

**REPRODUCCIÓN SEXUAL DEL CORAL HERMATÍPICO *Solenastrea bournonii*
(Scleractinia-Faviidae) EN LA BAHÍA DE GAIRA, SANTA MARTA, CARIBE
COLOMBIANO**

JENNY CAROLINA RODRÍGUEZ VILLALOBOS

UNIVERSIDAD DE BOGOTÁ JORGE TADEO LOZANO
PROGRAMA DE BIOLOGÍA MARINA
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES
BOGOTÁ D.C., COLOMBIA
2009

**REPRODUCCIÓN SEXUAL DEL CORAL HERMATÍPICO *Solenastrea bournonii*
(Scleractinia-Faviidae) EN LA BAHÍA DE GAIRA, SANTA MARTA, CARIBE
COLOMBIANO**

Trabajo de Grado para optar
al título de Bióloga Marina

JENNY CAROLINA RODRÍGUEZ VILLALOBOS

DIRECTOR

ADOLFO SANJUAN MUÑOZ
Biólogo Marino. M. Sc.

CODIRECTORA

Elvira María Alvarado Ch.
Bióloga Marina.
Ph.D. Ciencias- Biología

UNIVERSIDAD DE BOGOTÁ JORGE TADEO LOZANO
PROGRAMA DE BIOLOGÍA MARINA
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES
BOGOTÁ D.C., COLOMBIA
2009

“La sexualidad es la reina de los problemas
en biología evolutiva.
Quizá ningún otro fenómeno natural
ha alcanzado tanto interés,
ciertamente ninguno se ha visto
con tanta confusión”

Graham Bell 1892.

Nota de aceptación:

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Bogotá, D.C., Marzo 30 de 2009

AGRADECIMIENTOS

A mis padres Héctor y Jenny y a mi hermano Gustavo, porque sin su esfuerzo y apoyo no hubiera conseguido llegar hasta aquí.

A Camilo Flores Bastidas por su compañía y apoyo incondicional en los últimos años, por enseñarme a ver las cosas desde un lado más amable y finalmente por ser el mejor amigo y compañero que he podido tener. Te quiero.

A la Dra. Elvira María Alvarado por brindarme su sabiduría, paciencia y buen humor. Sin su ayuda hubiera sido muy difícil la realización de este trabajo. Y por supuesto por ser uno de los grandes modelos a seguir en mi vida profesional.

Al profesor Adolfo Sanjuan Muñoz, por confiar en mí, darme la oportunidad inmensa de trabajar con estos maravillosos animales y por ser uno de los mejores profesores que he tenido en la vida, tanto académica como personalmente. Muchas gracias.

A Natalia Beatriz Comba González por ser mi amiga, comprender mi manera de ser y demostrarme que siempre es posible encontrar excelentes personas. Ha sido un completo placer conocerte.

A José J. Álvarez, por hacerme sentir bien siempre y darle alegría a mi vida con todas tus ocurrencias.

Al Laboratorio de Microbiología de la Universidad Jorge Tadeo Lozano, especialmente a Amparo Canosa de Barrero por todas las enseñanzas que me brindó en el último año y por ser el contacto adecuado en el momento preciso.

A Rafael Barragán por ser mi guía en muchos aspectos técnicos y científicos de mi tesis.

A Katrin Perilla y Nelson Manrique por la consecución de los recursos económicos y la realización del muestreo de este trabajo.

A la Dra. Esther Peters y a Jenna Lueg estudiante de doctorado de la Nova Southeastern University, por sus oportunas recomendaciones durante el desarrollo de este trabajo.

A Luer León de los Laboratorios de la Universidad Jorge Tadeo Lozano Sede Bogotá, por estar siempre dispuesto a ayudarme.

Finalmente a Daniel A. Bohórquez (mi Ñaña), Diego A. Canter (Dieguito) y Omar Andrés Arboleda (Omar Tatey), por ser mi inspiración en éste y demás proyectos de mi vida.

Gracias.

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	1
2. MARCO TEÓRICO Y ESTADO DEL ARTE	8
2.1 Corales escleractínios	8
2.1.1 Anatomía	9
2.1.2 Reproducción sexual	13
2.1.3 Condiciones de vida	16
2.2 <i>Solenastrea bournonii</i>	17
2.1.4 Generalidades	17
2.1.5 Clasificación taxonómica	19
2.3 Estado del arte	19
3. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	23
4. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	24
5. HIPÓTESIS	25
6. METODOLOGÍA	26
6.1 Área de estudio	26
6.1.1 Generalidades	26
6.1.2 Clima	28
6.2 Fase de Campo	33
6.2.1 Elección de los días y sitios de muestreo	33
6.2.2 Recolección de muestras	34
6.3 Fase de laboratorio	35
6.3.1 Decalcificación de las muestras	35
6.3.2 Proceso histológico	36
6.3.3 Observación de las placas histológicas	37
6.4 Fase de gabinete	38
6.4.1 Descripción gamética	39
6.4.2 Fecundidad y fertilidad	40

7. RESULTADOS	42
7.1 Morfología interna	42
7.2 Condición reproductiva	43
7.3 Descripción gamética	46
7.3.1 Oocitos	47
7.3.2 Talla promedio de los oocitos	48
7.3.3 Espermaries	50
7.4 Fertilidad y fecundidad	52
7.4.1 Proporción de pólipos fértiles - infértiles respecto al tiempo	54
7.4.2 Proporción de pólipos fértiles e infértiles respecto a la posición en la colonia	55
7.4.3 Proporción de sexos en las colonias estudiadas	56
8. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	58
8.1 Condición reproductiva de <i>Solenastrea bournonii</i>	58
8.1.1 Tipo de reproducción	58
8.2 Patrón de reproducción	62
8.3 Gametogénesis	64
8.3.1 Disposición de los gametos dentro del pólipo	64
8.3.2 Desarrollo gametogénico y fecundidad	64
8.4 Fertilidad de los pólipos respecto a la ubicación en las colonias	72
9. CONCLUSIONES	74
10. RECOMENDACIONES	75
11. BIBLIOGRAFÍA	77

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Representación esquemática del pólipo de un coral escleractinio. Tomado de Galloway *et al.* (2007). **10**
- Figura 2.** Representación esquemática del mesenterio del pólipo coralino. Tomado de Galloway *et al.* (2007). **12**
- Figura 3.** Individuo de *S. bournonii* del laboratorio de Investigación de Corales del Rosenstiel School of Marine and Atmospheric Science RSMAS, University of Miami. Fotografía de Flores - Bastidas 2008. **18**
- Figura 4.** Representación del área de muestreo de la Bahía de Gaira. Modificado de Plancha COL 244, Centro de Investigaciones Hidrográficas y Oceanográficas Agustín Codazzi- CIOH. Escala 1: 25.000. **27**
- Figura 5.** Distribución espacial de la temperatura superficial del mar (TSM) media mensual multianual (1998-2002) para las áreas marítimas de la zona Norte de Colombia. **A.** mayo, **B.** junio, **C.** julio, **D.** agosto, **E.** septiembre, **F.** octubre, **G.** noviembre. Modificado de Melo (2006). **32**
- Figura 6. A.** Extracción de las muestras de *S. bournonii* mediante un corazonador. **B.** Marcaje utilizado en las colonias muestreadas. Fotografías de Sanjuan-Muñoz 2006. **34**
- Figura 7.** Determinación del número de pólipos presentes por cm². **A.** Muestra de tejido decalcificado sobre una caja de *petri*. **B.** Silueta de muestra sobre el papel milimetrado. **C.** representación de los pólipos presentes en el tejido decalcificado. **36**
- Figura 8.** Mediciones realizadas dentro del pólipo de las colonias comparadas. **L1.** Longitud de la separación principal entre los mesenterios (espacio dejado por la septa primaria tras la decalcificación). **L2.** Longitud de la separación secundaria entre los mesenterios (espacio dejado por la septa secundaria tras la decalcificación). **39**
- Figura 9.** Vista estereoscópica de pólipos decalcificados de *S. bournonii*. **A.** Se observan los mesenterios (**me**) a lo largo de los pólipos **B.** acercamiento al disco oral (**do**). **C.** Vista transversal donde se indican los mesenterios primarios (**flechas**) que alcanzan el celenterón y los mesenterios secundarios (**flechas y estrellas**) más cortos que los primeros (25x). **42**
- Figura 10.** Pólipos y mesenterios de *S. bournonii*. **A.** Vista en sección transversal de pólipo femenino perteneciente a la parte lateral de la colonia No. 8 (4x). **B.** Vista en sección transversal de pólipo femenino perteneciente a la parte apical de la colonia No. 8 (4x) **C.** Vista en sección longitudinal de pólipo masculino perteneciente a la parte apical de la colonia No. 11 (10x) **D.** Acercamiento al mesenterio de pólipo masculino (colonia 11) donde se observan diferentes espermaries (40x). **Oo.** Oocito; **Esp.** Espermarie. **44**
- Figura 11.** Pólipos femeninos de *S. bournonii* en sección transversal. Se observan los cambios en la ocupación de los mesenterios por gónadas a través del tiempo. **A.** Pólipo del mes de agosto donde

aproximadamente la mitad de los mesenterios albergan gametos. **B.** Pólipo del mes de septiembre con todos lo mesenterios conteniendo gónadas. **C y D.** Pólipos de octubre y noviembre donde se evidencia nuevamente un menor número de gónadas (4x). **46**

Figura 12. A. Oocitos en sección longitudinal dispuestos en hilera a lo largo de los filamentos mesentéricos (**fm**) y rodeados por la mesoglea (**mg**) (10x). **B.** Oocito (**Oo**) en mesenterio rodeado por mesoglea. Se observa la gastrodermis (**gr**) en el área cercana al oocito y el núcleo (**n**) hacia la periferia del mismo (40x). **47**

Figura 13. Cambio en la ubicación del núcleo en los gametos de *S. bournonii* a través del tiempo. **A y B.** Oocitos de mes de julio y agosto respectivamente, donde se observa el núcleo (**n**) en la parte central del gameto. (**no**) nucléolo. **C y D.** Oocitos del mes de septiembre, el núcleo se encuentra hacia la periferia del gameto en estado avanzado de madurez. (40x). **48**

Figura 14. Tamaño promedio de los oocitos en las colonias reproductivas durante los meses de muestreo. **49**

Figura 15. Espermaries en sección transversal a lo largo de dos mesenterios. Se observan las diferencias morfológicas entre ellos, así como algunas estructuras de éstos como la membrana que rodea el espermarie (**me**), la epidermis del pólipo (**ep**), el filamento mesentérico (**fm**) y la banda cnidoglandular al final del mesenterio (**bc**). Las flechas indican espermaries en diferentes estados de desarrollo (40x). **50**

Figura 16. A y B. Espermaries donde se observan las cabezas de los espermatozoides (**ca**) y las colas de los mismos (**c**) hacia el centro del *bouquet*. **C** Las colas (**c**) de los espermaries formando un ramillete hacia un lado del espermarie, las cabezas (**ca**) se observan en la parte superior (100x) **D y E.** Se indican espermaries en un mismo mesenterio en diferentes estados de desarrollo (40 x) **51**

Figura 17. Fecundidad promedio de *S. bournonii* en los meses muestreados. **53**

Figura 18. Volumen promedio ocupado por los gametos femeninos y masculinos de *S. bournonii* en el tiempo. **54**

Figura 19. Proporción de pólipos fértiles e infértiles en los meses de muestreo. **55**

Figura 20. Proporción de los pólipos fértiles e infértiles en las zonas evaluadas de la colonia. **56**

LISTA DE TABLAS

- Tabla 1. Presencia ausencia de gametos femeninos y masculinos. A. ausencia de gametos; PF. presencia de gametos femeninos; PM. presencia de gametos masculinos. 45
- Tabla 2. Valores de la prueba de múltiples comparaciones de Tukey HSD, (q) de las tallas de los oocitos. Los asteriscos indican diferencias entre los meses. $q \text{ tabla } (0,05; 268; 4) = 3,63$. 49
- Tabla 3. Parámetros de fecundidad en *S. bournonii*, establecidos a partir de cortes transversales. Las mediciones son reportadas sobre los pólipos fértiles femeninos (n= 42), en los cuales se pudieron realizar mediciones y conteo de gametos. 53
- Tabla 4. Resumen de las características de las colonias de *S. bournonii* estudiadas en el área de Bahía de Gaira en el año 2006, se incluye el número de pólipos fértiles (F) e infértiles (Inf) presentes en las zonas laterales y apicales de la colonia. Ind. Sexo indeterminado debido a la ausencia de tejido reproductivo; H. hembra; M. macho; Td. Tejido en mal estado. 57
- Tabla 5. Características reproductivas de algunas especies de faviidos en el mundo. Tipo de reproducción: H. hermafrodita. G. gonocórico. Arreglo gonadal: I. Presencia de los dos sexos entremezclados en el mismo mesenterio. II. Sexos separados pero en un mismo mesenterio III. Sexos en pólipos separados. Patrón de reproducción: D. desovador. I. incubador. Referencia: a. Wyers 1985, b. Alvarado *et al.* 2004, c. Szmant 1991, d. van Veghel 1994, e. Szmant *et al.* 1985, f. Mangubhai y Harrison 2008, g. Kojis y Quinn 1982, h. Harrison 1985, i. Lam 2000, j. Fan y Dai 1998. * Información no suministrada por el autor. 59
- Tabla 6. Tamaño promedio de los oocitos maduros de algunas especies de faviidos. Técnica empleada: H. histología, D. disección en fresco. Referencia: a. Wyers *et al.* 1991 b. Acosta y Zea 1997 c. Wyers 1985 d. Alvarado *et al.* 2004b e. Soong 1991 f. Lam 2000 g. Kojis y Quinn 1982. 67

LISTA DE ANEXOS

Anexo A. Fijación tisular	90
Anexo B. Decalcificación de muestras coralinas.	92
Anexo C. Tinción con Hematoxilina-eosina.	93
Anexo D. Conversiones utilizadas para la medición de los gametos dentro de los mesenterios.	94
Anexo E. Estructuras adicionales reconocidas dentro de los pólipos de <i>S. bournonii</i> . Nm. Nematocitos; Esp. espirocistos; Zx. zooxantelas; bc. banda cnidogandular; mg. mesoglea; ep. epidermis; gr. gastrodermis.	95
Anexo F. Datos utilizados en la correlación de Spearman que determina la dependencia de los pólipos fértiles e infértiles respecto al tiempo.	97
Anexo G. Tabla de contingencia que relaciona la posición de los pólipos (fértiles e infértiles) dentro de la colonia (zona lateral y apical).	98

RESUMEN

La reproducción sexual es quizá el proceso biológico más importante para los seres vivos, pues de ésta depende en gran manera la perpetuación de las especies en el planeta. Los estudios de la reproducción sexual de los corales escleractínios se han incrementado en los últimos años, sin embargo, la información disponible sobre algunas especies aún es muy limitada. El objetivo del presente estudio fue caracterizar la reproducción sexual de la especie hermatípica *Solenastrea bournonii* en la Bahía de Gaira, Caribe colombiano. Para esto mensualmente se recolectaron muestras de tejido entre mayo y noviembre del año 2006, con ayuda de equipo de buceo autónomo *Scuba*. Posteriormente las muestras se sometieron a tratamiento histológico convencional y tras el estudio microscópico de éstas, se determinó que la especie tiene un tipo de reproducción gonocórico con fertilización externa de gametos por lo cual presenta un patrón de reproducción desovador. El inicio del ciclo oogénico de la especie se observó a partir del mes de julio cuando se presentaron los primeros gametos femeninos a lo largo de los mesenterios del pólipo. La maduración de los oocitos se evidenció por medio del aumento en las tallas de los mismos hasta alcanzar el mayor tamaño en septiembre y octubre. El crecimiento de los gametos femeninos sigue un patrón exponencial descrito previamente en otras especies escleractínias. Los gametos masculinos se observaron únicamente en el mes de noviembre. Éstos se encontraron formando espermaries a lo largo del mesenterio en diferentes estados de desarrollo. La fertilidad de los pólipos es independiente del lugar que ocupan éstos dentro de la colonia. Finalmente y evidenciado por la disminución en la talla de los gametos femeninos, la proporción de pólipos fértiles y los valores de fecundidad de los individuos, así como la sincronía de gónadas femeninas y masculinas maduras, se asume que el desove de la especie tienen lugar a partir de septiembre, cuando se reporta la expulsión de gametos de otras especies de la familia Faviidae habitantes de la región. Se requiere estudios adicionales que permitan conocer los procesos asociados a la actividad reproductiva de la especie.

Palabras clave: *Solenastrea bournonii*, reproducción sexual, tipo reproductivo, patrón reproductivo, fecundidad.

ABSTRACT

The perpetuation of species on the planet largely depends on their reproduction; this is perhaps the most important biological process for living organisms. Studies of sexual reproduction of scleractinian corals have increased in recent years, however the information available on some species is still limited. The aim of this research was to characterize the sexual reproduction of the species *Solenastrea bournonii* in the Gaira Bay, Colombian Caribbean. To achieve this, tissue samples were collected monthly during the period between May and November of 2006 and were subjected to conventional histological processing. The microscopic analysis determined that *S. bournonii* is gonochoristic with external gametes fertilization, and therefore presents a broadcaster-spawner reproductive pattern. The onset of the oogenic cycle was in July when the first oocytes were present along the polyp's mesenteries. The gametes development was inferred by a gradual increase of the oocytes diameter, from July to September and October when the largest oocytes sizes were recorded. The development of the oocytes follows the exponential pattern that has been previously described for other scleractinian species. The spermaries were observed only in the month of November. These were elongated structures formed along the mesentery at different developmental stages. The fertility of the polyps is independent of the place they occupy within the colony. Finally, as evidenced by the size decrease of female gametes, the proportion of fertile polyps and its fecundity, as well as the synchrony of the ripeness rate of male and female gonads, it is assumed that the spawning of the species starts in September, the month when the broadcasting of gametes by other species of the Faviidae family has been reported. Additional studies are needed to clarify the processes associated with the reproductive activity of the species.

Keywords: sexual reproduction, *Solenastrea bournonii*, gonochoristic; reproductive pattern, fecundity.



1. INTRODUCCIÓN

La perpetuación de las especies naturales en el planeta depende en gran medida de la generación de nuevos individuos mediante la reproducción, sea ésta de tipo sexual o asexual. En los corales, tanto la reproducción como el reclutamiento de nuevos individuos, se encuentran entre los procesos más importantes para la persistencia de los arrecifes (Richmond 1997). En este caso particular el término reproducción hace referencia al proceso mediante el cual se forman nuevos individuos, mientras el reclutamiento (que también hace parte de la reproducción) se refiere al ingreso de éstos a la comunidad (Szmant 1986; Richmond 1997).

La reproducción sexual es un conjunto de eventos naturales, que pueden ser modificados de manera individual por la selección natural (Szmant 1986; Richmond y Hunter 1990). Disturbios de tipo físico evidenciados en cambios de factores como salinidad y temperatura, así como factores de tipo biológico, como depredación y competencia, han ocasionado presumiblemente que las especies se adapten y evolucionen en respuesta a estas presiones naturales. Las características propias de sus historias de vida, reflejan la selección de rasgos adaptativos frente las situaciones mencionadas (Szmant 1986).

En los corales los eventos de la reproducción sexual incluyen la formación de gametos (masculinos y femeninos), su desprendimiento del tejido parental así como su fertilización y finalmente la embriogénesis. Las principales ventajas que presenta este tipo de reproducción para las especies son según von Prahl y Erdhardt (1985), desarrollo de importante variabilidad genética debida al intercambio cromosómico y gran habilidad de dispersión y distribución de los individuos gracias al carácter móvil de su plánula. El éxito de la reproducción de una especie depende de factores como el tiempo, la frecuencia, la intensidad y la distribución espacial de ésta (Szmant 1986).



En los corales es posible discernir entre dos tipos de reproducción. El primer tipo conocido como gonocorismo, se refiere al desarrollo de los gametos femeninos y masculinos en colonias diferentes y formas solitarias, de esta manera existen individuos hembras e individuos machos. Por su parte el hermafroditismo, segundo tipo de reproducción, se refiere a la producción de gametos femeninos y masculinos durante la vida de una misma colonia; éste puede ser simultáneo o secuencial (Harrison y Wallace 1990; Richmond 1997).

La fertilización se presenta de dos maneras diferentes en las especies coralinas las cuales determinan los patrones de reproducción en estos organismos. El primer patrón hace referencia a los corales incubadores, en los que la fertilización ocurre dentro del celenterón y las diferentes etapas del desarrollo embrionario se dan en la capa de la mesoglea (Fadlallah 1983), a diferencia del desovador, en el que las especies expulsan los gametos a la columna de agua, ocasionando que se de una fertilización externa de éstos. Este último es el patrón reproductivo dominante en los corales del mundo, aunque en el Caribe el número de especies incubadoras supera al de desovadoras (Richmond y Hunter 1990; Harrison y Wallace 1990).

Los ciclos gametogénicos generalmente exhiben períodos anuales o lunares, dependiendo del patrón de reproducción que presente la especie coralina. En corales que tienen fecundación interna se presentan múltiples ciclos de desarrollo de gametos al año, al parecer siguiendo ciclos lunares mensuales (Harrison y Wallace 1990). Los corales desovadores en cambio, presentan en su mayoría un único ciclo de reproducción anual el cual culmina en un periodo sincrónico de desove (Richmond y Hunter 1990; Harrison y Wallace 1990) que en la zona del Caribe habitualmente se produce cuatro o cinco noches después de la luna llena de los meses de agosto a noviembre. Por lo general este proceso ocurre durante las noches aunque algunos desoves específicos han sido reportados durante el día (Willis *et al.* 1985; Oliver *et al.* 1988; Harrison y Wallace 1990; Wilson y Harrison 2003).



El proceso reproductivo en los corales ha sido abordado desde varios aspectos de la historia de vida de los organismos, tales como la morfología de las colonias y el ambiente en el que habitan, para tratar de encontrar relaciones que expliquen tanto el modo como el patrón reproductivo que presentan (Szmant 1986; Rinckevich y Loya 1979a; Harrison y Wallace 1990; Shlesinger *et al.* 1998). De acuerdo a esto es de esperar que las especies que forman colonias de gran tamaño con crecimiento masivo, expulsan al agua los gametos para que éstos sean fertilizados externamente (Szmant 1986; Harrison y Wallace 1990). Lo anterior ha sido demostrado en varias especies habitantes del Caribe cuyos comportamientos reproductivos se han estudiado ampliamente como en *Montastraea annularis*, especie habitante del Caribe caracterizada por dominar las zonas arrecifales. Esta especie invierte grandes cantidades de sus reservas energéticas en crecimiento y defensa de sus colonias, por lo cual se ha sugerido que presenta una estrategia de vida k (Szmant 1991).

El patrón de reproducción desovador ha sido propuesto como el más típico de las especies formadoras de arrecifes del Atlántico e Indopacífico (Szmant 1986; Richmond y Hunter 1990; Szmant 1991) además de ser considerado una rasgo ancestral en los corales escleractínios. El patrón incubador se ha propuesto como un rasgo derivado que surgió como respuesta a los requerimientos ambientales y ecológicos de los individuos en ambientes particulares (Shlesinger *et al.* 1998).

Los patrones de desarrollo se han relacionado con las características propias de las especies así como las condiciones requeridas para su supervivencia. Algunos estudios han permitido confirmar que las especies incubadoras invierten mayor energía en el desarrollo de la plánula que es expulsada al medio con un mayor tamaño e incluso mayor probabilidad de asentamiento (Szmant 1986). Este comportamiento reproductivo en el que existe una inversión mayor en la reproducción, se debe a que estas especies presentan una baja capacidad competitiva y requieren condiciones específicas para desarrollarse y asentarse, por lo tanto una larva desarrollada al momento de la expulsión es ideal para la perpetuación de la especie. En aquellas especies coralinas con amplia distribución



geográfica y habilidades competitivas existe una mayor inversión energética en crecimiento (lo cual aumenta la supervivencia de los individuos) a cambio de una disminución en el esfuerzo reproductivo evidenciado en gametos de menor tamaño (Shlesinger *et al.* 1998).

Respecto al sexo de las especies, se ha propuesto que éste sigue fuertes bases filogenéticas, es decir que de manera consistente se presenta el mismo tipo reproductivo dentro de las especies de una familia (Harrison 1985). De esta manera es de esperar que las especies de las familias Pocilloporidae, Faviidae, Merulinidae, Acroporidae y Pectinidae, sean hermafroditas a diferencia de los miembros de las familias Caryophyllidae, Flabellidae, Fungiidae, Siderastreidae y Dendrophylliidae, las cuales se caracterizan por ser gonocóricas. A pesar de darse un carácter filogenético al tipo de reproducción en corales, las diferencias presentadas dentro de las familias se explican por un posible aislamiento reproductivo de las especies a lo largo de mucho tiempo, lo que las ha obligado a desarrollar un comportamiento reproductivo diferente (Harrison 1985).

Los corales así como otras especies marinas no se encuentran limitadas geográficamente como sí lo pueden estar las especies terrestres. Puesto que en los océanos no existen barreras reproductivas absolutas que impidan el intercambio genético (Palumbi 1994), el proceso evolutivo de las especies coralinas ocurre de manera diferente. El modelo reticulado ha sido formulado para explicar la evolución en corales, en los cuales los mecanismos propuestos por Darwin, para la especiación por desplazamientos desde centros de origen y la vicarianza, no aplican. En la evolución reticulada se asume un intercambio genético entre especies muy cercanas filogenéticamente (o razas), es decir hibridación (Veron 1995).

