

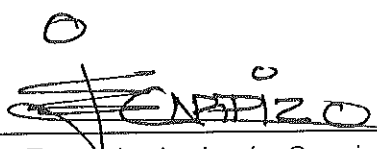
Biología Reproductiva de Tres Especies de Corales Formadores de Arrecife en
Bahía de Banderas México

Tesis que para obtener el grado de
Maestro en Ciencias

presenta

Verónica Vizcaino Ochoa

Aprobada por


Dr. Eugenio de Jesús Carpizo Ituarte

Director


M.C. Olivia Margarita Tapia Vázquez

Sinodal


M.C. Amílcar Levi Cupul Magaña

Sinodal

Ensenada Baja California, México
Agosto, 2003

"Al igual que todos los jóvenes,
me proponía ser un genio, pero
afortunadamente intervino la
risa"

Clea, Lawrence Durrell

Dedicada otra vez a Opi y a Vivi...

Agradecimientos

Al mar.

A mi mamá y mi hermana por su amor y apoyo incondicional.

A Eugenio Carpizo por aceptar dirigir este trabajo con todo lo que ello implicó, especialmente por la gran amistad.

A los sinodales de esta tesis, Olivia Tapia y Amilcar Cupul, así como a Guillermina Chi por el tiempo dedicado a este trabajo, sus comentarios y su cariño.

A Pedro Medina por estar siempre ahí...

A mis compañeros de la maestría, las flores: Ana, Tania, Nancy, Caro y Alejandrina, así como a Jushiro y Memo por todos los momentos compartidos.

A mis amigos Armando, Vanessa, Rodrigo, Paloma, Magally, Vero, Marisol y Edmundo por sus porras de larga distancia, además a Ruth y Dago por las porras locales.

A todas las personas del Laboratorio de Biología del Desarrollo del IIO por su cariño y compañerismo.

A todas las personas de la coordinación del posgrado de Ciencias Marinas de la UABC.

A Luis Calderón y el proyecto CONACYT No. 37528-B por el apoyo brindado.

Al CONACYT por la beca No. 162288

A todas las personas que se interesaron por este trabajo y a las que lo hagan después...

Resumen

En el Océano Pacífico la zona con mayor riqueza coralina es Australia con alrededor de 360 especies. A partir de ahí el número de especies va disminuyendo en los diferentes arrecifes hacia el Este y el límite en la distribución de corales en el Océano Pacífico es el Pacífico Oriental Tropical (POT). El origen de las comunidades coralinas del POT se presume por dispersión larval desde el Indo Pacífico y el Pacífico Central o por vicarianza, la que sugiere que las comunidades de esta región descienden de la fauna del Caribe. En el POT las comunidades coralinas del Pacífico Mexicano (PM) son las de mayor riqueza con 29 especies y una de las bahías mas importantes es Bahía de Banderas (BB). Esta bahía es considerada una zona de transición y muy dinámica oceanográficamente. Sus comunidades coralinas han sido poco estudiadas y no existe información acerca de su biología reproductiva. Por este motivo, con el objetivo de conocer la biología reproductiva de los corales del PM, se colectaron muestras mensuales de las especies más abundantes (*Pocillopora damicornis*, *Porites panamensis* y *Pavona gigantea*) de la Isla Redonda en BB a partir de diciembre del 2001 y hasta noviembre del 2002. Las muestras se procesaron mediante técnicas histológicas y se analizaron al microscopio. Las tres especies tuvieron gametos y la presencia de estos estuvo relacionada con el aumento de temperatura en BB. Cabe señalar, que durante el periodo de estudio existió un evento El Niño de magnitud moderada, lo que causó anomalías positivas en la temperatura del agua. *Pocillopora damicornis* fue la primera especie en presentar gametos y se clasificó como un organismo hermafrodita. Una de las características más importantes en *P. damicornis* fue la reabsorción de gametos, además de que no hubo embriones ni plánulas en esta especie, por lo que no fue posible verificar si la reproducción sexual es exitosa. Por su parte *Porites panamensis* tuvo gametos a partir de mayo del 2002 y embriones y plánulas en septiembre del mismo año. Esta especie se clasificó como gonocórica con fecundación interna en colonias hembras y mostró un comportamiento diferente a lo reportado en otras localidades del POT. Al parecer cuenta con la capacidad de mantener sus poblaciones mediante reproducción sexual. Finalmente *Pavona gigantea* fue la última especie que presentó gametos y permaneció en estas condiciones por un periodo muy corto. Se clasificó como gonocórica y no fue posible observar gametos maduros. Es posible que esta especie cuente con una estrategia de fecundación externa como ha sido reportada en otras localidades del POT. En síntesis, la información del presente trabajo muestra la primera evidencia de gametogénesis en corales del PM y nos permitirá comprender el papel que juega la reproducción sexual en el mantenimiento de estas comunidades del POT.

Índice general	Página
Resumen.....	i
Índice.....	ii
Índice de figuras.....	iv
Índice de tablas.....	vi
Introducción.....	1
Antecedentes.....	4
Biología reproductiva.....	4
Área de estudio.....	8
Objetivos.....	12
Método.....	13
Área de Colecta.....	13
Colecta de muestras.....	14
Análisis histológico.....	15
Resultados.....	18
<i>Pocillopora damicornis</i>	21
<i>Porites panamensis</i>	31
<i>Pavona gigantea</i>	42
Discusión.....	50
<i>Pocillopora damicornis</i>	51
<i>Porites panamensis</i>	54
<i>Pavona gigantea</i>	57

Oceanografía de la zona.....	59
Conclusiones.....	65
Recomendaciones.....	66
Literatura citada.....	67

Índice de figuras	Página
Figura 1. Ubicación del área de estudio.....	13
Figura 2. Temperatura superficial del agua en Bahía de Banderas y gametogenesis en las tres especies.....	19
Figura 3. Colonias de <i>Pocillopora damicornis</i> con gametos.....	20
Figura 4. Estadios de madurez de <i>Pocillopora damicornis</i>	24
Figura 5. <i>Pocillopora damicornis</i> sin gametos.....	25
Figura 6. <i>Pocillopora damicornis</i> ov. I.....	26
Figura 7. <i>Pocillopora damicornis</i> ov. I.....	27
Figura 8. <i>Pocillopora damicornis</i> ov. III.....	28
Figura 9. <i>Pocillopora damicornis</i> esp. II.....	29
Figura 10. <i>Pocillopora damicornis</i> esp. III.....	30
Figura 11. Estadios de madurez de <i>Porites panamensis</i>	34
Figura 12. <i>Porites panamensis</i> sin gametos.....	35
Figura 13. <i>Porites panamensis</i> ov. II.....	36
Figura 14. <i>Porites panamensis</i> ov. III.....	37
Figura 15. <i>Porites panamensis</i> ov. IV.....	38
Figura 16. <i>Porites panamensis</i> esp. I y II.....	39
Figura 17. <i>Porites panamensis</i> esp. III y IV.....	40
Figura 18. <i>Porites panamensis</i> embriones.....	41
Figura 19. Estadios de madurez de <i>Pavona gigantea</i>	45
Figura 20. <i>Pavona gigantea</i> sin gametos.....	46
Figura 21. <i>Pavona gigantea</i> ov. II.....	47

Figura 22. <i>Pavona gigantea</i> ov III.....	48
Figura 23. <i>Pavona gigantea</i> esp. III.....	49

Índice de Tablas	Página
Tabla 1. Clasificación de estadios de desarrollo.....	16
Tabla 2. Mediciones de gametos de <i>Pocillopora damicornis</i>	22
Tabla 3. Características de los estadios de desarrollo en <i>Pocillopora damicornis</i>	23
Tabla 4. Mediciones de gametos de <i>Porites panamensis</i>	32
Tabla 5. Características de los estadios de desarrollo en <i>Porites panamensis</i>	33
Tabla 6. Mediciones de gametos de <i>Pavona gigantea</i>	43
Tabla 7. Características de los estadios de desarrollo en <i>Pavona gigantea</i>	44

Introducción

Las comunidades coralinas de Bahía de Banderas se ubican en una zona muy particular debido a que están en el límite este de la distribución de corales en el Pacífico y además, oceanográficamente se encuentran en una zona de transición. Hasta el momento, es muy poca la información acerca de estas comunidades coralinas en el límite de su distribución y se desconoce totalmente la biología reproductiva de los corales que habitan esa localidad.

Los arrecifes coralinos son uno de los ecosistemas más diversos y productivos del planeta. Estas comunidades se desarrollan en zonas tropicales en donde la incidencia solar es alta y las concentraciones de nutrientes así como de sedimentos disueltos en el agua son bajas (Glynn, 1997).

En el Océano Pacífico los arrecifes coralinos se desarrollan desde Sri Lanka hasta las costas del Pacífico Oriental. A lo ancho del todo el Océano Pacífico, Australia es el centro de biodiversidad y se ha calculado que en la Gran Barrera existen alrededor de 350 especies de corales hermatípicos (Richmond, 1990). Esta mega diversidad disminuye hacia el Este, donde las menores diversidades se asocian con la costa Oeste del continente americano asociadas al Pacífico Oriental.

En el Pacífico Oriental Tropical (POT) las comunidades coralinas se encuentran desde México hasta Perú (Cortes, 1997), las formaciones coralinas modernas de esta zona del Pacífico se han catalogado como comunidades notablemente pobres en relación a otras zonas del Pacífico (Glynn, 1997). A pesar de esto, existen comunidades coralinas importantes y las zonas con mayor desarrollo coralino dentro de esta región son México y Panamá. El desarrollo coralino se da principalmente en estas zonas debido a que la plataforma continental es más ancha lo que permite el asentamiento de corales. Además estas dos localidades son al mismo tiempo las que presentan la mayor riqueza de corales con alrededor de 20 especies cada una (Glynn y Ault, 2000).

Para explicar la llegada de corales al POT se han propuesto dos hipótesis. Una mediante la dispersión de larvas desde el Pacífico Central que son transportadas hacia el Este principalmente por la Contracorriente Norecuatorial; esta hipótesis fue propuesta por Dana (1975). Por otro lado la hipótesis de vicarianza propuesta por Heck y McCoy (1978) involucra cambios inducidos por la tectónica de placas, y sugiere que la fauna del POT descende del Atlántico Oeste (Mar Caribe).

El problema del origen y mantenimiento de las comunidades coralinas del POT es una pregunta difícil de contestar, sin embargo, el conocimiento de la biología reproductiva de las especies de coral en la región, puede contribuir a entender el papel de la reproducción sexual y asexual y por lo tanto, entender su capacidad de adaptación para mantener sus poblaciones en el POT.

La capacidad de los corales para mantener sus propias poblaciones o la dependencia de larvas desde otras localidades pueden dar pistas acerca de los procesos que han permitido que estas comunidades coralinas se desarrollen en esta zona. Actualmente se cuenta con poca información acerca de la biología reproductiva de los corales del POT y existen únicamente datos disponibles acerca de las comunidades de Panamá, Costa Rica y las Islas Galápagos en Ecuador.

Particularmente en la localidad de Bahía de Banderas en México, existen zonas en donde la cobertura coralina es mayor al 40%. En esta localidad se han registrado diez especies de corales formadores de arrecifes de las cuales las tres especies más abundantes son *Pocillopora damicornis*, *Pavona gigantea* y *Porites panamensis* (Cupul-Magaña *et al.*, 2000), en esta localidad así como en todas las del Pacífico Mexicano no existen trabajos acerca de la biología reproductiva de los corales que ahí habitan.

Si se consideran los diversos factores que influyen en la dispersión y mantenimiento de las comunidades coralinas, resulta evidente que la biología reproductiva de cada especie es fundamental para el mantenimiento de las mismas, aunado a lo anterior, el aumento en los cambios ambientales a nivel

global hace necesario un monitoreo constante de los arrecifes coralinos, ya que las respuestas tanto reproductivas como de otra índole puede presentar variaciones con periodicidad mayor a los ciclos anuales.

El presente estudio tiene la finalidad de aportar información acerca de la biología reproductiva de las comunidades coralinas de la Isla Redonda en Bahía de Banderas. Con estos datos se pretende generar información que permita aclarar el papel que juega la reproducción en el mantenimiento de las comunidades en la región, así como evaluar la capacidad de reproducción sexual en arrecifes coralinos que han sido dañados por actividades tanto naturales como antropogénicas.

Antecedentes

Biología Reproductiva

Debido a la amplia distribución así como a la diversidad de especies, el estudio de la biología reproductiva de corales aún es incompleto y la mayoría de los trabajos se han realizado en arrecifes muy localizados.

Los primeros estudios se llevaron a cabo antes de la década de los cincuentas (Ballard, 1942; Edmondson, 1946; Atoda, 1947; Connell, 1973; Gilmore y Hall, 1976; Hayes y Goreau, 1977; Chia, 1978) y en la actualidad se sigue trabajando para conocer la biología reproductiva de los arrecifes de lugares como China (Fan y Dai, 1995), Florida (McGuire, 1998), la Gran Barrera Australiana (Slattery *et al.*, 1999), Japón (Harii *et al.*, 2002) y Brasil (Neves y Pires, 2002).

Las investigaciones acerca de la reproducción sexual en corales han mostrado que existe una gran diversidad en los patrones reproductivos. Tradicionalmente se pensaba que los corales únicamente liberaban plánulas de forma intermitente durante todo el año. Posteriormente se confirmó que la mayoría de estos organismos fertilizan externamente sus gametos. Asimismo, se ha observado que algunas especies participan en desoves masivos y otras especies producen larvas asexualmente (Harrison y Wallace, 1990).

Acerca de la gametogénesis se sabe que esta puede ocurrir durante periodos muy breves y que, además, pueden presentarse ciclos anuales o relacionados con las fases lunares. Las especies que desovan gametos que se fertilizan en la columna de agua generalmente están relacionadas con desoves anuales, mientras que los corales que fecundan sus gametos internamente y que liberan plánulas, tienen por lo regular ciclos de gametogénesis múltiples en el año (Harrison y Wallace, 1990). Se ha observado también que la gametogénesis en los corales es común durante el verano en la zonas

tropicales y subtropicales cuando la temperatura del agua es alta (Fadlallah, 1983).

La especie más estudiada en el mundo es *Pocillopora damicornis* (Atoda, 1947; Connell, 1973; Clausen y Roth, 1975; Jokiel, 1978; Richmond, 1981; Richmond y Jokiel, 1984), cuenta con una distribución muy amplia y se ha reportado casi en todos los arrecifes del Pacífico (Fadlallah, 1983). Es una especie de forma ramosa con pólipos grandes (alrededor de 1 mm) por lo que resulta fácil trabajar con ella en el laboratorio.

Un tema controversial en *P. damicornis* es la formación asexual de plánulas (Chávez, 1986), este evento ha sido reportado en corales ahermatípicos y únicamente ha sido documentado en tres especies de corales hermatípicos (Fadlallah, 1983), siendo una de ellas *P. damicornis* (Stoddart, 1984). Acerca de esta especie se sabe también que la liberación de larvas ocurre en Hawaii y en Enewetak pero al parecer es un evento que no ocurre en Panamá (Richmond, 1981; Glynn *et al.*, 1994). La ausencia de liberación de plánulas en las poblaciones de *P. damicornis* en Panamá probablemente se debe a que la energía se canaliza en el crecimiento de las colonias y no en la reproducción. Lo anterior concuerda con la observación de que en esta zona del POT las colonias de *P. damicornis* son más grandes. Se propone que en Panamá la reproducción asexual es una estrategia más utilizada (Richmond, 1987).

En el POT se han realizado pocos estudios específicos para conocer la biología reproductiva de corales. Uno de los primeros se llevó a cabo en Panamá por Richmond (1985). El estudio consistió en analizar histológicamente colonias de *Pocillopora damicornis* colectadas de dos sitios, uno con influencia de surgencias y otro sin este efecto. Al finalizar el estudio no se observaron gónadas maduras en los corales de ningún sitio, por lo que el autor sugiere que las larvas que se asientan en Panamá, provienen del Pacífico Central apoyando así la hipótesis de dispersión propuesta por Dana (1975).

A partir de los años noventa, se ha documentado la biología reproductiva de ocho especies de corales de Panamá, Costa Rica y Ecuador. Entre ellas se incluyen las tres especies con la que se trabajó en el presente estudio. Estos trabajos se resumen en cuatro publicaciones.

El primer estudio menciona que después de analizar histológicamente 700 colonias de dos especies del género *Pocillopora*, se observó alrededor del 90% de las colonias con gónadas en estadios de desarrollo avanzados en las dos especies, sin embargo no se observaron embriones, ni plánulas en *P. damicornis*. Los resultados sugieren que es posible que la reproducción asexual en esta especie sea la estrategia dominante (Glynn *et al.*, 1991).

En un segundo trabajo acerca de dos especies del género *Porites*, los mismos autores reportan que estas especies presentaron patrones reproductivos similares a los de corales del mismo género en el Pacífico Central y Oriental. Las dos especies estudiadas, *P. panamensis* y *P. lobata* se reproducen durante todo el año, y liberan plánulas continuamente. En estas especies la ovogénesis fue más intensa durante periodos de luna nueva. Al finalizar el estudio la conclusión fue que el género *Porites*, en el POT cuenta con la capacidad de reproducirse sexualmente por lo que no se contempla la dependencia de larvas que provengan de largas distancias (Glynn *et al.*, 1994).

En cuanto al tercer trabajo, los autores mencionan que los máximos de reproducción en *Pavona gigantea* ocurren durante la estación de lluvias. Ellos encontraron que existe una clara sincronía de desove con las fases lunares ya que la liberación de gametos se registró alrededor de la luna nueva y luna llena. *Pavona gigantea* se reporta como un organismo hermafrodita y gonocórico, sin embargo al igual que *Pocillopora damicornis* ninguna colonia presentó embriones. Asimismo, la gametogénesis se incrementó notablemente en los sitios que no estaban bajo la influencia de surgencias y se observó que la tasa de reclutamiento de esta especie es alta por lo que al parecer *Pavona gigantea* cuenta con la capacidad de mantener sus poblaciones en esa zona (Glynn *et al.*, 1996).

En el último trabajo se analizaron histológicamente colonias de *Pavona varians* y *Pavona sp. a*, colectadas durante 14 años en las mismas localidades que los trabajos anteriores. Estas dos especies de la familia Agariciidae fueron hermafroditas y de fecundación externa, con algunos casos de gonocorismo. Durante este estudio se observó liberación de gametos en los días de luna nueva durante once meses del año. Los autores sugieren que estas dos especies contaron con la capacidad de reproducirse sexualmente durante los 14 años de estudio. La mayor actividad reproductiva se registró en la temporada de secas, especialmente en las localidades sin eventos de surgencias. El reclutamiento durante el periodo de estudio fue evidente, sin embargo durante los efectos de El Niño cuando la temperatura presentó anomalías positivas de 1.6 a 1.9°C la tasa de reclutamiento fue mínima (Glynn *et al.*, 2000).

Los principales factores que afectan la reproducción de los corales en el POT son las variaciones térmicas y el aporte de sedimentos de la zona costera. Esta zona también se ve afectada por eventos de surgencias, esto principalmente durante la primavera en localidades como Cabo Corrientes al sur de Bahía de Banderas y Golfo de Tehuantepec en México así como el Golfo de Papagayo en Panamá (Glynn y Ault, 2000). En la actualidad los corales formadores de arrecifes que habitan el POT son en su mayoría de las mismas especies que habitan el Pacífico Central y el Indo Pacífico y únicamente se comparten tres géneros con el Caribe, los cuales son, *Porites*, *Siderastrea* y *Leptoseris* (Glynn y Ault, 2000).

Se ha mencionado que el aporte de larvas hacia el POT es posible mediante las corrientes, principalmente desde el Pacífico Central a través de la Contracorriente Norecuatorial, la cual se intensifica durante los eventos El Niño (Glynn y Ault, 2000). Durante estos periodos la Contracorriente Norecuatorial aumenta su flujo de 0.39 m/seg en condiciones normales hasta 1.40 m/seg durante El Niño; las larvas de invertebrados marinos de las islas del Indo Pacífico pueden cruzar el Pacífico en periodos de entre 50 y 80 días

(Richmond, 1999), esto hace posible que las larvas de corales formadores de arrecifes lleguen al POT aún con la capacidad de metamorfozarse. Se ha comprobado que las plánulas de *P. damicornis* pueden vivir en la columna de agua hasta más de tres meses, tiempo suficiente para reclutarse en el POT (Richmond, 1985).

Se ha propuesto que el Pacífico Mexicano fue colonizado desde el Indo Pacífico y se considera que las zonas de entrada son las islas Revillagigedo y Oaxaca (Reyes-Bonilla, 1993), lo que concuerda con la hipótesis de Dana (1975). Las Islas Revillagigedo cuentan con la mayor riqueza y con la mayor afinidad de especies con el Indo Pacífico, por lo que se cree que existe una conexión directa en el transporte de larvas, y que además, estas islas sirven como "escalones" ("steeping stones" en inglés) para el transporte de larvas para las demás localidades del Pacífico Mexicano (Ketchum y Reyes-Bonilla, 1997). Las comunidades coralinas del Pacífico Mexicano se encuentran aisladas entre ellas y la distribución de la mayoría de las especies es limitada, además entre cada una de las comunidades existen parches arenosos que pueden ser considerados como barreras físicas (Reyes-Bonilla, 1993). A pesar de lo anterior el Pacífico Mexicano cuenta con un total de 29 especies de corales formadores de arrecife, lo que hace que esta zona sea la más rica del Pacífico Oriental Tropical (Rodríguez-Zaragoza, 2001).

Área de Estudio

En Bahía de Banderas, una de las bahías mas importantes del Pacífico Mexicano, las tres especies de corales mas abundantes son *Pocillopora damicornis*, *Porites panamensis* y *Pavona gigantea*. Se trata de tres especies con morfología diferente, *P. damicornis* cuenta con una estructura ramosa y las colonias alcanzan aproximadamente 40 cm de diámetro máximo; *P. panamensis* presenta un crecimiento incrustante y las colonias son generalmente pequeñas y varían entre 15 y 30 cm de diámetro. *P. gigantea*

presenta una forma masiva, crece principalmente sobre sustrato rocoso y es común observar varias colonias juntas formando una sola estructura. La morfología de estas especies es similar a lo que se reporta en otras zonas del POT a pesar de que Bahía de Banderas cuenta con características muy especiales.

