

Aspectos reproductivos de *Gorgonia ventalina* (Linneaus, 1758) en Santa Marta



**ASPECTOS REPRODUCTIVOS DEL ABANICO DE MAR *Gorgonia ventalina*,
Linneaus, 1758 (CNIDARIA: GORGONIIDAE) EN SANTA MARTA CARIBE
COLOMBIANO**

MARÍA ANTONIETA SALCEDO BAHAMÓN



**UNIVERSIDAD DE BOGOTÁ JORGE TADEO LOZANO
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES
PROGRAMA DE BIOLOGÍA MARINA
SANTA MARTA
2009**

Salcedo-Bahamón (2009)

Aspectos reproductivos de *Gorgonia ventalina* (Linneaus, 1758) en Santa Marta 

**ASPECTOS REPRODUCTIVOS DEL ABANICO DE MAR *Gorgonia ventalina*,
Linneaus, 1758 (CNIDARIA: GORGONIIDAE) EN SANTA MARTA CARIBE
COLOMBIANO**

MARÍA ANTONIETA SALCEDO BAHAMÓN

Trabajo de grado para optar al título de Biólogo Marino

Director

ADOLFO SANJUAN MUÑOZ

Biólogo Marino. M. Sc.

Codirector

NELSON ARTURO MANRIQUE RODRÍGUEZ

Biólogo Marino. M. Sc.

Asesora

KATRIN GISSETH PERILLA ROCHA

Bióloga Marina

UNIVERSIDAD DE BOGOTÁ JORGE TADEO LOZANO

FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES

PROGRAMA DE BIOLOGÍA MARINA

SANTA MARTA

2009

Salcedo-Bahamón (2009)

Nota de aceptación:

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Santa Marta, Octubre 6 2009

Aspectos reproductivos de *Gorgonia ventalina* (Linneaus, 1758) en Santa Marta 

En memoria de:

***MI JULY* (Q. E. .P. D.)**

***MI TÍO JAIME* (Q. E. P. D)**

***Juan Fe* (Q. E. P. D.)**

***Diego* (Q. E. P. D.)**

***Pachito* (Q. E. P. D.)**

†

Aspectos reproductivos de *Gorgonia ventalina* (Linneaus, 1758) en Santa Marta 

♪”Hay hombres que luchan un día y son buenos. Hay otros que luchan un año y son mejores. Hay quienes luchan muchos años y son muy buenos. Pero hay los que luchan toda la vida esos son los imprescindibles”- **Silvio Rodríguez** - ♪

Bertor Brecht.

“Todo está en manos del hombre y por cobardía deja que todo se le escape...qué es lo que más teme el hombre? Un nuevo paso, una nueva palabra suya, eso es”

Fedor Dostoievski.

“Un científico tiene la libertad, y debe tomársela, de plantear cualquier cuestión, de dudar de cualquier afirmación, de buscar cualquier evidencia, de corregir errores”.

Robert Oppenheimer.

“Las palabras todavía no son hechos”.

Fedor Dostoievski.

“El sufrimiento y el dolor son siempre necesarios para la conciencia de altos vuelos y para el corazón profundo”.

Fedor Dostoievski.

“Hay una fuerza motriz más poderosa que el vapor, la electricidad y la energía atómica: LA VOLUNTAD”

Albert Einstein.

“La alegría de ver y entender es el más perfecto DON de la NATURALEZA”

Albert Einstein.

AGRADECIMIENTOS

- Al Dios de la vida y del amor que enriquecieron mi espíritu e iluminaron mi camino durante mi trabajo de grado. A la Virgen María, la madre hermosa que tenemos todos; mediadora en cada uno de los pasos de mi vida y que de muchas formas me ha ayudado a aclarar, gozar y amar más mi dulce y tierno regalo de la vida.
- A mi madre por su paciencia y los consejos que sólo ella sabría dar. A toda mi familia por su incondicional apoyo.
- A mi padre que ante todo ha sido uno de mis principales motores durante todo este proceso, con sus motivadores consejos y siempre diciéndome que no hay imposibles en la vida, que mis prioridades son y deberán ser ante todo la biología marina sin importar los obstáculos que hayan en el camino hacia ello. Su apoyo ha sido imprevisible e inigualable para mí, lo AMO con todas las fuerzas de mi corazón, de veras GRACIAS PAPÁ!
- A mi director Adolfo Sanjuan Muñoz por todo el entendimiento y buenas enseñanzas que me transmitió en este periodo de tiempo, no tengo palabras para describirlas ni agradecerlas; se comportó como un padrino para mí, en ocasiones sentí que era un ángel que Dios había enviado para mí. Fue para mí un honor ser su tesista, quizás no estuve a su alcance pero di todo mi corazón y energía, son dones que poseo y quise transmitirle mi cariño en cada momento.
- A Nelson en su eterna constancia de vislumbrarme el mundo de la ciencia y la importancia de los hechos y resultados: “La historia no tiene tiempo para ser justa. Como frío cronista no toma más que los resultados”. Esa ha sido su permanente enseñanza y se la agradezco enormemente.
- A Katrin, mi asesora e incondicional colaboradora; que más que eso fue un sol que iluminó el sendero del camino hacia la finalización de este proyecto.

- A los colaboradores durante las salidas de campo: Edwin, Camila, “chiqui”, Michael, Carlos y Edgar.
- A mis compañeros, amigos y exprofes: Miguel Ángel Gonzáles, Lina Duque, Sergio Balaguera, Catalina Ángel, Beatriz Mejía, Carmen Lucia Noriega, Ana María Giraldo, Mónica Sánchez, Amancay Cepeda, Damian Arévalo, José Sady Bernal, Paul Gómez, Olga Camacho y Juan Carlos Sandino; por contar con su apoyo durante trabajo de grado.
- Mis mejores amigas desde la infancia: Jimena Villegas y Natalia Pérez; que desde la distancia no dejaron de estar pendientes de mis avances así como de los fallas durante la tesis y es justo cuando uno más necesita de sus verdaderos amigos.
- Gracias a Yehuda Benayahu, especialista en corales blandos del mar Rojo con quien me contacté y muy generosamente me envió desde Telaviv, Israel; sus artículos más relevantes a la actividad reproductiva de los corales blandos. Fue de gran ayuda la información enviada y las dudas que me despejó.
- Esther Peters fue otra especialista que me me ayudo durante el transcurso de la tesis, a ella le agradezco en la identificación de ciertas estructuras en las placas histológicas y el contacto con Yehuda Benayahu y Katherine Musik.
- Katherine Musik es una especialista en conservación de corales, fue muy amable desde el momento en que nos empezamos a escribir hasta hoy. Me envió un libro que me sirvo de guía durante el desarrollo de toda la tesis. Muchas Gracias! Porque por especialistas como Yehuda, Esther y Katherine es que muchos estudiantes estamos motivados y sentimos ganas de motivar.
- A todas las personas que vienen y van por mi vida; les doy algo de mi corazón. GRACIAS, por entrar en mi vida cuando fue justo y preciso. De

ellas siempre recibiré lo mejor, de mi tendrán lo mejor. Siempre hay que sumar en la vida, nunca restar. ESO ME ENSEÑO ESTA TESIS. SIMPLE.

- Agradezco la fortuna de haber podido contar con las fuentes de financiación y apoyo logístico de Conservación Internacional Colombia (CIC), la Universidad de Los Andes (UNIANDES), la Fundación Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano (UJTL) y la Fundación Sila Kangama para la realización de este proyecto.

RESUMEN

Se monitorearon colonias de *Gorgonia ventalina* entre los meses de mayo y noviembre (2006) en los sectores de Punta Betín (PB) e Inca Inca (II). Mediante 126 placas histológicas, se describió la morfología de sus gametos y sus estadios de maduración. Se observó la anatomía interna, se estableció la estrategia reproductiva tipo gonocórica, con desarrollo sincrónico de ovocitos y sacos espermáticos. Se infirió el desove para los meses de agosto a noviembre durante la época lluviosa, basado en los altos índices de fecundidad (IF) para colonias femeninas ("f") y masculinas ("m"). Comparando fecundidades por sector, las colonias de PB no presentaron diferencias significativas con respecto a las de II, según la naturaleza de su género (femenino "f" y/o masculino "m"). El análisis temporal demuestra que no hubo diferencias estadísticamente significativas entre el IF y cada uno de los meses en los cuales se tomaron las muestras histológicas. El género podría influenciar de algún modo en la variable IF, a voluntad del tiempo y del espacio. Sin embargo, se especula que la fecundidad podría estar sujeta a cambios ambientales y biológicos locales como la descarga de ríos, influencia antrópica y competencia entre otros. La comparación estadística entre el IF y las secciones de la colonia (basal, b; medial, m; y apical, a); demostró que no hay diferencias estadísticamente significativas entre ninguna de las secciones de la colonia de *G. ventalina* y sus índices cuantificados para las secciones basal, medial y apical en colonias con género sexual femenino. Mientras en las colonias de género masculino si se encontraron diferencias significativas; sin tener en cuenta los sectores.

Palabras claves: Reproducción, Abanico de mar, *Gorgonia ventalina*, Santa Marta, Caribe.

SUMMARY

From May to November (2006), colonies of *Gorgonia ventalina* were monitored in the areas of Punta Betín (PB) and Inca Inca (II) 126 histological plates were used to describe the gamete morphology and maturity stages of the species. The internal anatomy was observed and established the gonoric reproductive strategy from the synchronized development of oocytes and sperm sacs. The spawning of female and male colonies was inferred based on their high fertility rates of the rainy season (from august to november). The fertility rate in each gender did not show significant differences between the colonies of both studied areas (PB and II).. The temporal analysis shows no statistically significant differences between the IF and each of the months in which the histological samples were taken. On a time and space baseline, the gender could somehow be influencing the IF variable,. However it is speculated that fertility can be affected by biological and environmental changes such as rivers discharge, human impact and competition, among others. There is not a statistical difference between the sections (basal, medial, and apical) and the IF of female colonies of *G. ventalina*, while in male colonies significant differences were found, in spite of the sectors.

Key Words: Reproduction, Sea fans, *Gorgonia ventalina*, Santa Marta, Colombian Caribbean.

TABLA DE CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN JUSTIFICADA.....	1
2	MARCO TEÓRICO Y ESTADO DEL ARTE	5
2.1	Área de Estudio	5
2.2	Biología y Ecología de <i>G. ventalina</i>	8
2.3	Morfología Interna y Reproducción en los Gorgonáceos	9
2.4	Amenazas y Causas de Deterioro en <i>G. ventalina</i>	13
2.5	Antecedentes	13
3	PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	18
4	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	19
5	HIPÓTESIS	20
6	METODOLOGÍA	21
6.1	Fase de Campo	21
6.1.1	Ubicación y reconocimiento de las colonias	21
6.1.2	Colecta de muestras	21
6.2	Fase de Laboratorio	22
6.2.1	Tratamiento de muestras para cortes histológicos.....	23
6.2.2	Observaciones de placas mediante microscopio óptico.....	25
6.3	Fase de Gabinete.....	26
7	RESULTADOS	30
7.1	Características Internas de los Pólipos de <i>G. ventalina</i>	30
7.2	Estadios de Desarrollo Gonadal de <i>G. ventalina</i>	37
7.2.1	Ovocitos.....	58
7.2.2	Sacos espermáticos.....	50
7.3	Actividad reproductiva de <i>G. ventalina</i>	57
8	DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	74
8.1	Características internas de los pólipos de <i>G. ventalina</i>	74

8.2	Estadios de desarrollo gonadal de <i>G. ventalina</i>	76
8.3	Actividad reproductiva de <i>G. ventalina</i>	80
CONCLUSIONES.....		97
PLAN DE ACCIÓN PROPUESTO, SUGERENCIAS Y RECOMENDACIONES...		99
ANEXOS.....		100
BIBLIOGRAFÍA.....		103

LISTADO DE FIGURAS

- Figura 1.** Ubicación de los sectores de muestreo, uno en Punta Betín (PB) y otro en Inca Inca (II) visibles mediante los marcadores dispuestos en el mapa. Fuente Manrique-Rodríguez (2006).7
- Figura 2.** Morfología externa de *G. ventalina*. Se observa el patrón reticulado. Foto tomada por Sanjuan-Muñoz (2006) en Punta Betín (PB).....9
- Figura 3.** Esquema de la estructura interna de un coral gorgónido. Tomado de Ruppert y Barnes (1996).....10
- Figura 4.** A. Observación al estereoscopio de muestra de tejido de *G. ventalina* en las condiciones naturales; previo a la fijación. B. Muestra de tejido fijado en solución Zenker. C. Muestra de tejido fijado en solución Helly, las partículas amarillas son depósitos de precipitados de dicromato de potasio. Las líneas azules son la referencia de medida que corresponde a un centímetro.23
- Figura 5.** A. Placa histológica (A: 10X) donde se muestra el esqueleto de gorgonina o eje axial con su núcleo hueco subdividido en cámaras por tabiques y sus capas de melanina. B. Acercamiento al núcleo hueco de eje axial de gorgonina (A: 100X).....31
- Figura 6.** Fotografía microscópica donde se observan los tentáculos (tent.) y la zona oral con los tipos celulares presentes, fibras musculares (fib.musc.), mesoglea (mgl.), nematocistos (nem.), mucus (A; mucus, B; muc), amebocitos (ameb.), células muco-secretoras (cel.muc-sec) y zooxantelas (zx.) (A: 40X).....32
- Figura 7.** Fotografía microscópica donde convergen en un mismo plano a 40x de aumento el filamento fértil y el filamento asulcal o infértil (Fil.Asul.). Las demás estructuras señalizadas son mesoglea (mgl), ramilletes de los músculos retractores, célula muscular (miocito), las zooxantelas (zx.) y las células flageladas que rodean el filamento asulcal (Cell. Flag.).33
- Figura 8.** Disposición del filamento asulcal o infértil (fil. asul.) y las células flageladas que lo componen (A: 40x).....34

Figura 9. Fotografía microscópica donde se observan claramente cinco pólipos y varios solenios bien definidos. Se ve en los dos solenios del costado izquierdo de la fotografía la capa entodérmica de este tubo. (A: 10X)37

Figura 10. Fotografía microscópica mostrando la presencia de dos filamentos mesentéricos (Fil. mes) uno del ovocito en estadio primario (Ovo I) y otro del estadio avanzado (Ovo III). Los ovocitos están rodeados por la capa entodérmica (Ent.), y la mesoglea (Mgl). En la parte inferior se observa la membrana (Memb.), el núcleo(n), nucléolo (ncl) y el vitelo vesicular (A: 40x).38

Figura 11. Fotografías de los diferentes estadios de maduración de ovocitos y sacos espermáticos de *G. ventalina* en el área de Santa Marta. A. Ovocito en estadio de maduración I (A: 100X), en la parte externa se puede observar el filamento mesentérico (m. Fil) del cual está unido. B. Estructura de un ovocito en estadio de maduración II (A: 100X), exhibiendo el núcleo a nivel lateral (n), rodeado por una capa de células protectoras entodérmicas (ent), se observan algunas zooxantelas (zx) y células glandulares granulares (c.gl.gr). C. Ovocito en estadio de maduración III (A: 40X), exhibiendo el vitelo vesicular (vit) y un núcleo (n) lateral con su respectivo nucléolo (ncl). En la parte externa se pueden observar algunas estructuras como la capa de células protectoras entodérmicas (ent), zooxantelas (zx), células glandulares granulares (c.gl.gr), espículas (spic) y el filamento mesentérico (m.Fi). D. Saco espermático en estadio de maduración I (A: 100X), en la parte externa se pueden observar las espermatogonias (sper) y hacia la parte externa se encuentra la capa de células protectoras entodérmicas (ent.). E. Saco espermático en estadio de maduración II (A: 100X), exhibiendo hacia la parte central el lumen (lum.), sin presencia de colas y una mayor concentración de espermatogonias, espermatídes y espermatozoos, rodeado por una capa de células protectoras entodérmicas (ent.). F. Saco espermático en estadio de maduración III (A: 100X), en la parte interna se pueden observar algunos espacios basófilos (sp.z), donde están concentradas las colas de los espermatozoos y en la

parta interna es visible la capa de células protectoras entodérmicas (ent.) Fuente original Salcedo-Bahamón (2006), modificada para la figura por Manrique-Rodriguez (2007).	43
Figura 12. Fertilidad de ovocitos en <i>G. ventalina</i> en el sector Inca Inca.	46
Figura 13. Fertilidad de ovocitos en <i>G. ventalina</i> en el sector de Punta Betín.	46
Figura 14. Diámetro promedio mensual (+ EE) de ovocitos de <i>G. ventalina</i> en el sector de Inca Inca.	49
Figura 15. Diámetro promedio mensual (+ EE) de ovocitos de <i>G. ventalina</i> monitoreados en el sector de Punta Betín.	50
Figura 16. Fertilidad de sacos espermáticos en <i>G. ventalina</i> en el sector de Inca Inca.	52
Figura 17. Fertilidad de sacos espermáticos en <i>G. ventalina</i> en el sector de Punta Betín.	52
Figura 18. Diámetro promedio mensual (+ EE) de sacos espermáticos de <i>G. ventalina</i> en sector de Inca Inca.	56
Figura 19. Diámetro promedio mensual (+ EE) de sacos espermáticos de <i>G. ventalina</i> en el sector de Punta Betín.	57
Figura 20. Fecundidad mensual de ovocitos de <i>G. ventalina</i> para cada uno de los estadios en el sector de Inca Inca.	58
Figura 21. Fecundidad mensual de ovocitos de <i>G. ventalina</i> para cada uno de los estadios en el sector de Punta Betín.	59
Figura 22. Fecundidad mensual de sacos espermáticos de <i>G. ventalina</i> para cada uno de los estadios en el sector de Inca Inca.	60
Figura 23. Fecundidad mensual de sacos espermáticos de <i>G. ventalina</i> para cada uno de los estadios en el sector de Punta Betín.	61
Figura 24. Fecundidad mensual de ovocitos de <i>G. ventalina</i> en las secciones basal, medial y apical y la fecundidad para la colonia total en el sector de Inca Inca.	62

Figura 25. Fecundidad mensual de ovocitos de <i>G. ventalina</i> en las secciones basal, medial y apical y la fecundidad para la colonia total en el sector de Punta Betín.	63
Figura 26. Fecundidad mensual de sacos espermáticos de <i>G. ventalina</i> en las secciones basal, medial y apical y la fecundidad para la colonia total en el sector de Inca Inca.	64
Figura 27. Fecundidad mensual de sacos espermáticos de <i>G. ventalina</i> en las secciones basal, medial y apical y la fecundidad para la colonia total en el sector de Punta Betín.	65
Figura 28. Fecundidad de ovocitos y sacos espermáticos de <i>G. ventalina</i> en cada colonia en el sector de Inca Inca.....	66
Figura 29. Fecundidad de ovocitos y sacos espermáticos de <i>G. ventalina</i> en cada colonia en el sector de Punta Betín.	67

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1. Porcentaje de ovocitos (n, es el número de estos encontrado en cada mes) para cada uno de los estadios de desarrollo gametogénico en <i>G. ventalina</i> en los sectores de Inca Inca (II) y Punta Betín (PB) en el área de Santa Marta. ...	40
Tabla 2. Porcentaje de sacos espermáticos (n, es el número de estos encontrado en cada mes) para cada uno de los estadios de desarrollo gametogénico en <i>G. ventalina</i> en los sectores de Inca Inca (II) y Punta Betín (PB) en el área de Santa Marta.....	41
Tabla 3. Descripción de estadios de maduración de los sacos espermáticos y ovocitos presentes en <i>G. ventalina</i> en el área de Santa Marta.....	42
Tabla 4. Resultados de los tamaños de las colonias femeninas y masculinas de <i>G. ventalina</i> medidos por el programa ImageJ® y sus respectivos índices de fecundidad femeninos (IF-f) y masculinos (IF-m).....	68
Tabla 5. Resultados de los índices de fecundidad de ovocitos en <i>G. ventalina</i> (IF-f, n = 27) durante los siete meses de muestreo.	68
Tabla 6. Resultados de los índices de fecundidad femeninos (IF-f) y masculinos (IF-m) en Punta Betín (PB) e Inca Inca (II).	69
Tabla 7. Resultados de los índices de fecundidad de las colonias femeninas y masculinas de <i>G. ventalina</i> (IF-f; n: 25 y IF-m; n: 14).	70
Tabla 8. Resultados de los índices de fecundidad de los gametos femeninos presentados en sus secciones apicales (a), basales (b) y mediales (m) de <i>G. ventalina</i> (IF-f-sección).	71
Tabla 9. Resultados de los índices de fecundidad de los gametos masculinos presentados en sus secciones apicales (a), basales (b) y mediales (m) de <i>G. ventalina</i> (IF-m-sección).	71
Tabla 10. Tamaño (cm ²), sexo y fecundidad de las colonias (n=21) de <i>G. ventalina</i> . Las colonias resaltadas en color azul claro son masculinas y la	

Aspectos reproductivos de *Gorgonia ventalina* (Linneaus, 1758) en Santa Marta 

anaranjada no presentaba gametos, la roja es la colonia más grande y verde es la colonia que según los datos es la más pequeña.72

1 INTRODUCCIÓN

Los arrecifes coralinos son uno de los ecosistemas más notables del planeta porque sostienen importantes recursos y poseen una asombrosa belleza. Formados principalmente por la actividad biológica de los corales, son considerados como el complejo ecológico más diverso de todas las comunidades bénticas. Para su desarrollo en el ambiente marino requieren condiciones físicas y químicas particulares, por lo cual son organismos susceptibles a cambios abruptos en el entorno (Lalli y Parsons, 1997).

Como parte de la comunidad coralina se encuentran dos grupos de corales bien definidos: hexacorales o corales duros y los octocorales o corales blandos. *Gorgonia ventalina* (Linneaus, 1758) comúnmente denominado abanico de mar; pertenece al grupo de los octocorales. Es una especie de gran importancia ecológica como habitante típico del arrecife (Bayer, 1961) por sostener gran variedad de organismos desde comensales hasta parásitos (Nagelkerken *et al.*, 1997 a y b). Su biología reproductiva requiere de estudio dado que al igual que otros corales se encuentra en estado de amenaza o deterioro (Ardila *et al.*, 2002).

El grado de amenaza ha sido ocasionado por actividades humanas, pérdida y degradación de hábitat, introducción de especies invasoras, sobreexplotación, enfermedades y cambio climático. Esto ha posicionado globalmente, según la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN, 2006) a *G. ventalina* dentro de la categoría de especie amenazada y localmente, como especie vulnerable a enfrentar un moderado riesgo de extinción o deterioro poblacional a mediano plazo (Ardila *et al.*, 2002). Es necesario entonces, plantear

estrategias de manejo y conservación para especies en estado de amenaza o deterioro.

La intervención antrópica y de origen natural altera las condiciones particulares requeridas en el mantenimiento de las poblaciones coralinas, generando procesos de deterioro, que pueden causar cambios ecológicos a mediano y largo plazo, en caso de no implementar estrategias de manejo y conservación (COLCIENCIAS, 1999). Si las condiciones de deterioro en *G. ventalina* (agresiones, invasiones y enfermedad de Aspergilliosis) como las descritas por Manrique-Rodríguez (2004) continúan con la tendencia al incremento, podría verse perjudicada la sobrevivencia y reproducción de esta especie. La enfermedad de la Aspergilliosis está implicada directamente en la reproducción según lo descrito por Petes *et al.* (2003), quienes registraron en colonias infectadas suspensión en sus mecanismos reproductivos, contrario a las colonias sanas que desarrollaron su actividad reproductiva normalmente.

El arrecife y sus atributos comunitarios han sido ampliamente estudiados, sin embargo, existe un vacío en lo referente a la biología reproductiva de muchas especies en distintas partes del mundo. Los corales pertenecen al grupo de los Cnidarios, se pueden reproducir de manera sexual y asexualmente mediante una gran variedad de mecanismos (Campbell, 1974; Chia, 1976; Fadlallah; 1983). Sin embargo, poco interés ha generado el estudio de la biología reproductiva de los corales blandos (Benayahu y Loya, 1986).

Aunque los gorgónidos como el abanico de mar son muy comunes en los arrecifes coralinos del Caribe (Bayer, 1961; Nagelkerken *et al.*, 1997 a y b) y en el área de Santa Marta y el Parque Nacional Natural Tayrona (PNNT) (Botero, 1987); muy poco se conoce sobre su reproducción y su proceso de desarrollo gonadal. La

reproducción sexual y el reclutamiento en corales sirven como mecanismo de dispersión y sobrevivencia de sus diferentes especies existentes; han sido ampliamente estudiados en diferentes aspectos como evolución, biogeografía, ecología, genética, dinámica de poblaciones y manejo de recursos (Fadlallah, 1983; Richmond, 1997). Algunos científicos desarrollan esta temática dentro de la “Política Nacional de Fomento a la Investigación y la Innovación, Colombia construye y siembra Futuro” (COLCIENCIAS, 2008) y dentro del plan nacional de desarrollo 2006-2010 (Plan Nacional Desarrollo, 2008), a modo de proyectos de investigación, ciencia e innovación con énfasis en el área de reproducción de invertebrados marinos.

Por esta razón se caracterizaron y evaluaron los aspectos reproductivos más relevantes de la población de *G. ventalina* (Cnidaria: Gorgoniidae) en dos formaciones coralinas del área de Santa Marta (PB e II) en el Caribe colombiano de mayo a noviembre del año 2006. Las variables evaluadas fueron condición reproductiva y características estructurales de las colonias en los dos sectores descritos, con el objetivo de inferir cuando ocurre la posible temporada de reproducción para el área de estudio durante los siete meses de monitoreo.

Los alcances de este trabajo fueron determinar la estrategia de reproducción del abanico de mar y entrever posibles relaciones con el diámetro máximo, tanto de ovocitos como de los sacos espermáticos, también se evaluó si hay diferencias en la condición reproductiva dependiendo de la ubicación de los pólipos en la colonia (basal=b, medial=m, apical=a) y si había diferencias espaciales o temporales. También se hicieron inferencias de la actividad reproductiva de *G. ventalina* con base al IF (promedio de gametos/pólipo) discriminando por sexo, tiempo y espacio.

