



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE CIENCIAS MARINAS



**REPRODUCCIÓN DE LA SARDINA
MONTERREY *Sardinops sagax* (Jenyns,
1842) EN RELACIÓN CON LA EDAD DE
LAS HEMBRAS, EN BAHÍA
MAGDALENA,
B. C. S., MÉXICO**

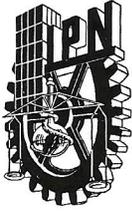
TESIS

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRÍA EN CIENCIAS EN MANEJO DE RECURSOS MARINOS**

PRESENTA

CE ACATL ARCE PEINADO

LA PAZ, B.C.S., DICIEMBRE DE 2014



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 20 del mes de Noviembre del 2014 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 MONTERREY *Sardinops sagax* (Jenyns, 1842)
EN RELACIÓN CON LA EDAD DE LAS HEMBRAS, EN BAHÍA MAGDALENA, B.C.S., MÉXICO”

Presentada por el alumno:

ARCE Apellido paterno	PEINADO materno	CE ACATL nombre(s)	Con registro:						
			B	1	2	0	6	8	1

Aspirante de:

MAESTRÍA 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

Director(a) de Tesis

DRA. ROSÁ ISABEL OCHOA BÁEZ

DR. BERNARDO SHIRASAGO GERMÁN

MC. MARCIAL TRINIDAD VILALEJO FUERTE

DR. AGUSTÍN HERNÁNDEZ HERRERA

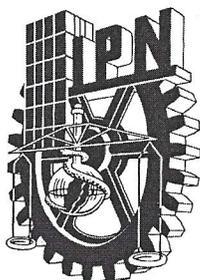
DR. JULIAN REVENTORES VILLEGAS

PRESIDENTE DEL COLEGIO DE PROFESORES

DRA. MARÍA MARGARITA CASAS VALDEZ



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 26 del mes noviembre del año 2014

el (la) que suscribe BM. CE ACATL ARCE PEINADO alumno(a) del

Programa de MAESTRÍA EN CIENCIAS EN MANEJO DE RECURSOS MARINOS

con número de registro B120681 adscrito al CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE CIENCIAS MARINAS

manifiesta que es autor (a) intelectual del presente trabajo de tesis, bajo la dirección de:

DRA. ROSA ISABEL OCHOA BÁEZ

y cede los derechos del trabajo titulado:

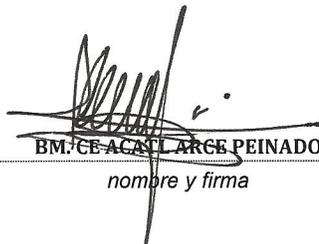
“REPRODUCCIÓN DE LA SARDINA MONTERREY, *Sardinops sagax* (Jenyns, 1842)

EN RELACIÓN CON LA EDAD DE LAS HEMBRAS, EN BAHÍA MAGDALENA, B.C.S., MÉXICO”

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. Éste, puede ser obtenido escribiendo a la siguiente dirección: peinado.ceacatl@gmail.com - rochoa@ipn.mx -

Si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente del mismo.


BM. CE ACATL ARCE PEINADO
nombre y firma

AGRADECIMIENTOS

A la Dra. Rosa Isabel Ochoa Báez y al Dr. Julián René Torres Villegas por la propuesta, el planteamiento y facilidades para realizar el trabajo, aclarar las dudas que fueron surgiendo durante la elaboración de este trabajo con su asesoramiento científico y estímulo para seguir creciendo intelectualmente. A los profesores investigadores de mi comité revisor: Dr. Julián René Torres Villegas, Dr. Bernardo Shirasago Germán, Dr. Agustín Hernández Herrera y al M. en C. Marcial Trinidad Villalejo Fuerte. Por aceptar la asesoría a este trabajo, y por sus valiosos consejos y aportes, los cuales ayudaron de gran medida a mejorarlo. Así mismo, al Dr. Leonardo Pérez Lezama, por sus atinadas observaciones.

A las empresas del Sistema Producto Pelágicos Menores de B.C.S. A.C.; Sardinera Bahía Magdalena S.A. de C.V., Productos Pesqueros De Matancitas S.A de C.V., Pesquera México, S.A de C.V., Naviera y Pesquera del Pacífico S.A. de C.V., Pesquera Casreal S. de R.L. de C.V., Del Mar Industrial S. A. de C. V., y Conservera San Carlos S.A de C.V. A los proyectos de investigación a través de los cuales fue posible la recolección de datos y muestras biológicas durante mas 10 años realizados en el Laboratorio de Morfofisiología de Cicimar-IPN. Por el acceso a las bases de datos y las muestras del Centro Interdisciplinario de Ciencias del Mar (Cicimar-IPN), a través de varios proyectos de investigación: Periodo: 2000-2001. Titulo: "Desarrollo del sistema de seguimiento de las existencias de la sardina (*Sardinops caeruleus*) en la costa occidental la península de Baja California". Clave: CGPI 200224. Periodo: 2005-2006: "Temporada de desove, producción de oocitos y la incidencia de atresia en la población desovante de la sardina Monterrey, en Bahía Magdalena, B.C.S. México". Periodo: 2013-2014: "Evaluación del efecto de la atresia ovárica y el parasitismo testicular en las poblaciones de sardina monterrey (*Sardinops sagax*) sujetas a explotación pesquera en Bahía Magdalena, B.C.S. México" Clave SIP: 20130529.

Al CONACyT, por el apoyo financiero recibido.

ÍNDICE

LISTA DE FIGURAS	III
LISTA DE TABLAS	VI
GLOSARIO	VII
RESUMEN	XI
ABSTRACT	XII
1 INTRODUCCIÓN	1
2 ANTECEDENTES	4
3 JUSTIFICACIÓN	7
4 OBJETIVOS	8
4.1 Objetivo general.....	8
4.2 Objetivos particulares.....	8
5 ÁREA DE ESTUDIO	9
6 MATERIAL Y MÉTODOS	11
6.1 Recolecta de material biológico.....	11
6.2 Registro de datos morfométricos.....	11
6.3 Procesamiento histológico de ovarios.....	11
6.4 Base de datos.....	12
6.5 Relación peso-longitud.....	12
6.6 Factor de condición.....	13
6.7 Índice gonadosomático.....	14
6.8 Análisis histológico y citológico de los ovarios.....	15
6.9 Talla de primera reproducción (L ₅₀).....	17
6.10 Obtención de la edad.....	18
6.11 Prevalencia de atresia α	18
6.12 Parámetros ambientales.....	20
7 RESULTADOS	21
7.1 Composición poblacional según la talla y el peso.....	21
7.2 Relación peso-longitud.....	24
7.3 Factor de condición.....	27
7.4 Índice gonadosomático.....	29
7.5 Estadios ováricos.....	31
7.6 Talla y edad de primera reproducción.....	35

7.7 Edad estimada.....	37
7.7.1 Caracterización por grupo de edad.....	38
7.7.2 La edad y los estadios de maduración ovárica.....	42
7.8 Prevalencia de atresia α	45
7.9 Parámetros ambientales.....	48
7.10 Relación variables ambientales/indicadores biológicos.....	53
8 DISCUSIÓN.....	64
9 CONCLUSIONES.....	76
10 RECOMENDACIONES.....	77
11 LITERATURA CITADA.....	78

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.- Área de estudio, Bahía Magdalena, B.C.S., México.....	10
Figura 2.- Microfotografía de oocitos de hembras activas (EO-3 y EO-4).....	17
Figura 3.- Ejemplo de la zona que se está tomando en cuenta para el estudio de las variables de TSM y Chl “a”.....	20
Figura 4.- Frecuencia relativa de longitud patrón de las hembras estudiadas en el periodo de 2000-2009 en Bahía Magdalena.....	23
Figura 5.- Frecuencia relativa de peso de las hembras estudiadas en el periodo de 2000-2009 en Bahía Magdalena.....	24
Figura 6.- Relación peso-longitud de hembras de <i>Sardinops sagax</i> en Bahía Magdalena durante el periodo 2000-2009.....	25
Figura 7.- Relación peso-longitud anual de hembras de <i>Sardinops sagax</i> en Bahía Magdalena.....	26
Figura 8.- Variación anual del factor de condición de hembras de <i>Sardinops sagax</i> en Bahía Magdalena.....	28
Figura 9.- Año tipo del factor de condición de hembras de <i>Sardinops sagax</i> en Bahía Magdalena.....	29
Figura 10.- Variación interanual del IGS de hembras de <i>Sardinops sagax</i> en Bahía Magdalena.....	30
Figura 11.- Variación mensual de un año tipo del IGS de hembras de <i>Sardinops sagax</i> en Bahía Magdalena.....	31
Figura 12.- Frecuencia de estadios ováricos de hembras de <i>Sardinops sagax</i> en Bahía Magdalena durante el periodo 2000-2009.....	32
Figura 13.- Variación anual de la frecuencia de estadios ováricos de hembras de <i>Sardinops sagax</i> en Bahía Magdalena durante el periodo 2000-2009.....	33
Figura 14.- Modelo logístico de la L_{50} , integrando datos de todo el periodo de estudio (2000-2009) de <i>Sardinops sagax</i> en Bahía Magdalena.....	35
Figura 15.- Variación interanual de la talla de primera madurez de <i>Sardinops sagax</i> en cada temporada reproductiva en Bahía Magdalena.....	36
Figura 16.- Variación interanual de la edad de primera madurez de <i>Sardinops sagax</i> en cada temporada reproductiva en Bahía Magdalena.....	37
Figura 17.- Variación del valor medio del factor de condición por grupo de edad de hembras de <i>Sardinops sagax</i> en Bahía Magdalena.....	41
Figura 18.- Variación del valor medio del IGS por grupo de edad en hembras de <i>Sardinops sagax</i> en Bahía Magdalena.....	42
Figura 19.- Comparación del porcentaje de hembras en cada estadio ovárico para cada grupo de edad de <i>Sardinops sagax</i> en Bahía Magdalena.....	43
Figura 20.- Porcentaje de hembras activas de <i>Sardinops sagax</i> por grupo de edad para Bahía Magdalena.....	44

Figura 21.- Proporción de hembras activas e inactivas de <i>Sardinops sagax</i> por grupo de edad para Bahía Magdalena.....	45
Figura 22.- Variación anual de Prevalencia de atresia α y porcentaje de hembras maduras de <i>Sardinops sagax</i> en Bahía Magdalena.....	46
Figura 23.- Variaciones de Prevalencia de atresia α y porcentaje de hembras maduras en un año tipo para Bahía Magdalena.....	47
Figura 24.- Variación mensual de prevalencia de atresia α y porcentaje de hembras activas por grupo de edad en Bahía Magdalena.....	48
Figura 25.- Serie temporal de temperatura superficial del mar en en Bahía Magdalena durante el periodo 2001-2009.....	49
Figura. 26.- Serie temporal de concentración de clorofila “a” en Bahía Magdalena durante el periodo 2001-2009.....	50
Figura 27.- Autocorrelación de la temperatura superficial del mar en Bahía Magdalena durante el periodo 2001-2009.....	51
Figura 28.- Autocorrelación de la concentración de clorofila “a” en Bahía Magdalena durante el periodo 2001-2009.....	52
Figura 29.- Correlación cruzada de concentración de Clorofila “a” y Temperatura Superficial del Mar en Bahía Magdalena durante el periodo 2001-2009.....	53
Figura 30.- Coeficiente de correlación de Spearman entre la concentración de clorofila “a” y el factor de condición por grupo de edad de hembras de <i>Sardinops sagax</i> en Bahía Magdalena en el periodo 2002-2009.....	54
Figura 31.- Coeficiente de correlación de Spearman entre la temperatura superficial del mar y el factor de condición por grupo de edad de hembras de <i>Sardinops sagax</i> en Bahía Magdalena en el periodo 2002-2009.....	55
Figura 32.- Coeficiente de correlación de Spearman entre la concentración de clorofila “a” y el índice gonadosomático por grupo de edad de hembras de <i>Sardinops sagax</i> en Bahía Magdalena en el periodo 2002-2009.....	56
Figura 33.- Coeficiente de correlación de Spearman entre la temperatura superficial del mar y el índice gonadosomático por grupo de edad de hembras de <i>Sardinops sagax</i> en Bahía Magdalena en el periodo 2002-2009.....	57
Figura 34.- Coeficiente de correlación de Spearman entre la concentración de clorofila “a” y el estadio ovárico por grupo de edad de hembras de <i>Sardinops sagax</i> en Bahía Magdalena en el periodo 2002-2009.....	58
Figura 35.- Coeficiente de correlación de Spearman entre la temperatura superficial del mar y el estadio ovárico por grupo de edad de hembras de <i>Sardinops sagax</i> en Bahía Magdalena en el periodo 2002-2009.....	59
Figura 36.- Coeficiente de correlación de Spearman entre la concentración de clorofila “a” y el porcentaje de hembras activas por grupo de edad de hembras de <i>Sardinops sagax</i> en Bahía Magdalena en el periodo 2002-2009.....	60
Figura 37.- Coeficiente de correlación de Spearman entre la temperatura superficial del mar y el porcentaje de hembras activas por grupo de edad de hembras de <i>Sardinops sagax</i> en Bahía Magdalena en el periodo 2002-2009.....	61

Figura 38.- Coeficiente de correlación de Spearman entre la concentración de clorofila “a” y la prevalencia de atresia α por grupo de edad de hembras de <i>Sardinops sagax</i> en Bahía Magdalena en el periodo 2002-2009.....	62
Figura 39.- Coeficiente de correlación de Spearman entre la temperatura superficial del mar y la prevalencia de atresia α por grupo de edad de hembras de <i>Sardinops sagax</i> en Bahía Magdalena en el periodo 2002-2009.....	63

LISTA DE TABLAS

Tabla I.- Caracterización histológica de los diferentes estadios ováricos de <i>Sardinops sagax</i> , empleados en el presente estudio.....	16
Tabla II.- Relación de numero de hembras de <i>Sardinops sagax</i> obtenidas durante las temporadas reproductivas de 2000 a 2009 en Bahía Magdalena.....	22
Tabla III.- Parámetros de la regresión peso-longitud para <i>Sardinops sagax</i> durante las temporadas reproductivas de 2000 a 2009 en Bahía Madalena.....	27
Tabla IV. Variación mensual en la frecuencia relativa de estadios ováricos de las hembras de <i>Sardinops sagax</i> estudiadas en el periodo de 2000-2009 en Bahía Magdalena.....	34
Tabla V.- Valores de talla y peso para cada grupo de edad de <i>Sardinops sagax</i> en Bahía Magdalena.....	38

GLOSARIO

Alvéolo cortical: Primeras estructuras que se distinguen en el citoplasma del oocito, que aparecen en la fase de crecimiento inicial. Estas estructuras contienen glicoproteínas y enzimas que promueven el endurecimiento en la membrana vitelina para evitar la poliespermia al momento de la fertilización (Tyler & Sumpter, 1996).

Ambiente: Conjunto de elementos físicos, químicos y biológicos capaces de causar efectos directos o indirectos sobre los seres vivos (García, 2012).

Atresia: Proceso paulatino de reabsorción del oocito que se lleva a cabo por los elementos especializados del tejido conjuntivo en el ovario (Perezgomez, 2008).

Atresia α : Figura morfológica del oocito presente en el ovario de los peces caracterizada por la reabsorción de los componentes del núcleo, del ooplasma y las capas envolventes, formando una estructura compacta de aspecto variable (Lambert, 1970).

Atresia mayor: Cuando los oocitos atrésicos en un ovario sobrepasan el 50 % (Torres-Villegas *et al.*, 2007)

Biomasa Desovante: Fracción de la población que participa en el desove (Parker, 1980).

Concentración de clorofila "a": Cantidad de clorofila "a" en miligramos por metro cubico de agua (mg/m^3) (Martínez, 2012).

Correlación: En estadística y probabilidad, indica la fuerza y la dirección de una relación lineal entre dos variables aleatorias. Se considera que dos variables cuantitativas están correlacionadas cuando los valores de una de ellas varían sistemáticamente con respecto a los valores homónimos de la otra. La correlación entre dos variables no implica, por si misma, ninguna relación de causalidad (García, 2012).

Desovador asincrónico: Organismo en el cual los huevos son reclutados de una población heterogénea de oocitos en desarrollo y son desovados subsecuentemente durante cada temporada de desove (Tyler & Sumpter, 1996).

Fecundidad: Número total de oocitos que potencialmente pueden ser producidos por una hembra. Es una estimación del potencial reproductivo de una hembra (Crim & Glebe, 1990).

Folículo: Tejido somático que rodea al oocito, compuesto principalmente por células de la granulosa y de la teca (Tyler & Sumpter, 1996).

Folículo postovulatorio: Cicatriz de la ovulación constituida por las capas epiteliales colapsadas que formaron el folículo, la granulosa y la teca externa. El tiempo transcurrido entre la puesta y el muestreo se estima por la reabsorción de estas estructuras (Hunter *et al.*, 1985).

Granulosa, células de la: Células de origen mesenquimal o epitelial, con posible función esteroideogénica (Nagahama, 1983).

Grupo de edad: Grupo de peces que provienen de la misma temporada de desove (Alvarez-Trasviña, 2012).

Imagen de satélite: Imágenes obtenidas mediante sensores instalados en plataformas satelitales. Las imágenes son matrices de celdas, formadas por un número variable de columnas y filas. Cada celda representa espacialmente un área geográfica indivisible, determinando así el detalle espacial mínimo discernible dentro de la imagen. El valor que contiene cada celda es la expresión en energía de algún parámetro, variable o característica que define a esa área geográfica. Tanto la dimensión del área geográfica que representa cada celda, como la cantidad diferente de valores que pueda contener, varía dependiendo del origen de la imagen (García, 2012).

Inclusiones lipídicas: Cuerpos de lípidos que a menudo aparecen en los oocitos durante el estadio de alvéolo cortical y continúa su producción y acumulación durante todo el crecimiento del oocito (Tyler & Sumpter, 1996).

Iterópara: Estrategia reproductiva en donde se agrupa a las especies que se reproducen repetidamente durante su ciclo de vida (Munro, 1990).

Manejo pesquero: La aplicación del conocimiento científico a los problemas que se tienen para determinar el rendimiento óptimo de las pesquerías comerciales. El manejo y la conservación de las pesquerías implican que se obtenga el rendimiento máximo sostenido de estas pesquerías (maximizar la captura y conservar el recurso) (Allendorf *et al.* 1987). La Sociedad Ecológica de América defiende otra definición que da énfasis a la consideración holística de las interacciones entre los componentes del ecosistema para lograr la sustentabilidad a través del manejo adaptativo y de las consideraciones del ambiente físico (Botsford *et al.* 1997).

Núcleo migratorio: Etapa del estadio de madurez final del oocito caracterizada por la posición descentrada del núcleo del oocito, lo cual indica la traslación de esta estructura hacia el polo animal. A lo largo de este camino el núcleo pierde la membrana nuclear, con lo que se le conoce como vesícula germinal (Tyler & Sumpter, 1996).

Oocitos hidratados: Última etapa de la madurez final del oocito caracterizada por un rápido incremento en el diámetro del oocito (0.95 a 1.2 mm), la disolución de los glóbulos de vitelo los cuales enmascaran prácticamente todas las estructuras celulares y el estiramiento de las capas epiteliales que constituyen el folículo (Wallace & Selman, 1981).

Perinucleolar: Etapa del estadio de crecimiento del oocito caracterizado por ser células pequeñas con afinidad tintorial basófila intensa en el citoplasma y de menor intensidad en el núcleo. En la etapa inicial se observan nucléolos esféricos en el núcleo; al avanzar el desarrollo los nucléolos disminuyen su tamaño y se disponen cerca de la membrana nuclear (Wallace & Selman, 1981).

Previtelogénicos: Oocitos con esferas en la periferia del ooplasma en donde se inicia la acumulación de vitelo, dando inicio el proceso de crecimiento del oocito, a través de la secuenciación de vitelogenina proveniente de un precursor hepático (Wallace & Selman, 1981).

Proteólisis: Etapa del estadio de madurez final del oocito caracterizado por la lisis de los glóbulos de vitelo proteico, paso previo a la hidratación (Wallace & Selman, 1981).

Reclutamiento: Desde el punto de vista pesquero, es la cantidad de individuos de una especie que cada año se agrega a la población explotada (Lloris, 2007)

Resolución espacial: Número de pixeles en una imagen satelital, por unidad de distancia (Marín, 2012).

Stock: Parte de una población de peces que se considera desde el punto de vista de su utilización actual, posee los mismos parámetros de crecimiento, mortalidad y un área única de desove, a la cual los adultos regresan año tras año (García, 2012)

Vitelogénesis: Periodo en el desarrollo del ovario, en el que las proteínas extraováricas son aisladas, procesadas y empacadas dentro de los oocitos en forma de esferas o glóbulos. Principal evento, responsable del crecimiento de los oocitos en muchos teleósteos (Tyler & Sumpter, 1996).

RESUMEN

Sardinops sagax, es un pez clupéido de amplia distribución en la costa oriental del Océano Pacífico. Sostiene volúmenes altos de pesca. Existen estudios de su ciclo ovárico, frecuencia de desove y fecundidad. La temperatura del agua y el aporte nutricional, regulan la reproducción anual. Este estudio planteó determinar parámetros reproductivos y la atresia ovárica en relación con la edad de las hembras capturadas en Bahía Magdalena. Se caracterizaron las temporadas reproductivas durante el periodo de 2000 a 2009, así como las diferencias por grupo de edad y su relación con variables ambientales. Se utilizó la base de datos morfométricos (longitud patrón, peso, gónadas) y la colección de cortes histológicos de ovarios del laboratorio de Morfofisiología del CICIMAR-IPN. Se encontró una variación interanual en la distribución de tallas y pesos, resaltaron 2003 y 2005 por los valores promedio más bajos. La talla L_{50} para cada temporada anual aumentó; explicándose como factor denso-dependiente, en la población. Las edades de las hembras se estimaron a partir de la longitud patrón mediante la ecuación de von Bertalanffy; se encontraron grupos de edad 0 a 10+; la mayor parte incluidas de edad 0 a 4; los grupos de edad 5+ agruparon el menor porcentaje del total. Se encontraron variaciones significativas en el factor de condición, índice gonadosomático y estadios de maduración para los grupos de edad; atribuidos a diferencias en los requerimientos energéticos en las distintas etapas de su ciclo de vida. Las hembras maduras dominaron en febrero y marzo de cada temporada. La prevalencia de atresia α en las distintas edades incrementó en marzo y declino en abril. La temperatura superficial del mar y la clorofila mostraron correlaciones significativas e inversas con los indicadores biológicos, en cada grupo de edad. Se concluye que la edad es un factor determinante en el proceso reproductivo. El stock de hembras está representado entre 1 y 4 años de edad, con hembras activas desde el primer año de vida. Los resultados contribuyen a apoyar medidas tendientes al manejo sustentable del recurso en B.C.S.

ABSTRACT

Sardinops sagax is a clupeid fish widespread in the eastern Pacific Ocean coast. Maintains high levels of fishing. There are studies of the ovarian cycle, spawning frequency and fecundity. Water temperature and nutritional support, regulate annual reproduction. This study set out to determine reproductive parameters and ovarian atresia in relation to the age of the females captured in Magdalena Bay. Reproductive seasons were characterized during the period 2000-2009, and differences by age group and their relationship with environmental variables. Based on morphometric data (standard length, weight, gonads) and the collection of histological sections of ovaries of the laboratory of Morphophysiology of CICIMAR-IPN was used. A variation in the distribution of height and weight were found, highlighting 2003 and 2005 by the lowest average values. The size L_{50} for each annual season increased; explaining as a density dependent factor in the population. The ages of the females were estimated from the standard length with von Bertalanffy equation; groups 0 to 10+ were found; including the majority at age groups 0-4; 5+ age groups pooled the lowest percentage of the total. Significant variations were found in the condition factor, gonadosomatic index and maturation stages for age groups; attributed to differences in energy requirements at different stages of their life cycle. Mature females dominated in February and March of each season. The prevalence of atresia α at different ages increased in March and declined in April. The sea surface temperature and chlorophyll showed significant and inverse correlations with biological indicators in each age group. We conclude that age is a determining factor in the reproductive process. The stock of females is represented between 1 and 4 years of age with active females from the first year of life. The results contribute to support measures aimed at sustainable resource management in B.C.S.

1 INTRODUCCIÓN

La Sardina Monterrey (*Sardinops sagax*, Jenyns, 1842), es un clupeido de amplia distribución en la costa oriental del Océano Pacífico, desde el Sur de Alaska hasta Cabo San Lucas, B.C.S., México y Golfo de California (Hernández-López, 2003). Su reproducción se ha registrado desde las aguas de la región de Vancouver en Canadá, hasta el área de Bahía Magdalena en B.C.S. y en el interior del Golfo de California (López-Martínez, 1991).

Es una especie iterópara con desarrollo asincrónico de los oocitos (Torres-Villegas *et al.* 1995). La distribución de diámetros de los oocitos intraováricos es polimodal. En el ovario de la sardina pueden identificarse oocitos en todos los estadios de desarrollo, desde oogonias hasta estadios postovulatorios de 0, 1, y 2 días, después de la puesta (Torres-Villegas 1986).

En un mismo período se observan en la población tanto ejemplares reproduciéndose, como otros en inactividad reproductiva, por lo general un determinado estado de madurez presenta la mayor frecuencia. La época reproductiva de *S. sagax* fue descrita por Torres-Villegas *et al.* (1995), quienes registraron la existencia de dos periodos reproductivos en el año, el primero francamente marcado de enero a abril y el segundo de intensidad mínima entre junio y julio; normalmente coincidiendo su época de puesta con los ciclos de producción planctónica en las áreas de desove, lo que permite aprovechar las condiciones óptimas de producción y disponibilidad de alimento para las larvas (Csirke, 1988).

En numerosas especies de peces, el epitelio germinal se mantiene activo durante la temporada de reproducción, lo que indica la producción continua de nuevas células sexuales (Grier, 2000). Durante el proceso de producción de oocitos eventualmente se puede presentar el proceso de atresia, que afecta la tasa de producción de oocitos. Al respecto Lambert (1970) menciona que es el mecanismo por el cual los oocitos presentes en el ovario, son reabsorbidos en cualquier fase de desarrollo.

Kurita *et al.* (2003) describen el proceso de atresia en el arenque del Atlántico (*Clupea arengus*); realizan el seguimiento de los índices de atresia y evalúan el efecto de la atresia en la fecundidad. Torres-Villegas *et al.* (2007) estimaron los porcentajes de atresia folicular en *S. sagax*, concluyendo que hasta un 2 % puede ser considerado normal. Sin embargo, al final de la temporada este porcentaje se eleva a un 5%, lo cual indica el final del máximo de puesta. Así mismo, mencionan que cuando la atresia afecta a más del 50% de los oocitos en el ovario, se denomina atresia mayor, lo que generalmente coincide con el final de la temporada de desove. Otros autores han descrito la influencia de ciertos factores exógenos en el proceso de atresia, tales como los cambios ambientales, cambios en la calidad nutricional de los organismos; además evalúan el efecto que tiene la atresia en el potencial reproductivo y en la reducción en el número de desoves (Burton & Idler, 1984; Kurita *et al.* 2003).

En algunas especies de peces la alta incidencia de atresia folicular determina que las estimaciones de la fecundidad parcial deban ser corregidas con un índice de atresia (Hunter *et al.* 1985, Priede *et al.* 1994). Livingstone *et al.* (1997) utilizaron la tasa de atresia como un índice de corrección para las proyecciones del reclutamiento en *Macruronus novaezelandiae*. Lo mismo ocurrió con el manejo del stock de *Hoplostethus atlanticus* en el Pacífico Suroriental (Bell *et al.* 1992).

En la sardina monterrey la atresia puede presentarse en oocitos durante los primeros estadios de desarrollo hasta en oocitos previos al desove. Las posibles causas de atresia se han asociado con condiciones de temperatura baja, problemas nutricionales, hacinamiento y contaminantes. Establecer las causas de la interrupción del desarrollo ovárico es difícil. También, se ha relacionado la atresia de folículos con vitelo en sardinas adultas con condiciones o cambios ambientales que puedan interrumpir la puesta (Torres-Villegas *et al.*, 2007).

Establecer las causas de la interrupción de la reproducción es difícil debido a que la atresia en peces marinos está pobremente documentada, y ha sido descrita principalmente para especies dulceacuícolas cultivadas y en especies anádromas (Rideoult *et al.*, 2000).

Factores exógenos como la temperatura, luz, salinidad y confinamiento juegan un papel preponderante en la maduración, ovulación y puesta, debido a su profunda influencia en la sensibilidad folicular, ya que se requieren señales ambientales precisas para su sincronización. La temperatura afecta el desarrollo gonadal a través de la acción directa sobre la gametogénesis, la secreción de hormonas hipofisarias, la tasa de depuración hormonal, la respuesta del hígado a los estrógenos y sobre la respuesta de las gónadas a la estimulación (Zanuy & Carrillo 1987), lo cual ha sido demostrado en estudios de atresia folicular inducida por temperatura en el esturión blanco (*Acipenser transmontanus*).

