

115



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE CIENCIAS

"CARACTERIZACIÓN Y ANÁLISIS DEL PATRÓN DE ANILLOS DE  
CRECIMIENTO EN DOS ESPECIES DE CORAL NEGRO (Cnidaria:  
Antipatharia), QUINTANA ROO, MÉXICO"

TESIS

Que para obtener el título de bióloga  
PRESENTA:

BERENICE ALEJANDRA JUÁREZ DE LA ROSA



Dir. Dra. Aurora Claudia Padilla Souza  
Dir. M. C. Víctor Manuel Dávila Alcocer

FACULTAD DE CIENCIAS  
SECCION ESCOLAR

México, D.F., Mayo de 2002.

TESIS CON  
FALLA DE ORLEN



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AVENIDA 141  
MEXICO

**M. EN C. ELENA DE OTEYZA DE OTEYZA**  
Jefa de la División de Estudios Profesionales de la  
Facultad de Ciencias  
Presente

Comunicamos a usted que hemos revisado el trabajo escrito:

" Caracterización y análisis del patrón de anillos de crecimiento en dos especies  
de coral negro (Cnidaria:Antipatharia), Quintana Roo, México "

realizado por BERENICE ALEJANDRA JUAREZ DE LA ROSA.

con número de cuenta 9124773-3 , quién cubrió los créditos de la carrera de Biología

Dicho trabajo cuenta con nuestro voto aprobatorio.

Atentamente

Director de Tesis Propietario	Dra. A. Claudia Padilla Souza
Co-Director de Tesis Propietario	M. en C. Victor M. Dávila Alcocer
Propietario	Dr. Carlos Díaz Avalos
Suplente	M. en C. Gerardo Rivas Lechuga
Suplente	Dr. Faustino Sánchez Garduño

*Padilla*

*[Signature]*

*[Signature]*

*[Signature]*

**Consejo Departamental de Biología**

*[Signature]*

Dra. Patricia Ramos Morales

**FACULTAD DE CIENCIAS  
U. N. A. M.**



**DEPARTAMENTO  
DE BIOLOGIA**

---

A mis padres:

María De La Rosa Ovando y Javier Juárez Soto,  
por su amor incondicional.

A la memoria de mis abuelas:

Gilda Soto y Velina Ovando, mujeres de lucha y temple.

---

## AGRADECIMIENTOS

A la Dra. Claudia Padilla Souza y al M. en C. Victor Dávila Alcocer, directores de esta tesis, mi agradecimiento sincero e incommensurable por su respaldo académico. Al Dr. Carlos Díaz Ávalos por su dirección no oficial durante el desarrollo de este trabajo, mi mayor gratitud por su desinteresada colaboración en el análisis e interpretación de resultados.

Gracias por tu confianza Claus, por tu motivación Victor y por tu cordial solidaridad Carlos, a los tres gracias por acompañarme en la maravillosa aventura del estudio del coral negro.

A los miembros de mi sínodo: Dr. Faustino Sánchez Garduño y M. en C. Gerardo Rivas Lechuga, por su valiosa participación en la revisión crítica y minuciosa de este documento, así como por sus comentarios y sugerencias para mejorarlo y enriquecerlo.

Gerardo gracias por la intercesión y el apoyo moral durante los conocidos trámites burocráticos.

Faustino gracias por abrirme una ventana al conocimiento de la biomatemática, pero sobre todo por tender un armonioso puente sobre el océano que separa la matemática del universo biológico.

Al programa de becas para tesis de licenciatura en proyectos de investigación (PROBETEL), por la beca que me fue otorgada para realizar esta tesis.

Al Dr. Francisco Vega Vera jefe del Departamento de Geología Regional del Instituto de Geología, UNAM, por el apoyo para adquirir mi beca y por la autorización para el uso del laboratorio y material de dicho instituto.

Al Biol. Manuel Puerto director del Centro Regional de Investigaciones Pesqueras (CRIP) Puerto Morelos, Quintana Roo, por el apoyo durante mi estancia.

Al Dr. Mario Lara y a la Dra. Claudia Padilla por acogerme en su hogar durante mi estancia en Puerto Morelos, así como por la estancia en Isla Contoy, Quintana Roo.

A Lisette Padilla Souza por sus atenciones y ayuda para realizar múltiples trámites administrativos en ausencia de Claudia Padilla.

A los encargados del taller de petrografía del Instituto de Geología, UNAM: Tomas, Diego y el Sr. Roberto.

---

Al Dr. Gerardo Zenteno Santiago por el soporte técnico y sobre todo por la deleitable discusión y los apreciables comentarios que mejoraron este trabajo.

A mis primos Juan Carlos y Gerardo Salazar Juárez por su constante apoyo técnico.

A Bárbara Cuesta Castillo igualmente por el apoyo técnico enriquecido siempre de compañerismo.

A Euler Pedraza por su ayuda en la edición del documento y principalmente por sus atinadas sugerencias.

A mis profesores en la Facultad de Ciencias, mi respeto y reconocimiento por mostrarme las distintas perspectivas de la biología.

Al pueblo de México y a la honorable Universidad Nacional Autónoma de México que posibilitan la generación de muchos profesionales en este país.

A mis amigos gracias por los instantes quietos de regocijo y/o desencanto: Sandra Pérez, Angélica Guerra, Salvador Palacios, Alex Baeza, María Collin, Radames Alemón, Ofelia Delgado, Bárbara Cuesta, Edmundo González, Julieta Rosell, Adrián Guevara, Erika Bistrain, Gabo del Ángel, Kicho Montaño, Martha Yáñez, Gabo García, Jaime Moran y todas y cada una de las personitas que guarden cariñosamente en mi memoria.

Al M. en C. Juan Antonio B. Migueles por la precisa y delicada palabra, caricia y actitud. Antonio gracias por tu inefable alegría que desempeñó mi espejo.

A Irma Juárez Soto por el apoyo moral y financiero, así como por el invaluable ejemplo de profesionalismo y entrega familiar.

A mi hermano Javier Alberto Juárez De La Rosa, por su nobleza y tolerancia frente al abismo de contrastes que separan nuestras sombras.

A mis padres Javier y María, por su entereza, respeto y apoyo. Por la seguridad y esperanza que me dan sus abrazos y sus palabras, pero por encima de todos los hechos, gracias por rescatarme en la espesa niebla y reconfortar mi alma con su inquebrantable amor.

Y a quien tenga que agradecer, por la fortuna de favorecerme con la singular familia que es el fundamento de mi vida: Javier, María y Javier Alberto.

---

*La esencia sin color, sin forma, impalpable, no puede ser contemplada más que por el guía del alma, la inteligencia; es el patrimonio del conocimiento verdadero. Ahora bien, el pensamiento de los dioses, que se alimenta de inteligencia y de ciencia sin mezcla, como el de toda alma ávida del alimento que le conviene, admitida a gozar de la contemplación del Ser absoluto, de la que estuvo privada desde mucho tiempo, apaga su sed con la verdad que se revela ante sus ojos, hasta que el movimiento circular la lleve al punto de su partida. Durante esta revolución contempla la justicia en sí, la sabiduría en sí, la ciencia, no esa ciencia que se refiere a lo que cambia, que se muestra diferente según los diferentes objetos que nosotros los mortales queremos llamar seres, sino la ciencia que tiene por objeto lo que es realmente una realidad. Y cuando ha contemplado del mismo modo las demás cosas que son verdaderas realidades, se sumerge de nuevo en el interior del cielo y vuelve a entrar en su morada. Apenas ha llegado, el conductor dirige sus correas hacia el pesebre, presenta ante ellos la ambrosía y les vierte el néctar. Tal es la vida de los dioses.*

**PLATÓN (428-348 A. E)**

---

---

# CONTENIDO

---

<b>DEDICATORIA</b>	<b>I</b>
<b>AGRADECIMIENTOS</b>	<b>III</b>
<b>PROLEGÓMENO</b>	<b>V</b>
<b>RESUMEN</b>	<b>1</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>3</b>
<b>OBJETIVOS</b>	<b>4</b>
<b>1. MARCO TEÓRICO</b>	<b>5</b>
1.1. ANTECEDENTES . . . . .	5
1.2. SITUACIÓN ACTUAL DE LA EXTRACCIÓN DE CORAL NEGRO EN MÉXICO . . . . .	5
1.3. BIOLOGÍA DEL ORDEN ANTIPATHARIA . . . . .	6
1.3.1. Taxonomía de las especies . . . . .	9
1.3.1.1. Orden ANTIPATHARIA . . . . .	10
<i>Antipathes pennacea</i> Pallas (1766) . . . . .	10
<i>Antipathes caribbeana</i> Opresko (1996) . . . . .	10
1.3.2. Propiedades del exoesqueleto . . . . .	12
1.3.3. Anillos de crecimiento . . . . .	14
1.4. ESTUDIOS PREVIOS SOBRE ANILLOS DE CRECIMIENTO . . . . .	14
1.5. INTRODUCCIÓN AL PRINCIPIO DE ALOMETRÍA . . . . .	16
<b>2. ÁREA DE ESTUDIO</b>	<b>19</b>
2.1. INFORMACIÓN GENERAL . . . . .	19
<b>3. MATERIAL Y MÉTODOS</b>	<b>23</b>
3.1. TRABAJO DE CAMPO . . . . .	23
3.2. TRABAJO DE LABORATORIO . . . . .	24
3.2.1. Técnicas en el estudio de los anillos de crecimiento . . . . .	24
3.2.1.1. Técnicas petrográficas . . . . .	25
3.2.1.2. Inclusión total . . . . .	27
3.2.1.3. Identificación de calcita mediante tinción . . . . .	27
3.2.1.4. Delaminación con ácido fórmico . . . . .	28



3.2.1.5. Definición, patrón y número de los anillos de crecimiento . . . . .	28
① Definición . . . . .	28
② Número y Patrón . . . . .	28
3.3. TRABAJO DE GABINETE . . . . .	29
<b>4. RESULTADOS</b> . . . . .	<b>33</b>
4.1. TÉCNICAS EN EL ESTUDIO DE LOS ANILLOS DE CRECIMIENTO . . . . .	33
4.1.1. Método de Grigg . . . . .	33
4.1.2. Técnicas petrográficas . . . . .	34
4.1.2.1. Inclusión en resina . . . . .	34
4.1.2.2. Identificación de calcita mediante tinción . . . . .	34
4.1.2.3. Delaminación con ácido fórmico . . . . .	37
① Efectos en <i>Antipathes pennacea</i> . . . . .	37
② Efectos en <i>Antipathes caribbeana</i> . . . . .	37
③ Comparación entre especies . . . . .	37
4.2. ANILLOS DE CRECIMIENTO EN CORAL NEGRO . . . . .	39
4.2.1. Definición de anillo de crecimiento . . . . .	39
4.2.2. Patrón en los anillos de crecimiento . . . . .	39
① <i>Antipathes pennacea</i> . . . . .	39
② <i>Antipathes caribbeana</i> . . . . .	43
4.2.2.1. Número de anillos de crecimiento ( <i>N.A.</i> ) . . . . .	46
① <i>Antipathes pennacea</i> . . . . .	46
② <i>Antipathes caribbeana</i> . . . . .	46
③ Número de anillos en ambas especies . . . . .	49
4.2.3. Amplitud de los anillos de crecimiento . . . . .	49
4.2.3.1. Análisis de la amplitud de los anillos de crecimiento de ramas y bases. . . . .	49
① <i>Antipathes pennacea</i> . . . . .	50
② <i>Antipathes caribbeana</i> . . . . .	50
4.2.3.2. Amplitud de los anillos de crecimiento en relación con su posición . . . . .	50
① <i>Antipathes pennacea</i> . . . . .	50
② <i>Antipathes caribbeana</i> . . . . .	50
③ Relevancia de cada posición en la amplitud de los anillos . . . . .	52
① <i>Antipathes pennacea</i> . . . . .	52
② <i>Antipathes caribbeana</i> . . . . .	52
④ Comparación entre especies . . . . .	52
4.3. RELACIONES ALOMÉTRICAS . . . . .	55
4.3.1. Diámetro . . . . .	55
① <i>Antipathes pennacea</i> . . . . .	56
② <i>Antipathes caribbeana</i> . . . . .	57
③ Comparación entre especies . . . . .	57
4.3.2. Longitud . . . . .	57
① <i>Antipathes pennacea</i> . . . . .	57
② <i>Antipathes caribbeana</i> . . . . .	58
③ Comparación entre especies . . . . .	58
4.3.3. Correlación Lineal: Número de Anillos ( <i>N.A.</i> ) / Diámetro ( <i>DC</i> ) / Longitud ( <i>L</i> ) . . . . .	58
4.3.4. Análisis Global . . . . .	62
4.3.4.1. Diámetro ( <i>DC</i> ) - Número de anillos ( <i>N.A.</i> ) . . . . .	62
4.3.4.2. Longitud ( <i>L</i> ) - Número de Anillos ( <i>N.A.</i> ) . . . . .	62

## **CONTENIDO**

---

<b>5. DISCUSIÓN</b>	<b>65</b>
5.1. TÉCNICAS .....	65
5.2. ANILLOS DE CRECIMIENTO EN CORAL NEGRO .....	66
5.3. RELACIONES ALOMÉTRICAS .....	68
<b>6. CONCLUSIONES</b>	<b>71</b>
<b>GLOSARIO</b>	<b>73</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>75</b>

---

## Índice de cuadros

---

2.1. Nivel de mareas del Estado de Quintana Roo[75]. . . . .	21
3.1. Equivalencias de las divisiones del micrómetro para cada objetivo utilizado. . . . .	28
3.2. Rangos en el grado de asociación lineal entre las variables relacionadas en el estudio de las colonias de coral negro. . . . .	31
3.3. Parejas de variables donde se ajusto el modelo de regresión lineal. . . . .	31
4.1. Amplitud de los paquetes claros en ramas y bases de <i>Antipathes pennacea</i> . . . . .	42
4.2. Amplitud de los paquetes claros en ramas y bases de <i>Antipathes caribbeana</i> . . . . .	42
4.3. Número de anillos en ramas secundarias y bases de las colonias de <i>Antipathes pennacea</i> . . . . .	46
4.4. Número de anillos en ramas secundarias y bases de las colonias de <i>Antipathes caribbeana</i> . . . . .	48
4.5. Media y varianza del número de anillos de dos muestras de coral negro, una de la especie <i>A. pennacea</i> y otra de la especie <i>A. caribbeana</i> . . . . .	49
4.6. Coeficientes del modelo de ANOVA ponderada (Ec. 3.3) de la amplitud de los anillos en <i>A. pennacea</i> . . . . .	53
4.7. Coeficientes del modelo de ANOVA ponderada (Ec. 3.3) de la amplitud de los anillos en <i>A. caribbeana</i> . . . . .	53
4.8. Coeficiente de correlación y varianza de los tres tipos de diámetro antes y después de la selección de datos con la prueba de distancia de Cook. . . . .	56
4.9. Correlación lineal simple entre los tres tipos de diámetro y los parámetros número de anillos y longitud, antes y después de la selección de datos con la prueba de distancia de Cook. . . . .	57
4.10. Coeficientes de correlación lineal de las relaciones anillos-diámetro-longitud, antes y después de la selección de datos con la prueba distancia de Cook. . . . .	58
4.11. División de clases de diámetro con respecto al número promedio de anillos. . . . .	63
4.12. División de clases de longitud con respecto al número promedio de anillos. . . . .	63



---

## Índice de figuras

---

1.1. Colonia de coral negro. . . . .	7
1.2. Larva plánula (Brusca, 1990) . . . . .	9
1.3. Colonia de <i>Antipathes pennacea</i> . . . . .	11
1.4. Colonia de <i>Antipathes caribbeana</i> . . . . .	11
1.5. Patrón macroscópico de las espinas en coral negro. . . . .	13
1.6. Patrón microscópico de las espinas en coral negro (Opresko, 1996) . . . . .	13
1.7. Anillos de crecimiento en <i>Antipathes fiordensis</i> descritos por Goldberg, 1991. . . . .	15
1.8. Anillos de crecimiento en <i>Antipathes fiordensis</i> descritos por Kim <i>et al.</i> , 1992. . . . .	15
2.1. Región de procedencia de las colonias de coral negro [74]. . . . .	20
3.1. Fragmento de una colonia de coral negro. . . . .	24
3.2. Corte transversal del eje principal y ramas secundaria de una colonia de coral negro. . . . .	26
3.3. Corte delgado de una colonia de coral negro. . . . .	26
4.1. Colonias de coral negro tratadas con rojo de alizarina (1.6X). . . . .	35
4.2. Fragmento de una colonia de coral negro con inclusiones carbonatadas producto de poliquetos. . . . .	35
4.3. Delaminación con ácido fórmico en la periferia del corte de una colonia de <i>Antipathes pennacea</i> (1.6X) . . . . .	36
4.4. Delaminación con ácido fórmico de micro-láminas claras y oscuras en una colonia de <i>Antipathes pennacea</i> (1.6 X). . . . .	36
4.5. Cavidades de los pólipos en una colonia de <i>Antipathes pennacea</i> (5X). . . . .	36
4.6. Delaminación con ácido fórmico en la periferia del corte de una colonia de <i>Antipathes caribbeana</i> (1.6 X). . . . .	38
4.7. Micro-láminas separadas por el efecto del ácido fórmico en una colonia de <i>Antipathes caribbeana</i> (1.6 X). . . . .	38
4.8. Efecto "remache" en las espinas de <i>Antipathes caribbeana</i> (10X). . . . .	38
4.9. Cavidades de los pólipos en una colonia de <i>Antipathes caribbeana</i> (5X). . . . .	38
4.10. Anillos de crecimiento en dos especies de coral negro(1.6 X). . . . .	40
4.11. Anillos de crecimiento en <i>Antipathes pennacea</i> (4X). . . . .	41
4.12. "Línea concéntrica" oscura delimitando un paquete de micro-láminas en una colonia de <i>Antipathes pennacea</i> . . . . .	42
4.13. Anillos de crecimiento en <i>Antipathes caribbeana</i> (1.6 X). . . . .	44
4.14. Número de anillos en rama secundaria y base de las colonias de <i>A. pennacea</i> . . . . .	45

## ÍNDICE DE FIGURAS

4.15 Diferencia en el número de anillos de bases con respecto a ramas secundarias en las colonias de <i>A. pennacea</i> , cuyo número promedio son 2.1 anillos. . . . .	45
4.17 Número de anillos en rama secundaria y base de las colonias de <i>A. caribbeana</i> . . . . .	47
4.18 Diferencia en el número de anillos de bases con respecto a ramas secundarias en las colonias de <i>A. caribbeana</i> , cuyo número promedio son 1.94 anillos. . . . .	47
4.16 Recta de regresión lineal simple del número de anillos de ramas secundarias con relación a bases de colonias de <i>A. pennacea</i> . . . . .	48
4.19 Recta de regresión lineal simple del número de anillos en ramas secundarias como función del número de anillos en bases de las colonias de <i>A. caribbeana</i> . . . . .	48
4.20 Consideración sobre las posiciones de los anillos de crecimiento en una colonia de coral negro. . . . .	49
4.21 Amplitud de los anillos de crecimiento con relación a su posición en colonias de <i>A. pennacea</i> . . . . .	51
4.22 Amplitud de los anillos de crecimiento con relación a su posición en colonias de <i>A. caribbeana</i> . . . . .	51
4.23 Amplitud de los anillos de crecimiento con respecto a su posición en ramas secundarias y bases. . . . .	53
4.24 ANOVA ponderada de la relación Posición- Amplitud en los anillos de crecimiento de ramas secundarias y bases de las colonias de <i>A. pennacea</i> . . . . .	54
4.25 ANOVA ponderada de la relación Posición- Amplitud en los anillos de crecimiento de ramas secundarias y bases de las colonias de <i>A. caribbeana</i> . . . . .	54
4.26 Relación estadística entre las variables número de anillos, diámetro y longitud de las colonias de coral negro. . . . .	59
4.27 Rectas de regresión lineal simple del número de anillos con relación al diámetro de las colonias de coral negro. . . . .	60
4.28 Rectas de regresión lineal simple del número de anillos con relación a la longitud de las colonias de coral negro. . . . .	60
4.29 Recta de regresión lineal simple de la longitud con relación al diámetro de las colonias de coral negro. . . . .	61
4.30 Clases de diámetro con respecto al número promedio de anillos en las colonias de ambas especies de coral negro. . . . .	63
4.31 Clases de longitud con respecto al número promedio de anillos en las colonias de ambas especies de coral negro. . . . .	63

---

---

## Índice de esquemas

---

1.1. Clasificación taxonómica del coral negro (modificado de Brusca, 1990) . . . . .	6
3.1. Técnicas empleadas en el estudio de los anillos de crecimiento en coral negro. . . . .	25

---

---

## RESUMEN

---

El proceso de depósito de anillos de crecimiento en el coral negro se infiere que está asociado a un mecanismo de regulación de acuerdo con la talla, edad y especie de la colonia, asimismo este mecanismo está influenciado por diferentes parámetros ambientales.

Este trabajo examinó el patrón de los anillos de crecimiento de dos especies de coral negro del Caribe mexicano: *Antipathes pennacea* y *Antipathes caribbeana*, con intención de caracterizar y comparar el patrón de cada especie y conocer la relación alométrica entre el número de anillos de crecimiento y las variables diámetro y longitud.

El estudio de los anillos de crecimiento provee información acerca de: a) la delimitación de un anillo a partir de criterios morfológicos, b) la amplitud de los anillos con respecto a la posición que ocupan, c) el número promedio de anillos en una colonia de coral negro y su asociación con las variables de crecimiento diámetro y longitud.

A partir de técnicas petrográficas es posible reconocer y cuantificar los anillos de crecimiento de las dos especies de coral negro estudiadas. Mientras que la prueba de delaminación con ácido fórmico permite confirmar parte de la ultraestructura del exoesqueleto de coral negro.

El análisis estadístico sobre la amplitud de los anillos de crecimiento en ambas especies de coral negro, indica que la amplitud de un anillo incrementa gradualmente con respecto a su posición. Esta tendencia creciente en la amplitud de los anillos sugiere a su vez, que el mecanismo de depositación de los anillos de crecimiento parece generarse en tiempos distintos.

El número de anillos en una colonia de coral negro se correlaciona con su edad relativa. Sin embargo, este trabajo no puede aseverar que el periodo de depositación de un anillo de crecimiento en coral negro ocurra anualmente, aunque a mayor número de anillos en una colonia se espera mayor antigüedad.

El análisis de la relación alométrica del número de anillos, el diámetro y la longitud de las colonias de coral negro no es concluyente, sin embargo, sugiere una relación directamente proporcional entre las variables, es decir, a mayor diámetro y longitud de la colonia se espera encontrar mayor número de anillos.



---

---

# INTRODUCCIÓN

---

*El reflejo de las contradicciones objetivas en el pensamiento subjetivo forma el movimiento contradictorio de los conceptos, impulsa el desarrollo del pensamiento y va resolviendo sin cesar los problemas planteados al pensamiento humano.*

**MAO ZEDONG (1893-1976 A.E)**

El estudio de la edad y la forma de crecimiento son fundamentales para entender algunos aspectos de un ser vivo. En algunos organismos, la edad puede inferirse a partir de secuencias de depósito que pueden proporcionar desde un índice en el rango de crecimiento hasta la historia completa sobre el medio ambiente en el cual ocurrió dicho fenómeno. Indistintamente puede referirse como anillos de crecimiento, líneas, bandas o trazos anulares, a las marcas de un incremento en el tamaño, documentado en un número importante de organismos marinos y terrestres [16].

Empero, en el ambiente marino la mayoría de los trabajos se han centrado en animales que poseen tejidos calcificados, como los corales escleractinios o formadores de arrecifes [41, 66, 2]. En material calcáreo, los anillos pueden ser producto directamente de una deposición inorgánica, en donde se puede distinguir una alternancia de una capa orgánica oscuro coloreada, seguida de una capa rica en carbonatos y de tonalidades claras [16].

Los anillos de crecimiento en los esqueletos de corales negros también pueden correlacionarse con la edad [23, 25, 19, 20, 21], sin embar-

go, aún no se ha determinado el tiempo exacto en la formación de los anillos. Los anillos del coral negro son distintos e inusuales, son estructuras compuestas de fibras de quitina embebidas en una matriz amorfa de proteína, muy similar a la cutícula de los artrópodos [16].

El Orden Antipatharia (Corales negros o espinosos) se compone de 200 especies descritas de cnidarios coloniales que habitan en las comunidades arrecifales profundas (a partir de los 20 m de profundidad), en el talud de la plataforma arrecifal y en ambientes crípticos [55].

Los corales negros han sido objeto de comercio en la industria joyera y artesanal desde la época de los antiguos Griegos [30]. El esqueleto de los antipatharios se puede pulir o darle lustre debido a que es orgánico, y puede ser moldeado mientras es procesado, por ello este material es altamente cotizado en joyería, lo que ha originado su explotación al grado que algunas especies de coral negro se encuentren en peligro de reducción poblacional.

En el caso particular de México, el principal lugar en donde se extrae y comercializa el coral negro es en el estado de Quintana Roo. Desde los años sesenta del siglo pasado, el coral negro ha sido la fuente de ingresos de algunos pobladores de dicho estado, incluyendo pescadores, artesanos y comerciantes [39, 65]. Sin embargo, la reglamentación para la extracción del coral negro en Quintana Roo, además de reciente ha sido muy irregular y arbitraria, obedeciendo más a aspectos socio-económicos por la demanda del producto en el mercado, que a criterios de conservación y manejo, de-

bido al desconocimiento biológico y poblacional del recurso [59, 60].

Actualmente tres especies del género *Antipathes*, están declaradas como amenazadas en la Norma Oficial Mexicana (NOM-059-ECOL 1994), y el género está incluido en el apéndice II del Conventional on International Trade In Endangered Species (CITES). La identidad taxonómica de las dos especies que se explotan sin un reglamento adecuado en el Caribe mexicano son *Antipathes caribbeana* y *Antipathes pennacea*, las cuales se dieron a conocer a partir de los trabajos de Padilla [59, 60].

Por otro lado, se desconoce la distribución actual y el estado de conservación que tienen las poblaciones de coral negro en Quintana Roo. Desafortunadamente, los bancos de coral negro que tradicionalmente se han explotado muestran un gran deterioro por la explotación incontrolada que pone en riesgo de extinción a este recurso del estado. Esta problemática propició que el Centro de Investigaciones Pesqueras (CRIP), Puerto Morelos, del Instituto Nacional de la Pesca, iniciara un proyecto para evaluar las posibilidades de uso sustentable del coral negro en el estado de Quintana Roo, el cual estableció con certeza la identidad taxonómica de las especies de coral negro explotadas; parte de ese proyecto planteó como problema estimar la estructura de tamaño/edad de las colonias de coral negro.

Sin embargo, el diseño de metodologías específicas para el estudio poblacional de invertebrados marinos tales como los corales, se remonta tan sólo a la década de los noventa del siglo pasado. La plasticidad morfológica y los procesos de propagación clonal en corales, provocan que las estimaciones de la edad de una colonia a partir de su tamaño y los datos de crecimiento sean muy imprecisos, sobre todo para los corales grandes [32]. Por ello, estimar la edad de estos organismos, presenta problemas metodológicos y sólo es posible conocerla mediante seguimientos de la población a largo plazo [33] o bien, a través del análisis de los anillos de crecimiento con rayos-X [28] y otras técnicas tales como delaminación con ácido fórmico [16], inclusión en resina así como conteo de anillos, técnicas que se han usado y

desarrollado en este trabajo de investigación. En este trabajo se analiza el patrón en los anillos de crecimiento de las especies *Antipathes caribbeana* y *Antipathes pennacea* provenientes del Estado de Quintana Roo, y se plantean los siguientes objetivos:

### OBJETIVO GENERAL:

- Caracterizar, analizar y comparar los patrones de los anillos de crecimiento en las colonias de coral negro de las especies *Antipathes caribbeana* y *Antipathes pennacea*.

### OBJETIVOS PARTICULARES :

- Establecer la técnica y los criterios para delimitar los anillos de crecimiento en las especies *Antipathes caribbeana* y *Antipathes pennacea*.
- Hacer un conteo de los anillos de crecimiento en ramas secundarias y bases de las colonias de ambas especies.
- Conocer la relación alométrica entre el número de anillos de crecimiento, el diámetro y longitud de las colonias de dichas especies.

# CAPÍTULO I

---

## MARCO TEÓRICO

---

### 1.1

#### ANTECEDENTES

La extracción de coral negro, como industria pesquera más temprana, existió en el Mar Rojo hace varios miles de años. El esqueleto de algunas de las especies más grandes (colonias de *Antipathes grandis*, que generalmente alcanza 2 m. de largo) se han utilizado como material de joyería y ornato. En el lejano Oriente fueron utilizados como cetros, varas mágicas que adivinaban, y como amuletos para alejar el mal. Según un mito griego, el coral negro fue dado originalmente a Ulises como fetiche para protegerse de Circe. Los nativos de África del Norte dependieron de muchos objetos pulidos de coral negro para neutralizar la magia del temido "mal de ojo"; de ahí que haya surgido el nombre *Antipathes* (Anti, "contra" - pathos, "enfermedad o sufrimiento" [25]). Los antiguos hawaianos utilizaron las ramificaciones de coral negro como polvo medicinal. Sin embargo, actualmente el coral negro ha adquirido un enorme valor como material semiprecioso, a tal grado que en 1987, el coral negro fue señalado como gema del estado de Hawaii [73].

