruleus* [Girard, 1856] (Teleostei: Clupeidae) en Bahía Magdalena, B.C.S., México, durante 1986-1990. Tesis de Licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México. 106 p.
- Morgan, M. J. 2004. The relationship between fish condition and the probability of being mature in American plaice (*Hippoglossoides platessoides*). *J. Mar. Sci.* 61: 64-70.
- Murphy, G. I. 1966. Population biology of the Pacific sardine *Sardinops caerulea*. *Proc. Cal. Acad. Sci.* 34(1): 1-87.
- Nelson, C. S. 1979. Coastal upwelling off western North America, 1976. *In* Ocean variability in the U.S. Fishery Conservation Zone, 1976. J. R. Goulet, Jr., and E. D. Haynes, eds. NOAA Tech. Rep. NMFS Circ. 427, June 1979, pp 65-75.
- Nikolsky, D. V. 1963. The ecology of fishes. Academic Press, New York. 532 p.
- Parrish, R. H., D. L. Mallicoate & R. A. Klingbeil. 1986. Age dependent fecundity, number of spawning per year, sex ratio, and maturation stages in Northern Anchovy, *Engraulis mordax*. *Fish. Bull.* 84 (3): 503-517.

- Parrish, R. H., R. Serra & W. S. Grant. 1989. The monotypic sardines, *Sardina* and *Sardinops*: Their taxonomy, distribution, stock structure, and zoogeography. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 46: 2019-2036.
- Paukert, C. & R. S. Rogers. 2004. Factors Affecting Condition of Flannelmouth Suckers in the Colorado River, Grand Canyon, Arizona. *N. Am. J. Fish. Manag.* 24: 648-653.
- Pauly, D. 1984. Fish population dynamics in tropical waters: A manual for use with programmable calculators. International Center for Living Aquatic Resources Management, Studies and Reviews 8, Manila, Philippines, 325 p
- Quiñonez -Velázquez, C., R. Alvarado-Castillo & R. Félix-Uraga. 2002. Relación entre el crecimiento individual y la abundancia de la población de la sardina del Pacífico *Sardinops caeruleus* (Pisces:Clupeidae) (Girard 1856) en Isla de Cedros, Baja California, México. *Rev. Biol. Mar. Oceanogr.* 37: 1-8.
- Radovich, J. 1982. The collapse of the California sardine fisheries: what have we learned? *CalCOFI Rep.* 23:56-78.
- Redding, J. M. & R. Patiño. 1993. Reproductive Physiology: 503-534. En: Evans, D. H. (Ed.). *The Physiology of Fishes*. CRC Press Inc.
- Retamales, R. & L. González. 1984. Fecundidad de sardina española (*Sardinops sagax musica*). Programa Estudio de Recursos Pelágicos. Corporación. Gerencia de Desarrollo. Instituto de Fomento Pesquero, Chile AP84-5. 30 pp.
- Ricker, W. E. 1975. Computation and interpretation on biological statistics of fish population. *Bull. fish. Res. Board. Can.* 191: 392 p.
- Rosa, A., G. Menezes, O. Melo & M.R. Pinho. 2006. Weight-length relationships of 33 demersal fish species from Azores archipelago. *Fish. Res.* 80: 329-332.
- Rochet, M. J., P. A. Cornillon, R. Sabatier & D. Pontier. 2000. Comparative analysis of phylogenetic and fishing effects in life history patterns of teleost fishes. *Oikos.* 91: 255-270.

- Saborido, F. 2004. Ecología de la reproducción y potencial reproductivo en las poblaciones de peces marinos. Curso doutoramento do bienio 2002-2004. Instituto de Investigaciones Marinas, Universidad de Vigo, España. 69 p.
- Salgado-Ugarte, I. H. 1992. Análisis Exploratorio de Datos Biológicos, Ed. Marc. Ediciones, México, 242 p.
- Serra, R. & I. Tsukuyama, 1988. Sinopsis de datos biológicos y pesqueros de la sardina *Sardinops sagax* (Jenyns, 1842) en el Pacífico suroriental. FAO Sinop. Pesca. (13) Rev. 1: 60 p.
- Schneider, J. C., P. W. Laarman & H. Gowing. 2000. Length-Weight Relationships Chapter 17: 1-18 p. J. C. Schneider (ed). Manual of fisheries survey methods II: with periodic updates. Michigan Department of Natural Resources. Ann Arbor, Michigan.
- Schwing, F. B., C. S. Moore, S. Ralston & K. M. Sakuma. 2000. Record coastal upwelling in the California Current in 1999. CalCOFI Rep. 41: 148-160.
- Sparre, P. & S. Venema. 1992. Introduction to tropical fish stock assessment. Part I, Manual. FAO Fisheries Technical Paper No. 306/1. 440 p.
- Stenevik, E. K., M. Skogen, S. Sundby & D. Boyer. 2003. The effect of vertical and horizontal distribution on retention of sardine (*Sardinops sagax*) larvae in the Northern Benguela—observations and modeling. Fish. Oceanogr. 12 (3): 185–200.
- Torres-Villegas, J. R. 1986. Evaluación de *Sardinops sagax* por el método de producción de huevos, en Bahía Magdalena, B.C.S., México. Tesis de Maestría. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, Instituto Politécnico Nacional. La Paz, B. C. S., México. 116 p.
- Torres-Villegas, J. R., M. A. Reinecke-Reyes & R. Rodríguez-Sánchez. 1986. Ciclo reproductor de *Sardinops sagax* (sardina Monterrey) en el Golfo de California. Investigaciones Marinas, CICIMAR 3: 52-68.

- Torres-Villegas, J.R., R. I. Ochoa-Báez, L. Perezgómez-Álvarez & G. García-Melgar. 1995a. Comparison of seasonal variability in the reproduction of Pacific sardine (*Sardinops sagax*) from Baja California Sur, Mexico, in the years 1982-1992. *Sci. Mar.* 59(3-4): 255-264.
- Torres-Villegas, J. R., R. I. Ochoa-Báez & M. S. Muñetón-Gómez. 1995b. Temperature effect on spawning and age structure of eggs of *Sardinops sagax*, Clupeidae, during five circadian cycles in Bahía Magdalena, Baja California Sur, Mexico. *Sci. Mar.* 59: 439-443.
- Tsuchiya, M. 1980. Inshore circulation in the Southern California Bight, 1974-1977. *Deep Sea Res.* 27A: 99-118.
- van der Lingen, C. D., P. Fréon, T. P. Fairweather & J.J. van der Westhuizen. 2006. Density-dependent changes in reproductive parameters and condition of southern Benguela sardine *Sardinops sagax*. *Afr. J. Mar. Sci.*, 28 (3 y 4): 625-636.
- Wallace, R. A. & K. Selman. 1981. Cellular and dynamic aspect of oocyte growth in teleosts. *Am. Zool.* 21: 325-343.
- Walsh, J. J., E. Whitley, W. E. Esaias, R. L. Smith, S. A. Huntsman, H. Santander & B. Mendiola. 1980. The spawning habit of the Peruvian anchovy, *Engraulis ringens*. *Deep Sea Res.* 27:1-27.
- Ward, T. M., G. J. Ferguson, & P. Rogers. 2008. The South Australian Sardine (*Sardinops sagax*) Fishery. Fishery Assessment Report to PIRSA Fisheries. South Australian Research and Development Institute (Aquatic Sciences), Adelaide, F2007/000765, Res. Rep. Series No. 262. 75 pp
- Ward, T. M. & J. Staunton-Smith. 2002. Comparison of the spawning patterns and fisheries biology of the sardine, *Sardinops sagax*, in temperate South Australia and sub-tropical southern Queensland. *Fish. Res.* 56: 37-49.