El proceso de atresia es una condición poco estudiada en poblaciones silvestres de peces teleósteos. En la sardina monterrey la atresia se ha observado en oocitos durante los primeros estadios de desarrollo hasta en oocitos previos al desove. Las posibles causas de atresia se han relacionado con condiciones de baja temperatura, deficiencias nutricionales, hacinamiento o contaminantes. Establecer las causas de la interrupción del desarrollo ovárico es un problema biológico complejo (Torres-Villegas *et al.*, 2007).

2 ANTECEDENTES

En México, uno de los primeros estudios sobre aspectos reproductivos de *S. sagax* en Bahía Magdalena, es el de Torres-Villegas (1986), quien, desarrolla una descripción histológica de las gónadas en las hembras y encuentra que la temporada de reproducción tiene dos máximos, el principal y más importante en el invierno y otro de mínima magnitud en el verano. Posteriormente, Torres-Villegas *et al.*, 1995 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 evidentemente más rápido que en latitudes más altas.

La atresia ha sido estudiada y descrita por diferentes autores: Lambert (1970) describió 4 estadios de atresia (alfa, beta, gama y delta) en *Poecilia reticulata*, posteriormente Hunter & Goldberg (1980) y Hunter & Macewics (1985), resaltaron la importancia de la identificación de los diferentes estadios de atresia, como una herramienta utilizada para la identificación de folículos postovulatorios, debido a que por falta de experiencia de quien hace el diagnóstico, algunos estadios de atresia pueden llegar a ser confundidos con estadios tardíos de folículos postovulatorios.

Morfológicamente la atresia folicular comienza con la ruptura y vacuolización del corion (Santos *et al.*, 2008), además de la disolución de la membrana nuclear. Según el grado de desarrollo alcanzado por el oocito, su contenido de vitelo también es reabsorbido por fagocitosis desde las células de la granulosa. La atresia folicular involucra la hipertrofia de las células de la granulosa y posiblemente las células tecales (Nagahama, 1983; Linares-Casenave *et al.*, 2002).

Durante la atresia temprana las células de la granulosa remueven la cubierta del huevo y los contenidos oocitarios por digestión lisosomal y las células tecales son infiltradas por linfocitos (Linares-Casenave *et al.*, 2002). Esta puede presentarse en cualquier momento del desarrollo oocitario (Leonardo *et al.*, 2006; Ganas *et al.*, 2008), aunque lo más común es que aparezca en las fases de vitelogénesis y preovulatoria (Bromage & Cumaranatunga, 1988). Desafortunadamente, los mecanismos que regulan la atresia folicular no están debidamente entendidos

(Santos *et al.*, 2008), así como sus cambios estructurales, ultraestructurales y su correlación con cambios bioquímicos a nivel plasmático (Linares-Casenave *et al.*, 2002; Rutaisire & Booth, 2004).

En cuanto a la actividad reproductiva de los peces, se han desarrollado diversas técnicas de evaluación de la madurez gonádica. En este sentido, también se discuten algunas dificultades al considerar escalas aplicadas por los diferentes autores, con la finalidad de caracterizar y describir el grado de madurez de las gónadas. Estas escalas recurren a indicadores que no podían ser aplicadas de manera directa a otras especies; debido a la ambigüedad implícita en el uso de una escala numérica y la apreciación relativa que cada persona podría dar a sus observaciones, en 1963 Nikolsky propuso una escala de 6 estadios de madurez los cuales son definidos por el aspecto morfocromático de las gónadas. Rodríguez-Gutiérrez (1992) cita también las escalas empíricas de otros autores que de igual manera se basan en la forma y color de la gónada, y que varían entre 7 y 8 estadios de madurez, y aunque en algunos casos coinciden, son solo apreciaciones hechas a simple vista, por lo que son imprecisas.

Numerosos estudios han aplicado el índice gonadosomático (IGS) para el seguimiento de los ciclos estacionales (Delahunty & de Vlaming, 1980; Melo, 1994). Relaciones entre el peso de la gónada, el tamaño de los huevos y la edad se aplicó a *Ciprinus carpio* (Hulata *et al.*, 1974). El seguimiento del ciclo reproductivo en el tiempo fue registrado mediante la evolución mensual del IGS en la anchoa europea (Giraldez & Abad, 1995).

Se ha comprobado en el tiempo, la utilidad del método histológico, resulta ser el más preciso para estimar la maduración gonádica en los peces teleósteos, puesto que permite observar a escala microscópica los cambios morfológicos definiéndose así cada uno de los estadios de desarrollo ovárico y de los indicadores celulares en la estructura del folículo y el propio oocito en maduración. Es el método más utilizado para obtener un diagnóstico confiable para estudios de fecundidad y es parte fundamental de las técnicas estereométricas aplicadas a la maduración gonádica en peces (Goodall *et al.*, 1987; Emerson *et al.*, 1990; Christiansen *et al.*, 1973).

Por otro lado, al considerarse el medio en el que viven los peces marinos, las zonas de agregación de poblaciones, son áreas productivas donde la concentración de clorofila “a” es alta y la temperatura superficial de mar (TSM) es baja, resultado de procesos oceanográficos como surgencias, giros ciclónicos, frentes y eddies (Selvaraj *et al.*, 2009).

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).

Chávez *et al.* (2003) relacionaron el colapso y la reaparición de las pesquerías de la sardina y la anchoveta en el océano Pacífico con los cambios en las anomalías ambientales inducidas naturalmente por las variaciones de El Niño y la Oscilación del Sur. La relación entre el ciclo reproductivo y la temperatura probablemente sea una estrategia reproductiva para garantizar que el desove tenga lugar durante el periodo del año en que la estabilidad de la columna de agua es mayor, lo que favorece la concentración de alimento de los huevos y retención de las larvas en las zonas de desove (Basilone *et al.*, 2006).

3. JUSTIFICACIÓN

La pesquería de sardina tiene una importancia relevante en México debido a su volumen de captura, esta producción es utilizada como materia prima de una industria generadora de numerosos empleos y ejerce una fuerte incidencia en otros sectores industriales de los alimentos. Así mismo, existe una carencia de evaluaciones oportunas del recurso en toda su distribución, además del seguimiento de los parámetros biológicos relacionados con la reproducción y supervivencia de las poblaciones como: la fecundidad, temporalidad del desove y frecuencia de puesta; los cuales son el punto de partida para conocer la magnitud de las existencias (Torres-Villegas, 1986). La gran variabilidad en los factores involucrados tanto ambientales como poblacionales, determinan la importancia de realizar estudios continuos de los citados parámetros biológicos.

Por lo antes señalado este estudio ha sido planteado para realizar un seguimiento de la reproducción de la especie *S. sagax*, por un periodo de tiempo de diez años, en las poblaciones de sardina sujetas a explotación pesquera en la costa Noroeste de la Baja California Sur. La intención de esta investigación es contribuir a generar un diagnóstico confiable de las condiciones del stock en esa región costera, y dar bases científicas para un manejo sustentable de la pesquería.

4. OBJETIVOS

4.1 Objetivo general

- Determinar si los parámetros reproductivos y la atresia ovárica de *Sardinops sagax* tienen una relación con la edad de las hembras capturadas en Bahía Magdalena, Baja California Sur, México.

4.2 Objetivos particulares

- Caracterizar la temporada reproductiva de *S. sagax* en el periodo comprendido entre el año 2000 y el 2009.
- Estimar la edad de las hembras recolectadas durante el periodo 2000-2009 y caracterizar la actividad ovárica por grupo de edad.
- Registrar y analizar las variaciones mensuales e interanuales de Temperatura Superficial del Mar (TSM) y Clorofila "a" (Chl "a"), durante los años de estudio.
- Describir las relaciones existentes entre prevalencia de atresia α , la edad de las hembras y la temperatura superficial del mar y concentración de clorofila "a"

5. ÁREA DE ESTUDIO

Bahía Magdalena es un cuerpo lagunar costero que se encuentra en la costa Occidental del estado de Baja California Sur (Fig. 1), entre los 24° 15' y 25° 20' Latitud Norte y los 111° 30' y 112° 12' Longitud Oeste (Álvarez *et al.*, 1975).

Esta región es posible dividirla en tres zonas bien diferenciadas:

Canales: Localizada al noroeste del sistema lagunar, comprende parte del Canal de Santo Domingo, desde la Boca de la Soledad en su extremo Norte, hasta Punta Edie, al Sur. Está integrada principalmente por esteros y canales con una profundidad promedio de 3.5 m. y un área total de 137.12 km² (Vera, 1993).

Bahía Magdalena: Es la parte central del sistema, comprende lo que es Bahía Magdalena propiamente, entre Punta Edie al Norte y el Canal de la Gaviota al Sur; tiene comunicación con el Océano Pacífico mediante un canal de unos 38 m de profundidad que permite la navegación, y una superficie de 882.74 km² (Vera, 1993).

Bahía Almejas: Es la porción del sistema lagunar localizada al Sureste, entre el Canal de la Gaviota hasta Puerto Chale; también está comunicada con el océano mediante una boca somera. Esta zona comprende un área de 369.97 km² (Vera, 1993).

El área oceánica adyacente al sistema lagunar Bahía Magdalena-Almejas es una zona típica de surgencias, donde los nutrientes son introducidos al sistema por medio de una combinación del transporte vertical y el transporte horizontal producido por intensas corrientes de marea (Zaitsev *et al.*, 2003). Esta zona es considerada de transición ya que en ella convergen por el norte masas de aguas frías provenientes de la Corriente de California (CC) y por el sur masas de agua cálida de la contracorriente costera. Lo cual le permite presentar un pronunciado contraste en el

promedio de la TSM entre el mes frío (18°C) y el cálido (29°C) del año, siendo en general, comparativamente más cálido al interior del complejo lagunar que la porción costera adyacente (Etnoyer *et al.*, 2004). El complejo lagunar Bahía Magdalena-Almejas es caracterizado por una amplia variabilidad espacio-temporal de sus características oceanográficas, en comparación a regiones de mayor o menor latitud. En él confluyen flora y fauna marina residente, adaptada a los cambios del ambiente, y la presencia temporal de especies migratorias y especies planctónicas. Estas últimas, asociadas con el transporte de masas de agua (Funes-Rodríguez *et al.*, 2007).

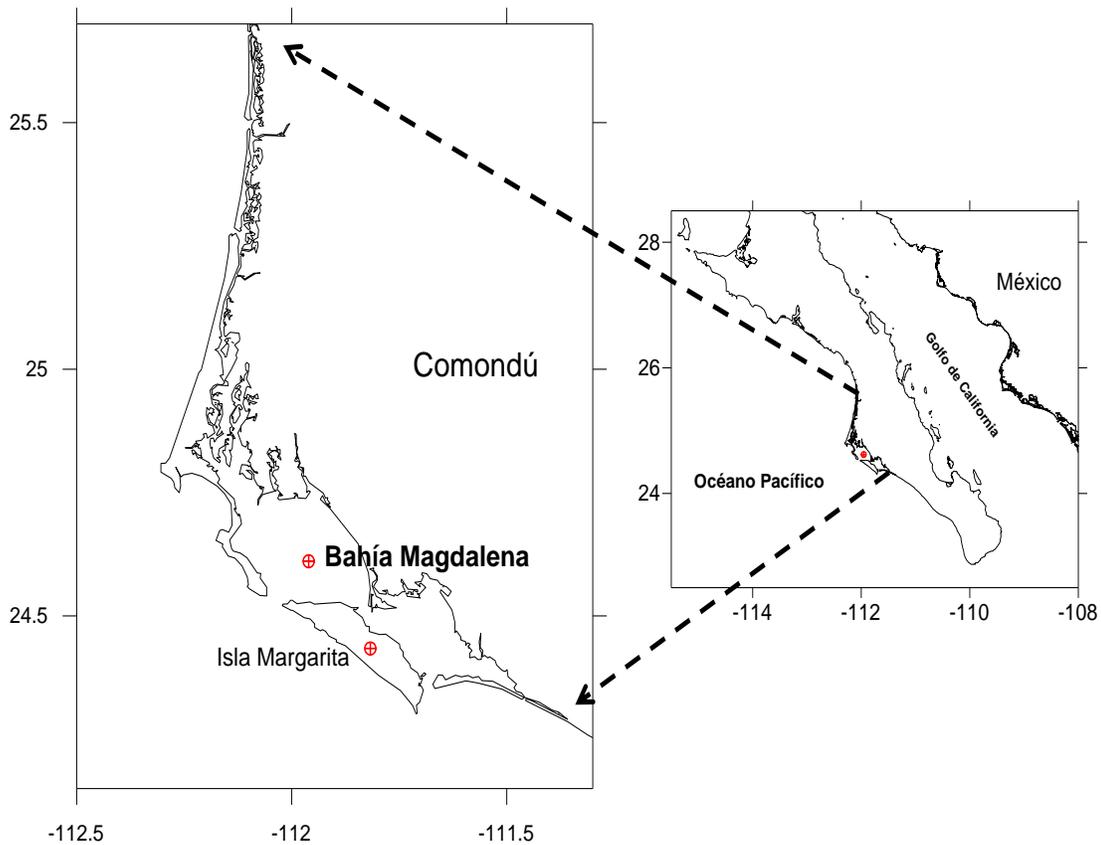


Figura 1.- Área de estudio, Bahía Magdalena, B.C.S., México entre los 24° 15' y 25° 20' Latitud Norte y los 111° 30' y 112° 12' Longitud Oeste.

6. MATERIAL Y MÉTODOS

6.1 Recolecta de material biológico

Las sardinas se recolectan a bordo de las embarcaciones de pesca comercial que operan en Bahía Magdalena. Se obtuvieron al azar de 70 a 100 individuos por cada lance de pesca, se les realizó un corte ventral en el cuerpo desde la región anal, hasta la región gular, con el fin de favorecer la entrada del formol neutralizado en la cavidad abdominal y asegurar la fijación de las gónadas. Los ejemplares completos se introdujeron en una solución de formaldehído al 10 % con sales de fosfato dentro de una cubeta de 18 litros con tapa hermética. En estas condiciones fueron trasladadas al laboratorio de Morfofisiología del Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas del IPN.

6.2 Registro de datos morfométricos

En el laboratorio, se obtuvieron los datos morfométricos de cada individuo:

Longitud patrón (mm), con un ictiómetro; peso total (g) y peso de la gónada (g), registrado con una balanza electrónica (0.01 g). Se determinó el sexo de manera preliminar por las características morfológicas externas e internas de las gónadas, las cuales se extrajeron y se fijaron en formol 10 % durante 48 horas.

6.3 Procesamiento histológico de ovarios

De cada ovario, se obtuvo una submuestra de aproximadamente 1 cm³ de la parte media. Las submuestras de cada individuo se procesaron con la técnica histológica de inclusión en parafina. Cada pieza se colocó con su respectiva clave de identificación (clave juliana), dentro de bolsitas de tul para ser lavadas con agua corriente por varios cambios a fin de eliminar el exceso de fijador y se colocaron en alcohol al 70 %. Posteriormente se procedió a la deshidratación, la cual se realizó en un procesador de tejidos automático.

Se realizó la inclusión definitiva en un bloque de parafina de 58 °C de punto de fusión. Las inclusiones fueron cortadas con un micrótopo marca Microm modelo HM

355s, en el que obtuvieron cortes de 5 µm de grosor. Para la coloración de los cortes se utilizaron de forma indistinta: la técnica de Hematoxilina-eosina y la técnica Tricrómica de Mallory.

6.4 Base de datos

Para la realización de este trabajo se partió de la base de datos morfométricos: longitud patrón (cm), peso total (g) y peso de las gónadas (g); y de la colección de laminillas histológicas de los ovarios de *S. sagax*, integrante del acervo de colecciones de gónadas de sardinias, obtenidas en el laboratorio de Morfofisiología del CICIMAR-IPN, elaborada a partir de material recolectado en varios proyectos de investigación desarrollados entre 2000-2009, con el apoyo logístico de la flota sardinera que opera en Bahía Magdalena, B. C. S. en los meses de enero-abril por ser el periodo de reproducción. En cada año se hizo una selección de los ejemplares recolectados en la temporada de puesta; se analizaron al microscopio óptico de manera exhaustiva laminillas de la colección de ovarios. Se elaboró un protocolo para la identificación de los indicadores histológicos y celulares, en base al crecimiento del oocito, la oogénesis, el desove y la atresia con la finalidad de registrar las variaciones, en cada mes y cada temporada anual en los diez años del estudio.

Con la información recabada por el análisis histológico de los ovarios de la especie, se identificaron las variaciones en el comportamiento del ciclo reproductivo en esa serie de tiempo. Se dio atención especial a la incidencia de atresia ovárica en cada una de las temporadas reproductivas.

6.5 Relación Peso-Longitud

Se obtuvo la relación peso-longitud para cada temporada reproductiva así como para cada mes dentro del periodo de estudio, utilizando la fórmula propuesta por Keys (1928) (Froese, 2006):

$$W = a * L^b$$

Dónde:

W = Peso total.

L = Longitud patrón.

a y b = Parámetros determinados por la regresión lineal.

Debido a que la relación peso-longitud no es lineal en los clupeidos, fue necesario transformar los datos, obteniendo los logaritmos del peso y la talla para aplicarlo a la ecuación lineal:

$$\ln W = \ln a + b * \ln L$$

Los parámetros y sus variables son las mismas, definidas para la relación peso-longitud. Se consideró que el crecimiento es isométrico si el valor del parámetro b es igual a 3 y alométrico cuando el valor sea menor o mayor a 3.

6.6 Factor de condición

El factor de condición (FC) se utilizó como un indicador del estado de bienestar de un organismo, asumiéndose que entre mayor sea el peso del individuo a una longitud determinada, se encuentra en mejor condición (Froese, 2006). Para estimar la condición de los organismos se utilizará el factor de condición de Fulton (Ricker 1975):

$$FC = 100 * \left(\frac{W}{L^b} \right)$$

Dónde:

FC = Valor del factor de condición.

W = Peso del organismo sin gónadas.

L = Longitud patrón.

b = Coeficiente de crecimiento alométrico.

El valor es multiplicado por 100 para aproximar FC a la unidad.

En la fórmula original el valor de la longitud patrón se eleva al cubo puesto que se consideraba que el crecimiento tenía un incremento al cubo respecto al incremento de la talla (crecimiento isométrico), pero para especies en las que el crecimiento

ocurre de manera alométrico se utiliza el parámetro *b* resultante de la regresión peso-longitud (Olim & Borges, 2006).

Se realizó una prueba de Kruskal-Wallis para datos no paramétricos para saber si existen diferencias significativas entre las edades, y una prueba a posteriori de comparaciones múltiples por pares mediante el procedimiento de Dunn/Prueba bilateral.

6.7 Índice gonadosomático

Para seguir el crecimiento del ovario como indicador del ciclo reproductivo, se empleó el índice gonadosomático (IGS) (Nikolsky, 1963), utilizando los datos del peso del organismo y el peso de las gónadas (g). El IGS se calculó mediante la siguiente fórmula:

$$IGS = \left(\frac{Wg}{Wt - Wg} \right) * 100$$

Dónde:

Wg = Peso de la gónada.

Wt = Peso total del organismo.

Para seguir las variaciones del IGS se utilizó el valor modal para cada una de las edades y se realizó una prueba de Kruskal-Wallis para datos no paramétricos para saber si existen diferencias significativas entre las edades, y una prueba a posteriori de comparaciones múltiples por pares mediante el procedimiento de Dunn/Prueba bilateral.

6.8 Análisis histológico y citológico de los ovarios

Con la finalidad de seguir los cambios morfológicos durante el crecimiento y maduración de los oocitos en la fase preovulatoria se utilizaron como indicadores la presencia de estructuras intracelulares en el ooplasma y en los folículos, en cada estadio del crecimiento de los oocitos. Los indicadores fueron: los núcleos, nucléolos, ooplasma, alvéolos corticales, inclusiones lipídicas, vitelo primario, vitelo intermedio, formación de gotas de aceite, proteólisis y la hidratación del vitelo; descrito en otras especies de teleósteos (Wallace & Selman, 1981; Hunter & Macewicz, 1985; Tyler & Stumpter, 1996; Ochoa-Báez, 1998). En el caso de los folículos se hizo una caracterización por medio del seguimiento desde la formación de la capa granulosa y la transformación de células granulosas columnares (Torres-Villegas, 1997).

Durante el crecimiento del oocito se distinguen cinco etapas progresivas: estadio de inmadurez, estadio de maduración intermedia, estadio de madurez avanzada, estadio de puesta ó desove y estadio de reabsorción ó atresia (Wallace & Selman, 1981; Hunter & Macewicz, 1985; Tyler & Stumpter, 1996; Ochoa-Báez, 1998; Torres-Villegas, 1997); las características de cada una de estas etapas o estadios se describen en la tabla I, Las características de cada una de los estadios así como sus fases y microfotografías se pueden buscar en el trabajo realizado por Arce-Peinado (2012). En la figura 2 se muestran las microfotografías de los oocitos de hembras activas (Hunter *et al.*, 1992), material biológico fundamental para este estudio.

Tabla I.- Caracterización histológica de los diferentes estadios ováricos (EO) de *S. sagax*, empleados en el presente estudio (Ochoa-Báez, 1998).

Estadio ovárico	Característica diferencial	Descripción histológica
EO-1	Inmadurez	Oocitos en crecimiento primario, perinúcleolares y algunos alvéolos corticales
EO-2	Maduración intermedia	Oocitos en crecimiento secundario, presencia de alvéolos corticales, inclusiones lipídicas y escasos gránulos de vitelo
EO-3	Madurez avanzada	Oocitos con abundantes gránulos opacos de vitelo proteico, núcleo migratorio, proteólisis de gránulos, y vitelo licuado totalmente en el oocito hidratado
EO-4	Desove	Células foliculares residuales, núcleos picnóticos, en cariólisis, vacuolas, destrucción intracitoplásmica generalizada; no se distingue la separación entre las células foliculares.
EO-5	Atresia	Signos de muerte celular. Escasos oocitos presentan un desarrollo normal.

También se consideró dentro del análisis histológico, la atresia folicular, como un indicador de la suspensión o inhibición del crecimiento y desarrollo normal de la actividad reproductiva de los organismos; la presencia de atresia en el ovario de la sardina monterrey también fue registrada y asociada con el resto de los indicadores morfofisiológicos analizados. De igual manera se registró la presencia de los folículos postovulatorios como evidencia de haber sucedido el desove.

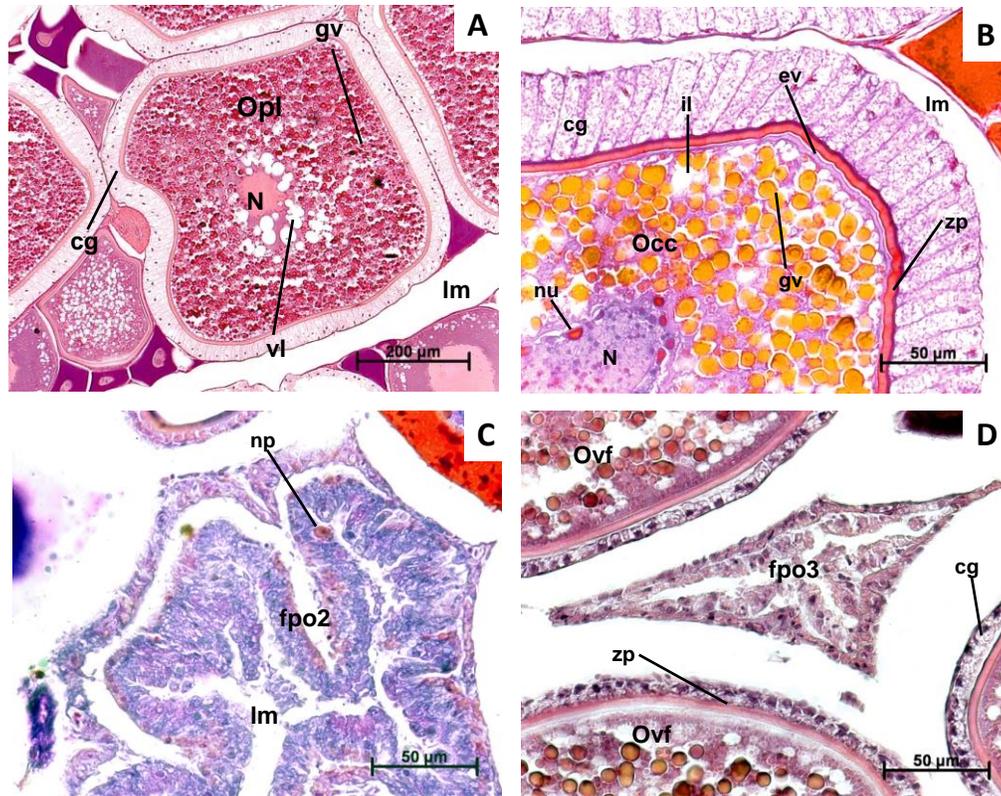


Figura 2.- Microfotografía de oocitos de hembras activas (EO-3 y EO-4). A) Opl: Oocito en proteólisis. N: núcleo. vl: vesículas lipídicas. cg: células de la granulosa. gv: gránulos de vitelo. lm: lumen. A 100 aumentos. Técnica Hemtoxilina-eosina B) Detalle de oocito con células de la granulosa columnares (Occ). nu: nucléolo. il: inclusiones lipídicas. zp: zona pelúcida. ev: envoltura vitelina. A 400 aumentos. Técnica Tricrómica de Mallory C) Detalle de folículo postovulatorio 2 (fpo2), np: núcleo picnótico. A 400 aumentos. Técnica Hematoxilina-eosina. D) Detalle de folículo postovulatorio 3 (fpo3). Ovf: oocito en vitelogénesis final. A 400 aumentos. Técnica Hematoxilina-eosina.

6.9 Talla de primera reproducción (L_{50})

Por medio del modelo logístico (Sparre & Venema, 1997), 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 identificados en los estadios ováricos, como evidencia de la maduración ovárica final (EO-3) y del desove (EO-4) en cada temporada analizada.

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

Dónde:

P =Proporción de peces con actividad reproductiva (EO-3 y EO-4).

L = Longitud patrón.

a y b = Constantes.

6.10 Obtención de la edad

Con los datos de longitud patrón de cada individuo se estimó la edad de cada uno (en años); aplicando la ecuación de Von Bertalanffy, utilizando los parámetros de crecimiento obtenidos por Félix-Uraga (2006) ($L_{\infty}=202$, $k=0.43$, $t_0=-2.25$) para *Sardinops sagax* en la misma zona de estudio. Se expresa en la siguiente ecuación:

$$t = t_0 - \frac{1}{k} \ln \left(1 - \frac{L_t}{L_{\infty}} \right)$$

Dónde:

L_t = talla a la edad t .

L_{∞} =talla asintótica.

K = coeficiente de crecimiento.

t_0 = origen de la curva, la edad teórica del organismo a la cual tiene longitud igual a cero.

6.11 Prevalencia de atresia α

Para el caso de las estimaciones de prevalencia atresia α se utilizó el índice descrito por Kurita *et al.*, (2003). Este fue estimado mensualmente y diferenciando por grupo de edad, durante la temporada de puesta, mediante el análisis histológico de las gónadas de sardina, diagnosticando la presencia o ausencia de atresia α en las hembras maduras no desovantes.

La prevalencia de atresia α se define como el número de hembras maduras no desovantes cuyos ovarios en madurez final, presentan atresia α en los folículos y

oocitos, dividiéndose entre el número total de hembras maduras no desovantes analizadas.

Previo al cálculo de los distintos índices se estimó el número de muestra, con este objetivo se utilizó el siguiente modelo:

$$n = \frac{Nz^2pq}{d^2(N - 1) + z^2pq}$$

Dónde:

n = Tamaño de la muestra para estimar la prevalencia de atresia.

N = Tamaño conocido de la población, en este caso fue el número de hembras en estadio de madurez con o sin presencia de atresia.

d = Precisión (error máximo admisible en términos de proporción), en éste trabajo se asignó un valor de 0.1.

p = Prevalencia esperada del parámetro a evaluar, y se asumió con valor del 0.5.

$q = 1-p$.

z = Valor de z correspondiente al nivel de confianza.

Con el tamaño de muestra establecido, se seleccionaron los especímenes al azar para hacer el cálculo de la prevalencia de atresia α , diferenciando por mes y grupo de edad, la cual se calculó utilizando el siguiente modelo, modificado de Valdez-Montiel (2012):

$$PA\alpha = \left(\frac{\sum_{i=1}^n ma\alpha_i}{\sum_{i=1}^n ma} \right) 100$$

Dónde:

$PA\alpha$ = Prevalencia de atresia α en hembras maduras no desovantes.

$ma\alpha$ = Hembras maduras no desovantes con presencia de atresia α desde la hembra $i=1$ hasta n .

ma = Hembras maduras no desovantes totales desde la hembra $i=1$ hasta n .

6.12 Parámetros ambientales

Los datos de temperatura superficial del mar (TSM), se obtuvieron de una combinación de imágenes satelitales de MODIS-Aqua (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) y MODIS-Terra. Los datos de clorofila "a" (Chl "a") se obtuvieron de MODIS-Aqua, MODIS-Terra y MERIS (Medium Resolution Imaging Spectrometer). Estas fueron tipo HRPT (High Resolution Picture Transmission), con una resolución espacial de 1.1 km, almacenadas en formato HDF (Hierarchical Data Format), obtenidas de Scripps Institution of Oceanography, University of California.

