

INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE CIENCIAS MARINAS
DEPARTAMENTO DE PESQUERÍAS Y BIOLOGÍA MARINA

**"CICLO REPRODUCTIVO DE LA MADREPERLA,
Pinctada mazatlanica (HANLEY, 1856),
Y SU RELACIÓN CON LOS FENÓMENOS "EL NIÑO" Y "LA NIÑA"
(1997 – 1999), EN LA ISLA ESPÍRITU SANTO, BAJA CALIFORNIA SUR,
MÉXICO".**



TESIS

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRO EN CIENCIAS**

PRESENTA:

JOSÉ ANGEL GARCÍA CUÉLLAR

DIRECTOR DE TESIS:

M. EN C. FEDERICO ANDRÉS GARCÍA DOMÍNGUEZ

LA PAZ, B.C.S., 2001.

ÍNDICE

GLOSARIO	i
ÍNDICE DE FIGURAS	v
RESUMEN	ix
ABSTRACT	x
1. INTRODUCCIÓN	1
2. ANTECEDENTES	3
3. JUSTIFICACIÓN	6
4. OBJETIVOS	7
5. MATERIAL Y MÉTODOS	8
5.1 Zona de estudio	8
5.2 Colecta de material biológico	10
5.3 Trabajo de laboratorio	10
5.4 Caracterización de las fases del ciclo gonádico	11
5.5 Proporción de sexos	11
5.6 Estimación del diámetro promedio de los ovocitos	11
5.7 Índice de condición	12
5.8 Factores ambientales	12
6. RESULTADOS	14
6.1 REPRODUCCIÓN	14
6.1.1 Ciclo gonádico	18
6.1.2 Proporción de sexos	19
6.1.3 Diámetro de los ovocitos	22
6.2 ÍNDICE DE CONDICIÓN	25
6.3 PARÁMETROS AMBIENTALES	27
6.3.1 Temperatura	27
6.3.2 Relación de la temperatura con el ciclo gonádico	29
6.3.3 Concentración de pigmentos	33

6.3.4 Relación de la concentración de pigmentos con el ciclo gonádico . .	36
7. DISCUSIÓN	41
7.1 REPRODUCCIÓN Y CICLO GONÁDICO	41
7.2 PROPORCIÓN DE SEXOS	42
7.3 DIÁMETRO DE OVOCITOS	44
7.4 ÍNDICE DE CONDICIÓN	45
7.5 PARÁMETROS AMBIENTALES	46
7.5.1 Temperatura	46
7.5.2 Relación del ciclo gametogénico, índice de condición y diámetro de ovocitos con la temperatura	48
7.5.3 Concentración de pigmentos fotosintéticos	53
7.5.4 Relación del ciclo gametogénico, índice de condición y diámetro de ovocitos con la concentración de pigmentos	53
8. CONCLUSIONES	58
9. RECOMENDACIONES	61
10. SUGERENCIAS PARA NUEVOS TRABAJOS	62
11. LITERATURA CITADA	63

GLOSARIO

ANOMALÍA. Temperatura superficial del mar de presencia irregular, en un sitio específico, por encima o por debajo de la media registrada en series de tiempo para la zona de interés.

CICLO GAMETOGÉNICO. Eventos repetitivos dentro de las gónadas que conducen a la formación de gametos.

ENOS/ENSO: Acrónimo de "El Niño", Oscilación del Sur (ENOS) o en inglés "El Niño", Southern Oscillation (ENSO). El termino ENOS o ciclo ENOS se usa para describir el rango completo de variabilidad observada en el Índice de Oscilación Austral (IOA) -en inglés Southern Oscillation Index (SOI)-, que incluye eventos tanto "El Niño" como "La Niña".

ESPERMATOCITO. Célula germinal de estirpe masculina en vías de maduración.

ESPERMATOZOIDES. Gametos masculinos haploide y maduro, caracterizado por su movilidad.

ETAPA REPRODUCTIVA. Tiempo en el que la mayoría de la población expulsa los gametos al medio (desovan).

FAGOCITO. Célula ameboide perteneciente al sistema de defensa del organismo, especializada en englobar y digerir cuerpos extraños no reconocidos por el mismo.

FOLÍCULO. Conductos en donde se desarrollan los gametos femeninos.

GAMETO. Célula sexual haploide reproductora que se fusiona con otra del sexo opuesto para dar origen a un organismo.

GÓNADA. Órgano en el que tiene lugar el desarrollo de las células reproductoras masculinas o femeninas.

HERMAFRODITISMO. Tipo de sexualidad propio de las especies cuyos componentes (individuos hermafroditas) producen simultáneamente gametos masculinos y gametos femeninos.

ÍNDICE DE CONDICIÓN. Valor numérico utilizado para comparar la condición de los organismos en base a la longitud de la concha y el peso de la víscera.

ÍNDICE MULTIVARIADO ENSO (Multivariate ENSO Index, MEI por sus siglas en inglés). Valor numérico desarrollado principalmente para propósitos de investigación y utilizado para la medición de la intensidad que presenta el fenómeno ENSO en su ocurrencia. Está basado sobre seis variables principales que se presentan sobre el Pacífico tropical: presión del nivel del mar (P); componentes zonal (U) y meridional (V), de la superficie del viento; temperatura superficial del mar (S); temperatura superficial del aire (A) y, la fracción total de nublado en el cielo. Los valores positivos representan la fase cálida del ENSO (Niño) y los negativos a la fría (Niña).

INTENSIDAD DEL DESOVE. Porcentaje de los organismos en la muestra que se encuentran en fase de desove.

NIÑA, LA. El proceso inverso al fenómeno de "El Niño" el cual también afecta las condiciones climatológicas del planeta. Períodos con temperatura superficial del mar anómalamente fría en el Océano Pacífico Ecuatorial, en sus porciones occidental y central, asociado a una inusual baja presión atmosférica hacia el oeste

(izquierda) de la línea internacional del tiempo, y una alta presión atmosférica al este de la línea. Los términos "El Viejo" y el "Anti-Niño" también se aplicaban a la fase fría del ENOS.

NIÑO, EL. Conjunto de alteraciones en los patrones normales de circulación del sistema global océano-atmósfera que se origina en el Océano Pacífico Ecuatorial, generalmente durante un periodo comprendido entre diciembre y marzo. Se caracteriza porque la temperatura superficial del mar anómalamente cálida en el Océano Pacífico Ecuatorial y la atmósfera sobre él, presentan una condición anormal durante un período de duración que va de doce a dieciocho meses. A la aparición y desplazamiento del máximo de temperatura se le ha nombrado más recientemente "episodio cálido" y al sube -y- baja de la presión, Oscilación del Sur.

OVOCITO. Célula sexual femenina en fase de crecimiento y que experimenta la meiosis

OVOGÉNESIS. Proceso biológico mediante el cual los gametos femeninos pasan por las etapas de multiplicación y maduración hasta transformarse en óvulos.

ÓVULO. Célula sexual femenina madura.

PROPORCIÓN SEXUAL. Relación porcentual de hembras y machos en un grupo de organismos.

PROTÁNDRICO. Especie en donde los individuos más jóvenes son machos y los más viejos hembras.

SOBREEXPLOTACIÓN. Extracción de alguna especie animal o vegetal que excede el límite impuesto por el reclutamiento, y que por consecuencia puede poner en riesgo la persistencia y/o abundancia de la población explotada.

TEJIDO CONJUNTIVO. Es aquel que se desarrolla a partir del mesénquima embrionario y que en estado adulto proporciona sostén y soporte a los órganos y al cuerpo de los organismos.

TINCIÓN. Proceso histológico que tiene como propósito el resaltar o contrastar ciertas estructuras celulares por medio de la utilización de colorantes naturales o artificiales, y que permiten una clara observación del tejido al microscopio.

TÚBULOS. Conductos en la gónada masculina que convergen en un conducto en común para llevar los espermatozoides al exterior.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura No. 1 Localización de la Isla Espíritu Santo	9
Figura No. 2 Estadio Indiferenciado	16
Figura No.3a Estadio de desarrollo en machos	16
Figura No.3b Estadio de desarrollo en hembras	16
Figura No.4a Estadio de madurez en machos	16
Figura No.4b Estadio de madurez en hembras	16
Figura No.5a Estadio de desove en machos	17
Figura No.5b Estadio de desove en hembras	17
Figura No.6a Estadio de postdesove en machos	17
Figura No.6b Estadio de postdesove en hembras	17
Figura No.7 Especímen hermafrodita	17
Figura No.8 Ciclo Gonádico en "El Niño". Mayo-1997 a Octubre-1998	18
Figura No.9 Ciclo Gonádico en "La Niña". Noviembre-1998 a Noviembre – 1999	19
Figura No.10 Proporción de sexos en "El Niño"	19
Figura No.11 Variaciones de la proporción relativa de organismos machos, hembras, indiferenciados y hermafroditas en "El Niño"	20
Figura No.12 Variación de las fases de Madurez y Desove, en relación al sexo de los organismos, en "El Niño"	20
Figura No.13 Proporción de sexos en "La Niña"	21
Figura No.14 Variaciones de la proporción relativa de organismos machos-hembras, indiferenciados y hermafroditas en "La Niña"	21

Figura No.15 Variación de las fases de Madurez y Desove, en relación al sexo de los organismos, en "La Niña"	22
Figura No.16 Diámetro promedio mensual de ovocitos; media y +-desviación estandar en <i>P. mazatlanica</i> , en "El Niño"	23
Figura No.17 Diámetro promedio mensual de los ovocitos y la frecuencia de madurez y desove de las hembras, en "El Niño".....	23
Figura No.18 Diámetro promedio mensual de ovocitos; media y +- desviación estandar en <i>P. mazatlanica</i> , en "La Niña"	24
Figura No. 19 Diámetro promedio mensual de los ovocitos y la frecuencia de madurez y desove de las hembras, en "La Niña"	25
Figura No. 20 Índice de Condición y las fases de madurez y desove, en "El Niño"	26
Figura No. 21 Índice de Condición y las fases de madurez y desove, en "La Niña"	26
Figura No.22 Temperatura del "año tipo" de la Zona de estudio	27
Figura No.23 Temperaturas del año Tipo, en "El Niño" y Anomalías. Mayo-97 a Octubre-98.....	28
Figura No.24 Temperaturas del año Tipo, en "La Niña" y Anomalías. Noviembre-98 a Noviembre-99.....	29
Figura No.25 Temperatura contra madurez y desove, en "El Niño".....	30
Figura No.26 Temperatura contra madurez y desove, en "La Niña".....	30

Figura No.27 Temperatura contra Índice de Condición, en "El Niño"	31
Figura No.28 Temperatura contra Índice de Condición, en "La Niña"	31
Figura No.29 Temperatura contra el diámetro promedio mensual de los ovocitos, en "El Niño"	32
Figura No.30 Temperatura contra el diámetro promedio mensual de los ovocitos, en "La Niña"	32
Figura No.31 Temperatura contra la concentración de pigmentos. Año Tipo.....	33
Figura No.32 Concentración de pigmentos: año tipo contra "El Niño"	34
Figura No.33 Concentración de pigmentos: año tipo contra "La Niña"	34
Figura No.34 Concentración de pigmentos contra la temperatura, en "El Niño"	35
Figura No.35 Concentración de pigmentos contra la temperatura, en "La Niña"	36
Figura No.36 Concentración de pigmentos contra la fase de desarrollo, en "El Niño".....	37
Figura No.37 Concentración de pigmentos contra las fases de madurez y desove, en "El Niño".....	37
Figura No.38 Concentración de pigmentos contra la fase de desarrollo, en "La Niña".....	38

Figura No. 39 Concentración de pigmentos contra las fases de madurez y desove, en "La Niña".....	38
Figura No. 40 Concentración de pigmentos contra índice de condición, en "El Niño"	39
Figura No. 41 Concentración de pigmentos contra índice de condición, en "La Niña".....	39
Figura No. 42 Concentración de pigmentos contra el diámetro promedio mensual de ovocitos, en "El Niño".....	40
Figura No. 43 Concentración de pigmentos contra el diámetro promedio mensual de ovocitos, en "La Niña".....	40
Figura No.44 Relación de temperatura con frecuencia relativa de madurez y desove, índice de condición y diámetro de ovocitos, en "El Niño".....	51
Figura No.45 Relación de temperatura con frecuencia relativa de madurez y desove, índice de condición y diámetro de ovocitos, en "La Niña".....	52
Figura No.46 Relación de la concentración de pigmentos con la frec. relativa de la fase de desarrollo, índice de condición y diámetro promedio de ovocitos, en "El Niño".....	55
Figura No.47 Relación de la concentración de pigmentos con la frec. relativa de la fase de desarrollo, índice de condición y diámetro promedio de ovocitos, en "La Niña".....	56

RESUMEN

Se estudió el ciclo reproductivo de *Pinctada mazatlanica*, mediante análisis histológico, índice de condición y diámetro promedio mensual de los ovocitos, y se relacionó con los parámetros ambientales de la temperatura superficial del mar y la disponibilidad de alimento, utilizando un patrón estacional de concentración de clorofila (mg/m^3), durante los eventos de los fenómenos "El Niño"¹ (1997-1998) y "La Niña"² (1998 – 1999). La colecta de ejemplares se realizó en la Isla Espíritu Santo, Baja California Sur, desde mayo de 1997 hasta noviembre de 1999. Se obtuvieron un total de 533 organismos, con un promedio de 18 ejemplares por mes. Con los datos de temperatura superficial del mar, se determinó un año tipo promedio; las variaciones interanuales y las anomalías respectivas; con lo anterior se estableció para fines comparativos del presente estudio, los periodos a considerar para efecto "Niño"¹ (mayo 1997 a octubre 1998) y efecto "Niña"² (noviembre de 1998 a noviembre de 1999). Las temperaturas, para ambos periodos establecidos, fueron significativamente diferentes al año tipo; de la concentración de pigmentos fotosintéticos, se estableció así mismo, la caracterización tipo de la zona de estudio. En "El Niño", la temperatura varió entre los 21.6°C y 30.8°C, con una anomalía máxima de + 2.82°C (enero/98); en "La Niña" entre 19.0°C y 28.2°C, con anomalía máxima de -1.36°C (febrero/99). La concentración de clorofila, en ambos periodos difirió significativamente del año tipo, en el que varió entre 0.12 y 1.11 mg/m^3 , en "El Niño" entre 0.096 y 1.2 mg/m^3 , y en "La Niña" entre 0.28 y 3.6 mg/m^3 . La proporción sexual, en ambos periodos, no difirió significativamente de la esperada 1M:1H, la presencia de hermafroditas confirmó la condición de hermafrodita protándrica de la especie. Son evidentes los cambios en la estacionalidad de la actividad reproductiva, sobre la base principalmente del efecto de la temperatura, ya que los porcentajes más altos de organismos en desove se presentaron en los meses cálidos (julio a octubre); en ambos periodos el desove ocurrió entre los 27°C y 30°C, suspendiéndose por debajo de los 25°C; en "El Niño" fue más extensa (duración en tiempo) e intensa (porcentaje de población desovante), con picos máximos en julio, agosto y septiembre de 1997 y julio y agosto de 1998; en "La Niña", los picos se presentaron en agosto y septiembre de 1999. En "El Niño", el mayor diámetro promedio mensual de los ovocitos se corresponde con la fase de madurez y el menor diámetro se corresponde a la mayor frecuencia de las fases de desove y posdesove; en "La Niña", no se da una clara relación al respecto. El índice de condición, en ambos periodos, se relaciona con el proceso reproductivo, donde los máximos corresponden a la fase de desarrollo, seguidos por los de madurez y posteriormente declinar en el desove, pudiendo considerarse como indicador de la actividad reproductiva. La relación de la concentración de pigmentos con el ciclo reproductivo, está estrechamente relacionada con la fase de desarrollo, para ambos periodos.

ABSTRACT

The reproductive cycle of the pearl oyster *Pinctada mazatlanica* was examined through histological analysis, condition index and the monthly mean of oocyte diameter, these variables were related with the environmental parameters of sea surface temperature and food availability, during the events of "El Niño"¹ (1997 - 1998) and "La Niña"² (1998 - 1999). From May 1997 to November 1999, specimens were collected from Isla Espíritu Santo, Baja California Sur. A total of 533 organisms were captured (18 per month). A class mean year, was determined for the sea surface temperature and the photosynthetic pigments concentration data, the interyearly variations as well as the respective temperature anomalies, this allow the establishment of the cycles that will be considered as "Niño"¹ (May 1997 to October 1998) and "Niña"² (November 1998 to November 1999) effects. For both periods, temperatures and photosynthetic pigments concentration differed significantly from the class mean year. During "El Niño" the water temperature varied from 21.6°C to 30.8°C, with a maximum anomalie of +2.82°C (January 1998), in "La Niña" from 19.0°C to 28.2°C, with a maximum anomalie of -1.36°C (February 1999). In the class mean year, photosynthetic pigments concentration varied from 0.12 to 1.11 mg/m³, and during "El Niño" from 0.096 to 1.2 mg/m³ and "La Niña" 0.28 to 3.6mg/km³. In both periods, the sex ratio did not differ significantly from the expected one of 1F:1M, hermaphrodite presence confirm the protandric hermaphrodite condition of *P. mazatlanica*. Changes in the seasonal reproductive activity was determined by temperature, being the highest spawning frequency between 27°C to 30°C. No spawning occurred bellow 25°C. In "El Niño", this period was more extended and more intensive (population spawning frequency) with maximum peaks on July, August and September 1997 and July - August 1998; in "La Niña" the maximum peaks were in August and September 1999. In "El Niño", the highest oocytes diameter corresponded to the ripe stage and the shortest whit the spawn and spent stages, while in "La Niña" we did not found a clear relation. For both periods the condition index were related to the reproductive activity, with the maximum corresponding to the developing stage, following by the ripe stage and decaying in the spent stage, this index can be considered as reproductive activity indicator. The relation from the pigments concentration with the reproductive cycle in both periods were strongly relationated with the developing stage.

1. INTRODUCCIÓN

La administración de los recursos marinos requiere el conocimiento de la biología de las especies objeto de interés. En el caso de las pesquerías del grupo de moluscos bivalvos, ha sido de vital importancia su explotación en México y, específicamente, en el Estado de Baja California Sur, ya que cuenta con una diversidad de ecosistemas marinos que lo hacen único a nivel mundial, albergando especies marinas tropicales, templadas y de transición templado-tropical. En la región se presentan además procesos oceánicos conocidos como surgencias que contribuyen a mantener una alta productividad durante casi todo el año, además sus aguas interiores y oceánicas están prácticamente libres de contaminantes, lo que se traduce en una excelente calidad del agua para fines de producción acuícola y en la calidad de sus productos pesqueros (Casas-Valdez *et al.* 1996).

La pesca de moluscos bivalvos data desde la época prehispánica, donde la variedad de usos van de: instrumentos musicales, con fines tintóreos, fabricación de conchales, material de construcción, artesanías y alimento (Sevilla 1995). En la actualidad, principalmente, se utiliza como alimento humano de alto valor nutritivo (Holguín-Quiñones y González Pedraza 1989), y en la elaboración de artesanías (Holguín-Quiñones y González Pedraza 1994), elaboración de herramientas, objetos de arte y ornato, en la industria, medicina y cosmética (García-Cubas *et al.* 1994). En el Golfo de California la extracción de moluscos para uso alimenticio ha sido orientada principalmente hacia especies de la zona intermareal o submareal rocoso (Hendrick 1985).

Así, el aumento en la demanda de estos recursos ha ejercido una presión considerable sobre los mismos y cuando no se tiene una captura racional se afectan las poblaciones de tal forma que son difícilmente recuperables de ahí deriva la enorme importancia de los estudios relativos a su biología y dinámica poblacional. En este sentido

existen para la Ensenada y Bahía de La Paz e Isla Espíritu Santo numerosos estudios de este grupo de organismos relativos a su biología, ecología y cultivo: para *Argopecten circularis* (Félix-Pico *et al.* 1980, Baqueiro *et al.* 1981, Cáceres *et al.* 1990), para *Anadara Tuberculosa* (Baqueiro y Muciño 1982), para *Pinna rugosa* (Arizpe y Félix 1986), para *Chione undatella* (Baqueiro y Massó 1988), para *Chione californiensis* (García-Domínguez 1991, Castro-Ortiz y García-Domínguez 1993, García-Domínguez y Félix-Pico 1993, García-Domínguez *et al.* 1994, García-Domínguez y Levy 1994), para *Megapitaria aurantiaca* (Castro-Ortiz y Tripp-Quezada 1994, García-Domínguez *et al.* 1994), para *Pinctada mazatlanica* (Mazon-Suástegui 1987, Tripp-Quezada 1991, Gaytán *et al.* 1993, García-Domínguez *et al.* 1996, Wrigth 1997), para *Pteria sterna* (Monteforte 1991, Moreno y Moreno 1994, Wrigth 1997), etc.

Parte importante de la biología de las especies es la etapa reproductiva, misma que hace posible la conservación de los mismos así como la producción continua de estos recursos naturales y su disponibilidad de explotación en el tiempo.

Asimismo, se tiene establecido que el ciclo reproductivo de una población está determinado por factores endógenos, si se originan en los individuos a través de características propias de la especie (como el control endócrino) o exógenos, si tienen su origen en las características físicas y químicas propias del ambiente que las rodea. La relación que guarda el patrón reproductivo de los bivalvos con factores ambientales ha sido establecida; particularmente y de interés en el presente proyecto son los factores de temperatura y disponibilidad de alimento (Thorson 1950, Sastry 1968, Mackie 1984).

En el caso de Baja California Sur, la presencia recurrente y manifiesta de "El Niño", y ocasionalmente "La Niña", afectan las condiciones ambientales, particularmente la temperatura y la disponibilidad de alimento.

2. ANTECEDENTES

La madreperla, *Pinctada mazatlanica* (Hanley, 1856) es un bivalvo Panámico que se distribuye desde la costa occidental de la Península de Baja California, tercio sur del Golfo de California (Isla San Marcos, al noreste de Bahía Concepción) continúa hacia el sur abarcando las islas y bajos cercanos a la Península y llega hasta el sur del Perú (Keen 1971, Martínez 1983). Esta especie, en el siglo pasado, fue soporte de una importante industria de pesca perlera en el Golfo de California. La calidad de las perlas producidas por esta especie, dio origen a una industria económicamente importante, misma que repercutió en la fundación y colonización de Baja California Sur (Cariño y Cáceres-Martínez 1990, Monteforte y Cariño 1992). La sobreexplotación de esta importante pesquería llevó al gobierno mexicano a cerrarla en el año de 1938 (Sevilla 1969, Keen 1971, Monteforte 1990).

De los antecedentes de estudios de madreperla, *P. mazatlanica* es considerada como un recurso susceptible y viable de ser desarrollado por medio de maricultura (Monteforte 1990). De ahí la importancia de los estudios de su biología, mismos que por un lado se han encaminado hacia el cultivo de perlas en la Bahía de La Paz (Díaz 1972, García-Gasca 1992, Gaytán *et al.* 1993, Saucedo 1995, Saucedo y Monteforte 1997), estudios ecológico-poblacionales (Monteforte 1991, Wrigth 1997), repoblamiento (Moreno y Moreno 1994, Saucedo 1995). En relación a estudios de su reproducción en poblaciones naturales, éstos se han efectuado en: la Bahía de La Paz por Sevilla (1969) encontrando picos máximos de desove en agosto y septiembre de 1963 y García-Domínguez *et al.* (1996) en junio julio y octubre de 1992; en Guaymas, Sonora, por Arizmendi-Castillo (1996) en junio 1995 y en el Golfo de Nicoya, Costa Rica, por Solano-López *et al.* (1997) en octubre 1993 y junio 1994. A excepción de Solano-López *et al.* (1997), que no reporta

el parámetro de temperatura, en todos los demás casos reportan que las temperaturas óptimas para el desove se encuentran dentro de un intervalo de 27 a 30°C.

De los antecedentes existentes, no hay reportes formales en relación a los efectos que sobre la reproducción de *P. mazatlanica* ejercen los fenómenos de "El Niño" y "La Niña", aunque hay que establecer que el estudio realizado de junio 1992 a agosto 1993 por García-Domínguez *et al.* (1996) en la Isla Espíritu Santo, se desarrolló en parte con la presencia de "El Niño" de 1991-1992 y que los resultados obtenidos, los autores no los relacionan con los efectos de este fenómeno climático.

En otras especies de *Pinctada* también se han efectuado estudios sobre su ciclo reproductivo, por ejemplo en Tranter (1959) y Behzadi *et al.* (1997) para *P. funcata*, Tranter (1958c) para *P. albina*, Tranter (1958d) para *P. margaritifera*, Wada (1953) y Rose *et al.* (1990) para *P. máxima*. Aunque ninguno en relación a los efectos de "El Niño" y "La Niña".

La orientación de estos estudios es generar bases de conocimiento para un manejo sustentable que de las pautas para la posible recuperación y potencial explotación del recurso, por lo que es válido establecer puntos comparativos bajo diferentes condiciones ambientales, mismas que en el caso específico de la presencia de "El Niño" y "La Niña" puedan afectar al recurso, como ha sido establecida su influencia en otros moluscos, en estudios realizados en la costa del Perú, por Arntz y Farhrbach (1996), sobre la pesquería de *Argopecten purpuratus*, estableciéndose que las altas temperaturas en el verano de 1983 producto de "El Niño" (1982-1983), tuvieron influencia para que el intervalo entre fases reproductivas se hiciera más corto (las gónadas se recuperaron más rápidamente), acelerando la maduración de las gónadas, por lo que el estudio aquí propuesto podrá arrojar resultados complementarios de la biología de *P. mazatlanica*, ya que la respuesta

Ciclo reproductivo de la madreperla, *Pinctada mazatlanica* (HANLEY, 1856), y su relación con los fenómenos "El Niño" y "La Niña" (1997 – 1999), en la Isla Espíritu Santo, Baja California Sur, México.