- Wolf, P. 1992. Recovery of the Pacific sardine and the California sardine fishery. CalCOFI Rep. 33: 76-86.
- Wolf, R. S. 1961. Graphic presentation of Pacific sardine age composition data. U. S. Fish Wildl. Serv. Spec. Sci. Rep. Fish. 384: 34 p.
- Wong, M. 1973. Biología de la sardina del Golfo de California (*Sardinops sagax caerulea*). CalCOFI Rep. 17: 97-100.
- Zar, J. H. 1996. Biostatistical analysis. 3th edn. Prentice Hall. New Jersey. 918 p.

12. ANEXOS

Anexo 1.

Muestreos anuales de la sardina del Pacífico en la zona de pesca de Bahía Magdalena.

Año	Machos	Hembras	Indeterminados	Total
1981	184	161		345
1982	202	224		426
1983	156	149		305
1984	261	328	62	651
1985	209	285	19	513
1986	379	419	29	827
1987	118	90	2	210
1988	165	240	79	484
1989	334	251	56	641
1990	519	564	11	1,094
1991	617	681	48	1,346
1992	147	223	58	428
1993	192	245	17	454
1994	328	433	35	796
1995	422	626	64	1,112
1996	413	461	26	900
1997	313	252	9	574
1998	137	137	7	281
1999	82	100		182
2000	415	460		875
2001	345	413		758
2002	339	501	11	851
2003	257	434	1	692
2004	231	423	100	754
2005	233	382	7	622
Total	6,998	8,482	641	16,121

Anexo 2.

Muestreos anuales de la sardina del Pacífico en la zona de pesca de Ensenada.

Año	Machos	Hembras	Indeterminados	Total
1989	78	121	7	206
1990	101	134	27	262
1991	310	360	2	672
1992	235	272		507
1993	578	652	248	1,478
1994	282	273	8	563
1995	332	429	9	770
1996	230	328	1	559
1997	238	303	1	542
1998	295	374	22	691
1999	303	340	3	646
2000	302	325		627
2001	236	269	1	506
2002	163	150	12	325
Total	3,683	4,330	341	8,354

Anexo 3.

Muestreos anuales de la sardina del Pacífico en la zona de pesca de San Pedro.

Año	Machos	Hembras	Indeterminados	Total
1986	158	154		312
1987	159	175		334
1988	397	384	19	800
1989	157	181		338
1990	260	326	3	589
1991	943	1,160	31	2,134
1992	1,734	2,470	83	4,287
1993	1,055	1,105	12	2,172
1994	1,444	1,691	133	3,268
1995	3,390	4,095	917	8,402
1996	1,083	1,151	136	2,370
1997	1,238	1,511	73	2,822
1998	1,331	1,486	24	2,841
1999	1,344	1,360	25	2,729
2000	1,387	1,459	16	2,862
2001	1,511	1,647	211	3,369
2002	1,477	1,689	203	3,369
2003	1,416	1,748	111	3,275
2004	1,543	1,746	118	3,407
2005	1,709	1,771	119	3,599
Total	23,736	27,309	2234	53,279

Anexo 4.

Prueba F para pendientes y elevaciones (ANCOVA; $p > 0.05$) de la relación peso-longitud (PT-LP) con las muestras totales y las muestras estandarizadas ($n=1000$) para las zonas de pesca.

	Bahía Magdalena		Ensenada		San Pedro	
n	15,479	1,000	8,013	1,000	52,045	1,000
a	1.34×10^{-5}	1.47×10^{-5}	6.53×10^{-6}	5.57×10^{-6}	6.11×10^{-6}	6.0×10^{-6}
b	3.034	3.016	3.130	3.161	3.159	3.163
F	0.0316	0.02	1.985	2.017	0	0
p	0.856	0.874	0.159	0.155	1.0	1.0

Anexo 5.

Constantes a y b de la relación peso-longitud y prueba F para pendientes y elevaciones (ANCOVA) de la relación PT- LP para cada año de estudio en la zona de pesca de Bahía Magdalena.

Año	a	b	F	p
1981	1.963 x 10 ⁻⁵	2.944	3.48	0.063
1982	3.121 x 10 ⁻⁶	3.318	0.56	0.454
1983	1.922 x 10 ⁻⁵	2.947	2.87	0.091
1984	2.271 x 10 ⁻⁵	2.926	3.77	0.053
1985	3.141 x 10 ⁻⁷	3.781	0.93	0.336
1986	3.545 x 10 ⁻⁶	3.282	0.23	0.631
1987	1.220 x 10 ⁻⁴	2.602	4.59	0.033*
1988	1.780 x 10 ⁻⁵	2.970	0.25	0.620
1989	1.107 x 10 ⁻⁵	3.076	7.34	0.007*
1990	9.037 x 10 ⁻⁵	2.652	0.00	0.965
1991	1.422 x 10 ⁻⁵	3.022	1.23	0.267
1992	1.678 x 10 ⁻⁵	2.533	1.52	0.219
1993	1.304 x 10 ⁻⁵	3.055	0.82	0.364
1994	6.164 x 10 ⁻⁷	3.654	1.47	0.226
1995	8.366 x 10 ⁻⁶	3.122	0.27	0.603
1996	4.926 x 10 ⁻⁶	3.233	13.57	0.000*
1997	1.156 x 10 ⁻⁴	2.623	0.79	0.376
1998	1.139 x 10 ⁻⁴	2.627	0.01	0.912
1999	5.833 x 10 ⁻⁷	3.622	1.34	0.248
2000	1.657 x 10 ⁻⁵	2.989	3.46	0.063
2001	1.55 x 10 ⁻⁴	2.574	0.17	0.681
2002	1.118 x 10 ⁻⁵	3.087	0.02	0.886
2003	3.188 x 10 ⁻⁶	3.326	0.00	1.000
2004	3.753 x 10 ⁻⁶	3.299	2.78	0.096
2005	2.089 x 10 ⁻⁶	3.411	0.80	0.372

*= diferencias significativas (p<0.05)

Anexo 6.

Constantes a y b de la relación peso-longitud y prueba F para pendientes y elevaciones (ANCOVA) de la relación PT- LP para cada año de estudio en la zona de pesca de Ensenada.

Año	a	b	F	p
1989	1.396×10^{-5}	2.893	4.015	0.046*
1990	7.456×10^{-5}	2.667	6.510	0.011*
1991	4.620×10^{-5}	2.784	3.375	0.067
1992	1.199×10^{-4}	2.570	3.295	0.070
1993	8.098×10^{-6}	3.103	0.034	0.853
1994	1.450×10^{-6}	3.415	11.581	0.001*
1995	4.214×10^{-6}	3.210	0.571	0.450
1996	1.775×10^{-6}	3.374	0.623	0.430
1997	3.897×10^{-6}	3.212	0.789	0.375
1998	2.194×10^{-4}	2.457	0.506	0.477
1999	3.916×10^{-6}	3.218	0.844	0.359
2000	6.840×10^{-7}	3.560	0.103	0.748
2001	7.279×10^{-6}	3.100	0.771	0.380
2002	2.822×10^{-6}	3.283	1.884	0.171

*= diferencias significativas ($p < 0.05$).

Anexo 7.