Con ayuda del Software Windows Image Manager (WIM) se procesaron imágenes mensuales de 2001 a 2009. Se obtuvieron valores promedio de la zona de Bahía Magdalena tomando en cuenta que la flota sardinera opera a no más de 8 millas náuticas alejados de la costa (Fig. 3).

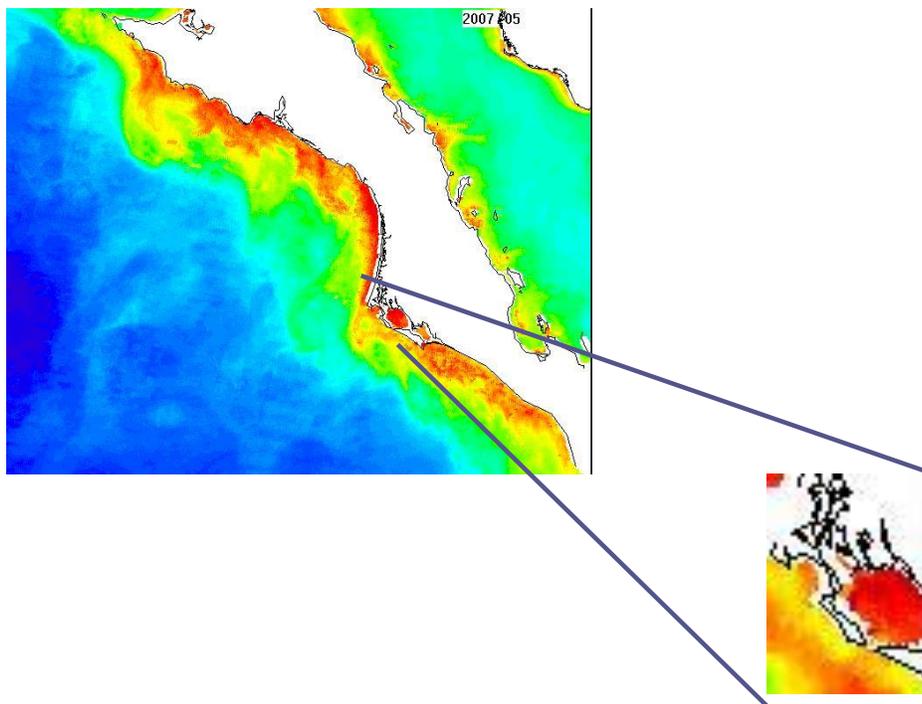


Figura 3.- Ejemplo de la zona que se está tomando en cuenta para el estudio de las variables de TSM y Chl "a". Las coordenadas geográficas del área analizada son: 25°N -112°31'1"O -111°87'4"E 24°39'7"S.

Una vez generados los archivos con los valores numéricos para los datos de TSM y Chl “a” se elaboró una correlación cruzada (Box & Jenkins, 1976) con el fin de comprender la dirección de la relación entre dos procesos conjuntamente estacionarios; se realizaron también funciones de autocorrelación, las cuales son la correlación cruzada de la variable consigo misma.

Se realizaron correlaciones entre las variables ambientales vs variables biológicas, diferenciando por edades, tomando en cuenta un desfase de un año (12 meses), para ver la posible relación con lo que pasó un año anterior. Se utilizaron análisis de correlación de Spearman (análisis no paramétrico). Las mediciones de este índice varían de + 1 a - 1, pasando por el cero, donde este último significa correlación nula entre las variables estudiadas, mientras que los dos primeros denotan la correlación máxima directa e inversamente proporcional respectivamente (Zar, 1996).

7. Resultados

7.1 Composición poblacional según la talla y el peso

Se utilizaron los registros individuales de: longitud patrón (mm) y peso total (g) de 4648 hembras de *Sardinops sagax*, recolectadas en el periodo comprendido entre el año 2000 al 2009. Son evidentes las diferencias en el tamaño de muestras obtenidas en los diferentes años, el menor número de muestra fue en 2004 con 138 hembras y el máximo en el año 2000 con 897 hembras (Tabla II).

Tabla II. Relación de numero de hembras de *Sardinops sagax* obtenidas durante las temporadas reproductivas de 2000 a 2009 en Bahía Magdalena.

Año	No de hembras
2000	897
2001	743
2002	491
2003	427
2004	138
2005	158
2006	261
2007	532
2008	541
2009	460

El intervalo de tallas observadas es de 117 mm a 228 mm de longitud patrón y el promedio de 164.92 mm. Se observó una marcada diferencia en los valores promedio de longitud patrón; las hembras con las menores tallas se presentaron durante 2003 y 2005, años en los que se observa una marcada diferencia en su distribución, con respecto a otros años debido a la aglomeración en las frecuencias de hembras que no superan los 150 mm, 2006 se caracterizó por ser el año en el que el rango de tallas fue el mayor, de 117 a 211 mm. A partir de este año se observa un aumento continuo en tallas promedio hasta alcanzar los valores más altos durante 2009 (Fig. 4).

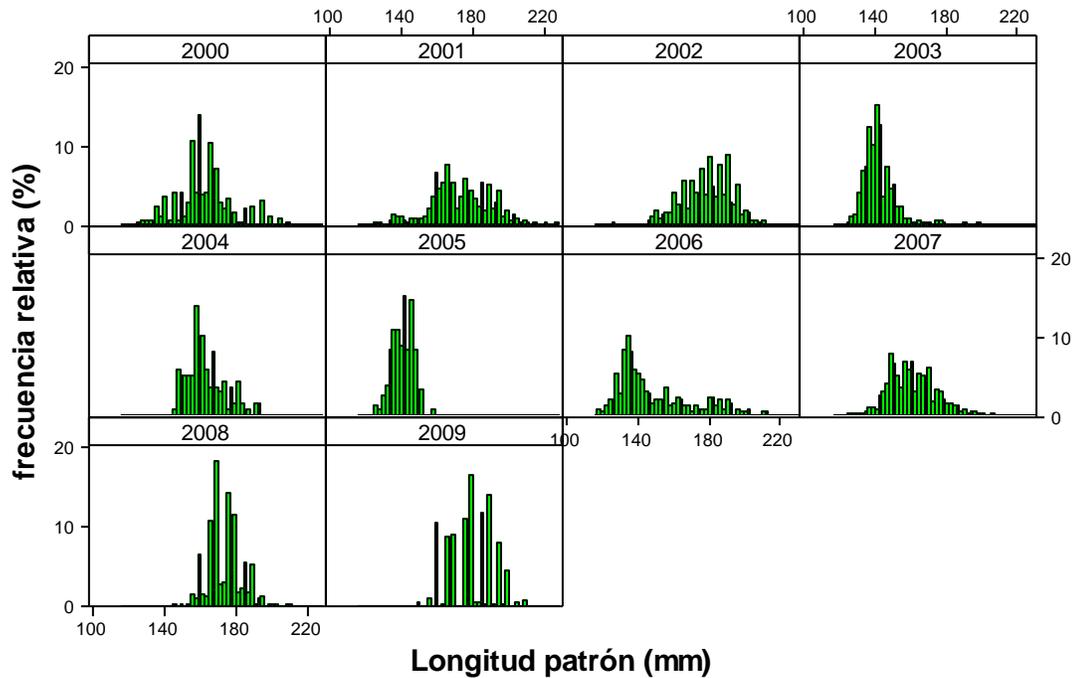


Figura 4.- Distribución de frecuencia de longitud patrón (mm) de hembras de *Sardinops sagax* en Bahía Magdalena.

Las distribuciones de frecuencias de pesos mostraron un patrón similar al que se observa en la distribución de la frecuencia de las tallas, con valores promedio bajos en 2003 y 2005 y altos en 2002 y 2009 (Fig. 5).

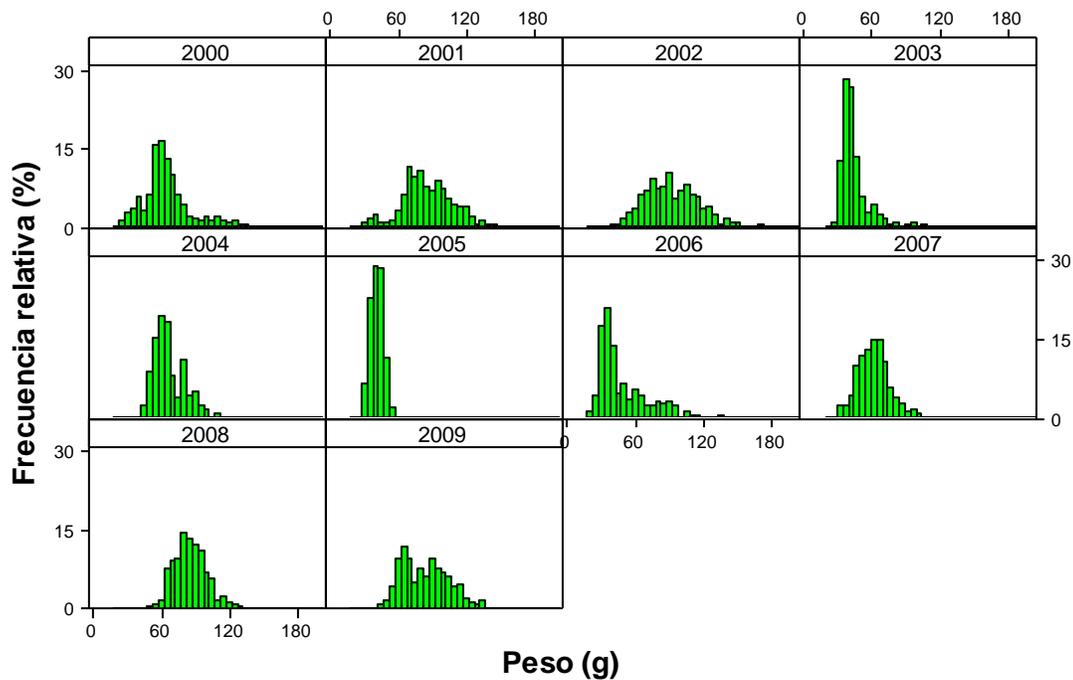


Figura 5.- Distribución de frecuencia de peso (g) de hembras de *Sardinops sagax* en Bahía Magdalena.

7.2 Relación peso-longitud

La relación peso-longitud demostró una marcada relación entre estas dos variables; agrupándose todos los años, la correlación obtenida fue $r^2 = 0.90$. En la figura 6 se presenta esta relación diferenciando con colores los distintos años, esto para distinguir la variación observada interanualmente.

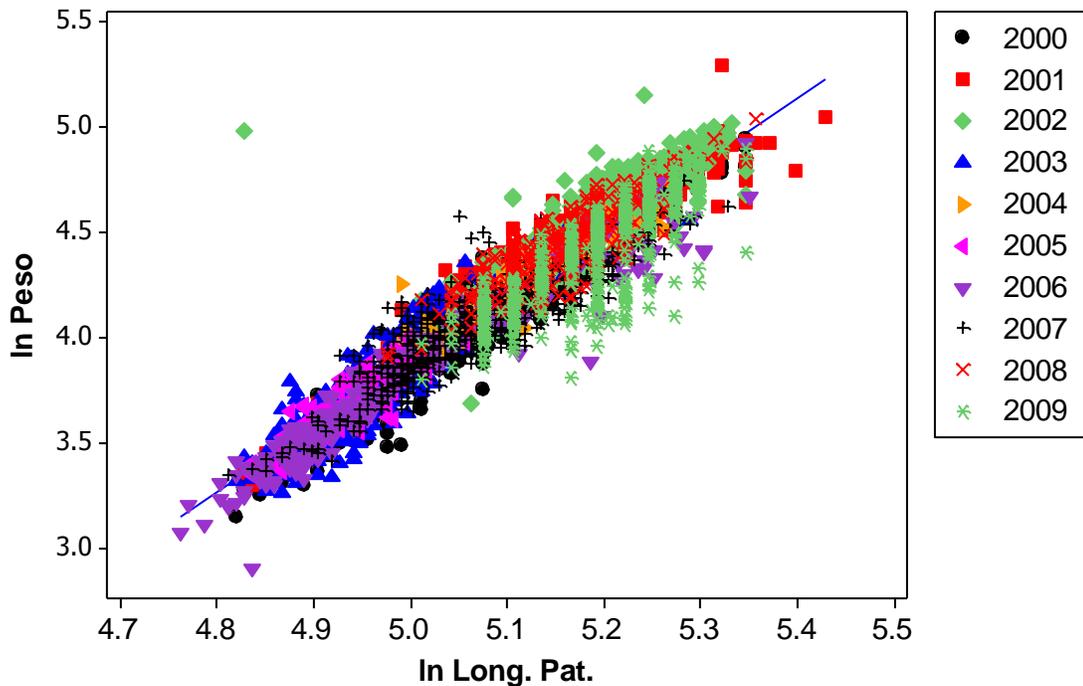


Figura 6.- Relación peso-longitud de hembras de *Sardinops sagax* en Bahía Magdalena.

En el análisis realizado para cada año, 2009 mostró la presencia de hembras de mayor tamaño y con un peso relativamente bajo, diferenciándose de los otros años, sin embargo el valor de r^2 (0.63) indicó una relación significativa. Los años de 2000, 2001, 2006 y 2007, mostraron una composición comparable en el tamaño y peso de las hembras. En tanto, los años 2004 y 2005 estuvieron menos representados y solo se observaron individuos de media y pequeña talla respectivamente (Fig. 7). Esta diferencia interanual en la estructura de tallas podría ser debida a las migraciones que esta especie realiza durante su ciclo de vida.

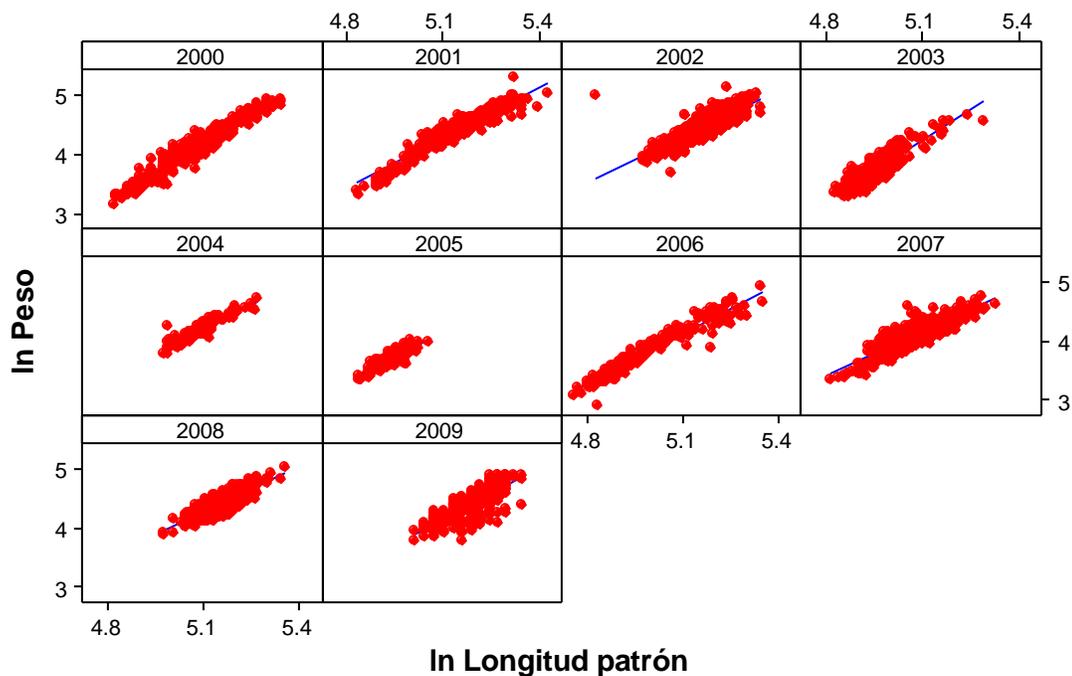


Figura 7.- Relación peso-longitud anual de hembras de *Sardinops sagax* en Bahía Magdalena.

Las diferencias de los valores de b entre las diferentes temporadas reproductivas se muestran en la tabla III; con excepción de 2000 y 2003, los valores del parámetro b fueron mayores de 3; lo que indica que en esos años el crecimiento fue alométrico positivo. Mientras que en los años 2007 y 2008 tuvieron una tendencia al crecimiento alométrico negativo con valores de b cercanos a 2.5.

Tabla III. Parámetros de la regresión peso-longitud para *Sardinops sagax* durante las temporadas reproductivas de 2000 a 2009 en Bahía Magdalena. Tamaño de la muestra (n), ordenada al origen (a), pendiente (b) y coeficientes de correlación (r^2).

Año	n	a	b	r²
2000	897	-12.56	3.28	0.93
2001	743	-10.34	2.86	0.92
2002	491	-9.27	2.66	0.70
2003	427	-13.52	3.48	0.80
2004	138	-9.82	2.75	0.88
2005	158	-10.63	2.90	0.75
2006	261	-10.53	2.87	0.94
2007	532	-8.67	2.51	0.78
2008	541	-8.67	2.54	0.69
2009	460	-10.36	2.85	0.63

7.3 Factor de condición

El factor de condición (FC) obtenido con los valores de b a partir de la regresión peso-longitud para cada año, se calculó y mostró un incremento considerable durante 2007 y 2008 (Fig. 8).

Al aplicar la prueba Kruskal-Wallis, se encontraron diferencias significativas entre los años con un $p < 0.0001$ y se identificaron 6 grupos homogéneos. Durante 2000 y 2003 se presentan los valores promedio más bajos dentro del periodo estudiado, formando el “grupo a y b”, quedando en promedios intermedios 2001, 2002, 2004-2006 y 2009, con los “grupos c, d y e”, 2007 y 2008 forman el “grupo f” que presenta los mayores valores promedio (Fig. 8)

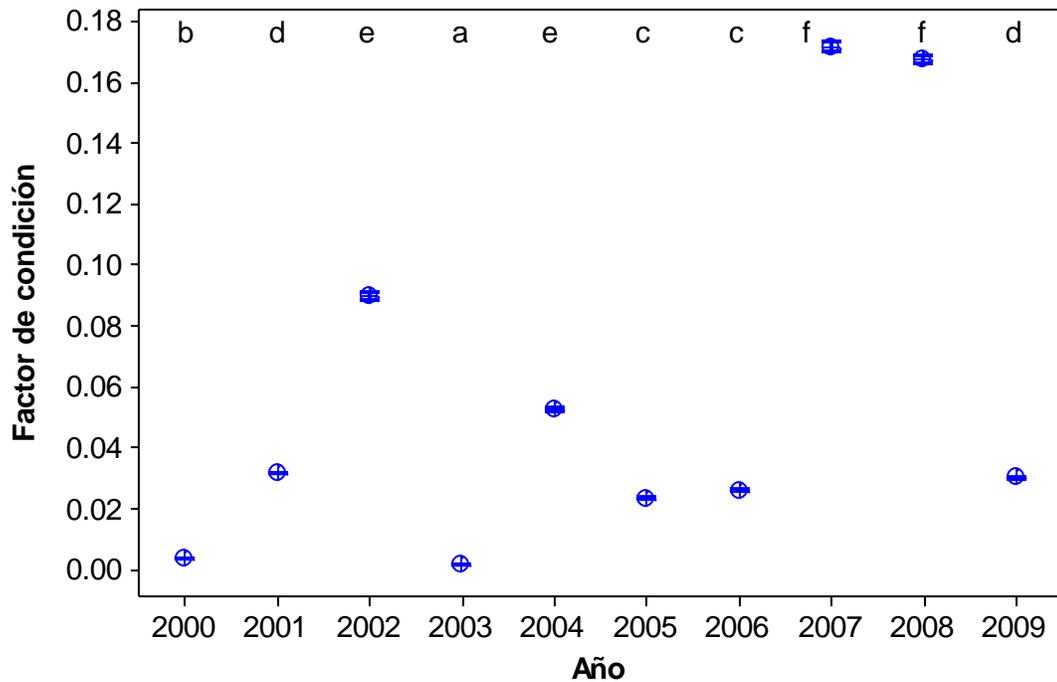


Figura 8.- Variación anual del Factor de condición de hembras de *Sardinops sagax* en Bahía Magdalena. Donde las letras indican los grupos homogéneos por comparaciones múltiples por pares mediante el procedimiento de Dunn/Prueba bilateral.

Si se considera un año tipo, el factor de condición presenta valores bajos al inicio de la temporada, y un aumento hacia el final de esta. Se encontraron diferencias significativas con un $p < 0.0001$ y tres grupos homogéneos diferenciando enero y febrero como grupos individuales, marzo y abril como un solo grupo el cual presenta los valores promedios de factor de condición más altos (Fig. 9).

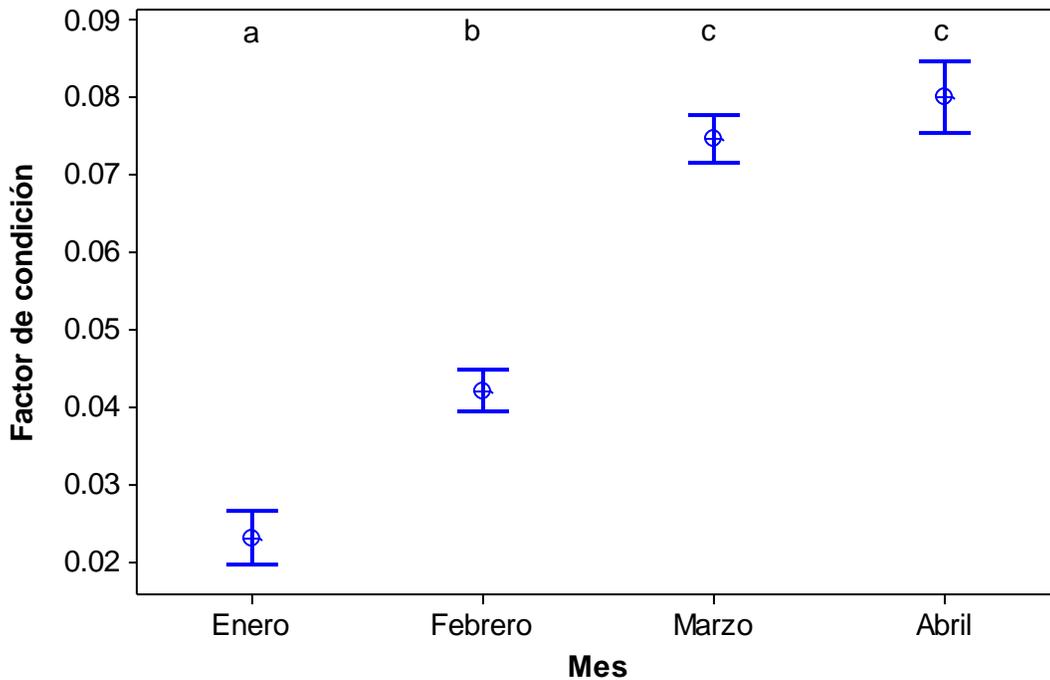


Figura 9.- Año tipo de variación mensual del factor de condición de hembras de *Sardinops sagax* en Bahía Magdalena. Donde las letras indican los grupos homogéneos por comparaciones múltiples por pares mediante el procedimiento de Dunn/Prueba bilateral.

7.4 Índice gonadosomático

El crecimiento ovárico expresado a través del índice gonadosomático presentó un valor promedio de 4.0 para todo el periodo estudiado; se encontraron diferencias significativas con un $p < 0.0001$ entre cada una de las temporadas reproductivas formándose cinco grupos homogéneos; durante 2003 y 2007 se encontraron los valores promedio más bajos formando los “grupos a y b” (respectivamente), 2001 y 2009 presentaron valores promedio que indican madurez sexual (IGS = 5), según lo que encontró Arce-Peinado (2012), estos años junto con 2002, 2004-2006, 2008, 2009 forman los “grupos d y e” que son los que presentan los mayores valores, el año 2000 presenta valores intermedios y queda como “grupo c” (Fig. 10).

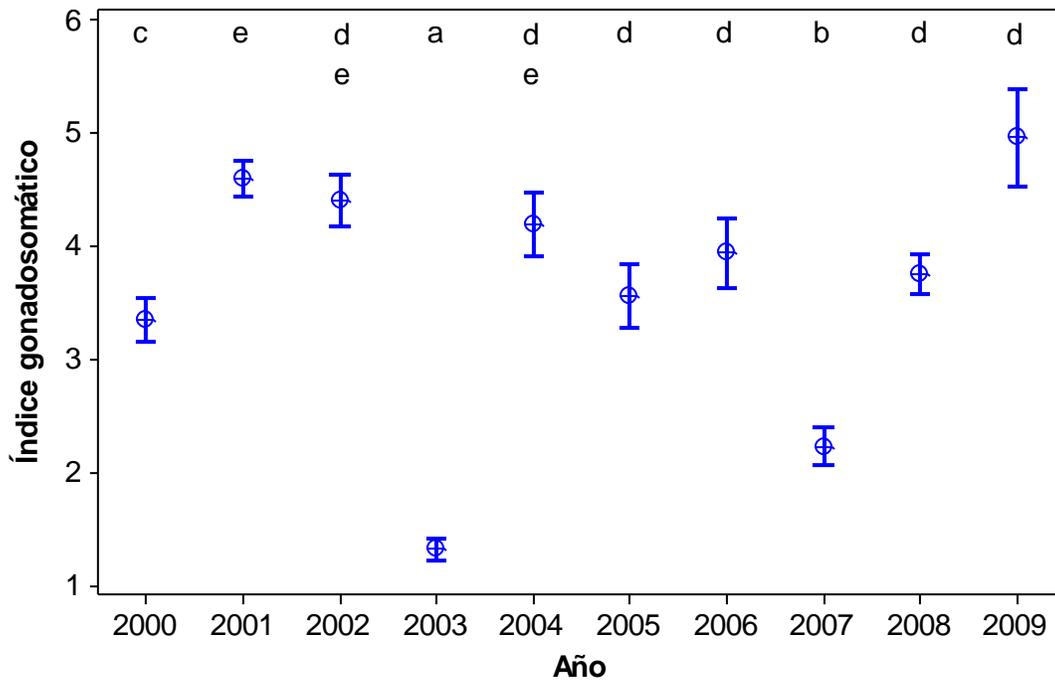


Figura 10.- Variación interanual del índice gonadosomático de hembras de *Sardinops sagax* en Bahía Magdalena. Donde las letras indican los grupos homogéneos por comparaciones múltiples por pares mediante el procedimiento de Dunn/Prueba bilateral.

En un año tipo se observa que el índice gonadosomático presenta valores altos al inicio de la temporada con una disminución hacia el final de la misma. Se encontraron diferencias significativas con un $p < 0.0001$ y tres grupos homogéneos; el inicio de la temporada se caracteriza por valores promedios de IGS altos (enero-marzo) de los “grupos b y c” y abril forma el “grupo a” en el que el IGS disminuye, indicando el final de la temporada reproductiva (Fig. 11).

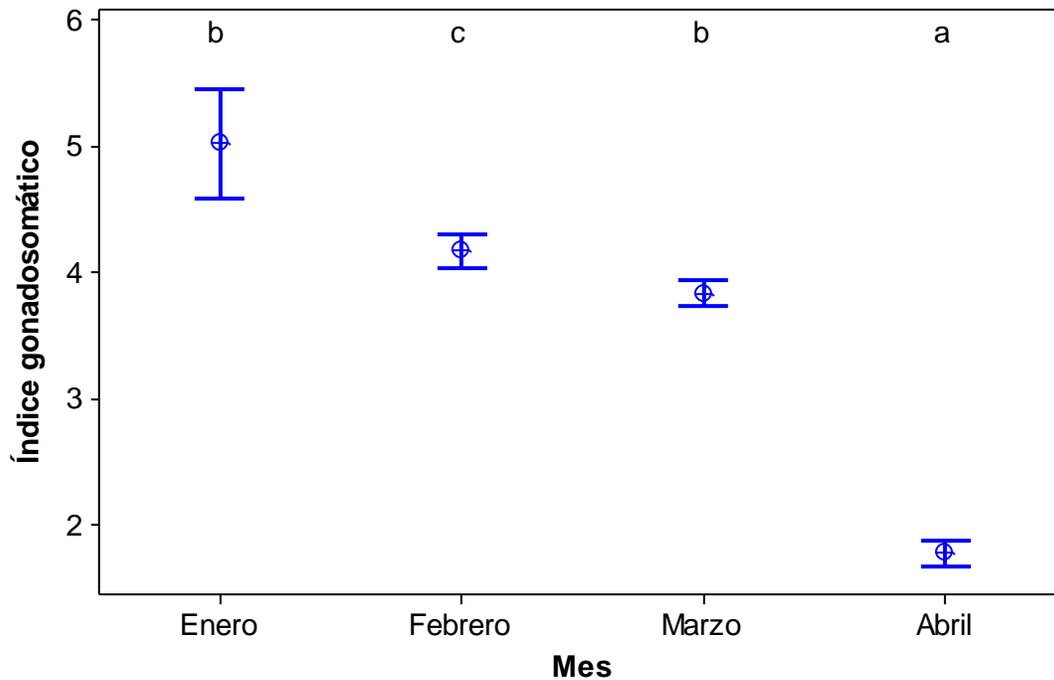


Figura 11.- Año tipo de variación mensual del índice gonadosomático de hembras de *Sardinops sagax* en Bahía Magdalena. Donde las letras indican los grupos homogéneos por comparaciones múltiples por pares mediante el procedimiento de Dunn/Prueba bilateral.