En el caso de México, en el estado de Quintana Roo, la colecta de coral negro comenzó a finales de la década de los sesenta del siglo pasado. fecha a partir de la cual, el coral negro ha rep-

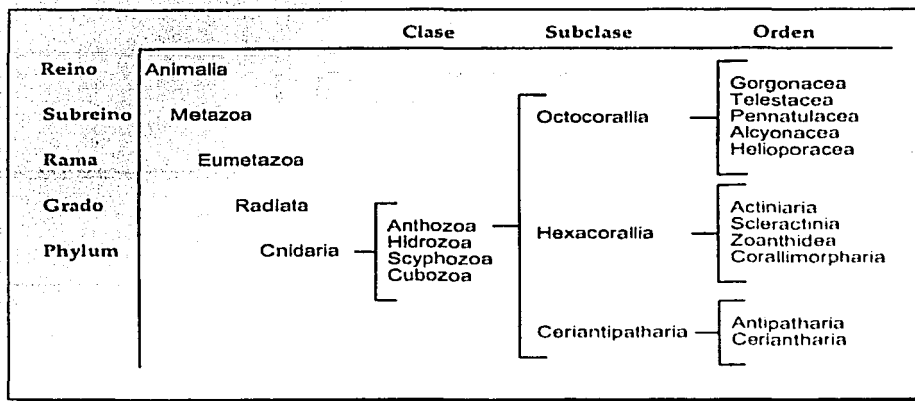
resentado una fuente de ingreso para muchas familias que habitan en la costa del estado, debido a que alrededor de este recurso se genera una importante fuente de empleo, comenzando con los pescadores que extraen las colonias de coral, los artesanos que elaboran piezas de ornato y joyería, así como los comerciantes que venden los productos al turismo [39, 65]. En un principio, el recurso se obtenía únicamente de la Isla Cozumel, donde la extracción se realizaba en apnea a una profundidad entre 23 y 27 m. La introducción del buceo autónomo permitió un mayor acceso a los bancos de coral y debido a la gran demanda en el mercado, se produjo una sobreexplotación del recurso, de modo que actualmente en Isla Cozumel las colonias grandes se extraen a profundidades entre 73 y hasta 83 m [59, 60].

### 1.2

#### SITUACIÓN ACTUAL DE LA EXTRACCIÓN DE CORAL NEGRO EN MÉXICO

En el intento por regular legalmente la pesquería de coral negro ha sido necesario conocer la distribución y abundancia de los bancos que se explotan en el Caribe mexicano. Sin embargo, se han realizado pocos estudios con

Esquema 1.1 Clasificación taxonómica del coral negro (modificado de Brusca, 1990)



esta finalidad, los cuales en la mayoría de los casos han sido de poca duración y cuyos resultados no son completamente aplicables. En estos estudios, los pescadores de coral negro (que son los directamente afectados, junto con sus familias), han colaborado para su ejecución mostrando los sitios donde realizan sus actividades.

La carencia de datos biológicos sobre las poblaciones de coral negro en el estado de Quintana Roo, ha obligado a utilizar criterios totalmente arbitrarios para la asignación de cuotas de extracción y para el establecimiento de condiciones de colecta a los permisionarios del recurso. La asignación de cuotas de captura ha variado entre 50 y 100 Kg. mensuales de producto bruto por permiso y las restricciones de tamaño mínimo de colecta entre 2 y 2.5 cm de diámetro del eje principal, obedeciendo más a la demanda de los pescadores que a un conocimiento del recurso. Los datos de captura eran escasos hasta 1987, año en el que se registraron más de 1,000 Kg. de producto. En 1996 se otorgaron los últimos permisos por un año, para extraer 100 Kg. mensuales en la Isla Cozumel y en la costa centro-norte [59, 60].

Los estudios a este respecto son insuficientes

debido en gran parte a la dificultad para el muestreo de estos organismos, ya que actualmente sólo se les encuentra a profundidades donde el buceo implica grandes riesgos. El mal manejo de la extracción, ha ocasionado que los bancos de coral negro que estaban siendo explotados se hayan agotado. A pesar de ello, la gran demanda del producto en el mercado ha motivado a los pescadores a capturarlo a una mayor profundidad, provocando un mayor deterioro a los bancos de coral e incrementando el riesgo asociado a esta actividad. Por esto mismo, los pescadores demandan el permiso para explotar nuevas áreas, las cuales corren el peligro de sufrir el mismo daño que los sitios que han sido dañados por esta pesquería.

### 1.3

## BIOLOGÍA DEL ORDEN ANTIPATHARIA

Los corales pertenecen al Phylum Cnidaria, el cual es considerado como uno de los grupos más primitivos de Eumetazoa por su ausencia de órganos, dominancia de células mioepiteliales y por su nivel de organización

### 1.3. BIOLOGÍA DEL ORDEN ANTIPATHARIA

---

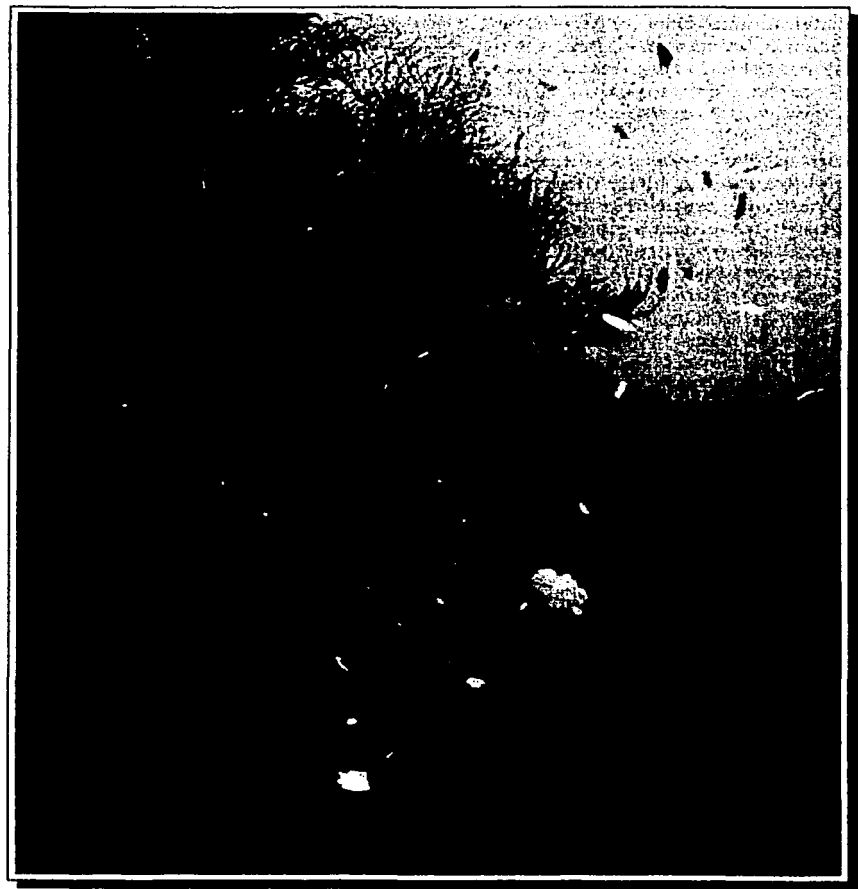


Figura 1.1 Colonia de coral negro.

diploblástico. La Clase Anthozoa (Esquema 1.1) está constituida por las Subclases: Hexacorallia (=Zooantharia), corales duros cuyo exoesqueleto es de carbonato de calcio donde se incluyen los corales formadores de arrecifes; Octocorallia (=Alcyonaria), corales blandos o flexibles de gorgonina en los cuales no hay un esqueleto aparente; y Ceriantipatharia, corales negros o espinosos con exoesqueleto de quitina (Brusca, 1990).

El Orden Antipatharia conocido como corales negros, corales espinosos o "little thorn corals" (Figura 1.1), incluye a especies de cnidarios que generalmente presentan seis y hasta 24 tentáculos los cuales no son retráctiles y están dotados de nematocistos, que se ubican sobre la abertura de cada pólipo, cuerpos cortos, cilíndricos y de consistencia gelatinosa [7]. Una sola colonia de coral negro puede poseer millones de pólipos, de hasta 1 mm de diámetro, formando una corteza "viva" alrededor del exoesqueleto. Dependiendo de la especie, los pólipos y la corteza viviente que generan, puede ser de coloración blanca, amarilla, anaranjada, marrón, roja, verde, o negra [25].

Han sido descritas más de 150 especies de antipatarios, algunos crecen solitarios con forma de látigo o alambre en espiral, muchos otros tienen una forma de crecimiento dendrítica generando ramas de diversos tamaños, similar a los árboles. Debido a que son organismos sésiles, los corales negros atraen a un sin número de organismos simbioses tales como poliquetos, crustáceos, moluscos y peces, ofreciendo protección, residencia e interacción entre especies [25]. Los antipatarios se distribuyen en todos los océanos del mundo, aunque la mayoría se encuentran en mares tropicales y subtropicales; algunos dentro de la provincia sublitoral en aguas de 1 hasta 110 m de profundidad y otros se han reportado en profundidades de hasta 4000 a 6000 m correspondiente a la provincia abisal [73]. Habitan zonas donde generalmente la luz es de baja intensidad, por ejemplo cuevas, así como terrazas submarinas donde fluyen corrientes rápidas [25]. Su abundancia se puede relacionar con el espacio disponible en condiciones favorables. El movimiento en las masas de agua y la

intensidad de luz desempeñan papeles muy importantes en la distribución de ciertas especies del género *Antipathes*, sin embargo, la información no es concluyente [73].

Los corales negros son carnívoros, se fijan firmemente al piso oceánico, y mientras que las corrientes marinas mueven el plancton, estos atrapan el alimento con los miles de pólipos que constituyen la colonia, a través de una abertura rodeada por tentáculos la cual les sirve tanto para ingerir a sus presas como eliminar desperdicios. Las estructuras de crecimiento en forma de abanico que caracterizan a algunos ejemplares antipatarios se piensa son producto de una adaptación a una restricción física, para una alimentación más eficiente frente a las corrientes unidireccionales. Las ramificaciones de muchas especies tienen pólipos únicamente en una cara (la cara en sentido descendente), posiblemente como otro tipo de adaptación, aunque existe poca información al respecto. A diferencia de los corales constructores de arrecifes de aguas someras, los corales negros no mantienen una relación simbiótica con zooxanthellas (algas fotosintéticas), esto significa que no están limitados a vivir en lugares iluminados por el sol, por ello se encuentran en cuevas, por debajo de los arrecifes y a grandes profundidades [73].

Se conoce relativamente poco sobre el ciclo de vida y la reproducción de corales negros. Al igual que otros cnidarios, los corales negros tienen ciclos de vida que incluyen modos de reproducción asexual y sexual. Para muchos organismos marinos la temperatura, la cantidad de luz del día, así como las fases lunares, son factores determinantes en su reproducción, posiblemente para los corales negros igualmente estos factores sean indicativos para la sincronización en sus actividades reproductivas, sin embargo aun no se estudian con precisión [61]. La reproducción asexual, a partir de gemación extratentacular o intratentacular [3], genera más tejido vivo a la colonia al mismo tiempo que se secreta el exoesqueleto, aunque no se conoce con detalle el proceso. La reproducción sexual implica la producción de gametas cuyo origen, según Wourms [70], deriva de un cúmulo de células intestinales que

### 1.3. BIOLÓGIA DEL ORDEN ANTIPATHARIA

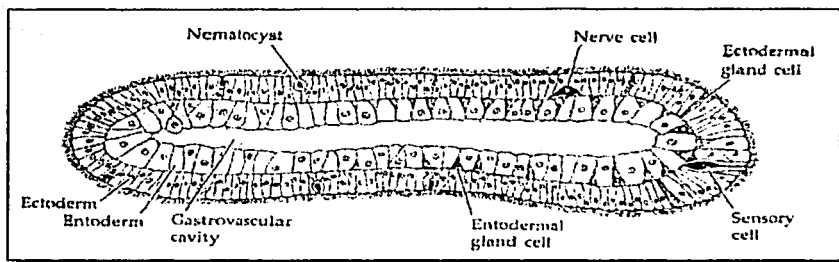


Figura 1.2 Larva plánula (Brusca, 1990)

aparecen originalmente en el endodermo de todos los antozoarios. Una colonia puede ser hermafrodita, las gametas fecundadas de ambos sexos dan origen a la etapa larval conocida como plánula (Figura 1.2), la cual se mueve a la deriva con ayuda de las corrientes hasta fijarse en un sustrato adecuado. Una vez que la plánula se establece, comienza la metamorfosis a la forma de pólipo, el cual secretará el material esquelético que se fijará al piso oceánico. Investigaciones recientes sugieren que las larvas de coral negro se colocan y sobreviven mejor, en zonas con bajos niveles de luz, lo cual explica la abundancia de algunas especies por debajo de 37 m de profundidad, empero se requiere de mayor información al respecto [73].

#### 1.3.1

#### Taxonomía de las especies

Actualmente se tiene certeza de la identidad taxonómica de las especies de coral negro que existen en los arrecifes del Caribe Mexicano; reportándose ocho especies: siete del género *Antipathes* y una del género *Stichopathes* [59, 60]. Estas especies no se consideran para su protección en la NOM-059-ECOL-1994, por lo que se recomienda elaborar una propuesta de cambio a la NOM, tendiente a buscar la protección de las especies de coral negro que existen en el Caribe Mexicano, que es parte del trabajo que se desarrolla actualmente en el Instituto Nacional de Pesca.

A pesar de que el género *Antipathes* está incluido en el apéndice II del CITES, las especies declaradas como sujetas a protección especial en la NOM son *Antipathes grandis*, *Antipathes bichitoena* y *Antipathes ules*; sin embargo, estas especies tienen su rango de distribución en el Océano Pacífico, específicamente en Hawai. Las dos especies de coral negro que se explotan comercialmente como material semiprecioso, para la elaboración de piezas de joyería y artesanía, sin un reglamento adecuado en el Caribe mexicano son: *Antipathes pennacea* y *Antipathes caribbeana*.

Según Opresko [55] que refiere a Pallas (1766), el género *Antipathes* se constituyó únicamente, con base en caracteres esqueléticos de un conjunto de formas muy diversas. Diez especies fueron incluidas originalmente en el género: *A. spiralis* Linnaeus (corallum no ramificado); *A. dichotoma* Pallas y *A. foeniculacea* Pallas (corallum irregular o dicotómicamente ramificado); *A. flabellum* Pallas (corallum flabelado, ramificaciones anastomosadas en un solo plano); *A. ericoides* Pallas y *A. clathrata* Pallas (corallum ramificado en un plano grueso, ramas en todas las caras de la ramificación más baja y anastomosada); *A. pennacea* (corallum ramificado con pinulas bilaterales simples); *A. abies* Linnaeus (corallum monopodial, arreglo espiral, ramificado pinulado); *A. myriophylla* (corallum ramificado, con ramas bilaterales pinuladas); *A. orichalcea* (actualmente ya no se incluye en el Orden). Con la multiplicación subsecuente de especies descritas, se intentó re-

definir y restringir el género, primero con base en los caracteres esqueléticos, principalmente en la morfología del pólipo. Opresko [55] agrega que Brook (1889), propuso diez géneros, de los cuales se reconocen únicamente tres, previamente establecidos. De las diez especies descritas por Pallas, solamente dos, *A. dichotoma* y *A. foeniculacea*, fueron conservadas en el género *Antipathes*.

### 1.3.1.1

## Orden ANTIPATHARIA

### Familia ANTIPATHIDAE

#### Género *Antipathes* Pallas

**Diagnosis:** Colonias con escasa o densa ramificación; simple o pinulada; espinas simples o bifidas, lisas o papilosas, triangulares y comprimidas o cilíndricas y alargadas, igual en todas las caras del eje o más largas en relación a los pólipos laterales; pólipos ovales de longitud transversal cercana a la anchura sagital.

#### *Antipathes pennacea* Pallas (1766)

**Diagnosis.-** La forma arbustiva es la apariencia que distingue a esta especie de los corales del Atlántico oeste (Figura 1.3). Las colonias alcanzan tallas considerables, midiendo más de 1.5 m tanto de longitud como de ancho, aunque cada una de las ramas es plana. El eje principal y las ramas pinadas tienen ramificaciones simples llamadas pinulas; estas son cortas de 2 a 6 cm de longitud dispuestas alternadamente a sólo 1 a 36 mm de distancia entre ellas y en 2 hileras sobre cada rama. Las pinulas adyacentes son parecidas en longitud. El arreglo de las ramas y las pinulas es muy similar a la pluma de ave; e igual que una pluma, las pinulas están siempre inclinadas hacia la parte externa de la rama. Aunque el esqueleto es negro, los pólipos a menudo dan una tonalidad rojo oscuro a la colonia. Hay parches de sedimento blanco que se funden en partes de la colonia, dando un aspecto manchado.

Las colonias de esta especie sirven de sustrato o refugio a muchos otros organismos, incluyendo diferentes especies de crustáceos, moluscos y peces. Partes de las colonias en ocasiones presentan frondosos crecimientos de coral de fuego (Orden Millepora), hidroides y algas.

**Distribución.-** Es una especie conocida en el Atlántico tropical, Océanos Pacífico e Índico y se distribuye por todo el Caribe, Bahamas y la costa sur de Florida.

**Rango Batimétrico.-** Se encuentra principalmente en la zona profunda de algunos arrecifes, aunque puede hallarse en la parte somera (3 m), en cuevas o sobre el arrecife. Debajo de 20 m *Antipathes pennacea* se distribuye sobre las caras verticales, pero puede crecer verticalmente sobre el sustrato. Esta es más abundante entre 25 y 60 m pero se ha encontrado hasta 329 m. En aguas profundas suele habitar las paredes de los acantilados y los cañones en los que fluya una corriente o haya movimiento periódico del agua.

#### *Antipathes caribbeana* Opresko (1996)

**Diagnosis.-** Especie cuyas colonias son grandes y a menudo exceden 1 m de altura, densas e irregularmente ramosas, con ramas que se proyectan ascendentemente y hacia fuera (Figura 1.4). Las ramas pequeñas son rectas o ligeramente curvas, de 0.15 a 0.30 mm en diámetro (excluyendo las espinas) y hasta 10 cm o más de longitud; las ramas distales en su mayoría tienen ángulos de 30 a 45. Las ramas pequeñas se levantan de todos los lados de la rama en orden y empezando de las más bajas, pero ocasionalmente lo hacen en serie y a distancias cortas.

Las espinas son cónicas y dan una apariencia subcilíndrica, lateralmente comprimidas agudas o poco redondas apicalmente, y se van abocardando al aproximarse a la unión con el eje, están cubiertas la mitad o tres cuartas partes de la superficie con pequeñas protuberancias o tubérculos cónicos, éstas son de señales en tamaño alrededor de la circunferencia del eje. Las espinas del pólipos son más grandes que las del abpólipo. Las primeras van de 0.08 a 0.16 mm del ápice al punto medio



### 1.3. BIOLOGÍA DEL ORDEN ANTIPATHARIA

---



Figura 1.3 Colonia de *Antipathes pennacea*



Figura 1.4 Colonia de *Antipathes caribbeana*

de la base son perpendiculares al eje de la rama o ligeramente inclinadas; y las abpolipares van de 0.06 a 12 mm y normalmente se inclinan distalmente, con la unión al eje proximal más larga que la unión distal. Estrechas y cónicas son las espinas secundarias, relativamente uniformes en tamaño y apariencia, normalmente las más pequeñas están distalmente inclinadas. Las espinas en las ramas están arregladas en 9 a 11 filas axiales, con 25 a 35 espinas por centímetro en cada fila. La disposición en las ramas va en orden, las de abajo primero en filas axiales, disimulando las numerosas espinas secundarias.

Los pólipos son pequeños rectangulares y aproximadamente de 1 mm en diámetro transversal y separados por espacios interpolipares de 0.3 a 0.5 mm. El arreglo de los pólipos en la rama es en serie de 6 a 10 por centímetro. Los pólipos de las ramas más grandes y el tallo se distribuyen menos regularmente y a veces se acomodan en todas las caras del eje.

Distribución.- Atlántico Oeste; en la región del Caribe mexicano, de Colombia a las Bahamas, Jamaica, Puerto Rico y por todas las Antillas; no se ha reportado todavía en la costa de Florida o en el Golfo de México [8].

Rango Batimétrico.- Generalmente se fija sobre arrecifes profundos y en las paredes de las pendientes oceánicas entre 30 y 60 m. No obstante, se ha reportado en lugares poco profundos como 11 m en Panamá, y a grandes profundidades como 100 m en las Bahamas.

### 1.3.2

#### Propiedades del exoesqueleto

El exoesqueleto de los corales negros es un compuesto laminar, constituido principalmente de fibras de quitina y proteína no fibrosa. Los pólipos secretan directamente de la epidermis, el exoesqueleto quitinoso en láminas concéntricas que rodean un centro hueco [10], el esqueleto tiene la forma de un eje central o tallo y puede crecer considerablemente en diámetro. La superficie externa de los esqueletos antipatarios se distinguen por la presencia de espinas dorsales; la morfología de las espinas

dorsales y el patrón de "espinación" distinguen claramente a una especie de otra [40] (Figuras 1.5 y 1.6).

Las estructuras quitinosas son comunes en el reino animal, especialmente como estructuras protectoras y de apoyo. El componente de quitina es cuantitativa y cualitativamente variable en las diferentes especies. Existen varias concordancias entre la cutícula de los artrópodos y el esqueleto de los antipatarios, algunas de ellas radican en la composición química. Así como la cutícula de un insecto, el esqueleto de los corales negro es un material compuesto de fibras de quitina embebidas en una matriz amorfa de proteína no fibrilar [40]. Holl *et al.* [29] refieren a partir de análisis compositivos con carbono - 13 NMR que los componentes orgánicos del esqueleto de coral negro consisten sobre todo en quitina y difenoles principalmente 3-(3,4-dihidroxifenil)-DL-alanina (DOPA) y 3,4-dihidroxibenzaldehído (DOBAL), asimismo glicina, alanina, e histidina como aminoácidos más abundantes; mientras que los difenoles predominantes extraídos de la cutícula de insecto son N-acildopaminas.

La cutícula de los insectos, se presenta generalmente como una estructura laminar donde las fibras de quitina se mantienen en paralelo dentro de cada capa, con una alternancia en la disposición de las capas, formando una trama de fibras cruzadas. Por su parte, las fibras que constituyen cada capa en el esqueleto antipatario presentan cambios en la orientación, estas fibras parecen rotar gradualmente en paralelo formando una estructura helicoidal muy diferente del modelo cruzado descrito en insectos. Un arreglo helicoidal de las fibras de quitina proporciona cierta flexibilidad mientras que previene el tirón que sufre la zona multi-axial que se encuentre bajo tensión. Sin embargo, en el esqueleto de los corales negros las capas no son estructuras laminadas simples, al parecer las espinas dorsales cementan una capa esquelética con la siguiente; Kim *et al.* [40], sugieren que las espinas dorsales aumentan el área superficial para cementar.

El esqueleto de los antipatarios es menos rígido que otros materiales biológicos incluyendo la madera, el hueso, la concha de moluscos y

### 1.3. BIOLOGÍA DEL ORDEN ANTIPATHARIA

---



Figura 1.5 Patrón macroscópico de las espinas en coral negro.

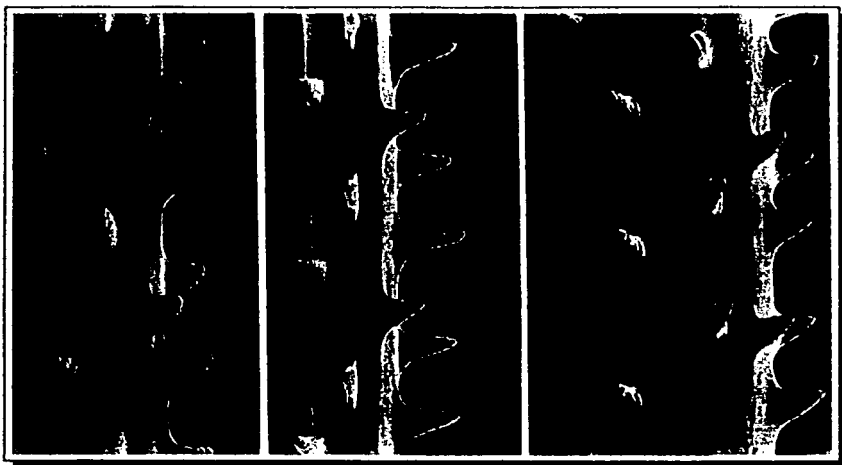


Figura 1.6 Patrón microscópico de las espinas en coral negro (Opresko, 1996)

la cutícula de algunos insectos; teniendo una densidad mayor que la madera y menor que la concha de los moluscos o el hueso, pero muy similar a la densidad de la cutícula de los insectos [68]. El cociente módulo de Young sobre densidad denota el módulo específico, el cual estima la dureza por unidad de masa de los materiales. Sin embargo, para los antipatarios, una mayor flexibilidad por unidad de densidad debe ser más importante que la dureza, de manera que los antipatarios tienen un módulo específico menor comparado al valor de la cutícula de los insectos, teniendo una densidad muy similar. Estas características estructurales y mecánicas en el esqueleto coralino sugieren estar predeterminadas para las zonas profundas e hidrodinámicamente más dóciles, donde se encuentran generalmente los antipatarios, sin embargo, aun no se cuenta con información suficiente que lo corrobore [40].

### 1.3.3

#### Anillos de crecimiento

Los anillos de crecimiento en las partes duras de muchos organismos son de gran importancia, ya que es posible determinar su periodicidad temporal y, en base a ella, hacer una estimación de la edad del individuo. El conocimiento de la periodicidad de los anillos de crecimiento en corales y moluscos, se ha aplicado para interpretar las variaciones que han ocurrido en la longitud del día (fotoperiodo), del mes lunar y del año. Los anillos de crecimiento han sido reportados en las partes duras de una gran variedad de organismos, tales como árboles, en esqueletos de corales escleractinios, así como en la concha de cirripedos y moluscos, espinas de equinoideos, espinas y otolitos de peces, y en los cuernos de ovejas [22].

Los anillos de crecimiento en coral negro se han delimitado como líneas o paquetes de líneas oscuras delimitados por una zona clara formada de líneas claras poco definidas [23], o bien como agregados de micro-láminas esqueléticas separadas por una capa cementante [16].

Durante el proceso de crecimiento de los antipatarios el esqueleto aumenta en espesor y

en longitud, agregando micro-láminas o capas finas (generalmente menor o igual a  $1 \mu\text{m}$  diámetro [16]); estas se extienden en espesor de  $0.1$  a  $1 \mu\text{m}$ . Estas capas que se depositan llegan a ser muy finas mientras más cercanas están a las espinas dorsales [40]. Una micro-lámina se adhiere firmemente a la siguiente, por una capa de cemento orgánico similar a las proteínas cementantes polifenólicas, encontradas en las placas de adherencia de bivalvos; los grupos de líneas opacas cementantes entre las láminas esqueléticas [29], se denotan por una sutil discontinuidad en su densidad, estas discontinuidades son igualmente osmiofílicas que el resto del material, y se interpretan visualmente como anillos de crecimiento [40]. La periodicidad en el patrón de anillos en el coral negro, y las variaciones en su composición química, pueden ser atribuibles a las fluctuaciones ambientales [29] (Figuras 1.7 y 1.8).

### 1.4

#### ESTUDIOS PREVIOS SOBRE ANILLOS DE CRECIMIENTO

Las primeras incursiones en la observación y análisis de los anillos de crecimiento en corales se registran en los años setentas del siglo pasado. Los estudios de esqueletos coralinos se enfocaron primordialmente en corales constructores arrecifales (*Scleractinia*). Knutson *et al.* [41] se refieren a los anillos de crecimiento en corales escleractinios como cronómetros estacionales, a partir de un análisis químico y densimétrico efectuado en los esqueletos carbonatados. En 1974 St. John [66] realiza un análisis de metales pesados en los anillos de crecimiento de algunas especies de escleractinios. Para 1987 Bak y Laane [2], utilizan rayos X para conocer la densidad de los anillos de crecimiento en una especie de coral arrecifal masivo.