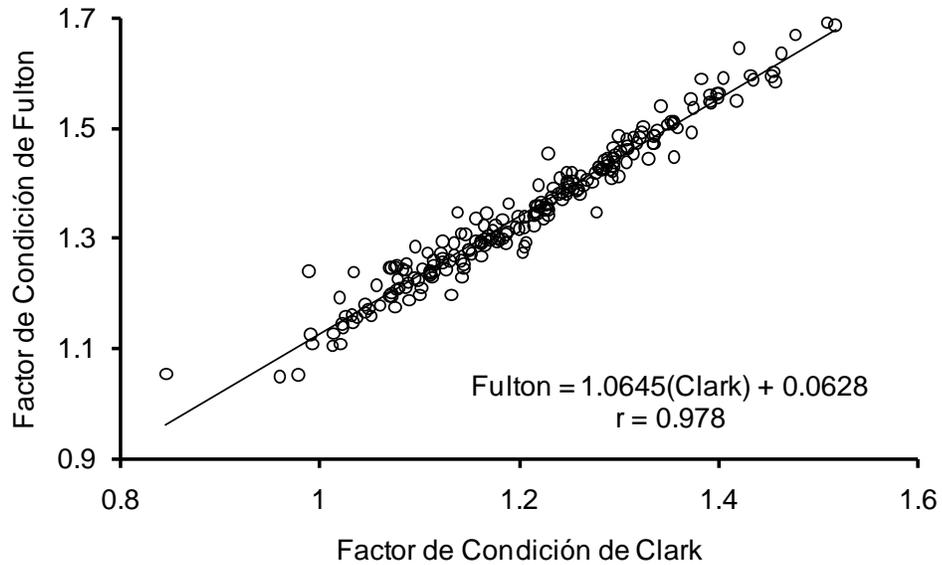
Constantes a y b de la relación peso-longitud y prueba F para pendientes y elevaciones (ANCOVA) de la relación PT- LP para cada año de estudio en la zona de pesca de San Pedro.

Año	a	b	F	p
1986	2.761×10^{-5}	2.892	1.847	0.175
1987	4.979×10^{-6}	3.211	0.063	0.802
1988	5.406×10^{-6}	3.181	0.007	0.934
1989	9.576×10^{-6}	3.090	4.925	0.027*
1990	2.683×10^{-5}	2.893	1.838	0.176
1991	9.264×10^{-6}	3.087	7.147	0.008*
1992	1.046×10^{-5}	3.053	16.765	0.0*
1993	2.930×10^{-6}	3.295	3.065	0.080
1994	4.037×10^{-6}	3.235	1.347	0.246
1995	3.291×10^{-6}	3.274	2.107	0.147
1996	3.587×10^{-6}	3.259	0.514	0.473
1997	4.457×10^{-6}	3.216	3.549	0.060
1998	8.946×10^{-6}	3.081	0.263	0.608
1999	1.106×10^{-5}	3.046	1.969	0.161
2000	6.265×10^{-6}	3.158	2.880	0.090
2001	3.171×10^{-6}	3.289	0.513	0.474
2002	7.945×10^{-6}	3.111	8.809	0.003*
2003	3.615×10^{-6}	3.271	9.515	0.002*
2004	5.179×10^{-6}	3.193	0.755	0.385
2005	8.645×10^{-6}	3.096	1.103	0.294

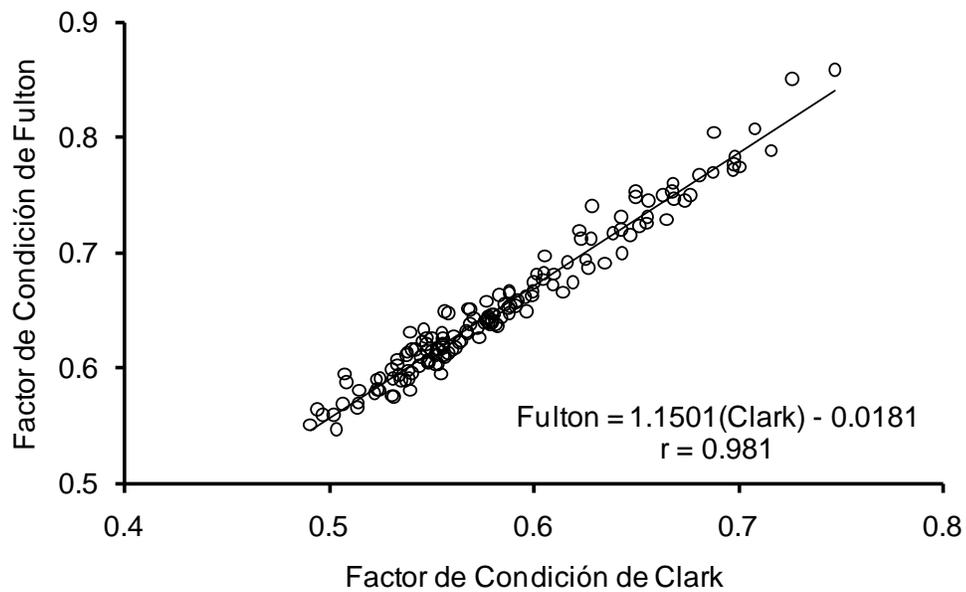
*= diferencias significativas ($p < 0.05$).

Anexo 8.

Correlación entre el factor de condición de Clark y el de Fulton en Bahía Magdalena.



Correlación entre el factor de condición de Clark y el de Fulton en Ensenada.



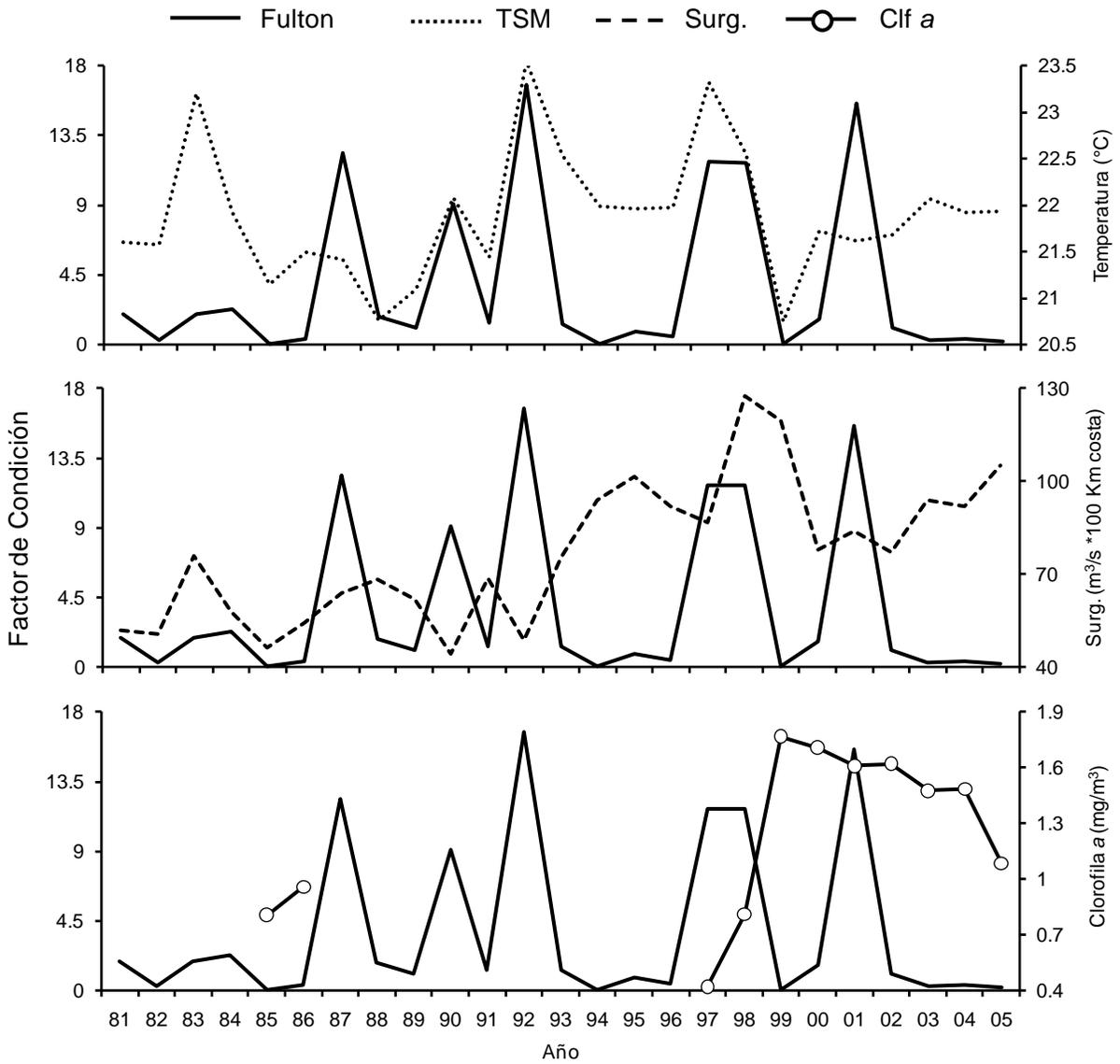
Anexo 9.