7.5 Estadios ováricos

De acuerdo con la selección del periodo en que se obtuvieron las muestras de ovarios, la identificación y cuantificación de los estadios ováricos, durante todo el periodo estudiado el EO-3, registró la mayor presencia en cada temporada anual, como se esperaba por ser la temporada reproductiva fue el más representativo, con el 56 %, las hembras con folículos postovulatorios (EO-4) alcanzaron el 12 % al igual que las hembras con oocitos previteligenicos (EO-1), las hembras atrésicas o en EO-5 y en EO-2 fueron las menos representadas con un 10 % cada una (Fig. 12).

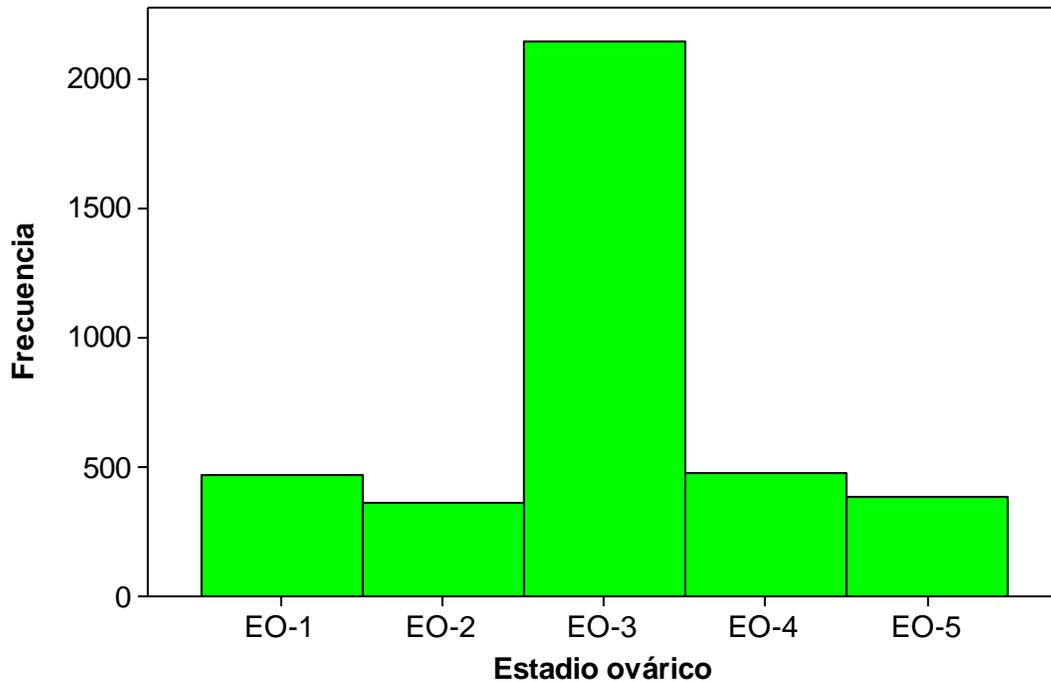


Figura 12.- Frecuencia de estadios ováricos de las hembras de *Sardinops sagax* estudiadas en el periodo de 2000-2009 en Bahía Magdalena.

Las frecuencias de estadios ováricos no fueron similares durante todas las temporadas reproductivas, el patrón general anual muestra una mayor frecuencia de hembras en EO-3 (Fig. 13), sin embargo, hubo casos como el año 2000, donde el mayor porcentaje fue de hembras en EO-5 particularmente durante el mes de marzo donde su frecuencia fue la más elevada, durante 2003 la mayor frecuencia la alcanzaron hembras en EO-1 en los meses de enero y febrero, en 2007 las hembras inmaduras fueron más frecuentes al final de la temporada; Se observa un aumento en la frecuencia de hembras en EO-3 durante los meses de febrero y marzo, lo que indica que es durante estos dos meses cuando la intensidad de desove llega a su máximo, de igual forma las hembras atrésicas aumentan su frecuencia durante marzo, lo que indica el fin de la temporada reproductiva (tabla IV).

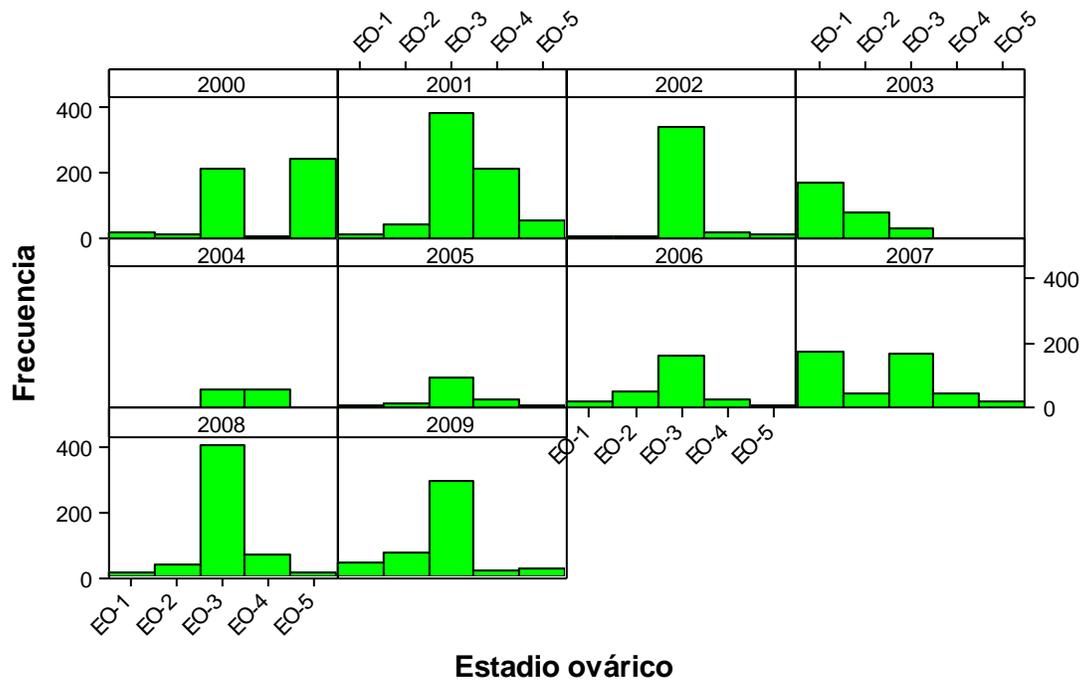


Figura 13.- Variación anual en la frecuencia de estadios ováricos de las hembras de *Sardinops sagax* estudiadas en el periodo de 2000-2009 en Bahía Magdalena.

Tabla IV.- Variación mensual en la frecuencia relativa de estadios ováricos de las hembras de *Sardinops sagax* estudiadas en el periodo de 2000-2009 en Bahía Magdalena a partir de análisis histológico.

Año	Mes	Estadio ovárico				
		EO-1	EO-2	EO-3	EO-4	EO-5
2000	enero	0	2	91	0	7
	febrero	0	18	76	6	0
	marzo	5	2	27	1	64
	abril	*	*	*	*	*
2001	enero	*	*	*	*	*
	febrero	0	0	60	39	2
	marzo	6	21	40	8	26
	abril	*	*	*	*	*
2002	enero	0	0	88	0	12
	febrero	0	0	81	19	0
	marzo	0	1	94	3	1
	abril	14	12	64	9	2
2003	enero	50	37	12	0	0
	febrero	72	21	5	0	1
	marzo	*	*	*	*	*
	abril	18	18	53	0	12
2004	enero	*	*	*	*	*
	febrero	0	0	32	68	0
	marzo	0	3	54	43	0
	abril	*	*	*	*	*
2005	enero	8	42	50	0	0
	febrero	11	0	22	67	0
	marzo	2	3	73	17	5
	abril	*	*	*	*	*
2006	enero	*	*	*	*	*
	febrero	4	20	64	11	0
	marzo	21	18	47	0	13
	abril	*	*	*	*	*
2007	enero	0	8	85	8	0
	febrero	1	6	65	28	0
	marzo	13	25	43	2	17
	abril	96	4	0	0	0
2008	enero	*	*	*	*	*
	febrero	*	*	*	*	*
	marzo	0	2	80	13	4
	abril	9	20	62	9	0
2009	enero	0	0	100	0	0
	febrero	*	*	*	*	*
	marzo	4	7	72	7	11
	abril	19	29	49	2	2

* No hubo muestreo

7.6 Talla y edad de primera reproducción

Tomando en cuenta todas las hembras dentro del periodo estudiado, se obtuvo una $L_{50} = 158$, valor muy cercano a los valores anuales promedio dentro del periodo de estudio (159 mm), esta se transformó a edad y por medio de las determinaciones histológicas de la actividad ovárica, se demostró que las hembras de *S. sagax* se reproducen a partir del primer año de vida (Fig 14). Se pone en evidencia que suceden modificaciones notables de la talla de primera reproducción en cada año estudiado.

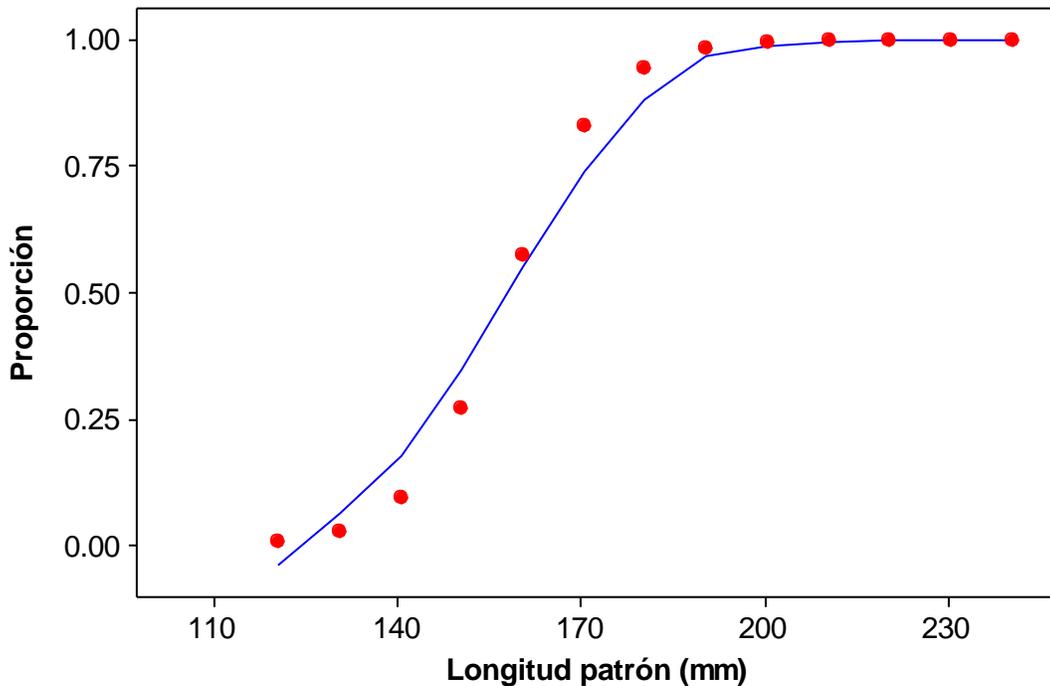


Figura 14.- Modelo logístico de la L_{50} , integrando datos de todo el periodo de estudio (2000-2009) de *Sardinops sagax* en Bahía Magdalena.

Las variaciones interanuales de la L_{50} fueron notables, con valores bajos en 2003 (144 mm), 2005 (138 mm) y 2006 (142 mm). Se muestra una tendencia en el retraso de la talla de primera madurez a partir de 2005 alcanzándose hasta los 175 mm durante 2009 (Fig. 15).

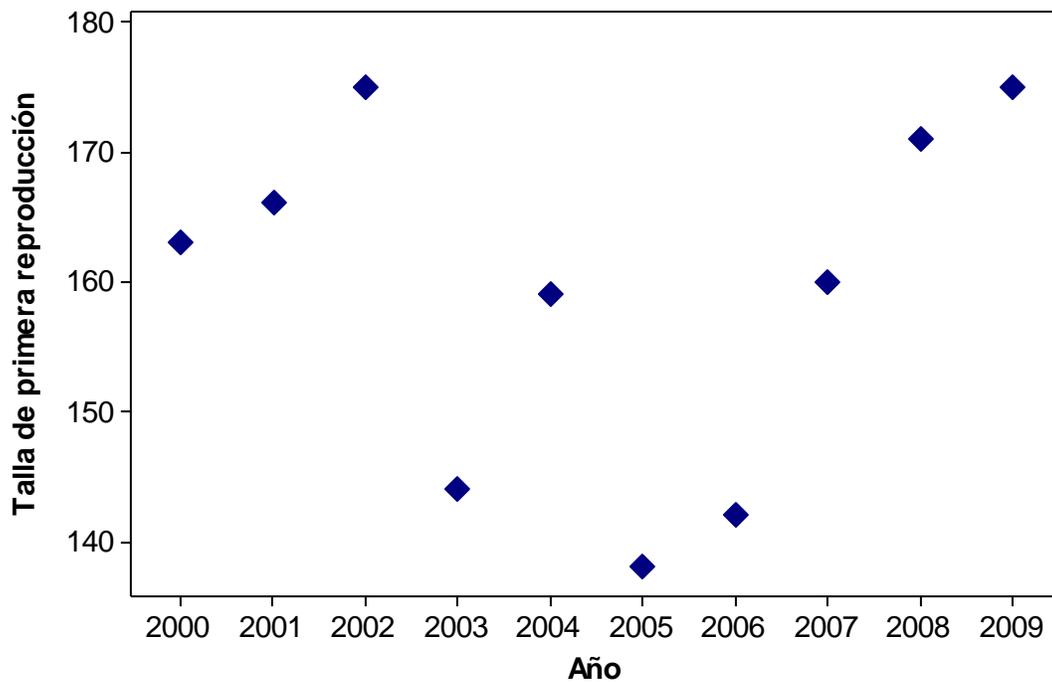


Figura 15.- Variación interanual de la talla de primera madurez de *Sardinops sagax* en cada temporada reproductiva en Bahía Magdalena.

Las variaciones interanuales de la edad de primera reproducción oscilaron entre hembras de los grupos de edad 2 y 0; durante 2000-2002 y 2008-2009 la madurez sexual se alcanzó en hembras del grupo de edad 2, durante 2003-2004 y 2006-2007 se alcanzó en hembras del grupo de edad 1, para 2005 la madurez se alcanzó en hembras que no cumplían aun un año de vida (Fig. 16).

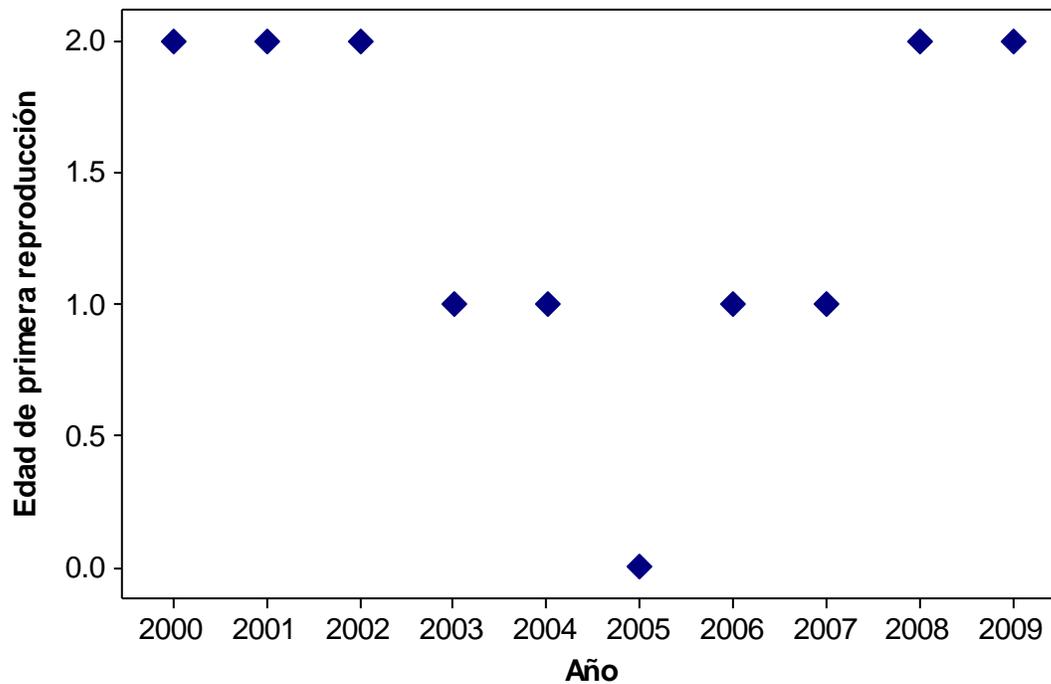


Figura 16.- Variación interanual de la edad de primera madurez de *Sardinops sagax* en cada temporada reproductiva en Bahía Magdalena.

7.7 Edad estimada

A partir del despeje de la ecuación de Von Bertalanffy utilizando los parámetros de crecimiento obtenidos por Félix-Uraga (2006) ($L_{\infty}=202$, $k=0.43$, $t_0=-2.25$), se encontraron hembras cuya edad estuvo entre los grupos de edad de 0 a 10+.

El mayor porcentaje de individuos se encontró en los grupos de edad 1 y 2 (representan el 27.42 % y 28.67 %, respectivamente, con un intervalo de 141-175 mm de longitud patrón y de 32.30-115.40 g de peso. Sumándose todos los individuos de edad entre 5 y 10+, solo acumulan el 8.72 % de la población total. La frecuencia modal de longitud patrón mostró un incremento de 10 mm por año de las edades 0 a 4. A partir de la edad 5 esta tendencia se pierde y el crecimiento disminuye notablemente (Tabla V).

Tabla V.- Valores de talla y peso para cada grupo de edad de *Sardinops sagax* en Bahía Magdalena.

Edad	N	Talla media (mm)	Talla modal (mm)	Talla mín. (mm)	Talla máx. (mm)	Peso medio (g)	Peso mín. (g)	Peso máx. (g)
0	444	134.67	140	117	140	35.28	18.20	146.20
1	1053	152.86	160	141	161	54.89	32.30	96.90
2	1101	168.93	170	162	175	75.34	45.00	115.40
3	488	179.93	180	176	184	89.74	48.60	130.70
4	419	187.62	190	185	190	99.85	57.90	172.30
5	81	192.59	193	191	194	110.24	72.10	137.60
6	127	195.24	195	195	197	111.64	60.30	140.10
7	10	198.00	198	198	198	113.38	93.10	133.40
8	52	199.87	200	199	200	116.49	71.00	136.80
10	8	201.00	201	201	201	120.85	82.10	145.30
10+	57	206.93	210	202	228	130.99	81.90	198.60

7.7.1 Caracterización por grupo de edad

Los grupos de edad son distintos tanto en la talla como en el índice gonadosomático y factor de condición, a continuación se describe cada uno.

- Grupo de edad 0:

Formado por 444 hembras con tallas de los 117 mm a las 140 mm con un peso medio de 134.67 mm. El IGS promedio fue de 2, con valores mínimos de 0 y máximos de 12; el factor de condición osciló entre 0.001 y 0.360 con un promedio de 0.023.

- Grupo de edad 1:

Este grupo de edad agrupa 1053 hembras, con tallas promedios de 152.86 mm, en el rango de 141 a 161 mm. El IGS promedio fue 3, con mínimos de 0 y máximos de 16; el factor de condición estuvo entre 0.001 y 0.302, con un valor promedio de 0.061.

- Grupo de edad 2:

Es el grupo de edad con mayor número de hembras, 1101, se encuentran en los rangos de talla de 162 a 175 mm con un promedio de 168.93 mm y un IGS promedio de 4 con máximos de 28. El factor de condición promedio es de .085 con un rango de 0.001 a 0.241, manteniendo el aumento que se observó en el grupo de edad 1 con respecto al grupo de edad 0.

- Grupo de edad 3:

Grupo de edad que agrupó 488 hembras, en los rangos de talla de 176 a 184 mm, con una talla promedio de 179.93 mm, un IGS promedio de 5, el primero en denotar actividad ovárica (Arce-Peinado, 2012) con mínimo 0 y máximo 22. Su factor de condición está en el rango de 0.001-0.209, con un promedio de 0.086.

- Grupo de edad 4:

Integrado por 419 hembras en el rango de tallas de 185 a 190 mm con un promedio de 187.62 mm, un IGS promedio de 5 con mínimo 1 y máximo 24, un factor de condición promedio de 0.066, observando una disminución con respecto a los grupos de edad menores dentro del rango de 0.001-0.200.

- Grupo de edad 5:

A partir de este grupo de edad el número de hembras disminuye drásticamente, de este grupo solo se encontraron 81 hembras en todo el periodo estudiado (2000-2009), el rango de tallas va desde los 191 mm a los 194 mm, que muestra una disminución en la amplitud de los rangos de talla, con un promedio de 192.59 mm, el IGS promedio de 5 con máximo de 17, el factor de condición promedio es de 0.68 con un rango de 0.20 a 0.187.

- Grupo de edad 6:

Integrado por 127 hembras dentro del rango de tallas de 195 a 197 mm con un promedio de 195.24 mm, su IGS promedio fue de 5 con un máximos de 22, el factor

de condición estuvo en el rango de 0.003-0.192 con un promedio de 0.049, mostrando una disminución de este valor con respecto al grupo de edad anterior.

- Grupo de edad 7:

Solo tuvo 10 hembras, mismas que presentaron una talla de 198 mm con un IGS promedio de 5, mínimo 1 y máximo 17, el factor de condición muestra un aumento con un promedio de 0.58 dentro del rango de 0.001-0.154.

- Grupo de edad 8:

Integrado por 52 hembras dentro del rango de tala de 199 a 200mm con una talla promedio de 199.87 mm, el IGS promedio de 5, mínimo de 1 y máximo de 16, las cuales presentan una disminución en su factor de condición, 0.044, en el rango de 0.003-0.179.

- Grupo de edad 10:

Es el grupo con la menor representación durante el periodo de estudio (2000-2009), con solo 8 hembras, estas presentaron una talla de 201 mm. El IGS estuvo dentro del rango de 2 a 8 con un IGS promedio de 4; el factor de condición promedio aumenta nuevamente alcanzando un valor de 0.061, con un rango de 0.020-0.103.

- Grupo de edad 10+:

Representado por 57 hembras, el rango de tallas va desde los 202 mm hasta los 228 mm, observándose un aumento en el rango de tallas para este grupo de edad, esto debido por las características del modelo matemático utilizado para calcular la edad a partir de las tallas, el cálculo no se pudo realizar, optando por unificar todas estas hembras en un grupo de edad formado por hembras mayores a 10 años, que denominados 10+; su talla promedio fue de 206.93 mm, un IGS promedio de 5 con un rango de 1 a 15; el factor de condición presento un valor promedio de 0.050 en un rango de 0.03 a 0.189.

La edad con relación al factor de condición mostró un incremento del grupo de edad 0 al grupo de edad 3, observando una disminución gradual del valor medio al avanzar la edad de los individuos, así como también una mayor variación (Fig. 17). Se obtuvieron diferencias significativas entre las edades con un $p < 0.0001$ y se encontraron grupos homogéneos, en los que las hembras del grupo de edad 0 son las únicas que no se asocian con otros grupos de edad.

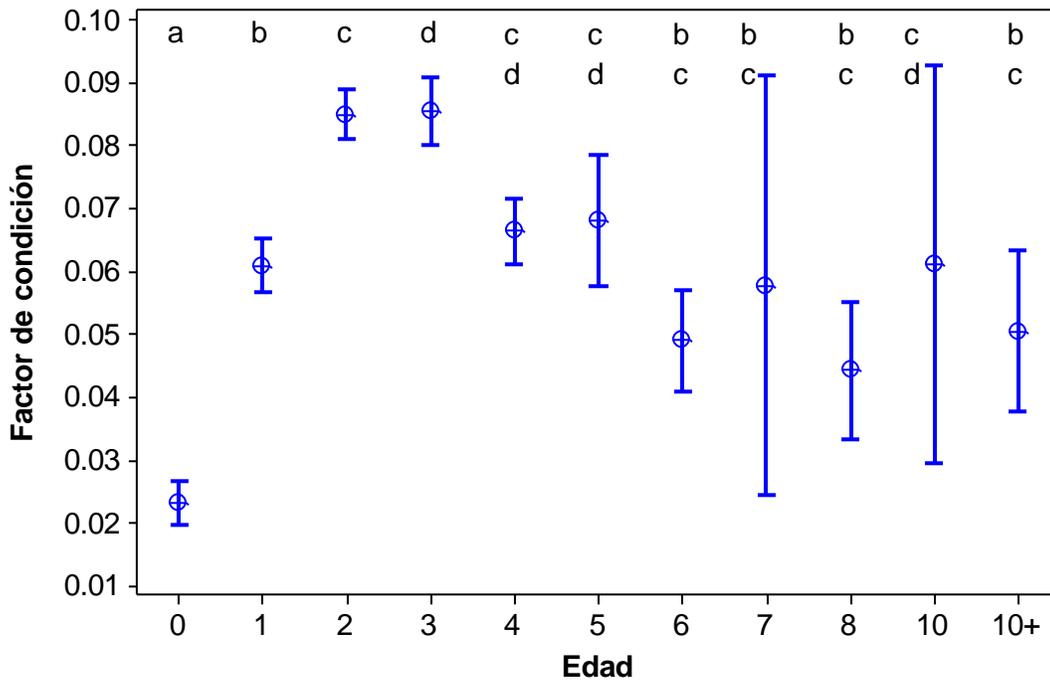


Figura 17.- Variación del valor medio del factor de condición por grupo de edad de hembras de *Sardinops sagax* en Bahía Magdalena.

Cuando se relacionó la edad de las hembras con el crecimiento de la gónada, por medio del IGS, se encontró que a partir de las hembras del grupo de edad 3, la media del valor de IGS indica actividad ovárica evidente puesto que se trata de hembras maduras (Arce-Peinado, 2012). Se obtuvieron diferencias significativas entre las edades con un $p < 0.0001$ (Fig. 18). Se encontraron grupos homogéneos en los que las hembras del grupo de edad 0, al igual que lo observado con el factor de

condición se separan de los demás grupos; indicando la poca energía que utilizan las hembras de esta edad al desarrollo de las gónadas o a su reproducción.

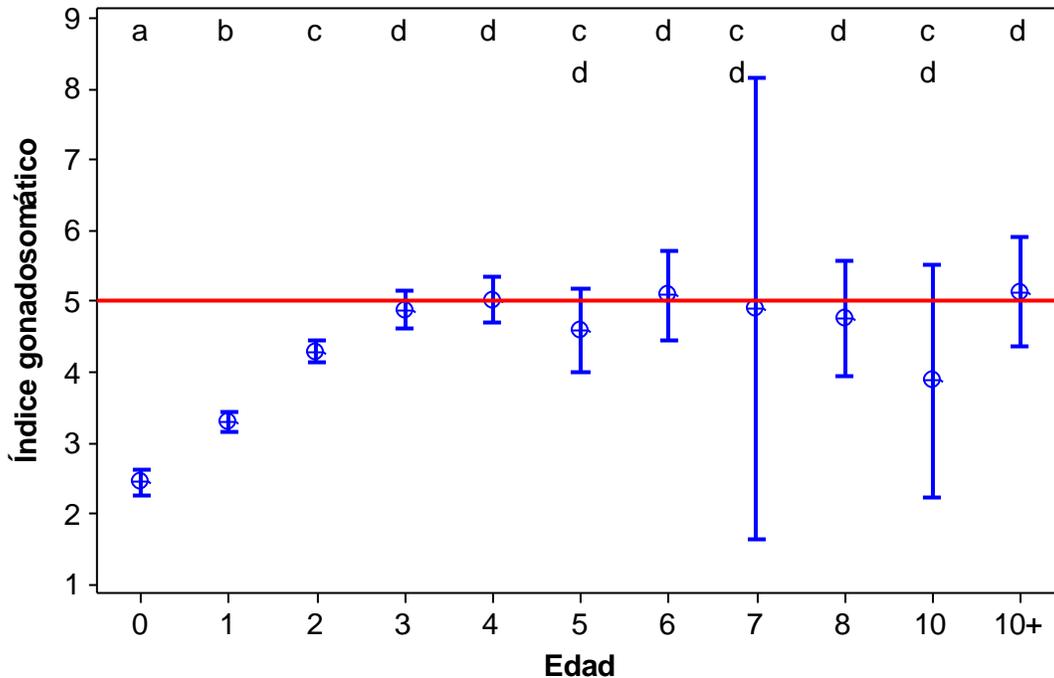


Figura 18.- Variación del valor medio del IGS por grupo de edad en hembras de *Sardinops sagax* en Bahía Magdalena. Línea roja: valor reportado de actividad ovárica evidente para *S. sagax* en Bahía Magdalena (Arce-Peinado, 2012).