Grigg [22] analizó la periodicidad en los anillos de crecimiento de dos especies de corales blandos (*Gorgonacea*), comparando el número de anillos en la parte basal de las bandas de las colonias de gorgonáceos y su edad, con base en las medidas de un rango de crecimiento, con respecto a la edad del sustrato donde

#### 1.4. ESTUDIOS PREVIOS SOBRE ANILLOS DE CRECIMIENTO

---

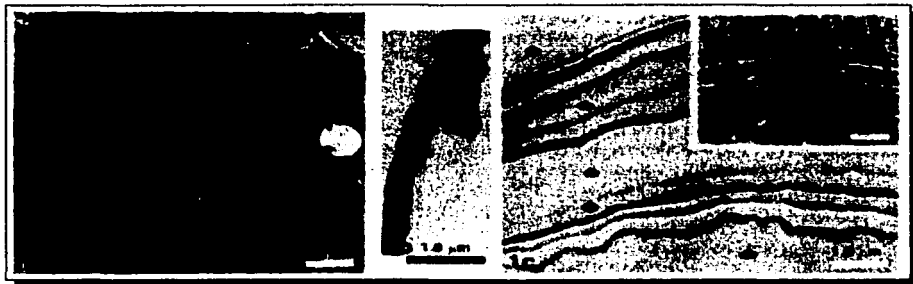


Figura 1.7 Anillos de crecimiento en *Antipathes fiordensis* descritos por Goldberg, 1991.

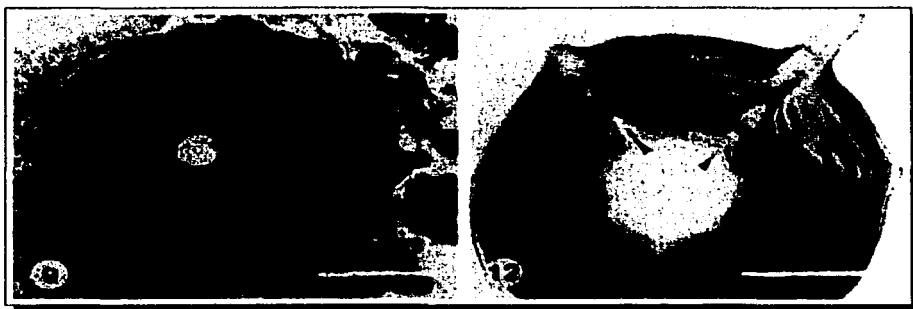


Figura 1.8 Anillos de crecimiento en *Antipathes fiordensis* descritos por Kim *et al.*, 1992.

fueron encontradas. Durante 1976 Grigg, desarrolló un amplio trabajo en el cual analizó el crecimiento en corales a partir de los anillos de crecimiento y propuso técnicas para la observación de anillos en corales escleractinios, coral rosa y coral negro. Además, el trabajo dedujo la expresión  $Y = 9.10 + 4.75X$ , donde la longitud es una función de la edad o el número de anillos, suponiendo que el periodo de formación de un anillo es un año. Los anillos de crecimiento fueron revelados mediante rayos X, sin embargo, para el caso de corales constructores arrecifales además se realizó un análisis a través de una bomba de carbón (Carbono - 14), ya que, según el autor, la ecuación de crecimiento basada en el conteo de anillos no era un método preciso para el caso de los corales escleractinios.

El estudio de los anillos de crecimiento en corales negros, después de la aportación de Grigg [22], tuvo un avance significativo con los trabajos de Goldberg [16], así como Holl, Schaefer y Kramer [29]; asimismo Kim y Taylor [40], y con un trabajo muy relevante de Grange y Goldberg [21].

Goldberg [16] trabajó en la química y estructura de anillos de crecimiento en una especie de coral negro de Nueva Zelanda (*Antipathes fiordensis*), utilizando un microscopio de transmisión después de tratar las muestras de coral negro en ácido fórmico concentrado; el análisis químico consistió en una hidrólisis con ácido metanosulfónico, empleando un JEOL 5AH en el análisis de aminoácidos.

Kim y Taylor [40], en colaboración con Goldberg, analizaron las propiedades mecánicas de la misma especie, estimando la densidad y el módulo de Young en colonias rehidratadas en estanques marinos, después de ser sumergidas en metil-metacrilato.

Por otro lado, Holl, Schaefer y Kramer [29], igualmente en colaboración con Goldberg, han utilizado una combinación de análisis químicos y carbono - 13 NMR para conocer la naturaleza molecular del esqueleto de coral negro con respecto a la cutícula de ciertos insectos.

Grange y Goldberg [21], realizan un trabajo sobre la cronología de los anillos de crecimiento en *Antipathes fiordensis*. Emplean una com-

binación de sofisticados métodos de marcaje con C-D-glucosamina y C-L-histidina así como rayos X, para correlacionar el crecimiento-depositación de anillos con parámetros ambientales.

## 1.5

### INTRODUCCIÓN AL PRINCIPIO DE ALOMETRÍA

En muchos organismos el resultado evidente del proceso de crecimiento es un cambio en su tamaño. Parte del estudio del crecimiento se concentra en el análisis de las relaciones morfométricas, es decir, el estudio de las relaciones entre magnitudes asociadas al tamaño de los organismos (longitud, superficie corporal, masa, volumen, etc.), a partir de las cuales se puede establecer dependencias funcionales que midan indirectamente el crecimiento.

El crecimiento se suele representar por una curva<sup>1</sup> que corresponde a dimensiones medidas en tiempos sucesivos, sobre un individuo o más frecuentemente, medidas obtenidas sobre toda la población en estudio o sobre una muestra de ella. La curva de crecimiento, estrictamente, no es una característica de la especie sino de la población [44]. Pero como refieren Gutiérrez y Sánchez [26], el crecimiento refleja las interacciones múltiples del ecosistema -de manera que el problema es complicado y pueden no ser claros los principios generales sobre los cuales construir modelos- también es el resultado de los procesos fisiológicos de degradación y asimilación de materia orgánica de los individuos.

En el caso de los antipatarios, los estudios sobre crecimiento han empleado variables morfométricas tales como la longitud y el número de anillos de crecimiento [22]. Sin embargo, muchos de los factores asociados al crecimiento del coral negro no se conocen con detalle.

<sup>1</sup>Es conveniente recalcar que son las magnitudes asociadas al crecimiento las que tienen posibilidad de representarse en una curva que estime indirectamente el crecimiento, ya que el proceso de crecimiento en sí mismo es el resultado de la intervención de varios factores que sería complicado representar en una sola curva.

## 1.5. INTRODUCCIÓN AL PRINCIPIO DE ALOMETRÍA

particularmente el proceso y tiempo de depósito de los anillos de crecimiento.

A pesar de que en los corales, el crecimiento y particularmente la relación tamaño (talla) y edad, se ve influido por procesos modulares tales como la mortalidad parcial, la fisión y fusión de colonias [32]; ni la forma y ni el tamaño de los seres vivos pueden desafiar la autoridad de la naturaleza y adoptar proporciones caprichosas. Las restricciones más inmediatas provienen de la geometría de los cuerpos y la búsqueda de fórmulas explícitas para las relaciones entre las variables morfométricas. La importancia de las fórmulas radica no tanto en la medición indirecta sino en que describen cómo cambian un par de variables con respecto a los cambios de una misma dimensión corporal [27].

La alometría es el estudio de la variación de las magnitudes en los seres vivos de manera más restringida, se refiere a las relaciones en las que se comparan las diversas medidas corporales [27].

Aunque el análisis alométrico ha tenido entre otras implicaciones, las de tipo biomecánico para explicar problemas relacionados con las escalas estructurales y funcionales, para la alometría es preponderantemente necesario establecer la relación funcional (matemáticamente) y de significancia (grado de correlación) entre variables morfométricas asociadas al crecimiento orgánico [52]; donde el cambio de una variable morfométrica con respecto a otra, se puede describir al transcurrir el tiempo, y la expresión resultante es la ecuación alométrica. La ecuación alométrica se aplica a una amplia gama de datos morfológicos, bioquímicos, fisiológicos, filogenéticos y significa que determinada variable morfométrica y puede ser expresada como función exponencial<sup>2</sup> de otra variable morfométrica  $X$ , tal como:

$$Y = bX^a$$

esta ecuación enuncia que la tasa relativa de

<sup>2</sup>Es importante hacer notar la diferencia entre la función exponencial ( $Y = AB^x$ ) y la función potencial ( $Y = AX^a$ ); la función a la que realmente se refiere Bertalanffy para la ecuación alométrica es del tipo potencial

variación  $(trv)^3$  de las partes consideradas,  $Y$  y  $X$ , guardan una razón constante durante la vida, o durante un ciclo vital en el cual sea válida la ecuación alométrica; donde  $a$  es la razón constante o coeficiente alométrico [4].

Como aclaran Gutiérrez y Sánchez [27], más allá del valor específico de las constantes de proporcionalidad, importa recordar que bajo la hipótesis de homogeneidad en la distribución de la masa (densidad media) en el organismo, las relaciones geométricas puras implican que

$$L \propto m^{\frac{1}{3}} \text{ y } S \propto m^{\frac{2}{3}}$$

de manera que las ecuaciones  $V = k_1 L^3$  y  $S = k_2 L^2$  son ciertas nada más cuando los sólidos son semejantes; esto ocurre sólo si los cuerpos cambian de dimensiones pero no de forma. Cuando un organismo es tal que su cuerpo de hoy es geoméricamente semejante al de ayer solo que más grande, se dice que crece isométricamente; en tal caso, las proporciones entre las diferentes partes de su cuerpo no se alteran. Donde el valor del exponente  $a$  puede ser tomado como un índice del grado de isometría<sup>4</sup>.

Sin embargo, en palabras de von Bertalanffy [4], la ecuación alométrica es, cuando mucho, una aproximación simplificada. Pero es algo más que un modo conveniente de representar datos. A pesar de su carácter simplificado y de sus limitaciones matemáticas, el principio de alometría es una expresión de la interdependencia, organización y armonía de procesos fisiológicos. El organismo se mantiene vivo y (dinámicamente) estable sólo por que están armonizados sus procesos.

<sup>3</sup>Gutiérrez y Sánchez [27] proponen:

sean  $X = X(t)$  y  $Y = Y(t)$  dos variables cuyos valores son números reales positivos, entonces la tasa relativa de variación de  $Y$  con respecto a  $X$  es constante e igual a  $a$  si y solo si  $Y$  depende alométricamente de  $X$  con coeficiente de alometría  $a$ . Esto es  $trv(Y, X) = a \iff Y = bX^a$

<sup>4</sup>Cabe mencionar que aun se discute sobre el valor de  $\alpha$  ( $\frac{2}{3}$  ó  $\frac{1}{3}$ ) en la ecuación alométrica, pero de manera general puede decirse que este valor no solo tiene implicaciones fisiológicas (tasa metabólica), Gutiérrez y Sánchez [27] sugieren, que intervienen importantes factores mecánicos, de resistencia y flexibilidad ósea, así como el factor geométrico cuya importancia radica en la geometría fractal de las redes de transporte de material.





# CAPÍTULO II

---

## ÁREA DE ESTUDIO

---

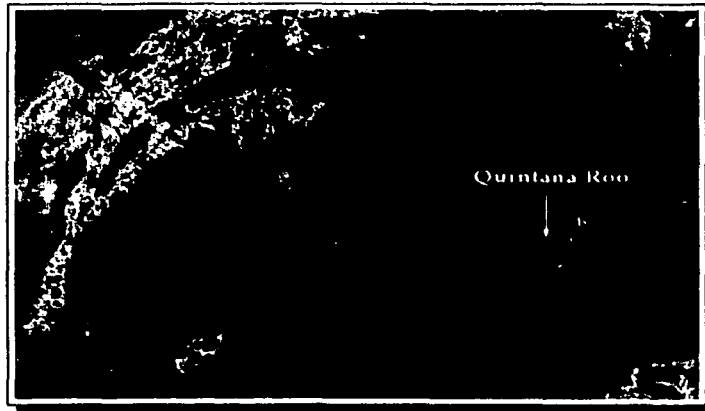
### 2.1 INFORMACIÓN GENERAL

El Estado de Quintana Roo se localiza en la parte Noroeste de la Península de Yucatán entre los paralelos 17°49' y 21°35' de latitud Norte y los meridianos 86°42' y 89°25' longitud Oeste. Limita al Norte con el Golfo de México, al Este con el Mar Caribe, al Sur con Belice y Guatemala, al Oeste y Noroeste con Yucatán y al Oeste con Campeche (Figura 2.1). Tiene aproximadamente 900 Km. de litoral marino, de los cuales aproximadamente 300 Km. corresponden al Mar Caribe y los restantes al canal de Yucatán [37].

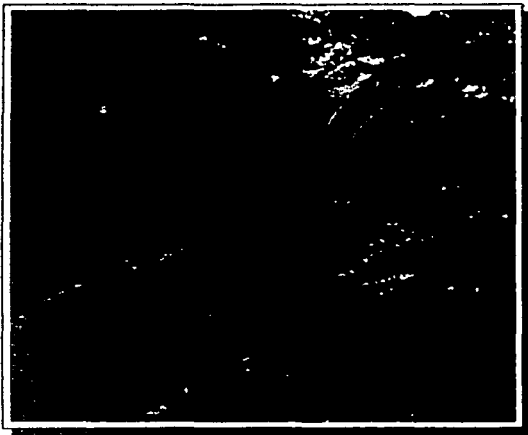
En el Estado de Quintana Roo la temperatura media anual es de 26°C. La temperatura media mensual del agua es de 25.6°C en enero y de 20.3°C en época de nortes; en agosto la temperatura es de 29.1°C y el promedio anual es de 27.5°C. Dentro de las características climáticas generales del Estado se encuentra una precipitación media anual de 1300 mm. La época de sequía es de diciembre a abril, y la época de lluvias de junio a octubre, marcando un régimen de lluvias en verano. De acuerdo con Koeppen, modificada por García [14], el clima es Aw1 y Aw2, cálido subhúmedo con lluvias en verano. Quintana Roo, como la mayor parte de la Península de Yucatán, posee características

geológicas, litológicas y estructurales muy especiales, lo cual ha originado la presencia de un acuífero calcáreo subterráneo, de gran permeabilidad, que se encuentra en contacto con el agua salina de mar y flotando sobre ésta por su menor densidad; su recarga tiene lugar exclusivamente por la infiltración del agua de lluvia que se precipita sobre ella, y debido a la gran permeabilidad que presentan esas rocas, ésta se infiltra rápidamente al subsuelo, lo cual es una característica típica, donde se ha originado, como consecuencia fisiográfica, una topografía de naturaleza kárstica, la cual impide la formación de ríos en su superficie, ya que toda el agua de lluvia percola a través de fracturas y fisuras en el terreno, hasta el nivel freático, fenómeno de disolución tan típico como los cenotes, por lo que los escurrimientos hacia el mar prácticamente no acarrearán sólidos en solución. El acuífero lo forman sedimentos marinos calcáreos del Terciario, los cuales se encuentran estratificados y levemente plegados [42].

El Estado de Quintana Roo se constituye en parte por un ambiente netamente marino, que se caracteriza por un movimiento constante de masas de agua, que tienen un bajo contenido de nutrientes, por lo cual presentan una elevada transparencia. Desembocan algunos ríos o arroyos superficiales; destacan los ríos Hon-



(a) Localización del estado de Quintana Roo, México.



(b) Isla Cozumel



(c) Punta Herradura

Figura 2.1 Región de procedencia de las colonias de coral negro [74].

## 2.1. INFORMACIÓN GENERAL

do y Azul, que limitan a Quintana Roo con Belice. Además en algunos puntos se encuentran lagunas con aportes de agua dulce y salobre, así como de agua marina. Las lagunas más representativas son: Bacalar, Lagartos y la Laguna de Chichancanb.

La corriente de Yucatán, con una dirección de Sur a Norte, determina de manera fundamental el movimiento de agua en el Caribe mexicano, que a lo largo del margen de sotavento, alcanza velocidades mayores a tres o cuatro nudos en el verano. La circulación de agua superficial en el Mar Caribe forma parte del gran giro anticiclónico del Atlántico Norte. En la parte Oriental de la Península de Yucatán, la circulación corre paralela al borde de la plataforma en dirección Norte-Noreste y llega a invadir parcialmente la costa en dirección Oeste. Por otro lado, la circulación costera presenta un movimiento en dirección Sur entre las puntas más importantes, formándose contracorrientes. El encuentro del flujo oceánico que se dirige al Norte y las contracorrientes hacia el Sur producen la formación de giros alargados. Su extensión e intensidad varían fuertemente con el tiempo, lo que puede deberse a los efectos de vientos y mareas sobre la circulación general [46].

En la región del Caribe, el impacto del oleaje puede incrementarse hacia los últimos meses del año. El nivel medio del mar en esta zona es afectado por los diferentes fenómenos meteorológicos que afectan la región como lluvias, ciclones y huracanes, cambios de presión atmosféricos y el efecto combinado de la presión del viento [37]. Sin embargo, la gran barrera arrecifal que inicia en Cancún y llega hasta Belice, aísla a las bahías del sistema de oleaje manteniendo un sistema lagunar a sotavento. La corriente superficial marina va en dirección norte y el régimen de marea en la región corresponde al tipo mixto semidiurno de baja amplitud (Cuadro 2.1).

Los vientos dominantes son los alisios soplando principalmente en verano, con una dirección E-W y/o E-SW, sin embargo, entre octubre y mayo es común la presencia de vientos provenientes del norte o "Nortes" [14]. La dirección de los vientos varía de Sureste a Norte, dependiendo de la temporada. De octubre a febrero

Cuadro 2.1 Nivel de mareas del Estado de Quintana Roo [75].

Nivel medio	Nivel (m)
Máximo durante mareas vivas	0.24
Pleamar	0.21
Mar	0.13
Bajamar	0.03
Mínimo durante mareas vivas	0.00

predominan los vientos nortes, cuya intensidad varía frecuentemente hacia el Sureste. La energía del oleaje es alta y la contracorriente incrementa su velocidad con los nortes. La temporada de secas es de relativa calma en lo que se refiere a vientos del Este y Sureste; en forma aparente, también a contracorriente disminuye su intensidad. Durante la época de lluvias, al incrementarse la temperatura, se suceden periodos de calma y fuertes vientos del Sureste. Estas condiciones propician un incremento de la velocidad de la corriente en el Canal de Yucatán [63].

## CAPÍTULO III

---

# MATERIAL Y MÉTODOS

---

En este capítulo se describen las técnicas empleadas en el estudio de los anillos de crecimiento en colonias de coral negro.

### 3.1 TRABAJO DE CAMPO

Las muestras de coral negro utilizadas en esta tesis se obtuvieron en Isla Cozumel, Quintana Roo, durante los años 1998 y 1999. Para ello se solicitó la donación de pequeños fragmentos de coral negro a talleres y establecimientos que cuentan con material que se emplea en la manufactura de artesanía y joyería, a las autoridades de la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (PROFEPA), las cuales poseen material en decomiso, así como a los pescadores que extraen las colonias de coral negro y posteriormente las venden a los talleres.

El material se recolectó en tres visitas a la isla. La primera se realizó en el mes de junio de 1998, en la cual se visitaron tres talleres de manufactura, pudiendo obtener muestras de catorce colonias de coral negro; seis de ellas se identificaron como *Antipathes pennacea*, tres como *A. caribbeana* y cinco no fueron identificadas a nivel específico. El material colectado en los talleres se encontró almacenado, no siendo posible precisar el lugar de procedencia y fecha en que fueron extraídas estas colonias.

Es importante aclarar que en dos de los talleres visitados, el material en la mayoría de los casos ya se encontraba fragmentado, por lo que fue imposible recabar información sobre la longitud máxima y diámetro de la base de algunas colonias, así como obtener fragmentos de las ramas secundarias.

Los fragmentos obtenidos en esta primera salida tenían de 2 a 4 cm de longitud y fueron tomados de la base de las colonias, cuando la muestra provenía de una colonia completa, y en el caso de ramas separadas se intentó tomarla del extremo más cercano a la base. La dificultad para adquirir el material requiere de optimizarlo, por lo que las muestras que se obtuvieron de colonias no identificadas se procesaron con la intención de realizar pruebas preliminares y determinar la técnica de observación de los anillos de crecimiento (Figura 3.1).

La segunda visita a la isla se realizó dos semanas después de la primera, en donde se pudieron obtener fragmentos de colonias de coral negro decomisado por la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (PROFEPA) de Isla Cozumel. En esta ocasión se adquirieron muestras de doce colonias, de las cuales siete corresponden a la especie *A. pennacea* y cinco a la especie *A. caribbeana*, sin poder precisar su procedencia ni fecha de colecta. De cada colo-

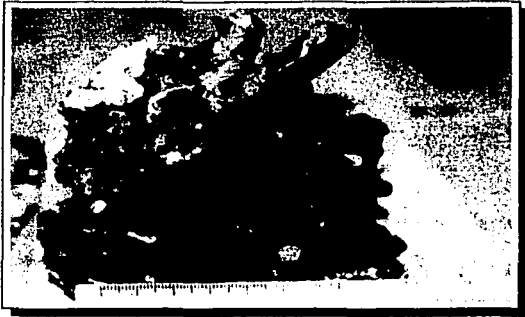


Figura 3.1 Fragmento de una colonia de coral negro.

nia se obtuvo una muestra de la base, así como de alguna de sus ramas secundarias, cortando fragmentos entre 4 y 10 cm de longitud. Durante diciembre de 1998 y enero de 1999 se efectuó una tercera visita a Isla Cozumel, en la cual se visitó a los pescadores de coral negro ("coraleros"), quienes lo extraen y comercializan directamente a los centros y talleres artesanales de la región. En esta última visita se obtuvieron fragmentos de cuarenta y seis colonias extraídas por los coraleros durante los meses de diciembre-enero. El material incluyó veintiocho colonias de *Antipathes pennacea* y dieciocho colonias de *Antipathes caribbeana*, que provienen del sur de Quintana Roo, particularmente de la zona entre Punta Herradura y Río Huach. Los fragmentos que se obtuvieron, tanto de la base como de la rama secundaria de cada colonia, comprendían entre 4 y 10 cm de longitud. En cada uno de los lugares de colecta, talleres de manufactura, oficinas de la PROFEPA y directamente con los coraleros, se caracterizó cada una de las colonias de donde se obtuvo muestra, registrando:

- **Diámetro de la base.** Medición con vernier del diámetro del eje principal de 1 a 3 cm del punto de fijación (base) de la colonia al sustrato. La medición se efectuó tres veces, de manera que el valor reportado es

el promedio de las mediciones <sup>1</sup>.

- **Diámetro de la rama secundaria.** Medición con vernier del diámetro de la rama secundaria en el punto donde se tomó la muestra en cuestión. La medición se efectuó tres veces obteniendo un valor promedio <sup>2</sup>.
- **Longitud máxima.** Medición con cinta métrica flexible del punto de fijación de la colonia hasta la punta de la rama más distante.
- **Longitud de la rama secundaria.** Medida registrada con cinta métrica flexible de la distancia entre el punto de origen (eje principal) y el extremo más distante de la misma rama.

Cada de las anteriores mediciones permitió hacer una caracterización merística de las colonias de coral negro de ambas especies, para posteriormente hacer un análisis alométrico entre los parámetros diámetro, longitud y número de anillos. Con la información recabada se construyó una base de datos preliminar con información únicamente de campo.

## 3.2

### TRABAJO DE LABORATORIO

En esta sección se exponen las técnicas utilizadas en el estudio de los anillos de crecimiento en coral negro (Esquema 3.1).

#### 3.2.1

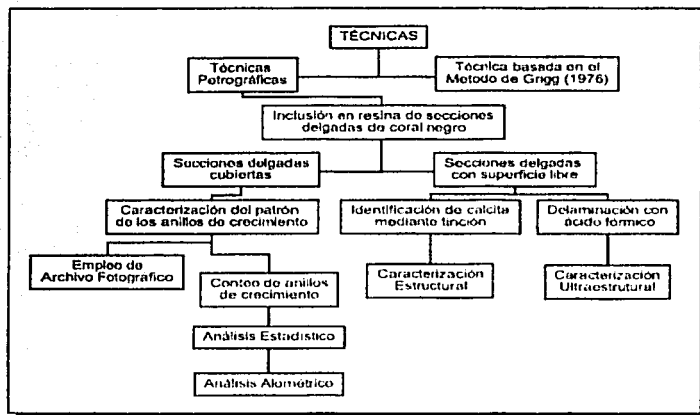
#### Técnicas en el estudio de los anillos de crecimiento

En la primera etapa del trabajo de laboratorio se procesaron las catorce colonias de coral negro obtenidas en los talleres de manufactura.

<sup>1</sup>En las colonias que no contaban con la base la medición se efectuó de 1 a 3 cm del punto donde fue cortada la colonia.  
<sup>2</sup>Tanto el diámetro de la base como el diámetro de la rama secundaria, se consideraron como diámetro de campo ( $D_C$ ), ya que estos se compararon con otros dos tipos de diámetro, que se explican más adelante ( diámetro de laboratorio ( $D_L$ ) y diámetro estimado ( $D_E$ )).

## 3.2. TRABAJO DE LABORATORIO

Esquema 3.1 Técnicas empleadas en el estudio de los anillos de crecimiento en coral negro.



material con escasa información, que se empleó para realizar pruebas preliminares de las técnicas que se encontraron reportadas en la literatura (Grigg, 1976) para observar los anillos de crecimiento.

La primera técnica que se llevó a cabo fue el método utilizado por Grigg [23] y consistió en obtener cortes transversales de 1 a 5 mm de espesor de las bases y ramas de coral negro, mediante una segueta y arco (Figura 3.2), posteriormente se desbastaron con lijas de agua hasta obtener secciones traslúcidas que se observaron en el microscopio estereoscópico, donde se hizo reconocimiento y conteo preliminar de los anillos de crecimiento. Con la intención de proteger y manipular fácilmente las secciones, éstas fueron fijadas a un portaobjeto utilizando pegamento Kola-Loka.

En una segunda aplicación de la primera técnica, se procesaron cuarenta y seis colonias, veintiocho colonias de *Antipathes pennacea* y dieciocho colonias de *Antipathes caribbeana*, utilizando el instrumento y material que emplean los artesanos de coral negro, es decir, cortadora eléctrica y pasta pulidora. Después de obtener los cortes (1 a 5 mm de espesor)

en la cortadora y ser desbastados con lija, estos fueron pulidos con pasta para pulir metal, con la intención de que se observaran con mayor nitidez los anillos de crecimiento, reducir en los cortes el efecto de rayado producido por la cortadora y evitar que se pusieran opacos. Los cortes delgados obtenidos con este procedimiento no fueron pegados a portaobjetos.

### 3.2.1.1

#### Técnicas petrográficas

En los talleres de petrografía del Instituto de Geología de la UNAM, se emprendió la segunda etapa del trabajo de laboratorio, donde se procesó en serie, mediante técnicas petrográficas, todo el material adquirido (cuarenta y un colonias de *Antipathes pennacea* y veintiocho colonias de *Antipathes caribbeana*).

Las técnicas petrográficas son utilizadas para obtener secciones delgadas de materiales muy resistentes cuya dureza hace indispensable el uso de cortadoras de alta velocidad.

Para este estudio se cortaron fragmentos de las colonias colectadas, en una cortadora de alta velocidad con disco de diamante, obteniendo cortes delgados menor a 1 cm. de espe-

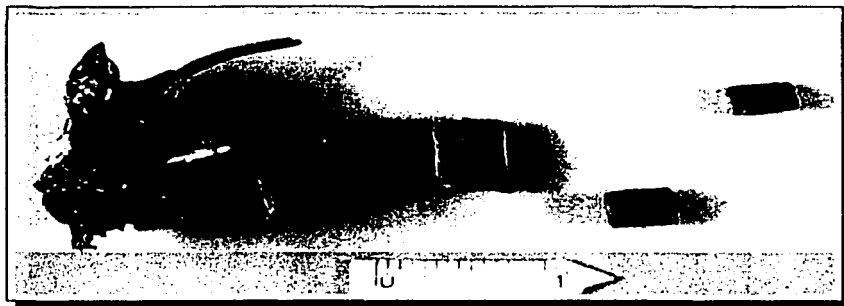


Figura 3.2 Corte transversal del eje principal y ramas secundaria de una colonia de coral negro.



Figura 3.3 Corte delgado de una colonia de coral negro.

## 3.2. TRABAJO DE LABORATORIO

sor (Figura 3.3), los cuales fueron desbastados con polvos abrasivos (Carborundum). Con el fin de eliminar cualquier material adherido a las muestras, éstas se limpiaron en un baño ultrasónico por espacio de 60 segundos. Posteriormente, los cortes delgados fueron secados con aire a presión y fijados con resina epóxica a un portaobjetos. La superficie expuesta fue desbastada, hasta alcanzar un grosor de aproximadamente 500 a 600  $\mu\text{m}$ , y pulida con pasta de diamante, dejando la cara superior sin cubrir objetos.

A continuación se obtuvo el diámetro de laboratorio ( $DL$ ), medida obtenida con vernier de la sección delgada de coral negro fijada al portaobjetos, de manera que el valor registrado es el promedio de tres mediciones.

También se hicieron secciones delgadas de entre 30 y 60  $\mu\text{m}$  de ambas especies de coral negro, para su observación en el microscopio petrográfico.

Por otro lado, es importante mencionar que el material proporcionado por las oficinas de la PROFEPA en Isla Cozumel estuvo almacenado por varios meses, tiempo en el cual tuvo oportunidad de deshidratarse. Mientras que el material obtenido con los coralleros, dos semanas después de su extracción, no tuvo el tiempo suficiente para deshidratarse, cuyos efectos son trascendentales y se explican a continuación.