Aspectos reproductivos de *Gorgonia ventalina* (Linneaus, 1758) en Santa Marta 

El desarrollo de esta investigación es requisito para optar al título de Biólogo Marino de la Fundación Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano (U.J.T.L.), contó con fuentes de financiación y apoyo logístico de Conservación Internacional Colombia (CIC), la Universidad de Los Andes (UNIANDES), U.J.T.L. y la Fundación Sila Kangama.

2 MARCO TEÓRICO Y ESTADO DEL ARTE

2.1 Área de Estudio

Santa Marta se ubica al noreste de Colombia, en el departamento del Magdalena, entre las coordenadas 11° 11' 18'' - 11° 11' 42'' N y 74° 12' 18'' - 74° 14' 42'' W. Esta zona es afectada por fuertes vientos y también lo tropiezan fuertes corrientes; presenta litorales rocosos, bahías y ensenadas alternadas con playas arenosas, cabos e islotes (Díaz *et al.*, 2000).

La temperatura y salinidad del agua varían según la época climática entre los 21 y 29 °C y 24,8 y 37,0 UPS. Las condiciones climáticas son propias del mar Caribe, con una temperatura ambiental que oscila entre los 25 y 30 °C, pluviosidad anual promedio de 500 mm. A lo largo del año se presentan dos épocas: seca y lluviosa. La seca (diciembre a febrero, aproximadamente), presenta una corriente orientada en dirección al sureste por la influencia de los vientos Alisios del noreste, los cuales generan eventos de surgencia que reducen la temperatura del agua hasta 21 °C e incrementan la salinidad hasta 37 UPS. La lluviosa (septiembre a noviembre, aproximadamente), es notoria dado que los vientos del suroeste producen una contracorriente orientada al noreste, que conduce aguas continentales del río Magdalena, la Ciénaga Grande de Santa Marta (CGSM) y ríos de menor caudal como el Gaira y Manzanares. Es en esta época, donde se dan los máximos valores de temperatura del agua (29 °C) y de turbidez, así como los menores valores de salinidad de hasta 24,8 UPS (Acosta, 1989; De Jongh, 1990). Los aumentos en la turbidez son derivados de incrementos en los sólidos suspendidos en el agua por descarga de nutrientes orgánicos e inorgánicos

provenientes de los ríos como fuentes de contaminación que repercuten en el estado de salud coralina (López *et al.*, 1998).

Los sectores de muestreo en este estudio comprenden dos formaciones coralinas uno el sector de Punta Betín -PB- (bahía de Santa Marta) y otro en el sector de Inca Inca -II- (bahía de Gaira) (Figura 1). -PB- es una península rocosa de pendiente escarpada con un canal que va de los 2 a 7 m al norte de la bahía de Santa Marta (Castro, 2003). Está directamente influenciada por la descarga de aguas continentales, pertenecientes al río Manzanares; también está afectada por el polvillo de carbón producido en el puerto de Santa Marta y por altos niveles de polución orgánica proveniente de los barcos (De Jongh, 1990).

Las formaciones coralinas ubicadas cerca a fuentes de contaminación como la del sector de PB, poseen una menor riqueza y diversidad de especies y un alto grado de deterioro arrecifal (Fontalvo, 1998). Sin embargo, el grupo de los octocorales está bien representado por *G. ventalina*. Este sector se caracteriza por tener los sustratos propicios para el desarrollo y crecimiento de los octocorales, organismos que se destacan por asimilar fácilmente los nutrientes disueltos en el agua provenientes de las descargas de los ríos adyacentes (Werding y Sánchez, 1989).

El sector II ubicado al noreste del Rodadero, presenta sustratos tanto arenosos como rocosos. Se ubica a 6 km de Santa Marta Bula-Meyer (1990) lo describe como somero, de playa llana y una plataforma corta que permite la entrada de aguas profundas a la costa.

Aspectos reproductivos de *Gorgonia ventalina* (Linneaus, 1758) en Santa Marta 

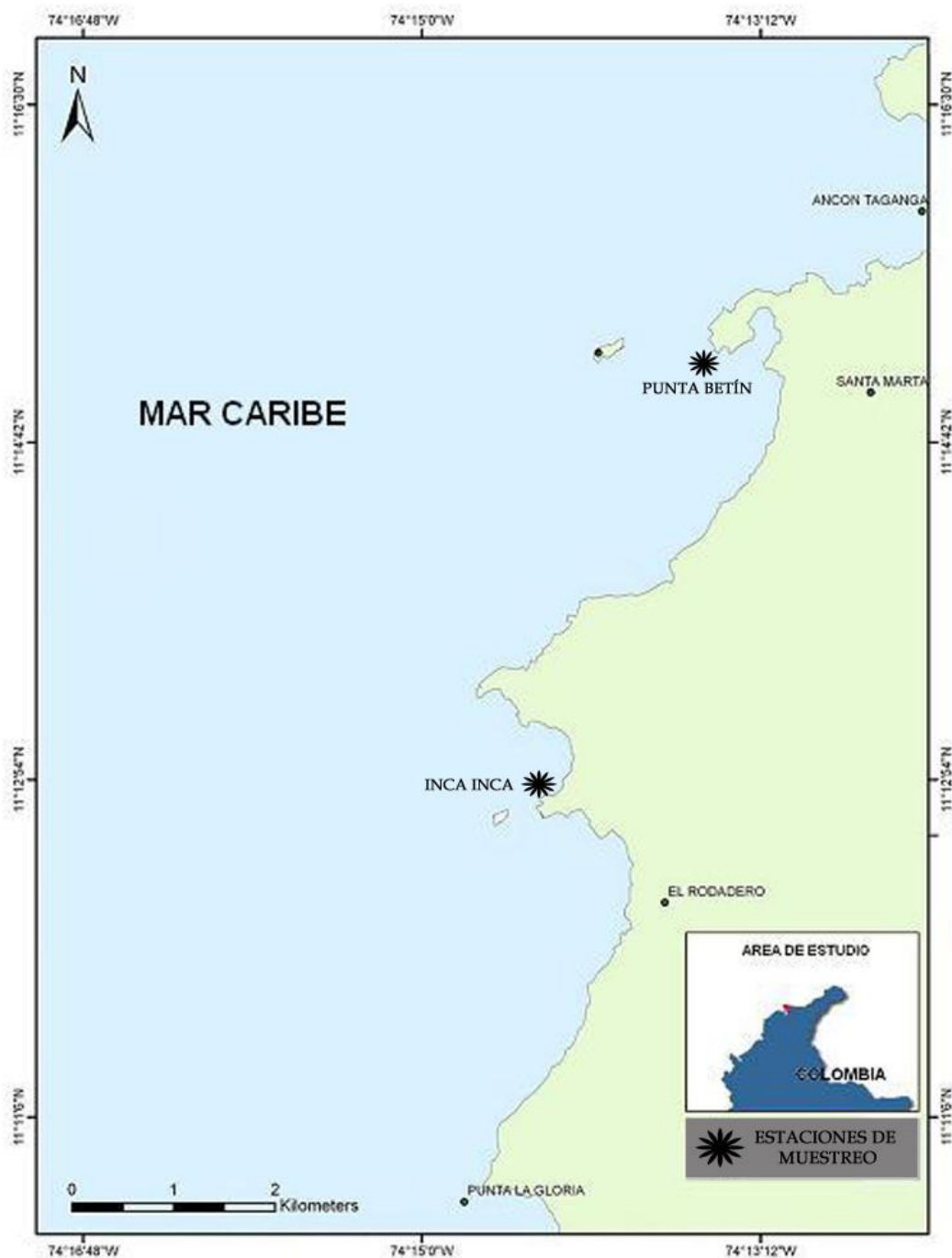


Figura 1. Ubicación de los sectores de muestreo, uno en Punta Betín (PB) y otro en Inca Inca (II) visibles mediante los marcadores dispuestos en el mapa. Fuente Manrique-Rodríguez (2006).

2.2 Biología y Ecología de *G. ventalina*

El abanico de mar tiene como hábitat común los arrecifes externos y expuestos al oleaje; también puede encontrarse en arrecifes de parche. Su rango de distribución geográfica es amplio, desde el sur de las Bermudas hasta Curazao (Bayer, 1961; Cairns, 1976). Generalmente se encuentran colonias que se distinguen por ser largas dispuestas en un sólo plano a manera de abanico y con tallas promedio para la región caribeña entre 1,5 – 1,8 m de altura y 1,2 – 1,5 m de ancho. La línea exterior de la colonia es una red interconectada de delgadas ramificaciones unidas irregularmente, formando espacios triangulares o rectangulares denominado patrón reticulado (Figura 2). Sus ramificaciones pueden ser redondeadas, suavemente aplanadas o comprimidas en el plano del abanico; tiene dispuestas aperturas de sus pólipos a modo de poros muy pequeños localizados en dos hileras entre los bordes de sus ramificaciones y la coloración varía entre púrpura, amarillo y café (Bayer, 1961; Cairns, 1976; Calfo, 2003).

Las poblaciones del abanico de mar comparten el sustrato rocoso con otras comunidades del infralitoral en ambientes someros (Cairns, 1976; Lasker y Coffroth, 1983; Botero, 1987). En el Caribe colombiano se cuenta con extensas áreas de litoral rocoso favorables para el desarrollo de dichas poblaciones, las cuales están restringidas a un rango batimétrico específico de 0,5 – 8,0 m en aguas claras y tranquilas y sus tallas no son superiores a los 30 o 45 cm de altura (Botero, 1987; Werding y Sánchez, 1989; Manrique-Rodríguez, 2004).

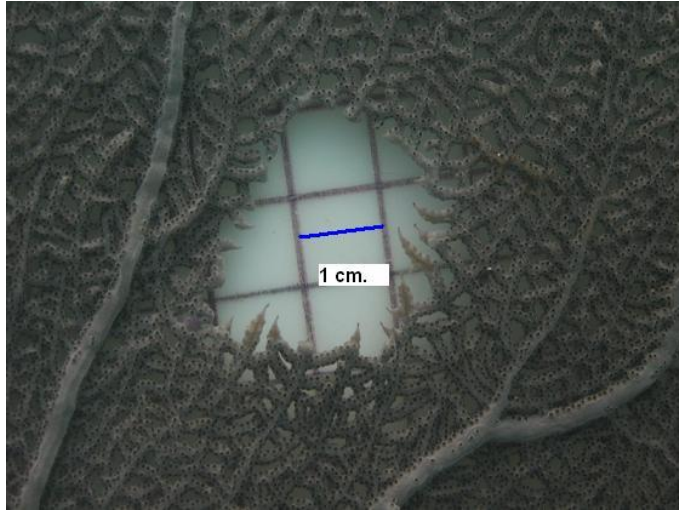


Figura 2. Morfología externa de *G. ventalina*. Se observa el patrón reticulado. Foto tomada por Sanjuan-Muñoz (2006) en Punta Betín (PB).

2.3 Morfología Interna y Reproducción en los Gorgonáceos

G. ventalina presenta ocho tentáculos orales pinnados (forma de pluma) (Figura 3) con sus respectivos septos de la cavidad gastrovascular no pareados. Su esqueleto interno se encuentra en el mesénquima principalmente formado por piezas de origen calcáreo denominados escleritos, los cuales se fusionan entre sí mediante proteínas córneas. El eje interno es de naturaleza proteica y es producido por la epidermis. Hacia la cavidad gastrovascular del pólipo éste se comunica con los otros de la colonia a través de un sistema de tubos gastrodérmicos denominados solenios y en dicha cavidad se encuentran los filamentos gástricos (mesenterios) que cargan las gónadas (Bayer y Weinheimer, 1974; García-Parrado, 1997; Muscatine *et al.*, 1997).

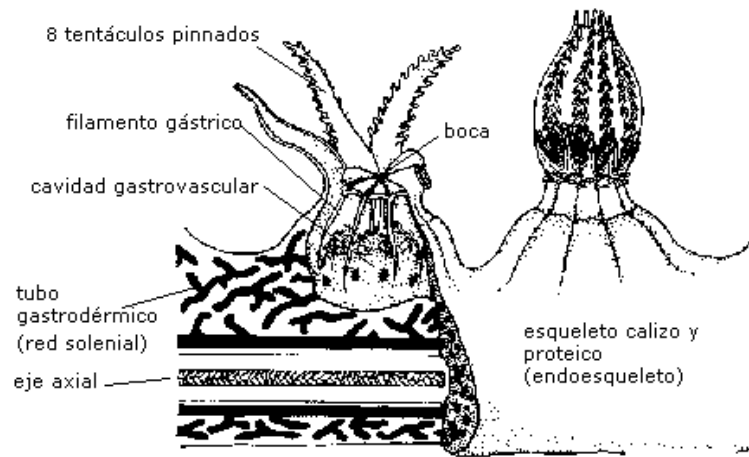


Figura 3. Esquema de la estructura interna de un coral gorgónido. Tomado de Ruppert y Barnes (1996).

Las gónadas maduran al borde de todos los septos, excluyendo el par asulcal; es decir, sólo hay lugar a seis septos con facultades reproductoras. Estas se observan como cuerpos pedunculados que se adhieren al filamento mesentérico del pólipo (García-Parrado, 1997). A medida que las gónadas adquieren un mayor tamaño llegan a ocupar más porción de la cavidad mesentérica. Las colonias consideradas del género femenino (f), presentan ovocitos rodeados por la mesoglea, la cual paralelamente está limitada de células foliculares endodermales. En dicha capa se encuentran las células ovocitarias, las cuales presentan núcleo y nucléolo organizados periféricamente. En cuanto a las colonias de género masculino (m) tienen espermarios protegidos de capa endodermal, que cuando alcanzan la maduración albergan células germinales. Los sacos espermáticos maduros presentan gametos en varios estadios de desarrollo: espermátocitos, espermátidas y espermatozoides. Los espermatozoides tienen cabeza en forma cónica, flagelo desarrollado y dispersos con un patrón de hileras radiales.

Hacia el final del desarrollo gametogénico, ovocitos y sacos espermáticos (gametos en los diferentes estadios dentro del saco: espermatogonias, espermátides y espermatozoos, al final del desarrollo gametogénico en el saco espermático son espermatozoos maduros) se separan de la pared del pólipo y migran hacia la zona oral (García-Parrado, 1997). La liberación sincronizada por parte de las colonias de ambos géneros sexuales de sus ovocitos y sacos espermáticos (espermatozoos), son llevados gracias a las corrientes marinas dando lugar a los eventos de reproducción sexual, que culminan con la fusión del par de gametos y la producción de una larva plánula (Fitzsimmons-Sosa *et al.*, 2004).

Posteriormente la larva plánula se fija y sufre procesos de transformación. La parte posterior da lugar a la formación del disco de fijación o disco basal, al igual que el eje principal de la colonia. Por otro lado, la parte anterior se invagina y da origen a la zona oral, paulatinamente se producen los primeros tentáculos. Luego por vía asexual se generan nuevos pólipos, hasta llegar a la configuración de una colonia adulta.

Las gónadas en la colonia masculina son difícilmente diferenciables hasta los días cercanos a la época reproductiva, la cual suele presentarse durante la estación más cálida del año (ó lluviosa) en la mayoría de las especies de octocorales gorgonáceos. El vínculo directo entre las altas temperaturas y la reproducción es posible evidenciarlo si se compara una misma especie pero a diferentes profundidades; las colonias presentes en zonas someras (con mayor irradiación solar) se reproducen primero que las colonias presentes a una mayor profundidad puesto que el incremento de la temperatura en las aguas más profundas es más lento (García-Parrado, 1997).

Los estudios de reproducción discuten acerca de la importancia biológica del diámetro máximo del ovocito o paquete espermático en muchas especies (tanto de corales duros como de corales blandos) como parámetro (Rinkevich y Loya, 1979; Fadlallah y Pearse, 1982; Harriot, 1983 a, b). Sólo hay unos cuantos valores de referencia comparativa a disposición en la literatura de corales blandos de sus máximos diámetros (Benayahu y Loya, 1986). Diversos autores han influenciado el tema para los corales blandos, pero aún la información es incompleta, según la evidencia estos tienen huevos grandes, sin tener en cuenta su estrategia reproductiva.

Si se compara con la información generada para corales duros donde se presenta la hipótesis que para los corales liberadores de gametos se esperaría una producción de huevos más grandes, mientras que en las especies con estrategia incubadora o con plánulas, es de esperarse huevos pequeños, esta teoría coincidiría con los corales blandos (Rinkevich y Loya, 1979; Fadlallah y Pearse, 1982; Harriot, 1983 a, b; Benayahu y Loya, 1986). Sin embargo, otras mediciones realizadas en corales alcyonaceos, sugieren que los ovocitos grandes son de amplia dispersión dentro del grupo de estos corales. Pero se requieren de estudios adicionales que concreten una significativa conclusión al respecto (Benayahu y Loya, 1986).

Fadlallah y Pearse (1982) proponen que durante el desarrollo gametogénico de los ovocitos si estos son de grandes tallas, se requiere de un largo periodo de ovogénesis. Sin embargo, ovocitos entre los 500 y las 750 μm han sido encontrados en corales blandos, alcanzando la madurez en ovocitos en menos de un año (Benayahu y Loya, 1984a). Por esto como lo aclara Bell (1980), las especies con largos periodos de desarrollo de ovocitos tienden a presentar una inversión reproductiva costosa. Benayahu y Loya (1986) sugieren que la

producción masiva de huevos al igual que la maduración sincrónica y el breve periodo de desove son característicos de especies semejantes, las cuales requieren un tiempo largo de maduración de huevos.

2.4 Amenazas y Causas de Deterioro en *G. ventalina*

Las poblaciones del abanico de mar están expuestas a amenazas entre las cuales está la extracción para la comercialización en el mercado de souvenirs en almacenes de corales y conchas (Bayer, 1961; Cairns, 1976; Calfo, 2003), el buceo, contaminación de los ríos y el aire, pérdida y degradación de hábitat, introducción de especies invasoras (como es el caso de *Aspergillus sydowii* Alker *et al.* (2001); Smith *et al.* (1996) al sistema acuático marino siendo un hongo particularmente terrestre), sobreexplotación y extracción de recursos, mercado de productos medicinales y farmacéuticos, enfermedades (Aspergillosis, tumores algales, entre otras) y cambio climático (UICN, 2006). Globalmente esta especie se encuentra bajo la categoría de amenazada según la UICN (2006) y localmente es vulnerable a enfrentar un moderado riesgo de extinción o deterioro poblacional a mediano plazo (Ardila *et al.*, 2002).

2.5 Antecedentes

Los estudios sobre la estructura y abundancia de *G. ventalina* en el Caribe oriental tropical; describen la presencia de sus colonias en Jamaica, Panamá y Curazao (Kinzie, 1973). A inicios de la década de los años ochenta, en el Atlántico sur se realizó el primer registro de la mortandad masiva que sufrió esta especie; específicamente en Trinidad. En estas islas las colonias afectadas por el evento,

fueron observadas por primera vez en noviembre de 1981 y hacia finales de 1982, se detectó un 99,9 % de mortalidad en esta especie (Laydoo, 1983).

En Costa Rica, se documentó acerca de colonias de *Gorgonia flabellum* y *G. ventalina* con mortalidades mayores al 90 % a inicios de 1983. En Panamá durante el periodo 1982-1983 la destrucción del abanico de mar fue notoria y se llegó a afirmar que el género *Gorgonia* había sido el único afectado, dado que no había evidencias de que otro octocoral pasara por dicho evento (Guzmán y Cortéz, 1984).

En Colombia Botero (1987), realizó la zonación de octocorales gorgonáceos en el área de Santa Marta y el Parque Nacional Natural Tayrona (PNNT). Además reportó densidades promedio de hasta 2,5 colonias/m² para *G. ventalina*, siendo esta una abundancia considerable e indicadora de una presencia relevante para el área. También señaló que las especies más comunes por su presencia y abundancia son *G. ventalina* y *Plexaura flexuosa*; en un rango batimétrico de 0,5 y 8,0 m de profundidad, llegó a plantear que *G. ventalina*, en particular, era la más abundante de las 39 especies de gorgonáceos descritas en el área y que no registraba mortalidad para dicha época. Lo anterior deja claro que posiblemente las muertes de las colonias del abanico de mar en Santa Marta ocurrieron entre 1985-1988, varios años después que los eventos descritos en Trinidad, Costa Rica y Panamá. Lamentablemente no existe la evidencia del periodo en el cual se pudo desencadenar dicha mortandad masiva en Santa Marta.

Sin embargo, Garzón-Ferreira y Zea (1992) estimaron un periodo de tiempo de dicha mortalidad para el área, indicando que se pudo haber iniciado entre finales de 1986 y principios de 1987. Las observaciones de estos autores durante 1988-1990 indicaron que la muerte del abanico de mar en Santa Marta alcanzaba el 100

% en las colonias adultas, había muchos esqueletos donde anteriormente eran abundantes según lo descrito por Botero (1987). Solamente se observaron pequeñas colonias de *G. ventalina* vivas (menos del 1% de la densidad poblacional original) y esto probablemente correspondió a un reclutamiento después del evento de mortandad masiva. Las causas de dicho desastre son aún imprecisas, pero la hipótesis más cercana es que el agua tuviera un patógeno específico para la especie huésped, el cual generaba la enfermedad y muerte de los abanicos.

Smith *et al.* (1996) y Nagelkerken *et al.* (1997b) fueron los primeros autores en reportar la enfermedad de la Aspergillosis descrita como agente de deterioro en los abanicos de mar y asociaron como patógeno de ésta, a la especie del grupo fungi *Aspergillus sydowii*; hongo de origen terrestre relacionado con las partículas de sedimento, indicando una mayor incidencia de la Aspergillosis en áreas que reciben mayor descarga de ríos y por ende mayores niveles de sedimentación.

La especie *A. sydowii* de origen terrestre es no patogénica y la marina si lo es; esto es debido a la temperatura en la cual se desarrolló la especie en el ambiente marino (entre los 22-36 °C, con un óptimo para desarrollarse en aproximadamente 30 °C). Por lo tanto la temperatura tiene una fuerte influencia en la dinámica de interacción *Gorgonia-Aspergillus* para promover el crecimiento de dicho patógeno mientras se reduce la eficacia de la resistencia del huésped (Alker *et al.*, 2001). Adicional a la Aspergillosis se considera que existen otros factores de deterioro que quizás influyeron para generar la mortandad de los años ochenta; tales como alteraciones en los procesos naturales de reproducción de la especie (Petes *et al.*, 2003), cambios inusuales en la temperatura y salinidad, aumento de sedimentación por descarga de ríos, presencia de polución química, acción del oleaje (Garzón-Ferreira y Zea, 1992), estados avanzados de fenómenos tumorales

algales (Laydoo, 1983; Garzón-Ferreira y Zea, 1992), depredación, agresiones, invasiones e influencia antrópica (Manrique-Rodríguez, 2004; Bejarano *et al.*, 2005).

En otro estudio Kim *et al.* (2000), evaluaron la resistencia del hongo en *G. ventalina* y detectaron que la actividad antifungal varía según el estado de salud de la colonia y la ubicación de la infección en esta. Esta capacidad para resistir a la Aspergillosis tiene implicaciones en la habilidad de esta especie para reproducirse y esto lo comprueban los estudios de Petes *et al.* (2003), quienes describieron histológicamente la melanización en cnidarios, actividad antifúngica que cubre con una banda de melanina la zona infectada por el hongo. En el transcurso del estudio las colonias infectadas suspendieron sus mecanismos reproductivos y recurrían a la melanización; contrario a los abanicos sanos que desarrollaron su actividad reproductora normalmente (Petes *et al.*, 2003).

Manrique-Rodríguez (2004) estudió el estado actual y crecimiento de *G. ventalina* para Santa Marta y el Parque Nacional Natural Tayrona (PNNT), afirmó que las poblaciones presentaron la tendencia a la recuperación posterior a la mortandad masiva de los años ochenta. También indicó, que los hábitat usuales para la especie no difieren respecto a otras áreas del Caribe. Encontró, mayores densidades de colonias de talla pequeñas, lo cual es una confirmación de que la especie se encuentra en procesos de repoblamiento en la zona estudiada. En cuanto a los agentes de deterioro tales como agresiones, invasiones y enfermedad de Aspergillosis se presentan previas al evento de muerte, lo que sugiere que la recuperación de los tejidos se da en mayor grado por sección que la pérdida de este. Por último, afirmó que la tasa de crecimiento para la especie en Santa Marta y PNNT es muy superior (tasa anual de crecimiento del alto y ancho de las colonias fue de 8,08 y 8,30 cm/año respectivamente) a la de otros lugares del

Caribe, indicando de esta forma que la zona estudiada es adecuada para el desarrollo de *G. ventalina*. Dentro de su estudio estaba el sector PB y se tiene el valor de la tasa media de crecimiento anual para dicha área; que fue de $9,0 \pm 1,7$ cm/año la tasa media de altura de colonia y $12,8 \pm 1,5$ cm/año la tasa media de ancho de la colonia.

Estudios relacionados con los aspectos reproductivos de *G. ventalina* son pocos en el Caribe, se encuentra el de Petes *et al.* (2003), realizado en el arrecife de Pickles en los Cayos de la Florida. También en la Florida, en el Parque Nacional Biscayne, se describieron los ciclos de desarrollo gonadal de seis especies de octocorales entre ellos *G. ventalina*. Según este estudio los huevos de tamaño mediano ($< 0,34$ mm) nunca superaban los dos huevos por pólipo y fueron encontrados en todos los meses a excepción de octubre y diciembre. Los ovocitos de mayor tamaño ($> 0,34$ mm) fueron observados de marzo a julio y en noviembre; dado que el tamaño aumenta, se observó sólo un huevo por pólipo. Los sacos espermáticos estuvieron presentes durante todo el año del estudio. Los resultados obtenidos indicaron gran potencial reproductivo de *G. ventalina* a lo largo de todo el año (Fitzsimmons-Sosa *et al.*, 2004). En Colombia no se ha realizado ningún estudio hasta el momento.