Valores mensuales del factor de condición de Fulton en las tres zonas de pesca.

	Bahía Magdalena	Ensenada	San Pedro
Enero	1.256	0.555	0.606
Febrero	1.244	0.543	0.600
Marzo	1.297	0.532	0.596
Abril	1.358	0.557	0.605
Mayo	1.345	0.557	0.611
Junio	1.396	0.582	0.618
Julio	1.439	0.600	0.642
Agosto	1.485	0.633	0.650
Septiembre	1.401	0.638	0.641
Octubre	1.361	0.611	0.629
Noviembre	1.289	0.606	0.617
Diciembre	1.249	0.598	0.602

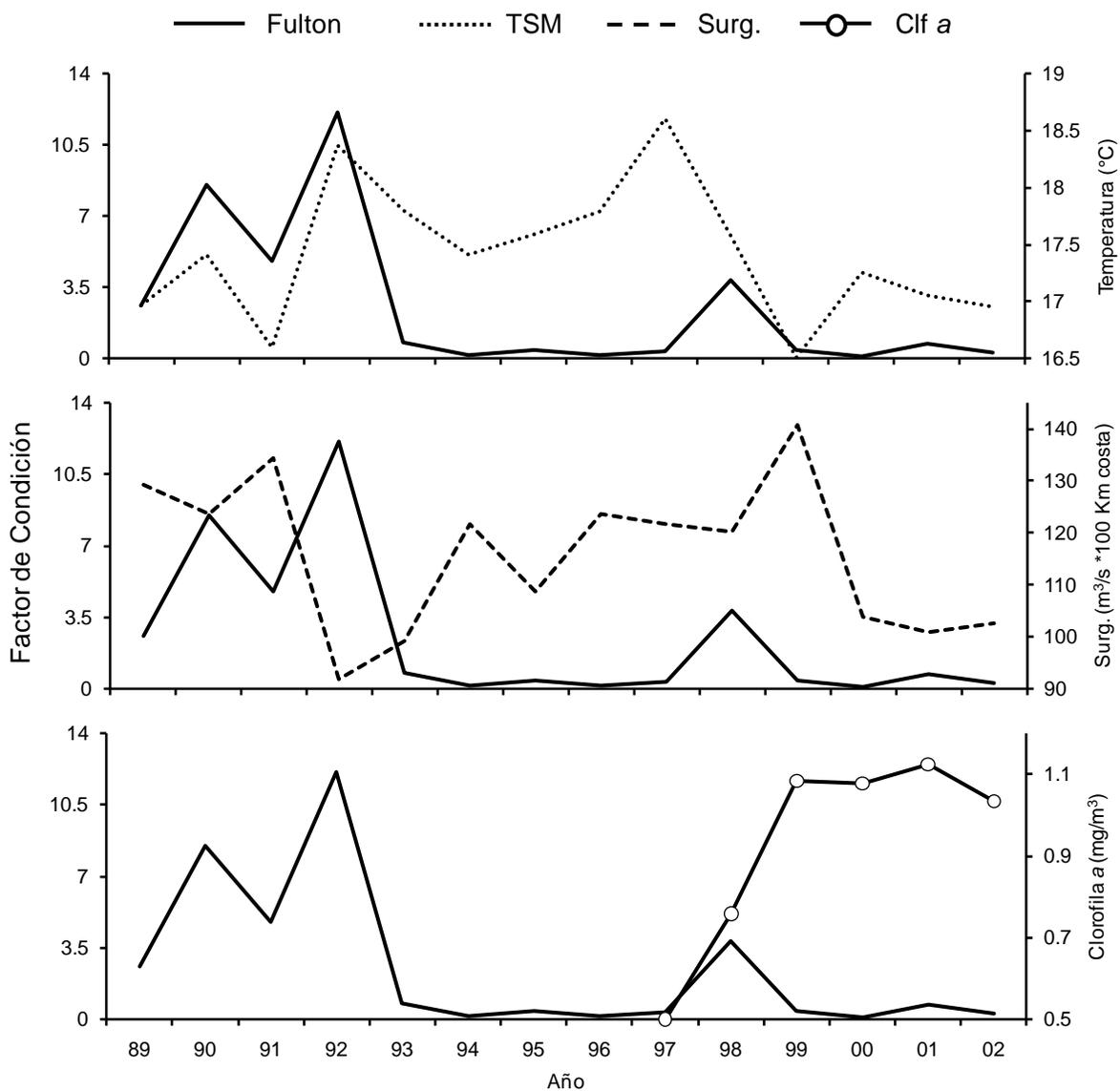
Anexo 10.

Relación entre las variaciones anuales del factor de condición de Fulton y las variables ambientales (Fulton vs TSM, $R_s = 0.32$; $p > 0.05$, Fulton vs Surg., $R_s = -0.25$; $p > 0.05$, Fulton vs Clf a, $R_s = -0.03$; $p > 0.05$) en la zona de pesca de Bahía Magdalena.