ANTECEDENTES

de los organismos es diferente de acuerdo a las condiciones ambientales propias de cada localidad y puede variar de un año a otro, de acuerdo a la variabilidad ambiental interanual.

3. JUSTIFICACIÓN

"El Niño" y "La Niña" tienen consecuencias ecológicas profundas en los ecosistemas marinos del Pacífico Oriental ya que modifican los procesos de surgencia en el mar, por lo que la disponibilidad de nutrientes se ve afectada, y modifica las temperaturas elevándolas entre 2 a 5°C, como es el caso de "El Niño", por encima de lo normal (Arntz y Fahrbach 1996), lo que a su vez se relaciona con el éxito de la reproducción de los organismos (Arntz *et al.* 1988). Muchos de los estudios del ciclo reproductivo de los bivalvos de importancia pesquera en México son limitados; se han estudiado generalmente una sola vez y en una sola localidad, por lo que queda claro que si se quiere lograr un manejo adecuado de estos recursos, es necesario realizar estudios de largo plazo que incluyan el conocimiento bajo diversas circunstancias ambientales (como la presencia del ENSO), del ciclo reproductivo, de los factores ambientales, fecundidad, alimentación y crecimiento.

El presente proyecto, partiendo de los estudios realizados sobre la reproducción de *P. mazatlanica*, y específicamente aquellos efectuados en la Isla de Espíritu Santo, Baja California Sur, por García-Domínguez *et al.* (1996), pretende conocer como la presencia de ambos fenómenos ambientales ("El Niño" y "La Niña"), afecta el ciclo reproductivo de esta especie en relación a los parámetros de temperatura y disponibilidad de alimento (concentración de pigmentos fotosintéticos), condición que se dio parcialmente en el periodo del estudio aludido.

4. OBJETIVOS

4.1 OBJETIVO GENERAL

Determinar los efectos producidos en el ciclo reproductivo de *Pinctada mazatlanica*, por los cambios en la temperatura y la disponibilidad de alimento, debidos a los fenómenos ambientales de "El Niño" y "La Niña".

4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar el ciclo gonádico y sus variaciones, en relación a los periodos de influencia de "El Niño" y "La Niña".
- Calcular el índice de condición y detectar las variaciones asociadas a la época de madurez y desove.
- Analizar la proporción de machos-hembras.
- Relacionar el crecimiento de los ovocitos con el ciclo gametogénico.
- Relacionar el ciclo gametogénico con las variaciones de temperatura del agua y la disponibilidad de alimento.

5. MATERIAL Y MÉTODOS

5.1 ZONA DE ESTUDIO

El presente trabajo se desarrolló en las inmediaciones de la Isla Espíritu Santo, dentro de la Bahía de La Paz. Geográficamente, la bahía se localiza en la costa suroccidental de la Península de Baja California, entre los paralelos 24° 46' y 24° 07' N y los meridianos 110° 18' y 110° 38' W.

La Bahía de La Paz es el cuerpo de agua más grande de la costa este de la Península de Baja California, siendo su extensión aproximada de 1972 km². Está limitada al oeste por la Sierra de La Giganta, al sur por la Ensenada de La Paz, al sureste por la Sierra de la Victoria y al norte por las Islas Espíritu Santo y La Partida. Se comunica con el Golfo de California por una amplia boca ubicada entre Punta Cabeza de Mechudo e Isla La Partida (al noreste) y al sureste por el Canal de San Lorenzo (Murillo-Jiménez 1987).

Las aguas de la bahía son someras, generalmente con profundidades menores de 50 m; sin embargo, éstas tienden a incrementarse hacia el centro de la boca principal, donde alcanzan los 200 m (Murillo-Jiménez 1987).

La radiación máxima se da a finales del verano y la mínima al inicio del invierno. La temperatura del aire varía de 8-10 °C en invierno a 35 – 40 °C en verano. La humedad relativa anual es de 62 – 70% (Félix-Pico 1975, Obeso-Nieblas 1986).

El régimen de mareas es mixto semidiurno (Obeso-Nieblas 1986). Se identifican tres cuerpos de agua y una zona de surgencias dentro de la Bahía de La Paz, cada uno caracterizado por condiciones oceanológicas diferentes y presentando además valores de temperatura, salinidad y concentración de oxígeno disuelto diferentes. La zona de surgencias origina un enriquecimiento de nutrientes en la superficie del agua y favorece, a

su vez, el desarrollo de diversas especies bentónicas típicas de la región, como es el caso de la madreperla.

Isla Espíritu Santo

Está situada a 20 km al NNW de la Ciudad de La Paz. Se localiza entre los 24°24' y los 24°36' N y los 110° 18' y 110° 27' W (Fig.1), en la parte oriental y de mayor amplitud de la Bahía de La Paz. La Isla Espíritu Santo es parte del complejo de islas formado por Los Islotes, La Partida, La Ballena, El Gallo y La Gallina, por lo que puede considerarse como parte de un archipiélago. Es la de mayor extensión de las seis islas, y está separada de la península por el Canal de San Lorenzo de 6 km de ancho. En promedio mide 19 km de largo y 5.5 de ancho, con una superficie de 99 km².

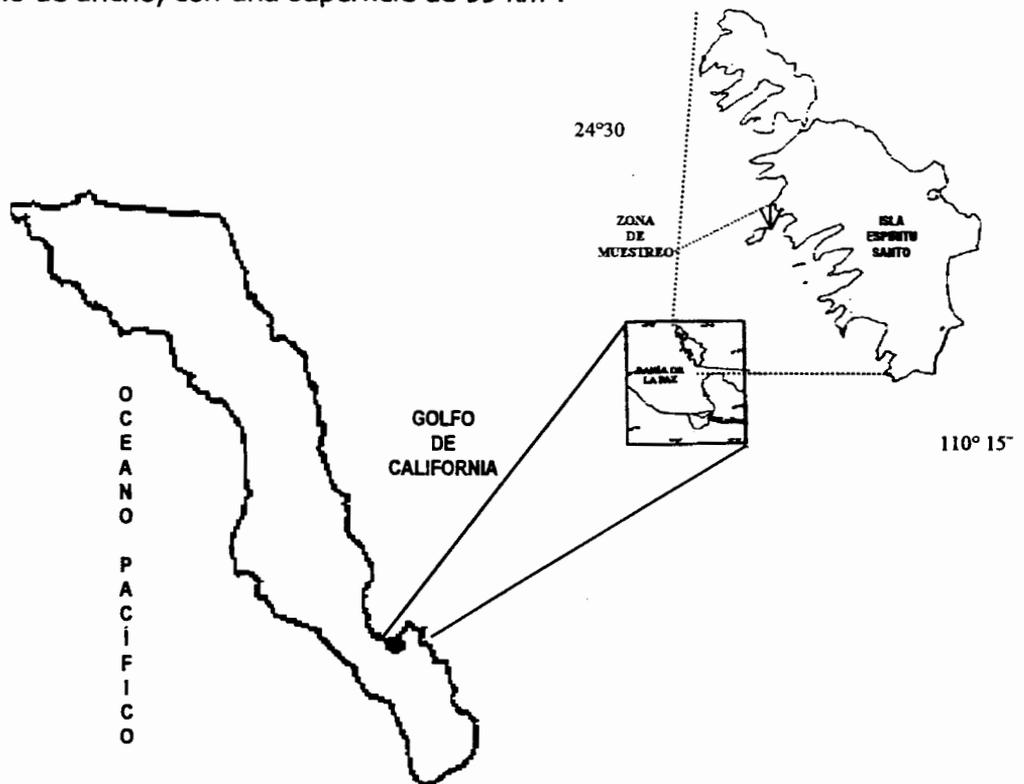


Fig.1 Localización de la Isla Espíritu Santo.

5.2 RECOLECTA DEL MATERIAL BIOLÓGICO

El material biológico fue recolectado mediante buceo autónomo (a profundidades aproximadas entre 4 y 6 m), se procedió inmediatamente a su fijación con formol al 10%, se les colocó una etiqueta con los datos de la colecta, para su posterior traslado al laboratorio.

Las muestras se colectaron mensualmente de mayo de 1997 a noviembre de 1999 (excepto en enero de 1999), se obtuvieron un total de 533 organismos con un promedio de 18 ejemplares por mes.

5.3 TRABAJO DE LABORATORIO

En el laboratorio los organismos fueron lavados para eliminar el formol y posteriormente se midieron con un vernier con precisión de 0.01 mm, en cada individuo se registró la longitud, alto, ancho o espesor, posteriormente se pesaron con una balanza electrónica con precisión de 0.01 g; se registró el peso total y el peso sin concha (peso húmedo).

Para el estudio histológico de la gónada, se obtuvo la masa visceral de cada organismo, conservándose en alcohol al 70%. Las muestras se deshidrataron en series de concentración creciente de alcohol, e incluyeron en parafina (Luna 1968). Se realizaron secciones de corte fronto-dorsal de 5 a 6 μm de espesor con un microtomo de rotación. Los cortes se tiñeron siguiendo la técnica de hematoxilina y eosina (Luna 1968). Las preparaciones histológicas obtenidas se organizaron en una colección.

5.4 CARACTERIZACIÓN DE LAS FASES DEL CICLO GONÁDICO

Para conocer el estado de actividad gametogénica, se obtuvo la frecuencia relativa de las fases de madurez gonádica; ésto se llevó a cabo mediante el análisis microscópico de las preparaciones histológicas de cada muestra mensual, asignando a cada ejemplar una fase de desarrollo gametogénico. Dichas fases se describieron utilizando criterios establecidos por Sevilla (1969) y García-Domínguez *et al.* (1996), para la misma especie, los que dividen el ciclo gametogénico en 5 etapas: **(I)** Indiferenciación, **(II)** Desarrollo, **(III)** Madurez, **(IV)** Desove y **(V)** Posdesove. La época de reproducción es considerada como la etapa de desove.

5.5 PROPORCIÓN DE SEXOS

Se registró el sexo de cada organismo mediante la observación microscópica del tejido gonadal. Se calculó la proporción mensual y total de cada sexo, con la finalidad de determinar la influencia o sesgo de los resultados en el estudio por la presencia de organismos indiferenciados, organismos hermafroditas y el número de individuos de cada uno de los sexos.

5.6 ESTIMACIÓN DEL DIÁMETRO PROMEDIO DE LOS OVOCITOS

Con el fin de confirmar el carácter cualitativo de la escala de estadios de madurez, y de evaluar el crecimiento de los gametos femeninos, se determinó el diámetro promedio mensual de los ovocitos mediante imágenes digitalizadas de las preparaciones histológicas (realizando dichas mediciones con el Programa computacional Sigma Scan Pro4), utilizando sólo las preparaciones de las fases determinadas en: desarrollo, madurez y desove. Se eligieron al azar 7 preparaciones fijas por mes y en cada una de ellas se

midieron 100 ovocitos, pero sólo aquellos en los que se observó completamente el núcleo y el nucleolo, los individuos con pocos ovocitos medibles y extensa fagocitosis no fueron considerados, siguiendo los criterios de Grant y Tyler (1983a y 1983b).

5.7 ÍNDICE DE CONDICIÓN

Se estimó la condición física de los organismos mediante el Índice de Condición, utilizando la fórmula propuesta por Ricker (citado por Bolger y Connolly 1989):

$$I.C. = P.H. / L^{b}$$

donde:

I.C. = Índice de Condición

P.H. = Peso húmedo de la masa visceral (g)

L = Longitud anteroposterior del molusco (mm) elevada a la "b" (valor de la pendiente, resultante de la ecuación de correlación potencial de ambas variables).

Se obtuvieron promedios del índice de condición para cada colecta mensual, los resultados se graficaron.

Para validar la determinación del Índice de Condición se obtuvo la relación peso de la masa visceral contra longitud de las conchas, aplicándose a un modelo potencial, se registraron las estimaciones de cada parámetro, así como del coeficiente de correlación.

5.8 FACTORES AMBIENTALES

Los datos ambientales principales que se relacionan con las estrategias reproductivas son la temperatura y la disponibilidad de alimento. En el caso de los datos de temperatura se han obtenido por medio de los satélites de la NOAA, y el de la disponibilidad de alimento (utilizando como indicador la concentración de pigmentos

fotosintéticos: clorofila a), por el SeaWiFS Projejt, NASA/Goddard Space Fligth Center y ORBIMAGE.

Con la finalidad de establecer un año tipo y comparar las variaciones interanuales debidas a los efectos de "El Niño" y "La Niña" y de los eventos anti-Niño (Lluch-Cota *et al.* 1997), se determinó para ambos parámetros, dicha caracterización de la zona de estudio. En el caso de la temperatura, se tomó en cuenta una serie de once años, que abarca de 1984 a 1996, descontando los años "Niño" y "Niña". Asimismo, para la concentración de pigmentos, se efectuó un procedimiento similar pero con una serie de 1978 a 1986.

Para poder establecer la duración de los periodos "Niño" y "Niña", se compararon las diferencias que se presentaron en la temperatura superficial del mar en la zona de estudio, entre el "año tipo o promedio" y aquellas que se registraron a partir de las desviaciones (anomalías) por encima o por debajo de este promedio histórico, las cuales resultaron ser significativas, con lo anterior se estableció el periodo "El Niño" tomando como base a las anomalías positivas (mayo de 1997 a octubre de 1998) y "La Niña" de las negativas (noviembre de 1998 a noviembre de 1999).

6. RESULTADOS

6.1 REPRODUCCIÓN

La anatomía microscópica de cada una de las fases de la gónada de *P. mazatlanica*, corresponde a la descrita por Sevilla (1969), Saucedo-Lastra (1995), García-Domínguez *et al.* (1996) y Saucedo-Lastra y Monteforte (1997).

La descripción histológica observada de las fases del ciclo gonádico de *P. mazatlanica* consiste de cinco estadios:

Indiferenciación

Todos los organismos examinados fueron adultos. En ambos, machos y hembras, no hubo evidencia de desarrollo gonadal. No fue posible distinguir el sexo. El tejido conectivo ocupaba todo el espacio entre los folículos vacíos y colapsados (Fig.2).

Desarrollo (Gametogénesis)

Intercalados con el tejido conjuntivo que forma la masa visceral se observan los folículos en diferentes grados de desarrollo (Figs.3a y 3b). En su interior hay una cantidad variable de células germinales y de gametos maduros que permanecen almacenados en espera del desove. Al crecer los folículos, disminuye la cantidad de tejido conjuntivo y eventualmente es sustituido casi por completo por tejido gonádico.

Madurez

En esta fase las células del tejido conjuntivo han sido sustituidas completamente por los folículos que forman el tejido gonádico y todo el espacio observable entre el manto, hepatopáncreas y tubo digestivo esta lleno de folículos en cuyo interior, prácticamente

solo hay gametos maduros junto con unas pocas células germinales. No hay espacios vacíos entre los folículos ni dentro de ellos (Figs. 4a y 4b).

Desove

Esta es la fase de reproducción en la que se expulsan al medio ambiente los gametos. Los folículos se observan más o menos vacíos dependiendo de lo avanzado del desove; las membranas foliculares se observan rotas y no es posible diferenciar un folículo de otro. Se observa una gran cantidad de espacios vacíos entre ellos (Figs. 5a y 5b).

Postdesove

Al terminar el desove los folículos pueden seguir dos caminos: en el primero, cuando los individuos desovan al inicio de la temporada de reproducción, reinician la gametogénesis sin pasar por la fase de postdesove (Figs. 6a y 6b). En este caso, los gametos que no fueron expulsados permanecen almacenados en espera de la siguiente fase de madurez y no son reabsorbidos por los amibocitos. En el segundo camino, los folículos rotos son invadidos por amibocitos que fagocitan y reabsorben los gametos que no fueron expulsados, así como los restos de las membranas foliculares. Simultáneamente, las células del tejido conjuntivo proliferan y ocupan todo el espacio disponible.

Hermafrodita

El examen de la microfotografía revela la presencia de espermatozoides en el centro del folículo (flechas) rodeado por ovocitos maduros (Fig.7).



Figura 2. Estadío Indiferenciado.

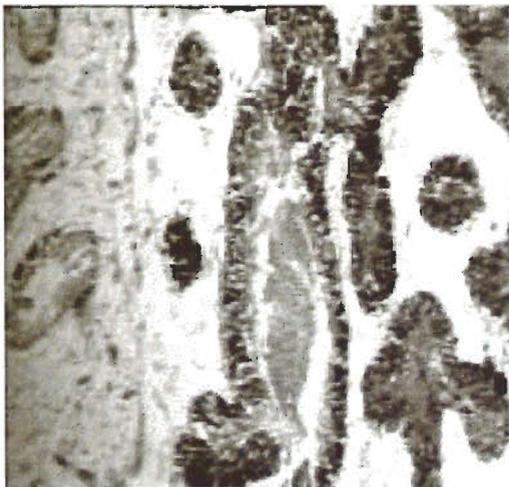


Figura 3a. Estadío de desarrollo en macho.

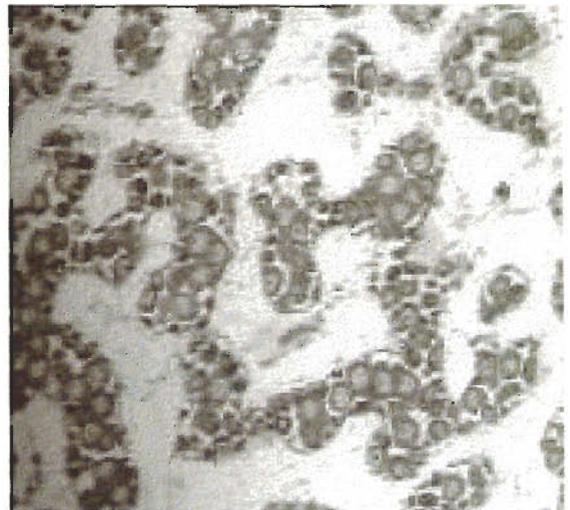


Figura 3b. Estadío de desarrollo en hembra.



Figura 4a. Estadío de madurez en macho.

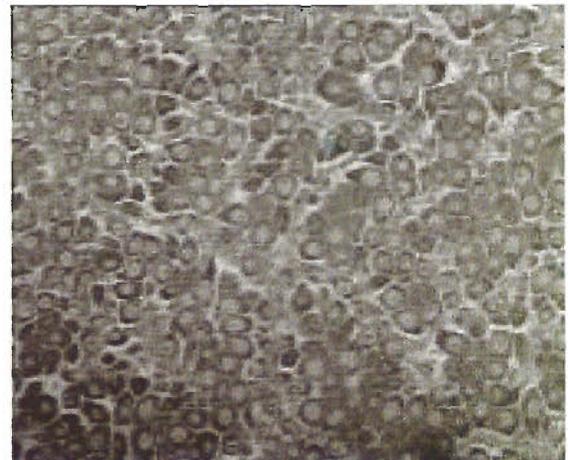


Figura 4b. Estadío de madurez en hembra.



Figura 5a. Estadio de desove en macho.

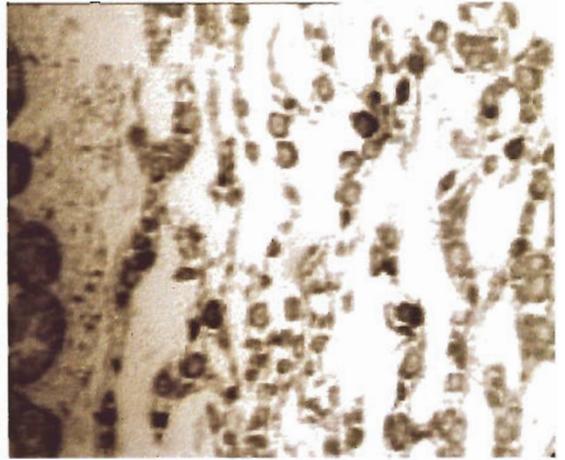


Figura 5b. Estadio de desove en hembra.

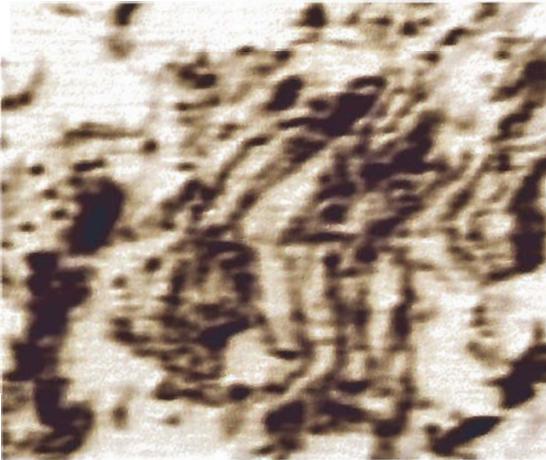


Figura 6a. Estadio de postdesove en macho.

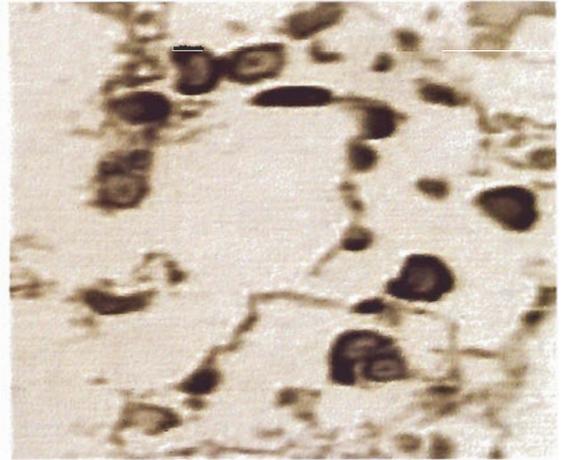


Figura 6b. Estadio de postdesove en hembra.

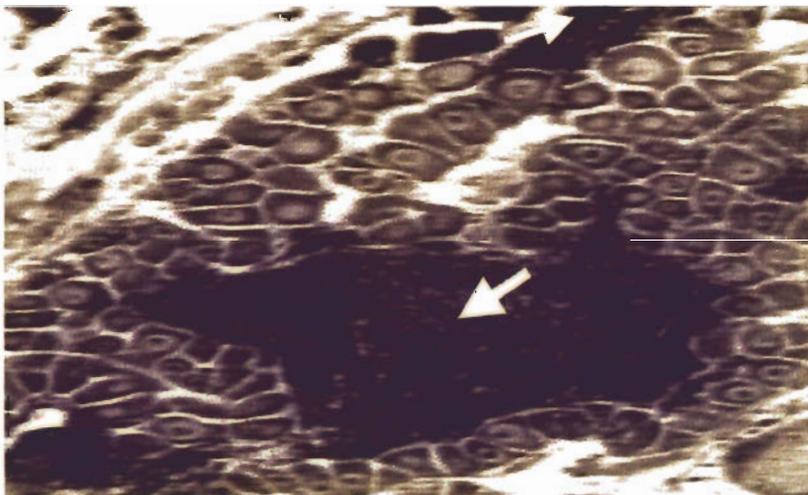


Figura 7. Especimen hermafrodita

6.1.1. CICLO GONÁDICO

En el caso de "El Niño" (Fig.8), se observa que la actividad reproductiva, es decir la época en que se presentan organismos en las fases de desove y postdesove, fue de julio a diciembre de 1997 y de julio a octubre de 1998. Así mismo, la actividad de desove fue de mayor duración, en cuanto al tiempo de los meses que esta abarcó (4.5 meses en promedio), y más intensa en relación al porcentaje de la población desovante, con una frecuencia promedio del 69%, y con una máxima de hasta un 90% (agosto de 1998). El periodo se caracterizó, asimismo, por presentar actividad gametogénica constante (fases de desarrollo y madurez) y relativamente poca inactividad (fase de indiferenciación).

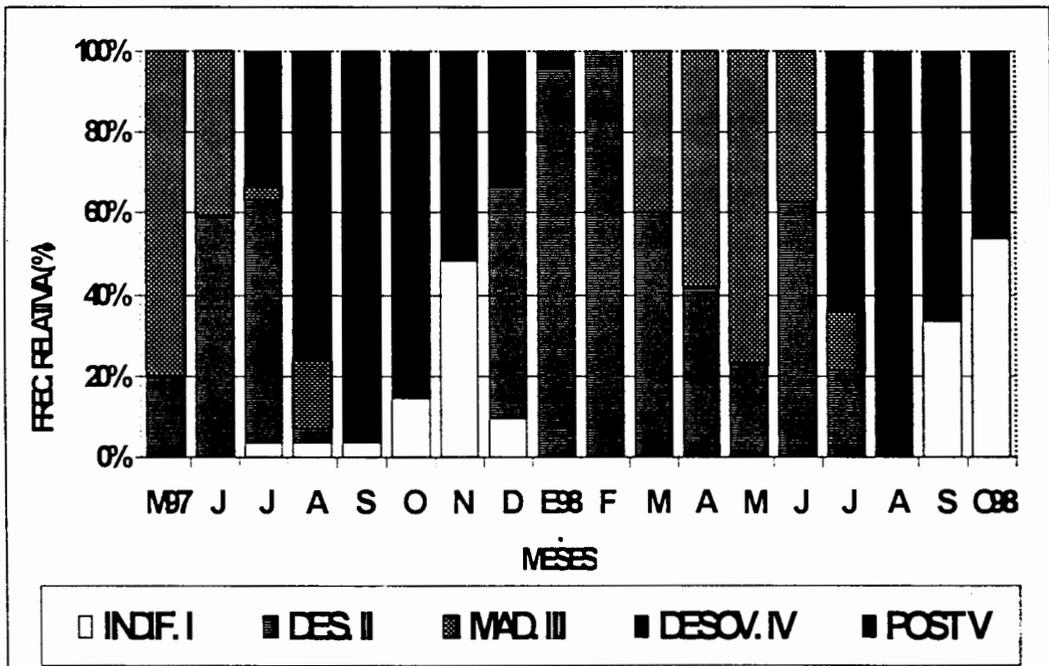


Figura 8. Ciclo Gonádico en "El Niño". Mayo-1997 a Octubre-1998.

