

**EQUINODERMOS DEL SANTUARIO DE FAUNA Y FLORA MALPELO,
PACIFICO COLOMBIANO**

MISHAL ANATH COHEN RENGIFO

**FUNDACIÓN UNIVERSIDAD JORGE TADEO LOZANO
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES
PROGRAMA DE BIOLOGÍA MARINA
BOGOTÁ, COLOMBIA
2008**

**EQUINODERMOS DEL SANTUARIO DE FAUNA Y FLORA MALPELO,
PACIFICO COLOMBIANO**

MISHAL ANATH COHEN RENGIFO

Trabajo de grado para optar al título de Bióloga Marina

Director

JUAN JOSÉ ALVARADO BARRIENTOS

**Master en Biología. Colaborador como investigador para el Centro de Investigación
en Ciencias del Mar y Limnología de la Universidad de Costa Rica.**

Asesor

JAIME RICARDO CANTERA KINTZ

**Doctor EX-Sciences. Profesor titular Departamento de Biología, Universidad del
Valle.**

**FUNDACIÓN UNIVERSIDAD JORGE TADEO LOZANO
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES
PROGRAMA DE BIOLOGÍA MARINA
BOGOTÁ, COLOMBIA
2008**

*La vida es corta,
pero el arte es largo;
la oportunidad fugaz,
la experimentación peligrosa
y arduo el juicio.*

-HIPÓCRATES

*El conocimiento como fundamento
y herramienta precisa
para forjar con sensatez
la conservación diestra
de nuestra hermosa y triste
PACHA MAMA*

Por las constantes palabras y acciones alentadoras, cargadas del matiz inapelable para emprender la marcha como profesional; por infundir un juego limpio donde impera la justicia, integridad y libertad, quiero dedicar este, mi primer paso, a las personas que siempre han creído en mí.

A MI AMADA FAMILIA

A mis abuelitos Horacio y Mari, a mis padres Patricia y Gerson, a mi tía Silvia y a mis hermanos Luis Fernando y Julia.

A Sergio por su inextinguible energía para levantar mis ánimos en aquellos momentos de desaliento, por ser la persona quien siempre está ahí cuando se necesita un soporte y acercamiento a la realidad y me impulsa a ser mejor.

A Ruch, querido hermano que llenó mis días de alegría con su amabilidad y compañía eterna tan invaluable como exquisita. Este trabajo es un tributo a tí Juan Francisco, por el gran esfuerzo y dedicación que consagraste a tu carrera... por la que entregaste tu vida entera.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar quiero agradecer a Sandra Bessudo y Germán Soler por todo el apoyo brindado al permitirme conformar el equipo de investigadores del IV y V crucero de expedición científica de la Fundación Malpelo y Otros Ecosistemas Marinos, con el apoyo del proyecto UNESCO Seascape, proyecto CI (Walmart Family Foundation) y proyecto Marine Management Area Science (Gordon and Betty Moore Foundation). A Graham Edgar de la Fundación Charles Darwin de Galápagos, cuya presencia durante el VI crucero fue esencial al instruirme en la identificación de las especies en campo.

De manera muy especial quiero agradecer a Juan José Alvarado, quien a la distancia demostró una gran amabilidad y paciencia. Por su completo compromiso y constantes asesorías, comentarios, revisiones y rayones que hicieron posible darle una mejor calidad a este proyecto de grado. Gracias a ti Juan José.

A mi padre por su valioso apoyo y ayuda para concretar la pasantía en México. País donde conocí a Francisco Solís a quien agradezco sinceramente por su asistencia a nivel taxonómico y en otros conocimientos importantes en el Laboratorio de Biología Molecular de Equinodermos del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología (ICML) de la Universidad Autónoma de México. También agradezco a Alicia Durán González y a Juan Torres Vega del ICML por su soporte bibliográfico y ayuda en la identificación de especies durante la pasantía que tanto me ha sido benéfica. Gracias a Cynthia Ahearn del Museo de Historia Natural del Instituto Smithsonian, Washington D. C. por facilitar los listados del referencia de la colección del equinodermos del museo.

A Jaime Cantera y Raúl Neira al brindarme su ayuda y experiencia en la Universidad del Valle, proporcionándome literatura e información crucial sobre el phylum. A Gordon Hendler por participar en la identificación de un asteroideo y a Cleveland

Hickman Jr. quien amablemente me envió la Guía de Campo sobre estrellas de mar y otros equinodermos de Galápagos que ha sido de tanta utilidad.

Gracias a Adolfo San Juan por su asistencia en el campo de la ecología estadística... se te extrañará profe! A Aminta Jáuregui y demás profesores de la Universidad Jorge Tadeo Lozano por su patrocinio al conocimiento y enfoque de este proyecto durante los primeros pasos.

Finalmente agradezco a Sergio Balaguera por su contribución activa en conocimiento y al promoverme para seguir adelante. A los amigos fraternos por sus simples palabras de apoyo: a mi querido Pachito, Lanita, Tortugas, Lud y Gil. A Fer, Cata, Mauricio y Zárrate por los aportes a la traducción del resumen; a Tomi por ayudarme con las fotos; a Milena Benavides por su reciente soporte en el INVEMAR y a todas aquellas personas que colaboraron de alguna u otra forma durante el proceso para que este documento sea llevado a cabo de la mejor manera posible.

GRACIAS ...

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	1
2. MARCO TEÓRICO.....	5
3. ESTADO DEL ARTE.....	10
3.1 PACÍFICO ORIENTAL TROPICAL (POT).....	10
3.2 PACÍFICO COLOMBIANO.....	11
3.3 SFF MALPELO.....	13
4. PROBLEMA DE INVESTIGACION	15
5. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	15
6. HIPÓTESIS.....	16
7. METODOLOGÍA	17
7.1 ÁREA DE ESTUDIO	17
7.2 FASE DE CAMPO	22
7.2.1 Transectos horizontales.....	22
7.2.2 Transectos verticales.....	23
7.3 FASE DE GABINETE	24
7.3.1 Parámetros del hábitat.....	25
7.3.2 Estructura y composición de la asociación de equinodermos del SFF Malpelo .	25
7.3.3 Densidad del erizo negro <i>Diadema mexicanum</i>	28
7.3.4 Distribución batimétrica (vertical) en El Arrecife	29
8. RESULTADOS.....	30
8.1 PARÁMETROS DEL HÁBITAT	30
8.2 ESTRUCTURA Y COMPOSICIÓN DE LOS EQUINODERMOS DEL SFF MALPELO.....	36
8.2.1 Composición taxonómica.....	36

8.2.2 Riqueza (número de especies).....	38
8.2.3 Densidad.....	40
8.3 ANÁLISIS DE SIMILITUD	47
8.3.1 Parámetros del hábitat del SFF: Caso 1	48
8.2.2 Densidad de todos los equinodermos del SFF: Caso 2	50
8.3.3 Densidad de equinodermos del SFF excluyendo <i>D. mexicanum</i> : Caso 3	53
8.4 INDICE DE FLUCTUACIÓN DE DUBOIS	55
8.5 PRUEBA DE CORRELACIÓN MÚLTIPLE BIOENV	55
8.6 DENSIDAD DEL ERIZO NEGRO <i>Diadema mexicanum</i>	56
8.7 DISTRIBUCIÓN BATIMÉTRICA EN EL ARRECIFE.....	58
9. DISCUSIÓN	63
9.1 PARÁMETROS DEL HÁBITAT	63
9.2 COMPOSICIÓN E INVENTARIO DE EQUINODERMOS.....	65
9.2.1 Nuevos registros.....	73
9.2.2 Dificultades taxonómicas	75
9.3 RIQUEZA (Número de especies).....	76
9.4 DISTRIBUCIÓN.....	78
9.5 DENSIDAD	81
9.5.1 Dinámica y función de los equinodermos en la comunidad arrecifal del SFF Malpelo	81
9.5.2 Comparación temporal.....	86
9.5.3 Comparación espacial	87
9.5.4 Comparación batimétrica	88
9.6 DISTRIBUCIÓN BATIMÉTRICA EN EL ARRECIFE.....	89
10. CONCLUSIONES	91
11. RECOMENDACIONES.....	93
12. BIBLIOGRAFÍA	95
13. ANEXOS	106

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Parámetros del hábitat en los 36 transectos en las estaciones de muestreo en el SFF Malpelo en diciembre 2006 y marzo 2007. Prof: profundidad; T prof: Temperatura a profundidad; Coberturas arenosa (Are), coralina (Cor) y algal (Alg); Corr: Intensidad de la corriente; Trans: transparencia del agua; Vien: proveniencia del viento.....	34
Tabla 2. Intensidad de la corriente y transparencia del agua en las diferentes estaciones por mes de muestreo en el SFF Malpelo.	36
Tabla 3. Composición de equinodermos del SFF Malpelo, con su respectiva clasificación taxonómica (Deichmann, 1938; Rowe, 1969; Pawson, 1970; Clark, 1982; Caso, 1983; Clark y Downey, 1992 y Hendler <i>et al.</i> , 1995) y observaciones de avistamiento. AS: Asteroidea; OP: Ophiuroidea; EC: Echinoidea; HO: Holothuroidea; *: Presentes fuera de las estaciones comunes para ambos meses; °: Presentes fuera de los transectos; prof: de profundidad; MO: Bajo del Monstruo; AN: Bajo del Ancla; AR: Arrecife; FA: Pared del Fantasma; D: diciembre; M: marzo.....	37
Tabla 4. Número de individuos y densidad (ind/m ²) según el mes de muestreo, por estación y profundidad (m) en el SFF Malpelo en diciembre 2006 y marzo 2007. AR: Arrecife; FA: La Pared del Fantasma; NAN: La Pared del Náufrago Norte; BNE: La Bahía de la Nevera; NE: La Nevera; FR: Freezer. 8, 14 y 20 simbolizan la profundidad de muestreo.....	42
Tabla 5. Densidad promedio (ind/m ²) y desviación estandar de las especies de equinodermos por mes muestreado en la Isla Malpelo.....	43
Tabla 6. Densidad (ind/m ²) promedio y desviación estándar de las especies de equinodermos en cada estación según el mes de muestreo en el SFF Malpelo.....	45

Tabla 7. Densidades (ind/m ²) promedio de las especies en cada profundidad según el mes de muestreo (D: diciembre 2006, M: marzo 2007) y profundidad (8, 14, 20 m) en el SFF Malpelo.	47
Tabla 8. Resultados de la prueba ANOVA y del test de múltiples rangos de Duncan entre profundidades y entre estaciones para las poblaciones de <i>D. mexicanum</i> en los sitios de muestreo en el SFF Malpelo para diciembre 2006 y marzo 2007. AR: Arrecife, BNE: Bahía de la Nevera; FA: Pared del Fantasma; NE: Nevera; FR: Freezer.	57
Tabla 9. Densidad (ind/m ²) promedio de cada especie de equinodermos por rango de profundidad y porcentaje de cobertura de los diferentes tipos de sustratos presentes en el Arrecife del SFF Malpelo.....	59
Tabla 10. Inventario de equinodermos del Santuario de Fauna y Flora Malpelo, con datos sobre profundidad (I: intermareal, S: superficie), distribución (a nivel nacional: M: especies que sólo se encuentran en Malpelo, PC: Pacífico colombiano; a nivel del POT: G: Galápagos, C: Isla del Coco, PON: Pacífico oriental norte, POC: Pacífico oriental central, POS: Pacífico oriental sur; PO: todo el Pacífico oriental; IP: Indo-pacífico; A: Atlántico), número de colección y referencias (1. Colección de la California Academy of Science; 2. Colección del National Museum of Natural History, Smithsonian Institution, Washington D. C. (USNM); 3. Colección del Museo de Historia Natural Marina de Colombia (INV-EQU); 4. Birkeland <i>et al.</i> 1975; 5. Downey, 1975; 6. Maluf, 1988; 7. von Prahl, 1990; 8. Maluf, 1991; 9. Brando <i>et al.</i> , 1992; 10. Hickman, 1998; 11. Arboleda, 2002; 12. Neira y Cantera, 2005; 13. Observaciones personales diciembre 2006 y marzo 2007); ••: Nuevos registros para el Pacífico colombiano; • Nuevos registros para el SFF Malpelo; n.d.: información no disponible para el Pacífico.....	67
Tabla 11. Total de especies de equinodermos de acuerdo al nivel y grupo taxonómico, en el SFF Malpelo.....	73

ÍNDICE DE FIGURAS

- Figura 1.** Mapa del Pacífico Oriental Tropical (POT), destacándose las islas más importantes del Corredor Marino POT y las provincias que lo conforman. Imagen modificada de Garrison, 2005..... 3
- Figura 2.** Representantes de las cinco clases actuales de equinodermos. A: Crinoideo pedunculado; B: Crinoideo no pedunculado; C: Asteroideo; D: Ofiuroideo adherido a un gorgonáceo. E: Equinoideo regular; F: Equinoideo irregular; G: Holoturoideo. Imágenes modificadas de Brusca y Brusca, 1990; Ruppert y Barnes, 1995; Birkeland, 1988. 8
- Figura 3.** Mapa del SFF Malpelo con sus sitios de buceo. Círculos indicando la ubicación de las 13 estaciones; negro: estaciones muestreadas en ambos meses, rojo: estaciones muestreadas en un solo mes (no replicables). Imagen modificada de Fundación Malpelo y Otros Ecosistemas Marinos, 2006..... 18
- Figura 4.** Corrientes superficiales del Pacífico Oriental Tropical que afectan al SFF Malpelo. Imagen modificada de Brando *et al.*, 1992..... 20
- Figura 5.** Perfil esquemático idealizado de la zonación ecológica coralina en El Arrecife de la Isla Malpelo. Costroc: Algas incrustantes. Pcap: *Pocillopora capitata*. Pav-Por: *Pavona clavus* y *Porites lobata*. Gpla: *Gardinoseris planulata*. Imagen modificada de Díaz *et al.*, 2000..... 21
- Figura 6.** Temperatura profunda (Tprof) promedio y desviación estandar, en diciembre 2006 (D) y marzo 2007 (M) del SFF Malpelo 31
- Figura 7.** Porcentaje promedio de la cobertura arenosa (Are), coralina (Cor) y algal (Alg) en el SFF Malpelo durante el muestreo. 32

Figura 8. Porcentaje promedio de ambos muestreos de la cobertura arenosa, coralina y algal en las diferentes estaciones en el SFF Malpelo.	32
Figura 9. Porcentaje promedio de ambos muestreos de la cobertura arenosa, coralina y algal en las diferentes profundidades en el SFF Malpelo.	33
Figura 10. Proveniencia del viento en cada estación de muestreo en el SFF Malpelo en diciembre 2006 (flechas negras) y marzo 2007 (flechas blancas). AR: Arrecife; FA: Pared del Fantasma; NAN: Pared del Náufrago Norte; BNE: Bahía de la Nevera; NE: Nevera; FR: Freezer. Imagen modificada de Fundación Malpelo y Otros Ecosistemas Marinos, 2005..	35
Figura 11. Distribución porcentual de los órdenes en los que se distribuyen las diferentes especies, según la clase taxonómica en ambos meses en el SFF Malpelo.	38
Figura 12. Riqueza de especies por clase de equinodermos del SFF Malpelo, en cada mes de muestreo.	39
Figura 13. Riqueza de especies por clase en cada estación en el SFF Malpelo. D: diciembre 2006; M: marzo 2007; AR: Arrecife; FA: La Pared del Fantasma; NAN: La Pared del Náufrago Norte; BNE: La Bahía de la Nevera; NE: La Nevera; FR: Freezer.	39
Figura 14. Riqueza de especies por clase en cada profundidad (8, 14 y 20 m) en diciembre 2006 (D) y marzo 2007 (M) en el SFF Malpelo.	40
Figura 15. Densidad promedio (ind/m ²) de las especies de menor densidad por mes en Malpelo.	43

Figura 16. Densidades totales de equinodermos de cada estación por mes de muestreo en el SFF Malpelo. AR = Arrecife; FA = Pared del Fantasma; NAN = Pared del Náufrago Norte; BNE = Bahía de la Nevera; NE = Nevera; FR = Freezer.	44
Figura 17. Densidades promedio total de equinodermos de cada profundidad (8, 14, 20 m) por mes en el SFF Malpelo (D: diciembre 2006 y M: marzo 2007).	46
Figura 18. Dendrograma de los parámetros del hábitat en el SFF Malpelo empleando el agrupamiento simple. D: diciembre 2006, M: marzo 2007. AR: Arrecife, FA: Pared del Fantasma, NAN: Pared del Náufrago Norte, BNE: Bahía de la Nevera, NE: Nevera, FR: Freezer, 8, 14 y 20 corresponde a la profundidad de muestreo.....	49
Figura 19. Dendrograma de las densidades medias de <i>Diadema mexicanum</i> en el SFF Malpelo empleando el agrupamiento simple. D: diciembre 2006, M: marzo 2007. AR: Arrecife, FA: Pared del Fantasma, NAN: Pared del Náufrago Norte, BNE: Bahía de la Nevera, NE: Nevera, FR: Freezer, 8, 14 y 20 corresponde a la profundidad de muestreo..	52
Figura 20. Dendrograma de la composición de equinodermos, excluyendo a <i>Diadema mexicanum</i> en el SFF Malpelo, empleando el agrupamiento simple, D: diciembre 2006, M: marzo 2007, AR: Arrecife, FA: Pared del Fantasma, NAN: Pared del Náufrago Norte, BNE: Bahía de la Nevera, NE: Nevera, FR: Freezer, 8, 14 y 20 corresponde a la profundidad de muestreo.....	54
Figura 21. Índice de fluctuación de Dubois para la densidad de equinodermos y para los parámetros del hábitat, según las estaciones de muestreo, en el SSF Malpelo. 1: Arrecife; 2: Pared del Fantasma; 3: Pared del Náufrago Norte; 4: Bahía de la Nevera; 5: Nevera; 6: Freezer.....	55

Figura 22. Draftsman plot de los parámetros del hábitat de los transectos horizontales en el SFF Malpelo para diciembre 2006 y marzo 2007.....	56
Figura 23. Perfil vertical idealizado de la distribución batimétrica y densidad promedio (ind/m ² de equinodermos en el Arrecife en el SFF Malpelo en diciembre 2006 y marzo 2007. SS: sector somero; SM: sector medio; SP: sector profundo.	61
Figura 24. Dendrograma de similaridad de la distribución vertical por A. densidades de equinodermos y B. porcentaje de cobertura de coral, peñas, cantos y arena en el Arrecife del SFF Malpelo empleando el agrupamiento simple.....	62
Figura 25. Número y porcentaje de especies de equinodermos de acuerdo a su rango batimétrico en el SFF Malpelo.....	66
Figura 26. Ecorregiones establecidas por el INVEMAR para el estudio del litoral pacífico. Imagen modificada de Invemar, 2000.....	77

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A: NUEVOS REGISTROS PARA EL SFF MALPELO	106
Nuevos registros para el Pacífico colombiano	106
<i>Amphiaster insignis</i> Verrill, 1868	106
<i>Acanthaster planci</i> (Linnaeus, 1758)	107
<i>Pharia unifascialis</i> (Gray, 1840)	108
<i>Ophiactis simplex</i> (Le Conte, 1851).....	109
<i>Centrostephanus coronatus</i> (Verrill, 1867)	110
<i>Hesperocidaris asteriscus</i> H.L. Clark, 1948	110
<i>Toxopneustes roseus</i> (A.Agassiz, 1863)	111
<i>Brissus obessus</i> Verrill, 1867	112
<i>Holothuria</i> (<i>Mertensiothuria</i>) <i>fuscocinerea</i> Jaeger, 1833.....	113
<i>Holothuria</i> (<i>Halodeima</i>) <i>kefersteini</i> Selenka, 1867	113
<i>Isostichopus horrens</i> Selenka, 1867.....	114
ANEXO B. ESPECIE ENDÉMICA	115
<i>Narcissia gracilis malpeloensis</i> Downey, 1975.....	115
ANEXO C. ESPECIES DE IDENTIFICACIÓN DIFÍCIL EN CAMPO	116
Morfotipo Ophidiasteridae 1	116
Morfotipo Ophidiasteridae 2	116
<i>Ophiothela</i> cf. <i>mirabilis</i> Verrill, 1867	117

RESÚMEN

En diciembre 2006 y marzo 2007 se llevó a cabo el IV y V Crucero de Investigación Científica de la Fundación Malpelo y otros Ecosistemas Marinos con el apoyo del proyecto UNF-UNESCO-CI expedición Seascape con la finalidad de determinar la composición de la fauna de equinodermos del Santuario de Fauna y Flora (SFF) Malpelo. Esto, de manera temporal, espacial y batimétrica y relacionándolo con algunos parámetros del hábitat. Se empleó la metodología estándar de Edgar *et al.* (2004), con la cual se encontraron un total de 26 especies, de las cuales 10 constituyen nuevos registros para el SFF, siendo además *Amphiaster insignis*, *Brissus obessus*, *Holothuria kefersteini* e *Isostichopus horrens* nuevos para el Pacífico colombiano. Adicionalmente se estableció el inventario de equinodermos de la isla conformado por 84 especies (54 % entre 200 y 5000 m de profundidad) con ningún representante de la clase Crinoidea, que la convierte en la localidad con mayor riqueza del Pacífico colombiano, en cuanto a equinodermos se trata. De esta manera, se amplía el conocimiento del phylum Echinodermata del SFF Malpelo en un 68 %.

La clase Echinoidea fue la más abundante mientras que la Ophiuroidea presentó la menor cantidad de registros. A nivel de especies *Diadema mexicanum* fue la más dominante temporal, espacial y batimétricamente y *Acanthaster planci*, *Nidorellia armata* e *Isostichopus horrens* fueron las menos abundantes. Es posible que *D. mexicanum* esté desempeñando un rol importante en la comunidad regulando la cobertura algal y coralina, sumado a su potencialidad como agente bioerodador.

Con más del 40 %, la cobertura algal fue la predominante en todos los transectos, seguido por la coralina y finalmente la arenosa. Se determinó que las variables temperatura a profundidad y cobertura algal, son las que mejor explican la asociación de equinodermos del SFF con un valor de correlación $\rho_w = 0.345$. De esta manera, las mayores riquezas y abundancias se presentaron en marzo con 13 especies, una densidad total de equinodermos de 3.303 ind/m² y promedio total de 0.220 ± 0.792 ind/m². Durante este mes se observó una mayor temperatura superficial, a profundidad y menor transparencia del agua,

significativamente diferentes a las de diciembre ($W = 18$, $p = 3.6e^{-7}$; $W = 0$, $p = 1.8e^{-7}$; $W = 256.5$, $p = 5e^{-4}$, respectivamente).

Se determinó que la cobertura de roca fue la variable que mejor explicó la distribución batimétrica de los equinodermos en El Arrecife de Malpelo ($\rho_w = 0.584$). Así, existe una mayor densidad de individuos hacia el sector somero (0 – 10 m) que presenta entre el 51 y 92 % de roca, y una menor densidad hacia el sector profundo (20 – 30 m) con 44 a 53 % de cobertura arenosa. Entre 10 y 25 m de profundidad el coral cubre la zona entre el 41 y 64 % y se resalta un incremento en la riqueza de especies probablemente dado por una mayor complejidad del hábitat que cumple con los requerimientos necesarios para soportar la heterogeneidad de hábitos alimentarios y ofrece gran variedad de refugios para protegerse de depredadores.

Se recomienda realizar un estudio más amplio, con una metodología que contemple organismos nocturnos y abarque la mayor cantidad posible de estaciones alrededor de la isla. Así mismo, se enfatiza en la importancia de ejecutar colectas para sustentar la correcta identificación de los ejemplares que presentaron dificultades.

Palabras claves: Equinodermos, riqueza de especies, nuevo registro, algas incrustantes, distribución batimétrica.

ABSTRACT

In December 2006 and March 2007, the IVth and Vth Scientific Research Cruises of the Malpelo Foundation and other Marine Ecosystems supported by the UNF-UNESCO-CI Project Seascape expedition were performed to determine the composition of the Malpelo Fauna and Flora Sanctuary (SFF) echinoderm fauna temporary, spatially and bathymetrically and relating some habitat parameters. A total of 26 species were recorded using the standard methodology of Edgar *et al.* (2004), 10 species constitutes new registries for the SFF, being *Amphiaster insignis*, *Brissus obessus*, *Holothuria kefersteini* and *Isostichopus horrens* new reports for the Colombian Pacific. Additionally, the inventory of echinoderms was made giving as a result a total of 84 species (52 % between 200 – 5000 m of depth) with no representative of the Crinoidea class. This turns the island into the richest locality of the Colombia Pacific in echinoderm fauna. Thus, the knowledge of the phylum Echinodermata was enhanced in 68 %.

The class Echinoidea was the most abundant while Ophiuroidea presented the less richness. *Diadema mexicanum* was the most dominant species temporary, spatially and bathymetrically and *Acanthaster planci*, *Nidorellia armata* and *Isostichopus horrens* were the less abundant species. It is possible that *D. mexicanum* is performing an important role within the community by regulating the algal and coralline cover and by its potential as a bio-eroding agent.

With more than 40 %, the algal cover was the most predominant in all transects, followed by coralline cover and finally by sandy one. The variable depth temperature and cover percentage of algae are those that better explain the structure of the echinoderm association of the SFF with a correlation value $\rho_w = 0.345$. There for, the greatest richness and abundance were found in March with 13 species and a echinoderm density total of 3.303 ind/m² and a total average of 0.220 ± 0.792 ind/m². During this month a grate surface temperature, depth temperature and a lower water transparency were significantly different

than those from December ($W = 18$, $p = 3.6e^{-7}$; $W = 0$, $p = 1.8e^{-7}$; $W = 256.5$, $p = 5e^{-4}$, respectively).

The rock cover was the most influential variable over the echinoderm bathymetric distribution in El Arrecife of Malpelo. Thus a greater density of individual exists towards the shallow zone (0 – 10 m) with 51 and 92 % of rock and a smaller density toward the deep zone (20 – 30 m) with 44 to 53 % of sandy cover. Between 10 and 25 m of depth the coral covers the zone between 41 and 64 %. It is notorious an increase in the richness probably due to a complexity of the habitat that fulfills the requirements to support the heterogeneity of feeding habits and to offers variety of refuges to protect itself against predators.

A wide study with a methodology that contemplates nocturnal organisms and includes a greater amount of station around island is recommended. Also, the important of making collects to sustain the correct identification of individuals that present difficulties it is emphasize.

Key words: Echinoderms, species richness, new registries, crustose algae, bathymetric distribution.



1. INTRODUCCIÓN

El phylum Echinodermata, del griego *echinus* que significa espinas y *dermos* piel, alberga organismos cuya característica más llamativa es la presencia de osículos calcáreos y espinas, que le confieren al individuo un aspecto rugoso o espinoso (Ruppert y Barnes, 1995). Constituyen el grupo más grande dentro de los invertebrados deuterostomados con alrededor de 7000 especies cuyos representantes se distribuyen en cinco clases: Crinoidea (lirios de mar), Asteroidea (estrellas de mar), Ophiuroidea (ofiuros o estrellas quebradizas), Echinoidea (erizos de mar) y Holothuroidea (pepinos de mar). Baker *et al.* (1986 En: Solís-Marín y Laguarda-Figueras, 1997) incluyeron una sexta clase, la Concentricycloidea con dos especies, que se caracterizan por ser organismos pequeños (2-9 mm) y discoidales que fueron encontrados adheridos a maderos hundidos a unos 1000 m de profundidad en Nueva Zelanda (Ruppert y Barnes, 1995). Sin embargo, se ha comprobado mediante estudios filogenéticos que conforman una infraclase dentro de los asteroideos (Mah, 2007).

La importancia biológica de los equinodermos está representada por el impacto generado al alimentarse en variados niveles tróficos que repercuten sobre la densidad, distribución y estructura de la comunidad arrecifal (Birkeland, 1988). A nivel ecológico, este phylum contribuye en el aumento de la producción de los océanos estableciéndose que constituyen casi el 90 % de la biomasa bentónica de aguas profundas (Birkeland, 1988; Brusca y Brusca, 1990). También se les ha valorado comercialmente como objeto de estudio en la investigación médica para el tratamiento contra el cáncer, control bacteriano y “antifouling” (Petzelt, 2006), así como dentro del campo de la extracción pesquera con fines deportivos, ornamentales y especialmente en el caso de holoturoideos y equinoideos para el consumo humano en países asiáticos y europeos. Cabe notar que, alrededor de todo el mundo existen aproximadamente 43 especies de pepinos que actualmente se encuentran en peligro a causa de la sobre-explotación pesquera, convirtiéndolos en uno de los grupos de invertebrados más amenazados (Toral-Granda, 2006).





Desde hace aproximadamente quince años el desarrollo del inventario biológico del país ha venido tomando especial auge debido a la creación del Ministerio del Medio Ambiente y por el fortalecimiento de institutos como el Alexander von Humboldt, INVEMAR y John Neuman (Steer *et al.*, 1997; Asociación colombiana de Herbarios *et al.*, 1999 En: Arboleda, 2002). El hecho que la mayoría de los estudios colombianos sobre la biodiversidad de flora y fauna se desarrollan en el ámbito terrestre, da un indicador acerca de la escasez de información y formulación de proyectos sobre el conocimiento actual de los ecosistemas marinos y dulceacuícolas. Así mismo, en los últimos años se ha dedicado un mayor esfuerzo en el Mar Caribe (Arias, 1998 En: Arboleda, 2002) y los pocos trabajos de biodiversidad realizados en el Pacífico colombiano han tenido, por lo general un enfoque dirigido hacia especies de importancia comercial como peces, crustáceos y moluscos o emblemáticos como corales.

De forma similar ocurre en el Santuario de Fauna y Flora (SFF) Malpelo, donde las investigaciones realizadas desde 1998 por la Unidad Administrativa Especial del Sistema de Parques Nacionales Naturales (UAESPNN) con el apoyo de la Armada Nacional y de la Fundación Malpelo y otros Ecosistemas Marinos, presentan un interés enfocado hacia los vertebrados marinos y corales. Esto evidencia una escasez de conocimiento e información concerniente a otros grupos de invertebrados, entre ellos al Echinodermata, que enmarca a la isla como una de las localidades nacionales con menor estudio en cuanto a la composición y biodiversidad del phylum. Siendo que es reconocida mundialmente por su riqueza biológica, existen sólo cuatro investigaciones (Arboleda, 2002) y por consiguiente carece de un inventario completo de equinodermos, de manera que se precisa conocer cuales especies y cuantos individuos habitan la isla, así como donde y cómo se encuentran distribuidos.

Por otra parte, Malpelo integra el Corredor Marino del Pacífico Oriental Tropical (CMPOT - el cual cubre un área de 211 millones de hectáreas) y en conjunto con las islas Gorgona, Coiba, Coco y Galápagos comparte un complejo sistema de corrientes marinas responsables del flujo de larvas planctónicas entre islas del POT (Fig. 1) y del Indo-pacífico,





que refleja un importante valor biogeográfico de la isla, actuando a manera de puente en el intercambio biológico entre ambos lados del Pacífico (Lessios *et al.*, 1998).



Figura 1. Mapa del Pacífico Oriental Tropical (POT), destacándose las islas más importantes del Corredor Marino POT y las provincias que lo conforman. Imagen modificada de Garrison, 2005.