El material con menor tiempo de deshidratación se comportó diferente durante su procesamiento, provocando el desprendimiento de la sección delgada de coral negro y el fracturamiento del portaobjetos, por lo que se sometió a un proceso de deshidratado dentro de una estufa eléctrica a 40°C, por un periodo de 8 días. Al término del deshidratado en estufa, el material fue procesado bajo la técnica de inclusión total, es decir sin dejar ninguna superficie expuesta de la sección delgada.

Cabe mencionar, que antes de establecer la técnica de inclusión total en el material deshidratado, se hicieron otras pruebas con la intención de superar el problema de desprendimiento y fractura del portaobjetos, una de ellas consistió en utilizar otro tipo de resina conocida como termoplástico, y la otra fue una prueba de inclusión al vacío, la cual se prac-

ticó únicamente en dos colonias, una de cada especie.

### 3.2.1.2 Inclusión total

Una vez obtenidos los cortes delgados (menor a 1 cm. de espesor) de las colonias que se deshidrataron en la estufa eléctrica, se calentaron, se desbastaron hasta obtener secciones delgadas (500 a 600  $\mu\text{m}$ ) y se pullerón con pasta de diamante. Inmediatamente después fueron incluidos en su totalidad en resina epóxica, agregando un cubreobjetos.

La resina que se empleó en esta técnica es producto de una mezcla de dos resinas: la primera, un compuesto de amino aducto, dietilenetriamina, 2-hidroxietildietilenetriamina y alcohol benzoico; y la segunda, se compone de neopenil glicol y diglicidil eter. La combinación de ambas produce una resina epóxica sensible a la luz ultravioleta, la cual debe calentarse a una temperatura no mayor de 50°C, antes de comenzar con el proceso de inclusión.

Las secciones delgadas incluidas en resina, con y sin cubreobjetos, primeramente se observaron en el microscopio estereoscópico, y luego en el microscopio óptico, donde se examinaron, definieron y cuantificaron los anillos de crecimiento de ambas especies. Además, se obtuvo una medición con vernier del diámetro promedio de la colonia en sección delgada, al cual se le denominó diámetro de laboratorio ( $DL$ ) (Glosario).

Fue necesario producir un archivo fotográfico de todas y cada una las secciones delgadas de las colonias de coral negro, para corroborar y documentar las observaciones procedentes del microscopio óptico.

### 3.2.1.3 Identificación de calcita mediante tinción

La prueba consistió en aplicar alizarina roja tipo "S" en dos colonias de *Antipathes pennacea* y dos colonias de *Antipathes caribbeana* con el propósito de comprobar o descartar la presencia de calcita como constituyente en la ultraestructura de dichas colonias.



En las secciones delgadas ( 500m a 600  $\mu\text{m}$ ) sin cubrir objetos, se agregaron 1 a 2 gotas del colorante hasta cubrir todo el corte de la colonia, por un intervalo de 60 segundos, inmediatamente después se lavó con agua destilada, se observó al microscopio estereoscópico y luego en el microscopio óptico, posteriormente se creó su archivo fotográfico.

### 3.2.1.4

#### Delaminación con ácido fórmico

El desarrollo de esta técnica consistió en la aplicación de ácido fórmico en secciones delgadas con superficie libre de las colonias de *Antipathes pennacea* y *Antipathes caribbeana*, modificando el tiempo de inmersión en ácido, para después hacer un lavado con agua corriente.

En una primera prueba se sumergieron secciones delgadas (500 a 600  $\mu\text{m}$ ) de una colonia de cada especie en ácido fórmico al 90% con un intervalo de 1 hora de exposición. En las siguientes pruebas se emplearon las mismas secciones y se incrementó gradualmente el tiempo de inmersión, hasta obtener una delaminación completa, lo cual tomó un tiempo de inmersión de dos horas en las colonias de *Antipathes pennacea*, y tres horas en las colonias de *Antipathes caribbeana*. Inmediatamente después de la inmersión en ácido y lavado en agua corriente, se realizó una minuciosa revisión en el microscopio óptico y se creó su respectivo archivo fotográfico.

### 3.2.1.5

#### Definición, patrón y número de los anillos de crecimiento

##### 1 Definición

Para establecer los criterios que definen los anillos de crecimiento y el patrón correspondiente a cada especie, se realizó un minucioso trabajo de observación de cada una las secciones delgadas de las colonias de coral negro en un microscopio óptico, Carl Zeiss modelo 475084 con objetivos de 1.6x y 4x, comparando con su respectivo respaldo fotográfico.

Las observaciones se enfocaron a la identificación y reconocimiento de los anillos y de estructuras asociadas a ellos, tales como espinas, las cuales fueron caracterizadas métrica (mediante micrómetro) y morfológicamente.

##### 2 Número y Patrón

En lo referente al número de anillos, se llevó a cabo un conteo preliminar durante las observaciones de las secciones delgadas. éste se efectuó dos o tres veces, para hacer una estimación más precisa del número de anillos, y se realizó por dos observadores diferentes para calibrar el conteo y establecer los criterios necesarios en los conteos definitivos de los anillos de crecimiento. Los criterios concluyentes, los cuales se reportan en la sección 4.2.1, permitieron establecer un patrón en los anillos de cada especie.

Una vez establecidos los criterios para definir los anillos de crecimiento, se hizo el conteo definitivo del número de anillos en las secciones delgadas, de las bases y ramas secundarias de las colonias de coral negro. El proceso consistió en ubicar la zona con los anillos mejor definidos, enumerarlos en un radio de la sección delgada, comenzando del centro hacia el extremo derecho, medir la amplitud de cada anillo por medio de un micrómetro en el microscopio óptico (Cuadro 3.1), así como medir la distancia entre el centro y cada uno de los anillos.

Cuadro 3.1 Equivalencias de las divisiones del micrómetro para cada objetivo utilizado.

1 <sup>ra</sup> División del micrómetro	(C) Objetivo 4x	(C) Objetivo 1.6x	Amplitud del anillo
Ocular 15X	0.25 mm	0.625 mm	$A = \# \text{Div} \times C$

A = Amplitud  
 C = Constante para el objetivo usado  
 # Div = Número de divisiones del micrómetro

La información sobre la amplitud de cada uno

### 3.3. TRABAJO DE GABINETE

de los anillos se utilizó primeramente, para calcular el diámetro estimado ( $D\mathcal{E}$ ) (Glosario), es decir, una aproximación del diámetro de cada colonia, que resulta de la suma de la amplitud de los anillos encontrados en la misma y multiplicado por dos, ya que el conteo de anillos se efectuó sólo en un radio.

Además, con los datos de amplitud de cada anillo se efectuó un análisis estadístico sobre la relación existente entre la posición de cada anillo dentro del corte de la colonia y el tamaño del mismo.

### 3.3

### TRABAJO DE GABINETE

Con la caracterización merística a partir del diámetro ( $DC$ ) y longitud ( $L$ ) de ramas secundarias y bases de las colonias de coral negro, se construyó una base de datos con información de campo. Posteriormente, se incorporó a dicha base de datos la información generada acerca del diámetro de laboratorio ( $DL$ ) y el diámetro estimado ( $D\mathcal{E}$ ). A continuación, con el resultado del conteo de anillos se generó e integró a la base una tercera variable de caracterización de las colonias denominada número de anillos ( $\mathcal{N}\mathcal{A}$ ).

Por otro lado, con el análisis del tamaño de los anillos se construyó una segunda base de datos con información sobre la amplitud de los anillos de crecimiento ( $\mathcal{A}\mathcal{M}\mathcal{P}$ ) en cada una de las posiciones ( $\mathcal{P}$ ) que ocupan en ramas y bases de cada especie.

Una vez recabados los datos se utilizó la información de las muestras de *A. pennacea* y *A. caribbeana* para hacer inferencias acerca de las medias asociadas a las variables:  $DC, L, \mathcal{N}\mathcal{A}, \mathcal{A}\mathcal{M}\mathcal{P}, \mathcal{P}$ . Las pruebas estadísticas para comparar las medias en función de la escala de medición (intervalos), de las variables (cuantitativas continuas) y de las características de la o las variables independientes (cuantitativas continuas), fueron la prueba de  $t$  y el análisis de varianzas (ANOVA). Ambas pruebas se llevaron a cabo considerando que las muestras de *A. pennacea* ( $n = 27$ ) y *A. caribbeana* ( $n = 18$ ) eran de tamaño pequeño ( $n < 30$ ),

independientes, cuya distribución de probabilidad es aproximadamente normal y donde se desconocía la varianza ( $s^2$ ).

Se aplicó la prueba de  $t$  para muestras independientes, empleando el paquete estadístico ORIGIN versión 6.0, para evaluar las diferencias tanto en el tamaño de los paquetes claros y oscuros. Además, la prueba se empleó para conocer si el número de anillos difiere en ramas secundarias con respecto a bases y para saber si la amplitud de los anillos difiere en ramas respecto a bases. Asimismo, se recurrió a la prueba de  $t$  para determinar si existen diferencias significativas en el diámetro y la longitud de ramas secundarias con respecto a bases en cada especie, así como para comparar ambas especies en términos de el diámetro y la longitud de las bases de las colonias.

También con el paquete ORIGIN versión 6.0 se aplicó la prueba de ANOVA, para examinar la amplitud de los anillos con respecto a la posición que ocupan.

Assumiendo que a cada una de las muestras estudiadas se asocia una variabilidad distinta, se consideró que una medida de la variación entre muestras, está dada por la suma ponderada de los cuadrados de las desviaciones de las medias de muestras individuales, con respecto a la media del número total de observaciones. En base a lo anterior y siguiendo con el análisis de la amplitud con respecto a la posición de los anillos, se examinó ésta relación con base en mínimos cuadrados ponderados (ANOVA ponderada), aplicándose un modelo lineal (Ec. 3.1) mediante el uso del paquete S-PLUS versión 4.5.

$$Y_{ijk} = \beta_0 + \beta_1 \mathcal{F}_1 + \beta_2 \mathcal{F}_2 + \beta_3 \mathcal{F}_3 + \varepsilon_{ijk} \quad (3.1)$$

[49]

Para conocer la respuesta de la variable amplitud de los anillos ( $\mathcal{A}\mathcal{M}\mathcal{P}$ ) se probaron interacciones de primer orden entre los factores: Posición del anillo (1-14) ( $\mathcal{P}$ ), Rama (secundaria, base) ( $\mathcal{R}$ ) y Especie (*A. pennacea*, *A. caribbeana*) ( $\mathcal{E}$ ); para ello se ajustó el modelo lineal del ANOVA ponderada, como se expresa a continuación:

$$AMP_{ijk} = \beta_0 + \underbrace{\beta_1 P_i + \beta_2 R_j + \beta_3 E_k}_{\text{Efectos principales}} + \underbrace{\beta_{12} PR_{ij} + \beta_{13} PE_{ik} + \beta_{23} RE_{jk}}_{\text{interacciones}} + \epsilon_{ijk} \quad (3.2)$$

$i = 1, \dots, 14$   
 $j = 1$  (rama secundaria), 2 (base)  
 $k = 1$  (*A. pennsylvanica*), 2 (*A. caribbeana*)

donde las  $\beta_s$  son coeficientes que miden el efecto de  $P$ ,  $R$  y  $E$  con respecto a  $AMP$ . Debido a que las interacciones de primer orden no resultaron significativas, se ajustó un nuevo modelo de la ANOVA ponderada evaluando los efectos principales que resultaron significativos ( $\alpha = 0.05$ ), es decir, Posición (1-14) ( $P$ ) y Rama (secundaria, base) ( $R$ ), pero considerando los datos de cada especie por separado. El modelo se plantea de la manera siguiente:

$$AMP_{ij} = \beta_0 + \beta_1 P_i + \beta_2 R_j + \epsilon_{ij} \quad (3.3)$$

Por otro lado, mediante el uso del paquete STATISTICA edición 99, se aplicó la prueba de distancia de Cook (Ec. 3.4) primeramente en los datos de diámetro de campo ( $DC$ ), diámetro de laboratorio ( $DL$ ), y diámetro estimado ( $DE$ ), tomando como variable respuesta ( $Y$ ) las tres variables. Posteriormente, la prueba se empleó en datos de diámetro de campo ( $DC$ ), longitud ( $L$ ) y número de anillos ( $NA$ ), nuevamente evaluando como variable respuesta las tres variables.

La prueba de distancia de Cook, en cada caso se aplicó con la finalidad de conocer y discriminar aquellos datos influyentes que modificaban los resultados en una tendencia distinta del comportamiento general, esto a partir de la suma sobre  $j$ , que va de 1 a  $n$ , comparando los valores ajustados de  $\hat{Y}_j$ , con el correspondiente valor ajustado de  $\hat{Y}_{j(i)}$ , cuando el  $i$ -ésimo caso es suprimido del ajuste del modelo de regresión. Las diferencias son sumadas al cuadrado para medir la influencia agregada del caso  $i$ -ésimo sobre el resto de los valores ajustados de  $n$ :

$$D_i = \frac{\sum_{j=1}^n (\hat{Y}_j - \hat{Y}_{j(i)})^2}{pMSE} \quad (3.4)$$

donde  $\hat{Y}$  tomó los valores de:

- $DC$ ,  $DL$ ,  $DE$   
 - $DC, L$ ,  $NA$

Además,  $pMSE$  denota el error cuadrático medio de predicción y está dado por  $pMSE = \frac{SSE}{n-p}$ , donde  $SSE$  es la suma de cuadrados del error [51].

Con intención de conocer el grado de asociación lineal en las relaciones:  $NA - DC$ ,  $NA - L$  y  $L - DC$ , se obtuvo el coeficiente de correlación lineal simple ( $r$ ) (Ec. 3.5) y el coeficiente de correlación múltiple o coeficiente de determinación ( $R^2$ ) (Ec. 3.7), utilizando el paquete STATISTICA<sup>3</sup>.

$$r = \frac{n(\sum XY) - (\sum X)(\sum Y)}{\sqrt{n(\sum X^2) - (\sum X)^2} \sqrt{n(\sum Y^2) - (\sum Y)^2}} \quad (3.5)$$

$$r = \pm \sqrt{R^2} \quad (3.6)$$

donde  $r$  tiene un rango de:  $-1 \leq r \leq 1$  [51]

$$R^2 = 1 - \frac{SSE}{SSTO} \quad (3.7)$$

donde:

$SSE$  = Suma de cuadrados del error  
 $SSTO$  = Suma de cuadrados total

Mientras el rango de  $R^2$  es:  $0 \leq R^2 \leq 1$  [51]

Tanto el coeficiente de correlación como el coeficiente de determinación son ampliamente utilizados, desafortunadamente, todavía existe cierta ambigüedad para establecer el grado de

<sup>3</sup>El coeficiente de correlación ( $r$ ) coincide con el coeficiente de determinación ( $R^2$ ), sólo si se trata de una relación entre dos variables (Ec. 3.6).

### 3.3. TRABAJO DE GABINETE

Cuadro 3.2 Rangos en el grado de asociación lineal entre las variables relacionadas en el estudio de las colonias de coral negro.

$ r $	$R^2$	Grado de asociación
[0.00 - 0.36]	0 - 59%	Débil
[0.36 - 0.66]	60 - 80%	Intermedia
[0.66 - 1]	81 - 100%	Fuerte

Cuadro 3.3 Parejas de variables donde se ajusto el modelo de regresión lineal.

X	Y
$\mathcal{N}A_{\text{Ramas secundarias}}$	$\mathcal{N}A_{\text{Bases}}$
$\mathcal{L}$	$\mathcal{N}A$
$\mathcal{DC}$	$\mathcal{N}A$
$\mathcal{DC}$	$\mathcal{L}$

asociación lineal entre variables. En el presente trabajo se proponen rangos para valorar si la relación entre determinadas variables posee una asociación fuerte, intermedia o débil. Los rangos se generaron en función del valor de  $r$  y  $R^2$  como se muestran en el Cuadro 3.2.

Con el propósito de cuantificar o matematizar las relaciones:  $\mathcal{N}A_{\text{Bases}} - \mathcal{N}A_{\text{Ramas secundarias}}$ ,  $\mathcal{N}A - \mathcal{DC}$ ,  $\mathcal{N}A - \mathcal{L}$  y  $\mathcal{L} - \mathcal{DC}$ , se ajustó el modelo de regresión lineal simple empleando el paquete estadístico STATISTICA. En varios casos, las parejas de variables alternaron, de manera que sólo había una variable de predicción y la función de regresión fue lineal. El modelo general es:

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_i + \varepsilon_i \quad (3.8)$$

Donde:

- $Y$  = variable respuesta
- $\beta_0$  y  $\beta_1$  = parámetros
- $X$  = variable de predicción
- $\varepsilon$  = error

[51]

El modelo anterior (Ec. 3.8), se ajusto considerando las parejas de variables del Cuadro 3.3<sup>4</sup>

<sup>4</sup>En la aplicación del modelo de regresión lineal se examinaron por separado ramas secundarias y bases.

# CAPÍTULO IV

---

## RESULTADOS

---

*El conflicto es universal y la lucha es justicia; todo lo existente se engendra y desaparece a través de las confrontaciones*

**HERÁCLITO (540-480 A.E.)**

En este capítulo se concentra la información morfológica y el análisis estadístico sobre los anillos de crecimiento en coral negro.

Los resultados se han dividido en tres grandes apartados: 1) Técnicas en el estudio de los anillos de crecimiento, 2) Anillos de crecimiento en coral negro y 3) Relaciones alométricas.

### 4.1

#### TÉCNICAS EN EL ESTUDIO DE LOS ANILLOS DE CRECIMIENTO

El primer apartado de este capítulo describe los resultados obtenidos en la aplicación de las técnicas para observar los anillos de crecimiento. La primera técnica basada en el método de Grigg y tres técnicas petrográficas: a) Inclusión en resina, b) Teñido para identificación de calca y c) Delaminación con ácido fórnico.

### 4.1.1

#### Método de Grigg

La técnica fundamentada en el método de Grigg fue el primer intento experimental para estudiar los anillos de crecimiento en coral negro, y sus resultados a pesar de no proporcionar gran detalle microscópico, revelaron los anillos de crecimiento en ambas especies. Sin embargo, durante el desarrollo de esta primera técnica se produjeron inconvenientes relevantes y por los cuales se emprendió una segunda fase de procesamiento empleando técnicas petrográficas.

Problemas asociados a la técnica basada en el método de Grigg:

- **Efecto de rayado.** Los cortes obtenidos con seguetta generaban una superficie completamente rayada, aun después del desbastado con la lija de agua más fina (P500), fue difícil desaparecer por completo el efecto de rayado.
- **Secciones delgadas opacas.** Al secarse las secciones delgadas obtenidas del desbastado con lija, éstas se observaban opacas y en ocasiones no era posible ver los anillos. Para hacer una nueva observación de los mismos, fue necesario agregar unas gotas

de agua corriente, o en su defecto agregar aceite cosmético.

- **Secciones delgadas cóncavas.** Las secciones que no eran fijadas con pegamento Kola-Loka en un portaobjetos perdían su forma plana y se tornaban cóncavas, haciendo difícil una nueva observación en ellas.
- **Secciones delgadas con recubrimiento.** A las secciones que fueron pegadas con pegamento Kola-Loka también se les agregaron algunas gotas de agua para mejorar la visibilidad, sin embargo, al entrar en contacto con el agua, el pegamento reaccionaba produciendo una película o recubrimiento blanco que imposibilitaba la observación de los anillos.
- **Secciones delgadas despegadas.** En muchos casos, inmediatamente después de que el pegamento Kola-Loka se tornaba en un recubrimiento blanco, éste se desprendía, despegándose la sección de coral del portaobjetos.

#### 4.1.2

### Técnicas petrográficas

Los resultados a partir de la aplicación de este método tuvieron mayor alcance en comparación con la técnica basada en el Método de Grigg, permitiendo delimitar los anillos de crecimiento e incluso conocer parte de la ultraestructura del exoesqueleto de coral negro. Sin embargo, también en la aplicación general del método petrográfico se generaron dificultades importantes de mencionar como:

- **Fracturamiento de portaobjetos.** En el proceso de inclusión en resina, las secciones delgadas de las colonias de coral negro que no tuvieron el tiempo suficiente para deshidratarse, al ser fijadas a un portaobjetos comenzaban a levantarse generando una presión que lo fracturaba en su totalidad, haciendo difícil una nueva observación de la sección.

- **Secciones delgadas desprendidas.** Las secciones delgadas provenientes de material con poco tiempo de deshidratado, antes o después de que el portaobjetos se rompiera por la presión de las mismas, se desprendían por completo, imposibilitando una nueva observación.

Tanto en la técnica basada en el método de Grigg como en las técnicas petrográficas se produjo, en algunas colonias, un fenómeno producto de la deshidratación que fue imposible de evitar, éste fue el desprendimiento de 1 ó 2 micro-láminas de las más externas del último anillo de crecimiento, lo cual fue considerado en el análisis sobre la amplitud de los anillos (véase sección 4.2.4).

Los resultados particulares de las técnicas petrográficas se describen a continuación.

#### 4.1.2.1

### Inclusión en resina

A partir de las observaciones realizadas en el microscopio óptico (1.6X,4X) de las secciones delgadas (500 a 600  $\mu m$ ) de coral negro incluidas en resina epóxica, es posible identificar los anillos de crecimiento en ambas especies.

Las colonias de *Antipathes caribbeana* presentan en general, una coloración pardo uniforme, aunque algunas colonias pueden observarse de color ocre rojo y hasta pardo rojizo tenue. Mientras que en la base y ramas secundarias de las colonias de *Antipathes pennacea* se observa una gama de tonalidades, principalmente ocre amarillo, carmín tenue, pardo y ocre rojo. Sin embargo, la coloración no es un factor determinante para distinguir una especie de otra.

#### 4.1.2.2

### Identificación de calcita mediante tinción

Las colonias de coral negro tratadas con rojo de alizarina tipo "S" no presentaron cambios en su coloración, ningún elemento estructural del exoesqueleto del coral negro fue teñido por el colorante, descartándose la presencia de calcita.

#### 4.1. TÉCNICAS EN EL ESTUDIO DE LOS ANILLOS DE CRECIMIENTO

---

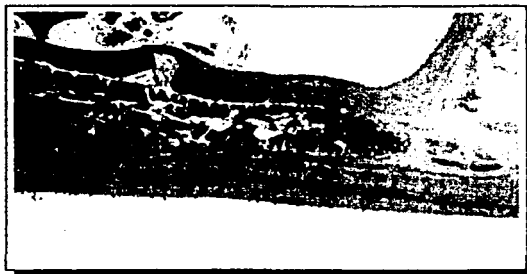


Figura 4.1 Colonias de coral negro tratadas con rojo de alizarina (1.6X).

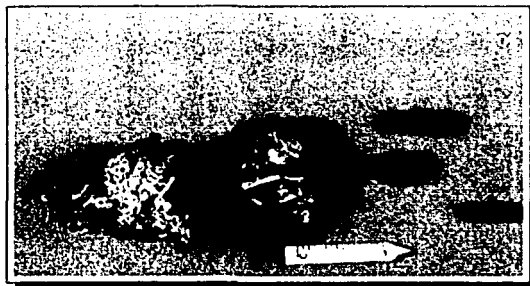


Figura 4.2 Fragmento de una colonia de coral negro con inclusiones carbonatadas producto de poliquetos.



Figura 4.3 Delaminación con ácido fórmico en la periferia del corte de una colonia de *Antipathes pennacea* (1.6X)



Figura 4.4 Delaminación con ácido fórmico de micro-láminas claras y oscuras en una colonia de *Antipathes pennacea* (1.6 X).



Figura 4.5 Cavidades de los pólipos en una colonia de *Antipathes pennacea* (5X).



## 4.1. TÉCNICAS EN EL ESTUDIO DE LOS ANILLOS DE CRECIMIENTO

Empero, la prueba demostró la presencia de calcita en la base de algunas colonias (Figura 4.1).

El material carbonatado encontrado no es producto del coral negro, sino de organismos que se asocian a él y lo utilizan como sustrato de fijación en el arrecife, dichas asociaciones se observaron en los primeros 5 a 10 cm de la base. Se trata principalmente de poliquetos, los cuales construyen sus galerías en la base de algunas colonias de coral negro dejando a su paso restos importantes de calcita (Figura 4.2).

### 4.1.2.3

#### Delaminación con ácido fórmico

La acción del ácido fórmico sobre las secciones delgadas de *Antipathes caribbeana* y *Antipathes pennacea* produjo un efecto de delaminación o desempaquetamiento de las micro-láminas que constituyen los anillos de crecimiento y a su vez el exoesqueleto de las colonias de coral negro.

#### ① Efectos en *Antipathes pennacea*

Una hora de inmersión en ácido fórmico produjo en las colonias de esta especie una delaminación parcial, es decir, un desempaquetamiento de micro-láminas únicamente en la región cercana a la periferia del corte.

Las pruebas siguientes demostraron que dos horas de exposición al ácido fórmico fueron suficientes para observar un efecto de delaminación total. Sin embargo, la delaminación siempre se produjo con mayor eficacia en la periferia que en la región central del corte de la colonia (Figura 4.3).

La delaminación ocasionó primeramente, la distensión de los paquetes de micro-láminas, de los cuales se reconocen dos tipos: paquetes claros (ocre amarillo) y paquetes oscuros (ocre rojo); a continuación, se generó una disociación de las espinas entre micro-láminas, produciendo finalmente la separación completa de las mismas.

Las micro-láminas separadas tienen una apariencia traslúcida, pero aun fue posible distinguir entre las de un paquete claro y las de uno

oscuro (Figura 4.4). Las micro-láminas oscuras fueron más vulnerables al efecto del ácido, ya que se delaminaron un número mayor de ellas. El desempaquetamiento de las micro-láminas, permitió ver el acomodo del pólipo a lo largo del radio del exoesqueleto en una cavidad con forma de canal o túnel (véase glosario) como se muestra en las fotografías del microscopio petrográfico (Figura 4.5).

#### ② Efectos en *Antipathes caribbeana*

Una hora de inmersión en ácido fórmico de las secciones delgadas de las colonias de *A. caribbeana* no generó una delaminación aparente. Para estas colonias, tres horas de inmersión en ácido apenas produjeron una delaminación parcial, principalmente hacia la periferia del corte (Figura 4.6).

Las micro-láminas separadas, producto de la delaminación en las colonias de *A. caribbeana*, también se aprecian traslúcidas, sin embargo, no se identifican paquetes claros u oscuros, ya que estas se mostraron de la misma tonalidad ocre amarillo (Figura 4.7). éstas se presentaban ensambladas por un cemento orgánico y sujetas por espinas, ya que las espinas sustentaban las micro-láminas en una forma similar a un pilar y al mismo tiempo funcionaban como elemento de fijación entre micro-láminas a manera de "remache" (véase glosario) (Figura 4.8). La delaminación en esta especie también permitió observar la cavidad donde se acomodó el pólipo (véase glosario), las imágenes del microscopio petrográfico lo corroboraron (Figura 4.9).

#### ③ Comparación entre especies

Bajo el efecto del ácido fórmico, se observaban tanto en *A. caribbeana* como en *A. pennacea*, micro-láminas muy parecidas morfológicamente, de tamaño menor o igual a  $0.025 \mu\text{m}$  de espesor, apariencia similar a hojas traslúcidas, de tonalidad ocre amarillo a ocre rojo, contiguas y con la presencia de oquedades o moldes vistos en la cara interior, mientras que en la cara exterior estos moldes se corresponden con espinas, que remachan una micro-lámina con otra.



Figura 4.6 Delaminación con ácido fórmico en la periferia del corte de una colonia de *Antipathes caribbeana* (1.6 X).



Figura 4.7 Micro-láminas separadas por el efecto del ácido fórmico en una colonia de *Antipathes caribbeana* (1.6 X).



Figura 4.8 Efecto "remache" en las espinas de *Antipathes caribbeana* (10X).

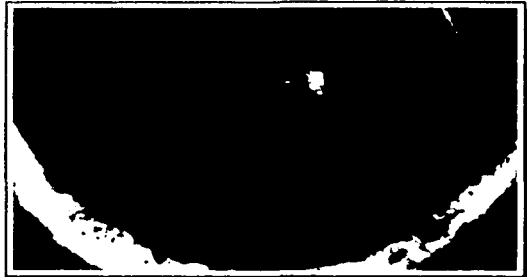


Figura 4.9 Cavidades de los pólipos en una colonia de *Antipathes caribbeana* (5X).

## 4.2. ANILLOS DE CRECIMIENTO EN CORAL NEGRO

Las espinas, en *A. caribbeana* son cónicas y agudas en el ápice, mientras que en *A. pennaceae* son cónicas pero redondeadas apicalmente.

### 4.2

## ANILLOS DE CRECIMIENTO EN CORAL NEGRO

La información generada sobre los anillos de crecimiento se ha dividido en cuatro secciones: a) Definición de anillo de crecimiento, que se refiere a la delimitación de los anillos, b) Patrón en los anillos de crecimiento, donde se describe la morfología, coloración y disposición de los anillos, c) Número de anillos de crecimiento, donde se analiza estadísticamente el conteo de anillos y d) Amplitud de los anillos de crecimiento, en la cual se examina el espesor de los anillos con respecto a su posición.