Con lo que respecta a "La Niña" (Fig.9), la actividad desovante fue de menor duración (tres meses), y de menor intensidad en relación al porcentaje de la población desovante, ya que la frecuencia promedio fue de 45.6%, y su máxima de 70%,

predominando la fase de desarrollo y, siendo la fase de inactividad más acentuada. En este periodo la actividad comprendió de agosto a noviembre de 1999.

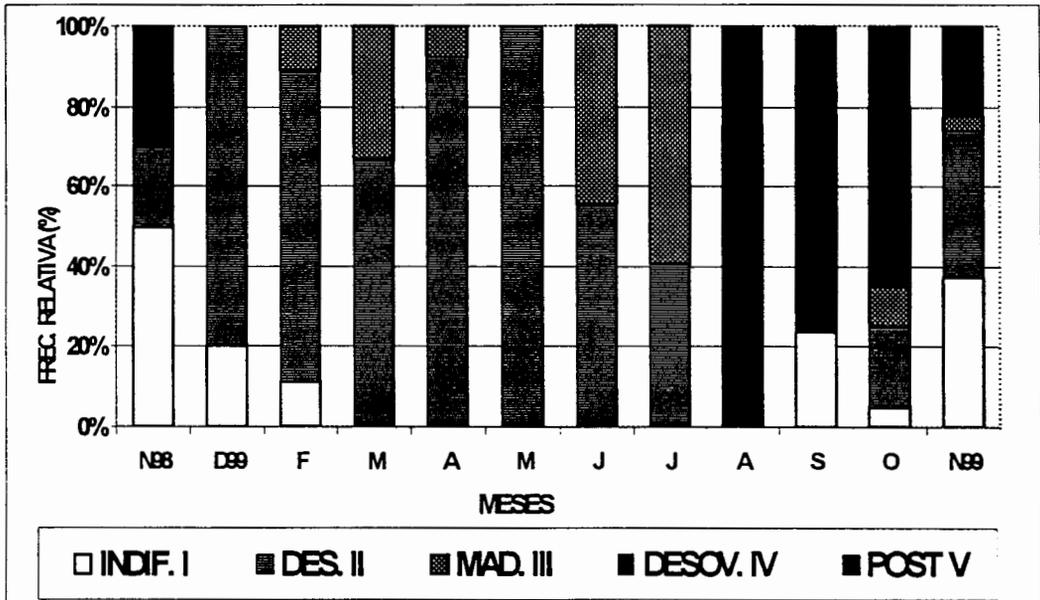


Figura 9. Ciclo Gonádico en "La Niña". Noviembre-1998 a Noviembre-1999.

6.1.2. PROPORCIÓN DE SEXOS.

En ambos casos, la proporción de machos fue mayor que la de hembras. Durante "El Niño" (Fig.10), la proporción fue de 1.2M:1H, no difiriendo significativamente ($p < .05$, $n=337$) de la esperada de 1:1.

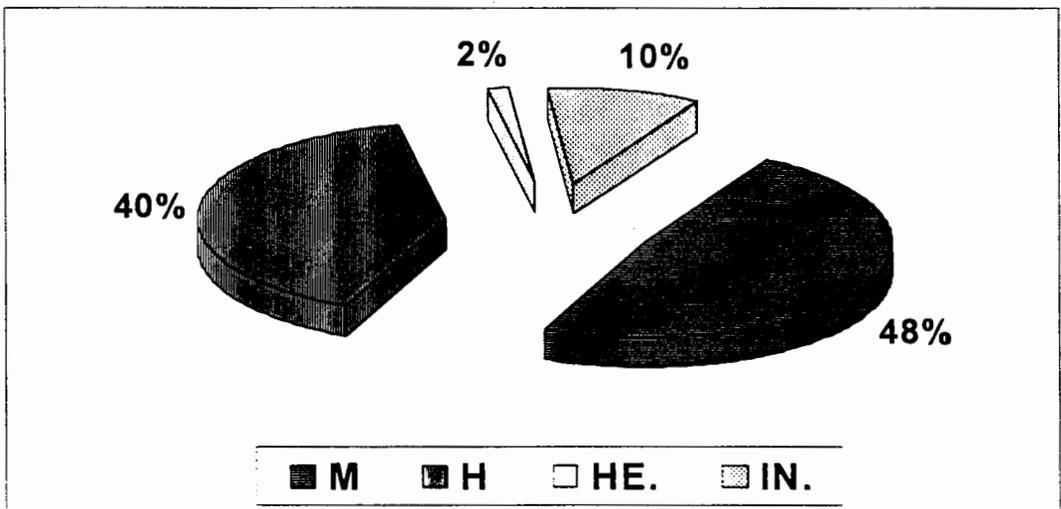


Figura 10. Proporción de sexos en "El Niño".

A pesar de que no hubo diferencias significativas en la proporción global, si se presentaron algunas diferencias dentro del periodo, como se observa en la Fig.11, donde en algunos meses, por ejemplo, predominaron las hembras (mayo, junio y diciembre de 1997; y enero de 1998) y en los restantes los machos.

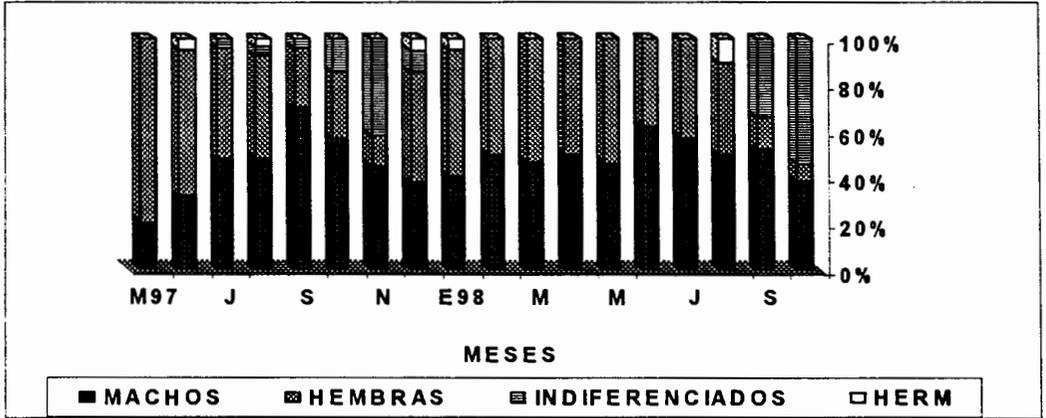


Figura 11. Variaciones de la proporción relativa de organismos machos- hembras, indiferenciados y hermafroditas en "El Niño".

En relación al evento reproductivo, y tomando en cuenta los sexos, se tienen variaciones en el sentido de que las fases de madurez y desove fueron, respecto al tiempo de ocurrencia, diferentes para los organismos machos respecto a las hembras (Fig.12).

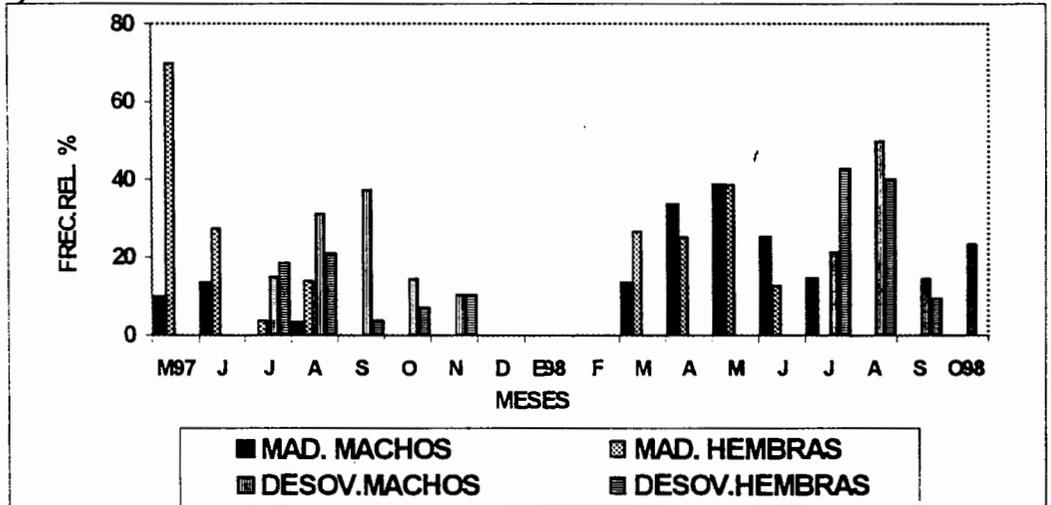


Figura 12. Variación de las fases de Madurez y Desove, en relación al sexo de los organismos, en "El Niño".

De mayo a julio de 1997, se observa que la mayor frecuencia de organismos maduros se presenta en las hembras respecto de los machos; y de marzo a julio de 1998, las hembras maduraron en mayor proporción que los machos, para posteriormente equilibrar esta tendencia. La fase de desove en el periodo fue más equilibrada entre los sexos, pero aún así reflejando lo ocurrido en la fase previa.

Para "La Niña" (Fig.13), la proporción fue de 1.3M:1H, no difiriendo significativamente ($p < .05$, $n = 196$) de la esperada de 1:1.

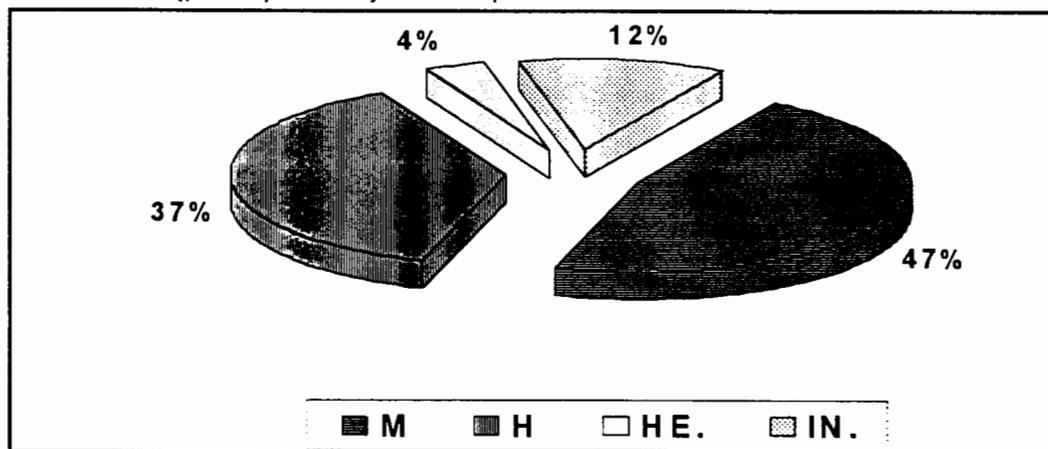


Figura 13. Proporción de sexos en "La Niña".

Al igual que en el periodo descrito anteriormente, en la Fig.14 se presentan las variaciones existentes, aquí la prevalencia de machos en la mayoría de los meses es más manifiesta, así como la presencia de organismos indiferenciados.

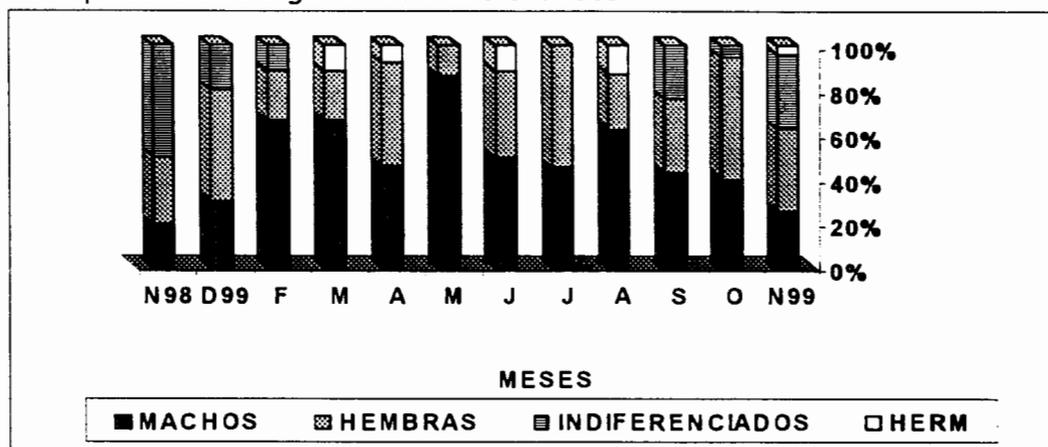


Figura 14. Variaciones de la proporción relativa de organismos machos-hembras, indiferenciados y hermafroditas en La "Niña".

Las variaciones en las fases de madurez y desove, respecto al sexo de los organismos, se muestran en la Fig.15, donde prevalecen las hembras en la fase de madurez (febrero, abril, julio y octubre de 1999) pero en la de mayor frecuencia de desove los machos (agosto y septiembre de 1999).

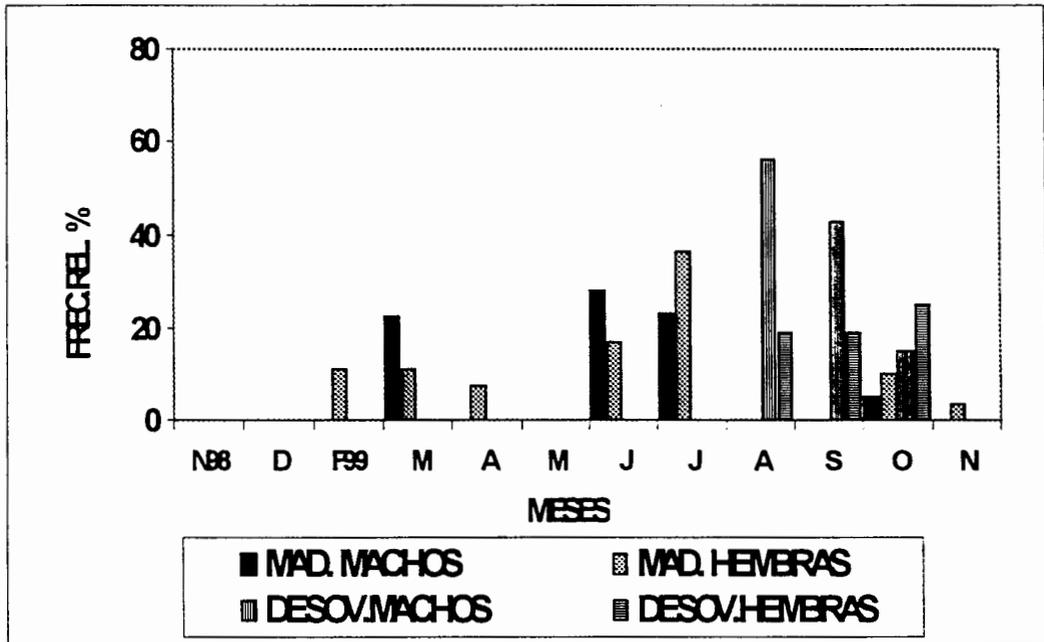


Figura 15. Variación de las fases de Madurez y Desove, en relación al sexo de los organismos, en "La Niña".

6.1.3. DIÁMETRO DE LOS OVOCITOS

El diámetro promedio de los ovocitos presentó variaciones a lo largo del periodo de muestreo. Así, en el correspondiente a "El Niño", los valores máximos en el promedio mensual se alcanzaron en mayo de 1997, con 78.6 μm , en tanto que el valor mínimo promedio correspondió a julio de 1998, con 56.6 μm (Fig. 16). Con un promedio para toda la muestra de 65.2 μm (DS=6.7), aunque no fue igual en todos los meses.

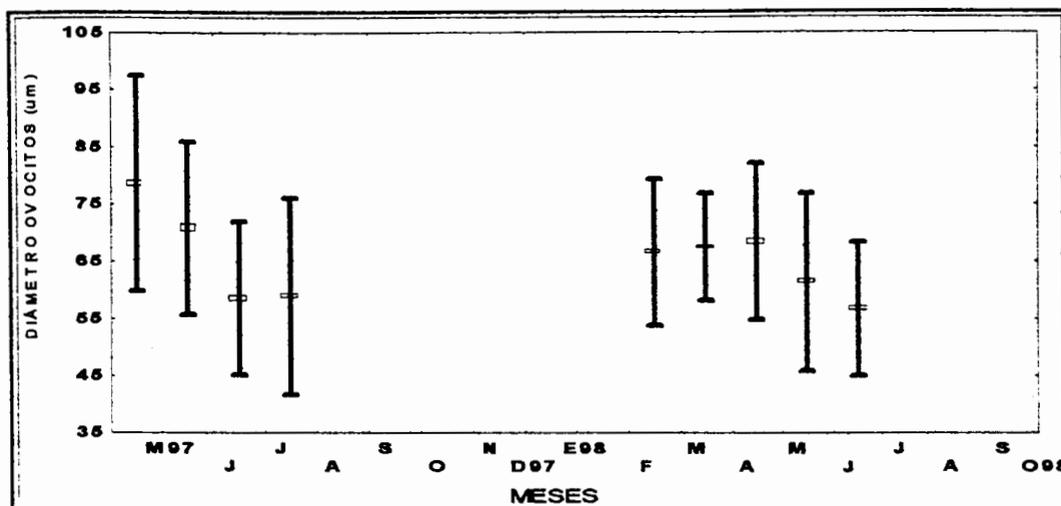


Figura 16. Diámetro promedio mensual de ovocitos; media \pm desviación estandar en *P. mazatlanica*, en "El Niño".

No todos los meses presentaron ovocitos maduros (diciembre de 1997, septiembre y octubre de 1998) o en su defecto, presentaron pocos y con extensa fagocitosis como es el caso de septiembre, octubre y noviembre de 1997 y, septiembre y octubre de 1998.

En lo que respecta al diámetro mensual de los ovocitos y su relación con las fases de madurez y desove, esta se presenta en la Fig.17, donde los valores promedio más altos se corresponden con los de madurez.

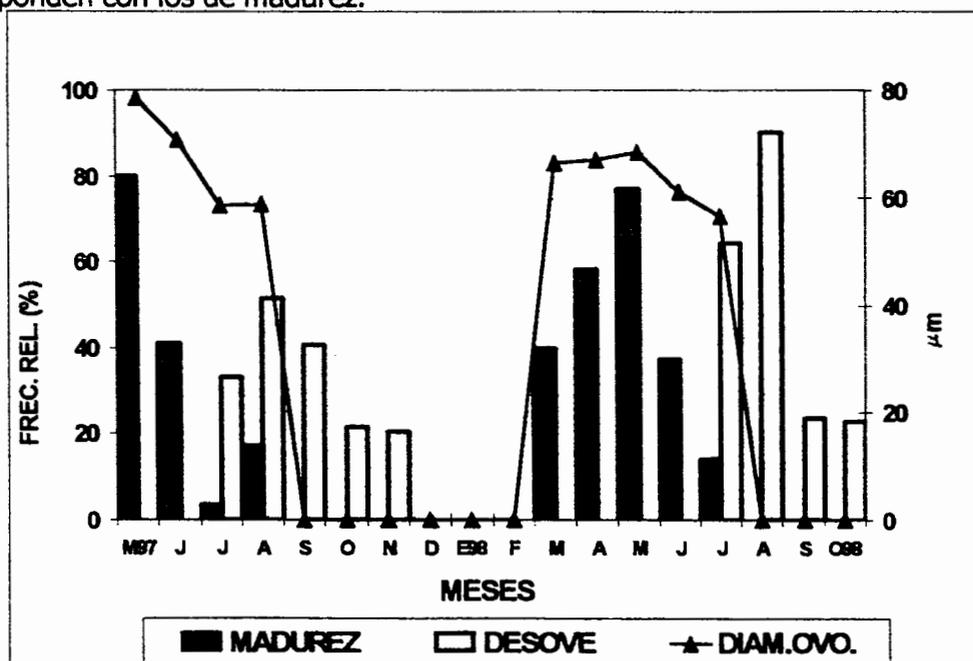


Figura 17. Diámetro promedio mensual de los ovocitos y la frecuencia de madurez y desove de las hembras, en "El Niño".

En "La Niña", el promedio mensual para toda la muestra fue de $68.6 \mu\text{m}$ (DS=3.7), variando de $63 \mu\text{m}$ en septiembre de 1999, a $68.1 \mu\text{m}$ en agosto del mismo año (Fig. 18).

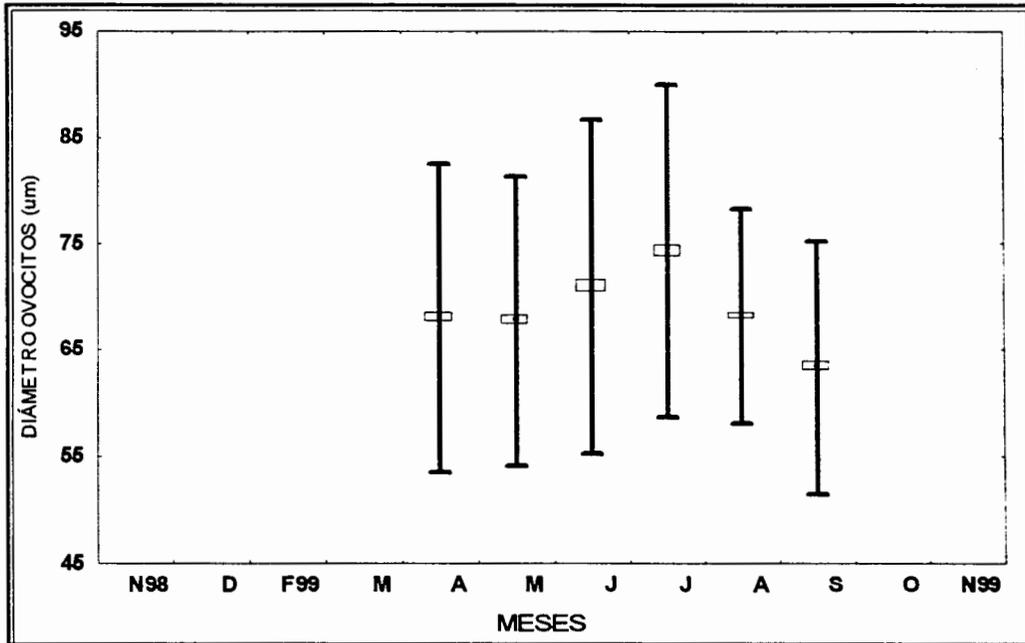


Figura 18. Diámetro promedio mensual de ovocitos; media +/- desviación estándar en *P. mazatlanica*, en "La Niña".

En noviembre y diciembre de 1998, así como en febrero y marzo de 1999, no presentaron ovocitos maduros y, en octubre y noviembre de 1997 se presentaron pocos y con extensa fagocitosis.

En la Fig.19, se presenta la relación del diámetro promedio mensual de los ovocitos y las fases de madurez y desove, en donde los valores más altos registrados corresponden a las frecuencias más altas de madurez y desove (junio, julio, agosto y septiembre de 1999), y las más bajas con los meses de desarrollo (noviembre y diciembre de 1998, y febrero-marzo de 1999) y postdesove en noviembre de 1999.

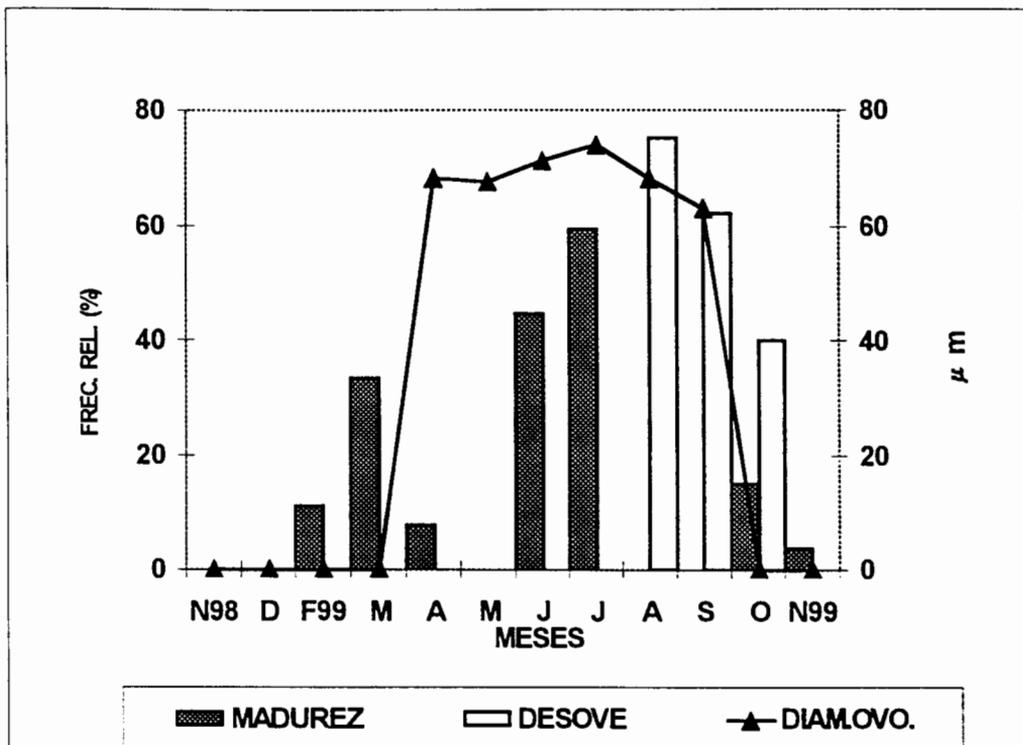


Figura 19 Diámetro promedio mensual de los ovocitos y la frecuencia de madurez y desove de las hembras, en "La Niña".