Pese a esto y siendo que la isla constituye el único Patrimonio Natural de la Humanidad que posee Colombia en el océano Pacífico, existen algunas deficiencias en el cumplimiento de la Convención de la Diversidad Biológica, que establece la conservación





de la biodiversidad, la utilización sostenible de sus componentes y la participación justa y equitativa en los beneficios que se deriven de la utilización de los recursos genéticos (Steer *et al.*, 1997). Esto, es indispensable considerando que el santuario, fue declarado Patrimonio Natural de la Humanidad por la UNESCO en julio 2006 (Fundación Malpelo y otros Ecosistemas Marinos, 2006), donde el estudio del recurso marino y de su biodiversidad fortalecería además, su valor como refugio y lugar de reproducción de especies de interés comercial y biológico, así como el conocimiento de la dinámica de la fauna de equinodermos de Malpelo y del CMPOT.

Finalmente, es necesaria una reorganización y sistematización de la poca información existente, pues en el caso de los listados taxonómicos, se encuentran dispersos en diferentes fuentes bibliográficas o en colecciones biológicas que no han sido catalogadas o identificadas. En el caso de estas últimas, se hace inminente la actualización y organización en bases de datos a partir de las cuales se podría divulgar no sólo datos biológicos y de avistamiento de las especies sino también guías de identificación taxonómica que tanto urgen en el Pacífico colombiano.

Bajo el marco del IV y V Crucero de Investigación Científica de la Fundación Malpelo y otros Ecosistemas con el apoyo del Proyecto UNF-UNESCO-CI expedición Seascope realizada en diciembre 2006 y marzo 2007, el presente proyecto tiene como objetivo determinar de manera integral la estructura de la asociación de equinodermos someros, estableciendo su composición, riqueza de especies, densidad y distribución, además de brindar información ambiental sobre las características relevantes del hábitat del SFF Malpelo. Dicho estudio servirá como documento base para posteriores investigaciones que ayuden a la consolidación de planes de manejo que aseguren una correcta conservación de las especies.





2. MARCO TEÓRICO

Actualmente, dentro del phylum Echinodermata existen al menos unas 7000 especies y 13000 más fosilizadas que datan desde el Cámbrico. Los equinodermos ya eran conocidos por los griegos hace aproximadamente 4000 años evidenciándose la fascinación por este grupo en los frescos de las cavernas de Creta (Brusca y Brusca, 1990). Se distribuyen en cinco clases: Crinoidea con 700 especies alberga organismos comúnmente conocidos como lirios de mar siendo el grupo con menor riqueza; a los representantes de Asteroidea se les conoce como estrellas de mar y suman aproximadamente 1800; Ophiuroidea (ofiuros) presenta la mayor riqueza con 2000; Echinoidea contiene a los erizos regulares e irregulares (galletas de mar) con 900; y finalmente Holothuroidea o pepinos de mar con 1200 especies (Ruppert y Barnes, 1995).

El origen de los equinodermos probablemente tuvo lugar en el Precámbrico durante la invasión a hábitats epibentónicos por parte de un ancestro deuterostomado que se enterraba en el sustrato. En el Cámbrico se diversificaron rápidamente y se establecieron las principales formas corporales; pero no fue sino hasta el Paleozóico temprano que presentaron su máxima radiación para así conformar los cinco taxones principales que se conocen en la actualidad (Brusca y Brusca, 1990).

Fue Aristóteles quien describió por primera vez al erizo comestible *Echinus esculentus* haciendo énfasis en su aparato masticador que ahora se conoce como “linterna de Aristóteles” y agrupó junto a otros animales a las estrellas y erizos bajo el conjunto de Anaima dentro de los Ostrakoderma. Más tarde, Carl von Linné agrupó a los invertebrados en la clase Vermes en donde los equinodermos eran representantes de Mollusca junto con nudibranchios, poliquetos, celenterados, ctenóforos y priapulidos. No fue sino hasta 1791 donde Brugière los reconoció como un grupo distinto y Miller en 1821 los separa formalmente como phylum (Solís-Marín y Laguarda-Figueras, 1997).

Debido a la elevada cantidad de fósiles y diversidad de formas corporales, se ha venido presentando desde 1950, una gran controversia en la clasificación de los





equinodermos a tal punto que algunos esquemas reconocen hasta 25 clases. Sin embargo gracias a la implementación de nuevas técnicas en el campo de la embriología Paul y Smith en 1984 establecieron la clasificación filogenética más aceptada, la cual esta basada en diversos caracteres fundamentales en la evolución del grupo (Solís-Marín y Laguarda-Figueras, 1997). De esta manera se sugiere que se dividen en dos clados monofiléticos, el subphylum Pelmatozoa que, dentro de los grupos actuales, alberga a los crinoideos y el Eleutherozoa con las demás clases (Brusca y Brusca, 1990).

Los equinodermos son organismos deuterostomados (Hendler *et al.*, 1995) cuya característica más llamativa es la derivación secundaria de la simetría pentarradial a partir de una simetría bilateral ancestral; la primera de estas alude a una división corporal en cinco partes dispuestas alrededor de un eje central en sentido oral-aboral. Un sistema ambulacral derivado de la sección izquierda del celoma tripartito, es el carácter más exclusivo del grupo y está conformado por una serie de canales celómicos y apéndices superficiales de origen muscular, encargados de la locomoción (Ruppert y Barnes, 1995).

En cuanto a la fisiología del grupo, son cinco las características más relevantes que se enumeran a continuación. (1) Por lo general el intestino está presente, aunque también puede estar incompleto o ausente; (2) No exhiben órganos excretores; (3) Cuando están presentes, las estructuras circulatorias conforman un sistema hemal derivado de las cavidades celómicas; (4) El sistema nervioso es difuso, descentralizado y esta conformado por una red nerviosa que se extiende radialmente a partir de un anillo central; y (5) Mayormente son organismos gonocóricos con desarrollo directo o indirecto (Brusca y Brusca, 1990).

Este phylum fue nombrado por Bather (1900, En: Lawrence, 1987) como uno de los más atractivos y distintivos del reino animal por presentar gran variedad de tamaños, hábitos y formas corporales. Respecto a la primera particularidad pueden encontrarse equinodermos que oscilan desde pequeños pepinos y ofiuros con tallas inferiores a 1 cm, hasta estrellas de más de 1 m de diámetro y pepinos que alcanzan los 2 m de largo. También tienen una gran complejidad respecto a sus hábitos alimenticios, pues los hay filtradores, suspensívoros, herbívoros, detritívoros, depredadores y comensales.





En cuanto a sus formas corporales, existen ciertas diferencias de acuerdo a la clase taxonómica (Fig. 2). Los crinoideos poseen un cuerpo central con cinco o más brazos en forma de pluma; pueden presentar un pedúnculo en cuyo caso viven adheridos a un sustrato, o poseer cirros que les permite adherirse a una superficie cuando sea necesario. Los asteroideos y ofiuroideos también pueden tener de cinco a más brazos que irradian de un disco central. Los brazos de los ofiuroideos son articulados y serpenteados y en algunas especies pueden ser ramificados. El cuerpo de los equinoideos está equipado con espinas móviles de diferentes longitudes; se diferencia la forma esférica de la testa en los equinoideos regulares y una forma aplanada u ovalada en los irregulares. Finalmente los holoturoideos presentan un cuerpo fusiforme cuya boca está rodeada por un anillo con tentáculos (Hendler *et al.*, 1995; Ruppert y Barnes, 1995).

La mayoría de los representantes de este phylum son formas de vida estrictamente marinas, aunque pueden encontrarse algunas especies en lagunas costeras salobres y manglares. La colonización del hábitat terrestre no se ha llevado a cabo, debido a la falta de estructuras osmoreguladoras y excretoras así como por la vía cutánea del intercambio gaseoso. Se distribuyen ampliamente en los ecosistemas bentónicos de todos los mares del mundo, exepctuando un pepino pelágico y otro comensal del pez pescador de profundidad (*Cerantias hölbolli* Kroyer, 1844). Habitan desde la zona intermareal hasta grandes profundidades donde incluso pueden llegar a constituir el 90 % de la biomasa (Brusca y Brusca, 1990).

En cuanto a la importancia ecológica del phylum, los representantes de este grupo son invertebrados conspicuos de arrecifes coralinos, en donde el cambio de las densidades de ciertas especies puede tener efectos a largo plazo sobre la estructura de la comunidad arrecifal (Birkeland, 1988; Hendler, 1995). Birkeland (1988) señala algunos de dichos efectos: De encontrarse en abundancia, los crinoideos, pueden presentar una influencia directa sobre el plancton, que es su principal fuente alimenticia, lo cual genera como consecuencia un desajuste en la comunidad bentónica e íctica generado por la depredación. En altas densidades, los asteroideos coralívoros, reducen la cobertura de las superficies coralinas vivas. Slides (1985 En: Birkeland, 1988) demostró que, en vista que los





ofiuroideos se presentan en grandes densidades, algunos alteran las dimensiones de las grietas en los corales, resuspendiendo arena a tal grado que varía la distribución de otras especies. Por otra parte, los equinoideos se encargan de la bioerosión de los arrecifes, dejando grietas que contribuyen a la complejidad topográfica del mismo. Finalmente, los holoturoideos afectan la comunidad meiofaunal al alimentarse incidentalmente de larvas depositadas en la arena, así como contribuyen a la sedimentación de los fondos arrecifales.

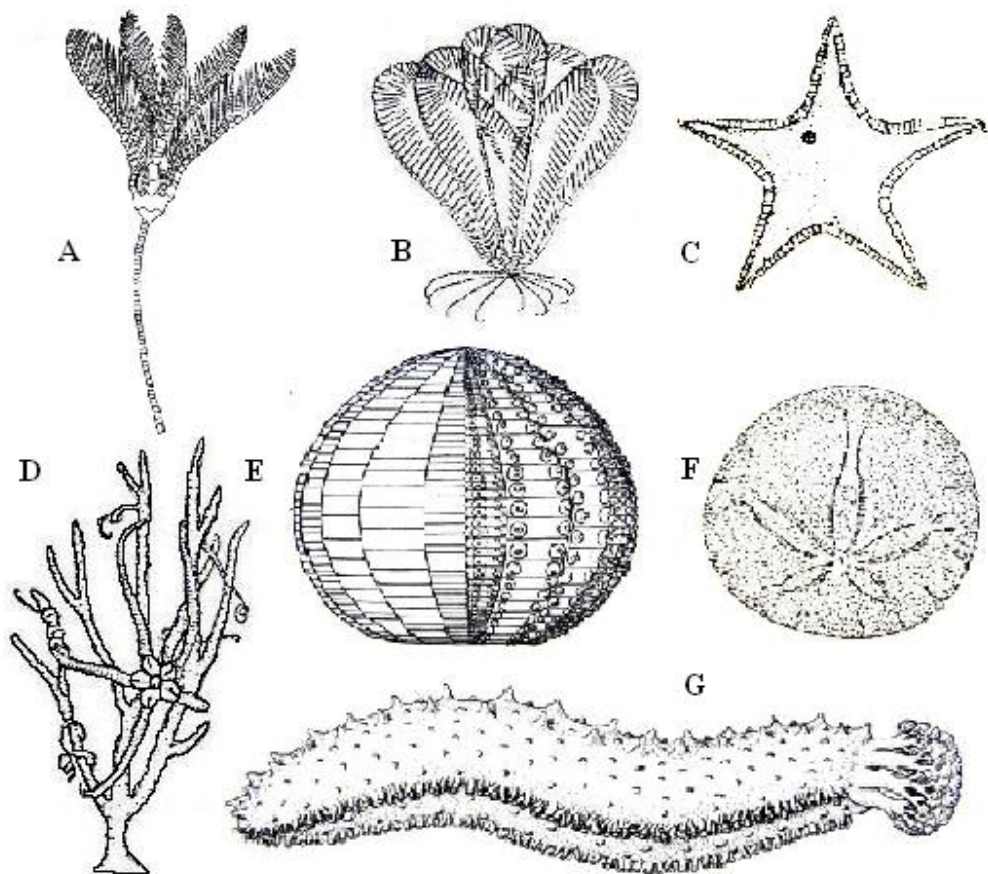


Figura 2. Representantes de las cinco clases actuales de equinodermos. A: Crinoideo pedunculado; B: Crinoideo no pedunculado; C: Asteroideo; D: Ofiuroideo adherido a un gorgonáceo. E: Equinoideo regular; F: Equinoideo irregular; G: Holoturoideo. Imágenes modificadas de Brusca y Brusca, 1990; Ruppert y Barnes, 1995; Birkeland, 1988.





Así mismo, el hecho de poseer una gran variedad de hábitos alimentarios muestra su vital importancia en la red trófica de todos los mares del planeta, pues integran un eslabón importante ubicándose dentro del bentos oceánico. Según Birkeland (1988), algunos holoturoideos tropicales que se alimentan de depósitos contribuyen al reciclaje de sedimentos y al cambio en el tamaño de las partículas ingeridas por acción mecánica (fraccionamiento) o química (disolución). También, proporcionan y transportan en sus heces, el material orgánico rico en nutrientes necesario para la producción en vastas zonas marinas. A nivel de variables que influyen sobre la densidad y distribución de los equinodermos, Birkeland (1988) indica una tendencia a la disminución de esta conforme la profundidad aumenta, dado a las bajas temperaturas de aguas profundas y a la disminución de sustrato algal para alimentarse.





3. ESTADO DEL ARTE

3.1 PACÍFICO ORIENTAL TROPICAL (POT)

Los equinodermos conforman uno de los phylum de invertebrados marinos mejor conocidos y estudiados en el mundo (Hendler *et al.*, 1995). Sin embargo hasta hace poco se le ha venido dedicando un mayor esfuerzo investigativo en el POT, aunque aún sea reducido. Esta región se extiende desde el sur de California hasta Perú, y alberga las islas Guadalupe, Tres Marías, el archipiélago Revillagigedo (México), Clipperton (Francia), Coco (Costa Rica), Malpelo, Gorgona (Colombia) y el archipiélago de Galápagos (Ecuador).

Las primeras publicaciones sobre equinodermos del POT, las llevó a cabo A. Verrill desde 1867 hasta 1871, quien realizó numerosas descripciones y listados de especies de aguas someras e intersticiales (Maluf, 1988). Las primeras expediciones de aguas profundas fueron realizadas en el barco de investigación “Challenger” (1873-1876) que incluyeron estaciones alrededor del archipiélago de Galápagos y el golfo de Panamá. Posteriormente, la Comisión Pesquera de EE.UU. realizó en 1891, una expedición en el buque “Albatross” liderada por Agassiz (1892), donde se investigaron las profundidades de las aguas entre California y Perú. Para mediados del siglo XX, una serie de cruceros realizados por la Sociedad Zoológica de New York (SZNY), liderados por William Beebe resultaron en publicaciones tanto de equinodermos de aguas someras como profundas desde el norte de Baja California hasta Panamá. Deichmann (1938) publicó un listado sistemático de los holoturoideos de Baja California, Centroamérica y Galápagos colectados en el Pacífico oriental que estuvieron organizados por la SZNY a través de las expediciones Arcturus (1925) y Zaca (1937-38). Para 1943, Fraser realizó un compilado sobre la historia de la exploración, descripción de zonas de muestreo, mapas e información de los cruceros “Velero III” (1931-1941) de la Fundación Allan Hancock que concentró





especies de hábitats rocosos y constituyeron las expediciones más importantes pues describen una cantidad significativa de especies para el POT. Deichmann (1958) divulgó la información sobre holoturoideos obtenida desde 1932 a 1954 durante las expediciones Velero III y IV.

En México, Caso (1976, 1978a, 1978b, 1980, 1983, 1987) realizó un trabajo exhaustivo sobre la taxonomía y distribución de los equinodermos del Pacífico mexicano con nuevos reportes e información sobre este grupo en el área. Maluf (1988), realizó una revisión completa y detallada sobre los reportes publicados y sin publicar para el POT así como información sobre la distribución y hábitat del phylum. Sin embargo, pese a que actualmente existen listados sistemáticos de equinodermos de Galápagos (Maluf, 1991), Coco (Alvarado, en prensa), Panamá (Lessios, 2005) y del Pacífico mexicano (Solís-Marín *et al.*, 2005), aún se desconoce la biodiversidad para otras regiones de igual importancia en el POT.

3.2 PACÍFICO COLOMBIANO

El enfoque de las investigaciones en el Pacífico colombiano se ha centrado principalmente en peces y corales, debido a la escasez de especialistas en equinodermos que repercute en la insuficiencia de estudios dedicados al phylum. Dentro de los primeros trabajos se encuentra el de Neira y von Prael (1986) quienes agregaron a un listado de nueve especies, 11 nuevos registros para la isla Gorgona, ampliándose considerablemente el listado conocido. Ríos (1986 *En*: Pardo-Angel y Neira, 1990) identificó dos especies de ofiuroides que utilizan el coral como hábitat y recurso alimenticio. Cantera y Neira (1987) en la isla Gorgona, colectaron por primera vez un molusco parásito del equinoideo *Centrostephanus coronatus*. En el mismo año Cantera *et al.*, identificaron la asociación del ofiuero *Ophiothela mirabilis* con el octocoral *Lophogorgia alba* (actualmente *Leptogorgia alba*). Pardo-Angel *et al.*, (1988) registraron la presencia en el Pacífico colombiano de 70 especies que fueron encontradas en diferentes hábitats, desempeñando un papel fundamental en la ecología bentónica. En el mismo año, Neira y Cantera reconocieron 17





especies de equinodermos en Bahía Málaga: seis asteroideos, dos equinoideos, ocho ofiuroides y un holoturoideo, de los cuales seis fueron nuevos registros.

Posteriormente, Pardo-Ángel y Neira (1990) publicaron un trabajo sistemático de cuatro ofiuros y cuatro equinoideos, donde se presentó la descripción, notas ecológicas y distribución de los organismos. Neira *et al.*, (1992) informaron la presencia de 15 especies de equinodermos en el Parque Nacional Natural (PNN) Ensenada de Utría (5 asteroideos, 5 equinoideos y 5 ofiuroides) y una corta descripción de dos nuevos registros para el Pacífico colombiano (*Mithrodia bradleyi* y *Encope ecuadorensis*); la mayoría de estos estuvieron asociados principalmente a sustrato rocoso. Por otro lado, Schoppe y Werding (1996) estudiaron el efecto de la actividad excavadora de *Echinometra vanbrunti* y observaron al porcelanido *Clastoechus gorgonensis* y al pez *Acyrtus rubiginosus* habitando las cavidades ocupadas por erizos, encontrando así protección frente a depredadores.

Así mismo, se encuentran revisiones como la de Arboleda (2002) quien presentó un documento sobre el estado actual de la riqueza de peces y algunos invertebrados del Pacífico colombiano, donde resaltó un total de 118 especies de equinodermos sin considerar a los crinoideos. Toro-Farmer *et al.* (2004) publicaron los resultados de un estudio sobre patrones de distribución y la tasa de bioerosión del erizo *Centrostephanus coronatus* en Playa Blanca (isla Gorgona), donde si bien se presentaron en bajas densidades, debido a la acción conjunta con otros organismos bioerodadores y factores adversos, causaron un desbalance en el proceso de acreción y destrucción del arrecife.

Más recientemente, Neira y Cantera (2005) en una revisión de información publicada, de literatura gris sobre la taxonomía y ecología de los equinodermos e investigaciones de campo, encontraron 66 especies en aguas someras de 10 localidades en diferentes sustratos, siendo los equinoideos y asteroideos los más diversos y abundantes en fondos rocosos. Finalmente, Ortiz (2006) trabajando con base a material depositado en el Museo de Historia Natural Marina de Colombia (MHNMC) y en la Colección Nacional de Equinodermos “Dra. Ma. E. Caso Muñoz” de México, estudió el cambio espicular de algunos holoturoideos tanto del Caribe como del Pacífico colombiano.





3.3 SFF MALPELO

Las investigaciones acerca de equinodermos que se han llevado a cabo en el SFF Malpelo son muy escasas y se han centrado en listados taxonómicos. Dentro de las primeras resalta la expedición biológica llevada a cabo por el Instituto Smithsonian de Washington en 1972, donde Downey (1975) informó la presencia de seis especies de asteroideos (*Nidorellia armata*, *Leiaster callipeplus*, *Mithrodia bradleyi*, *Asteropsis carinifera*, *Narcissia gracilis malpeloensis* y *Tamaria stria*, siendo *N. g. malpeloensis* nueva subespecie y *T. stria* especie nueva para la ciencia). Así mismo, Birkeland *et al.* (1975) mencionaron la presencia de cinco ofiuroideos (*Astrodyctum panamense*, *Ophiocoma aethips*, *O. alexandri*, *Ophiactis savigni* y *Ophiothela mirabilis*) y cuatro equinoideos (*Diadema mexicanum*, *Eucidaris thouarsii*, *Tripneustes depressus* y *Echinometra* sp.).

Iniciando con un periodo en el que el interés por el conocimiento de las especies de Malpelo generaba la realización de constantes y renovados inventarios biológicos, von Prahl (1990), informó 17 equinodermos, Brando *et al.* (1992) aumentaron el inventario a 18 y la Comisión Colombiana de Oceanografía (CCO) (1996) informó 19, siendo la mayoría estrellas y erizos de mar. Maluf (1991) mencionó 50 especies para Malpelo, de las cuales ocho son endémicas y el 62 % es compartido con el archipiélago de Galápagos. Más recientemente, Arboleda (2002) publicó un listado de 27 especies para Malpelo, donde los holoturoideos *Holothuria hilla* y *Stichopus badiotus* son compartidos únicamente con la isla Gorgona.

Así mismo, en el Plan de Manejo Territorial 2005-2009 del SFF Malpelo (cortesía Fundación Malpelo) se presentó un listado de 111 especies de equinodermos (sin contar a los crinoideos) de aguas profundas (hasta 4000 m) que han sido informados desde el año 1975. Sin embargo se realizó una revisión de dicha lista y el total real fue 79, debido a la cantidad de sinonimias y a fuentes no oficiales de informe. En el 2005, Neira y Cantera confirmaron la presencia de 20 equinodermos en aguas someras de los cuales ocho son asteroideos, cinco ofiuroideos, cinco equinoideos y dos holoturoideos.





La poca información sobre biodiversidad de equinodermos del SFF Malpelo se encuentra dispersa en diferentes fuentes bibliográficas. Se estima que para la fecha existen alrededor de 50 especies considerando principalmente el listado de Maluf (1991) dado su impacto científico y por ser el más completo.





4. PROBLEMA DE INVESTIGACION

La presente investigación tiene como propósito describir, mediante un estudio de campo durante diciembre 2006 y marzo 2007 y una revisión bibliográfica, la estructura de la fauna de equinodermos del Santuario de Fauna y Flora Malpelo, así como la relación de las especies con su entorno.

5. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Comprobar si existe alguna variación temporal, espacial y/o batimétrica en la composición, número de especies (riqueza), distribución y comportamiento de los parámetros del hábitat (porcentaje de coberturas y temperatura a profundidad).
- Evaluar la influencia que ejercen algunos parámetros medioambientales del hábitat sobre la estructura de la fauna de equinodermos y la distribución espacial y batimétrica de las diferentes especies.
- Determinar el posible patrón de distribución, según el perfil batimétrico de las especies de equinodermos presentes en la estación El Arrecife.
- Generar un listado sistemático actualizado de la composición de equinodermos del SFF Malpelo por rango batimétrico.





6. HIPÓTESIS

- La composición, riqueza de especies, distribución y densidad de la fauna de equinodermos variará según el mes de muestreo, estación e isóbata, presentando esta última variable una tendencia a disminuir a medida que aumenta la profundidad.
- Existe una relación estadística entre los parámetros del hábitat (tales como tipo de sustrato y temperatura a profundidad) y la composición, riqueza, distribución y densidad de las especies de equinodermos del SFF Malpelo.
- El perfil de distribución batimétrico y densidad de las especies de la estación El Arrecife, estará influenciado por los diferentes tipos de sustrato estudiados como coralino, arenoso, rocoso y de cantos rodados.
- El inventario biológico resultante del presente documento, mostrará una variación en la composición de especies debido a la zona batimétrica.





7. METODOLOGÍA

7.1 ÁREA DE ESTUDIO

El SFF Malpelo se encuentra ubicado entre la latitud 3°51'07" N y longitud 81°35'40" O (Fig. 3), a 490 km al occidente del puerto de Buenaventura en el Pacífico colombiano. La isla, es la única que emerge de la dorsal de Malpelo, una cordillera submarina de origen volcánico que se extiende en dirección noreste-suroeste con 150 millas de largo y 50 de ancho (Graham, 1975). Se erige desde profundidades abisales de 4000 m logrando su mayor altura a 360 msnm. Tiene una extensión de 3,5 km² de área terrestre y 651 km² de área marina (Fundación Malpelo y otros Ecosistemas Marinos, 2006), aunque mediante sondeos por debajo de superficie marina, se estima que es hasta 10 veces mayor (Stead, 1975). Por esta razón, en el 2005 se amplió el área protegida de 651 km² a 8574 km² (Fundación Malpelo y otros Ecosistemas Marinos, 2006).

Por ser una isla oceánica, separada de Centro y Suramérica por profundidades mayores a 3000 m, Malpelo presenta salinidades relativamente constantes entre 32 y 33, aunque eventualmente puede llegar a 30. La temperatura superficial del mar varía entre 26 y 28°C, pero por debajo de los 30 m puede ser inferior a 20°C. Esta isla presenta una constante exposición a la acción de las olas, lo cual genera frecuentes derrumbes, dañando principalmente a la comunidad coralina (Díaz *et al.*, 2000).

La mayor parte del tiempo, el SFF está cubierto por una densa bruma pues se localiza en la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT), donde confluyen los vientos alisios del hemisferio norte con los del sur. Por esta razón, la isla está fuertemente influenciada por los patrones de corrientes que surcan la zona (Fig. 4). La Corriente Ecuatorial del Norte (CCEN) que se origina en el Pacífico central, es la más importante, manifestando una mayor intensidad entre los meses de mayo a diciembre. De enero a abril se hace presente la Corriente de Panamá que, al disminuir, fortalece el giro ciclónico de la Corriente de





Colombia, disminuyéndose notablemente la CCEN. Así mismo las precipitaciones frecuentes cesan considerablemente durante el periodo seco entre diciembre y marzo (Brando *et al.*, 1992).

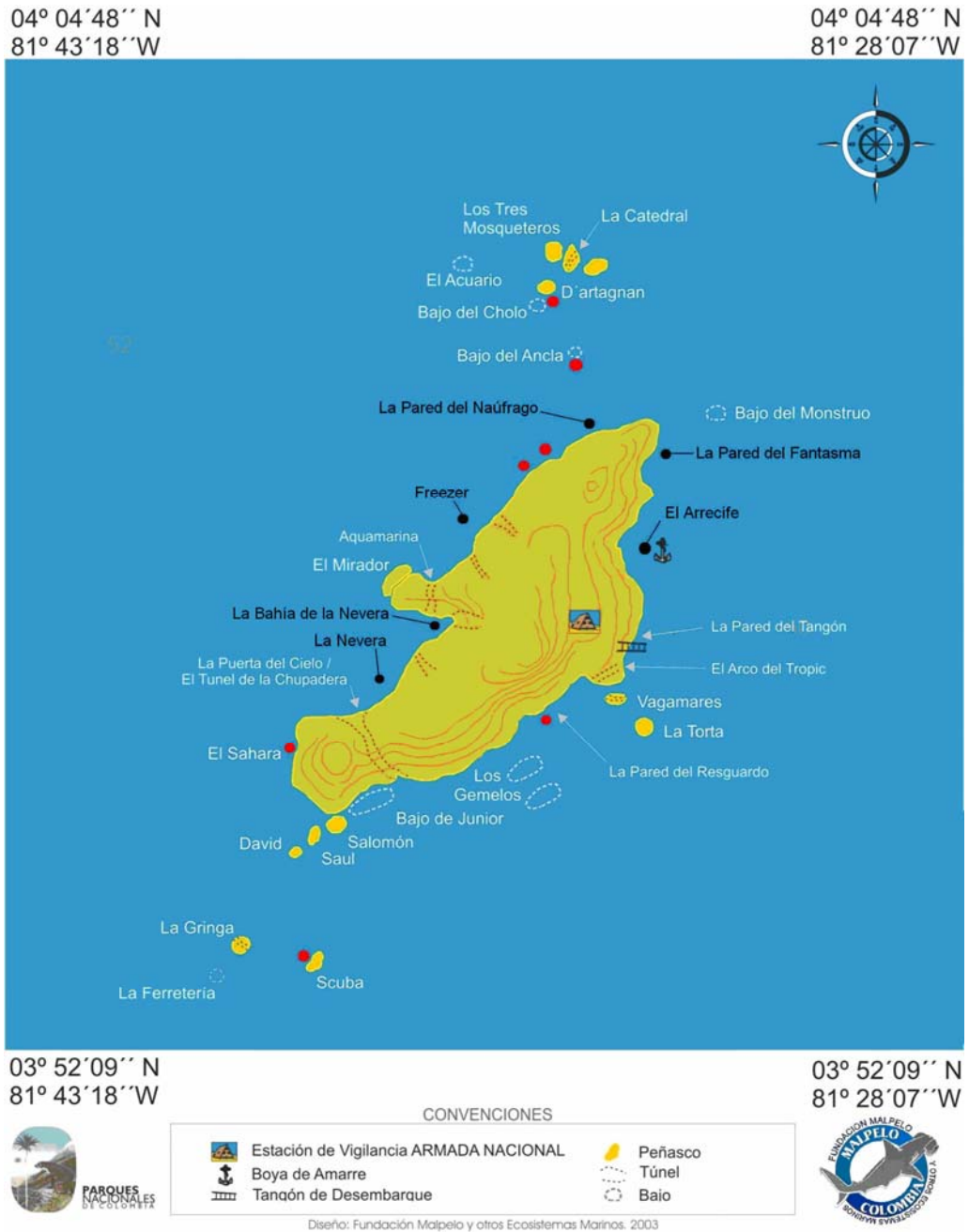


Figura 3. Mapa del SFF Malpelo con sus sitios de buceo. Círculos indicando la ubicación de las 13 estaciones; negro: estaciones muestreadas en ambos meses, rojo: estaciones muestreadas en un solo mes (no replicables). Imagen modificada de Fundación Malpelo y Otros Ecosistemas Marinos, 2006.





De la misma manera, por su localización geográfica dentro del Corredor Marino del Pacífico Oriental Tropical (CMPOT), Malpelo se convierte en un espacio natural totalmente interconectado con todo el océano Pacífico, donde por la influencia de diversas corrientes marinas, como la de Panamá, se propician sucesos como la migración de individuos y poblaciones de un hábitat a otro, la dispersión de larvas y flujos genéticos de una gran variedad de especies dentro del POT (Brando *et al.*, 1992). Estos mismos sucesos también se presentan en conectividad con el Indo-pacífico, en cuyo caso, la dispersión de larvas se da a través de la barrera marina más grande del mundo (5400 km de extensión) mediante la CCEN, donde gracias a eventos severos de El Niño, el tiempo de dispersión se reduce de un promedio de 108 días a sólo 66 (Lessios *et al.* 1998).