En cada sección primero se analizó la información de *Antipathes pennaceae* y *Antipathes caribbeana*, y a continuación se hicieron comparaciones entre ambas especies.

### 4.2.1

## Definición de anillo de crecimiento

A partir de criterios morfológicos y cromáticos sustentados en las observaciones de las secciones delgadas de 500 a 600  $\mu\text{m}$ , se delimitaron los anillos de crecimiento en cortes transversales al eje principal y ramas secundarias de colonias de coral negro de las especies *A. caribbeana* y *A. pennaceae*. Los caracteres utilizados para reconocer los anillos de crecimiento son:

- Micro-láminas; espesor y color de los paquetes que forman.
- Espinas; apariencia, tamaño.
- Cavidades de los pólipos.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>La evidencia de las cavidades de los pólipos depende del espesor de la sección delgada, ya que sólo en secciones delgadas

Los anillos de crecimiento se observan como paquetes concéntricos de micro-láminas, películas o capas muy finas de quitina producidas por la epidermis de los pólipos. Estos se presentan en series de paquetes claros y oscuros. Un paquete claro es traslúcido de tenues tonalidades ocre amarillo o pardo, según la especie. Un paquete oscuro es más opaco, de tonalidades ocre rojo medianamente encendido.

A continuación, se describe para cada especie su respectivo patrón de anillos (Figura 4.10) y el análisis estadístico del conteo de los mismos (véase sección 4.2.3).

### 4.2.2

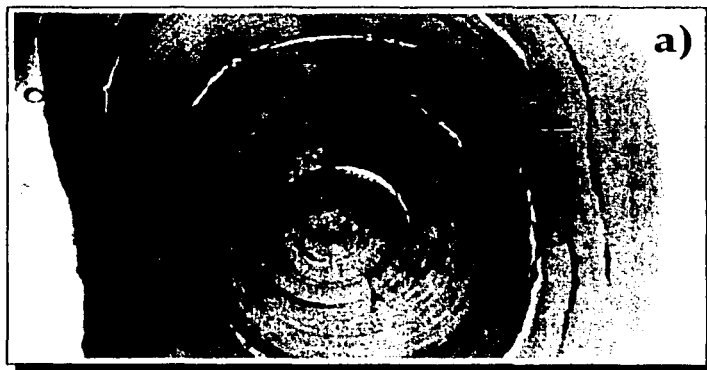
## Patrón en los anillos de crecimiento

El patrón en los anillos de crecimiento de cada especie de coral negro, se estableció a partir de las observaciones de las secciones delgadas de 500 a 600  $\mu\text{m}$ , de ramas secundarias y bases. En esta sección se describe la disposición en la que se observaron los paquetes de micro-láminas, oscuros y claros, la amplitud y coloración de los mismos, las diferencias entre rama y base, así como aquellos caracteres particulares que distinguen una especie de otra.

### ● *Antipathes pennaceae*

El patrón en los anillos de crecimiento de *Antipathes pennaceae* (Figura 4.11) se observó a manera de una secuencia de paquetes claros de tonalidades ocre amarillo a pardo, que en las ramas secundarias tuvieron una amplitud promedio de 0.73 mm y de 0.87 mm en las bases (Cuadro 4.1). La amplitud mínima y máxima de los paquetes claros en ramas y bases se muestra en el Cuadro 4.1. Los paquetes claros aparecían alternados por paquetes oscuros de color ocre rojo con amplitud en un intervalo de 0.025 a 0.4 mm, el cual no difiere entre bases y ramas.

de 30 a 60  $\mu\text{m}$  pueden observarse las cavidades en ambas especies, mientras que en secciones de 500 a 600  $\mu\text{m}$  sólo son evidentes en *A. pennaceae*, los detalles se describen en la sección 4.2.2.



(a) *Antipathes caribbeana*



(b) *Antipathes pennacea*

Figura 4.10 Anillos de crecimiento en dos especies de coral negro (1.6 X).

#### 4.2. ANILLOS DE CRECIMIENTO EN CORAL NEGRO

---

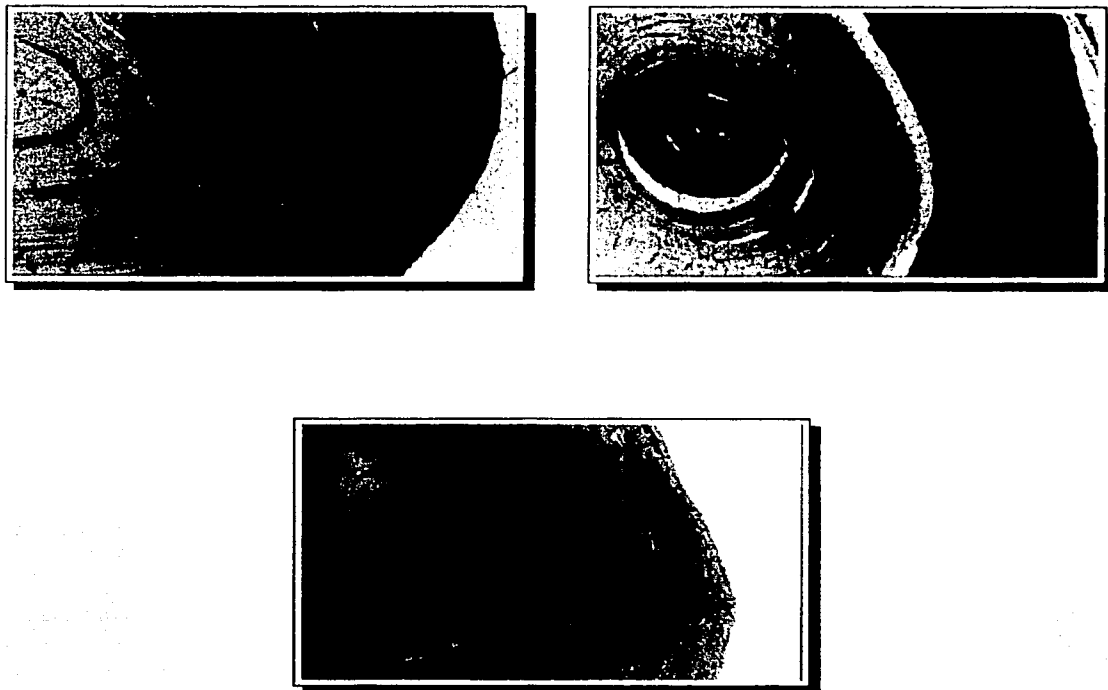


Figura 4.11 Anillos de crecimiento en *Antipathes pennacea* (4X).

Cuadro 4.1 Amplitud de los paquetes claros en ramas y bases de *Antipathes pennacea*.

Corte	Amplitud Mínima (mm)	Amplitud Máxima (mm)	Promedio (mm)	Desviación Estandar $\sigma$
Ramas Secundarias	0.0625	3.875	0.73	0.524
Bases	0.0625	4.375	0.87	0.694

Cuadro 4.2 Amplitud de los paquetes claros en ramas y bases de *Antipathes caribbeana*.

Corte	Amplitud Mínima (mm)	Amplitud Máxima (mm)	Promedio (mm)	Desviación Estandar $\sigma$
Ramas Secundarias	0.094	2.5	0.66	0.475
Bases	0.094	3.2	0.85	0.651

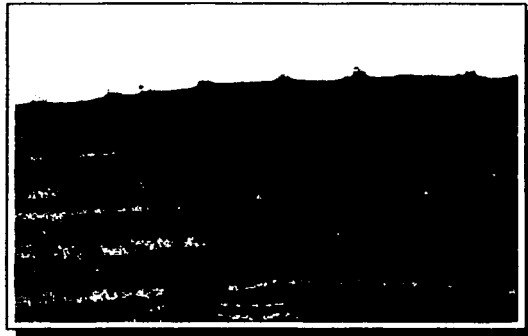


Figura 4.12 "Línea concéntrica" oscura delimitando un paquete de micro-láminas en una colonia de *Antipathes pennacea*.

## 4.2. ANILLOS DE CRECIMIENTO EN CORAL NEGRO

Para conocer si hay diferencias en el tamaño de los paquetes claros y oscuros de ramas con respecto a bases se aplicó la prueba de  $t$  para muestras independientes, la cual reveló que si hay diferencias significativas en el tamaño de los paquetes claros ( $t = 2.28831; p = 0.02259$ ); mientras que en los paquetes oscuros no se encontró diferencia significativa al 5% ( $t = -0.92275; p = 0.08966$ ).

Dentro de los paquetes claros fue común encontrar micro-láminas oscuras y aisladas, de color más tenue (carmin) e incluso de menor espesor que una micro-lámina típica de un paquete oscuro.

Algunas colonias de esta especie presentaban, con poca frecuencia, "líneas concéntricas", oscuras, bien definidas, que delimitaban exactamente un anillo de crecimiento, fueron mayores en espesor que una micro-lámina y menores que un paquete oscuro, de 0.075 a 0.1 mm de amplitud aproximadamente. Sin embargo, estas "líneas concéntricas" también son paquetes de micro-láminas oscuras, pero éstas se encuentran contiguas, mientras que en los otros paquetes se intercalan micro-láminas claras, dando la apariencia de una ligera separación entre micro-láminas oscuras (Figura 4.12).

Por otro lado, en las colonias de *Antipathes pennacea* se distingue, en secciones delgadas de 500 a 600  $\mu\text{m}$ , las cavidades donde crecieron los pólipos, éstas se observan como canales o túneles de color ocre rojo generalmente cortos, se intuye que su dirección de crecimiento en el radio del exoesqueleto cambia de plano, aunque no hay suficiente evidencia que lo corrobore (Figura 4.5). Para el presente trabajo, las cavidades de las pólipos se consideró como un criterio de comparación entre ambas especies.

El patrón general de los anillos de crecimiento, morfología, disposición y coloración que se observa en la base de las colonias, se conserva en la rama secundaria, excepto por la amplitud de los paquetes de micro-láminas y número de anillos, este último se analiza con más detalle en la sección 4.2.3.

### ② *Antipathes caribbeana*

Los anillos de crecimiento de *Antipathes caribbeana* (Figura 4.13) se distinguen como paquetes de micro-láminas de tonalidades pardas generalmente delimitados por bandas semianulares de color oscuro cercano al negro.

El patrón en esta especie se caracteriza por la aparición de paquetes claros de color pardo cuya amplitud promedio es 0.66 mm en las ramas secundarias y 0.85 mm en las bases, sobre la amplitud mínima y máxima de los paquetes claros, los resultados aparecen en el Cuadro 4.2. Delimitando los paquetes claros se encontró, en la mayoría de las colonias, bandas semianulares oscuras de color negro cuya amplitud va en un rango 0.05 a 0.15 mm en ramas secundarias como bases.

Se aplicó una prueba de  $t$  para muestras independientes para valorar si había diferencia en el tamaño de los paquetes claros y de las bandas semianulares oscuras, en ramas secundarias frente a bases. Según la prueba de  $t$  al 5% de significancia, el tamaño de los paquetes claros es distinto en bases y ramas secundarias ( $t = 2.88603; p = 0.00118$ ). Mientras que el tamaño de las bandas semianulares que se observan en algunas colonias, no tienen diferencias significativas entre ramas y bases ( $t = -0.7544; p = 0.0666$ ).

Asociadas a las bandas semianulares de *Antipathes caribbeana* aparecen espacios que fueron ocupados por espinas, también de color negro, de 0.0375 a 0.125 mm de amplitud. La reminiscencia de espinas delimitando los anillos se consideró un carácter trascendental en la definición de los anillos de crecimiento de las colonias de *Antipathes caribbeana*.

Por otro lado, en secciones delgadas de 500 a 600  $\mu\text{m}$  de las colonias de *A. caribbeana*, no son evidentes las cavidades de los pólipos.

Nuevamente se observa que en las ramas secundarias se repite el patrón general observado en la base, salvo por la amplitud de los paquetes de micro-láminas y el número de anillos, este último se analiza en la siguiente sección.

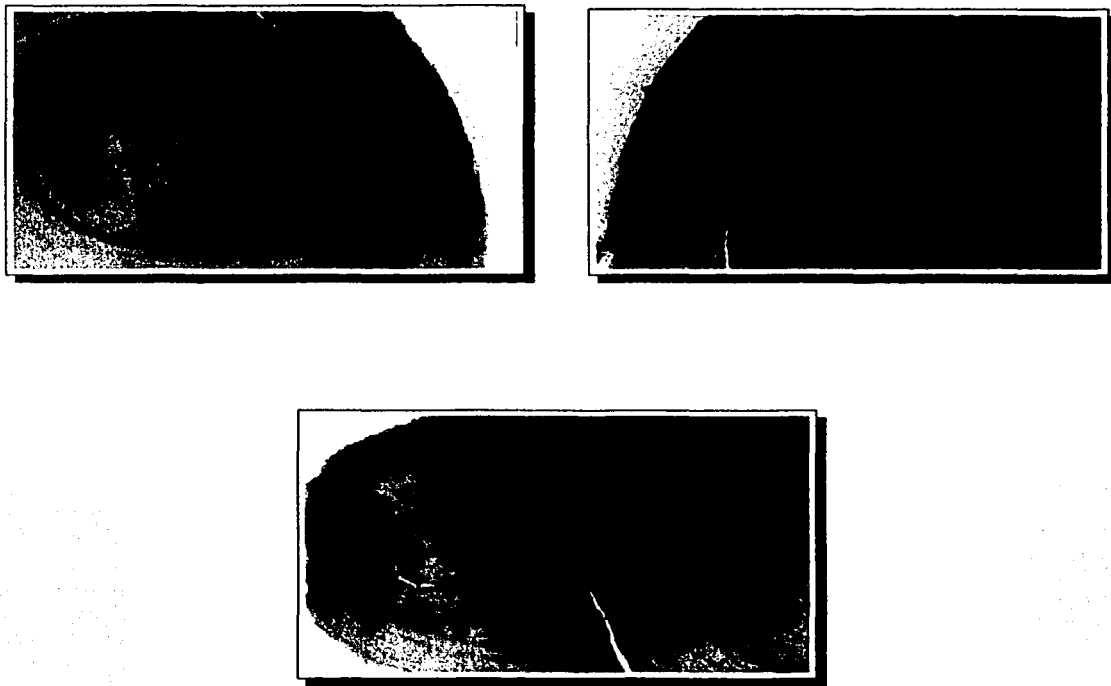


Figura 4.13 Anillos de crecimiento en *Antipathes caribbeana* (1.6 X).



#### 4.2. ANILLOS DE CRECIMIENTO EN CORAL NEGRO

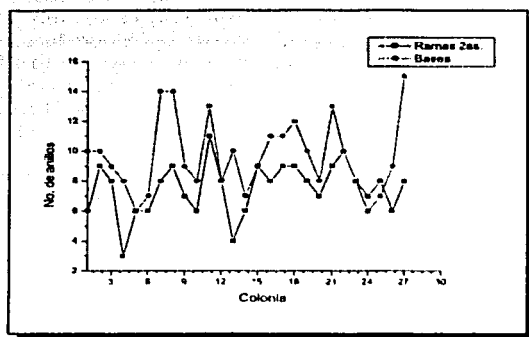


Figura 4.14 Número de anillos en rama secundaria y base de las colonias de *A. pennacea*.

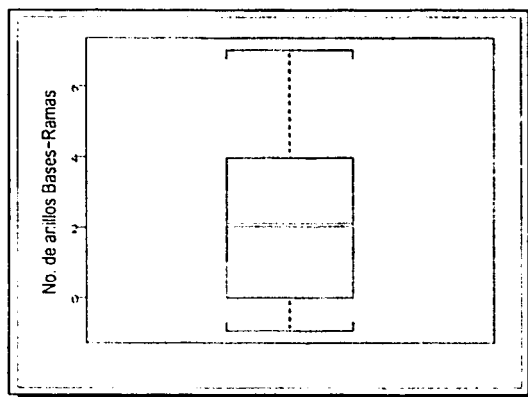
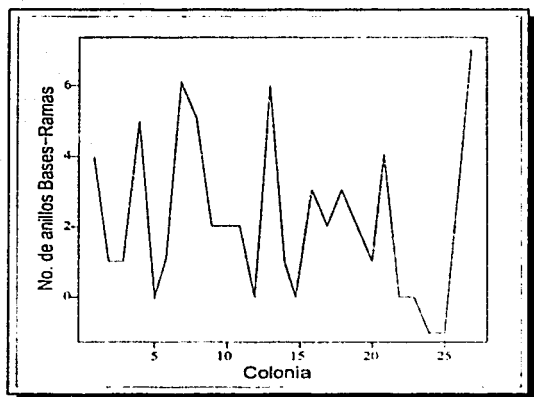


Figura 4.15 Diferencia en el número de anillos de bases con respecto a ramas secundarias en las colonias de *A. pennacea*, cuyo número promedio son 2.1 anillos.

#### 4.2. ANILLOS DE CRECIMIENTO EN CORAL NEGRO

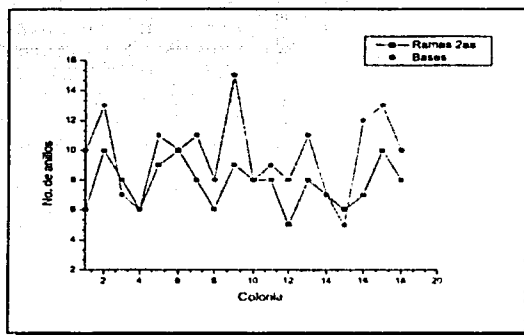


Figura 4.17 Número de anillos en rama secundaria y base de las colonias de *A. caribbeana*.

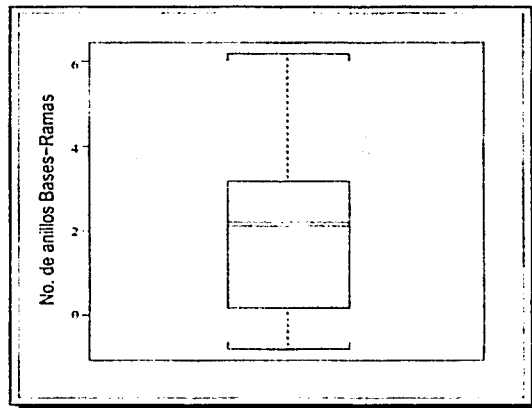
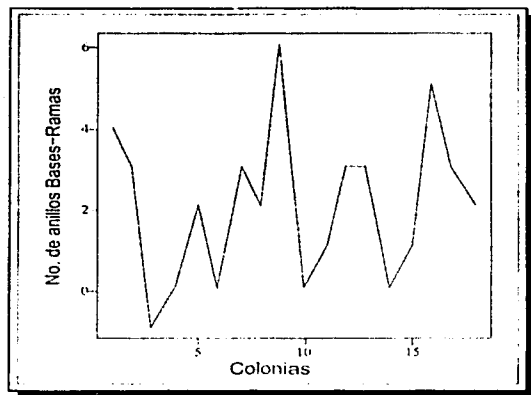


Figura 4.18 Diferencia en el número de anillos de bases con respecto a ramas secundarias en las colonias de *A. caribbeana*, cuyo número promedio son 1.94 anillos.

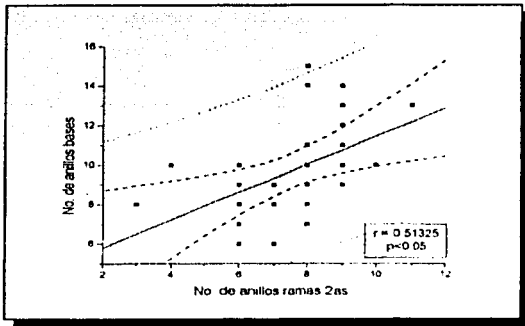


Figura 4.16 Recta de regresión lineal simple del número de anillos de ramas secundarias con relación a bases de colonias de *A. pennacea*.

Cuadro 4.4 Número de anillos en ramas secundarias y bases de las colonias de *Antipathes caribbeana*.

Corte	Número de anillos		Frecuencia modal del número total de anillos	
	Mínimo	Máximo	Mayor	Menor
Ramas Secundarias	5	12	8	5, 12
Bases	6	15	11	15

una diferencia significativa al 5% en las medias del número de anillos de ramas y bases ( $t = -2.69231; p = 0.01093$ ).

Nuevamente se encontró que las bases poseen mayor número de anillos que las ramas secundarias, aunque la figura 4.17, muestra que el número de anillos de bases en comparación a ramas es más bien variable. En las bases se identificaron entre 1 y 6 anillos más que una rama, con un promedio de 1.9 anillos más (Figura 4.18). También se encontraron casos donde la rama secundaria tiene el mismo número de anillos que la base, fueron cuatro casos ó 22% de la muestra. Asimismo, se identificaron dos casos u 11% de la muestra donde la rama secundaria tiene un anillo más que la base.

En esta especie también se examinó la relación proporcional entre el número de anillos de ramas y bases. Partiendo de los rangos en el grado de asociación lineal expresados en el Capítulo 3 (Cuadro 3.2), el resultado de la correlación sugiere una asociación lineal fuerte entre el número de anillos de bases y ramas de *A. caribbeana* ( $r = 0.68, p < 0.05$ ).

Considerando que la relación lineal entre el número de anillos de ramas y bases es fuerte, se ajustó nuevamente el modelo de regresión lineal simple para estimar el número de anillos de la base ( $NA_{Base}$ ) a partir del número de anillos encontrado en ramas secundarias ( $NA_{Rama\ Secundaria}$ ), la expresión resultante fue:

$$NA_{Base} = 2.05 + 0.95NA_{Rama\ Secundaria} \quad (4.2)$$

( $r = 0.68, n = 18$ )

(Figura 4.19)

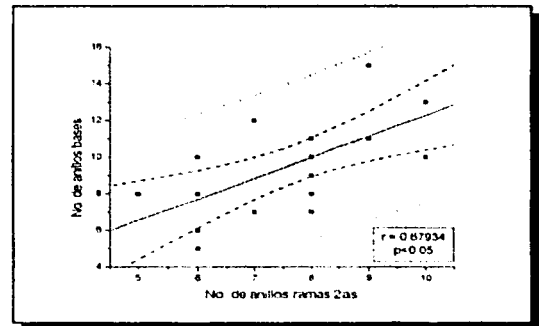


Figura 4.19 Recta de regresión lineal simple del número de anillos en ramas secundarias como función del número de anillos en bases de las colonias de *A. caribbeana*.

donde el poder explicativo del número de anillos de la rama secundaria con respecto al número de anillos de la base, alcanza un 82%, según el resultado del coeficiente de determinación ( $R^2 = 0.82, p < 0.05$ ).

## 4.2. ANILLOS DE CRECIMIENTO EN CORAL NEGRO

### ⊙ Número de anillos en ambas especies

Para evaluar si la media del número de anillos difería significativamente en las muestras de *Antipathes pennacea* y *Antipathes caribbeana*, se aplicó un análisis de varianza de una vía (ANOVA) en ramas y bases. El estadístico de muestra que las ramas secundarias de ambas especies no tienen diferencia significativa en el número de anillos ( $F = 0.16012; p = 0.69103$ ). Asimismo, el resultado del análisis de varianza en las bases de ambas especies indica que no hay diferencia significativa en el número de anillos ( $F = 0.00226; p = 0.96229$ ).

Es importante mencionar que la distancia del corte de la rama secundaria parece trascender en el número de anillos. Sin embargo, durante el trabajo de campo no se tuvo oportunidad de estandarizar la distancia a la que se obtuvo el corte de las ramas secundarias en ambas especies. Por otro lado, debe considerarse que el tamaño de muestra difiere en ambas especies (Cuadro 4.5).

Cuadro 4.5 Media y varianza del número de anillos de dos muestras de coral negro, una de la especie *A. pennacea* y otra de la especie *A. caribbeana*.

Especie	$\bar{x}$		$S^2$	
	Ramas	Bases	Ramas	Bases
<i>A. pennacea</i> n = 27	7.5	9.7	3.1	6.2
<i>A. caribbeana</i> n = 18	7.7	9.7	2.3	7.1

### 4.2.3

## Amplitud de los anillos de crecimiento

Los anillos de crecimiento geoméricamente representan una corona circular que puede tener un tamaño o amplitud diferente (Figura 4.20). Esta sección aborda el estudio de la variación en la amplitud de los anillos con respecto a su posición dentro del corte transversal de una colonia de coral negro.

El análisis sobre la amplitud de los anillos se hizo en el mismo sentido que el conteo de anillos, es decir, del centro a la periferia (véase Figura 4.20 y/o sección 3.2.1.6).

Para conocer el patrón en la amplitud de los anillos con respecto a su posición, primeramente se compararon los datos de amplitud de las ramas con los de las bases, en ambas especies, posteriormente, se analizó la relación amplitud de los anillos-posición. Se examinó la amplitud de todos los anillos de rama y base de cada colonia mediante la prueba de *t* para muestras independientes y posteriormente se estudió la relevancia de la posición de cada anillo en las colonias de ambas especies a partir de un análisis de varianza ponderada.

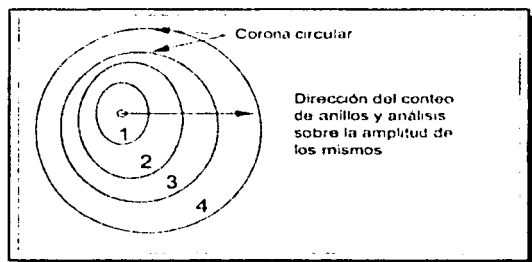


Figura 4.20 Consideración sobre las posiciones de los anillos de crecimiento en una colonia de coral negro.

En la parte final del análisis, se compararon los datos de la amplitud de los anillos de *Antipathes pennacea* con los datos de *Antipathes caribbeana*.

### 4.2.3.1

## Análisis de la amplitud de los anillos de crecimiento de ramas y bases.

Para comparar tanto en ramas secundarias como bases, la amplitud de cada uno de los anillos respecto a su posición, se desarrolló un análisis con fundamento en la prueba de *t* para muestras independientes, éste se efectuó considerando la amplitud de todos los anillos.

### ① *Antipathes pennacea*

Los anillos de *A. pennacea* presentan una amplitud promedio de 0.73 mm en ramas y 0.87 mm en bases. La prueba de *t* indicó que las medias de la amplitud de los anillos de ramas y bases son significativamente distintas ( $t = 2.88603; p = 0.00418$ ).

### ② *Antipathes caribbeana*

La amplitud promedio de los anillos de *A. caribbeana* es 0.66 mm en ramas y 0.85 mm en bases. En el caso *A. caribbeana*, la prueba de *t* para la amplitud de los anillos también demostró que las medias de la amplitud de los anillos de ramas y bases son significativamente distintas ( $t = 2.88603; p = 0.00418$ ).

#### 4.2.3.2

### Amplitud de los anillos de crecimiento en relación con su posición

Para conocer la relación entre la amplitud de los anillos y la posición que ocupan dentro del exosqueleto, se realizó un análisis de varianza (ANOVA) en ramas y bases de *Antipathes pennacea* y *Antipathes caribbeana*. Los resultados generales indican que la media de la amplitud de los anillos de crecimiento difiere con respecto a su posición. Los resultados particulares para cada especie se describen a continuación

#### ① *Antipathes pennacea*

El análisis de la amplitud de los anillos en relación con su posición, arrojó que la media de la segunda a la sexta posición en ramas, difiere significativamente con respecto a la media global de la amplitud ( $F(10, 181) = 3.67; p < 0.0002$ ). Igualmente de la primera a la sexta posición en bases, difieren significativamente en su amplitud con respecto a la media global ( $F(13, 242) = 6.32; p < 0.00001$ ). Es decir, tanto en ramas secundarias como bases, la amplitud de los anillos varía con respecto a la posición que ocupan.

Por otro lado, el ANOVA sugirió una tendencia creciente en la amplitud de la segunda posi-

ción (6 segundo anillo) hasta la sexta posición (6 sexto anillo) en ramas. Mientras que en bases la tendencia creciente se observó de la primera a la sexta posición (Figura 4.21). Después de la 6ª posición ya no es clara la tendencia creciente, ya que se observan notables fluctuaciones en bases, y un resultado no significativo entre las amplitudes de las siguientes posiciones en ramas secundarias (Figura 4.21).

#### ② *Antipathes caribbeana*

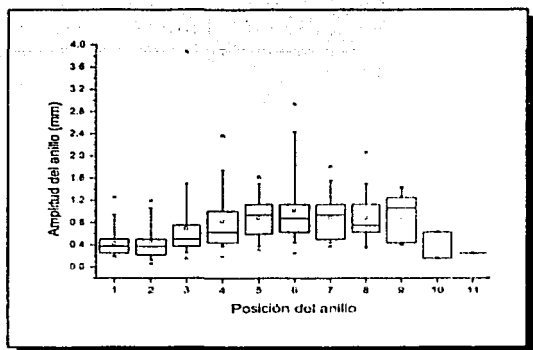
El análisis sobre la amplitud en dependencia con la posición encontró en esta especie, que en ramas secundarias existe una diferencia significativa en la media de las posiciones de la primera posición hasta la tercera con respecto a la media global de la amplitud ( $F(9, 115) = 5.68; p < 0.00001$ ). Asimismo para el caso de las bases, la diferencia es significativa entre las medias de la primera hasta la quinta posición con respecto a la media global ( $F(11, 170) = 4.37; p < 0.00001$ ). Nuevamente se observa que tanto en ramas secundarias como bases, la amplitud difiere en relación con la posición que ocupan los anillos

En el caso de *A. caribbeana*, los resultados del ANOVA también sugieren una tendencia creciente en la amplitud de los anillos de crecimiento con respecto a su posición. El incremento se observó de la primera posición hasta la tercera en ramas y de la primera hasta la quinta posición en bases (Figura 4.22).