Asociado con la vicarianza de circulación superficial, dentro del modelo reticulado es posible la ocurrencia simultánea de razas (las cuales se han mantenido mediante aislamientos reproductivos y genéticos) de una misma especie con orígenes geográficos variados. Estas razas pueden tener compatibilidades reproductivas

actuales y potenciales variadas, es decir pueden presentar aislamiento reproductivo entre ellas en una zona del mundo y en otras no. Según este modelo, la mayoría de las especies coralinas en una zona determinada pueden estar compuestas por una mezcla de razas, lo que a su vez genera a lo largo de grandes áreas geográficas, redes reticuladas específicas (Veron 1995).

La actividad reproductiva en los corales, así como los procesos de regeneración y crecimiento resultan ser una de las actividades más costosas en términos de inversión energética (Harrison y Wallace 1990; Rinkevich 1996). En condiciones desfavorables, la energía obtenida de la alimentación y la fotosíntesis es dirigida únicamente a los mecanismos de mantenimiento del organismo, mientras que bajo condiciones óptimas, la tasa de crecimiento de los corales por ejemplo, se ve reducida como consecuencia de la utilización de la energía en procesos reproductivos (Harrison y Wallace 1990). La reducción de la actividad reproductiva asociada con una mayor inversión de energía en procesos de mantenimiento y regeneración, se ha comprobado en diversas especies dentro de las que se cuenta *Stylophora pistillata* (Rinkevich y Loya 1987).

A pesar de haber estado expuestas a través de su historia a factores naturales que alteran sus condiciones normales, las especies coralinas en la actualidad están en menor capacidad de reponerse a los tenses que enfrentan, situación que se evidencia en cambios intrínsecos de los arrecifes coralinos (Birkeland 1997). El daño generado en los corales trae consecuencias energéticas sobre aspectos de la historia de vida coralina, tal como la reproducción (van Veghel y Bak 1994). Perturbaciones naturales y antrópicas afectan directamente los procesos reproductivos, puesto que actuando sinérgicamente disminuyen la energía disponible para este fin la cual debe ser invertida en procesos relacionados con el mantenimiento y regeneración del organismo (Harrison y Wallace 1990).

En Colombia, la cobertura coralina presente en las aguas del Caribe y el Pacífico, alcanza apenas un bajo porcentaje (0,4 %) respecto a la cobertura coralina mundial,

representados en aproximadamente 2.900 km², de los cuales tan sólo 15 km² se encuentra en la región costera del Pacífico. El Caribe agrupa alrededor del 77% de las zonas coralinas colombianas concentradas en gran parte hacia la región insular del archipiélago de San Andrés y Providencia (Rodríguez-Ramírez *et al.* 2005). El 90% de las especies coralinas hermatípticas conocidas para el continente americano, también se presentan en aguas colombianas. Estas especies en su mayoría están reportadas en el libro rojo por peligro de extinción (Wijnstekers 1995 En: Díaz-Pulido 1997).

La reproducción coralina puede y debe ser considerada como un indicador del estado de la población y del ecosistema del que hace parte. Debido a que factores de estrés presentes en el medio o cualquier cambio generado en éste, produce alteraciones considerables en la inversión energética coralina (Rinkevich y Loya 1987), una disminución en la energía asignada a la reproducción, evidenciada por la reducción de los valores de fertilidad y fecundidad de las colonias, así como en el número de nuevos individuos en la población, indica que las poblaciones se encuentran bajo la influencia de perturbaciones ambientales importantes. Información detallada respecto a la reproducción otorga un mayor entendimiento de la historia de vida coralina (Loya 1976).

En los corales la reproducción asegura que sus comunidades y por ende el ecosistema del que hacen parte, se conserve a través del tiempo, permitiendo el reemplazo constante de sus individuos y la variabilidad genética aportada por la reproducción sexual de los mismos. El conocimiento de la historia de vida de los organismos, su biología reproductiva y comportamientos asociados a ésta, tales como la dispersión y el reclutamiento de los nuevos individuos, es de gran importancia para conocer tanto sus procesos evolutivos como el rol que desempeñan en los ecosistemas (Rinkevich y Loya 1979a; Rinkevich y Loya 1987). Por lo tanto la comprensión de las características reproductivas es una valiosa herramienta para estudios de ecología de poblaciones que permitan la implementación de programas



para su manejo y conservación (Fadlallah 1983; Harrison y Wallace 1990; Ereskovsky 2000; Goffredo *et al.* 2006).

La evaluación de la actividad reproductiva de *Solenastrea bournonii* en la Bahía de Gaira, Santa Marta, Caribe colombiano, realizada como trabajo de grado para optar al título de Bióloga Marina, otorgará información valiosa para la comunidad científica que busque la conservación y manejo adecuado de este importante recurso marino, al considerarse indicador del estado de su población en una zona con un alto impacto ambiental proveniente de las actividades humanas y eventos naturales presentes.



2. MARCO TEÓRICO Y ESTADO DEL ARTE

2.1 Corales escleractínios

Los corales son organismos pertenecientes al Phylum Cnidaria, caracterizados por conformar colonias compuestas por un gran grupo de subunidades conocidas como pólipos, presentes tanto en corales blandos como en corales duros o hermatípicos (von Prael y Erdhart 1985; Brusca y Brusca 2003).

Las especies hermatípicas coralinas se encargan de formar estructuras fisiográficas en los mares tropicales conocidas como arrecifes (Levinton 1982). Un arrecife coralino es definido como la estructura construida por organismos vivos, que modifica substancialmente la topografía del lecho y cuya consistencia es lo suficientemente compacta para resistir las fuerzas del agua y por lo tanto, está en capacidad de conformar un hábitat duradero, estable y característicamente estructurado para albergar organismos especialmente adaptados (Schuhmacher 1982 En: Díaz-Pulido 1997).

Los corales escleractínios hermatípicos se caracterizan por presentar un exoesqueleto calcáreo que dependiendo de la especie y de las condiciones ambientales predominantes en el lugar que habite el individuo, adquirirá diferentes formas, tales como masivas o ramificadas. Adicionalmente, se puede encontrar corales con crecimiento colonial o solitario (von Prael y Erdhart 1985, Alvarado *et al.* 2004a).

La relación endosimbiótica de los corales con el género de algas dinoflageladas microscópicas *Symbiodinium*, hace que estos organismos contribuyan en gran medida con la productividad orgánica de los océanos así como con el aporte del marco de carbonato de los arrecifes (Birkeland 1997). La formación del exoesqueleto de carbonato de calcio, es un proceso que se encuentra relacionado de cierta manera con la incidencia de la luz sobre las aguas donde se encuentra el coral. Este

factor afecta de manera directa los procesos fotosintéticos realizados por la zooxantelas, los cuales son estimuladores de la calcificación en las aguas marinas (Marshall y Clode 2002).

La calcificación así como la formación de esqueleto calcáreo de los corales es favorecida por la actividad de la zooxantela simbiote, sin embargo en la actualidad aún no se tiene una explicación de la manera como esto ocurre, aunque se tienen algunas hipótesis al respecto (Birkeland 1997). Buchsbaum-Pearse y Muscatine (1971), proponen los siguientes mecanismos para explicar la influencia de las zooxantelas sobre la calcificación: 1. La remoción del CO_2 durante la fotosíntesis realizada por el alga simbiote, favorece un equilibrio químico que permite la precipitación del carbonato de calcio; 2. La remoción de los fosfatos por parte del alga, aumenta la cristalización del carbonato de calcio; y 3. Los productos orgánicos de la fotosíntesis así como las diferentes fuentes de energía para el coral, permiten una tasa de calcificación mayor.

2.1.1 Anatomía

Los corales duros son colonias conformadas por unidades microscópicas o pólipos (Figura 1), los cuales se encuentran unidos mediante un sistema gastrovascular común conocido como cenosarco. Los pólipos, son sacos de extensiones blandas de la cobertura del coral que se componen principalmente de dos capas celulares, epidermis o ectodermis y gastrodermis, también llamada endodermis (Birkeland 1997; Brusca y Brusca 2003).

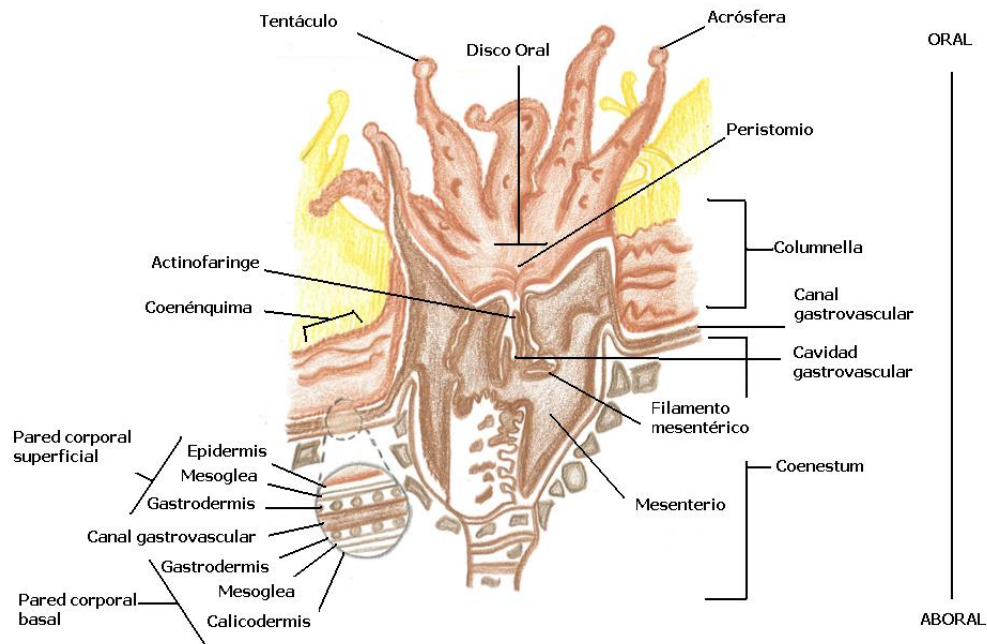


Figura 1. Representación esquemática del pólipos de un coral escleractinio. Tomado de Galloway *et al.* (2007).

La epidermis es una capa de epitelio columnar simple, que se compone de células ciliadas, secretoras o glandulares, epiteliomusculares y nerviosas. En esta capa también se encuentran células especiales encargadas de la defensa, captura de presa, locomoción y adhesión al sustrato, conocidas como nematocistos o espirocistos (Peters y Price 2005).

Los nematocistos, son estructuras ovoides o redondeadas de un material quitinoso, provistas en su interior de un hilo o tubo fuertemente enrollado en donde se encuentra una estructura almacenadora de una enzima neurotrópica, encerrada por una tapa u opérculo que controla su salida al ser estimulado de forma química o mecánica (Warren 1959; von Prahl y Erdhart 1985). Cada nematocisto es secretado por un tipo especial de célula intersticial conocida como cnidoblasto (Warren 1959).



La diferencia presentada entre los nematocistos y espirocistos radica en su anatomía y conformación. Los primeros, presentan cápsulas con pared doble contenedoras de una mezcla tóxica de fenoles y proteínas, la cual es inyectada en la víctima mediante un poro terminal ubicado en el tubo o hilo enrollado del interior. Los espirocistos, poseen cápsula de pared sencilla, que tienen en su interior mucoproteína o glicoproteína, que permiten al tubo adherirse a su víctima (Brusca y Brusca 2003).

La gastrodermis se encuentra en el interior del pólipo coralino rodeando la conocida cavidad gástrica o celenterón. Esta capa celular actúa como el sistema digestivo del pólipo coralino, con células que contribuyen tanto a la digestión como a la absorción de nutrientes y eliminación del material de desecho. En esta capa se encuentran además células secretoras de mucus, células glandulares productoras de lisozimas, células pigmentadas y fibras musculares. Cada célula gastrodérmica tiene en su interior una vesícula con lisozimas y una zooxantela simbiote (Peters y Price 2005).

En el medio de la epidermis y la gastrodermis se encuentra la mesoglea, capa de tejido conectivo compuesta por fibras de colágeno y células conocidas como mesogleales. La función principal de este tejido es soportar y mantener el arreglo celular y de las fibras musculares, así como posiblemente actuar como reserva de alimento en temporadas de escasez (Peters y Price 2005). Este tejido se encuentra rodeado ya sea por epidermis y gastrodermis o por gastrodermis en ambos lados como sucede en los mesenterios del pólipo (Galloway *et al.* 2007).

Hacia la parte oral del pólipo (Figura 1) se encuentran numerosos tentáculos rodeando el disco oral. Los tentáculos son extensiones contráctiles de tejido coralino, típicamente cilíndricas cuya cavidad interna es una continuación del espacio gastrovascular del pólipo. Usualmente estas estructuras cumplen funciones alimenticias, aunque también están implicadas en la defensa del animal (provistos de baterías de nematocistos), y en la remoción de sedimentos cercanos al animal. Debido al número y disposición (generalmente en número múltiplo de seis), estos



corales también reciben el nombre de hexacorales (von Prah1 y Erdhardt 1985; Brusca y Brusca 2003; Galloway *et al.* 2007).

El interior del pólipo está conformado por la cavidad gástrica, la cual se encuentra tapizada en su totalidad por la gastrodermis descrita anteriormente. Dentro de esta cavidad o celenterón se encuentran los mesenterios del pólipo (Figura 2). Estos son divisiones longitudinales de tejido encargadas de proveer de soporte estructural e incrementar el área superficial de la gastrodermis lo que finalmente permitirá mejorar la absorción de los nutrientes en el pólipo. El mesenterio se forma por el plegamiento de la mesoglea y de la gastrodermis que la rodea desde la pared corporal del pólipo (Galloway *et al.* 2007).

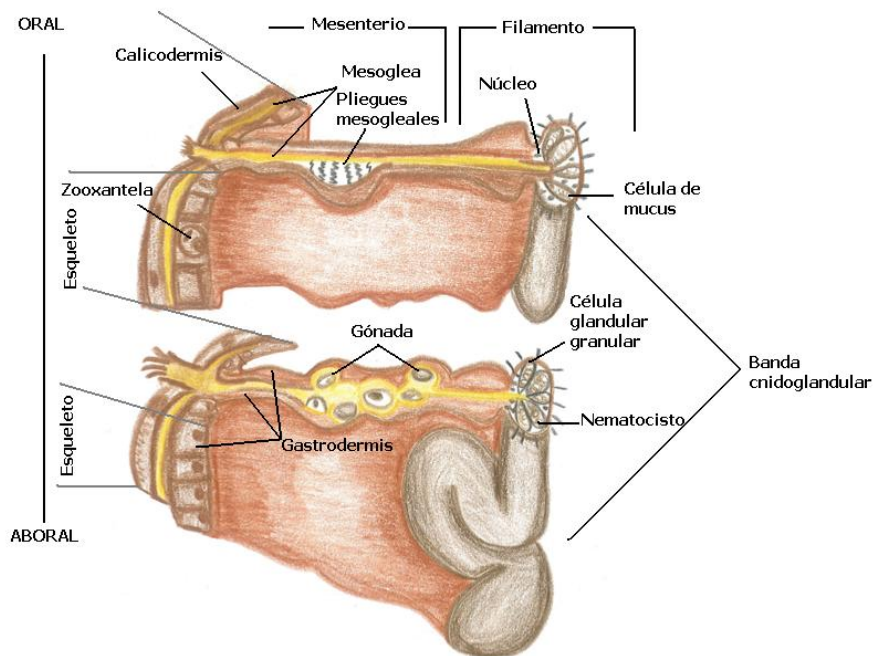


Figura 2. Representación esquemática del mesenterio del pólipo coralino. Tomado de Galloway *et al.* (2007).

Hacia el extremo libre del mesenterio, es posible reconocer una estructura en forma de hilo, conocida como filamento mesentérico. Este filamento se encuentra compuesto de células que intervienen en la captura y digestión del alimento, además

de participar en la protección del coral en la defensa del sustrato. En la parte final del filamento se encuentra la banda cnidoglandular del mesenterio, la cual alberga numerosas células glandulares y nematocistos (Figura 2). En los corales escleractínios se presentan filamentos mesentéricos completos que se unen a la pared del pólipo e incompletos que permanecen flotando dentro del lumen de los canales gastrovasculares (Brusca y Brusca 2003; Galloway *et al.* 2007).

Entre los filamentos mesentéricos y los pliegues de la mesoglea, se desarrollan las gónadas coralinas (en estos organismos no existen órganos propiamente dichos, por lo tanto se llama gónada al lugar que alberga los gametos dentro del pólipo) (Figura 2), las cuales se generan a partir de un grupo de células totipotentes llamadas intersticiales que se mueven hacia el área de la mesoglea y se transforman en células germinales (Peters y Price 2005; Galloway *et al.* 2007).

2.1.2 Reproducción sexual

Los corales escleractínios carecen de caracteres sexuales secundarios como tal. Por lo tanto el estudio de su reproducción se basa en las observaciones realizadas en las gónadas y los productos sexuales relacionados (Harrison y Wallace 1990). A pesar de la ausencia de órganos verdaderos en estos cnidarios, los lugares dentro del mesenterio donde se desarrollan los gametos se conocen como gónadas (Giese y Pearse 1974; Harrison y Wallace 1990). Sin importar su aparente simplicidad anatómica, estos organismos exhiben una diversidad y complejidad respecto a sus patrones reproductivos sexuales (Harrison y Booth 2007 En: Mangubhai y Harrison 2008).

Pese a la inexistencia de caracteres sexuales secundarios, en los corales es posible determinar el género del individuo mediante el estudio de sus gametos, los cuales cuando se presentan en el celenterón dentro de una gónada madura pueden diferenciarse entre masculinos o femeninos (Giese y Pearse 1974). Así, por ejemplo los espermaries en los testículos presentan coloración blanca mientras los oocitos

dentro de los ovarios normalmente pueden ser de color café, rojo, rosado o azul, dependiendo de la especie. En el caso de *Favia favius*, una especie perteneciente a la familia Faviidae, se presentan ovarios de color azul y *Favites abdita*, los presenta de color rosa (Fadlallah 1983).

El hermafroditismo de los corales de acuerdo a la época en la que se desarrollan los gametos se puede dividir en simultáneo y secuencial. Así, los hermafroditas simultáneos desarrollan huevos y esperma maduros al mismo tiempo o en una misma época reproductiva en el mismo individuo, mientras los hermafroditas secuenciales, desarrollan esperma y huevos en tiempos diferentes, por lo tanto el desove de ambos gametos no ocurre en la misma temporada reproductiva (Harrison y Wallace 1990).

Es importante mencionar que dentro del hermafroditismo simultáneo de los corales se puede diferenciar algunos tipos. Existen especies escleractínias cuyo tipo de reproducción hermafrodita se da a nivel de pólipos, es decir existen pólipos femeninos y masculinos de forma independiente dentro de una misma colonia (Fadlallah 1983; Chornesky y Peters 1987; Soong 1991); otras especies presentan hermafroditismo dentro del pólipo es decir cada mesenterio dentro del mismo puede albergar tanto gametos femeninos como masculinos ya sea entremezclados o separados, dentro de estas especies se encuentran la mayoría de las pertenecientes a la familia Faviidae (Wyers 1985; Soong 1991; van Veghel 1994; Kruger y Schleyer 1998; Lam 2000; Goffredo *et al.* 2002; Alvarado *et al.* 2004b; Vermeij *et al.* 2004; Waller *et al.* 2005). Finalmente también es posible encontrar especies dentro de las cuales cada pólipo puede ser hermafrodita pero con gametos femeninos y masculinos desarrollados en mesenterios separados, *e.g.*, *Acropora cervicornis* (Soong 1991; Vargas-Ángel *et al.* 2006).

Respecto al otro tipo de reproducción presentada en los corales, el gonocorismo, es necesario tener en cuenta que su determinación dentro de estudios de reproducción sexual de especies coralinas, resulta muchas veces más complicado que para



aquellas hermafroditas. Algunos individuos que presentan hermafroditismo secuencial por ejemplo, pueden ser considerados erróneamente gonocóricos debido a que existe una diferencia de tiempo entre el desarrollo de los gametos de un sexo y el otro. De esta manera si el muestreo sólo abarca una parte del ciclo gametogénico es posible que se encuentren gametos de un sólo sexo (Rinkevich y Loya 1979a; Harrison y Wallace 1990).

Existe una gran variabilidad en los patrones reproductivos de las especies coralinas, lo cual hace que su estudio sea aún más interesante (Harrison y Booth 2007 En: Mangubhai y Harrison 2008). En las especies que presentan fertilización externa mediante el desove a pesar de presentarse por lo general un único ciclo de reproducción anual, se han reportado algunas especies que presentan múltiples o al menos dos ciclos gametogénicos en un año (Mangubhai y Harrison 2006; Mangubhai y Harrison 2008).

El desove sincrónico de las colonias de una misma especie, es importante y necesario para la reproducción, pues incrementa las oportunidades de la fertilización y la mezcla genética entre las colonias, reduciendo adicionalmente el riesgo de depredación, pues al haber millones de huevos en el agua, los depredadores se sacian más rápidamente (Willis *et al.* 1985; Oliver *et al.* 1988, Mendes y Woodley 2002; Wilson y Harrison 2003). Sin embargo, el desove simultáneo entre colonias también representa desventajas para las especies. Entre éstas se encuentran la posibilidad de formarse cigotos no viables, híbridos interespecíficos (Willis *et al.* 1985; Oliver *et al.* 1988), exposición de los gametos a condiciones climáticas adversas en la superficie del agua y transporte de los gametos a lugares alejados a causa de corrientes fuertes (Veron 1995 En: Mendes y Woodley 2002).

Las especies coralinas que tienen patrón de reproducción incubador, responden a ritmos para la liberación de los gametos, ya sea mensual, estacional, lunar o continuo a través del tiempo (Fadlallah 1983) y pueden tener múltiples ciclos reproductivos en un año (Harrison y Wallace 1990). La ventaja que trae a las

especies tener varios ciclos gametogénicos al año, básicamente radica en una mayor frecuencia y éxito de asentamiento de larvas, asociado con el tamaño de la plánula expulsada y con la mayor disponibilidad de espacio que se presenta en gran parte del año (Szmant 1986; Richmond y Hunter 1990).

2.1.3 Condiciones de vida

Los corales escleractínios requieren que el lugar en el que habiten cumpla con ciertas condiciones que hacen posible su desarrollo (Alvarado *et al.* 2004a). Por lo tanto su distribución geográfica está limitada de manera determinante por los factores ambientales (Giese y Pearse 1974).

La temperatura de las aguas que habitan las especies hermatípicas es el factor ambiental más importante en relación con el desarrollo y supervivencia de las poblaciones. Las altas tasas de calcificación se limitan a las aguas cálidas cuya temperatura se encuentre entre los 23 y 25 °C, presentes en regiones localizadas entre las latitudes 25° N y 25° S. Por lo tanto, un cambio abrupto en los valores de temperaturas normales de las aguas habitadas por especies coralinas, se asocia directamente con la pérdida de cobertura, ya sea por bajas tasas de calcificación de las especies o por blanqueamiento debido a la pérdida de zooxantelas asociada con un aumento en este factor, además de una disminución en la actividad reproductiva de los individuos (Levinton 1982; Birkeland 1997).

La relación simbiótica de los corales con pequeñas algas dinoflageladas y específicamente la actividad fotosintética de las últimas, también limita de manera importante la distribución espacial de los corales escleractínios. La zooxantelas generalmente se encuentran en el tejido gastrodérmico de corales hermatípicos en donde cumplen una función importante en el proceso de calcificación, y puesto que dependen de la luz (asociado también con la claridad de las aguas) para desarrollarse, determinan que los corales escleractínios se encuentren hasta



profundidades de aproximadamente 25 m, pues conforme aumenta la profundidad disminuye la intensidad lumínica en las aguas (Levinton 1982; Birkeland 1997).

La salinidad de las aguas aptas para el desarrollo de los corales permanecen en valores dentro del rango de la salinidad normal de los ambientes marinos (3,3–3,6%). En niveles inferiores al mencionado, las tasas de calcificación disminuyen y otros invertebrados marinos dominan estos procesos (Birkeland 1997).

La alta productividad de los corales se encuentra asociada con el óptimo aprovechamiento que hacen de los nutrientes encontrados en el agua (von Prael y Erhardt 1985; Díaz-Pulido 1997; INVEMAR 2003). Actualmente se sabe que las altas concentraciones de nutrientes afectan la salud coralina y arrecifal, esto debido a que en dichas condiciones el desarrollo de organismos competidores de los escleractínios tales como esponjas y macroalgas se ve favorecido, disminuyendo el espacio disponible para el asentamiento de nuevos individuos de la población (Birkeland 1997).

2.2 *Solenastrea bournonii*

2.1.4 Generalidades

Las colonias de *S. bournonii* presentan formas masivas irregulares y su superficie presenta algunas protuberancias. Los cálices de esta especie son circulares cuyo diámetro promedio se encuentra entre los 2,0 y 2,5 mm (Figura 3). Adicionalmente tiene 24 septos, 12 de los cuales son completos es decir alcanzan la columnela (Reyes y Santodomingo 2002). Esta especie se caracteriza por presentar los septos del tercer ciclo libres, además de una columnela bien desarrollada con bordes calciformes sobresalientes, formada por bastones fusionados a su base (Acero *et al.* 1990).



La colonia de *S. bournonii* en vivo presenta una coloración que varía de amarillo a tonos pardos, encontrándose por lo general entre 1 y 15 m de profundidad, asentada sobre fondos blandos a excepción de algunas incrustaciones que crecen sobre el lecho rocoso (Acero *et al.* 1990).