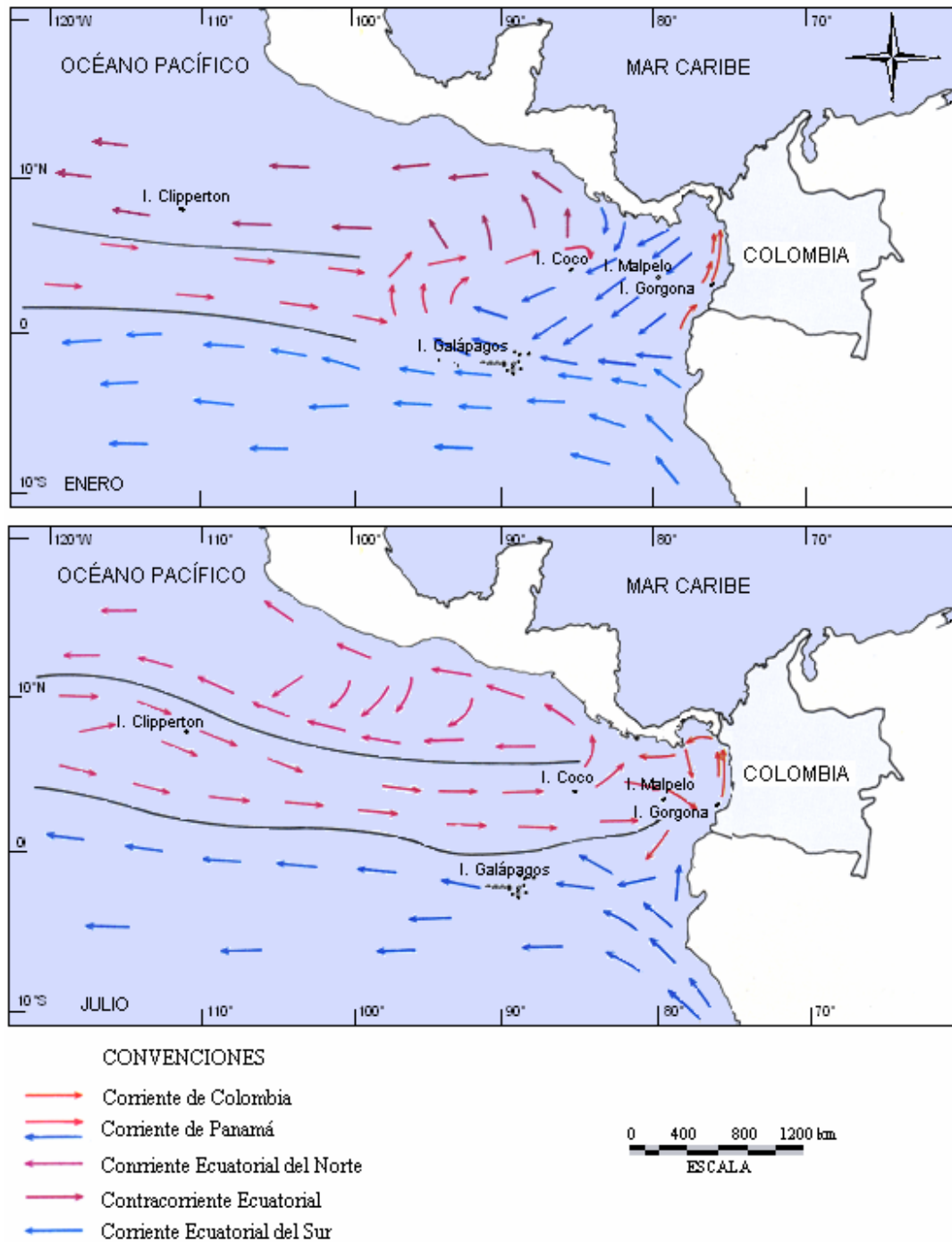


Figura 4. Corrientes superficiales del Pacífico Oriental Tropical que afectan al SFF Malpelo. Imagen modificada de Brando *et al.*, 1992.





El medio marino de la isla, se caracteriza por presentar acantilados escarpados y paredes verticales que descienden unos 90 m y se continúa con una plataforma que se extiende hasta los 126 m de profundidad. En la zona submareal de los acantilados rocosos es común encontrar organismos bioerodadores como erizos y estrellas de mar, hasta los 6 m. Estos últimos también se observan hasta aproximadamente 30 m (Brando *et al.*, 1992). La formación coralina más desarrollada se denomina El Arrecife y exhibe un claro patrón de zonación, definido por tres unidades ecológicas (Fig. 5). La primera de 9 – 12 m dominada por el coral *Pocillopora capitata*, la segunda de 14 – 18 m donde abundan los corales *Porites lobata* y *Pavona clavus* y finalmente de 18 – 27 m con *Gardinoseris planulata* (Díaz *et al.*, 2000).

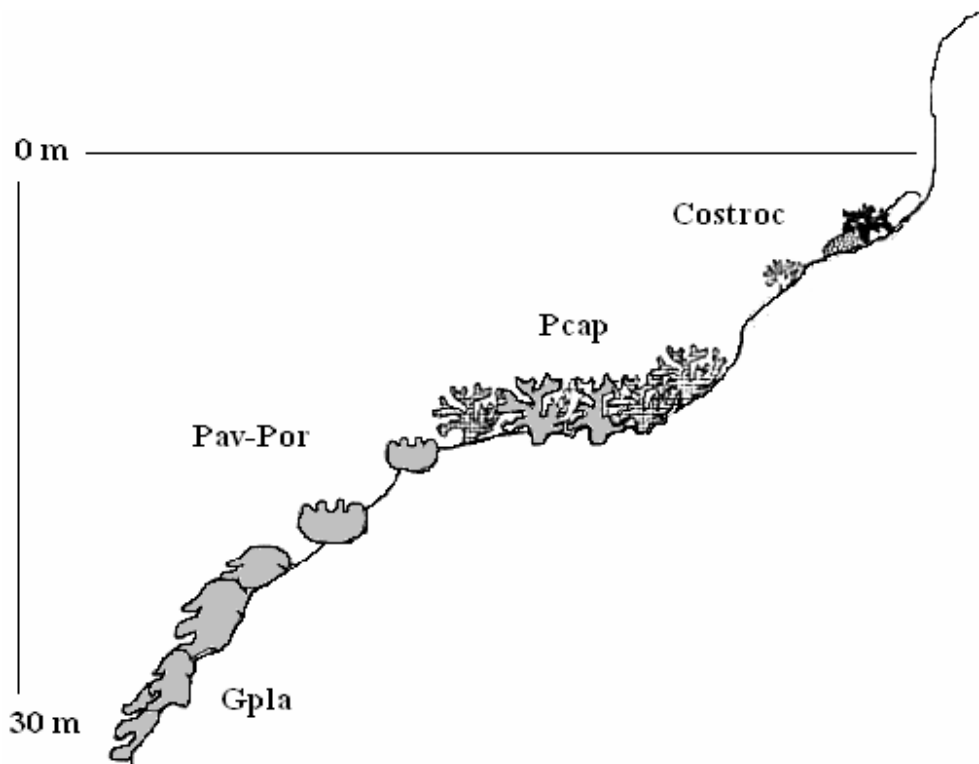


Figura 5. Perfil esquemático idealizado de la zonación ecológica coralina en El Arrecife de la Isla Malpelo. Costroc: Algas incrustantes. Pcap: *Pocillopora capitata*. Pav-Por: *Pavona clavus* y *Porites lobata*. Gpla: *Gardinoseris planulata*. Imagen modificada de Díaz *et al.*, 2000.



7.2 FASE DE CAMPO

El muestreo formó parte de un estudio regional para evaluar los ecosistemas marinos someros en las islas que conforman el CMPOT, aunque se mantuvo como una investigación independiente del mismo. Sin embargo, se empleó la metodología estándar de Edgar *et al.* (2004) aplicada para el CMPOT. Los muestreos se llevaron a cabo del 4 al 14 de diciembre de 2006 y del 5 al 15 de marzo de 2007.

7.2.1 Transectos horizontales

Se muestrearon en total 13 estaciones alrededor del SFF Malpelo (Fig. 3), de las que sólo seis pudieron replicarse en ambos meses, por lo que el análisis comparativo temporal, espacial y batimétrico se realizó únicamente con dichas seis, que se describen a continuación. En el Arrecife (AR) se observa una topografía suficientemente plana como para beneficiar el crecimiento de corales, por lo cual se encuentra la mayor formación coralina de la isla; las paredes verticales raramente exceden los 8 m de profundidad. En la Pared del Fantasma (FA) se observan relieves muy inclinados que descienden hasta aproximadamente 14 m a partir de donde la pendiente se suaviza para dar lugar a la segunda zona de coral importante. La Pared del Náufrago Norte (NAN) y el Freezer (FR) presentan un gran sector donde las paredes verticales exceden los 20 m de profundidad, en el FR existe una población notoria de octocorales. La Bahía de la Nevera (BNE) y la Nevera (NE) tienen una pequeña zona con corales, presenta pocas pendientes pronunciadas y una cantidad considerable de cantos rodados y peñas; en BNE se observó una pequeña área con octocorales.

En las seis estaciones de muestreo, mediante buceo SCUBA, se trazaron tres transectos, a 8, 14 y 20 m de profundidad, considerando la zonación ecológica coralina que predomina en la mayor parte de la isla. Cada uno tuvo una longitud de 50 m y se ubicó





paralelo a línea de costa de la isla, con un rango de observación por cada lado de 1 m para examinar un total de 100 m² de área por transecto. Así se obtuvieron 36 transectos (tres profundidades en cada una de las seis estaciones comunes, en dos meses de muestreo), donde se contabilizó la cantidad de individuos por especie, observando entre grietas y corales pero sin remover el sustrato. Los especímenes fueron fotografiados para una posterior identificación debido a que dentro del SFF Malpelo se prohíben las colectas.

A medida que se recorrió cada transecto, se realizó una descripción del hábitat tomando datos del tipo del sustrato medido en términos de porcentaje de cobertura arenosa (Are), coralina (Cor) y algal (Alg). Así mismo, se determinaron parámetros del hábitat al inicio de cada inmersión. La temperatura a profundidad se midió empleando un computador de buceo Aladin Prime. De manera cualitativa se midió la intensidad de la corriente que primó durante el recorrido por el transecto, estableciendo categorías como sin corriente, leve, media o fuerte. La proveniencia del viento se determinó mediante el movimiento de una bandera puesta en proa y una brújula que indicó la dirección del viento. Finalmente, para la determinación cualitativa de la transparencia del agua se establecieron categorías en donde si el buzo podía ver claramente a una distancia mayor a 30 m era excelente, buena entre 15 y 30 m, regular entre 5 y 15 m y mala menor a 5 m.

7.2.2 Transectos verticales

Para determinar un posible patrón de distribución batimétrica de los equinodermos se escogió la estación Arrecife (Fig. 3), debido a que presenta la formación coralina más importante de Malpelo además de un amplio arenal que proporcionan un hábitat heterogéneo adecuado para las cuatro clases de equinodermos. De esta manera se llevó a cabo un descenso hasta los 30 m de profundidad a partir de donde se extendió el flexómetro perpendicularmente a la línea de costa y siguiendo el relieve de la zona, hasta la superficie del mar. Estos transectos verticales tuvieron un área variable, dependiente de la topografía del lugar y fueron divididos en rangos batimétricos cada 5 m. Así, se obtuvieron seis rangos: 30-25 m, 25-20 m, 20-15 m, 15-10 m, 10-5 m y 5-0 m, en los cuales se realizó el





mismo procedimiento que en los transectos paralelos a la costa, con la diferencia del tipo de sustrato, el cual se categorizó en cuatro grupos: corales, roca, cantos rodados y arena. Para ello, se modificó la descripción de Végas-Vélez (1980) según el tamaño de las partículas que se indica a continuación.

- Roca firme o macizos rocosos: amplias extensiones inmóviles. Dentro de esta categoría también se incluyó a las peñas, que son rocas partidas en grandes pedazos difícilmente movibles por la acción del oleaje.
- Cantos rodados: partículas desde 64 a 256 mm.
- Arena: partículas desde 0.02 a 2 mm. Se incluyó también a las gravas con un tamaño entre 2 a 64 mm.

Cabe notar que la roca firme, cantos rodados y gravas de mayor tamaño, estuvieron mayormente colonizadas por algas incrustantes y en menor proporción por esponjas, corales blandos, cirripedios, entre otros. Sólo en raras ocasiones se encontraron rocas descubiertas las cuales se observaron hacia la parte más somera. Por cuestiones logísticas y de seguridad personal sólo fue posible extender tales transectos en dos ocasiones de diciembre y en tres de marzo.

7.3 FASE DE GABINETE

Debido a que la colecta de especímenes en Malpelo no fue permitida, la identificación se realizó en campo con la asesoría de un experto y se tomaron fotografías de cada especie para su posterior confirmación con taxónomos, en el laboratorio de la Universidad del Valle, en el Museo de Historia Natural Marina de Colombia (MHNMC) del INVEMAR, en el laboratorio de Sistemática Molecular de Equinodermos del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) y adicionalmente, algunas fotografías fueron enviadas al Smithsonian Institution de Washington D.C.





7.3.1 Parámetros del hábitat

Se tabularon los datos de los parámetros del hábitat en una matriz, empleando el programa Microsoft Excel 2003. Debido a que factores como: intensidad de la corriente (Corr), proveniencia del viento (Vien) y transparencia del agua (Trans) son datos cualitativos, fueron empleados únicamente para la descripción del hábitat, mientras que las variables cuantitativas: temperatura a profundidad y porcentajes de cobertura arenosa, coralina y algal, se utilizaron para la comparación temporal, espacial y batimétrica.

Con el fin de establecer si existe una diferencia estadísticamente significativa en cuanto a los parámetros cuantitativos de manera temporal, se realizó la prueba no paramétrica de U-Mann-Whitney (Wilcoxon) con el programa Stat Graphics 5.0, dado que los datos no siguieron una distribución normal ni después de ser transformados. No fue posible establecer diferencias entre estaciones ni entre profundidades debido a la poca cantidad de datos.

7.3.2 Estructura y composición de la asociación de equinodermos del SFF Malpelo

Se elaboraron matrices, tablas y gráficas necesarias para la determinación de la composición taxonómica y riqueza de especies, así como para la comparación temporal, espacial y batimétrica de la fauna de equinodermos y de la población de *Diadema mexicanum* (especie notoriamente dominante), empleando el programa Microsoft Excel 2003. Con el fin de comparar las variaciones, se promediaron todos aquellos transectos que comparten entre sí el mes de muestreo, estaciones y profundidades.

Para el desarrollo del inventario biológico de los equinodermos de Malpelo, se corroboró la identificación de los ejemplares almacenados en el MHNMC, utilizando las guías y claves de Mortensen (1928, 1943, 1950), Deichmann (1938), Fell (1960), Rowe (1969), Pérez-Farfante (1959), Clark y Downey (1992), Hendler *et al.* (1995), Hickman (1998) y Lessios (2005).





Así mismo, se realizó una revisión bibliográfica (Colección de California Academy of Science; Colección del National Museum of Natural History, Smithsonian Institution, Washington D. C. –USNM-; Birkeland *et al.* 1975; Downey, 1975; Maluf, 1988; von Prah, 1990; Brando *et al.* 1992; Hickman, 1998; Arboleda, 2002 y Neira y Cantera, 2005) para establecer un listado de equinodermos de la isla, de consulta general, tanto de la zona somera como de profundidad.

7.3.2.1 *Análisis de Similitud*

Como primera medida de estadística inferencial, se determinó la similitud existente entre las densidades y entre los factores del hábitat (temperatura a profundidad, coberturas coralina, arena y algas) comparando los 36 transectos de la matriz de los mismos. Se emplearon técnicas multivariadas con el programa Primer 5.2.2, utilizando como herramienta el Análisis de Clasificación Cluster, como medida de similitud la de Bray-Curtis o distancia euclidiana y mediante el método de agrupamiento simple (por desconocer la estructura de los grupos).

Se realizó un dendrograma con las densidades de todos los equinodermos observándose que la gran cantidad del erizo negro *Diadema mexicanum* enmascara a las demás especies, razón por la cual, se hizo por separado un dendrograma con las densidades de todas las especies y otro excluyendo al erizo negro. Con el fin de establecer si cada uno de los dendrogramas arrojado son una representación fiel de los datos originales de cada matriz, se evaluó el índice de correlación cofenético a partir de la matriz de similaridad arrojada por Primer 5.2.2, donde sí el valor está entre 0.65 – 0.75, se confirma una fiel representación de los datos, por lo cual no cabe la necesidad de realizar ninguna transformación de los mismos, a excepción del caso 2 donde se empleó la función $\log(x+1)$ (Ramírez, 1999).

Para el establecimiento de los grupos generados en cada dendrograma, se consideró como grupo homogéneo a todo aquel que internamente, presentase un porcentaje de similitud superior a 50 % o inferior a 50 unidades de distancia (Ramírez, 1999).





7.3.2.2 Índice de estabilidad

El índice de fluctuación de Dubois, se realiza a partir de una modificación del índice de diversidad de Shannon-Wiener y permite cuantificar el grado de la estabilidad en las diferentes estaciones de muestreo de un conjunto de variables. Con esta herramienta, se busca determinar los cambios en la densidad de las poblaciones de equinodermos de Malpelo, como consecuencia de variaciones en las condiciones del hábitat e identificar el factor o factores que puedan ser responsables de dicho cambio (Guisande-González *et al.*, 2006).

El índice emplea la siguiente fórmula: $D = \sum_{i=1}^s p_i \log_2 \frac{p_i}{p_{im}}$,

Donde:

s = número de variables

p_i = proporción relativa de la variable i en una estación específica.

p_{im} = estado de referencia, que se calcula como la media de p_i para la variable i en la estación

En el caso de la variable densidad, en vista de la gran cantidad de ceros en las muestras, se le sumó una unidad a cada dato. Por otro lado, debido a que los factores expresan unidades diferentes se procedió con la estandarización de todos los datos a una escala de 0 a 1.

Se aplica la siguiente fórmula a cada valor: $VE = \frac{x - Min}{Max - Min}$,

Donde:

VE = valor estandarizado

x = cada uno de los valores por factor

Min y Max = valor mínimo y máximo de cada factor, respectivamente

7.3.2.3 Prueba de correlación múltiple BIOENV

Para determinar cuál es la combinación de parámetros del hábitat que mejor explique la estructura y composición de la fauna de equinodermos de Malpelo, se realizó la





prueba de correlación múltiple BIOENV, empleando el método de correlación armónica de Spearman (ρ_w) que oscila entre -1 y 1. Se partió de la premisa que si la serie de variables ambientales responsables de dicha estructura fuera conocida, entonces se espera que los transectos que tengan valores similares para estas variables, también tengan una composición específica similar. Por esta razón, una ordenación basada en la información del hábitat puede agrupar estaciones de la misma manera que lo haría con la biológica. Así, una o la combinación de varios parámetros ambientales determinará la estructura de la asociación del phylum (Clarke y Warwick, 2001).

Para asegurar que todos los parámetros del hábitat puedan o no estar influyendo en la estructura de la fauna de equinodermos, se corrió un Draftsman plot (con datos estandarizados a escala 0 a 1 para evitar la influencia de las diferentes unidades de medida), lo cual generó gráficas de dispersión para cada combinación posible de variables. No se incluyeron las variables cualitativas intensidad de la corriente, transparencia del agua, ni proveniencia del viento, dado que sus asignaciones numéricas están sujetas a subjetividad. De esta manera, se examinó si existe colinearidad entre todos los posibles pares de variables, dada por la distribución normal de cada una que se indica en el Draftsman plot por una tendencia hacia la linealidad de las relaciones. De existir sesgo en cualquiera de los ejes, se procede a transformar todos los datos con la función $\log_{10}(x+1)$ por la existencia de datos con valor cero. Si después de la transformación aún existen parejas de variables con coeficientes de correlación altos, se descarta una de las dos puesto que de introducirlas al análisis BIOENV, le resta potencialidad al arrojar resultados muy similares para ambas (Clarke y Warwick, 2001).

7.3.3 Densidad del erizo negro *Diadema mexicanum*

En vista de las altas densidades del erizo negro, se decidió realizar por aparte un breve estudio para determinar si existe una diferencia estadísticamente significativa en cuanto a la densidad de *D. mexicanum* de manera temporal, espacial y batimétrica. Para ello se empleó la información obtenida a partir del muestreo de la composición de





equinodermos y se seleccionó sólo los correspondientes a *D. mexicanum*. Dada la normalidad de los datos y la homogeneidad de varianzas, se escogieron las pruebas paramétricas t-Student ($k = 2$) para la comparación temporal y ANOVA ($k \geq 3$) para la espacial y batimétrica. De existir diferencias se procede a correr el test de múltiples rangos de Duncan para determinar de manera puntual dónde radican dichas discrepancias.

7.3.4 Distribución batimétrica (vertical) en El Arrecife

Con la finalidad de establecer la distribución batimétrica de los equinodermos de la estación El Arrecife, se empleó la información obtenida a partir de los transectos verticales. Para el caso de los porcentajes de coberturas se estableció, mediante la prueba no paramétrica Kruskal-Wallis ($k \geq 3$), la no existencia de diferencias significativas a nivel de sustrato coralino, peñas, cantos rodados y arenoso entre los transectos. Para los datos de densidades, se obtuvo que no existen diferencias significativas entre los rangos batimétricos empleando el mismo método, a excepción del rango 0-5 m, donde se usó U-Mann-Whitney ($k = 3$). De esta manera se tabuló una sola matriz con los promedios de las coberturas y abundancias y se procedió a la esquematización del perfil de El Arrecife.

Por otro lado, para determinar si existen similitudes entre rangos de profundidad tanto de la estructura comunitaria como por tipos de sustrato, se empleó el análisis de clasificación cluster en el programa Primer 5.2.2. Se utilizó como medida la similitud de Bray-Curtis para los datos biológicos y distancia euclidiana para los parámetros del hábitat. Además, se corrió un Draftsman Plot para descartar factores que se encuentren relacionados entre sí y así poder determinar mediante la prueba de correlación múltiple BIOENV, cual es el tipo de sustrato que más influye en la distribución vertical de los equinodermos de Malpelo.





8. RESULTADOS

Se muestrearon un total de 13 estaciones (Fig. 3) Arrecife (AR), Pared del Fantasma (FA), Bahía de la Nevera (BNE), la Nevera (NE), el Freezer (FR), Pared del Náufrago Norte (NAN), Náufrago Norte Central (NAC) y Sur (NAS), D'artagnan (DA), Bajo del Ancla (AN), Sahara (SH), Scuba (SC) y Pared del Resguardo (RE), de las cuales, las seis primeras son comunes para ambos meses. Las siete restantes no pudieron replicarse por cuestiones de seguridad personal a causa de condiciones meteorológicas adversas. Así, para efectos comparativos del estudio, el análisis estadístico se llevó a cabo únicamente en las estaciones comunes a ambos meses de muestreo.

8.1 PARÁMETROS DEL HÁBITAT

La tabla 1 muestra los factores medioambientales con sus respectivos promedios, desviación estándar y valores mínimo y máximo que se midieron en los 36 transectos muestreados. Se observó que la baja desviación estándar del factor temperatura profunda (T prof) de cada transecto, indica valores muy estables mientras que el porcentaje de cobertura arenosa, coralina y algal fluctúan considerablemente, registrándose para la tercera valores entre 13 y 96 % en marzo.

Respecto a las variables cuantitativas, la Tprof presentó diferencias significativas entre las medianas de los meses muestreados ($W = 0$; $p < 0.005$) presentando una tendencia a disminuir, pasando de un promedio de 27.96 ± 0.95 °C en diciembre a 24.33 ± 1.68 °C en marzo. La temperatura máxima de 30 °C, se observó en diciembre mientras que la mínima de 19°C en marzo (Fig. 6). Cabe resaltar que se midieron datos de temperatura a lo largo de periodos de inmersión registrándose valores entre 17 y 18 °C por debajo de los 24 m diferentes al promedio registrado, lo que podría indicar un indicio de termoclina. No se determinaron diferencias estadísticamente significativas entre las medianas de las tres





Así mismo, la cobertura algal fue la predominante en todas las estaciones (Fig. 8) presentando un porcentaje promedio máximo de $74.33 \pm 16.46 \%$ en la Nevera. El Arrecife fue la estación con menos algas ($41.33 \pm 26.05 \%$) y con mayor cobertura coralina ($31.67 \pm 26.58 \%$). La cobertura arenosa tuvo los valores más pequeños de porcentaje, siendo el Freezer el que presentó el menor valor promedio con el $2.33 \pm 3.01 \%$ (Fig. 8) (Tabla 1).

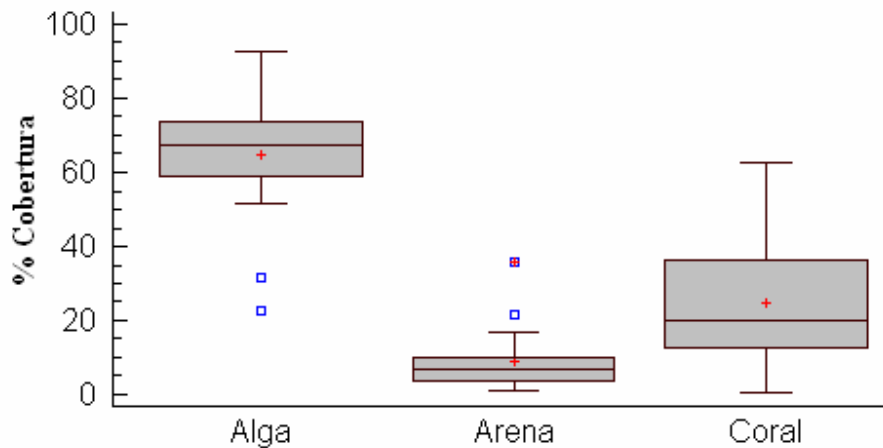


Figura 7. Porcentaje promedio de la cobertura arenosa (Are), coralina (Cor) y algal (Alg) en el SFF Malpelo durante el muestreo.

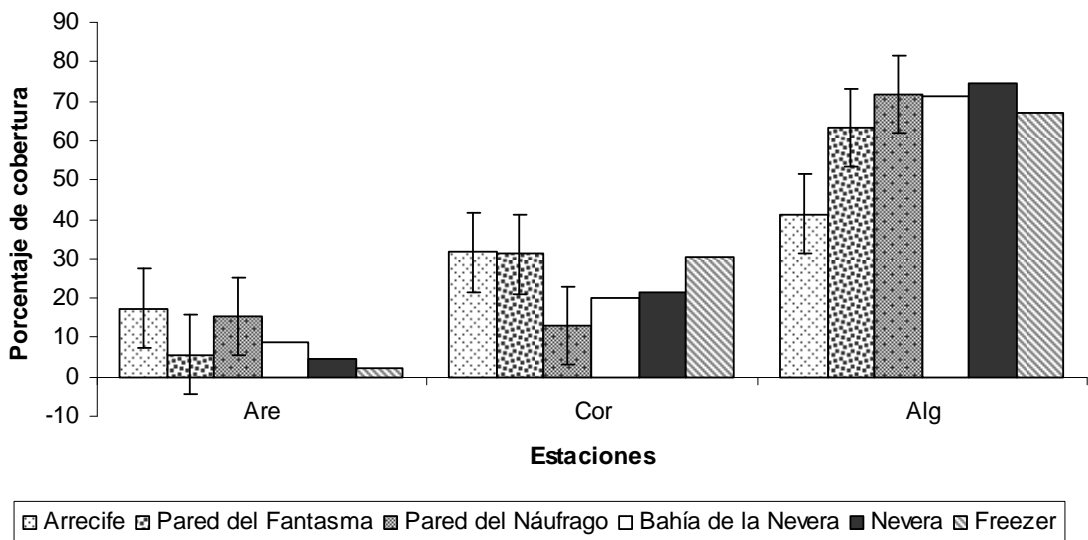


Figura 8. Porcentaje promedio de ambos muestreos de la cobertura arenosa, coralina y algal en las diferentes estaciones en el SFF Malpelo.





En las diferentes profundidades, se destacan tres aspectos: (1) la cobertura algal fue mayor a 8 m de profundidad. (2) A menores profundidades la cobertura coralina exhibe porcentajes mayores. (3) La cobertura arenosa presenta valores que aumentan con la profundidad (Fig. 9).

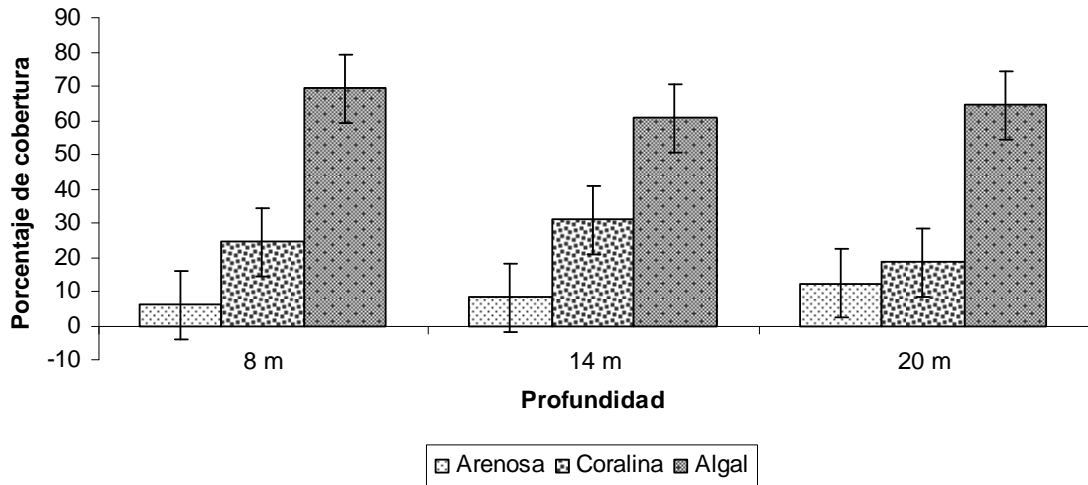


Figura 9. Porcentaje promedio de ambos muestreos de la cobertura arenosa, coralina y algal en las diferentes profundidades en el SFF Malpelo.

Los factores proveniencia del viento e intensidad de la corriente, son informativos en el sentido que ayudan a dilucidar ciertas características medioambientales de la isla Malpelo respecto a las dos temporadas climáticas: de mayo a diciembre influenciado por los vientos alisios del sur y por la Contracorriente Ecuatorial (CCE); y de enero a abril por los alisios del norte y la Corriente de Panamá que fortalece el giro ciclónico de la Corriente de Colombia (Brando *et al.*, 1992).

Se observó que existen variaciones en Vien. sobre cada estación de muestreo y entre los meses. En la figura 10, se indican las estaciones, cuyas flechas hacen referencia a la dirección de donde provino. Así, AR fue una estación protegida en ambos meses, FA protegida en diciembre y expuesta en marzo; NAN, FR, BNE y NE protegidas en marzo y parcialmente expuestas en diciembre puesto que la dirección del viento fluyó de manera paralela a la línea de costa.



Insectos en las estaciones de muestreo en el SFF Malpelo en diciembre 2006 y marzo 2007. Prof: profundidad; T prof: Temperatura a profundidad; Coberturas arenosa (Are), coralina (Cor) y algal (Alg); Corr: Intensidad de la corriente; Trans: transparencia del agua; Vien: proveniencia del viento.