Bahía de Banderas se ubica en la provincia Norte del POT junto con todos los arrecifes de la costa de México y las islas Revillagigedo (Glynn y Ault, 2000). Además, se encuentra en una zona de transición donde convergen tres corrientes oceánicas con características diferentes (Wyrtki, 1965). Es una zona en donde coinciden procesos atmosféricos y oceanográficos que le confieren su particularidad y complejidad (Badan, 1997).

La temperatura superficial del agua en esta localidad oscila entre 18°C durante el invierno y 35°C durante el verano, mientras que la salinidad se mantiene entre 32.7 y 37.1 ‰ durante un periodo anual (Instituto de Geofísica, 1994). Lo anterior indica que se trata de una zona con amplia variación termal estacional en condiciones normales y que en algunos periodos podría limitar la actividad reproductiva de las especies de coral que habitan en la zona. La precipitación pluvial anual es de 1200 mm (Reguero y Garcia, 1989). Se presentan eventos de surgencias en la parte sur de la bahía en los meses de diciembre a mayo, y estas condiciones causan que la termoclina verdadera se presente entre los 20 y 40 m de profundidad (Wyrtki, 1965; Álvarez Borrego, 1993).

Para los corales, la temperatura es un factor importante para el desarrollo. Algunos autores mencionan que la temperatura óptima para el crecimiento, así como la reproducción en los corales es de 26 a 27°C (Glynn y Wellington, 1983). Incrementos en temperatura de 3°C arriba del óptimo pueden producir abortos en el desarrollo de las plánulas (Glynn y Steward, 1973 en Richmond, 1987; Jokiel, 1985). En Bahía de Banderas se han observado anomalías de temperatura de hasta 4°C por encima del máximo de temperatura anual durante eventos El Niño, los cuales han dejado mortalidades

hasta del 96% durante eventos intensos como el registrado durante 1997-1998 (Cupul-Magaña *et al.*, 2000). La alta variación en los patrones físicos especialmente en la temperatura, fue uno de los motivos que hizo a Dana (1975) proponer su hipótesis acerca de la esterilidad en los arrecifes del Pacífico Oriental.

Una consecuencia directa de la capacidad reproductiva de los corales es el reclutamiento. En Bahía de Banderas los primeros estudios acerca del reclutamiento coralino se llevaron a cabo a finales de la década de los noventa. Durante 1999 se realizó un primer trabajo con el objetivo de conocer los patrones de reclutamiento de los corales de Bahía de Banderas después del evento El Niño 1997-1998. Como resultado se registraron 2 reclutas del género *Porites*, aparentemente producto de la fijación de larvas de origen sexual (Vizcaíno-Ochoa *et al.*, 1999). Lo anterior indica que en esta zona existen las condiciones adecuadas para el asentamiento de estos organismos. Desafortunadamente la presencia de los reclutas no ofrece información sobre su procedencia. No es posible saber si los reclutas fueron producto de la liberación de larvas de colonias de Bahía de Banderas que sobrevivieron a la mortalidad que provocó El Niño o si se trataba de larvas que provenían de otra zona.

Posteriormente se realizó otro estudio para conocer el reclutamiento coralino en las comunidades de nueve localidades de Jalisco y Nayarit. En este estudio se encontraron nueve reclutas del género *Porites* en dos localidades del sur de Jalisco, lo que comprueba la dispersión de larvas, evidente por la presencia de nuevos corales de especies diferentes a las que existen en la localidad (Medina-Rosas, 2000).

La presencia de nuevos reclutas de las especies más comunes de corales en Bahía de Banderas no se ha podido relacionar de manera definitiva con los ciclos reproductivos, ya que no se cuenta con estudios detallados de estos últimos. Por otra parte, variaciones anuales asociadas a fenómenos

oceanográficos con periodicidad mayor a un año seguramente influyen y modifican los ciclos reproductivos.

Como se ha mostrado, el estudio de la biología reproductiva se ha llevado a cabo desde varios enfoques. Sin embargo, los estudios aún son escasos en el POT y prácticamente nulos en la región correspondiente al Pacífico Mexicano. Las observaciones del presente trabajo, sobre la gametogénesis de las tres especies de corales más abundantes en Bahía de Banderas permitirán tener un mejor entendimiento acerca de la dinámica de los arrecifes del Pacífico Mexicano. En particular, documentar los ciclos gametogénicos en Bahía de Banderas ayudará a comprender el papel que juega la reproducción sexual en el mantenimiento de estas comunidades coralinas.

Objetivos

General

- Documentar el ciclo reproductivo de tres especies de corales hermatípicos (*Pocillopora damicornis*, *Pavona gigantea* y *Porites panamensis*) en Bahía de Banderas, Jalisco-Nayarit.

Particulares

- Comparar las estructuras internas de los pólipos de tres especies de corales, durante un periodo anual.
- Determinar la presencia de gametos, su madurez y la presencia de larvas plánulas en los pólipos de los corales para compararlos con las características reproductivas de corales de otras regiones.

Método

Área de Colecta

La colecta del material se llevó a cabo en la Isla Redonda una de las Islas Marietas ubicada en Bahía de Banderas entre los $20^{\circ} 15'$ y $20^{\circ} 47'$ N y los $105^{\circ} 15'$ y $105^{\circ} 42'$ O, al suroeste del estado de Nayarit y al noroeste del estado de Jalisco (Figura 1). La isla Redonda es la más cercana a tierra, mide aproximadamente 28 hectáreas y presenta un contorno muy irregular (Gaviño y Uribe, 1980; Blanco, 1997) presenta un escalón a los 6 m de profundidad con un fondo rocoso y algunos parches arenosos. A partir de este escalón aumenta la pendiente hasta llegar a los 30 m. Los principales constructores de las comunidades coralinas de esta localidad son del género *Pocillopora* y *Pavona* (Cupul-Magaña *et al.*, 2000).

Las muestras se colectaron en esta localidad debido a los resultados de estudios previos acerca de reclutamiento (Vizcaíno-Ochoa *et al.*, 1999), la cobertura de corales y el impacto al que están siendo sometidas por las actividades humanas.

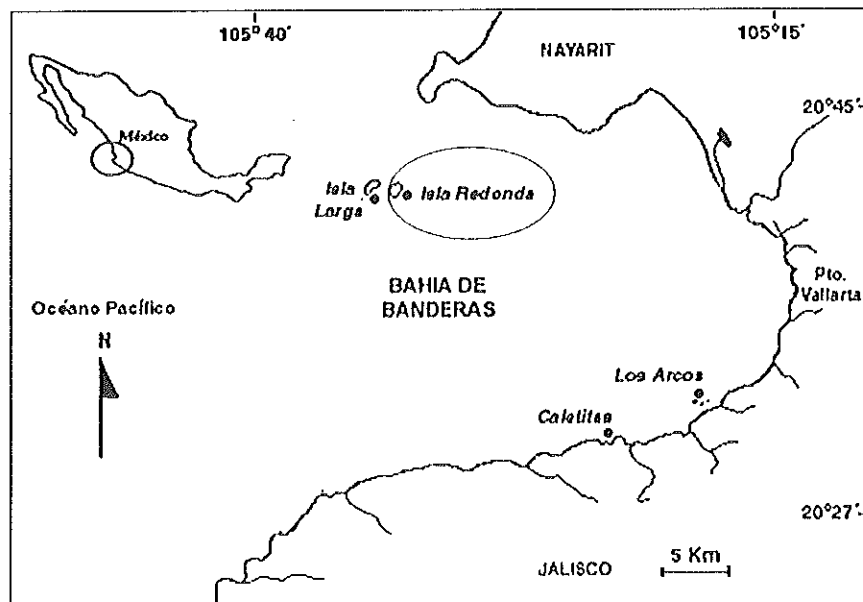


Figura 1. Ubicación de la Isla Redonda, localidad de donde se colectaron los fragmentos de coral.

Colecta de muestras

Las muestras de corales se obtuvieron mediante visitas mensuales en lancha a la Isla Redonda. La colecta de fragmentos inició en diciembre del 2001 y finalizó en noviembre del 2002. Únicamente durante los meses de julio y agosto se realizaron muestreos intensivos aumentando la colecta a dos veces por mes, estas muestras se denominaron julio, julio II, agosto y agosto II. Los fragmentos de corales vivos colectados fueron de aproximadamente 5 a 10 cm de longitud. Para la colecta de fragmentos se seleccionaron colonias que presentaran el diámetro promedio esperado de una colonia adulta con capacidad reproductiva, el cual es de un mínimo 30 cm de longitud en las tres especies. Los fragmentos se obtuvieron por medio de buceo autónomo con la ayuda de un cincel y la colecta consistió en tomar de cada especie tres fragmentos de colonias diferentes, así como un fragmento de una colonia de referencia de *Pocillopora damicornis* y de *Pavona gigantea*, a las cuales, se les cortaron fragmentos durante todo el año. Esto se hizo con el fin de dar seguimiento a los cambios estacionales en una sola colonia. Lo anterior no fue posible en *Porites panamensis* debido al reducido tamaño de las colonias de esta especie.

Una vez colectados los fragmentos se colocaron en formol al 10% en agua de mar. Las muestras en estas condiciones se enviaron a Ensenada B. C, para ser procesadas en el Laboratorio de Histología del Instituto de Investigaciones Oceanológicas de la Universidad Autónoma de Baja California, siguiendo la metodología propuesta por Glynn *et al.* (1991).

Análisis Histológico

La metodología consistió en colocar fragmentos de aproximadamente 3 x 3 cm de cada especie de coral en solución fijadora Zenker durante 16 horas. Posteriormente se descalcificaron en una solución preparada con 10% de HCl, 0.7 gr de EDTA, 0.008 gr de tartrato de potasio de sodio y 0.14 gr de tartrato de sodio por litro de solución. Una vez descalcificados los tejidos se enjuagaron en agua dulce por 24 horas. Posteriormente se deshidrató el tejido en una serie de alcoholes (70, 80, 90 y 100%) durante media hora, se aclaró con Hemo-De, un sustituto no tóxico de xileno, y posteriormente se infiltraron en parafina para seccionarse en el micrótom.

El tejido se cortó en forma longitudinal con un grosor de 8 μ m. Cada serie de cinco cortes se colocó en un portaobjetos. Después se avanzó 200 μ m en el bloque de parafina para repetir las secciones de cinco cortes de 8 μ m cada uno y analizar una parte diferente de la colonia. De esta forma se obtuvieron un promedio de tres series de cinco cortes para cada colonia, con un promedio de 15 cortes por colonia. Por último los tejidos se tiñeron con Azocarmin G y se analizaron con la ayuda de un microscopio compuesto Axioskop (Zeiss). Cada corte fue analizado con el objetivo 10X. En el caso de que los cortes tuvieran gametos, estos se midieron con la ayuda del objetivo 40X. A cada ovocito y a cada espermeario se le midió el diámetro mayor, además de anotar las características morfológicas más importantes.

Con el objetivo de detectar la posible presencia de plánulas se analizaron además las muestras de agua en que fueron fijados los corales. Para esto una vez que las muestras estuvieron en el laboratorio se tamizó el agua a través de una malla de 50 μ m, se concentró en 2 ml y posteriormente se analizó con la ayuda de un microscopio estereoscópico (Zeiss). Se documentó en video las estructuras que tuvieron apariencia de plánulas.

La clasificación de gametos se realizó de acuerdo con lo propuesto por Szmant-Froelich *et al.* (1985) para la especie *Favia fragum*, con modificaciones

de Glynn *et al.* (1991; 1994; 1996) para las especies de este estudio. Los ovocitos se clasificaron de acuerdo al tamaño así como a sus características generales, mientras que los espermarios únicamente por sus características morfológicas. Las clasificaciones utilizadas se presentan en la tabla 1.

Tabla 1. Clasificación de estadios de desarrollo utilizada para establecer el grado de madurez en *Pocillopora damicornis*, *Porites panamensis* y *Pavona gigantea*.

Ovogénesis en <i>Favia fragum</i> (Szmant-Froelich <i>et al.</i> , 1985)		
Estadio	Diámetros	Descripción
I	10-20 μm	Primer estadio reconocible, con características de células intersticiales con núcleos alargados y muy poco citoplasma. Estos ovocitos generalmente se encuentran en el endodermo de los mesenterios, y más comúnmente en la mesoglea.
II	20-40 μm	El núcleo continúa alargándose antes del inicio de la vitelogénesis. Estos ovocitos se tiñen de tonos azules.
III	30-250 μm	Inicio de la vitelogénesis cuando las células son de aproximadamente 30 μm y continua hasta que los ovocitos alcanzan 250 μm . Durante este periodo la vesícula germinal migra hacia la periferia, característica de los huevos de Anthozoa. Estos ovocitos se tiñen de rosa.
IV	> 200 μm	Antes de la ovulación los ovocitos se tiñen de rojo oscuro y desarrollan una muesca en el núcleo. Se observan únicamente uno o dos ovocitos en estadio IV por mesenterio y siempre se ubican en la base de este.

Modificaciones para el género <i>Pocillopora</i> (Glynn <i>et al.</i> , 1991)		
Estadio	Diámetros	Descripción
III	40-80 μm	Los ovocitos se tiñen de naranja, algunas veces azul claro y el núcleo es muy evidente.
IV	100 μm	El núcleo aparece condensado, y en algunas ocasiones puede estar separado del material de la vitelogénesis. Incremento de vacuolas de lípidos en el citoplasma que cambia de color rojo a naranja oscuro. Presencia de zooxantelas.

Modificaciones para el género <i>Porites</i> (Glynn <i>et al.</i> , 1994)		
Estadio	Diámetros	Descripción
IV	100 μm	Los huevos contienen el núcleo en la periferia aparentando una invaginación. Las zooxantelas entran al ovocito desde el material de la gastrodermis que lo rodea.

(continuación tabla 1)

Espermatogénesis en <i>Favia fragum</i> (Szmant-Froelich <i>et al.</i> , 1985)		
Estadio	Diámetros	Descripción
I	4 μ m	Los espermatoцитos se observan en el endodermo cerca de la mesoglea. Aparentemente se ven como células intersticiales alargadas. Se observan en grupo de cinco a diez células por espermeario.
II		Las células entran o son absorbidas por la mesoglea. Migración de los espermatoцитos primarios desde el endodermo.
III		Crecimiento de los espermearios por divisiones celulares. Los espermatoцитos individuales son más pequeños que en estadios anteriores y el núcleo y el citoplasma son fáciles de observar.
IV		Condensación del núcleo y probablemente se lleva a cabo la meiosis, los espermatoцитos son mas pequeños y contienen menos citoplasma.
V		Finalmente las colas son fácilmente observables, se forma el lumen en el espermatoцитo.

Modificaciones para el género <i>Pocillopora</i> (Glynn <i>et al.</i> , 1991)		
Estadio	Diámetros	Descripción
I		No se reconoce la migración de las células intersticiales
II		En algunas ocasiones se observan como una extensión de la mesoglea
III		Más numerosos que en estadios anteriores, núcleos muy pequeños que se tiñen de rojo o magenta
VI y V		Estadios equivalentes. Esperma aproximadamente de la mitad que en el estadio III y mas densos, se tiñen de rojo o magenta y las colas de naranja. Generalmente se observan ramilletes de espermas.

El análisis estadístico de los datos se realizó en función de la presencia o ausencia de gametos. Únicamente se identificó si existieron o no diferencias significativas entre los gametos maduros de más de una colonia durante el mismo mes mediante una comparación de medias (prueba t). El análisis anterior se realizó con la ayuda del programa Minitab Statistical Software Inc.

Resultados

En las tres especies se observó gametogénesis durante el ciclo anual. Los organismos de cada especie presentaron desfaseamiento en el inicio de los ciclos reproductivos entre ellos. Una característica común fue que las tres especies comenzaron con actividad reproductiva durante los meses en que la temperatura del agua en Bahía de Banderas aumentó (Figura 2).

Al parecer el origen de los gametos fue distinto en cada especie. En *Pocillopora damicornis* los gametos menos desarrollados se observaron cerca de los mesenterios. Por otro lado en *Porites panamensis* las primeras células germinales se observaron cerca de la mesoglea. Finalmente en *Pavona gigantea* aunque no encontramos células en estadio I, en algunos casos fue posible observar células que posiblemente dieron origen a los ovocitos ya que presentaron características como citoplasmas granulados y núcleos muy grandes y transparentes. Estas células fueron observadas principalmente en la parte oral de los pólipos.

La proporción de colonias con gametos se presenta en la figura 3. En este caso únicamente se muestran las colonias que fueron elegidas al azar. Las colonias de referencia de *Pocillopora damicornis* y *Pavona gigantea* tuvieron gametos únicamente durante junio la primera y durante agosto y agosto II la segunda. En el caso de *P. gigantea*, la colonia de referencia fue hembra en el mes de agosto y macho en agosto II.

En las muestras de agua provenientes de la colecta no se encontró ninguna evidencia de gametos, embriones o plánulas.

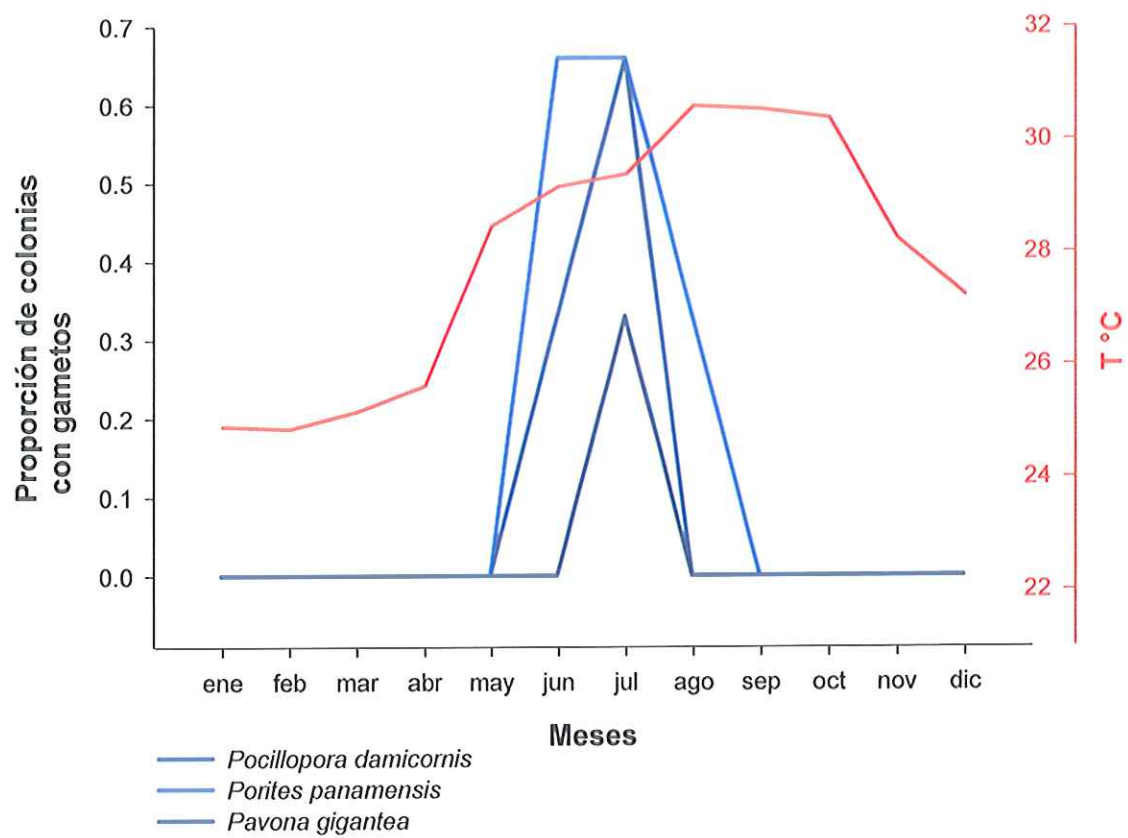


Figura 2. Temperatura superficial del agua en Bahía de Banderas durante los meses de muestreo, comparada con los meses en que las tres especies estudiadas tuvieron gametos.