Figura 3. Individuo de *S. bournonii* del laboratorio de Investigación de Corales del Rosenstiel School of Marine and Atmospheric Science RSMAS, University of Miami. Fotografía de Flores - Bastidas 2008.

Por lo general de acuerdo a las colonias muestreadas por Acero *et al.* (1990), éstas no sobrepasan los 25 cm de diámetro, a pesar de existir reportes para Santa Marta que superan los 55 cm (Perilla y Santacruz 2007) y para otras regiones del Caribe de colonias que superan los 95 cm de diámetro (Acero *et al.* 1990). Como característica compartida por la otra especie del género (*S. hyades*), durante el día *S. bournonii* permanece con sus pólipos retraídos, sin embargo en la región de Santa Marta, es posible observar los pólipos extendidos en horas del día, lo cual puede deberse a la necesidad mayor de alimento debido a las tallas presentadas o a la menor penetración lumínica ocasionada por la abundancia de sedimentos terrígenos de la región (Acero *et al.* 1990).



2.1.5 Clasificación taxonómica

S. bournonii es un coral escleractinio, perteneciente a la familia Faviidae, cuyos miembros en su mayoría se caracterizan por presentar un tipo de reproducción hermafrodita con desarrollo de gametos femeninos y masculinos en un mismo mesenterio (Harrison 1985; Harrison y Wallace 1990).

La clasificación taxonómica completa de la especie se presenta a continuación:

Reino Animalia

Phylum Cnidaria

Clase Anthozoa

Orden Scleractinia

Familia Faviidae

Género *Solenastrea*

Especie *Solenastrea bournonii* (Milne Edwards y Haime 1849)

2.3 Estado del arte

El estudio de la reproducción de las especies coralinas data de hace poco más de dos siglos y aunque su conocimiento se ha incrementado en los últimos años (Shlesinger *et al.* 1998), aún no es suficiente la información que se ha recopilado (Harrison y Wallace 1990).

Debido a la importancia ecológica que representa el conocimiento de la reproducción, pues entre otros beneficios concede la posibilidad de conocer tanto la biología de las especies como el estado de las poblaciones y comunidades coralinas, las investigaciones relacionadas con el tema han aumentado en número e intensidad de estudio (Rinkevich y Loya 1979a; Rinkevich y Loya 1987). Sin embargo, la información disponible al respecto aún es escasa sobre todo para algunas zonas del mundo tales como el Océano Pacífico del sureste asiático, el Océano Índico y el Mar

Rojo (Szmant 1986; Acosta y Zea 1997; Shlesinger *et al.* 1998; Lam 2000; Goffredo *et al.* 2002; Alvarado *et al.* 2004b; Carroll *et al.* 2006; Mangubhai y Harrison 2006).

El estudio de la reproducción coralina ha sido abordado de diferentes maneras desde su inicio. Hace aproximadamente 200 años se realizaron los primeros reportes a este respecto cuando algunos investigadores observaron por primera vez la plánula de una especie del Mediterráneo perteneciente al género *Astroides* (De Lacaze-Duthiers 1873 En: Harrison y Wallace 1990). Posteriormente el estudio de los patrones reproductivos en especies coralinas continuó mediante la observación del desove de gametos y el seguimiento de especies incubadoras, básicamente porque los métodos de muestreo empleados para dichos trabajos estaban dirigidos hacia la detección de la planulación y no para el seguimiento de los ciclos reproductivos de las especies (Harrison y Wallace 1990).

A principios del siglo XX el surgimiento de nuevas ciencias biológicas tales como la fisiología y la endocrinología, puso de manifiesto la necesidad de estudiar los sistemas biológicos a nivel de células y tejidos, mediante secciones histológicas que contuvieran las estructuras fijadas aptas para ser analizadas. El estudio interpretativo de estos tejidos se complementaba con el conteo de células, la comparación entre los tamaños celulares y nucleares, entre otros. Finalmente el desarrollo de técnicas bioquímicas permitió la implementación de tinciones compatibles con los componentes tisulares, facilitando la identificación y clasificación de los mismos (Humason 1979).

Actualmente muchos de los estudios de reproducción de corales se basan en la observación de placas microscópicas realizadas por medio de procesos histológicos. La mayoría de los trabajos que emplean esta técnica se enfocan en el análisis de los ciclos de desarrollo gametogénico, fecundidad y fertilidad de los corales (Szmant *et al.* 1980; Peters y Chornesky 1987; Fan y Dai 1998; Kruger y Schleyer 1998; Shlesinger *et al.* 1998; Lam 2000; Goffredo *et al.* 2002; Barros *et al.* 2003; Waller *et*

al. 2005; Goffredo *et al.* 2006; Vargas-Ángel *et al.* 2006; Chávez-Romo y Reyes-Bonilla 2007).

S. bournonii es un miembro de la familia Faviidae cuya historia de vida y biología reproductiva ha sido poco estudiada a diferencia de otras especies miembros de esta misma familia cuyos procesos reproductivos han sido ampliamente evaluada en el Caribe. Los integrantes de la familia Faviidae, son en su mayoría hermafroditas, con desarrollo simultáneo de gametos tanto femeninos como masculinos entremezclados dentro de un mismo mesenterio (Harrison 1985; Harrison y Wallace 1990), sin embargo el inicio de la oogénesis precede en unos meses el de la espermatogénesis (Kojis y Quinn 1982).

A pesar de tener estas similitudes en el modo de reproducción, existen variaciones entre las especies de la familia Faviidae relacionadas con las características propias del hábitat donde se encuentran, tal como ocurre con *Goniastrea aspera*, la cual en las Islas Palau expulsa una larva plánula al medio (fertilización interna) mientras en la Gran Barrera arrecifal de Australia es un organismo desovador hermafrodita con un ciclo único anual a diferencia de los dos picos reproductivos que experimenta la especie en el Japón (Sakai 1997). Adicionalmente el periodo de desove masivo presentado en especies de esta familia habitantes del trópico es mucho más corto que el presentado por las especies de aguas templadas (Kojis y Quinn 1982).

M. annularis y *M. cavernosa* (Faviidae), son dos de las especies escleractínias con mayor importancia ecológica en los arrecifes del Caribe y cuyas características reproductivas han sido ampliamente estudiadas en los últimos años. El tamaño de sus colonias, su abundancia y su amplio rango de distribución, hacen de estas especies miembros importantes de las comunidades coralinas del Caribe. Respecto a sus ciclos reproductivos según estudio realizado por Szmant (1991) en la región de Puerto Rico en el Caribe colombiano, se sabe que *M. annularis* es hermafrodita con desarrollo de gametos entremezclados entre los mesenterios, mientras *M. cavernosa* presenta un tipo de reproducción gonocórico (Acosta y Zea 1997), de la misma



manera que *M. annularis*, la oogénesis inicia tempranamente y requiere un tiempo más largo para llegar al último estado de maduración.

El patrón reproductivo hermafrodita predominante en la familia Faviidae también se evidencia en otra especie que ha sido estudiada en el Caribe colombiano, *Diploria labyrinthiformis* (Alvarado *et al.* 2004b). Esta especie a diferencia de las mencionadas con anterioridad presenta un desove anual hacia el mes de junio, con una oogénesis que inicia en agosto y termina hacia finales de mayo, mientras la espermatogénesis es mucho más corta reportándose la presencia de gametos masculinos sólo en el mes de mayo. Información adicional respecto a la reproducción sexual de esta especie y otras más, tales como los procesos gametogénicos incluyendo los valores promedios de los tamaños de los productos sexuales, así como la descripción de cada uno de los estadios de desarrollo se encuentra disponible (Szmant 1986; Szmant 1991; Acosta y Zea 1997, Alvarado *et al.* 2004b; Alvarado 2008).

Actualmente, los estudios de reproducción de *S. bournonii* son pocos tanto en la región de Santa Marta como en otras zonas del Caribe, por lo cual la información disponible al respecto es casi nula. Esta especie fue reportada como hermafrodita simultánea con un arreglo gonadal digónico, cuyo desarrollo se supone es de tipo externo, debido a que durante el estudio histológico de muestras de diferentes colonias recolectadas en la región de Santa Marta (Bahía de Gaira, Ensenada de Granate, Punta Aguja y Bahía de Santa Marta) en el año 2006 por Perilla y Santacruz (2007), no se encontraron embriones o plánulas dentro de los pólipos examinados.

En la actualidad *S. bournonii*, se encuentra en el Apéndice II del listado CITES, lo cual la ubica dentro del grupo de especies que a pesar de no estar en peligro de extinción, deben ser controladas desde el punto de vista de su comercialización, para evitar que su sobrevivencia se vea afectada de alguna manera (Reyes y Santodomingo 2002).



3. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

Debido al poco conocimiento e información sobre la biología e historia de vida de *S. bournonii*, se caracteriza la reproducción sexual en el sector de Bahía de Gaira, en el periodo comprendido entre mayo a noviembre de 2006.



4. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Comprobar si el tipo y patrón de reproducción de *S. bournonii*, es hermafrodita desovador, características de la mayoría de los miembros de la familia Faviidae.
- Caracterizar el ciclo gametogénico de la especie a partir de los atributos microscópicos observados en los productos sexuales.
- Describir la condición reproductiva de *S. bournonii*, en términos del periodo reproductivo, fertilidad y fecundidad.
- Evaluar si la posición de los pólipos dentro de la colonia tiene alguna incidencia sobre la fertilidad de los mismos.



5. HIPÓTESIS

- El tipo de reproducción de la familia Faviidae se conserva en las especies miembros de ésta, por lo tanto *S. bournonii* es una especie hermafrodita con gametos masculinos y femeninos entremezclados a lo largo de un mismo mesenterio
- *S. bournonii* presenta reproducción sexual con patrón de reproducción típico de un coral desovador.
- El ciclo espermatogénico de *S. bournonii* es más corto y tardío respecto al desarrollo de los oocitos
- La fertilidad de los pólipos en *S. bournonii* depende de la posición que ocupan éstos dentro de la colonia, siendo mayor en las zonas apicales que laterales de ésta.



6. METODOLOGÍA

6.1 Área de estudio

6.1.1 Generalidades

El presente estudio se realizó en la Bahía de Gaira, Caribe colombiano. Esta zona se localiza entre los $11^{\circ} 10' 44''$ y $11^{\circ} 13' 24''$ N y $74^{\circ} 14' 42''$ y $74^{\circ} 14' 43''$ W y se encuentra aproximadamente a 6 km al suroeste de la ciudad de Santa Marta, capital del Departamento del Magdalena, al norte de Colombia (Figura 4; Mertins 1972). La Bahía está delimitada al sur por la formación geográfica conocida como Punta Gloria, al norte por el Cerro San Fernando, al este colinda con la carretera Ciénaga- Barranquilla y hacia el oeste con el Mar Caribe (Mertins 1972). Debido a la penetración en el mar de las estribaciones de la Sierra Nevada de Santa Marta, la extensión costera de esta Bahía alcanza los 10,94 km, mientras su extensión lineal desde Punta Gloria hasta Punta Gaira al norte es de tan sólo 4,92 km (Franco 2005).

Esta región se encuentra influenciada por los afluentes del Río Gaira y el Río Magdalena, así como por la desembocadura de la Ciénaga Grande de Santa Marta. Por parte del Río Gaira se descargan directamente sobre la Bahía las aguas contaminadas con desechos domésticos, agrícolas e industriales, provenientes del asentamiento urbano cercano (Franco 2005).

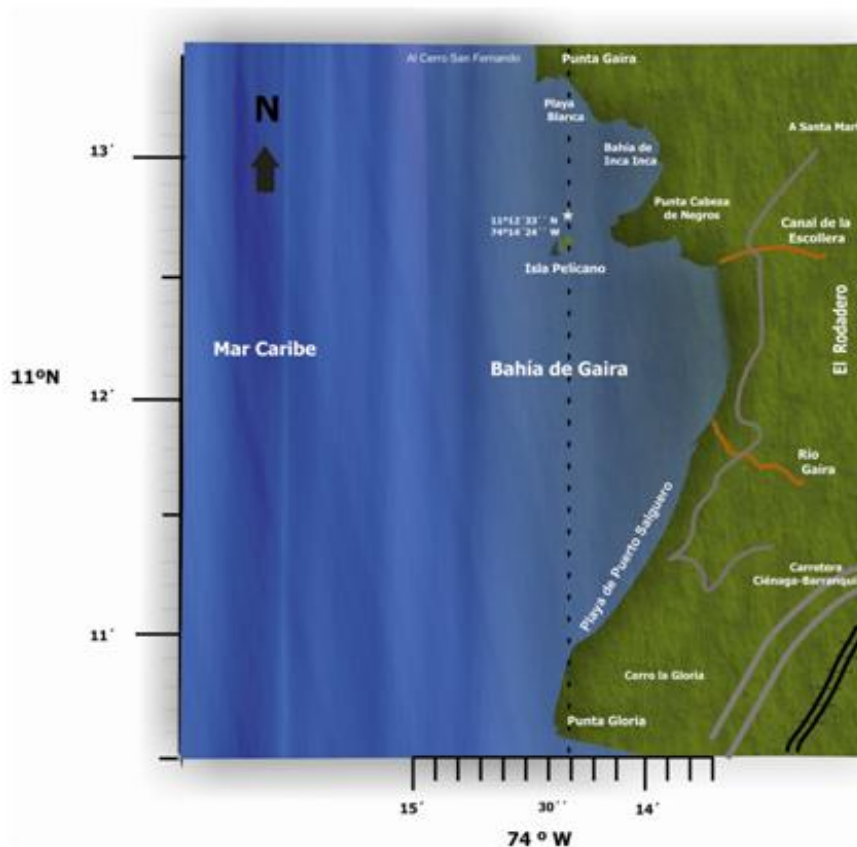


Figura 4. Representación del área de muestreo de la Bahía de Gaira. Modificado de Plancha COL 244, Centro de Investigaciones Hidrográficas y Oceanográficas Agustín Codazzi- CIOH. Escala 1: 25.000.

La del río Gaira, es la única descarga directa de aguas continentales presentadas hacia la parte sur de la Bahía, donde se encuentra su desembocadura (Ramírez 1990; Franco 2005; Gómez y Rico 2006). En la zona norte de esta Bahía, el denominado canal de la Escollera vierte las aguas domésticas del Rodadero así como las utilizadas en la limpieza de las calles del sector o las arrastradas durante la época de lluvias (Franco 2005).

Respecto a las formaciones coralinas presentes en la zona, la más grande se localiza en el sector conocido como Playa Blanca, con una extensión aproximada de 200 m y una dominancia de las especies escleractínias *Colpophyllia natans* y *M. cavernosa*, las cuales se asientan sobre el sustrato arenoso predominante en el sector. En el



área del Morro de Gaira o Isla Pelicano, predomina el crecimiento costroso de varias especies coralinas sobre la roca metamórfica presente sin embargo, el 30% de la cobertura coralina viva asentada entre los 10 y 12 m de profundidad, se presenta sobre sustrato arenoso y está constituida por colonias aisladas de *C. natans*, *Siderastrea siderea* y *M. cavernosa*, principalmente, aunque además se puede encontrar colonias pequeñas de *Dichocoenia stokesi*, *D. strigosa*, *Eusmilia fastigiata* y *Meandrina meandrites* (López y Rendón 1998).

6.1.2 Clima

El clima de la zona costera del Caribe, está influenciado de manera determinante por el desplazamiento de la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT), de tal forma que si ésta se encuentra hacia el sur, los vientos Alisios provenientes del noreste del Caribe permanecen en la región de manera fuerte y constante. Por otro lado cuando la ZCIT se desplaza hacia el norte, se presentan vientos débiles con dirección variable (Donoso 1990).

La región costera de Santa Marta presenta condiciones de clima predominantemente seco con características entre semi-desértico y desértico (Hermann 1970 En: Ramírez 1990), estando influenciada por los regímenes climáticos que se presentan en la región del Caribe colombiano y en las costas del departamento del Magdalena. Estos regímenes se encuentran enmarcados en dos épocas climáticas principales, la primera caracterizada por la disminución en las precipitaciones y la segunda por el aumento en las mismas (Franco 2005).

La época seca mayor, comprendida entre diciembre y marzo, está acompañada por la entrada de los vientos Alisios los cuales durante este periodo alcanzan la mayor intensidad, con velocidades que registran hasta 12 m/s con una media de 6 m/s. Hacia los meses de marzo y junio, cuando la región se encuentra en la época conocida como lluviosa menor, se presenta una disminución en la intensidad de los vientos que son reemplazados por los provenientes del suroeste, los cuales en

algunas ocasiones se encuentran acompañados por precipitaciones leves (Andrade 1993; Garzón-Ferreira 1998; Mejía-Niño 2001; IDEAM 1996 En: Franco 2005).

En la mitad del año durante los meses de julio y agosto, en la zona se presenta el periodo conocido como “veranillo de San Juan”, en el que ocurre un leve incremento en la intensidad de los vientos, la cual experimenta nuevamente una marcada caída (hasta velocidades de 1,5 m/s) durante los meses de octubre y noviembre, periodo en el que inicia la época conocida como lluviosa mayor, cuando adicionalmente se da un considerable aumento en las precipitaciones con valores que alcanzan 121 y 523 mm, 52 % del total anual en los valores de lluvia (Andrade 1993; Garzón-Ferreira 1998; Mejía-Niño 2001; IDEAM 1996 En: Franco 2005). La influencia de los vientos en la región determina que en ésta Bahía se presenten prácticamente durante todo el año, aguas tranquilas y poco movidas (Mertins 1972).

Los vientos presentados en la Bahía, especialmente aquellos que corren tanto paralelos como perpendiculares a la línea de costa durante la época seca, traen como consecuencia el afloramiento de las aguas profundas tanto de la Bahía como mar afuera de la costa, en un evento conocido como surgencia (Franco 2005). Los eventos de surgencia en la primera mitad de año, aportan vastas cantidades de nutrientes y materia orgánica a las capas superficiales, mediante el transporte por flujo vertical de las aguas, fertilizando de esta manera a través de la columna de agua, favoreciendo a su vez el desarrollo de las comunidades biológicas (Franco 2005).

Las costas de la región de Santa Marta están influenciadas principalmente por dos macrocorrientes. La primera de ellas conocida como la corriente del Caribe, generada por los vientos Alisios predominantes durante la época seca mayor y originada por la unión en el Caribe oriental de la corriente de Guayanas y la corriente Norecuatorial. Su recorrido incluye las costas de países vecinos como Venezuela así como la Alta Guajira, hasta llegar al Golfo de México tras atravesar el



mar Caribe (Franco 2005) creando a su paso un importante área de influencia que alcanza el Golfo de Morrosquillo (Melo 2006).

La segunda corriente que ejerce influencia sobre la región, es la contracorriente de Panamá-Colombia, predominante durante la época lluviosa y proveniente del suroeste de la cuenca del Caribe (entre la zona sur de la plataforma continental de Nicaragua y el Golfo de Urabá). Recorre grandes extensiones a lo largo de las costas colombianas hasta La Guajira donde sus aguas se desvían y son arrastradas por la corriente Central del mar Caribe (Donoso 1990; Franco 2005; Melo 2006).

Hacia la parte norte, una corriente principal costera de carácter superficial penetra en dirección sur de la Bahía de Gaira, la cual debido al efecto de borde que ejerce Punta Gloria, experimenta un giro contrario a las manecillas del reloj, produciéndose un desplazamiento de las aguas hacia mar adentro. En este mismo lugar, se produce una bifurcación de la corriente en dos direcciones, la primera de ellas hacia el sureste de la Bahía en dirección de Inca-Inca y la segunda en dirección sur hacia el Morro de Gaira. Tanto las corrientes superficiales como las macrocorrientes mencionadas con anterioridad, se rigen por el patrón de vientos dominante en cada época del año (Franco 2005; Melo 2006).

Como consecuencia del evento oceanográfico de surgencia y asociado a la época climática en la primera mitad del año, se presentan cambios apreciables en las variables fisicoquímicas del agua, incrementando la salinidad de la misma hasta el máximo valor esperado durante el año (38 UPS) y disminuyendo la temperatura desde los 29 °C hasta aproximadamente 21 °C. A partir del mes de octubre, durante la época lluviosa menor, los valores de salinidad disminuyen hasta 35 UPS mientras la temperatura de la columna de agua (0-42 m) aumenta hasta el máximo reportado anteriormente (Franco 2005). El comportamiento de la temperatura superficial del mar en la región del Mar Caribe colombiano (basado en el promedio multianual de 1998-2002) desde mayo a noviembre (Melo 2006), se muestra en la Figura 5.



En el año 2005 en la región del Caribe se presentó un Evento Niño, por el cual se reportaron temperaturas superiores al promedio de los últimos 30 años, ocasionando blanqueamiento en los corales de la región. En Colombia la proporción de corales afectados fue superior a la registrada tras el evento similar de 1998 (Wilkinson y Souter 2008). Adicionalmente en el segundo semestre del año 2006, las condiciones oceanográficas en el Caribe colombiano presentaron características atípicas. En el mes de septiembre cuando se esperaban las mayores precipitaciones propias de época lluviosa mayor, el nivel de estas disminuyó notablemente presentándose tan solo algunas lluvias de baja intensidad y corta duración, ocasionando que las temperaturas de las aguas se incrementarán en 1,5 °C. Contrario a esto en el mes de octubre las precipitaciones superaron lo esperado para la época, trayendo consigo mayor nubosidad y disminuyendo la temperatura hasta finales del mes. Las condiciones meteorológicas mencionadas, se encuentran relacionadas con el fenómeno de El Niño atípico que se presentó en la región del Caribe colombiano en este año (CPMO 2006a y b).

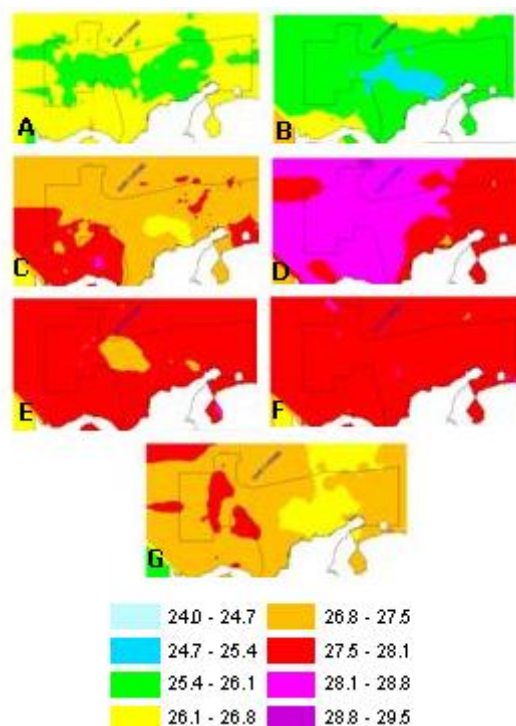


Figura 5. Distribución espacial de la temperatura superficial del mar (TSM) media mensual multianual (1998-2002) para las áreas marítimas de la zona Norte de Colombia. **A.** mayo, **B.** junio, **C.** julio, **D.** agosto, **E.** septiembre, **F.** octubre, **G.** noviembre. Modificado de Melo (2006).

En la Bahía de Gaira, la incidencia de la luz se encuentra regulada también por las épocas climáticas descritas anteriormente. Barragán (2005), encontró para los años 2004 y 2005, valores del coeficiente de extinción de la luz (k), que oscilan entre 0,16 y 0,48 m^{-1} de acuerdo a la época climática presentada en la región. Estos valores indican que la máxima profundidad dentro de la zona eufótica que alcanza el 1% de la radiación solar incidente en la superficie del agua, en promedio es de 21 m para la época seca (máxima 46 m) y 12 m para la época de lluvias (Franco 2005).

Las diferencias en los valores k a lo largo del año, dependiendo de la época climática presentada, se deben principalmente a las partículas que se encuentran suspendidas en la columna de agua afectando la turbidez de la misma. Tal es el caso presentado durante el periodo lluvioso mayor, en el cual el aporte de aguas continentales

provenientes de los afluentes cercanos a la región incrementa la turbidez del agua actuando de manera sinérgica con la nubosidad ocasionada por la época, reduciendo finalmente la penetración lumínica dentro de la columna. Por el contrario durante el periodo climático seco, en la primera mitad del año se presenta nubosidad prácticamente nula, acompañada por una disminución en las aguas del material particulado de origen continental, generando una penetración lumínica mayor y por ende valores de coeficiente de extinción de la luz más bajos (Franco 2005).

6.2 Fase de Campo

Los procesos de recolección, fijación, preservación en alcohol y almacenamiento de las muestras de *S. bournonii* fueron efectuados por un grupo de estudiantes y profesionales del Programa de Biología Marina de la Universidad Jorge Tadeo Lozano Sede Santa Marta. La histología fue elaborada por personal capacitado y a partir de este material la autora del presente trabajo, realizó el estudio reproductivo de la especie.

6.2.1 Elección de los días y sitios de muestreo

Con el fin de abarcar en lo posible el periodo reproductivo de la especie en estudio, el grupo de estudiantes y profesionales realizaron muestreos mensuales en el tiempo comprendido entre mayo y noviembre del 2006, en el área de Bahía de Gaira, Santa Marta, Caribe colombiano. Debido a que esta zona se encuentra sometida constantemente a las actividades humanas tales como turismo, pesca, comercio, actividades deportivas entre otras, ocasionando disturbios permanentes sobre las comunidades biológicas tales como las formaciones coralinas, el estudio del proceso reproductivo de *S. bournonii* en ésta zona es importante para determinar el estado de su población.