C)	Diciembre 2006						Marzo 2007						Promedio de ambos meses				
	Are (%)	Cor (%)	Alg (%)	Corr	Trans	Vien	Tprof (°C)	Are (%)	Cor (%)	Alg (%)	Corr	Trans	Vien	Are (%)	Cor (%)	Alg (%)	
± 0.57)	5	20	75	Leve	Buena	Norte	24		15	20	65	Media	Mala	Norte	17.33 ± 26.17	31.67 ± 26.58	41.33 ± 26.05
	5	45	50	Sin corriente	Excelente	Norte	24	(22.33 ± 2.89)	7	80	13	Sin corriente	Regular	Norte			
	2	10	30	Leve	Excelente	Sin viento	19		70	15	15	Sin corriente	Buena	Norte			
± 1.33)	5	45	50	Media	Excelente	Norte	25		5	19	76	Sin corriente	Buena	Sureste	5.67 ± 3.33	31.17 ± 22.30	63.17 ± 20.95
	5	10	85	Sin corriente	Excelente	Norte	23	(23.33 ± 1.53)	12	23	65	Sin corriente	Regular	Sureste			
	2	70	28	Media	Buena	Suroeste	22		5	20	75	Sin corriente	Regular	Sureste			
± 0.58)	7	40	53	Media	Buena	Suroeste	26		8	12	80	Media	Regular	Sureste	15.33 ± 13.47	13.0 ± 15.90	71.67 ± 14.83
	35	2	63	Leve	Buena	Suroeste	25	(25.33 ± 0.58)	8	23	69	Leve	Regular	Sureste			
	30	1	69	Sin corriente	Buena	Suroeste	25		4	0	96	Sin corriente	Regular	Sureste			
± 0.52)	12	21	67	Fuerte	Buena	Suroeste	26		10	20	70	Media	Buena	Noreste	8.67 ± 3.20	20.17 ± 3.19	71.17 ± 2.79
	10	20	70	Fuerte	Buena	Suroeste	25	(25.33 ± 0.58)	7	20	73	Fuerte	Buena	Noreste			
	3	25	72	Leve	Buena	Suroeste	25		10	15	75	Leve	Buena	Noreste			
± 0.50)	0	10	90	Media	Regular	Suroeste	25		5	0	95	Media	Regular	Sureste	4.33 ± 3.72	21.33 ± 16.27	74.33 ± 16.46
	2	48	50	Leve	Buena	Suroeste	24	(24.33 ± 0.58)	2	25	73	Media	Regular	Sureste			
	7	20	73	Leve	Buena	Suroeste	24		10	25	65	Leve	Regular	Sureste			
± 0.0)	0	10	90	Media	Buena	Suroeste	26		2	78	20	Leve	Buena	Este	2.33 ± 3.01	30.5 ± 27.49	67.2 ± 28.5
	0	30	70	Media	Buena	Suroeste	25	(25.33 ± 0.58)	7	45	48	Leve	Buena	Este			
	0	5	95	Leve	Buena	Suroeste	25		5	15	80	Sin corriente	Buena	Este			
0.95	7.22 ± 9.85	24.0 ± 18.91	65.56 ± 19.17	-	-	-	24.33 ± 1.68	10.67 ± 15.19	25.28 ± 21.82	64.06 ± 24.62	-	-	-				
	0	1	28	-	-	-	19	2	0	13	-	-	-				
	35	70	95	-	-	-	26	70	80	96	-	-	-				



Figura 10. Proveniencia del viento en cada estación de muestreo en el SFF Malpelo en diciembre 2006 (flechas negras) y marzo 2007 (flechas blancas). AR: Arrecife; FA: Pared del Fantasma; NAN: Pared del Náufrago Norte; BNE: Bahía de la Nevera; NE: Nevera; FR: Freezer. Imagen modificada de Fundación Malpelo y Otros Ecosistemas Marinos, 2005.

En cuanto a la transparencia del agua en diciembre se mantuvo por lo general buena, a excepción del Arrecife y la Pared del Fantasma que fue excelente (> 30 m). Por su parte, en marzo primó en la mayoría de las estaciones y en todas las profundidades una visibilidad regular (10 – 15 m), menos en la Bahía de la Nevera y Freezer donde fue buena (15 – 20 m). Respecto a la intensidad de la corriente, se observaron fluctuaciones constantes, variando, en diciembre de leve a fuerte, mientras que en marzo lo hizo de una condición sin corriente a media (Tabla 2).





Tabla 2. Intensidad de la corriente y transparencia del agua en las diferentes estaciones por mes de muestreo en el SFF Malpelo.

	Intensidad de la corriente		Transparencia del agua	
	Diciembre 2006	Marzo 2007	Diciembre 2006	Marzo 2007
Arrecife	Leve	Sin corriente	Excelente	Regular
Pared del Fantasma	Media	Sin corriente	Excelente	Regular
Pared del Naufrago	Media	Leve	Buena	Regular
Bahía de la Nevera	Fuerte	Media	Buena	Buena
Nevera	Leve	Media	Buena	Regular
Freezer	Media	Leve	Buena	Buena

8.2 ESTRUCTURA Y COMPOSICIÓN DE LOS EQUINODERMOS DEL SFF MALPELO

8.2.1 Composición taxonómica

En total, se encontraron 26 especies de equinodermos, de los cuales la mayoría (15; 57.69 %) se presentaron en las seis estaciones comunes, cinco en las siete restantes y seis fuera de los transectos (Tabla 3). Para este apartado, se mostrarán los resultados provenientes de los trece transectos y fuera de ellos, dado que aportan información relevante para dar un mejor estimado de la composición real del phylum en la isla. Así, los equinodermos observados en todas las estaciones, se distribuyeron en cuatro clases, siete órdenes y 11 familias, perteneciendo 11 especies a la clase Asteroidea (42.31 %), ocho a Echinoidea (30.77 %), seis a Holothuroidea (23.08 %) y una a Ophiuroidea (3.84 %).





Tabla 3. Composición de equinodermos del SFF Malpelo, con su respectiva clasificación taxonómica (Deichmann, 1938; Rowe, 1969; Pawson, 1970; Clark, 1982; Caso, 1983; Clark y Downey, 1992 y Hendler *et al.*, 1995) y observaciones de avistamiento. AS: Asteroidea; OP: Ophiuroidea; EC: Echinoidea; HO: Holothuroidea; *: Presentes fuera de las estaciones comunes para ambos meses; °: Presentes fuera de los transectos; prof: de profundidad; MO: Bajo del Monstruo; AN: Bajo del Ancla; AR: Arrecife; FA: Pared del Fantasma; D: diciembre; M: marzo

CLASE	ORDEN	FAMILIA	ESPECIE	Observaciones de avistamiento	
AS	Valvatida	Asterodiscididae	<i>Amphiasper insignis</i> Verrill, 1868 °	Entre 40-60 m prof en MO de M.	
		Asteropseidae	<i>Asteropsis carinifera</i> (Lamarck, 1816) °	A 27 m prof en AN de D.	
		Oreasteridae	<i>Nidorellia armata</i> (Gray, 1840)		
			<i>Pentaceraster cumingi</i> (Gray, 1840)		
		Ophidiasteridae	<i>Pharia pyramidatus</i> (Gray, 1840) *		
			<i>Phataria unifascialis</i> (Gray, 1840) *		
			<i>Narcissia gracilis malpeloensis</i> Downey, 1975 °	Entre 40-60 m prof en MO de M.	
				Morfotipo Ophidiasteridae1 °	Entre 14-20 m prof en AR de D y M. Dos individuos
				Morfotipo Ophidiasteridae2 °	Entre 40-60 m prof en MO de M. Individuo muerto
			Mithrodiidae	<i>Mithrodia bradleyi</i> Verrill, 1870	
	Acanthasteridae	<i>Acanthaster planci</i> (Linnaeus, 1758)			
OP	Ophiurida	Ophiothrichidae	<i>Ophiothela cf. mirabilis</i> Verrill, 1867		
EC	Cidariida	Cidaridae	<i>Eucidaris thouarsii</i> (Valenciennes, 1846)		
			<i>Hesperocidaris asteriscus</i> H.L. Clark, 1948*		
	Diadematida	Diadematidae	<i>Centrostephanus coronatus</i> (Verrill, 1867)		
			<i>Diadema mexicanum</i> A. Agassiz, 1863		
	Temnopleurida	Toxopneustidae	<i>Toxopneustes roseus</i> (A. Agassiz, 1863)		
			<i>Tripneustes depressus</i> (A. Agassiz, 1863)		
	Echinoida	Echinometridae	<i>Echinometra vanbrunti</i> A. Agassiz, 1863*		
	Spatangoida:	Brissidae	<i>Brissus obessus</i> Verrill, 1867 °	A 14 m prof en FA de D y M. Esqueleto	
	HO	Aspidochirotida	Holothuridae	<i>Holothuria (Thymiosycia) hilla</i> Lesson, 1830	
				<i>Holothuria (Halodeima) kefersteini</i> Selenka, 1867	
<i>Holothuria (Mertensiothuria) leucospilota</i> (Brandt, 1835) *					
<i>Holothuria (Mertensiothuria) fuscocinerea</i> Jaeger, 1833					
Stichopidae			<i>Stichopus fuscus</i> (Ludwig, 1874)		
		<i>Isostichopus horrens</i> Selenka, 1867			



La clase Echinoidea presentó la mayor cantidad de órdenes, mientras que las clases Asteroidea, Ophiuroidea y Holothuroidea estuvieron compuestas por un solo orden. Entre estos, el orden Valvatida con 42 % presentó el mayor número de especies seguido por Aspidochirotida con 23 % y Ophiurida, Echinoidea y Spatangoida con 4 % (Fig. 11).

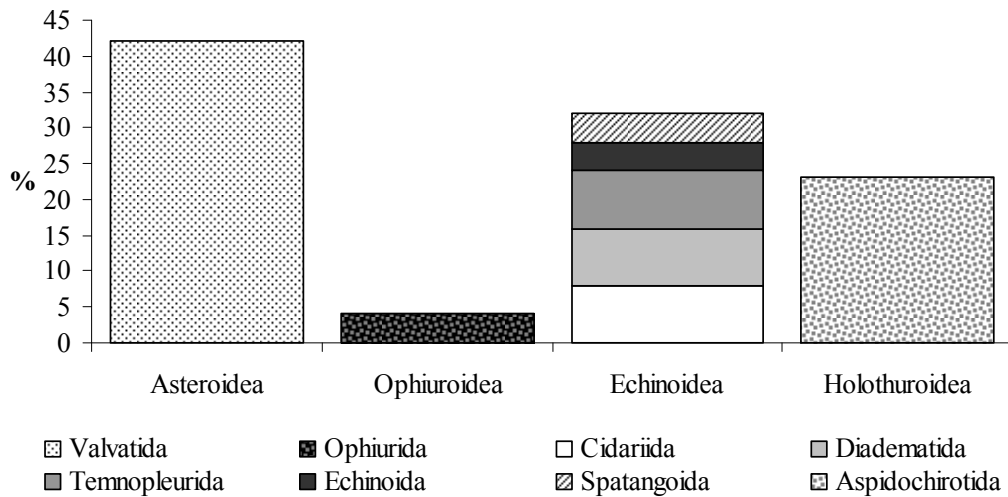


Figura 11. Distribución porcentual de los órdenes en los que se distribuyen las diferentes especies, según la clase taxonómica en ambos meses en el SFF Malpelo.

8.2.2 Riqueza (número de especies)

Marzo en comparación con diciembre presentó una mayor riqueza con 13 especies distribuidas en las cuatro clases registradas, siendo Holothuroidea y Echinoidea quienes mostraron el mayor número de especies con cinco cada una, seguida por Asteroidea con dos y Ophiuroidea con uno. Esta última clase, estuvo siempre asociada al octocoral *Leptogorgia alba* y únicamente fue observada en este mes. Echinoidea presentó una alta relevancia en el estudio dado que exhibió la mayor riqueza tanto en ambos meses (Fig. 12) como en todas las estaciones (Fig. 13) y profundidades (Fig. 14), oscilando su presencia entre tres a cinco especies.



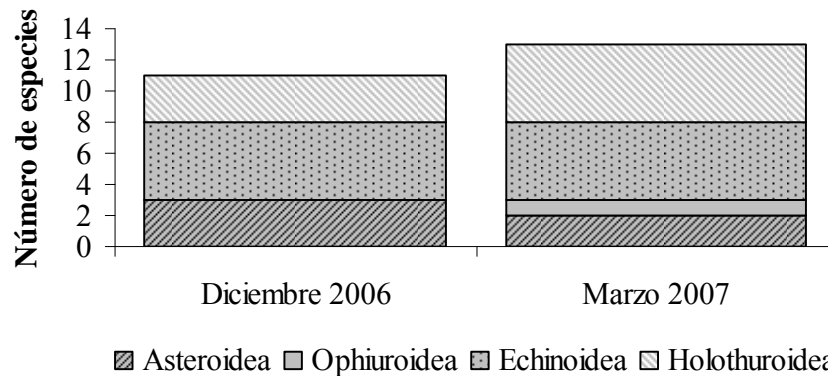


Figura 12. Riqueza de especies por clase de equinodermos del SFF Malpelo, en cada mes de muestreo.

En el caso de la riqueza por estaciones en este mes, la estación con mayor número de especies fue El Arrecife (nueve spp.) de las cuales cinco fueron erizos siendo la única estación además que estuvo representada por las cuatro clases. La Pared de Naufrago Norte en diciembre y Bahía de la Nevera en marzo también presentaron una alta riqueza de especies (ocho) con representantes de tres clases. La Nevera sólo presentó tres equinoideos en diciembre (Fig. 13).

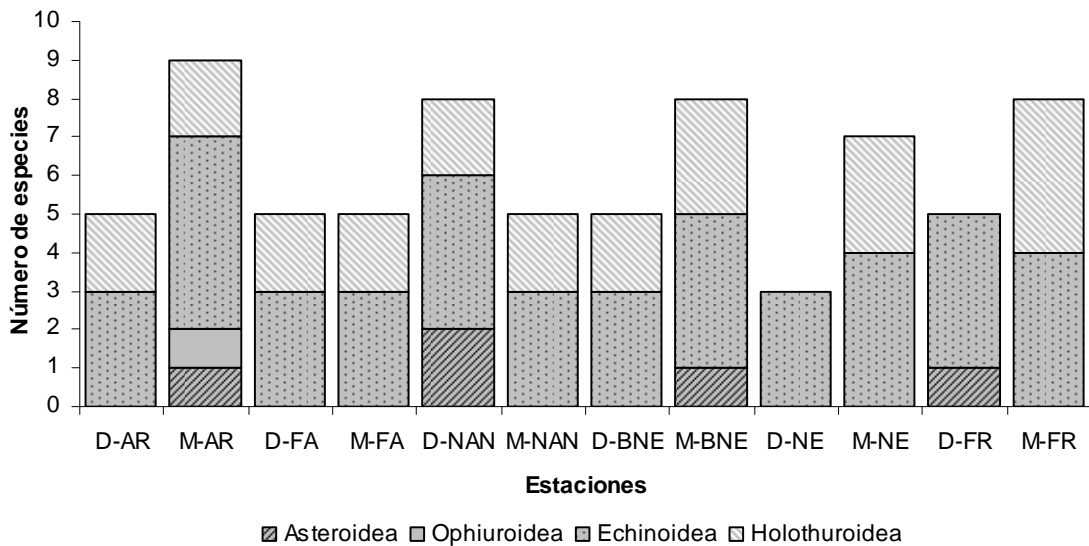


Figura 13. Riqueza de especies por clase en cada estación en el SFF Malpelo. D: diciembre 2006; M: marzo 2007; AR: Arrecife; FA: La Pared del Fantasma; NAN: La Pared del Naufrago Norte; BNE: La Bahía de la Nevera; NE: La Nevera; FR: Freezer.





Los holoturoideos tuvieron representantes en todas las profundidades pero con una menor riqueza, identificándose cuatro especies a 20 m en marzo. El ophiuroideo, se observó sólo en M-20 m, que fue la profundidad con mayor riqueza con 11 especies (Fig. 14).

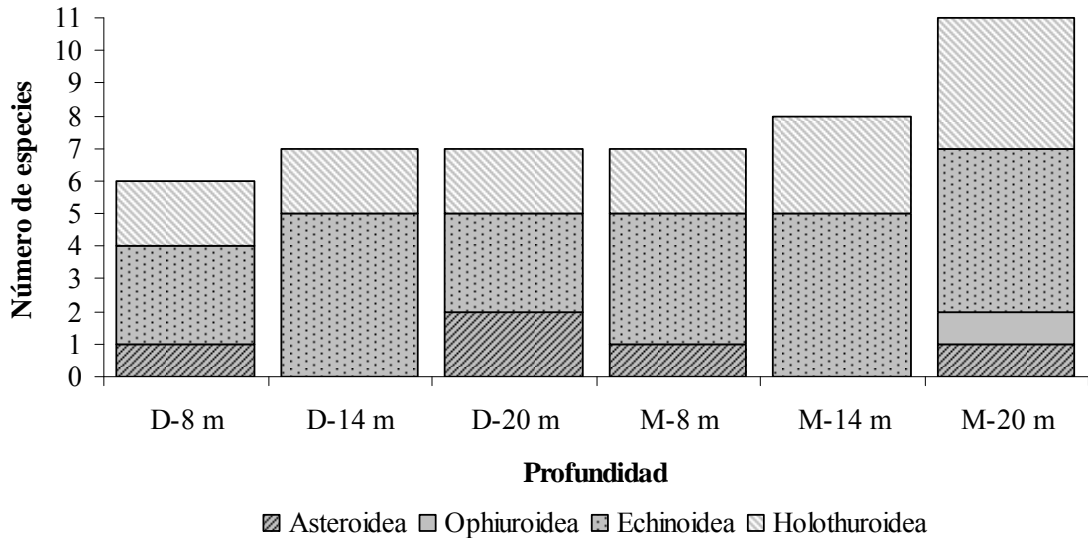


Figura 14. Riqueza de especies por clase en cada profundidad (8, 14 y 20 m) en diciembre 2006 (D) y marzo 2007 (M) en el SFF Malpelo.

8.2.3 Densidad

En la tabla 4 se indica el total de individuos por transecto y la cantidad de individuos en m^2 , en diciembre 2006 y marzo 2007. Con la finalidad de comparar el comportamiento de la densidad según la profundidad, la estación y el mes de muestreo, promediándose aquellos transectos que compartieran entre sí las asignaciones mencionadas. Es necesario aclarar que se cataloga como especies de menor densidad a aquellas que presenten valores inferiores o iguales a $0.003 \text{ ind}/m^2$ que por lo general aparecieron en una sola profundidad y/o estación.

8.2.3.1 Comparación temporal

Se observó una abundancia total mayor en marzo 2007 con 6044 ind que en diciembre 2006 con 5535 ind, lo que indica una diferencia de 509 individuos observados





(Tabla 4), siendo en términos de densidad promedio 0.220 ± 0.792 ind/m² y 0.205 ± 0.767 ind/m², respectivamente. *Diadema mexicanum* se ubicó como la especie dominante para ambos meses, mostrando una mayor densidad en marzo (3.095 ± 1.77 ind/m²) en relación a la registrada en diciembre (2.978 ± 1.65 ind/m²) (Tabla 5). En términos porcentuales la densidad de dicho erizo respecto al total de equinodermos fue de 96.8 % en diciembre y 93.7 % en marzo.

Las especies *Toxopneustes roseus*, *Centrostephanus coronatus* y *Holothuria fuscocinerea* presentaron densidades promedio muy bajas en diciembre pero altas en marzo (Tabla 5). Dentro de las especies de menor densidad se tuvo a *Mithrodia bradleyi* y *Stichopus fuscus* que se presentaron en ambos meses; *Acanthaster planci*, *Nidorellia armata*, *Pentaceraster cumingi*, *Ophiothela* cf. *mirabilis*, *Holothuria hilla* e *Isostichopus horrens* estuvieron presentes solo en un mes. La densidad promedio de *P. cumingi* fue de 0.003 ± 0.014 ind/m², mientras que en *S. fuscus* fue de 0.002 ± 0.004 ind/m² en diciembre y 0.001 ± 0.003 en marzo; y en las demás especies fue de 0.001 ind/m² (Fig. 15).



el mes de muestreo, por estación y profundidad (m) en el SFF Malpelo en diciembre 2006 y marzo 2007. AR: Arrecife; FA: La Pared del Fantasma; NAN: La Pared del Náutico Norte; BNE: La Bahía de la Nevera; NE: La Nevera; FR: Freezer. 8, 14 y 20 simbolizan la profundidad de muestreo.

DICIEMBRE 2006																															
ind/m ²	FA14		FA20		NAN8		NAN14		NAN20		BNE8		BNE14		BNE20		NE8		NE14		NE20		FR8		FR14		FR20		Total		
	#ind	ind/m ²	#ind	ind/m ²	#ind	ind/m ²	#ind	ind/m ²	#ind	ind/m ²	#ind	ind/m ²	#ind	ind/m ²	#ind	ind/m ²	#ind	ind/m ²	#ind	ind/m ²	#ind	ind/m ²	#ind	ind/m ²	#ind	ind/m ²	#ind	ind/m ²	#ind	ind/m ²	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0.01
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0.02	0	0	0	0	2	0.02	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	0.06	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	0.06	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4.46	255	2.55	78	0.78	506	5.06	343	3.43	138	1.38	267	2.67	378	3.78	187	1.87	480	4.8	378	3.78	532	5.32	542	5.42	366	3.66	183	1.83	5360	53.6	
0.02	6	0.06	0	0	4	0.04	5	0.05	1	0.01	3	0.03	5	0.05	8	0.08	12	0.12	9	0.09	3	0.03	3	0.03	3	0.03	3	0.03	79	0.79	
0	1	0.01	0	0	2	0.02	0	0	0	0	0	0	1	0.01	0	0	0	0	9	0.09	3	0.03	3	0.03	19	0.19	27	0.27	66	0.66	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0.02	0	0	2	0.02	
0	0	0	0	0	0	0	1	0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0.01	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0.01	
0	1	0.01	0	0	0	0	0	0	9	0.09	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13	0.13	
0	1	0.01	0	0	1	0.01	0	0	0	0	0	0	1	0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0.04	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4.48	264	2.64	78	0.78	513	5.13	349	3.49	155	1.55	271	2.71	385	3.85	195	1.95	492	4.92	396	3.96	538	5.38	550	5.5	390	3.9	213	2.13	5535	55.35	
		7.90						10.17						8.51						14.26					11.53						

MARZO 2007																																
ind/m ²	FA14		FA20		NAN8		NAN14		NAN20		BNE8		BNE14		BNE20		NE8		NE14		NE20		FR8		FR14		FR20		Total			
	#ind	ind/m ²	#ind	ind/m ²	#ind	ind/m ²	#ind	ind/m ²	#ind	ind/m ²	#ind	ind/m ²	#ind	ind/m ²	#ind	ind/m ²	#ind	ind/m ²	#ind	ind/m ²	#ind	ind/m ²	#ind	ind/m ²	#ind	ind/m ²	#ind	ind/m ²	#ind	ind/m ²		
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0.01	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0.01		
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
2.27	145	1.45	78	0.78	516	5.16	595	5.95	407	4.07	409	4.09	425	4.25	245	2.45	264	2.64	481	4.81	164	1.64	656	6.56	351	3.51	243	2.43	5571	55.71		
0.01	8	0.08	4	0.04	0	0	2	0.02	0	0	7	0.07	1	0.01	0	0	11	0.11	2	0.02	1	0.01	5	0.05	2	0.02	0	0	53	0.53		
0	0	0	0	0	1	0.01	0	0	0	0	0	0	2	0.02	1	0.01	0	0	4	0.04	3	0.03	1	0.01	0	0	0	0	20	0.2		
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0.05	10	0.1	0	0	0	0	0	0	1	0.01	14	0.14	8	0.08	40	0.4		
0	2	0.02	17	0.17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0.02	0	0	0	0	0	0	0	0	0	45	0.45		
0	2	0.02	2	0.02	0	0	0	0	1	0.01	0	0	0	0	0	0	1	0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0.01	7	0.07		
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12	0.12	1	0.01	0	0	2	0.02	0	0	0	0	2	0.02	0	0	0	0	17	0.17		
0	0	0	11	0.11	0	0	0	0	8	0.08	0	0	0	0	4	0.04	0	0	0	0	2	0.02	0	0	0	0	7	0.07	57	0.57		
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	101	1.01		
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0.01	1	0.01		
2.28	157	1.57	112	1.12	517	5.17	597	5.97	416	4.16	429	4.29	434	4.34	261	2.61	278	2.78	489	4.89	170	1.7	665	6.65	367	3.67	260	2.6	6044	60.44		
		4.97						15.30						11.24						9.37					12.92							

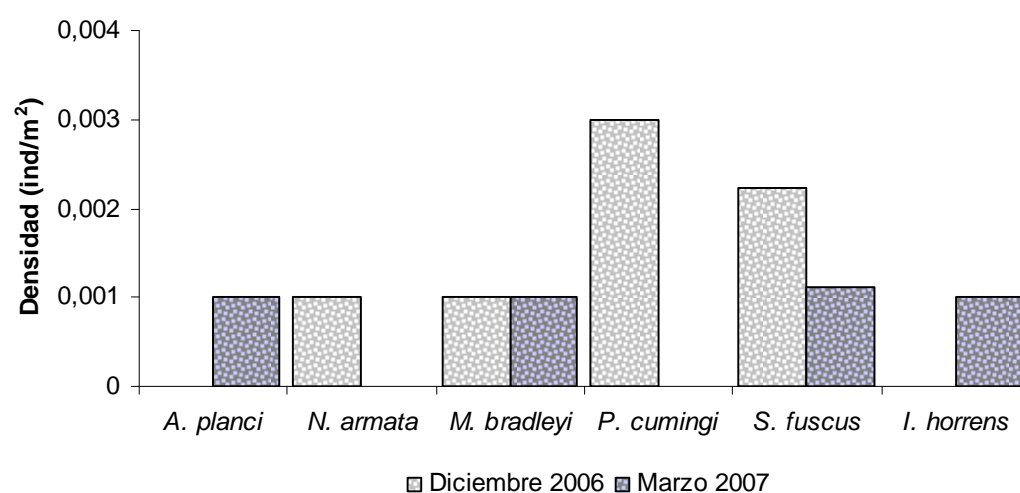


Figura 15. Densidad promedio (ind/m²) de las especies de menor densidad por mes en Malpelo.

Tabla 5. Densidad promedio (ind/m²) y desviación estándar de las especies de equinodermos por mes muestreado en la Isla Malpelo.

ESPECIES	Diciembre 2006	Marzo 2007
<i>Acanthaster planci</i>	-	0.001 ± 0.002
<i>Nidorellia armata</i>	0.001 ± 0.002	-
<i>Mithrodia bradleyi</i>	0.001 ± 0.005	0.001 ± 0.002
<i>Pentaceraster cumingi</i>	0.003 ± 0.014	-
<i>Ophiothela cf. mirabilis</i>	-	0.072 ± 0.306
<i>Diadema mexicanum</i>	2.978 ± 1.655	3.095 ± 1.771
<i>Tripneustes depressus</i>	0.044 ± 0.034	0.029 ± 0.034
<i>Eucidaris thouarsii</i>	0.037 ± 0.075	0.011 ± 0.015
<i>Toxopneustes roseus</i>	0.001 ± 0.005	0.022 ± 0.042
<i>Centrostephanus coronatus</i>	0.001 ± 0.002	0.025 ± 0.055
<i>Holothuria hilla</i>	-	0.004 ± 0.007
<i>Holothuria kefersteini</i>	0.001 ± 0.002	0.009 ± 0.028
<i>Holothuria fuscocinerea</i>	0.007 ± 0.022	0.032 ± 0.050
<i>Stichopus fuscus</i>	0.002 ± 0.004	0.001 ± 0.003
<i>Isostichopus horrens</i>	-	0.001 ± 0.002
Promedio mensual	0.205 ± 0.767	0.220 ± 0.792

8.2.3.2 Comparación espacial

Solamente dos especies se presentaron en todas las estaciones para ambos meses: *Diadema mexicanum* y *Tripneustes depressus* (Tabla 6). La primera, fue la especie predominante, con densidades promedio que oscilaron entre 0.937 ± 0.540 y 4.633 ± 0.783



ind/m² en diciembre y 1.217 ± 0.084 y 5.060 ± 0.944 ind/m² en marzo. *Eucidaris thouarsii* estuvo presente en casi todas las estaciones, a excepción de M-FA. Después de *D. mexicanum*, las especies de mayor densidad promedio fueron: *Ophiothela* cf. *mirabilis*, *C. coronatus* y *H. fuscocinerea* en M-AR (0.433 ± 0.751 , 0.080 ± 0.085 y 0.083 ± 0.085 ind/m²), *T. depressus* en D-NE (0.080 ± 0.046 ind/m²), *E. thouarsii* en D-FR (0.163 ± 0.122 ind/m²), y *Toxopneustes roseus* en M-FR (0.077 ± 0.065 ind/m²). Las especies menor densidad, fueron la estrella corona de espinas *A. planci* en M-AR, *N. armata* en D-NAN e *I. horrens* en M-FR y estuvieron presentes en una sola estación.

Con respecto a la densidad total de equinodermos en las estaciones según el mes de muestreo, la figura 16 indica que los mayores valores se presentaron en M-NAN y en D-NE con 5.1 y 4.8 ind/m², respectivamente. Las estaciones AR y FA presentaron las densidades más bajas, tanto para el mes de diciembre como para marzo. Así, en D-AR, la densidad fue de 1.0 ind/m², en M-AR 1.9 ind/m², en D-FA 2.6 ind/m² y en M-FA 1.7 ind/m². La estación FR presentó la menor variación en cuanto a la cantidad de equinodermos entre diciembre (3.8 ind/m²) y marzo (4.3 ind/m²) (Fig. 16).

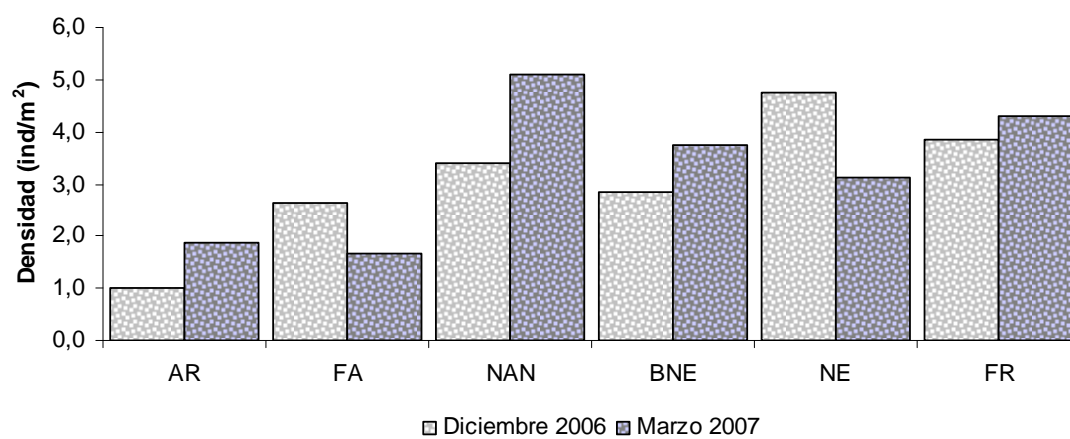


Figura 16. Densidades totales de equinodermos de cada estación por mes de muestreo en el SFF Malpelo. AR = Arrecife; FA = Pared del Fantasma; NAN = Pared del Náutico Norte; BNE = Bahía de la Nevera; NE = Nevera; FR = Freezer.



Tabla 6. Densidad (ind/m²) promedio y desviación estándar de las especies de equinodermos en cada estación según el mes de muestreo en el SFF Malpelo.