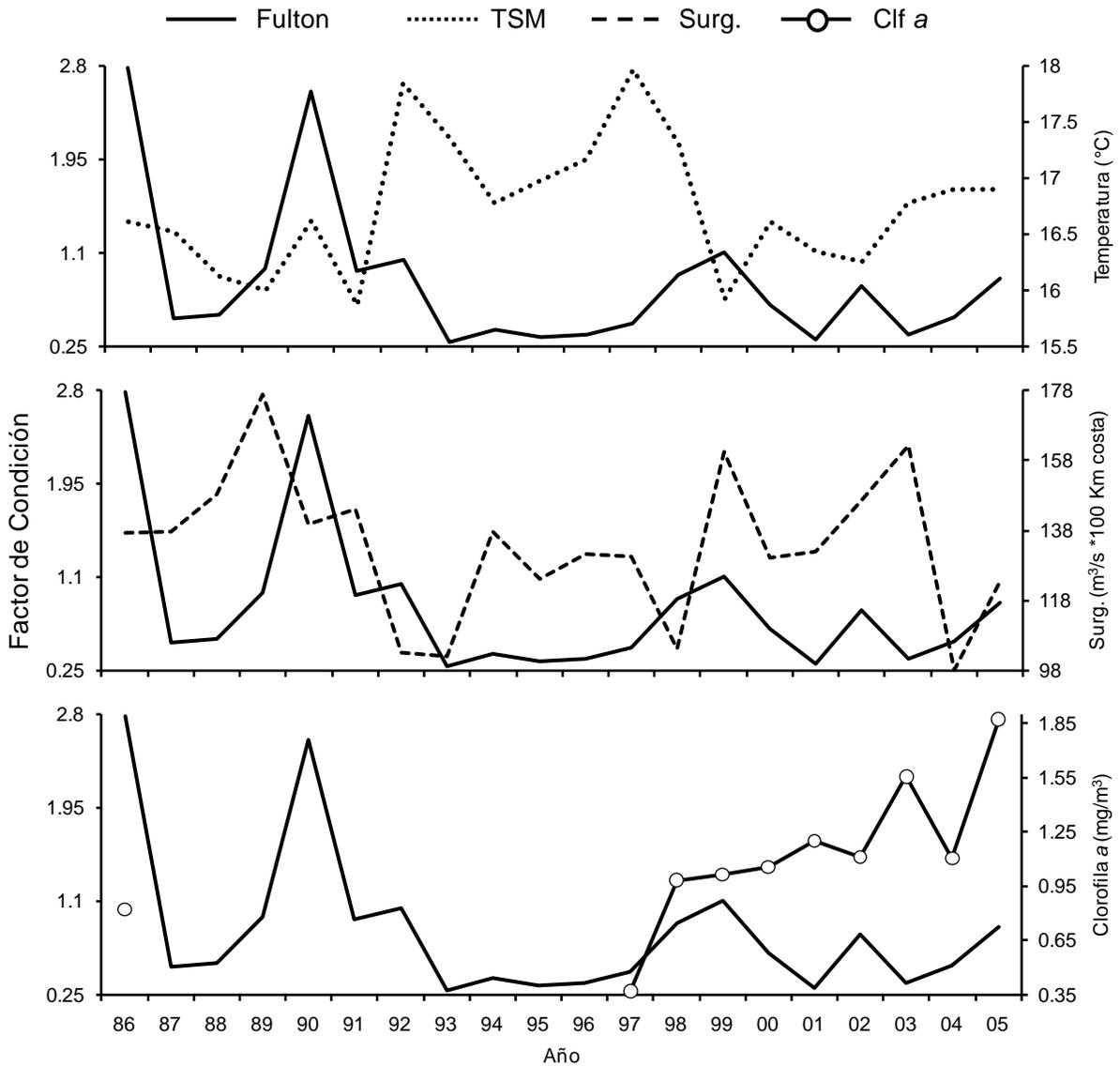
Anexo 11.

Relación entre las variaciones anuales del factor de condición de Fulton y las variables ambientales (Fulton vs TSM, $R_s = 0.04$; $p > 0.05$, Fulton vs Surg., $R_s = -0.03$; $p > 0.05$, Fulton vs Clf a, $R_s = 0.09$; $p > 0.05$) en la zona de pesca de Ensenada.



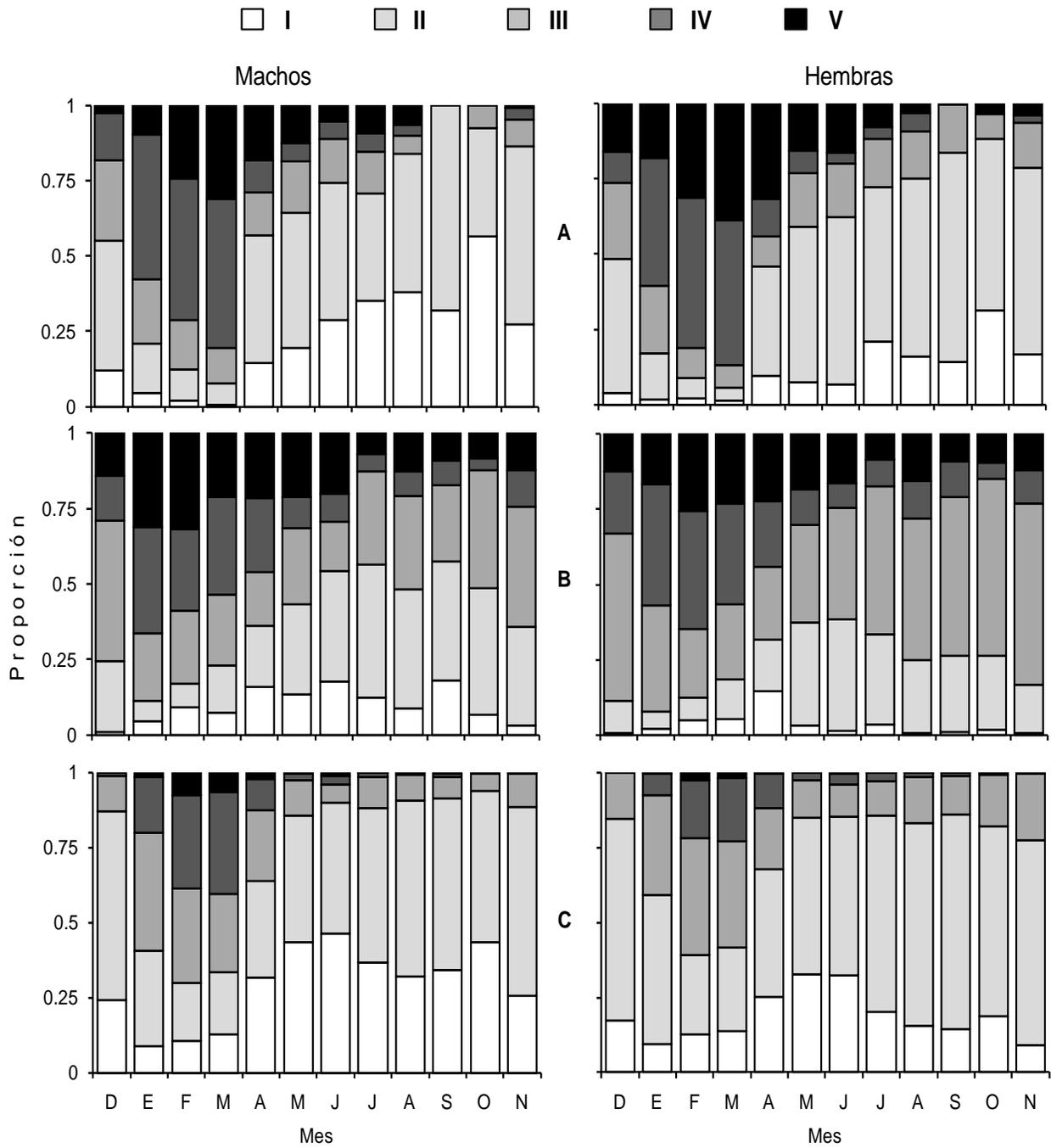
Anexo 12.

Relación entre las variaciones anuales del factor de condición de Fulton y las variables ambientales (Fulton vs TSM, $R_s = -0.36$; $p > 0.05$, Fulton vs Surg., $R_s = 0.26$; $p > 0.05$, Fulton vs Clf a, $R_s = -0.39$; $p > 0.05$) en la zona de pesca de San Pedro.