7.7.2 La edad y los estadios de maduración ovárica

Como resultado del análisis histológico de los ovarios de 3840 hembras, se confirmó la asincronía en el desarrollo de los oocitos, se identificó el estadio ovárico en cada hembra analizada y la frecuencia de los estadios en cada grupo de edad. La incidencia de los estadios ováricos, por cada grupo de edad se demostró que la maduración ovárica avanzada caracterizada en el EO-3, destacó el valor modal y por tener el mayor porcentaje en todos los grupos de edad.

Los estadios EO-1 y EO-2 que representan hembras inmaduras tuvieron las mayores frecuencias en las edades de 0, 1 y 2. El estadio ovárico EO-3 que

caracteriza a las hembras activas próximas a la puesta, resultado ser la frecuencia modal en todos los grupos de edad con un mayor porcentaje en hembras de los grupos de edad 1 a 4; el EO-4 presento sus mayores porcentajes en hembras de los grupos de edad 1, 2 y 3, el EO-5 mostró porcentajes altos en hembras de los grupo de edad 1 y 2 (48 y 38 %) (Fig. 19).

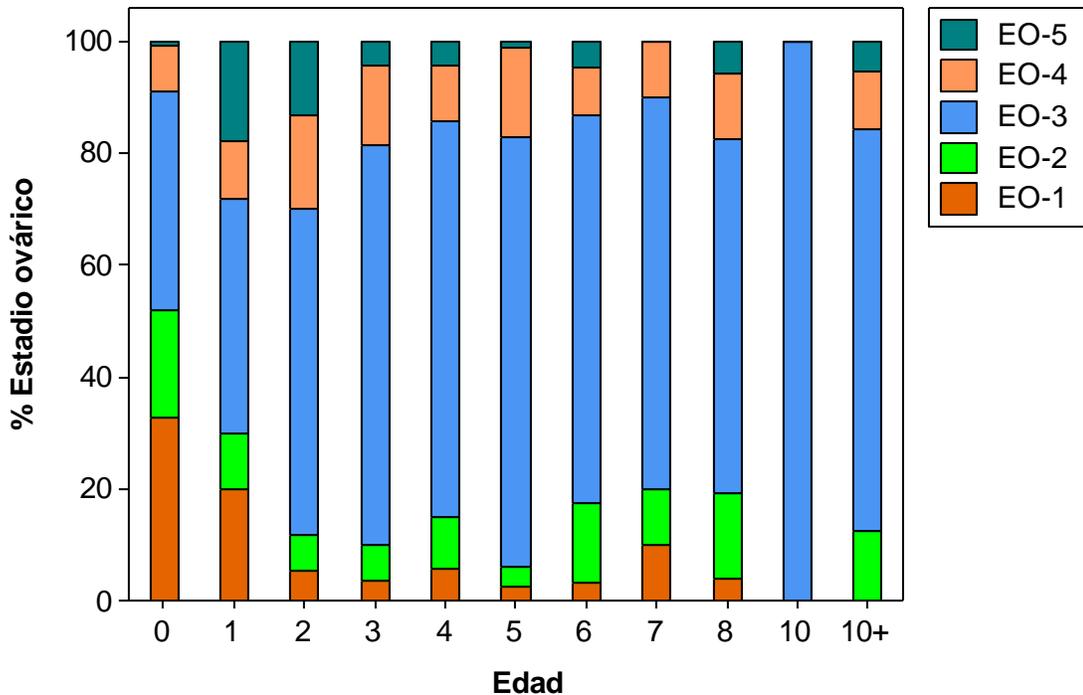


Figura 19.- Comparación del porcentaje de hembras en cada estadio ovárico para cada grupo de edad de *Sardinops sagax* en Bahía Magdalena.

Las hembras activas (Hunter *et al.*, 1992) mostraron una variación entre las distintas edades, se observa que el porcentaje de las hembras activas alcanzó el 68 % en las hembras analizadas por histología. Todos los grupos de edad muestran la incidencia de hembras activas mayor al 50%. Destaca las hembras de edad 0 por ser el único grupo de edad que contiene menos del 50% de hembras activas. El grupo edad 10 con el mayor porcentaje al 100 %, seguido por los grupos de edad 5 y 3 (5 con 93 % y 3 con el 86 %) (Fig. 20).

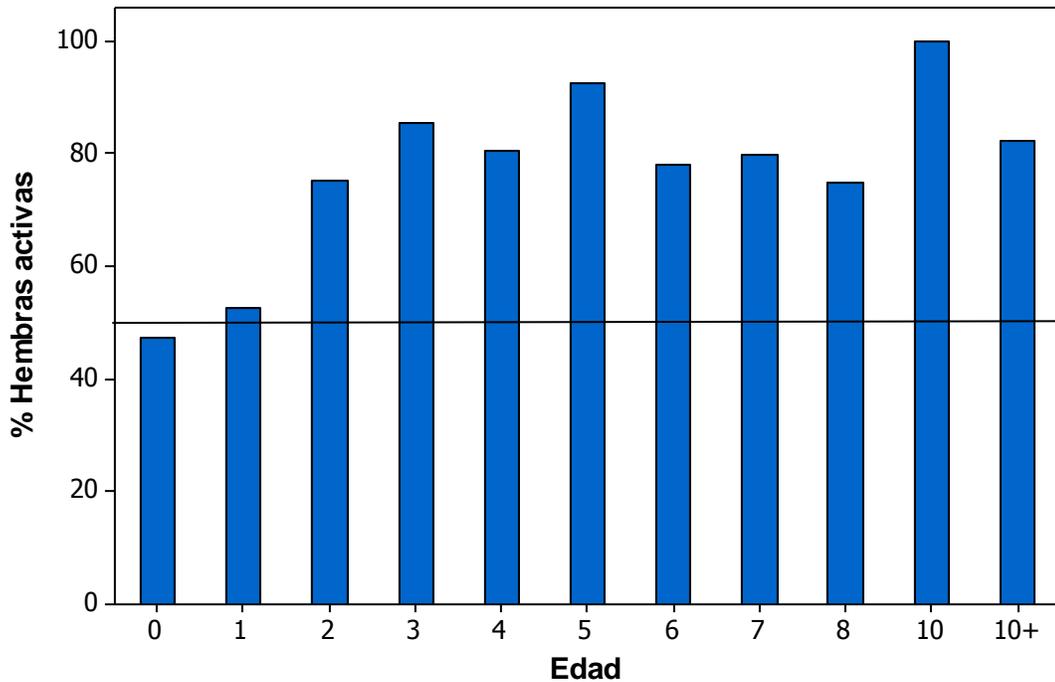


Figura 20.- Porcentaje de hembras activas de *Sardinops sagax* por grupo de edad para Bahía Magdalena. La línea negra indica el 50 % de hembras activas.

Sin embargo lo que se observa en la figura anterior no representa con claridad la participación de las hembras activas de cada grupo de edad en la temporada reproductiva ya que del total de las hembras el mayor porcentaje de hembras activas pertenece al grupo de edad 1, 2, 3 y 4, (56 % de toda la población), formando estos el grupo de reproductores (Fig. 21).

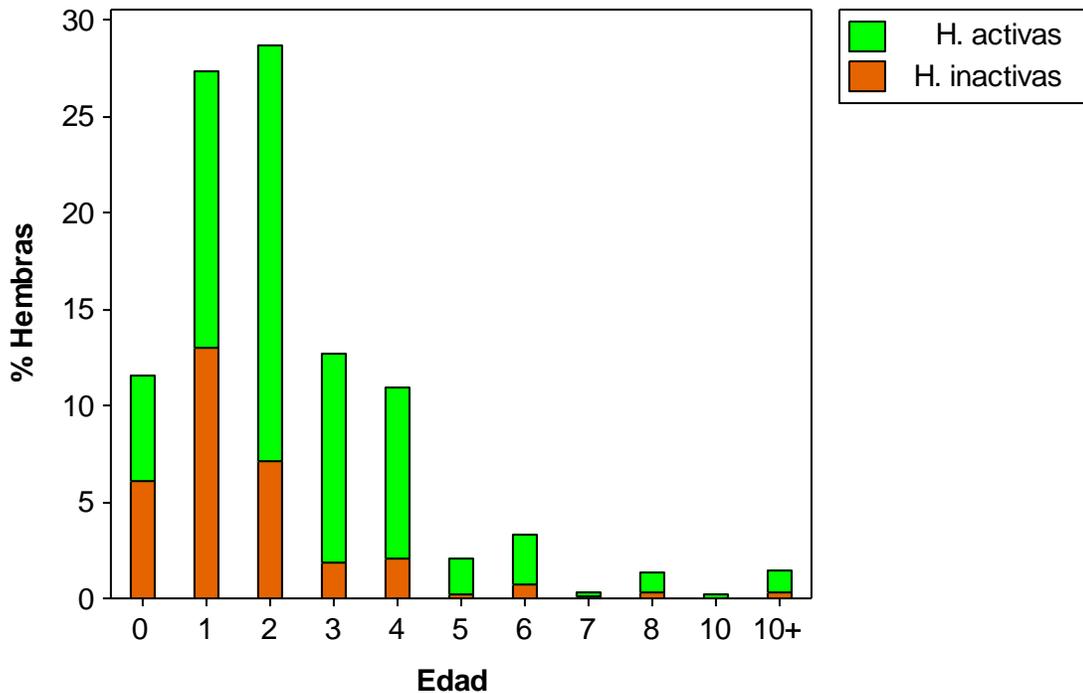


Figura 21.- Proporción de hembras activas e inactivas de *Sardinops sagax* por grupo de edad para Bahía Magdalena.

7.8 Prevalencia de atresia α

Se observa una variación anual en los valores de prevalencia de atresia α , estos se contrasta con los porcentajes de hembras activas en el que se observa una relación inversa, años con valores bajos de prevalencia de atresia α presenta porcentajes altos de hembras activas. En los años 2000 y 2006 se observan los valores más altos de prevalencia de atresia α . 38 y 44 % respectivamente; 2003 y 2004 presentan los menores valores con 4 y 1 % respectivamente (Fig. 22).

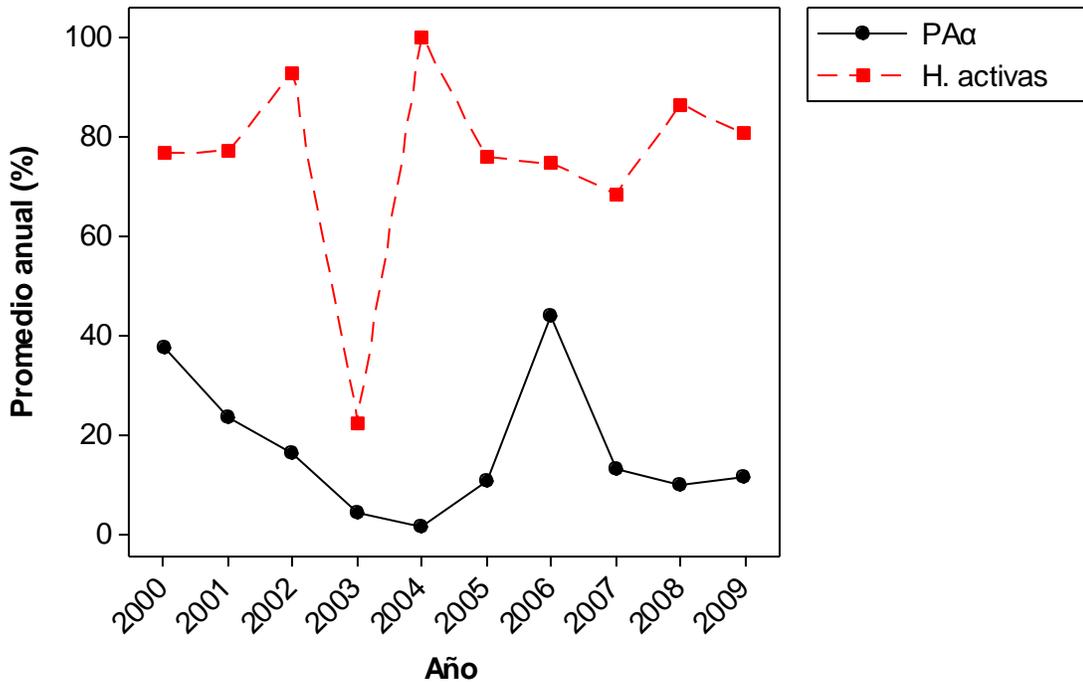


Figura 22.- Variación anual de Prevalencia de atresia α (PA α) y porcentaje de hembras maduras (HA) de *Sardinops sagax* en Bahía Magdalena.

En general la prevalencia de atresia α muestra una tendencia marcada por valores menores al 20 %; aunque sobresale el mes de marzo por un incremento que llega al 32 %. El porcentaje de hembras activas muestra una relación inversa con relación a la prevalencia de atresia, marcada durante enero y febrero, con una disminución de ambos parámetros durante abril, cuando la temporada reproductiva llega a su fin (Fig. 23).

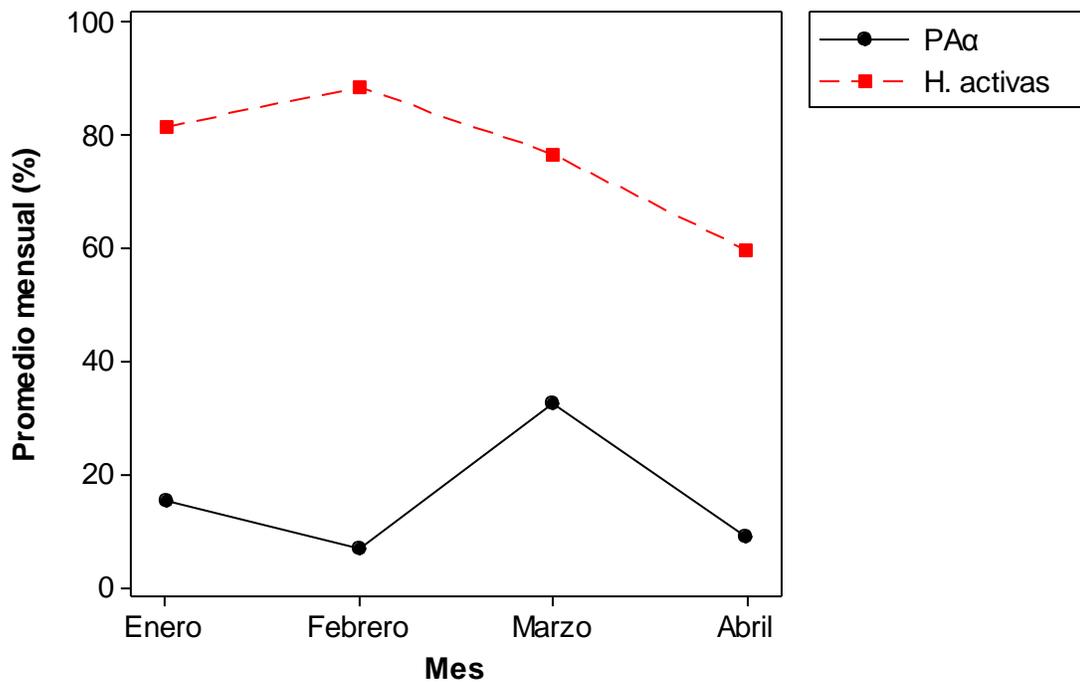


Figura 23.- Variaciones de Prevalencia de atresia α (PA α) y porcentaje de hembras maduras (HA) en un año tipo para Bahía Magdalena.

Al comparar la variación por grupo de edad calculada de prevalencia de atresia α y porcentaje de hembras activas, se observó que se sigue el patrón mensual. En hembras del grupo de edad 0 no se observa un aumento tan marcado como en las demás edades durante el mes de marzo, en el cual se observa un aumento evidente en el resto de los grupos de edad. En cuanto a los porcentajes de hembras activas siguen la misma tendencia, durante febrero su valor más alto y desciende durante abril (Fig. 24),

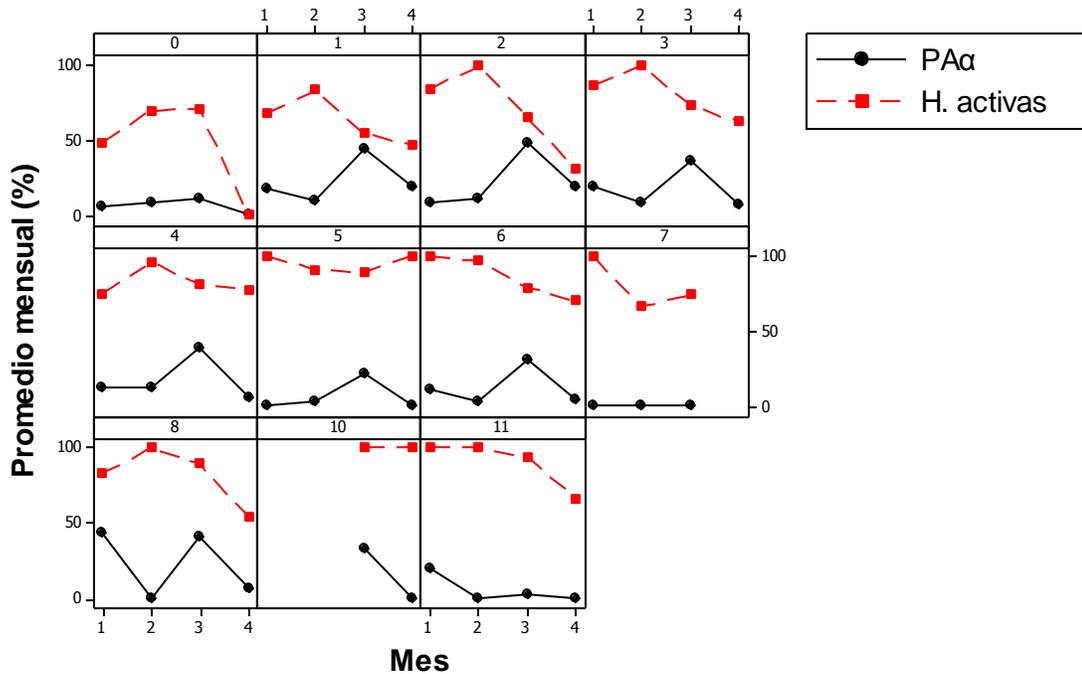


Figura 24.- Variación mensual de prevalencia de atresia α (PA α) y porcentaje de hembras activas (HA) por grupo de edad en Bahía Magdalena.

7.9 Parámetros ambientales

En el análisis de los parámetros ambientales considerados para este estudio, la temperatura superficial del mar ($^{\circ}\text{C}$) evidenció fluctuaciones a través de los meses y años. Se detectan años más fríos o calientes respecto a otros, 2009 fue el año con la mayor temperatura promedio anual (22.4°C) y 2001 la menor con 21.24°C . Durante los meses de mayo a septiembre se registran las mayores temperaturas mientras que los meses de diciembre a marzo se registran las menores temperaturas; 2007 presentó temperaturas menores durante el verano comparado con otros años; en febrero-abril de 2006 se observaron las menores temperaturas (Fig. 25).

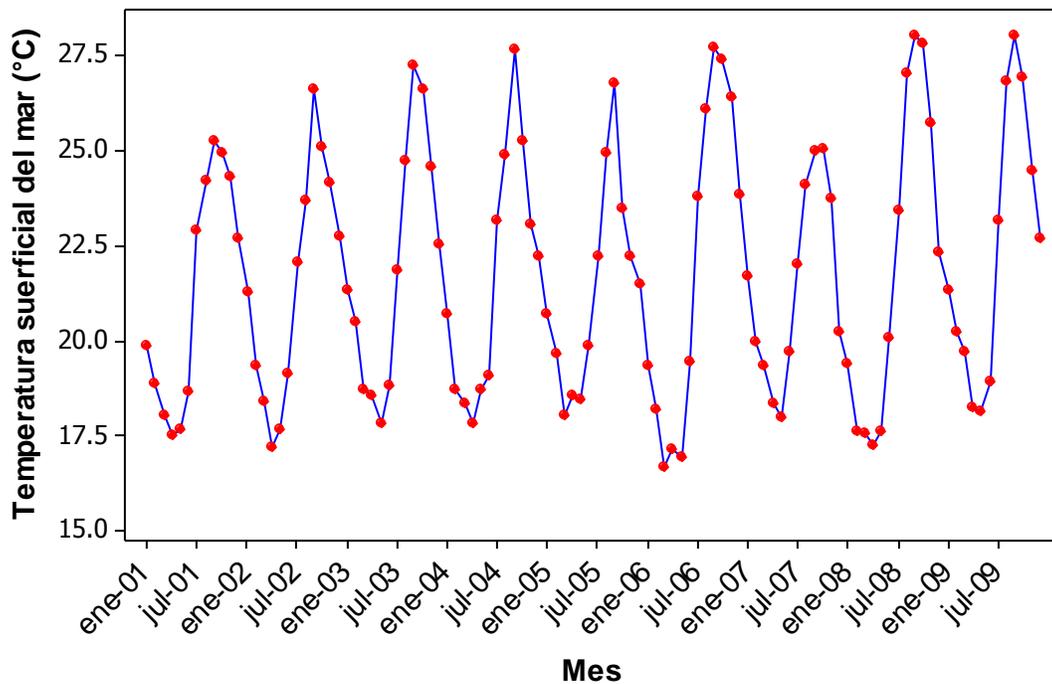


Figura 25.- Serie temporal de temperatura superficial del mar en °C en Bahía Magdalena durante el periodo 2001-2009.

En el caso de la concentración de clorofila “a”, los meses de julio a septiembre registraron un aumento, en los meses de enero y febrero se encuentran las menores concentraciones. La concentración de clorofila “a” presenta variaciones interanuales al igual que la temperatura superficial del mar. Se observa una tendencia en el aumento de la concentración en el tiempo dentro del periodo estudiado, donde el rango de variación de concentraciones máximas anuales va de 4.20 mg/m³ en julio de 2001 a 6.07 mg/m³ en julio de 2009 (Fig. 26).

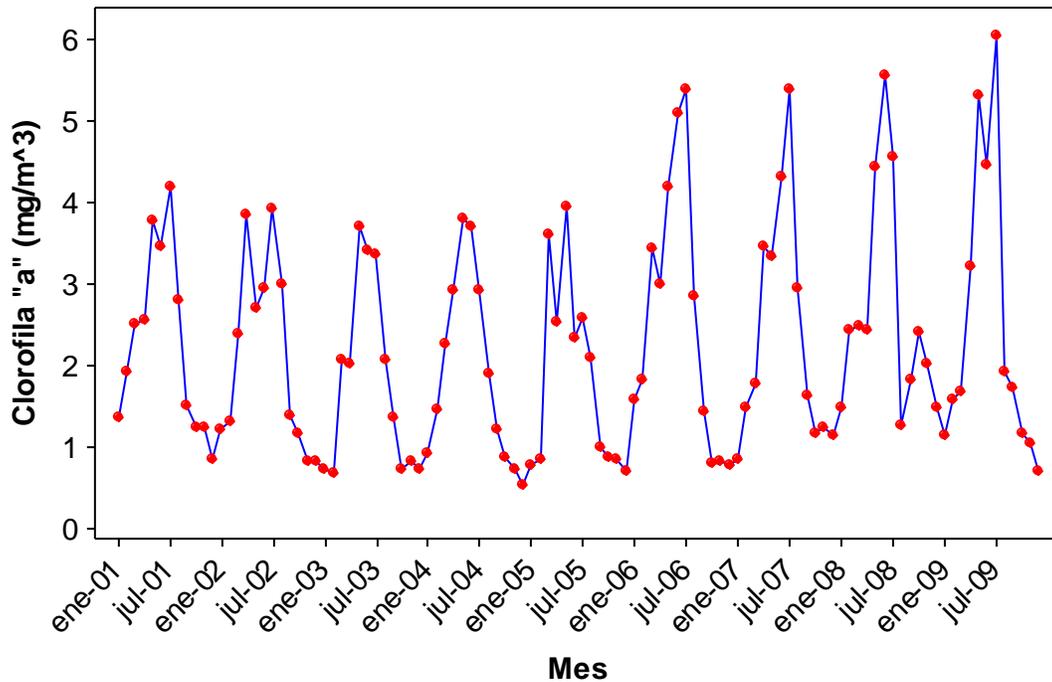


Figura. 26.- Serie temporal de concentración de clorofila “a” en mg/m³ en Bahía Magdalena durante el periodo 2001-2009.

A través de la autocorrelación de la temperatura superficial del mar se perciben movimientos cíclicos, se tienen dos ciclos caracterizados por ser fríos o calientes. La correlación es directamente proporcional en los retrasos 1 (0.69), 2 (3.17), 11 (0.67) y 12 (0.80); con los retrasos 4 (-0.40), 5 (-0.69), 6 (-0.79) y 7 (-0.69) la correlación es indirectamente proporcional (Fig. 27).

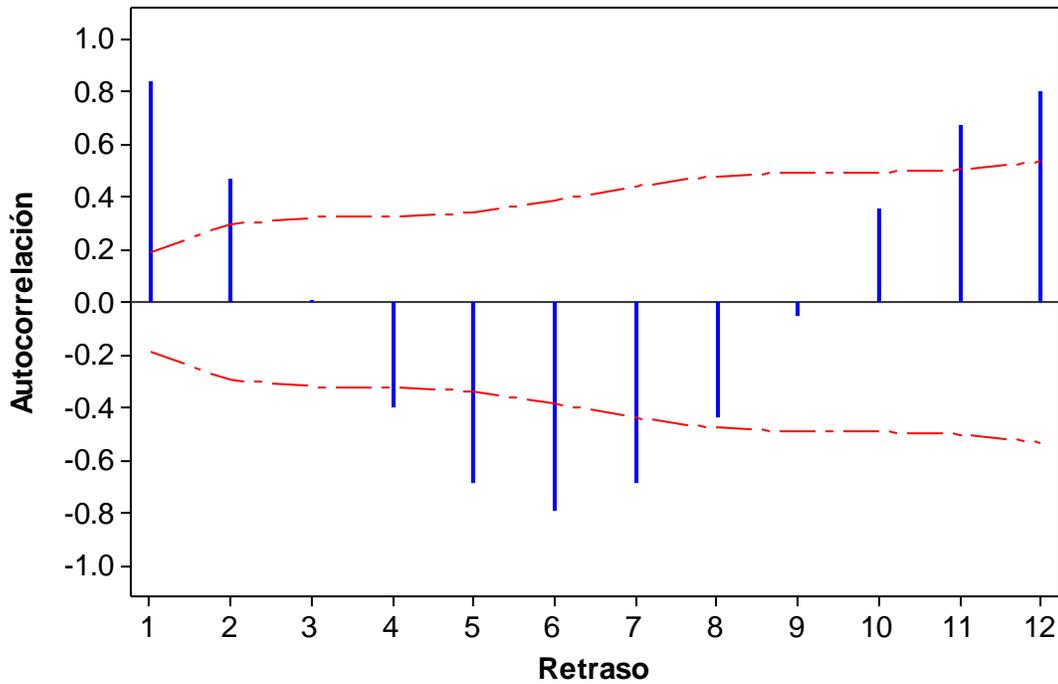


Figura 27.- Autocorrelación de la temperatura superficial del mar (°C) en Bahía Magdalena durante el periodo 2001-2009 (con límites de significancia de 5 % para las autocorrelaciones).

Al igual que en la temperatura superficial del mar (°C) los retrasos 1, 2, 11 y 12 muestran una correlación directamente proporcional; en el caso de la concentración de clorofila “a”; en el caso de las correlaciones indirectamente proporcionales sucede lo mismo (Fig. 28).

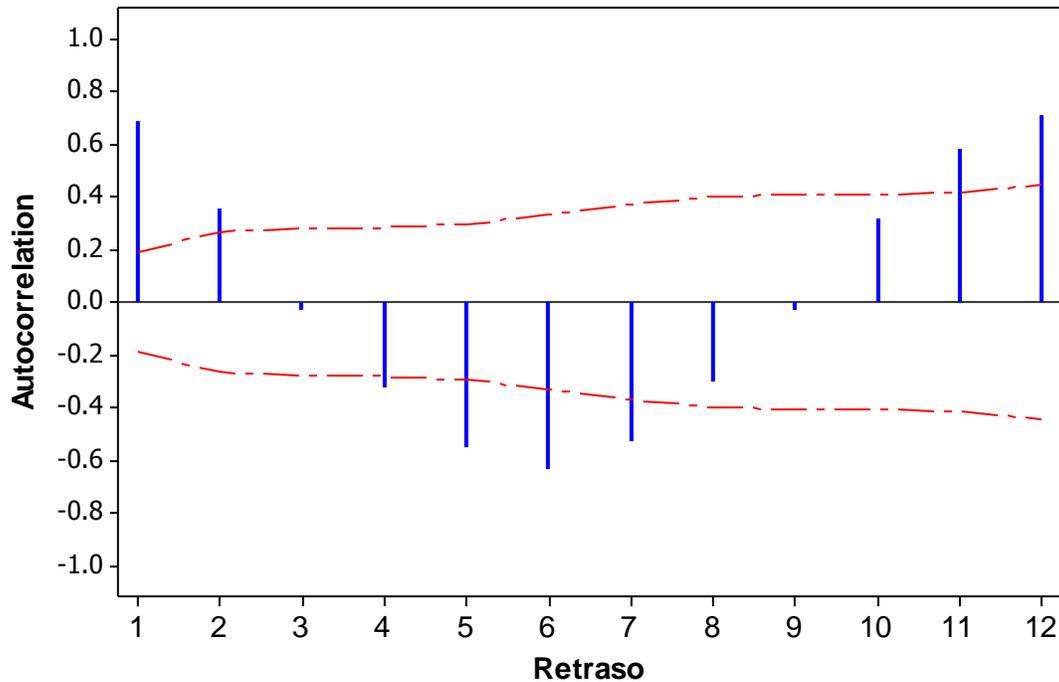


Figura 28.- Autocorrelación de la concentración de clorofila “a” (mg/m^3) en Bahía Magdalena durante el periodo 2001-2009 (con límites de significancia de 5 % para las autocorrelaciones).