	Diciembre 2006					
	Arrecife	Pared del Fantasma	Pared del Náufrago	Bahía de la Nevera	Nevera	Freezer
<i>Acanthaster planci</i>	0	0	0	0	0	0
<i>Nidorellia armata</i>	0	0	0.003 ± 0.006	0	0	0
<i>Mithrodia bradleyi</i>	0	0	0	0	0	0.007 ± 0.012
<i>Pentacaster cumingi</i>	0	0	0.020 ± 0.035	0	0	0
<i>Ophiothela</i> cf. <i>mirabilis</i>	0	0	0	0	0	0
<i>Diadema mexicanum</i>	0.937 ± 0.540	2.597 ± 1.840	3.290 ± 1.844	2.773 ± 0.959	4.633 ± 0.783	3.637 ± 1.795
<i>Tripneustes depressus</i>	0.040 ± 0.052	0.027 ± 0.031	0.033 ± 0.021	0.053 ± 0.025	0.080 ± 0.046	0.030 ± 0
<i>Eucidaris thouarsii</i>	0.003 ± 0.006	0.003 ± 0.006	0.007 ± 0.012	0.003 ± 0.006	0.040 ± 0.046	0.163 ± 0.122
<i>Toxopneustes roseus</i>	0	0	0	0	0	0.007 ± 0.012
<i>Centrostephanus coronatus</i>	0	0	0.003 ± 0.006	0	0	0
<i>Holothuria hilla</i>	0	0	0	0	0	0
<i>Holothuria kefersteini</i>	0	0	0	0.003 ± 0.006	0	0
<i>Holothuria fuscocinerea</i>	0.010 ± 0.017	0.003 ± 0.006	0.030 ± 0.052	0	0	0
<i>Stichopus fuscus</i>	0.003 ± 0.006	0.003 ± 0.006	0.003 ± 0.006	0.003 ± 0.006	0	0
<i>Isostichopus horrens</i>	0	0	0	0	0	0
Promedio por estación	0.066 ± 0.241	0.176 ± 0.670	0.226 ± 0.848	0.189 ± 0.715	0.317 ± 1.194	0.256 ± 0.936

	Marzo 2007					
	Arrecife	Pared del Fantasma	Pared del Náufrago	Bahía de la Nevera	Nevera	Freezer
<i>Acanthaster planci</i>	0.003 ± 0.006	0	0	0	0	0
<i>Nidorellia armata</i>	0	0	0	0	0	0
<i>Mithrodia bradleyi</i>	0	0	0	0.003 ± 0.006	0	0
<i>Pentacaster cumingi</i>	0	0	0	0	0	0
<i>Ophiothela</i> cf. <i>mirabilis</i>	0.433 ± 0.751	0	0	0	0	0
<i>Diadema mexicanum</i>	1.217 ± 0.084	1.500 ± 0.746	5.060 ± 0.944	3.597 ± 0.996	3.030 ± 1.621	4.167 ± 2.142
<i>Tripneustes depressus</i>	0.030 ± 0.044	0.043 ± 0.035	0.007 ± 0.012	0.027 ± 0.038	0.047 ± 0.055	0.023 ± 0.025
<i>Eucidaris thouarsii</i>	0.027 ± 0.015	0	0.003 ± 0.006	0.010 ± 0.010	0.023 ± 0.021	0.003 ± 0.006
<i>Toxopneustes roseus</i>	0.007 ± 0.012	0	0	0.050 ± 0.050	0	0.077 ± 0.065
<i>Centrostephanus coronatus</i>	0.080 ± 0.085	0.063 ± 0.093	0	0	0.007 ± 0.012	0
<i>Holothuria hilla</i>	0	0.013 ± 0.012	0.003 ± 0.006	0	0.003 ± 0.006	0.003 ± 0.006
<i>Holothuria kefersteini</i>	0	0	0	0.043 ± 0.067	0.007 ± 0.012	0.007 ± 0.012
<i>Holothuria fuscocinerea</i>	0.083 ± 0.085	0.037 ± 0.064	0.027 ± 0.046	0.013 ± 0.023	0.007 ± 0.012	0.023 ± 0.040
<i>Stichopus fuscus</i>	0.003 ± 0.006	0	0	0.003 ± 0.006	0	0
<i>Isostichopus horrens</i>	0	0	0	0	0	0.003 ± 0.006
Promedio por estación	0.126 ± 0.321	0.110 ± 0.385	0.340 ± 1.306	0.250 ± 0.926	0.208 ± 0.781	0.287 ± 1.073

8.2.3.3 Comparación batimétrica

En la tabla 7 se constató el marcado dominio del erizo negro, *Diadema mexicanum* en todas las profundidades, con densidades promedio que oscilan entre 1.952 ± 1.737 y



$3.993 \pm 1.534 \text{ ind/m}^2$, siendo especialmente dominante a 8 m de profundidad en los dos meses de muestreo.

Aparte de *D. mexicanum*, los erizos *Eucidaris thouarsii* y *Tripneustes depressus* se encontraron en todas las profundidades con densidades promedio relativamente altas, respecto a la mayoría de especies. Como se observa en la tabla 7, *E. thouarsii* fue más abundante a 14 y 20 m de profundidad (dic = 0.052 ± 0.075 y $0.050 \pm 0.108 \text{ ind/m}^2$, respectivamente y en marzo a ambas profundidades) y menos abundante a 8 m (dic = $0.008 \pm 0.013 \text{ ind/m}^2$ y mar = $0.010 \pm 0.015 \text{ ind/m}^2$). En el caso de *T. depressus* no se observó un patrón, pues en diciembre a 8 y 20 m tuvo menor densidad, mientras que en marzo lo fue a 20 m ($0.008 \pm 0.016 \text{ ind/m}^2$).

Las especies que se encontraron en una sola profundidad fueron: D-8m *Mithrodia bradleyi* y *Holothuria kefersteini* y D-20m *Nidorellia armata* y *Pentaceraster cumingi*; M-8m *M. bradleyi* y M-20m *Acanthaster planci*, *Ophiothela* cf. *mirabilis*, *Stichopus fuscus* e *Isostichopus horrens*. De dichas especies, únicamente *O. cf. mirabilis* fue muy abundante, llegando incluso a presentar la segunda mayor densidad promedio de M-20m ($0.217 \pm 0.531 \text{ ind/m}^2$). Por otro lado, *N. armata*, *A. planci* y *Stichopus fuscus*, fueron las especies de menor densidad (Tabla 7).

Se evidenció una conducta inversa de la densidad promedio del total de equinodermos respecto a la profundidad, siendo esta mayor en D-8m (4.1 ind/m^2) y menor en D-20 m (2.1 ind/m^2) y M-20 (2.5 ind/m^2) (Fig. 17).

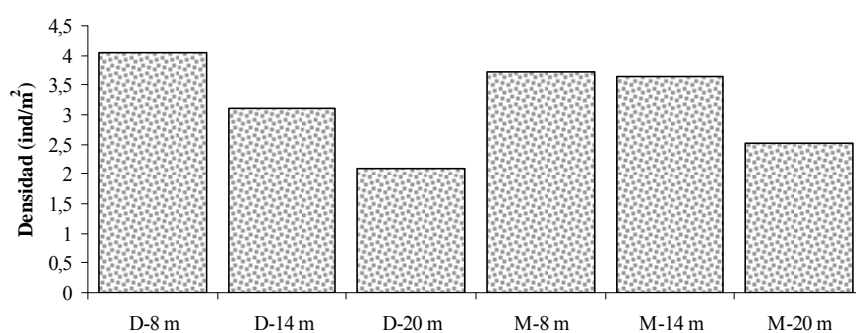


Figura 17. Densidades promedio total de equinodermos de cada profundidad (8, 14, 20 m) por mes en el SFF Malpelo (D: diciembre 2006 y M: marzo 2007).



Tabla 7. Densidades (ind/m²) promedio de las especies en cada profundidad según el mes de muestreo (D: diciembre 2006, M: marzo 2007) y profundidad (8, 14, 20 m) en el SFF Malpelo.

	Diciembre 2006		
	8 m	14 m	20 m
<i>Acanthaster planci</i>	0	0	0
<i>Nidorellia armata</i>	0	0	0.002 ± 0.004
<i>Mithrodia bradleyi</i>	0.003 ± 0.008	0	0
<i>Pentaceraster cumingi</i>	0	0	0.010 ± 0.024
<i>Ophiothela</i> cf. <i>mirabilis</i>	0	0	0
<i>Diadema mexicanum</i>	3.993 ± 1.534	2.988 ± 1.199	1.952 ± 1.737
<i>Tripneustes depressus</i>	0.042 ± 0.040	0.048 ± 0.027	0.042 ± 0.040
<i>Eucidaris thouarsii</i>	0.008 ± 0.013	0.052 ± 0.075	0.050 ± 0.108
<i>Toxopneustes roseus</i>	0	0.003 ± 0.008	0
<i>Centrostephanus coronatus</i>	0	0.002 ± 0.004	0
<i>Holothuria hilla</i>	0	0	0
<i>Holothuria kefersteini</i>	0.002 ± 0.004	0	0
<i>Holothuria fuscocinerea</i>	0	0.002 ± 0.004	0.020 ± 0.036
<i>Stichopus fuscus</i>	0.002 ± 0.004	0.003 ± 0.005	0.002 ± 0.004
<i>Isostichopus horrens</i>	0	0	0
Promedio por profundidad	0.270 ± 1.030	0.207 ± 0.770	0.138 ± 0.502

	Marzo 2007		
	8 m	14 m	20 m
<i>Acanthaster planci</i>	0	0	0.002 ± 0.004
<i>Nidorellia armata</i>	0	0	0
<i>Mithrodia bradleyi</i>	0.002 ± 0.004	0	0
<i>Pentaceraster cumingi</i>	0	0	0
<i>Ophiothela</i> cf. <i>mirabilis</i>	0	0	0.217 ± 0.531
<i>Diadema mexicanum</i>	3.640 ± 2.013	3.540 ± 1.868	2.105 ± 1.164
<i>Tripneustes depressus</i>	0.053 ± 0.042	0.027 ± 0.027	0.008 ± 0.016
<i>Eucidaris thouarsii</i>	0.010 ± 0.015	0.012 ± 0.016	0.012 ± 0.015
<i>Toxopneustes roseus</i>	0.002 ± 0.004	0.032 ± 0.057	0.033 ± 0.045
<i>Centrostephanus coronatus</i>	0	0.018 ± 0.027	0.057 ± 0.088
<i>Holothuria hilla</i>	0.002 ± 0.004	0.003 ± 0.008	0.007 ± 0.008
<i>Holothuria kefersteini</i>	0.027 ± 0.047	0.002 ± 0.004	0
<i>Holothuria fuscocinerea</i>	0	0.013 ± 0.033	0.082 ± 0.053
<i>Stichopus fuscus</i>	0	0	0.003 ± 0.005
<i>Isostichopus horrens</i>	0	0	0.002 ± 0.004
Promedio por profundidad	0.249 ± 0.938	0.243 ± 0.912	0.168 ± 0.539

8.3 ANÁLISIS DE SIMILITUD

Los valores del índice de correlación cofenético de la matriz de parámetros del hábitat ($r = 0.84$), biológica de todos los equinodermos ($r = 0.82$) y que excluye a *D. mexicanum* ($r = 0.88$), con valor $p = 0.0$ y $n = 630$ (n : número de datos), fueron



estadísticamente significativos por lo que se confirma que el dendrograma arrojado de cada una de las matrices es una representación fiel de los datos originales de las mismas.

8.3.1 Parámetros del hábitat del SFF: Caso 1

En el dendrograma realizado a partir de los parámetros del hábitat se observa la formación de siete grupos que se señalan a continuación:

GR1: DFR8, DNE8, DFR20, MNE8, MNAN20.

GR2: MFR20, MNAN8, DFA14, MBNE8, DBNE14, DBNE8, MNAN14, MFA20, MFA8, MBNE14, DNE20, DAR8, MNE20, MFA14, MAR8, MBNE20, MNE14, DBNE20 y DFR14.

GR3: DFA8, DAR14, MFR14, DNE14 y DNAN8.

GR4: DNAN20 y DNAN14.

GR5: DAR20.

GR6: MFR8, MAR14 y DFA20.

GR7: MAR20.

A partir del punto de unión inicial, los transectos se hacen progresivamente más homogéneos, con similitudes inferiores a 49.88, indicando que la mayoría de ellos fueron muy similares entre sí. Fue posible establecer que la asociación de los grupos estuvo determinada por la cobertura algal, de manera que se generaron tres categorías en función de la misma: Alta (65 - 100 %) estuvo conformada por GR1 y GR2, media (31 - 64 %) incluye GR3 y GR4 y baja (0 - 30 %) alberga a GR5, GR6 y GR7.

Además GR1, GR2 y GR5 se caracterizaron por presentar los valores más bajos de arena y coral, GR3 y GR6 por tener la mayor cantidad de corales y GR4 los de arena. GR7 fue el grupo más diferente de todos, por su poca cobertura algal, alto porcentaje de arena y por presentar la temperatura más baja.

Las estaciones BNE se caracterizaron por presentar los valores más altos de porcentaje de cobertura algal a 8 y 14 m de profundidad, mientras que AR y FA las más bajas y correspondieron a 20 m en su mayoría de diciembre 2006.

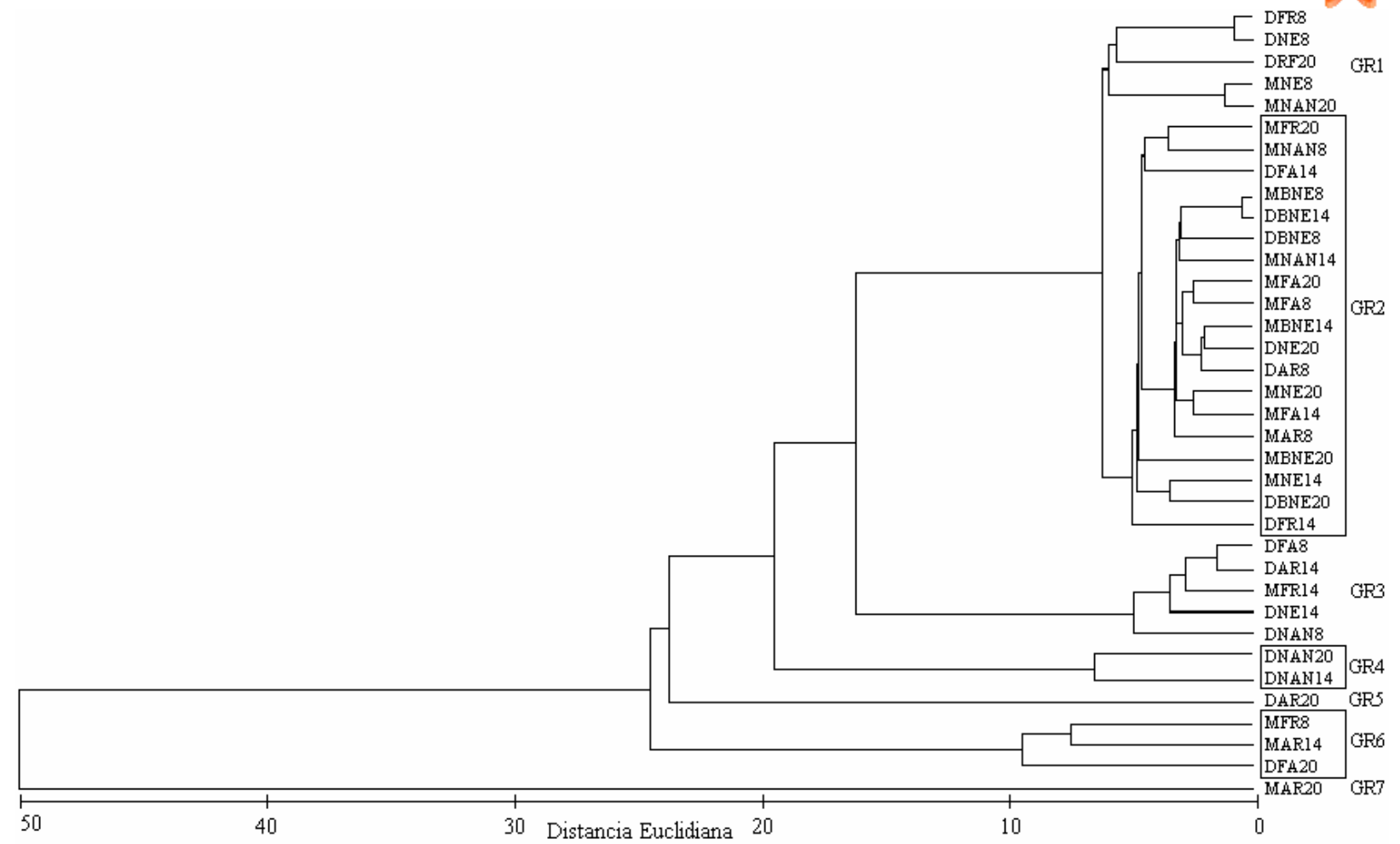


Figura 18. Dendrograma de los parámetros del hábitat en el SFF Malpelo empleando el agrupamiento simple. D: diciembre, M: marzo 2007. AR: Arrecife, FA: Pared del Fantasma, NAN: Pared del Náufrago Norte, BNE: Bahía de la Nevera, NE: Nevera, FR: Freezer, 8, 14 y 20 corresponde a la profundidad de muestreo.





8.2.2 Densidad de todos los equinodermos del SFF: Caso 2

Se observó la formación de 11 grupos con más del 67 % de similitud; uno de ellos conformado por 17 transectos:

GR1: MAR14 y DNAN20.

GR2: MNE8, DBNE8, DFA14, MFA8, MFR20 y MBNE20.

GR3: DBNE14, DNAN14, DNE14, DFR14, DFR8, DNE20, DNAN8, MNAN8, MNE14, DFA8, MNAN14, MBNE14, MFR8, DNE8, MNAN20, MFR14 y MBNE8.

GR4: DBNE20.

GR5: MNE20, DAR8 y MFA14.

GR6: MAR8.

GR7: DFR20.

GR8: DFA20 y DAR14

GR9: MFA20.

GR10: DAR20.

GR11: MAR20.

Debido a que la gran cantidad de *Diadema mexicanum* encontrada en Malpelo enmascara el comportamiento de la densidad total de equinodermos se estableció una categorización basada en *D. mexicanum*, sin embargo también se tuvo en cuenta la totalidad de equinodermos y riqueza de especies por cada transecto para el análisis. A saber: Baja (0 – 1.0 ind/m²) conformada por GR8, GR9 y GR10; Media (1.10 – 2.0 ind/m²) compuesta por GR1, GR2, GR4, GR5, GR6, GR7 y GR11; y Alta (2.1 – 7.0 ind/m²) que alberga únicamente a GR3.

En la figura 19, se observa que el GR11 es el grupo más diferente, dado a que además de pertenecer a la categoría media con 1.26 ind/m², tuvo la mayor cantidad de especies, siendo *Acanthaster planci* y *Ophiothela* cf. *mirabilis* exclusivas del transecto. Este ofiuero, *Centrostephanus coronatus* y *Holothuria fuscocinerea* también se presentaron en gran cantidad por lo cual la densidad total de GR11 fue mayor (2.97 ind/m²).



El Arrecife presentó menores densidades mientras que la Pared del Náufrago y la Bahía de la Nevera mostraron las más altas. Respecto a las profundidades, 8 y 14 m por lo general tuvieron mayores densidades y 20 m las más bajas. No se presentó una agrupación marcada de los meses.

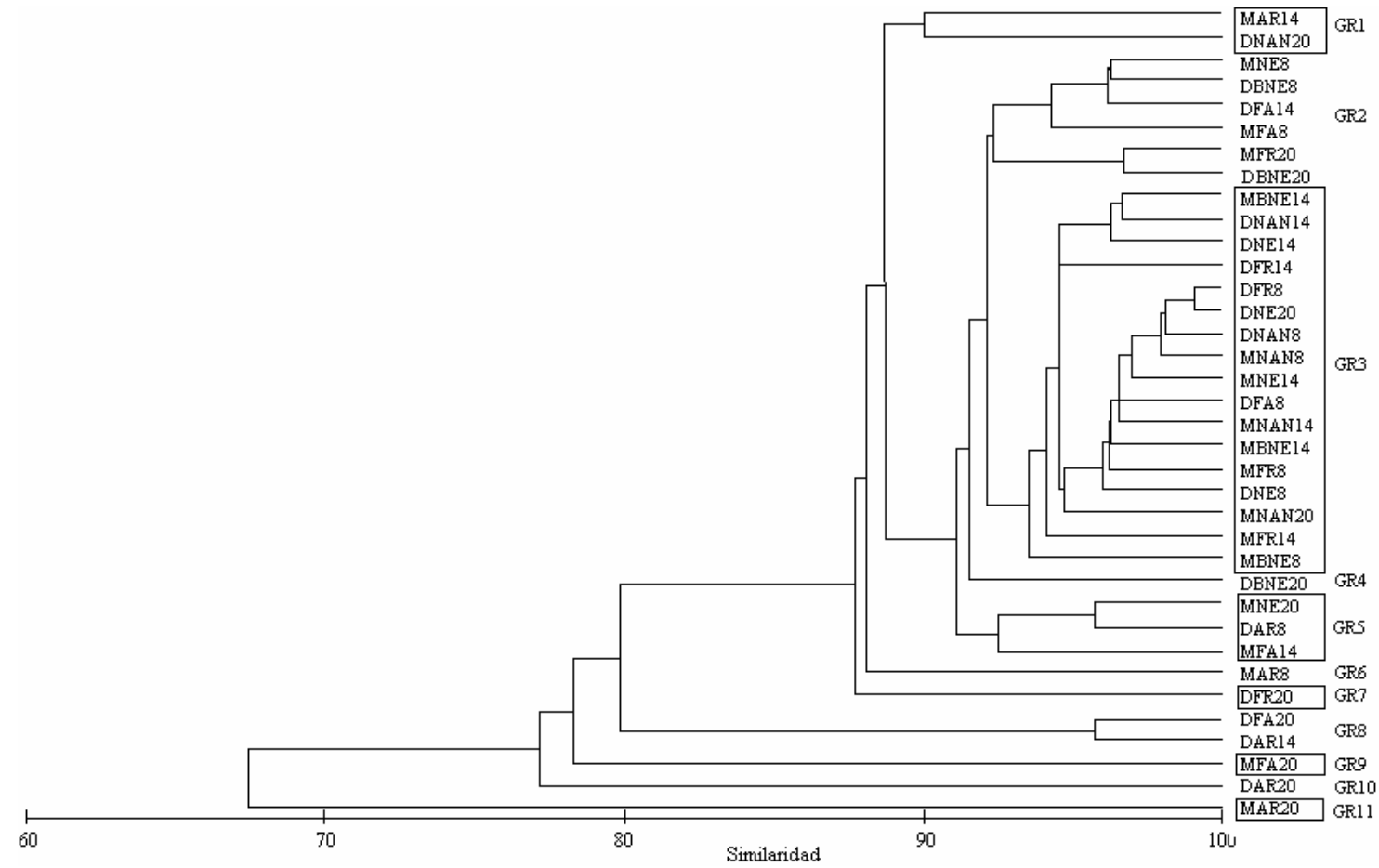


Figura 19. Dendrograma de las densidades medias de *Diadema mexicanum* en el SFF Malpelo empleando el agrupamiento simple. D: diciembre 2006, M: marzo 2007., AR: Arrecife, FA: Pared del Fantasma, NAN: Pared del Náutico Norte, BNE: Bahía de la Nevera, NE: Nevera, FR: Freezer, 8, 14 y 20 corresponde a la profundidad de muestreo.





8.3.3 Densidad de equinodermos del SFF excluyendo *D. mexicanum*: Caso 3

Por otro lado, el dendrograma de la figura 20, muestra la formación de 9 grupos:

GR1: MFR20, MBNE20 y MFR14.

GR2: MNAN20 y DNAN20.

GR3: MFA20 y MAR14.

GR4: MAR8, DBNE20, MFA14, MNE8, DNE8, DAR20 y DNE14.

GR5: DBNE14, DFA14, DNAN8 y DNAN14.

GR6: DFR8, DNE20, MNE14 y MNE20.

GR7: MNAN14, DFA8, DBNE8, MFA8 y DAR8.

GR8: DFR20 y DFR14.

GR9: MNAN8 y DAR14.

Dentro de este dendrograma se excluyeron los transectos MBNE14, MBNE8 y MAR20, debido a que el punto de unión quedó en un porcentaje de similitud menor a 50, por lo cual se les consideró heterogéneos. Se les indica con una cruz (†).

Se establecieron las siguientes categorías: Densidad baja de 0 a 0.05 ind/m² representado por GR7 y GR9; densidad media con los grupos GR5 y GR6 con 0.06 a 0.10 ind/m² y densidad alta de 0.11 a 0.40 ind/m² en GR1, GR2, GR3, GR4 y GR8, siendo esta última la que presenta la menor cantidad de especies.

El punto de unión A (Fig. 19) muestra la formación de dos grandes conjuntos similares en sólo el 12 %. El primero formado por los grupos 1, 2 y 3, similares entre si en un 20 % en el punto B y caracterizados por albergar a las profundidades 14 y 20 m de marzo (a excepción de DNAN20). El segundo conjunto asocia los demás grupos con una similitud de 21 % en el punto C.

Al relacionar las asociaciones biológicas con las previas abióticas, se obtiene que los grupos 1, 2, 3, 4 y 8, tienen porcentajes de cobertura algal mayor al 69 %. Por ejemplo, DFR20 y MNAN20 están agrupados, con un 7.75 de distancia euclidiana por ser estaciones con una gran cobertura algal (75 y 80 %).

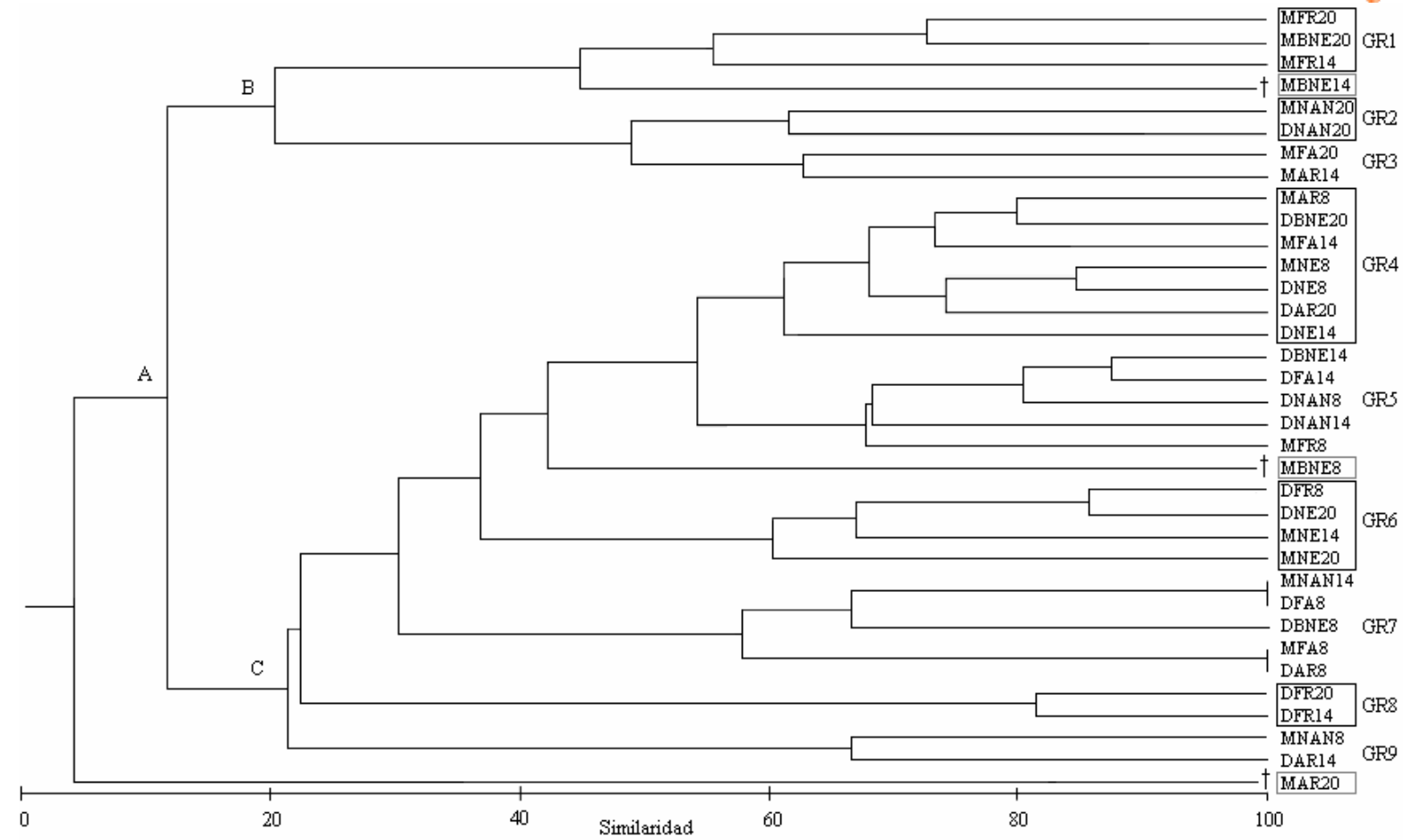


Figura 20. Dendrograma de la composición de equinodermos, excluyendo a *Diadema mexicanum* en el SFF Malpelo, empleando el agrupamiento simple, D: diciembre 2006, M: marzo 2007, AR: Arrecife, FA: Pared del Fantasma, NAN: Pared del Náufrago Norte, BNE: Bahía de la Nevera, NE: Nevera, FR: Freezer, 8, 14 y 20 corresponde a la profundidad de muestreo.





8.4 INDICE DE FLUCTUACIÓN DE DUBOIS

Con el fin de conocer el comportamiento de la densidad en las estaciones de estudio, el índice de Dubois indicó que los cambios en la densidad de las especies presentes en Malpelo se deben a variaciones en las condiciones del hábitat. Los valores del índice de fluctuación fueron graficados en la Figura 21, donde se observa el comportamiento del índice para la densidad y para los parámetros del hábitat.

Los resultados obtenidos indican que espacialmente existe una relación entre las densidades de las especies y los parámetros del hábitat medidos, ya que ambas series siguen un patrón de comportamiento muy similar entre si. En el Arrecife se presentó un cambio considerable con un valor de fluctuación de 0.044 para el comportamiento de la densidad y de 0.093 para el de los parámetros del hábitat. Se observaron otras fluctuaciones en el hábitat de la Pared del Náufrago Norte (NAN = 0.057) y del Freezer (FR = 0.053).

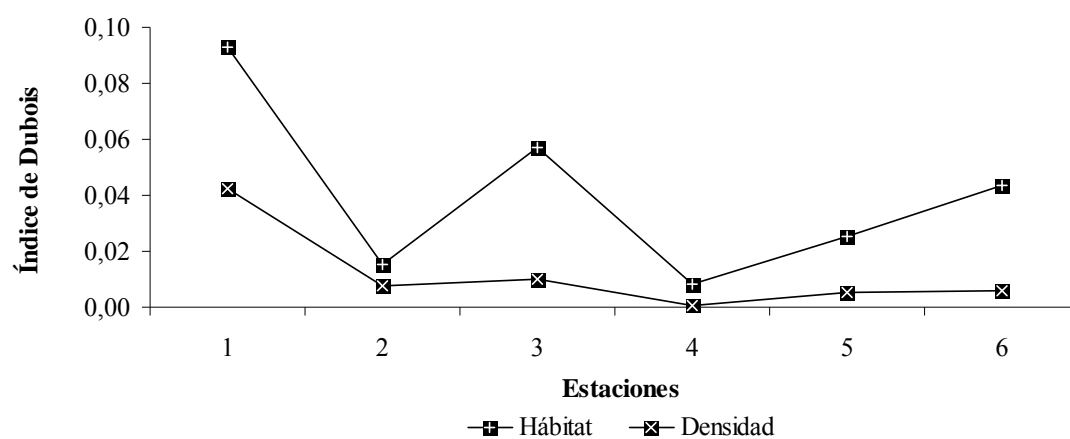


Figura 21. Índice de fluctuación de Dubois para la densidad de equinodermos y para los parámetros del hábitat, según las estaciones de muestreo, en el SSF Malpelo. 1: Arrecife; 2: Pared del Fantasma; 3: Pared del Náufrago Norte; 4: Bahía de la Nevera; 5: Nevera; 6: Freezer.