3 PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

Con el fin de contribuir al conocimiento de la biología de *G. ventalina* se caracterizaron aspectos reproductivos tales como: fertilidad, fecundidad y diámetro promedio de la especie en dos formaciones coralinas del área de Santa Marta (Punta Betín e Inca Inca) mediante la colecta de muestras de mayo a noviembre del año 2006 para establecer si la reproducción sexual ocurre en este periodo.

4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Establecer si *G. ventalina* se reproduce sexualmente en la época lluviosa mayor del año (septiembre a noviembre, temporada de aguas cálidas) del año en el área de Santa Marta.
- b) Determinar la estrategia de reproducción sexual, la fertilidad y la fecundidad de *G. ventalina*.
- c) Describir los aspectos morfológicos de las gónadas y gametos de *G. ventalina*, con base a su color, forma, tamaño y su estadio de maduración.

5 HIPÓTESIS

- a) *G. ventalina* se reproduce sexualmente en la época lluviosa mayor del año (septiembre a noviembre, temporada de aguas cálidas) concordando con lo reportado para otras especies de octocorales en el Caribe sur.
- b) El tamaño de la colonia influye sobre el índice de fecundidad de *G. ventalina*.
- c) No hay diferencias temporales en el índice de fecundidad de la especie durante el monitoreo, ya que se lleva a cabo en la época de aguas cálidas (mayo a noviembre).
- d) No existen diferencias espaciales en el índice de fecundidad del abanico de mar porque los dos sectores tienen características oceanográficas similares.
- e) El índice de fecundidad entre las diferentes secciones de la colonia de *G. ventalina*, presentan diferencias significativas, ya que las secciones periféricas están más expuestas a factores biológicos (e. g. depredación y competencia).
- f) Se presentan diferencias significativas en el índice de fecundidad en relación con el sexo de la colonia.

6 METODOLOGÍA

6.1 Fase de Campo

6.1.1 Ubicación y reconocimiento de las colonias

Durante el premuestreo realizado en mayo se ubicaron los sectores de muestreo teniendo en cuenta la presencia de colonias adultas de *G. ventalina*. Mediante equipo de buceo autónomo (SCUBA) y en un rango batimétrico de 1 a 5 m se localizaron las zonas con abanicos de una talla superior a los 20 cm y se procuraba que tuvieran buena salud. Los sitios de muestreo se geoposicionaron utilizando un equipo GPS Garmin Etrex (± 5 m).

6.1.2 Colecta de muestras

Mensualmente en los días previos a la luna llena o inmediatamente después de esta, se escogieron tres colonias. Las seleccionadas estaban separadas de sus vecinas por un espacio de al menos 1 m y fueron rotuladas con un código sobre cinta acrílica, visible y resistente al medio marino. Posteriormente (cuando las condiciones del medio lo permitieron –oleaje y turbidez-) se determinó la dimensión de cada colonia midiendo altura y ancho, y se tomaron fotografías subacuáticas para determinar el área total de cada abanico de mar. Esto con el fin de definir si la condición sexual de *G. ventalina* está relacionada con el tamaño de la colonia.

De cada colonia se extrajeron tres muestras de tejido de 4 cm² aproximadamente; una de la sección basal (b), otra de la medial (m) y la última de la apical (a). Para la extracción de fragmentos del espécimen se usaron tijeras y guantes de látex para evitar la contaminación y minimizar el daño de los pólipos que podría afectar el proceso histológico.

La evidencia tomada se colocó en bolsas plásticas de cierres herméticos, previamente rotuladas; las cuales son más prácticas bajo el agua por la facilidad de apertura y cierre. En la embarcación y en el menor tiempo posible, las muestras contenidas en las bolsas se trasladaron a frascos que contenían la solución fijadora Zenker (cloruro de zinc, 5 g/150 ml; dicromato de potasio 2,5 g/150 ml; agua destilada 150 ml y ácido acético glacial 7,5 ml/150 ml; este último se agregaba 30 min antes de utilizar la solución) (Humason, 1989) y se trasladaron en una nevera de icopor al laboratorio.

6.2 Fase de Laboratorio

Las muestras de tejido se dejaron seis a nueve horas en la solución fijadora Zenker, tiempo después del cual se expuso a flujo de agua continuo durante 24 h para eliminar los excesos de la solución fijadora. Luego del lavado de las secciones, estas se almacenaron en alcohol al 70 % (Acosta y Zea, 1997). Posteriormente a cada una se le realizó un conteo del número de pólipos y se ubicaron sobre un papel milimetrado para tomar fotografías que se usaron para determinar el área (cm²) de cada muestra de tejido.

Las 126 placas histológicas observadas fueron de cortes transversales a partir de muestras de tejido de secciones b, m y a de 42 colonias de *G. ventalina* monitoreadas durante siete meses de muestreo; 21 en II y 21 en PB. En el primer Salcedo-Bahamón (2009)

mes de muestreo: mayo, se ensayaron dos métodos de fijación, nueve muestras de tejido (tres de la sección b, tres m y tres a) de tres colonias en cada sector se fijaron en solución Zenker y las otras nueve muestras en solución Helly para cada uno de los sectores. Luego del procedimiento se observaron las muestras mediante estereoscopio y se decidió que la solución Zenker era la más adecuada para la fijación de los tejidos en la especie sujeto de estudio. Esto debido a que conservaba las características tisulares más parecidas al tejido “*in-vivo*”, contrario a lo que se evidenció en el tegumento fijado en solución Helly donde las observaciones estereoscópicas y microscópicas mostraban en *G. ventalina* una gran cantidad de depósitos de precipitados de dicromato de potasio, además de una aparente degradación de este y una generalizada ausencia de la configuración interna típica del pólipo y de sus estructuras anexas (Figura 4). Por ende las placas provenientes de las muestras de tejido fijadas en solución Helly, no se tuvieron en cuenta.



Figura 4. A. Observación al estereoscopio de muestra de tejido de *G. ventalina* en las condiciones naturales; previo a la fijación. B. Muestra de tejido fijado en solución Zenker. C. Muestra de tejido fijado en solución Helly, las partículas amarillas son depósitos de precipitados de dicromato de potasio. Las líneas azules son la referencia de medida que corresponde a un centímetro.

6.2.1 Tratamiento de muestras para cortes histológicos

Las muestras fueron decalcificadas con ácido nítrico, durante el menor tiempo posible, dado el poco grado de calcificación de *G. ventalina* con respecto a los hexacorales. La completa decalcificación se comprobó con una solución de Salcedo-Bahamón (2009)

oxalato de sodio al 5 %, donde un precipitado blanco, indica la falta de decalcificación y la no reacción, total decalcificación.

Luego se deshidrataron los tejidos, para lo cual cada fragmento ya decalcificado se paso por una serie de alcoholes primero al 70 % (20 min), 80 % (20 min), 90 % (20 min), 95 % (20 min), 95 % (30 min), 95 % (40 min), 100 % (40 min), 100 % (60 min), xileno (20 min), xileno (30 min), xileno-parafina 1:1 (60 min), parafina pura (60 min a 58 °C) y finalmente se incluyó en parafina (60 min a 58 °C), formando pequeños bloques. Con ayuda de un micrótopo se realizaron secciones consecutivas de cortes transversales de cada bloque, para montarlas en láminas previamente tratadas con albúmina.

Para la coloración de los tejidos se usó la metodología de hematoxilina-eosina. Este método consta de una fase inicial en la cual se colorean los núcleos con hematoxilina y una fase posterior de contraste citoplasmático y de los componentes extracelulares con eosina (Humason, 1989).

Las láminas tuvieron tres cambios sucesivos de xileno (cada uno de 2,5 min); Alcohol: 100 %, 95 %, 90 %, 80 % y 70 % (cada paso con una duración de 2,5 min) y finalmente agua. Luego se pasaron por los colorantes de hematoxilina-eosina y se lavaron con agua destilada. Finalizada la coloración el proceso se invirtió por la serie de alcoholes y xilenos con cambios cada 2,5 min para deshidratar el tejido y montar la laminilla cubre objetos con entellan (Humason, 1989).

6.2.2 Observaciones de placas mediante microscopio óptico

Las placas se observaron en un microscopio óptico Zeiss ICS KF2 con aumento desde 5X a 100X y micrómetro ocular, con el fin de observar las gónadas presentes en los mesenterios del pólipo, sus gametos (ovocitos o sacos espermáticos: espermatozoos) y registrar el estadio de maduración de la gónada y de sus gametos; así como realizar conteos del número de ovocitos y sacos espermáticos por gónada por pólipo fértil. La medición del diámetro máximo de los gametos, se realizó mediante el micrómetro ocular; el cual se instaló en los microscopios al momento de hacer las mediciones o cuando se hacían los registros fotográficos.

Cada una de las estructuras encontradas en *G. ventalina* fue identificada mediante literatura concerniente a octocorales al igual que de corales duros. Bayer y Weinheimer (1974) fueron los autores titulares del libro de la anatomía interna en octocorales y se dedujeron varias estructuras mediante este. También se hizo uso de las descripciones presentadas por Bayer, (1961), Chapman (1966), Alcolado *et al.*, (1980), Farrant (1986) y García-Parrado (1997), para la anatomía interna de los octocorales. Por otro lado se tomaron los trabajos realizados en escleractínidos del Caribe colombiano de Rojas-Tovar (2005) y Perilla-Rocha y Santacruz-Castro (2007).

Teniendo en cuenta los estadios de maduración gonadal de las especies de corales hermatípicos descritos por Perilla-Rocha y Santacruz-Castro (2007); Rojas-Tovar (2005) y Peters (1984). Así como los valores de referencia de diámetros máximos de ovocitos en varios corales blandos (Benayahu y Loya, 1984a; 1986) se establecieron tres estadios de desarrollo gonadal para los gametos encontrados, siendo ajustados para *G. ventalina* (Tabla 3). Teniendo

como criterio el tamaño, posición del núcleo y cantidad de vitelo para los ovocitos. Para los sacos espermáticos se tuvo en cuenta el tamaño, la membrana de separación de cada uno y la presencia de lumen (espacio al interior del saco) en cada gameto masculino. Los gametos del abanico de mar se ubican al interior de la cavidad gastrovascular en la capa endodérmica o entodermo (Bayer y Weinheimer, 1974), unidos entre sí mediante la mesoglea; se desarrollan de forma pedunculada en la sección basal del filamento mesentérico del pólipo, encontrando gametos en diferente estadio dentro del mismo pólipo.

6.3 Fase de Gabinete

Se hizo un análisis exploratorio con los datos registrados en las placas histológicas de las colonias de *G. ventalina* sobre su mecanismo reproductivo, la fertilidad, la fecundidad, los aspectos morfológicos de los productos sexuales versus el tamaño de la colonia y la ubicación de los pólipos en la colonia (b, m y a) mediante medidas de tendencia central (promedio) y medidas de variabilidad (error estándar) para cada mes y para el periodo de tiempo total muestreado. Se calculó la fertilidad de gametos femeninos o número de gametos totales (f) y la fertilidad masculina o número de gametos totales (m), en las secciones (b, m o a) de las colonias observadas por mes para cada sector.

Se determinó el diámetro promedio (μm) de los gametos (f y m) por estadio por sector durante los meses de monitoreo. La medición del diámetro promedio en los gametos se realizó mediante el uso del micrómetro, un objetivo ocular con una reglilla de 1 mm lo cual corresponde a 1.000 μm , cuando es observada en el portaobjetos. Se realizó una regla de tres simple, se obtiene la medición en cada uno de los objetivos u oculares del microscopio donde la X es el número de líneas que se observó como medida del gameto. Mediante las siguientes fórmulas se

Aspectos reproductivos de *Gorgonia ventalina* (Linneaus, 1758) en Santa Marta 

calcularon las medidas de cada gameto según el lente objetivo con el cual fuera observado.

Calibración del micrómetro (para el de ocular **5x**):

Medición (No. de líneas en el ocular: **5x**): $\frac{X*1000\mu m}{50_{\text{líneas}}}$

Calibración del micrómetro (para el de ocular **10x**):

Medición (No. de líneas en el ocular: **10x**): $\frac{X*1000\mu m}{100_{\text{líneas}}}$

Calibración del micrómetro (para el de ocular **40x**):

Medición (No. de líneas en el ocular: **40x**): $\frac{X*250\mu m}{100_{\text{líneas}}}$

Calibración del micrómetro (para el de ocular **100x**):

Medición (No. de líneas en el ocular: **100x**): $\frac{X*100\mu m}{100_{\text{líneas}}}$

La actividad reproductiva de los octocorales se representa en un IF evaluado como el número de gametos por pólipo (Benayahu y Loya, 1983, 1986).

Con los promedios de número de gametos/pólipo (sean f o m) se halló el valor del IF, este índice se usó para hacer inferencias acerca de la actividad reproductiva de

G. ventalina a distintos niveles, se realizaron los cálculos del IF para cada uno de los sexos por estadio, por sección (b, m, a), a nivel de la colonia. Todos estos cálculos se hicieron para los siete meses muestreados y para los dos sectores.

Las siguientes fórmulas se emplearon para el cálculo del IF para el género femenino como el masculino:

Índice de fecundidad femenino (IF_f):

$$\text{IF}_f = \frac{\text{No. gametos } f \text{ (ovocitos)}}{\text{Pólipo}}$$

Índice de fecundidad masculino (IF_m):

$$\text{IF}_m = \frac{\text{No. gametos } m \text{ (sacos espermáticos)}}{\text{Pólipo}}$$

El IF del abanico de mar se observó y analizó, desde el nivel micro-celular (estadio gonadal) hasta el macro-celular (la colonia muestreada). Para observar si existía o no una relación entre el tamaño de la colonia femeninas y el IF, al igual que entre el tamaño de las colonias masculinas y su IF se empleó la prueba de análisis de regresión lineal simple de mínimos cuadrados (Zar, 1999). Para determinar si el tiempo de muestreo influye de alguna manera sobre el IF de las colonias femeninas de *G. ventalina* se empleó la prueba de Kruskal-Wallis, la cual evalúa si existen o no diferencias entre los IF-f (gametos femeninos) en los meses muestreados.

Con el fin de establecer si entre los dos sectores hay diferencias en la variable IF se realizó la prueba t-Student (Zar, 1999). Para determinar si existían diferencias entre las colonias femeninas y las masculinas se registró si el sexo influía sobre el IF, por lo cual se procedió a realizar la prueba T-Student (Zar, 1999).

Para comparar el IF de los ovocitos en las colonias del abanico de mar con respecto a las secciones de cada colonia (b, m y a) se llevó a cabo la prueba Kruskal-Wallis. El mismo test fue realizado en la comparación de los sacos espermáticos en cada una de las secciones (b, m y a) de las colonias masculinas de *G. ventalina*. En los casos en que se utilizó el fundamento de Kruskal-Wallis fue debido a que las variables analizadas no cumplieron con los supuestos de normalidad (prueba de Shapiro-Wilks) y homogeneidad de varianzas (contraste de Bartlett) (Zar, 1999).

7 RESULTADOS

7.1 Características Internas de los Pólipos de *G. ventalina*

Las observaciones a nivel microscópico de las placas histológicas permitieron describir aspectos anatómicos y reproductivos de la especie, entre ellos: la configuración interna del pólipo y las estructuras que lo conforman; el esqueleto o eje axial de gorgonina, la actividad antifúngica, la presencia del hongo *Aspergillus*, los tentáculos, la zona oral o boca, las zooxantelas, la cavidad gastrovascular, los filamentos mesentéricos, el filamento asulcal o infértil, los músculos retractores del filamento mesentérico, las fibras musculares a nivel de la cavidad gastrovascular, las células totipotentes o amebocitos, la mesoglea, los nematocistos, la epidermis ó ectodermis, la entodermis ó endodermis, la capa calicoblástica, las células glandulares-granulares, las células mucosas-secretoras, la red solenial y los productos sexuales ovocitos (femeninos) y paquetes o sacos espermáticos (masculinos).

El esqueleto o eje axial de gorgonina (compuesto de naturaleza proteíca) presentó formas ovaladas e irregulares en los cortes trasversales de tejido de *G. ventalina*. La coloración característica encontrada en el esqueleto de gorgonina fue morada (eosinófila) con líneas de grosor variable paralelas a este de coloración amarilla-anaranjada (basófilas), que corresponden a capas de melanina. También se caracteriza por presentar un núcleo hueco subdividido en numerosas cámaras por tabiques dispuestos a intervalos regulares; esto fue evidente en la totalidad de las placas (Figura 5). Por otro lado, se observaron colonias fértiles de *G. ventalina*,

que presentaron la actividad antifúngica desarrollado al interior del eje axial, evidente por el cubrimiento de las hifas del hongo con una capa de melanina.

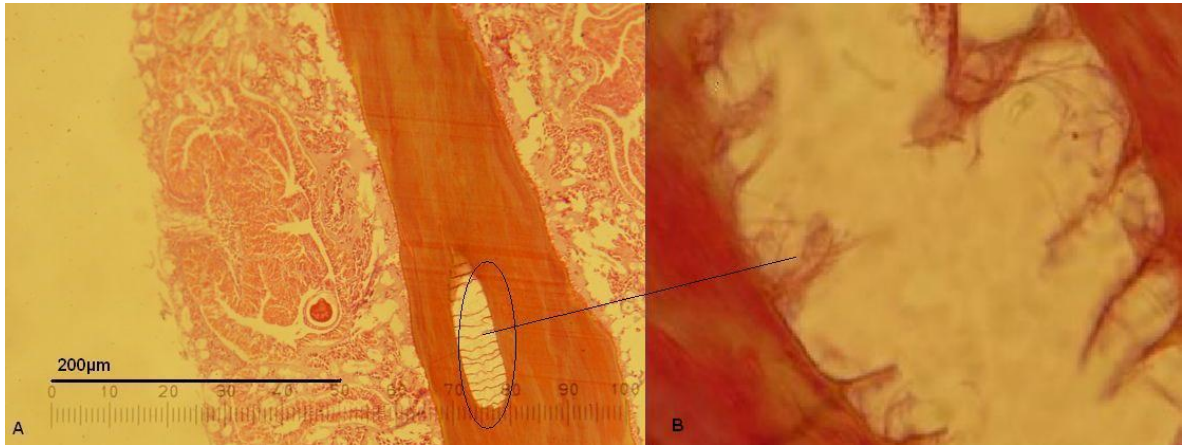


Figura 5. A. Placa histológica (A: 10X) donde se muestra el esqueleto de gorgonina o eje axial con su núcleo hueco subdividido en cámaras por tabiques y sus capas de melanina. B. Acercamiento al núcleo hueco de eje axial de gorgonina (A: 100X).

Los tentáculos en esta especie sólo se vieron de a un par, debido al corte (transversal) utilizado en el procesamiento histológico de las muestra. Se destacaron por estar rodeados por la epidermis, en esta capa se encontró nematocistos, células mucosas-secretores, zooxantelas, amebocitos y escleritos. Al interior del tentáculo había gran cantidad de fibras musculares o músculos retractores de este. Contiguo a la disposición de los tentáculos estaba presente la zona oral o boca con los mismos tipos celulares, rodeándola en los espacios intercelulares sólo había mesoglea, colindante a la boca se evidenciaba la apertura de la cavidad gastrovascular. Las zooxantelas se caracterizaron por estar presentes en gran abundancia en el interior del pólipo, todas presentaron forma redonda. Su coloración fue basófila (Figura 6).

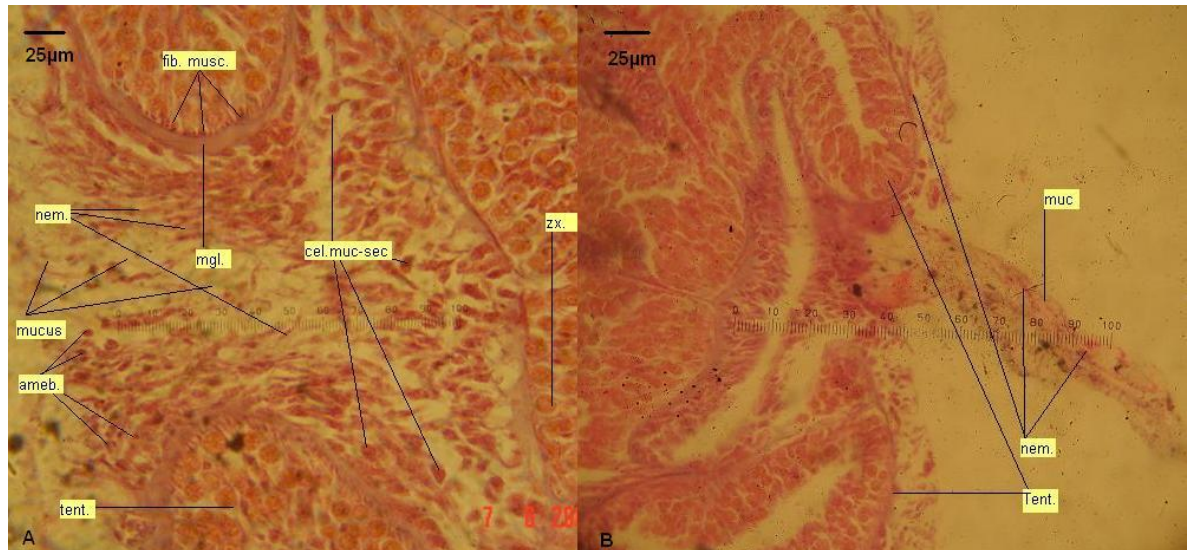


Figura 6. Fotografía microscópica donde se observan los tentáculos (tent.) y la zona oral con los tipos celulares presentes, fibras musculares (fib.musc.), mesoglea (mgl.), nematocistos (nem.), mucus (A; mucus, B; muc), amebocitos (ameb.), células muco-secretoras (cel.muc-sec) y zooxantelas (zx.) (A: 40X).

La cavidad gastrovascular se observó próxima a la zona oral, su tamaño era variable dependiendo de la configuración del pólipo y de la presencia de productos sexuales. En caso de que se presentaren, esta se hacía más reducida; destinándose exclusivamente para el desarrollo de los estadios avanzados de los gametos, los cuales a medida que maduran migran de la parte más interna de la cavidad gastrovascular hacia la zona oral, donde se presume que se encuentra el estadio más avanzado previo a la liberación al medio. Es de destacar que la cavidad gastrovascular estaba tapizada por amebocitos, fibras musculares, células glandulares-granulares y mucosas-secretoras.

Los filamentos mesentéricos tuvieron una coloración eosinófila y a modo de ramilletes estaban los músculos retractores coloreados basófilamente, los cuales sostienen y colaboran en la migración de los productos sexuales dentro de la cavidad gastrovascular (Figura 7).

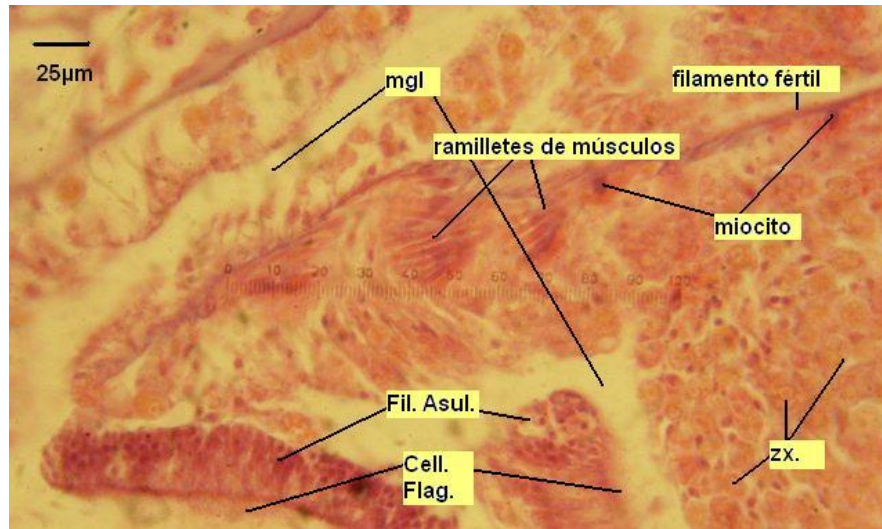


Figura 7. Fotografía microscópica donde convergen en un mismo plano a 40x de aumento el filamento fértil y el filamento asulcal o infértil (Fil.Asul.). Las demás estructuras señalas son mesoglea (mgl), ramilletes de los músculos retractores, célula muscular (miocito), las zooxantelas (zx.) y las células flageladas que rodean el filamento asulcal (Cell. Flag.).

El filamento asulcal o infértil se distinguía por tener una coloración eosinófila, el cual tiene la apariencia de particiones ovales ahuecadas o cavidades mesentéricas con una disposición radial respecto al centro de cada uno de los pólipos, también presenta un conglomerado de células redondas flageladas organizadas estratificadamente que rodean el filamento y al interior un espacio vacío que corresponde al mesenterio asulcal en sí; dado que es infértil no tiene productos sexuales, sólo el tejido de la mesoglea (Figura 8).

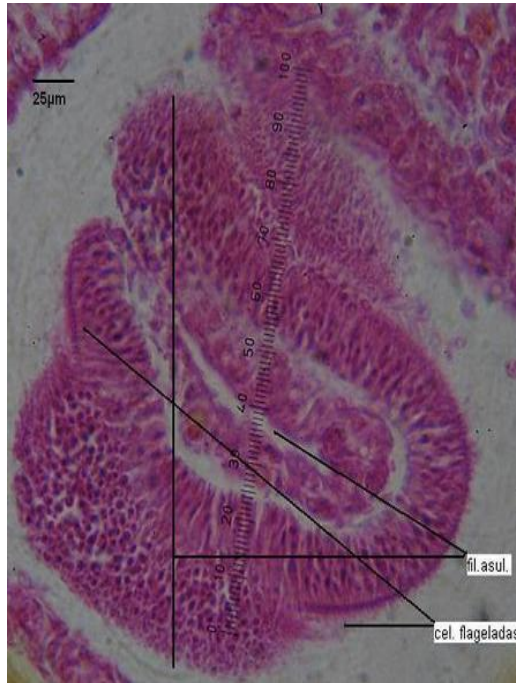


Figura 8. Disposición del filamento asulcal o infértil (fil. asul.) y las células flageladas que lo componen (A: 40x).