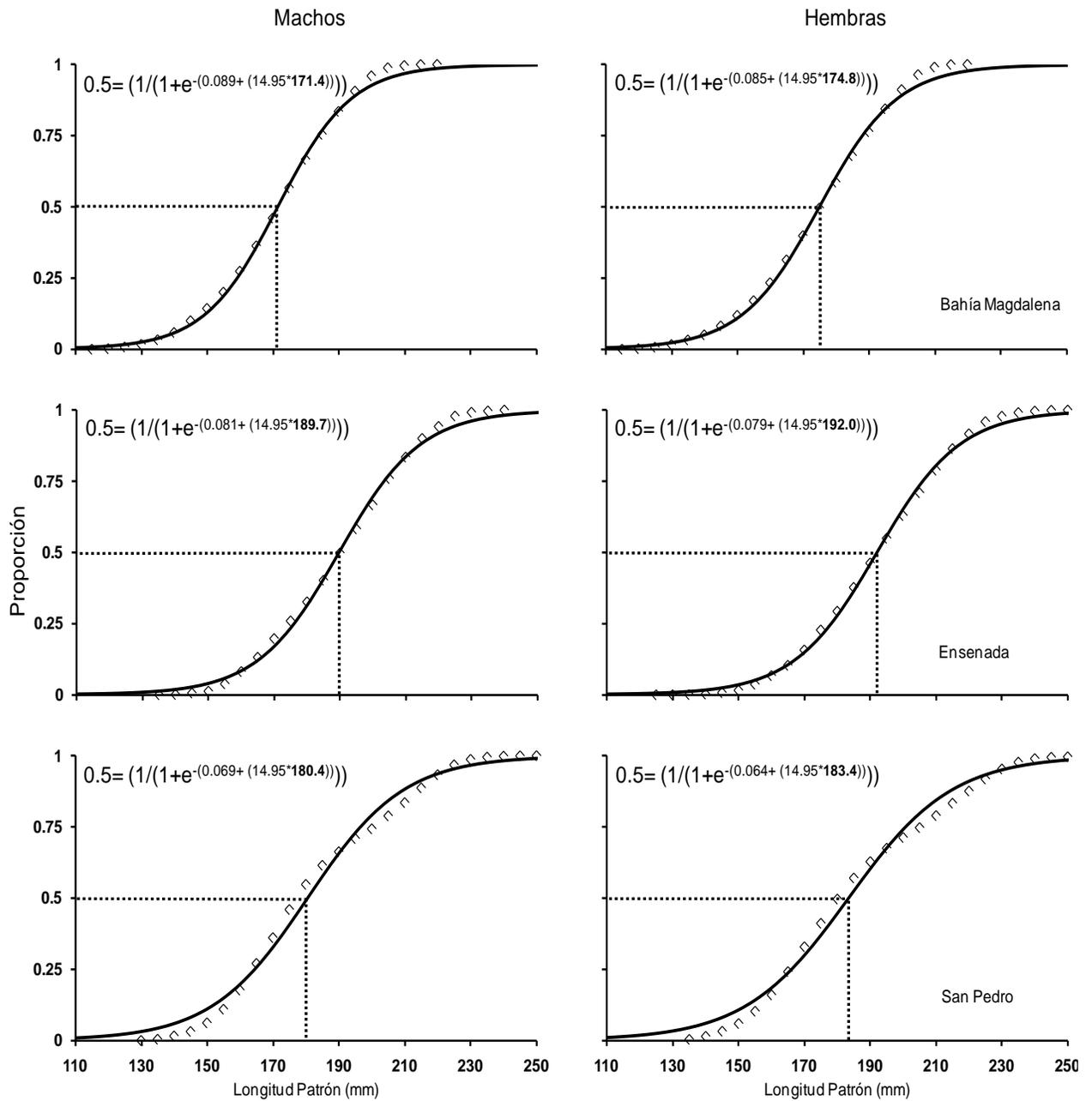
Anexo 13.

Ciclo reproductivo de machos y hembras de la sardina del Pacífico de las zonas de pesca. A) Bahía Magdalena, B) Ensenada y C) San Pedro.



Anexo 14.

Modelos logísticos de la talla de primera madurez (L_{50}) para machos y hembras en las zonas de pesca.



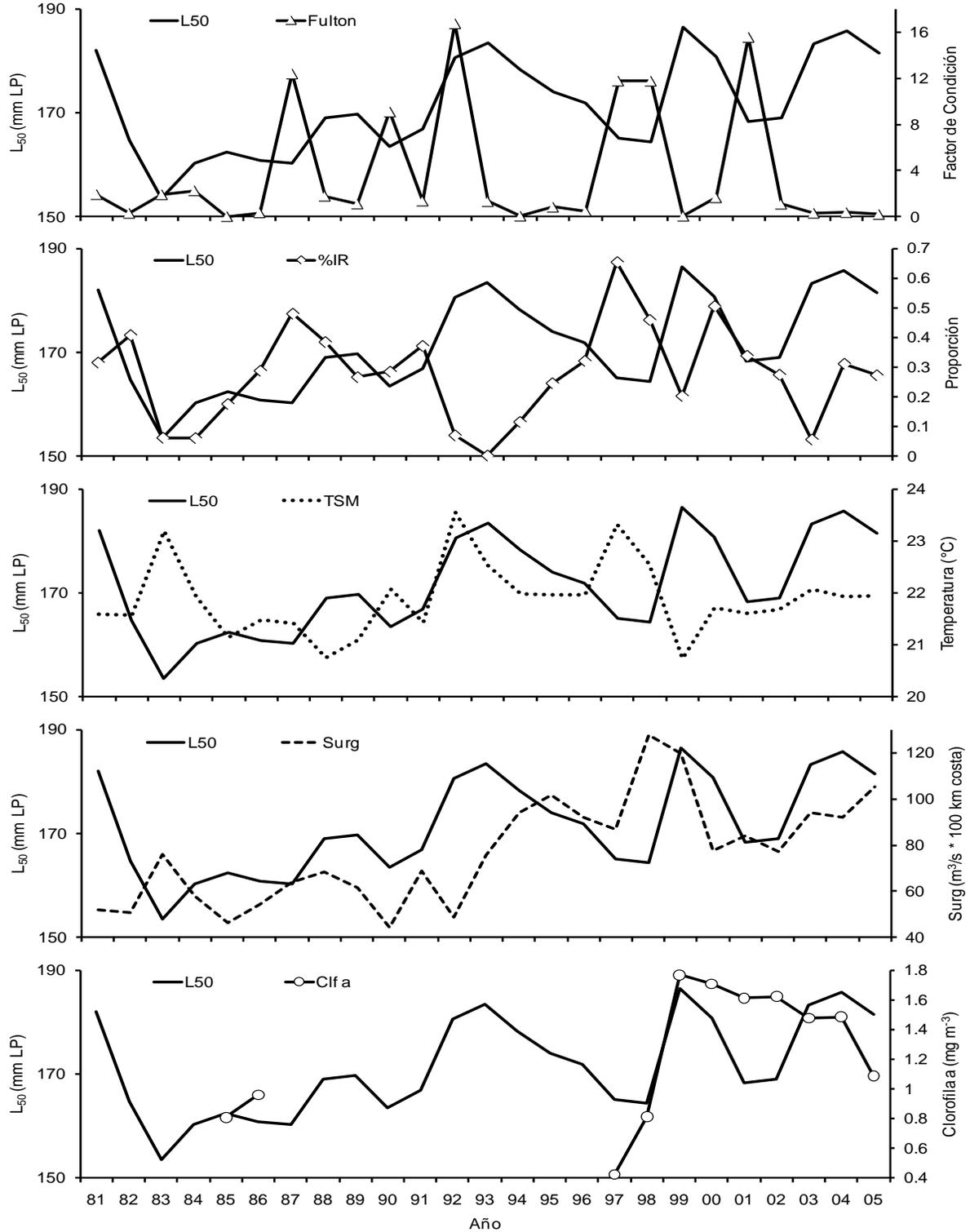
Anexo 15.