8.5 PRUEBA DE CORRELACIÓN MÚLTIPLE BIOENV

Para confirmar estadísticamente la relación indicada en el apartado anterior, se optó por la prueba de correlación múltiple BIOENV. En primer lugar, se transformaron los datos



con la función $\log_{10}(x+1)$, debido a que se presentaron sesgos marcados para así realizar un Draftman plot (Fig. 22). Este arrojó correlaciones bajas para cada par de variables, indicando que ninguna de estas enmascara el efecto de otra y que por lo tanto no se necesita descartar ninguna.

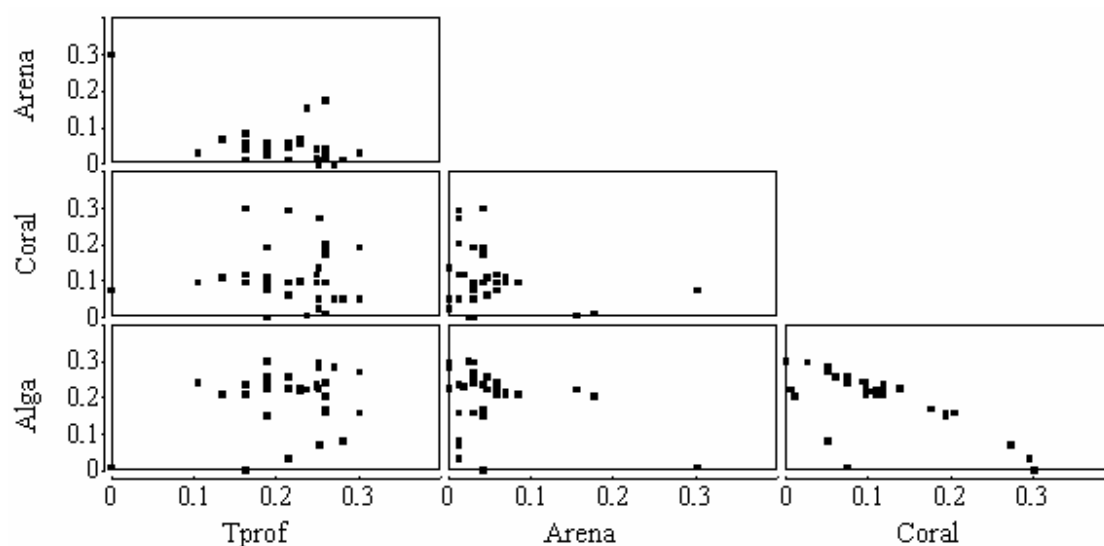


Figura 22. Draftman plot de los parámetros del hábitat de los transectos horizontales en el SFF Malpelo para diciembre 2006 y marzo 2007.

Utilizando el coeficiente de correlación armónico de Spearman y la similitud de Bray-Curtis, se estableció con el análisis BIOENV que la combinación de las variables temperatura a profundidad y cobertura algal son las que mejor explican la estructura de la fauna de equinodermos en la isla Malpelo ($\rho_w=0.345$).

8.6 DENSIDAD DEL ERIZO NEGRO *Diadema mexicanum*

Con el fin de determinar si existen diferencias significativas de las densidades del erizo negro entre los dos meses de muestreo, se comprobó la distribución normal de los datos de diciembre ($W = 0.93$; $p = 0.23$) y marzo ($W = 0.93$; $p = 0.22$) y la homogeneidad de sus varianzas con el test de Bartlett ($B = 1$ y $p = 0.78$), y se asumió la no existencia de diferencias significativas entre las densidades promedio de *D. mexicanum* entre diciembre 2006 y marzo 2007 ($t = -0.21$; $p = 0.83$) con un intervalo de confianza del 95 %. Por otro



lado, se comprobó que si existen diferencias estadísticas significativas entre las medias de la densidad de *D. mexicanum* tanto entre estaciones ($F_{2,33} = 4.39$, $p = 0.02$) como entre profundidades ($F_{5,30} = 4.93$, $p = 0.002$) (Tabla 8).

Para determinar cuales medias difieren entre sí, se realizó una comparación con el test de múltiples rangos de Duncan, cuyos contrastes señalados en la tabla 8, son aquellos que presentaron diferencias con un 95 % de intervalo de confianza. En la comparación batimétrica, las densidades de *D. mexicanum* a 20 m de profundidad fueron diferentes de los de 8 y 14 m, siendo aún más disímil con la primera. El Arrecife y la Pared del Fantasma fueron las que presentaron la mayor cantidad de diferencias con el resto de las estaciones, siendo la relación entre estas mismas, la más evidente con -2.82. Los valores negativos se deben a que el Arrecife y la Pared del Fantasma presentaron las densidades más bajas (Tabla 8).

Como se ha mencionado previamente, se observó que la densidad del erizo negro enmascara el comportamiento de la totalidad de equinodermos, por lo cual para el análisis de *D. mexicanum*, se empleará el dendrograma de similaridad correspondiente al Caso 2 de este estudio, donde se categoriza en función a dicha especie.

Tabla 8. Resultados de la prueba ANOVA y del test de múltiples rangos de Duncan entre profundidades y entre estaciones para las poblaciones de *D. mexicanum* en los sitios de muestreo en el SFF Malpelo para diciembre 2006 y marzo 2007. AR: Arrecife, BNE: Bahía de la Nevera; FA: Pared del Fantasma; NE: Nevera; FR: Freezer.

Comparación	ANOVA	TEST DE MÚLTIPLES RANGOS DE DUNCAN	
		Contraste	Diferencia
Batimétrica	$F_{2,33} = 4.39$ $P = 0.02$	8 m – 20 m	0.72
		14 m – 20 m	0.54
Espacial	$F_{5,30} = 4.93$ $P = 0.002$	AR – BNE	-2.10
		AR – FA	-2.82
		AR – NE	-2.76
		FA – FR	-1.85
		FA – NE	-1.78



8.7 DISTRIBUCIÓN BATIMÉTRICA EN EL ARRECIFE

Para generar el perfil de la distribución batimétrica de los equinodermos del SFF Malpelo, se contó con cinco transectos verticales, de los cuales dos son de diciembre y tres de marzo. No existen diferencias significativas entre los porcentajes de cobertura coralina (K-W = 9.1, $p = 0.058$), rocosa (K-W = 1.3, $p = 0.85$), de cantos (K-W = 7.3, $p = 0.12$) ni arenosa (K-W = 3.8; $P = 0.43$) entre transectos.

Para el caso de las densidades, la comparación se realizó entre transectos, estableciéndose que no existen diferencias significativas entre las densidades de 0-5 m (W = 50.5, $p = 0.9$), de 5-10 m (K-W = 2.9, $p = 0.6$), de 10-15 m (K-W = 0.9, $p = 0.9$), de 15-20 m (K-W = 4, $p = 0.4$), de 20-25 m (K-W = 2.3, $p = 0.7$) ni de 25-20 m (K-W = 0.5, $p = 0.8$).

El índice cofenético para los datos de densidad de equinodermos y para los de porcentaje de cobertura arrojó valores de correlación de 0.864 ($p = 0.0001$; $n = 13$) y 0.797 ($p = 0.0004$; $n = 13$), respectivamente, con lo cual se confirma que los dendrogramas realizados para la determinación de los grados de similitud entre profundidades son fieles representaciones de los datos originales (fig. 24).

Al comparar ambos dendrogramas, se establecieron tres sectores bien diferenciados en el Arrecife (Fig. 24A y B). El sector somero (GR1) entre 0 y 10 m, el cual se caracterizó por presentar un promedio de cobertura rocosa del 71 %, (al igual que las rocas, cantos y gravas estuvieron cubiertas por algas incrustantes) y valores de densidad elevados, donde de 0 a 5 m de profundidad sólo se encontró *Diadema mexicanum*. El sector medio (GR2), entre 10 y 20 m presentó en promedio un 62 % de cobertura coralina y 5 % de cantos rodados. El sector profundo (GR3), entre 20 y 30 m, tuvo la mayor cobertura de arena (49 %) y densidades que disminuyen en promedio un 70 % llegando a valores de 0.022 ind/m², razón por la cual este rango presenta la mayor diferencia en relación a los demás sectores no incluyéndose en la agrupación del cluster.

De esta manera, continuando con el componente descriptivo, se esquematizó un perfil idealizado del Arrecife en el cual se ilustra la distribución batimétrica de algunas especies de equinodermos. Como se muestra en la tabla 9 y figura 23, existe una alta



densidad (0.849 ind/m^2) de equinodermos (dominado por *D. mexicanum*) entre 0 y 10 m, donde existe una amplia zona de roca. Entre 10 y 20 m las densidades empiezan a disminuir (0.396 ind/m^2) y se observa un aumento en la riqueza y notablemente en la cobertura coralina. Entre 20 – 30 m, la densidad de equinodermos ha disminuido notablemente (0.236 ind/m^2) y la cobertura dominante es la arenosa. Entre los 15 y 25 m de profundidad se observa la mayor riqueza de equinodermos con siete especies.

Tabla 9. Densidad (ind/m^2) promedio de cada especie de equinodermos por rango de profundidad y porcentaje de cobertura de los diferentes tipos de sustratos presentes en el Arrecife del SFF Malpelo.

Rango de profundidad (m)	Densidad (ind/m^2)					
	0-5 m	5-10 m	10-15 m	15-20 m	20-25 m	25-30 m
Distancia acumulada (m)	8	20	40	52	62.6	70
<i>Nidorella armata</i>	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000
Morfotipo Ophidiasteridae	0.000	0.000	0.000	0.001	0.001	0.000
<i>Eucidaris thouarsii</i>	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000
<i>Hesperocidaris asteriscus</i>	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000
<i>Centrostephanus coronatus</i>	0.000	0.000	0.008	0.013	0.019	0.020
<i>Diadema mexicanum</i>	0.307	0.526	0.236	0.092	0.145	0.016
<i>Toxopneustes roseus</i>	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000
<i>Tripneustes depressus</i>	0.000	0.008	0.009	0.003	0.010	0.000
<i>Holothuria fuscocinerea</i>	0.000	0.006	0.024	0.006	0.020	0.002
<i>Stichopus fuscus</i>	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000
Total de equinodermos	0.307	0.542	0.279	0.117	0.198	0.038
Promedio	0.031 ± 0.097	0.054 ± 0.166	0.028 ± 0.074	0.012 ± 0.029	0.020 ± 0.045	0.008 ± 0.037
Número de especies	1	4	5	6	7	3
	Tipos de sustrato (% de cobertura)					
Coral	0	35	69	64	41	31
Roca	92	58	8	2	0	0
Cantos	0	2	4	7	15	16
Arena	8	5	19	27	44	53

Por otro lado, se corrió un Draftsman Plot para los parámetros ambientales en donde se observó un ligero sesgo hacia la izquierda de la variable roca firme, por lo cual se procedió a transformar con la función $\log_{10}(x+1)$. Así, se evidenció una alta correlación



entre las variables coral y cantos ($r = 0.819$) y entre arena y cantos ($r = 0.476$), por lo cual se eliminó cantos para el análisis BIOENV. De esta manera, el valor del coeficiente armónico de Spearman es alto ($\rho_w = 0.584$) e indica que la variable roca es la que mejor explica la distribución batimétrica de los equinodermos en El Arrecife.

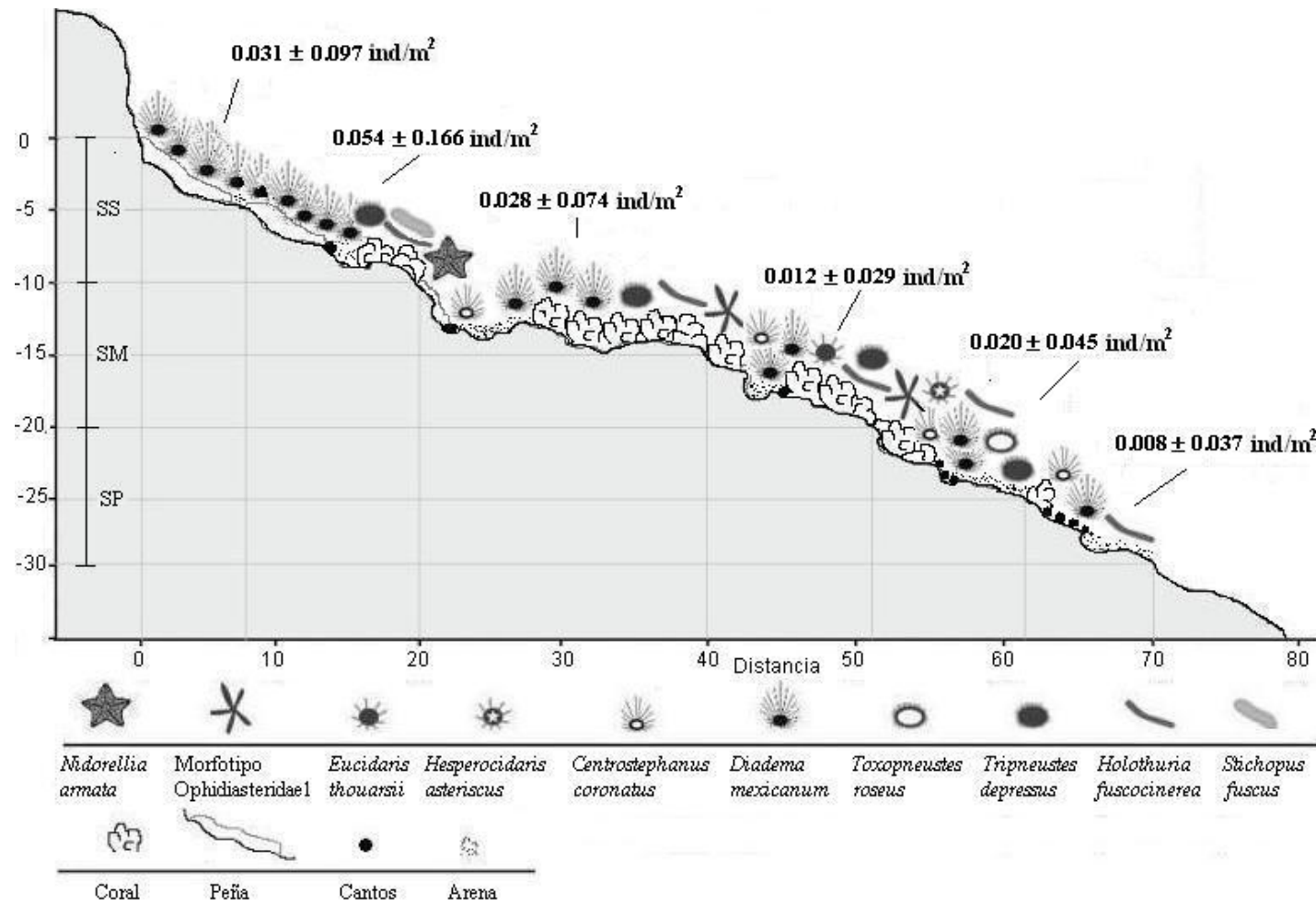


Figura 23. Perfil vertical idealizado de la distribución batimétrica y densidad promedio (ind/m² de equinodermos en el Arrecife en el SFF Malpelo en diciembre 2006 y marzo 2007. SS: sector somero; SM: sector medio; SP: sector profundo.



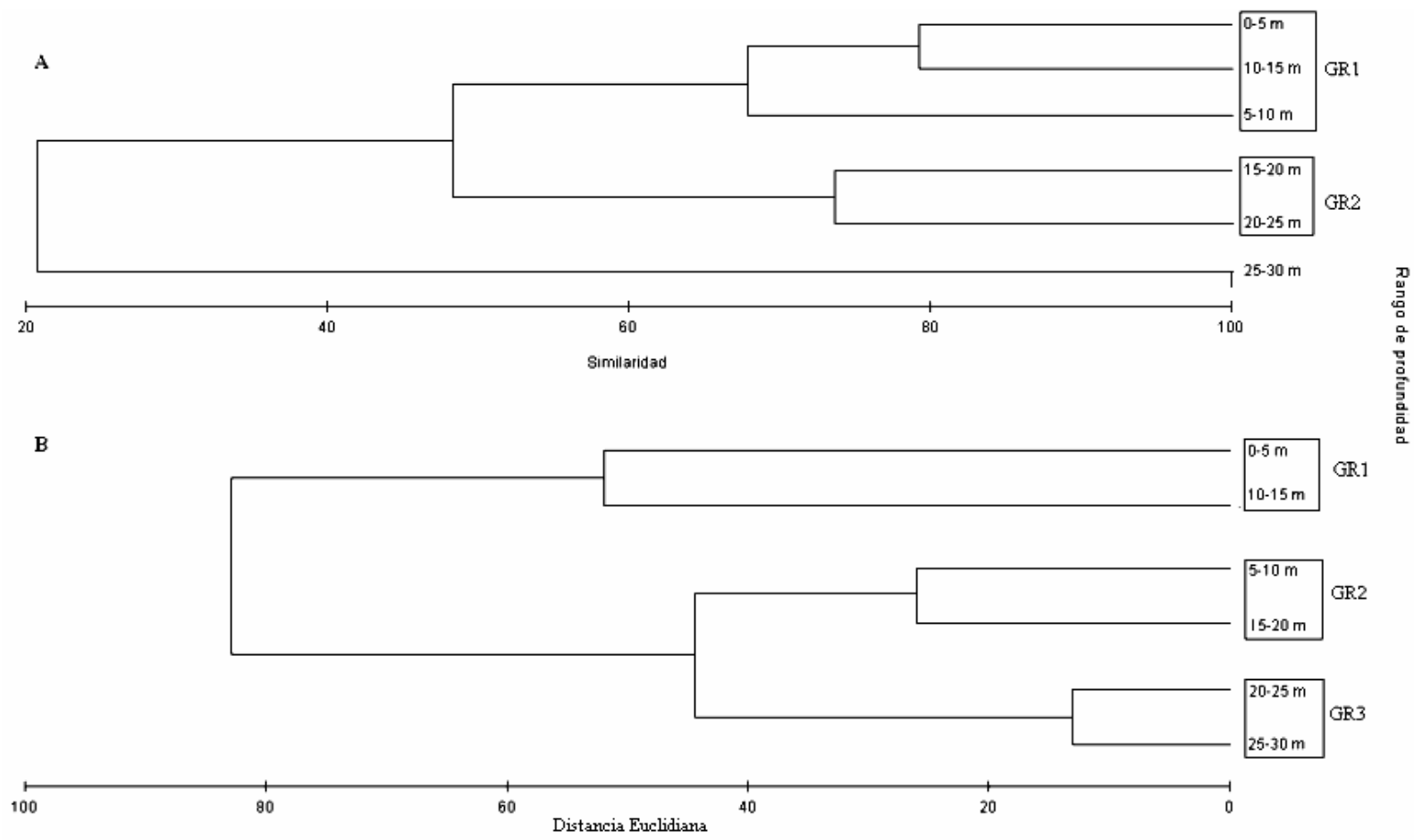


Figura 24. Dendrograma de similaridad de la distribución vertical por A. densidades de equinodermos y B. porcentaje de cobertura de coral, peñas, cantos y arena en el Arrecife del SFF Malpelo empleando el agrupamiento simple.





9. DISCUSIÓN

9.1 PARÁMETROS DEL HÁBITAT

Los parámetros del hábitat medidos pueden clasificarse en dos grupos. El primero formado por variables cualitativas que describen condiciones del hábitat como la intensidad de la corriente, la transparencia del agua y la proveniencia del viento; y el segundo formado por factores cuantitativos referidos a características de cada transecto como la temperatura a profundidad (T_{prof}) y el porcentaje de cobertura arenosa, coralina y algal. Por esta razón, todos los factores contribuyen a describir las condiciones medioambientales y del hábitat para los meses estudiados. Sin embargo, la transparencia del agua y la proveniencia del viento no caracterizan cada profundidad debido a que son los mismos de la estación en la que fueron muestreados. Estos factores entonces actúan a un nivel mayor, como lo son la estación o el mes, en cuyo caso sí aporta a su descripción.

Si bien una surgencia no ha sido documentada para la isla Malpelo, Smayda (1966 En: Kwiecinski y Arroyo, 1975) informa que para el Golfo de Panamá, entre diciembre y abril, ocurre un fenómeno de afloramiento, donde la capa superficial del mar es arrastrada fuera de la costa y reemplazada por aguas frías de profundidades que son responsables de la alta tasa de productividad. Más recientemente, D’Croz y Robertson (1997) establecen que uno de los eventos que afecta la oceanografía costera de la Bahía de Panamá es una surgencia estacional generada por los vientos alisios del norte-noreste que tienen lugar entre enero y marzo. Según la NOAA, la variación de la temperatura superficial del mar en Malpelo, durante los muestreos de diciembre fue entre 2 y 3 °C por encima del promedio y en marzo estuvo de 0.5 a 2 °C por debajo del mismo (Fig.25).

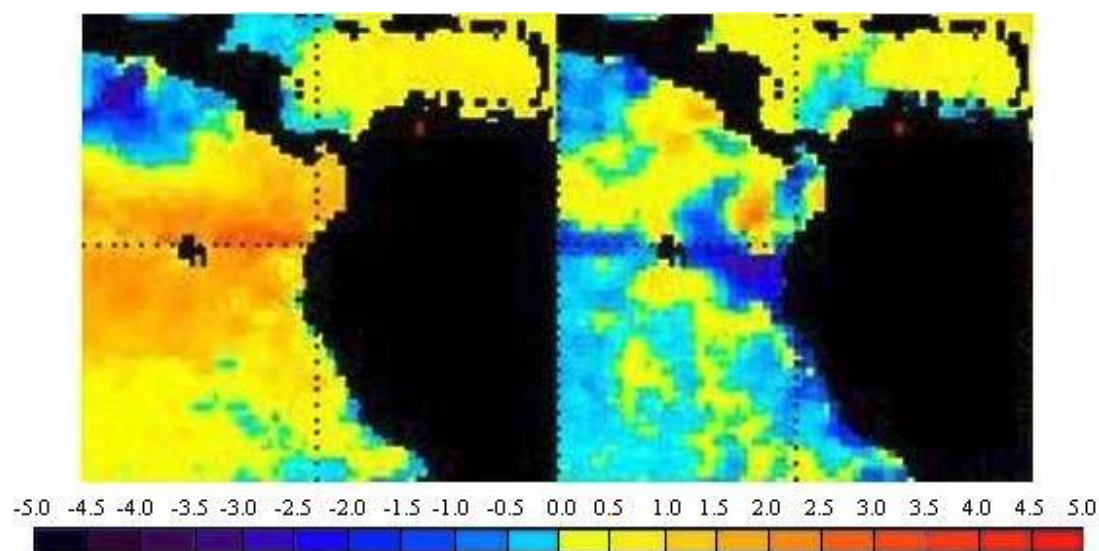


Figura 25. Variación de la temperatura superficial del mar (°C). Modificado de NOAA, 2007.

Dado que Malpelo y el Golfo de Panamá se encuentran conectados por el mismo sistema de corrientes, es posible que en marzo exista una influencia del afloramiento de Golfo de Panamá sobre la isla, lo que se manifestó en una transparencia y temperatura menor en marzo y en una mayor cobertura algal. Según Pennington *et al.* (2006), la variación en la profundidad de la termoclina y de la temperatura superficial del mar, por lo general se encuentran asociada con la nutriclina y consecuentemente con la producción fitoplanctónica. Esto a su vez podría estar favoreciendo el crecimiento algal y por consiguiente de sus depredadores.

En marzo, los resultados indicaron una predominancia del viento proveniente del sureste. Sin embargo este resultado estuvo condicionado por las estaciones comunes a ambos meses puesto que si se tiene en cuenta el resto de las mismas de marzo se evidencia la fuerte dominancia de los alisios del norte-noreste. El Viento, es un factor que ayuda a determinar la exposición a la energía de las olas de cada estación. Esto debido a que dependiendo de la velocidad del viento, se genera una turbulencia en las capas superficiales del océano (Lozano-Cabo, 1970). Pese a que no se midió tal velocidad, en marzo, se experimentó en campo un viento intenso y fuertes condiciones de oleaje que en algunas ocasiones imposibilitó las inmersiones a 8 y 14 m de profundidad.



La temperatura en las diferentes profundidades presentó un patrón inversamente relacionado con la batimetría, pues a medida que aumentó la segunda, la primera disminuyó, siguiendo un comportamiento determinado por la energía solar que calienta las capas superficiales del océano tanto en zonas con o sin surgencia. En vista que no existen diferencias significativas de la T_{prof} entre los meses, se observó que el patrón de la misma estuvo influenciado por los valores de marzo. Es decir, en diciembre la T_{prof} a lo largo de la distribución presentó valores de 28 °C en las tres profundidades, mientras que en marzo decreció a medida que aumentaba esta. Este hecho, puede explicarse debido a que en marzo, se presentó un indicio de termoclina alrededor de los 24 m, debido al ámbito de variación existen entre las profundidades muestrales 20 y 24 m (de 17 a 25 °C).

El poco efecto que tiene la cobertura coralina sobre la densidad de equinodermos, probablemente se deba a que en primer lugar son pocas las zonas que exhiban formaciones coralinas desarrolladas, como por ejemplo en el Arrecife y en menor proporción en la Pared del Fantasma; y en segundo lugar por que las especies que utilizan el coral como sustento alimenticio constituyen una minoría (26 % de las especies observadas) que en términos de densidad fueron inferiores al 1 %. De manera similar ocurre con la cobertura arenosa, pues es la más baja que se presenta en la zona muestreada y además se emplea como hábitat de otra minoría, como los holoturoideos.

9.2 COMPOSICIÓN E INVENTARIO DE EQUINODERMOS

La tabla 10, es una recopilación de información bibliográfica de trabajos publicados que datan desde 1892 hasta el 2007, con los nuevos reportes de la presente investigación. Se indica la clasificación taxonómica de cada especie de acuerdo a Théel (1879, 1886), Lyman (1879, 1882), Agassiz (1881, 1888), Clark (1987), Sladen (1889), Rowe (1969), Clark y Rowe (1971), Hansen (1975), Paterson (1985), Clark y Downey (1992), Hendler *et al.* (1995), Ruppert y Barnes (1995), Lessios (2005) y Solís-Marín *et al.* (2005), el rango batimétrico (en donde se observa un solo valor, corresponde a la profundidad máxima



donde fueron encontradas), la distribución conocida, el número de colección del Museum of Natural History (USNM) y las referencias bibliográficas.

El SFF Malpelo posee un total de 84 especies de equinodermos que se distribuyen en 22 órdenes, 44 familias, y 68 géneros. La clase Holothuroidea presenta la mayor cantidad de especies con 24, mientras que la Ophiuroidea es la que presenta la menor riqueza con 18 (Tabla 11). De estas, el 46 % fueron encontradas entre los 0 y 200 m, siendo el rango de 0 - 20 m, el que alberga a la mayor riqueza (39 %) (Fig. 25). El restante 54 % está compuesto por formas de vida asociada a profundidades mayores a los 200 m. De esta manera, el 46.43 % de las especies habitan la zona abisal (2001 - 5000 m) y en su mayoría fueron colectas realizadas en la expedición de 1891 por la Comisión Pesquera de Estados Unidos, donde se estudiaron las aguas profundas entre California y Perú. Es importante destacar que dichos equinodermos no han vuelto a ser reportados desde hace más de un siglo, como tampoco se han divulgado publicaciones que involucren el estudio de las profundidades de Malpelo.

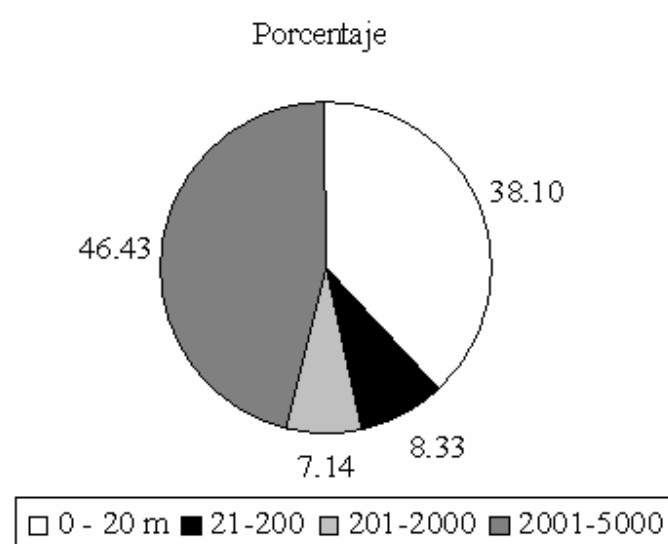


Figura 25. Número y porcentaje de especies de equinodermos de acuerdo a su rango batimétrico en el SFF Malpelo.



Tabla 10. Inventario de equinodermos del Santuario de Fauna y Flora Malpelo, con datos sobre profundidad (I: intermareal, S: superficie), distribución (a nivel nacional: M: especies que sólo se encuentran en Malpelo, PC: Pacífico colombiano; a nivel del POT: G: Galápagos, C: Isla del Coco, PON: Pacífico oriental norte, POC: Pacífico oriental central, POS: Pacífico oriental sur; PO: todo el Pacífico oriental; IP: Indo-pacífico; A: Atlántico), número de colección y referencias (1. Colección de la California Academy of Science; 2. Colección del National Museum of Natural History, Smithsonian Institution, Washington D. C. (USNM); 3. Colección del Museo de Historia Natural Marina de Colombia (INV-EQU); 4. Birkeland *et al.* 1975; 5. Downey, 1975; 6. Maluf, 1988; 7. von Prah, 1990; 8. Maluf, 1991; 9. Brando *et al.* 1992; 10. Hickman, 1998; 11. Arboleda, 2002; 12. Neira y Cantera, 2005; 13. Observaciones personales diciembre 2006 y marzo 2007); ••: Nuevos registros para el Pacífico colombiano; • Nuevos registros para el SFF Malpelo; n.d.: información no disponible para el Pacífico.