Las células totipotentes o amebocitos se vieron a nivel de los tentáculos, zona oral y cavidad gastrovascular; son de forma redonda y de coloración eosinófila. El tejido conocido como mesoglea se caracterizó por presentar una tinción eosinófila muy tenue (un lila muy claro), tendiendo a la transparencia. La mesoglea rodea todos los tipos celulares encontrados en *G. ventalina*; está presente en el interior de los productos sexuales.

Los nematocistos como se mencionó anteriormente están a nivel de los tentáculos, en la zona oral ó en la capa de mucus que se forma en la superficie del pólipo; donde entra en contacto con el medio y por ende con los depredadores y presas.

Los pólipos de *G. ventalina* registraron una talla promedio de $400,31 \pm 5,19 \mu\text{m}$, presentando filamentos mesentéricos (eosinófilos), los cuales se pliegan al interior de estos en proximidades al borde de los septos. Los filamentos mesentéricos se desarrollan en la cavidad gastrovascular del pólipo; es en estas estructuras donde se ubican las gónadas que contienen los productos sexuales. Las gónadas maduran en todas las particiones septales, excluyendo el par asulcal o infértil; es decir, sólo hay lugar a seis septos con facultades reproductoras. El filamento asulcal fue posible observarlo en la gran mayoría de las placas de las colonias infértiles y los filamentos mesentéricos con capacidades reproductivas se observaron por pares, un máximo de dos mesenterios visibles en un pólipo intacto, es decir, aquél que estuviera en buenas condiciones de fijación y perfectamente definible su configuración anatómica. El que no se haya observado un número mayor de filamentos es debido a que la totalidad de las placas presentaban pólipos con cortes trasversales y algunas veces sagitales (diagonales), por lo cual sólo se observaba de a dos pares, uno a lado y lado de la cavidad gastrovascular.

De forma pedunculada al filamento mesentérico del pólipo se adhiere una gónada con gametos de un solo sexo por filamento, ésta la rodea la mesoglea la cual paralelamente está rodeada de una capa de células entodérmicas, también llamadas células protectoras o células foliculares endodermales, capa que varía de grosor en *G. ventalina* según el sexo y el estadio. En gametos femeninos en estadio de maduración I, la capa entodérmica es muy delgada, sus células están aplanadas y en los siguientes estadios la capa va aumentando de grosor hasta que las células se hacen totalmente cilíndricas a forma de estrato cortical. Por el contrario en los gametos masculinos, la capa entodérmica que rodea los sacos espermáticos en desarrollo primario es muy gruesa y va disminuyendo de tamaño a medida que el gameto madura.

Durante el análisis de las placas se observaron ovocitos rojos (basófilos) de variadas formas (redondos, ovalares e irregulares). Dichas formas quizás dependan del espacio disponible al interior de la cavidad gastrovascular en el mesenterio para desarrollarse. Los sacos espermáticos presentaron formas redondas, ovaladas y un poco alargadas, observándose con una coloración azul-morado (eosinófilo). Cabe destacar que alrededor de las gónadas se identificaron gran cantidad de zooxantelas y estructuras como células glandulares- granulares.

A través de la cavidad gastrovascular, cada pólipo se comunica con los otros pólipos de la colonia a través de un sistema de tubos gastrodérmicos denominados solenios, los cuales se observaron en la totalidad de las placas y eran fácilmente identificables por la presencia de restos de alimentos, en su mayoría algas verdes al interior del tubo y también porque se conforman de la capa de células entodérmicas (Figura 9).

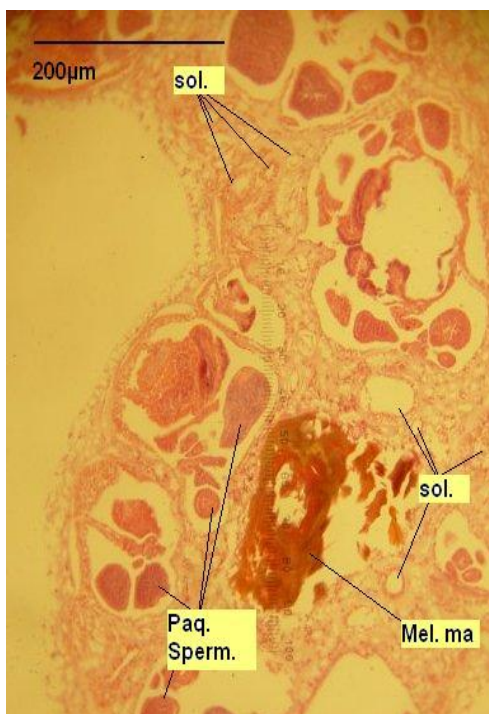


Figura 9. Fotografía microscópica donde se observan claramente cinco pólipos y varios solenios bien definidos. Se ve en los dos solenios del costado izquierdo de la fotografía la capa entodérmica de este tubo. (A: 10X)

7.2 Estadios de Desarrollo Gonadal de *G. ventalina*

En los pólipos de las colonias que desarrollaron gametos femeninos u ovocitos, se destacaron varias observaciones de abanicos en los cuales se encontraban los ovocitos maduros o en estadio III adyacentes a ovocitos en desarrollo gametogénico primario o estadio I, lo cual fue una tendencia a lo largo del muestreo, el desarrollo paulatino de ovocitos maduros y estadios primarios (Figura 10).

En los pólipos de las colonias masculinas que desarrollaron sacos espermáticos, también se destacaron varios abanicos en los cuales había sacos en diferentes estadios de desarrollo gonadal a lo largo de todos los meses de muestreo; mostrando ambos sexos la tendencia a periodos de embriogénesis prolongados.

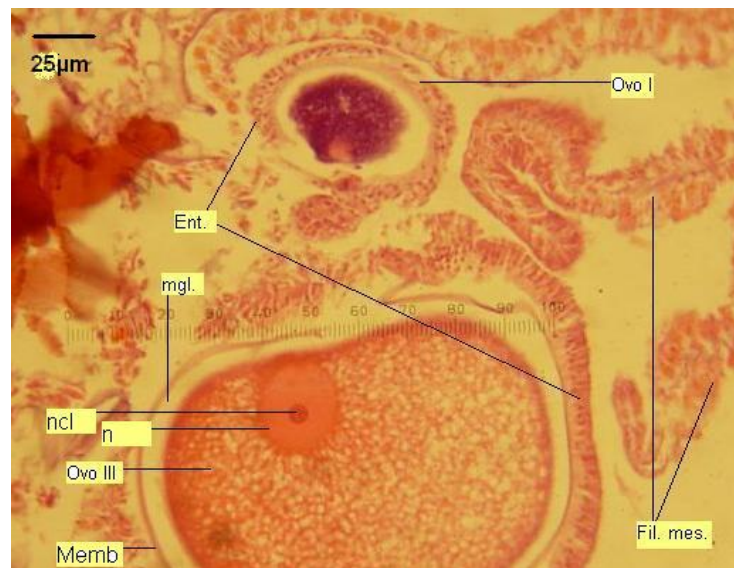


Figura 10. Fotografía microscópica mostrando la presencia de dos filamentos mesentéricos (Fil. mes): uno del ovocito en estadio primario (Ovo I) y otro del estadio avanzado (Ovo III). Los ovocitos están rodeados por la capa entodérmica (Ent.), y la mesoglea (Mgl). En la parte inferior se observa la membrana (Memb.), el núcleo(n), nucléolo (ncl) y el vitelo vesicular (A: 40x).

En mayo en el sector de II, se encontraron dos colonias femeninas y una sin gametos ni femeninos ni masculinos. En junio se observaron dos especímenes con sexo femenino y uno masculino. En julio se volvió a presentar una colonia con ausencia de gametos y las otras dos muestreadas corresponden a abanicos de mar del género femenino. En agosto todas las colectadas fueron femeninas. En septiembre se registraron dos colonias masculinas y una femenina. En octubre todas las muestras recopiladas pertenecen al género masculino. Por último, en noviembre se observaron dos colonias masculinas y una femenina (Anexo 2).

En el sector de PB, de mayo a julio todas las colonias colectadas fueron femeninas. En agosto hubo dos abanicos femeninos y uno masculino. En septiembre se muestrearon dos especímenes masculinos y uno femenino. En octubre se hallaron dos colonias masculinas y la otra carecía tanto de gametos femeninos como masculinos. En noviembre se registró un abanico de mar masculino y dos femeninos (Anexo 3).

Los meses que presentaron los mayores porcentajes de fertilidad femenina en el sector de II para los gametos en estadio primario fueron mayo y junio (86,57 y 87,18 % respectivamente). Para el estadio de maduración avanzado los meses con los mayores porcentajes de fertilidad en número de ovocitos fueron septiembre (44,26 %), noviembre (37,84 %) y agosto (22,97 %). En octubre no se presentan resultados porque sólo se colectaron colonias masculinas (Tabla 1).

En PB los meses con mayores porcentajes de fertilidad de gametos femeninos en estadio de maduración inicial fueron mayo (77,91%) y junio (75,31%). Por otro lado los ovocitos con mayor madurez tuvieron una proporción más alta en noviembre (25,00 %) y agosto (18,71 %) (Tabla 1).

Las colonias masculinas del sector II fueron monitoreadas durante los meses de junio, septiembre, octubre y noviembre. El 50 % de los sacos espermáticos se encontró en estadio primario mientras el mes de junio y el 66,84% en el mes de octubre. En el estadio de desarrollo avanzado o de maduración tres se encontraron porcentajes de fertilidad del 13,75 y 13,74 % en los meses de septiembre y octubre respectivamente (Tabla 2).

Las colonias de PB con el mayor porcentaje de fertilidad masculino en estadio primario se observaron en noviembre (75,68 %), septiembre (65,61 %) y octubre

(65,42 %) y los mayores porcentajes de sacos espermáticos avanzados (estadio III) se encontraron en octubre (14,95 %), noviembre (12,16 %) y septiembre (10,67 %) (Tabla 2).

En la Tabla 3 se describen los estadios de desarrollo gonadal de los productos sexuales femeninos y masculinos de la especie:

Tabla 1. Porcentaje de ovocitos (n, es el número de ovocitos encontrado en cada mes) para cada uno de los estadios de desarrollo gametogénico en *G. ventalina* en los sectores de Inca Inca (II) y Punta Betín (PB) en el área de Santa Marta.

INCA INCA -II-			
Mes/Estadio	I	II	III
Mayo (n = 67)	86,57	11,94	1,49
Junio (n = 78)	87,18	12,82	0,00
Julio (n = 142)	57,75	35,92	6,34
Agosto (n = 74)	44,59	32,43	22,97
Septiembre (n = 61)	22,95	32,79	44,26
Noviembre (n = 37)	43,24	18,92	37,84
	59,04	26,14	14,81
PUNTA BETÍN -PB-			
Mes/Estadio	I	II	III
Mayo (n = 163)	77,91	14,72	7,36
Junio (n = 239)	75,31	23,01	1,67
Julio (n = 244)	73,77	24,18	2,05
Agosto (n = 155)	47,74	33,55	18,71
Septiembre (n = 30)	66,67	26,67	6,67
Noviembre (n = 76)	32,89	42,11	25,00
	66,81	25,36	7,83

Tabla 2. Porcentaje de sacos espermáticos (n, es el número de sacos encontrado en cada mes) para cada uno de los estadios de desarrollo gametogénico en *G. ventalina* en los sectores de Inca Inca (II) y Punta Betín (PB) en el área de Santa Marta.

INCA INCA -II-			
Mes/Estadio	I	II	III
Junio (n = 24)	50,00	33,33	16,67
Septiembre (n = 160)	62,50	23,75	13,75
Octubre (n = 182)	66,48	19,78	13,74
Noviembre (n = 94)	64,89	24,47	10,64
	63,91	22,83	13,26
PUNTA BETÍN -PB-			
Mes/Estadio	I	II	III
Agosto (n = 238)	52,10	39,92	7,98
Septiembre (n = 253)	65,61	23,72	10,67
Octubre (n = 214)	65,42	19,63	14,95
Noviembre (n = 74)	75,68	12,16	12,16
	62,39	26,44	11,17

Tabla 3. Descripción de estadios de maduración de los sacos espermáticos y ovocitos presentes en *G. ventalina* en el área de Santa Marta.

Características femeninas	Estadio I	Estadio II	Estadio III
Valores máximos y mínimos de tamaño	4,0 – 92,5 μm .	38,8 – 192,5 μm .	95,6 – 537,5 μm .
Citoplasma	Fibrilar-basófila (rojo).	Granular-basófila (rojo).	Vesicular-basófila (rojo).
Núcleo	No es visible.	Central ó lateral-basófila (rojo); si se logra visualizar.	Lateral o periférico-basófila (rojo).
Nucléolo	Eosinófilo (azul) cuando era visible.	Eosinófilo (azul) cuando era visible.	Eosinófilo (azul) cuando era visible.
Membrana vitelina	Con filamentos basófilas (rojos).	Simple basófila.	Doble, una membrana delgada y un estrato cortical grueso (ambas eosinófila-azules).
Características masculinas	Estadio I	Estadio II	Estadio III
Valores máximos y mínimos de tamaño	11,0 - 191,9 μm .	30,25 – 192,50 μm .	28,5 – 225,0 μm .
Células gaméticas	Espermatogonias.	Espermatogonias > Espermatídes > Espermatozoa.	Espermatogonias < Espermatídes < Espermatozoa.
Tamaño de las células gaméticas predominantes (promedio)	4 μm .	Espermatídes: 3 μm . Espermatozoa: 1,2 μm .	Espermatozoa: 1,0 a 1,2 μm .
Cantidad	+20.	+50.	Incontables.
Color	Eosinófila (azul).	Eosinófila (azul).	Eosinófila (azul).
Forma	Redondas, algunas excepciones: alargadas.	Redondas, muy pocas caliciformes (cabeza con forma cónica).	Unas pocas redondas y la mayoría caliciformes.
Membrana	Simple basófila (rojo).	Delgada simple y basófila (rojo).	Muy delgada y simple basófila (rojo).
Lúmen	Presente pero variable, dependiendo del tamaño del paquete. Sin colas, espacio vacío.	Algunas colas.	Presente, forma de bouquet ó ramillete basófilos (rosado).
Otros	Ubicación del paquete central al eje mesoglear.	Estadios tempranos se ubican en la periferia del paquete, mientras que los avanzados más centrales o a un extremo.	Conglomeración mayor, influye en la coloración más eosinófila del paquete.

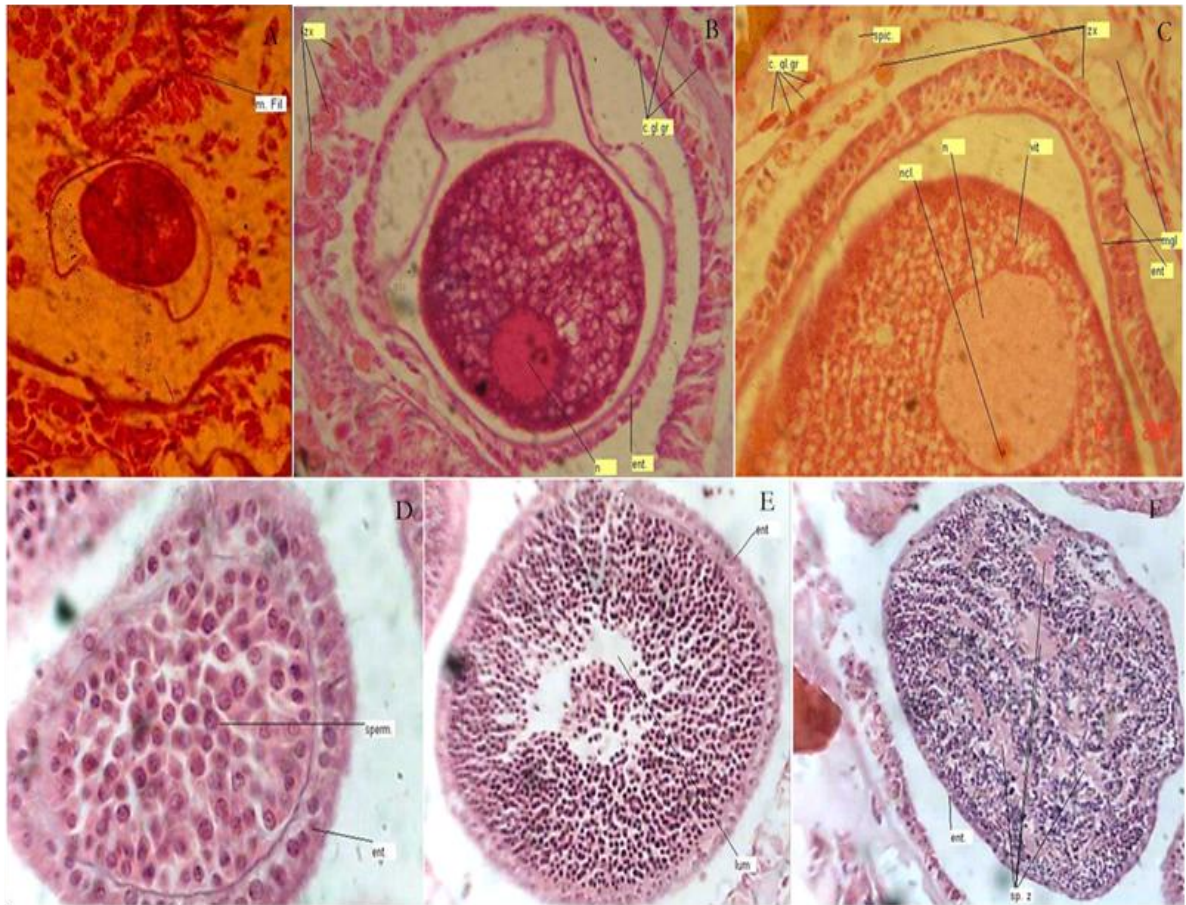


Figura 11. Fotografías de los diferentes estadios de maduración de ovocitos y sacos espermáticos de *G. ventalina* en el área de Santa Marta. A. Ovocito en estadio de maduración I (A: 100X), en la parte externa se puede observar el filamento mesentérico (m. Fil) del cual está unido. B. Estructura de un ovocito en estadio de maduración II (A: 100X), exhibiendo el núcleo a nivel lateral (n), rodeado por una capa de células protectoras entodérmicas (ent), se observan algunas zooxantelas (zx) y células glandulares granulares (c.gl.gr). C. Ovocito en estadio de maduración III (A: 40X), exhibiendo el vitelo vesicular (vit) y un núcleo (n) lateral con su respectivo nucléolo (ncl). En la parte externa se pueden observar algunas estructuras como la capa de células protectoras entodérmicas (ent), zooxantelas (zx), células glandulares granulares (c.gl.gr), espículas (spic) y el filamento mesentérico (m.Fi). D. Saco espermático en estadio de maduración I (A: 100X), en la parte externa se pueden observar las espermatogonias (sper) y hacia la parte externa se encuentra la capa de células protectoras entodérmicas (ent.). E. Saco espermático en estadio de maduración II (A: 100X), exhibiendo hacia la parte central el lumen (lum.), sin presencia de colas y una mayor concentración de espermatogonias, espermátides y espermatozoos, rodeado por una capa de células protectoras entodérmicas (ent.). F. Saco espermático en estadio de maduración III (A: 100X), en la parte interna se pueden observar algunos espacios basófilos (sp.z), donde están concentradas las colas de los espermatozoos y en la parte interna es visible la capa de células protectoras entodérmicas (ent.) Fuente original Salcedo-Bahamón (2006), modificada para la figura por Manrique-Rodríguez (2007).

7.2.1 Ovocitos

7.2.1.1 Cantidad de Ovocitos

7.2.1.1.1 Estadio I

Se observaron ovocitos en desarrollo gametogénico primario (estadio I) a partir del mes de mayo y estuvieron presentes durante todos los muestreos excepto en octubre (donde sólo se encontraron sacos espermáticos en las placas analizadas). Sin embargo, el período con mayor cantidad de ovocitos en desarrollo primario fue julio, registrando 260 ovocitos para ambas estaciones.

En Inca Inca la mayor fertilidad (número de ovocitos) en estadio primario fue en julio, con 82. El periodo donde se encontraron en considerable número fue de mayo a julio (Figura 12). En este sector una colonia de mayo y otra de julio no presentaron gametos (Anexo 2).

En PB el número de ovocitos en estadio primario es superior a los encontrados en estadio II, con 180 huevos; éste pico se presentó durante el mes de junio, sin embargo, al igual que en II; los meses donde se encontraron la mayor cantidad de ovocitos en estadio primario fue de mayo a julio (Figura 13).

Este estadio fue reconocido por la presencia de ovocitos cuyo citoplasma de apariencia fibrilar tendía a la coloración rosada o morada (basófila en términos histológicos), durante las observaciones se caracterizó su membrana celular por ser simple y delgada (Tabla 3); (Figuras 11).

7.2.1.1.2 Estadio II

Se observaron ovocitos en desarrollo gametogénico intermedio (estadio II) para el sector de II desde el mes de mayo. En la Figura 12, se puede ver un aumento considerable en la cantidad de estos durante julio donde se presentaron 51 ovocitos, luego empieza a disminuir un poco (a 24 ovocitos) y en noviembre alcanza un mínimo de siete gametos femeninos para el estadio II.

En PB el comportamiento del número de ovocitos asciende de manera similar a una curva normal, desde mayo (n = 24 ovocitos), junio (n = 55 ovocitos), julio (n = 57 ovocitos), agosto (n = 52 ovocitos) y septiembre es el mes donde disminuye la fertilidad hasta 8; en noviembre vuelve a aumentar a 32 ovocitos (Figura 13). El número de ovocitos desciende considerablemente en septiembre debido a que sólo una colonia es femenina (Anexo 3).

Los ovocitos se caracterizaron por presentar células de coloración rojiza (ó en términos histológicos basófila), con una membrana simple, citoplasma de apariencia granular y un núcleo en algunas ocasiones observable en posición centro-lateral (Tabla 3), (Figura 11).

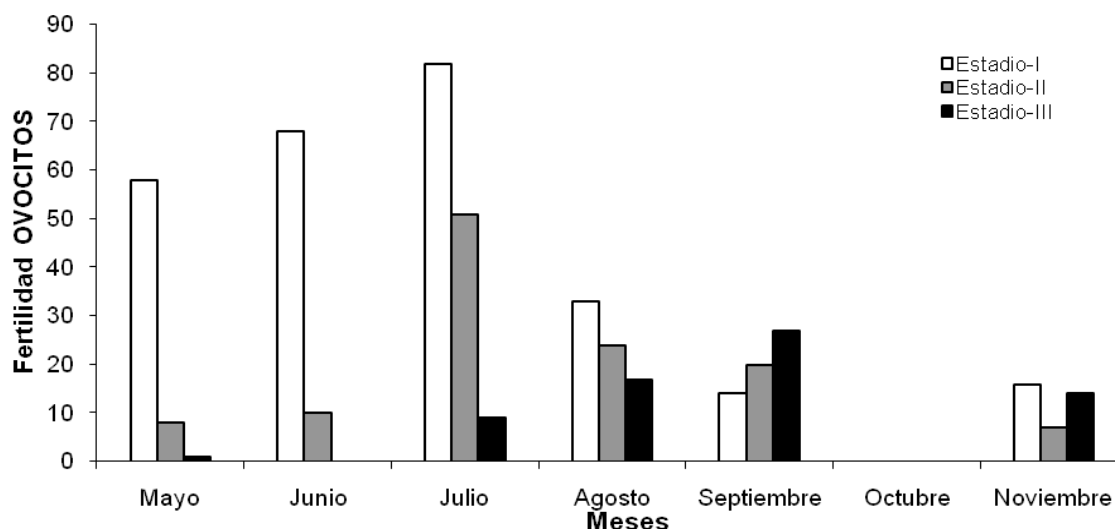


Figura 12. Fertilidad de ovocitos en *G. ventalina* en el sector Inca Inca.

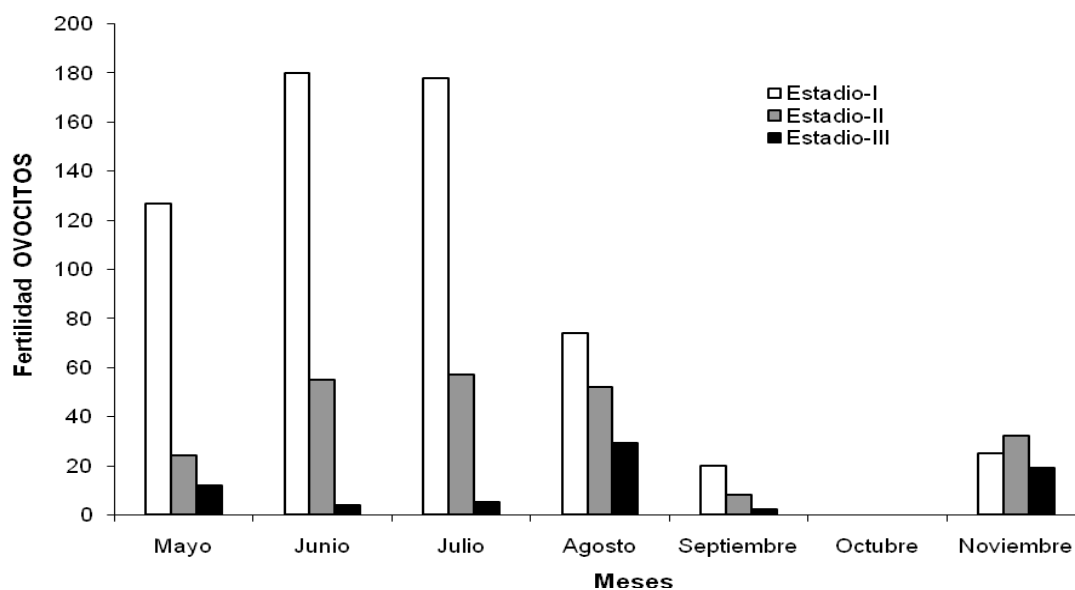


Figura 13. Fertilidad de ovocitos en *G. ventalina* en el sector de Punta Betín.