Los días de muestreo los eligieron teniendo en cuenta el ciclo lunar, el cual ejerce influencia sobre el desove de las especies coralinas en el Caribe y en el mundo

(Fadlallah 1983; van Veghel 1994; Acosta y Zea 1997; Sánchez *et al.* 1999), realizándose ocho días antes y cuatro días después de la luna llena.

6.2.2 Recolección de muestras

Durante el tiempo de muestreo (mayo-noviembre) se realizaron siete salidas de campo en las cuales se recolectaron fragmentos correspondientes a 14 colonias. Mensualmente mediante buceo autónomo *Scuba*, el grupo escogió dos colonias de la población, localizadas a una profundidad comprendida entre los 7 y 10 m. La extracción de las muestras, la realizaron mediante la utilización de un mazo y un corazonador de acero con un diámetro de 2,5 cm y una altura de 1 cm (Figura 6). Por cada colonia seleccionada tomaron dos muestras, correspondientes a la parte lateral y apical de la misma, con el fin de determinar las diferencias existentes en términos de fertilidad respecto a la ubicación de los pólipos estudiados.

Las muestras obtenidas las almacenaron en bolsas plásticas con agua de mar, las cuales estaban previamente rotuladas con información de la colonia y del muestreo correspondiente. Una vez en superficie, las muestras se transfirieron a la solución fijadora elegida para tal fin, en este caso solución fijadora de Helly (Anexo A).

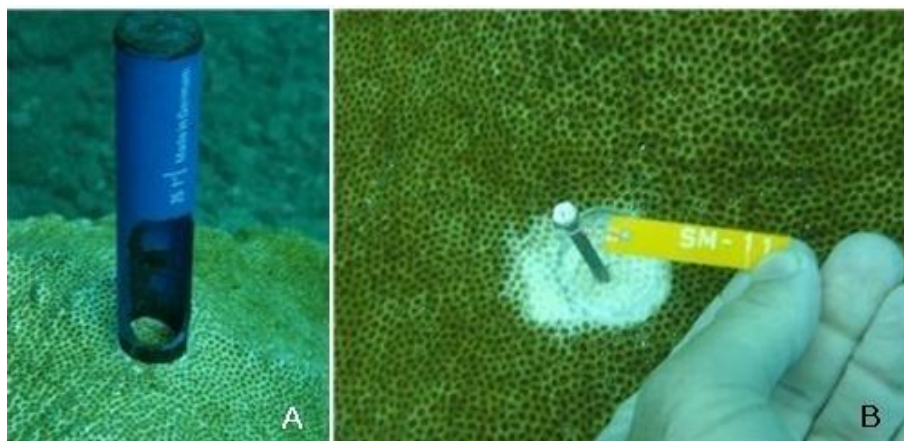


Figura 6. A. Extracción de las muestras de *S. bournonii* mediante un corazonador. **B.** Marcaje utilizado en las colonias muestreadas. Fotografías de Sanjuan-Muñoz 2006.



Para evitar el muestreo repetido las colonias muestreadas se encontraban al menos a una distancia aproximada de 2 m una de otra, adicionalmente cada colonia la identificaron mediante una cinta rótex marcada con un número e incrustada en el esqueleto coralino con una puntilla de acero inoxidable. Este marcaje lo realizaron sobre alguna zona de tejido muerto, en el mismo lugar de donde se extrajo la muestra o en regiones cercanas a la colonia, con el fin de reducir al máximo la perturbación ejercida sobre los corales (Figura 6). Adicionalmente, se determinó la talla de las colonias (altura y diámetro máximo), así como el estado de salud de cada una y se caracterizó el sustrato sobre el cual se asentaban.

6.3 Fase de laboratorio

6.3.1 Decalcificación de las muestras

Una vez cumplido el tiempo requerido para la fijación de los tejidos (16 h), cada muestra la lavaron con agua corriente a flujo constante por 24 h, siguiendo procedimientos propuestos por Peters (1984), para el tratamiento de muestras biológicas. Una vez realizado el lavado de los fragmentos, éstos fueron almacenados en alcohol al 70% para preservarlos hasta el inicio de la decalcificación.

Con las muestras fijas del tejido entregadas al autor de este trabajo y siguiendo el procedimiento realizado por Perilla y Santacruz (2007), se sometieron al tratamiento de decalcificación. Este incluía la inmersión completa de los fragmentos en una solución de ácido nítrico al 4%, realizando recambios del mismo cada 4 horas hasta comprobar la ausencia de carbonato de calcio en los tejidos, evidenciado al observar flotar los pólipos en la superficie, además de presentarse un tejido suave al contacto con agujas de disección utilizadas para este fin. Adicionalmente para comprobar la ausencia del carbonato de calcio en las muestras, se utilizó oxalato de sodio al 5% (Anexo B), tras lo cual los pólipos se sometieron nuevamente a lavado constante



durante un periodo de 24 h, para conseguir que se eliminara de los tejidos el exceso de la solución utilizada.

A continuación, las muestras se colocaron en una solución de sulfato de sodio al 5% por 24 h, con el fin de neutralizar el ácido que recibieron. Posteriormente, se lavaron nuevamente bajo un flujo constante de agua corriente por otras 24 h, para finalmente ser almacenadas en recipientes con alcohol al 70%, hasta el inicio del proceso histológico.

Con el fin de determinar el número de pólipos presentes por cm^2 necesarios para conocer el esfuerzo reproductivo de la especie, las muestras previamente decalcificadas se ubicaron en una caja de *petri* sobre la cual se dibujó la silueta, así como los puntos que representan los pólipos de las mismas. Finalmente, con ayuda de una hoja de papel milimetrado se calculó el número de pólipos en el área deseada (Figura 7).

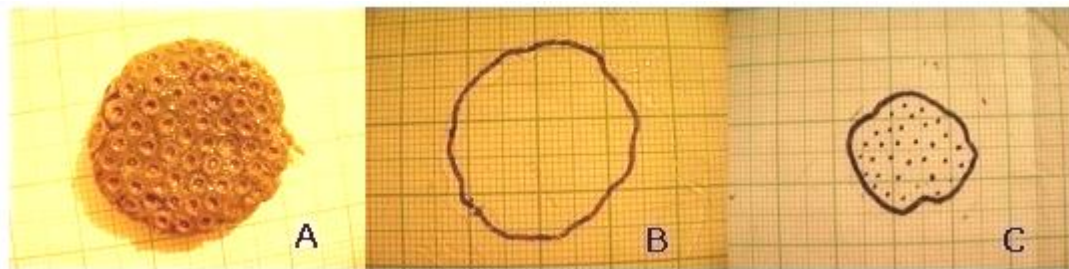


Figura 7. Determinación del número de pólipos presentes por cm^2 . **A.** Muestra de tejido decalcificado sobre una caja de *petri*. **B.** Silueta de muestra sobre el papel milimetrado. **C.** representación de los pólipos presentes en el tejido decalcificado.

6.3.2 Proceso histológico

Las muestras de tejido decalcificado se entregaron al personal encargado para la realización del proceso histológico. Para esto inicialmente se deshidrataron los tejidos obtenidos para iniciar la elaboración de las placas histológicas. Este proceso



comenzó con la inclusión de los fragmentos ya decalcificados de coral dentro de una serie de alcoholes (etanol) de diferentes concentraciones durante un tiempo determinado: al 70% (20 min), 80% (20 min), 90% (20 min), 95% (30 min), 95%(40 min), 100%(60 min), xileno (30 min), xilenoparafina 1:1 (60 min), parafina pura (60 min a 58° C) y parafina (60 min a 58° C).

Una vez realizada la inclusión de los fragmentos en parafina, con la ayuda de placas de Leucar (refrigeradas previamente), se elaboraron cubos de regular tamaño de los que posteriormente con ayuda de un micrótopo de corte MICROTEC 4050, se obtuvieron cortes finos (7 μ m) y seriados del tejido tanto transversales como longitudinales, de los cuales se seleccionaron dos para realizar el montaje de los mismos sobre láminas de vidrio previamente tratadas con albúmina.

Seguido de esto, se inició el proceso de tinción de los tejidos la cual se hizo mediante la técnica de hematoxilina-eosina (Anexo C). Para esto, los primero que se realizó fue la desparafinación de lo tejidos por medio de la inclusión de los mismos en xileno. Posteriormente se hidrataron las muestras incluyéndolas en la marcha de alcoholes utilizadas para la deshidratación de los tejidos pero en orden inverso a ésta, finalizando el proceso con un lavado de las placas en agua destilada. A continuación las placas se sumergieron en un contenedor de solución de hematoxilina por 2 min y se lavaron con abundante agua destilada, antes de ser sumergidas en alcohol ácido por aproximadamente 30 s. Previo a la coloración con la solución de eosina por 60 s, las muestras se lavaron nuevamente con abundante agua destilada. Por último los tejidos en las placas debieron ser nuevamente deshidratadas en la serie de alcoholes y xileno (García del Moral 1993), para ser cubiertas con un cubreobjetos con ayuda de entellán como líquido de montaje.

6.3.3 Observación de las placas histológicas

El número total de placas histológicas recibidas fue de 112, cuatro placas realizadas por muestra (n=14). De éstas dos presentaban cortes longitudinales y dos



presentaban transversales. Las primeras se utilizaron para determinar las tallas de los gametos y las segundas para obtener los valores de fecundidad de las colonias.

A pesar de haberse solicitado la elaboración de placas con cortes no consecutivos del tejido, se obtuvieron cortes continuos del mismo y por lo tanto pocas diferencias se presentaron entre ellas. No obstante, se escogió la placa en la que los tejidos se observaran más claramente y en mejor estado, revisando todos los pólipos presentes por colonia.

Las placas fueron observadas en un microscopio óptico Celestron 44108 de cuatro objetivos bajo los aumentos 100X (10 *10) y 400X (10*40), para la medición y conteo de los gametos sexuales, y aumento, mediante el objetivo de inmersión de 1000X (10*100) para la observación detallada de algunas estructuras presentes en los mesenterios. Las fotografías se tomaron con una cámara digital Sony Cyber-Shot DSC S650.

Las mediciones de los gametos se realizaron con ayuda de un micrómetro Warszawa PZ0, previa calibración de su escala en los objetivos utilizados (Anexo D). En cada una de las placas estudiadas se observaron los pólipos presentes, sus mesenterios, evaluando la presencia de gametos, así como sus características morfológicas y merísticas. Dentro de cada pólipo se contaron el número de mesenterios presentes, el número de gónadas, huevos y/o cistos espermáticos por mesenterio.

6.4 Fase de gabinete

Una vez obtenidos los datos mencionados en la fase de laboratorio se realizó un análisis exploratorio de los mismos mediante el cálculo de medidas de tendencia central (media aritmética) y de variabilidad (desviación estándar). Se obtuvo un promedio del número de pólipos por colonia, el número de mesenterios por pólipo y el número de gametos por mesenterio.



Debido a diferencias encontradas en el tipo de reproducción sexual de dos de las colonias muestreadas y de acuerdo a los resultados de una estudiante de doctorado de la Nova Southeastern University quien actualmente está trabajando en la reproducción de *S. bournonii*, las placas correspondientes a éstas se midieron y compararon con una de las colonias gonocóricas (Figura 8).

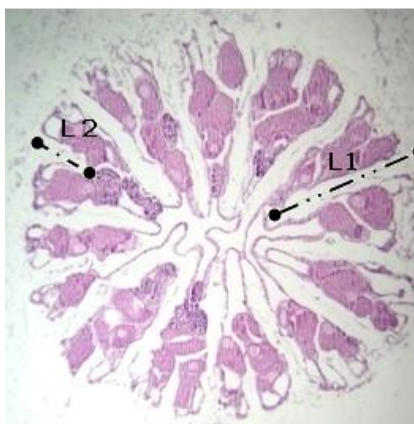


Figura 8. Mediciones realizadas dentro del pólipos de las colonias comparadas. **L1.** Longitud de la separación principal entre los mesenterios (espacio dejado por la septa primaria tras la decalcificación). **L2.** Longitud de la separación secundaria entre los mesenterios (espacio dejado por la septa secundaria tras la decalcificación).

La relación calculada entre la extensión de las septas de las colonias mencionadas, fue comparada mediante una prueba Mann Whitney (Wilcoxon), con la colonia gonocórica. Además de encontrarse diferencias al respecto ($U = 122,0$; p valor = $0,0018$ primera colonia, $U = 79,0$; p valor = $0,0304$ segunda colonia), las colonias difieren en la morfología externa de los pólipos y la presencia de la columnela, por lo tanto no fueron incluidas dentro de este estudio.

6.4.1 Descripción gamética

El ciclo gametogénico de la especie no fue determinado debido a errores presentados en la fijación de las muestras, lo cual dañó el tejido impidiendo la



caracterización de los estados de desarrollo de los gametos. Sin embargo se obtuvo el tamaño de los gametos femeninos mediante un promedio entre el diámetro mayor y menor de cada oocito, siguiendo sugerencia dada por Peters (2008, com. pers.).

Debido a que la forma que presentaron los gametos no es completamente esférica sino cercana a la elipsoidal, el volumen de éstos se calculó mediante la fórmula propuesta por Hall y Hughes (1996) y Goffredo *et al.* (2002), enunciada a continuación.

$$V_0 = \frac{4}{3} \pi * \frac{D}{2} * \frac{d^2}{2}$$

Para determinar las diferencias de talla y volumen a través del tiempo, se realizaron pruebas estadísticas como ANOVA y Kruskal Wallis respectivamente, dependiendo si los datos cumplían o no con los supuestos de la estadística paramétrica. Para esto se determinaron previamente la normalidad (prueba de Shapiro Wilks) y homogeneidad de varianzas (prueba de Bartlett). Posteriormente se realizaron pruebas de múltiples comparaciones para determinar entre cuáles meses se presentaron las diferencias, (prueba de Tukey y de Dunn, para resultados obtenidos por ANOVA y Kruskal Wallis, respectivamente (Zar 1999)).

Respecto a los gametos masculinos se realizó una caracterización básica del estado de maduración basada en la presencia/ausencia de colas dentro de los espermaries. Se determinaron las diferencias en las tallas medias de los gametos maduros e inmaduros mediante la prueba no paramétrica de Mann Whitney (Wilcoxon).

6.4.2 Fecundidad y fertilidad

La fecundidad de las colonias se calculó mediante la obtención del número de oocitos / cm². Para esto se determinó el número de gametos presentes por gónada en sección transversal y el número promedio de éstas por pólipo. Únicamente se



tuvieron en cuenta los pólipos en los cuales se pudieron realizar las mediciones de gametos y no sobre la totalidad de fértiles (presencia de tejido reproductivo).

Para establecer si existen diferencias en la proporción de pólipos fértiles / infértiles sexualmente a través del tiempo, así como entre fecundidad de las colonias y la posición de los pólipos (laterales y centrales) en éstas, se realizó una correlación por rango de Spearman y una tabla de contingencia (2x2), respectivamente (Zar 1999).



7. RESULTADOS

7.1 Morfología interna

En los pólipos de *S. bournonii* se observaron 24 mesenterios en total, 12 primarios y 12 secundarios. Estos mesenterios se presentan a manera de pliegue y algunos se extienden desde la parte aboral hacia la oral donde se observa de manera clara el disco oral de los pólipos (Figura 9).

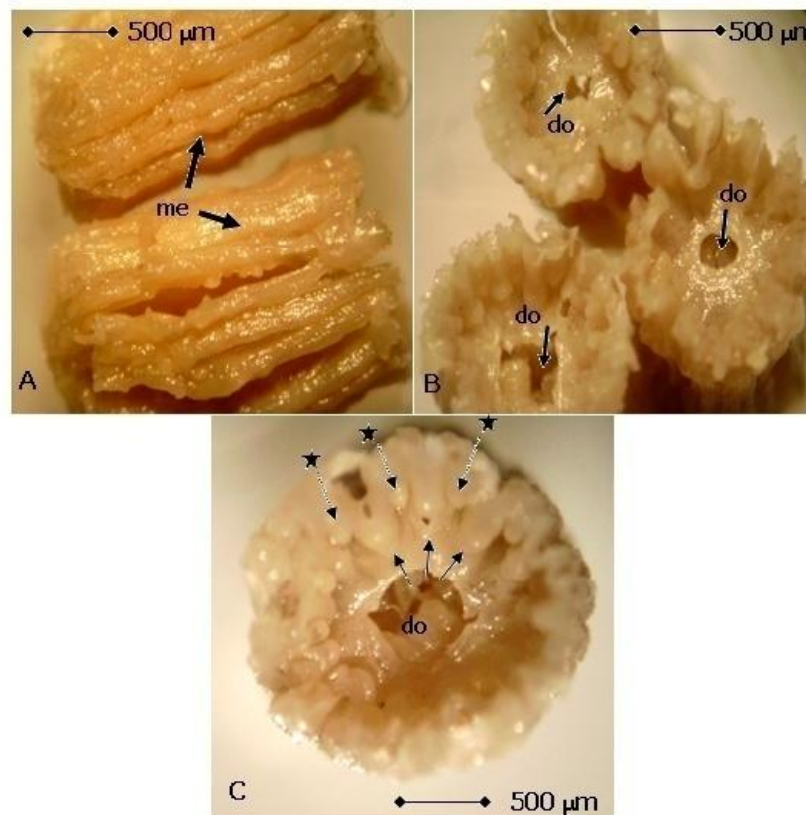


Figura 9. Vista estereoscópica de pólipos decalcificados de *S. bournonii*. **A.** Se observan los mesenterios (**me**) a lo largo de los pólipos **B.** acercamiento al disco oral (**do**). **C.** Vista transversal donde se indican los mesenterios primarios (**flechas**) que alcanzan el celenterón y los mesenterios secundarios (**flechas y estrellas**) más cortos que los primeros (25x).



7.2 Condición reproductiva

Cerca del 59% de las colonias observadas ($n = 7$) presentaron gónadas en su interior, en las restantes ($n = 5$) no se encontró tejido reproductivo. Entre el 12,5 y el 100% de los pólipos examinados por colonia reproductiva contenían gametos ($n = 71$ pólipos, cortes longitudinales).

La actividad reproductiva de *S. bournonii* se evidenció desde julio (tercer mes de muestreo), cuando se observaron los primeros oocitos en las preparaciones histológicas hasta noviembre (último mes de muestreo). Los gametos masculinos se observaron únicamente en el mes de octubre. Tanto oocitos como espermaries se encontraron en la cavidad gástrica y en algunas ocasiones fueron observados hacia la parte oral de los pólipos, en los cortes longitudinales. En ninguna de las placas observadas se encontraron plánulas o embriones dentro de los pólipos.

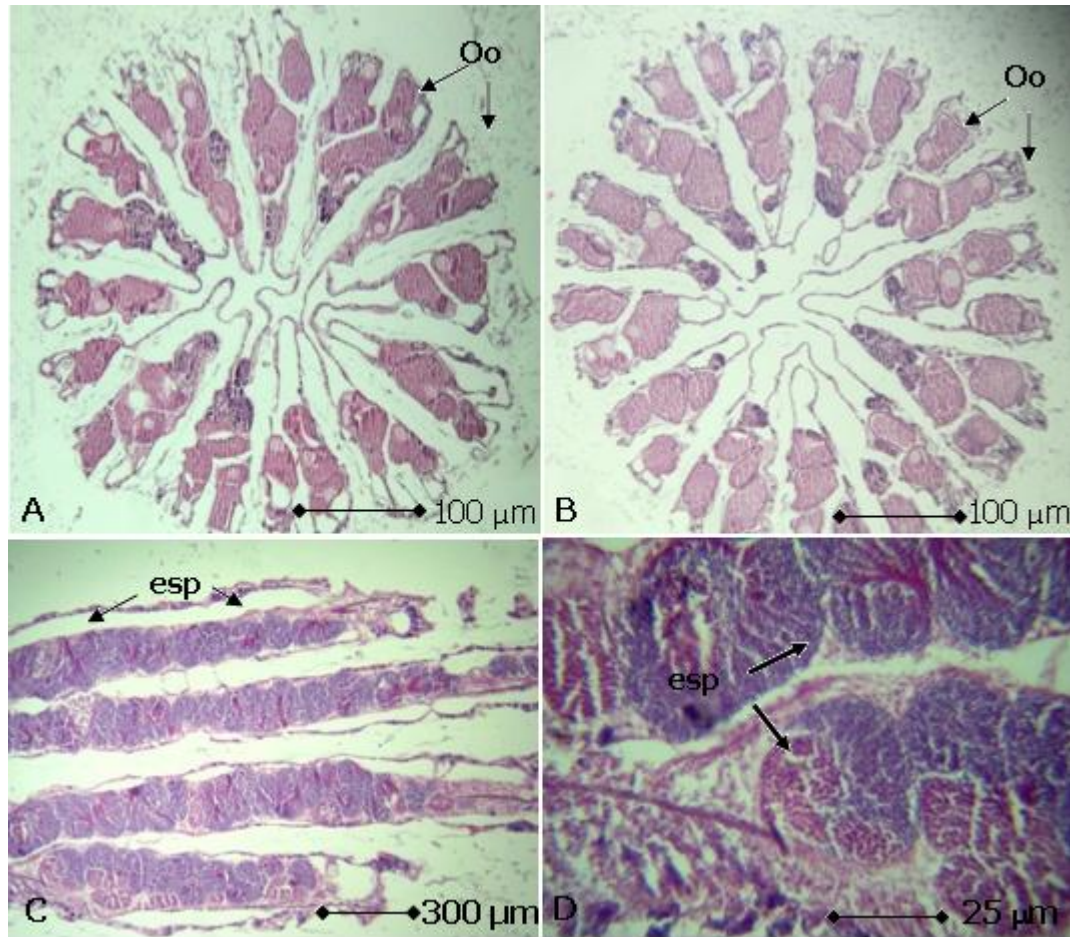


Figura 10. Pólipos y mesenterios de *S. bournonii*. **A.** Vista en sección transversal de pólipo femenino perteneciente a la parte lateral de la colonia No. 8 (4x). **B.** Vista en sección transversal de pólipo femenino perteneciente a la parte apical de la colonia No. 8 (4x) **C.** Vista en sección longitudinal de pólipo masculino perteneciente a la parte apical de la colonia No. 11 (10x) **D.** Acercamiento al mesenterio de pólipo masculino (colonia 11) donde se observan diferentes espermaries (40x). **Oo.** Oocito; **Esp.** Espermarie.

Los gametos se observaron de manera separada en los mesenterios, es decir a lo largo del filamento y dentro de los pólipos se presentaron gametos de un solo sexo (Figura 10), dándole a las 7 colonias reproductivas estudiadas carácter gonocórico (Tabla 1).



Tabla 1. Presencia ausencia de gametos femeninos y masculinos. A. ausencia de gametos; PF. presencia de gametos femeninos; PM. presencia de gametos masculinos.

Colonia #	Lateral	Apical	Mes de muestreo
1	A	A	Mayo
2	A	A	Mayo
3	A	A	Junio
4	A	A	Junio
5	A	A	Julio
6	A	PF	Julio
7	PF	PF	Agosto
8	PF	PF	Septiembre
9	PF	PF	Septiembre
10	PF	PF	Octubre
11	PM	PM	Octubre
12	PF	PF	Noviembre

Solamente se evidenció el desarrollo de una gónada por mesenterio del pólipo. La cantidad de gónadas femeninas por pólipo fue mayor en el mes de septiembre ($14,90 \pm 7,61$; $n= 28$ pólipos) cuando se observó incluso que la totalidad de los mesenterios se encontraban ocupados por gametos (Figura 11). La cantidad más baja por pólipo se presentó en el mes de agosto con un promedio de $3,83 \pm 2,59$ gónadas/pólipo ($n=5$ pólipos). Respecto a las gónadas masculinas, la cantidad promedio en el mes de octubre fue de $5,5 \pm 3,54$ gónadas/pólipo ($n= 2$ pólipos).