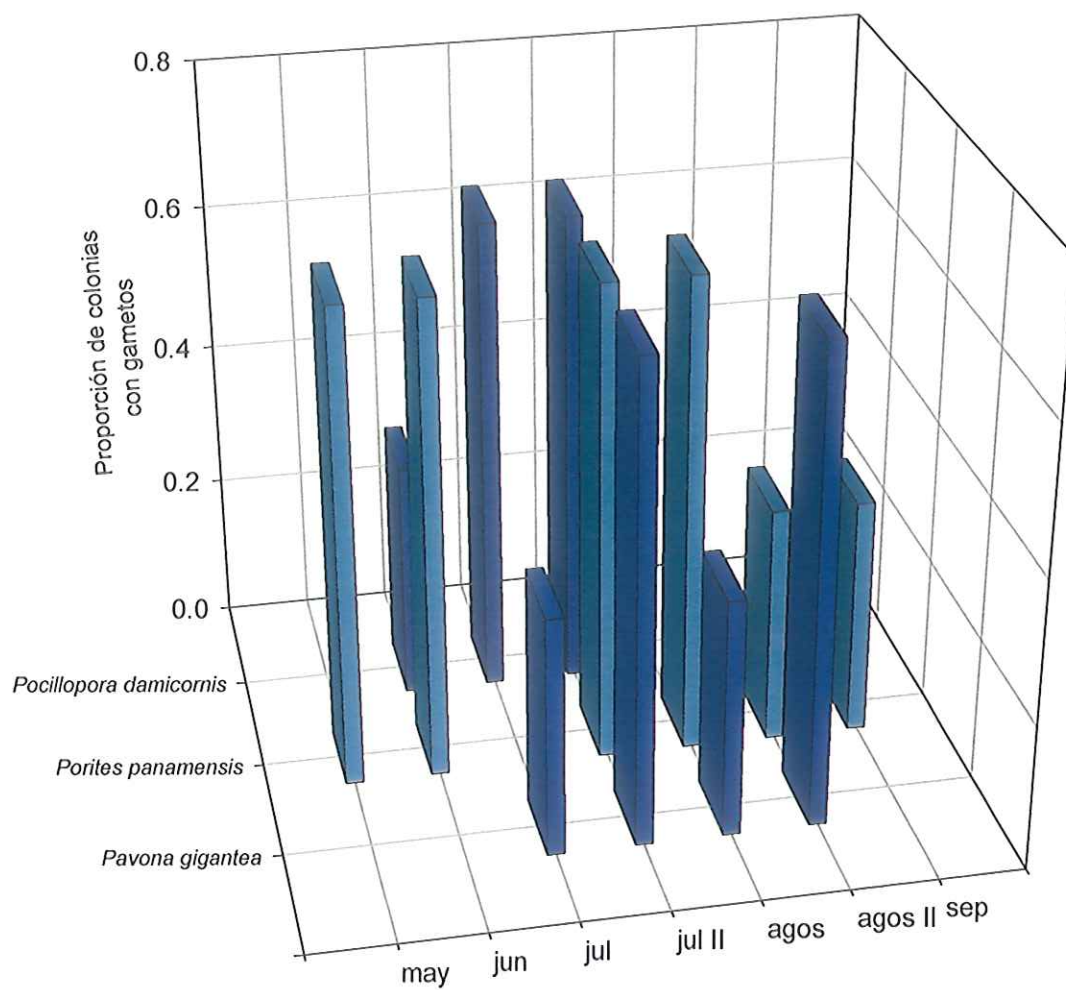


Figura 3. Proporción de colonias con gametos para las tres especies de corales analizadas.

Pocillopora damicornis.

Esta especie fue la primera en la que se registró la presencia de gametos, lo cual ocurrió durante el mes de mayo del 2002. Estos se encontraron de forma alternada en un mismo pólipo y en ocasiones en el mismo mesenterio. Los ovocitos se encontraron en ovarios de varias células con un máximo de 12 ovocitos, y únicamente en estadios de desarrollo I, II y III (Figuras 5, 6, 7, 8, 9 y 10), no fue posible observar ovocitos en estadio IV. Mientras que los espermearios fueron paquetes individuales en estadios de desarrollo I, II y III, únicamente en una colonia se observó un espermeario que contaba con las características de estadio IV. Hubo una tendencia a mayor número de ovarios que de espermearios en los pólipos analizados y la cantidad de ovocitos fue mayor durante junio.

Por otra parte en muchos casos se observó reabsorción de gametos, esto fue fácil de reconocer ya que los gametos presentaron irregularidades en las membranas y el citoplasma tenía una consistencia muy diferente a la de un ovocito sano.

Durante el segundo muestreo de julio aparecieron las últimas células reproductivas y en agosto los organismos regresaron a la etapa de reposo. El diámetro de los gametos durante los meses de reproducción se muestra en la tabla 2 y las características para cada estadio de desarrollo en la tabla 3. Durante los meses que no hubo gametos el tejido se encontró en reposo. En la figura 4 se muestran los estadios de desarrollo para cada mes, durante la época reproductiva.

Tabla 2. Mediciones de los gametos de *Pocillopora damicornis*.

Mes	Sexo	Diámetro * prom. (µm)	Diámetro max. (µm)	Diámetro min. (µm)
Mayo	♀	20.18	34	17
Junio	♀	41	55	28.3
Junio	♂	148	238	85
Julio I	♀	48	59	36
Julio I	♂	148	204	102
Julio II	♀	52	80	30
Julio II	♂	204	298	85

* Nota: En el caso de los machos (♂) representa el diámetro promedio de espermario y en el de las hembras (♀) el diámetro promedio de los ovocitos.

Tabla 3. Características de los estadios de desarrollo en *Pocillopora damicornis*.

Estadlos	Características	Meses	Observaciones
Ovogénesis Estadio I	Células pequeñas (< 20 μm), aparecen al final de los mesenterios en la parte media de los pólipos.	mayo, junio 2002	
Ovogénesis Estadio II	Células con núcleos y nucléolos visibles (< 60 μm), membranas bien definidas y gran cantidad de vacuolas lipídicas.	mayo, junio, julio y julio II	En los ovocitos de este estadio fue común observar atresias.
Ovogénesis Estadio III	Células > de 60 μm , con gran cantidad de vitelo.	junio , julio y julio II	
Ovogénesis Estadio IV	No fue posible observar gametos en este estadio.		
Espermatogénesis Estadio I	No fue posible observar gametos en este estadio.		
Espermatogénesis Estadio II	Células agrupadas en el espermeario, con núcleos pequeños.	junio y julio II	
Espermatogénesis Estadio III	Células mas pequeñas que en el estadio anterior, agrupadas en la periferia del espermeario, aún sin flagelos.	junio, julio y julio II	
Espermatogénesis Estadio IV	No fue posible observar gametos en este estadio		

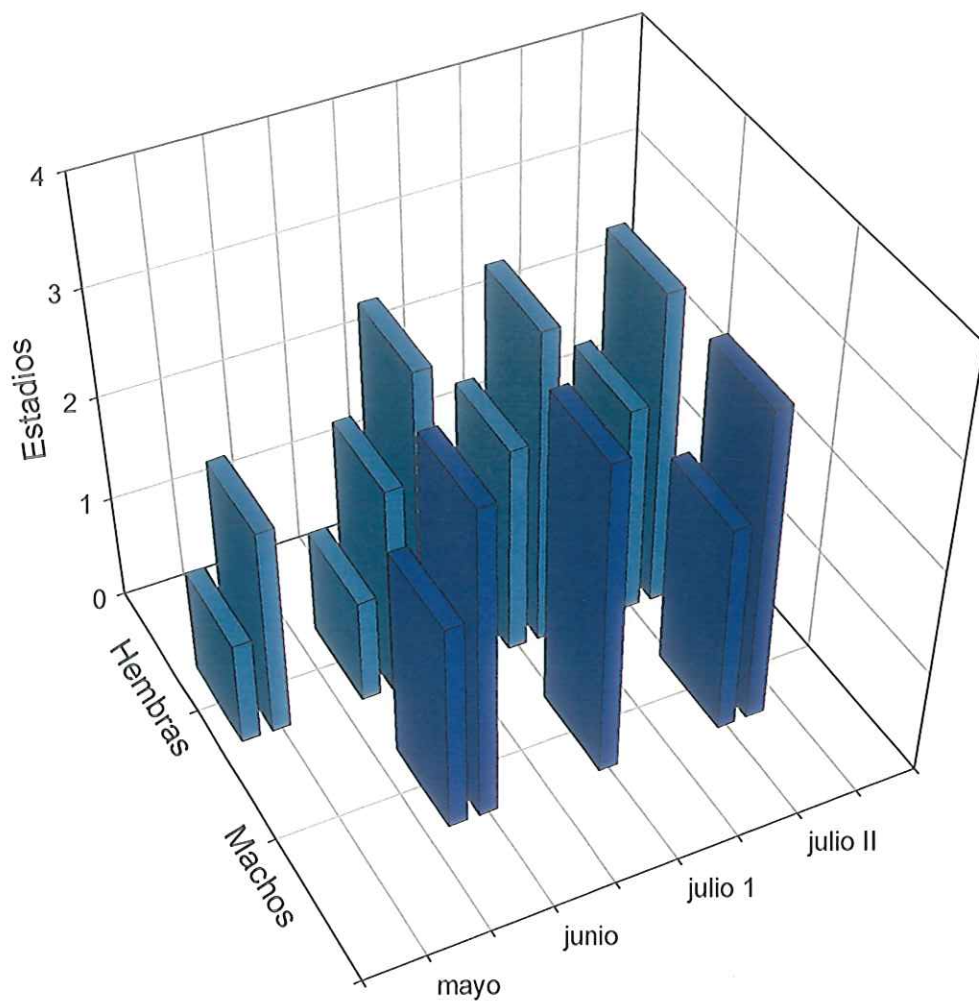


Figura 4. Estadios de madurez durante los meses reproductivos en las colonias de *Pocillopora damicornis*.

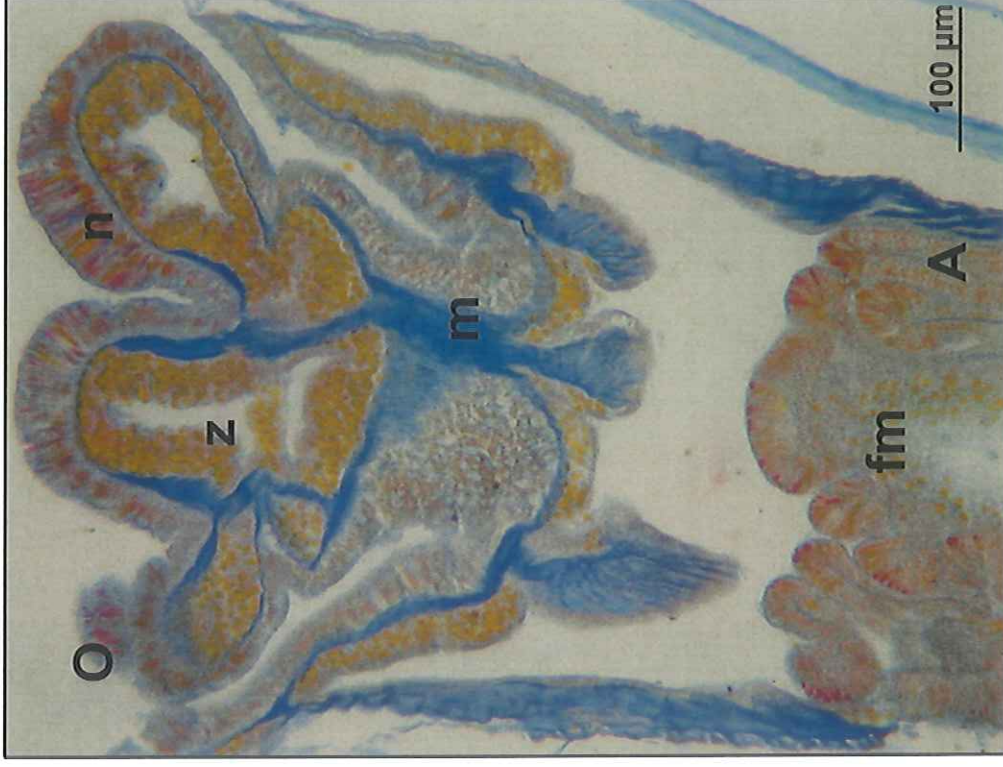


Figura 5. Corte longitudinal de *Pocillopora damicornis* en estadio 0 o reposo. 20 X. O: oral, A: aboral, z: zooxantelas, fm: filamento mesenterial, m: mesenterio, n: nematocistos.

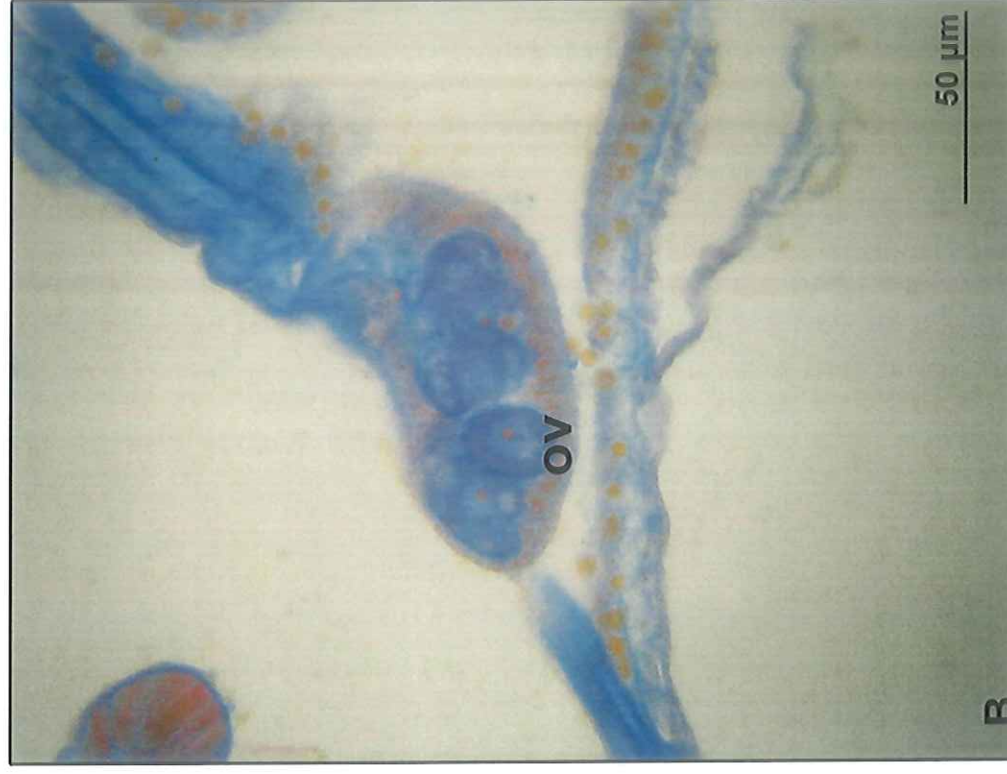
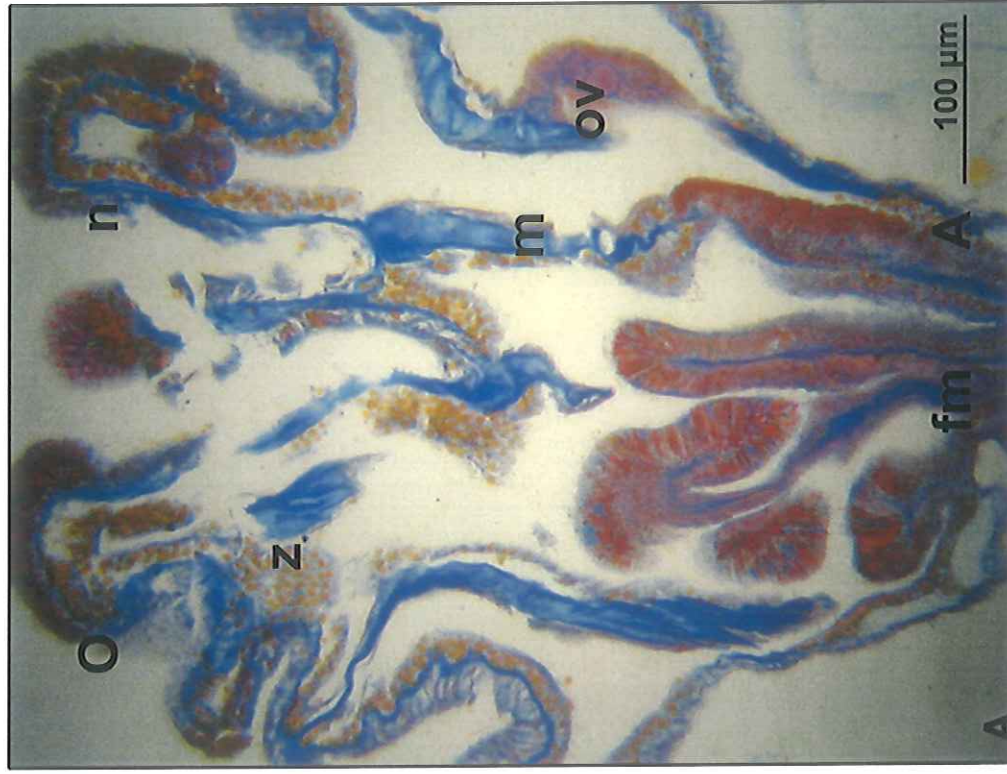


Figura 6. Corte longitudinal de *Pocillopora damicornis* con ovocitos en estadio I. A) 20 X. B) 40 X. O: oral, A: aboral, z: zooxantelas, fm: filamento mesenterial, m: mesenterio, n: nematocistos, ov: ovocitos.

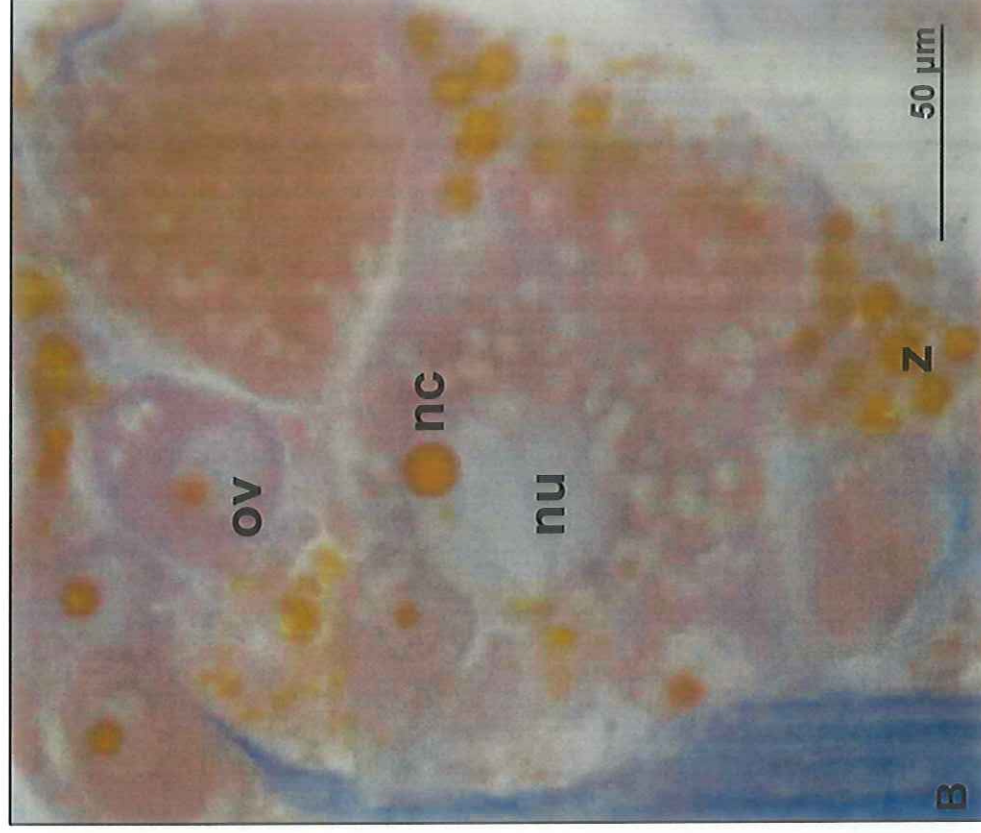
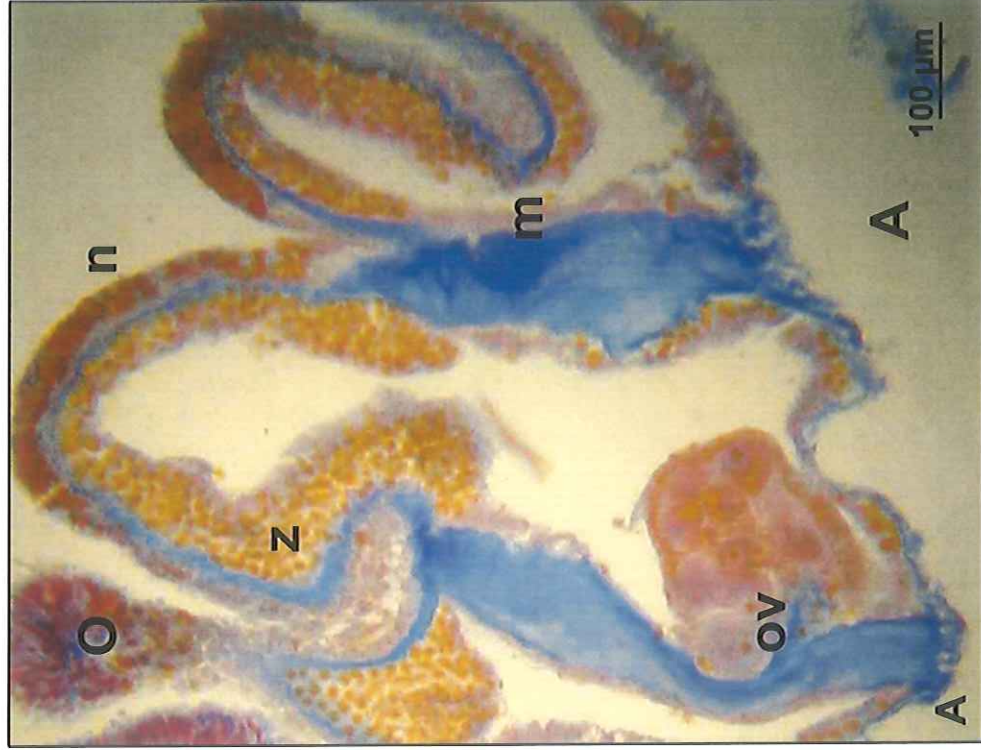


Figura 7. Corte longitudinal de *Pocillopora damicornis* con ovocitos en estadio II. A) 20 X. B) 40 X. O: oral, A: aboral, z: zooxantelas, m: mesenterio, n: nematocistos, ov: ovocitos, nu: núcleo, nc: nucléolo.