La correlación cruzada entre la concentración de clorofila “a” y la TSM (Fig. 29) explica que 4 meses después de haber ocurrido la TSM es cuando se refleja en la concentración de clorofila. De esta manera es en el cuarto retraso que la relación entre ambas variables es directamente proporcional, mientras que por el contrario es indirectamente proporcional dos retrasos antes del tiempo real. Nuevamente se observan 2 ciclos de mayor a menor concentración, éstos abarcan entre 5 y 6 meses. Conforme disminuye la TSM aumenta la concentración de clorofila “a”. La concentración superficial de clorofila “a” surge entre uno y tres meses después de que ocurre la TSM.

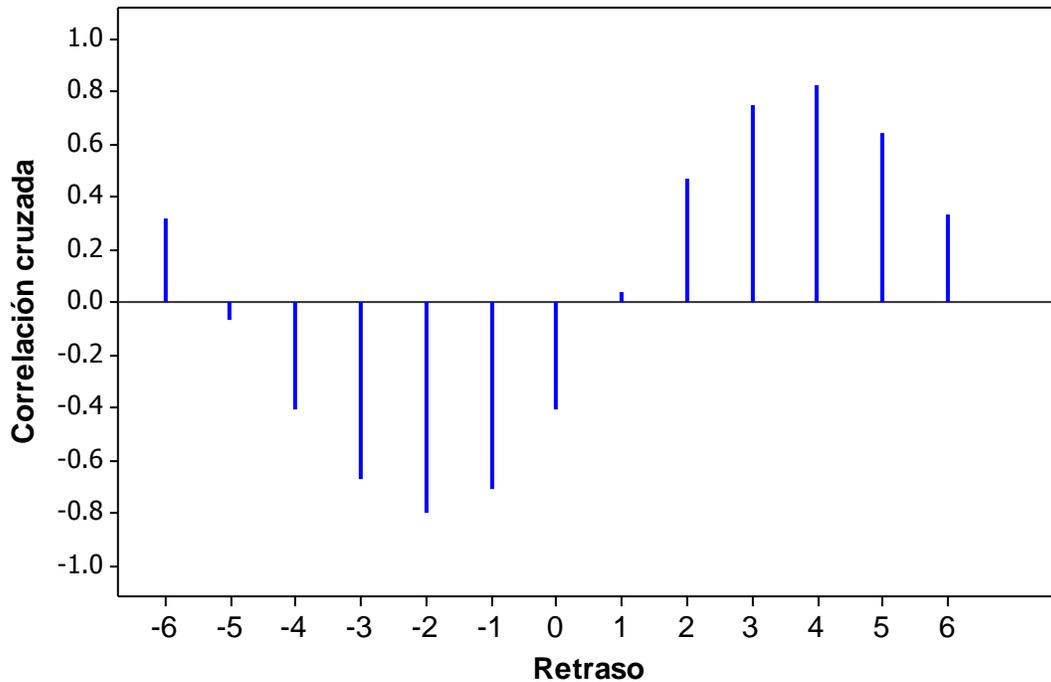


Figura 29.- Correlación cruzada de concentración de Clorofila “a” (mg/m^3) y Temperatura Superficial del Mar ($^{\circ}\text{C}$) en Bahía Magdalena durante el periodo 2001-2009.

7.10 Relación variables ambientales/indicadores biológicos

Los resultados del análisis de correlación de Spearman entre las variables ambientales y las biológicas muestran relaciones tanto positivas (directamente proporcionales) como negativas (inversamente proporcionales).

En el caso del factor de condición, mostró un patrón en sus correlaciones con la concentración de clorofila “a”, en el resalta la relación positiva entre estas dos variables en los meses de marzo, julio y agosto, en la mayoría de las edades la variabilidad de concentración de clorofila “a” durante estos meses repercute en el factor de condición de las hembras de los grupos de edad 1, 3, 4, 5, 6, 8 y 10+; agosto es el mes que sobresale con sus valores de $r_s > 0.70$ (Fig. 30). Con relación a la temperatura superficial del mar no se observó una relación tan marcada como con la concentración de clorofila “a”, sólo se observó una relación positiva con hembras

del grupo de edad 1 con las temperaturas de noviembre ($r_s = 0.53$) y relaciones negativas con hembras del grupo de edad 8 y 10+ durante agosto y septiembre con un $r_s > 0.60$ (Fig. 31).

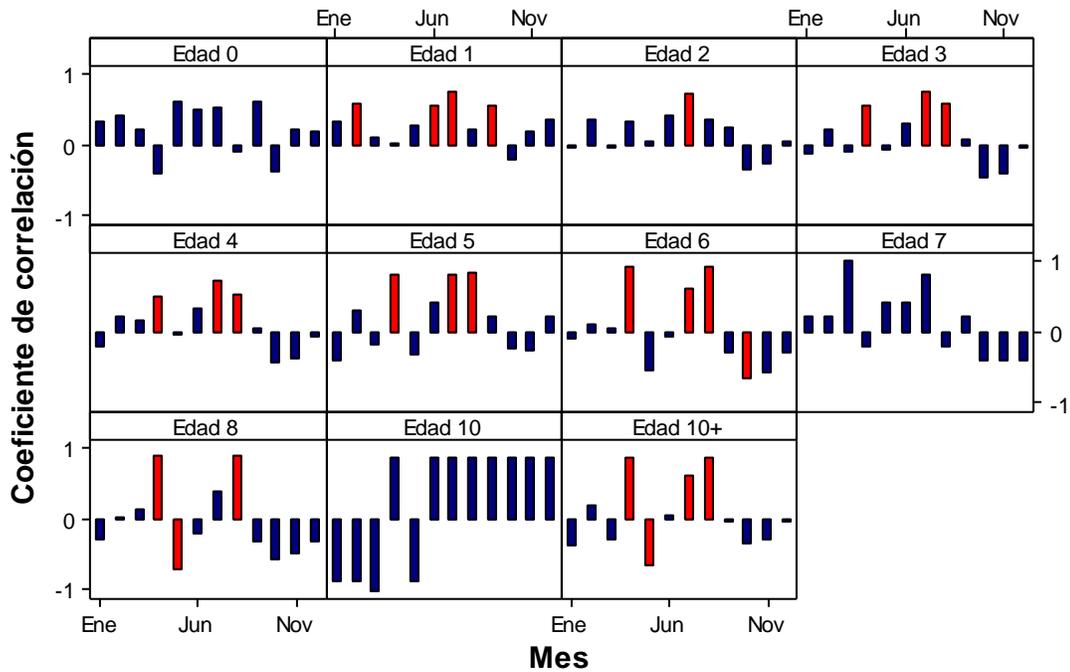


Figura 30.- Coeficiente de correlación de Spearman entre la concentración de clorofila “a” (mg/m^3) y el factor de condición por grupo de edad de hembras de *S. sagax* en Bahía Magdalena en el periodo 2002-2009. Se marca en rojo el coeficiente de correlación significativo con un $p \leq 0.05$.

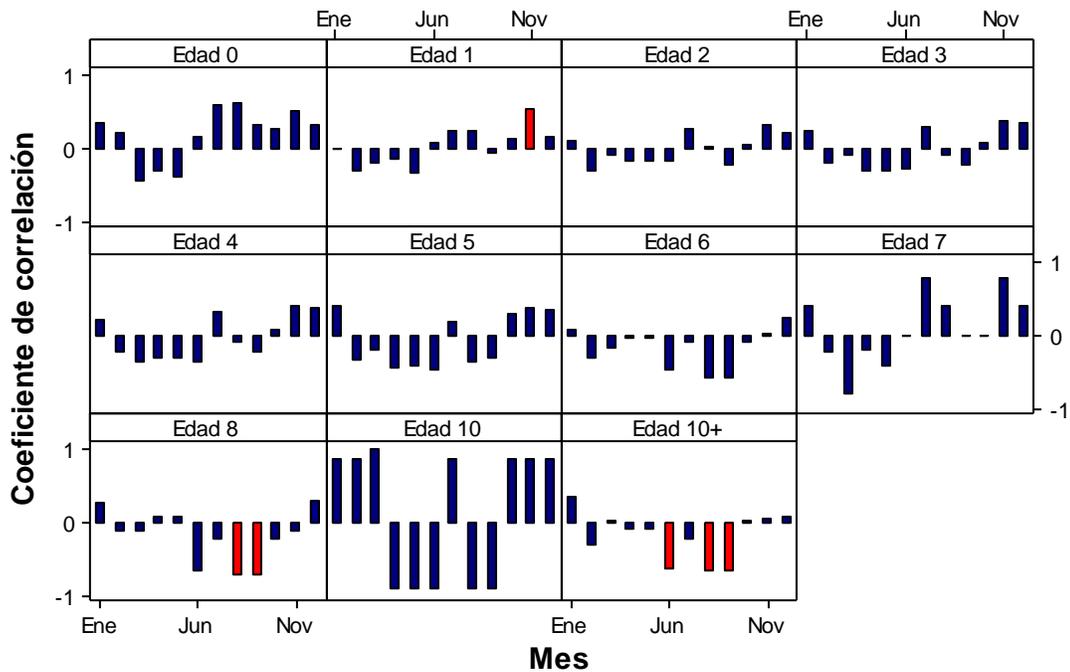


Figura 31.- Coeficiente de correlación de Spearman entre la temperatura superficial del mar (°C) y el factor de condición por grupo de edad de hembras de *S. sagax* en Bahía Magdalena en el periodo 2002-2009. Se marca en rojo el coeficiente de correlación significativo con un $p \leq 0.05$.

El índice gonadosomático mostró relaciones positivas con la concentración de clorofila “a” (mg/m^3) en hembras del grupo de edad 3 durante octubre y noviembre con un $r_s \geq 0.50$ (Fig. 32); para el caso de la temperatura superficial del mar no se encontró correlación en ningún grupo de edad 8 (Fig. 33).

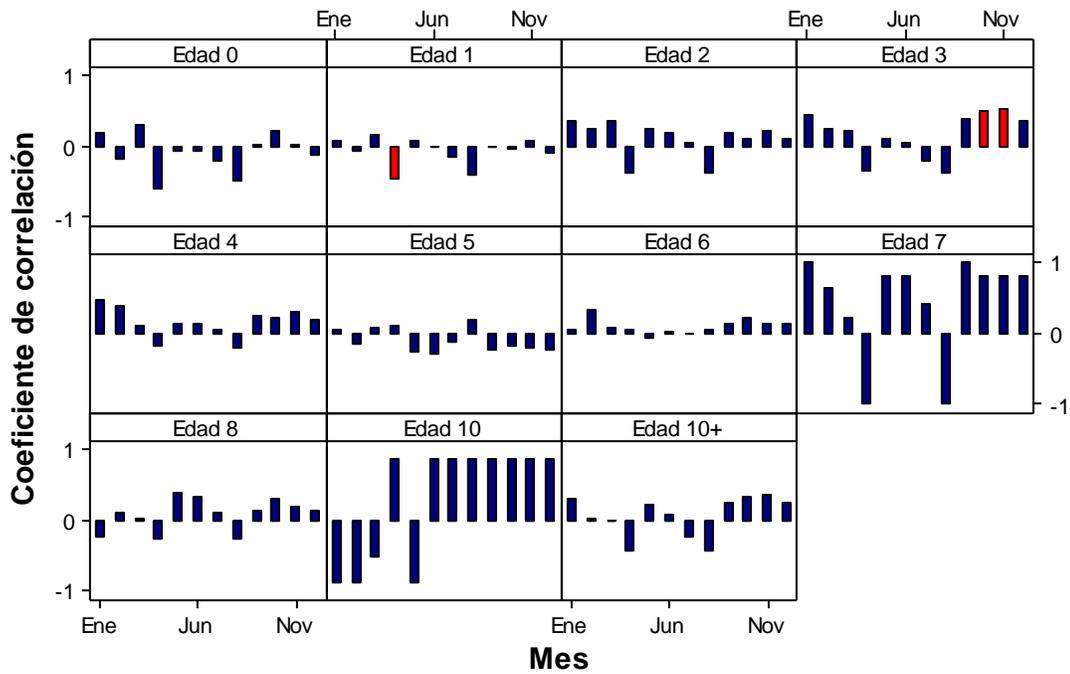


Figura 32.- Coeficiente de correlación de Spearman entre la concentración de clorofila “a” (mg/m^3) y el índice gonadosomático por grupo de edad de hembras de *S. sagax* en Bahía Magdalena en el periodo 2002-2009. Se marca en rojo el coeficiente de correlación significativo con un $p \leq 0.05$.

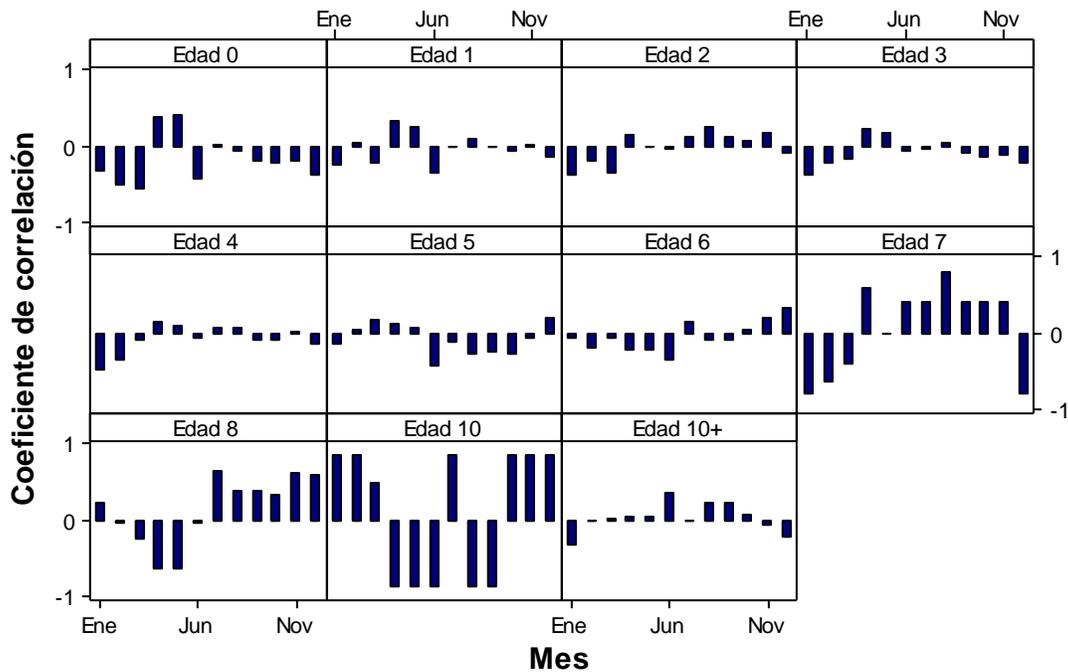


Figura 33.- Coeficiente de correlación de Spearman entre la temperatura superficial del mar (°C) y el índice gonadosomático por grupo de edad de hembras de *S. sagax* en Bahía Magdalena en el periodo 2002-2009.

Los estadios ováricos en relación con la concentración de clorofila “a” (mg/m^3) mostraron en su mayoría una relación negativa en los distintos grupos de edad (0, 2, 3, 6), la más alta es en el grupo de edad 0 con relación a las concentraciones de agosto con un $r_s = -0.74$ (Fig. 34); el grupo de edad 6 es el que presenta una mayor relación con la temperatura superficial del mar, este es vulnerable prácticamente a las temperaturas de todo el año anterior, estas relaciones son negativas, indicando que a menores temperaturas los estadios ováricos presentarían un mayor valor o en su caso presentarían ovarios maduros (Fig. 35).

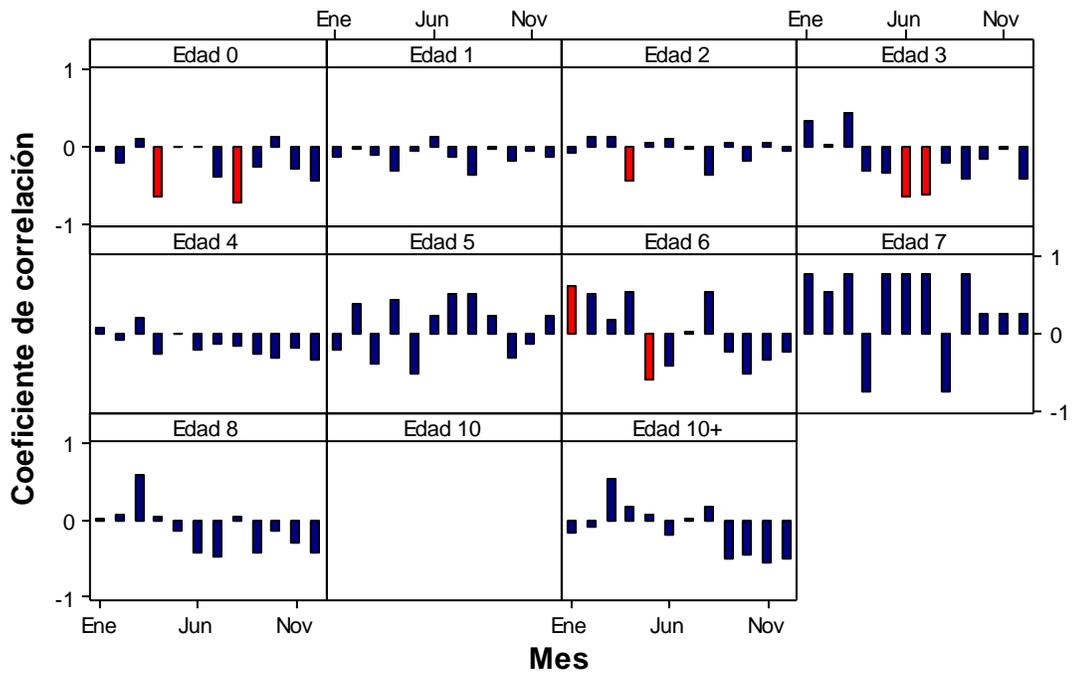


Figura 34.- Coeficiente de correlación de Spearman entre la concentración de clorofila “a” (mg/m^3) y el estadio ovárico por grupo de edad de hembras de *S. sagax* en Bahía Magdalena en el periodo 2002-2009. Se marca en rojo el coeficiente de correlación significativo con un $p \leq 0.05$.

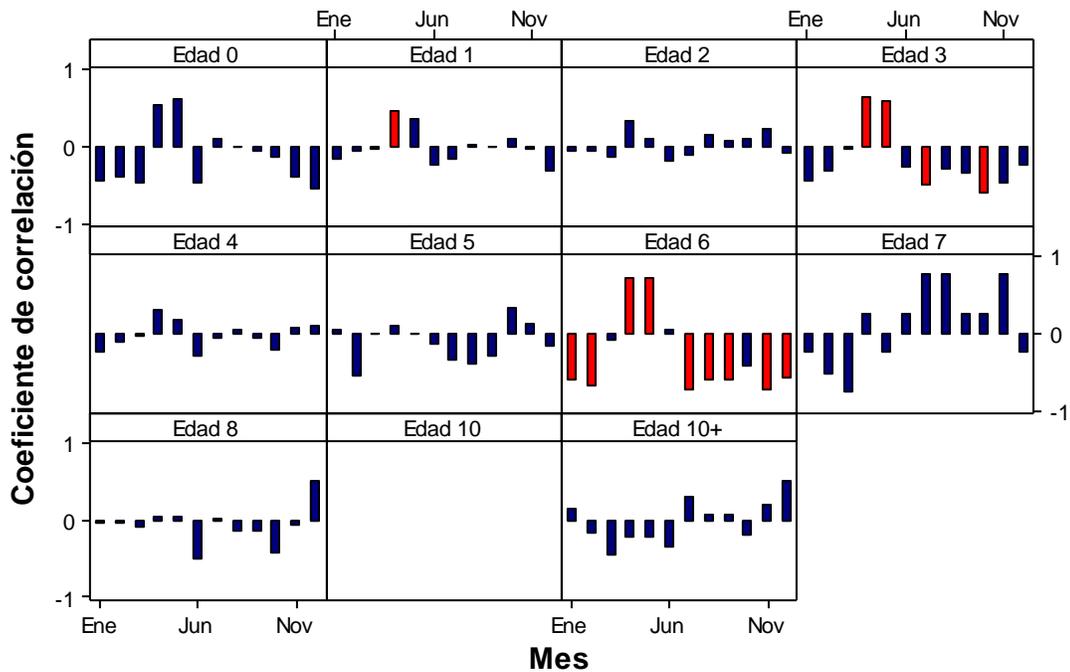


Figura 35.- Coeficiente de correlación de Spearman entre la temperatura superficial del mar (°C) y el estadio ovárico por grupo de edad de hembras de *S. sagax* en Bahía Magdalena en el periodo 2002-2009. Se marca en rojo el coeficiente de correlación significativo con un $p \leq 0.05$.

En relación a la incidencia de hembras activas con la concentración de clorofila “a” (mg/m^3), se encontraron relaciones negativas en marzo y julio en hembras de edad 0 ($r_s > 0.60$) y marzo en hembras del grupo de edad 1 (Fig. 36). La temperatura mostro relaciones positivas y negativas en hembras del grupo de edad 1 y negativas en marzo para el grupo de edad 6 (Fig. 37).

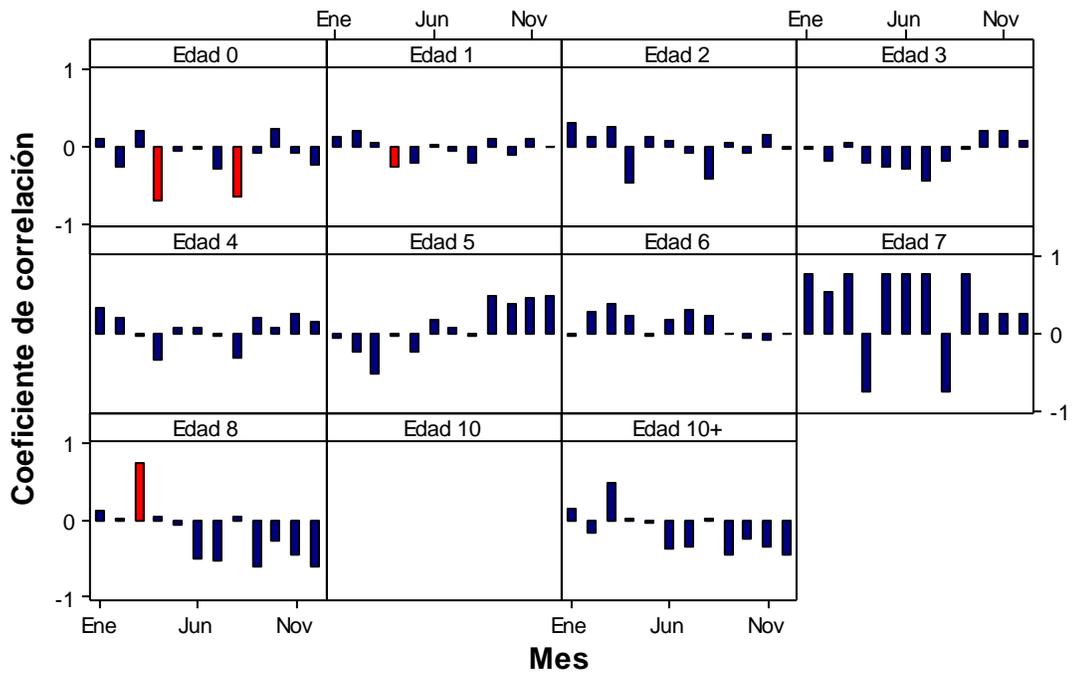


Figura 36.- Coeficiente de correlación de Spearman entre la concentración de clorofila “a” (mg/m^3) y el porcentaje de hembras activas por grupo de edad de hembras de *S. sagax* en Bahía Magdalena en el periodo 2002-2009. Se marca en rojo el coeficiente de correlación significativo con un $p \leq 0.05$.

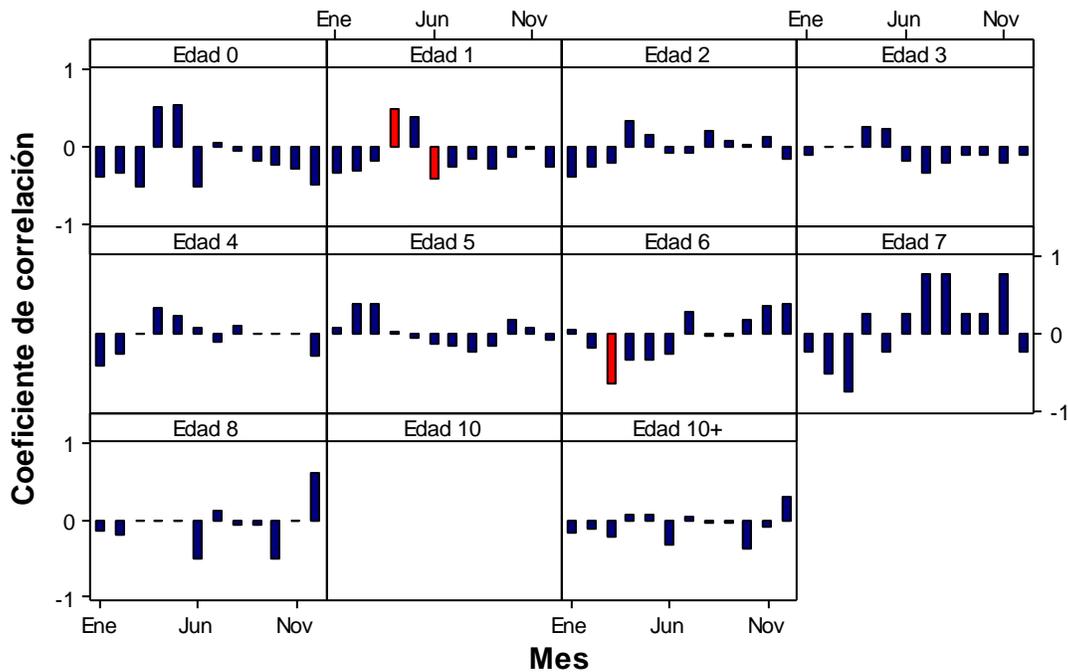


Figura 37.- Coeficiente de correlación de Spearman entre la temperatura superficial del mar (°C) y el porcentaje de hembras activas por grupo de edad de hembras de *S. sagax* en Bahía Magdalena en el periodo 2002-2009. Se marca en rojo el coeficiente de correlación significativo con un $p \leq 0.05$.

Al analizar la prevalencia de atresia α en relación con la concentración de clorofila “a” (mg/m^3), solo se encontró una relación en las hembras del grupo de edad 1 y 8 (septiembre y julio respectivamente). En el caso de las hembras del grupo de edad 1, resultó una relación positiva con un $r_s = 0.42$ y negativas en hembras del grupo de edad 8 con un $r_s = -0.74$ (Fig. 38). La relación con la temperatura solo fue significativa en febrero con hembras del grupo de edad 4 con un $r_s = 0.58$ (Fig. 39).

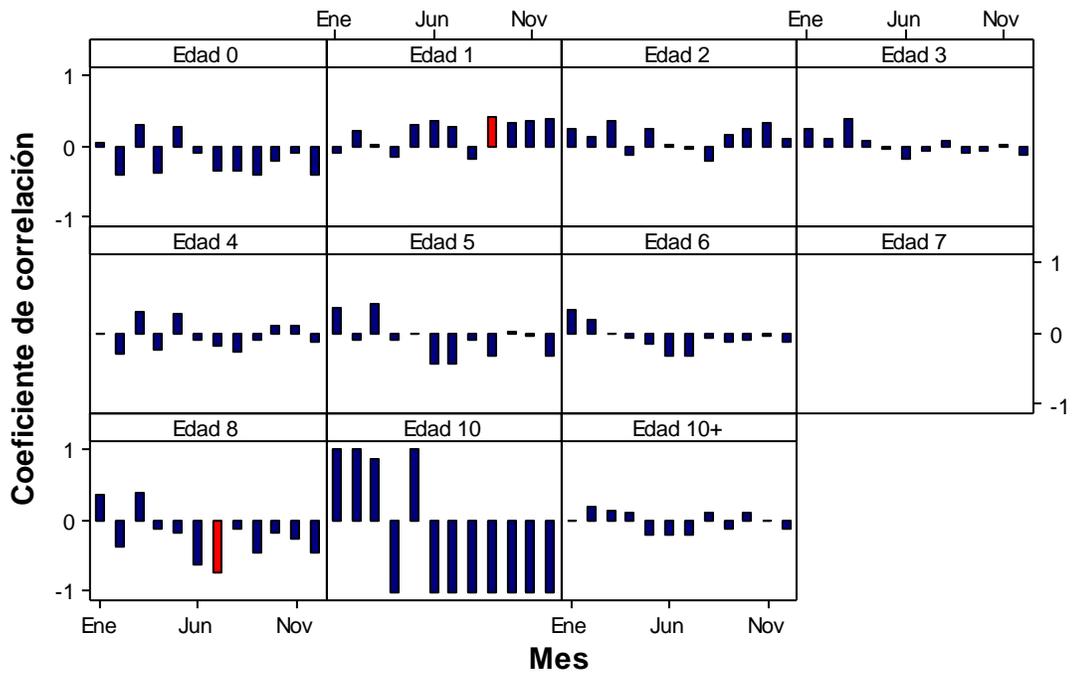


Figura 38.- Coeficiente de correlación de Spearman entre la concentración de clorofila “a” (mg/m^3) y la prevalencia de atresia α por grupo de edad de hembras de *S. sagax* en Bahía Magdalena en el periodo 2002-2009. Se marca en rojo el coeficiente de correlación significativo con un $p \leq 0.05$.