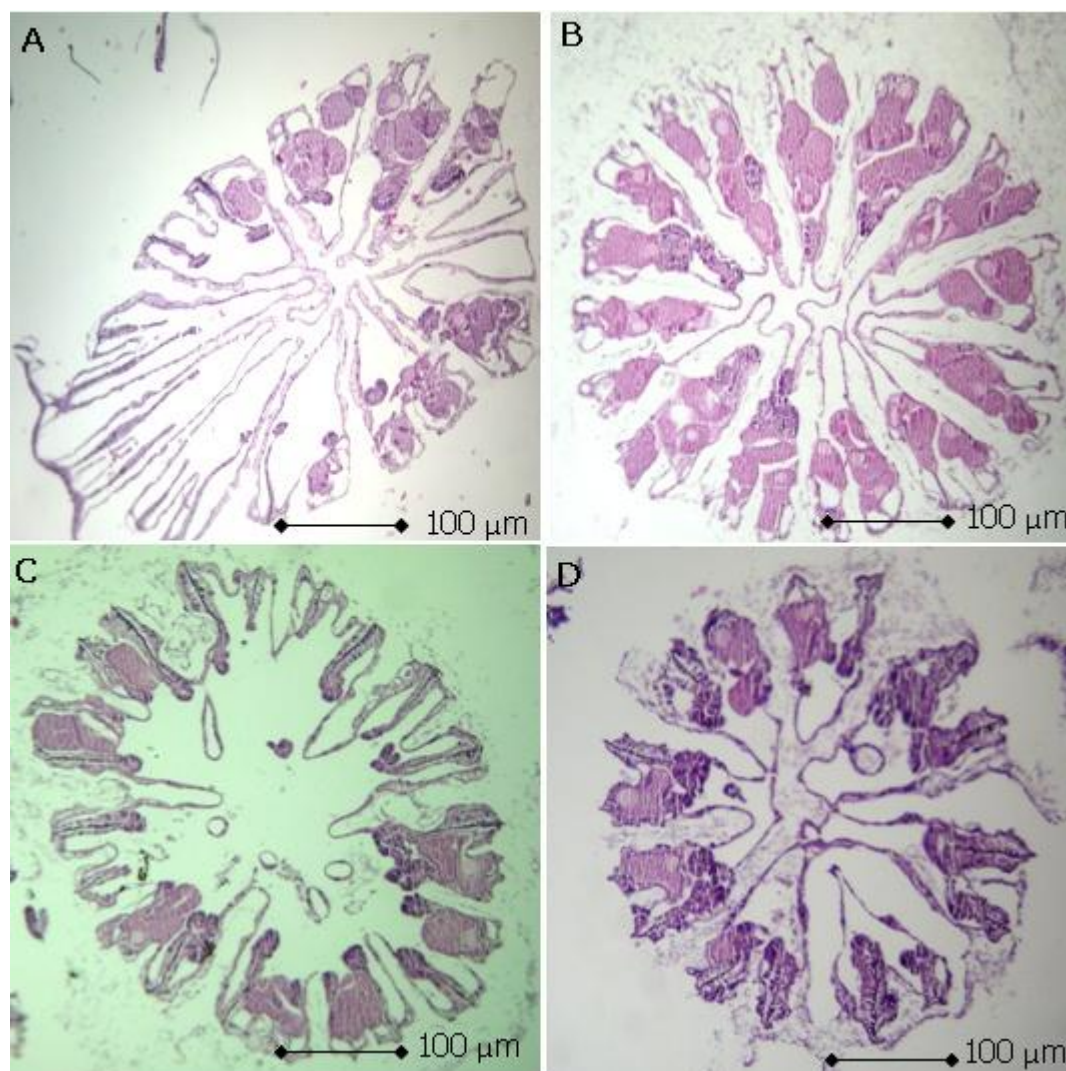


Figura 11. Pólipos femeninos de *S. bournonii* en sección transversal. Se observan los cambios en la ocupación de los mesenterios por gónadas a través del tiempo. **A.** Pólipo del mes de agosto donde aproximadamente la mitad de los mesenterios albergan gametos. **B.** Pólipo del mes de septiembre con todos lo mesenterios conteniendo gónadas. **C y D.** Pólipos de octubre y noviembre donde se evidencia nuevamente un menor número de gónadas (4x).

7.3 Descripción gamética

Los gametos se encontraron dispuestos a manera de hilera a lo largo del mesenterio, unidos entre sí por mesoglea, la cual se observa en algunos de los



cortes rodeando completamente el gameto (Figura 12). Alrededor de los gametos observados, se encontraron células glandulares granulares y secretoras de mucus, así como zooxantelas (Anexo E).

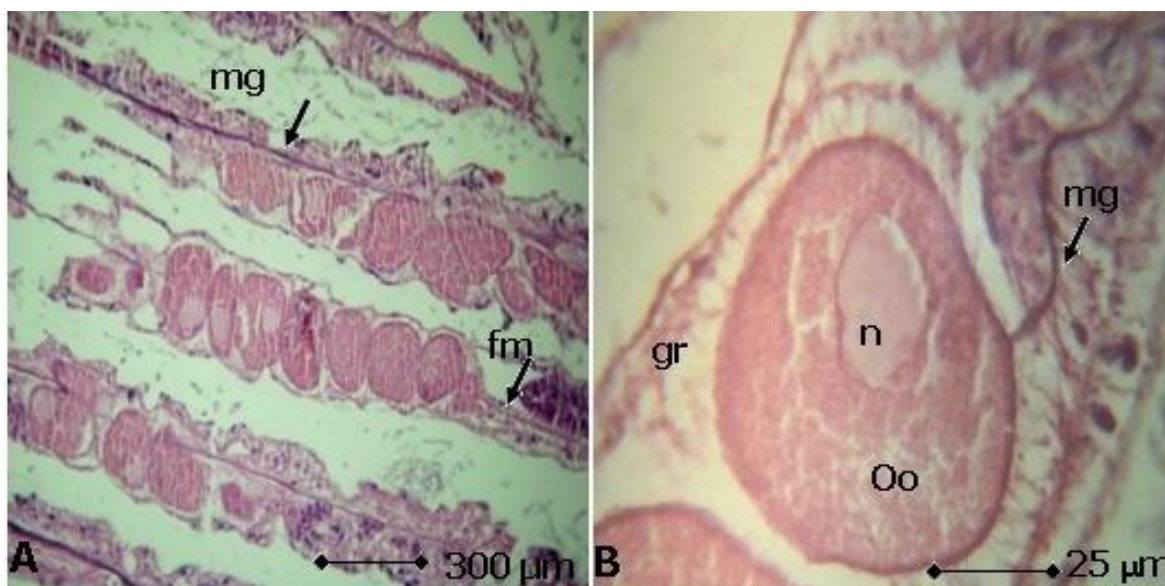


Figura 12. A. Oocitos en sección longitudinal dispuestos en hilera a lo largo de los filamentos mesentéricos (**fm**) y rodeados por la mesoglea (**mg**) (10x). **B.** Oocito (**Oo**) en mesenterio rodeado por mesoglea. Se observa la gastrodermis (**gr**) en el área cercana al oocito y el núcleo (**n**) hacia la periferia del mismo (40x).

7.3.1 Oocitos

En los cortes transversales por lo general se presentaron de formas irregulares con cierta tendencia hacia formas elipsoidales. Se observó mayor variabilidad morfológica de los gametos presentes en aquellos mesenterios que albergan gran número de oocitos. Estas estructuras reproductivas femeninas se caracterizan por presentar un núcleo que en ocasiones se encontró hacia el centro de la célula y en otras hacia la periferia de la misma (Figura 13).

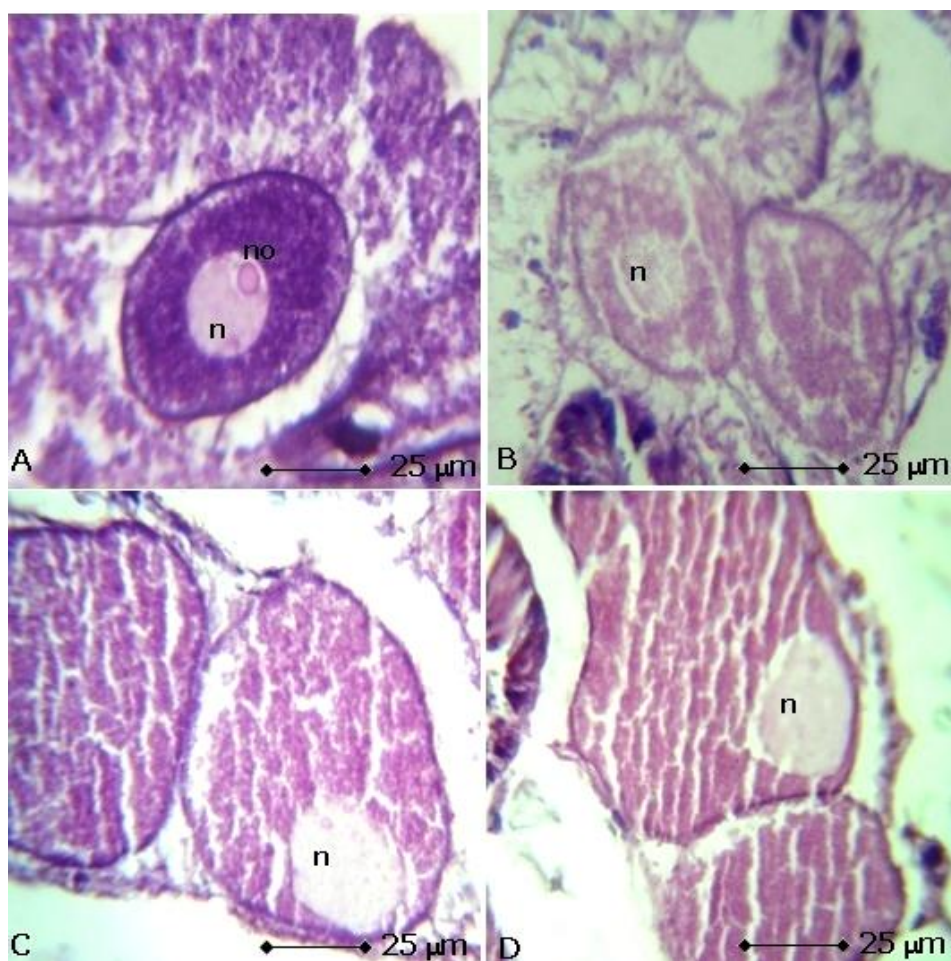


Figura 13. Cambio en la ubicación del núcleo en los gametos de *S. bournonii* a través del tiempo. **A y B.** Oocitos de mes de julio y agosto respectivamente, donde se observa el núcleo (**n**) en la parte central del gameto. (**no**) nucléolo. **C y D.** Oocitos del mes de septiembre, el núcleo se encuentra hacia la periferia del gameto en estado avanzado de madurez. (40x).

7.3.2 Talla promedio de los oocitos

En las colonias de *S. bournonii* con actividad reproductiva, se observa un aumento en la talla de los oocitos a través del tiempo como consecuencia del proceso de maduración de los mismos. Los meses de julio ($68,967 \pm 32,27 \mu\text{m}$; $n=18$ oocitos) y agosto ($63,46 \pm 18,77 \mu\text{m}$; $n= 13$ oocitos) presentan las menores tallas de gametos femeninos mientras el mes de octubre se observan las más grandes ($145,2 \pm 26,86$



μm ; $n = 50$ oocitos). Se presentan diferencias significativas de los diámetros promedio de los oocitos a través de los meses de julio a octubre ($F=67,06$; $p < 0,001$; $n = 272$).

Tabla 2. Valores de la prueba de múltiples comparaciones de Tukey HSD, (q) de las tallas de los oocitos. Los asteriscos indican diferencias entre los meses. $q_{\text{tabla}}(0,05; 268; 4) = 3,63$.

Variable	Jul.	Ago.	Sep.
Ago.	0,76		
Sep.	10,89*	10,34*	
Oct.	13,93*	13,19*	19*

La talla promedio de los oocitos de los meses de julio y agosto se observan menores y con diferencias significativas respecto a los otros meses (Tabla 2), a partir de agosto las tallas aumentan de manera significativa (Figura 14). El tamaño muestral de los meses debe considerarse al momento de realizar comparaciones.

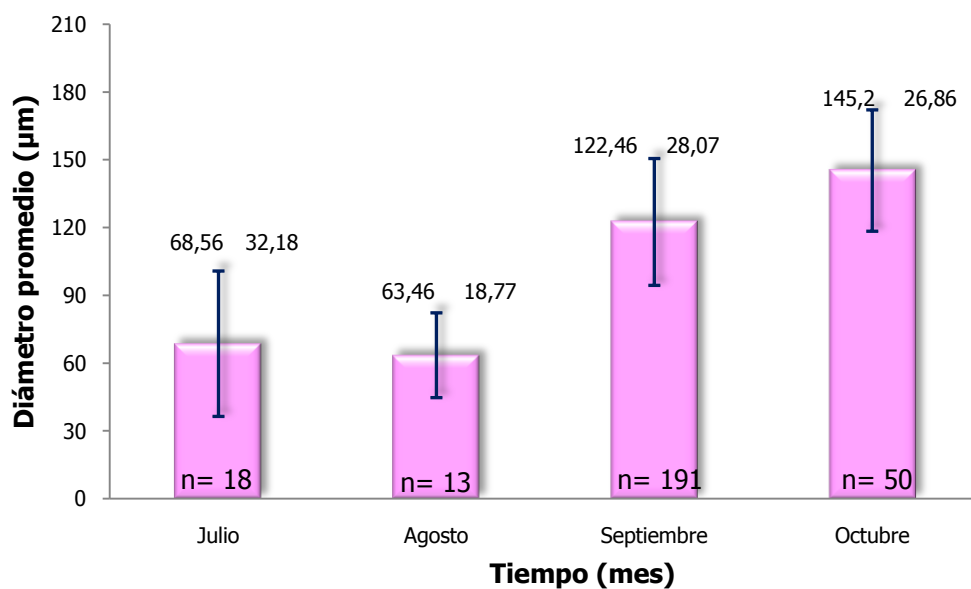


Figura 14. Tamaño promedio de los oocitos en las colonias reproductivas durante los meses de muestreo.



7.3.3 Espermaries

Los gametos masculinos se presentaron en el mes de octubre formando espermaries dentro de los cuales se encuentran numerosas células cuya cantidad y tamaño varían dependiendo del estado de maduración en el que se encuentran. El número de espermaries, su tamaño, morfología y la de las células que se encuentran dentro de éstos, difieren en los mesenterios revisados. Su color generalmente se presenta más oscuro que el de los gametos femeninos (Figura 15).

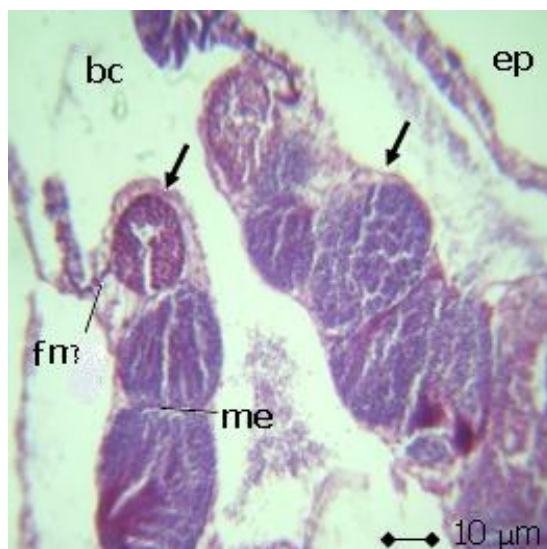


Figura 15. Espermaries en sección transversal a lo largo de dos mesenterios. Se observan las diferencias morfológicas entre ellos, así como algunas estructuras de éstos como la membrana que rodea el espermarie (**me**), la epidermis del pólipo (**ep**), el filamento mesentérico (**fm**) y la banda cnidoglandular al final del mesenterio (**bc**). Las flechas indican espermaries en diferentes estados de desarrollo (40x).

En algunos espermaries, fue posible observar las células dispuestas en forma de *bouquet*, dentro del cual se observan las colas de los espermatozoides en el centro del mismo, lo cual indica que éstos se encuentran en un avanzado estado de maduración (Figura 16). Los espermaries que presentan las características



mencionadas, adicionalmente presentan la mayor talla respecto a todos los gametos observados.

A pesar de no haberse realizado una caracterización del ciclo gametogénico, se observaron características particulares asociadas con el estado de desarrollo de los espermaries. En algunos de ellos se observan células de mayor tamaño, pero menor número con coloración más clara que la observada en los gametos maduros. En octubre se presentaron varios espermaries por mesenterio, los cuales se encontraban en diferentes estados de desarrollo, es decir nunca se encontraron exclusivamente en una misma etapa de madurez (Figura 16).

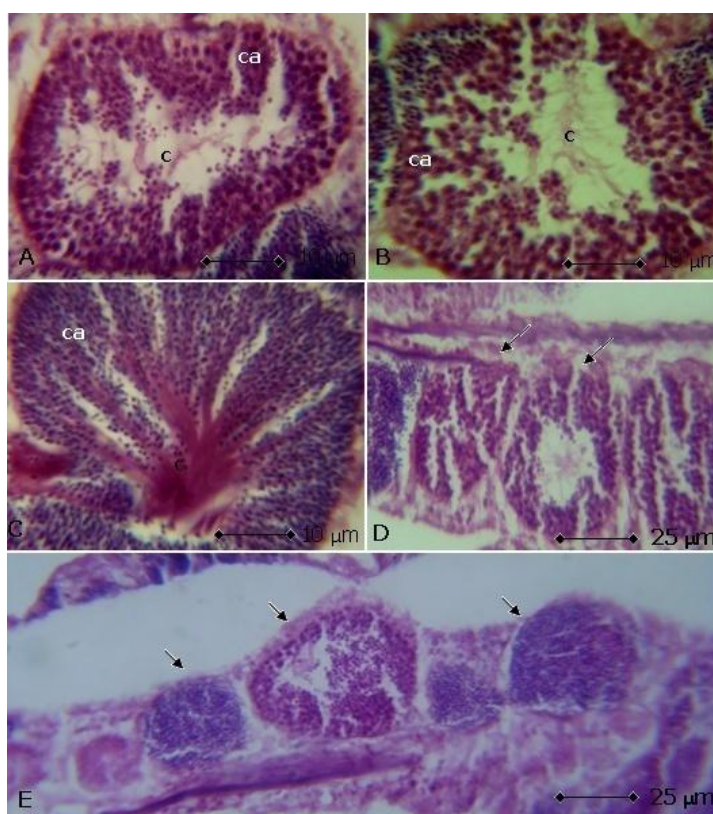


Figura 16. A y B. Espermaries donde se observan las cabezas de los espermatozoides (**ca**) y las colas de los mismos (**c**) hacia el centro del *bouquet*. **C** Las colas (**c**) de los espermaries formando un ramillete hacia un lado del espermarie, las cabezas (**ca**) se observan en la parte superior (100x) **D y E.** Se indican espermaries en un mismo mesenterio en diferentes estados de desarrollo (40 x)



La mayor cantidad de espermaries se observó en estado avanzado de madurez (evidenciado por la presencia de colas dentro de los mismos) los cuales presentaron un tamaño medio de $80,42 \pm 21,33 \mu\text{m}$ ($n= 406$), mientras los espermaries inmaduros (ausencia de colas dentro de éstos) fueron mas pequeños y menos abundantes ($60,37 \pm 14,79 \mu\text{m}$; $n= 178$). Se encontraron diferencias significativas entre las tallas de los dos estados de desarrollo ($U= 15.524,5$; $p \text{ valor}= 0,001$; $n= 584$).

7.4 Fertilidad y fecundidad

Respecto a la fertilidad de los pólipos (presencia de tejido reproductivo), del total de 71 pólipos revisados en cortes longitudinales 31 presentaron tejido reproductivo (43,7%) y 40 fueron determinados como infértiles debido a la ausencia de gametos en su interior. Teniendo en cuenta el total de colonias reproductivas ($n= 6$ femeninas y $n= 1$ masculina), por pólipo se reportaron $53,09 \pm 32,63$ espermaries ($n= 11$ pólipos) y $18,27 \pm 20,09$ oocitos ($n= 15$ pólipos). Los pólipos fértiles restantes ($n= 5$), no fueron incluidos en este análisis debido al mal estado del tejido que impidió realizar conteo y mediciones de gametos.

En los cortes transversales se observaron un total de 103 pólipos (59 de estos no presentaron gametos en su interior), en donde se evidenció la presencia de hasta 24 mesenterios cada uno de los cuales presenta un filamento que se extiende desde el borde interior libre del mesenterio hasta el lugar donde se encuentra la región de la banda cnidoglandular. La cantidad promedio de gametos femeninos observados por pólipo fue $14,36 \pm 14,34$ ($n= 42$ pólipos) y el de espermaries fue $31,00 \pm 38,18$ ($n= 2$ pólipos), respecto a los oocitos este número aumenta en septiembre.

El número promedio de pólipos por cm^2 de tejido decalcificado fue $12,96 \pm 2,90$ ($n= 311$ pólipos). La fecundidad reportada de *S. bournonii* fue mayor en el mes de septiembre encontrándose un promedio de $411,86 \pm 235,99$ oocitos/ cm^2 (Tabla 3)



mientras en el mes de agosto se encontró el valor más bajo en cuanto a este atributo ($59,50 \pm 34,64$). En la Figura 17 se muestra el comportamiento de la fecundidad a través del tiempo.

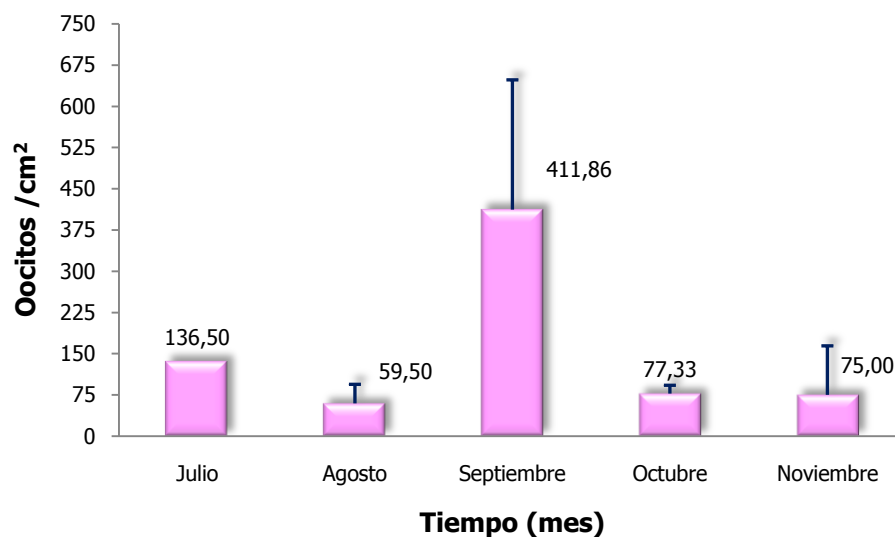


Figura 17. Fecundidad promedio de *S. bournonii* en los meses muestreados.

Tabla 3. Parámetros de fecundidad en *S. bournonii*, establecidos a partir de cortes transversales. Las mediciones son reportadas sobre los pólipos fértiles femeninos ($n= 42$), en los cuales se pudieron realizar mediciones y conteo de gametos.

Mes	Jul.	Ago.	Sept.	Oct.	Nov.
Gametos/gónada (gónadas)	1,90 (11)	$1,15 \pm 0,13$ (21)	$1,77 \pm 0,49$ (457)	$1,49 \pm 0,06$ (24)	$1,65 \pm 0,91$ (11)
Gónadas / pólipo (n= pólipos)	$5,5 \pm 0,71$ (2)	$3,83 \pm 2,59$ (5)	$14,90 \pm 7,61$ (28)	$4,91 \pm 0,84$ (5)	$5,50 \pm 6,36$ (2)
Gametos/pólipo	10,5	$4,25 \pm 2,47$	$28,67 \pm 18,14$	$7,33 \pm 0,94$	$12,00 \pm 15,55$
Pólipos/cm²	13	14	$15,33 \pm 2,31$	$10,50 \pm 0,7$	$9,00 \pm 4,24$
Gametos/cm²	136,5	$59,5 \pm 34,64$	$411,86 \pm 235,99$	$77,33 \pm 15,0,0$	$75,00 \pm 89,09$



Respecto al volumen ocupado por los gametos dentro de los mesenterios de *S. bournonii* a través del tiempo (Figura 18), se presenta el mayor valor en el mes de octubre $0,00130 \pm 0,0009 \mu\text{m}^3$ ($n= 50$ oocitos) y el menor en agosto $0,00015 \pm 0,00012 \mu\text{m}^3$ ($n= 13$). Los volúmenes de los oocitos difieren significativamente entre los cuatro meses ($H= 67,11$; p valor $<0,001$; $n= 272$).

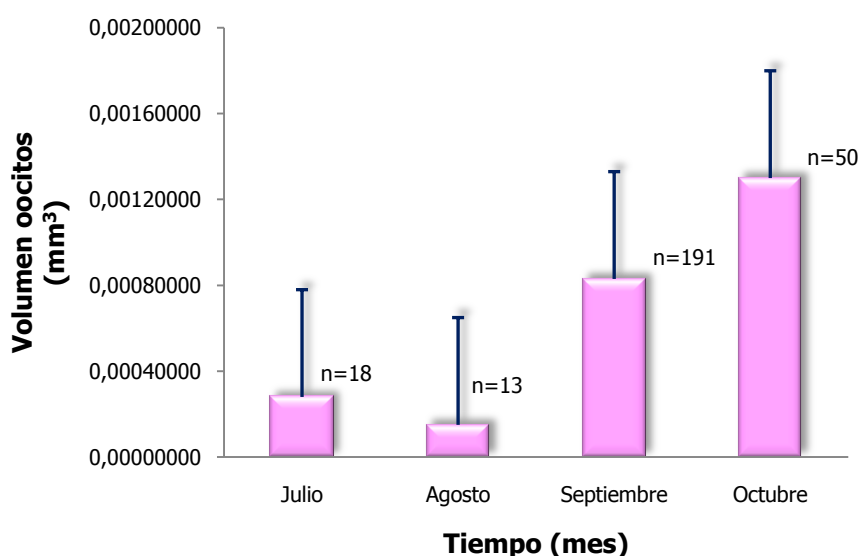


Figura 18. Volumen promedio ocupado por los gametos femeninos y masculinos de *S. bournonii* en el tiempo.

7.4.1 Proporción de pólipos fértiles - infértiles respecto al tiempo

La proporción de pólipos fértiles e infértiles de las colonias en el tiempo muestra un descenso en los pólipos infértiles y aumento de aquellos con gametos a lo largo de los mesenterios que lo componen (Anexo F). Conforme avanza el tiempo, al parecer cuando la especie se acerca al final del ciclo reproductivo hacia el mes de noviembre, la proporción de pólipos fértiles decrece (Figura 19). La mayor proporción de los pólipos fértiles se presenta en el mes de octubre, lo cual coincide con el mayor tamaño de los oocitos y volumen de los oocitos (Figura 14 y Figura

18). A pesar del patrón observado, no existe relación de los pólipos fértiles e infértiles respecto al tiempo ($r = 0,56$; $p = 35$; $n = 5$).