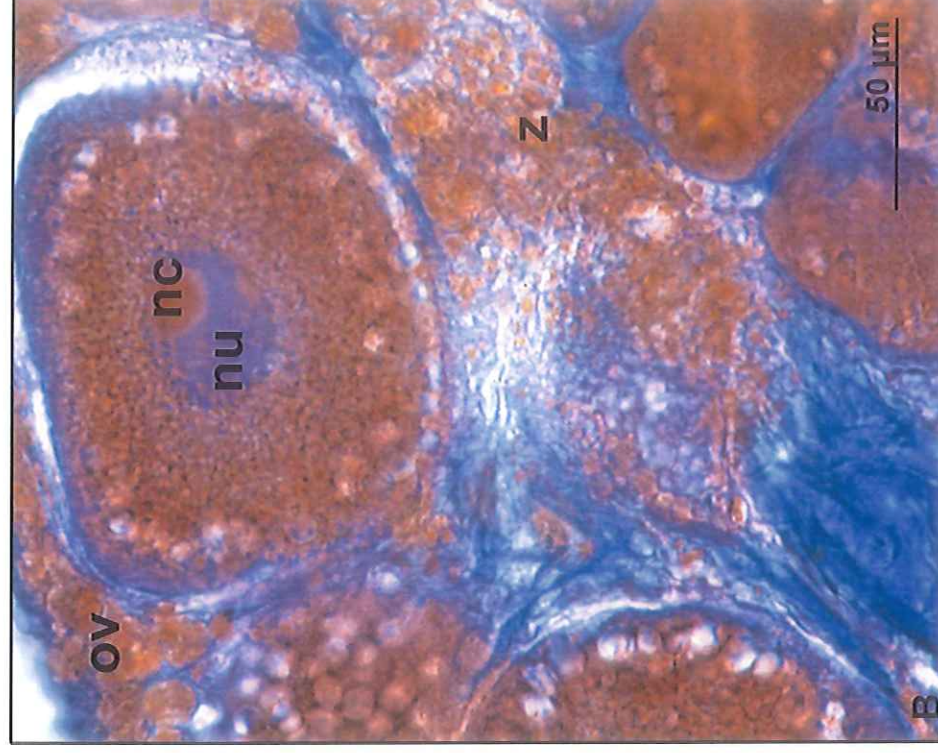
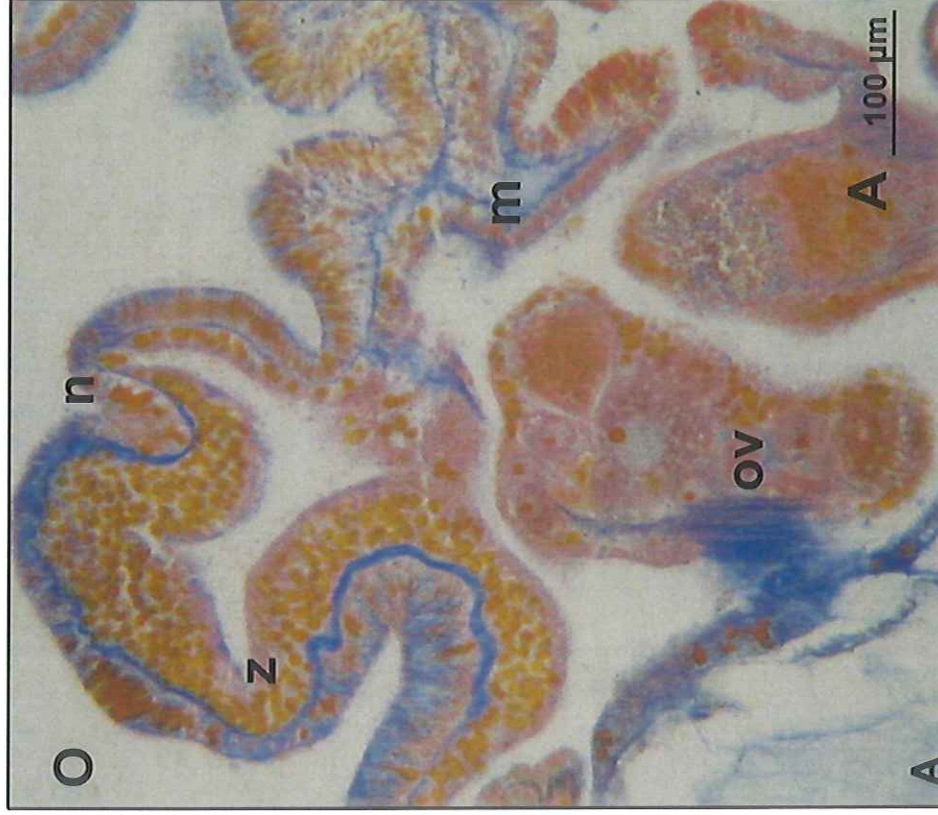


Figura 8. Corte longitudinal de *Pocillopora damicornis* con ovocitos en estadio III. A) 20 X. B) 63X. O: oral, A: aboral, z: zooxantelas, m: mesenterio, n: nematocitos, ov: ovocitos, nu: núcleo, nc: nucléolo.

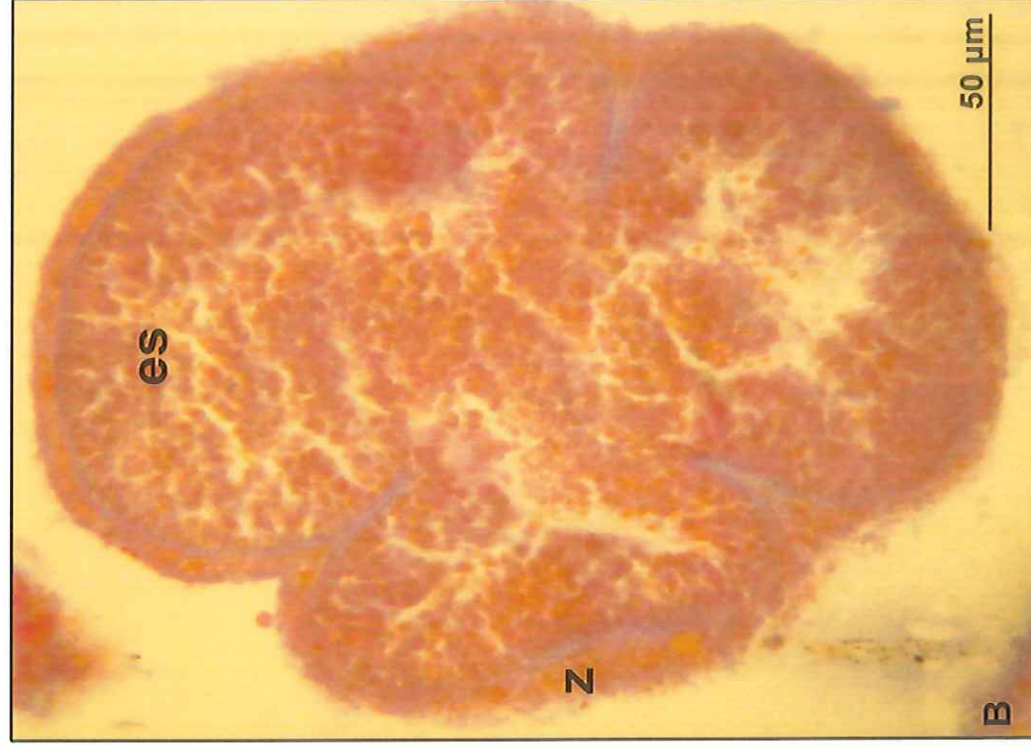
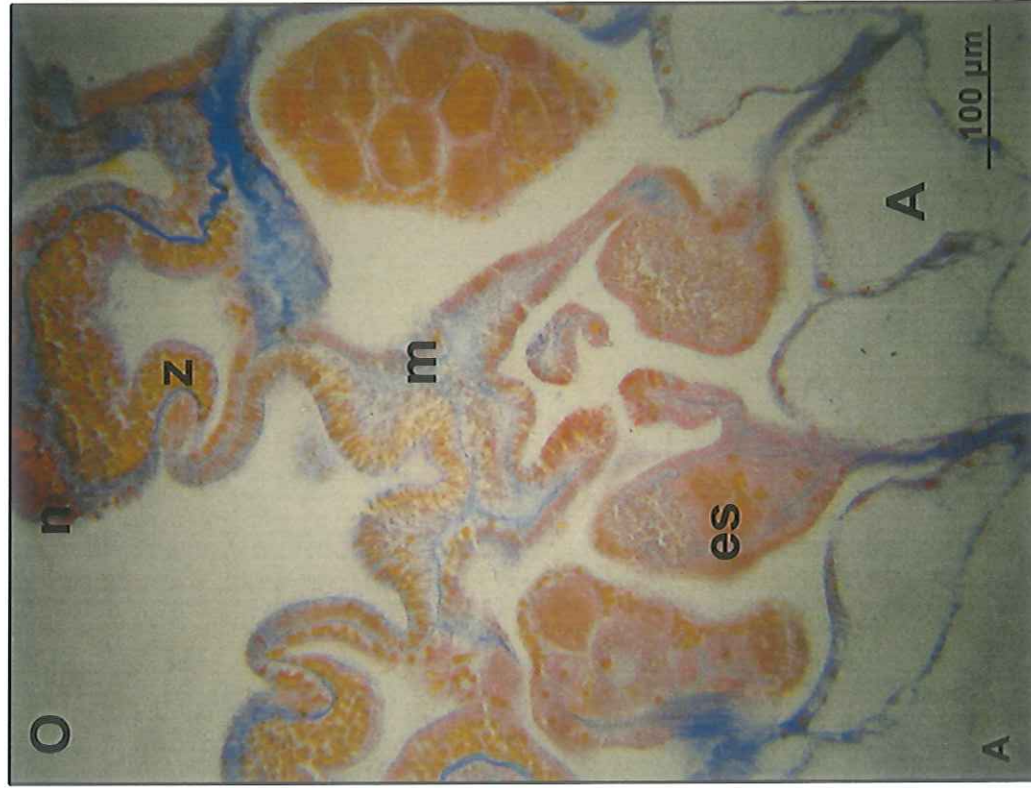


Figura 9. Corte longitudinal de *Pocillopora damicornis* con espermearios en estadios II. A) 20 X. B) 40 X. O: oral, A: aboral, z: zooxantelas, m: mesenterio, n: nematocistos, es: espermeario.

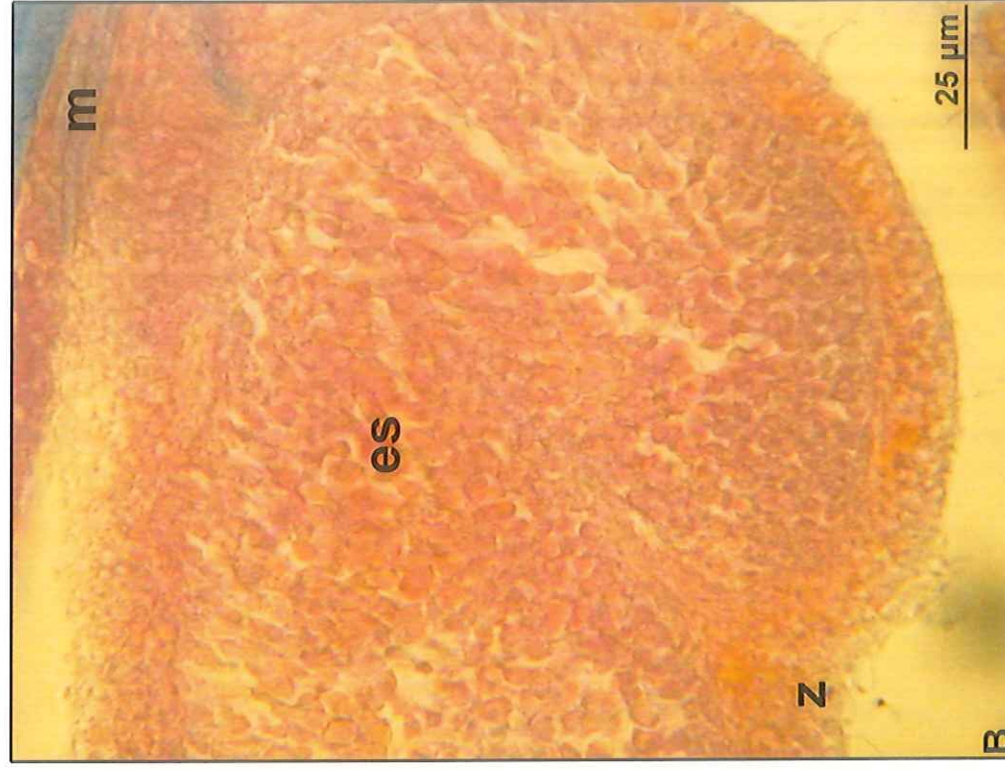
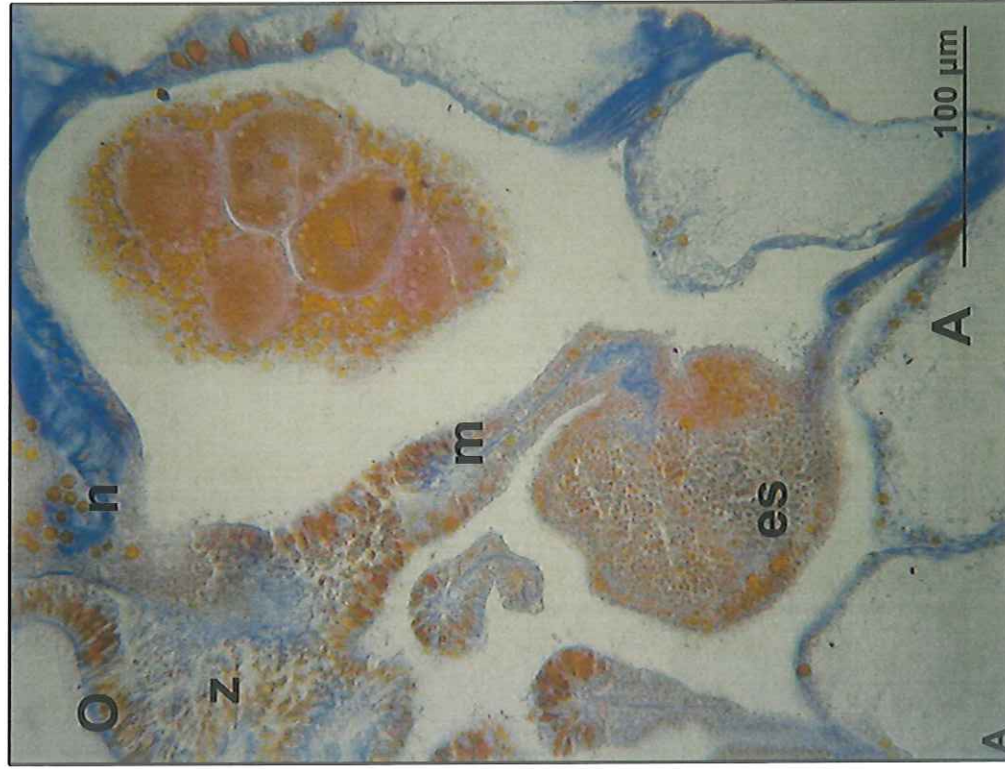


Figura 10. Corte longitudinal de *Pocillopora damicornis* con espermarios en estadio III. A) 20 X. B) 40 X. O: oral, A: aboral, z: zooxantelas, m: mesenterio, n: nematocistos, es: espermario

Porites panamensis

En esta especie los gametos fueron evidentes hasta que presentaron un desarrollo avanzado y en muy pocos casos fue posible identificar células germinales en estadio I. *Porites panamensis* se clasificó como gonocórica. En esta especie se encontraron gametos a partir de mayo (Figuras, 12, 13, 14, 15, 16, 17 y 18) en esta etapa todos los espermearios estuvieron en estadio II (Figura 16) y únicamente se observaron dos con características de estadio I. En el caso de las colonias hembras únicamente se observaron cuatro ovocitos en estadio I en colonias donde también había ovocitos en estadios III y IV (Figuras 14 y 15). Todas las colonias que presentaron gametos estuvieron entre los meses de mayo y septiembre, sin embargo existieron desfases en el nivel de desarrollo de los gametos dentro de una misma colonia, por lo que esta especie se considera asincrónica.

Además de la presencia de gametos de estadios avanzados en esta especie se identificaron embriones y plánulas. El resumen de las mediciones de los gametos se muestra en la tabla 4 y las características de los estadios de desarrollo en la tabla 5.

Al igual que en *Pocillopora damicornis*, en los meses que no hubo gametos el tejido se clasificó como en reposo. Los estadios de desarrollo para las colonias con gametos durante los meses en que se llevo a cabo la gametogénesis de esta especie se muestran en el figura 11.

Tabla 4. Mediciones de los gametos de *Porites panamensis*

Mes	Sexo	Diámetro * prom. (µm)	Diámetro max. (µm)	Diámetro min. (µm)
Mayo	♂	114	375	51
junio	♂	51	298	30.3
Julio I	♀	142.8	357	102
Julio I	♂	101	153	65.8
Julio II	♀	114	153	87
Agosto	♂	115	187	68
Septiembre	♂	122	170	80

* En el caso de los machos (♂) representa el diámetro promedio de espermario y en el de las hembras (♀) el diámetro promedio de los ovocitos.

Tabla 5. Características de los estadios de desarrollo en *Porites panamensis*.

Estadios	Características	Meses	Observaciones
Ovogénesis Estadio I	No fue posible observar gametos en este estadio.		
Ovogénesis Estadio II	Células < 40 μm con núcleo y nucléolo, varias células juntas, pero no en ovarios	julio y julio II	
Ovogénesis Estadio III	No fue posible observar gametos en este estadio.	julio y julio II	
Ovogénesis Estadio IV	Los ovocitos de este estadio midieron hasta 250 μm . Células individuales con zooxantelas en el interior.	julio y julio II	En estos ovocitos fue común observar asociaciones con ovocitos de estadio I.
Espermatogénesis Estadio I	Espermearios con células pequeñas de núcleos grandes.	mayo y junio	
Espermatogénesis Estadio II	Células más pequeñas que en el estadio anterior, se observa una migración hasta la periferia del espermeario.	mayo, junio, julio, agosto y septiembre	
Espermatogénesis Estadio III	Los espermearios se diferencian y es posible observar algunos flagelos.	mayo, junio, julio, agosto y septiembre	
Espermatogénesis Estadio IV	Acomodo de ramillete, todas las células con flagelos.	julio, agosto y septiembre	
Embriones y plánulas	Estructuras de más de 800 μm con endodermo, ectodermo y mesoglea diferenciadas. Zooxantelas en el interior.	julio II	Estas estructuras únicamente se observaron en colonias hembras

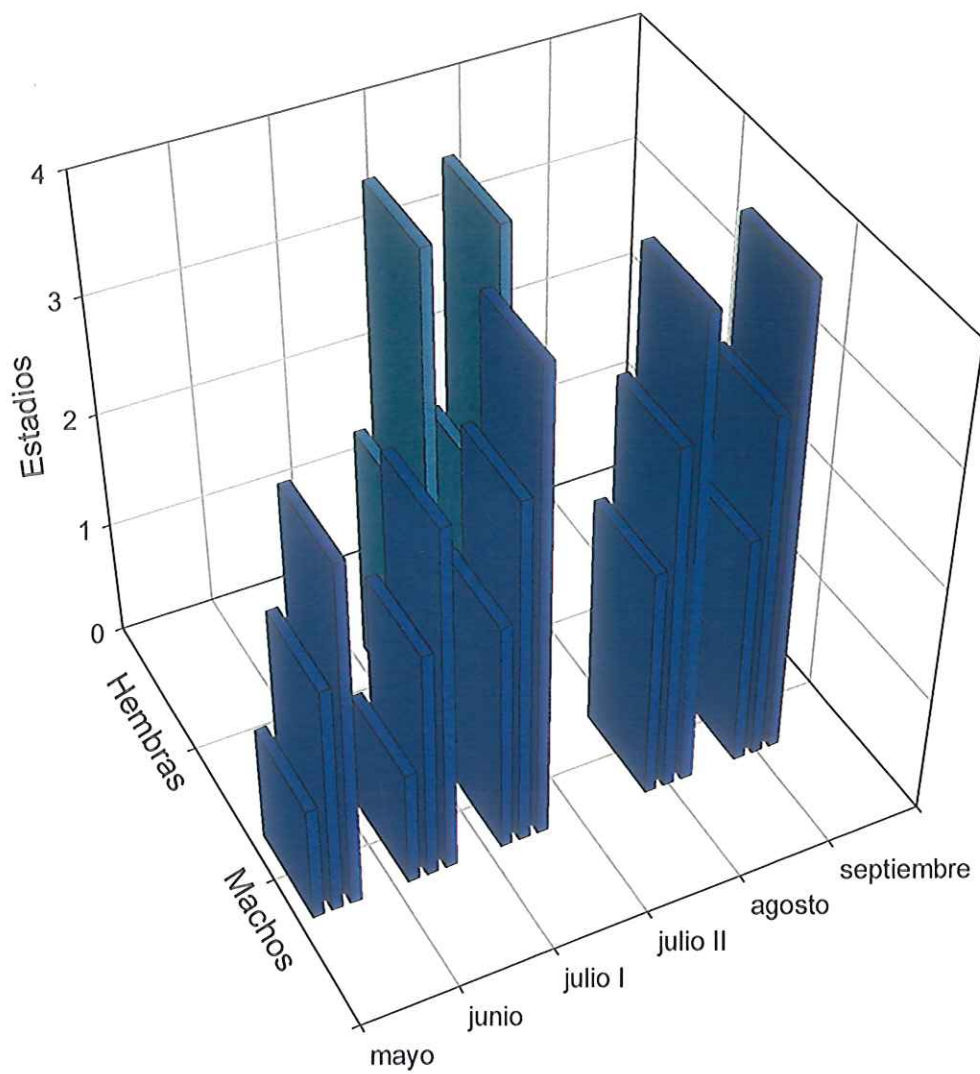


Figura 11. Estadios de madurez durante los meses reproductivos en las colonias de *Porites panamensis*.