7.2.1.1.3 Estadio III

En el sector de II, los gametos femeninos en este estadio, al igual que los otros dos estadios, se observaron durante todo el estudio menos en octubre, encontrando la mayor cantidad de ovocitos en los meses de agosto y septiembre (17 y 27 ovocitos respectivamente) coincidiendo con la posible época de reproducción para Santa Marta en esta especie, que se infiere es por la zona oral con base en la presencia de los gametos en este estadio de desarrollo y la posición de estos dentro del pólip. Se encontraron 27 ovocitos en septiembre, que es una baja cantidad y se debe a que proviene de una sola colonia femenina, pues las otras corresponden a colonias masculinas (Anexo 2) y (Figura 12).

En agosto en el sector de PB se presentaron 29 ovocitos, en septiembre aumento para finalmente descender en noviembre (19 ovocitos) (Figura 13). También coincide con la época que se presume como temporada de reproducción. En agosto, septiembre y noviembre se encontraron dos, una y dos colonias femeninas respectivamente (Anexo 3).

Los ovocitos en este estadio de maduración presentaron, una membrana doble y gruesa de coloración azul-morada (ó en términos histológicos eosinófila) y un núcleo en posición lateral; las vesículas de vítelo que conforman el citoplasma fueron fácilmente diferenciables (Tabla 3) y (Figura 11). La gran mayoría de estos ovocitos se visualizaron en posición de la zona oral, siendo este un indicativo, como se mencionó antes, para predecir la posible temporada de reproducción de *G. ventalina* en el área de Santa Marta en el Caribe colombiano.

7.2.1.2 Tamaño de Ovocitos

7.2.1.2.1 Talla de ovocitos en Inca Inca

Los tamaños de los ovocitos se encuentran en los rangos entre los 4,0 y 92,5 μm de diámetro promedio para el estadio primario de desarrollo gametogénico

El diámetro máximo de ovocitos en estadio I se presentó en septiembre ($46,84 \pm 4,30 \mu\text{m}$), seguido por julio ($44,38 \pm 1,88 \mu\text{m}$) y agosto ($39,64 \pm 2,85 \mu\text{m}$). El menor diámetro promedio se encontró en junio ($27,83 \pm 1,38 \mu\text{m}$) (Figura 14).

Del estadio intermedio o estadio II, el máximo diámetro fue en mayo ($96,72 \pm 6,05 \mu\text{m}$) y el mínimo en julio ($72,20 \pm 1,77 \mu\text{m}$) (Figura 14). Estos gametos se registraron en un rango de tamaño de 38,8 a 192,5 μm de diámetro.

El mayor diámetro promedio del estadio más avanzado fue de 213,13 μm para el único ovocito encontrado en mayo. El mes que le sigue con mayor talla es noviembre ($158,48 \pm 15,23 \mu\text{m}$). Septiembre y agosto también fueron meses representativos respecto al diámetro promedio de ovocitos en estadio III con $149,98 \pm 6,42 \mu\text{m}$ y $125,18 \pm 5,54 \mu\text{m}$ respectivamente (Figura 14). Presentan un tamaño que osciló entre un rango de 95,6 y 537,5 μm de diámetro.

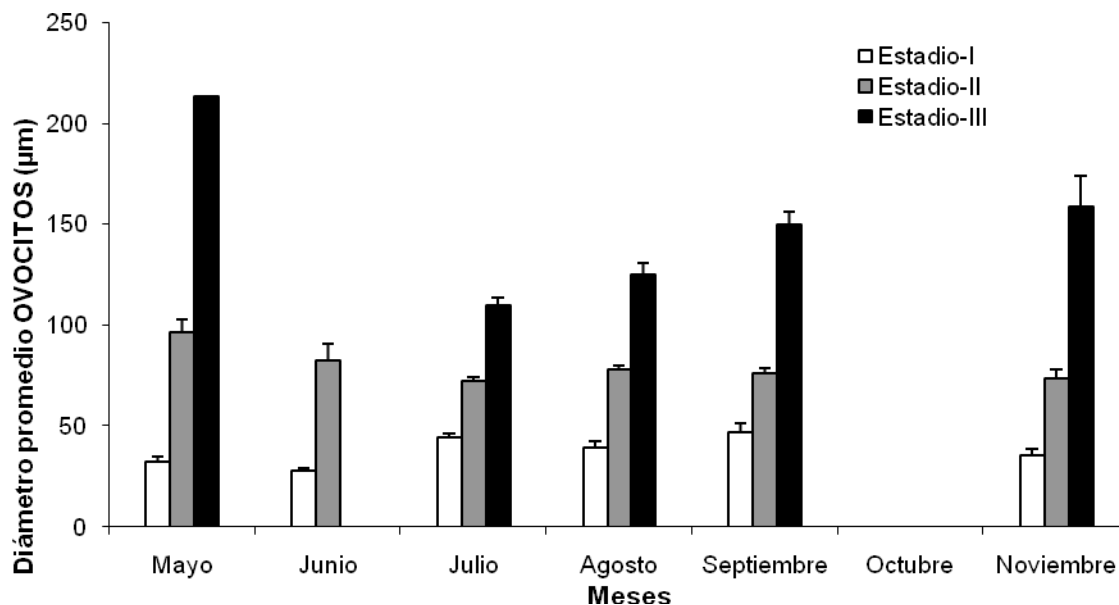


Figura 14. Diámetro promedio mensual ($\pm$ EE) de ovocitos de *G. ventalina* en el sector de Inca Inca.

7.2.1.2.2 Talla de ovocitos en Punta Betín

Los ovocitos de *G. ventalina* en estadio I tuvieron un mayor tamaño en septiembre ($52,09 \pm 3,34 \mu\text{m}$) y noviembre ($47,27 \pm 2,53 \mu\text{m}$). El menor diámetro promedio encontrado fue de $29,68 \pm 1,54 \mu\text{m}$ en mayo (Figura 15).

En cuanto a los ovocitos en estadio II, el mayor diámetro promedio se encontró en noviembre ($101,96 \pm 3,72 \mu\text{m}$) y el menor se registró en el mes de julio ($78,26 \pm 1,92 \mu\text{m}$) (Figura 15).

Los ovocitos en estadio III tuvieron el mayor diámetro promedio en julio con un valor de $249,88 \pm 76,46 \mu\text{m}$. Los valores medidos durante los meses de mayo, agosto y septiembre fueron $232,86 \pm 8,80 \mu\text{m}$, $180,93 \pm 8,06 \mu\text{m}$ y $204,38 \pm 25,00 \mu\text{m}$ respectivamente. Éstas últimas mediciones del tamaño son importantes dado Salcedo-Bahamón (2009)

que abarcan la época cálida; el valor del mes de mayo es de gran relevancia pues indica los ovocitos del ciclo gametogénico anterior o sino que paulatinamente se dan dos clases de tallas de gametos, grandes y pequeños a lo largo de meses distantes (Figura 15).

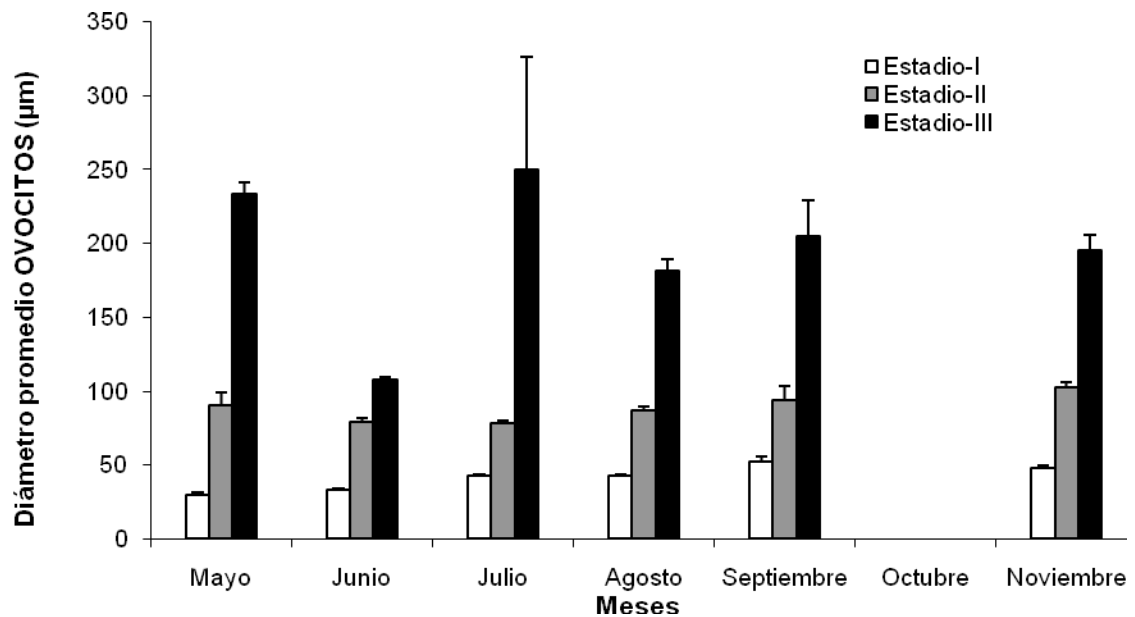


Figura 15. Diámetro promedio mensual ($\pm$ EE) de ovocitos de *G. ventalina* monitoreados en el sector de Punta Betín.

7.2.2 Sacos espermáticos

7.2.2.1 Cantidad de Sacos Espermáticos

7.2.2.1.1 Estadio I

En el sector II el mayor número de sacos espermáticos con desarrollo primario fue observado en el mes de octubre ($n = 121$). El trimestre en el cual se observaron siempre sacos en este estadio de *G. ventalina* fue septiembre-noviembre. Todas

las colonias de octubre fueron masculinas, dos en septiembre fueron masculinas, al igual que las dos colonias de noviembre (Figura 16 y Anexo 2).

El trimestre en el cual se desarrollaron el mayor número de sacos espermáticos en estadio primario en PB fue de agosto a octubre; el pico donde se presentaron el mayor número de sacos fue el mes de septiembre ($n = 166$). En agosto se observa que sólo una colonia aportó los datos para el número total de 124 sacos espermáticos encontrados mientras en septiembre se encontraron dos colonias masculinas al igual que en octubre con un total de 140 sacos (Figura 17 y Anexo 3).

Los gametos masculinos en estadio gametogénico primario se caracterizaron por presentar un número de espermatogonias o células primordiales contables (± 20), que estaban rodeadas de una membrana simple y gruesa de coloración basófila o rojiza. El espacio del lumen estaba presente pero variable y en una sección muy pequeña puesto que las espermatogonias se agregan saturadamente y el espacio es mínimo, dependiente del tamaño del saco, lumen sin colas, el tejido de la mesoglea es el que está presente al interior del lumen (Figura 11 y Tabla 3).

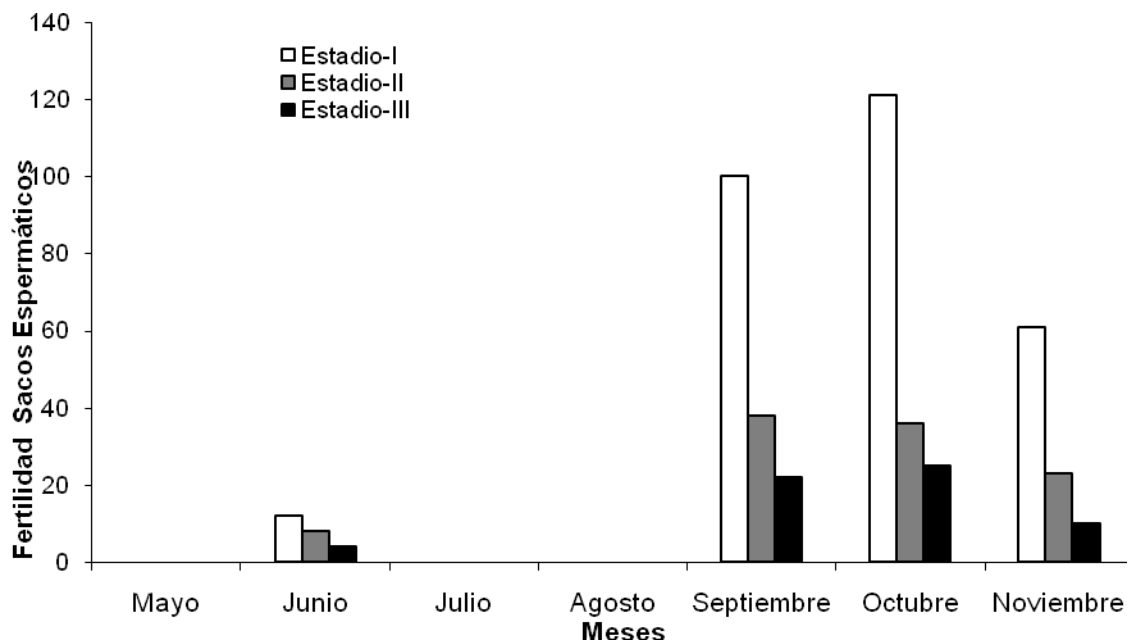


Figura 16. Fertilidad de sacos espermáticos en *G. ventalina* en el sector de Inca Inca.

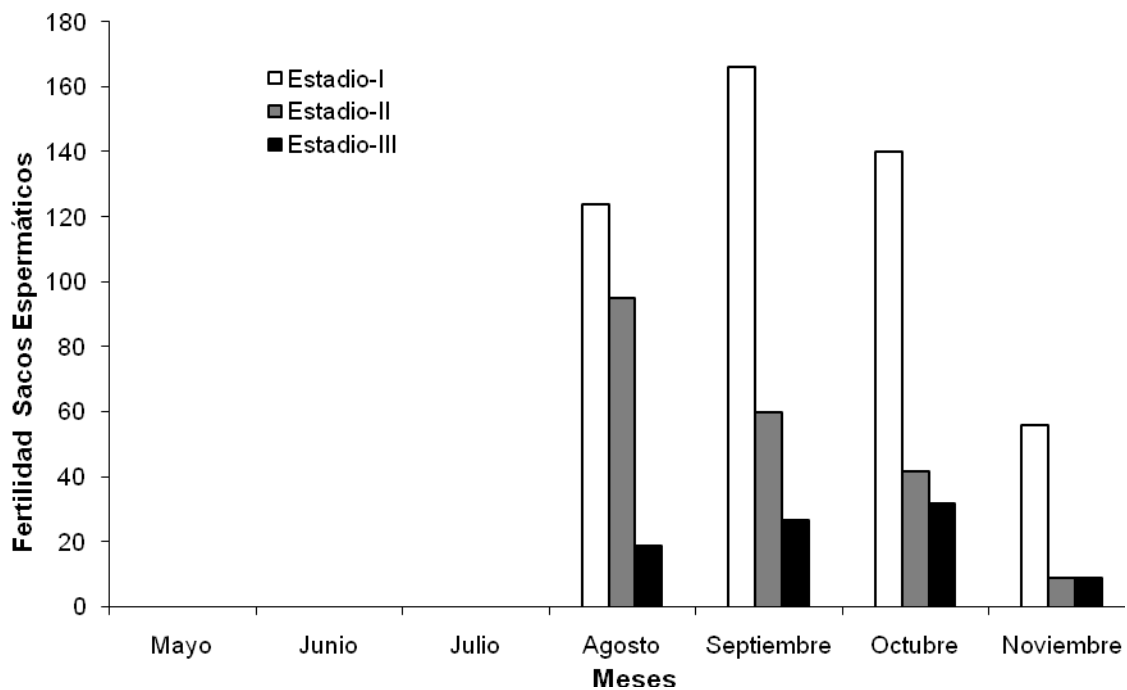


Figura 17. Fertilidad de sacos espermáticos en *G. ventalina* en el sector de Punta Betín.

7.2.2.1.2 Estadio II

Los gametos masculinos en estadio gametogénico II se observaron en los meses de agosto a noviembre. En el mes de septiembre se encontró el número máximo de sacos espermáticos en estadio II en los pólipos (38 sacos espermáticos) (Figura 16 y Anexo 2).

En PB el periodo donde se encontraron el mayor número de espermatogonias, espermátides y espermatozoos en desarrollo, es decir, los sacos espermáticos en estadio II fue de agosto a noviembre (coincidiendo con los mismos meses que el sector de II), siendo agosto el mes que desarrolló el mayor número de sacos en dicho estadio ($n = 95$), seguido por septiembre ($n = 60$) y octubre ($n = 42$) (Figura 17 y Anexo 3)

El estadio intermedio exhibió una membrana delgada y simple de coloración basófila o rojiza, presenta un número contable de espermatogonias, espermátides y espermatozoos (± 50), se observaron visibles las colas de algunos espermatozoos, las cuales son de coloración basófila o rojiza. El lumen estaba presente como un espacio a forma de “bouquets” ó ramillete de coloración eosinófilo o azul-morado (Figura 11 y Tabla 3).

7.2.2.1.3 Estadio III

Los sacos espermáticos en estadio III fueron observados entre septiembre y noviembre. Octubre fue el mes con el mayor número de sacos maduros (Figura 16 y Anexo 2).

Los espermatozoides maduros de *G. ventalina* en PB se encontraron en mayor número en octubre en un total de 32 sacos espermáticos desarrollados en dos colonias muestreadas durante dicho mes. En agosto y septiembre también hubo cantidad importante de paquetes espermáticos en dicho estadio (Figura 17 y Anexo 3).

Los gametos masculinos en estadio avanzado se caracterizaron en las observaciones por su número incontable de espermatozoos (estaban en mayor sección en relación a las espermatídes y espermatogonias), los cuales ubican sus cabezas hacia la periferia, mientras que hacia la parte central o hacia los espacios del lumen se localizan las colas formando los “*bouquets*” o ramilletes de coloración basófila rojiza. Estos gametos mostraron una membrana celular muy delgada y simple de color basófila (Figura 11) y (Tabla 3).

7.2.2.2 Tamaño de Sacos Espermáticos

7.2.2.2.1 Talla de sacos espermáticos en Inca Inca

En el estadio de desarrollo gametogénico primario los gametos masculinos tuvieron los mayores diámetros promedio en noviembre ($72,78 \pm 4,40 \mu\text{m}$), octubre ($53,26 \pm 2,40 \mu\text{m}$) y septiembre ($44,54 \pm 2,22 \mu\text{m}$). Junio fue el mes con el menor tamaño de sacos espermáticos en estadio temprano ($31,40 \pm 4,15 \mu\text{m}$) (Figura 18). Su Rango de tamaño osciló entre 11,0 y 191,9 μm (Tabla 3).

En el caso de los gametos en estadio secundario o intermedio de madurez se destacan exactamente los mismos meses que en los sacos espermáticos primarios: noviembre, octubre y septiembre con tallas promedio de $95,04 \pm 8,79 \mu\text{m}$, $89,85 \pm 6,41 \mu\text{m}$ y $69,56 \pm 3,75 \mu\text{m}$ respectivamente (Figura 18). Este estadio se caracterizó por tener gametos entre los rangos de tamaños 30,3 y los 192,5 μm de diámetro (Tabla 3).

Respecto a los sacos espermáticos en estadio de desarrollo gametogénico III se evidenció que en el sector de II los sacos con mayor tamaño promedio se presentaron en junio ($132,81 \pm 10,35 \mu\text{m}$). En septiembre los que tuvieron menor talla ($103,75 \pm 5,75 \mu\text{m}$) (Figura 18). El estadio III presenta un rango de tamaño entre los 28,5 y los 225,0 μm de diámetro (Tabla 3).

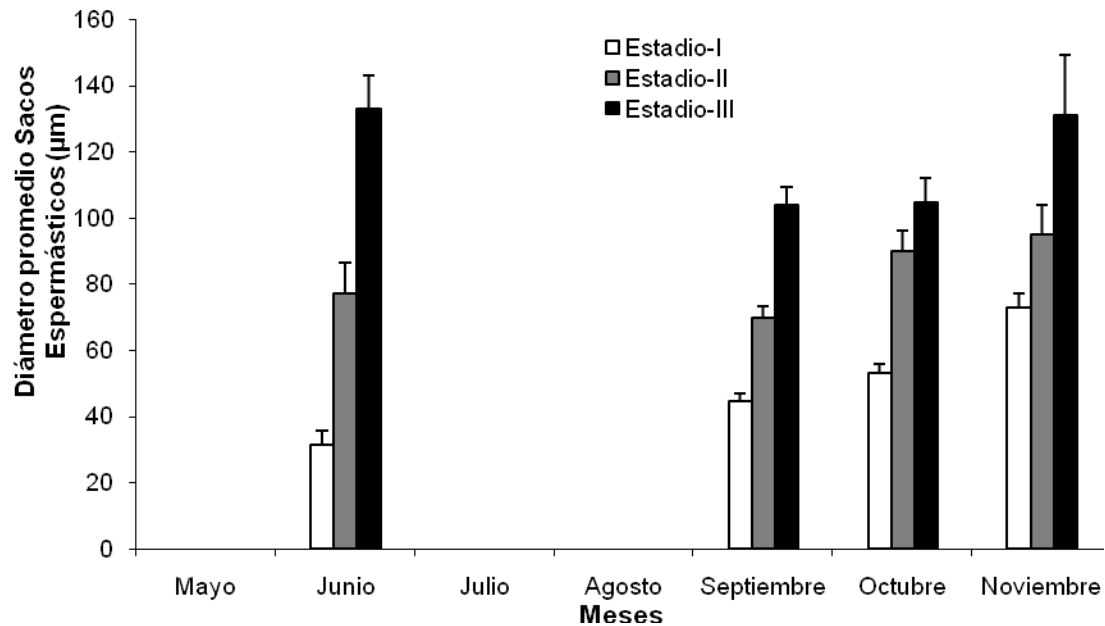


Figura 18. Diámetro promedio mensual ($\pm$ EE) de sacos espermáticos de *G. ventalina* en sector de Inca Inca.

7.2.2.2.2 Talla de sacos espermáticos en Punta Betín

Los meses con gametos masculinos en estadio I de mayor talla promedio se presentaron en noviembre ($72,57 \pm 4,47 \mu\text{m}$) y en septiembre los de menor tamaño ($58,35 \pm 2,34 \mu\text{m}$). Los sacos espermáticos en desarrollo gametogénico II presentaron diámetros promedio cercanos, que oscilaban entre $110,40 \pm 3,41 \mu\text{m}$ en agosto y $87,04 \pm 5,42 \mu\text{m}$ en octubre (Figura 19).

Los sacos espermáticos en estadio III presentaron diámetros promedio muy cercanos en octubre y septiembre con $99,51 \pm 6,63 \mu\text{m}$ y $99,91 \pm 5,83 \mu\text{m}$ respectivamente. Las mayores tallas se hallaron en agosto ($128,05 \pm 8,56 \mu\text{m}$) y noviembre ($103,66 \pm 10,79 \mu\text{m}$) (Figura 19).

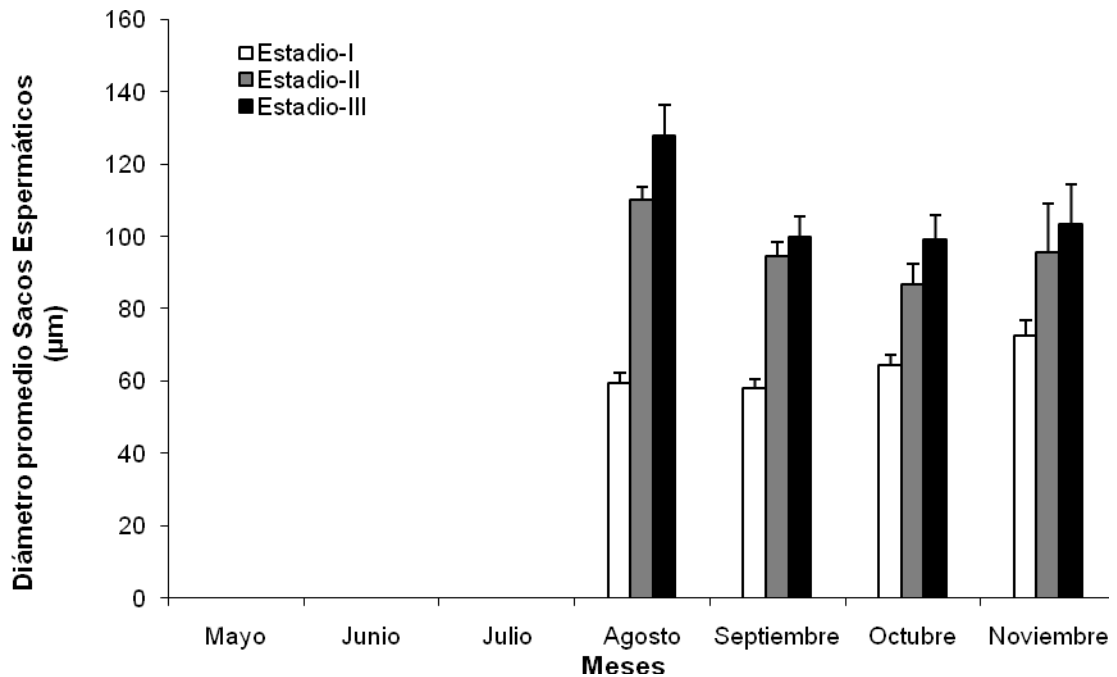


Figura 19. Diámetro promedio mensual ($\pm$ EE) de sacos espermáticos de *G. ventalina* en el sector de Punta Betín.

7.3 Actividad reproductiva de *G. ventalina*

En el mes de septiembre en el sector de II los gametos femeninos en estadio primario presentaron el mayor IF ($2,14 \pm 0,21$ ovocitos/pólipo), así como el mayor IF para las células sexuales en estadio II ($1,85 \pm 0,21$ ovocitos/pólipo) y en el estadio avanzado presentaron el segundo mayor valor en este mes ($1,44 \pm 0,12$ ovocitos/pólipo). Sin embargo, el mes con el mayor IF fue noviembre con $1,64 \pm 0,23$ ovocitos/pólipo, valor que si se compara con el calculado para el estadio primario es menor y posiblemente tenderá a crecer más si se estudia a la población por un periodo de tiempo más prolongado (Figura 20).