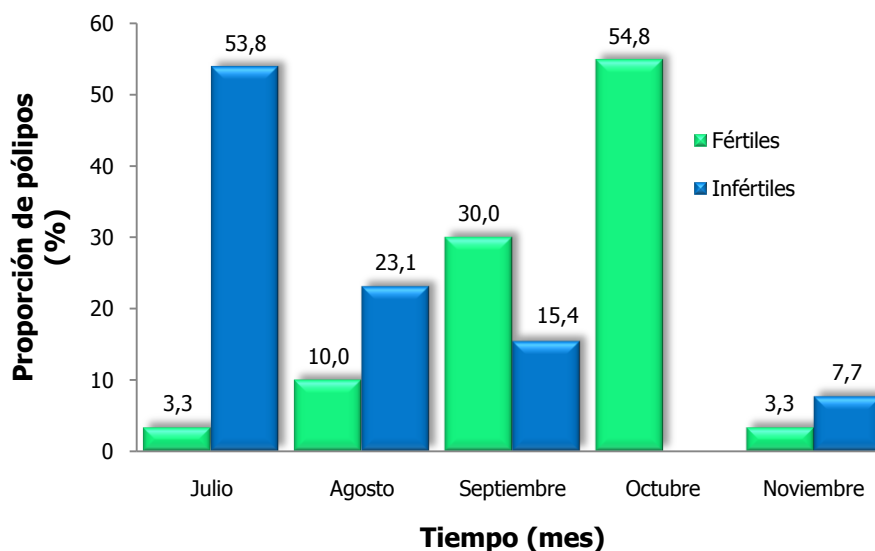


Figura 19. Proporción de pólipos fértiles e infértiles en los meses de muestreo.

7.4.2 Proporción de pólipos fértiles e infértiles respecto a la posición en la colonia

Dentro de los 44 pólipos (25 de la zona lateral y 19 de la zona apical de la colonia), revisados en los cortes longitudinales en las colonias que presentaron actividad reproductiva, el 68,0 % ($n = 17$) de los pólipos pertenecientes a la región lateral de la colonia resultaron ser fértiles, en la zona apical el 73,7% ($n = 14$) de los pólipos revisados contenían gametos en su interior.

A pesar de presentarse una mayor proporción de pólipos fértiles en la zona apical, no existen diferencias significativas entre la proporción de pólipos fértiles e infértiles de las zonas laterales y apicales ($\chi^2 = 0,1$; $p = 0,9$ con corrección de Yates), por lo tanto se asume que no hay dependencia de la fecundidad respecto al lugar de la colonia donde se encuentren los pólipos (Anexo G). Lo anterior adicionalmente se

observa en la proporción similar de los pólipos fértiles en las dos zonas estudiadas de la colonia (Figura 20).

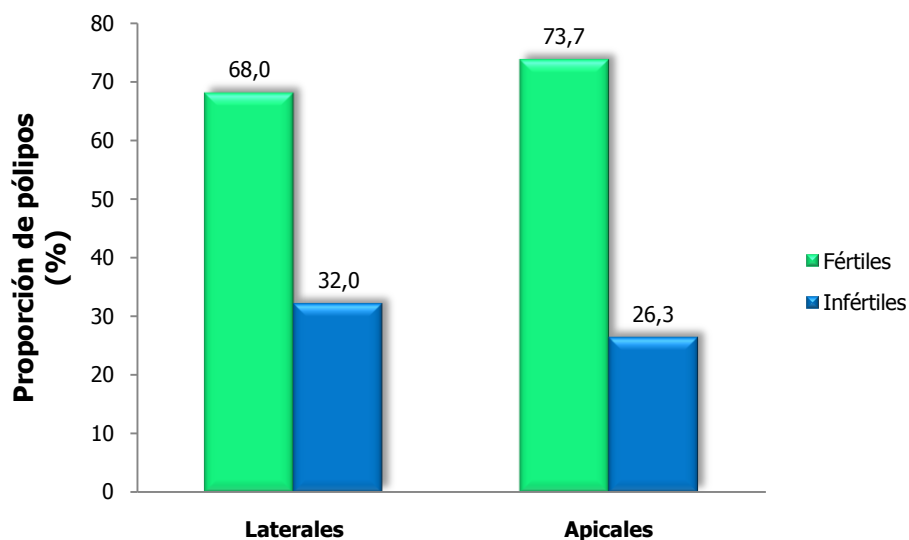


Figura 20. Proporción de los pólipos fértiles e infértiles en las zonas evaluadas de la colonia.

7.4.3 Proporción de sexos en las colonias estudiadas

De acuerdo a las muestras de tejido vivo recolectado en siete colonias de *S. bournonii* existe un predominio de las colonias hembras sobre los machos en la población de *S. bournonii*, en la zona de la Bahía de Gaira (Tabla 4). De las 12 colonias estudiadas seis resultaron ser femeninas y solamente una fue masculina. Las colonias restantes ($n=5$) no presentaron gametos en sus pólipos por lo tanto el sexo en éstas es indeterminado pues seguramente se trata de individuos inmaduros reproductivamente, éstas corresponden a los primeros meses de muestreo, mayo y junio.



Tabla 4. Resumen de las características de las colonias de *S. bourmonii* estudiadas en el área de Bahía de Gaira en el año 2006, se incluye el número de pólipos fértiles (F) e infértiles (Inf) presentes en las zonas laterales y apicales de la colonia. Ind. Sexo indeterminado debido a la ausencia de tejido reproductivo; H. hembra; M. macho; Td. Tejido en mal estado.

Pólipos	Laterales				Apicales		
Colonia #	Mes	Sexo	F	Inf.	Sexo	F.	Inf.
1	May	Ind	0	5	Ind	0	2
2	May	Ind	0	4	Ind	0	2
3	Jun	Ind	0	1	Ind	0	3
4	Jun	Ind	0	4	Ind	0	2
5	Jul	Ind	0	3	Ind	0	1
6	Jul	Ind	0	6	H	1	1
7	Ago	H	1	1	H	2	2
8	Sep.	H	3	0	H	4	0
9	Sep.	H	1	0	H	1	2
10	Oct	H	5	0	H	1	0
11	Oc.	M	6	0	M	4	0
12	Nov	H	1	1	H	Td	Td



8. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

8.1 Condición reproductiva de *Solenastrea bournonii*

8.1.1 Tipo de reproducción

La presencia de gametos de un solo sexo en las colonias de *S. bournonii* que presentaron tejido reproductivo, indica que el tipo de reproducción de la especie es gonocórico, difiriendo de lo reportado por Perilla y Santacruz (2007) en un estudio previo. El gonocorismo evidenciado para esta especie no es el tipo de reproducción dominante en el mundo, ya que de las especies escleractínias estudiadas hasta el momento entre el 60 y 85% son hermafroditas (Richmond y Hunter 1990; Richmond 1997).

El tipo de reproducción de *S. bournonii* también difiere de lo presentado en la mayoría de las especies de la familia Faviidae como *M. annularis*, *M. cavernosa*, *D. labyrinthiformis* y *D. strigosa* (Tabla 5) en las cuales tanto oocitos como espermaries se desarrollan a lo largo de un mismo mesenterio o en mesenterios adyacentes con un arreglo gonadal digónico (Kojis y Quinn 1982; Fadlallah 1983; Harrison 1985; Wyers 1985; Szmant 1986; Szmant 1991; Harrison y Wallace 1990; Richmond y Hunter 1990; Van Veghel 1994; Acosta y Zea 1997; Richmond 1997, Lam 2000; Alvarado *et al.* 2004b; Mangubhai y Harrison 2008). Si bien es cierto que la mayoría de las especies de la familia Faviidae son hermafroditas y que esta condición reproductiva está altamente conservada a nivel de familia y género (Shlesinger 1998), existen diferencias en la sexualidad al interior de ésta y otras familias (Szmant 1986; Szmant 1991). Un ejemplo de esto se presenta en *M. cavernosa* (perteneciente a la familia Faviidae) en la cual se ha comprobado que presenta un tipo de reproducción gonocórica, y en la familia Poritidae, consistentemente gonocórica en la que se han reportado especies como *Porites cylindricus* que presentan hermafroditismo (Harrison 1985; Richmond y Hunter 1990; Szmant 1991;



Acosta y Zea 1997). Hasta el momento en el Caribe *M. cavernosa* era la única especie de la familia Faviidae en presentar este tipo de reproducción (Richmond y Hunter 1990; Alvarado *et al.* 2004b).

Tabla 5. Características reproductivas de algunas especies de faviidos en el mundo. Tipo de reproducción: H. hermafrodita. G. gonocórico. Arreglo gonadal: I. Presencia de los dos sexos entremezclados en el mismo mesenterio. II. Sexos separados pero en un mismo mesenterio III. Sexos en pólipos separados. Patrón de reproducción: D. desovador. I. incubador. Referencia: a. Wyers 1985, b. Alvarado *et al.* 2004, c. Szmant 1991, d. van Veghel 1994, e. Szmant *et al.* 1985, f. Mangubhai y Harrison 2008, g. Kojis y Quinn 1982, h. Harrison 1985, i. Lam 2000, j. Fan y Dai 1998. * Información no suministrada por el autor.

Especie	Tipo reproductivo	Arreglo gonadal	Patrón reproductivo	Referencia
CARIBE				
<i>Diploria strigosa</i>	H	I	D.	a
<i>Diploria labyrinthiformes</i>	H	II	D.	b
<i>Montastraea cavernosa</i>	G	III	D	c y d
<i>Montastraea annularis</i>	H	I	D.	c y d
<i>Favia fragum</i>	H	I	I.	e
PACÍFICO				
Australia				
<i>Platygyra daedalea</i>	H	I	D	f
<i>Favites abdita</i>	H	I	D	g
<i>Leptoria phrygia</i>	H	I	D	g
<i>Goniastrea favulus</i>	H	I	D	g
<i>Diploastrea heliopora</i>	G	*	*	h
Okinawa				
<i>Oulastrea crispata</i>	H	I	I	i
Hawai				
<i>Echinopora lamellosa</i>	H	I	D	j

Aunque la condición gonocórica de *S. bournonii* favorece la variabilidad genética dentro de la población, ésta requiere que los desoves de la especie sean sincrónicos y que las densidades de los individuos así como de los gametos femeninos y masculinos sean altas para permitir un éxito en la fertilización. Adicionalmente, si las poblaciones de las especies gonocóricas son pequeñas como sucede con la especie en estudio, existirá una menor probabilidad de transferencia de genes respecto a individuos pertenecientes a poblaciones de mayor tamaño (Waller *et al.* 2002).



Para *S. bournonii* y otras especies presentar un tipo de reproducción gonocórica podría llegar a ser una desventaja en el caso en el que se encuentren pocos individuos del sexo opuesto o ausencia total de compañero sexual, puesto que la fertilización de los oocitos estará disminuida e incluso descartada (Szmant 1991). Una baja abundancia de individuos dentro de la población de especies escleractínias gonocóricas como *Dendrogyra cylindrus*, puede ocasionar que la especie se enfrente a un riesgo de extinción local ocasionado además por la baja probabilidad de fertilización de gametos (Szmant 1986). De acuerdo a lo anterior, el gonocorismo junto con el tamaño reducido de la población de *S. bournonii* en el área de estudio le confiere una estrategia reproductiva menos efectiva respecto a las demás especies de la familia, ya que por ejemplo *M. cavernosa* que presenta un tipo de reproducción similar es más común y abundante en los arrecifes del Caribe por lo cual el éxito de fertilización de sus gametos es alto (Szmant 1991). Frente a esta desventaja además de un desove sincrónico, como al parecer sucede en esta especie en septiembre, la producción de atrayentes de esperma resulta muy útil para especies coralinas gonocóricas (Richmond y Hunter 1990; Miller 1985 En: Szmant 1991). La presencia de estos atrayentes químicos debe ser tema de investigación en estudios posteriores.

Dentro del gonocorismo de *S. bournonii* se debe considerar adicionalmente la proporción de sexos presentada en la población de la región de Bahía de Gaira, la cual presenta un predominio de las hembras sobre los machos (6:1). Esta desviación hacia el sexo femenino posiblemente esté relacionada con el bajo número de colonias estudiadas (Kramarsky-Winters y Loya 1998; Barros *et al.* 2003). Sin embargo y teniendo en cuenta que el tamaño de la población en estudio es pequeño, la mayor presencia de individuos femeninos debe considerarse como un indicativo de una fertilización de gametos pobre y un posible desperdicio del esfuerzo reproductivo de la especie (Szmant 1991), por lo tanto estudios reproductivos adicionales que evalúen las tasas de reclutamiento de juveniles para la especie son necesarios para evaluar esta situación.



Dentro de las especies gonocóricas desovadoras tales como *M. cavernosa* y *S. siderea* la proporción de sexos esperada es 1:1, debido a la dependencia del encuentro de gametos femeninos y masculinos dentro de sus poblaciones caracterizadas por tener abundancias altamente localizadas (Acosta y Zea 1997; Barros *et al.* 2003). Sin embargo, un sesgo en la proporción de colonias femeninas ha sido reportado en otras especies escleractínias como *S. radians* (colonias pequeñas e incubación de gametos en los individuos femeninos) en la cual se espera una mayor producción de colonias femeninas debido a que éstas presentan una transferencia de genes más efectiva y se encuentran en capacidad de producir atrayentes de espermatozoides que aumentan el éxito de la fertilización interna (Miller 1982 En: Szmant 1986). Otros argumentos que intentan explicar el sesgo hacia uno de los dos sexos como se presenta en *S. bournonii* son: la propagación clonal de individuos; la expulsión de pólipos de la colonia parental, y el sexo determinado por las condiciones ambientales (Sammarco 1982; Charnov y Bull 1977 En: Soong 1991; Kramarsky-Winters y Loya 1998), lo cual no se ha determinado en el presente estudio.

Es importante tener en cuenta que para realizar una caracterización del ciclo sexual así como el tipo de reproducción propio de una especie, se requiere un tiempo de muestreo prolongado, mayor a los siete meses del presente estudio, con el fin de determinar detalladamente cada uno de los aspectos involucrados dentro del proceso reproductivo de las especies, como son el ciclo gametogénico y la biología de la larva (Fadlallah 1983; Rinkevich y Loya 1987). Adicionalmente debido a la alta variabilidad presentada entre las colonias de una misma población, formular conclusiones a partir de unos pocos individuos no es adecuado (Rinkevich y Loya 1979b), por lo tanto un tamaño muestral superior a 14 colonias es recomendable, para poder describir reproductivamente a la población de *S. bournonii* en Bahía de Gaira, Santa Marta.



A pesar de haberse realizado un muestreo por un muy corto tiempo y con un bajo número de colonias estudiadas, el tipo de reproducción reportado en el presente trabajo para esta especie, coincide con el gonocorismo observado en la Florida por Lueg (2009 com. pers.) en colonias muestreadas entre julio y noviembre de 2008 las cuales presentaron desarrollo de gametos femeninos y masculinos en individuos diferentes. Es importante mencionar que el número de colonias muestreadas en la Florida por mes es mucho mayor que el del presente estudio. Sin embargo, debido al tiempo prolongado de maduración dentro del ciclo femenino es posible si el muestreo es corto e incompleto que especies hermafroditas sean determinadas de manera errónea como gonocóricas al reportar únicamente gametos femeninos (Harrison y Wallace 1900). No obstante la presencia de individuos masculinos en un mes en el que simultáneamente se presentan colonias femeninas, permiten inferir el gonocorismo de *S. bournonii*.

El estudio histológico como herramienta para la caracterización reproductiva de las especies coralinas requiere numerosos cortes consecutivos de los pólipos que permitan obtener los datos completos a lo largo del mesenterio y comprobar de manera efectiva el tipo de reproducción presentado en la especie. No basta con obtener cortes muy basales o apicales, o en baja cantidad por muestra (dos) como en el caso de este estudio, ya que no se podrían encontrar de manera efectiva los gametos de los dos sexos (Szmant-Froelich *et al.* 1985). Lo anterior debido a que en algunas especies escleractínias se presenta una distribución determinada de los gametos a lo largo de los mesenterios, por ejemplo gametos femeninos hacia la base de los filamentos y masculinos hacia el celenterón (Goffredo *et al.* 2000; Lam 2000).

8.2 Patrón de reproducción

La ausencia de plánulas o embriones desarrollándose al interior de los pólipos de *S. bournonii* permite determinar que el patrón reproductivo de la especie es desovador (libera los gametos al agua). Es cierto que las plánulas se desarrollan en aquellos



pólipos donde no se encuentran gónadas o durante un receso en la gametogénesis (Lam 2000), sin embargo, la presencia de pólipos con mesenterios libres de gónadas y la ausencia de larvas desarrollándose en los mismos, corroborarían el patrón reproductivo propuesto para la especie. Nuevamente se enfatiza la necesidad de hacer un seguimiento más prolongado sobre la especie para concluir con exactitud al respecto.

Dentro de las especies escleractínias del mundo y particularmente de las pertenecientes a la familia Faviidae el patrón dominante de reproducción es el desovador (Harrison y Wallace 1990; Richmond y Hunter 1990; Acosta y Zea 1997; Alvarado *et al.* 2004b) el cual adicionalmente ha sido propuesto como el carácter ancestral filogenéticamente hablando (Shlesinger *et al.* 1998). Sin embargo existen especies de faviidos como *F. fragum* y *Cyphastrea ocellina* que presentan fertilización interna de gametos y desove posterior de una larva plánula desarrollada (Szmant-Froelich *et al.* 1985; Shlesinger *et al.* 1998).

El tamaño de los pólipos ha sido considerado como un rasgo relacionado con el modo de reproducción de las especies escleractínias. Así los pólipos de *S. bournonii* (2-3 mm) y demás especies de su familia, considerados de gran tamaño respecto a lo de otras familias, se asocian con la producción de huevos de tamaño pequeño que son expulsados al agua para su fertilización. Por el contrario especies de familias cuyos pólipos son de menor tamaño como Poritidae (0-8 1,25 mm), presentan huevos más grandes aunque en menor cantidad, que se desarrollan al interior del individuo (Rinckevich y Loya 1979a; Shlesinger *et al.* 1998). Sin embargo, algunos autores rechazan esta teoría al encontrar que las diferencias en el patrón reproductivo de las colonias de una especie separadas geográficamente no se relacionan con el tamaño de los pólipos de ésta (Kruger y Schleyer 1998). Actualmente al parecer no existe una relación general entre el tamaño de la colonia, sus pólipos y huevos, y el patrón de reproducción de la especie (Shlesinger *et al.* 1998).



8.3 Gametogénesis

8.3.1 Disposición de los gametos dentro del pólipo

El arreglo gonadal reportado para *S. bournonii* (sexos desarrollándose de manera separada en cada pólipo) es diferente al propuesto por Perilla y Santacruz (2007) para la especie (arreglo gonadal digónico) y al descrito como dominante en las especies escleractínias pertenecientes a la familia Faviidae tales como *M. annularis*; *D. labyrinthiformes*, *D. strigosa*, *F. favus*, *Cyphastrea microphthalma*, *F. pentagona*, *G. retiformis* y *P. lamellina*. En estas especies tanto los espermaries como los oocitos se encuentran dentro de los mesenterios entremezclados sin regiones distintivas para cada gónada (Wyers 1985; Szmant 1986; Acosta y Zea 1997; Shlesinger *et al.* 1998 Alvarado *et al.* 2004b). Esta condición es considerada de manera similar al tipo de reproducción como un rasgo filogenético ancestral y conservado dentro de las familias y los géneros (Shlesinger *et al.* 1998).

A pesar que el arreglo gonadal descrito anteriormente predomina en las especies de la familia Faviidae, también se presentan especies en las que la disposición de gametos se asemeja a la de *S. bournonii*, como por ejemplo *M. cavernosa* y *D. heliopora* (Szmant 1986; Harrison y Wallace 1990; Szmant 1991; Acosta y Zea 1997), en las que los gametos de los dos sexos se desarrollan independientemente en los individuos.

8.3.2 Desarrollo gametogénico y fecundidad

De manera similar a la mayoría de las especies de la familia Faviidae en el Caribe, como *D. strigosa*, *M. annularis*, *M. cavernosa* (Wyers 1985; Szmant 1991; van Veghel 1994; Acosta y Zea 1997) el desarrollo y maduración de los gametos en *S.*



bournonii inicia entre julio y agosto. Sin embargo no todas las especies de la familia presentan la maduración de sus gametos en esta época, tal es el caso de *D. labyrinthiformis* especie en la que la maduración de los oocitos ocurre a partir de abril y culmina en el proceso desove en el mes de mayo después de la luna llena (Alvarado *et al.* 2004b).

El inicio del desarrollo y maduración de los gametos en *S. bournonii* coincide con el incremento en la temperatura superficial del agua en la región a partir del mes de julio (Melo 2006). Algunos estudios han permitido determinar que las variaciones estacionales en la temperatura superficial del mar ejercen gran influencia sobre la reproducción de invertebrados marinos (Giese y Pearse 1974). En las especies escleractínias el inicio de la gametogénesis, así como el desarrollo y maduración de los gametos coincide con cambios asociados a la temperatura y aumento en condiciones ambientales tales como las horas/día. Este comportamiento se ha comprobado tanto en el Caribe (van Veghel 1994; Acosta y Zea 1997; Alvarado *et al.* 2004b) como en otras regiones del mundo (Babcock *et al.* 1986; Richmond y Hunter 1990; Kruger y Schleyer 1998).

Las diferencias entre las tallas de los gametos así como el aumento en el número de éstos a través del tiempo, han sido considerados como indicador de desarrollo en otras especies coralinas en las cuales se ha determinado (*F. favus*, *Galaxea fascicularis*) que el proceso de maduración de los gametos presenta una tasa de crecimiento lineal con una gran inversión energética en el primer mes de desarrollo y un crecimiento uniforme en los meses siguientes hasta el final del ciclo gametogénico (Shlesinger *et al.* 1998). En otras especies (*G. retiformis*, *P. lamellina*) el crecimiento ocurre de manera exponencial en el que hay una inversión energética en la producción de los gametos por al menos tres meses, tras lo cual la energía es destinada únicamente al aumento del diámetro de los oocitos (Shlesinger *et al.* 1998). Este mismo comportamiento se ha demostrado en la especie en estudio, en la cual durante los dos primeros meses cuando se reportaron oocitos no ocurren

cambios importantes en sus tallas a diferencia de los meses siguientes en los que el aumento en el diámetro de los gametos es significativo.

Respecto a los gametos masculinos su aparición más tardía (el tejido reproductivo masculino se detectó sólo hasta el mes de octubre) en relación a los oocitos en *S. bournonii* coincide con lo reportado para otras especies de la familia Faviidae como *D. labyrinthiformes*, *D. strigosa*, *M. annularis*, *M. cavernosa* en las cuales la espermatogénesis inicia tiempo después de la oogénesis (Wyers 1985; Szmant-Froelich *et al.* 1985; Szmant 1991; van Veghel 1994; Lam 2000; Alvarado *et al.* 2004b). Un mayor tiempo de desarrollo de gónadas femeninas es característico de las especies coralinas (Harrison y Wallace 1990; Richmond y Hunter 1990), lo cual explica el inicio del desarrollo de gametos masculinos después de los femeninos. A pesar de lo anterior se requiere muestrear un mayor número de colonias para comprobar el inicio de la espermatogénesis de la especie en el mes de octubre, puesto que se sabe que para otras especies gonocóricas éste proceso puede ocurrir antes (*Fungia* spp.) o incluso al mismo tiempo que el de gametos femeninos (*Porites* spp.) (Harrison y Wallace 1990), por lo tanto el desarrollo de espermaries en *S. bournonii* podría iniciar en meses anteriores en los individuos presentes en la Bahía de Gaira.

La presencia de espermaries en diferentes estados de desarrollo (maduros con colas e inmaduros sin ellas) a lo largo de un mismo mesenterio en *S. bournonii*, es característico del ciclo gametogénico en algunas especies gonocóricas desovadoras tales como *Astrangia danae*, en las cuales hay una asincronía en el desarrollo de los gametos dentro de la colonia o incluso dentro de los pólipos (Szmant-Froelich *et al.* 1980; Harrison y Wallace 1990).

Los oocitos de *S. bournonii* en estado de madurez ($122,46 \pm 28,07 \mu\text{m}$) se presentan más pequeños que los de otras especies de faviidos (Tabla 6). Sin embargo, las variaciones que se presenten entre los tamaños de los gametos en las especies, puede deberse básicamente a diferencias reales entre los sitios que



habiten las especies o diferencias morfológicas entre ellas (Shlesinger *et al.* 1998). Por lo tanto realizar comparaciones respecto a la fecundidad de los corales en cuanto al tamaño y el número de oocitos, no resulta ser sencillo debido entre otras razones a las diferentes metodologías y criterios que se tienen en cuenta para la caracterización de los gametos, por lo tanto los valores suministrados podrían subestimar los tamaños de los mismos así como su estado de desarrollo (Harrison y Wallace 1990; Kruger y Schleyer 1998; Shlesinger *et al.* 1998).

Tabla 6. Tamaño promedio de los oocitos maduros de algunas especies de faviidos. Técnica empleada: H. histología, D. disección en fresco. Referencia: a. Wyers *et al.* 1991 b. Acosta y Zea 1997 c. Wyers 1985 d. Alvarado *et al.* 2004b e. Soong 1991 f. Lam 2000 g. Kojis y Quinn 1982.