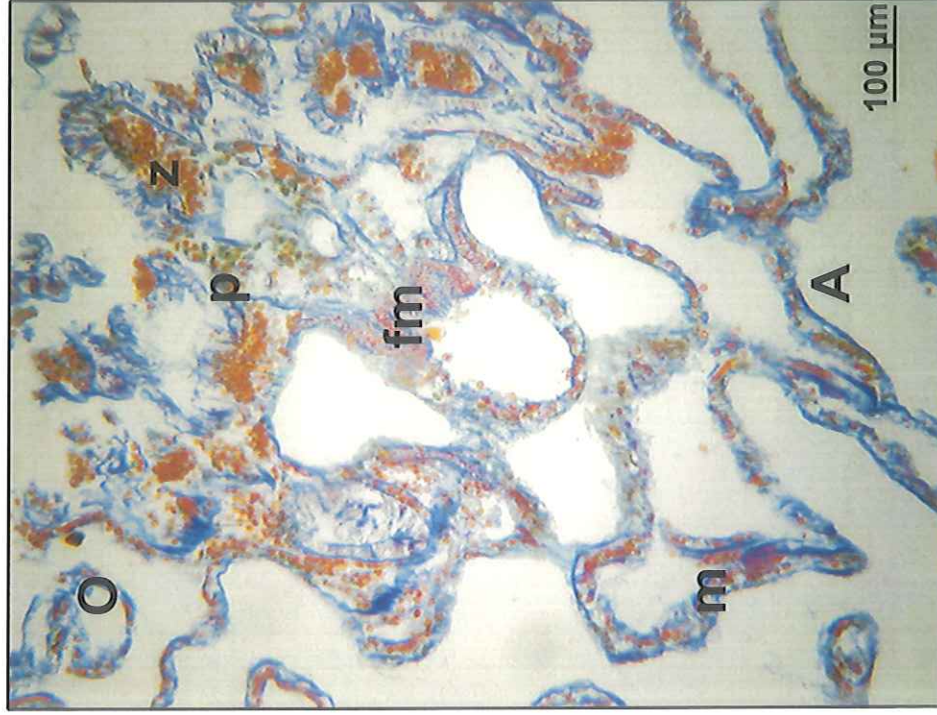


Figura 12. Corte longitudinal de *Porites panamensis* en estadio 0 o reposo. 20 X. O: oral, A: aboral, z: zooxantelas, fm: filamento mesenterial, m: mesenterio, p: pigmento.

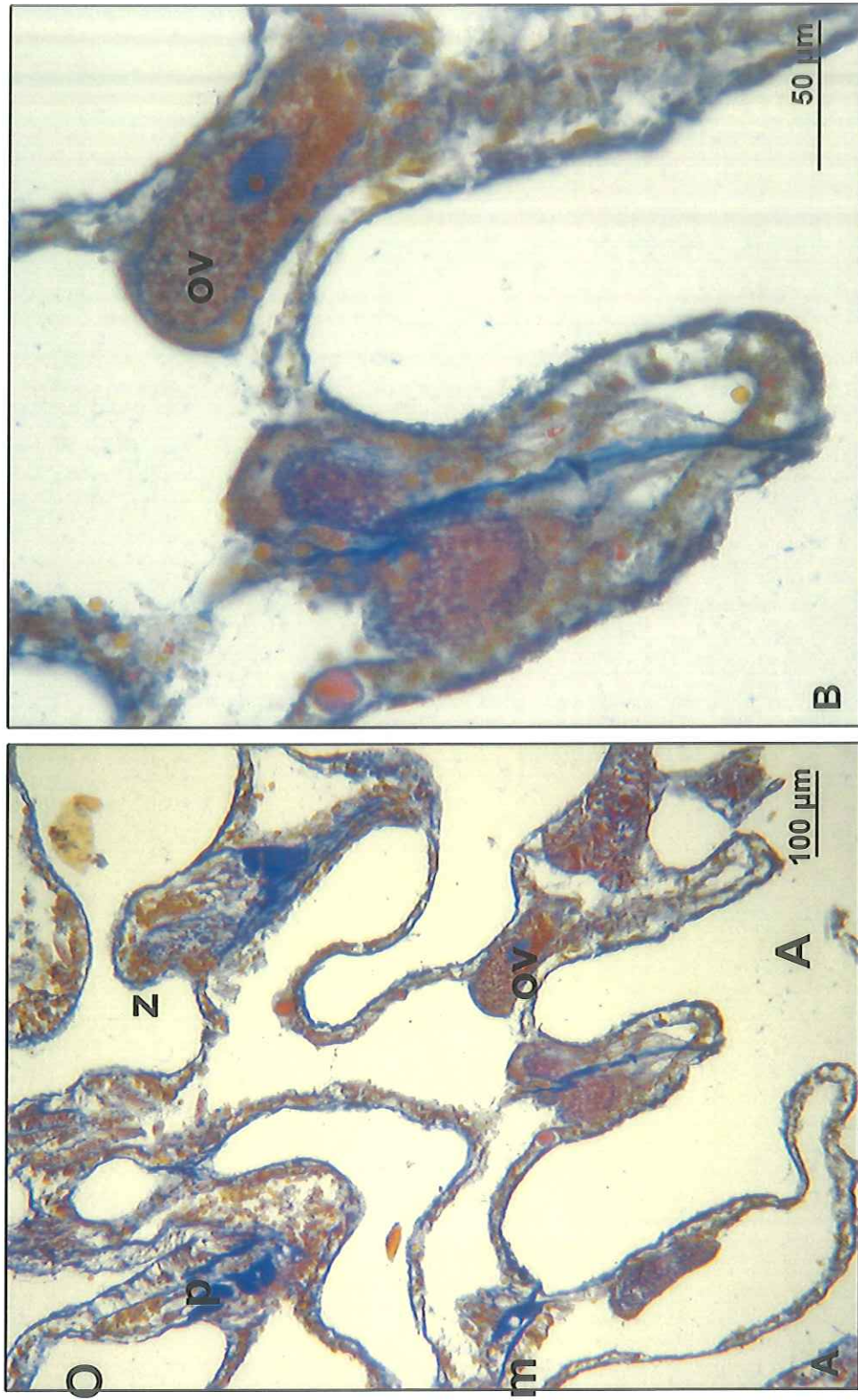


Figura 13. Corte longitudinal de *Porites panamensis* con ovocitos en estadio II. A) 20 X. B) 40X. O: oral, A: aboral, z: zooxantelas, fm: filamento mesenterial, m: mesenterio, p: pigmento, ov: ovocitos.

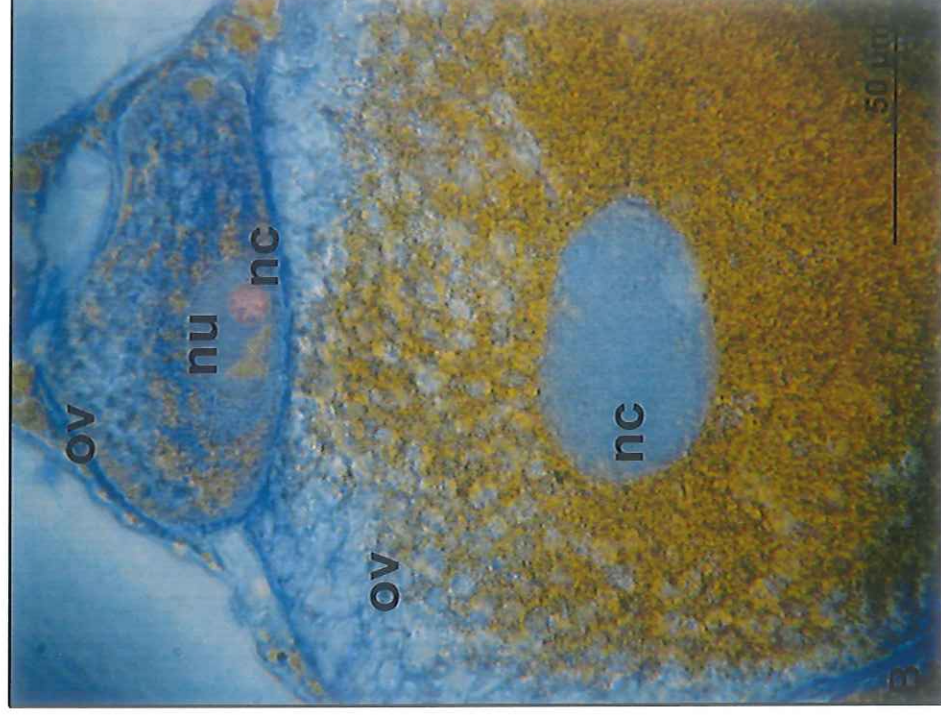
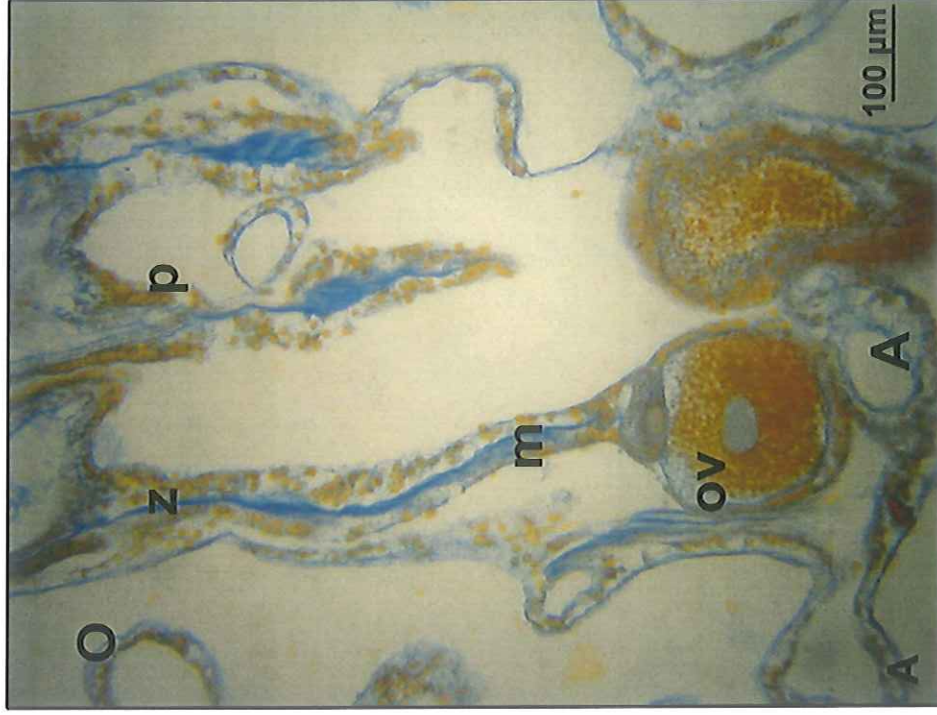


Figura 14. Corte longitudinal de *Porites panamensis* en estadio III. A) 20 X. B) 63 X. O: oral, A: aboral, z: zooxantelas, fm: filamento mesenterial, m: mesenterio, p: pigmento, ov: ovocitos, nu núcleo, nc: nucléolo.

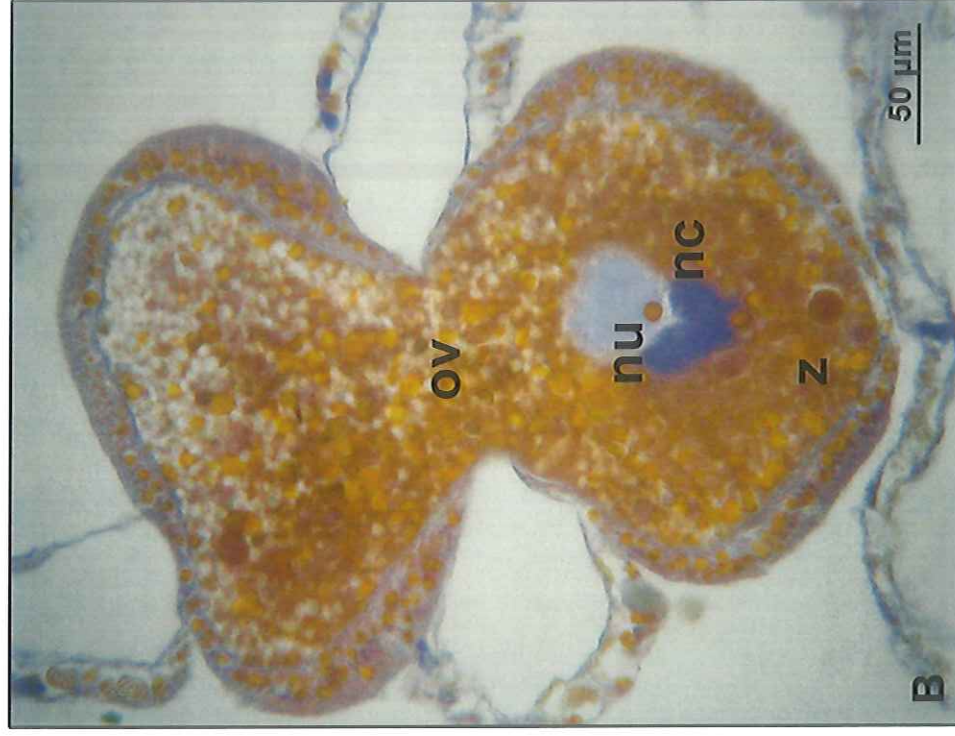
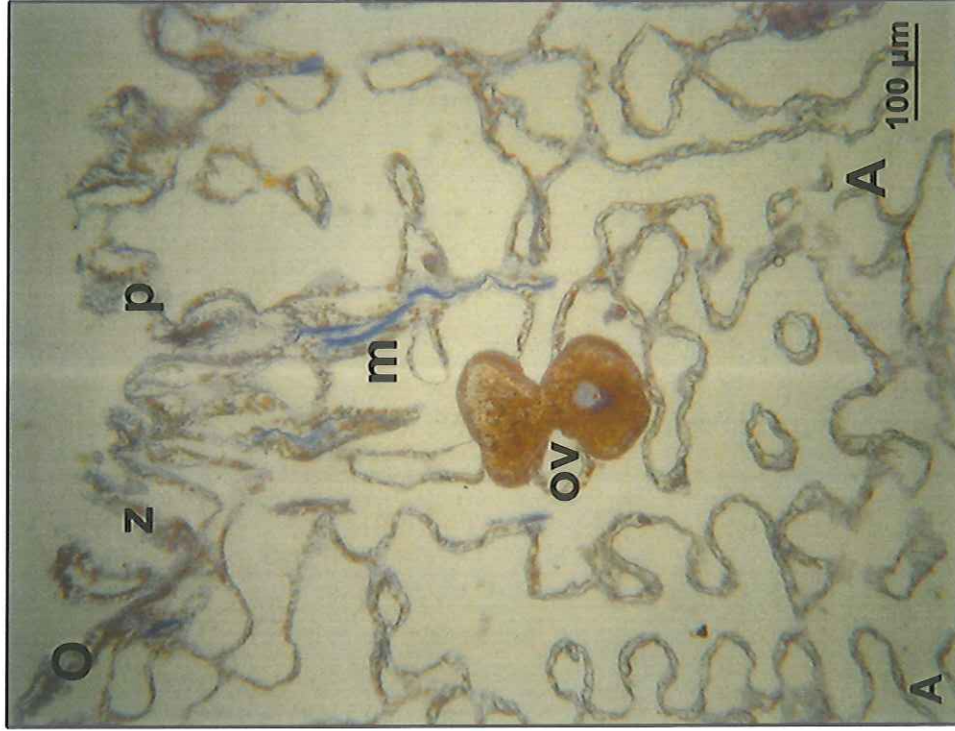


Figura 15. Corte longitudinal de *Porites panamensis* en estadio IV. A) 20 X. B) 40 X. O: oral, A: aboral, z: zooxantelas, fm: filamento mesenterial, m: mesenterio, p: pigmento, ov: ovocitos, nu núcleo, nc: nucléolo.

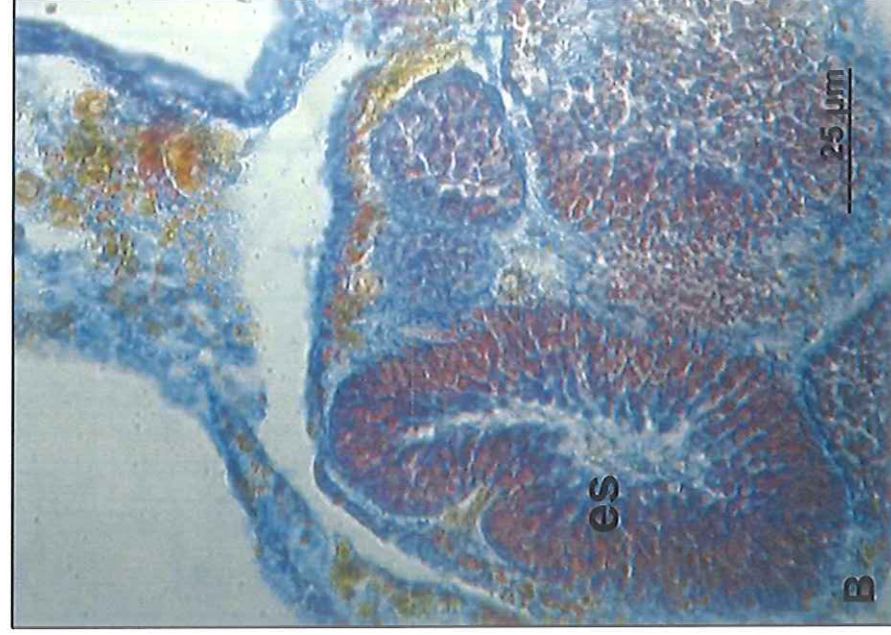
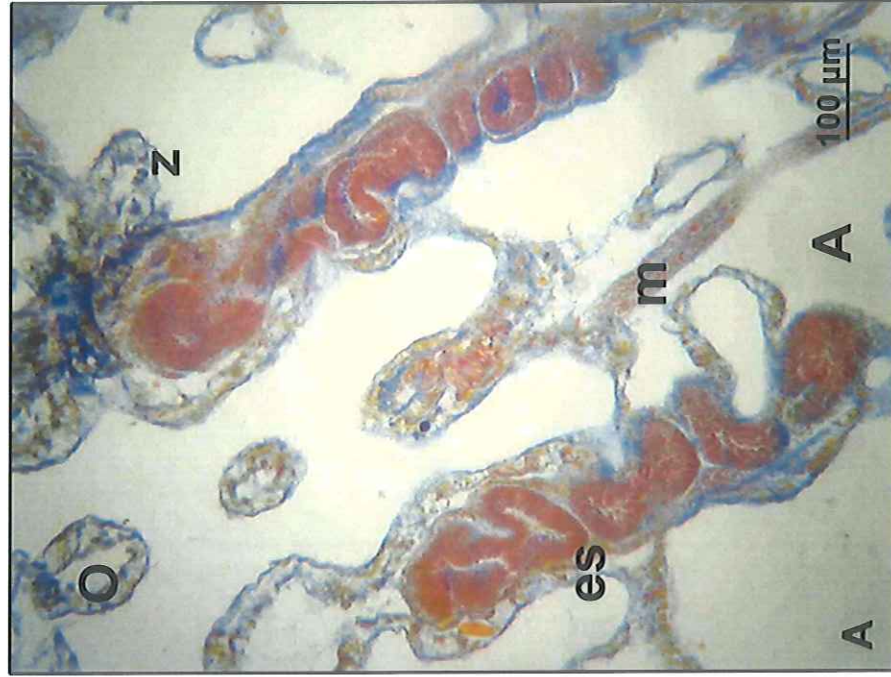


Figura 16. Corte longitudinal de *Porites panamensis* con espermearios I y II. A) 20 X. B) 40 X. O: oral, A: aboral, z: zooxantelas, m: mesenterio, es: espermeario.

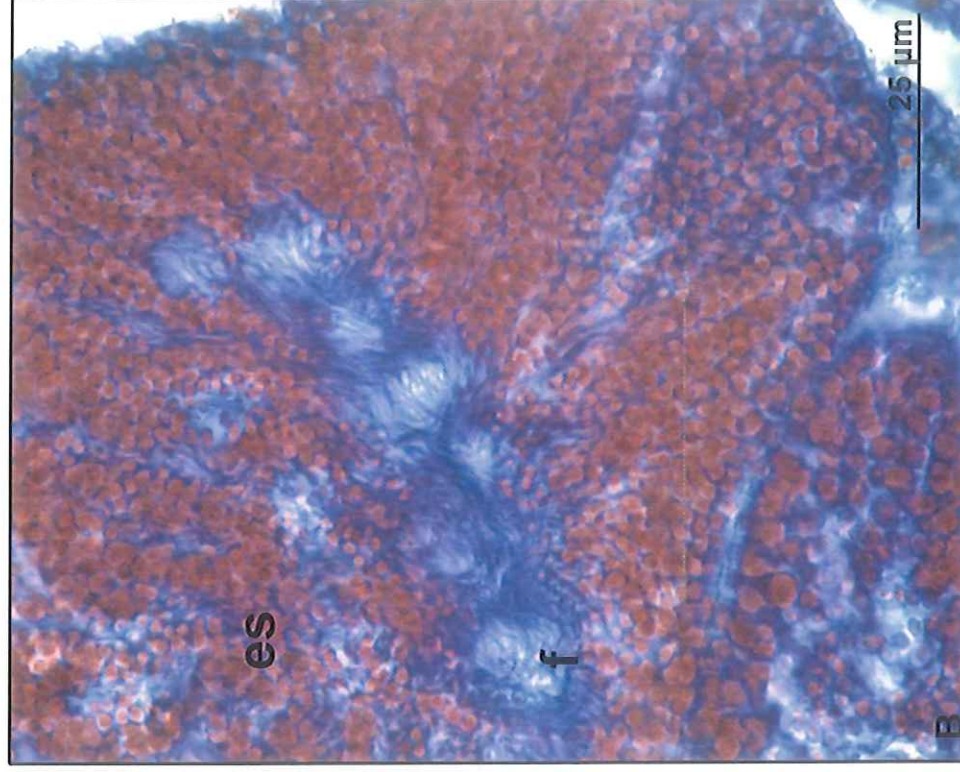


Figura 17. Corte longitudinal de *Porites panamensis* con espermearios en estadio III y IV. A 20 X. B 63 X. O: oral, A: aboral, z: zooxantelas, m: mesenterio, es: espermeario, f: flagelos.