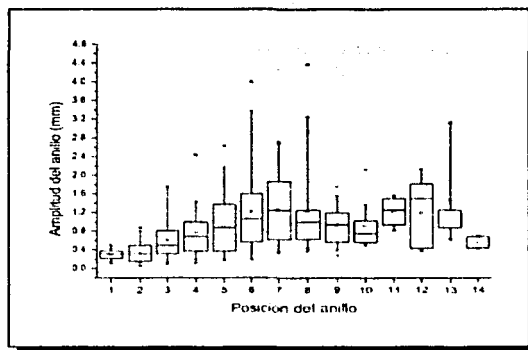
Después de la tercera y quinta posición, en ramas y bases respectivamente, la tendencia general de incremento es menos consistente, ya que se observan pares de posiciones donde la diferencia en la amplitud no es significativa, por ejemplo, en ramas secundarias las posiciones: 3 y 4, 5 y 6 y 7 y 8, mientras que en bases se observan las parejas de posiciones: 5 y 6, 7 y 8, 10 y 11 y 12 y 13, de manera que el ANOVA pierde confiabilidad debido a las distintas fuentes de variabilidad que generan las fluctuaciones en dichas posiciones (Figura 4.22).

Para validar que la amplitud de los anillos depende de la posición que ocupan, así como la tendencia creciente en la amplitud con respecto a la posición, se ajustó el modelo lineal de

#### 4.2. ANILLOS DE CRECIMIENTO EN CORAL NEGRO

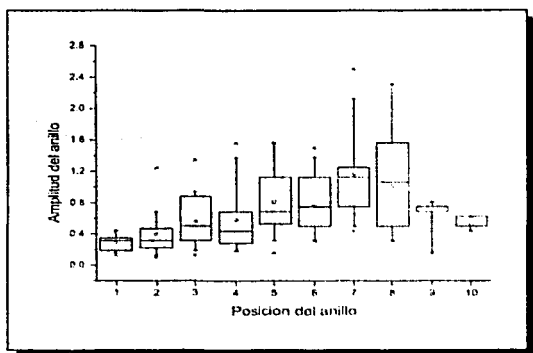


(a) Ramas secundarias

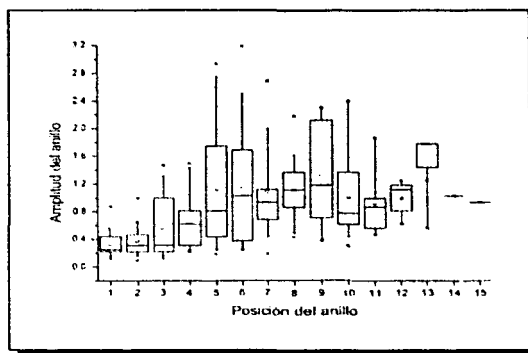


(b) Bases

Figura 4.21 Amplitud de los anillos de crecimiento con relación a su posición en colonias de *A. pennacea*.



(a) Ramas secundarias



(b) Bases

Figura 4.22 Amplitud de los anillos de crecimiento con relación a su posición en colonias de *A. caribbeana*.

ANOVA ponderada (Ec. 3.3) usando como variable respuesta la amplitud de los anillos y como factores la posición y la rama (véase sección 3.3).

La prueba corrobora no sólo la dependencia de la variable amplitud respecto a la variable posición, además se reconoce que tanto en *A. pennacea* como *A. caribbeana* hay un incremento gradual en la amplitud de los primeros 5 anillos de crecimiento en ramas secundarias y 7 primeros anillos en bases (Figura 4.23, Cuadros 4.6 y 4.7). Después de la quinta y séptima posición respectivamente, la amplitud en los anillos de ambas especies fluctúa considerablemente, aunque la tendencia general es aumentar la amplitud de los anillos.

### ① Relevancia de cada posición en la amplitud de los anillos

Con intención de examinar la relevancia o "peso" de cada posición en la amplitud de los anillos, y conocer si rama secundaria y base de una misma colonia guardan la misma proporción en la amplitud del mismo anillo, se evaluó con el modelo lineal de ANOVA ponderada (Ec. 3.3). En el análisis se comparó ramas secundarias y bases de cada especie con respecto a la media global y luego comparando especies.

#### ① *Antipathes pennacea*

Los resultados de la prueba de ANOVA ponderada (Cuadro 4.6 Factor RAMA) indican que las posiciones de los anillos de ramas secundarias y bases de esta especie, no tienen diferencias significativas en la amplitud ( $p = 0.239$ ). El resultado anterior implica que en muestras repetidas de ésta especie, el 23.9% de las veces no se encontrará diferencia en la amplitud de los anillos de bases y ramas secundarias.

Las posiciones de los anillos de ramas secundarias y bases de *A. pennacea*, que tienen diferencia significativa con respecto a la media global en la amplitud de los anillos, son 1,2,3 y 11 (Cuadro 4.6).

Los anillos donde la prueba no encuentra diferencias significativas en la amplitud con respecto a la media global, se enlistan de acuerdo

con su cercanía a ésta: 5, 9, 10, 8, 4, 12, 13, 7, 6 (Cuadro 4.6 y Figura 4.24).

Los anillos, tanto en ramas secundarias como bases, que poseen una amplitud mayor que el promedio ocupan la posición 11, 6, y 7 (Cuadro 4.6 y Figura 4.24).

La posición 10, se considera como el anillo cuya amplitud es significativamente menor al promedio (Cuadro 4.6 y Figura 4.24).

#### ② *Antipathes caribbeana*

La evaluación sobre la posición de los anillos en ramas secundarias y bases de *A. caribbeana* a partir del ANOVA ponderada (Cuadro 4.7 Factor RAMA) no encuentra diferencias significativas en la amplitud ( $p = 0.066$ ). Sin embargo, el resultado implica que en muestras repetidas de esta especie, sólo 6% de las veces no se encontrará diferencia en la amplitud de los anillos de bases y ramas secundarias.

Los anillos de ramas y bases de las colonias de *A. caribbeana* donde el ANOVA ponderada encuentra diferencias significativas en la amplitud de los anillos con respecto a la media global, ocupan la posición: 1, 2, 3, 7, 10 y 11 (Cuadro 4.7 y Figura 4.25).

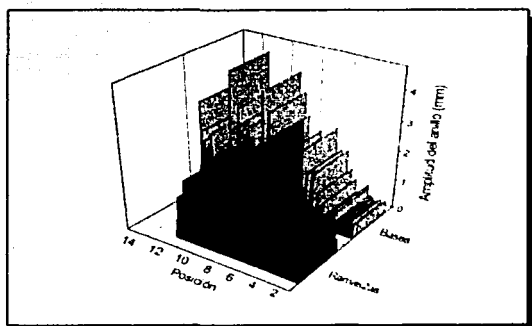
Por otro lado, las posiciones donde la prueba no encuentra diferencia significativa con respecto a la media global, ya que ramas y bases tienen anillos cuyos valores de amplitud son cercanos al promedio, se encuentran en la posición: 5, 9, 6, 12, 13, 4, 6 y 8 (Cuadro 4.7 y Figura 4.25).

Los anillos cuya amplitud se considera significativamente mayor con respecto al promedio en ramas como bases, se encuentran en la posición 7, 11 y 8. El anillo que posee una amplitud significativamente menor al promedio ocupa la posición 10 (Cuadro 4.7 y Figura 4.25).

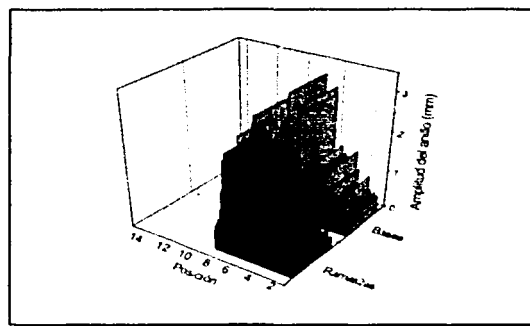
#### ② Comparación entre especies

Para conocer si la amplitud de los anillos con respecto a su posición tiene diferencias significativas entre *A. pennacea* y *A. caribbeana*, tanto en ramas secundarias como bases, se ajustó el modelo lineal de ANOVA ponderada (Ec. 3.2).

## 4.2. ANILLOS DE CRECIMIENTO EN CORAL NEGRO



(a) *A. pennacea*



(b) *A. caribbeana*

Figura 4.23 Amplitud de los anillos de crecimiento con respecto a su posición en ramas secundarias y bases.

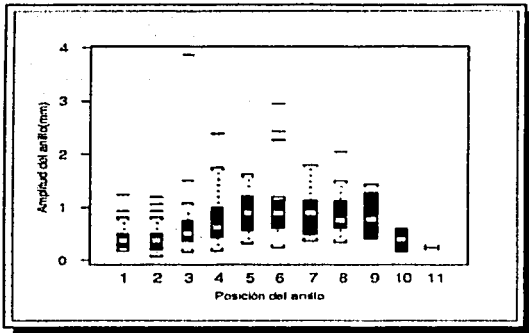
Cuadro 4.6 Coeficientes del modelo de ANOVA ponderada (Ec. 3.3) de la amplitud de los anillos en *A. pennacea*.

Factor	Valor Estimado	Error Estándar	Valor p
Media Global (promedio)	0.8864	0.0518	0.0000
Posición 1	-0.5606	0.0545	0.0000
Posición 2	-0.4880	0.0618	0.0000
Posición 3	-0.2357	0.0868	0.0069
Posición 4	-0.0783	0.0855	0.3601
Posición 5	-0.0032	0.0810	0.9693
Posición 6	0.2066	0.1154	0.0742
Posición 7	0.1587	0.0999	0.1127
Posición 8	0.0772	0.1089	0.4785
Posición 9	0.0327	0.0975	0.7376
Posición 10	-0.0718	0.1168	0.5393
Posición 11	0.3382	0.1161	0.0038
Posición 12	0.3226	0.2818	0.2579
Posición 13	0.6039	0.5326	0.2575
Rama	-0.0215	0.0181	0.2393
Error Residual: 1.01 gl: 431; $R^2$ : 0.1415, F: 23.37 gl: 14, 431; $p < 0.05$			

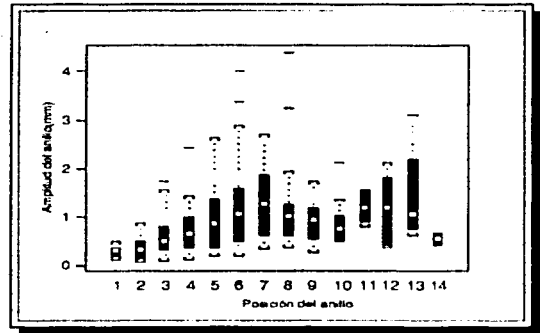
Cuadro 4.7 Coeficientes del modelo de ANOVA ponderada (Ec. 3.3) de la amplitud de los anillos en *A. caribbeana*.

Factor	Valor Estimado	Error Estándar	Valor p
Media Global (promedio)	0.8399	0.0516	0.0000
Posición 1	-0.5573	0.0534	0.0000
Posición 2	-0.4700	0.0635	0.0000
Posición 3	-0.2523	0.0777	0.0013
Posición 4	-0.1501	0.0861	0.0820
Posición 5	0.0166	0.0940	0.8598
Posición 6	0.0691	0.0994	0.4874
Posición 7	0.3913	0.1161	0.0008
Posición 8	0.2742	0.1449	0.0592
Posición 9	-0.0493	0.0902	0.5853
Posición 10	-0.2385	0.0711	0.0009
Posición 11	0.3385	0.1161	0.0038
Posición 12	0.3228	0.2851	0.2582
Posición 13	0.6041	0.5333	0.2580
Rama	0.0248	0.0145	0.0663
Error Residual: 1.011 gl: 367; $R^2$ : 0.1628, F: 22.58 gl: 14, 367; $p < 0.05$			



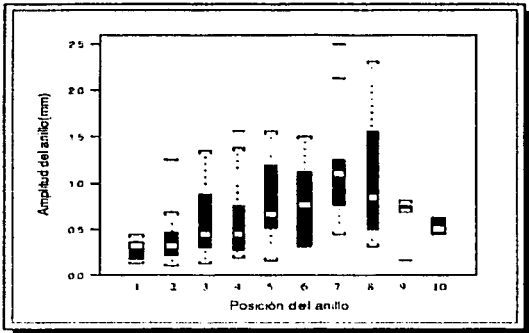
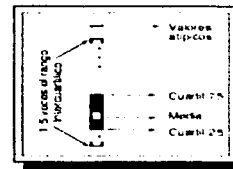


(a) Ramas Secundarias

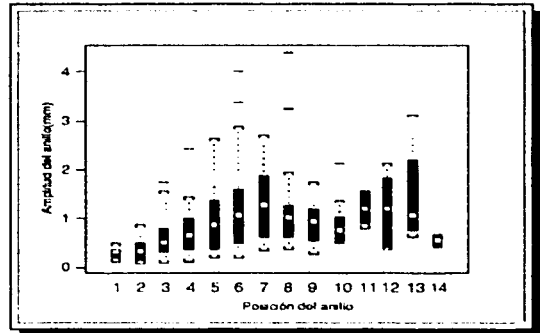


(b) Bases

Figura 4.24 ANOVA ponderada de la relación Posición- Amplitud en los anillos de crecimiento de ramas secundarias y bases de las colonias de *A. pennacca*.



(a) Ramas Secundarias



(b) Bases

Figura 4.25 ANOVA ponderada de la relación Posición- Amplitud en los anillos de crecimiento de ramas secundarias y bases de las colonias de *A. caribbeana*.

### 4.3. RELACIONES ALOMÉTRICAS

Se probaron interacciones de primer orden sin que estas resultaran significativas. Es decir, sólo resultaron significativos los efectos principales de Posición (1-15) y Rama (secundaria o base). La interacción especie-posición tuvo un nivel de significancia del 0.052, lo cual sugiere un comportamiento diferente en la relación amplitud-posición del anillo entre *A. pennacea* y *A. caribbeana*. Por esta razón se ajustó el modelo lineal de ANOVA ponderada (Ec. 3.3) a los datos de cada especie, los resultados se muestran en los Cuadros 4.6 y 4.7.

Los resultados del ANOVA ponderada por especie, indican que la amplitud de los anillos de crecimiento con respecto a su posición tiene una tendencia creciente tanto en *A. pennacea* como en *A. caribbeana* (Figuras 4.24 y 4.25). El patrón creciente de amplitud-posición es análogo en ramas y bases, para las dos especies de coral negro.

#### 4.3

### RELACIONES ALOMÉTRICAS

Con base en el principio alométrico donde una parte del cuerpo de un organismo tiene una relación proporcional de crecimiento con respecto a otra parte o al organismo completo [52] (véase sección 1.5), se intentó deducir una ecuación alométrica para las colonias colectadas de las especies de coral negro *A. pennacea* y *A. caribbeana*, a partir de la relación existente entre la variable número de anillos en función de dos variables que estiman el tamaño de las colonias: el diámetro de la base y la longitud máxima (véase glosario). Primero se analizó la relación entre el número de anillos y el diámetro; posteriormente el número de anillos y la longitud, y finalmente se estudió la relación entre el diámetro y la longitud.

Una vez encontrada la relación de dependencia funcional entre el número de anillos y cualquiera de las dos variables de tamaño (longitud o diámetro), se pretendía asociar a la ecuación alométrica la dimensión temporal referida al período de depósito de un anillo de crecimiento, con intención de estimar la edad relativa de las colonias de coral negro.

En principio, se habla de las variables diámetro y longitud por separado (la variable número de anillos fue descrita en la sección 4.2.3), describiendo las colonias de *A. pennacea* y *A. caribbeana* en términos de ambas variables.

Sólo en el caso la variable diámetro, antes de describir a las colonias de ambas especies en términos del diámetro que alcanzaban sus respectivas colonias, se obtuvieron los coeficientes de correlación lineal simple entre los diámetros: diámetro de campo, diámetro de laboratorio y diámetro estimado, así como entre los tres tipos de diámetro y las variables número de anillos y longitud. A continuación se aplicó la prueba de distancia de Cook (Ec. 3.1) y se obtuvieron nuevamente los coeficientes de correlación entre los tres tipos de diámetros y entre éstos últimos y las demás variables.

Posteriormente, se compararon tanto el diámetro como la longitud en ambas especies.

Para el análisis alométrico primeramente, se examinó el posible grado de asociación lineal simple entre las tres variables, así como el coeficiente de determinación. Después, una vez conocido el coeficiente de correlación lineal, se ajustó el modelo de regresión lineal simple (Ec. 3.8).

Finalmente, se realizó un análisis global para mostrar de manera generalizada la tendencia en las relaciones diámetro ( $DC$ ) - número de anillos ( $NA$ ) y longitud ( $L$ ) - número de anillos ( $NA$ ).

#### 4.3.1

### Diámetro

El diámetro es uno de las variables que se consideró para explorar la existencia de una relación alométrica con relación al número de anillos en las colonias de coral negro.

Este estudio recopiló datos de diámetro de campo ( $DC$ ) (Sección 3.1 y/o Glosario) y diámetro de laboratorio ( $DL$ ) (Sección 3.2.1.3 y/o Glosario), y generó información sobre el diámetro estimado ( $DE$ ) a partir de la amplitud de los anillos (Sección 3.2.1.6 y/o Glosario).

Para evaluar si el factor de deshidratación en las colonias de coral negro es trascendental, y

en consecuencia el diámetro de campo (*DC*) difiere significativamente del diámetro de laboratorio (*DL*) y diámetro estimado (*DE*), se analizó de manera comparativa la información sobre los tres tipos de diámetro, con intención de seleccionar aquel tipo que pudiera mostrar una relación más fuerte (Sección 3.3, Cuadro 3.2) con los otros variables alométricos.

Primeramente se examinó la correlación lineal simple entre los tres tipos de diámetros, obteniendo correlaciones menores de las esperadas (Cuadro 4.8). Por otro lado, se correlacionó linealmente cada tipo de diámetro con las variables número de anillos (*NA*) y longitud (*L*), resultando en la mayoría de las relaciones una correlación débil (Sección 3.3, Cuadro 3.2), esto para ambas especies (Cuadro 4.9).

Cuadro 4.8 Coeficiente de correlación y varianza de los tres tipos de diámetro antes y después de la selección de datos con la prueba de distancia de Cook.

Ambas especies Ramas sec. y bases	Todos los datos		Selección de datos	
	<i>r</i>	<i>S</i> <sup>2</sup>	<i>r</i>	<i>S</i> <sup>2</sup>
Diámetro	<i>(p</i> < 0,05)		<i>(p</i> < 0,05)	
<i>DC</i> / <i>DL</i>	0.79	0.26	0.94	0.20
<i>DL</i> / <i>DC</i>	0.73	0.23	0.84	0.19
<i>DL</i> / <i>DE</i>	0.84	0.19	0.81	0.18

Cabe mencionar que para correlacionar tanto los tres tipos de diámetro, como estos últimos con las variables alométricas número de anillos y longitud, se utilizaron los datos tanto de ramas secundarias como bases, ya que las correlaciones realizadas por separado no permitieron observar una asociación lineal clara, debido a la alta variabilidad dentro de las muestras. Sólo en las correlaciones de los tres tipos de diámetro se analizaron de manera conjunta los datos de *A. pennacea* y *A. caribbeana*, ya que los resultados de sus correlaciones por separado no son significativamente distintas. Los resultados de las correlaciones y la evidencia de la gran variabilidad hacia el interior de los datos de diámetro, obligaron a emplear una prueba que permitió seleccionar los datos

de diámetro más confiables y que representan mejor a la muestra. La distancia de Cook es la prueba que permitió conocer y discriminar aquellos datos influyentes que modificaban los resultados en una tendencia distinta del comportamiento general (Ec. 3.4).

Después de la selección de datos en base a la distancia de Cook, se observa de manera general un incremento en las correlaciones entre los tres tipos de diámetro y una disminución moderada de la varianza (Cuadro 4.8). Excepto en el caso *DL* - *DC*, la correlación parece disminuir, empero, en éste y los demás casos la correlación lineal es fuerte, entendiéndose por correlación fuerte una mayor asociación entre las variables a relacionar [50].

Sin embargo, a pesar de lograr incrementos en los coeficientes de correlación lineal entre diámetros, para fines de los siguientes análisis se utilizaron únicamente los datos de diámetro de campo (*DC*), ya que éstos arrojan, después de la prueba de distancia de Cook, los valores de correlación más altos, además se considera que de los tres tipos de diámetro, el diámetro de campo representa las condiciones más cercanas a lo real.

Por otro lado, las correlaciones entre los tres tipos de diámetro y las variables número de anillos y longitud, con la selección de datos de la prueba de distancia de Cook, también incrementaron ligeramente (Cuadro 4.9). Sin embargo, no en todos los casos resultan asociaciones fuertes (Sección 3.3, Cuadro 3.2), aún en el caso del diámetro de campo (*DC*), aunque fueron los datos de este último con los que se decidió correlacionar las variables número de anillos (*NA*) y longitud (*L*), por las razones anteriores. Sobre las correlaciones del diámetro de campo (*DC*) con las demás variables alométricas se abunda en la sección 4.3.3. A continuación se describe en términos del diámetro de campo, las respectivas colonias de *A. pennacea* y *A. caribbeana*.

#### ① *Antipathes pennacea*

En la muestra de esta especie las colonias alcanzaban un diámetro mínimo y máximo respectivamente, en ramas secundarias de 0.7 a

### 4.3. RELACIONES ALOMÉTRICAS

Cuadro 4.9 Correlación lineal simple entre los tres tipos de diámetro y los parámetros número de anillos y longitud, antes y después de la selección de datos con la prueba de distancia de Cook.

Correlación ( $r, p < 0.05$ )	<i>Antipathes pennacea</i>		<i>Antipathes caribbeana</i>	
	Relación Alométrica	Selección de datos	Selección de datos	Selección de datos
		$r$	$r$	$r$
DC / N.A	0.4	0.5	0.3	0.3
DL / N.A	0.4	0.5	0.3	0.3
DE / N.A	0.3	0.4	0.3	0.3
DC / L	0.4	0.6	0.4	0.7
DL / L	0.5	0.6	0.5	0.6
DE / L	0.5	0.5	0.4	0.6

2.3 cm con un promedio de 1.3 cm, y en bases de 1.5 a 3.2 cm con un promedio de 2.1 cm. El diámetro de las ramas secundarias que se analizaron fue distinto del diámetro de las bases, el resultado de la prueba de  $t$  para muestras independientes sugiere que el diámetro promedio de ramas y bases tiene diferencias significativas ( $t = 7.39374; p = 1.16 \times 10^{-9}$ ).

#### ② *Antipathes caribbeana*

El diámetro mínimo y máximo que se observa en las colonias de la muestra de *A. caribbeana* es en ramas secundarias de 0.7 a 2.18 cm con un promedio de 1.29, mientras que en bases se observa un diámetro que va de 1.5 a 2.9 cm con un promedio de 1.97 cm.

Sobre el diámetro de las muestras de ramas secundarias y bases, la prueba de  $t$  para muestras independientes indica que el diámetro promedio de ramas y bases es significativamente distinto ( $t = 4.62066; p = 6.78 \times 10^{-5}$ ).

#### ③ Comparación entre especies

Sobre la diferencia en el diámetro de las colonias de *A. pennacea* y *A. caribbeana*, la información que resulta relevante de comparar es

el diámetro de las bases, ya que aunque burdo, éste podría ser un criterio que permita discriminar una especie de otra. Sin embargo, el diámetro promedio de las bases de ambas especies presenta mucha semejanza. Para evaluar si ambas especies tenían diferencias en el diámetro de las colonias colectadas, se aplicó la prueba de  $t$  para muestras independientes, la cual indica que existe una diferencia significativa al 5% entre especies ( $t = 7.11787; p = 7.8 \times 10^{-8}$ ).

### 4.3.2 Longitud

La información sobre la longitud de las colonias es otra de las variables consideradas en las relaciones alométricas de las colonias de coral negro.

#### ① *Antipathes pennacea*

Se encontró que en la muestra de *A. pennacea* las ramas secundarias pueden alcanzar como longitud mínima y máxima respectivamente entre 0.44 y 1.7 m con un promedio de 1.2 m (véase sección 3.1 y/o glosario). Mientras que las colonias completas pueden tener una longitud mínima de 1m y máxima de 2.2 m con

un promedio de 1.6 m (véase sección 3.1 y/o glosario).

Se esperaba que la longitud de las ramas secundarias fuera distinta de la longitud de la colonia completa, y la prueba  $t$  lo corroboró, ya que el resultado indica que la longitud de ramas secundarias y la longitud máxima son significativamente distintas ( $t = 5.58966; p = 8.49 \times 10^{-7}$ ).

### ② *Antipathes caribbeana*

En la muestra de esta especie las ramas secundarias de las colonias midieron entre 0.07 y 2.18m como longitud mínima y máxima respectivamente, presentando en promedio 1.3 m de altura (véase sección 3.1 y/o glosario). Y las colonias completas llegan a medir como mínimo 0.99 m y 2.3 m máximo, con un promedio de 1.7 m (véase sección 3.1 y/o glosario).

Nuevamente se suponía una diferencia en la longitud de ramas secundarias y la longitud máxima, y así lo ratificó la prueba de  $t$ , el resultado para la longitud promedio de ramas y bases, demuestra que hay diferencia significativa entre éstas ( $t = 3.71151; p = 7.8 \times 10^{-4}$ ).

### ③ Comparación entre especies

La información sobre longitud que se considera importante de comparar entre especies es la longitud máxima, es decir la longitud de la colonia completa. El tamaño de las colonias al igual que en el caso del diámetro de las bases, podría ser un criterio de comparación interespecífico. Aunque se observan promedios de longitud máxima muy similar entre especies. Para evaluar si existen diferencias significativas en la longitud de las colonias de *A. pennacea* y *A. caribbeana* nuevamente se aplicó la prueba de  $t$  para muestras independientes, la cual indica que no hay diferencia significativa en la longitud máxima de las colonias de ambas especies ( $t = -1.43666; p = 0.15467$ ).

### 4.3.3

#### Correlación Lineal: Número de Anillos ( $\mathcal{N}A$ )/ Diámetro ( $DC$ )/ Longitud ( $\mathcal{L}$ )

Las correlaciones se efectuaron entre las variables número de anillos, diámetro y longitud, con información de ramas secundarias y bases de las colonias de *A. pennacea* y *A. caribbeana*, para conocer el grado de asociación (débil, intermedio, fuerte) entre las tres variables alométricas (sección 3.3, Cuadro 3.2). Dado que los resultados de la asociación lineal entre las tres variables se mostraban débiles (Figura 4.26), nuevamente se aplicó la prueba de distancia de Cook, con resultados positivos en algunos de los casos (Cuadro 4.10).

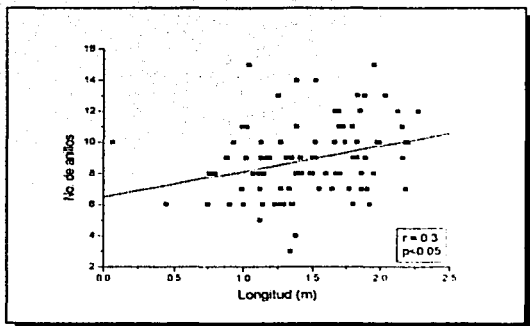
Cuadro 4.10 Coeficientes de correlación lineal de las relaciones anillos-diámetro-longitud, antes y después de la selección de datos con la prueba distancia de Cook.

Correlación ( $r, p < 0.05$ )	<i>Antipathes pennacea</i>		<i>Antipathes caribbeana</i>	
	Todos los datos	Selección de datos	Todos los datos	Selección de datos
$DC / \mathcal{N}A$	0.5	0.5	0.3	0.3
$\mathcal{L} / DC$	0.4	0.6	0.5	0.7
$\mathcal{N}A / \mathcal{L}$	0.4	0.4	0.2	0.4

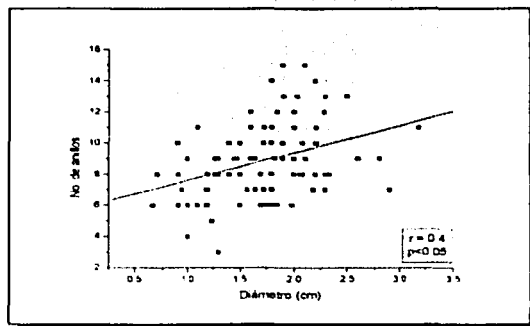
De las tres variables relacionadas y sin distinción de especie, longitud ( $\mathcal{L}$ ) - diámetro ( $DC$ ) es la relación que resultó con un coeficiente de correlación que denota una asociación lineal fuerte ( $r_{A. pennacea} = 0.6, r_{A. caribbeana} = 0.7, p < 0.05$ ). En el caso de *A. caribbeana*, el resultado del coeficiente de determinación sugiere que en un 83% ( $R^2 = 0.83, p < 0.05$ ) de la variabilidad, la variable diámetro puede explicar a la variable longitud. Mientras en las colonias de *A. pennacea*, el poder explicativo del diámetro con respecto a la longitud, según el coeficiente de determinación alcanza 77% ( $R^2 = 0.77, p < 0.05$ ).