Junio, agosto y noviembre en el sector de PB mostraron IF similares para los gametos femeninos primarios ($1,89 \pm 0,09$, $1,93 \pm 0,13$ y $1,92 \pm 0,20$ ovocitos/pólipo respectivamente). El mes con el mayor IF para las células sexuales en estadio II, fue agosto ($1,48 \pm 0,10$ ovocitos/pólipo) y para los gametos en estadio avanzado de desarrollo gametogénico fue de $1,50 \pm 0,50$ ovocitos/pólipo en junio y $1,07 \pm 0,05$ ovocitos/pólipo en agosto (Figura 21).

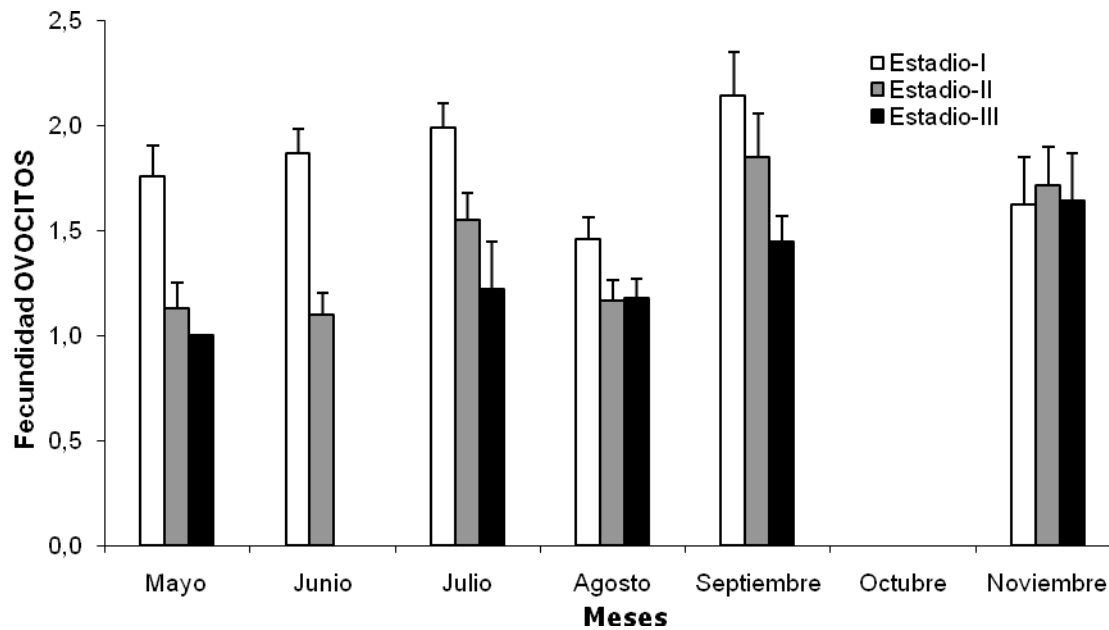


Figura 20. Fecundidad promedio mensual de ovocitos de *G. ventalina* para cada uno de los estadios en el sector de Inca Inca.

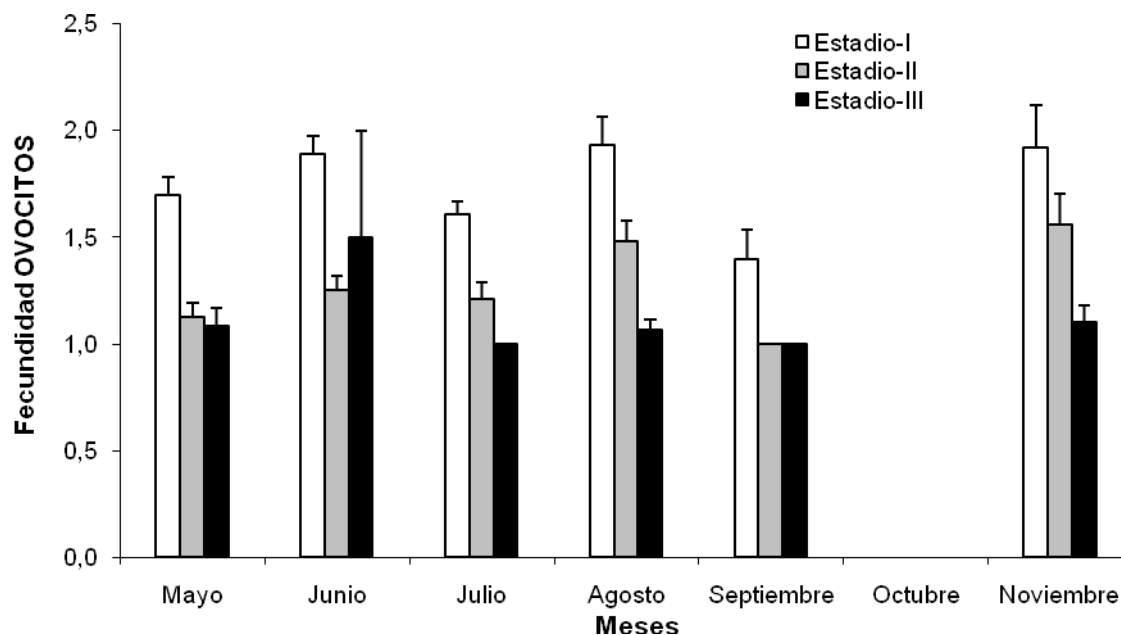


Figura 21. Fecundidad promedio mensual de ovocitos de *G. ventalina* para cada uno de los estadios en el sector de Punta Betín.

Los sacos espermáticos en estadio primario para el sector de II desarrollaron el mayor IF durante noviembre ($2,21 \pm 0,18$ sacos espermáticos/pólipo). En octubre se registraron $2,47 \pm 0,23$ sacos espermáticos/pólipo en estadio II. El IF más alto fue para los gametos masculinos en estadio avanzado ($3,30 \pm 0,80$ sacos espermáticos/pólipo) (Figura 22).

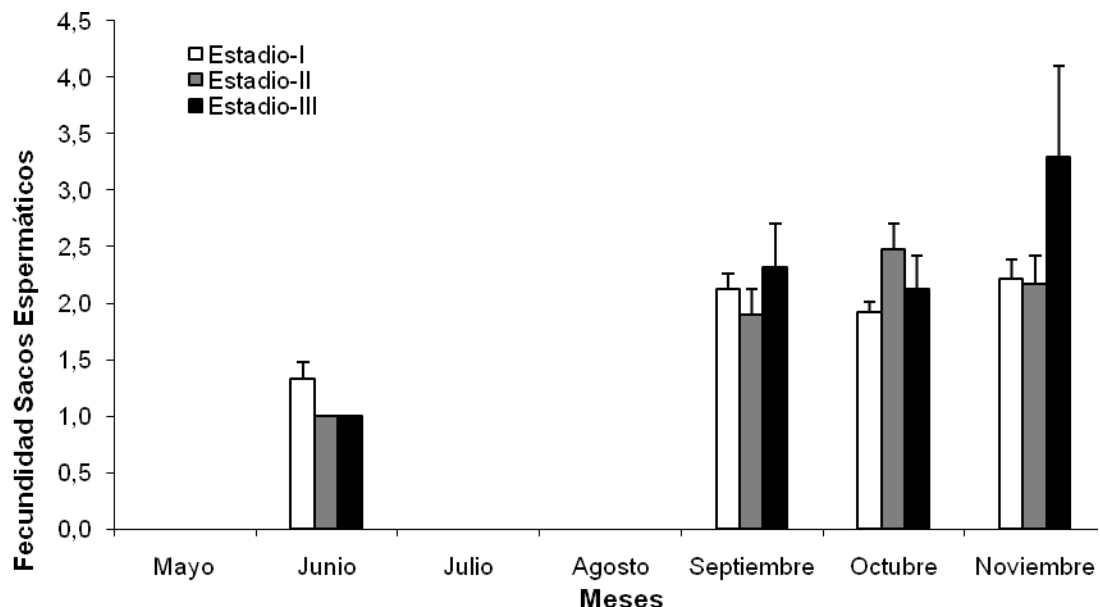


Figura 22. Fecundidad promedio mensual de sacos espermáticos de *G. ventalina* para cada uno de los estadios en el sector de Inca Inca.

Durante el mes de agosto se presentó el mayor IF para los sacos espermáticos en desarrollo inicial ($2,51 \pm 0,12$ sacos espermáticos/pólipo) en PB. En el mismo mes se dio la mayor fecundidad de sacos espermáticos en estadio II ($2,29 \pm 0,15$ sacos espermáticos/pólipo). Finalmente, los gametos masculinos en estado avanzado también desarrollaron su mayor IF en este mismo mes con un valor de $2,53 \pm 0,47$ sacos espermáticos/pólipo (Figura 23).

Los gametos femeninos localizados en la sección apical tuvieron IF solo en los meses de mayo y septiembre, en el primero tuvieron un IF de 1,00 y en el segundo de $1,67 \pm 0,33$ ovocitos/pólipo. En la sección basal el mayor IF se presentó en septiembre ($1,81 \pm 0,17$ ovocitos/pólipos) mientras que en los gametos observados de las colonias de *G. ventalina* pertenecientes a los pólipos de las

secciones mediales; se obtuvieron valores muy similares en el transcurso de los meses (Figura 24).

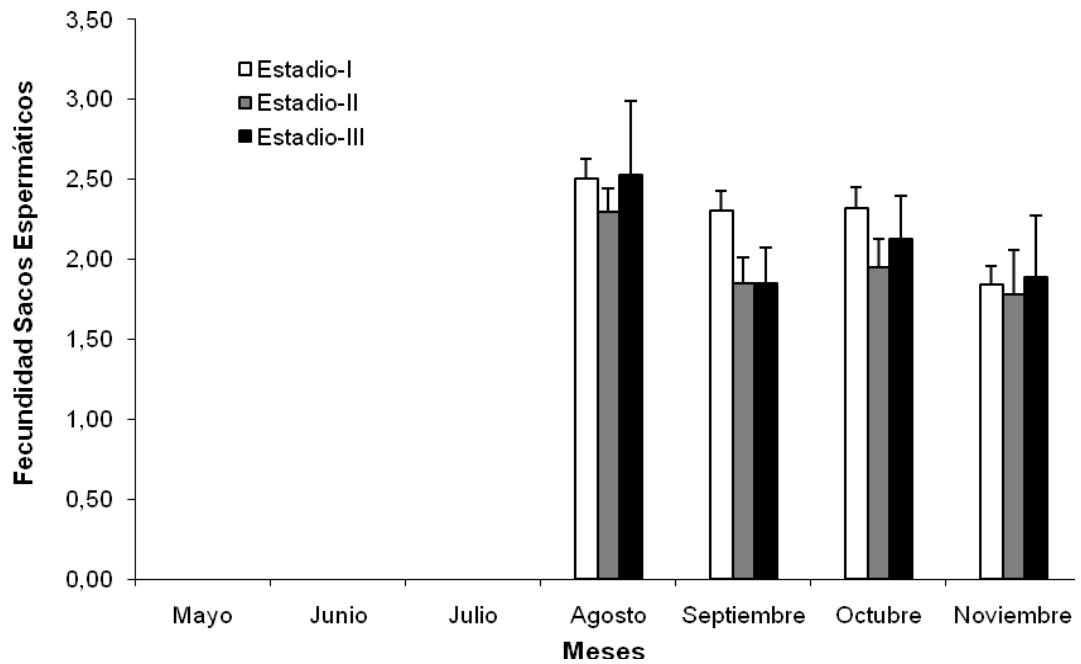


Figura 23. Fecundidad promedio mensual de sacos espermáticos de *G. ventalina* para cada uno de los estadios en el sector de Punta Betín.

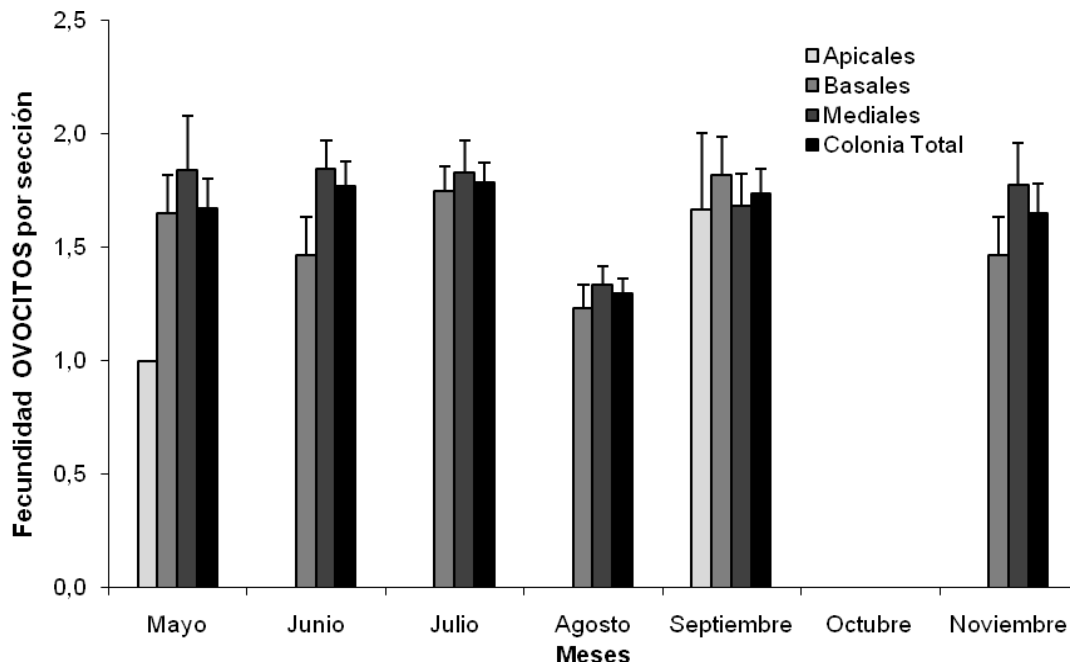


Figura 24. Fecundidad promedio mensual de ovocitos de *G. ventalina* en las secciones basal, medial y apical y la fecundidad para la colonia total en el sector de Inca Inca.

Los pólipos de la sección apical desarrollaron al interior de su cavidad gastrovascular un número máximo de $1,65 \pm 0,12$ ovocitos en el sector de PB en mayo. Los pólipos basales tuvieron el mayor número de ovocitos en el mismo mes ($1,74 \pm 0,17$ ovocitos) y los mediales presentaron un IF calculado de $1,82 \pm 0,09$ ovocitos/pólipo en junio (Figura 25).

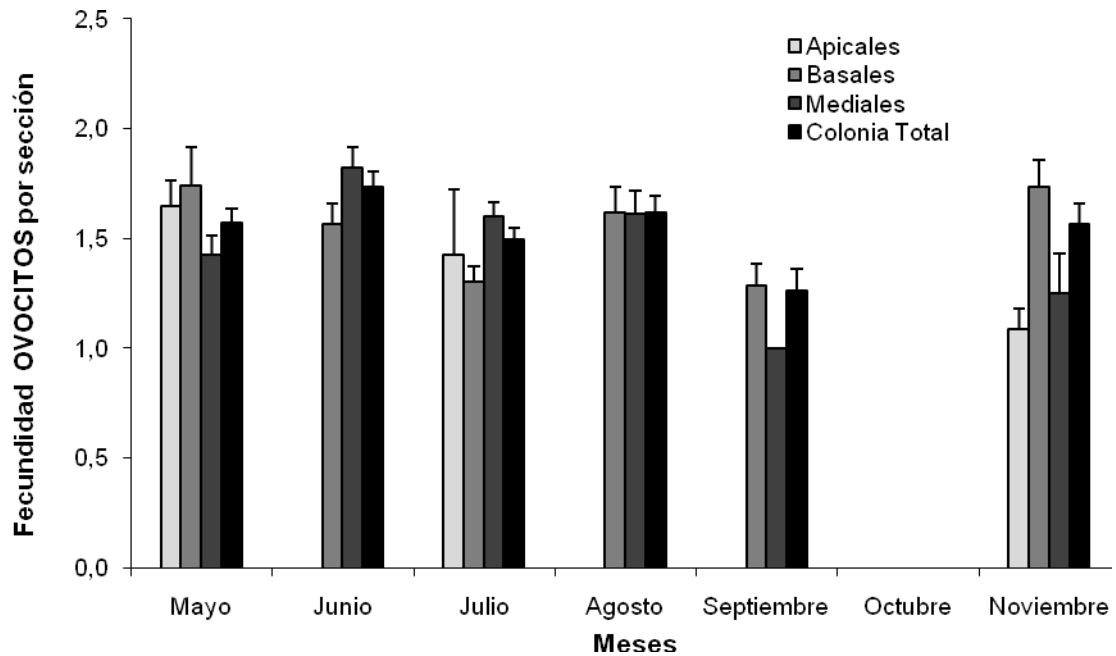


Figura 25. Fecundidad promedio mensual de ovocitos de *G. ventalina* en las secciones basal, medial y apical y la fecundidad para la colonia total en el sector de Punta Betín.

El IF para la sección apical en los gametos masculinos del abanico de mar en el sector de II fue de $1,57 \pm 0,30$ sacos espermáticos/pólipo en septiembre. En la sección basal fue de $2,41 \pm 0,24$ sacos espermáticos/pólipo y en los pólipos mediales el índice de fecundidad calculado fue $2,33 \pm 0,22$ sacos espermáticos/pólipo; ambos índices se registraron en noviembre (Figura 26).

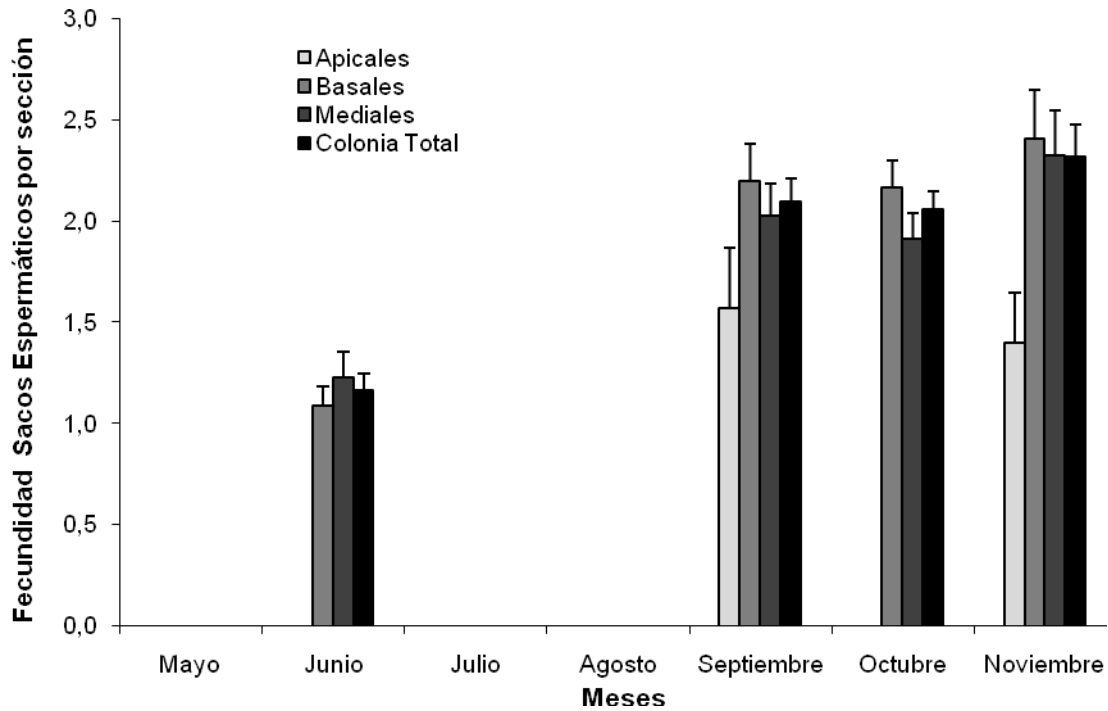


Figura 26. Fecundidad promedio mensual de sacos espermáticos de *G. ventalina* en las secciones basal, medial y apical y la fecundidad para la colonia total en el sector de Inca Inca.

En Punta Betín, el mayor IF de pólipos masculinos apicales se presentó en septiembre ($1,50 \pm 0,34$ sacos espermáticos/pólipos). En la sección basal el mayor IF fue de $2,32 \pm 0,16$ sacos espermáticos/pólipo que se presentó en agosto mientras en los pólipos mediales el mayor IF fue de $2,48 \pm 0,11$ sacos espermáticos/pólipo en este mismo mes (Figura 27).

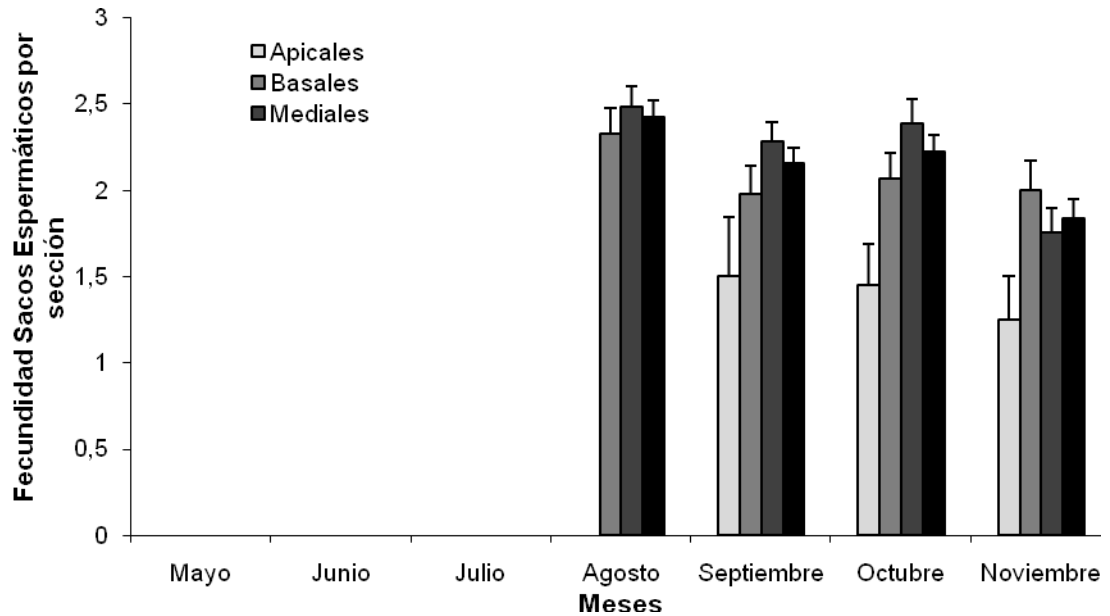


Figura 27. Fecundidad promedio mensual de sacos espermáticos de *G. ventalina* en las secciones basal, medial y apical y la fecundidad para la colonia total en el sector de Punta Betín.

En general, las colonias masculinas con los mayores IF en cada mes fueron I23 en noviembre ($2,59 \pm 0,23$ sacos espermáticos/pólipo) e I20 en octubre ($2,35 \pm 0,16$ sacos espermáticos/pólipo). Las colonias femeninas con los mayores IF fueron I7 en junio ($1,88 \pm 0,12$ ovocitos/pólipo), la colonia I12 en julio ($1,79 \pm 0,12$ ovocitos/pólipo) y en septiembre la colonia I18 ($1,74 \pm 0,10$ ovocitos/pólipo) (Figura 28).

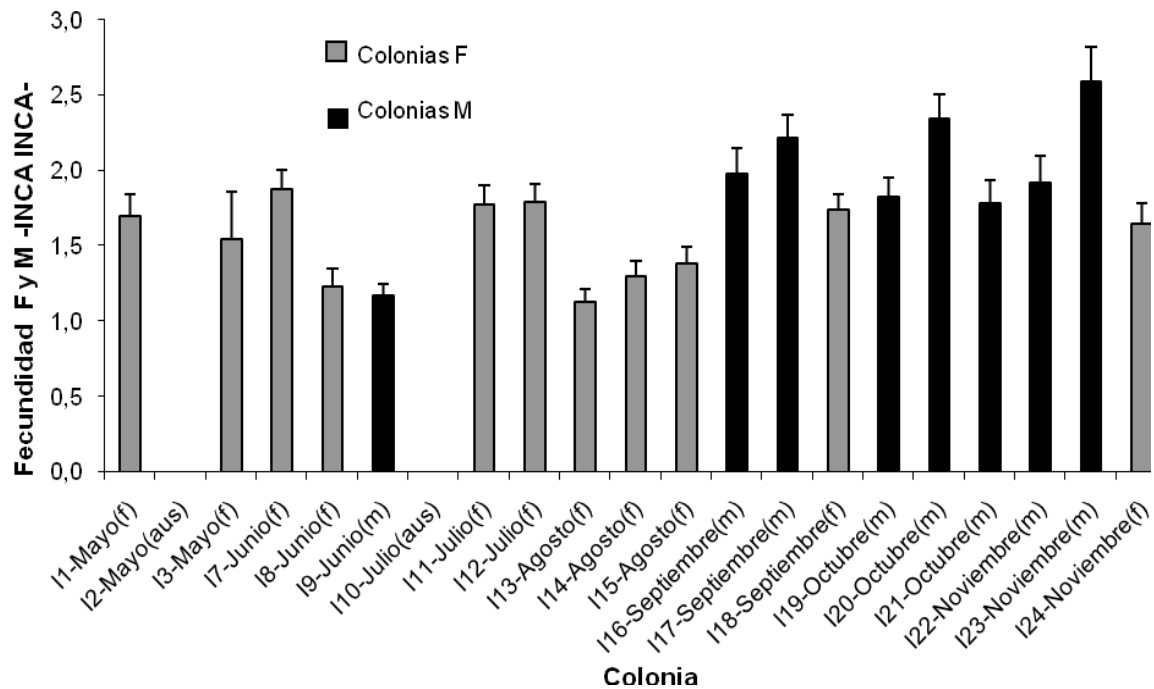


Figura 28. Fecundidad de ovocitos y sacos espermáticos de *G. ventalina* en cada colonia en el sector de Inca Inca.