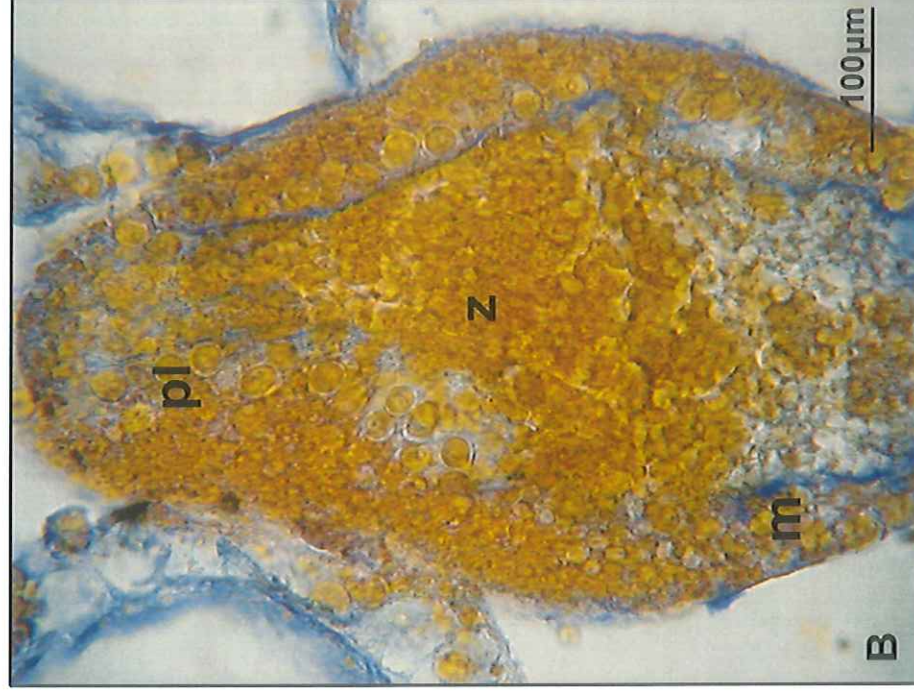
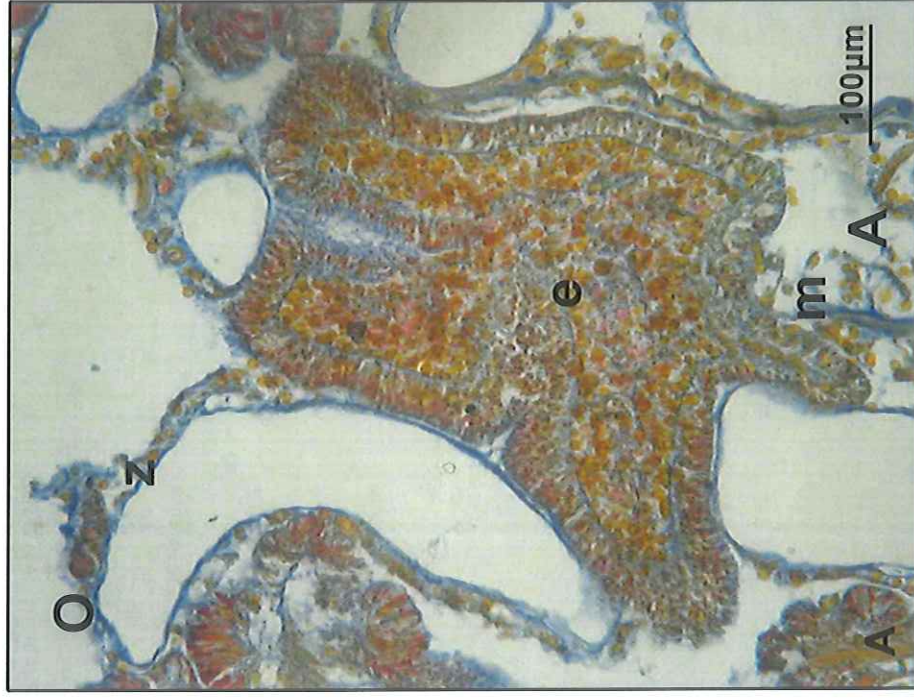


Figura 18. Corte longitudinal de *Porites panamensis* A) embrión. 20 X. B) planula. 40 X. O: oral, A: aboral, z: zooxantelas, m: mesenterio, e: embrión, pl: planula.

Pavona gigantea

En esta especie únicamente se encontraron gametos con estadios de desarrollo II y III (Figuras 20, 21, 22 y 23). En ninguno de los sexos fue posible observar estadios tempranos, ni gametos totalmente maduros. Todas las colonias que observamos presentaron sincronía en el desarrollo de los gametos, además no fue evidente ningún proceso de reabsorción.

Se realizó un análisis estadístico para comparar los ovocitos de *P. gigantea* durante el primer muestreo de agosto. Este fue el único caso en que se encontraron gametos del mismo estadio en dos colonias durante el mismo muestreo. El análisis mostró que no existen diferencias significativas en el diámetro de los ovocitos entre las dos colonias, lo que confirma la sincronía de gametos (t Student, $P < 0.05$).

El resumen de las mediciones de los gametos de esta especie se muestra en la tabla 6 y las características de cada estadio en la tabla 7. Cuando el tejido no contó con gametos se clasificó como estadio de reposo. Los estadios de madurez de los gametos se muestran en la figura 19.

Tabla 6. Mediciones de los gametos de *Pavona gigantea*.

Mes	Sexo	Diámetro prom. (µm)	Diámetro max. (µm)	Diámetro min. (µm)
Julio I	♀	40	59	28
Julio II	♀	71	107	51
Julio II	♂	114	153	87
Agosto I	♀	63	71	54
Agosto II	♀	69	107	51
Agosto II	♂	101	188	55.2

* En el caso de los machos (♂) representa el diámetro promedio de espermeario y en el de las hembras (♀) el diámetro promedio de los ovocitos.

Tabla 7. Características de los estadios de desarrollo en *Pavona gigantea*.

Estadios	Características	Meses	Observaciones
Ovogénesis Estadio I	No fue posible observar gametos en este estadio		
Ovogénesis Estadio II	Células < 40 μm , con núcleos y nucléolos bien definidos formando cordones de células en el mismo estadio.	julio, julio II y agosto	
Ovogénesis Estadio III	Células < 100 μm , con núcleo, nucléolo y vitelo. Zooxantelas alrededor de los ovarios.	agosto II	
Ovogénesis Estadio IV	No fue posible observar gametos en este estadio		
Espermatogénesis Estadio I	No fue posible observar gametos en este estadio		
Espermatogénesis Estadio II	Espermearios con células pequeñas de núcleos pequeños. Todas en el mismo estadio.	julio II	
Espermatogénesis Estadio III	Células más pequeñas que migran hacia la periferia de los espermearios, aún sin flagelos.	julio II y agosto II	
Espermatogénesis Estadio IV	No fue posible observar gametos en este estadio		

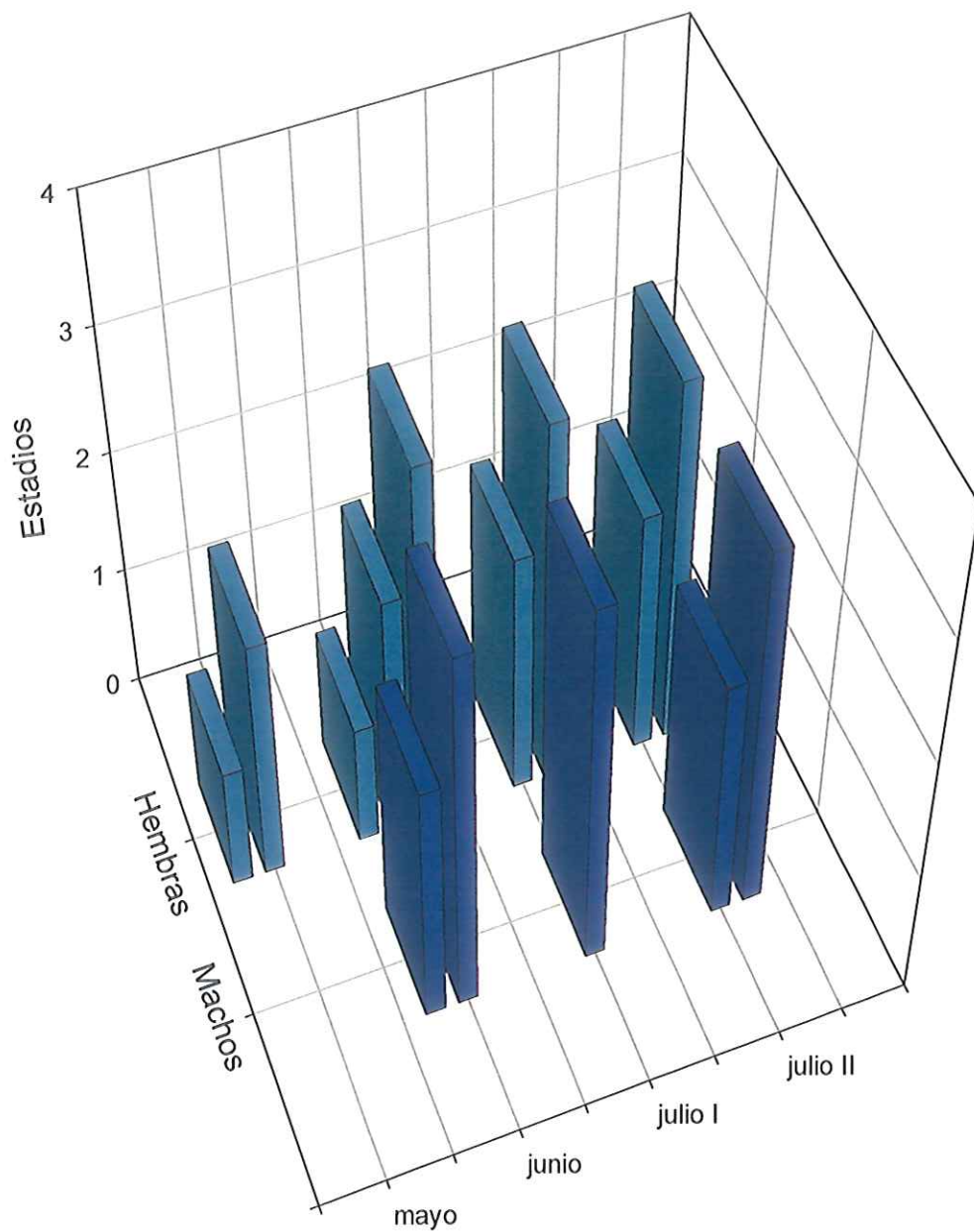


Figura 19. Estadios de madurez durante los meses reproductivos en las colonias de *Pavona gigantea*.

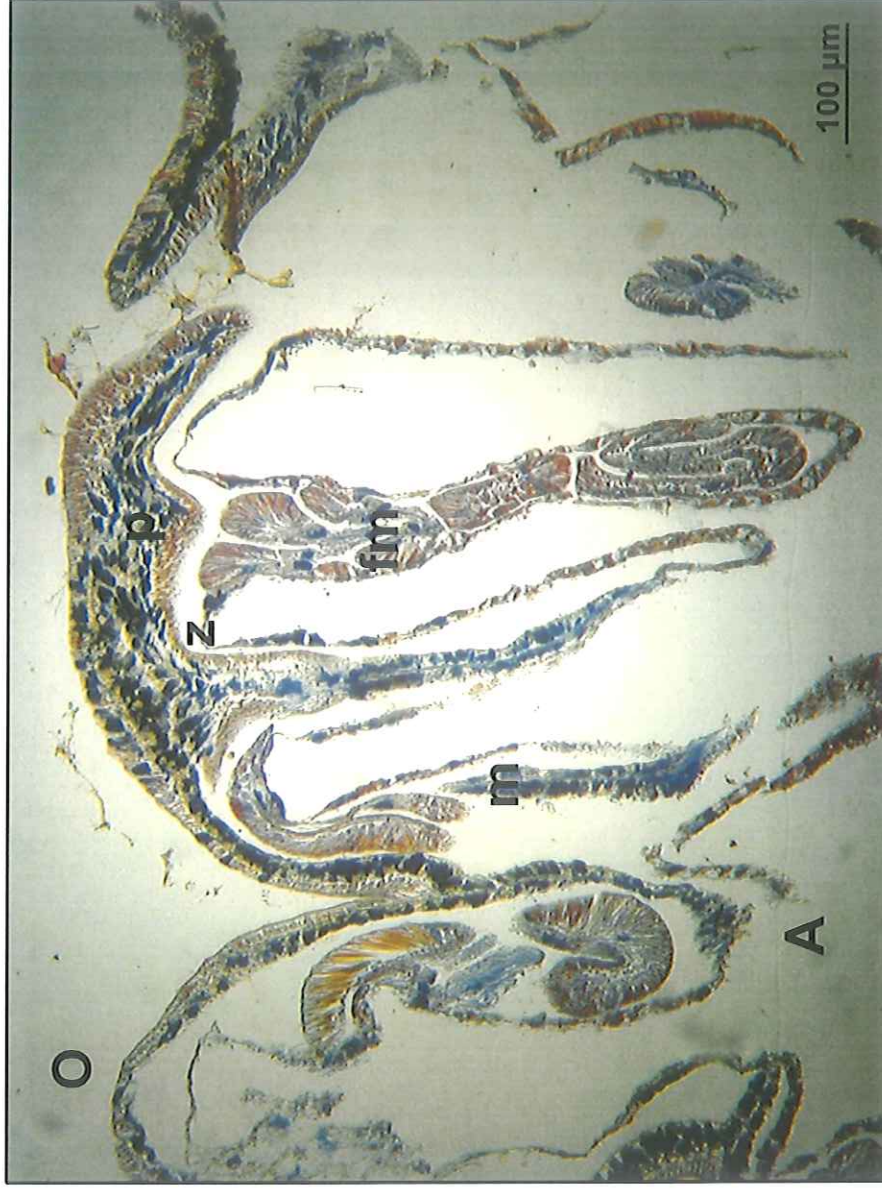


Figura 20. Corte longitudinal de *Pavona gigantea* en estado 0 o reposo 20 X. O: oral, A: aboral, z: zooxantelas, fm: filamento mesenterial, m: mesenterio, p: pigmento.

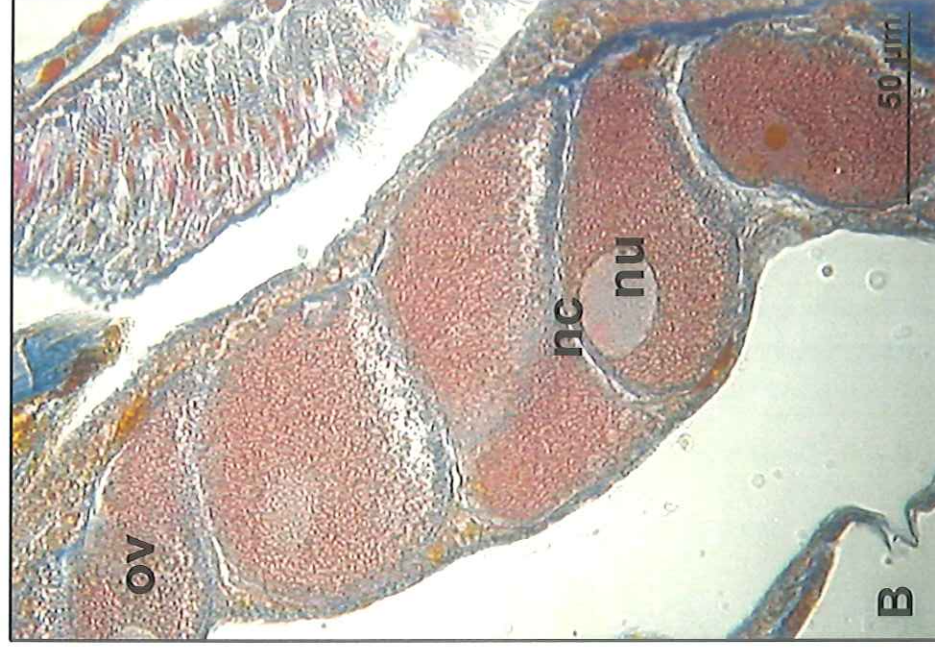


Figura 21. Corte longitudinal de *Pavona gigantea* en con ovocitos en estadio II. A) 20 X. B) 63 X. O: oral, A: aboral, z: zooxantelas, fm: filamento mesenterial, m: mesenterio, ov: ovocitos, nu: núcleo, nc: nucléolo.

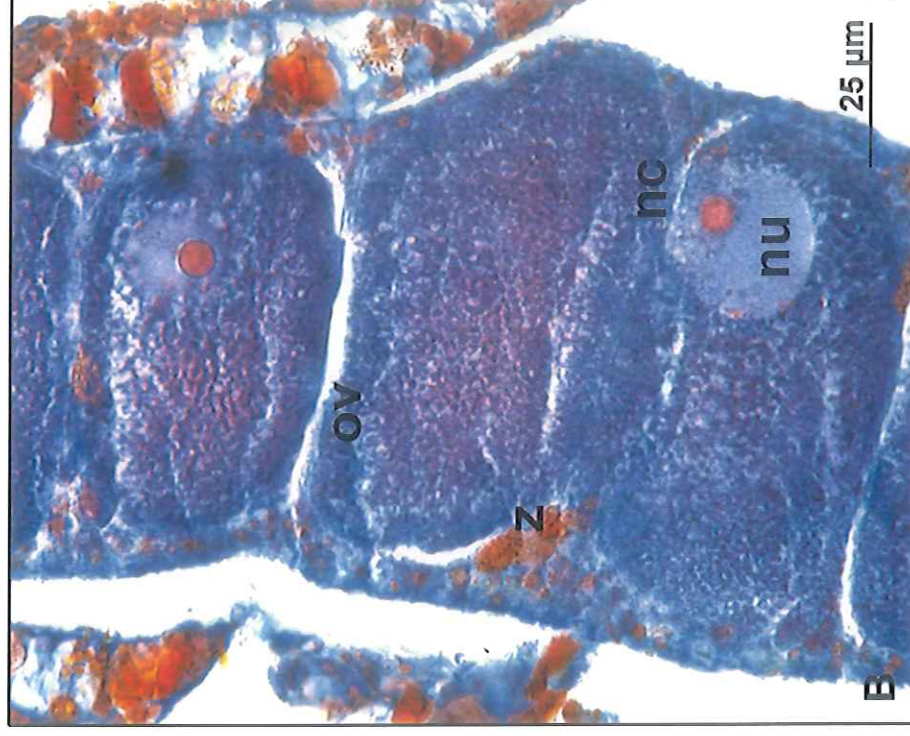
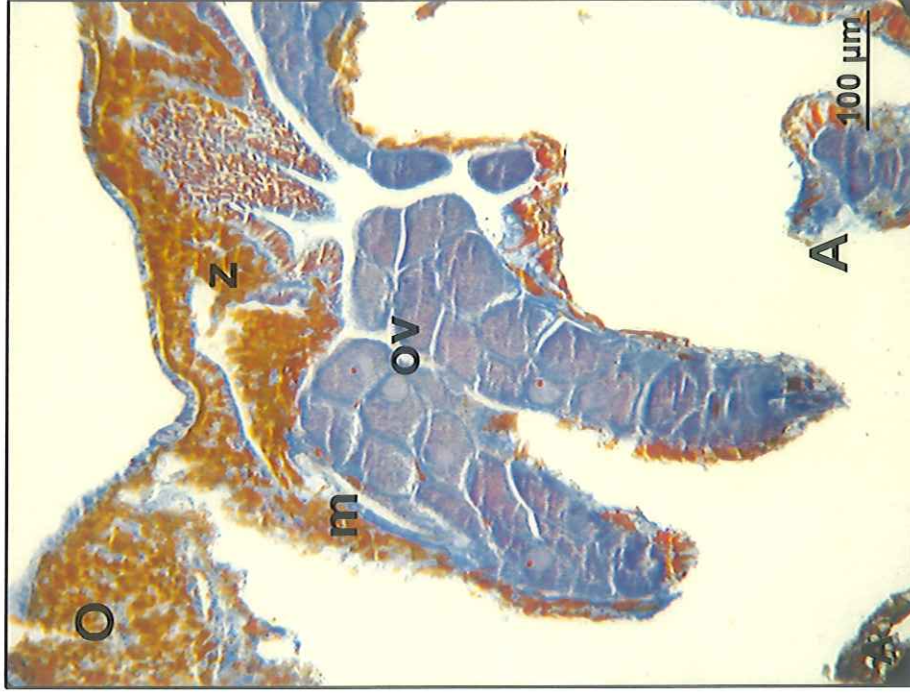


Figura 22. Corte longitudinal de *Pavona gigantea* en con ovocitos en estadio III. A) 20 X. B) 40 X. O: oral, A: aboral, z: zooxantelas, m: mesenterio, ov: ovocitos, nu: núcleo, nc: nucleolo.

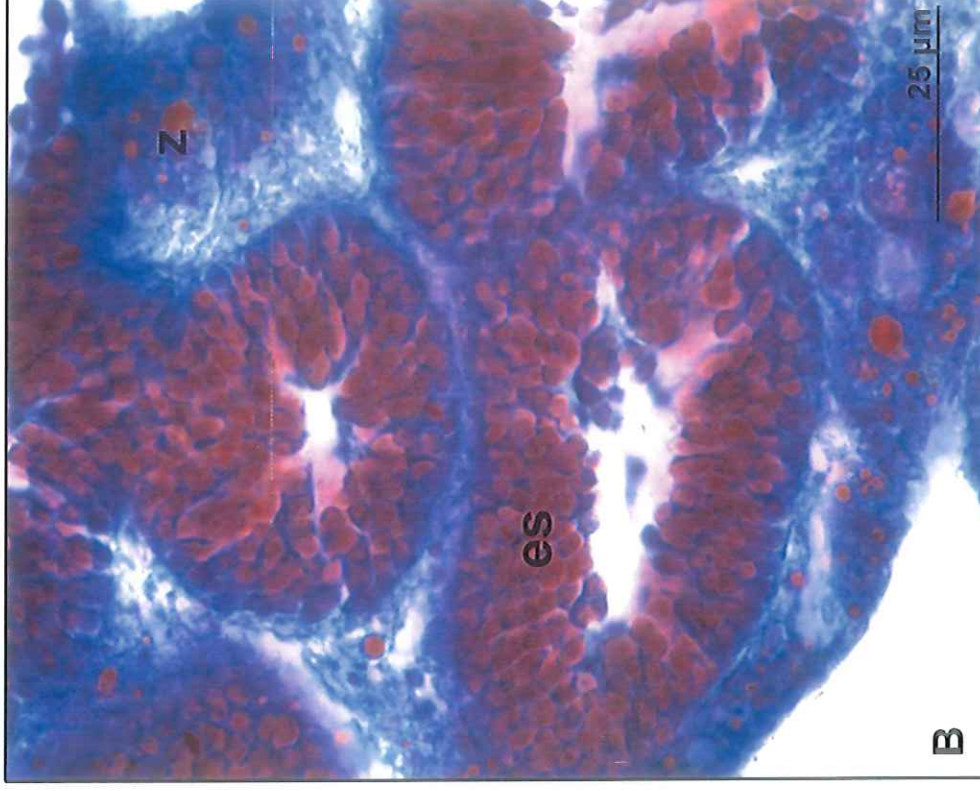


Figura 23. Corte longitudinal de *Pavona gigantea* en con espermearios en estadio III. A) 20 X. B) 63 X. O: oral, A: aboral, z: zooxantelas, m: mesenterio, es: espermeario.