6.2. ÍNDICE DE CONDICIÓN

Para validar la determinación del Índice de Condición, se relacionaron mediante correlación potencial, las variables de Altura contra Peso Masa Visceral, obteniéndose un valor de $r=0.88$ y de la pendiente $b=2.77$ (significativo a $p<.05$, $n=533$).

En "El Niño", el mínimo valor (8.9%) se tuvo en septiembre de 1997 y el máximo (16.1%) en febrero de 1998, siendo el promedio de 12.5%. En relación con el proceso reproductivo (Fig.20), los valores del índice fluctuaron en relación a las fases reproductivas de la especie, presentándose los máximos valores en el desarrollo, seguidos por los de madurez, y los mínimos en el desove. Asimismo, existe correlación significativa entre el Índice de Condición y la fase de madurez ($r= 0.50$, $p<.05$, $n= 18$) y de desove ($r= -0.73$, $p<.05$, $n= 18$).

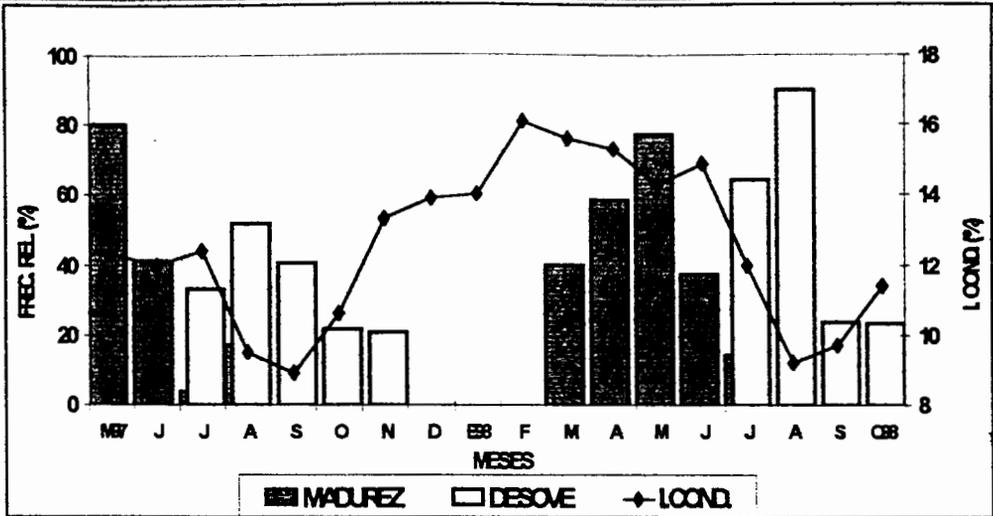


Figura 20. Índice de Condición y las fases de madurez desove, en "El Niño".

En "La Niña", en octubre de 1999, se presenta el mínimo valor (8.7%) y en noviembre de 1998, el máximo (15.7%); siendo el promedio de 13.5%. La relación con el proceso reproductivo se muestra en la Fig.21, donde los valores del índice fluctuaron, al igual que en "El Niño", en relación a las fases reproductivas de la especie, presentándose los máximos valores en el desarrollo, seguidos por los de madurez, y los mínimos en el desove. En este caso no existe correlación significativa entre el Índice de Condición y la fase de madurez, pero si en la de desove ($r = -0.60, p < .05, n = 12$).

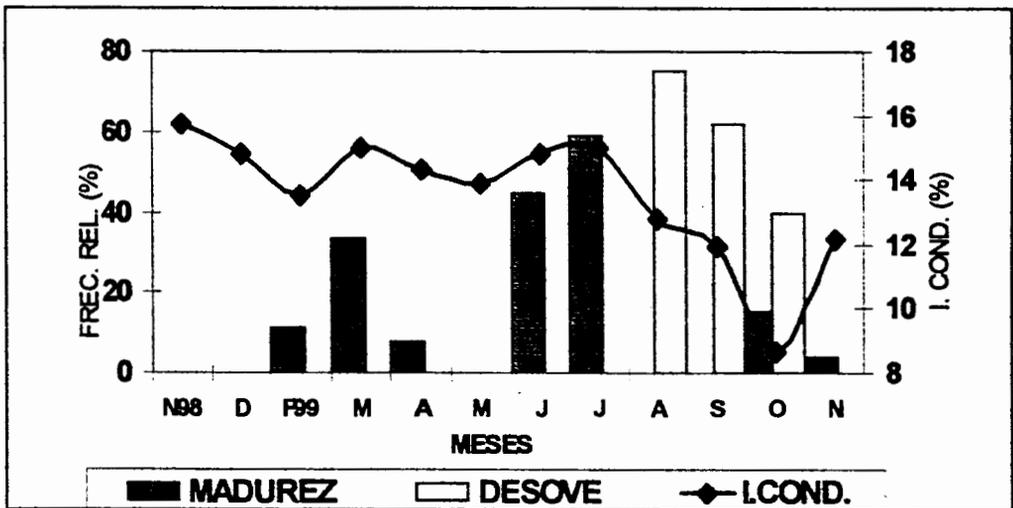


Figura 21. Índice de Condición y las fases de madurez y desove, en "La Niña".

En general, para ambos periodos, las variaciones del Índice de Condición, se relacionan con las fases reproductivas de la especie, siguiendo un patrón similar en ambos periodos, presentando sus máximos valores en la fase de madurez, y los mínimos en las de desove.

6.3 PARÁMETROS AMBIENTALES

6.3.1 Temperatura

En la Fig.22 se muestra la temperatura superficial del mar correspondiente al "año tipo" que se estableció para la zona de estudio, la cual varía de 20.4 a 28.9 °C. Los valores más altos se registran en septiembre, y los más bajos en marzo.

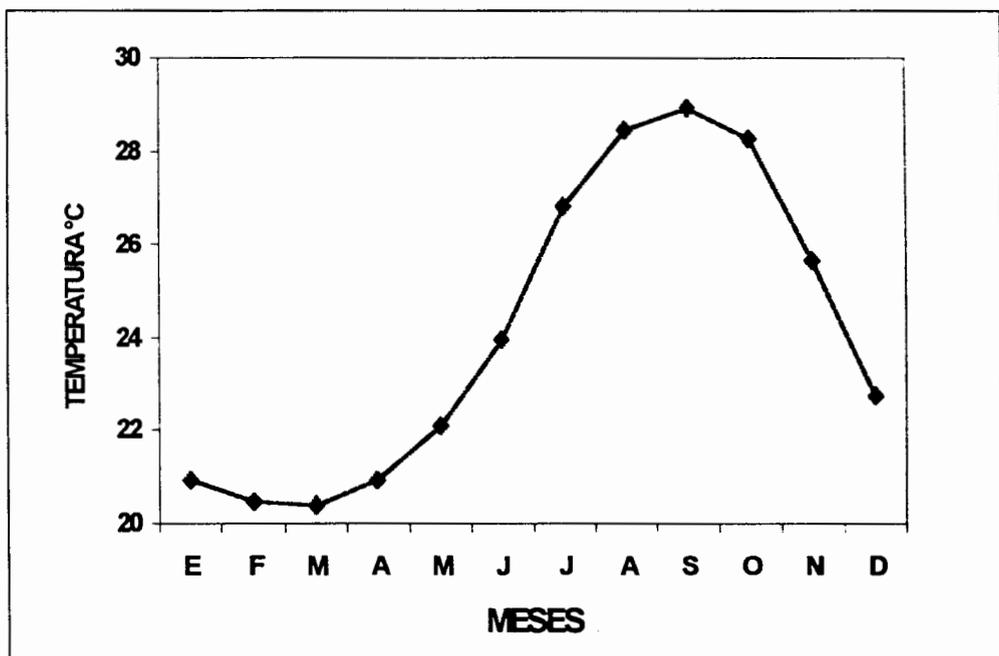


Fig. 22. Temperatura del "año tipo" de la Zona de estudio.

Por otra parte, la temperatura durante el periodo de estudio muestra variaciones interanuales, denotándose la marcada influencia de los fenómenos de "El Niño" y "La

Niña", comparadas con el año tipo establecido. A partir de lo anterior, y para marcar las diferencias y duración de cada periodo, se tomó en cuenta las anomalías (Livezey *et al.* 1997) registradas en comparativa con el año tipo, así las positivas denotaron "El Niño" (mayo-97 a octubre-98), y las negativas "La Niña" (noviembre-98 a noviembre-99).

En "El Niño", se observa su presencia a partir de mediados de la primavera (mayo de 1997) hasta el otoño (octubre de 1998), con la máxima temperatura en agosto de 1997 (30.8°C) y la mínima en abril de 1998 (21.56°C), asimismo, la máxima anomalía se registra en enero de 1998, siendo de +2.8°C y la mínima de +0.6°C en octubre de 1998 (Fig.23).

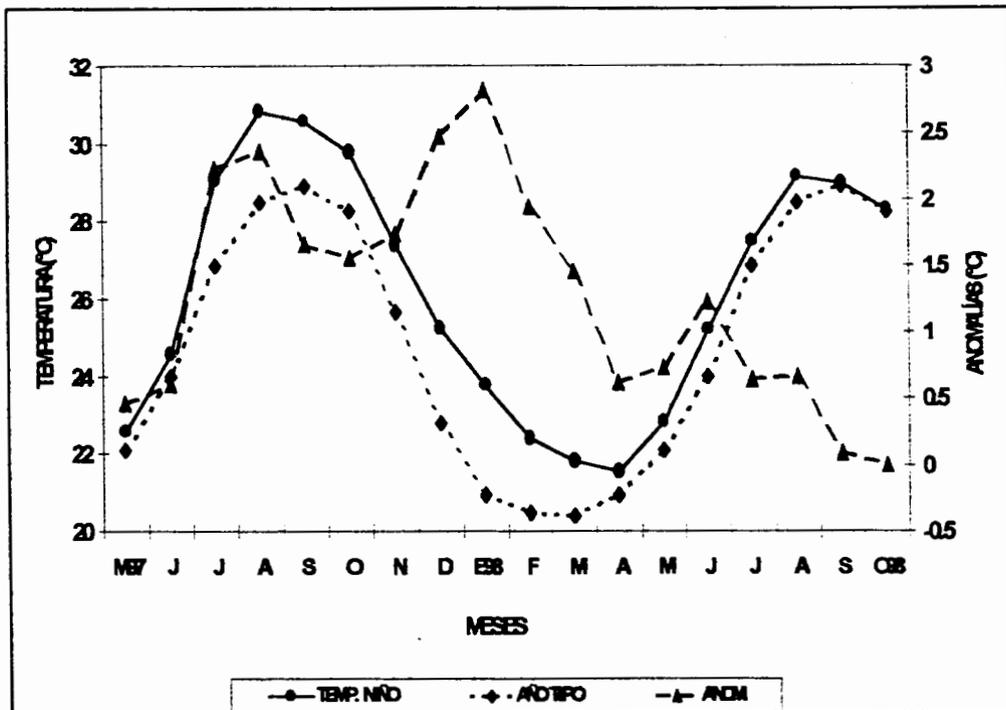


Figura 23. Temperaturas del año Tipo, en "El Niño" y Anomalías. Mayo-97 a Octubre-98.

En "La Niña", su influencia inicia a finales del otoño (noviembre de 1998), cuando la máxima temperatura se presenta en septiembre de 1999 (28.2°C) y la mínima en febrero del mismo año (19.09°C), presentando una máxima anomalía de -1.4°C, en febrero de 1999 y una mínima de -0.22°C en julio de 1999 (Fig.24).

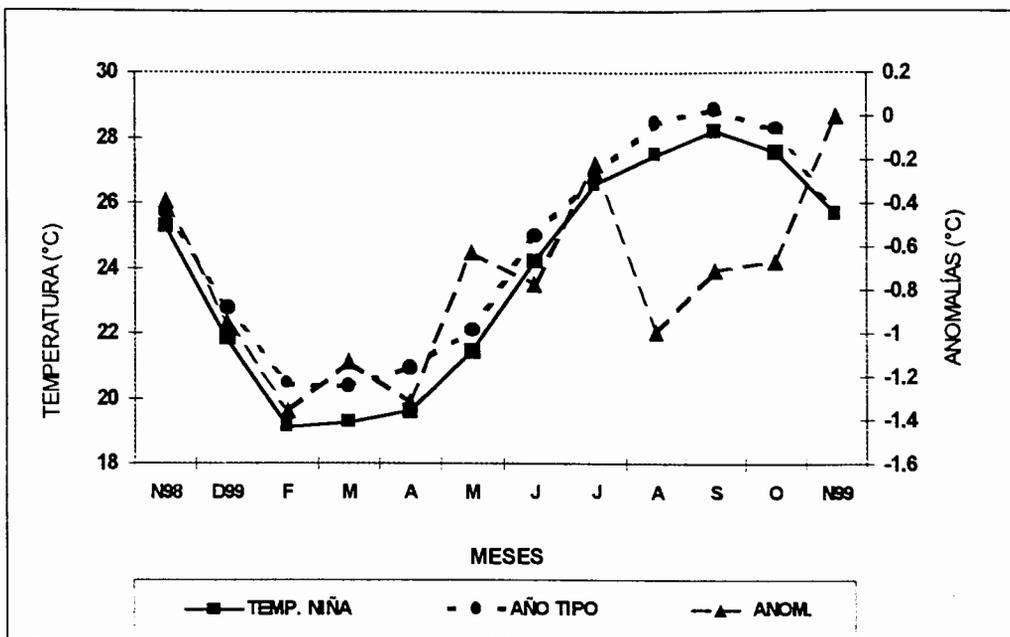


Figura 24. Temperaturas del año Tipo, en "La Niña" y Anomalías. Noviembre-98 a Noviembre-99.

Las diferencias entre la máxima temperatura registrada entre un periodo y otro fue de 2.6°C (30.8°C en agosto 1997 vs 28.2°C en septiembre 1999, "El Niño" y "La Niña", respectivamente), y la mínima de 2.4°C (21.5°C en abril 1998 y 19.09°C en febrero 1999, en "El Niño" y "La Niña", respectivamente).

Para ambos periodos, las temperaturas registradas fueron significativamente diferentes ($p < .05$, $n=18$ y $n=12$, respectivamente), del año tipo establecido.

6.3.2 Relación de la temperatura con el ciclo gonádico

La relación del ciclo reproductivo con la temperatura, para ambos periodos, presenta una relación significativa ($p < .05$), siendo en el caso de "El Niño" (Fig.25) con las fases de madurez y desove ($r=-0.72$ y $r=0.74$, respectivamente, $n=18$); y en "La Niña" (Fig.26), sólo con la fase de desove ($r=0.66$, $n=12$). Para ambos periodos, la fase desovante ocurrió entre el intervalo de 27 a 30°C, suspendiéndose por debajo de los 25°C.

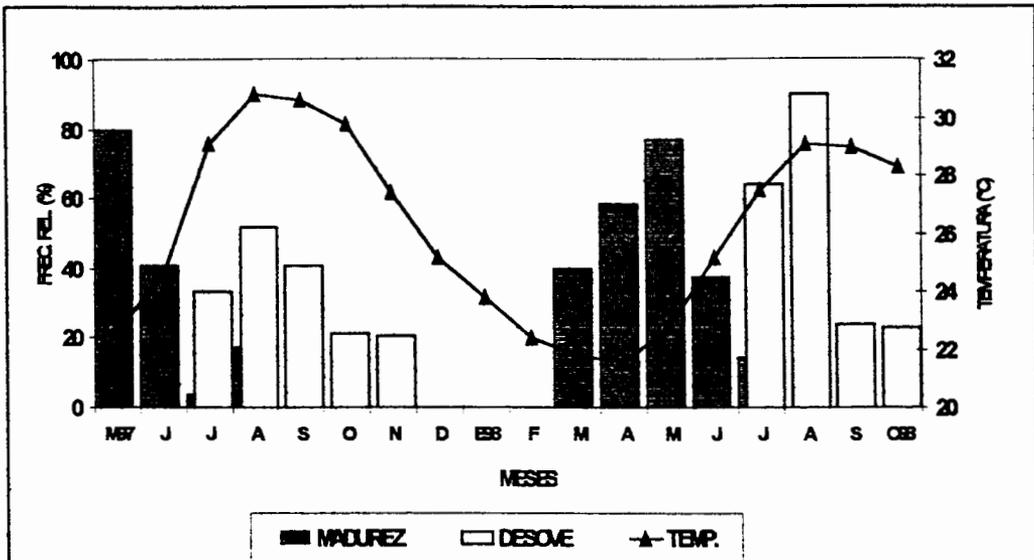


Figura 25. Temperatura contra madurez y desove, en "El Niño".

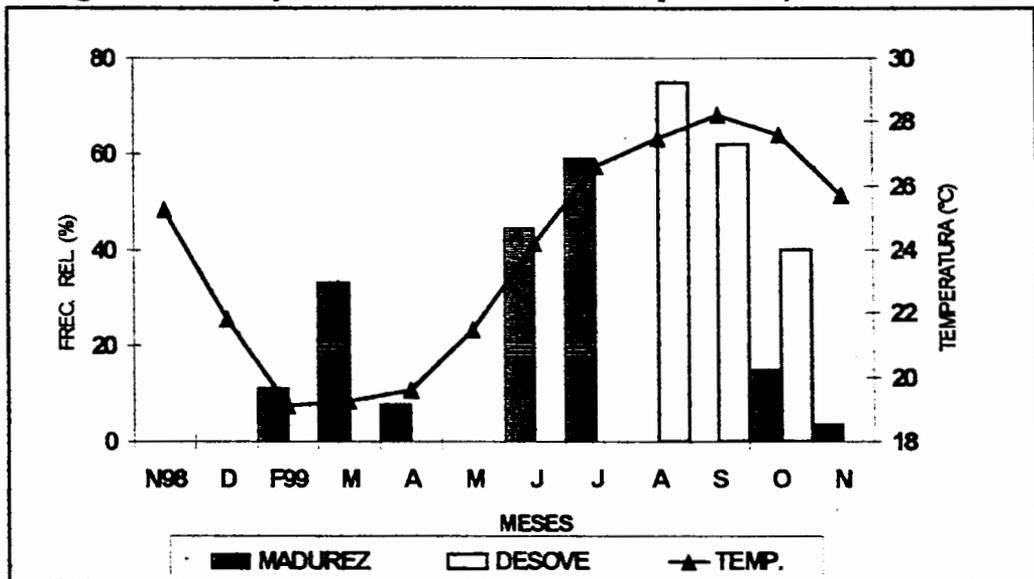


Figura 26. Temperatura contra madurez y desove, en "La Niña".

La fase de madurez, en "El Niño" se inició a partir de los 22°C, y en "La Niña" a partir de los 19°C, siendo más alta la frecuencia en el primero. En "El Niño", los más altos porcentajes de población desovante, coinciden con los registros de las temperaturas más altas tanto en agosto de 1997 como en agosto de 1998; pero no así en el caso de "La Niña", cuyo porcentaje mayor se presentó en agosto de 1999, mientras que la mayor temperatura se registró en septiembre del mismo año.

Las variaciones del Índice de Condición en ambos periodos fluctúan en forma inversa conforme lo hace la temperatura, siendo mayores los porcentajes a menor temperatura y viceversa. Se presenta una correlación significativa ($p < .05$) para ambos periodos: siendo para "El Niño" de $r = -.86$ ($n = 337$); y para "La Niña" de $r = -.53$ ($n = 196$), mostrados en las Figs. 27 y 28, respectivamente.

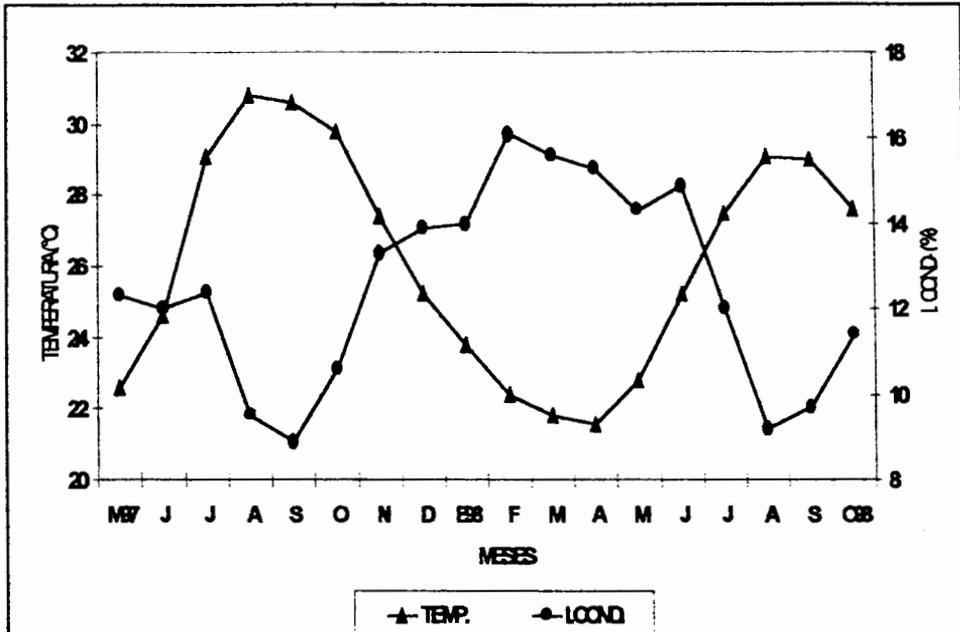


Figura 27. Temperatura contra Índice de Condición, en "El Niño".

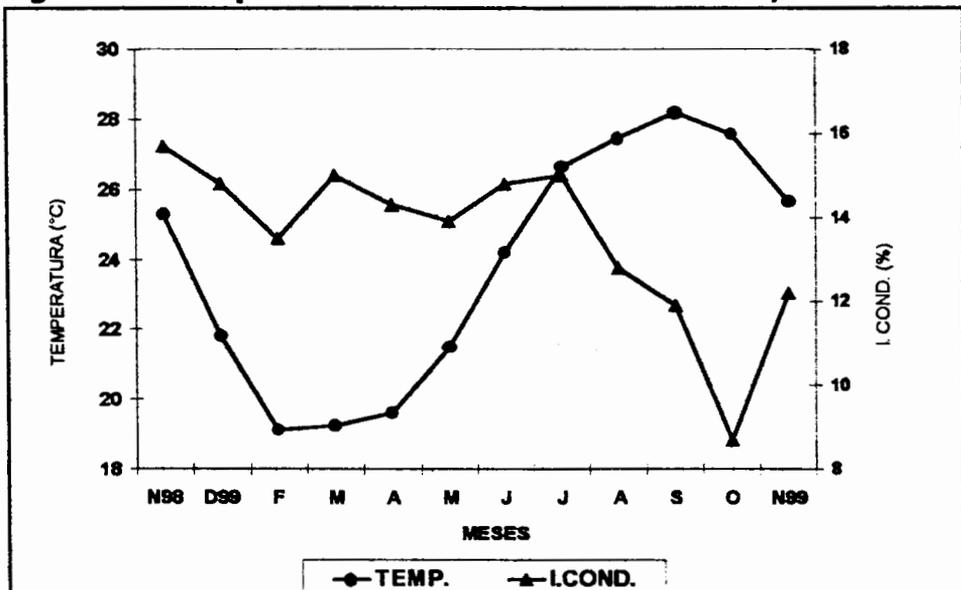


Figura 28. Temperatura contra Índice de Condición, en "La Niña".

La relación de este parámetro ambiental con el diámetro promedio mensual de los ovocitos, en el caso de "El Niño" (Fig. 29), es inversa y significativa (a $p < .05$, $r = -.51$, $n = 18$), correspondiendo los mayores diámetros, es decir, a las fases de desarrollo y madurez, con la menor temperatura.