CLASE ASTEROIDEA	Profundidad (m)	Distribución	Colección	Referencia
Orden Paxillosida Perrier, 1884				
Familia Astropectinidae Gray, 1940				
<i>Astropecten sulcatus</i> Ludwig, 1905	95	C	USNM 34369	2, 11
<i>Dytaster gilberti</i> Fisher, 1905 ••	3334	PO	USNM 34353 USNM 34359	2
Familia Porcellanasteridae Sladen, 1889				
<i>Eremicaster pacificus</i> (Ludwig, 1905) •	2070	PO	USNM 34399	2
<i>Eremicaster crassus gracilis</i> (Sladen, 1883) ••	3241 – 3334	PO	USNM 34393 USNM 34394	2
Orden Notomyotida Ludwig, 1910				
Familia Benthoplectinidae Verrill, 1894				
<i>Pectinaster agassizii</i> Ludwig, 1905 •	2070	PON, POC	USNM 34329	2
Orden Valvatida Perrier, 1884				
Familia Gonisateridae Forbes 1841				
<i>Mediaster elegans</i> Fisher, 1905	1790 - 3335	POC		6
Familia Asterodiscidae Rowe, 1977				
<i>Amphiaster insignis</i> Verrill, 1868 ••	40 - 60	PON		1, 13
Familia Oreasteridae Fisher, 1911				
<i>Nidorellia armata</i> (Gray, 1840)	5 – 24	PC, PO	USNM E11835 INV-EQUI 2677	1, 2, 3, 4, 5, 7, 9, 11, 12, 13
<i>Pentaceraster cumingi</i> (Gray, 1840)	10 – 32	PC, PO		7, 9, 11, 12, 13
Familia Asteropseidae Hotchkiss & A.M. Clark, 1976				
<i>Asteropsis carinifera</i> (Lamarck, 1816)	40 - 60	PON, POC, IP	USNM E11840	1, 4, 5, 7, 8, 9, 11, 12, 13



Familia Acanthasteridae <i>Acanthaster planci</i> (Linnaeus, 1758) •	18 - 20	PON, POC, IP		13
Familia Mithroididae <i>Mithrodia bradleyi</i> Verrill, 1870	4.6 – 12.2	PC, PO	USNM E11830	1, 2, 4, 5, 7, 9, 11, 12, 13
Familia Ophidiasteridae Verrill, 1870 <i>Leiaster teres</i> (Verrill, 1871)	0 - 57	PON	USNM E11841	1, 2, 4, 5, 6, 11,12, 13
<i>Narcissia gracilis malpeloensis</i> Downey, 1975	20 – 59	M	USNM E11836 USNM E11837	1, 2, 4, 5, 6, 7, 9, 11,12, 13
<i>Pharia pyramidatus</i> (Gray, 1840)	1 – 17	PC, PO		1, 9, 11, 12, 13
<i>Phataria unifascialis</i> (Gray, 1840) •	13 – 18	PC, PO		13
<i>Tamaria stria</i> Downey, 1975	15 – 49	M	USNM E11838 USNM E11839 USNM E12431	1, 2, 4, 5, 6, 7, 9, 11,12, 13
Orden Velatida Perrier, 1884				
Familia Pterasteridae Perrier, 1875 <i>Hymenaster gracilis</i> Ludwig, 1905 •	3241	G	USNM 34367	2
<i>Hymenaster</i> sp. Wyville Thomson, 1873 ••	3334	C	USNM 34370	2
Orden Forcipulatida Perrier, 1884				
Familia Asteriidae Gray, 1840 <i>Distolasterias robusta</i> (Ludwig, 1905) •	3334	G	USNM 34365	2
<i>Sclerasterias alexandri</i> Ludwig, 1905	42 - 384	M, C	USNM 34412	2, 6, 11
Orden Brisingida Fisher, 1928				
Familia Brisingidae G.O. Sars, 1857 <i>Astrolirus panamensis</i> (Ludwig, 1905)	2070	PON, POC	USNM 34369	2, 8
Familia Freyellidae Downey, 1986 <i>Freyella insignis</i> Ludwig, 1905 ••	3241	n.d.	USNM 34349	2
CLASE OPHIUROIDEA	Profundidad (m)	Distribución	Colección	Referencia
Orden Phrynophiurida Matsumoto, 1915				
Familia Gorgonocephalidae Ljungman, 1867 <i>Astrodictyum panamense</i> (Verrill, 1867)	7 - 36	PON, POC	USNM 1001273	1, 2, 4, 7, 8, 9, 11,12
Familia Asteronychidae Muller & Troschell, 1842 <i>Asteronyx plana</i> (Lutken & Mortensen, 1899)	2197	POC	USNM 19601	2,8



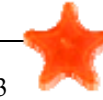


<i>Astrodia plana</i> Lutken & Mortensen 1899	710 - 3200	POC		8
Orden Ophiurida Muller & Troschell, 1840				
Familia Ophiuridae Lyman, 1865				
<i>Amphiophiura obtecta</i> Lutken & Mortensen, 1899 ••	2197	G	USNM 19446	2
<i>Ophiocten hastatum</i> Lyman, 1878	1644 - 2196	PO	USNM 19482	2, 8
			USNM 19483	
			USNM 19484	
<i>Ophiomusium lymani</i> Thomson, 1873	2070	PO	USNM 19508	2, 8
<i>Ophiophalma glabrum</i> (Lutken & Mortensen, 1899)	2070 - 3334	PON, POC	USNM 19492	2, 8
			USNM 19493	
			USNM 19494	
<i>Ophiura irrorata</i> (Lyman, 1878)	2070	PO	USNM 19453	2, 8
<i>Ophiura plana</i> Lutken & Mortensen, 1899	2070 - 3241	POC	USNM 19465	2, 8
Familia Ophiocomidae Ljungman, 1867				
<i>Ophiocoma aethiops</i> Lutken, 1859	1 - 5	PC, PO	USNM 1001286	2, 4, 7, 8, 9, 11,12
<i>Ophiocoma alexandri</i> Lyman, 1860	1 - 8	PC, PO	USNM 1001287	2, 3, 4, 7, 8, 9, 11,12
			INV-EQUI 2679	
Familia Ophiacanthidae Perrier, 1891				
<i>Ophiacantha contigua</i> Lutken & Mortensen, 1899	1644	M	USNM 19576	2, 6
Familia Ophiactidae Matsumoto, 1915				
<i>Histampica duplicata</i> (Lyman, 1875)	1644	POC	USNM 19518	2, 8
<i>Ophiactis plana</i> Lyman, 1869	1644	PON	USNM 19516	2, 6, 8
<i>Ophiactis savignyi</i> (Muller & Troschel, 1842)	4	PC, PON, POC, A, IP		1, 4, 7, 8, 9, 10, 11, 12
<i>Ophiactis simplex</i> (Le Conte, 1851) ••	I - 302	PON, POC, POS	INV-EQUI 2679	3, 13
			INV-EQUI 2680	
			INV-EQUI 2681	
			INV-EQUI 2682	
			INV-EQUI 2683	
			INV-EQUI 2684	
			INV-EQUI 2685	
Familia Amphiuridae Ljungman, 1867				
<i>Amphiura assimilis</i> Lutken & Mortensen, 1899	3334	M	USNM 19536	2, 6





	Profundidad (m)	Distribución	Colección	Referencia
Familia Ophiotrichidae Ljungman, 1866 <i>Ophiothela mirabilis</i> Verrill, 1867	20	PC, IP	INV-EQUI 2686 INV-EQUI 2687 INV-EQUI 3091	3, 4, 6, 7, 9, 10, 11, 12, 13(cf)
CLASE ECHINOIDEA				
Orden Cidaroida Clauss, 1880				
Familia Cidaridae Gray 1825				
<i>Aporocidaris milleri</i> (A. Agassiz, 1898)	3241	PON, POC	USNM 21031 USNM 21064	2, 8
<i>Eucidaris thouarsi</i> (Valenciennes, 1846)	4 - 13	PC, PO		1, 4, 7, 8, 9, 11, 12, 13
<i>Hesperocidaris asteriscus</i> H.L. Clark, 1948 •	14 - 27	PC, PON, POC		13
<i>Salenocidaris miliaris</i> (A. Agassiz, 1898)	2070	POC	USNM 21012	2, 6, 8
Orden Echinothurioida Class, 1880				
Familia Echinothuriidae Wyville Thompson, 1872				
<i>Tromikosoma hispidum</i> (A. Agassiz, 1989)	2197	PON, POC	USNM 21047	2, 8
<i>Tromikosoma panamense</i> (A. Agassiz, 1989)	3334	M	USNM 21045	2, 6
Orden Diadematoida Duncan 1889				
Familia Diadematidae Gray, 1855				
<i>Centrostephanus coronatus</i> (Verrill, 1867) •	19 - 30	PC, PO		13
<i>Diadema mexicanum</i> A. Agassiz, 1863	11 - 13	PC, PON, POC	USNM E31318	1, 2, 4, 6, 7, 8, 9, 11, 12, 13
Familia Aspidodiadematidae				
<i>Plesiodiadema globulosum</i> (A. Agassiz, 1898)	2830 - 3900	M	USNM 21014	2, 6
<i>Plesiodiadema horridum</i> (A. Agassiz, 1898)		POC	USNM 21015 USNM 21030 USNM 21046	2, 6, 8
	1625 - 3241			
Orden Arbacioida Gregory, 1900				
Familia Arbaciidae Gray, 1855				
<i>Arbacia incisa</i> (A. Agassiz, 1863)	25	PO		12
Orden Temnopleurida Mortensen, 1942				
Familia Toxopneustidae Troschel, 1872				
<i>Lytechinus pictus</i> (Verrill, 1867)	1 - 10	PC, C		12
<i>Toxopneustes roseus</i> (A. Agassiz, 1863) •	16 - 24	PC, PO		13



<i>Tripneustes depressus</i> A. Agassiz, 1863	10	PC, PON, POC		4, 8, 11, 12, 13
Orden Echinoida Claus, 1876				
Familia Echinometridae Gray, 1825				
<i>Echinometra vanbrunti</i> A. Agassiz, 1863	11 - 13	PC, PO	USNM E31319 INV-EQUI 1494	2, 3, 4, 7, 9, 11, 12, 13
Orden Holasteroidea Durham y Melville, 1957				
Familia Urechinidae Duncan, 1889				
<i>Pilematechinus rathbuni</i> (A. Agassiz, 1904)	3334	M	USNM 21010 USNM 21011 USNM 21029 USNM 21046	2, 6
Orden Spatangoida Claus, 1876				
Familia Brissidae Gray, 1855				
<i>Brissus obessus</i> Verrill, 1867 ••	24	PO	INV-EQUI 3090	3, 13
Familia Hemiasteridae H. L. Clark, 1917				
<i>Hemiaster tenuis</i> (A. Agassiz, 1898) •	3241	n.d.	USNM 21062	2
Familia Loveniidae Lambert, 1905				
<i>Homolampas hastata</i> (Agassiz, 1898)	2070	C	USNM 21079	2, 6
CLASE HOLOTHUROIDEA	Prof. (m)	Dist.	Colección	Referencia
Orden Dendrochirotida Grube, 1840				
Familia Cucumariidae Ludwig 1894				
<i>Abyssocucumis abyssorum</i> (Théel, 1886) •	3241	n.d.	USNM 18225	2
Orden Dactylochirotida Pawson & Fell, 1965				
Familia Ypsiloyhuriidae Heding, 1942				
<i>Ypsilothuria bitentaculata</i> (Ludwig, 1893)	225 - 4082	POC		8
Orden Aspidochirotida Grube, 1840				
Familia Holothuriidae Ludwig, 1894				
<i>Holothuria (Halodeima) kefersteini</i> (Selenka, 1867) ••	8 - 14	PO, IP		13
<i>Holothuria (Lessonthuria) pardalis</i> Selenka, 1867	I	PC, PON, POC, IP		10, 11
<i>Holothuria (Mertensiothuria) fuscocinerea</i> Jaeger, 1833 •	14 - 20	PC, PON, POC, IP		13
<i>Holothuria (Mertensiothuria) leucospilota</i> (Brandt, 1835) •	8	PC, PON, POC, IP		13



<i>Holothuria (Thymiosycia) hilla</i> Lesson, 1830	14 - 20	PC, PO, IP	USNM E23719	2, 10, 11, 13
<i>Holothuria (Thymiosycia) impatiens</i> (Forskäl, 1775)	1 - 6	PC, PO, A, IP	USNM E23717	7, 9, 10, 11, 12
<i>Holothuria parvula</i> (Selenka, 1867)	1 - 4	A, n.d.	USNM E23718	2, 11
<i>Holothuria (Vaneyothuria) zaca</i> e Deichmann, 1937		PON, POC	USNM E23714	2, 11
Familia Stichopidae Haeckel, 1896				
<i>Isostichopus horrens</i> Selenka, 1867 ••	14 - 20	POC, IP		13
<i>Stichopus fuscus</i> (Ludwig, 1874)	15	PO	USNM E23715	2, 12, 13
Familia Synallactidae				
<i>Bathyplores patagiatus</i> Fisher, 1907 •	1644	n.d.	USNM E2019	2
<i>Synallactes aenigma</i> Ludwig, 1894	3334	POC, POS	USNM 18207	2, 8
<i>Meseres macdonaldi</i> Ludwig, 1894	1644	n.d.	USNM 18190	2, 6
<i>Pseudostichopus mollis</i> Théel, 1886	2070 - 3334	PO	USNM 18270 USNM 18271	2, 8
Orden Elasipodida Théel, 1882				
Familia Deimatidae Ekman, 1926				
<i>Oneirophanta mutabilis affinis</i> Ludwig, 1894 •	3241 - 3334	n.d.	USNM 18187 USNM 18188	2
<i>Oneirophanta mutabilis mutabilis</i> Théel, 1879 •	3334	n.d.	USNM 18201	2
Familia Psychropotidae Théel, 1882				
<i>Benthodytes sanguinolenta</i> Théel, 1882	2196	PO, IP	USNM 18235	2, 8
<i>Psychropotes longicauda</i> Théel, 1882 •	3334	n.d.	USNM 18172	2
Familia Elpidiidae Théel, 1882				
<i>Peniagone vitrea</i> Théel, 1882 ••	2196	POC, POS	USNM 18244	2
Familia Pelagothuriidae Ludwig, 1894				
<i>Pelagothuria natatrix</i> Ludwig, 1894	S - 540	POC, POS		8
Orden Molpadiida Haeckel, 1896				
Familia Molpadiidae J. Muller, 1850				
<i>Molpadia musculus</i> Risso, 1826 •	3241	PON	USNM 18256	2
Orden Apodida (Brandt, 1835)				
Familia Synaptidae Burnmeister, 1837				
<i>Protankyra pacifica</i> Ludwig, 1894 •	3241	n.d.	USNM 18191	2



Tabla 11. Total de especies de equinodermos de acuerdo al nivel y grupo taxonómico, en el SFF Malpelo.

	Asteroidea	Ophiuroidea	Echinoidea	Holothuroidea	Total
Orden	6	2	8	6	22
Familia	14	8	11	11	44
Género	21	14	17	16	68
Especie	23	18	19	24	84

Adicionalmente, Brando *et al.* (1992) y Arboleda (2002) informan la presencia en el santuario del pepino *Stichopus badionotus*. Este holoturoideo presenta una similitud en la forma de las espículas con *Stichopus fuscus*, sin embargo *S. badionotus* es una especie que se distribuye en el Atlántico (Hendler, 1995) y Maluf (1991) la cita como una sinonimia de *S. fuscus* por lo cual es posible que se trate de una mala identificación.

Las estrellas *Narcissia gracilis malpeloensis* (Anexo C) y *Tamaria stria* son especies endémicas que fueron descritas por Downey (1975) en la expedición realizada por el Smithsonian Tropical Research Institution en 1972 que tuvo como finalidad la investigación de la biota marina y terrestre de la isla Malpelo. La subespecie *Narcissia gracilis malpeloensis*, está representada en la colección del Smithsonian por seis especímenes.

9.2.1 Nuevos registros

Mediante los muestreos y la recopilación bibliográfica para la elaboración del presente inventario de equinodermos del SFF Malpelo, se informa un total de 36 nuevos registros para la isla, de los cuales 11 constituyen nuevos reportes para el Pacífico colombiano. Es importante destacar que las especies de aguas someras (0 – 20 m) fueron observadas durante los muestreos de diciembre 2006 y marzo 2007. La mayoría de las especies de aguas entre 21 a 5000 m se encuentran referenciadas en el USNM y fueron colectas realizadas a bordo del buque Albatross en 1891. Así mismo, el ofiuro *Ophiactis simplex* fue colectado en el proyecto Malpelo 2002 por el INVEMAR y se cuenta con siete especímenes en el MHNMC.



Para las especies de aguas someras, los asteroideos *Amphiaster insignis*, *Acanthaster planci* y *Phataria unifascialis*, el ofiuroido *Ophiactis simplex*, los equinoides *Centrostephanus coronatus*, *Hesperocidaris asteriscos*, *Toxopneustes roseus* y *Brissus obessus* y los holoturoideos *Holothuria fuscocinerea*, *H. keffersteini*, *H. leucospilota* e *Isostichopus horrens* constituyen nuevos registros para la fauna somera de equinodermos del SFF Malpelo (Anexo A). Así mismo *A. insignis*, *B. obessus*, *H. keffersteini* e *I. horrens* nuevos registros para el Pacífico nacional indicado en el anexo A con un asterisco.

En el caso de *Acanthaster planci*, Neira y Cantera (2005) examinan la información publicada y la literatura gris de la taxonomía y ecología de los equinodermos del Pacífico colombiano, así como las recolectas no publicadas de los especímenes almacenados en el Museo de Ciencias Marinas de la Universidad del Valle. Dentro de estas especies, registran por primera vez la presencia de la estrella corona de espinas para el Pacífico colombiano en base a fotografías, sin embargo no se cuenta con información de la localidad en la que fue avistada. Si bien ya ha sido reportada en dicho estudio para la costa pacífica, el presente trabajo corrobora que *A. planci* se encuentra en la isla Malpelo, constituyendo así un nuevo registro para la isla.

Respecto a la fauna de aguas profundas, las estrellas *Dytaster gilberti*, *Eremicaster crassus gracilis*, *E. pacificus*, *Hymenaster gracilis*, *Hymenaster sp.*, *Pectinaster agassizii*, *Distolasterias robustus* y *Freyella insignis*, los ofiuros *Amphiophiura obtecta*, *Amphiura assimilis*, *Ophiacantha contigua*, los erizos *Hemiaster tenuis*, *Homolampas hastata*, *Pilematechinus rathbuni* y *Tromikosoma panamense* y los pepinos *Abyssocucumis abyssorum*, *Bathyploetes patagiatus*, *Oneirophanta mutabilis affinis*, *Oneirophanta mutabilis mutabilis*, *Psychropotes longicauda*, *Molpadia musculus*, *Meseres macdonaldi*, *Protankyra pacifica* y *Peniagone vitrea* son nuevos para Malpelo. Además, las especies *D. gilberti*, *E. pacificus*, *Pectinaster agassizii*, *Hymenaster gracilis*, *Amphiophiura obtecta* y *P. vitrea* son nuevas para el Pacífico colombiano.



9.2.2 Dificultades taxonómicas

El material correspondiente a la estrella *Tamaria stria*, especie endémica, se encuentra almacenado en la colección del Smithsonian, que consta con cinco especímenes colectados entre 36 y 49 m de profundidad. No fue posible confirmar la presencia de la estrella en la isla. Solo una especie más del género *Tamaria* ha sido descrita para el POT, *T. obstina*, la cual es muy parecida a *T. stria*, pero difiere en que presenta placas secundarias no sólo intermarginales, sino también entre todas las filas de placas abactinales y en que no tiene placas carinales (Downey, 1975).

Por otro lado, la correcta identificación fotográfica de los morfotipos Ophiasteridae 1 y 2 y *Ophiothela* cf. *mirabilis* (Anexo C) no fue posible, razón por la cual se recomienda la colecta de especímenes en futuras investigaciones, dado que su importancia se fundamenta en que en muchos casos, la diferencia intraespecífica de individuos de un mismo género radica en caracteres particulares que no son apreciables a simple vista. Un ejemplo claro, es el del género *Ophiothela* que alberga ofiuros cuya discriminación específica se basa en caracteres como la forma de sus placas radiales, espacios interbraquiales, forma de las espinas de los brazos (Verrill, 1867; Clark y Rowe, 1971), entre otras. Además considerando que el disco mide en promedio 2.4 mm, su identificación mediante fotografías se hace prácticamente imposible.

De manera similar ocurre en el caso de los morfotipos Ophiasteridae. Identificar hasta el nivel taxonómico de género se basa en el número de filas de las áreas papulares (Clark y Downey, 1992), por lo que es necesario contar con ejemplares preservados en seco. La identificación fotográfica de los ofiasteridos encontrados no fue posible ni siquiera genéricamente. Esto ya que las especies que se encuentran en Malpelo pertenecientes a esta familia como *Leiaster teres*, *Tamaria stria*, son muy similares entre sí a simple vista y se parecen al Morfotipo 1. Además podría tratarse también de alguna especie del género *Linckia*, en cuyo caso correspondería a un nuevo registro. No se puede realizar ninguna afirmación sobre la identificación de este morfotipo, sólo cuestionarse sobre caracteres que pudieran encajarla mejor en una u otra especie. Siendo que pudiera



tratarse de una de las especies endémicas de Malpelo, un ejemplar colectado proporcionaría información crucial sobre su descripción. Además, la ventaja de contar con muestras de ADN permitiría tener una certeza total de su identificación y así poder realizar estudios de biogeografía poblacional.

Si bien en muchos holoturoideos se logra correctamente una identificación, en algunas ocasiones, características externas, como la coloración, pueden ser compartidas de manera interespecífica, provocando así una confusión en la identificación en campo. Esta situación puede ser solucionada en el laboratorio, ya que se puede llegar a un discernimiento confiable al examinar el carácter diagnóstico del grupo, basado en espículas microscópicas que se encuentran embebidas en la piel (Pawson, 1970; Hendler, 1995; Hickman, 1998). Para ello se debe contar con ejemplares colectados en húmedo, en los cuales se realicen cortes delgados de aproximadamente 1 cm² de la superficie dorsal y ventral del cuerpo, de los tentáculos, pies ambulacrales y de la cloaca con el fin de extraer las espículas y observarlas al microscopio óptico (Pawson, 1970).

9.3 RIQUEZA (Número de especies)

De acuerdo a las ecorregiones establecidas por el INVEMAR para el estudio del litoral Pacífico (Fig. 26), se hace una diferenciación entre la ecorregión del Pacífico Oceánico (PAO) y Malpelo (MAL), siendo que más del 80 % de especies de PAO se encuentran referenciadas en el USNM como especies colectadas en MAL. Considerando esta distinción, Arboleda (2002) realizó una compilación (hasta la fecha la más completa) de equinodermos del Pacífico colombiano, para así situar a la isla como una de las ecorregiones de riqueza media con 27 especies. PAO es la que presenta la mayor cantidad de especies con 41 (Arboleda, 2002 indica 42 debido a que ubicó a *Asterope carinifera* y *Asteropsis carinifera* como especies diferentes) al igual que la isla Gorgona. Neira y Cantera (2005) realizaron una clasificación similar, indicando que esta ecoregión es la más rica con 39 especies, seguida por Malpelo con 20.

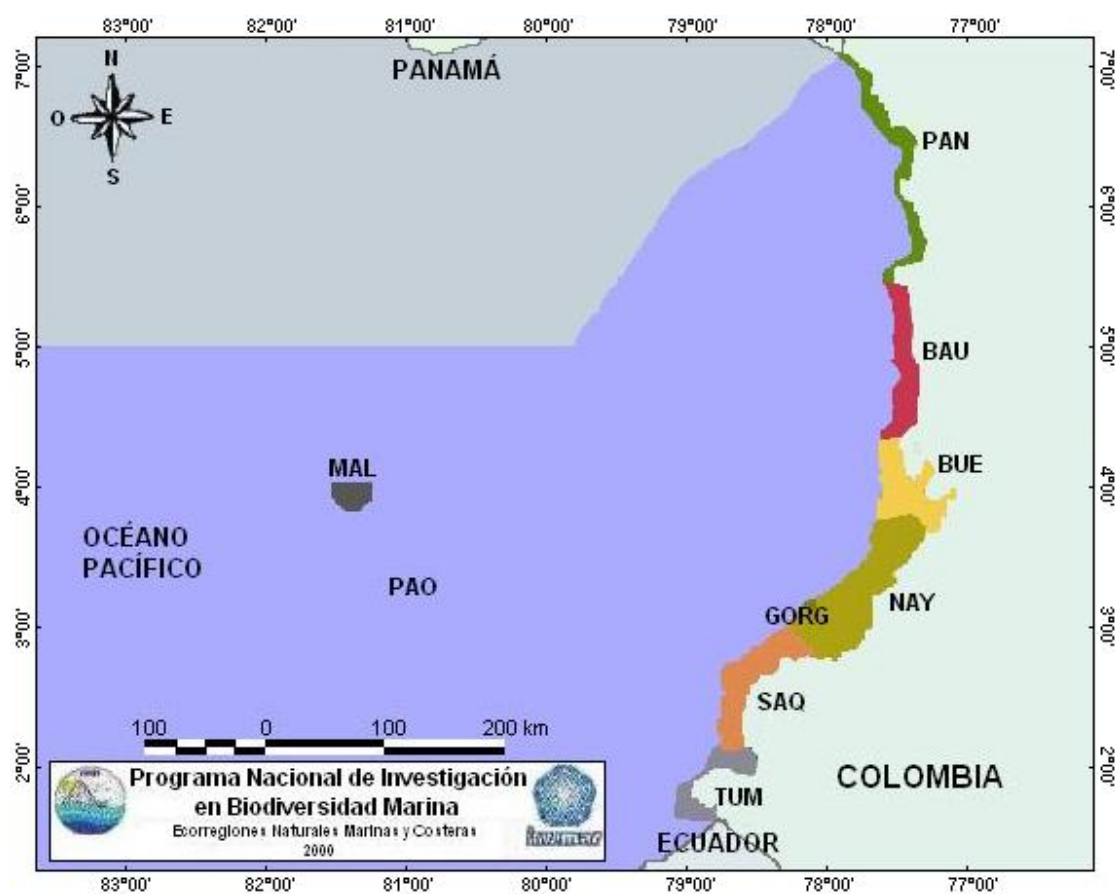


Figura 26. Ecorregiones establecidas por el INVEMAR para el estudio del litoral pacífico. Imagen modificada de Invemar, 2000.

Es importante destacar que se toma como referencia al inventario de Maluf (1991) debido al impacto del documento, ya que se basó en una investigación de varios años con un destacado criterio científico. Se aclara que aunque existe un Plan de Manejo Territorial 2005-2009 del SFF Malpelo (2005) que cuenta con una lista de equinodermos, no se considera debido a errores encontrados como sinonimias y avistamiento de buzos sin colectas ni fotografías que lo comprueben.

Ahora bien, el SFF se sitúa como la localidad con mayor riqueza de equinodermos de todo el Pacífico colombiano, registrándose en este documento 84 especies, respecto a las 50 que listó Maluf (1991), incrementándose, con 34 más, en un 68 % el conocimiento de la fauna del phylum de Malpelo. Teniendo en cuenta, sólo a los organismos que se distribuyen batimétricamente hasta los 200 m, la presente investigación contribuye al conocimiento,



con 16 especies más, lo que representa un 70 %, pues hasta la fecha se poseía un estimado de 23 (Maluf, 1991). De esta manera se afianza el valor de la isla como Patrimonio Natural de la Humanidad, donde el inicio de un constante estudio del ecosistema marino no solo generará mayor discernimiento para cumplir con la Convención de la Diversidad Biológica, sino que también se establecerán las líneas bases para la elaboración necesaria de planes para la conservación de la biodiversidad.

Continuando con el componente comparativo, a nivel del POT, la riqueza de equinodermos someros (0 – 200 m) de Malpelo es inferior (39) a la reportada por Maluf (1991) para la isla Galápagos con un estimado de 114 y también a la de isla del Coco con 67 (Alvarado en prensa). Considerando la conectividad entre las islas, es probable que las especies que habitan en Galápagos y en la isla del Coco también se presenten en Malpelo. Por esta razón, una menor riqueza de equinodermos, durante los muestreos, puede radicar en la metodología empleada, que no contempló inmersiones nocturnas ni levantamiento de rocas en busca de individuos que yacen ocultos durante el día, como en el caso de *Astrodictyum panamense*, y algunos pepinos y ofiuros, o de hábitos crípticos como *Ophiocoma aethiops* y *O. alexandri*.

De esta manera, si bien el listado sistemático expuesto en el presente trabajo constituye un aporte importante para el conocimiento de la biodiversidad de Colombia, presenta una subvaloración de la riqueza real de equinodermos del SFF Malpelo. Esto se evidencia con el caso de los ofiuroideos de los cuales se obtuvo una riqueza de tan solo cinco especies, mientras que para Galápagos e isla del Coco, se indican 11 (Hickman, 1998) y 17 (Alvarado en prensa) especies, respectivamente.

9.4 DISTRIBUCIÓN

Al comparar la distribución de las especies de equinodermos reportadas en este trabajo, con la de otras regiones del Pacífico colombiano, se resaltan las siguientes particularidades:

1. Los asteroideos *Nidorellia armata*, *Pentaceraster cumingi*, *Mithrodia bradleyi*, *Pharia pyramidatus* y *Phataria unifascialis*, los ofiuroideos *Ophiocoma aethiops*,



O. alexandri, *Ophiactis savignyi* y *Ophiothela* cf. *mirabilis*, los echinoideos *Eucidaris thouarsi*, *Hesperocidaris asteriscus*, *Centrostephanus coronatus*, *Lytechinus pictus*, *Toxopneustes roseus* y *Tripneustes depressus* y los holoturoideos *Holothuria* (*Lessonthuria*) *pardalis*, *Holothuria* (*Mertensiothuria*) *fuscocinerea*, *Holothuria* (*Mertensiothuria*) *leucospilota*, *Holothuria* (*Thymiosycia*) *hilla* y *Holothuria* (*Thymiosycia*) *impatiens* son especies que además de presentarse en Malpelo también se distribuyen en otras regiones de la costa pacífica colombiana como Chocó, Ensenada de Utría, Bahía Málaga, Ensenada de Tumaco, desembocadura del río Guapi, Playa Mulatos, Sanquianga, Baudó, Naya y Bahía de Buenaventura (Arboleda, 2002; Neira y Cantera, 2005).

2. Los pepinos *Holothuria hilla*, *H. pardalis*, *H. fuscocinerea* y *H. impatiens* son especies que se comparten exclusivamente con la isla Gorgona, no encontrándose en otras localidades del territorio nacional.

3. Las demás especies, que en su mayoría son de profundidades, se distribuyen únicamente en Malpelo.

A nivel de las localidades del POT, se observa que los equinodermos encontrados en Malpelo se distribuyen ampliamente desde el Golfo de California, Galápagos, isla del Coco, hasta Perú y Chile (Maluf, 1988 y 1991; Hickman, 1998; Alvarado en prensa; Edgar *et al.*, 2004; Solís-Marín *et al.*, 2005), siendo la mayoría encontrados en Malpelo afines con la región panámica y la de Galápagos. Las especies *Hymenaster gracilis*, *Distolasterias robusta* y *Amphiophiura obtectata* además de presentarse en Malpelo, lo hacen únicamente en el archipiélago de Galápagos, mientras que *Astropecten sulcatus*, *Scleracterias alexandri* y *Lytechinus pictus* lo hacen sólo en isla del Coco.

Los asteroideos *Acanthaster planci* y *Asteropsis carinifera*, los ofiuros *Ophiactis savigni* y *Ophiothela* cf. *mirabilis* y los holoturoideos *H. keffersteini*, *H. pardalis*, *H. fuscocinerea*, *H. leucospilota*, *H. hilla*, *H. impatiens* e *I. horrens* son especies afines con el océano Indo-pacífico (Pawson, 1995; Barraza y Hasbún, 2005), lo cual indica una conectividad entre esta región y el POT. Esto, fue comprobado por Lessios *et al.* (1998) quien secuenció nucleótidos del citocromo b del ADNm de las poblaciones de *Echinothrix*



diadema del Indo-pacífico, de Clipperton e Isla del Coco. Sus resultados demostraron poblaciones genéticamente muy similares, probablemente conectadas a causa de un transporte de larvas por la contracorriente Ecuatorial del Norte en el evento Niño de 1982-83.