Tallas de primera madurez (L_{50}) de machos, hembras y sexos combinados en cada zona de pesca.

Año	Bahía Magdalena			Ensenada			San Pedro		
	Machos	Hembras	Combinados	Machos	Hembras	Combinados	Machos	Hembras	Combinados
1981	181.5	182.4	182.1						
1982	158.9	169.1	164.8						
1983	150.3	157.9	153.5						
1984	160.5	160.3	160.3						
1985	162.0	162.7	162.4						
1986	160.3	161.3	160.8				207.2	212.5	209.5
1987	154.5	167.9	160.2				213.8	220.1	216.9
1988	165.4	171.0	169.0				210.8	217.6	213.6
1989	167.7	171.4	169.8	201.2	210.8	207.0	215.0	223.6	219.3
1990	162.3	164.7	163.6	213.7	215.5	214.8	208.2	211.8	210.1
1991	166.4	167.4	166.9	214.8	213.6	214.1	211.3	216.9	214.1
1992	178.9	181.8	180.6	188.8	194.6	192.1	199.5	204.8	202.5
1993	181.7	184.7	183.5	180.0	178.5	179.0	170.3	177.2	174.1
1994	176.8	179.4	178.3	182.4	182.7	182.6	175.3	179.3	177.4
1995	170.9	176.3	174.0	181.0	184.2	183.3	172.4	176.4	174.3
1996	167.3	176.1	171.9	195.4	201.6	199.5	169.9	172.2	170.9
1997	163.3	166.2	165.2	203.8	206.1	205.2	182.3	186.5	184.0
1998	162.8	165.3	164.3	196.7	199.0	198.0	187.1	191.0	188.8
1999	182.6	189.9	186.5	169.5	170.4	170.0	162.2	165.0	163.0
2000	178.8	182.2	180.7	187.7	187.9	187.8	166.2	170.5	168.4
2001	167.4	169.1	168.2	182.3	183.0	182.7	171.0	175.6	173.2
2002	166.0	171.6	169.0	179.9	184.2	182.1	180.9	185.8	183.4
2003	183.0	183.4	183.2				166.3	170.0	168.0
2004	186.0	185.7	185.8				164.3	162.3	162.9
2005	179.2	183.7	181.5				156.7	157.1	156.9

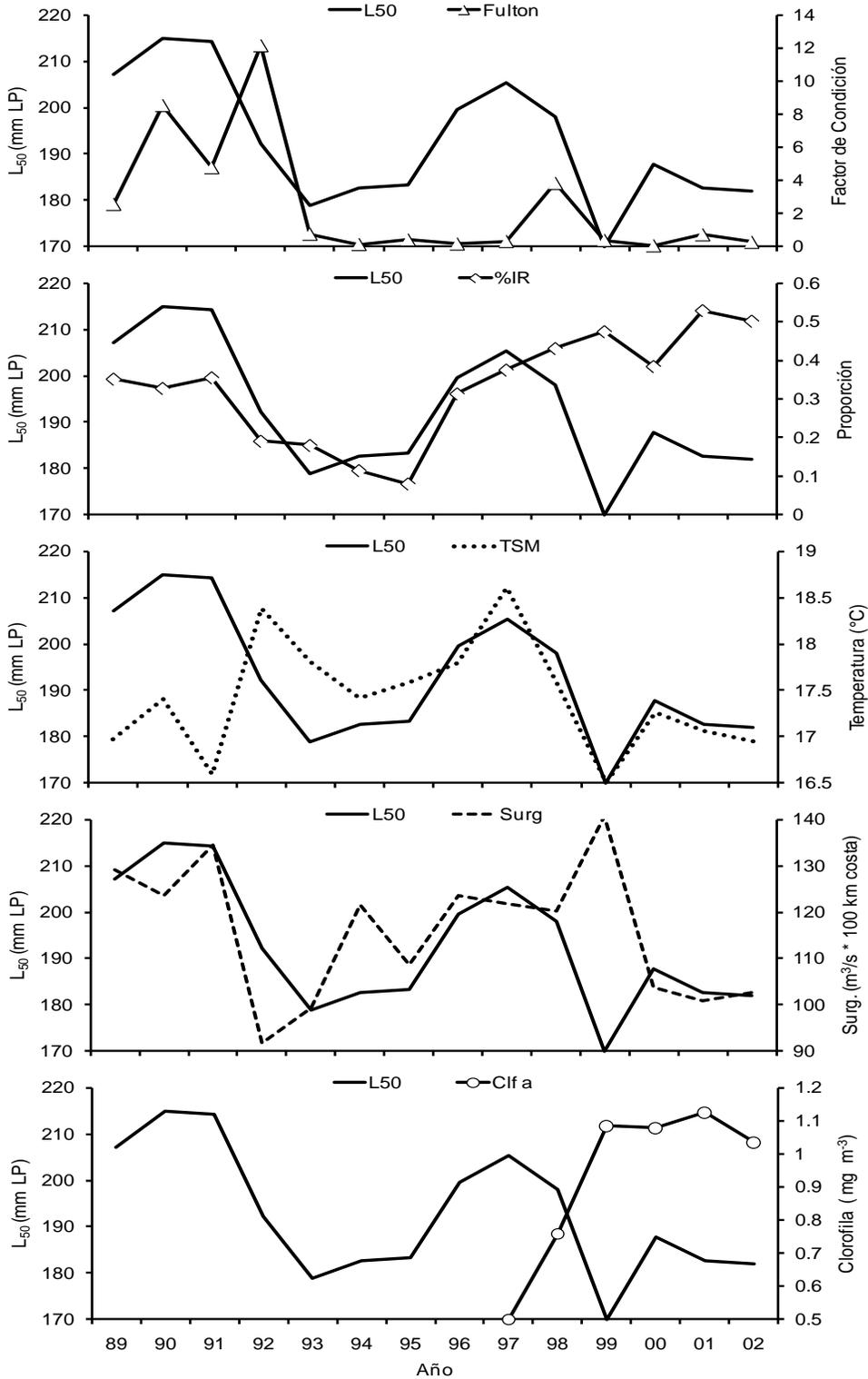
Anexo 16.

Relación entre la L_{50} , el factor de condición de Fulton, el %IR y las variables ambientales (TSM, Surg y Clf a) en la zona de Bahía Magdalena.