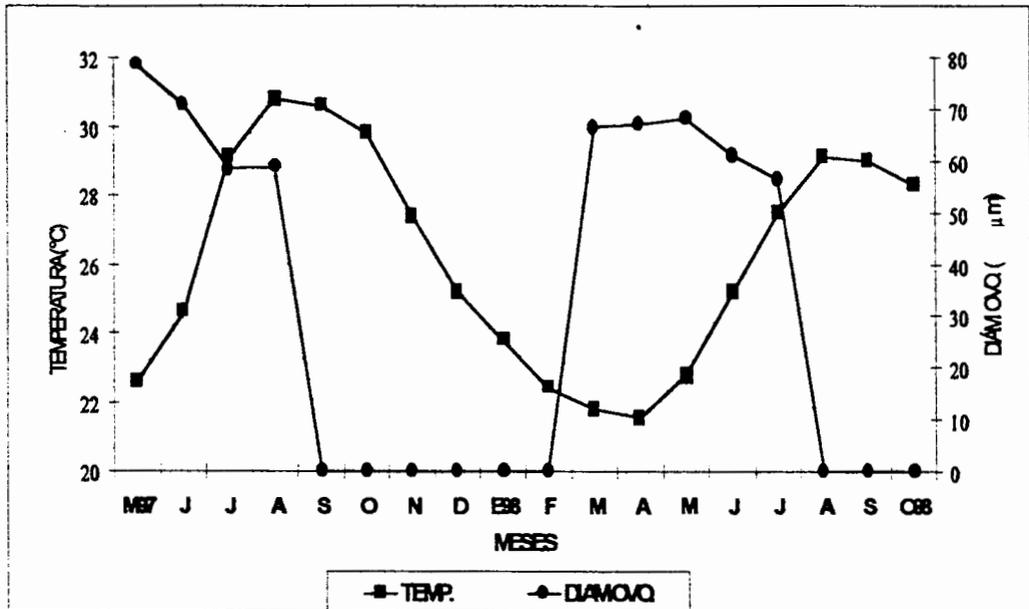


Figura 29. Temperatura contra diámetro promedio mensual de los ovocitos, en "El Niño".

En lo que corresponde a "La Niña" (Fig.30), no se observa una clara relación del diámetro promedio mensual de los ovocitos con la temperatura ($r = 0.24$).

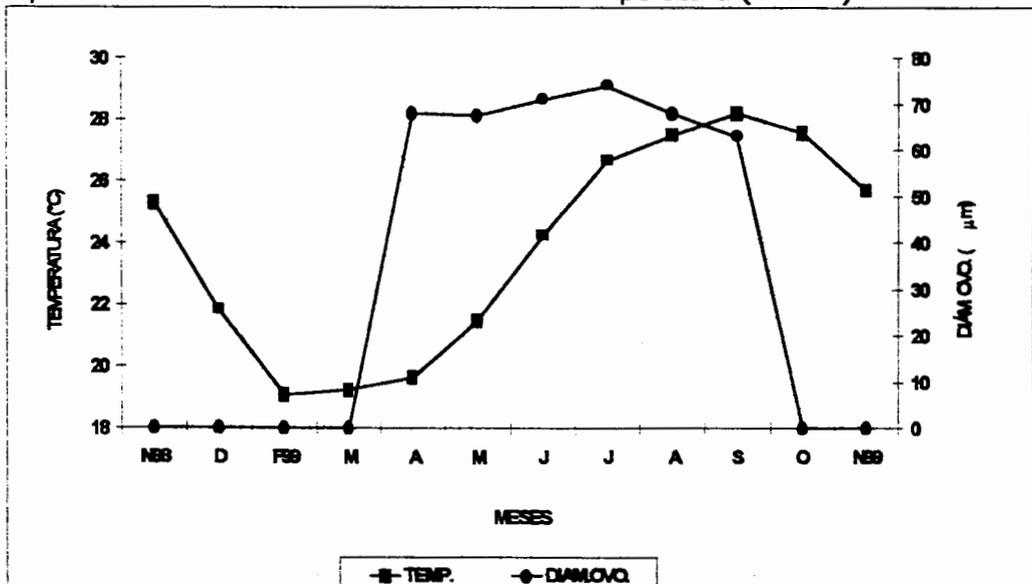


Figura 30. Temperatura contra diámetro promedio mensual de los ovocitos, en "La Niña".

6.3.3 Concentración de pigmentos

Para establecer la caracterización tipo de la zona de estudio, los datos de concentración de pigmentos (mg/m^3) se obtuvieron del Sensor Coastal Zone Color Scanner (CZCS) de un periodo que abarcó los años de 1978 a 1986. En este año tipo, la máxima concentración se presenta en enero ($1.11 \text{ mg}/\text{m}^3$) y la mínima en agosto ($0.126 \text{ mg}/\text{m}^3$); correspondiendo en general las altas concentraciones a la estación invernal (promedio de $0.72 \text{ mg}/\text{m}^3$) y, las mínimas en las restantes estaciones del año (promedio de $0.17 \text{ mg}/\text{m}^3$); manteniendo una relación inversa con la temperatura (Fig.31).

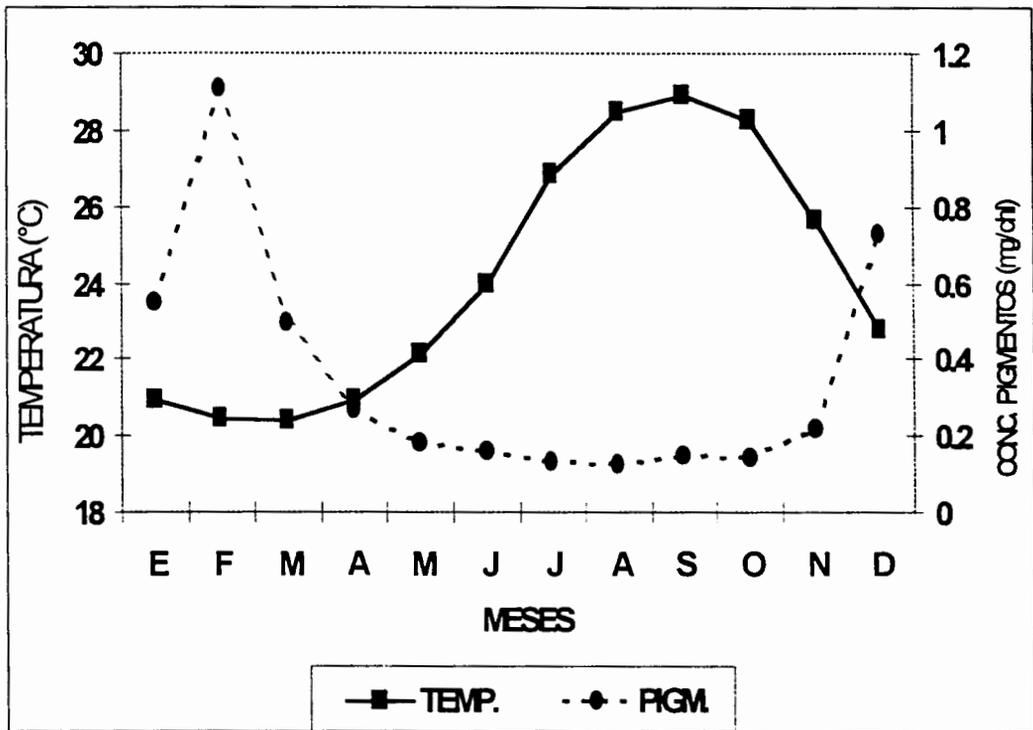


Figura 31. Temperatura contra la Concentración de Pigmentos: Año Tipo.

Los datos de concentración de pigmentos, se obtuvieron del Proyecto SeaWiFS, de satélites de la NASA, a partir de septiembre de 1997, lo que nos daría una carencia de información para "El Niño", de mayo a agosto de ese mismo año, por lo que se realizó una correlación lineal entre temperatura y concentración de pigmentos, para ver la posibilidad

de extrapolar hacia los datos faltantes. La correlación fue significativa (a $p < .05$, $n = 14$) con un valor de $r = -.7508$, y a partir de lo anterior, se trabajó incluyendo los datos proyectados desde mayo a agosto de 1997.

En ambos periodos (Figs. 32 y 33), las concentraciones de pigmentos fueron significativamente diferentes del año tipo establecido (a $p < .05$, $n = 18$ y $n = 12$, "El Niño" y "La Niña", respectivamente).

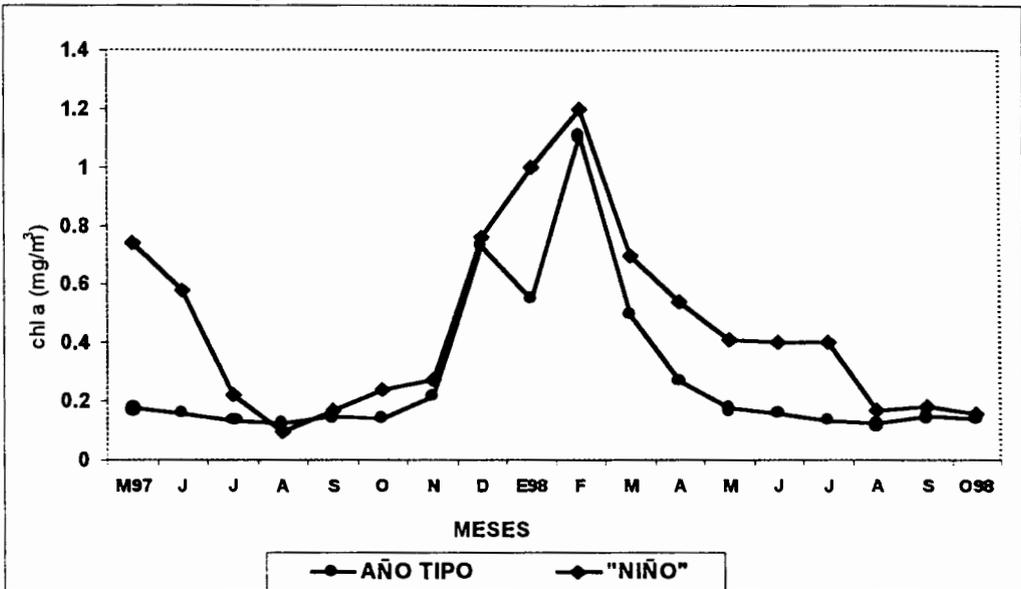


Fig. 32. Concentración de pigmentos: año tipo contra "El Niño".

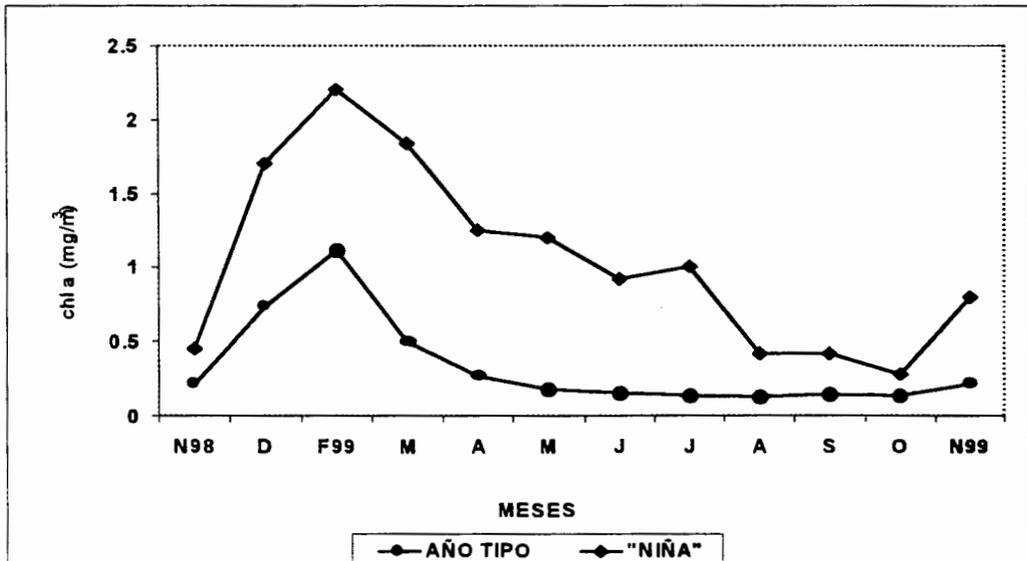


Fig. 33. Concentración de pigmentos: año tipo contra "La Niña".

Para ambos periodos, las fluctuaciones estacionales que se presentan en la concentración de pigmentos, son similares a las del año tipo.

En "El Niño", el promedio de concentración fue de 0.32 mg/m^3 , siendo la máxima en febrero de 1998 (1.2 mg/m^3) y la mínima en agosto de 1997 (0.096 mg/m^3). En lo que respecta a "La Niña", el promedio fue de 1.2 mg/m^3 ; la máxima de 2.2 mg/m^3 en febrero de 1999 y la mínima de 0.28 mg/m^3 en octubre de 1999.

En ambos periodos, la concentración de pigmentos se correlaciona en forma inversa y significativamente ($p < .05$) con la temperatura, siendo el coeficiente para "El Niño" de $r = -.797$ y de $r = -.763$ para "La Niña" ($n=18$ y 13 , respectivamente), en las Figs. 34 y 35 se muestran gráficamente estas relaciones.

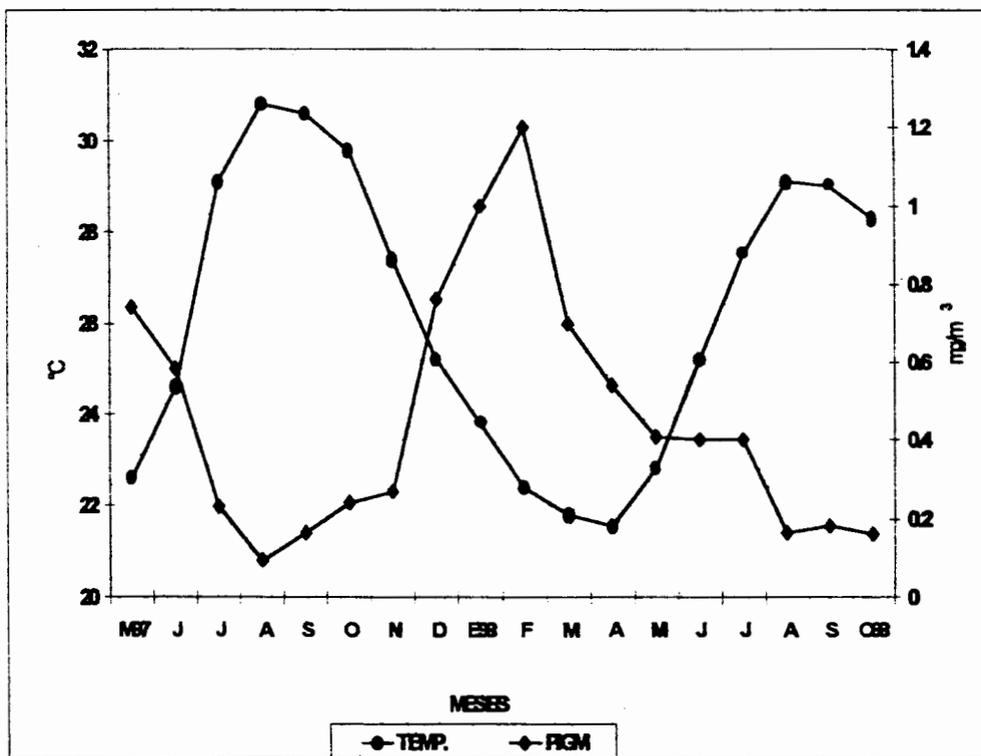


Fig. 34. Concentración de pigmentos contra temperatura, en "El Niño".

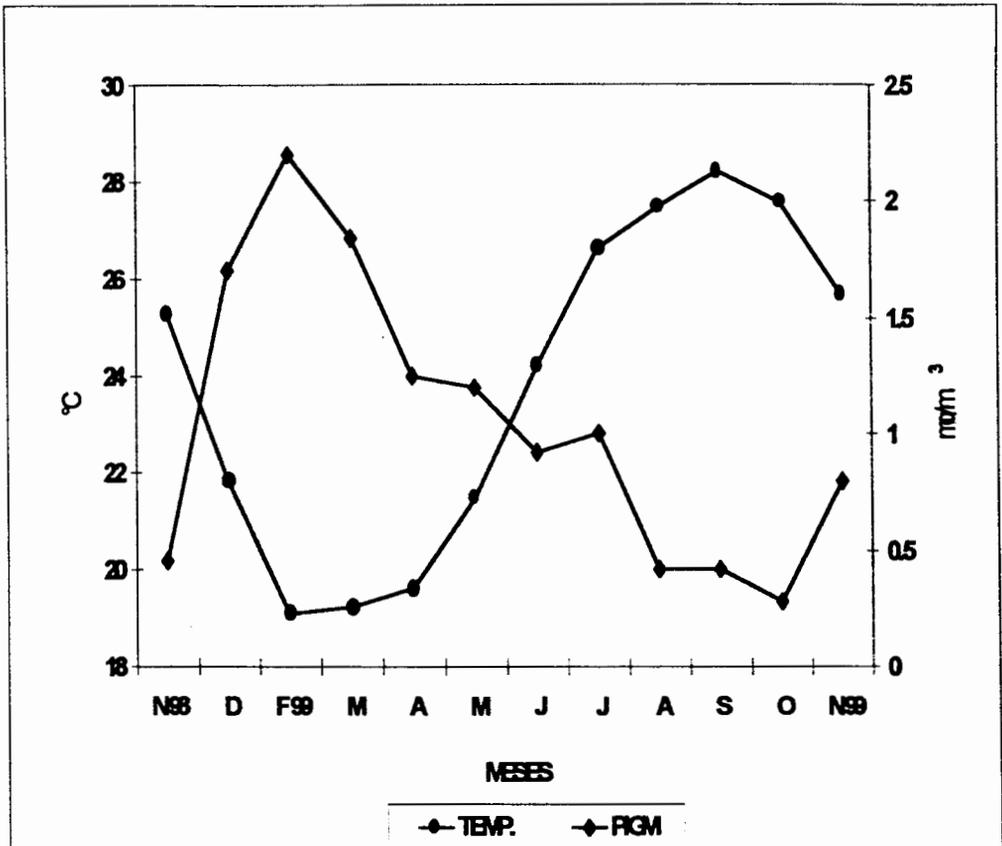


Fig. 35. Concentración de pigmentos contra temperatura, en "La Niña".

6.3.4 Relación de la concentración de pigmentos con el ciclo gonádico

En relación con el ciclo reproductivo, en la Fig. 36 se muestra este parámetro en "El Niño", donde se observa que las mayores concentraciones se presentan principalmente en la fase de desarrollo, y las mínimas en las fases de madurez y desove (Fig.37). Presentándose una correlación significativa ($\alpha < 0.05$) de la concentración de pigmentos respecto a la fase de desarrollo ($r = 0.83$, $n = 18$), pero no existiendo para las fases de madurez y desove.

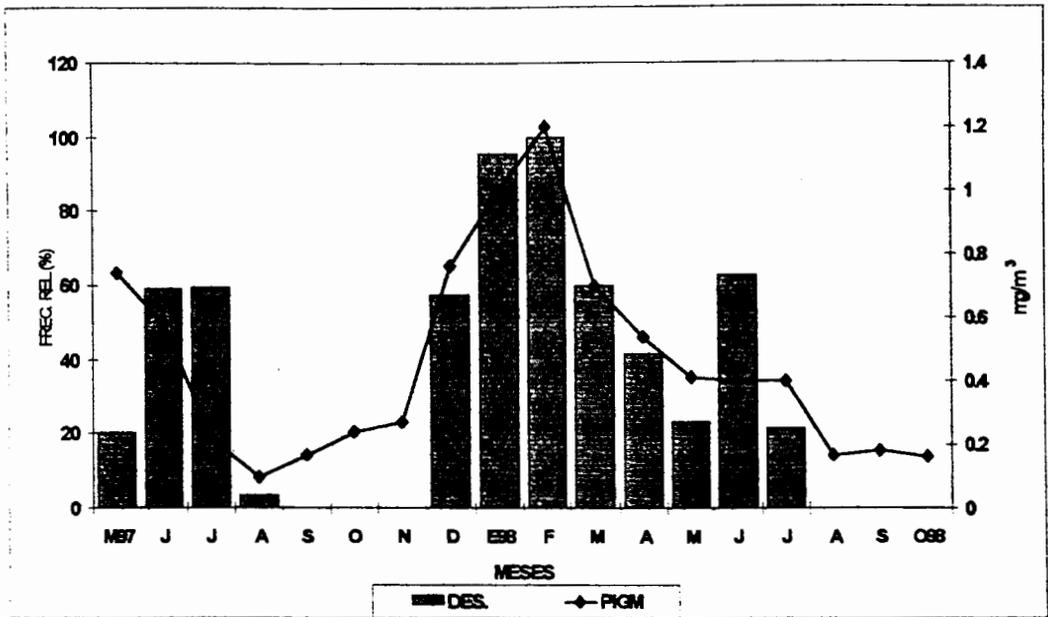


Figura 36. Concentración de pigmentos contra fase de desarrollo, en "El Niño".

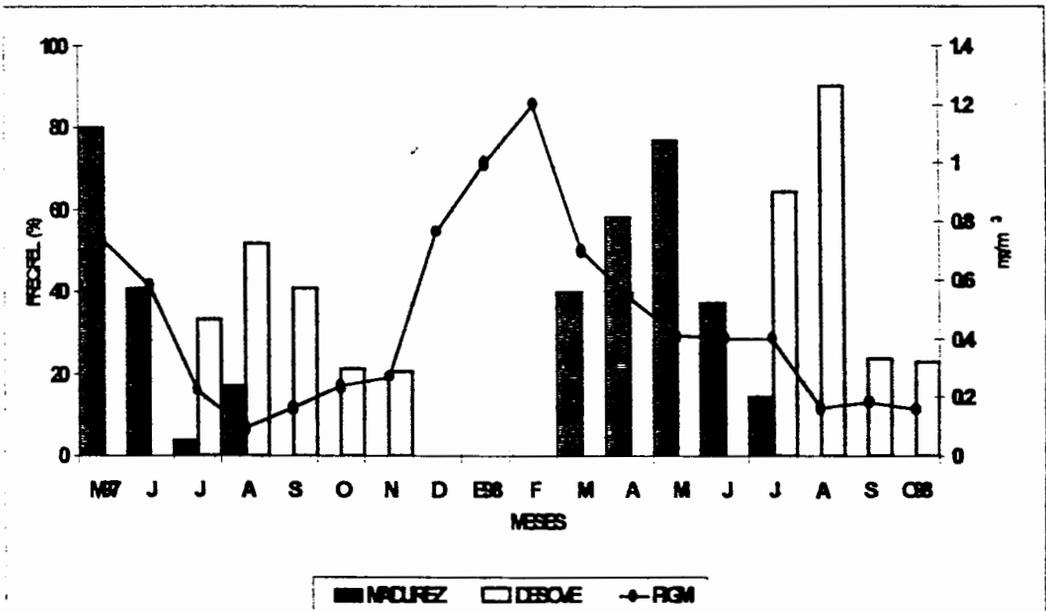


Figura 37. Concentración de pigmentos contra fases de madurez y desove, en "El Niño".

En "La Niña" la relación es similar, con altas concentraciones en la fase de desarrollo (Fig.38), más que en las reproductivas de madurez y desove (Fig.39). Asimismo, y al igual que en el periodo previamente descrito, se obtiene una correlación significativa (a $p < .05$) de la concentración de pigmentos, respecto a la fase de desarrollo ($r = 0.79$, $n = 12$), pero no en las fases de madurez y desove.

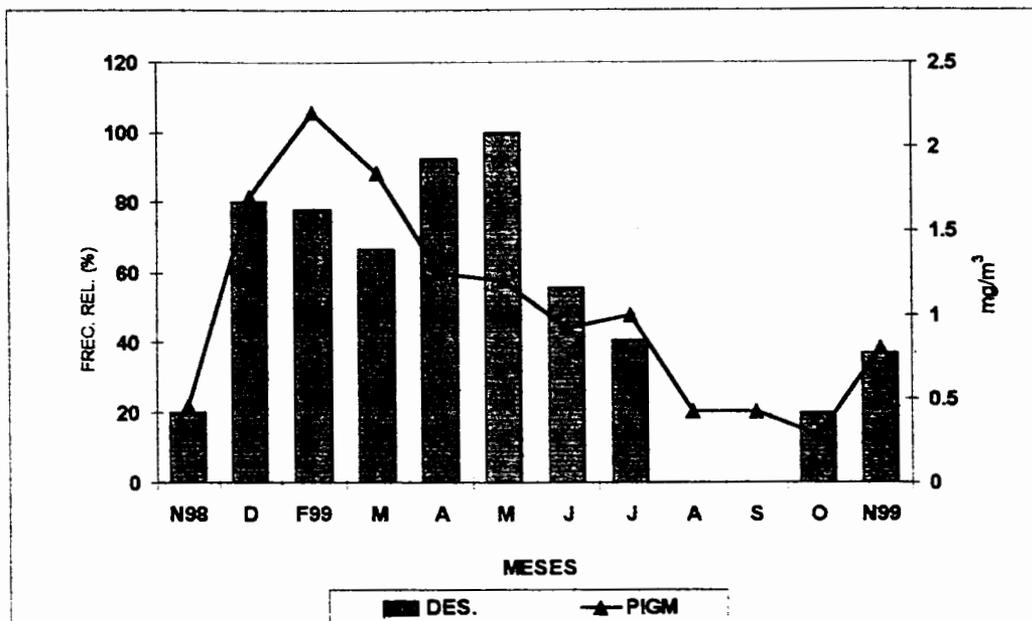


Figura 38. Concentración de pigmentos contra fase de desarrollo, en "La Niña".