Especie	Diámetro oocito ($\mu\text{m} \pm \text{DS}$)	Técnica empleada	Referencia
CARIBE			
<i>Solenastrea bournonii</i>	122,46 $\pm$ 28,07	H	Este estudio
<i>Montastraea annularis</i>	300 - 350	D	a
<i>Montastraea cavernosa</i>	346,00 $\pm$ 17	H	b
<i>Diploria strigosa</i>	440	H	c
<i>Diploria labyrinthiformes</i>	297,00 $\pm$ 97	H	d
<i>Diploria clivosa</i>	600	D	e
PACÍFICO			
<i>Oulastrea crispata</i>	131,50 $\pm$ 6,1	H	f
<i>Favies abdita</i>	394,00 $\pm$ 43,13	D	g
<i>Leptoria phrygia</i>	416,00 $\pm$ 34,65	D	g

La fecundidad más alta de *S. bournonii* se presentó en las colonias pertenecientes al mes de septiembre. En las especies escleractínias este atributo es susceptible de cambiar de acuerdo a condiciones externas que puedan afectar sus individuos. Se ha comprobado que una variedad de factores ambientales y antropogénicos influyen negativamente sobre la fecundidad de los corales (Harrison y Wallace 1990). Ante una presión externa tal como la ejercida en el área de estudio, las especies coralinas dejan de invertir en formación de tejido reproductivo, e invierten sus reservas en mantener su equilibrio interno y propiciar su crecimiento (Kojis y Quinn 1984).



La fecundidad en *S. bournonii* en términos del número de oocitos/cm² en el mes en que se presentan los oocitos de mayor tamaño y maduros (octubre), fue de $77,33 \pm 15,00$ oocitos/cm², en el mes de septiembre los valores para este atributo fueron $411,86 \pm 235,99$. Debido a que no se tienen estudios previos en los que se evalúe este atributo en *S. bournonii* bajo diferentes condiciones no es posible determinar que en la zona de estudio se presente una fecundidad menor, mayor o que simplemente este sea el esfuerzo reproductivo característico de la especie. Sin embargo es posible comparar estos resultados con los de otras especies de la familia Faviidae.

Respecto a *D. labyrinthiformis* cuya fecundidad es de 21 oocitos/cm², la especie en estudio presenta una producción de huevos por superficie mayor. Seguramente estas diferencias están relacionadas con el tamaño y volumen que ocupa cada gameto dentro del mesenterio, estrategia reproductiva caracterizada por una menor producción (número) de huevos pero de mayor tamaño (Harriot 1983 En: Harrison y Wallace 1990). Posiblemente debido a la baja abundancia de colonias de *S. bournonii* en el área de la Bahía de Gaira, una producción alta en número de gametos sea la estrategia reproductiva que permite que haya mayor probabilidad de fertilización traducido en el éxito reproductivo que perpetúe la especie en la región.

En los individuos de *M. cavernosa* estudiados en el área de Santa Marta se evidencia un mayor número de oocitos/pólipo (103 ± 24) (Acosta y Zea 1997), respecto a la especie en estudio ($14,36 \pm 14,34$; n= 42 pólipos). Este menor esfuerzo reproductivo de *S. bournonii* respecto a *M. cavernosa* en la región de Santa Marta, quizá se deba a una mayor perturbación presentada en la Bahía de Gaira, ocasionada por la cercanía a los asentamientos urbanos del Rodadero y de Gaira, y las actividades turísticas que se desarrollan en el área. El estrés ambiental sufrido por las especies coralinas, afecta directamente la actividad reproductiva de los corales ocasionando una disminución en los valores de fecundidad de éstos (Harrison y Wallace 1990). Se debe considerar además la diferencia en el tamaño

muestreal utilizado en los dos estudios al realizar comparaciones respecto a este atributo de reproducción sexual.

Una fecundidad tan baja en *S. bournonii* en el año 2006 respecto a otros miembros de la familia Faviidae, posiblemente se de como consecuencia del estrés sufrido por las especies coralinas en el año anterior, cuando en las aguas del Caribe se presentó un Evento Niño atípico con temperaturas por encima del máximo valor reportado en la historia (Wilkinson y Souter 2008). Debido al aumento en las temperaturas del agua es posible que las especies enfrenten un proceso de blanqueamiento por expulsión de sus algas siombiontes zooxantelas, lo cual puede o no ocasionar la muerte del individuo. Tras un proceso de blanqueamiento los corales se ven afectados de diversas maneras ya sea sobre su crecimiento o reproducción, por lo cual una baja actividad reproductiva se esperaría hasta por dos años después de la perturbación (Kleypas y Hoegh-Guldberg 2008). En el Caribe colombiano el blanqueamiento ocasionado por el Evento Niño del 2005 fue el más severo sufrido por las especies coralinas desde hace 25 años, por lo cual hasta aproximadamente el 5% de la cobertura coralina del área de Santa Marta se vio afectado (Rodríguez-Ramírez *et al.* 2008).

Las diferencias presentadas en la fecundidad de *S. bournonii* respecto a otras especies escleractínias seguramente se encuentran relacionadas con un número de factores externos tales como la ubicación geográfica, estrés ambiental y estación climática, que no fueron analizados en este trabajo. Esto debido a que la alta variabilidad que se presenta entre las especies de una misma familia e incluso de un mismo género, a nivel de estado reproductivo, fecundidad y tasas de crecimiento, está dada por condiciones particulares como las mencionadas (Szmant 1986; Chornesky y Peters 1987; Harrison y Wallace 1990). De esta manera un estudio que abarque las variables ambientales que determinan la supervivencia de los corales, brindaría información más completa que permita dar conclusiones certeras respecto al esfuerzo reproductivo de la especie.

Aparentemente y soportado por la disminución en las tallas y el número de gametos en octubre, el porcentaje de pólipos fértiles en las colonias, los valores de fecundidad de la especie así como la sincronía en las gónadas femeninas y masculinas maduras y de acuerdo a la información que se tiene para otros miembros de la familia Faviidae en el Caribe, el proceso de desove de *S. bournonii* tiene lugar a partir del mes de septiembre. Este proceso en algunas especies coralinas no siempre se ha presenciado, sin embargo se presume su momento aproximado en el año debido a cambios en los gametos (número y talla) y mesenterios de los pólipos, así como otros atributos de la fecundidad de las colonias (Wyers 1985; Parker *et al.* 1997; Acosta y Zea 1997; Kruger y Schleyer 1998; Lam 2000; Alvarado *et al.* 2004b).

La ventaja que trae para la especie la expulsión de los gametos en esta época del año durante la cual la región se encuentra bajo la influencia de las mayores temperaturas del agua asociada con una mayor nubosidad, radica en la posibilidad de evitar el riesgo de falla reproductiva debida a una baja salinidad del agua (Mendes y Woodley 2002) relacionada con el aumento en las precipitaciones de los meses siguientes cuando la región se encuentra en la época lluviosa mayor. En septiembre del 2006 las precipitaciones presentadas en el Caribe colombiano fueron las más bajas reportadas para la segunda mitad del año (CPMOB 2006) lo cual sustentaría la posibilidad del inicio del desove de *S. bournonii* en este mes. De manera contraria las condiciones posteriores presentadas al desove de los gametos, además de una menor cobertura del sustrato por algas marinas, favorecen el asentamiento de las larvas de *S. bournonii* disminuyendo de gran manera la competencia por espacio de éstas con otros individuos (Acosta y Zea 1997; Kruger y Schleyer 1998). Adicionalmente el aporte de aguas continentales en la Bahía de Gaira trae consigo el incremento de material suspendido en el mar, lo que aumentaría la disponibilidad de alimento en el agua para las larvas (Acosta y Zea 1997). Las especies que desovan en épocas cuando la temperatura del agua es alta y las precipitaciones son bajas, tienen juveniles con mayores probabilidades de sobrevivir y desarrollarse (Mendes y Woodley 2002).



En el Caribe colombiano el desove de otras especies coralinas como *M. annularis*, *M. faveolata*, *M. cavernosa*, ha sido observado entre los meses de agosto y octubre, e incluso durante algunos días en el mes de noviembre, pero la gran mayoría de las colonias expulsan sus gametos desde el mes de septiembre (Acosta y Zea 1997; Sánchez *et al.* 1999; Alvarado *et al.* 2004b). Por lo general el periodo de desove de las especies coralinas del Caribe coincide con las mayores temperaturas del agua, las cuales en Colombia se alcanzan hacia los meses de septiembre, octubre y noviembre (Sánchez *et al.* 1999).

La imposibilidad de caracterizar el ciclo gametogénico en la especie y la infertilidad reportada en pólipos pertenecientes a las colonias reproductivas de este estudio, muy seguramente se asocian con un mal proceso de fijación e histología. Dichos errores ocasionaron por una parte la destrucción de características propias del tejido que permitieran reconocer el estado de maduración de los gametos y por otra la obtención de cortes muy basales o apicales del pólipo coralino en las cuales no se espera el desarrollo de los gametos.

Por otra parte, si el estudio de la biología reproductiva de *S. bournonii* además de haberse basado en observaciones de las preparaciones histológicas se hubiera complementado con el análisis estereoscópico de los pólipos en fresco, otras características propias de los gametos se habrían determinado, tales como el color de los mismos de acuerdo a su estado de madurez (Shlesinger *et al.* 1998). La mejor aproximación a la fecundidad de los corales de acuerdo al tamaño y cantidad de los gametos, es la medida y conteo de éstos en fragmentos de coral vivo, particularmente en aquellas especies con pólipos pequeños (Harrison y Wallace 1990; Kruger y Schleyer 1998). No obstante algunos autores no consideran útil esta metodología en el estudio de la reproducción coralina (Alvarado 2009, com. pers.)



8.4 Fertilidad de los pólipos respecto a la ubicación en las colonias

La independencia de la fertilidad de los pólipos de *S. bournonii* respecto al lugar que ocupan dentro de la colonia es un rasgo poco común en los corales, específicamente en las especies escleractínias en las que la fecundidad ha sido asociada con la edad de los pólipos o la ubicación de éstos dentro de la colonia (Harrison y Wallace 1990). De acuerdo a un estudio realizado por Soong y Lang (1992) los pólipos pertenecientes a las regiones laterales de las colonias son considerablemente menos fértiles que aquellos ubicados en las partes centrales de las mismas, lo cual no se presentó en este estudio. Únicamente se encontraron pólipos fértiles en los márgenes de las colonias de *F. fragum*, mientras otras especies como *M. cavernosa*, *D. strigosa*, *D. clivosa*, *S. siderea*, *S. radians*, *A. cervicornis* y *A. palmata*, *G. aspera* presentaron una fertilidad significativamente menor en los pólipos ubicados en los márgenes de las colonias.

La fertilidad de los pólipos en las especies ramificadas como *P. furcata* o *Acropora* spp., está determinada por la distancia a la que se encuentren del eje de crecimiento del individuo, siendo de esta manera menos fértiles e incluso infértiles aquellos pólipos cercanos a las puntas de las ramificaciones (Soong y Lang 1992). Según Harrison y Wallace (1990) es posible que exista una mayor uniformidad en la fertilidad de todos los pólipos en las colonias con crecimiento masivo. Esto ocasionado por la ausencia de una zona específica de crecimiento que genere una disminución en la capacidad de los pólipos de desarrollar gónadas viables, lo cual explica porque no existen diferencias significativas entre la fertilidad de los pólipos presentes en las regiones laterales y apicales de las colonias de *S. bournonii*.

Sin embargo, según varios autores en las especies con crecimiento masivo, como en el caso de la especie en estudio se espera una menor fertilidad en los pólipos de regiones marginales debido a que éstas se encuentran en constante estrés ambiental ocasionado por la competencia con otros organismos tales como caracoles, estrellas de mar y algunos poliquetos, así como por algas que se



encuentran a su alrededor (Soong y Lang 1992). Por lo tanto se considera una estrategia de los corales la baja fertilidad hacia los márgenes de las colonias asegurando que los gametos se encuentren en lugares más seguros que enfrenten una menor presión ambiental (Chornesky y Peters 1987; Sakai 1998).

Las condiciones propias del lugar donde habitan las especies coralinas intervienen directamente en la actividad reproductiva de éstas. De esta manera si el lugar en donde se encuentra el coral presenta alta turbidez de sus aguas, como en el caso de la Bahía de Gaira, que se encuentra bajo la influencia de las aguas que llegan desde el continente, se esperaría que su pólipos presenten una menor fertilidad que los de aquellas colonias que se encuentren en aguas cristalinas. Lo anterior se debe a que la energía que se utilizaría en producción de huevos y esperma en un periodo reproductivo debe ser invertida en el mantenimiento de la salud de los pólipos y las colonias (Harrison y Wallace 1990).



9. CONCLUSIONES

S. bournonii es una especie coralina con tipo de reproducción gonocórica y fertilización externa de gametos. En el Caribe colombiano el inicio de su actividad reproductiva tiene lugar en el mes de julio con el inicio de la oogénesis, precediendo el desarrollo de los gametos masculinos, reportados en el mes de octubre. Se presenta uniformidad en la fertilidad de los pólipos pertenecientes a las partes laterales y apicales de las colonias. El periodo de desove de la especie seguramente ocurre de manera simultánea con el de otras especies de la familia Faviidae desde el mes de septiembre, cuando sus gametos están maduros, las condiciones del ambiente son favorables, y se presentan los valores más altos de fecundidad. Se requieren estudios adicionales que contemplen un muestreo prolongado en tiempo y en individuos estudiados, así como la evaluación de los factores que intervienen en los procesos reproductivos de las especies coralinas en el Caribe.

10. RECOMENDACIONES

Fase de campo

Si se pretende describir la reproducción sexual de una especie escleractinia se debe estudiar un número de individuos representativo de las poblaciones en estudio ($n > 10$ colonias / mes). No basta obtener información de unas pocas colonias, ya que la variabilidad presentada dentro de las poblaciones es muy alta, por lo cual dar conclusiones respecto a las especies a partir de lo observado en unos pocos miembros de sus poblaciones no es adecuado. Sin embargo, en el caso de las especies coralinas las cuales están en el apéndice II de CITES y protegidas por la legislación en muchos casos no es factible recolectar un número alto de colonias, especialmente en especies que tienen pocas colonias como es el caso de *S. bournonii*.

Debido a que el proceso reproductivo de las especies coralinas es largo y que en el caso de corales desovadores sólo se presenta un ciclo de reproducción al año, se recomienda para próximos estudios en el tema realizar seguimiento de los individuos por un periodo anual que permita caracterizar por completo el desarrollo de los gametos femeninos y masculinos.

Se deben realizar estudios posteriores que evalúen la incidencia de enfermedades o perturbaciones ambientales sobre la fecundidad y fertilidad de la especie, en la zona de estudio.

Es necesario realizar seguimientos al proceso de desove de la especie con el fin de evaluar la sincronía entre colonias de diferentes sexos para determinar el éxito de la estrategia reproductiva de la especie (gonocorismo y fertilización externa de gametos). Adicionalmente se debe estudiar el reclutamiento de los individuos dentro de la población para determinar el real estado de la especie en el área de estudio.



Antes de utilizar un fijador determinado sobre las muestras coralinas, es necesario evaluar las variables involucradas en el proceso, como son el tiempo, la concentración y la cantidad de solución indicadas, para no destruir las estructuras del tejido requeridas en el estudio histológico de la especie. Se debe cuando sea posible, realizar premuestreos que permitan establecer un protocolo de fijación para la especie previo a la extracción de las muestras a estudiar (*e.g.* el tiempo de exposición, concentraciones, etc) y éste debe ser conocido por el personal que lo va a llevar a cabo el cual además debe contar con experiencia en este tipo de manipulación de tejido, para que errores surgidos en el camino puedan ser debidamente corregidos.

Fase de laboratorio

Antes de realizar el proceso histológico de las muestras de tejido coralino, es necesario realizar un estudio morfológico de los pólipos mediante disección en fresco de los mismos que permita determinar la ubicación de las gónadas así como la distribución de los gametos a lo largo de los mesenterios. Con base en esta información se debe determinar la ubicación de los tejidos dentro de la parafina así como los cortes histológicos necesarios para realizar un estudio reproductivo acertado.

Si el proceso histológico no va a ser realizado por el investigador del proyecto, es necesario que la persona encargada para este proceso técnico esté siendo dirigida por un biólogo que conozca tanto la morfología del coral, como el aspecto microscópico del tejido, con el fin de evitar malos resultados en la deshidratación y tinción de las placas, así como verificar la realización de las placas necesarias para obtener la información deseada.



11. BIBLIOGRAFÍA

ACERO, A., FLÓREZ-GONZÁLEZ, L. y ACOSTA, L. 1990. Los corales pétreos del género *Solenastrea* (Scleractinia: Faviidae) en la región de Santa Marta (Caribe colombiano). Rev. Biol. Trop. 38 (2A): 175 - 181.

ACOSTA, A. y ZEA, S. 1997. Sexual reproduction of the reef coral *Montastrea cavernosa* (Scleractinia: Faviidae) in the Santa Marta area, Caribbean coast of Colombia. Mar. Biol. 128: 141 - 148.

ALVARADO, E., ABELLO, M., Mc RAE, E., BAQUERO, J. y Mc ALLISTER, D. 2004a. Manual de cuidados para los arrecifes de coral del Gran Caribe. Fundación Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, Museo del Mar. Bogotá. 198 pp.

ALVARADO, E., GARCIA, R. y ACOSTA, A. 2004b. Sexual reproduction of the reef building coral *Diploria labyrinthiformis* (Scleractinia: Faviidae), in the colombian Caribbean. Rev. Biol. Trop. 52 (4): 859 - 868.

ALVARADO, E. 2008. Efecto de las lesiones naturales sobre la fecundidad: Implicaciones en la estructura de talla de una población del coral *M. annularis* en un arrecife degradado del Caribe Colombiano. Programa de Doctorado en Ciencias Biológicas. Facultad de Ciencias. Universidad del Valle. Santiago de Cali. 128 pp.

ANDRADE, C. 1993. Análisis de la velocidad del viento en el mar Caribe. Bol. Cient. CIOH. 13: 33 - 43.

ARDILA, N., NAVAS, G. y REYES, J. 2002. Libro rojo de invertebrados marinos de Colombia. INVEMAR: Instituto de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Colombia. Ministerio del Medio Ambiente. Bogotá, Colombia. 180 pp.



BABCOCK, R., BULL, G., HARRISON, P., HEYWARD, J., OLIVER, J., WALLACE, C. y WILLIS, B. 1986. Synchronous spawnings of 105 scleractinian coral species on the Great Barrier Reef. Mar. Biol. 90: 379 - 394.

BARRAGÁN, R. 2005. Determinación preliminar de abundancia, densidad y biomasa, del bacterioplancton presente en la Bahía de Gaira (Caribe Colombiano). Tesis para optar al título de Biólogo marino. Universidad Jorge Tadeo Lozano. Bogotá, D.C Colombia. 59 pp.

BARROS, M., OLIVEIRA, D. y BARREIRA, C. 2003. Sexual reproduction of the brazilian reef coral *Siderastrea stellata* verrill 1868 (Anthozoa, Scleractinia). Bull. Mar. Sci. 73 (3): 713 - 724.

BIRKELAND, C. 1997. Introduction (1-12). En: Life and death of coral reefs. Chapman and Hall. USA.

BRUSCA, R. y BRUSCA, G. 2003. Invertebrates. 2nd Edition. Sinauer Associates, Inc. U.S.A. 935 pp.

BUCHSBAUM-PEARSE, V y MUSCATINE, L. 1971. The role of symbiotic algae (zooxanthellae) in coral calcification. Biol. Bull. 141: 350 - 363.

BURKE, L. y MAIDENS, J. 2005. Arrecifes en peligro en el Caribe. World Resources Institute. Washington, D.C. 80 pp.

CARROL, A., HARRISON, P. y ADJEROUD, M. 2006. Sexual reproduction of *Acropora* at Moorea, French Polynesia. Coral Reefs. 25: 93 - 97.

CPMO a. 2006. CENTRAL DE PRONÓSTICOS METEOROLÓGICOS Y OCEANOGRÁFICOS. Boletín Meteomarino Mensual del Caribe colombiano. Octubre-

2006. No. 134. 27 pp. Disponible en línea en: <http://www.cioh.org.co/index>. Fecha de consulta: enero de 2009.

CPMO b. 2006. CENTRAL DE PRONÓSTICOS METEOROLÓGICOS Y OCEANOGRÁFICOS. Boletín Meteomarino Mensual del Caribe colombiano. Septiembre-2006. No. 135. 25 pp. Disponible en línea en: <http://www.cioh.org.co/index>. Fecha de consulta: enero de 2009.

CHÁVEZ-ROMO, H y REYES-BONILLA H. 2007. Reproducción sexual del coral *Pocillopora damicornis* al sur del Golfo de California, México. Ciencias Marinas. 33 (4): 495 - 501.

CHORNESKY, E. y PETERS, E. 1987. Sexual reproduction and colony growth in the scleractinian coral *Porites astreoides*. Biol. Bull. 172: 161 - 177.

DÍAZ-PULIDO, G. 1997. Informe Nacional sobre el estado de la biodiversidad en Colombia, Ecosistemas marinos y costeros. Programa de Biodiversidad y Ecosistemas Marinos, Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras – INVEMAR. 214 pp.

DONOSO, M. 1990. Circulación de las aguas en el mar Caribe. En: Memorias del VII Seminario Nacional de Ciencias y Tecnologías del Mar. Comisión colombiana de Oceanografía. Cali. 792 pp.

ERESKOVSKY, A. 2000. Reproduction cycles and strategies of the Cold-Water Sponges *Halisarca dujardini* (Demospongiae, Halisarcida), *Myxilla incrustans* and *Iophon piceus* (Demospongiae, Poecilosclerida) From the White Sea. Biol. Bull. 198: 77 – 87.

FADLALLAH, Y. 1983. Sexual reproduction, development and larval biology in scleractinian corals. Coral Reefs, 2: 129 - 150.



- FAN, T. y DAI, C. 1998. Sexual reproduction of the scleractinian coral *Merulina ampliata* in Southern Taiwan. Bull. Mar. Sci. 62 (3): 897 - 904.
- FRANCO, A. 2005. Oceanografía de la Ensenada de Gaira – El Rodadero, más que un centro turístico en el Caribe colombiano. Fundación Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, Bogotá. 58 pp.
- FUJITA, R., EPSTEIN, M., GOREAU, T., GJERDE, K. 1992. A guide to Protecting coral Reefs. Nairobi, Kenya: United Nations Environment Programme.
- GALLOWAY, S., WORK, T., BOCHSLER, V., HARLEY, R., KRAMARSKY-WINTERS, E., McLAUGHLIN, S., METEYER, C., MORADO, F., NICHOLSON, J., PARNELL, P., PETERS, E., REYNOLDS, T., ROTSTEIN, D., SILEO, L. y WOODLEY, C. 2007. Coral Disease and Health Workshop: Coral Histopathology II. NOAA Technical Memorandum NOS NCCOS 56 and CRCP 4. National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA. Silver Spring, MD. 84 pp.
- GARCÍA DEL MORAL, R. 1993. Manual de laboratorio de anatomía patológica. Interamericana. Mc. Graw Hill. 450 pp.
- GARZÓN-FERREIRA, J. 1998. Bahía de Chengue, Parque Natural Tayrona, Colombia: 115-125. En: Kjerfve, B. (ed.): CARICOMP-Caribbean coral reef, seagrass and mangrove sites. UNESCO, París, Coastal Region and Small Islands Papers. 3: 345 pp.
- GIESE, A., y PEARSE, J. 1974. Reproduction of marine invertebrates. Acoelomate and Pseudoacoelomate Metazoans. Academic Press. New York. Vol. 1: 133 - 191.
- GOFFREDO, S., ARNONE, S. y ZACCANTI, F. 2002. Sexual reproduction in the Mediterranean solitary coral *Balanophyllia europaea* (Scleractinia, Dendrophylliidae). Mar. Ecol. Prog. Ser. 229: 83 - 94.



GOFFREDO, S., AIRI, V., RADETIC, J. y ZACCANTI, F. 2006. Sexual reproduction of the solitary sunset cup coral *Leptosammia pruvoti* (Scleractinia: Dendrophylliidae) in the Mediterranean. 2. Quantitative aspects of the annual reproductive cycle. Mar. Biol. 148: 923 - 931.

GÓMEZ, E. y RICO, V. 2006. Estructura de la comunidad de macroinvertebrados bioerosionadores y fauna asociada a esqueletos de corales masivos *Diploria strigosa* (Dana, 1848), *Montastraea cavernosa* (Linnaeus) y el complejo *Montastraea annularis-faveolata-franksi* (Ellis & Solander, 1786, Gregory, 1895) en la bahía de Gaira, Caribe colombiano. Tesis de grado para optar al título de Biólogo marino. Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, Facultad de Biología Marina, Santa Marta. 90 pp.

HALL, V. y HUGHES, T. 1996. Reproductive strategies of modular organisms: comparative studies of reef building corals. Ecology. 77: 950 - 963.

HARRISON, P. 1985. Sexual characteristics of scleractinian corals: systematic and evolutionary implications. Proc. 5th Int. Coral Reef Symp. 1: 449 - 455.

HARRISON, P. y WALLACE, C. 1990. Reproduction, dispersal and recruitment of scleractinian corals. En: Dubinsky, Z. (Ed.) Ecosystems of the World. Coral reefs. Elsevier Science Publishers. New York. Vol. 25: 133 - 207.

HUBBARD, D. 1997. Reefs as Dynamic Systems. En: Birkeland. Life and Death of Coral Reefs. Chapman and Hall. USA. 43 - 67.

HUMASON, G. 1979. Animal tissue techniques. W. H. Freeman & Co., San Francisco. 572 pp.