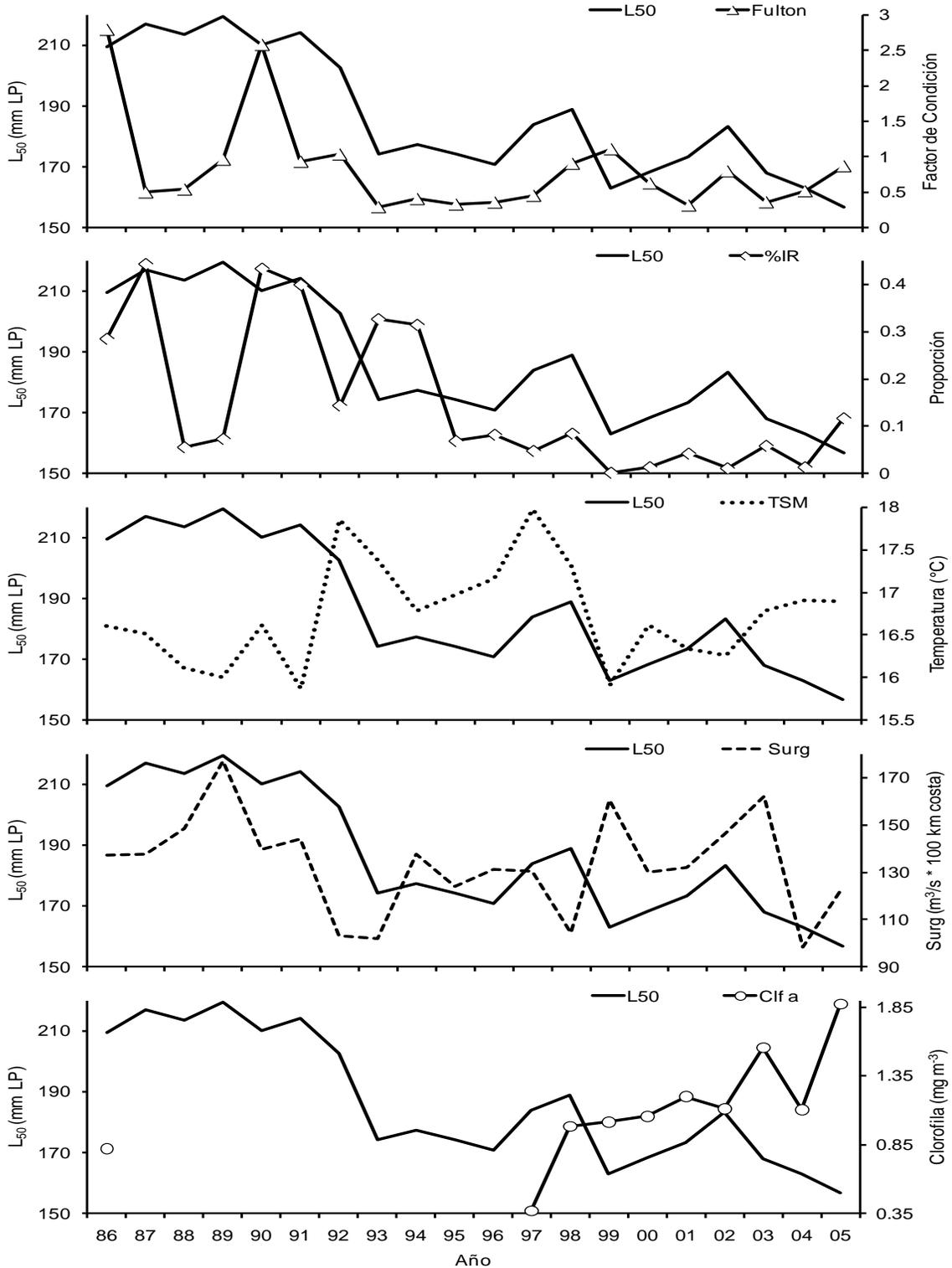
Anexo 17.

Relación entre la L_{50} , el factor de condición de Fulton, el % IR y las variables ambientales (TSM, Surg y Clf a) en la zona de Ensenada.



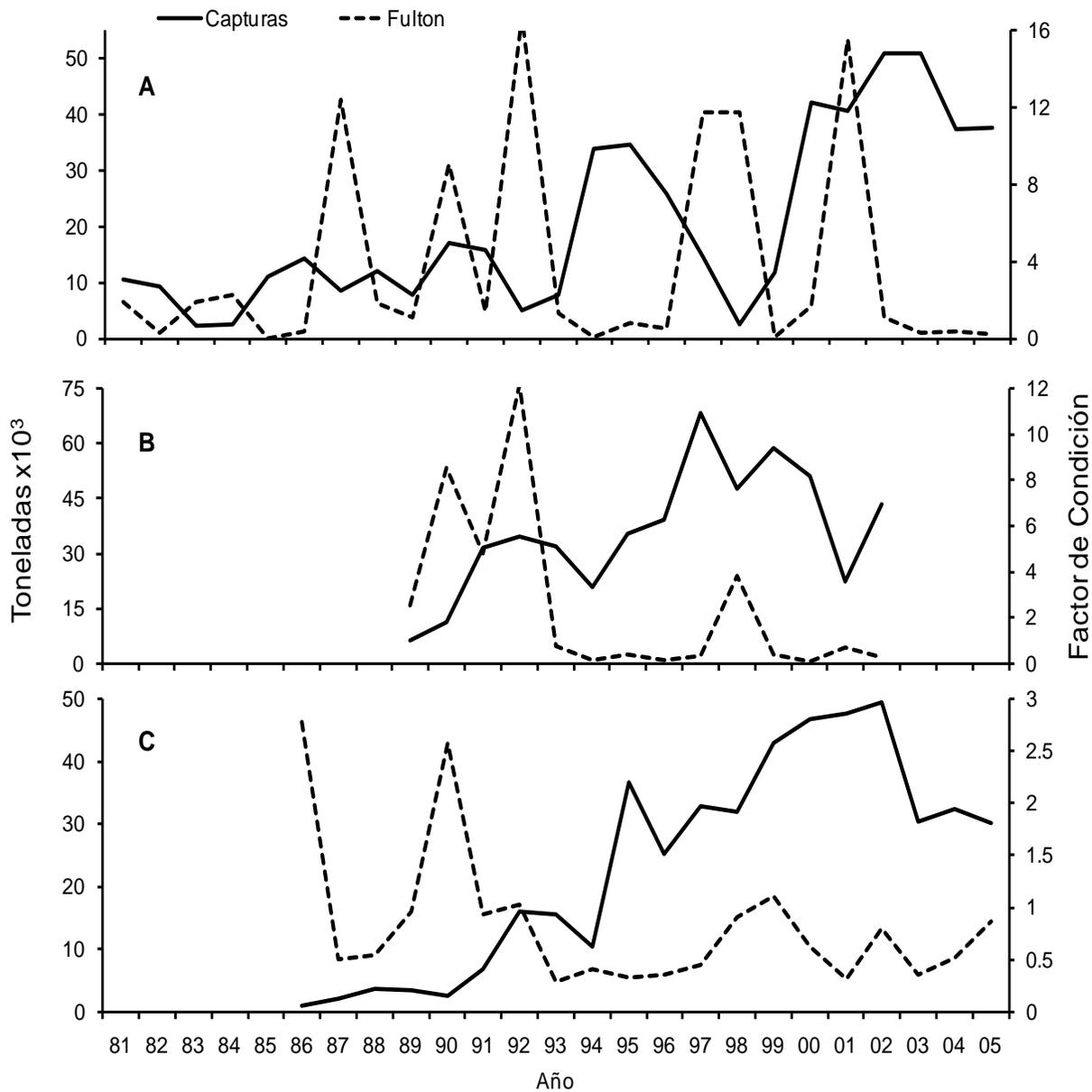
Anexo 18.

Relación entre la L_{50} , el factor de condición de Fulton, el % IR y las variables ambientales (TSM, Surg y Clf a) en la zona de San Pedro.



Anexo 19.

Relación entre las variaciones anuales del factor de condición de Fulton y las capturas en cada zona de pesca. A) Bahía Magdalena, ($R_s = -0.33$, $p > 0.05$), B) Ensenada ($R_s = -0.43$, $p > 0.05$) y C) San Pedro ($R_s = -0.33$, $p > 0.05$).



Anexo 20.

Relación entre las variaciones anuales de la L_{50} y las capturas en cada zona de pesca. A) Bahía Magdalena, B) Ensenada y C) San Pedro.