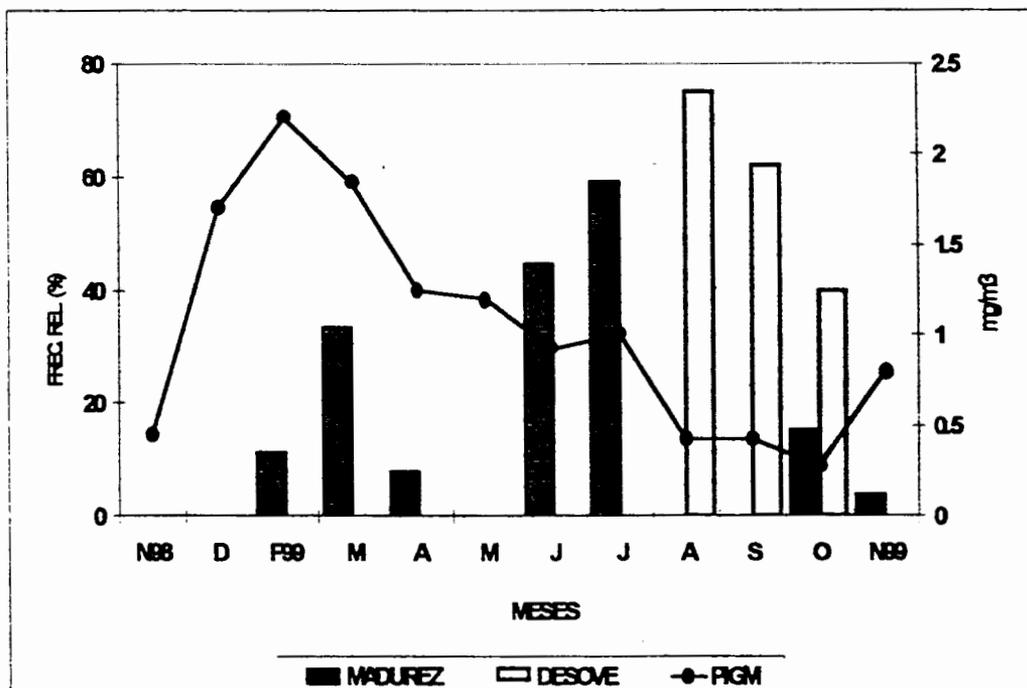


Figura 39. Concentración de pigmentos contra fases de madurez y desove, en "La Niña".

La relación de la concentración de pigmentos con el Índice de Condición (Fig.40), en "El Niño", presenta una correlación significativa ($\alpha < .05$) con un $r = .073$ ($n = 18$).

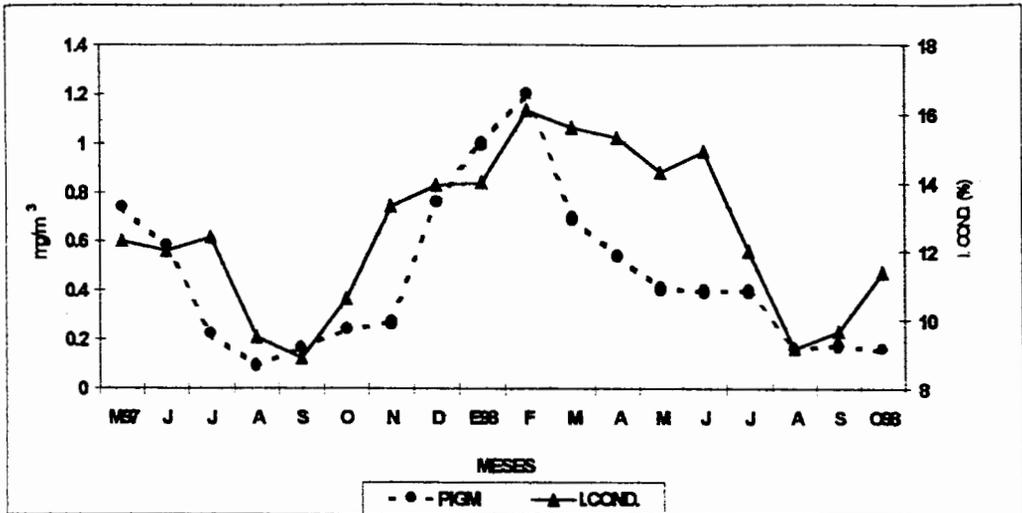


Figura 40. Concentración de pigmentos contra Índice de Condición, en "El Niño".

Se observa, por una parte, que de diciembre 1997 a febrero de 1998 se presentan altos valores para ambos, en correspondencia con las fases de desarrollo gonádico de los organismos; posteriormente se da una relación inversa en los meses de marzo a junio de 1998, donde los altos valores del Índice de Condición se corresponden con los de la fase de madurez.

En lo que respecta a la relación, durante "La Niña" (Fig. 41), no hubo correlación entre ambas variables, y donde la influencia de la disponibilidad de alimento no se corresponde con la fase reproductiva.

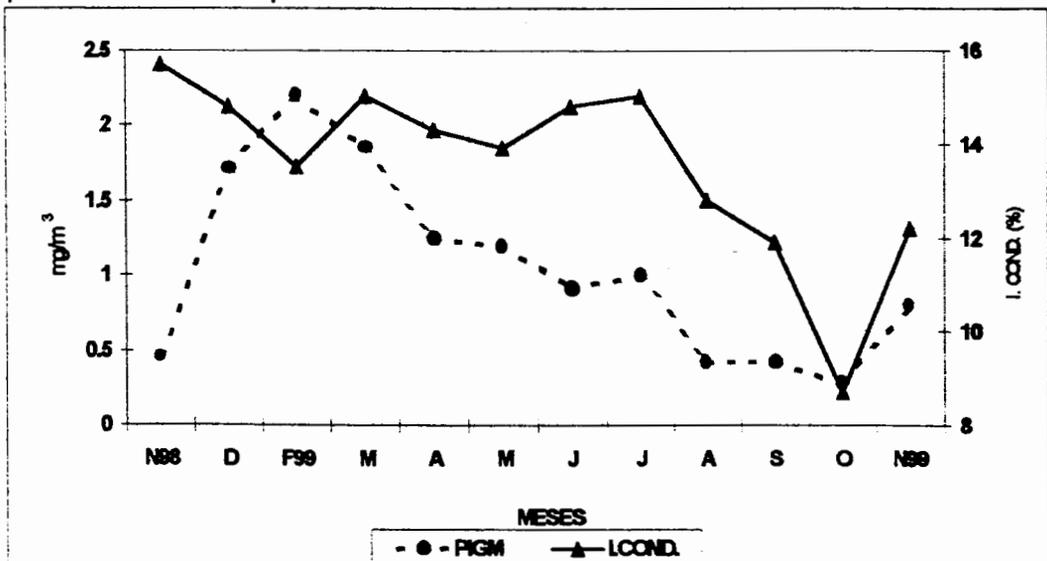


Figura 41. Concentración de pigmentos contra Índice de Condición, en "La Niña".

En las Figs. 42 y 43, se presenta para ambos periodos, las gráficas de la concentración de pigmentos contra el diámetro promedio mensual de los ovocitos, donde se observa que no existe correlación en algún sentido.

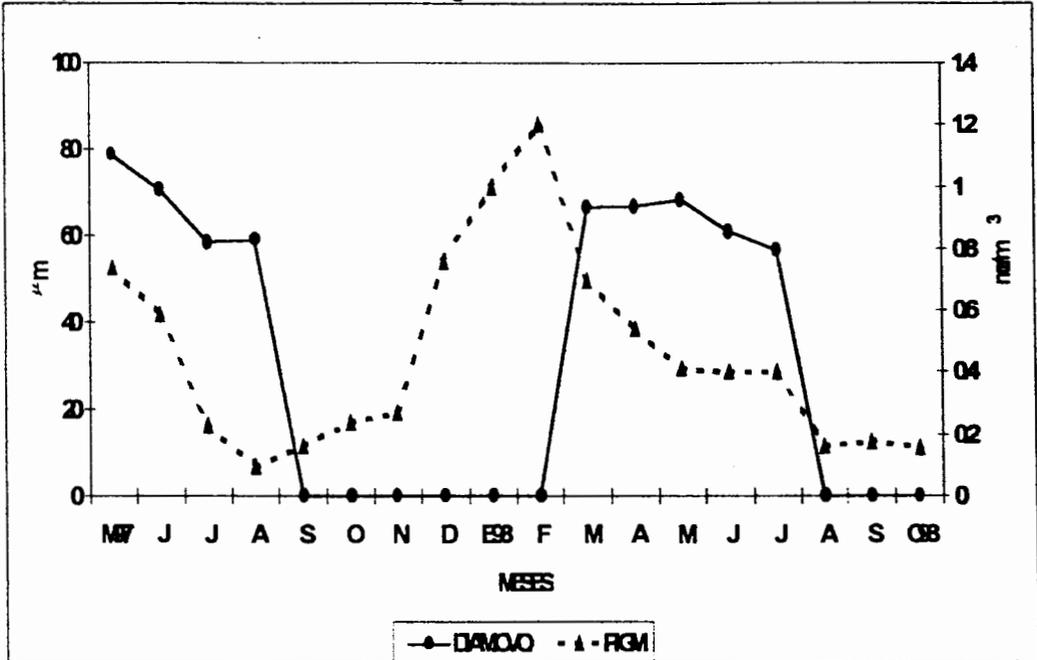


Figura 42. Concentración de pigmentos contra el diámetro promedio mensual de los ovocitos, en "El Niño".

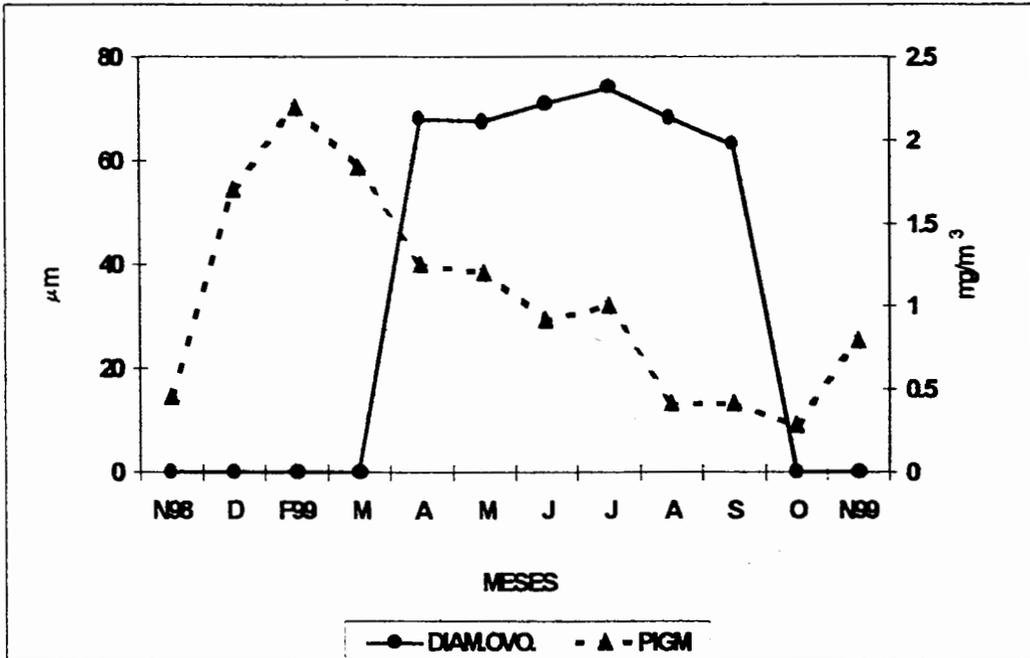


Figura 43. Concentración de pigmentos contra el diámetro promedio mensual de los ovocitos, en "La Niña".

7. DISCUSIÓN

7.1 Reproducción y ciclo gonádico

En el aspecto reproductivo, y en lo relativo a la descripción de las fases del ciclo gonádico y su anatomía microscópica correspondiente, ésta no difirió de la realizada anteriormente por diversos autores para *Pinctada mazatlanica* (Sevilla 1969; Saucedo-Lastra 1995; García-Domínguez *et al.* 1996; Saucedo y Monteforte 1997).

En el ciclo gonádico, en general, para los periodos considerados, "El Niño" y "La Niña", evidentemente presenta diferencias entre ambos: en el primero, las fases de desarrollo y de maduración fueron constantes y equilibradas a lo largo del periodo observado, siendo la etapa reproductiva (desove) continua y de mayor duración con 4.5 meses en promedio (con picos máximos en julio, agosto y septiembre de 1997 y julio, agosto y septiembre de 1998) e intensidad, en relación al porcentaje de la población desovante (promedio de 69% y máxima de 90%), la fase de reposo (indiferenciado) se presentó poco marcada, ya que se observaron organismos en postdesove y desarrollo a la vez; respecto a "La Niña", la fase de desarrollo fue la predominante a lo largo de ocho meses, con intermitentes y cortas fases de madurez, siendo la etapa reproductiva de menor duración (3 meses, máximos en agosto, septiembre y octubre de 1999) e intensidad (promedio de 45.6% y máxima de 70%), en comparación a lo ocurrido en el periodo precedente.

Para la misma zona de Isla Espíritu Santo, García-Domínguez *et al.* (1996), reportan desoves a lo largo del año de estudio (junio de 1992 a agosto de 1993) siendo la mayor ocurrencia de desove en los meses de junio, julio y octubre de 1992 y abril de 1993, con un promedio de 30% de población desovante y una máxima de 33.3%;

mientras que para la Bahía de La Paz, Sevilla (1969), encontró picos máximos de desove en agosto y septiembre de 1963, y un promedio del 30.5% de población desovante y una máxima de 50%. En poblaciones cultivadas en la Bahía de La Paz, se establece un sólo mes de pico máximo, en septiembre 1992 y un porcentaje del 30% (Saucedo-Lastra y Monteforte 1997). En Guaymas, Sonora, México, *P. mazatlanica* presenta su pico máximo de desove en junio y un porcentaje del 67% (Arizmendi-Castillo 1996) y en el Golfo de Nicoya, Costa Rica, presenta dos picos máximos de desove en octubre 1993 y junio 1994, y un promedio de 31.5% (Solano-López *et al.* 1997).

Las diferencias mostradas, con respecto a los resultados del presente trabajo, evidencian que ambos fenómenos climáticos si tuvieron un impacto en la etapa reproductiva de los organismos, lo que sugiere que en el caso de "El Niño", a diferencia de "La Niña", las condiciones fueron más favorables para los organismos, provocando que el intervalo entre fases reproductivas se hiciera más corto, es decir las gónadas se recuperaron más rápidamente acelerando la maduración de las mismas. Resultado similar a lo encontrado por Amtz y Fahrbach (1996) y Wolf (1988), durante "El Niño" de 1982-1983, en estudios realizados en la costa del Perú, sobre la pesquería de *Argopecten purpuratus* (Pectinidae), donde observaron una intensidad de desove especialmente alta.

7.2 Proporción de sexos

La proporción de sexos en ambos periodos, no difirió significativamente de la esperada 1M:1H, pero predominan los machos en la relación (1.2 "Niño" y 1.3 "Niña"); lo anterior difiere de lo reportado por García-Domínguez *et al.* (1996) en el que el predominio fue de las hembras (1.33H:1M), coincidiendo con lo reportado por Saucedo-Lastra y Monteforte (1997) y por Solano-López *et al.* (1997), habiendo sido la relación en ambos estudios de 1M:0.38H y 1.6M:1H, respectivamente.

Se detectaron variaciones intra e interperiodos; durante "El Niño" en las fases de madurez predominaron las hembras y en la fase de desove los machos; en "La Niña", los machos en las de madurez y desove. La predominancia de machos en la fase de desove en ambos periodos sugiere que la presencia de sus gametos en el medio, además de la decisiva influencia de la temperatura, estimulan el desove de las hembras (Mazón-Suástegui 1987), así como sucede en muchos bivalvos (Bayne 1965). En ambos periodos las tallas menores correspondieron a los machos y las mayores a las hembras, situación similar a lo encontrado por Saucedo-Lastra y Monteforte (1997).

La frecuencia de hermafroditas en el presente estudio (en "El Niño" 2% y 4% en "La Niña") fue mayor a la reportada por García-Domínguez *et al.* (1996) y Saucedo-Lastra y Monteforte (1997), donde esta fue de 0.64% y 0.6%, respectivamente. Por otra parte, en el presente caso, además de las diferencias en la frecuencia de hermafroditas se encontró que en "El Niño" la longitud promedio fue de 140 mm y en "La Niña" de 103.5 mm, pero en ambos, las tallas menores correspondieron a los machos y las mayores a las hembras. En los dos periodos, la mayor incidencia de organismos hermafroditas (68%, en promedio) se presenta en la temporada de mayor actividad reproductiva con predominancia de los machos, coincidiendo con las observaciones realizadas en *P. mazatlanica* por Sevilla (1969) y Saucedo-Lastra y Monteforte (1997) y en *P. fucata* por Behzadi *et al.* (1997).

En conjunto, lo anteriormente establecido confirma la condición protándrica de *P. mazatlanica*, observación que ya se había realizado para esta especie por Sevilla (1969), García-Domínguez *et al.* (1996) y Saucedo-Lastra y Monteforte (1997), así como para otros miembros del género *Pinctada*: Tranter (1959) y Behzadi *et al.* (1997) para *P. fucata*, Tranter (1958c) para *P. albina*, Tranter (1958d) para *P. margaritifera* y para *P. máxima* por Rose *et al.* (1990).

El haber hallado mayor número de organismos hermafroditas bajo la circunstancia de la ocurrencia de ambos fenómenos climáticos y, aunado a las características actuales de la población de *P. mazatlanica* en la Bahía de La Paz, sugiere la presencia de estrategias reproductivas como una adaptación al medio. Conforme a Ghiselin (1969), tales adaptaciones dependen no sólo de la capacidad de los individuos para interactuar con otros miembros de su especie y con su medio, sino de la estructura de la población en la que las transacciones reproductivas ocurren. Smith (1967) propone el modelo de "ventaja de tamaño" donde el hermafroditismo secuencial ocurre donde un individuo se reproduce más eficientemente como miembro de un sexo cuando es pequeño o joven, y para el caso de la protandria en los invertebrados marinos bénticos con fases de larvas de nado libre, estos se reproducen mejor si fueran machos que hembras. En los bivalvos, las evidencias apuntan hacia la explicación de un modelo de la ventaja del tamaño, como sucede en los mejillones de agua dulce (Van der Schalie 1966). Charnov *et al.* (1976), en su revisión respecto al tema, propone entre otros aspectos que el desove de los machos ocurra primero que el de las hembras, lo que les puede permitir compartir costos energéticos en el proceso reproductivo. Aunado a lo anterior Murray (1964) argumenta que en una proporción efectiva de sexos de 1:1, la consecuencia necesaria de hermafroditismo simultáneo, podría maximizar el tamaño efectivo de la población.

Lo anterior, y con los resultados aquí hallados, puede encuadrarse como una posible pauta para dilucidar lo que sucede en la situación actual de la población de *P. mazatlanica*, dentro del área de estudio.

7.3 Diámetro de los ovocitos

En "El Niño" el mayor diámetro promedio de los ovocitos se corresponde con la fase de madurez; el menor diámetro encontrado en los meses de septiembre, octubre y

noviembre de 1997 y agosto, septiembre y octubre de 1998 se corresponde a la mayor frecuencia de las fases de desove y posdesove, se infiere que los ovocitos de mayor tamaño son liberados al exterior. El análisis precedente muestra una relación con el ciclo reproductivo. En "La Niña" la relación no fue muy clara con el ciclo reproductivo.

En "El Niño", la relación del diámetro de los ovocitos con los estadios gonadales de *P. mazatlanica* refleja el ciclo gametogénico, como sucede claramente con otras especies de bivalvos estudiadas en condiciones ambientales normales; *Glycymeris gigantea* (Villalejo-Fuerte *et al.* 1995), *Dosinia ponderosa* (Arreola-Hernández 1997), *Cardita affinis* (Gorrostieta-Hurtado 1997), *Spondylus leucacanthus* (Villalejo-Fuerte y García-Domínguez 1998) y *Periglypta multicostata* (García-Domínguez *et al.* 1998).

Al comparar el diámetro promedio global entre ambos periodos se encuentra que este fue mayor en "La Niña" (68.6 μm) respecto al encontrado en "El Niño" (65.2 μm); ésto último, suponemos a causa de la intensidad de desove más alta (proporción de la población desovante), debido al acortamiento de las fases reproductivas, donde se presentaron periodos de desarrollo y madurez más acelerados en la recuperación de las gónadas, y en "La Niña", se acumularon los ovocitos, debido a que el tiempo de desove fue más corto.

7.4 Índice de Condición

Las medidas que relacionan el tamaño de la concha con el peso de las partes blandas se consideran como buenos indicadores de la condición de los organismos (Ochoa-Báez 1985). Para el presente trabajo se seleccionó el índice propuesto por Ricker (citado por Bolger y Connolly 1989) en lugar de el de Fulton, ya que el primero toma en cuenta que el crecimiento no es isométrico, como es el caso de *P. mazatlanica*, y cuyos

resultados podrían describir de mejor manera las variaciones de la condición general y del evento reproductivo.

Los valores máximos y mínimos del índice de condición en ambos periodos fueron bastante similares fluctuando entre 8 y 16%; asimismo, la tendencia de oscilación similar que presentan estos valores a lo largo de los periodos de estudio y su relación con el proceso reproductivo, donde los máximos corresponden a la fase de desarrollo seguidos por la de madurez y posteriormente declinar en el desove, lo que sugiere una fuerte influencia del peso de la gónada sobre la condición general; relación que para esta misma especie también encontró Solano-López *et al.* (1997) en el Golfo de Nicoya, Costa Rica y reportada para otras especies de bivalvos por Villalejo-Fuerte y Ceballos-Vázquez (1996) para *Argopecten circularis* y Arreola-Hernández (1997) para *Dosinia ponderosa*. Estas fluctuaciones del índice de condición, se asocian en general con la condición nutricional y reproductiva de los moluscos (Searcy-Bernal 1984), por lo que se puede considerar como un indicador de la condición generalizada de los individuos que forman la población reproductiva de *P. mazatlanica*, y del proceso reproductivo en general.

7.5 Parámetros ambientales

7.5.1 Temperatura

El interés en el establecimiento o predicción de la ocurrencia de los fenómenos ambientales como "El Niño" y "La Niña", está en relación misma de los trastornos que causa a los patrones climáticos en todo el mundo, y que repercuten sobre el medio ambiente y en los organismos donde se desarrollan éstos y los efectos que los mismos tienen sobre una amplia gama de las actividades productivas y sociales humanas.

La dimensión de un evento "El Niño" / "La Niña", puede relacionarse con indicadores cuantitativos, uno de los más obvios e importantes es el incremento (o

decremento, según sea el caso) en las temperaturas superficiales del mar; mientras más amplio sea el incremento en la temperatura por arriba de la normal, es más intenso el evento (Glantz 1996). Las anomalías, que son desviaciones del promedio, son usadas debido a que ellas describen más precisamente la variabilidad climática sobre grandes áreas, que lo que lo harían las temperaturas absolutas y dan un marco de referencia que permite la fácil interpretación de los números (Livezey *et al.* 1997).

Los eventos "El Niño" tienen una duración que varía entre medio año y año y medio. Analizando los años recientes, se encuentra que los eventos "El Niño" se aprecian con mayor frecuencia, así como las anomalías de temperatura globales asociadas con cada "El Niño", continúan incrementándose. Esto significa que los extremos regionales del tiempo y anomalías del clima asociadas a "El Niño" están siendo exacerbadas por el incremento de variaciones térmicas, las condiciones más cálidas han sido ligadas a las altas concentraciones de gases atmosféricos por el efecto invernadero (Livezey *et al.* 1997). Así se tuvo que las anomalías en el periodo cálido ("Niño") la máxima fue de $+2.82^{\circ}\text{C}$ (enero de 1998) y en el periodo frío ("Niña") de $+1-36^{\circ}\text{C}$ (febrero de 1999). Las diferencias entre la máxima temperatura registrada entre un periodo y otro fue de 2.6°C , en ambos casos difiriendo significativamente del "año tipo".

Respecto a cómo se comportó "El Niño" de 1997-1998, Wolter y Timlin (1998) comentan que este presentó dos picos, uno inicial en julio/agosto 1997 y otro en febrero/marzo 1998, ambos de valor MEI (Índice Enso Multivariado, MEI por sus siglas en inglés) similar y cercanos a +2.9.

Asimismo, el NOAA-CIRES Climate Diagnostic Center (CDC), de la Universidad de Colorado, y el National Centers of Environmental Prediction/Climate Prediction Center (NCEP/CPC, por sus siglas en inglés) presentan resultados similares a los reportados por

Wolter y Trimlin (1998), reportando el primero además que la duración en tiempo fue de 13 meses para el evento 1997/98.

Para el comportamiento de "La Niña" sobre la base a lo reportado por Wolter y Timlin (1998), el NOAA-CIRES (CDC) y el NCEP/CPC, la presencia de la fase fría del ENSO presentó dos picos, el primero en noviembre/diciembre de 1998 y en octubre/noviembre de 1999 el segundo, con valores de MEI cercanos a -1.0 y -1.2 , respectivamente.

7.5.2 Relación del ciclo gametogénico, índice de condición y diámetro promedio de ovocitos con la temperatura

La temperatura, se considera el factor que en forma más directa actúa sobre los organismos, actuando sobre su distribución, supervivencia de adultos y juveniles, afecta también el comportamiento reproductivo (Giese 1959, Sastry 1963 y Seed 1976). Frecuentemente las especies requieren una temperatura para su desarrollo gonádico, otra para su maduración y comúnmente ésta es diferente a la requerida para el desove (Sevilla 1977). Varios autores han reportado para diversas especies de bivalvos la dependencia de los ciclos gametogénico y de desove en relación con la temperatura del medio: Behzadi *et al.* (1997), para *Pinctada fucata*; Villalejo-Fuerte y García-Domínguez (1998), para *Spondylus leucacanthus*; Marsden (1999), para *Paphies donacina* y Darrigran *et al.* (1999), para *Limnoperna fortunei*.