Discusión

Las tres especies analizadas en este trabajo presentaron gametogénesis durante los meses de abril a septiembre, lo que las ubica en Bahía de Banderas como especies con ciclos reproductivos estacionales, en este caso durante primavera-verano.

El inicio de la gametogénesis en las tres especies estuvo determinado claramente por la temperatura del agua. El aumento de ésta, al parecer fue el disparador de la actividad reproductiva, aunque existió un desfase en cuanto a la aparición de los gametos para cada una de las especies. Como se ha reportado para muchos invertebrados marinos la temperatura del agua es el factor clave que determina el inicio de la gametogénesis, así como otros patrones reproductivos como el desove y la liberación de larvas (Young, 1999).

En el origen de los gametos existieron diferencias entre las tres especies analizadas en este estudio. Esto era algo que ya se esperaba debido a que los corales presentan diferencias en la biología reproductiva entre organismos de la misma familia y hasta dentro del mismo género. Se ha reportado en diferentes partes del mundo la plasticidad en el origen de los gametos y en si en la reproducción sexual de los corales, la cual está determinada básicamente por los factores ambientales (Harrison y Wallace, 1990).

En este estudio únicamente encontramos reproducción sexual exitosa en *Porites panamensis*. La fecundación de los gametos en esta especie se llevó a cabo en las colonias hembras, en las cuales observamos embriones y plánulas durante el mes de septiembre. En las otras dos especies analizadas no encontramos gametos maduros, lo que sugiere que la fase final de gametogénesis es muy rápida, posiblemente de algunas horas como se ha reportado para *Pocillopora damicornis* en Australia (ver: Stoddart y Black, 1985), o que durante el periodo de muestreos en Bahía de Banderas en estas especies, la gametogénesis no llegó a completarse.

Pocillopora damicornis

En Bahía de Banderas *Pocillopora damicornis* es un organismo hermafrodita, lo que concuerda con lo reportado para esta especie en otros arrecifes del Pacífico (ver: Glynn *et. al.*, 1991).

En este estudio no pudimos establecer cual es el tipo de fecundación ya que no se encontraron gametos maduros, únicamente un espermeario en estadio IV. El tipo de espermatozoos es una característica que puede determinar que tipo de fecundación tendrán los gametos. En el presente estudio aunque no se realizó una revisión sistemática de las características morfológicas de los espermatozoos de *P. damicornis*, en algunas ocasiones durante el análisis de los cortes histológicos, se observó que los espermatozoos presentaban cabezas en forma de bala, lo cual se ha reportado en esta especie como un indicador de fecundación interna (ver: Steiner, 1998). En este caso la posible fecundación interna de *Pocillopora damicornis* en Bahía de Banderas sería concordante con lo que se ha reportado en los estudios de esta especie en el Pacífico (ver: Richmond, 1985; Glynn *et al.*, 1991).

P. damicornis en Bahía de Banderas presentó un patrón de gametogénesis similar al que presenta en Hawaii. Por otro lado en este estudio no se observaron embriones ni plánulas, evento que ha sido reportado ampliamente en esa región (Richmond y Jokiel, 1984; Richmond, 1987; Richmond y Hunter, 1990). El hecho de no haber encontrado gametos maduros ni plánulas, no excluye la posibilidad de que en Bahía de Banderas existan colonias con gametos que tengan la capacidad de llegar a la fase final de la gametogénesis y formar algunas plánulas por pólipo.

Se ha reportado que *P. damicornis* libera plánulas, pero que únicamente cuenta con la capacidad de liberar de una a tres plánulas por pólipo (Harrison y Wallace, 1990). Esto hace pensar en el hecho de que no es necesario un número muy grande de gametos maduros en el tejido ya que los pólipos únicamente cuentan con la capacidad de formar pocas plánulas. En este caso

la reabsorción que se observó en los tejidos analizados en este estudio puede ser normal. Probablemente se trata de una estrategia de reutilización de nutrientes que permite conservar algunos gametos para que maduren y formen embriones.

Una posible explicación de la ausencia de gametos maduros y plánulas en los tejidos de *P. damicornis* es el aborto de los mismos. Esto ha sido documentado en *P. damicornis*, al parecer cuando la temperatura se mantiene por encima de 30°C por más de dos semanas. En este caso las colonias de esta especie liberan gametos y plánulas inmaduros a la columna de agua o los reabsorben para utilizar esta energía en el mantenimiento de los tejidos una vez que los corales pierden las zooxantelas por el blanqueamiento que provocan las temperaturas altas. Esto se ha documentado en Panamá durante eventos El Niño (ver Glynn *et al.*, 2000), evento que como ya se mencionó estuvo presente durante los muestreos del presente trabajo. La temperatura en Bahía de Banderas estuvo por encima de 30°C a partir del mes de agosto, mes en que *P. damicornis* dejó de tener gametos en las muestras analizadas en el presente estudio.

Otra forma de mantener las poblaciones de corales y que exige un menor gasto de energía para los pólipos es la reproducción asexual. La formación asexual de plánulas es un tema controvertido en *P. damicornis*; en Hawaii se ha observado que existe una conexión entre los ovocitos maduros y los primeros embriones sin la intervención de espermas. Esto sugiere que la formación de plánulas es de forma asexual por partenogénesis (Chávez, 1986). Sin embargo, hasta el momento con los resultados de este trabajo no es posible establecer si existe formación asexual de plánulas en las colonias de Bahía de Banderas.

La fragmentación es otro tipo de reproducción asexual y es además, muy común en especies de forma ramosa como *P. damicornis*. En Bahía de Banderas durante las visitas a las comunidades coralinas se ha observado que en la zona de estudio la fragmentación en *P. damicornis* es un hecho muy

común y podría ser, que este factor impacte en la formación de plánulas de esta especie. Por otro lado si la reproducción sexual no es exitosa, la fragmentación puede ser la que mantiene las poblaciones locales, como se ha documentado para esta especie en otras regiones del Pacífico.

Se ha demostrado que esta especie utiliza la fragmentación como la estrategia reproductiva dominante; principalmente en localidades en las que los corales se encuentran en el límite de su tolerancia fisiológica (Richmond y Hunter, 1990; Highsmith, 1982). Además esta forma de reproducción asexual es utilizada principalmente en organismos que habitan zonas en donde el sustrato es principalmente arenoso, como en el caso de la Isla Redonda. En estas zonas la movilidad del sustrato reduce la fijación de larvas, lo que resulta una limitante para el asentamiento de las mismas en el arrecife parental (Highsmith, 1982), por lo que en esta especie posiblemente la fragmentación sea la estrategia para mantener sus poblaciones, lo que además representa un menor gasto de energía.

No obstante que la fragmentación de las colonias de *P. damicornis* puede dar origen a nuevas colonias y puede ser esta una forma de mantener las poblaciones locales, recientemente se ha documentado que la fragmentación en una colonia de *P. damicornis* adulta con la capacidad de reproducirse sexualmente, puede provocar que los procesos de gametogénesis se detengan y no exista la liberación de plánulas. Esto se debe a que la colonia transloca la energía que estaba destinada a la reproducción sexual y la invierte en la recuperación después de la fragmentación (Zakai *et al.*, 2000).

Porites panamensis

Porites panamensis en Bahía de Banderas es un organismo gonocórico con reproducción sexual exitosa y con características reproductivas similares a lo que reportan Glynn, *et al.* (1994) en otras zonas del POT.

En este estudio *Porites panamensis* al parecer inició la formación de células germinales en la mesoglea. Esto se confirma con las observaciones de células muy similares a los ovocitos pero de menor tamaño, ubicadas en la mesoglea en cortes de meses anteriores a la aparición de ovocitos. Esta característica coincide con lo reportado por Tomascik y Sander (1987) para *Porites porites*. Estos autores hacen una descripción detallada de la migración de los ovocitos de estadio I ubicados en la mesoglea y su posterior desarrollo en los mesenterios.

Un hallazgo importante de este trabajo fue el haber encontrado que las colonias hembras estuvieron caracterizadas por presentar ovocitos individuales, con no más de un ovocito por pólip. Lo anterior contrasta con lo reportado por otros autores (ver: Glynn *et al.*, 1994) que mencionan que los ovarios están formados por grupos de más de 5 ovocitos, todos aparentemente en el mismo estadio de desarrollo. En el caso de *P. panamensis* de Bahía de Banderas posiblemente los pólipos de estas colonias sólo cuenten con la capacidad de mantener un ovocito o dos en cada pólipo.

En este estudio, observamos además asociaciones de ovocitos en estadio IV con ovocitos en estadio I. Posiblemente se trata de una estrategia de aprovechamiento de nutrientes, como lo mencionan Chornesky y Peters (1987) para *Porites asteroides* en Jamaica. La reabsorción de nutrientes es común en estos organismos, en este caso en lugar de que los nutrientes se reincorporen al tejido, el ovocito más desarrollado utiliza los nutrientes de los ovocitos pequeños que no van a finalizar el desarrollo y de esta forma se asegura una cohorte de gametos maduros.

En el caso de las colonias macho, la espermatogénesis presentó las mismas características que *P. panamensis* en Panamá y Costa Rica (ver: Glynn, *et al.*, 1994), sin embargo fue muy evidente la asincronía en los gametos dentro de la misma colonia. Asimismo, fue posible observar en los últimos meses de la fase gamética, es decir en los meses de agosto y septiembre, residuos de espermarios posiblemente indicadores de liberación de espermatozoides.

Durante este mismo periodo fue que encontramos embriones y plánulas en una colonia hembra, lo que indica que este organismo en Bahía de Banderas es gonocórico y la fertilización de los óvulos se lleva a cabo en las colonias hembras. Esto contrasta con lo reportado por Harrison (1985), quien menciona que todos los organismos del género *Porites* tanto del Atlántico como del Pacífico son hermafroditas.

P. panamensis en Bahía de Banderas al parecer cuenta con un periodo de liberación de larvas durante los meses de agosto y septiembre. Durante estos meses fue que encontramos gametos maduros, embriones y plánulas. En contraste, *P. panamensis* en Panamá mostró tener la capacidad de liberar gametos maduros y plánulas durante once meses del año (Glynn *et al.*, 1996). En esta misma localidad *P. panamensis* reduce su actividad reproductiva durante el mes abril en el cual se han reportado eventos de surgencias intensas en la Isla Taboga. En Bahía de Banderas también se han reportado eventos de surgencias en la parte sur (Álvarez-Borrego, 1993), sin embargo durante el periodo de estudio de este trabajo la temperatura del agua se mantuvo por arriba de 25°C durante todo el año, esto posiblemente debido al evento El Niño registrado en el 2002-2003. Probablemente en otros años la influencia de las surgencias durante la primavera impacte en la gametogénesis de *P. panamensis* y el inicio de ésta, en lugar de ser a partir de el mes de mayo se desplace hasta junio o julio, cuando las surgencias dejan de tener efecto en la bahía.

En *P. panamensis* tanto en Panamá como en Bahía de Banderas la reproducción sexual es estacional. En Panamá al parecer no hay una correlación clara entre la gametogénesis y las fases lunares, sin embargo la actividad sexual disminuye en primavera (Glynn et al., 1996). En este trabajo la gametogénesis se limitó a la primavera-verano. Además no fue posible saber si existe o no una correlación entre *P. panamensis* y las fases lunares en Bahía de Banderas, debido a que para las colectas de los fragmentos de coral no se tomaron en cuenta las fases lunares, además de que únicamente contamos con un año de muestreo, por lo que no es posible comparar con otros muestreos.

Por su parte, *Porites porites* en Barbados, presentó un patrón de reproducción combinado, es decir, estacional y lunar (ver: Tomascik y Sander, 1987). Se ha reportado que esta especie tiene la capacidad de responder a diferentes estímulos ambientales. En las zonas costeras con mayor eutroficación esta especie puede ampliar sus periodos de gametogénesis de acuerdo a las estaciones del año, es decir en la temporada de lluvias esta especie es más activa sexualmente en comparación con la época de secas. Por otro lado en mar abierto la gametogénesis está relacionada con las fases lunares. Es posible que en Bahía de Banderas también existan diferencias en los periodos de gametogénesis en las diferentes colonias de *P. panamensis* debido a que en la bahía existen condiciones ambientales diferentes. En la parte sur de la bahía en donde se presentan las surgencias, posiblemente la gametogénesis es diferente a lo que encontramos en este trabajo para las colonias analizadas de la Isla Redonda.

En *P. panamensis* el éxito en la reproducción sexual puede deberse a que esta especie en comparación con las otras dos analizadas en este trabajo está mejor adaptada a las condiciones ambientales de Bahía de Banderas. Al tratarse de una especie gonocórica, se favorece el intercambio genético entre colonias (Reyes-Bonilla y Calderón-Aguilera, 1994), lo cual posiblemente

contribuya a que algunas de ellas tengan mayor tolerancia a las temperaturas extremas provocadas principalmente por las surgencias y los eventos El Niño.

Además, en *Porites panamensis* en contraste con *Pocillopora damicornis*, la reproducción asexual por fragmentación es mínima, esto debido principalmente al tamaño de las colonias y a su forma costrosa (Reyes-Bonilla y Calderón-Aguilera, 1994). Lo anterior coincide con observaciones de campo, que a pesar de no ser sistemáticas, mostraron que en *P. panamensis* la fragmentación es poco común. En estas condiciones es posible que contrario a lo que sucede con *P. damicornis*, la reproducción sexual en *P. panamensis* sea la estrategia más utilizada en Bahía de Banderas.

Lo anterior es reforzado por el hecho de que en la zona de estudio se han observado reclutas de *P. panamensis* a partir del mes de octubre del 2002, cuando dejamos de ver gametos en los cortes histológicos. Lo anterior apoya la posibilidad de que se trate de reclutas que provienen de colonias de la zona. En este caso, *P. panamensis* en Bahía de Banderas contaría con la capacidad de mantener sus poblaciones por medio de reproducción sexual.

Pavona gigantea

En Bahía de Banderas *Pavona gigantea* presentó gametos durante los meses de julio y agosto, lo que la cataloga como una especie con reproducción sexual estacional, en este caso durante primavera-verano. Esto coincide con lo que han reportado otros autores para esta especie en el POT (ver: Glynn y Ault, 2000). En Panamá, *P. gigantea* también presentó un patrón estacional, ya que sus gametos se observaron durante la temporada de lluvias (de mayo a agosto). Se observó además, que los gametos maduros y la liberación de estos estuvieron relacionados con las fases lunares, especialmente en las zonas sin influencia de surgencias (Glynn *et al.*, 1996). En el presente trabajo no pudimos saber si las fases lunares tienen algún efecto en esta especie en Bahía de Banderas, ya que no encontramos gametos maduros.

Pavona gigantea en Bahía de Banderas es un organismo sincrónico lo que contrasta con lo reportado para la misma especie en zonas tropicales. En Panamá esta especie presenta varias cohortes de gametos que son liberados durante la luna nueva en los meses que corresponden a la temporada de lluvias (Glynn *et al.*, 1996). Por el contrario, en Bahía de Banderas, todo indica que esta especie sólo alcanza a formar una cohorte de gametos y que estos son liberados durante un solo periodo del año. Con la homogeneidad en el diámetro de los ovocitos de esta especie se confirmó la sincronía de sus gametos.

Como ya se mencionó al igual que en el caso de *Pocillopora damicornis*, en esta especie no se observaron gametos maduros por lo que no fue posible determinar que tipo de fecundación presenta esta especie. Por lo reportado en otras localidades el POT, es posible que este organismo presente una estrategia de fecundación externa (ver: Glynn *et al.*, 1996; Glynn y Autl, 2000). Sin embargo, este es un punto que queda pendiente por confirmar en estudios posteriores.

Todas las colonias colectadas al azar y analizadas en este estudio fueron gonocóricas y no se reportó ningún caso de hermafroditismo. Lo anterior resultó contrario a lo que reportan Glynn *et al.*, (1996, 2000), quienes indican que en Panamá la proporción de colonias gonocóricas en comparación con colonias hermafroditas para esta especie fue de 5:1. En el presente estudio la colonia de referencia tuvo gametos durante agosto I y agosto II, fue hembra durante el primer muestreo y macho durante el segundo. En este caso, pudo haberse tratado de una colonia hermafrodita con pólipos hembras y pólipos machos o puede ser también que la colonia de referencia haya sido un grupo de colonias fusionadas, como se ha reportado que ocurre en otras especies de corales de crecimiento masivo (Hughes y Jackson, 1980) y que las muestras hayan sido tomadas de diferentes colonias. En la Isla Redonda las colonias de *P. gigantea* crecen incrustadas a los bordes de las cuevas de la isla, en muchos casos es posible observar fusión de varias colonias formando una sola

estructura. Al finalizar el estudio no fue posible corroborar si se trataba de una colonia fusionada debido a que el huracán Kenna registrado en octubre del 2002 fragmentó por completo la colonia de referencia.

El periodo reproductivo de esta especie fue el más corto de las tres especies estudiadas. Es posible que las condiciones oceanográficas de la zona, en especial la temperatura y la disposición de nutrientes hayan sido los que determinaron este patrón reproductivo. Al igual que en las otras dos especies analizadas en este trabajo, *P. gigantea* presentó gametos cuando la temperatura del agua estuvo por encima de 25°C. En otros trabajos se ha reportado que *P. gigantea* inicia la gametogénesis cuando la temperatura del agua está entre 24 y 29°C (Glynn *et al.*, 1996). La temperatura en Bahía de Banderas durante el año muestreado fue adecuada para que esta especie tuviera gametogénesis, pero queda abierta la pregunta acerca de que sucede con la gametogénesis de esta especie cuando la temperatura del agua en Bahía de Banderas es afectada por eventos de surgencia, o eventos El Niño más fuertes al registrado durante el periodo 2002-2003. En este estudio no se analizó la concentración de nutrientes en el agua durante la época de reproductiva, por lo que este parámetro también puede considerarse en estudios posteriores.

Las colonias de *P. gigantea* en el sitio de estudio, se ubican en las zonas más protegidas de la Isla Redonda, generalmente entre las cuevas, lo que probablemente influye y hace que los cambios ambientales en estos micro-ambientes lleguen más lentamente. Por este motivo la respuesta en la actividad reproductiva es por periodos más cortos.

Oceanografía de la zona

Se ha documentado ampliamente en otros invertebrados marinos que los patrones reproductivos varían de acuerdo a la latitud, la temperatura del agua, la salinidad, los periodos lunares y la disposición de alimento entre otros

(Young, 1999). En Bahía de Banderas, que es considerada una zona de transición por las diferentes corrientes que ahí convergen, la temperatura del agua parece ser un factor clave que regula el inicio y el comportamiento de la reproducción sexual de los corales. Al parecer no existe una temperatura única que funcione en todos los arrecifes del mundo. Orton (1920) sugiere que el inicio de la reproducción sexual esta marcado por una temperatura crítica que en algunas ocasiones es específica para cada especie e incluso para cada población. En este caso, esta temperatura crítica fue similar para *Pocillopora damicornis* y para *Porites panamensis*, que iniciaron la gametogénesis en el mes de mayo, en cambio, los primeros gametos de *Pavona gigantea* se encontraron hasta julio.

En Bahía de Banderas la temperatura del agua varía fundamentalmente por la influencia de las corrientes que ahí convergen, las cuales varían estacionalmente, además de las surgencias que se presentan en la parte sur durante primavera (Álvarez-Borrego, 1993) y los eventos El Niño que se ven reflejados en un aumento en el flujo y en la temperatura de la Corriente Costera de Costa Rica (Richmond, 1999). En particular, durante el periodo de estudio de este trabajo existió la presencia de un evento El Niño de categoría moderada y la temperatura en Bahía de Banderas se matuvo por encima de 25°C durante todo el 2002.

En Bahía de Banderas existen principalmente tres patrones de circulación oceánica (Wyrski, 1965). De febrero a abril la Corriente Costera de Costa Rica es débil y fluye como una extensión de la Corriente de California que se une a la Corriente Norecuatorial (Wyrski, 1965; Glynn y Ault, 2000). En Jalisco y Nayarit la circulación es hacia el sur. Durante este periodo no encontramos actividad reproductiva en ninguna de las tres especies analizadas. Se puede decir que durante este periodo la temperatura del agua es fría. Durante el muestreo de este trabajo la temperatura en Bahía de Banderas en los meses de febrero a abril fue de 24 a 26°C. Al parecer este año fue atípico en relación con años tipo en que la temperatura durante estos

meses desciende hasta 17°C (Vizcaíno-Ochoa, 2000) por lo que existió una anomalía positiva de 6°C. Sin embargo, en estas fechas los corales de Bahía de Banderas todavía no iniciaron la gametogénesis.