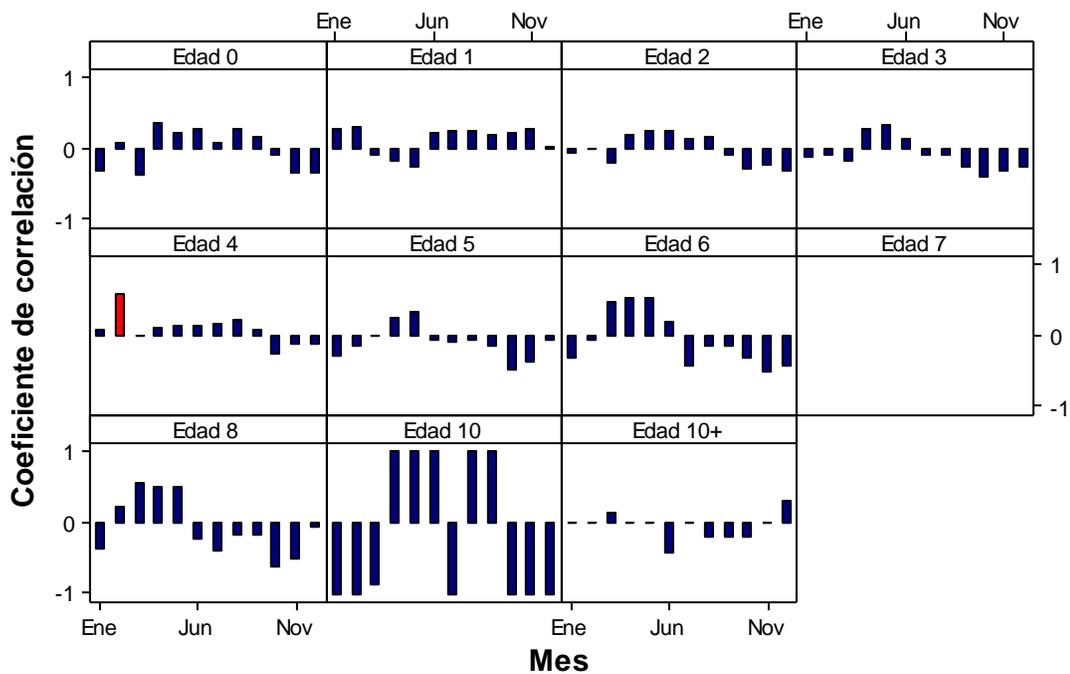


Figura 39.- Coeficiente de correlación de Spearman entre la temperatura superficial del mar (°C) y la prevalencia de atresia α por grupo de edad de hembras de *S. sagax* en Bahía Magdalena en el periodo 2002-2009. Se marca en rojo el coeficiente de correlación significativo con un $p \leq 0.05$.

DISCUSIÓN

Las actividades de muestreo biológico de la sardina están fuertemente sesgadas hacia escalas de tiempo y espacio, debido a que dependen de las condiciones más favorables para la pesca comercial; el muestreo para este estudio durante los diez años al dirigirse en el máximo de puesta, se evitó la alta variabilidad característica de los periodos iniciales y finales de la temporada de puesta, en un balance con las facilidades para el muestreo (Smith, 1978; Stauffer & Piquelle, 1980).

Al caracterizar las temporadas reproductivas se encontraron cambios en las frecuencias de tallas y pesos: aunque entre 2003-2006 fueron individuos pequeños, se encuentran dentro de los intervalos de talla reportados por distintos autores para la misma zona de estudio. En Bahía Magdalena se ha demostrado que existe una sucesión de la frecuencia de tallas en diferentes temporadas reproductivas (Félix-Uraga, 1986; Ramírez-Rodríguez & Félix-Uraga, 1986; Torres-Villegas *et al.*, 1995; Torres Villegas *et al.*, 1997; Hernández-López, 2003), con un intervalo de 75 a 215 mm de longitud patrón.

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).

Los cambios en el peso de un pez pueden ser descritos 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; Carlander, 1969; Jones *et al.*, 1999; Rosa *et al.* 2006).

Los valores del coeficiente de alometría en el periodo de estudio (2.25–3.48) pueden considerarse normales, 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 & Aráujo, 2003).

La condición de los peces ha sido tradicionalmente estimada a través de la ecuación de 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, presentan una 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), que se evidencia en las diferencias por edades, donde se puede inferir una diferencia en el gasto energético para la reproducción de los organismos.

El factor de condición mensual fue similar durante todos los años con valores promedio bajos, comportamiento reportado durante el invierno para la especie en el Golfo de California (Wong, 1973) y para la zona de Bahía Magdalena (Alvarez-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); densidades poblacionales altas, conllevan un factor de condición bajo, debido a la competencia intraespecífica por el alimento, lo que indica una densodependencia (MacGregor, 1959 y García-Alberto, 2010).

Se ha encontrado que en *Trachurus mediterraneus* (Šantić *et al.*, 2006), *Engraulis encrasicolus* (Basilone *et al.*, 2006), *Trachurus symmetricus*, *Scomber japonicus* y *Engraulix mordax* (Parrish & Mallicoate, 1995) durante los periodos de mayor actividad reproductiva el factor de condición decrecía y conforme concluía dicha actividad mejoraron su condición.

Desde los años 80s existe una amplia discusión sobre el uso del índice gonadosomático (de Vlaming *et al.*, 1982) para el seguimiento de la reproducción y la puesta en peces. Particularmente por lo encontrado en este trabajo para *S. sagax*, caracterizada por desoves múltiples, el IGS debe emplearse con precaución por las ventajas que ofrece su rápida obtención, como indicador de los cambios en el peso

de los ovarios horas previas e inmediatamente después de la ovulación, y su fácil manejo poblacional.

Siguiendo la escala establecida por Chavira-Niño (2005) los valores bajos durante el año 2003 indican que no hubo actividad gonádica, puesto que, propone para la sardina monterrey con ejemplares obtenidos en Bahía Magdalena, que valores entre 3 y 5 se consideran hembras en plena madurez gonádica, sin embargo dentro de este intervalo reporta la presencia de hembras con atresias foliculares, Arce-Peinado (2012) menciona que con valores ≥ 5 se incluye solo a hembras con madurez sexual.

Los meses de enero y febrero son los que muestran los valores más altos de IGS, que coincide con el inicio de la temporada reproductiva, y al final de esta (marzo y abril) los valores disminuyeron.

La variabilidad estacional podría favorecer estos cambios en los valores tanto anuales como mensuales de IGS; Gunter (1957) menciona que esto es una respuesta directa inducida por la temperatura sobre la tasa metabólica. Otros factores, además de la temperatura, como el fotoperiodo, contribuyen a definir la amplitud de la temporada reproductiva.

Si bien se ha caracterizado la temporada reproductiva de la sardina durante periodos anuales en forma periódica, ésta ha sido descrita a través de métodos como el IGS, en los que se ha encontrado de manera gruesa, un pico reproductivo principal durante invierno. Los estudios de Torres-Villegas (1986) y Torres-Villegas *et al.*, (1995) han demostrado con la precisión de análisis histológicos de largas series de tiempo la extensión de la temporada de desove en el invierno de enero a marzo y se ha encontrado eventualmente otro periodo secundario aislado de menor magnitud (en el verano).

Hembras maduras y con folículos postovulatorios se observaron durante toda la temporada reproductiva, con intensidades variables en cada año y cada mes. Al iniciar la temporada de puesta, la frecuencia de hembras desovantes es baja, incrementando para febrero y marzo y disminuye nuevamente en abril; esto puede

ser evidencia del control hormonal que rige el proceso reproductivo que esta sincronizado con variables ambientales específicas (Torres-Villegas, 1997).

Diferentes hipótesis han sido planteadas para explicar esta variación; procesos relacionados con la columna de agua (Lasker, 1975), producción secundaria para la alimentación larval (Cushing, 1975, 1990), turbulencia y transporte (Bakun & Parrish, 1982, Parrish *et al.*, 1983) y velocidades optimas de viento (Cury & Roy, 1989), han sido señalados como importantes factores que determinan los periodos y áreas de desove.

Estudios realizados en la costa de Chile, mencionan esta variabilidad interanual (Leal *et al.*, 2011); Yáñez *et al.* (1992), Cubillos *et al.* (1999, 2001) y Cubillos & Arcos (2002) también describen un efecto significativo del ambiente sobre los procesos reproductivos de sardinas y anchovetas.

Los valores de L_{50} que se obtuvieron en este estudio van de los 138 a los 175 mm, dentro de este rango se incluye a los reportados por Torres-Villegas (1986), que encontró valores de 146 a 150 mm para hembras de Bahía Magdalena, a su vez Torres-Villegas *et al.* (1995) reportan tallas desde 135 hasta 165 mm en el periodo de 1982-1992.

Estas variaciones en la talla de primera reproducción de *S. sagax* han sido reportadas 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 de longitud total, 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 que la L_{50} de la sardina del sur de Australia fue de 147 mm para hembras. Para *Sardina pilchardus* en las Islas Canarias, Amenzoui *et al.* (2006) la estimaron de 158 (± 35) mm de longitud total.

Las edades de madurez también mostraron variaciones con hembras del grupo de edad 2 en el periodo de 2000-2002, del grupo de edad 1 en 2003-2004, y el valor más bajo en 2005 donde la madurez promedio se alcanzó en hembras que no

cumplían aun el año de vida (grupo de edad 0), a partir de este año se observó una tendencia a aumentar la talla hasta llegar a hembras del grupo de edad 2 en 2008 y 2009.

La talla y edad de primera reproducción pueden verse afectadas por las condiciones poblacionales y ambientales que se dan en tiempo y espacio en el área de distribución (Torres-Villegas *et al.*, 1995; van del Lingen *et al.*, 2006), así como factores antropogénicos, fisiológicos y condición de cada individuo (Dominguez-Petit *et al.*, 2008; Pascual *et al.*, 2010).

Esta variación depende mayoritariamente de la historia biológica de cada individuo y de la estrategia reproductiva de la especie (Saborido-Rey, 2008), 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 (Amenzoui *et al.*, 2006; Saborido-Rey, 2008; Dominguez-Petit *et al.*, 2008).

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 Cedros. Para *S. sagax* en la corriente de Bengala se ha observado que a niveles poblacionales elevados la talla de primera reproducción se incrementa, y cuando la población disminuye, la L_{50} también. Por lo que la tendencia que se observa de incrementar la L_{50} con el paso del tiempo en este estudio, pudiera ser respuesta a bajos niveles de explotación (Rochet *et al.*, 2000) o a elevados niveles poblacionales, por lo que se infiere que el stock de sardina Monterrey de Bahía Magdalena no es sobreexplotado.

Estos cambios en la talla de primera reproducción representan un rasgo más de la plasticidad fenotípica de las sardinias, 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; Dominguez-Petit *et al.*, 2008).

La evaluación de la variabilidad de la talla de primera madurez sexual es de vital importancia en la evaluación de los stocks de población. La talla de primera madurez sexual es un dato importante para la realización de modelos predictivos (Trippel & Harvey, 1991). De igual manera es de importancia para evaluar la edad óptima a la primera captura de una especie y el momento y lugar del desove se pueden emplear para organizar la pesca, ya que muchas especies son más fáciles de pescar cuando se congregan para la reproducción (Sparre & Venema, 1997).

La presión por pesca puede actuar como un factor de estrés, removiendo los individuos más grandes y viejos del stock, causando así cambios en tallas y edades de madurez. Con estas condiciones la competencia intraespecífica disminuye y los individuos pequeños o jóvenes tienen una mayor disponibilidad de alimento, creciendo a tasas más altas y alcanzando la madurez a edades más tempranas (Dominguez-Petit *et al.*, 2008). Se han propuesto dos posibles explicaciones, una como respuesta a la reducción en la biomasa del stock y otra sugiere que puede ser una respuesta genética al incremento de la mortalidad; para ambos casos, si esto no sucede el stock puede llegar a un estado crítico, a tal grado de no poder recuperarse y desaparecer.

En el presente estudio se encontró una estructura poblacional integrada por 11 grupos de edad, las sardinas de mayor presencia en todo el periodo pertenecen a los grupos de edad 1 y 2. Estos grupos de edad corresponden a la transformación de las tallas a edad, con base en la ecuación invertida de von Bertalanffy, y corresponde a los años cumplidos al momento de su captura. La estructura de edades comúnmente descrita para Bahía Magdalena es de 6 grupos de edad (0-5), coincidiendo las mayores frecuencias en los grupos de edad 1 y 2, así mismo en la zona de ensenada (Félix-Uraga, 1990; Félix-Uraga, 2006; Melo-Barrera *et al.*, 2010). Esta composición por edades de la captura es comparable en la mayor parte del rango de distribución de la especie, la cual cambia hacia edades mayores en la zona de Oregón-Washington,

donde predominan las sardinas de los grupos de edad entre 2 a 5 (Emmett *et al.*, 2005; Hill *et al.*, 2010).

En nuestros resultados de la población de hembras analizadas, se encontró un incremento en la longitud patrón de 10 mm por año en los grupos de edad de 0 a 4, este es un crecimiento individual acelerado, según lo reportado para de la sardina Monterrey en más del 70% de la talla máxima (L_{∞}) en el primer año de vida (Félix-Uraga, 1990; Quiñónez-Velázquez *et al.*, 2002).

De acuerdo con nuestros resultados las edades de 0 a 4 integran la población característica de la localidad estudiada en los once años de registros, en los que se demostró que las hembras se reproducen antes de cumplir un año de edad y que los reproductores más importantes están a partir de la edad de 2 años, esto debido a la gran cantidad de hembras activas presentes en este grupo de edad. El número de hembras de los grupos de edad 5+, fue menor considerado con hembras de menor edad, pero el porcentaje de hembras activas en estos grupos de edad es alto.

La sardina Monterrey es una especie capaz de realizar grandes migraciones a gran velocidad. La rapidez de estos movimientos está asociada a la talla de los peces, ya que las sardinas más grandes se mueven más rápido y recorren mayores distancias; que puede ser de 5 a 6 meses de California a la Columbia Británica; las sardinas más pequeñas tienden a permanecer más tiempo en una localidad o hacen migraciones más cortas, que es lo que podría estar pasando en Bahía Magdalena, las hembras de mayor edad y talla migraron hacia el norte. (Clark & Janssen, 1945).

Los grupos de edad 1(18 %) y 2 (13 %) presentan el mayor porcentaje de hembras en EO-5 o en atresia; las hembras de mayor edad y talla presentan valores bajos (0-5 %); Skjaeraasen *et al.* (2013) plantean dos explicaciones a este suceso: 1) hembras con grandes reservas de energía durante el reclutamiento de los oocitos, también tendrán reservas después del reclutamiento. 2) estas hembras son capaces de producir un mayor número de oocitos (la regulación por disminución atrésica es menos frecuente).

Si se relaciona el IGS con la composición histológica de estroma ovárico, que es un análisis más preciso de la condición reproductiva, se evidencia que desde la edad 0, existen en menor proporción hembras maduras activas aunque el IGS señale inmadurez, a diferencia de las otras edades. Los valores promedio indican un incremento con la edad hasta el grupo de edad 3, pero según los resultados en el estudio de *Sardinops sagax* de Arce-Peinado (2012), el IGS promedio indica en hembras del grupo de edad 0 a 2 inmadurez de las gónadas, manifestando un indicador de desarrollo gonadal o madurez a partir de las hembras del grupo de edad 3; hembras en las que se observa un valor promedio de IGS igual o aproximado a 5, valor reportado por Arce-Peinado (*op cit*) como indicador de madurez.

La prevalencia de atresia α mostró una gran variación durante los meses de la temporada reproductiva, sin embargo se observó un patrón en el que el proceso de atresia se intensifica hacia el final de la temporada. Con base en nuestros resultados y la propuesta de Torres-Villegas (1997), de que el predominio de la atresia mayor se presenta al final de la temporada reproductiva, los resultados indican que el proceso de atresia tiene un efecto negativo en la tasa de producción de oocitos.

El aumento en la prevalencia de atresia α que se da en marzo, así como la reducción del porcentaje de hembras activas durante marzo y abril, permite inferir que la temporada de puesta puede estar acercándose al final; con esta evidencia se refuerza la idea de que la producción anual de huevos es un descriptor del potencial reproductivo del stock y un parámetro importante para entender las fluctuaciones en el tamaño de la población, a través de su relación con el reclutamiento; y por lo tanto, parte integral del manejo responsable y sostenible (Skjaeraasen *et al.*, 2013); esta producción de oocitos es un compromiso entre la tasa de producción bruta de huevos y la atresia presente en el ovario, la producción de oocitos es nula cuando la atresia compensa la producción y la reabsorción (Hunter *et al.*, 1992; Pride, 1994 y Torres-Villegas, 2007). A nivel individual, lo anterior es resultado de un complicado proceso en el que interviene el tamaño, las reservas energéticas y la atresia (Skjaeraasen *et al.*, 2013).

Es posible describir la relación atresia-hembras activas, como una sucesión de poblaciones celulares, en la cual la producción de oocitos es máxima al inicio de la temporada reproductiva y la atresia es mínima. Acorde transcurre la temporada se da una inversión en los valores y la atresia es máxima y la producción de oocitos es mínima o nula en algunos casos. Este proceso puede dar una explicación a la interrupción de la madurez en poblaciones de peces en los que se ha reportado una suspensión en la reproducción (Burton *et al.*, 1997; Torres-Villegas, 2007).

La sardina presenta fluctuaciones importantes en su abundancia (Yañez *et al.*, 1990; Cubillos, 1999), lo cual se relaciona con la variabilidad ambiental y tiene efectos sobre su disponibilidad y abundancia (Kawasaki, 1983; Hamman *et al.*, 1988; Cubillos, 1999). Entre muchas otras variables como ya se mencionó en la introducción, la temperatura superficial del mar y concentración de pigmentos fotosintéticos, así como fenómenos climatológicos tales como “El Niño”, “La Niña”, tormentas y huracanes son las más estudiadas en relación al patrón de distribución de la sardina (Torres-Villegas, 1986; Lluch-Belda *et al.*, 1989; Torres-Villegas, 1997; Nevárez-Martínez *et al.*, 2001; Torres-Villegas, 2007). Torres-Villegas (1997) señala que los cambios ambientales tienen una fuerte influencia sobre la reproducción y el desarrollo de los individuos. Así mismo explica que la productividad en el ambiente pelágico puede ser alta; a pesar de ello, el alimento disponible para la sardina puede no estar presente.

Los procesos de reproducción y el desarrollo embrionario entonces están relacionados con la máxima abundancia de alimento, mas no necesariamente con la producción en la columna de agua. Nevarez-Martinez *et al.* (2001) proponen que el desove igualmente está correlacionado con la temperatura, el calentamiento inducido por el clima y por el enfriamiento, así como con los ciclos lunares.

El éxito reproductivo y el desarrollo larvario se ven afectados de igual forma por procesos físicos del océano tales como la turbulencia en la columna de agua, corrientes y la velocidad en que ocurren, lo cual incide en la sobrevivencia larvaria y

disminuye las posibilidades para el reclutamiento (Bakun, 1994; Torres-Villegas, 1997). Por otra parte Kawasaki (1983) resume la discusión sobre la variabilidad ambiental y los cambios en la abundancia como variaciones en el nicho ecológico, las cuales determinan el éxito del reclutamiento. Lo anterior influye en la biomasa de la población, así como en el crecimiento individual; en ambos casos se trata del aprovechamiento de la energía disponible en el ambiente, en forma de alimento. De forma tal que estas variaciones afectan tanto negativa como positivamente al tamaño del stock dependiendo de las variaciones anuales.

En el año 2006 se observa que en julio aumentó considerablemente la temperatura esto se debe a que se presentó un fenómeno de calentamiento a partir del mes de julio y hasta el mes de enero de 2007. Por el contrario en 2007 se aprecia el cambio de temperatura entre el verano y el invierno, sin embargo la temperatura máxima es mucho menor a la del año anterior esto es porque a partir de agosto y hasta mayo de 2008 hay un marcado enfriamiento. Para 2008 después del enfriamiento no se generó ningún calentamiento, a pesar de esto las temperaturas mensuales son mayores que en 2007. En 2009 a partir de mayo vuelve a percibirse un incremento en las temperaturas, este incremento es el más elevado después de El Niño de 1997. En el año 2009 es en los meses de octubre en adelante, se presentan los mayores incrementos en temperaturas respecto a la media para cada mes; lo cual habla de un desfase en el incremento de la temperatura ya que es para estos meses cuando la temperatura superficial del mar naturalmente disminuye a causa del invierno (Castrejón-Farfán, 2011)

A principios de 2007 se observan las menores concentraciones de clorofila "a", esto provocado a partir del calentamiento presentado de agosto de 2006 a enero de 2007. Para el año 2008 se observan mayores concentraciones del pigmento debido a que de octubre de 2007 a mayo de 2008 se observaron temperaturas menores a las registradas para cada media mensual (Castrejón-Farfán, 2011)

Los parámetros reproductivos como, índice gonadosomático, estadio ovárico y porcentaje de hembras activas por grupo de edad, no presentaron una gran relación con la temperatura superficial del mar y con la concentración de clorofila "a", se

esperaba que estas tuvieran una relación en todos los grupos de edad, pero esto solo sucedió para algunos grupos de edad. Nunes *et al.* (2011), Mencionan que la característica que más afecta la actividad reproductiva es el tamaño; encontraron que individuos de mayor longitud inician su periodo de reproducción más temprano y finalizando más tarde que los de menor longitud, aunque ambos grupos presentaron un pico de desove coincidente, corroborando resultados anteriores para la sardina (Amenzoui *et al.*, 2006; Gantias *et al.*, 2007, Silva *et al.*, 2006) y otras especies de clupeidos (Cubillos & Claramunt, 2009).

Los peces jóvenes utilizan más energía para crecimiento, mientras que la canalización hacia la reproducción incrementa con la edad (Lambert *et al.*, 2003), es por ello que se observa que el porcentaje de hembras activas en hembras del grupo de edad 3 en adelante supera el 50 %.El proceso de maduración es sensible al crecimiento y la condición energética de los peces en ciertas épocas del año; es probable que la maduración dependa de varios factores biológicos y/o ambientales que determinan la energía disponible para el pez y la estrategia de la utilización de recursos entre crecimiento y reproducción (Wright, 2007).

Se ha observado que la fracción desovante está relacionada con las tallas de hembras de varios peces teleósteos (Parrish *et al.*, 1986, Claramunt *et al.*, 2007, Mehault *et al.*, 2010). Nunes *et al.* (2011), observaron los menores valores medios de la fracción desovante en los años cuando los valores medios de peso también eran menores, lo que sugiere que la actividad desovante de la sardina puede, hasta cierto grado, estar relacionada con la composición de tallas de las hembras de la población, sin embargo, el modelo que se ajustó no indica claramente esta relación.

Se encontraron un mayor número de correlaciones significativas entre la concentración de clorofila "a" y los parámetro biológicos que con la temperatura superficial del mar, por lo que se puede hipotetizar que el estado de la población de las sardinas depende de la disponibilidad de alimento y no tanto de la temperatura superficial del mar. Por otro lado, se ha sugerido que la sardina no sólo utiliza energía capitalizada (almacenada) para apoyar la producción de huevos, sino que al

progresar la temporada de desove, también puede depender directamente de la energía entrante (del alimento) (Ganias, 2009).

El que en el presente estudio no se encontrara una marcada relación entre la temperatura superficial del mar y la concentración de clorofila “a” no quiere decir que no exista esta relación, Lluch-Belda *et al.* (1989) mencionan la importancia de la identificación de periodos cálidos y fríos ya que son importantes descriptores de los cambios multidecadales en las pesquerías de pelágicos. Tal y como lo muestra el estudio de García-Morales (2012), donde podemos observar un aumento sostenido de la pesquería de sardina del Pacífico en el SCC la cual se encontraba colapsada en 1981, esta se recuperó paulatinamente durante los siguientes 25 años, ósea los periodos cálidos favorecen el aumento en la abundancia de sardina, este periodo de restauración mencionado coincide con la fase cálida de PDO como lo mencionan Chávez *et al.*, 2003).

Relacionar los parámetros biológicos con fenómenos de macroescala como “El Niño” y el PDO podría darnos un panorama más claro de la relación que hay entre el ambiente y estos parámetros biológicos, debido a que la respuesta física de estos fenómenos se traduce en un aumento en la TSM, reducción de vientos, fuerte estratificación vertical reduciéndose el aporte de nutrientes y por ende una baja biomasa fitoplanctonica, (Kahru & Mitchell, 2000; Bograd & Lynn, 2001) y en una reducción en la producción primaria y la disponibilidad de alimento (Chelton *et al.*, 1982; Emery & Hamilton 1985; Wooster & Fluharty, 1985; Mysak, 1986; Chavez *et al.*, 2002) como se observó en este estudio, donde el número de correlaciones significativas fue mayor con la concentración de clorofila “a”.

9. CONCLUSIONES

- Las características de la población en cuanto a tallas, pesos y desarrollo ovárico presentan variaciones anuales dentro de un patrón confirmado para la especie en la localidad.
- La frecuencia de hembras maduras y desovantes son dominantes durante febrero y marzo de cada año, en todas las edades de la población y desde el primer año de vida.
- La tendencia en los grupos de edad durante todos los años es comparable, destacan las hembras de los grupos de edad 1 y 2 como los mejor representados.
- Las hembras de *Sardinops. sagax*, evidentemente se reproducen desde su primer año de edad.
- La talla de primera reproducción (L_{50}) de la sardina Monterrey presenta cambios espaciales, debido a la denso-dependencia que presenta.
- Las variaciones de la clorofila demostraron ser un factor indirecto del desarrollo ovárico en *S. sagax*.
- Los grupos de edad presentan una relación variable y diferenciada a los cambios ambientales.
- El IGS, es un indicador no preciso para estimar la actividad ovárica, en cualquier edad de la especie, la sensibilidad de este parámetro es insuficiente, si se descarta la validación histológica de los ovarios.

10. RECOMENDACIONES

- Con base en las tallas de primera reproducción (L_{50}) encontradas durante el periodo de 2000-2009, es recomendable hacer un estudio focalizado en la estimación de este parámetro, eliminando el sesgo que se tiene por la talla mínima de captura legal.
- Se recomienda disminuir el esfuerzo durante el periodo estival, con el objetivo de otorgar al stock oportunidades para los reproductores, debido a que la captura es capaz de vulnerar las hembras de los grupos de edad 0, 1 y 2.
- Realizar un estudio en el que se tome en cuenta la intensidad poblacional de atresia α para obtener un panorama más amplio de la afectación en la fecundidad debido a este proceso.
- Realizar un estudio multidisciplinario que tome en cuenta parámetros reproductivos, condición fisiológica (estudios hormonales) y la edad (estimada con base en bandas de crecimiento de estructuras duras), para obtener resultados más precisos.
- Se recomienda continuar con los registros mensuales y anuales de datos y la recolecta de muestras para asegurar el seguimiento de las poblaciones en explotación, necesarias para el manejo sustentable del recurso.