El ciclo reproductivo de *P. mazatlanica* muestra una estacionalidad relacionada con la temperatura del agua: la menor actividad gonádica (fase indiferenciada), ocurrió durante "El Niño" en la estación de otoño y, en "La Niña" en invierno; la mayor frecuencia de desarrollo en "El Niño" ocurrió en verano de 1997 e invierno de 1999, en "La Niña" en la primavera de 1999; la de madurez en "El Niño" se presentó a finales de la primavera 1997 y 1998, en "La Niña" a mediados del verano de 1999. En ambos periodos, en cuanto

la temperatura se incrementa a 27°C (mediados de verano en "El Niño", finales de verano en "La Niña") se inicia el desove, manteniéndose durante los meses cuando las temperaturas fueron hasta de 30°C (finales de otoño en "El Niño", inicios de otoño en "La Niña"), la misma se suspende por debajo de los 25°C, en ambos periodos. Este crucial intervalo que puede considerarse óptimo para el desove de esta especie es similar a lo reportado por Sevilla (1969), Mazon-Suástegui (1987), Tripp-Quezada (1991), Arizmendi-Castillo (1996), García-Domínguez *et al.* (1996) y Saucedo y Monteforte (1997); lo anterior nos lleva a la confirmación de que el acto del desove para algunas especies, es iniciado cuando la temperatura excede un nivel crítico característico de la especie, por ejemplo en *Chione californiensis* cuando la temperatura es mayor de 24°C por periodos hasta de seis meses (García-Domínguez *et al.* 1993) y *Spondylus leucacanthus* cuando la temperatura llega a 23°C (Villalejo-Fuerte y García-Domínguez 1998).

La diferencia entre ambos periodos, fue que durante "El Niño" el evento reproductivo tuvo mayor duración e intensidad en la población desovante, situación similar a lo reportado para *Argopecten purpuratus* en el Perú (Armtz *et al.* 1988, Illanes *et al.* 1985) durante "El Niño" 1982 - 1983, y que explicaría lo sucedido para *P. mazatlanica* por García-Domínguez *et al.* (1996), durante "El Niño" 1991-1992, en Isla Espíritu Santo, B.C.S., México, donde se tuvo la presencia de actividad desovante a través del año de estudio (junio de 1992 a agosto de 1993), y principalmente durante finales de otoño e inicios del invierno de 1991; respecto a lo que ocurrió en "La Niña", el evento fue más corto y habiéndose presentado más tardíamente, hasta que se alcanzó la temperatura óptima de los 27°C para iniciar el proceso. El evento "Niño" de 1997 - 1998, fue considerado de mayor magnitud que los de 1982-1983 y 1992-1993, tomando en conjunto su duración e intensidad.

Para explicar lo sucedido en "El Niño", se podría recurrir al fenómeno llamado "Regla de Orton", que establece que cuando el ambiente alcanza la temperatura óptima para la reproducción de una especie de bivalvo, ésta se reproduce por mayor tiempo en una localidad de latitud más baja o más cálida, puesto que la temperatura en tal situación permanecerá por más tiempo arriba del límite inferior que requiere la especie para reproducirse (Orton 1920).

La relación de la temperatura con el índice de condición para ambos periodos fue inversa, ya que este último se relaciona estrechamente con la condición de los organismos, mismos que durante los periodos de menor temperatura se encuentran en las fases de reposo y desarrollo y más altos valores de condición, seguidos por los de madurez y durante las mayores temperaturas en las de desove, en esta última correspondiendo los menores valores de condición.

El diámetro promedio de los ovocitos, en "El Niño" presenta relación con las fases de madurez y desove y con el índice de condición, todos ellos influenciados por las variaciones de temperatura, como se apuntó líneas arriba. En "La Niña", la relación del diámetro promedio de los ovocitos no se relaciona con las fases reproductivas, el índice de condición y el efecto de la temperatura (Figs. 44 y 45).

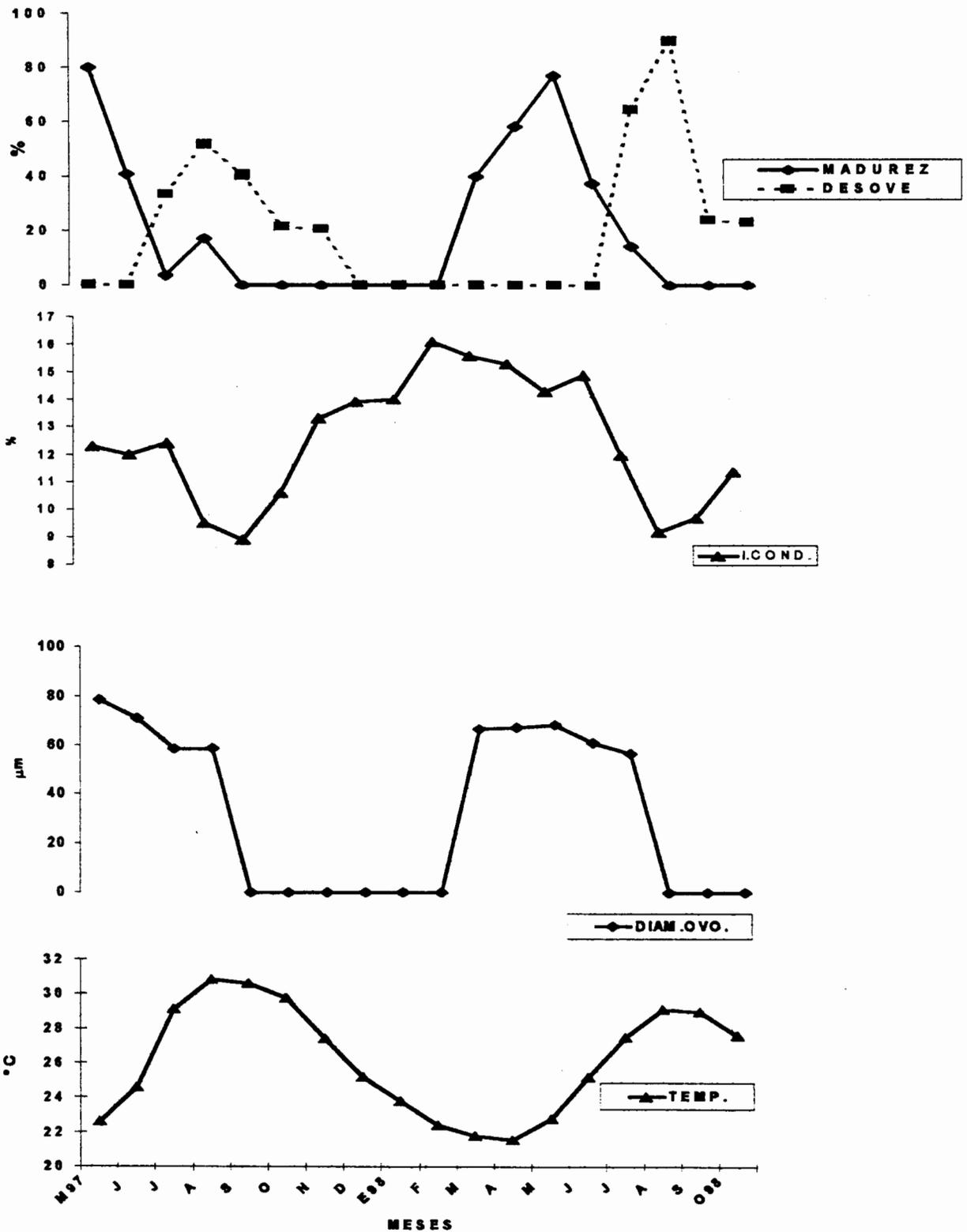


Figura 44. Relación de temperatura con frec. relativa de madurez y desove, índice de condición y diámetro de ovocitos, en "El Niño".

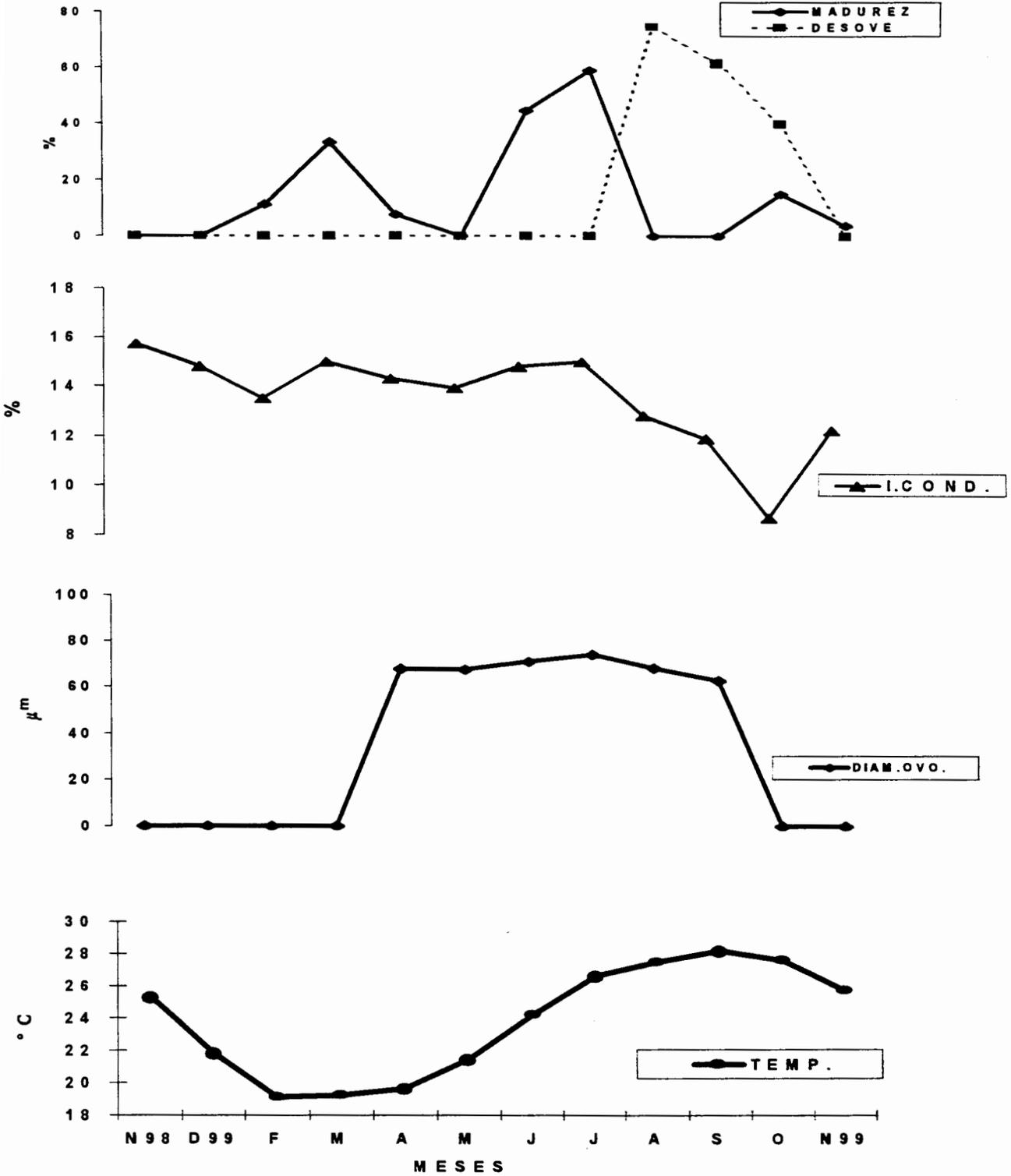


Figura 45. Relación de temperatura con frec. relativa de madurez y Desove, índice de condición y diámetro de ovocitos, en "La Niña".

7.5.3 Concentración de pigmentos fotosintéticos

7.5.4 Relación del ciclo gametogénico, índice de condición y diámetro promedio de ovocitos con la concentración de pigmentos

La concentración de pigmentos en ambos periodos ("Niño" y "Niña") presentó similares fluctuaciones estacionales, siendo las más altas en la estación invernal (diciembre, enero y febrero), para posteriormente decaer a sus valores más bajos a mediados del verano y durante el otoño. La diferencia entre ambos periodos, estribó en que las concentraciones promedio, máximas y mínimas durante "El Niño" fueron menores, a las de "La Niña".

En el caso de *P. mazatlanica*, para ambos periodos reinicia la producción de gametos, fase de desarrollo, durante el invierno (noviembre-diciembre de 1997 y enero-febrero de 1998 en "El Niño"; noviembre-diciembre de 1998 y febrero de 1999, en "La Niña"), coincidiendo con las más altas concentraciones de pigmentos fotosintéticos. En la producción de gametos se hace necesaria una cantidad de energía adicional, por lo que se da una estrecha relación entre el ciclo gametogénico y la energía disponible (Sastry 1968, MacDonald y Thompson 1985). En las fases de madurez y desove, nuevamente en ambos periodos, no existe relación con la concentración de pigmentos fotosintéticos, por lo que es de presuponer que éste se realiza a expensas de las reservas de nutrientes del organismo.

En relación a este último aspecto, se ha observado que en muchos bivalvos la gametogénesis tiene lugar a expensas del tejido conjuntivo de reserva (Galtsoff 1964); así, en varias especies de bivalvos se ha descrito que existe transporte de sustancias nutritivas de la glándula digestiva a la gónada (Galtsoff 1964, Mathieu y Lubet 1993), como es el caso del mejillón *Perumytilus purpuratus* (Lozada y Reyes 1981), durante el desove y de la propia *P. mazatlanica* (García-Gasca 1992), durante la gametogénesis.

Muchos bivalvos marinos, para asegurar el desarrollo de la progenie y la recuperación de la energía empleada durante el desove, tienden a reproducirse cuando la disponibilidad de alimento es más alta (Bayne 1965), de esta manera la temporada de desove coincide con la más alta cantidad de fitoplancton dando a las larvas la posibilidad de alimentarse del abundante fitoplancton de los florecimientos de invierno, tal como se ha visto en *Laevicardium elatum* (Villalejo-Fuerte *et al.* 1996a). Lo anterior, en el presente caso y para ambos periodos no sucede, ya que la mayor concentración de pigmentos fotosintéticos no está relacionada con los picos máximos de desove de *P. mazatlanica*, y aún con los de larvas, ya que las mayores abundancias de captación de semilla de *P. mazatlanica*, en un estudio realizado en la Bahía de La Paz (Wright 1997), ocurren durante los meses de junio a septiembre, y ambas situaciones se presentan cuando se observan las mínimas concentraciones estacionales de pigmentos fotosintéticos.

En el caso de "El Niño" el índice de condición se relaciona con la concentración de pigmentos, no ocurriendo así durante "La Niña", donde las fluctuaciones que se presentan pueden atribuirse a lo irregular del desarrollo gonádico en las fases de desarrollo y madurez que presentaron los organismos durante este periodo.

El diámetro promedio mensual de los ovocitos para ambos periodos tampoco está relacionado con la concentración de pigmentos, ya que los promedios mensuales máximos de los primeros ocurren en verano.

En las Figs. 46 y 47 se presenta gráficamente para los periodos "El Niño" y "La Niña", respectivamente, la relación de la concentración de pigmentos con la fase de desarrollo, índice de condición y diámetro promedio de ovocitos.

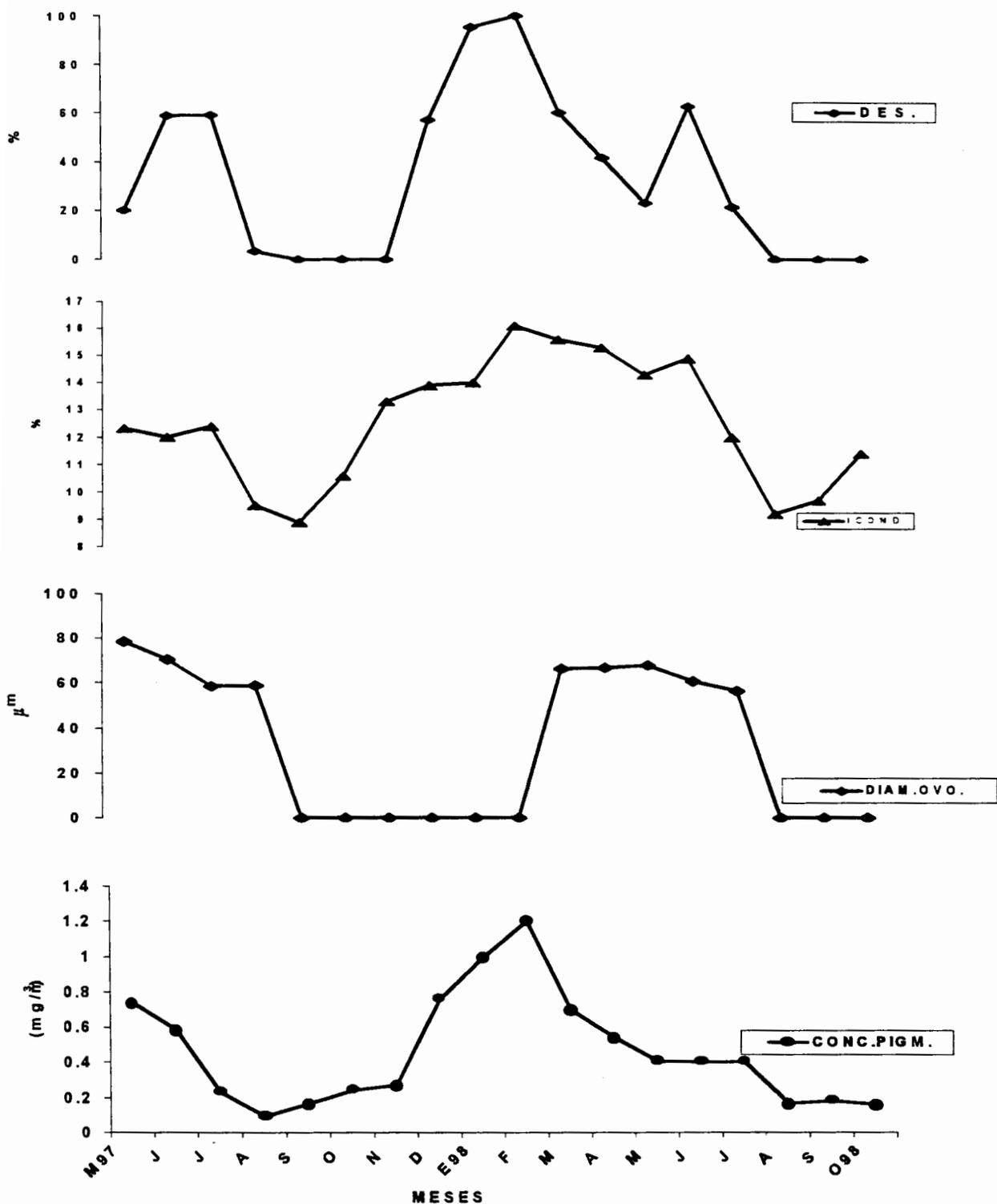


Figura 46. Relación de la concentración de pigmentos con frec. relativa de la fase de desarrollo, índice de condición y diámetro promedio de ovocitos, en "El Niño".

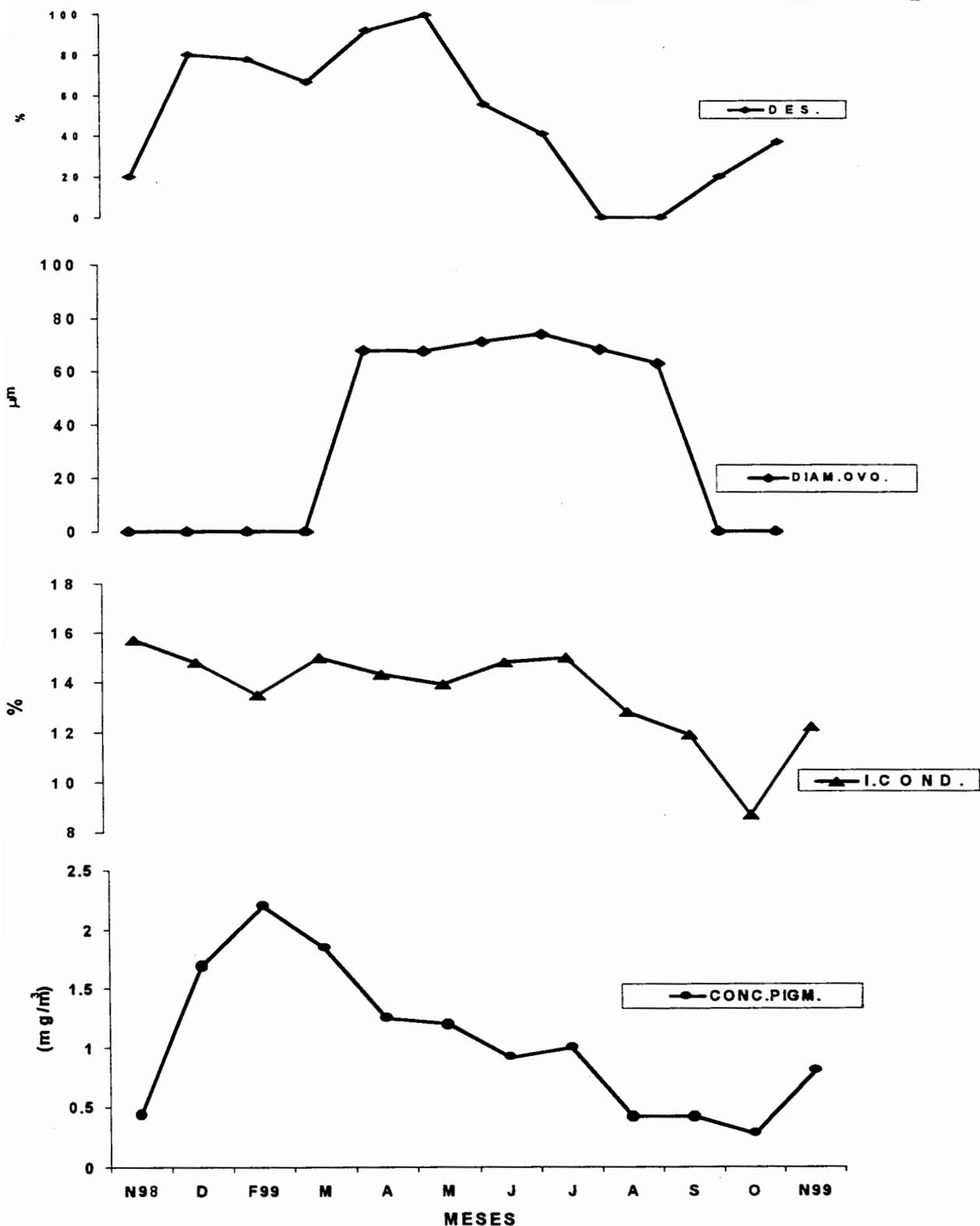


Figura 47. Relación de la concentración de pigmentos con frec. relativa de la fase de desarrollo, índice de condición y diámetro promedio de ovocitos, en "La Niña".

Por último, sobre la base de los resultados obtenidos y al análisis de los mismos, podemos establecer que de los factores ambientales exógenos a considerar como determinantes en el ciclo reproductivo de *P. mazatlanica*, la temperatura fue el que determinadamente influyó en el evento reproductivo, en ambos periodos de "El Niño" y "La Niña", y que la disponibilidad de alimento no se relacionó con el desove de las madreperlas.

Los organismos, como se observó, optimizaron el evento reproductivo en relación al factor temperatura, ya que mientras se encontraron dentro de los intervalos óptimos de la misma para la especie, manifestaron mayor intensidad en la frecuencia de la población desovante en ambos periodos y en el caso de "El Niño", reproduciéndose por mayor tiempo, ya que como lo establece la "Regla de Orton" (Orton 1920), lo anterior es posible si la temperatura permanece más tiempo arriba del límite inferior que requiere la especie para reproducirse, es decir cuando el ambiente alcanza la temperatura óptima para la reproducción de una especie de bivalvo, ésta se reproduce por mayor tiempo en una localidad de latitud más baja o más cálida (tropical/subtropical) mientras permanezca este intervalo óptimo, caso que se dio en el presente estudio.

8. CONCLUSIONES

1. Existen diferencias significativas entre las temperaturas del año tipo, respecto a las registradas en los periodos considerados como "Niño" y "Niña".
2. Se manifiesta una clara influencia de la temperatura registrada en "El Niño" y "La Niña", en los procesos reproductivos de la madreperla en la zona de estudio.
3. En ambos periodos la temporada de desove máximo coincide con la ocurrencia de las mayores temperaturas.
4. Los intervalos de temperatura para el desove, en ambos periodos, se sitúan entre los 27 a 30°C.
5. En "El Niño", la temperatura incidió en el proceso reproductivo (fases de madurez y desove), siendo más extenso en su duración en el tiempo e intenso en la proporción de la población desovante.
6. En "La Niña", la temperatura afectó al evento reproductivo desfasándolo, con un inicio tardío en las fases de madurez y desove y, como consecuencia de menor duración e intensidad.
7. La relación final de sexos, para ambos periodos, no difirió significativamente de la proporción esperada de 1M:1H.
8. Se confirma la condición de hermafrodita protándrica de *P. mazatlanica*.