INVEMAR. 2003. Informe del Estado de los Ambientes Marinos y Costeros en Colombia: Año 2002 (Eds.) Medellín, Servigráficas. Serie de Publicaciones Periódicas; No. 8. 178 pp.

KLEYPAS, J. y HOEGH-GULDBERG, O. 2008. Coral Reefs and Climate Change: Susceptibility and Consequences. En: WILKINSON, C. y SOUTER, D. 2008. Status of Caribbean coral reefs after bleaching and hurricanes in 2005. Global Coral Reef Monitoring Network, and Reef and Rainforest Research Centre, Townsville. 19-29.

KOJIS, B., y QUINN, N. 1982. Reproductive ecology of two Faviid corals (Coelenterata: Scleractinia). Mar. Ecol. Prog. Ser. 8: 251 - 255.

KOJIS, B. y QUINN, N. 1984. Seasonal And Depth variation in fecundity of *Acropora palifera* at Two Reefs in Papua New Guinea. Coral Reefs. 3: 165 - 172.

KRAMARSKY-WINTERS, E. y LOYA, Y. 1998. Reproductive strategies of two fungiid corals from the northern Red Sea: environmental constraints? Mar. Ecol. Prog. Ser. 174: 175 - 182.

KRUGER, A. y SCHLEYER, M. 1998. Sexual reproduction in the coral *Pocillopora verrucosa* (Cnidaria: Scleractinia) in KwaZulu-Natal, South Africa. Mar. Biol. 132: 703 - 710.

LAM, K. 2000. Sexual reproduction of a low - temperature tolerant coral *Oulastrea crispata* (Scleractinia, Faviidae) in Hong Kong, China. Mar. Ecol. Prog. Ser. 205: 101 - 111.

LEVINTON, J. 1982. Coral reefs, community structure, diversity patterns and biogeography. En: Marine Ecology. Prentice Hall. New Jersey. 419 - 441.



- LÓPEZ, L y RENDÓN, M. 1998. Estructura, distribución, y estado actual de las comunidades coralinas de la Ensenada del Rodadero, Caribe colombiano. Universidad Jorge Tadeo Lozano. Facultad de Biología Marina. Seminario de investigación II. Santa Marta.
- LOYA, Y. 1976. The Red Sea coral *Stylophora pistillata* is an r-strategist. *Nature*, Lond., 259: 478 - 480.
- MARSHALL, A. y CLODE, P. 2002. Effect of increased calcium concentration in sea water on calcification and photosynthesis in the scleractinian coral *Galaxea fascicularis*. *Journ. Exp. Biol.* 205: 2107 - 2113.
- MANGUBHAI, S. y HARRISON, P. 2006. Seasonal patterns of coral reproduction on equatorial reefs in Mombasa, Kenya. *Proc. 10th Int. Coral Reef Symp.* 106 - 114.
- MANGUBHAI, S. y HARRISON, P. 2008. Gametogenesis, spawning and fecundity of *Platygyra daedalea* (Scleractinia) on equatorial reefs in Kenya. *Coral reefs*. 27: 117 - 122.
- MELO, J. 2006. Meteorología marina. En: IDEAM. Atlas Climatológico de Colombia. Disponible en línea en: <http://www.ideam.gov.co/atlas/mclima.htm#up>. Fecha de consulta: agosto 8 de 2008.
- MEJIA-NIÑO, N. 2001. Efecto e incidencia de las interacciones alga-coral en las comunidades coralinas de dos bahías de la región de Santa Marta, Caribe colombiano, con distinto grado de influencia antropogénica. Trabajo de grado para optar al título de Biólogo Marino. Universidad Jorge Tadeo Lozano. Facultad de Biología Marina. Santafé de Bogotá. 188 pp.
- MENDES, J. y WOODLEY, J. 2002 Timing of reproduction in *Montastraea annularis*: relationship to environmental variables. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 227: 241 - 251.



MERTINS, G. 1972. El Rodadero (Santa Marta), centro turístico o colonia de vacaciones? Instituto Colombo-Alemán de Investigaciones Científicas. Punta Betín, 6: 151 - 168.

OLIVER, J., BABCOCK, R., HARRISON, P. y WILLIS, B. 1988. Geographic extent of mass coral spawning: clues to ultimate causal factors. Proc. 6th Int. Coral Reef Symp. 60: 803 - 810.

PALUMBI, S. 1994. Genetic divergence, reproductive isolation and marine speciation. Annu. Rev. Ecol. Syst. 25: 57-572.

PARKER, N., MLADEOV, P., y GRANGE, K. 1997. Reproductive biology of the anthipatarian black coral *Antipathes fiordensis* in Doubtful Sound, Fiordland, New Zealand. Mari. Biol. 130:11 - 22.

PERILLA, K. y SANTACRUZ, A. 2007. Reproducción sexual de los corales hermatípicos *Eusmilia fastigiata* y *Solenastrea bournonii* (Scleractinia: Caryophyllidae-Faviidae) en el área de Santa Marta, Caribe colombiano. Tesis para optar al título de Biólogo marino. Universidad Jorge Tadeo Lozano. Santa Marta, Colombia. 169 pp.

PETERS, E. 1984. A survey of the normal and pathological histology of scleractinian corals with emphasis on the effects of sedimentation stress. A dissertation submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of doctor of philosophy in Biological Oceanography. University of Rhode Island, Kingston. 285 pp.

PETERS, E. y PRICE, K. 2005. Histotechniques and Histology of Anthozoans. Coral Tissue slide reading workshop. Mote Marine Laboratory. Tropical research Laboratory. Summerland K. Florida. 54 pp.



- RAMÍREZ, G. 1990. Distribución de nutrientes inorgánicos en las aguas costeras de la región de Santa Marta, Caribe colombiano. En: Memorias del VII Seminario Nacional de Ciencias y Tecnologías del Mar. Comisión colombiana de Oceanografía. Cali. 792 pp.
- REYES, J., y SANTODOMINGO, N. 2002. Manual de identificación CITES de Invertebrados Marinos de Colombia- Medellín, Servigráficas. 97 pp.
- RICHMOND, R. 1997. Reproduction and recruitment in corals: Critical links in the persistence of reefs. En: Birkeland 1997. Life and death of Coral Reefs. Chapman and Hall. USA: 175 - 196.
- RICHMOND, R. y HUNTER, C. 1990. Reproduction and recruitment of corals: Comparisons among the Caribbean, the Tropical Pacific, and the Red Sea. Mar. Ecol. Prog. Ser. 60: 185 - 203.
- RINCKEVICH, B. y LOYA, Y. 1979a. The reproduction of the Red Sea coral *Stylophora pistillata*. I. Gonads and planulae. Mar. Ecol. Prog. Ser. 1: 133 - 144.
- RINCKEVICH, B. y LOYA, Y. 1979b. The Reproduction of the Red Sea coral *Stylophora pistillata*. II. Synchronization in Breeding and seasonality of planulae shedding. Mar. Ecol. Prog. Ser.1: 145 – 152.
- RINKEVICH, B. y LOYA, Y. 1987. Variability in the pattern of sexual reproduction of the coral *Stylophora pistillata* at Eilat, Red Sea: A long term study. Biol. Bull. 173: 335 - 344.
- RINKEVICH, B. 1996. Do reproduction and regeneration in damaged corals compete for energy allocation? Mar. Ecol. Prog. Ser. 143: 297 - 302.



RODRÍGUEZ-RAMÍREZ, A., REYES-NIVIA, M., NAVAS-CAMACHO, R., VEGA-SEQUEDA, J., OLAYA, J., DUQUE, G., GARZÓN-FERREIRA, J., ZAPATA, F., OROZCO, C. 2005. Estado de los Arrecifes Coralinos de Colombia. Consideración Inicial al Estado de los Arrecifes en el 2005 Monitoreo SIMAC y Evaluación en el Área de Santa Marta. En: INVEMAR. Informe del Estado de los Ambientes Marinos y Costeros en Colombia. Serie de Publicaciones periódicas, INVEMAR, No. 8. Santa Marta. 360 pp.

RODRÍGUEZ-RAMÍREZ, A., BASTIDAS, C., RODRÍGUEZ, R., LEO, Z., KIKUCHI, R., OLIVEIRA, M., GIL, D., GARZÓN-FERREIRA, J., REYES-NIVIA, M., NAVAS-CAMACHO, R., SANTODOMINGO, N., DIAZ-PULIDO, G., VENERA-PONTON, D., FLOREZ-LEIVA, L., RANGEL-CAMPO, A., OROZCO, C., MÁRQUEZ, J., ZEA, S., LÓPEZ-VICTORIA, M., SÁNCHEZ, J. y HURTADO, M. 2008. The effects of Coral Bleaching in Southern Tropical America: Brazil, Colombia, and Venezuela. En: WILKINSON, C. y SOUTER, D. 2008. Status of Caribbean coral reefs after bleaching and hurricanes in 2005. Global Coral Reef Monitoring Network, and Reef and Rainforest Research Centre, Townsville. 105-114.

SAKAI, K. 1997. Gametogenesis, spawning, and planula brooding by the reef coral *Goniastrea aspera* (Scleractinia) in Okinawa, Japan. Mar. Ecol. Prog. Ser. 151: 67 - 72.

SAKAI, K. 1998. Effect of Colony Size, Polyp Size, and Budding Mode on Egg production in a Colonial Coral. Biol. Bull. 195: 319 - 325.

SAMMARCO, P. 1982. Polyp bail-out : an escape response to environmental stress and a new means of reproduction in corals. Mar. Ecol. Prog. Ser. 10: 57-65.

SÁNCHEZ, J., ALVARADO, E., GIL, M., CHARRY, H., ARENAS, O., CHASQUI, L. Y GARCÍA, R. 1999. Synchronous mass spawning of *Montastraea annularis* (Ellis &



Solander) and *Montastraea faveolata* (Ellis & Solander) (Faviidae: Scleractinia) at Rosario Islands, Caribbean coast of Colombia. Bull. Mar. Sci. 65(3): 873 - 879.

SHLESINGER, Y., GOULET, T. y LOYA, Y. 1998. Reproductive patterns of scleractinian corals in the northern Red Sea. Mar. Biol. 132: 691 - 701.

SOONG, K. 1991. Sexual reproductive patterns of shallow – water reef corals in Panama. Bull. Mar. Sci. 49: 832 – 846.

SOONG, K. y LANG, J. 1992. Reproductive integration in reef corals. Biol. Bull. 183: 418 - 431.

SZMANT-FROELICH, A., YEVICH, P. y PILSON, M. 1980. Gametogenesis and early development of the temperate coral *Astrangia danae* (Anthozoa: scleractinia). Biol. Bull. 158: 257 - 269.

SZMANT-FROELICH, A., REUTER, M. y RIGGS, L. 1985. Sexual Reproduction of *Favia fragum* (Esper): lunar patterns of gametogenesis, embryogenesis and planulation in Puerto Rico. Bull. Mar. Sci. 37 (3): 880 - 892.

SZMANT, A. 1986. Reproductive ecology of Caribbean reef corals. Coral Reefs. 5: 43 - 54.

SZMANT, A. 1991. Sexual reproduction by the Caribbean reef corals *Monstastrea annularis* and *M. cavernosa*. Mar. Ecol. Prog. Ser. 74: 13 - 25.

van VEGHEL, M. 1994. Reproductive characteristics of the polymorphic Caribbean reef building coral *Montastraea annularis*. I. Gametogenesis and spawning behavior. Mar. Ecol. Prog. Ser. 109: 209 - 219.



- van VEGHEL, M. y BAK, R. 1994. Reproductive characteristics of the polymorphic Caribbean reef building coral *Montastraea annularis*. III. Reproduction in damaged and regenerating colonies. Mar. Ecol. Prog. Ser. 109: 229 - 233.
- VARGAS-ÁNGEL, B., COLLEY, S., HOKE, M. y THOMAS, J. 2006. The Reproductive seasonality and gametogenic cycle of *Acropora cervicornis* off Broward County, Florida, USA. Coral Reefs. 25: 110 - 122.
- VERMEIJ, M., SAMPAYO, E., BROKER, K. y BAK, R. 2004. The reproductive biology of closely related coral species: gametogenesis in *Madracis* from the Southern Caribbean. Coral Reefs. 23: 206 - 214.
- VERON, J. 1995. Corals in space and time: biogeography and evolution of the Scleractinia. Cornell Univ. Press, Ithaca, NY. 321 pp.
- von PRAHL, H. y ERHARDT, H. 1985. Colombia: Corales y arrecifes coralinos. Fondo para la Protección del Medio Ambiente "José Celestino Mutis" FEN COLOMBIA. Editorial Presencia, Ltda. Bogotá. 295 pp.
- WALLER, R., TYLER, P., y GAGE, J. 2002. Reproductive ecology of the deep-sea scleractinian coral *Fungiacyathus marenzelleri* (Vaughan, 1906) in the northeast Atlantic Ocean. Coral Reefs. 21: 325 - 331.
- WALLER, R., TYLER, P. y GAGE, J. 2005. Sexual reproduction in three hermaphroditic deep-sea *Caryophyllia* species (Anthozoa: Scleractinia) from the NE Atlantic Ocean. Coral Reefs. 24: 594 - 602.
- WARREN, A. 1959. Textbook of Comparative Histology. Oxford University Press. U.S.A. 652 pp.

- WEIL, E. 2004. Coral Reef Diseases in the Wider Caribbean. En: Rosenberg, E., y Loya, Y. (Eds.). Coral health and disease. Springer, Germany. 35 - 68.
- WILLIS, B., BABCOCK, R., HARRISON, P., OLIVER, J. y WALLACE, C. 1985 Patterns in the mass spawning of corals on the Great Barrier Reef from 1981 to 1984. Proc. 5th Inter. Coral Reef Cong. 4: 343 - 348.
- WILKINSON, C. y BUDDEMEIER, R. 1994. Global climate change and coral reefs: Implications for people and reefs. Report of the UN EP-IOC-ASPEI-UCN Global Task Team on the Implications of Climate Change on Coral Reefs. 124 pp.
- WILKINSON, C. y SOUTER, D. 2008. Status of Caribbean coral reefs after bleaching and hurricanes in 2005. Global Coral Reef Monitoring Network, and Reef and Rainforest Research Centre, Townsville. 152 pp.
- WILSON, J. y HARRISON, P. 2003. Spawning patterns of scleractinian corals at the Solitary Islands – A high latitude coral community in eastern Australia. Mar. Ecol. Prog. Ser. 260: 115 - 123.
- WYERS, S. 1985. Sexual reproduction of the coral *Diploria strigosa* (Scleractinia: Faviidae) in Bermuda: Research in Progress. Proc. 5th. Inter. Coral Reef Cong. 4: 301 - 306.
- WYERS, S., BARNES, H. y SMITH, S. 1991. Spawning of hermatypic corals in Bermuda: a pilot study. Hydrobiologia 216/217: 109 - 116.
- ZAR, J. 1999. Biostatistical Analysis. Prentice-Hall International, Fourth Edition. New Jersey. 663 pp.



Anexo A. Fijación tisular

García del Moral (1993) y Humason (1979)

El proceso de fijación se realiza con el fin de detener los procesos de degeneración del tejido acaecido tras la muerte celular, permitiendo que la arquitectura y composición tisular se conserven de manera cercana a como se encontraban en el organismo vivo.

Los fijadores deben reunir básicamente las siguientes condiciones:

- Penetrar rápidamente en el tejido para prevenir los cambios que suceden tras la muerte de las células.
- No generar distorsiones que degeneren la composición tisular.
- Coagular en sustancias insolubles los componentes celulares.
- Proteger el tejido de la distorsión y encogimiento durante los procesos de deshidratación con alcoholes, la impregnación de los mismo en parafina caliente y el posterior corte en el micrótom.
- Permitir una clara observación e identificaron de los componentes celulares, una vez el proceso histológico ha concluido.

Los fijadores más efectivos son aquellos que combinan proteínas coagulantes y no coagulantes. Sin embargo cualquiera que se utilice para fijar tejidos, causará cambios en los componentes proteínicos de las células, por lo tanto su elección deberá realizarse con base en el objetivo del estudio, teniendo en cuenta cuáles son los factores adversos que trae con su utilización.

Algo muy importante que se debe tener en cuenta es que los tejidos deben colocarse en las solución fijadora lo mas pronto posible luego de haberse dado la muerte celular, para impedir putrefacción y autólisis tisular.



Solucion fijadora de Helly (formol de Zenker).

Fija por periodos de 6 a 24 h. si los tejidos se ven demasiado endurecidos permanecen por un máximo de 18 h, tras lo cual se introducen en solución de dicromato de potasio al 3%.

Sus componentes son:

Dicromato de potasio	2,5 g.
Sulfato de sodio	1,0 g.
Cloruro de mercurio	4,0 – 5,0 g.
Agua destilada	100 ml.
Formalina concentrada	5 ml.

La formalina reduce el dicromato por lo cual no se debe dejar en soluciones permanentes. Esta solución es excelente para fijar huesos, órganos y discos intercalares.

Una vez transcurrido el tiempo establecido para una correcta fijación de los tejido es recomendable lavar a profundidad las muestras con agua corriente por un periodo de 24 horas.



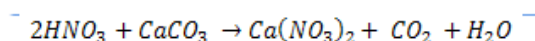
Anexo B. Decalcificación de muestras coralinas.

Tomado de Peters y Price (2005).

El proceso de decalcificación de los tejidos de organismos como esponjas y corales, se realiza con el fin de eliminar las espículas y el carbonato de calcio que pudieran interferir en la realización de los cortes histológicos y en la observación de los tejidos en el microscopio.

Este es un proceso que debe realizarse de manera cuidadosa puesto que la sobreexposición del tejido al agente ácido, puede disminuir las propiedades naturales de la tinción, lo cual afectará la observación y reconocimiento de las estructuras microscópicas.

En la reacción producida durante el proceso de decalcificación el ácido remueve el calcio de su unión con el carbonato y se forma una nueva sal de calcio que es soluble en agua. La ecuación se muestra a continuación:





Anexo C. Tinción con Hematoxilina-eosina.

García del Moral (1993)

La tinción de tejidos con hematoxilina-eosina ha sido desde hace mucho tiempo una de las coloraciones en conjunto más empleadas por los histopatólogos, debido a los excelentes resultados y colores que se obtienen de las estructuras por la eosina y la excelente definición nuclear dada por la hematoxilina.

De acuerdo al tipo y sus componentes, esta tinción recibe diferentes nombres en honor a quienes elabora la eosina o la hematoxilina. Así se conocen tinción de Harris, Mayer y Ehrlich. Sin embargo el procedimiento para teñir las secciones tisulares es muy similar. En general el proceso comienza con una primera fase en la que se colorean los núcleos celulares gracias a la hematoxilina, tras lo cual se obtiene el contraste citoplasmático y demás componentes celulares mediante la eosina.

Para llevar a cabo el proceso de tinción, los tejidos deben ser previamente fijados con cualquier solución a excepción de aquellas que contengan tetróxido de osmio. La fijación resulta ser uno de los pasos cruciales para obtener una tinción de alta calidad, de lo contrario las estructuras no adquirirán los colores indicados por la técnica:

- Núcleos azul/negro
- Estructuras restantes rosado o rojo



Anexo D. Conversiones utilizadas para la medición de los gametos dentro de los mesenterios.

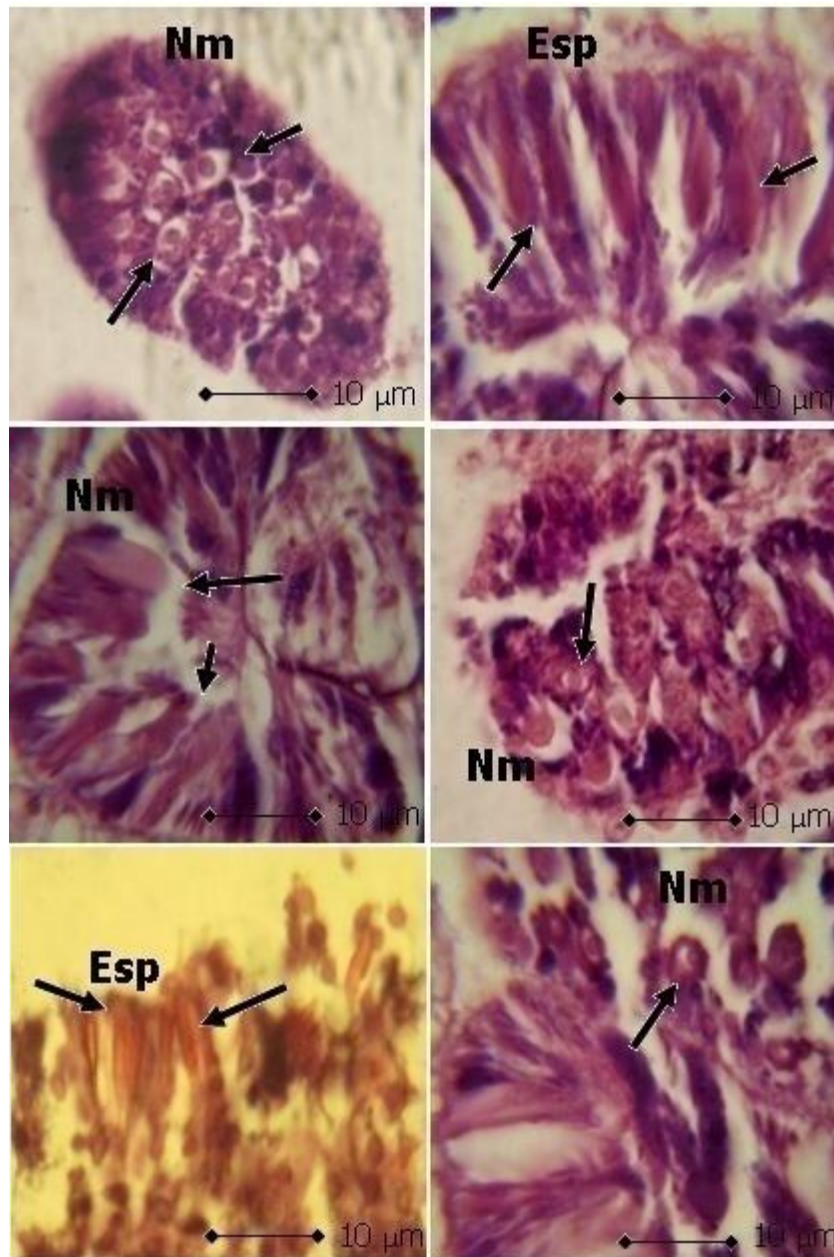
Escala graduada respecto al micrómetro Warszawa PZ0.

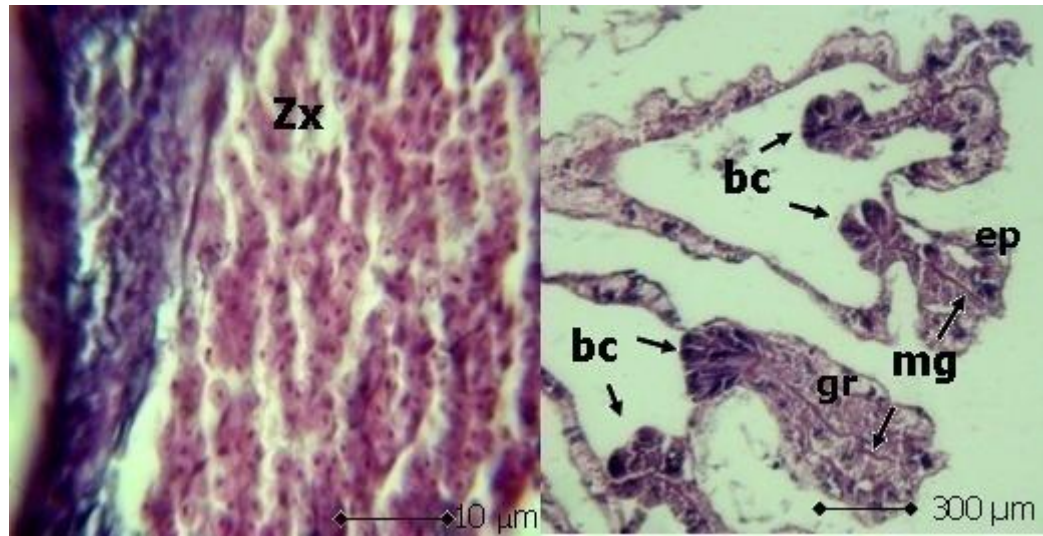
Aumento objetivo	4x	10x	40x	100x
Aumento ocular	15x	15x	15x	15x
División del micrómetro	100 μm	86,6 μm	22 μm	8,6 μm
División del calibrador	1 μm	0,86 μm	0,22 μm	0,086 μm



Anexo E. Estructuras adicionales reconocidas dentro de los pólipos de *S. bournonii*.

Nm. Nematocitos; **Esp.** espirocistos; **Zx.** zooxantelas; **bc.** banda cnidogandular;
mg. mesoglea; **ep.** epidermis; **gr.** gastrodermis.







Anexo F. Datos utilizados en la correlación de Spearman que determina la dependencia de los pólipos fértiles e infértiles respecto al tiempo.

Mes	Pólipos totales	Pólipos fértiles	Pólipos infértiles
Julio	8	1	7
Agosto	6	3	3
Septiembre	11	9	2
Octubre	17	17	0
Noviembre	2	1	1
Total	43	30	13



Anexo G. Tabla de contingencia que relaciona la posición de los pólipos (fértil e infértiles) dentro de la colonia (zona lateral y apical).

Pólipos	Fértiles	Infértiles	Total
Laterales	17	8	25
Apicales	14	5	18
Total	31	13	44