Por otro lado, el coeficiente de correlación de la relación diámetro ( $DC$ ) - número de anillos

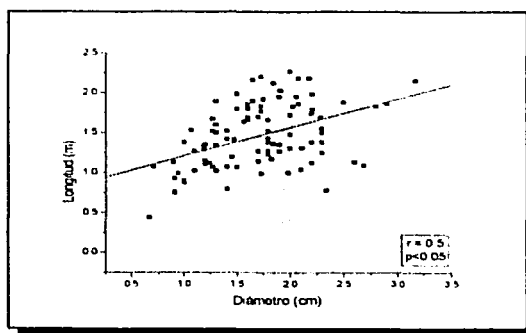
### 4.3. RELACIONES ALOMÉTRICAS



(a) Numero de anillos vs Longitud

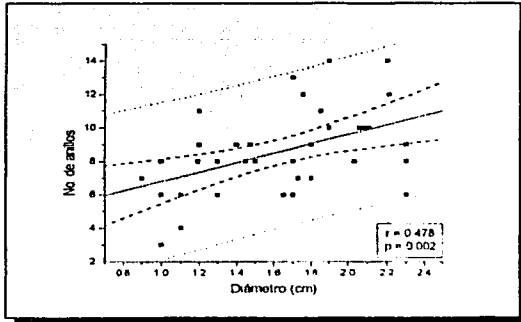


(b) Número de anillos vs Diámetro

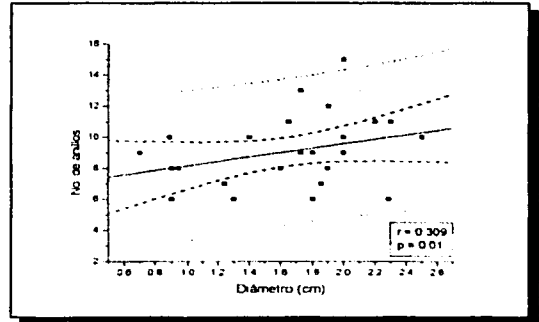


(c) Longitud vs. Diámetro

Figura 4.26 Relación estadística entre las variables número de anillos, diámetro y longitud de las colonias de coral negro.

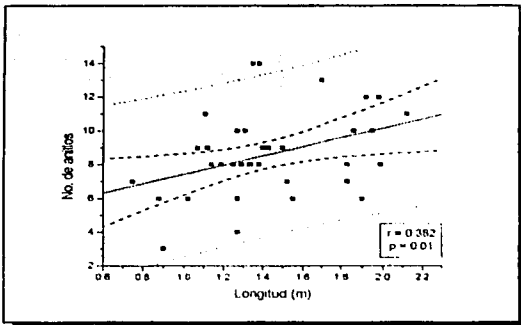


(a) *A. pennacea*

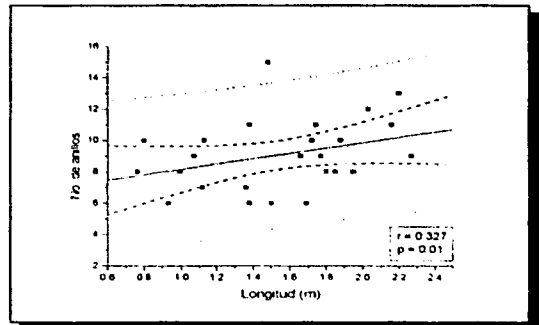


(b) *A. caribbeana*

Figura 4.27 Rectas de regresión lineal simple del número de anillos con relación al diámetro de las colonias de coral negro.



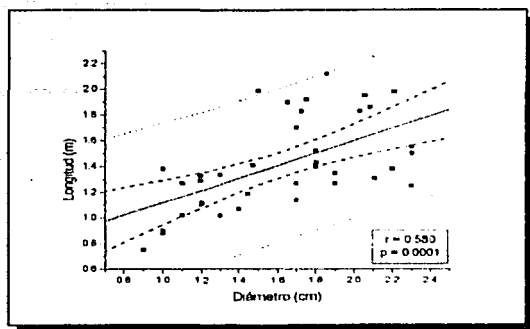
(a) *A. pennacea*



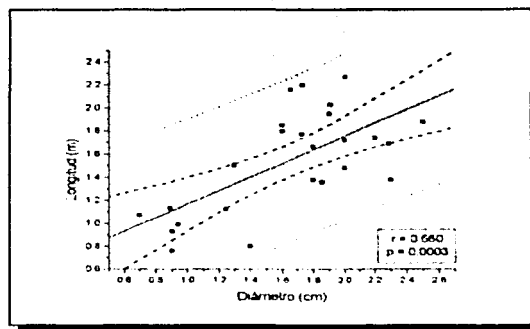
(b) *A. caribbeana*

Figura 4.28 Rectas de regresión lineal simple del número de anillos con relación a la longitud de las colonias de coral negro.

### 4.3. RELACIONES ALOMÉTRICAS



(a) *A. pennacea*



(b) *A. caribbeana*

Figura 4.29 Recta de regresión lineal simple de la longitud con relación al diámetro de las colonias de coral negro.

( $\mathcal{N}\mathcal{A}$ ) manifiesta una asociación lineal intermedia en el caso de *A. pennacea* ( $r = 0.5, p < 0.05$ ), y de acuerdo con el coeficiente de determinación, la variable diámetro advierte en un 70% ( $R^2 = 0.70, p < 0.05$ ) la variabilidad de la variable número de anillos.

Mientras la relación anterior, diámetro ( $\mathcal{DC}$ ) - número de anillos ( $\mathcal{N}\mathcal{A}$ ), indica una asociación lineal débil en el caso *A. caribbeana*, según el resultado del coeficiente de correlación ( $r = 0.3, p < 0.05$ ). Y el coeficiente de determinación obtenido indica que la variable diámetro sólo puede explicar en un 55% ( $R^2 = 0.55, p < 0.05$ ) la variabilidad de la variable número de anillos. La asociación longitud ( $\mathcal{L}$ ) - número de anillos ( $\mathcal{N}\mathcal{A}$ ) es intermedia en *A. pennacea* y débil en *A. caribbeana*, a juzgar por los coeficientes de correlación obtenidos ( $r_{A. pennacea} = 0.4, r_{A. caribbeana} = 0.3, p < 0.05$ ). En ésta relación, para la especie *A. pennacea* la variable longitud revela, según el coeficiente de determinación, en un 63% ( $R^2 = 0.63, p < 0.05$ ) la variabilidad de la variable número de anillos. Mientras en la especie *A. caribbeana* la variable longitud explica sólo en un 54% ( $R^2 = 0.54, p < 0.05$ ) la variabilidad del número de anillos.

A pesar de obtener coeficientes de correlación

que denotan asociaciones lineales fuertes o intermedias en las relaciones diámetro ( $\mathcal{DC}$ ) - longitud ( $\mathcal{L}$ ) y diámetro ( $\mathcal{DC}$ ) - número de anillos ( $\mathcal{N}\mathcal{A}$ ), pero débiles en la relación longitud ( $\mathcal{L}$ ) - número de anillos ( $\mathcal{N}\mathcal{A}$ ), se creyó necesario ajustar el modelo de regresión lineal simple, con intención de reducir la variabilidad de la variable respuesta ( $\mathcal{Y}$ ) a partir de la regresión de  $\mathcal{Y}$  sobre  $\mathcal{X}$  (Ec. 3.8).

La recta de regresión lineal simple obtenida de las relaciones número de anillos ( $\mathcal{N}\mathcal{A}$ ) - diámetro ( $\mathcal{DC}$ ) y número de anillos ( $\mathcal{N}\mathcal{A}$ ) - longitud ( $\mathcal{L}$ ), en *A. pennacea* como en *A. caribbeana*, no permitió reducir la variabilidad de la variable respuesta, es decir, el número de anillos. El índice de correlación obtenido sugiere un bajo nivel predictivo del modelo de regresión para ambas relaciones y en ambas especies (Figuras 4.27 y 4.28).

Sin embargo, la relación longitud ( $\mathcal{L}$ ) - diámetro ( $\mathcal{DC}$ ) muestra una recta de regresión con un mejor ajuste de los datos, principalmente en el caso de la especie *A. pennacea* (Figura 4.29). Aunque en ambas especies, son los datos de ramas secundarias los que contribuyen principalmente a que esta relación tenga un grado de asociación lineal fuerte.



Ajustando el modelo de regresión lineal simple, se obtuvieron las ecuaciones de la asociación longitud ( $\mathcal{L}$ ) - diámetro ( $\mathcal{DC}$ ) de las colonias de coral negro de ambas especies, tanto para ramas secundarias como para bases, y se expresan en la forma siguiente:

*A. pennacea*

Ramas secundarias

$$\mathcal{L} = 0.56682 + 0.46725\mathcal{DC} \quad (4.3)$$

$$(R^2 = 0.716, n = 17)$$

Bases

$$\mathcal{L} = 1.8824 - 0.1593\mathcal{DC} \quad (4.4)$$

$$(R^2 = 0.357, n = 17)$$

*A. caribbeana*

Ramas secundarias

$$\mathcal{L} = 0.34203 + 0.71870\mathcal{DC} \quad (4.5)$$

$$(R^2 = 0.836, n = 15)$$

Bases

$$\mathcal{L} = 2.3061 - 0.2642\mathcal{DC} \quad (4.6)$$

$$(R^2 = 0.479, n = 15)$$

El análisis estadístico desarrollado en la sección de Relaciones Alométricas permitió describir parcialmente y de manera simplificada el comportamiento de la variable número de anillos con respecto a las variables de tamaño, longitud y diámetro de las colonias. Sin embargo, los resultados obtenidos no permiten reconstruir un modelo alométrico fehaciente que explique la relación entre las tres variables y a partir del cual pudiera inferirse la edad relativa de las colonias de coral negro, incorporando el tiempo de depósito de un anillo de crecimiento.

No obstante, para finalizar la sección y el capítulo se propone el siguiente análisis estadístico global, en el cual se organiza la información de ambas especies de coral negro, para mostrar en resumen la tendencia generalizada en la relación del número de anillos con respecto al diámetro y a la longitud.

### 4.3.4

## Análisis Global

En esta sección se presentan los resultados de una análisis que organiza los datos de diámetro y longitud respecto al número de anillos, en divisiones o clases, estas clases se establecieron de manera arbitraria al no contar con información sobre la demografía de las colonias colectadas. Sin embargo, esta estrategia permitió agrupar individuos similares y reducir la variabilidad intraespecífica, pudiendo identificar una tendencia general entre la longitud y el número de anillos y el diámetro y el número de anillos, que no se aprecia cuando no se clasifican los datos. A continuación se presentan los resultados de este análisis.

#### 4.3.4.1

### Diámetro ( $\mathcal{DC}$ ) - Número de anillos ( $\mathcal{NA}$ )

Para el análisis global de la relación diámetro-número de anillos de ambas especies, se estableció una división de clases de diámetro de I a VI, donde se clasificaron las colonias de menor a mayor diámetro con el respectivo valor promedio del número de anillos (Cuadro 4.11). La figura 4.30 muestra una tendencia general de incremento en el número de anillos con respecto a las clases de diámetro.

#### 4.3.4.2

### Longitud ( $\mathcal{L}$ ) - Número de Anillos ( $\mathcal{NA}$ )

En el análisis global de la relación longitud-número de anillos de ambas especies, se formó una división de clases de longitud de I a V. Las clases se establecieron de menor a mayor longitud asociando el número promedio de anillos (Cuadro 4.12). La figura 4.31 denota una tendencia creciente en el número de anillos con respecto a las clases de longitud. Las figuras 4.30 y 4.31 sugieren que los anillos de crecimiento incrementan con respecto al diámetro y longitud de las colonias.

### 4.3. RELACIONES ALOMÉTRICAS

Cuadro 4.11 División de clases de diámetro con respecto al número promedio de anillos.

Clase	Diámetro (cm)	Número promedio de anillos	Desviación estándar
I	Menor a 1	6.9	1.800
II	1 - 1.5	8.2	1.876
III	1.5 - 2.0	9.6	2.344
IV	2.0 - 3.5	9.1	2.668
V	2.5 - 3	10	2.081
VI	Mayor a 3	10	1.403

Cuadro 4.12 División de clases de longitud con respecto al número promedio de anillos.

Clase	Diámetro (cm)	Número promedio de anillos	Desviación estándar
I	Menor a 0.5	6.5	0.707
II	0.5 - 1.0	7.2	2.048
III	1.0 - 1.5	8.9	2.433
IV	1.5 - 2.0	9	2.124
V	Mayor a 2.0	10.4	2.669

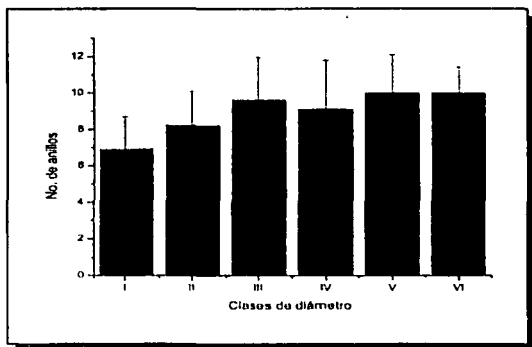


Figura 4.30 Clases de diámetro con respecto al número promedio de anillos en las colonias de ambas especies de coral negro.

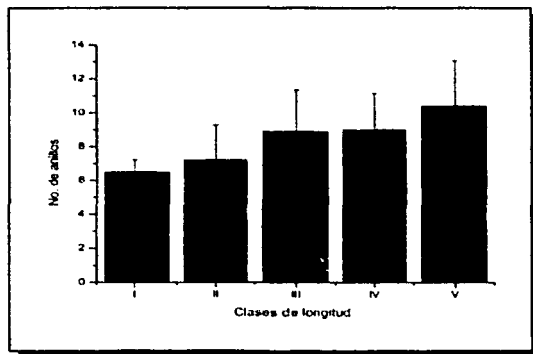


Figura 4.31 Clases de longitud con respecto al número promedio de anillos en las colonias de ambas especies de coral negro.

# CAPÍTULO V

## DISCUSIÓN

### 5.1 TÉCNICAS

El resultado de las técnicas utilizadas para estudiar los anillos de crecimiento en coral negro, tanto la técnica basada en el método de Grigg, como las técnicas petrográficas (Inclusión en resina, Identificación de calcita mediante tinción y Delaminación con ácido fórmico), evidenciaron los anillos en distintas escalas de observación microscópica. No obstante, durante el desarrollo de todas ellas se presentaron eventualidades metodológicas, como se reporta en el capítulo 4, asociadas principalmente a factores intrínsecos a las colonias de coral negro, tal como el factor de deshidratación. Dichas eventualidades ponen de manifiesto la dificultad para trabajar con secciones delgadas de la rama secundaria y base de las colonias de coral negro; sin embargo, la mayoría de estas dificultades fueron susceptibles de corrección principalmente en las técnicas petrográficas, del cual resulta un procedimiento que permite estudiar directamente los anillos y al mismo tiempo preserva el material para la posible aplicación de otras técnicas.

Por otro lado, la delaminación o desempaquetamiento de micro-láminas por acción del ácido fórmico, se genera por el efecto solvente sobre el cemento orgánico que ensambla las micro-

láminas, seguido del efecto de relajación de las espigas que fungen como elementos de fijación ("remaches"). Según Goldberg [16] todo radica en el poder desnaturizante del ácido fórmico sobre las proteínas y otros compuestos orgánicos con enlaces covalentes no estables.

La fuerza de empaquetamiento y / o compactación de las micro-láminas, es distinta para cada especie, de ahí que la delaminación en *A. caribbeana* sea poco evidente si se emplea el mismo tiempo de inmersión en ácido fórmico que en *A. pennacea*.

En las colonias de ambas especies, la región más resistente al ataque con ácido fórmico es la central, donde el exoesqueleto ha logrado consolidar las múltiples micro-láminas concéntricas que se han depositado a lo largo de la vida de la colonia, mientras que la periferia o región más externa del exoesqueleto es más susceptible de ser delaminada no sólo por efecto del ácido fórmico, sino por fuerzas mecánicas producidas directamente por la torsión y flexión exoesquelética, como comentan Kim et al. [40].

Las micro-láminas desempaquetadas dejan al descubierto las cavidades de los pólipos, que se definió como un criterio de comparación importante entre *A. pennacea* y *A. caribbeana* (Sección 4.2.2 y/o Glosario). Todo parece indicar que esta cavidad, que se produce durante el crecimiento del pólipo y en consecuencia de la

colonia, es el espacio donde el pólipo se aloja y a través del cual emerge a la superficie, ya que dicha cavidad se prolonga al exterior. Cuando el pólipo emerge secreta directamente de la epidermis, las subsecuentes micro-láminas concéntricas, de esta manera se recubren cada una de las espinas y se promueve la función de soporte parecida a una columna y de "remache" al fungir como elemento de fijación entre las micro-láminas, como ya se ha mencionado (Figura 4.8).

## 5.2

### ANILLOS DE CRECIMIENTO EN CORAL NEGRO

A pesar de que el concepto de anillo de crecimiento en coral negro se ha abordado por autores como Grigg [23], Goldberg [16] y Kim [40], la definición no parece ser lo suficientemente robusta, ya que en términos prácticos no es sencillo identificar y contar anillos basándose en las definiciones.

El concepto que se generó en este trabajo recopila en su mayoría las propuestas de los tres autores. Es un esfuerzo propositivo en el reconocimiento de los anillos de crecimiento, agregando a diferencia de otros trabajos, que el reconocimiento está asociado a la identificación de otras estructuras igualmente importantes tales como espinas y las cavidades de los pólipos. Asimismo, el reconocimiento debe adecuarse al patrón en los anillos de cada especie, ya que existen diferencias significativas en el patrón de los anillos de *A. pennacea* y *A. caribbeana* (Figura 4.10).

El resultado de la prueba de *t* para muestras independientes revela que hay diferencias significativas en el número de anillos ( $\mathcal{NA}$ ) de bases con respecto a ramas secundarias. Sin embargo, la diferencia en el número de anillos ( $\mathcal{NA}$ ) no es sistemática (Figuras 4.14 y 4.17). Es decir, no en todas las colonias examinadas el número de anillos ( $\mathcal{NA}$ ) fue mayor en bases que en ramas secundarias, aunque esto puede responder a un factor diferencial no considerado formalmente en este trabajo que es la distancia a la que se obtuvo el corte de la rama se-

cundaria. Ya que, si el corte de la rama secundaria era muy cercano a la base era probable que se encontrara el mismo número de anillos ( $\mathcal{NA}$ ), como en el 18% de la muestra de *A. pennacea* y 22% de la muestra de *A. caribbeana*, donde se encontró el mismo número de anillos ( $\mathcal{NA}$ ) en ramas secundarias como bases. Los casos donde el número de anillos ( $\mathcal{NA}$ ) en ramas fue mayor (sólo por un anillo) al de bases, responde en parte al factor distancia, pero no se descarta la posibilidad de que este resultado refleje las dificultades para delimitar los anillos de crecimiento y su posterior conteo. Una definición precisa de un anillo de crecimiento en coral negro debe seguir construyéndose, posiblemente la combinación de pruebas de origen químico y la utilización del microscopio electrónico podrían generar una definición más precisa, ya que delimitar los anillos de crecimiento únicamente en base a su morfología todavía tiene algunas ambigüedades.

El número de anillos de crecimiento debería considerarse parte del patrón que caracteriza a cada especie de coral negro, sin embargo, el análisis de varianza (ANOVA) demuestra que con respecto al número de anillos ( $\mathcal{NA}$ ) no hay diferencia interespecífica. Es importante señalar que el análisis que compara el número de anillos ( $\mathcal{NA}$ ) de *A. pennacea* y *A. caribbeana* se efectuó con un diferente tamaño de muestra, por efecto de una colecta limitada durante el trabajo de campo. Tanto en ramas como en bases la medias ( $\bar{x}$ ) y la varianzas ( $s^2$ ) son muy próximas (Cuadro 4.5), razón por lo cual la prueba no encuentra diferencias significativas entre especies. Sin embargo, aunque los resultados sugieren que no hay distinción en el número de anillos ( $\mathcal{NA}$ ) entre especies, una sola variable no puede ni debe ser el único criterio para caracterizar a una especie.

A pesar de que el ANOVA no encontró diferencias significativas en el número de anillos ( $\mathcal{NA}$ ) entre especies, las ecuaciones sobre el número de anillos ( $\mathcal{NA}$ ) sí contemplan diferencias, por lo que es relevante considerar el factor especie en las expresiones que propone el modelo de regresión múltiple (Ec. 4.1 y 4.2). En ambas especies, se obtienen expresiones matemáticas donde la información de la ra-

## 5.2. ANILLOS DE CRECIMIENTO EN CORAL NEGRO

ma secundaria es trascendental para predecir el número de anillos de crecimiento en la base de la misma colonia, con fundamento en el grado de asociación lineal ( $r_{A. pennacea} = 0.51, r_{A. caribbeana} = 0.68, p < 0.05$ ). No obstante, la variabilidad en el número de anillos de la base sólo puede ser explicada en un 71% en el caso *A. pennacea* y 82% en *A. caribbeana* por la variable número de anillos ( $\mathcal{NA}$ ) en rama secundaria. Y aunque los porcentajes son significativos, la medida predictiva del número de anillos ( $\mathcal{NA}$ ) en la base de una colonia, no sólo requiere de mayor cantidad de datos confiables que reduzcan la variabilidad del sistema, sino el conocimiento y control de otras variables involucradas, por ejemplo, la distancia de donde se obtiene el corte de la rama secundaria.

La asociación entre el número de anillos de una colonia con la edad de la misma es todavía incierta. El número de anillos de crecimiento se asocia con una periodicidad probablemente anual [21]. Sin embargo, el periodo de tiempo en el que se deposita un anillo no es del todo conocido, inclusive este periodo puede variar por factores ambientales, según Grange y Goldberg [21], de manera que no puede afirmarse que un anillo de crecimiento represente un año de vida de la colonia. Empero, es importante considerar que encontrar un número mayor de anillos implica mayor antigüedad en una colonia de coral negro.

Por otro lado, la amplitud de los anillos se incrementa gradualmente con respecto a la posición, de ello se tiene evidencia contundente en ambas especies del primero al quinto anillo, esto en base al modelo lineal de ANOVA ponderada (Ec. 3.3).

Después del quinto anillo no es claro el comportamiento en la amplitud del resto de los anillos, pero al parecer esto responde principalmente a la gran variabilidad que se observa en la amplitud de la sexta posición en adelante (Figura 4.23). Aunque, se conciben dos tipos de inferencias, una de tipo fisiológico y otra de origen externo. La disminución en la amplitud de los anillos después de la quinta posición podría ser una respuesta a un fenómeno externo, algún tipo de evento climático, físico y/o químico que redujo la disponibilidad de recursos y

esto a su vez imposibilitó la generación de anillos que alcanzaran el promedio en la amplitud. O bien, es una respuesta fisiológica, tal vez un periodo reproductivo (sexual) donde la colonia invierte toda su energía metabólica y la formación de anillos se ve reducida. Sin embargo, se tienen pocos elementos para aseverar lo anterior y se sugiere un estudio minucioso de las colonias de coral negro in situ.

Sobre la amplitud del último anillo, tanto en ramas secundarias como bases de ambas especies se observa que la amplitud es menor del promedio (Figuras 4.24 y 4.25). Sin embargo, esto podría ser resultado de la medición de un anillo incompleto, es decir, la amplitud que se registró no es la amplitud que puede alcanzar el último anillo, pero dado que la colonia fue extraída del mar el anillo no alcanzó su tamaño promedio. Asimismo, la pérdida de las últimas micro-láminas durante el procesamiento de algunas colonias, podría ser relevante para explicar el hecho de que los últimos anillos muestren amplitudes por debajo del promedio. Es preciso mencionar que las colonias cuyo último y máximo número de anillos ( $\mathcal{NA}$ ) fue 11 en ramas y 14 en bases de *A. pennacea*, y 10 en ramas y 15 en bases de *A. caribbeana*, fueron escasas, por lo que el análisis de la amplitud de las últimas posiciones podría no ser representativo.

Sobre la relevancia de las posiciones de cada uno de los anillos (Figuras 4.24 y 4.25), el análisis demuestra no sólo que hay diferencias en la amplitud de los anillos de acuerdo con la posición que ocupan, sino una tendencia a desarrollar mayor amplitud. Aunque actualmente no existen trabajos que sustenten esta aseveración. Grange y Goldberg [21], se percataron de la variación en la amplitud de los anillos, asociando las mayores amplitudes con condiciones favorables en el crecimiento.

La tendencia creciente en la amplitud de los anillos sugiere, un crecimiento de la colonia asociado a la formación de anillos. Aunque este crecimiento-depositación de anillos podría generarse en tiempos distintos, probablemente como un mecanismo de regulación en la formación de los anillos de acuerdo con el tamaño (talla) y edad de la colonia. Es decir, una colo-

nia de mayor edad está estructuralmente más consolidada y cuenta con mayor biomasa que le permite generar anillos más amplios aunque invierta más tiempo, contrario a una colonia joven cuya infraestructura biológica aun no es lo suficientemente robusta y por ello cuenta con menos anillos no tan amplios. Sin embargo, no debe descartarse la posibilidad de que la tendencia creciente en la amplitud de los primeros 5 anillos represente condiciones ambientales favorables para el crecimiento de las colonias de coral negro, como sugieren Grange y Goldberg [21], asimismo, Holl [29] puntualiza que los anillos representan un expediente particular de las condiciones locales, aunque es necesario desarrollar más investigación al respecto.

### 5.3

## RELACIONES ALOMÉTRICAS

Al comparar los datos de diámetro de campo ( $DC$ ) y de laboratorio ( $DL$ ) no parece ser muy relevante el factor deshidratación en las colonias de coral negro, ya que después de la selección de datos con base en la distancia de Cook, se observa una correlación lineal que denota que el factor deshidratación no es trascendental ( $r = 0.94, p < 0.05$ ). Sin embargo, los datos de diámetro estimado ( $DE$ ) parecen tener menor correlación con los otros dos tipos de diámetro ( $r_{DE-DC} = 0.84; r_{DE-DL} = 0.81, p < 0.05$ ), esto como resultado de la gran manipulación de la información de donde se generó este tipo de diámetro, ya que como se mencionó en el capítulo 3 (sección 3.2.1.6), el diámetro estimado se calculó a partir de la suma de las amplitudes de los anillos contados en un radio de la sección delgada, lo cual introduce cierto error si se considera que el corte transversal tanto de ramas como bases no es exactamente circular y que el radio en una misma sección delgada puede diferir.

En el caso de la longitud ( $L$ ), ramas secundarias y la colonia completa tienen diferencias significativas en ambas especies. Las diferencias encontradas a nivel intraespecífico sugieren que entre *A. pennacea* y *A. caribbeana* po-

dria haber diferencias significativas o interacción por el factor especie. Sin embargo, la prueba de  $t$  para muestras independientes rechaza esa aseveración, ya que no encuentran diferencias a nivel interespecífico (Sección 4.3.2).

Nuevamente cabe mencionar que para caracterizar a una especie no es suficiente hacerlo con variables aisladas, hablar de las diferencias o similitudes entre las especies a nivel únicamente de diámetro o longitud o número de anillos, no proporciona tanta información como cuando se trata de conocer y matematizar la relación entre ellos, como se discute a continuación.

Longitud ( $L$ ) y diámetro ( $DC$ ) es la asociación lineal más fuerte, dentro del análisis exploratorio entre variables con base en el coeficiente de correlación lineal ( $r_{A. pennacea} = 0.6, r_{A. caribbeana} = 0.7, p < 0.05$ ). Aunque esta relación es un estimador de tamaño que no considera el número de anillos ( $NA$ ), resulta tan considerable la asociación entre estas variables que los modelos propuestos para estimar la longitud adquieren mucho sentido (Ec. 4.4 y 4.6), ya que estos son capaces de predecir la longitud promedio de la colonia a partir del diámetro de la misma, y al conocer la relación entre longitud y diámetro se puede tener información de la colonia sólo obteniendo una de las variables, aquel que según las circunstancias particulares sea más fácil de medir.