En Punta Betín, las colonias masculinas B14 y B20 en los meses de agosto y octubre presentaron los mayores IF ($2,42 \pm 0,09$ sacos espermáticos/pólipo y $2,30 \pm 0,16$ sacos espermáticos/pólipo respectivamente). Las colonias femeninas B9 en junio y B13 en agosto tuvieron los mayores IF ($2,10 \pm 0,22$ y $1,78 \pm 0,10$ ovocitos/pólipo respectivamente) (Figura 29).

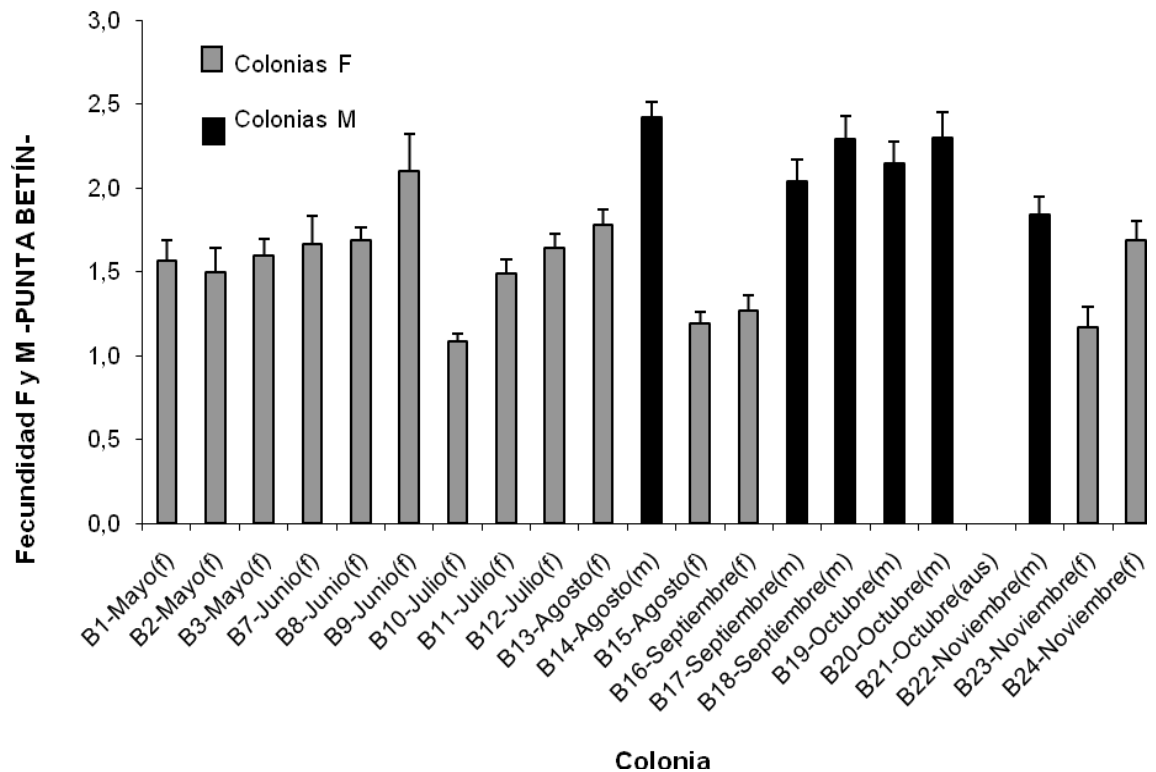


Figura 29. Fecundidad de ovocitos y sacos espermáticos de *G. ventalina* en cada colonia en el sector de Punta Betín.

La regresión lineal en las colonias femeninas entre el tamaño y la fecundidad dió como resultado la ecuación $IF-f = 1,2655 + 0,0001802 \cdot \text{tamaño}$, ($p = 0,52$; $n = 10$; $g.l = 9$). Dicho valor revela que las variables IF-f y tamaño no presentan una relación líneal estadísticamente significativa.

La regresión lineal en las colonias masculinas entre el tamaño y el índice de fecundidad proporcionó la ecuación $IF-m = 2,0144 + 0,0000916 \cdot \text{tamaño}$ ($p = 0,52$; $n = 11$; $g.l = 10$) y al igual que en las femeninas no hay una relación líneal estadísticamente significativa (Tabla 4).

Tabla 4. Resultados de los tamaños de las colonias femeninas y masculinas de *G. ventalina* medidos por el programa ImageJ® y sus respectivos índices de fecundidad femeninos (IF-f) y masculinos (IF-m).

Tamaño (cm ²) f	IF f	Tamaño (cm ²) m	IF m
943,43	1,78	677,06	2,42
941,68	1,19	992,45	2,04
1463,85	1,27	3522,29	2,30
523,81	1,17	821,45	2,15
1294,88	1,69	1520,23	2,30
765,23	1,88	745,38	1,84
828,88	1,13	532,92	1,98
675,46	1,3	760,28	2,21
1547,27	1,39	468,50	1,82
1466,87	1,74	558,43	2,35
		770,83	1,79

No existen diferencias estadísticamente significativas del IF de los ovocitos entre los meses muestreados ($H = 7,79$; $p = 0,25$; g. l.= 6) indicando que no hay un patrón de temporal del IF de los ovocitos (Tabla 5).

Tabla 5. Resultados de los índices de fecundidad de ovocitos en *G. ventalina* (IF-f, $n = 27$) durante los siete meses de muestreo.

IF-f-May	IF-f-Jun	IF-f-Jul	IF-f-Ago	IF-f-Sep	IF-f-Oct	IF-f-Nov
1,569	1,667	1,083	1,779	1,267	2,345	1,167
1,500	1,691	1,489	1,190	1,738	1,786	1,690
1,600	2,100	1,645	1,125			1,649
1,696	1,877	1,776	1,296			
1,545	1,231	1,788	1,387			

No se presentaron diferencias significativas en el IF entre los sectores, ni de hembras ($t = 0,24$; $p = 0,81$; g.l. = 24), ni de machos ($t = 1,02$ y $p = 0,32$; g.l. = 13) (Tabla 6), indicando que los dos sectores presentan condiciones similares para el desarrollo de esta especie.

Tabla 6. Resultados de los índices de fecundidad femeninos (IF-f) y masculinos (IF-m) en Punta Betín (PB) e Inca Inca (II).

IF-f-PB	IF-f-II	IF-m-PB	IF-m-II
1,57	1,70	2,42	1,17
1,50	1,55	2,04	1,98
1,60	1,88	2,30	2,21
1,67	1,23	2,15	1,82
1,69	1,78	2,30	2,35
2,10	1,79	1,84	1,79
1,08	1,13		1,92
1,49	1,30		2,59
1,65	1,39		
1,78	1,74		
1,19	1,65		
1,27			
1,17			
1,69			

Se encontraron diferencias estadísticamente significativas en el IF entre sexos de *G. ventalina* ($t = 5,23$; $p < 0,001$; g.l = 38) (Tabla 7).

Tabla 7. Resultados de los índices de fecundidad de las colonias femeninas y masculinas de *G. ventalina* (IF-f; n: 25 y IF-m; n: 14).

IF-f	IF-m
1,57	2,42
1,50	2,04
1,60	2,30
1,67	2,15
1,69	2,30
2,10	1,84
1,08	1,17
1,49	1,98
1,65	2,21
1,78	1,82
1,19	2,35
1,27	1,79
1,17	1,92
1,69	2,59
1,70	
1,55	
1,88	
1,23	
1,78	
1,79	
1,13	
1,30	
1,39	
1,74	
1,65	

No se encontraron diferencias en IF femeninos entre las secciones (a, b y m) de las colonias de *G. ventalina* ($H = 2,67$; $p = 0,26$; g.l = 2) (Tabla 8). Hubo diferencias significativas entre IF de las colonias masculinas ($H = 6,19$; $p = 0,0451$; g.l. = 2), siendo la sección apical distinta a las secciones medial y basal (Tabla 9).

Tabla 8. Resultados de los índices de fecundidad de los gametos femeninos presentados en sus secciones apicales (a), basales (b) y mediales (m) de *G. ventalina* (IF-f-sección).

IF-f-a	IF-f-b	IF-f-m
1,6	1,7	1,4
1,0	1,6	1,8
1,4	1,3	1,6
1,7	1,6	1,6
1,1	1,3	1,0
	1,7	1,3
	1,6	1,8
	1,5	1,8
	1,7	1,8
	1,2	1,3
	1,8	1,7
	1,5	1,8

Tabla 9. Resultados de los índices de fecundidad de los gametos masculinos presentados en sus secciones apicales (a), basales (b) y mediales (m) de *G. ventalina* (IF-m-sección).

IF-m-a	IF-m-b	IF-m-m
1,5	2,3	2,5
1,4	2,0	2,3
1,3	2,1	2,4
1,6	2,0	1,8
1,4	1,1	1,2
	2,2	2,0
	2,2	1,9
	2,4	2,3

Tabla 10. Área (cm²), sexo y fecundidad de las colonias (n=21) de *G. ventalina*. Las colonias resaltadas en color azul claro son masculinas y la anaranjada no presentaba gametos, la roja es la colonia más grande y verde es la colonia que según los datos es la más pequeña.

Meses	Colonia	Tamaño PB	Sexo	IF
Junio	B7	-	f	1,67
Agosto	B13	943,43	f	1,78
	B14	677,06	m	2,42
	B15	941,68	f	1,19
Septiembre	B16	1463,85	f	1,27
	B17	992,45	m	2,04
	B18	3522,29	m	2,30
Octubre	B19	821,45	m	2,15
	B20	1520,23	m	2,30
	B21	1468,72	(ausente)	
Noviembre	B22	745,38	m	1,84
	B23	523,81	f	1,17
	B24	1294,88	f	1,69
Meses	Colonia	tamaño II	Sexo	IF
Junio	I7	765,23	f	1,88
Agosto	I13	828,88	f	1,13
	I14	675,46	f	1,30
	I15	1547,27	f	1,39
Septiembre	I16	532,92	m	1,98
	I17	760,28	m	2,21
	I18	1466,87	f	1,74
Octubre	I19	468,50	m	1,82
	I20	558,43	m	2,35
	I21	770,83	m	1,79
Noviembre	I22	-		1,92
	I23	-		2,59
	I24	-		1,65
		n= 22		
		promedio=1058,63		
		Mín.=468,50		
		Máx.= 3.522,29		

El máximo tamaño (área total de la colonia) medido en las colonias del abanico de mar fue de $3.522,29 \pm 25,07 \text{ cm}^2$; correspondiente a la colonia B18, es decir de PB durante el mes de septiembre. El mínimo tamaño encontrado en las colonias de *G. ventalina* fue de $468,50 \pm 32,57 \text{ cm}^2$ perteneciente a la colonia I19, es decir de II durante el mes de octubre (Tabla 10). El tamaño promedio de las colonias (n = 21) fue de $1.058,63 \pm 655,60 \text{ cm}^2$ (Tabla 10).

En octubre la colonia B20 de PB tuvo un tamaño considerablemente grande en relación al máximo medido durante el muestreo ($3.522,29 \pm 25,07 \text{ cm}^2$, en septiembre el abanico de mar rotulado como B18), el valor del área de la colonia fue de $1.520,23 \pm 27,54 \text{ cm}^2$. El siguiente tamaño en las colonias de PB fue la B16 ($1.463,85 \pm 18,69 \text{ cm}^2$) que corresponde al mes de septiembre. La colonia más pequeña de PB fue la B23 en el mes de noviembre ($523,81 \pm 21,97$) (Tabla 10).

En el sector de II el mayor tamaño se dio en los meses de agosto y septiembre ($1.547,27 \pm 12,59 \text{ cm}^2$ y $1.466,87 \pm 29,76 \text{ cm}^2$ respectivamente para las colonias I15 e I18). El tercer de los mayores valores de tamaño medidos en II fueron para la colonia I13, también durante el mes de agosto ($828,88 \pm 32,36 \text{ cm}^2$) (Tabla 10).

8 DISCUSIÓN DE RESULTADOS

8.1 Características internas de los pólipos de *G. ventalina*

En *G. ventalina* se observaron a nivel microscópico dos componentes, uno lo forman los pólipos y otro el cenénquima o tejido que comunica de modo superficial a cada pólipo en la colonia. Al interior de este último se encuentran los canales soleniales que propician el transporte de nutrientes de un pólipo a otro (Bayer y Weinheimer, 1974). La configuración interna del pólipo del abanico de mar como habitante típico de arrecifes externos y expuesto al oleaje (Bayer, 1961; Cairns, 1976) se encuentra bien definida: su configuración celular está en continuo reciclaje, pues tiene todo un grupo celular totipotente o cambiante, el cual en caso de una agresión por depredación (p. ej. por *Cyphoma gybbosum*), volcamiento debido al fuerte oleaje o variaciones de las condiciones ambientales (por descarga de aguas continentales) permite reemplazar las células y minimiza el impacto (Lasker y Coffroth, 1983; Manrique-Rodríguez, 2004).

En las observaciones a nivel estereoscópico de los ocho tentáculos pinnados característicos de los octocorales (García-Parrado, 1997), estos fueron evidentes en *G. ventalina*. A nivel microscópico los tentáculos se observaron de a pares y rodeados por la capa epidérmica, también se observó zooxantelas, células glandulares-granulares, células mucoso-secretoras, mesoglea, escleritos, esqueleto de gorgonina, red solenial, entodermis o endodermis, nematocistos, fibras musculares y hacia el interior la cavidad gastrovascular con las células totipotentes, luego los filamentos mesentéricos y si el pólipo era fértil había gametos, en caso de que este fuera infértil se presentaba el filamento asulcal o

impar. Estas estructuras son compartidas por varios octocorales como *Plexaura homomalla* (gonocórica), *Gorgonia* sp. (gonocórica), *Capnella gaboensis* (monoica-incubadora), *Sarcophyton glaucum* (gonocórica), *Xenia umbellata* (hermafrodita-incubadora), *P. kuna* (gonocórica), *Briareum asbestinum* (gonocórica o hermafrodita según las condiciones temporales), *Muricea fruticosa* y *M. californica* (gonocórica) independientemente de su estrategia reproductiva (Bayer y Weinheimer, 1974; Chapman, 1966; Alcolado *et al.*, 1980; Farrant, 1986; Benayahu y Loya, 1986; García-Parrado, 1997).

Según Bayer (1961) en las especies de aguas poco profundas como *G. ventalina* el eje córneo o eje axial está poco calcificado. El esqueleto de gorgonina fue evidente en la mayoría de placas a lo largo de todos los muestreos, tal como se enunció en los resultados se presentó la actividad antifúngica. Donde al interior del esqueleto fue posible observar las hifas del hongo de Aspergillosis, cubierto por una capa de melanina descrito por Petes *et al.* (2003), en el arrecife de Pickles en los Cayos de la Florida (USA) para esta misma especie, la cual impedía la proliferación del hongo a través de la colonia. En estas colonias no interrumpen sus facultades reproductivas, pues por más de que las colonias estén infectadas, es posible observar la melanización o actividad antifúngica al igual que sus gametos.

Los diferentes tipos celulares se reacomodaron durante el proceso de embriogénesis observado de mayo a noviembre del 2006 en el área de Santa Marta, acompañadas unas veces de unos tipos celulares, con cierta apariencia, color y grosor, en ciertos estadios. En las últimas etapas de desarrollo gametogénico tanto los ovocitos como los sacos espermáticos se desprenden de la pared del pólipo para migrar a través de las fibras musculares del filamento

mesentérico a la zona de la boca (Bayer y Weinheimer, 1974; Farrant, 1986; García-Parrado, 1997).

8.2 Estadios de desarrollo gonadal de *G. ventalina*

Se establecieron tres estadios de desarrollo para los gametos encontrados, siendo ajustados para *G. ventalina* (Tabla 3), teniendo en cuenta la maduración gonadal de las especies de corales hermatípicos descritos por Perilla-Rocha y Santacruz-Castro (2007), Rojas-Tovar (2005) y Peters (1984), así como los valores de referencia de diámetros máximos de ovocitos en varios corales blandos (Benayahu y Loya, 1986).

Según las observaciones y dado que se vieron sincrónicamente ovocitos y sacos espermáticos en estadio avanzado de madurez y en posición hacia la zona oral (lo que indica una inminente liberación de gametos), se presume que el periodo de desove de gametos para *G. ventalina* es de agosto a noviembre en el área de Santa Marta explicando de igual forma la alta actividad reproductiva de la especie. La especie produce ovocitos y sacos de grandes tallas (ovocito diámetro máximo 537,5 μm y saco espermático de diámetro máximo 302 μm), que son indicativos de su alta inversión energética en la producción de gametos (Bell, 1980; Fadlallah y Pearse, 1982; Benayahu y Loya, 1984a; Benayahu y Loya, 1986).

Las condiciones meteorológicas durante los meses de agosto y septiembre podrían explicar, al menos en parte, las posibles causas de cuáles son las características propicias en el medio ambiente para que se haya llegado a la deducción de que en estos meses fue más probable la reproducción de *G. ventalina*; basándose básicamente en las variables pluviosidad, temperatura y vientos.

A principios del mes de agosto, las condiciones meteorológicas sobre el litoral Caribe colombiano fueron estables. A partir del 11 de agosto la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT) comenzó a ascender hacia latitudes mayores, disminuyendo un poco la intensidad de los vientos Alisios y aumentando la nubosidad, provocando inestabilidad atmosférica y por ende lluvias aisladas y tormentas dispersas. Lo más significativo sobre el litoral Caribe durante este mes fueron los efectos indirectos causados por el paso del huracán Ernesto, los cuales fueron aumento en la cobertura nubosa, cambio en la dirección del viento con orientación sureste y lluvias permanentes. A partir del paso del huracán Ernesto en agosto la nubosidad estuvo entre 60 y 80 %, alcanzando en ciertos días la cobertura total, los vientos presentaron actividades tenues con dirección variada. Asimismo, el régimen de lluvias aumentó de manera considerable sobre el litoral Caribe colombiano. Las altas temperaturas del mes de agosto estuvieron en promedio entre 28,5 y 30,0 °C, luego presentaron una disminución a mitad del mes, donde se presentaron temperaturas promedio de 27,0 a 28,0 °C. La variación presentada se debe principalmente a los cambios regulares manifestados por la reactivación de la ZCIT (Cabeza *et al.*, 2006).

El mes de septiembre, en el litoral Caribe colombiano fue un poco atípico, ya que no se presentaron las lluvias que caracterizan este período, las cuales son precipitaciones de moderadas a fuertes y de una duración más prolongada, todo lo contrario el régimen de precipitación estuvo por debajo del promedio de una forma considerable y las pocas lluvias que se presentaron fueron de muy débil intensidad y de corta duración. Asimismo, la cobertura del cielo se presentó a una escala entre despejado y semicubierto, que en situación normal se observaría para este mes entre semicubierto a cubierto. Las temperaturas para mediados y finales de mes sufrieron un leve incremento, al igual que la humedad relativa, la que generó una sensación de incomodidad y acaloramiento. La razón de esta anomalía

durante el transcurso de este mes fue consecuencia del fenómeno El Niño que es un calentamiento anómalo de la superficie del mar en el Pacífico ecuatorial y la temperatura del mar aumentó aproximadamente 1.5°C (Cabeza *et al.*, 2006).

Sin embargo, hacia la parte sur del litoral continuó con la presencia de cielo semicubierto a cubierto, se observaron lluvias y tormentas eléctricas, debido a la ZCIT y la inestabilidad atmosférica presentada al suroeste del mar Caribe (Cabeza *et al.*, 2006).

En conclusión según los datos proporcionados por Cabeza *et al.* (2006) en los meses de agosto y septiembre del año 2006 se presentaron fuertes lluvias, altas temperaturas y la dirección del viento era variable según la zona del litoral o casi siempre hacia el este; todo esto indica que como en otras especies de octocorales y hexacorales, el abanico de mar se reproduce cuando las condiciones del agua son cálidas y cuando hay altas precipitaciones y la temperatura del agua aumenta.

En el caso del coral blando *S. glaucum* que habita en el mar Rojo, se caracteriza por tener una estrategia de reproducción liberadora de gametos y mecanismo de reproducción gonocórica, con fertilización externa. Los ovocitos maduros tienen un diámetro promedio de 500-700 μm y su ovogénesis ocurre anualmente; sin embargo, para su maduración necesitan aún más tiempo, un periodo hasta de 22 a 23 meses y esto evidencia en la población la presencia de dos cohortes de tallas o diámetros de ovocitos para las diferentes colonias de hembras de esta especie. *S. glaucum* desova anualmente en un periodo muy breve ocurre una sola noche de esta misma forma en la mayoría de las poblaciones. Los grandes tamaños de ovocitos no son el único ni el último motivo por el cual se generan los prolongados periodos de ovogénesis. La maduración sincrónica de numerosos ovocitos generados por una colonia durante un periodo de desove breve, demanda un gran

gasto energético el cual está asignado al periodo de la ovogénesis. *S. glaucum* es una población estable y en el mar Rojo según este estudio la consideran una especie selección-K (Benayahu y Loya, 1986). Es importante tener este ejemplo de paralelo, por ser una especie gonocórica al igual que *G. ventalina* y que sea una línea guía de comparación con otros octocorales de diferentes mares.

Según lo planteado en los estudios de Benayahu y Loya (1986), esto podría situar a *G. ventalina* como una especie de selección-K y una población estable (o por lo menos con la tendencia a estarlo, ya que se evidencia que por muchos factores estresantes que hayan, su reproducción o fecundidad según los resultados no mostró estar en condiciones desfavorables) con características similares a las del octocoral *S. glaucum*, tales como ser especies gonocóricas, liberadoras, fertilización externa, periodos prolongados de ovogénesis, maduración sincrónica de ovocitos y por ende una gran demanda energética durante el período de la ovogénesis. Esto es relevante y correlacionado con los largos periodos de maduración de ovocitos como el de *S. glaucum*, que también fueron registrados en otro coral blando *Lopophyton crasum* (especie liberadora) (Yamazamoto *et al.*, 1981).

Fadlallah y Pearse (1982) plantearon que durante el desarrollo gametogénico de los ovocitos si estos son de grandes tallas, se requiere al menos de un largo periodo de ovogénesis. Los corales blandos presentan grandes huevos (500-750 μm) y alcanzan la madurez dentro de un ciclo al menos de un año (Benayahu y Loya, 1983, 1984a). Por esto como lo aclara Bell (1980) las especies con periodos largos de desarrollo de ovocitos tienen una inversión reproductiva costosa.

Benayahu y Loya (1986) sugieren que la producción masiva de huevos al igual que la maduración sincrónica y el muy breve periodo de desove son

características de especies semejantes, las cuales requieren un tiempo largo de maduración de huevos, esto con relación a *S. glaucum*. Los autores lo relacionan con la lenta tasa de crecimiento de la especie, planteando que dicha tasa provee una indicación adicional de como se llegan a producir los altos gastos energéticos sobre un largo periodo de tiempo. Es por eso necesario recurrir a los datos de Manrique-Rodríguez (2004) donde evaluó las tasas de crecimiento de *G. ventalina* y luego dar alguna afirmación al respecto. El índice de crecimiento para la especie en Santa Marta y PNNT fue una tasa anual de crecimiento del alto y ancho de las colonias de 8,08 y 8,3 cm/año respectivamente. Dentro de su estudio estaba la estación Punta Betín en donde la tasa media de crecimiento anual fue de $9,0 \pm 1,7$ cm/año de altura y $12,8 \pm 1,5$ cm/año de ancho.

8.3 Actividad reproductiva de *G. ventalina*

Los resultados de este estudio permiten indicar que *G. ventalina* tiene una estrategia reproductiva gonocórica, con desarrollo sincrónico de ovocitos y sacos espermáticos. Petes *et al.* (2003) plantean que las colonias que están infectadas por el hongo de la Aspergillosis u otro patógeno suspenden los mecanismos reproductivos y recurren a la actividad antifúngica o de recubrimiento del patógeno con una capa de melanina que lo aísla para frenar la proliferación a lo largo de la colonia. Esto es de gran importancia dado que la fertilidad y fecundidad de esta especie no se vio afectada por la infección del hongo, dado que todas las colonias que presentaban la capa de melanina rodeando el eje axial de gorgonina y tenían las hifas del hongo al interior, no suspendieron la producción de gametos (Anexo 1).

La regresión lineal dio como resultado que no hay una relación lineal significativa entre el tamaño de la colonia de *G. ventalina* y el IF. Este resultado indicaría que a Salcedo-Bahamón (2009)

mayor tamaño de las colonias el IF no es mayor, como se esperaba en las hipótesis planteadas, donde se contemplaba la idea que el IF está relacionado con el tamaño de la colonia de *G. ventalina*.

No existen diferencias estadísticamente significativas en el IF entre II y PB. Por lo tanto, se puede inferir que las muestras recolectadas durante los meses de muestreo podrían pertenecer a una misma población.

El sexo sí influye sobre el valor del IF (Tabla 7) y esto es evidente si se observa la proporción de sexos, se evidenciaron en la mayoría de las placas gametos femeninos en relación a las células sexuales masculinas en los pólipos de *G. ventalina*, de modo que sí se observaron mayor número de ovocitos por pólipo; el IF por ende aumentaría pues IF es número de gametos por cada pólipo contado y observado. Si la tendencia durante las observaciones en el abanico de mar fue una mayoría de ovocitos por pólipo su IF será mayor al IF calculado para las colonias de gametos masculinos, pues el número de sacos espermáticos por pólipos es menor.