Posteriormente, de mayo a julio, la Contracorriente Norecuatorial alimenta a la Corriente Costera de Costa Rica hasta la punta sur de Bahía de Banderas, que coincide con las masas de agua del norte (Wyrski, 1965; Glynn y Ault, 2000). En Nayarit la circulación es hacia el sur hasta Cabo Corrientes y hacia el norte en el resto de Jalisco. Durante este periodo la Corriente Costera de Costa Rica, que es cálida, llega hasta Bahía de Banderas lo que produce un aumento en la temperatura del agua dentro de la bahía. Además, dado que en este año se registró evento El Niño, la temperatura en Bahía de Banderas aumentó hasta 30°C. Se ha mencionado que las características oceanográficas provocadas por el fenómeno El Niño, son definidas como una versión exagerada de las condiciones de verano (Lavín *et al.*, 1997).

Durante este periodo la temperatura del agua en Bahía de Banderas fue de 28.5 a casi 30°C. El aumento de 26 a 28.5°C en mayo, evidentemente fue el disparador de la gametogénesis en los corales de Bahía de Banderas. Esto ocurrió por lo menos en *P. damicornis* y *P. panamensis* ya que en ambas especies el mes de inicio de la gametogénesis fue mayo. En estas especies en Panamá y Costa Rica, se ha mencionado que la temperatura que da inicio a la gametogénesis es de 27 a 29°C (ver: Glynn y Ault, 2000), lo que coincide con el presente trabajo.

En cuanto al tercer periodo de agosto a diciembre la circulación es hacia el norte y es dominada por la Corriente Costera de Costa Rica (Wyrski, 1965; Glynn y Ault, 2000). Durante este periodo la temperatura en Bahía de Banderas permaneció alta (30.5°C) y fue hasta noviembre cuando la temperatura descendió hasta 28.5°C. En el caso de *Porites panamensis* fue evidente la presencia de gametos hasta el mes de septiembre, lo que significa que todavía en este mes la temperatura del agua en Bahía de Banderas fue lo suficientemente cálida para que esta especie llegara al final de la

gametogénesis. También en septiembre, se encontraron embriones y plánulas en *P. panamensis* lo que sugiere que al final de la temporada de verano es cuando pudo ocurrir la fecundación de gametos y la liberación de larvas.

En agosto se observaron los últimos gametos de *P. damicornis* y se ha reportado que en esta especie las temperaturas arriba de 30°C pueden provocar abortos en los gametos maduros y las plánulas. Por lo tanto, es posible que en esta ocasión en Bahía de Banderas, este haya sido el factor que no permitió que esta especie tuviera una reproducción sexual exitosa. Al igual que en Panamá, esta especie parece no estar adaptada para las temperaturas altas que se registran en el POT. En contraste, en Australia, donde esta especie cuenta con la capacidad de formar plánulas durante todo el año, la temperatura máxima del agua registrada en un año es de 27°C (Stoddart, 1984; Stoddart y Balck, 1985).

En Australia se ha reportado también que pueden existir variaciones y flexibilidad en los patrones reproductivos en organismos de una misma localidad. Por ejemplo *P. damicornis* presentó liberación de larvas de forma asexual durante un periodo y posteriormente liberó gametos para ser fertilizados en la columna de agua, por lo que se sugiere que estas variantes en las estrategias reproductivas se deben a cambios ambientales principalmente asociados con la temperatura del agua (Ward, 1992). La biología reproductiva de los corales analizados en este estudio probablemente puede variar en otros años, especialmente si las condiciones ambientales en la zona cambian en comparación con las registradas durante el periodo de estudio de este trabajo. En este caso seguramente los patrones reproductivos de los corales también serán diferentes. Esto únicamente podrá ser definido con estudios posteriores con condiciones ambientales diferentes.

En contraste con las zonas de mayor diversidad de corales como Australia, el POT parece estar sujeto a los cambios ambientales, principalmente en la temperatura del agua, lo que hace que en los corales de esta zona la reproducción sexual tenga patrones atípicos comparados con los

de zonas más estables. El ejemplo más claro es la incapacidad de *P. damicornis* para producir plánulas. Esta especie es la que la reproducción asexual parece ser la estrategia que hace que mantenga sus poblaciones al parecer ha logrado sobrevivir a las condiciones del POT, sin embargo, sexualmente no tiene éxito.

Por otro lado posiblemente *P. panamensis* sea la especie mejor adaptada a las condiciones ambientales de Bahía de Banderas, esto debido a que en este estudio mostró ser la especie con reproducción sexual exitosa y con éxito también en cuanto al reclutamiento, contrario a lo que se ha observado en otras zonas del POT. Por ejemplo en Panamá esta especie no ha podido soportar condiciones ambientales extremas, principalmente el evento de El Niño 1982-1983 (Glynn, 1990) que en algunas localidades causó extinciones locales de esta especie, en donde hasta la fecha no se ha vuelto a observar (Glynn y Ault, 2000).

Lo anterior indica que el POT es una zona altamente dinámica en cuanto a la ecología de los corales que aquí han logrado desarrollarse. La reproducción en estos corales sin duda responde a las condiciones específicas de cada año o de periodos más largos en que la zona se ve afectada por eventos de mayor escala temporal. Es posible que los eventos que causan temperaturas extremas como El Niño combinado con incremento en el flujo de los ríos, turbidez del agua y actividades antropogénicas puedan en algún momento dañar seriamente estas comunidades coralinas causando extinciones como las que ya se han registrado en Panamá.

En el caso de que las comunidades coralinas del POT dependan de reproducción asexual para mantenerse como en el caso de *P. damicornis*, la repoblación después de un evento que afecte a los corales será sin duda más lenta. En esta situación el aporte de larvas de otras localidades es un punto que merece ser tomando en cuenta. El aporte de larvas hacia el Pacífico Mexicano no ha sido estudiado, sin embargo, durante El Niño, el aporte de larvas de la Contracorriente Norecuatorial, por medio de la Corriente Costera

de Costa Rica y el aporte de larvas desde las Islas Revillagigedo y las Islas Marías, que son localidades que están relativamente cerca de Bahía de Banderas, son fuentes potenciales de entrada de larvas.

Probablemente, las comunidades coralinas de Bahía de Banderas han logrado sobrevivir hasta el momento, debido a un efecto combinado de aporte de larvas de otras zonas que enriquecen las poblaciones, la reproducción asexual, principalmente en las especies de forma ramosa, y el reclutamiento de larvas producidas por colonias de Bahía de Banderas que cuenten con la capacidad de reproducirse sexualmente durante años en que las condiciones ambientales así lo permitan.

Conclusiones

- * Las tres especies de corales más abundantes en la Isla Redonda en Bahía de Banderas *Pocillopora damicornis*, *Porites panamensis* y *Pavona gigantea* cuentan con la capacidad de formar gametos durante el periodo de primavera-verano.
- * La temperatura fue el disparador y regulador de la reproducción sexual en los corales de la Isla Redonda en Bahía de Banderas.
- * Los patrones reproductivos de las tres especies presentaron diferencias en comparación con los corales de otras localidades del Pacífico.
- * *Porites panamensis* en Bahía de Banderas tiene reproducción sexual exitosa lo que se confirma con el hallazgo de plánulas en los tejidos analizados.

Recomendaciones

Es necesario continuar con los estudios para conocer la biología reproductiva de los corales del Pacífico Mexicano. Seguramente existen diferencias espaciales y temporales en la biología reproductiva de las comunidades coralinas, tanto costeras como en las islas. Lo anterior permitirá entender como responden estas comunidades a eventos tanto naturales como antropogénicos.

Es recomendable analizar otros factores que en este estudio no se consideraron, como la relación de las fases lunares con la gametogénesis y la liberación de larvas, así como, el papel que juegan los nutrientes y la proporción de zooxantelas en la reproducción sexual de los corales.

Por otra parte conocer el tamaño de las colonias cuando alcanzan la edad primera madurez permitirá hacer estimaciones de cuantas colonias en la zona cuentan con la capacidad de reproducirse sexualmente.

Con este trabajo mostramos la primera evidencia de reproducción sexual en corales del Pacífico Mexicano y estos datos pueden tomarse como base para realizar observaciones en campo y esperar la posible liberación de plánulas o gametos con referencia en los meses en que presentaron gametos en los tejidos. También es necesario evaluar el reclutamiento en el Pacífico Mexicano, tanto en sustrato natural como artificial. Los reclutas ya sea de origen sexual o asexual pueden ser de gran ayuda para tratar de entender la capacidad de mantenimiento y de recuperación con que cuentan las comunidades coralinas.

Finalmente para conocer si existe una relación entre las comunidades coralinas de diferentes zonas geográficas y corroborar que existe un intercambio de larvas, lo más indicado es realizar estudios de genética de poblaciones para conocer la relación que existe entre los corales del Pacífico Mexicano, entre las comunidades del POT y posteriormente entre los corales de todo el Pacífico.

Literatura citada.

- Álvarez-Borrego, S. 1993. Gulf of California. Pp. 427-449. En: Estuaries and Enclosed Seas. Ketchum, B.H. (ed). Elsevier (Press), Amsterdam.
- Atoda, K. 1947. The larva and postlarval development of some reef-building corals. I. *Pocillopora damicornis cespitosa* (Dana). Sci. Rep. Tohoku Univ. Ser. 4.18: 24-47.
- Badan, A. 1997. La Corriente Costera de Costa Rica en el Pacífico Mexicano. Pp. 99-112. En: Contribución a la Oceanografía Física en México. Lavin, M. F. (ed). CICESE. Ensenada.
- Ballard, W.W. 1942. The mechanism for synchronous spawning in *Hydractinia* and *Penaria*. Biol. Bull. 82: 329-339.
- Blanco, M. 1997. Archipiélago Isla Marietas. En: Universidad de Guadalajara. Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias (eds). Áreas Naturales Prioritarias para la Conservación en la Región II. Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca. México. 215 pp.
- Chávez, E.M. 1986. Gametogenesis and origin of planula in the hermatypic coral *Pocillopora damicornis*. En : P.L. Jokiel, R.H. Richmond y R.A. Rogers (ed). Coral reef population biology. Hawaii Inst. Mar. Biol. Tech. Rep. No. 37: 193-205.
- Chia, F.S. 1978. Perspectives: settlement and metamorphosis of marine invertebrates larva. Pp. 283-285. En: Settlement and Metamorphosis of Marine Invertebrates larvae. F.S. Chia y M. Rice (eds). Elsevier, New York.

- Chornesky, E.A, y E. Peters. 1987. Sexual reproduction and colony growth in the scleractian coral *Porites asteroides*. Biol. Bull. 172: 161-177.
- Clausen, C.D. y A.A. Roth. 1975. Effects of temperature and temperature adaptation on calcification rate in the hermatypic coral *Pocillopora damicornis*. Mar. Biol. 33: 93-100.
- Connell, J.H. 1973. Population ecology of reef building corals. pp 205-245. En: O.A. Jones and R. Endean (ed) Biology and Geology of coral reefs. 2 Biol. Academic Press New York .
- Cupul-Magaña, A.L., O.S. Aranda-Mena, P. Medina-Rosas y V. Vizcaíno-Ochoa. 2000. Comunidades coralinas de las Islas Marietas, Bahía de Banderas, Jalisco-Nayarit, México. Revista Mexicoa. 1: 14-22.
- Cortes, J. 1997. Biology and geology of eastern Pacific coral reefs. Coral Reefs. 16: S39-S46.
- Dana, T.F. 1975. Development of contemporary eastern Pacific coral reefs. Mar. Biol. 33: 355-374
- Edmondson, C.H. 1946. Behaviour of coral planulae under altered saline and termal conditions. Bernice P. Bishop. Mus. Oceas. Cap. 18: 283-304.
- Fadlallah, Y.H. 1983. Sexual reproduction, development and larval biology in scleractinian corals. Coral Reefs. 2: 129-150.
- Fan, T.Y. y C.F. Dai. 1995. Reproductive ecology of the scleractinian coral *Echinopora lamellosa* in northern and southern Taiwan. Mar. Biol. 123: 565-572

- Gaviño, G. y Z. Uribe . 1980. Distribución poblacional y época de la reproducción de las aves de las Islas Tres Marietas, Jalisco, México. Anales del Instituto de Biología. Serie Zoología Universidad Nacional Autónoma de México. 51: 505-524.
- Gilmore, M.D. y B.R. Hall. 1976. Life history growth habits and construction roles in *Acropora cervicornis* in the patch reef environment. J. Sediment 46: 519-522.
- Glynn, P.W. 1997. Eastern Pacific reef coral biogeography and faunal flux: Durham's dilemma revisited. Proc 8 th Int. Coral Reef Symp. 1: 371-378.
- Glynn, P.W. 1999. Coral mortality and disturbances to coral reefs in the tropical eastern Pacific. Pp 55. En: Global Ecological Consequences of the 1982-1983 El Niño-Sothern Oscilation. Glynn (ed). Elsevier. Amsterdan.
- Glynn, P.W. y R.H. Steward. 1973. Distribution of coral reefs in the Pearl Island (Gulf of Panamá) in relation to thermal conditions. Limnol. Oceanogr. 18: 367-379.
- Glynn, P.W. y G.M., Wellington. 1983. Corals and coral reefs of the Galapagos Islands. University of California Press. Berkely.
- Glynn, P.W. y J.S. Ault. 2000. A biogeographic analysis and review of the far eastern Pacific coral reef region. Coral Reefs. 19: 1-23.
- Glynn, P.W., N.J. Gassman, C.M. Eakin, J. Cortes, D.B. Smith, and H.M. Guzman. 1991. Reef coral reproduction in the Easter Pacific: Costa Rica, Panama and Galapagos Islands (Ecuador). I Pocilloporidae. Mar. Biol. 109: 355-368.

- Glynn, P.W., S.B. Colley., C.M. Eakin., D.B. Smith., J.Cortes., N.J. Gassman., H. M. Guzman., J. B. Del Rosario. y J. S. Feingold. 1994. Reef Coral Reproduction in the Eastern Pacific: Costa Rica, Panama, and the Galapagos Islands (Ecuador) II. Poritidae. Mar. Biol. 118: 191-208.
- Glynn, P.W., S.B. Colley, N.J. Gassman, K. Black, J. Cortes, y J.L. Mate. 1996. Reef coral reproduction in the Easter Pacific: Costa Rica, Panama and Galapagos Islands (Ecuador). III Agaricidae. Mar. Biol. 125: 579-601.
- Harii, S., H. Kayanne, H. Takigawa, T. Hayashibara y M. Yamamoto. 2002. Larval survivorship, competency and settlement of two brooding corals, *Heliopora coerulea* and *Pocillopora damicornis*. Mar. Biol. 141: 39-46.
- Harrison, P.L. y C.C. Wallace. 1990. Reproduction, dispersal and recruitment of Scleractinian corals. 207pp. En: Ecosystems of the World: Coral Reefs. Z. Dubinsky (ed). Elsevier. Amsterdam.
- Hayes, R.L. y N.I. Goreau. 1977. The epidermal flagellary aparatus in the larva of *Porites porites*. Proc. Assos. Is. Mar Lab. Carib. 12/27.
- Heck, K.L. y E.D. McCoy. 1978. Long distance dispersal and the reef building corals of the eastern Pacific. Mar. Biol. 48: 348-356.
- Highsmith R.C. 1982. Reproduction by fragmentation in corals. Mar. Ecol. Prog. Ser. 7: 202-226.
- Hughes, T.P. y J. B. Jackson. 1980. Do corals lie about their age? Consequences of partial mortality, fission, and fusion. Science 209: 713-714.

- Instituto de Geofísica, Universidad Autónoma de México. 1994. Calendario de Mareas, Temperatura y Salinidad, para Cabo San Lucas Baja California Sur, Mazatlán, Sinaloa y Puerto Vallarta, Jalisco. Instituto de Geofísica Universidad Autónoma de México. México.
- Jokiel, P.L. 1984. Long distance dispersal of reef corals by rafting. *Coral Reefs*. 3: 113-116.
- Jokiel, P.L. 1985. Lunar periodicity of planulae release in the reef coral *Pocillopora damicornis* in relation to various environmental factors. *Proc. 5 th Coral Reef Congr. French Polinesia*. 4: 307-312.
- Jokiel, P.L. y E.B. Guinther. 1978. Effects of temperature on reproduction in the hermatypic coral *Pocillopora damicornis*. *Bull. Mar. Sci.* 28: 786-789.
- Ketchum, J.T. y H. Reyes-Bonilla. 1997. Biogeography of hermatypic corals of the Archipelago Revillagigedo, México. *Proc. 8 th. Int. Coral Reef. Symp.* 1: 471-476.
- Lavín, M.F., E. Beier, y A. Badan. 1997. Estructura hidrográfica del Golfo de California: escalas estacionales e interanuales. En: Lavín, M. F. (ed). *Contribución a la Oceanografía Física en México*. 141-172.
- McGuire, M.P. 1998. Timing of larval release by *Porites asteroides* in the norther Florida Keys. *Coral Reefs*. 17: 369-375
- Medina-Rosas, P. 2000. Reclutamiento de corales pétreos (Scleractinia) en los arrecifes de coralinos de Jalisco y Nayarit. México. Tesis de Maestría. UABC. Ens. B.C. 58 pp.

- Neves, E.G. y D.O. Pires. 2002. Sexual reproduction of Brazilian *Mussismilia hispida* (Verill, 1902). Coral Reefs. 21: 161-168.
- Orton, J.H. 1920. Sea temperature breeding and distribution of marine animals. J. Mar. Biol. Assoc. UK. 12:339-366.
- Reyes-Bonilla, H. 1993. Biogeografía y ecología de los corales hermatípicos (Anthozoa:Scleractinia) del Pacífico de México. Pp. 207-222. En: Biodiversidad Marina y Costera de México. S.I. Salazar-Vallejo y N.E. González (ed.), Comisión Nacional para la Biodiversidad y CIQRO. México.
- Reyes-Bonilla, H. y L.E. Calderón-Aguilera. 1994. Parámetros poblacionales de *Porites panamensis* (Anthozoa: Scleractinia), en el arrecife de Cabo Pulmo, México. Revista Biología Tropical. 42: 121-128.
- Richmond, R.H. 1981. Energetic consideration in the dispersal of *Pocillopora damicornis* (Linnaeus) planulae. Proc. 4 th Int. Coral Reef Symp. 2: 153-156.
- Richmond, R.H. 1985. Variation in the Population biology of *Pocillopora damicornis* across the Pacific. Proc. 5 th Coral Reef Congr. French Polinesia. 4: 135-141.
- Richmond, R.H. 1987. Energetics, competency, and long-distance dispersal of planula larvae of the coral *Pocillopora damicornis*. Mar. Biol. 93: 527-533.
- Richomond, R.H. 1999. The effects of the El Niño/Southern Oscillation on the dispersal of corals and other marine organisms. 127pp. En: Global Ecological Consequences of the 1982-1983 El Niño-Southern Oscillation. Glynn (ed). Elsevier. Amsterdam.

- Richmond, R.H. y P.J. Jokiel. 1984. Lunar periodicity in larval release in the reef coral *Pocillopora damicornis* at Enewetak and Hawaii. Bull. Mar. Sci. 34:280-287.
- Richmond, R.H. y C.L. Hunter. 1990. Reproduction and recruitment of corals: comparison among the Caribbean, the Tropical Pacific and the Red Sea. Mar. Ecol. Prog. Ser. 60: 185-203.
- Rodriguez-Zaragoza, F.A. 2001. Estructura de las comunidad de coral hermatípico del Pacífico Nortropical Mexicano. Tesis de Maestria. UABC. Ens. B.C. 97 pp.
- Slattery, M., G.A. Hines, J. Starmer y V. Paul. 1999. Chemical signals in gametogenesis, spawning, and larval settlement and defense of the soft coral *Sinularia polydactyla*. Coral Reefs. 18: 75-84.
- Steiner, S.C.C. 1998. La ultra estructura del espermatozoide y su valor en la sistematica de corales Scleractinia (Cnidaria: Anthozoa).
- Stoddart, J.A. 1984. Genetic differentiation amongst population of the coral *Pocillopora damicornis* of southwestern Australia. Coral Reefs. 3: 149-156.
- Stoddart, J.A. y R. Black. 1985. Cycles of gametogenesis and planulation in the coral *Pocillopora damicornis*. Mar. Ecol. Prog. Ser. 23: 153-164.
- Szmant-Froelich, A., M. Reutter y L. Riggs. 1985. Sexual reproduction of *Favia fragum* (Esper): Lunar patterns of gametogenesis, embryogenesis and planulation in Puerto Rico. Bull Mar Sci. 37: 880-892.
- Thomascik, T y F. Sander. 1987. Effects of eutrophication on reef-building corals. III. Reproduction of the reef-building coral *Porites porites*. Mar. Biol. 94: 77-94.

- Vizcaíno-Ochoa, V., A.L. Cupul-Magaña, y P. Medina-Rosas. 1999. Reclutamiento de corales hermatípicos (Scleractinia) en Bahía de Banderas, Jalisco-Nayarit. Resumen XV Congreso Nacional de Zoología. Tepic, Nayarit. 103-104.
- Vizcaíno-Ochoa, V. 2000. Reclutamiento de corales hermatípicos (Anthozoa: Scleractinia) en las costas de Bahía de Banderas y sur de Nayarit, México. Tesis de Licenciatura. U de G. Gdl. Jal. 46 pp.
- Ward, S. 1992. Evidence for broadcast spawning as well as brooding in the scleractinian coral *Pocillopora damicornis*. Mar. Biol. 112:641-646.
- Wyrtki, K. 1965. Summary of the physical oceanography of the Eastern Pacific Ocean. Institute of Marine Research. University of California San Diego. Ref. 65: 10-78
- Young, C.M. 1999. Synchrony and sociality: breeding strategies in constant and variable benthic environments. Pp. 1-14. En: Aquatic Life Cycle Strategies. M Whitfield, J. Matthews y C. Reynolds (eds). Mar. Biol. Assoc. UK. Plymouth.
- Zakai, D., Levy, O. y N.E Chadwick-Furman. 2000. Experimental fragmentation reduce sexual reproductive output by the reef-building coral *Pocillopora damicornis*, Coral Reefs. 19: 185-188.