12. LITERATURA CITADA

- Arce-Peinado, C.A. 2012. Caracterización del ciclo diario de oocitos en la sardina monterrey (*Sardinops sagax*) en Bahía Magdalena, B.C.S., México. Tesis Licenciatura. Universidad Autónoma de Baja California Sur 92 pp.
- Álvarez B., S.A. Galindo & A. Chee. 1975. Características hidroquímicas de Bahía Magdalena B.C.S. Ciencias Marinas, 2(2):94-109.
- 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.
- Álvarez-Trasviña, E. 2012. Variabilidad en el crecimiento individual de la sardina del Pacífico *Sardinops sagax* (Jenyns, 1842) y su relación con el ambiente en Bahía Magdalena, B.C.S.. Tesis de Maestría, CICIMAR-IPN. La Paz, B.C.S., México. 45 p.
- Allendorf, F.W., N. Ryman & F.M. Utter. 1987. Genetics and fishery management. En: Population genetics and fishery management. (Ed. N. Ryman y F. Utter): 1-19. Univ. Washington, Seattle.
- Amenzoui K., F. Ferhan-Tachinante, A. Yahyaoui, S. Kifani & A.H. Mesfioui. 2006. Analysis of the cycle of reproduction of *Sardina pilchardus* (Walbaum, 1792) off the Moroccan Atlantic Coast. C.R. Biol., 329: 892-901.
- Bakun, A. 1994. Climate change and marine populations: interactions of physical and biological dynamics. En: Workshop on the Scope, Significance, and Policy Implications of Global Change and Marine Environment. University of Rhode Island, 16pp
- Bakun, A., & R.H. Parrish. 1982. Turbulence, transport, and pelagic fish in the California and Peru Current systems. CalCOFI Rep. 23: 99-112.
- Basilone, G., C. Guisande, B. Patti, S. Mazzola, A. Cuttitta, A. Bonanno, A.R. Vergara & I. Maneiro. 2006. Effect of habitat conditions on reproduction of the European Anchovy (*Engraulis encrasicolus*) in the Strait of Sicily. *Fish. Oceanogr.* 15:4, 271–280.
- Bell J.D., J.M. Lyle, C.M. Bulman, K.J. Graham, G.M. Newton & D.C. Smith. 1992. Spatial variation in reproduction and occurrence of non-reproductive adults in

- orange roughy, *Hoplostethus atlanticus* Collett (Trachichthyidae), from south-eastern Australia. *Journal of Fish Biology* 40: 107-122.
- Bograd, S.J. & R.J. Lynn. 2001. Physical-biological coupling in the California Current during the 1997-99 El Niño – La Niña cycle, *Geophys. Res. Lett.*, 28: 275-278
- Botsford, L.W., J.C. Castilla, & C.H. Peterson. 1997. The management of fisheries and marine ecosystems. *Science*, 277: 509-515.
- Box, G.E.P. & G.M. Jenkins. 1976. *TIME SERIES ANALYSIS: forecasting and control*. Holen-Day. USA. 575pp.
- Bromage, N. & Cumaranatunga, R. 1988. *Egg production in the rainbow trout*. In: Muir, J.F. y Roberts, R.J. (Eds.). *Recent advances in aquaculture*. Oxford, UK, Blackwell Scientific Publications. pp.64-138
- Burton, M.P. & D.R. Idler. 1984. The reproductive cycle in Winter flounder, *Pseudopleuronectes americanus* (Walbaum). *Canadian Journal of Zoology*. 62: 2563-2567.
- Burton M.P., R.M. Penney & S. Biddiscombe. 1997. Time course of gametogenesis in Northwest Atlantic cod (*Gadus morhua*). *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science* 54 (Suppl. 1): 122-131.
- Butler, J.L., M.L.Granados, 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. 752p.
- Castrejón-Farfán, O.T. 2011. *Criterios de sustentabilidad para la pesquería de sardine monterrey (Sardinops sagax) en Bahía Magdalena, Baja California Sur, entre 2006-2010*. Tesis de licenciatura. UABCS. La Paz, B. C. S. 84 pp.
- Chavez, F.P., C.A. Collins, A. Huyer & D.L. Mackas. 2002. El Niño along the west coast of North America. *Prog. Oceanogr.* 54(1-4): 1-5.
- Chavez, F.P., J. Ryan, Lluch-Cota S.E. & M. Niquen. 2003. From anchovies to sardines and back: Multidecadal change in the Pacific Ocean. *Science*, 299: 217–221.

- Chavira-Niño, M.A. 2005. Morfología microscópica de la gónada de la sardina monterrey *Sardinops sagax* (Pisces: Clupeidae) con relación al índice gonadosomático en un ciclo anual. Tesis de licenciatura. UABCS. La Paz, B.C.S., México. 64 p
- Chelton, D.B., P.A. Bernal & J.A. McGowan. 1982. Large-scale interannual physical and biological interaction in the California Current. *J. Mar. Res.*, 40: 1095-1125.
- 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. & J.F. Janssen Jr. 1945. Movements and abundance of the sardine as measured by tag returns. *Calif. Dep. Fish Game, Fish. Bull.* 61: 7-12.
- Claramunt G., R. Serra, L.R. Castro & L.A. Cubillos. 2007. Is the spawning frequency dependent on female size? Empirical evidence in *Sardinops sagax* and *Engraulis ringens* off northern Chile. *Fish. Res.* 85: 248–257
- Christiansen, H.S., S.R. Brodsky, & M.E. Cabrera. 1973. Aplicación de una técnica histométrica en la determinación de la fecundidad en invertebrados marinos. *Phycis.* 32(84) 121-135.
- 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.
- Crim, L.W. & B.D. Glebe. 1990. Reproduction Methods for Fish Biology. En: C. B. Schreck and P. B. Moyle (Eds). American Fisheries Society. Maryland USA 529- 553 pp.
- Csirke, J. 1980. Introducción a la dinámica de poblaciones de peces. FAO, Tec. Pesca (192): 82 p.
- Csirke, J. 1988. Small shoaling pelagic fish stock. In: Fish population Dynamics (second edition) J.A. Gulland (ed) John Willey and Sons Ltd 271-302 pp.
- Cubillos L.A. & G. Claramunt. 2009. Length-structured analysis of the reproductive season of anchovy and common sardine off central southern Chile. *Mar. Biol.* 156: 1673-1680.

- Cubillos L.A. & D, Arcos. 2002. Recruitment of common sardine (*Strangomera bentincki*) and anchovy (*Engraulis ringens*) off central-south Chile in the 1990s and the impact of the 1997-1998 El Niño. *Aquatic Living Resources* 15: 87-94
- Cubillos L.A, T.M. Canales, D. Bucarey, A Rojas & R Alarcón. 1999. Época reproductiva y talla media de primera madurez de *Strangomera bentincki*, y *Engraulis ringens* en el período 1993-1997 en la zona centro sur de Chile. *Investigaciones Marinas* 27: 73-85.
- 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.
- Cushing, D.H., 1975. *Marine Ecology and Fisheries*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Cushing, D.H., 1990. Plankton production and year-class strength in fish populations: an update of the match/mismatch hypothesis. *Adv. Mar. Biol.* 26, 249-293.
- Cury P. & C. Roy. 1989. Optimal environmental window and pelagic fish recruitment success in upwelling areas. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 46: 670-680.
- Delahunty, G. & V.L. deVlaming. 1980. Seasonal relationship of ovary weight, liver weight and fat stores with body weight in the goldfish, *Carassius auratus* (L.). *J. Fish. Biol.* 16: 5-13.
- de Vlaming V.L., G. Grossman & F. Chapman. 1982. On the use of the gonadosomatic index. *Comp. Biochem. Physiol.* 73 A: 31-39.
- 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 de 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.
- Dominguez-Petit R., M. Korta, F. Saborido-Rey, H. Murua, M. Sainza & C. Piñeiro. 2008. Changes in size at maturity of European hake Atlantic populations in relation with stock structure and environmental regimes. *Journal of marine Systems* 71: 260-278.

- Emerson, L.S., M. Greer Walker & P.R. Witthames. 1990. A stereological method for estimating fish fecundity. *J. Fish Biol.* 36, 721-730.
- Emery, W. & D. Hamilton. 1985. Atmospheric forcing of interannual variability in the northeast Pacific Ocean: connections with El Niño. *Journal of Geophysical Research* 90: 857–868
- Emmett, R.L., R.D. Brodeur, T.W. Miller, S.S. Pool, G.K. Krutzikowsky, P.J. Bentley & J. McCrae. 2005. Pacific sardine (*Sardinops sagax*) abundance, distribution and ecological relationships in the Pacific Northwest. *CalCOFI Rep.*46. 112-143.
- Etnoyer, P., D. Canny, B. Mate & L. Morgan. 2004. Persistent pelagic habitats in the Baja California to Bering Sea (B2B) ecoregion. *Oceanogr.* 17: 90-101
- 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. CICIMAR-IPN. La Paz, B. C. S., México. 102 p
- Félix-Uraga, R. 1990. Crecimiento de *Sardinops sagax caerulea* en Bahía Magdalena, México. *Invest. Mar. CICIMAR* 5(1): 27-31.
- Félix-Uraga, R. 2006. Dinámica poblacional de la sardina del pacífico *Sardinops sagax* (Jenyns 1842)(clupeiformes: clupeidae), en la costa oeste de la península de Baja California y el sur de California. Tesis Doctoral, Instituto Politécnico Nacional. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas).
- Froese, R. 2006. Cube law, condition factor and weight-length relationships: history, meta-analysis and recommendations. *Journal of Applied Ichthyology.* 22: 241-253.
- Funes-Rodríguez, R., J.D. Leal-Espinoza, A. Hinojosa-Medina, M.E. Hernández-Rivas & C. Flores-Coto. 2007. Composición, distribución y abundancia de larvas de peces en Bahía Magdalena, 205-219. En: Funes-Rodríguez, R, J. Gómez-Gutiérrez & R. Palomares-García (Eds.). *Estudios Ecológicos en Bahía Magdalena*. Instituto Politécnico Nacional.
- Ganias K. 2009. Linking sardine spawning dynamics to environmental variability. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 84: 402-408.

- Ganias, K.; C. Nunes & Y. Stratoudakis. 2008. Use of late ovarian atresia in describing spawning history of sardine, *Sardina pilchardus*. J. Sea Res., 60(4):297-302.
- Ganias K, S. Somarakis, C. Koutsikopoulos, & A. Machias. 2007. Factors affecting the spawning period of sardine in two highly oligotrophic Seas. Mar. Biol. 151: 1559-1569
- García-Alberto, G. 2010. Reproducción de la sardine del pacífico *Sardinops sagax* (Jenyns, 1842) en la región sur de la corriente de California. Tesis de maestría. CICIMAR-IPN. La Paz, B. C. S. 77 pp.
- García M., R. 2012. Variabilidad oceanográfica del hábitat de los stocks de *Sardinops sagax* (Jenyns, 1842) (Clupeiformes: Clupeidae) en el sistema de la corriente de California (1981-2005). Tesis de maestría en ciencias. CICIMAR-IPN. La Paz, B. C. S., 95 p.
- Giraldez, A. & R. Abad. 1995. Aspects on the reproductive biology of the Western Mediterranean anchovy from the coasts of Málaga (Alboran Sea). *Sci. Mar.* 59 (1): 15-23.
- Goodall, J.A., M.F. Capra & W. Blackshaw. 1987. Quantitative histology of the seasonal changes in the gonads of summer whiting, *Sillago ciliate*. J. Fish Biol. 30: 589-595.
- Grier, H.J. 2000. The germinal epithelium: its dual role in establishing male reproductive classes and understanding the basis for indeterminate egg production in females fishes. Proc Gula Caribb. Fish. Inst, 53, 537-552.
- Gunter, G.G. 1957. Temperature. In J.W. Hedgpeth (ed.). Marine Ecology. Treatise on Marine Ecology and Paleoecology. Geol. Soc. Amer. Mem. 159-184
- Hamman, M.G., T.R. Baumgartner & A. Badan-Dangon. 1988. Coupling of the Pacific sardine (*Sardinops sagax caeruleus*) life cycle with the Gulf of California pelagic environment. CalCOFI, 102-109.
- 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-Lopez, A. 2003. Edad, crecimiento y reproducción de la Sardina Monterrey (*Sardinops caeruleus*) de Bahía Magdalena, B.C.S. durante 1981 a 1985. Tesis de Licenciatura. UABCS. 65 pp.

- Hill, K.T., N.C.H. Lo, B. J. Macewicz, P.R. Crone & R. Félix-Uraga. 2010. Assessment of the pacific sardine resource in 2010 for U.S. Management in 2011. National Oceanic and Atmospheric Administration Technical Memorandum NMFS-SWFSC-469 (US Department of commerce, Washington D.C.).
- Hinojosa-Medina, A. 2004. Bahía de La Paz; Hábitat de desove de peces de la familia Clupeidae. Tesis de Maestría. Centro Interdisciplinario de Ciencias del Mar, Instituto Politécnico Nacional. La Paz, B.C.S., México. 107 p.
- Hulata, G., Moav, R. & Wohlfarth, G. 1974. The relationship of gonad and egg size to weight and age in the European and Chinese races of the common carp *Cyprinus carpio* L. *Journal of Fish Biology*, 6: 745–758.
- Hunter, J.R. & B.J. Macewicz. 1985. Rates of atresia in the ovary of captive and wild northern anchovy, *Engraulis mordax*. *Fish Bulletin*, 83 (2):119-136.
- Hunter, J.R., B.J. Macewicz, N. CH Lo & C.A. Kimbrell, 1992. Fecundity spawning, and maturity of females dover sole *Microstomus pacificus* with an evaluation of assumption and precision. *Fish. Bull.* 90(1)101-128.
- Hunter, J.R., N.C. Lo, & R. Leong. 1985. Batch fecundity in multiple spawning fishes. In: an egg production method for estimating spawning biomass of pelagic fish: application to the Northern anchovy. Reuben Lasker (Editor) NOAA technical report 36:67-77.
- Hunter, J.R. & S. Gortland. 1980. Spawning incidence and batch fecundity in northern anchovy, *Engraulis mordax*. *Fish. Bull.* 77(3), 641-652.
- 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.
- Kahru, M., & B.G. Mitchell. 2000. Influence of the 1997-98 El Niño on the surface chlorophyll in the California Current, *Geophys. Res. Lett.*, 27: 2937-2940.
- Kawasaki, T. 1983. Why do some pelagic fishes have wide fluctuations in their numbers?-Biological basis of fluctuation from the viewpoint of evolutionary ecology. En G.D. Sharp & J. Csirke (eds). Proceedings of the expert consultation to examine changes in abundance and species composition of neritic fish resources, San Jose, Costa Rica, 18–19 April 1983. FAO Fisheries Report, No. 291(3): 1065–1080.

- Kurita Y., S. Meier & O.S. Kjesbu. 2003. Oocyte Growth and Fecundity Regulation by Artesia of Atlantic Herring (*Clupea harengus*) in Relation to Body Condition Throughout the Maturation Cycle. *Journal of sea Research*. 49 (2003) 203-219.
- Keys, A.B. 1928. The weight-length relation in fishes. *Proc. N.A.S.* 14 (12): 922-925.
- Lambert J.G.D. 1970 The ovary of guppy, *Poecilia reticulata*. The atretic follicle, a corpus atreticum or a corpus luteum pracovulationis. *Zeitschrift für Zellforschung* 107: 51-67.
- Lambert Y., N.A. Yaragina, G. Kraus, G. Marteinsdottir & P.J. Wright. 2003. Using environmental and biological indices as proxies for egg and larval production of marine fish. *J. Northwest Atl. Fish. Sci.* 33: 115–159
- Lasker, R. (ed.) 1985 An egg production method for estimating spawning biomass of pelagic fish: Application to the Northern anchovy, *Engraulis mordax*. NOAA Tech. Rep. NMFS 36, December. 99 pp.
- Leal E., T.M. Canales, A. Aranis & M. Gonzáles. 2011. Actividad reproductiva y longitud de madurez de sardina austral *Sprattus fuegensis* en el mar interior de Chilé, Chile. *Rev. Biol. Mar. Y Ocean.* 46: 43-51.
- Leonardo, A.F.G.; Romagosa, E.; Batlouni, S.R. & M.I. Borella. 2006. Occurrence and significance of ovarian and follicular regression in cachara *Pseudoplatystoma fasciatum* (Linnaeus, 1766): a histology approach. *Arq. Bras. Med. Vet. Zootec.*, 58(5):831-40.
- Linares-Casenave, J.; J.P. Van Eenennaam & S.I Doroshov. 2002 Ultrastructural and histological observations on temperatureinduced follicular ovarian atresia in the white sturgeon. *J. Appl. Ichthyol.*, 18(4-6):382-90.
- Livingstone M.E., M. Vignaux & K.A. Schofield. 1997. Estimating the annual proportion of nonspawning adults in New Zealand hoki, *Macrurus novaezelandiae*. *Fishery Bulletin* 95: 99-11.
- Lloris, D. 2007. Glosario de Ictiología. Generalitat de Catalunya. 922 pp.
- Lluch-Belda, D., R.J.M. Crawford, T. Kawasaki, A.D. MacCall, R.H. Parrish, R.A. Schwartzlose & P.E. Smith. 1989. World-wide fluctuations of sardine and anchovy stocks: The regimen problem. *S. Afr. J. Mar. Sci.*, 8, 195-205

- López-Martínez, J. 1991. Alimentación de juveniles de Sardina Monterrey *Sardinops sagax caeruleus*, en el norte de la Isla Tiburón, durante el invierno de 1990. Tesis de Maestría. CICESE. 127 pp.
- MacGregor, J. 1959. Relation between fish condition and population size in the sardine, *Sardinops caerulea*. *Fish. Res. Biol.* 166: 215-230.
- Marín E., E. 2012. Variabilidad de las tasas de captura de marlín azul *Makaira nigricans* (Lacepède, 1802) en la entrada del Golfo de California y su relación con algunas variables oceanográficas. Tesis de maestría. CICIMAR-IPN. La Paz, B. C. S. 67 pp.
- Martínez, R.O. 2012. Efecto de la variabilidad ambiental en la distribución de las capturas incidentales de pelágicos mayores en el océano pacífico oriental. Tesis de doctorado. CICIMAR-IPN. La Paz, B. C. S. 100 pp.
- Mehault S., R. Dominguez-Petit, S. Cerviño & F. Saborido-Rey. 2010. Variability in total egg production and implications for management of the southern stock of European hake. *Fish. Res.* 104 (1–3): 111–122
- Melo-Barrera, F.N., R. Félix-Uraga & C. Quiñonez-Velázquez. 2010. Análisis de la pesquería de *Sardinops Sagax* en la costa occidental de Baja California Sur, México, durante 2006-2008. *Ciencia Pesquera.* 18: 33-46.
- Melo, Y.C. 1994. Multiple spawning of the anchovy *Engraulis capensis*. *S: Afr. J. mar. Sci.* 14: 313-319.
- Munro, A.D. 1990. Reproductive seasonality in teleosts: environmental influences. I. General introduction. (Munro, A.D.; Scott, A.P. y Lam, T.J. Editores). pp. 2-11. CRC Press Inc: Boca Raton, Florida.
- Mysak, L. 1986. El Niño, interannual variability and fisheries in the northeast Pacific Ocean. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science*, 43: 464–497.
- Nagahama, Y. 1983. The functional morphology of teleost gonads. In: Hoar, W.S.; D.J. Randall, y E.M. Donaldson (Eds.). 1983. *Fish Physiology*. New York, Academic Press. pp.223-75. Vol. IX.
- 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.

- Nevarez-Martinez, M.O., D. Lluch-Belda, M.A. Cisneros-Mata, J.P. Santos-Molina, M. Martínez-Savala & S.E. Lluc-Cota et al. 2001. Distribution and abundance of the Pacific sardine (*Sardinops sagax*) in the Gulf of California and their relation with the environment. *Progress in Oceanography*, 49, 565-580.
- Nikolsky, G.V. 1963. *The ecology of fishes*. Academic press, London. 352 pp.
- Nunes C., A. Silva, V. Marques & K. Ganiás. 2011. Integrating fish size, condition, and population demography in the estimation of Atlantic sardine annual fecundity. *Ciencias Marinas*, vol. 37, núm. 4B, 565-584.
- Ochoa-Báez, R.I. 1998. Estacionalidad reproductiva y producción ovárica de la anchoa europea, *Engraulis encrasicolus* (clupeiformes: Engraulidea) en el mar Catalán. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Cataluña. Barcelona. 232 pp
- Olim, S. & T.C. Borges. 2006. Weight-length relationships for eight species of the family Triglidae discaeded on the south coast of Portugal. *Journal of Applied Ichthyology*. 22: 257-259.
- Parker, K. 1980. A direct method for estimating northern anchovy, *Engraulis mordax*, spawning biomass. *Fishery Bulletin U.S.*, 78: 541-544
- Parrish, R.H., A. Bakun, D.M. Husby & C.S. Nelson. 1983. Comparative climatology of selected environmental factors in relation to eastern boundary pelagic fish reproduction. In G.D. Sharp & J. Csirke (eds.), *Proceedings of the expert consultation to examine changes in abundance and species composition of neritic fish resources*, San Jose, Costa Rica, April 1983. FAO Fish. Rep. 291(3):731-777.
- Parrish, R.H. & D.L. Mallicoate. 1995. Variation in the condition factor of California pelagic fishes and associated environmental factors. *Fisheries Oceanography*. 4, 2: 171-190.
- Parrish R.H., D.L. Mallicoate & R.A. Klingbeil. 1986. Age dependent fecundity, number of spawnings per year, sex ratio, and maturation stages in northern anchovy, *Engraulis mordax*. *Fish. Bull. US* 84:503–517.
- Pascual, L., S. Saber, M.J. Gómez-vives & D. Macías. 2010. Estimación de dos parámetros reproductivos: edad y talla de primera madurez y fecundidad; en el bonito atlántico (*Sarda sarda*) capturados en almadrabas del Mediterráneo

Español durante 2008-2009. Joint GFCM/ICCAT Expert meeting on small tunas fisheries in the Mediterranean, Madrid, 2010. SCRS/2010/129.

- Perezgómez-Álvarez, B.L. 2008. Aplicación de la Estereología para la Determinación de la Fecundidad Parcial de la Sardina Monterrey, *Sardinops sagax* (Jenyns, 1842) (Teleostei: Clupeidae). Tesis de Maestría. CICIMAR-IPN, México, 78 p.
- Pride IG. (Co-ordinator). 1994. Spawning biology, distribution and abundance of mackerel, *Scomber scombrus* and horse mackerel, *Trachurus trachurus* in the North East Atlantic. Final Report submitted to the Directorate-General of Fisheries (DG XIV) of the Commission of the European Communities. [Project number: MA 2 436 April 1994].
- Quiñónez-Velázquez, C., R.M. 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. Biol. Mar. Oceanog. Chile 37(1): 1-8.
- Ramírez-Rodríguez M. & R. Félix-Uraga. 1986. Marcas periódicas en otolitos de *Sardinops sagax caerulea* y posibles relaciones con su reproducción, en Bahía Magdalena, B.C.S. México. Inv. Mar. CICIMAR. 3 (1): 20-28.
- Rideout R.M., M.P.M. Burton & G.A. Rose. 2000. Observations on mass atresia and skipped spawning in northern Atlantic cod, from Smith Sound, Newfoundland. Journal of Fish Biology 57: 1429-1440.
- Ricker, W. 1975. Computation and interpretation of biological statistics of fish populations. Bulletin Fisheries Research. Board of Canada. 191: 382 pp.
- 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.
- Rodríguez-Gutiérrez, M. 1992. Técnicas de evaluación de la madurez gonádica en peces. AGT Eds. México. 79 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.
- Rutaisire, J. & A. Booth. 2004. A histological description of ovarian recrudescence in two *Labeo victorianus* populations. Afr. J. Aquat. Sci., 29(2): 221-8.

- Saborido-Rey, F. 2008. Ecología de la reproducción y potencial reproductivo en peces marinos. Curso doctoral. Instituto de investigaciones marinas. (CISC) Universidad de Vigo España.71pp
- Santos, H.B., R.G. Thomé, F.P. Arantes, Y. Sato, N. Bazzoli & E. Rizzo. 2008. Ovarian follicular atresia is mediated by heterophagy, autophagy, and apoptosis in *Prochilodus argenteus* and *Leporinus taeniatus* (Teleostei: Characiformes). *Theriogenology*, 70(9): 1449-60.
- Schneider, J.C., P.W. Laarman & H. Gowing. 2000. Length-weight relationship 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.
- Skjaeraasen, J.E., K. Korsbrekke, O.S. Kjesbu, M Fonn, T. Nilsen & R.D.M. Nash. 2013. Size-, energy- and stage-dependent fecundity and the occurrence of atresia in the Northeast Arctic haddock *Melanogrammus aeglefinus*. *Fish Res* 138, 120-127.
- Šantić , M., A. Pollaoro & I Jardas. 2006. Co-variation of gonadosomatic index and parameters of length-weight relationship of Mediterranean horse mackerel, *Trachurus mediterraneus* (Steindachner, 1868) in the Eastern Adriatic Sea. *Journal of Applied Ichthyology*. 22: 214-217.
- Selvaraj J., M. Rajasekharan, & A.I. Guzman-Alvis. 2009. Aplicaciones de los sistemas de información geográfica y sensores remotos al manejo de pesquerías marinas y desafíos para su desarrollo en Colombia. *Bol. Invest. Mar. Cost.* 38(1): 105-120.
- Serra, R. & 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.
- Silva A, M.B. Santos, B. Caneco, G. Pestana, C. Porteiro, P. Carrera & Y. Stratoudakis. 2006. Temporal and geographic variability of sardine maturity at length in the northeastern Atlantic and the western Mediterranean. *ICES J. Mar. Sci.* 63: 663–676.
- Smith, P.E. 1978. Biological effects of ocean variability: time and space scales of Biological response. *Rapp. P.-v. Reún. Sons. Int. Explor. Mer.* 173: 117-127.

- Sparre, P. & S.C. Venema. 1997. Introducción a la evaluación de recursos pesqueros tropicales. Parte 1. Manual. FAO Documento Técnico de pesca N°. 306. 420 pp.
- Stauffer, G., & S.J. Piquelle. 1980. Estimates of the 1980 spawning biomass of the central subpopulation of northern anchovy. Natl. Mar. Fish. Serv. Southwest Fish. Cent., La Jolla, CA. Admin. Rep. LJ-80-09, 41 p.
- 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 en MS. CICIMAR-I.P.N. La Paz, B.C.S. México 116p
- Torres-Villegas, J.R. 1997. La reproducción de la sardina monterrey *Sardinops caeruleus* (Girard, 1854) en el noroeste de México y su relación con el ambiente. Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Cataluña. Barcelona, España, 284 pp.
- Torres-Villegas, J.R., R.I. Ochoa-Báez, L. Perezgómez & G. García-Melgar. 1995. Comparison of seasonal variability in reproduction of Pacific sardine (*Sardinops sagax*) from Baja California Sur, México, in the years 1982-1992. Sci. Mar. 59: 255-264.
- Torres-Villegas J.R., R.I. Ochoa-Báez, L. Perezgómez & G. García-Melgar. 2007. Estimaciones de atresia mayor en la temporada reproductiva 1999-2000 en la sardina monterrey (*Sardinops sagax*) en Bahía Magdalena, México. Rev Biol Mar Oceanogr 42, 299-310.
- Trippel, E.A. & H.H. Harvey. 1991. Comparison of methods used to estimate age and length of fishes at sexual maturity using populations of white sucker (*Catostomus commersoni*). Can. J. Fish. Aquat. Sci. 48: 1446-1459.
- Tyler, C.R. & J.P. Sumpter. 1996. Oocyte growth and development in the teleosts. Rev. Fish Biol. Fish. 6: 287-318.
- Valdez-Montiel, U.F. 2012. Efecto de la atresia ovárica en la fecundidad de la sardina monterrey (*Sardinops sagax*) (Jenyns, 1842), capturada en la pesquería de Ensenada B.C. México. Tesis Licenciatura. Universidad Autónoma de Baja California Sur 108 pp.
- van der Lingen, C.D., P. Fréon, T.P. Faiweather & 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.
- Vera A., G.R. 1993. El desove de las sardinas crinuda y monterrey en Bahía Magdalena: un análisis a corta escala de tiempo. Tesis de Maestría. CICIMAR-IPN. La Paz B.C.S., México. 80p.
- Wallace, R.A. & K. Selman. 1981. Cellular and dynamics aspects of oocyte growth in teleosts. Amer. Zool. 21: 325-343.
- Wong, M. 1973. Biología de la sardina del Golfo de California (*Sardinops sagax caerulea*). CalCOFI Rep. 17: 97-100.
- Wooster, W.S., & D.L. Fluharty. 1985. El Niño North: Niño Effects in the Eastern Subarctic Pacific Ocean. Seattle, WA: Washington Sea Grant Program.
- Wright P.J. 2007. Understanding the maturation process for field investigations of fisheries-induced evolution. Mar. Ecol. Prog. Ser. 335: 279–283.
- Yáñez E, M Barbieri & L Santillán. 1992. Long-term environmental variability and pelagic fisheries in Talcahuano, Chile. En: Payne A, L Brink, K Mann & R Hilborn (eds.). Benguela Trophic Functioning. South African Journal Marine Science. 12: 175-188.
- Yañez, E., M. Barbieri & C. Silva. 1990. Relaciones entre las variaciones del medio ambiente y las fluctuaciones de los principales recursos pelágicos explotados en la zona de Talcahuano, Chile. En: M.A. Barbieri (ed.) Perspectivas de la actividad pesquera en Chile, Esc. Ciencias del Mar, Univ. Católica Valparaíso 49-62.
- Zanuy S. & M. Carrillo. 1987. La reproducción de los peces teleósteos y su aplicación en acuicultura. En: Espinosa de los Monteros J, Labarta U (eds). Reproducción en acuicultura. CAICYT. Madrid, España, 1-131.
- Zar, J.H. 1996. Biostatistical analysis. 3th edn. Prentice Hall. New Jersey. 918 p.
- Zaytsev, O., R. Cervantes-Duarte, O. Montante & A. Gallegos-García 2003. Coastal upwelling activity on the Pacific shell of the Baja California Peninsula. Jour. Oceanog. 59(4): 489-502.