9. El diámetro promedio de los ovocitos, en "El Niño", muestra relación con el ciclo reproductivo, observándose el mayor diámetro durante la fase de madurez y los menores se corresponden con la mayor frecuencia de desove y posdesove.
10. El diámetro promedio de los ovocitos, en "La Niña", no muestra una clara relación con el ciclo reproductivo.
11. Existe relación significativa de la temperatura y el índice de condición de los organismos.
12. Los máximos valores, seguidos inmediatamente por los mínimos observados en el índice de condición, se relacionan significativamente con las fases de madurez y desove, en "El Niño" y, con la fase de desove en el correspondiente a "La Niña".
13. El Índice de Condición, puede considerarse como factor indicativo en la estimación de las actividades reproductivas de la especie.
14. La concentración de pigmentos, en la caracterización tipo de la zona, guarda una relación inversa con la temperatura: con altas concentraciones en el periodo invernal y bajas en las demás estaciones del año.
15. Existen diferencias significativas entre la concentración de pigmentos del año tipo, respecto a las registradas en los periodos considerados como "El Niño" y "La Niña".

16. La influencia de la concentración de pigmentos (disponibilidad de alimento), es más decisiva en las etapas de recuperación y principalmente de crecimiento (fase de desarrollo de la gónada).
17. La concentración de pigmentos, en ambos periodos, no se relaciona con la fase reproductiva (de desove), ni con el diámetro promedio de los ovocitos de los organismos.
18. La concentración de pigmentos se relaciona significativamente con el índice de condición, en "El Niño", pero no así en "La Niña".
19. Finalmente se concluye que, la temperatura es el factor principal que incide en los procesos reproductivos de *P. mazatlanica*, más que la disponibilidad de alimento.

9. RECOMENDACIONES

- La sobreexplotación, y la subsecuente y paulatina extinción del recurso en áreas naturales, hace necesario realizar estudios más acuciosos de abundancia, crecimiento, alimentación, de dinámica poblacional, con fines de repoblamiento de las áreas, dentro de la Bahía de La Paz, donde existió el recurso y en aquellas donde todavía subsiste, con la finalidad de ir recuperando el recurso.
- Así mismo, se sugiere se realice mayor vigilancia en la zona de la Isla Espíritu Santo, ya que a pesar de ser especie vedada, existe la captura furtiva, sobre todo de turistas que acuden a esta zona.

10. SUGERENCIAS PARA NUEVOS TRABAJOS

1. Estudios ecológicos, en poblaciones naturales, de distribución y abundancia, grupos de edades, crecimiento, mortalidad y fecundidad.
2. Estudios de repoblamiento en áreas naturales de existencia del recurso, y de aquellas donde se extinguió.
3. Realizar trabajos experimentales controlados, para determinar que factores inciden en el cambio de sexo.

11. LITERATURA CITADA

- **Arizmendi-Castillo, E.** 1996. Ciclo reproductivo de las ostras perleras, *Pinctada mazatlanica* (Hanley, 1856) y *Pteria sterna* (Gould, 1851), (Pteriidae), en el área de Guaymas, Sonora, México. Tesis de Maestría, Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, Campus Guaymas. Guaymas, México. 140 p.
- **Arizpe, C. O. y R. F. Félix-Uraga.** 1986. Crecimiento de *Pinna rugosa* (Sowerby, 1835), en la Bahía de La Paz, México. *An. Inst. Cienc. del Mar y Limnol. Univ.Nal.Autón.Méx.* 13(2): 167 – 172.
- Arntz, W. y E. Fahrbach.** 1996. El Niño: Experimento climático de la naturaleza. Fondo de Cultura Económica. México, 265 p.
- **Arntz, W. E. Valdivia y J. Cevallos.** 1988. Impact of El Niño 1982 – 83 on the commercially exploited invertebrates (mariscos) of the Peruvian shore. *Meeresforsch.* 32: 3-22.
- **Arreola-Hernández, J. F.** 1997. Aspectos reproductivos de *Dosinia ponderosa*, Gray, 1838 (Bivalvia:Veneridae) en Punta Arena, Bahía Concepción, B.C.S. Tesis de Maestría, Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas. Instituto Politécnico Nacional. La Paz, México. 85 p.
- **Baqueiro, C. E., I. Peña y J. A. Massó.** 1981. Análisis de una población sobreexplotada de *Argopecten circularis* (Sowerby, 1835) en la Ensenada de La Paz, Baja California Sur, México. *Cienc. Pesq. Inst. Nal. Pesca.* 1(2): 57 – 65.

- **Baqueiro, C. E. y M. Muciño.** 1982. Análisis de una población de pata de mula *Anadara tuberculosa* sujeta a explotación intensiva en la Bahía de La Paz, Baja California Sur, México. *Cienc. Pesq. Inst. Nal. Pesca.* 3: 75 – 82.
- **Baqueiro, C. E. y J. A. Massó.** 1988. Variaciones poblacionales y reproducción de dos poblaciones de *Chione undatella* (Sowerby, 1835), bajo diferentes regímenes de pesca en la Bahía de La Paz, B.C.S., México. *Cienc. Pesq. Inst. Nal. Pesca.* 6: 51 – 67.
- **Bayne, B.L.** 1965. Growth and the delay of metamorphosis of the larvae of *Mytilus edulis* (L.). *Ophelia.* 2: 1 – 47.
- **Behzadi, S., K. Parivar y P. Roustaian.** 1997. Gonadal cycle of pearl oyster, *Pinctada fucata* (Gould) in Northeast Persian Gulf, Iran. *J. Shellfish Res.* 16(1): 129 – 135.
- **Bolger, T. y P. L. Connolly.** 1989. The selection of suitable indices for the measurement and analysis of fish condition. *J. Fish. Biol.* 34: 171-182.
- **Cáceres, M. C., C. A. Ruiz y M. C. Rodríguez.** 1990. Variaciones estacionales del índice gonádico y muscular de *Argopecten circularis* (Sowerby, 1835), en la Ensenada de La Paz, B.C.S., México. *Invest. Mar. CICIMAR.* 5(Esp.1): 1 – 6.
- **Casas-Valdez, M., G. Ponce-Díaz, A. Hernández-Llamas, M. A. Ojeda-Ruiz de la P., F. Galván-Magaña, E. Guzmán-Vizcarra, S. Hernández-Vázquez, A. Vélez-Barajas y A. Sui-Qui.** 1996. Recursos pesqueros y acuícolas de Baja California Sur : estado actual y perspectivas de aprovechamiento y desarrollo. En: Casas-Valdez, M. y G. Ponce-Díaz (Eds.). 1996. Estudio del

potencial pesquero y acuícola de Baja California Sur. SEMARNAP, Gob. Del Estado de Baja California Sur, FAO, UABCS, CIBNOR, CICIMAR, Inst. Nal. De la Pesca y CetMar.

- **Castro-Ortiz, J. L. y F. García-Domínguez.** 1993. Crecimiento de *Chione californiensis* (Broderip, 1835) (Bivalvia:Veneridae) en la Ensenada de La Paz, Baja California Sur, México. *Invest. Mar. CICIMAR.* 8(2): 45 – 52.
- **Castro-Ortiz, J. L. y A. Tripp-Quezada.** 1994. Crecimiento de la almeja chocolata roja *Megapitaria aurantiaca* (Bivalvia:Veneridae). *Invest. Mar. CICIMAR.* 9(2): 79 – 84.
- Cariño, M. y C. Cáceres-Martínez.** 1990. La Pericultura en la Península de Baja California a principios de siglo. *Serie Cient. U.A.B.C.S.* (Número Especial AMAC). 1:1-6.
- **Charnov, E. L., J.M. Smith y J. J. Bull.** 1976. Why be an hermaphrodite?. *Nature.* 263: 125 – 126.
- **Darrigan, G., P. Penchaszadeh y M.C. Damborenea.** 1999. The reproductive cycle of *Limnoperna fortunei* (Dunker, 1857) (Mytilidae) from a neotropical temperate locality. *J. Shellfish Res.* 18 (2): 361 –365.
- **Díaz, G. J.** 1972. Cultivo experimental de madreperla *Pinctada mazatlanica*, en la Bahía de La Paz, B.C. *Mem. IV Cong. Nal. Oceanogr.* 443 – 456.
- **Félix-Pico, E.** 1975. Informe preliminar del Programa de Estudios Ecológicos de Bahía Concepción, Estero San Lucas y Bahía de La Paz, B.C.S. Reporte de Investigaciones C.I.B.: 58-66.

- **Félix-Pico, E., R. Morales, M. Acosta, J. Singh y J. Verdugo.** 1980. Cultivo piloto de almeja catarina (*Argopecten circularis*) en la Ensenada de La Paz, B.C.S., México. *Mem. II. Simp. Latinoamer. Acuic.* 823 – 844.
- **Galtsoff, P. S.** 1964. The american oyster *Crassostrea virginica* Gmelin. *Fish. Bull.* 64: 1 –480.
- García-Cubas, A., M. Reguero y L. Jácome.** 1994. Moluscos arrecifales de Veracruz, México (Guía de campo). Universidad Nacional Autónoma de México. 143 p.
- García-Domínguez, F.** 1991. Distribución, abundancia, reproducción y fauna asociada de la almeja roñosa *Chione californiensis* en la Ensenada de La Paz, Baja California Sur, México. Tesis de Maestría. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas. Instituto Politécnico Nacional. La Paz, México. 70 pp.
- García-Domínguez, F., G. García-Melgar y P. González-Ramírez.** 1993. Ciclo reproductivo de la almeja roñosa *Chione californiensis* (Broderip, 1835), en Bahía Magdalena, Baja California Sur, México. *Cienc. Mar.* 19(1) 15-28.
- **García-Domínguez, F. y E. Félix-Pico.** 1993. Gasterópodos depredadores de *Chione californiensis* (Broderip, 1835) en la zona entre mareas de la Ensenada de La Paz, Baja California Sur, México. *Univ. Michoacana.* 7: 28 – 31.
- **García-Domínguez, F., J. Arvizu, S. Rodríguez y R. Ramírez.** 1994. Distribución y abundancia de *Chione californiensis* (Broderip, 1835) (Bivalvia:Veneridae) en la Ensenada de La Paz, Baja California Sur, México. *Rev. Biol. Trop.* 42(3): 531 – 536.

- **García-Domínguez, F., G. A. García-Gasca y J. L. Castro-Ortíz** 1994. Spawning cycle of the red clam *Megapitaria aurantiaca* at Isla Espiritu Santo, Baja California Sur, México. *J. Shellfish Res.* 15(2): 304 – 308.
- **García-Domínguez, F. y V. A. Levy.** 1994. Ciclo reproductor de la almeja roñosa *Chione californiensis* (Broderip, 1835) (Veneridae) en la Ensenada de La Paz, B.C.S., México. *Rev. Inv. Cient. Ser. Cienc. Mar.* 5(2): 37 – 42.
- **García-Domínguez, F., B. P. Cevallos-Vázquez y A. Tripp-Quezada.** 1996. Spawning cycle of the pearl oyster, *Pinctada mazatlanica* (Hanley, 1856), (Pteriidae) at Isla Espiritu Santo, Baja California Sur, México. *J. Shellfish Res.* 15(2):297-303.
- **García-Domínguez, F., B. P. Cevallos-Vázquez, M. Villalejo-Fuerte y M. Arellano-Martínez.**1998. Reproductive cycle of the giant reef clam *Periglypta multcostata* (Sowerby, 1835) (Pelecypoda:Veneridae) al Isla Espiritu Santo, Baja California Sur, México. *J. Shellfish Res.* 17 (4): 1009 – 1013.
- **García-Gasca, S. A.** 1992. Estudio morfológico y análisis citoquímico del manto de la madreperla *Pinctada mazatlanica* (Hanley, 1856) en relación a la formación de nácar. Tesis de Maestría. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas. Instituto Politécnico Nacional. La Paz, México. 91 p.
- **Gaytán, M. I., C. Cáceres-Martínez y M. Tobías.** 1993. Growth of the pearl oysters *Pinctada mazatlanica* and *Pteria sterna* in different culture structures at La Paz Bay, Baja California Sur, México. *J. World. Aqua. Soc.* 24(4): 541 – 546.

- **Ghiselin, M. T.** 1969. The evolution of hermaphroditism among animals. *Q. Rev. Biol.* 44: 189 – 208.
 - **Giese, A. C.** 1959. Comparative physiology: annual reproductive cycles of marine invertebrates. *Annu. Rev. Physiol.* 21: 547 – 576.
 - **Glantz, M. H.** 1996. El Niño's impact on climate and society. Cambridge University Press, Cambridge. 104 p.
 - **Gorrostieta-Hurtado, E.** 1997. Ciclo gonádico de *Arca pacifica* (Sowerby, 1833) y de *Cardita affinis* Sowerby, 1833 (Mollusca:Bivalvia) en Punta Arena, Bahía Concepción, B.C.S., México. Tesis de Maestría. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas. Instituto Politécnico Nacional. La Paz, México. 112 p.
 - **Grant, A. y P. Tyler.** 1983a. The analysis of data in studies of invertebrate reproduction. I. Introduction and statistical analysis of gonad indices and maturity indices. *Int. J. Invert. Reprod.* 6:259-269.
 - **Grant, A. y P. Tyler.** 1983b. The analysis of data studies of invertebrate reproduction. II. The analysis of oocyte size/frecuency data, and comparision of different types of data. *Int. J. Invert. Reprod.* 6:271-283.
 - **Hendrick, M.** 1985. Biodiversidad de los macroinvertebrados bentónicos acompañantes del camarón en el área del Golfo de California y su importancia como recurso potencial. Pp.95-141. En Yañes-Arancibia (ed). *Recursos Pesqueros potenciales de México (la pesca Acompañante del camarón)*. Primera edición: 1985
- DR © 1985, Universidad Nacional Autónoma de México.

- Holguín-Quiñones, O. y A. González-Pedraza.** 1989. Moluscos de la franja costera del Estado de Oaxaca, Méx. SEP. I.P.N. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas. Atlas CICIMAR No.7, 221 p.
- Holguín-Quiñones, O. y A. González-Pedraza.** 1994. Moluscos de la franja costera de Michoacán, Colima y Jalisco, Méx. Instituto Politécnico Nacional, México. 133 p.
- Illanes, J. S., S. Akaboshi y E. Uribe.** 1985. Efectos de la temperatura en la reproducción del ostión del norte *Chlamys (Argopecten) purpuratus* en la Bahía de Tongoy, durante el fenómeno El Niño 1982 – 1983 (Taller Nal. Fenómeno El Niño 1982 – 1983) *Invest. Pesq.* 32: 167-173.
- Keen, M.** 1971. Sea shell of tropical west America. 2o. Ed. Stanford University Press, Stanford, 1064 p.
- Livezey, R. H., M. Masutani, A. Leetmaa, H. Rui, M. Ji y A. Kumar.** 1997. Teleconnective response of the Pacific-North American region atmosphere to large Central Equatorial Pacific SST anomalies. *J. Climate.* 10 (8): 1787 – 1820.
- Lozada, E. y P. Reyes.** 1981. Reproductive biology of a population of *Perumytilus purpuratus* at El Tabo, Chile. *The Veliger.* 24(2): 147 – 154.
- Luna, L. G. (ed.).** 1968. Manual of histologic staining methods of the Armed Forces Institute of Pathology. 3rd. Ed. McGraw-Hill, New York, 258 pp.
- Lluch-Cota, S. E., S. Álvarez-Borrego, E. M. Santamaría-del Angel, F. E. Müller-Karger y S. Hernández-Vázquez.** 1997. El Golfo de Tehuantepec y

áreas adyacentes: Variación espaciotemporal de pigmentos fotosintéticos derivados de satélite. *Cienc. Mar.* 23(3): 329-340.

- **MacDonald, B. A. y R. J. Thompson.** 1985. Influence of temperature and food availability on the ecological energetics of the giant scallop *Placopecten magellanicus*. II. Reproductive output and total production. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 25: 295 –303.

-**Mackie, G. L.** 1984. Bivalves. *Err.* K.M. Wilbur, The Mollusca, Vol.7. Reproduction. pp 351-418.

- **Marsden, I.** 1999. Reproductive cycles of the surf beach clam *Paphies donacina* (Spengler, 1793) from New Zealand. *J. Shellfish Res.* 18(2): 539-546.

- **Martínez, A.** 1983. Prospección de los bancos de madreperla en el Golfo de California, de 1962 a 1965. Tesis de Maestría, Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas. Instituto Politécnico Nacional. La Paz, México. 77 p.

- **Mathieu, M. y P. Lubet.** 1993. Storage tissue metabolism and reproduction in marine bivalves –a brief review. *Invertebr. Reprod. Develop.* 23(2-3): 123 – 129.

- **Mazon-Suástegui, J. M.** 1987. Evaluación de cinco dietas microalgales en el crecimiento larval de *Modiolus capax* (Conrad, 1837) y *Pinctada mazatlanica* (Hanley, 1845). Tesis de Maestría, Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas. Instituto Politécnico Nacional. La Paz, México. 70 p.

- **Monteforte, M.** 1990. Ostras perleras y Perlicultura: Situación actual en los principales países productores y perspectivas para México. *Ser. Cient. U.A.B.C.S.* (Número Especial AMAC):13-18.

- **Monteforte, M.** 1991. Exploración y evaluación de las poblaciones naturales de ostras perleras *Pinctada mazatlanica* y *Pteria sterna* en algunas áreas costeras de la Bahía de La Paz, Sudcalifornia, México. *Taller México-Australia sobre Reclut. Rec. Mar. Benton. Penins. Baja California.* 25
- Monteforte, M. y M. Cariño.** 1992. Exploration and Evaluation of natural stocks of Pearl Oysters *Pinctada mazatlanica* and *Pteria sterna* (Bivalvia:Pteriidae): La Paz Bay, South Baja California, México. *Ambio.* 21(4):314-320.
- Moore, H. B.** 1932. A hermaphroditic sea urchin. *Nature.* 130:59
- Moreno, G. R. y R. Moreno.** 1994. Análisis experimental básico para el repoblamiento de *Pteria sterna* y *Pinctada mazatlanica* en Bahía Falsa, B.C.S., México. *Mem. IX Simp. Int. Biol. Mar. UABCS.* 192 – 203.
- Murillo-Jiménez, J. M.** 1987. Algunas características paleoceanográficas y cuerpos de agua inferidas a partir del registro paleontológico (Radiolaria) en la Bahía de La Paz, Baja California Sur. México. Tesis Profesional, Universidad Autónoma de Baja California Sur. 66 pp.
- **Murray, J.** 1964. Multiple mating and effective population size in *Cepaea nemoralis*. *Evolution.* 18: 238 – 291.
- **Obeso-Nieblas, M.** 1986. Propagación de la constituyente M2 de la marea en la Bahía de La Paz, Baja California Sur, México, mediante un modelo bidimensional hidrodinámico numérico. Tesis de Maestría, Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas. Instituto Politécnico Nacional. La Paz, México. 128 p.

- **Ochoa-Báez, R. I.** 1985. Antecedentes sobre el ciclo de reproducción de *Modiolux capax* (Conrad, 1873) (Bivalvia:Mytilidae) en la Bahía de La Paz, Baja California, México. *Inv. Mar. CICIMAR*. 2(2) 86 – 103.
- Ochoa-Báez, R. I.** 1987. Aspectos de la biología del mejillón *Modiolus capax* (Conrad, 1837) en la Bahía de La Paz, Baja California Sur. Tesis de Maestría. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas. Instituto Politécnico Nacional. La Paz, México. 137 p.
- **Orton, J. H.** 1920. Sea temperature, breeding and distribution of marine animals. *J. Mar. Biol. Ass. U.K.*12: 339 – 366.
- **Rose, R.A., R. E. Dybdal y S. Harders.** 1990. Reproductive cycle of the western australian silverlip pearl oyster *Pinctada maxima* (Jameson) (Mollusca:Pteridae). *J. Shellfish Res.* 9(2): 261 – 272.
- **Sastry, A. N.** 1963. Reproduction of the bay scallop, *Aequipecten irradians* Lamarck. Influence of temperature on maturation and spawning. *Biol. Bull. (Woods Hole, Mass.)*. 125: 146-153.
- **Sastry, A. N.** 1968. Relationships among food, temperature and gonad development of the bay scallop *Aequipecten irradians* Lamarck. *Physiol. Zool.* 41: 44 – 53.
- Sastry, A. N.** 1970. Reproductive physiological variation in latitudinally separated populations of the bay scallops *Aequipecten irradians* Lamark. *Biol. Bull.* 138: 56-65
- **Saucedo-Lastra, P.** 1995. Crecimiento, relaciones alométricas y reproducción de las ostras perleras *Pinctada mazatlanica* y *Pteria sterna* (Bivalvia:Pteriidae) bajo

condiciones de repoblamiento en El Merito, Bahía de La Paz, Baja California Sur, México. Tesis de Maestría. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas. Instituto Politécnico Nacional. La Paz, México. 101 pp.

-**Saucedo-Lastra, P. y M. Monteforte.** 1997. Breeding cycle of pearl oysters *Pinctada mazatlanica* and *Pteria sterna* at Bahia de La Paz, Baja California Sur, Mexico. *J. Shellfish Res.* 16(1): 103-110.

- **Searcy-Bernal, R.** 1984. Un estudio sobre la condición de la almeja Pismo *Tivela stultorum* con datos de longitud y peso de la carne de capturas comerciales. *Cien. Mar.* 9(2):19 – 30.

- **Seed, R.** 1976. Ecology. En: B.L. Bayne (ed.) Marine mussels: their ecology and physiology. Cambridge Univ. Press, Cambridge. Pp. 13 – 65.

-**Sevilla, M. L.** 1969. Contribución al conocimiento de la madreperla *Pinctada mazatlanica* (Hanley, 1945). *Rev. Soc. Mex. Hist. Nat.* 30:223-262.

-**Sevilla, M. L.** 1995. Moluscos de la franja costera de Chiapas, México. Instituto Politécnico Nacional, México, D.F. 152 p.

- **Sevilla, M. L.** 1977. Introducción a la Ecología Marina. Instituto Politécnico Nacional. México., 220 p.

- **Smith, C. L.** 1967. Contribution to a theory of hermaphroditism. *J. Theoret. Biol.* 17: 76 – 90.

- **Solano-López, Y., J. C. Peña, J. A. Palacios y R. A. Cruz.** 1997. Madurez sexual, índice de condición y rendimiento de *Pinctada mazatlanica* (Pterioida: Pteriidae), Golfo de Nicoya, Costa Rica. *Rev. Biol. Trop.* 45(3): 1049 – 1054.

- Thorson, G.** 1950. Reproductive and larval ecology of marine bottom invertebrates. *Biol. Rev. Cambridge Philos Soc.* 25: 1-45.
- **Tranter, D. J.** 1958c. Reproduction in australian pearl oyster (Lamellibranchia). II. *Pinctada albina* (Lamarck). Breeding season and sexuality. *Aust. J. Mar. Freshwater Res.* 9: 191-216.
- **Tranter, D. J.** 1958d. Reproduction in australian pearl oyster (Lamellibranchia). IV. *Pinctada margaritifera* (Linnaeus). *Aust. J. Mar. Freshwater Res.* 9: 191-216.
- **Tranter, D. J.** 1959. Reproduction in australian pearl oyster (Lamellibranchia). V. *Pinctada fucata* (Gould). *Aust. J. Mar. Freshwater Res.* 10: 45-46.
- Tripp-Quezada, A.** 1991. Biología del desarrollo de la madreperla del Golfo de California. Informe Técnico. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas. Instituto Politécnico Nacional. La Paz, México. 28 p.
- **Van der Schalie, H.** 1966. Hermaphroditism among north american freshwater mussels. *Malacologia.* 5:77-78.
- **Villalejo-Fuerte, M., F. García-Domínguez y R. I. Ochoa-Báez.** 1995. Reproductive cycle of *Glycymeris gigantea* (Reeve,1843) (Bivalvia:Glycymerididae) in Bahía Concepción, Baja California Sur, México. *The Veliger.* 38(2):126-132.
- Villalejo-Fuerte, M. y Ceballos-Vázquez B. P.** 1996. Variación de los índices de condición general, gonádico y de rendimiento muscular en *Argopecten circularis* (Bivalvia: Pectinidae). *Rev.Biol.Trop.* 44(2): 591 – 594.
- **Villalejo-Fuerte, M., B. P. Ceballos-Vázquez y F. García-Domínguez.** 1996a. Reproductive cycle of *Laevicardium elatum* (Sowerby, 1883)

(Bivalvia:Cardiidae) in Bahía Concepción, Baja California Sur, México. *J. Shellfish Res.* 15(3): 741 – 745.

-**Villalejo-Fuerte, M. y F. García-Domínguez.** 1998. Reproductive cycle of *Spondylus leucacanthus*, 1833 (Bivalvia:Spondylidae) at Isla Danzante, Gulf of California. *J. Shellfish Res.* 17(4): 1037 – 1042.

- **Wada, S.** 1953. Biology of the silver-lip pearl oyster *Pinctada maxima* (Jameson). 2. Breeding season. *Margarita.* 1:15 – 28.

- **Wolf, M.** 1988. Spawning and recruitment in the Peruvian scallop *Argopecten purpuratus*. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 42: 213 – 217.

- **Wolter, K. y M. S. Timlin.** 1998. Measuring the strength of ENSO – how does 1997/98 rank? *Weather.* 53: 315 – 324.

- **Wright, L. H.** 1997. Ecología de la captación de semilla de madreperla *Pinctada mazatlanica* y concha nácar *Pteria sterna* (Bivalvia:Pteridae), en la Isla Gaviota, Bahía de La Paz, B.C.S., México. Tesis de Maestría. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas. Instituto Politécnico Nacional. La Paz, México. 107 p.