Entre el diámetro ( $DC$ ) y el número de anillos ( $NA$ ) se esperaba una significativa asociación lineal. Sin embargo, contrario a lo esperado, la correlación aun con un grado intermedio de asociación lineal sólo en *A. pennacea* ( $r = 0.5, p < 0.05$ ), es imprecisa. Aunque la vinculación alométrica entre estas variables parece lógica, bajo el supuesto de que mayor cantidad de anillos necesariamente implica un diámetro mayor, lo que los resultados parecen indicar es que un diámetro amplio en una colonia de coral negro no necesariamente advierte la presencia de mayor número de anillos, no porque estas variables no estén proporcionalmente relacionadas, sino porque la deposición de un anillo, su amplitud y consecuentemente el diámetro de la colonia, está bajo la influencia de factores biológicos intrínse-

### 5.3. RELACIONES ALOMÉTRICAS

cos a la misma tales como su talla y edad, así como factores ambientales relacionados con la disponibilidad de recursos. Lo anterior, podría justificar el hecho de que el coeficiente de correlación entre el diámetro ( $DC$ ) y el número de anillos ( $NA$ ) no denote una fuerte asociación lineal.

Del mismo modo, el número de anillos ( $NA$ ) que tiene una colonia de coral negro no parece tener una asociación lineal fuerte con su longitud ( $L$ ), por el contrario, está asociación lineal es débil ( $r_A$ . *pennacca* = 0.4,  $r_A$ . *caribbeana* = 0.3,  $p < 00.05$ ). Mientras que la asociación lineal entre la longitud ( $L$ ) y el diámetro ( $DC$ ) es fuerte. El hecho de que la longitud de las colonias no se relacione con el número de anillos de manera similar a como se relaciona con el diámetro de las mismas, refleja por un lado, la gran variabilidad introducida en la variable número de anillos ( $NA$ ) por la imprecisión en la definición de mismos. Aunque este hecho también podría responder a factores asociados a la depositación de los anillos, de los cuales no se tiene conocimiento ni control.

De las relaciones longitud ( $L$ ) - diámetro ( $DC$ ), diámetro ( $DC$ ) - número de anillos ( $NA$ ) y número de anillos ( $NA$ ) - longitud ( $L$ ) puede decirse por un lado, que existe una asociación lineal de intermedia a débil, según la especie, entre la longitud ( $L$ ) y el número de anillos ( $NA$ ), pero se sabe que entre la longitud ( $L$ ) y el diámetro ( $DC$ ) hay una asociación lineal fuerte. Para explicar esta aparente contradicción es necesario concebir la idea de que, el diámetro ( $DC$ ) y el número de anillos ( $NA$ ) deben relacionarse de manera directamente proporcional, sin embargo como ya se discutió, la depositación de un anillo implica la intervención de factores (biológicos y/o ambientales) que influyen determinadamente en el diámetro y longitud que alcanza la colonia; el desconocimiento y nulo control de dichos factores trascendentes sobre la depositación de los anillos, no permite determinar la relación alométrica precisa entre el número de anillos ( $NA$ ), el diámetro ( $DC$ ) y la longitud ( $L$ ) de una colonia, haciendo que se subestime la independencia entre las tres variables.

Aun obteniendo coeficientes de correlación que

denoten asociaciones lineales débiles entre el número de anillos ( $NA$ ), el diámetro ( $DC$ ) y la longitud ( $L$ ) de las colonias de coral negro, no puede descartarse la posibilidad de conocer y matematizar la relación alométrica entre estas variables. Includablemente, una ecuación alométrica implica el conocimiento concienzudo de la anatomía, tipo de crecimiento y especie del organismo, es algo más que una representación de los datos analizados estadísticamente. Por ello, es pertinente mencionar que en el caso de las colonias de la muestra estudiada, el análisis de las variables número de anillos ( $NA$ ), diámetro ( $DC$ ) y longitud ( $L$ ) refleja una gran variabilidad asociada principalmente con el origen de las colonias, ya que debe recordarse que éstas son parte de una muestra que no fue elegida al azar, por tratarse principalmente de material decomisado. Pero aun reconociendo el origen de las colonias de coral negro estudiadas, los resultados permitieron conocer parcialmente y de manera generalizada el comportamiento de la variable número de anillos ( $NA$ ) con respecto a las variables de tamaño longitud ( $L$ ) y diámetro ( $DC$ ), así como reconocer la influencia de los llamados factores biológicos y/o ambientales.

Por otro lado, el resultado del análisis global que considera de manera conjunta la variable número de anillos ( $NA$ ) con respecto a las variables de tamaño diámetro ( $DC$ ) y longitud ( $L$ ), evidencia una tendencia creciente que los resultados de los demás estadísticos no muestran explícitamente (Figuras 4.30 y 4.31). La organización de la información en una división de clases de diámetro ( $DC$ ) y longitud ( $L$ ), es una estrategia que permite observar claramente la disposición de mayor número de anillos ( $NA$ ) a mayor diámetro ( $DC$ ) y mayor longitud ( $L$ ).

Ciertamente la tendencia creciente que sugiere el análisis global diámetro ( $DC$ ) - número de anillos ( $NA$ ) y longitud ( $L$ ) - número de anillos ( $NA$ ) es clara, sin embargo, debe reconocerse que este tipo de estrategia organizativa no puede ni debe ser concluyente. Los resultados del resto de las pruebas estadísticas apoyan en su mayoría la aseveración de la tendencia creciente en el número de anillos ( $NA$ ). Empero,

es innegable que los resultados de los análisis estadísticos reportan tendencias que sólo explican una parte del conjunto de datos, como resultado de una gran variabilidad al interior de los mismos. Aunque esta tendencia parcialmente comprensible de los análisis estadísticos también podría ser una manifestación de la imprecisión en la definición de los anillos de crecimiento, o bien se relaciona con factores influyentes aun inciertos en la biología de corales negros, como por ejemplo, el periodo y mecanismo de depositación de los anillos de crecimiento. Las inferencias antepuestas obligan a profundizar en el estudio no sólo de las variables número de anillos, diámetro y longitud, sino en otros factores bióticos y abióticos que se asocian al crecimiento de las colonias.

Por lo anterior, se considera prematuro y arriesgado proponer una ecuación alométrica basada en la información de las tres variables examinadas; la ecuación de alometría no es un resultado estadístico proveniente de la búsqueda del ajuste de una curva a una colección de puntos en donde sólo importe reducir al mínimo las diferencias entre valores observados y calculados [27]. La ecuación pretendía predecir el tamaño de la colonia y una vez establecida como un estimador del tamaño el siguiente paso era asociar la variable tiempo, con base en el periodo de depósito de un anillo que refiere la bibliografía [21], para estimar la edad relativa de las colonias. Sin embargo, la relación alométrica entre el número de anillos ( $NA$ ), diámetro ( $DC$ ) y longitud ( $L$ ) de las colonias de coral negro muestreadas no es concluyente, y por lo tanto no es posible deducir dicha ecuación; recuérdese, siempre es posible encontrar una aproximación "mejor", con un polinomio de grado suficientemente grande y con un poder predictivo lo adecuadamente confiable no sólo para predecir el tamaño de las colonias, sino para ser utilizado en la estimación de la edad relativa de las colonias de dos especies de coral negro cuya información biológica, particularmente ecofisiológica, aun es escasa y preliminar.



## CAPÍTULO VI

---

### CONCLUSIONES

---

Los anillos de crecimiento de coral negro son paquetes concéntricos de micro-láminas de quitina, producidos por la epidermis de los pólipos, que se presentan en series de paquetes claros y oscuros. Según la especie, muestran caracteres particulares en *Antipathes caribbeana*, bandas seminanales asociadas a los espacios que fueron ocupados por espinas; y en *Antipathes pennacea*, las cavidades de los pólipos, vistas como conductos o túneles cortos. Sin embargo, para construir la definición precisa de un anillo de crecimiento en coral negro, se debe intentar combinar pruebas que analicen el origen químico y el arreglo molecular de las fibras de quitina en los anillos, ya que los criterios morfológicos no son lo suficientemente precisos.

La experiencia obtenida en el procesamiento de las colonias de coral negro permite señalar, que las técnicas petrográficas no sólo son apropiadas sino fundamentales en el estudio de los anillos de crecimiento. El conocimiento generado a partir del desarrollo de dicho método es un precedente en esta línea de investigación.

Por otro lado, la delaminación con ácido fórmico es una técnica relevante en el estudio de la ultraestructura del exoesqueleto de coral negro y consecuentemente de los anillos de crecimiento. Su trascendencia es tal que se considera necesario, en un futuro no muy lejano, perfeccionar esta técnica y combinarla con el

uso del microscopio electrónico para analizar detalladamente estructuras como las capas o películas cementantes entre anillos, así como la función de fijación ("efecto remache") de las espinas.

Los anillos de crecimiento representan la historia biológica de una colonia de coral negro y el expediente ambiental de su localidad. El número de anillos, se considera un estimador de su edad relativa, sin embargo, la información bibliográfica que existe hasta el momento, no permite asegurar que la formación de un anillo de crecimiento, ocurra anualmente. Por ello, no fue posible estimar la edad relativa de las colonias de coral negro, a partir del número de anillos ( $N.A$ ) contados. Empero, esta variable se considera un estimador relativo del tiempo de vida de las colonias, de manera que a mayor número de anillos encontrados en una colonia se espera mayor antigüedad, sin precisar el número de años que ha vivido.

Aunque todavía no existen estudios formales al respecto, la tendencia creciente en la amplitud de los anillos, se asocia a un mecanismo de regulación de acuerdo con la talla y edad de la colonia, así mismo a condiciones ambientales que favorecen el crecimiento. No obstante, esta información así como la periodicidad y mecanismo de deposición de un anillo de crecimiento, puede generarse a partir de una futura línea de investigación que monitoree

una población de coral negro *in situ*, marcando los anillos de crecimiento con algún tipo de marcador orgánico (C14-D-glucosamina, C14L-histidina, C13 NMR) conociendo y/o controlando algunos de los factores externos más relevantes en el crecimiento por ejemplo, profundidad, cantidad y tipo de nutrientes, tipo de sustrato, así como factores estacionales que modifican la dinámica del océano.

El análisis alométrico basado en las variables número de anillos ( $NA$ ), diámetro ( $DC$ ) y longitud ( $L$ ) de las colonias de coral negro, no es concluyente. La información recabada a partir de los resultados de las correlaciones lineales, regresión múltiple y el análisis global sobre estas variables, se considera un aporte trascendente en el conocimiento de *Antipathes pennacea* y *Antipathes caribbeana*. Particularmente, el análisis global apoya la conjetura de una relación directamente proporcional entre el número de anillos ( $NA$ ) y el diámetro ( $DC$ ) y la longitud ( $L$ ) de las colonias de ambas especies. Sin embargo, las relaciones alométricas entre dichas variables se consideran parcialmente comprensibles, aunque son un importante punto de partida para un futuro análisis matemático que permita estimar la edad absoluta de las colonias de *A. pennacea* y *A. caribbeana*, y posiblemente de otras especies de coral negro.

---

## GLOSARIO

---

- Anillo de crecimiento. Paquete concéntrico de micro-láminas de quitina que se presentan en series claras y oscuras cuyas tonalidades pueden ser del ocre amarillo al pardo, según la especie de coral negro.
- Amplitud del anillo de crecimiento. Extensión o espesor de la corona circular o anillo.
- Base. Estructura adherente y aplanada en una colonia de coral negro que sirve para la fijación al sustrato, a partir de la cual surge el eje principal de una colonia (1). Término que se empleó en este trabajo para denominar al corte realizado en el eje principal a 1-3 cm del punto de fijación de la colonia al sustrato (2).
- Cavidad del pólipo. Conducto o túnel que se observa en el radio del exoesqueleto donde el pólipo creció y a través del cual emerge a la superficie.
- Corallum. Esqueleto de una colonia de coral.
- Delaminación. Separación de las micro-láminas que constituyen un anillo de crecimiento por efecto del ácido fórmico [16].
- Diámetro de campo (*DC*). Medida con vernier del diámetro de la base (2) y rama secundaria de las colonias de coral negro, registrada en el lugar de colecta.
- Diámetro de laboratorio (*DL*). Medida promedio obtenida con vernier, de las bases y ramas secundarias de las colonias de coral negro en sección delgada.
- Diámetro estimado (*DE*). Medida aproximada del diámetro de una muestra, de la base o de la rama secundaria de una colonia de coral negro, a partir de la sumatoria de la amplitud de cada uno de los anillos de crecimiento que se contaron en una sección delgada, observada bajo el microscopio, y medidos con micrómetro.
- Espina. Prolongación externa de la cavidad del pólipo observada en secciones delgadas y en la superficie externa de las colonias de coral negro. Estructura puntiaguda con función de soporte y como elemento de fijación entre micro-láminas.
- Línea concéntrica. Paquete oscuro de micro-láminas que delimita un anillo de crecimiento en la especie *Antipathes pennacea*, en el cual las micro-láminas se encuentran tan contiguas que parece una línea bien definida. Su amplitud es mayor que una micro-lámina y menor que un paquete oscuro.
- Longitud de la rama secundaria. En una colonia de coral negro es la distancia entre el punto de origen de una rama, donde se bifurca eje principal, y el extremo más distante.
- Longitud máxima. Distancia de la base de la colonia de coral negro, hasta la punta de la rama más alta.
- Micro-lámina. Capa fina de quitina de 0.1 a 1  $\mu\text{m}$  aproximadamente de espesor.
- n. Tamaño de muestra.

- *n*<sub>A. caribbeana</sub>. Tamaño de muestra de la especie *Antipathes caribbeana*.
- *n*<sub>A. pennacea</sub>. Tamaño de muestra de la especie *Antipathes pennacea*.
- Paquete claro. Cúmulo concéntrico de micro-láminas de quitina que en *Antipathes pennacea* se aprecia en tenues tonalidades ocre amarillo, mientras en *Antipathes caribbeana* los paquetes claros se distinguen en color pardo.
- Paquete oscuro. Cúmulo concéntrico de micro-láminas de quitina de tenues tonalidades ocre rojo en *A. pennacea*, lo que corresponde a bandas semianulares de color negro en *A. caribbeana*.
- Pólipo. Forma corporal sésil de los cnidarios; es un cilindro contráctil rodeado por un anillo de tentáculos que rodean una abertura parecida a una boca [18].
- *r*. Coeficiente de correlación lineal simple [51].
- *R*<sup>2</sup>. Coeficiente de determinación o Coeficiente de correlación múltiple [51].
- Rama secundaria. Eje o prolongación producto de la bifurcación del eje principal de una colonia de coral negro.
- *S*<sup>2</sup>. Varianza
- Sección delgada. Corte transversal de una colonia de coral negro de espesor muy reducido (< 1 mm), empleado en la técnica de inclusión en resina y en la cual se hizo el conteo de anillos de crecimiento bajo el microscopio.
- Sección delgada petrográfica. Corte fino (30 a 60 μm) de materiales pétreos empleado en la técnica petrográfica.
- $\bar{x}$  Media muestral.

---

## BIBLIOGRAFÍA

---

- [1] Aguayo, J. E. , Bello, R. , Del Vechio, M. , Arujo, J. y M. Basaez. 1978. Estudio sedimentológico en el área Tulum-Cancún-Isla Mujeres, Estado de Quintana Roo, México. *Informe de la Subdirección de Tecnología de Exploración del IMP*. 33 pp.
- [2] Bak, R. P. y R. W. P. M. Laane. 1987. Annual black bands in skeletons of reef corals (Scleractinia). *Marine Ecology Progress Series* 38: 169-175.
- [3] Barnes, R. 1996. *Zoología de Invertebrados*. McGraw-Hill. México. 106-159pp.
- [4] Bertalanffy, L. V. 1976. *Teoría general de los sistemas*. Fondo de Cultura Económica, México, 311pp.
- [5] Birkeland, C. 1997. *Life and death of coral reefs*. Chapman and Hall, New York. 536pp.
- [6] Bloom, A. L. , Broecker, W. S. , Chappell, J. , Matthews, R. K. y K. J. Mesolella. 1974. Quaternary sea level fluctuations on a tectonic coast: new Th-230/U-234 dates from New Guinea. *Quat. Res.* 4:185-205.
- [7] Brusca, R. y G. Brusca. 1990. *Invertebrates*. Sinauer Associates, INC, Massachusetts, 922pp.
- [8] Cairns, S. D. , Opresko, D. M. , Hopkins, T. S. y W. W. Schroeder. 1993. New records of deep-water Cnidaria (Scleractinia y Antipatharia) from the gulf of Mexico. *Northeast Gulf Science*. 13(1): 1-11.
- [9] Castaeda-Camey, R. I. 1986. Análisis del estado del conocimiento sobre arrecifes coralinos del Golfo de México y Mar Caribe Mexicano y sugerencias para su aprovechamiento. *Tesis profesional*. Facultad de Ciencias, UNAM, México.
- [10] Colin, P. L. 1978. *Caribbean reef invertebrates and plants*. Publications, INC, Ltd. USA. 512pp.
- [11] De Andrade Nery, L. Z. 1994. *Corals of Southern Bahia*. Editora Nova Fronteira, Brasil. 190pp.
- [12] Dillon, W. P. y J. G. Vedder. 1973. Structure and Development of the Continental Margin of British Honduras. *Bull. Geol. Soc. Am.* 84: 2713-2732.
- [13] Enquist, B. J. , West, G. B. y J. H. Brown. 2000. Quarter-power allometric scaling in vascular plants. In: Brown, J. H. y G. B. West. *Scaling in biology*. Oxford Univ. Press. 167-198.

## BIBLIOGRAFÍA

- [14] García, E. 1972. *Modificaciones al sistema de clasificación de Koeppen*. Instituto de Geografía, UNAM, México.
- [15] Goldberg, W. M. , Grange, K. , Taylor, G. T. y A. L. Zuniga. 1990. The structure of sweeper tentacles in the black coral *Antipathes fiordensis*. *Biol. Bull.* 179: 96-104.
- [16] Goldberg, W. M. 1991. Chemistry and structure of skeletal growth rings in the black coral *Antipathes fiordensis* (Cnidaria, Antipatharia). *Hydrobiologia.* 216/217: 403-409.
- [17] Goldberg, W. M. y G. T. Taylor. 1996. Ultrastructure of the spirocyst tubule in black corals (Coelenterate: Antipatharia) and its taxonomic implications. *Marine Biology.* 125: 655-662.
- [18] Goreau, T. y N. Goreau. 1979. Corals and Corals Reefs. *Scientific American.* 241(2): 110-120.
- [19] Grange, K. R. 1985. Distribution, standing crop population structure and growth rates of black coral in the southern fiords New Zealand. *N. Z. Journal Mar. Freshwater. Res.* 19: 467-475.
- [20] Grange, K. R. y R. J. Singleton. 1988. Population structure of black coral *Antipathes aperta* in the southern fiords of New Zealand. *N. Z. Journal Zool.* 15: 481-489.
- [21] Grange, K. R. y W. M. Goldberg. 1992. Chronology of black coral growth bands: 300 years of environmental history?. *Proceedings of the Second International Temperate Reef Symposium*, 7-10 January, Auckland, New Zealand. NIWA Marine, Wellington. 169-174.
- [22] Grigg, R. W. 1974. Growth rings: Annual periodicity in two gorgonian corals. *Ecology.* 55: 876-881.
- [23] Grigg, R. W. 1976. Fishery management of precious and stony corals in Hawaii. *Sea Grant Tech. Rept.* UNIH-SEAGRANT-TR- 77-03, 48pp.
- [24] Grigg, R. W. 1977. Fishery management of precious corals in Hawaii. *Proc. 3rd int. Coral Reef Symp.* 2: 609-616.
- [25] Grigg, R. W. y D. Opresko. 1977. Order Antipatharia: Black Corals. *En: Devaney, D. y L. Eldredge. Reef and shore fauna of Hawaii.* Bernice P. Bishop Museum Special Publication 64(1): 242- 261.
- [26] Gutiérrez, J. L. y F. Sánchez. 1998. *Matemáticas para las ciencias naturales.* Sociedad Matemática Mexicana, Serie Textos Número 11. México. 590pp.
- [27] Gutiérrez, J. L. y F. Sánchez. 2001. *Matemática del crecimiento orgánico.* (En prep. )
- [28] Highsmith, R. C. 1979. Coral growth rates and environmental control of density banding. *Journal Exp. Mar. Biol. Ecol.* 37: 105 - 125.
- [29] Holl, S. , Schaefer, J. , Goldberg, W. y K. Kramer. 1992. Comparison of black coral skeleton and insect cuticle by a combination of carbon - 13 NMR. *Archives of Biochemistry and Biophysics.* 292 (1): 107-111.
- [30] Hickson, S. J. 1924. *An introduction to the study of recent corals.* London, Manchester Univ. Press. 310pp.
- [31] Humman, P. 1993. *Reef coral identification.* New World Publications, INC. 239pp.

## BIBLIOGRAFÍA

---

- [32] Hughes, T. P. y J. B. Jackson. 1980. Do corals lie about their age?. Some demographic consequences of partial mortality, fission and fusion. *Science*. 209(8): 713-715.
- [33] Hughes, T. P. y J. H. Connell. 1987. Populations dynamics based on size or age? A reef-coral analysis. *Am. Nat.* 129: 818-829.
- [34] Hyman, L. 1940. *The invertebrates: Protozoa through Ctenophora*. McGraw-Hill, New York, 726pp.
- [35] INEGI. 1986. *Anuario Estadístico del Estado de Quintana Roo*. Instituto de Estadística, Geografía e Informática, México, D. F.
- [36] James, N. P. y R. N. Ginsburg. 1979. The Seaward Margin of Belize Barrier and Atoll Reefs. *Special Publ. 3 Int. Assoc. of Sedimentologists*. Blackwell Scientific Publications.
- [37] Jordán, D. E. 1979. Estructura y composición de arrecifes coralinos en la región Noreste de la Península de Yucatán, México. *An. Inst. Ciencias del Mar y Limnología, UNAM*. 6: 69-86.
- [38] Jordán, D. E. 1988. Arrecifes profundos en la Isla de Cozumel, México. *An. Inst. Ciencias del Mar y Limnología, UNAM*. 15(2): 195-208.
- [39] Kenyon, J. 1984. Black coral off Cozumel. *Sea Frontiers*. 30: 5267-272.
- [40] Kim, K., Goldberg, W. M. y G. T. Taylor. 1992. Architectural and mechanical properties of the black coral skeleton (Coelenterate: Antipatharia): A comparison of two species. *Biol. Bull.* 182: 195-209.
- [41] Knutson, D. W., Buddemeier, R. W. y S. V. Smith. 1972. Coral chronometers - seasonal growth bands in corals. *Science*. 177: 270 - 272.
- [42] Lesser, H., Azpettia, J. y J. Lesser. 1978. Geohidrología de la Isla de Cozumel, Q. Roo. *Recursos Hídricos*. VII(1): 32- 50.
- [43] Logan, B. W. 1969. Coral reefs and Banks, Yucatan Shelf, Mexico. En: Logan, Harding, Alan, Williams y Snead (Eds), Memo. Assoc. Petrol. Geol. 11: 129-196.
- [44] Margalef, R. 1974. *Ecología*. Omega, Barcelona. 951pp.
- [45] Mendenhall, W. y T. Sincich. 1997. *Probabilidad y estadística para ingeniería y ciencias*. Prentice Hall, Hispanoamericana, S. A. México 1177pp.
- [46] Merino, M. 1986. Aspectos de la circulación costera del Caribe mexicano con base en observaciones utilizando tarjetas de deriva. *An. Inst. Ciencias del Mar y Limnología, UNAM*. 13(2): 31-46.
- [47] Miller, M. W. 1995. Growth of a temperate coral: effects of temperature, light, depth, and heterotrophy. *Marine Ecology Progress Series*. 122: 217-225.
- [48] Miller, K. J. 1998. Short-distance dispersal of black coral larvae: inference from spatial analysis of colony genotypes. *Marine Ecology Progress Series*. 163: 225-233.
- [49] Montgomery, D. 1997. *Design and analysis of experiments*. 5a John Wiley y Sons, Inc. New York. 684pp.
- [50] Myers, R. H. 1990. *Classical and modern regression with applications*. 2nd. Ed. Duxbury Press, Boston. 488pp.

- [51] Neter, J. , Kutner, M. , Nachtsheim, C. y W. Wasserman. 1996. *Applied Linear Statistical Models*. 4th ed. IRWIN, Chicago, U. S. A. 1408 pp.
- [52] Niklas, K. J. 1994 a. *Plant Allometry*. University of Chicago Press. U. S. A. , pp 395.
- [53] Niklas, K. J. 1994 b. Predicting the height of fossil plant remains: An allometric approach to an old problem. *American Journal of Botany*. 8(10): 1235-1242.
- [54] Oakley, S. G. 1988. Settlement and growth of *Antipathes pennacea* on a shipwreck. *Coral Reefs*. 7: 77-79.
- [55] Opresko, D. M. 1972. Redescriptions and reevaluations of the antipatharians described by L. F. de Pourtals. *Bulletin Marine Science*. 22(4): 950 - 1017.
- [56] Opresko, D. M. 1996. New species of black coral (Cnidaria: Anthozoa: Antipatharia) from the Caribbean. *Bulletin of Marine Science*. 58(1): 289-300.
- [57] Opresko, D. M. 1997. Key to the antipatharians of the deep-reefs of the Caribbean. (En prep. )
- [58] Padilla, C. 1996. Demografía y dinámica poblacional de *A. palmata*. *Tesis Doctoral*. UNAM.
- [59] Padilla, C. 1998. Descripción de los bancos de coral negro en la región centro-norte de Quintana Roo. *CONABIO / CRIP Puerto Morelos, INP. Informe final*. 62pp.
- [60] Padilla, C. 2000. Evaluación del potencial de uso sustentable del coral negro en Isla Cozumel y parte sur de Quintana Roo. *FMCN / CRIP Puerto Morelos, INP. Informe final*. 70pp.
- [61] Parker, N. R. , Mladenov, P. V. y K. R. Grange. 1997. Reproductive biology of the antipatharian black coral *Antipathes fiordensis* in Doubtful Sound, Fiordland, New Zealand. *Marine Biology*. 130: 11-22.
- [62] Rhoads, D. C. y R. A. Lutz. 1980. *Skeletal growth of aquatic organisms: Appendix 1 Preparation of coral skeletons for growth studies*. Plenum Press. New York, 750pp.
- [63] Rivera, E. , Santibón, C. , Roberts, M. , Kjerfve, B. , Lara, M. , y E. Suárez. 1994. Dinámica Hidrológica de Arrecifes. En: Estudio de Caracterización Ecológica del Predio correspondiente al proyecto turístico Mayaluum en el corredor Cancún-Tulum, Quintana Roo, México. Programa EPOMEX/ECOMAR, A. C. 14-67.
- [64] Schwartzman, G. y D. M. Opresko. 1992. Infrared spectrum of the skeletal axis of antipatharian corals (Cnidaria: Anthozoa). *Bulletin of Marine Science*. 50(2): 352-356.
- [65] Sosa, E. , Medina, A. , Ramírez, A. , Domínguez, M. y W. Aguilar. 1993. Invertebrados marinos explotados en Quintana Roo. En: Salazar S. Y González, N. (Eds. ) Biodiversidad Marina y Costera de México. CONABIO-CIQRO. 709-734.
- [66] St. John, B. E. 1974. Heavy metals in the skeletal carbonate of scleractinian corals. *Proceedings of the Second International Coral Reef Symposium*. Brisbane 2: 461-469.
- [67] Uchupi, E. 1973. Eastern Yucatan continental margin and Western Caribbean Tectonics. *Am. Assoc. Petrol. Geol. Bull.* 57: 1075-1085.



## BIBLIOGRAFÍA

---

- [68] Wainwright, S. A. y M. A. R. Koehl. 1976. The nature of flow and the reaction of benthic Cnidaria to it. Pp 5-21 *En: G. O. Mackie. Coelenterate Ecology and behavior*. Ed. Plenum Press, New York.
- [69] Wells, S. y C. Nick. 1992. *The Greenpeace book of coral reefs*. Sterling Publishing, CO. , INC. New York, 160pp.
- [70] Wourms, P. 1987. Oogenesis. *En: Giese, A. C. , Pearse J. S. , Pearse V. B. (Eds. ) Reproduction of marine invertebrates. Vol. 9. General aspects: seeking unity in diversity*. Blackwell scientific Publications, Palo Alto, and the Boxwood Press, Pacific Grove, pp 50-178.
- [71] Wust, G. 1964. *Stratification and Circulation in The Antillean-Caribbean Basins*. Columbia University Press, New York 580pp.

### Sítios consultados en Internet:

- [72] DIVE ASIA. REEF ECOLOGY, 1996-2000.  
<http://www.diveasia.com/ecologycnidarians1.html>
- [73] MARINE LIFE PROFILE. WAIKIKI AQUARIUM, 1999.  
[http://www.mic.hawaii.edu/aquarium/MLP/search/black\\_coral.html](http://www.mic.hawaii.edu/aquarium/MLP/search/black_coral.html)
- [74] NASA IMAGE EXCHANGE, 2001.  
<http://nix.nasa.gov/nix.cgi>
- [75] SEMARNAP, 1999.  
<http://www.semarnap.gob.mx/naturaleza/regiones/cozumel/coz2.htm>

ESTA TESIS NO SALI  
DE LA BIBLIOTECA