Benayahu y Loya (1986) plantearon que *S. glaucum*, una especie de octocoral presentaba los pólipos jóvenes y sexualmente inmaduros entre los márgenes de la colonia. Los bordes de *G. ventalina* en este caso son las secciones apicales y serían los pólipos jóvenes o sexualmente inmaduros. La idea es comparar los índices de fecundidad y definir si existe o no una pequeña población de jóvenes inmaduros que este latente o en desarrollo, tan común en tiempos prolongados de embriogénesis en los descritos para este tipo de corales, que invierte mucha energía en su reproducción y con tamaños de productos sexuales grandes.

Los IF de las secciones a, b y m de los gametos femeninos de *G. ventalina* no presentaron diferencias estadísticamente significativas entre cada uno de sus valores (Tabla 8). Lo cual posiblemente estaría indicando que no hay una diferenciación entre la madurez y posiblemente la función de los pólipos con base en su posición en la colonia. Sin embargo, el hecho de que haya un mayor IF en la sección medial puede indicar que estos están protegidos de factores biológicos como la depredación por peces o heridas por contacto con organismos de mayor tamaño. En cuanto a los IF de las secciones a, b y m de los gametos masculinos del abanico de mar para el caso de dichos gametos, sí se presentaron diferencias significativas (Tabla 9).

Sin embargo, el que haya un mayor promedio de IF de sacos espermáticos y ovocitos en la sección media de algunas colonias puede estar indicando que en esta sección se encuentran los pólipos con mayor madurez sexual o quizás mejor preparados para los eventos reproductivos, mientras en las otras zonas (pólipos de los márgenes de la colonia) son gametos que son muy jóvenes, inmaduros (Benayahu y Loya, 1986) o afectados en mayor medida por factores biológicos.

No se tienen datos de reproducción de otros octocorales en el Caribe colombiano ni del abanico de mar en años previos al muestreo del año 2006 para compararlos. Pero con base en los resultados obtenidos de cantidad de gametos, dominancia de las colonias de *G. ventalina* y la talla promedio de las colonias en el área se puede decir que hay una tendencia de índices de fecundidad relativamente altos en relación a los observados para otras especies de octocorales en otros lugares del mundo.

CONCLUSIONES

- *G. ventalina* es una especie con gran actividad reproductiva según la evidencia microscópica, que mostró índices de fecundidad elevados en los meses que se esperaba, para la época lluviosa, de agosto a noviembre del año 2006.
- En cuanto a las características anatómicas internas y reproductivas descritas para *G. ventalina*, muchas de las descritas en este estudio son compartidas por otras especies de octocorales de otros mares y con diferentes estrategias reproductivas.
- Según las observaciones microscópicas se podría especular que el hecho de presentar la Aspergillosis en varias de las colonias muestreadas; no fue un impedimento para realizar sus ciclos reproductivos normalmente, ya que como estrategia defensiva las colonias recurrieron a la melanización (actividad antifúngica) y el hongo de la Aspergillosis queda aislado por la capa de melanina. Colonias enfermas recurrían a la melanización y se reproducían.
- *G. ventalina* es una especie gonocórica y por el patrón de ubicación de los gametos maduros dentro del pólipo (en zona oral) se presume que es una especie liberadora de estos y de fertilización externa; con maduración sincrónica de gametos y prolongados periodos de ovogénesis.
- No se encontró relación entre el tamaño de la colonia de *G. ventalina* y los índices de fecundidad, lo cual puede deberse a las altas tasas de crecimiento y regeneración de la especie que le permiten un rápida

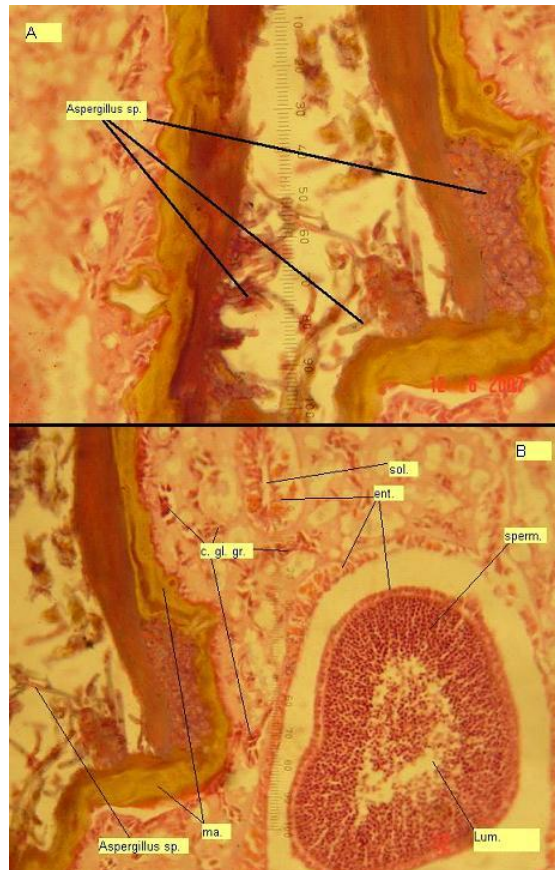
recuperación a factores biológicos (p. ej. depredación) o físicos con corto tiempo de duración.

- Debido a que no se presentan diferencias significativas entre las fecundidades de los dos sectores se presume que las colonias de Inca Inca y Punta Betín pertenecen a una misma población de abanicos de mar.
- A nivel de secciones, se determinó que los pólipos sexualmente activos de las colonias del abanico de mar se encuentran en todas las secciones de las colonias, sin embargo vale la pena resaltar que en la sección medial se hallaron índices de fecundidad relativamente mayores a las otras secciones.

PLAN DE ACCIÓN PROPUESTO, SUGERENCIAS Y RECOMENDACIONES

Se sugieren estrategias encaminadas hacia la conservación de esta especie amenazada que vigilen la colecta o ataques sobre este ejemplar en particular. Por lo cual es una prioridad que se le vigile y proteja, ya que en años anteriores se ha visto que *G. ventalina* se ha venido recuperando según el estudio de Manrique *et al.* (2006) y Bejarano *et al.* (2005). De igual forma hay que investigar por un periodo de tiempo mayor, pues el lapso estudiado no fue suficiente para confirmar el periodo de reproducción de la especie. Además, se requiere más investigación y en otros campos de acción, como la genética, la dispersión de larvas, las tasas de reclutamiento, las condiciones de deterioro que afectan al abanico y un monitoreo de las diversas áreas del Caribe colombiano en las cuales el espécimen está presente.

ANEXOS



Anexo 1. Esqueleto central compuesto de gorgonina. A. En el centro es posible ver las hifas del hongo *Aspergillus* correspondientes a la enfermedad de la Aspergillosis en *G. ventalina*. Las capas de color amarillo son de melanina. Por lo que esta melanización es descrita como la actividad antifúngica (*ma*). B. No se interrumpe el proceso de desarrollo de gametos. Se observa la red solenial (*sol.*), la capa entodérmica que la recubre (*ent.*), un paquete espermático en estadio III (*sperm.*), el lumen al interior (*lum*) y las células glandulares granulares (*c.gl.gr.*).

Aspectos reproductivos de *Gorgonia ventalina* (Linneaus, 1758) en Santa Marta

Anexo 2. Sexo de cada colonia en II. Las colonias resaltadas por el color naranja se caracterizaron por su carencia de gametos al interior de todas sus secciones. Las colonias resaltadas por el color azul claro son masculinas (m). El resto pertenecen a colonias femeninas (f).

INCA INCA		
Mes	Sexo	Colonia
Mayo	f	I1
		I2
	f	I3
Junio	f	I7
	f	I8
	m	I9
Julio		I10
	f	I11
	f	I12
Agosto	f	I13
	f	I14
	f	I15
Septiembre	m	I16
	m	I17
	f	I18
Octubre	m	I19
	m	I20
	m	I21
Noviembre	m	I22
	m	I23
	f	I24

Anexo 3. Sexo de cada colonia en PB. Las colonias resaltadas por el color naranja se caracterizaron por su carencia de gametos al interior de todas sus secciones. Las colonias resaltadas por el color azul claro son masculinas (m). El resto pertenecen a colonias femeninas (f).

PUNTA BETÍN		
Mes	Sexo	Colonia
Mayo	f	B1
	f	B2
	f	B3
Junio	f	B7
	f	B8
	f	B9
Julio	f	B10
	f	B11
	f	B12
Agosto	f	B13
	m	B14
	f	B15
Septiembre	f	B16
	m	B17
	m	B18
Octubre	m	B19
	m	B20
		B21
Noviembre	m	B22
	f	B23
	f	B24

BIBLIOGRAFÍA

ALKER, A. P; SMITH, G. W y KIM, K. Characterization of *Aspergillus sydowii* (Thom et Church), a fungal pathogen of Caribbean Sea Fan Corals. *Hydrobiologia* 460: 105-111 (2001). J.W. Porter (ed.), The Ecology and Etiology of Newly Emerging Marine Diseases. Kluwer Academic Publishers. Printed in the Netherlands.

ACOSTA, L. A. Composición y Estructura de la Comunidad de Corales Hermatípicos en Tres Zonas Representativas de la Región de Santa Marta (Punta Betín, isla Morro Grande y ensenada Granate, Caribe colombiano). Bogotá, 1989, 242 p. Trabajo de Grado para optar a título de Biólogo. Universidad Nacional, Facultad de Ciencias, Departamento de Biología.

ACOSTA, L. y ZEA, S. Sexual Reproduction of the Reef Coral *Montastraea cavernosa* (Scleractinia: Faviidae) in the Santa Marta Area, Caribbean Coast of Colombia. En: Marine Biology: 128 (1997) p. 189-194.

ALVARADO, E. Taller de Arrecifes Coralinos, Investigación y Manejo. En: Boletín Ecotrópica, Ecosistemas Tropicales, Suplemento 1, Bogotá, (1992) p. 85.

ALCOLADO, P., M. CORVEA, A. y GONZALEZ., A. Variaciones Morfológicas Internas y Externas de los Abanicos de Mar (*Gorgonia* spp.) y su Valor Adaptativo. Ciencias Biológicas. Academia de Ciencias Biológica de Cuba. Vol.5 (1980) p. 47-56.

ARDILA, N., NAVAS, G. y J. REYES. Libro Rojo de los Invertebrados Marinos de Colombia. Serie de Libros Rojos de Fauna Amenazada de Colombia, Tomo 1. INVEMAR, Santa Marta, 2002. 180 p.

BAYER, F. M. The Shallow-water Octocorallia of the West Indian Region, A manual for Marine Biologists. Martinicus Nijhoff, The Hague, Netherlands, 1961. 373 p.

BAYER, F. M. y WEINHEIMER, A. J. (ed.). Prostaglandins from *Plexaura homomalla*: ecology, utilization and conservation of a major medical marine resource. Stud. Trop. Oceanogr. (1974)12. 165 p.

BELL, G. The Cost of Reproduction and their Consequences. The American Naturalist. Vol. 166 (1980) p. 45-76.

BEJARANO, S; MANRIQUE-RODRIGUEZ, N y GARZÓN-FERREIRA, J. Recent Partial Mortality and other Health Conditions of the Sea Fan *Gorgonia ventalina* Linnaeus 1758 in the Santa Marta area, Colombian Caribbean, 15 years after a mass mortality event. Biodiversity and Ecosystems Program, Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras INVEMAR, Zona Portuaria Santa Marta. Colombia. South America. (2005).

BENAYAHU, Y y LOYA, Y. Surface Brooding in the Red Sea Soft Coral *Parerythropodium fulvum fulvum* (Forskal, 1775). Biological Bulletin. The George S. Wise Faculty of Life Sciences, Department of Zoology, Tel Aviv University, Israel. Vol. 165 (1983) p. 353-369.

BENAYAHU, Y y LOYA, Y. Life History Studies on the Red Sea Soft Coral *Xenia macrospiculata* (Gohar, 1940). I. Annual Dynamics of Gonadal Development. Biological Bulletin. Vol. 166 (1984a.) p. 32-43.

BENAYAHU, Y y LOYA, Y. Life History Studies on the Red Sea Soft Coral *Xenia macrospiculata* (Gohar, 1940). II. Planulae Shedding and Post-larval Development. Biological Bulletin. Vol. 166 (1984b.) p. 44-53.

BENAYAHU, Y y LOYA, Y. Sexual Reproduction of a Soft Coral: Synchronous and Brief Annual Spawning of *Sarcophyton glaucum* (Quoy y Gaimard, 1833). Biological Bulletin. The George S. Wise Faculty of Life Sciences, Department of Zoology, Tel Aviv University, Israel. Vol. 170 (1986) p. 32-42.

BOTERO, L. Zonación de Octocorales Gorgonáceos en el área de Santa Marta y Parque Nacional Tayrona, Costa Caribe colombiana. En: Anales Instituto de Investigaciones Marinas Punta Betín, Santa Marta, Vol. 17 (1987) p. 61-80.

BOLETÍN METEOMARINO MENSUAL DEL CARIBE COLOMBIANO. Boletín Meteomarinero Mensual Del Caribe Colombiano Agosto-2006-No.133, Boletín Meteomarinero Mensual Del Caribe Colombiano Septiembre-2006-No.134 (Internet). (2009). Consulta realizada el 24 de junio; Disponible en la red (World Wide Web): <<http://www.cioh.org.co/index>> .Editores: CABEZA-DURANGO, L., RODRIGUEZ CALA L. y VILLATE DAZA D. A.

BULA-MEYER, G. Oceanografía. En: FEN – COLOMBIA. Caribe Colombia, 1990. p. 100-119.

CAIRNS, S. Guide to the Commoner Shallow-water Gorgonians (Sea Whips, Sea Feathers and Sea Fans) of Florida, The Gulf of the Mexico and Caribbean Region. University of Miami, Miami, Florida. En: Sea Grant Field Guide Series # 6 (1976) p. 1-74.

CALFO, A. R. Book of Coral Propagation, Reef Gardening for Aquarists, a Concise Guide to the Successful Care and Culture of Coral Reef Invertebrates. Reading Trees Publication, U. S. A., Vol. 1, Version 1.0, 2003. p. 309-312.

CAMPBELL, R. D. In *Reproduction of Marine Invertebrate, vol. 1. Acoelomate and Pseudocoelomate Metazoans*, A. C. Giese and J. S. Pearse, eds. Academic Press, New York. (1974) p. 133-199.

CHAPMAN, G. The Structure and Function of the Mesoglea. Symposium of the Zoological Society of London. Vol. 16 (1966) p. 147-168.

CHIA, F-S. Sea Anemone Reproduction: Patterns and Adaptive Radiation. Coelenterate Ecology and Behavior. G. O. Mackie, ed. Plenum Publishing Corporation, New York. (1976) p. 261-270.

CASTRO, C. Cambios en la Distribución por Estructura en las Unidades Ecológicas de la bahía de Santa Marta, Caribe colombiano, ocurridos durante las últimas décadas. Trabajo de grado para optar a título de biólogo marino. Universidad Jorge Tadeo Lozano. Facultad de Biología Marina. 2003. p 123.

COLCIENCIAS. Plan Estratégico 1999-2004. Programa Nacional de Ciencias y Tecnología del Mar. Santa Fé de Bogotá, 1999. p. 65-99.

COLCIENCIAS. INSTITUTO COLOMBIANO PARA EL DESARROLLO DE LA CIENCIA Y LA TECNOLOGÍA, COLCIENCIAS. Colombia Construye y Siembra Futuro. Política Nacional de Fomento a la Investigación y la Innovación. (Internet). (2008). Consulta realizada el 14 de septiembre; Disponible en la red (World Wide Web):<<http://www.colciencias.gov.co/portacol/index.jsp?ct1=16&ct=1&cargaHome=3>>

DE JONGH, B. O. A Comparison between Quantitative Taxonomic and Physiognomic Survey Methods of Hard Substrate Communities of the Santa Marta Area, NE Colombia. En: Institute of Taxonomic Zoology, University of Amsterdam, 1990. p. 2-8.

DÍAZ, J. M., BARRIOS, L. M., CENDALES, M. H., GARZÓN-FERREIRA, J., GEISTER, J., LÓPEZ-VICTORIA, M., OSPINA, G. H., PARRA-VELANDIA, F., VARGAS-ÁNGEL, B., ZAPATA, F. A. y ZEA, S. Áreas Coralinas de Colombia. Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras “José Benito Vives de Andreis” INVEMAR, Santa Marta. En: Serie de publicaciones especiales No. 5 (2000) 176 p.

FADLALLAH, Y. H. Sexual Reproduction, Development and Larval Biology in Scleractinian Corals. En: Coral Reefs, Vol. 2 (1983) p. 129-150

FADLALLAH, Y. H., y PEARSE, J. S. Sexual Reproduction in Solitary Corals: Overlapping Oogenic and Brooding Cycles, and Benthic plánulas in *Balanophyllia elegans*. Marine Biological. Vol. 71 (1982) p. 223-231.

FARRANT, P.A. Gonad Development and the Planulae of the Temperate Australian Soft Coral *Capnella gaboensis*. Marine Biology Bulletin. Vol. 92(2) (1986) p. 381-392, ill.

FITZSIMMONS-SOSA, K., HALLOCK, P., WHEATON, J., HACKETT, K. E. y CALLAHAN, M. K. Annual Cycles of Gonadal Development of Six Gorgonians from Biscayne National Park, Florida, USA. College of Arts and Sciences, University of Puerto Rico, Mayagüez, En: Caribbean Journal of Science, Vol. 40, No. 1 (2004) p. 144-150.

FONTALVO, M. Análisis del Impacto Ambiental Antrópico en las áreas Arrecifales del Parque Nacional Natural Tayrona, Caribe colombiano. Bogotá, 1998, 89 p. Trabajo de Grado para optar al título de Especialista en Evaluación de Proyectos de Impacto Ambiental, Universidad Jorge Tadeo Lozano.

GARCÍA-PARRADO, P. Los Gorgonáceos. Academia de Ciencias de Cuba. En: Boletín Técnico (1997) 16 p.

GARZÓN-FERREIRA, J. y ZEA, S. A Mass Mortality of *Gorgonia ventalina* (Linneaus, 1758) (Cnidaria: Gorgoniidae) in the Santa Marta area, Caribbean Coast of Colombia. En: Bulletin of Marine Science. Vol. 50 (1992). p. 522-526.

GUZMÁN, H. M. y CORTÉZ, J. Mortandad de *Gorgonia flabellum*, Linneaus (Octocorallia: Gorgoniidae) en la costa Caribe de Costa Rica. Rev. Biol. Trop., 32 (2) (1984) p. 305-308.

HARRIOT, V. J. Reproductive Ecology of four Scleractinian Species. Coral Reefs. Vol. 2 (1983a.) p. 9-18.

HARRIOT, V. J. Reproductive Seasonality, Settlement and Post-settlement Mortality of *Pocillopora damicornis* (Linneaus), at Lizard Island, Great Barrier Reef. Coral Reefs. Vol. 2 (1983b.) p. 151-157.

HUMASON, G. L. Animal Tissue Techniques, a Series of Books in Biology. OAK Bidge Associated Universities, W. H. Freeman and Company, Third edition, San Francisco, U.S.A, 1989. p. 17-18.

INVEMAR. Programa Nacional de Investigación en Biodiversidad Marina y Costera PNIBM. Díaz J. M. y Gómez D. I. (Eds). Santa Marta: INVEMAR, FONADE, MMA, 2000. 83p.

KIM, K; HARVELL, C. D.; KIM, P. D.; SMITH, G. W. y MERKEL, S. M. Fungal Disease Resistance of Caribbean Sea Fan Corals (*Gorgonia* spp.). Spring-Verlag, En: Marine Biology, Vol. 136 (2000) p. 259-267.

KINZIE, R. A. The Zonation of West Indian Gorgonians. En: Bulletin of Marine Science, Vol. 23 (1973) p. 93 –155.

LALLI, C. M. y PARSONS, T. R. An Introduction to Biological Oceanography. Second Edition, Butterworth Heinemann, Great Britain, 1997. p. 213-221.

LASKER, H. y COFFROTH, M. Octocoral Distributions at Carrie Bow Cay, Belize. En: Marine Ecology Progress Series, Vol. 13 (1983) p. 21-28.

LAYDOO, R. Recent Mass Mortality of Gorgonians in Trinidad. En: Unpub. Rep. Inst. Mar. Affairs, Trinidad, W. Indies, 1983. 12 p.

LÓPEZ, L.; RENDÓN, M.; DÍAZ, J. y LAVERDE, J. Estructura, Distribución y Estado Actual de las Comunidades Coralinas de la bahía de El Rodadero, Caribe colombiano. Santa Marta, 1998. 37 p. Seminario de Investigación, Universidad Jorge Tadeo Lozano, Facultad de Biología Marina.

MANRIQUE-RODRÍGUEZ, N. Estado Actual y Crecimiento de *Gorgonia ventalina* (Linnaeus, 1758) (Cnidaria: Gorgoniidae) en el Área de Santa Marta, Caribe colombiano. Bogotá, 2004. 85 p. Trabajo de grado para optar al título de Biólogo Marino, Universidad Jorge Tadeo Lozano, Facultad de Biología Marina.

MUSCATINE, L, TAMBUTTE, E y ALLEMAND, D. Morphology of Coral Desmocytes, Cells that anchor the Calicoblastic Epithelium to the Skeleton. *Coral Reefs* 16:205–213 (1997).

NAGELKERKEN, I., BUCHAN, K., SMITH, G. W., BONAIR, K., BUSH, P., GARZÓN-FERREIRA, J., BOTERO, L., GAYLE, P., HEREBER, C., PETROVIC, C., PORTA, L. y YOSHIOKA, P. Widespread Disease in Caribbean Sea Fans: I. Spreading and General Characteristics. En: Eight International Coral Reef Symposium. Proceeding of the 8th International Coral Reef Symposium. H.A. Lessios and I.G. Macintyre (eds.), Smithsonian Tropical Research Institute, Panama. Vol. 1 (1997) p. 679 – 682.

NAGELKERKEN, I., BUCHAN, K., SMITH, G. W., BONAIR, K., BUSH, P., GARZÓN-FERREIRA, J., BOTERO, L., GAYLE, P., HARVELL, C. D., HEREBER, C., KIM, K., PETROVIC, C., PORTA, L. Y YOSHIOKA, P. Widespread Disease in Caribbean Sea Fans: II. Patterns of Infection and Tissue Loss. En: Marine Ecology Progress Series, Vol. 160 (1997). p. 255-263.

PERILLA-ROCHA, K. G. y SANTACRUZ-CASTRO, A. M. Reproducción Sexual de los Corales Hermatípicos *Eusmilia fastigiata* y *Solenastrea bournonii* (Scleractinia: Caryophyllidaefaviidae) en el Área de Santa Marta, Caribe Colombiano. Bogotá, 2007. 170 p. Trabajo de grado para optar al título de Biólogo Marino, Universidad Jorge Tadeo Lozano, Facultad de Biología Marina.

PETERS, E. C. A Survey of the Normal and Pathological Histology of Scleractinian Corals with Emphasis on the Effects of Sedimentation Stress. (1984). Univ. Rhode Island.

PETES, L. E., HARVELL, C. D., PETERS, E. C., WEBB, M. A. H. y MULLEN, K. M. Pathogens Compromise Reproduction and Induce Melanization in Caribbean Sea Fans. En: Marine Ecology Progress Series, Vol. 264 (2003) p. 167–171.

PLAN NACIONAL DE DESARROLLO. PLAN NACIONAL DE DESARROLLO 2006- 2010-PND- Anexo Meta Final-. (Internet). (2008). Consulta realizada el 15 de septiembre; Disponible en la red (World Wide Web): <http://www.dnp.gov.co/PortalWeb/PND/PND20062010/tabid/65/Default.aspx>.

RICHMOND, R. Reproduction and Recruitment in Corals: Critical Links in the Persistence of Reefs. p. 175-197. En: BIRKELAND, C. (Ed.). Life and Death of the Corals Reefs. Chapman Hall. New York. 1997. 536 p.

RINKEVICH, B., y LOYA, Y. The Reproduction of the Red Sea Coral *Stylophora pistillata*. I. Gonads and Planulae. Marine Ecology Progress Series. Vol. 1 (1979) p. 133-144.

ROJAS-TOVAR, A. Composición, Cambios e Interacciones en el Nivel Celular Durante la Gametogénesis en el Coral *Siderastrea siderea* una -Aproximación Morfogénica-. Bogotá, 2005. 114 p. Trabajo de grado para optar al título de Biólogo Marino, Universidad Jorge Tadeo Lozano, Facultad de Biología Marina.

RUPPERT, E y BARNES, R. Zoología de los Invertebrados. México, editorial Mc Graw - Hill Interamericana. 6^{ta} edición, 1996. 1114 p.

SANJUAN, A. Crecimiento, Regeneración, Sobrevivencia y Reproducción del Coral *Acropora cervicornis* (Escleractinia: Acroporidae) en el Parque Nacional Natural Corales Del Rosario. Cartagena Colombia. Trabajo de Grado para optar al título de Biólogo Marino. Universidad Jorge Tadeo Lozano. Facultad de Biología Marina. 1995. p 182.

SMITH, G. W., IVES, L. D., NAGELKERKEN, I. y RITCHIE, K. B. Caribbean sea fan mortalities. En: Nature. Vol. 383: 487 (1996).

UICN. Las Especies Amenazadas del Mundo en números (Internet). (2006). Consulta realizada el 28 de Junio; Disponible en la red (World Wide Web): <http://www.sur.iucn.org/listaroja/listaroja2006/datos-generales.htm><tf>.

Aspectos reproductivos de *Gorgonia ventalina* (Linneaus, 1758) en Santa Marta 

WERDING, B. y SÁNCHEZ, H. The Coral Formations and their Distributional Pattern along a Wave Exposure Gradient in the area of Santa Marta, Colombia. En: Medio Ambiente, Ambientes Acuáticos. Vol. 10 (2) (1989). p. 61 – 68.

YAMAZAMATO, K. M., SATO, M., YAMASHIMIRO, H. Reproductive Biology of an Alcyonacean Coral *Lobophyton crasum* (Marenzeller). Proceedings 4th International Coral Reef Symposium. Vol. 2 (1981) p. 671-678.

ZAR, J. Biostatistical Analysis. New Jersey, publishing house Prentice-Hall International, Fourth Edition, 1999. 663 pp.