Basada en las fuentes de Ormond y Campbell (1974), Hickman (1998), Barraza y Hasbún (2005), Neira y Cantera (2005) y del listado de referencia de la Colección Nacional Ma. H. Caso Muñoz, Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Autónoma de México, se indica a continuación la distribución geográfica conocida hasta este trabajo, de las especies de aguas someras (0 y 20 m de profundidad) que son reportadas por primera vez para el SFF Malpelo y para el Pacífico colombiano (*), ampliándose así su rango de distribución global y nacional.

- *Amphiaster insignis**: Golfo de California, El Salvador.
- *Acanthaster planci*: Indo-pacífico, Mar Rojo, Panamá, Costa Rica, Baja California, archipiélago Revillagigedo, islas Galápagos.
- *Phataria unifascialis*: Golfo de California hasta Perú y las islas Galápagos. A nivel nacional en la ensenada de Utría, bahía Málaga e isla Gorgona.
- *Ophiactis simplex**: Islas del Canal de California y golfo de California hasta la bahía Independencia en Perú, islas Revillagigedo, Coco y Galápagos.
- *Hesperocidaris asteriscus*: Golfo de California, Panamá. A nivel nacional en el Chocó, ensenada de Utría, bahía Málaga, ensenada de Tumáco e isla Gorgona.
- *Centrostephanus coronatus*: Golfo de California hasta Perú y las islas Galápagos. A nivel nacional en la ensenada de Utría, bahía Málaga e isla Gorgona.
- *Toxopneustes roseus*: Golfo de California hasta Ecuador y las islas Galápagos a nivel nacional en la isla Gorgona.
- *Brissus obessus**: Desde el sur de California hasta Ecuador y las islas Galápagos.
- *Holothuria (Halodeima) kefersteini**: Desde Mozambique hasta Hawái, golfo de California, El Salvador, isla del Coco, Clipperton e islas Galápagos.



- *Holothuria (Mertensiothuria) fuscocinerea*: Desde el sur de México hasta las islas Galápagos, islas de Clarión y Hawai, extendiéndose hasta la costa este de África. A nivel nacional en la isla Gorgona.
- *Holothuria (Mertensiothuria) leucospilota*: Desde la costa oriental de África hasta la región panámica incluidos el golfo de California e islas Galápagos. A nivel nacional en el Chocó, ensenada de Utría e isla Gorgona.
- *Isostichopus horrens**: Pacífico central incluido las Filipinas, Carolinas, Fiji, Samoa, islas Society, Hawai, isla del Coco e islas Galápagos.

9.5 DENSIDAD

9.5.1 Dinámica y función de los equinodermos en la comunidad arrecifal del SFF Malpelo

Durante el evento Niño de 1982-83, los arrecifes coralinos de localidades del Pacífico Oriental Tropical (POT) como Galápagos, Panamá, Colombia y Costa Rica, fueron destruidos de un 50 a un 100 % (Glynn, 1990 En: Guzmán y Cortéz, 1992). En 1987, se demostró en la isla oceánica del Coco una mortalidad coralina de hasta un 90 %, en profundidades entre 1 y 24 m, con coberturas coralinas muy bajas correspondientes a 2.3, 2.9 y 3.5 % en tres sitios diferentes alrededor de la isla (Guzmán y Cortéz, 1992). Para Malpelo, Garzón-Ferreira y Pinzón (1999) evaluaron rápidamente la estructura y salud de las formaciones coralinas, en el cual confirmaron una reducción del 20 % de la cobertura viva (desde 1972 cuando se registraba un valor promedio de 65 %), dado posiblemente por un fuerte evento de blanqueamiento ocurrido en el evento de El Niño 1982-83. Así, una de las respuestas consecuentes, frente a la mortalidad de coral, fue la disponibilidad de sustratos propicios para la colonización de algas incrustantes, que pueden explicar la gran cobertura de las mismas que ostenta Malpelo.

Es precisamente bajo esta situación, donde organismos oportunistas, como los equinoideos pueden aprovechar la gran biomasa algal disponible para así incrementar el



tamaño de sus poblaciones, en vista de la escasez de algas verdes (Birkeland, 1989). La ventaja que les provee tener un aparato bucal tan elaborado como la linterna de Aristóteles, les ha conferido la facultad de poder alimentarse de una variedad de materiales, gracias a dietas generalistas determinadas por la disponibilidad de alimento en el medio (De Ridder y Lawrence, 1982 En: Birkeland, 1988). Así, en el SFF, donde es común encontrar amplias zonas cubiertas por algas incrustantes, se observó una mayor riqueza y densidad de equinoideos, particularmente del erizo negro *Diadema mexicanum* que predominó los transectos en más del 70 %.

Los equinoideos en general, juegan un rol importante en la comunidad arrecifal, puesto que son capaces de mantener la cobertura coralina, debido al pastoreo activo que ejercen sobre algas, las que a su vez compiten con los corales por espacio (Sammarco 1982, Hughes *et al.* 1987). Sin embargo, altas densidades del erizo negro *D. mexicanum*, pueden incrementar la tasa de bioerosión de la estructura del arrecife, no solo por la abrasión que generan al alimentarse, sino también por la fricción mecánica de las espinas durante el desplazamiento (Eakin, 1992). Diez años después de el evento El Niño 1982-83 en la isla Uva en Panamá, la densidad del erizo, aumentó de 3 a al menos 50 ind/m², con una tasa de bioerosión entre 6 a 14 kgCaCO₃/m²/año (Eakin, 1992). Considerando entonces, que este proceso depende básicamente de tres factores: especie, densidad poblacional y tamaño de la testa de los individuos (Herrera-Escalante *et al.*, 2005), es probable que *D. mexicanum*, por sus hábitos alimentarios, densidades y tallas elevadas estén modificando no sólo biológicamente la estructura comunitaria, sino también de manera topográfica el soporte arrecifal del ecosistema marino del SFF Malpelo.

El éxito como especie dominante de *D. mexicanum* puede estar determinado además por las siguientes causas. Es importante notar que dentro de los muestreos se realizó una determinación de los macroinvertebrados asociados a los transectos como parte del Proyecto Seascape (Edgar com. pers.). A partir de estos datos, se planteó la posibilidad de una baja densidad de depredadores como crustáceos y gasterópodos, de los cuales solo se encontraron cuatro especies en los transectos estudiados (una langosta *Panulirus* sp., un cangrejo *Portunus* sp. y dos gasterópodos *Hexaplex* sp. y *Conus* sp.). Otra razón, es que el erizo negro muestra un rápido crecimiento durante la fase juvenil que les beneficia con un



menor tiempo de vulnerabilidad frente a depredadores y por consiguiente asegura la sobrevivencia de una mayor cantidad de individuos (Birkeland, 1988).

En Malpelo *D. mexicanum* fue encontrada en parches que oscilaban desde unos pocos erizos hasta llegar a formar vastos agregados de más de 70 individuos aproximadamente en 2 m². Es posible que esta conducta gregaria sea consecuencia de una alta densidad que sobrepase la disponibilidad de espacios libres en el arrecife para refugiarse, razón por la cual se ven en la situación de formar aglomerados donde sus espinas largas constituyen una barrera eficiente para protegerse de la depredación de los peces. Pearse y Arch (1969) observaron en un experimento de campo que cuando un individuo de la agregación es estimulado externamente, empieza a agitar sus espinas y a medida que el estímulo aumenta en intensidad, se mueven más rápido e incluso generan la reacción en cadena de los otros miembros del grupo. Cuando el estímulo se acentúa fuertemente, algunos individuos perturbados pueden subir sobre sus vecinos para así formar unidades más altas que le proporcionan una mayor protección frente a los depredadores. Por esta razón, se puede explicar en parte, el hecho de una densidad tan extrema en comparación con el resto de especies de Malpelo; los erizos negros forman amplias barreras espinosas que los aísla de la depredación de algunos peces como el ángel real *Holocanthus passer*, que fue observado, fuera de los transectos atacando y posteriormente alimentándose de *D. mexicanum*.

Existen tres grupos de erizos conocidos por su potencialidad como agentes bioerosivos (Birkeland, 1988). El primero alberga a familia Diadematidae, de la cual en Malpelo se encontraron dos representantes: la ya mencionada *Diadema mexicanum* y *Centrostephanus coronatus*. En la isla Gorgona la tasa media de abrasión de un individuo de *C. coronatus* entre 1997 y 2000 fue de 0.19 kgCaCO₃/m²/año presentándose diferencias entre tallas, pues la abrasión de los individuos más pequeños fue de 0.034 ± 0.004 kg/m²/año, mientras que de los más grandes fue de 0.11 ± 0.131 kgCaCO₃/m²/año (Cantera *et al.* 2001).

El segundo grupo esta conformado por las familias Echinometridae y Toxopneustidae del que se conoce muy poco. Sólo en pocas ocasiones se puede encontrar carbonato cálcico dentro del contenido estomacal de los toxopneustidos, debido a que se



alimentan principalmente de algas que se encuentran notablemente expuestas y sobre material sedimentario (Birkeland, 1988). Sin embargo se ha encontrado que en las islas Vírgenes del Caribe, la especie *Echinometra lucunter* presenta una tasa de bioerosión de 3.9 kg CaCO₃/m²/año (Ogden, 1977 En: Cantera *et al.*, 2001).

Finalmente el tercer grupo está constituido por la familia Cidariidae. En Galápagos *Eucidaris thouarsii* es también conocida como agente bioerodador, pues se ha identificado que, su dieta se basa principalmente de corales escleractinios, tendiendo a pastorear sobre animales incrustantes (Glynn, 1979).

De esta manera el efecto ramoneador, de los equinoideos, pudo haber contribuido en alguna medida a la gran invasión de algas coralinas, después del evento Niño 1982-83. Esto debido a que las algas incrustantes requieren de la remoción continua de algas filamentosas y arbustivas para poder sobrevivir (Steneck, 1982 En: Birkeland, 1988).

Así como los equinoideos, los holoturoideos, en especial los del orden Aspidochirotida también desempeñan un rol biológico importante en la comunidad arrecifal. Se encontró que dentro de la isla Malpelo son organismos medianamente abundantes con un valor promedio de 0.056 ind/m². El hecho de alimentarse de depósitos sedimentarios, genera que sus heces estén potencialmente enriquecidas de materia orgánica que, a su vez actúa como fuente de energía para la comunidad bentónica (Sloan y von Bodungen, 1980). Holoturoideos de áreas templadas, producen heces que pueden tener, inclusive un mayor contenido orgánico que el mismo sedimento (Bassin, 1980 En: Birkeland, 1988). Considerando que dentro de la riqueza de pepinos que alberga la isla, algunos son de actividad nocturna, entonces el hecho de la producción de heces durante el día y la noche, provee una fuente constante de material orgánico para la disposición de otros consumidores detritívoros y sedimentarios.

Finalmente, la estrella corona de espinas *A. planci* altamente competitiva, también es una especie influyente en la dinámica de los arrecifes coralinos de varias zonas del mundo, ya que al ser coralívora es capaz de consumir anualmente entre 6 a 12 m² de coral vivo (Cheser, 1969; Pearson y Endean, 1969 En: Endean, 1974). A medida que esta estrella se alimenta, va dejando a su paso, notorias cicatrices de parches blancos, que también serán colonizadas por algas y animales incrustantes como esponjas y corales blandos (Goreau,



1962). Como consecuencia se genera un incremento en la capacidad de carga del arrecife para especies herbívoras de equinodermos y peces, y una disminución para coralívoras (Birkeland, 1988), que podría explicar en parte la alta densidad de equinoideos hervíboros. Cabe notar que después de 2004, siempre se han observado en las dos épocas climáticas de Malpelo, sólo dos individuos de *A. planci* (Narváez y Zapata en prensa.) localizados en El Arrecife y en La Nevera. Pese a la baja densidad (0.001 ind/m^2) de *A. planci* registrada en el presente documento, los monitoreos de corales del Sistema de Información y Soporte para el Monitoreo de Áreas Coralinas (SISMAC), indicaron que actualmente los pocos daños en la cobertura coralina de la isla, se deben a la acción conjunta de la depredación de *A. planci*, la construcción de territorios del pomacentrido *Stegastes arcifrons* y la mortalidad por enfermedades (Navas com. pers). Si bien los corales de Malpelo se encuentran en buen estado, Navas comenta que la muerte de tejido coralino causada por *A. planci* es mayor que la generada por las enfermedades.

Por otra lado, respecto a la asociación del ofiuo *Ophiothela* cf. *mirabilis* con el octocoral *Leptogorgia alba*, es posible que *O.* cf. *mirabilis* pueda estar aprovechando el mecanismo de captación de alimento del octocoral para beneficio propio, pues los octocorales se posicionan perpendicularmente a la dirección del movimiento del agua con el fin de optimizar el volumen del agua que entra en contacto con la colonia para así captar materia orgánica particulada necesarias para su supervivencia (Ávila *et al.* 1988). Así, los ofiuos que presentan hábitos suspensívoros, aprovechan la ubicación del octocoral, en donde el impacto fuerte de las corrientes traiga consigo mayores cargas planctónicas para consumir.

Sin embargo, durante este proceso, los octocorales también atrapan sedimentos que de no removerse pueden resultarles perjudiciales (Cantera *et al.* 1987) al cubrir su superficie de respiración y alimentación. Así, *O.* cf. *mirabilis* no sólo encuentra patrocinio al habitar en la estructura esquelética del octocoral, sino que despliega una simbiosis de beneficios mutuos al actuar potencialmente como agente removedor de sedimento de su hospedero.



9.5.2 Comparación temporal

La relación existente entre la temperatura a profundidad y la estructura de la fauna de equinodermos en Malpelo ($\rho_w = 0.345$), puede estar asociada a una migración ascendente de las especies en busca de aguas menos frías tal como lo explican Espino-Barr *et al.* (1996) para México. En marzo, se evidenció tanto temperaturas bajas como densidades altas, debido posiblemente a afluencias verticales de aguas profundas. Estas aguas traen consigo una carga nutritiva alta que se refleja en la transparencia del agua, la cual fue regular en marzo mientras que en diciembre fue buena, siendo significativamente diferentes entre meses ($W = 259.5$; $p < 0.005$). Así una mayor cantidad de organismos en marzo, puede deberse tanto a que las especies que en diciembre se encontraban a profundidades mayores a las de estudio, podrían ascender en busca de aguas más cálidas, así como a una la afloración algal dada por la disponibilidad de nutrientes en el medio (Lalli y Parsons, 1993).

Si bien el ofiuro *O. cf. mirabilis* fue poco frecuente, presentó densidades muy altas en cada colonia en la que fue encontrada, lo cual puede estar determinado por el área del octocoral, dado que así encuentra una mayor cantidad de microhábitats disponibles que favorecen su asentamiento y desarrollo en función de los recursos presentes (Connor y McCoy, 1979 En: Saavedra y Zapata, 1992). Los hábitos de esta especie son de carácter suspensívoros (Hendler *et al.* 1955) por lo que una mayor carga nutritiva en marzo, puede optimizar las tasas de adquisición de nutrientes y por consiguiente su proliferación, pudiendo así generar una mayor densidad, no sólo de ofiuros sino también de todos los equinodermos.

Es posible que el leve aumento en la densidad del phylum en marzo, esté sustentado con el ligero incremento en el porcentaje de cobertura algal del que la mayoría de equinodermos encontrados emplea como fuente alimenticia. Si bien dicha variable no fue estadísticamente diferente entre los dos meses, es necesario para sostener un aumento en la densidad, un aumento en las bases alimenticias.



9.5.3 Comparación espacial

En vista que los diadematoideos conforman el grupo predominante de la fauna de equinodermos, se podría explicar el hecho que El Arrecife (AR) y la Pared del Fantasma (FA) sean las estaciones con menor densidad. Esto dado a que las especies de dicha familia, particularmente *D. mexicanum*, están adaptadas a vivir en hábitats de alta energía, de manera que al ser estas estaciones protegidas, la densidad total de estos organismos es menor. Además como lo explica Birkeland (1988), la dieta de esta familia esta basada en algas incrustantes (cuando las filamentosas escasean) y dado que AR y FA se sitúan en la categoría “baja” respecto al porcentaje de cobertura algal (referenciado por análisis de similitud) una baja densidad estaría influenciada por el poco sustento alimenticio de las estaciones. Este factor, fue establecido en la prueba BIOENV ($p_w = 0.345$) como unos de los que mejor explican la estructura de la fauna del phylum de Malpelo.

El caso contrario ocurre en la Pared del Náufrago Norte (NAN), la cual es la más compleja por presentar tanto la mayor densidad y el mayor número de especies, así como una suficiente cobertura algal (75 - 80 %). Esto explicaría la alta densidad de equinodermos, particularmente de organismos herbívoros como los equinoideos. Así mismo, fue una estación parcialmente expuesta al embate de las olas, condición en la que la mayoría de los equinoideos están adaptados a habitar.

Las densidades de las especies en las diferentes estaciones por lo general se ajustaron a su comportamiento medio, puesto que ni los parámetros del hábitat ni la densidad presentaron variaciones considerables, expresado por los valores más bajos del índice de Dubois. Sólo AR fue la excepción, cuya fluctuación estuvo condicionada por el aumento considerable en la densidad de dos especies en el transecto MAR20. En primer lugar el ofiuro *O. cf. mirabilis* pasó de cero individuos a 1.3 ind/m², y posteriormente el cambio en la estabilidad de la densidad se dio por el erizo *Centrostephanus coronatus* quien pasó de cero a 0.17 ind/m². La variación de este erizo también repercutió en FA en menor proporción

También en AR, se presentó un cambio notorio en el comportamiento normal de los parámetros del hábitat, que estuvo ligado a un fuerte aumento en el porcentaje de cobertura



arenosa. En MAR20 la arena que osciló entre 0 y 35 % aumentó a un 70 %. Esto también explica el por qué este transecto fue el más diferente de todos en el análisis de clasificación del caso 2.

9.5.4 Comparación batimétrica

En general la densidad de equinodermos disminuyó conforme la profundidad aumentó. Los equinodermos pudieran estar siguiendo un patrón determinado por la incidencia de luz solar, pues a mayores profundidades la intensidad lumínica decrece, generado así menores porcentajes de cobertura algal y coralina, las que según Birkeland (1988) constituyen las principales fuentes alimenticias de la mayoría de especies. Sin embargo, las altas densidades de *D. mexicanum* pueden estar enmascarando considerablemente los valores de densidad de la clase Holothuroidea, que alberga a la mayoría de las especies nocturnas y que se encontraron en todas las profundidades. Se observó que la cobertura algal decrece en 8 m y vuelve a aumentar en 20 m, lo cual puede deberse a la poca cantidad de réplicas.

Los pepinos, exhiben un patrón contrario al del grupo de los equinodermos, pues fueron más abundantes a 20 m de profundidad y menos a 8 m. Esto, ya que si bien pueden estar presentes a cualquier profundidad, escogen hábitats donde encuentren fondos sedimentarios para su alimentación. Pese a esto no se encontró relación con el porcentaje de cobertura arenosa en los transectos con mayor densidad, por lo que su estadía a mayores profundidades puede deberse a una mayor disposición de sustratos horizontales donde asentarse. Esto, ya que hacia la zona más somera, la topografía de Malpelo exhibe bastas áreas de acantilados que descienden en una pendiente inclinada que en algunas ocasiones se suaviza a mayores profundidades dejando al descubierto sustratos propicios para los holoturidos. En la isla fue común encontrarlos en pequeñas áreas donde cabían ajustados, por lo cual su densidad no está directamente relacionada con grandes arenales.

Por lo general se les encontró sobre arena o restos muertos de coral. Sin embargo la baja densidad de estos organismos puede deberse a la metodología que no contempla



individuos nocturnos escondidos. Por ejemplo Shepherd *et al.* (2004) determinaron que en Galápagos, las densidades de *Stichopus fuscus* e *I. horrens* aumentan durante la noche de 0 a 22 y de 0.1 a 11.8 ind/10m², respectivamente, lo cual indica un sesgo de la densidad hacia su subestimación.

9.6 DISTRIBUCIÓN BATIMÉTRICA EN EL ARRECIFE

D. mexicanum se presentó en exclusividad entre 0 y 5 m donde se evidenció un 92 % de roca firme cubierta por algas incrustantes. Dada la ubicación de la isla, es una localidad expuesta a la acción de las olas, más aún los temporales y tormentas desencadenan un fuerte oleaje (Díaz *et al.*, 2000) que a tan poca profundidad en la isla, son pocas las especies de equinodermos y aparentemente ninguna de coral hermatípico, lo suficientemente adaptadas para no gastar tanta energía en protegerse de no ser desprendidas del sustrato. Esta profundidad tiene la ventaja de ser un espacio en donde por el fuerte oleaje, son pocos los peces que pueden atacar y competir con *D. mexicanum*. La gran cantidad de roca les provee de una gran disponibilidad de algas incrustantes y una amplia zona de refugio sobre oquedades que ellos mismos cavan.

Entre 5 y 10 m de profundidad se empezaron a observar parches coralinos (30 %) y fue en este rango donde la densidad de *D. mexicanum* incrementó en un 64 %, lo cual es probable que se debiera a la disminución de las condiciones extremas de la superficie y a un aumento en la disponibilidad de refugio entre los corales, donde no tienen que gastar energía cavando ellos mismos por protección.

A partir de este rango de profundidad, la riqueza de equinodermos empieza a aumentar hasta siete especies. La cobertura coralina y arenosa también aumentó, lo cual puede generar nuevos hábitats para la prosperidad de una variedad de especies al cumplir, por ejemplo con los requerimientos tanto alimentarios de coralívoros como *Nidorellia armata* y cidaridos, de herbívoros como *D. mexicanum* y toxopneustidos y de sedimentívoros como los pepinos, así como de refugio en el caso de las especies nocturnas como *Stichopus fuscus*.



Si bien el test de Kruskal-Wallis señala que las medianas de las densidades entre cada rango de profundidad no exhiben diferencias significativas, a nivel ecológico, el hecho de encontrar en el rango de 5 a 10 m casi 0.7 ind/m^2 y luego tan sólo 0.002 ind/m^2 de 25 a 30 m de profundidad es una diferencia muy notoria a la que aparentemente este test no es lo suficientemente sensible. Como se ha observado y se comprobó con el análisis BIOENV, de las variables medidas, el porcentaje de cobertura de roca es la que mejor explica la distribución vertical de los equinodermos en El Arrecife de la isla Malpelo, pues en aquellos espacios donde la roca predomina, la densidad es notablemente más alta, mientras que de presentarse un gran incremento de arena, por ejemplo a mayor profundidad, la cantidad de equinodermos disminuye.



10. CONCLUSIONES

Distribuidos en cuatro clases (no hubo representantes de la clase Crinoidea), se encontró un total de 84 especies de equinodermos, 26 observados en los muestreos y 58 registrados en la bibliografía. De estos, 36 son nuevos registros para el SFF, siendo 11 nuevos para el Pacífico colombiano.

El 54 % de las especies constituyeron formas de vida asociadas a profundidades mayores a 200 m. De esta manera, se incrementa en un 68 % el conocimiento de la fauna de equinodermos del SFF Malpelo.

La clase Echinoidea presentó el mayor número de especies en ambos meses, en todas las estaciones y profundidades, mientras que la Ophiuroidea sólo tuvo una. La densidad presentó una tendencia a disminuir a medida que aumenta la profundidad. La especie de mayor densidad fue *Diadema mexicanum* y las de menor fueron *Acanthaster planci*, *Nidorellia armata* e *Isostichopus horrens*.

Es probable que después del evento de El Niño 1982-83, se haya producido una muerte masiva de corales en Malpelo. Esto dejaría al descubierto sustratos propicios para la colonización de algas incrustantes, que pueden explicar la gran cobertura de algas incrustantes que ostenta la isla y por consiguiente la gran densidad de especies herbívoras tales como los equinoideos.

La estructura de la asociación de equinodermos del SFF Malpelo se encuentra influenciada por la combinación de las variables temperatura a profundidad y cobertura algal.

La población del erizo negro *Diadema mexicanum* puede estar jugando un importante rol biológico en la cobertura coralina y algal de la comunidad intermareal de Malpelo, así como uno topográfico mediado por su potencialidad como agente bioerodador. En cuanto a la densidad de esta especie, no se encontraron diferencias significativas entre los meses de muestreo, pero sí entre profundidades y parcialmente entre estaciones.



El sector medio de la zonación vertical del Arrecife se caracteriza por presentar un hábitat complejo formado principalmente por corales, arena, roca y cantos rodados cubiertos por algas incrustantes, que auspicia la estancia de diferentes especies al cumplir con los requerimientos necesarios para su sobrevivencia como son la disponibilidad de diferentes fuentes alimenticias para suplir con la heterogeneidad de hábitos alimentarios y refugio para protegerse de depredadores.

De las variables medidas para el componente de distribución batimétrica, es el porcentaje de cobertura rocosa la que mejor explica la distribución vertical de los equinodermos en la isla Malpelo, aumentando las densidades a menores profundidades cuando predomina la roca. La temperatura del mar fue menor en marzo que en diciembre, mientras que la transparencia del agua fue mejor en diciembre. Esto puede estar ligado a la influencia del fenómeno de afloramiento del Golfo de Panamá.

Los porcentajes de cobertura presentaron tres características importantes en las diferentes profundidades: (1) la cobertura algal no sigue el patrón determinado por la penetración de la luz; (2) a menores profundidades la cobertura coralina exhibe porcentajes mayores (25 y 31 % para 8 y 14 m, respectivamente); (3) en todas las profundidades existe una dominancia de la cobertura algal, seguida por la coralina y finalmente la arenosa.



11. RECOMENDACIONES

Si bien el presente trabajo contribuyó en un 68 % al conocimiento de la fauna de equinodermos de Malpelo, debido a la metodología empleada las especies que se encontraron durante esta investigación se restringen a aquellas de hábitos diurnos. Por esta razón se recomienda un estudio más amplio con una metodología que abarque la mayor cantidad posible de estaciones alrededor de la isla y en la cual se permita bien levantar piedras en busca de individuos escondidos de la luz solar, o bien inmersiones nocturnas. Esto ya que en algunos casos, la estimación de la densidad pudo haber estado sesgada debido a la eficiencia del buzo que varía según las condiciones medioambientales y por el comportamiento nocturno, agregación y cripsis de algunas especies que dificulta un conteo preciso de individuos. De realizar una nueva metodología con estas características, es probable encontrar resultados mayores en cuanto a riqueza de especies y por consiguiente información nueva sobre su distribución y densidad.

Así mismo, la realización de colectas es sumamente importante para proporcionar información sustentada en la identificación directa de los individuos, la cual es mucho más confiable que mediante fotografías. Además, considerando las dificultades en la identificación de algunas especies encontradas, que son tan frecuentes en el campo de la taxonomía, contar con ejemplares de museo es esencial para obtener bases certeras sobre la composición de equinodermos de la isla.

En vista de las altas densidades del erizo negro *D. mexicanum*, se recomienda la realización de un detallado estudio poblacional para establecer sus atributos y así demostrar la importancia de esta especie como agente bioerosivo. Una investigación que además evalúe las tasas de remoción de CaCO_3 y acresión por parte de algas incrustantes, ayudaría a dilucidar el estado de la comunidad arrecifal de Malpelo y el por qué de la distribución focal del arrecife.

En la isla no se cuenta con información sobre el comportamiento de la ecología trófica de los equinodermos, por lo cual impulsar la investigación hacia el conocimiento de



la red trófica es recomendable para inferencias sobre sus depredadores y presas en la comunidad de Malpelo que generaría un mayor conocimiento en la dinámica de la comunidad marina de la isla.

Dado que existen muchas especies suspensívoras, podría realizarse un estudio en el que se relacionase las densidades de este tipo de organismos con la disponibilidad de nutrientes en el medio. Esto, reforzado con evaluaciones de la productividad primaria en la isla que además determinaría la presencia o no de un evento de surgencia, el cual a su vez pudiese influenciar en las densidades de diferentes especies.



12. BIBLIOGRAFÍA

- AGASSIZ, A. 1881. Report of the echinoidea dredged by the "H.M. Challenger" during the year 1873-76. *Zoology*. 3 (9): 1-321.
- _____. 1888. XIX. Characteristic deep-sea types - Echinoderms. Three cruises of the United States Coast and Geodetic Survey Steamer "Blake" in the Gulf of Mexico in the Caribbean Sea, and along the Atlantic Coast of the United States, from 1877 to 1880. In two volumes. The Riverside Press. Cambridge. 2: 84-127.
- _____. 1892. Reports on an exploration off the west Coast of Mexico, Central and South America, and off Galapagos Island, in Charge of Alexander Agassiz. by the U.S. Fish Commission Steamer "Albatross" during 1891, Lieut. Commander Z. L. Tanner, U. S. N. Commanding. I. Calamocrinus diomedae Agassiz; A new stalked crinoid. with notes on the apical system and the homologies of echinoderms. *Memoirs of the Museum of Comparative Zoology at Harvard College*. Cambridge, U.S.A. 17(2): 1-95.
- ALVARADO, J. J. En prensa. Isla del Coco (Costa Rica) Echinoderms: State of knowledge.
- ARBOLEDA, E. 2002. Estado actual del conocimiento y riqueza de peces, crustáceos decápodos, moluscos, equinodermos y corales escleractinios del Océano Pacífico colombiano. Trabajo de grado para optar el título de Biólogo Marino. Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras-INVEMAR, Fundación Universidad Jorge Tadeo Lozano. Santa Marta. 86 p.
- ÁVILA, G., D. F. MEJÍA, R. TRUJILLO y W. VARGAS. 1988. Octocorales de la isla de Palma y su fauna asociada, Bahía Málaga, Pacífico colombiano. *VI Sem. Nac.Cien. Mar. Colombia*, 557-563 p.
- BARRAZA, J. E. y C. R. HASBÚN, 2005. Los equinodermos (Echinodermata) de El Salvador. *Rev. Biol. Trop.* 53 (3): 139-146.



- BIRKELAND, C. 1988. The influence of echinoderms on coral-reef communities. In: JANGOUX, M and J.M. LAWRENCE, (Eds.). Echinoderms studies. Róterdam. 3: 79 p.
- BIRKELAND, C., D. MEYER, J. STAMES and C. BUFORD. 1975. Subtidal Communities of Malpelo Island. In: GRAHAM, J. (Ed.) The Biological Investigation of Malpelo Island, Colombia. Smithsonian Institution Press. 176: 55-68.
- BRANDO, A., H. VON PRAHL y J. CANTERA. 1992. Malpelo: Isla Oceánica de Colombia. Banco de Occidente Credencial. Colombia. 195 p.
- BRUSCA, R. C. and G. J. BRUSCA. 1990. Chapter Twenty-Two: Phylum Echinodermata. In: BRUSCA, R. C. and G. J. BRUSCA. Invertebrates. Sinauer Assoc. Inc. Pub. Massachussets. 801-839.
- CANTERA, J y R. NEIRA. 1987. Primer registro del género *Echineulima* Lutzen y Nielsen (Gastropoda: Eulimidae), moluscos parásitos de erizos de mar en la isla de Gorgona (Pacífico colombiano). An. Inst. Invest. Mar. Punta Betín. 17: 87-93.
- CANTERA, J., H. VON PRAHL y R. NEIRA. 1987. Moluscos, crustáceos y equinodermos asociados a la gorgonia *Lophogorgia alba* Duchassing and Michelotti, 1864 en la isla Gorgona, Colombia. Boletín Ecotrópica: Ecosistemas Tropicales. 3-21.
- CANTERA, J. R., F. A. ZAPATA, P. FORERO, V. FRANCISCO, J. M. JIMENEZ, G. LONDOÑO, K. NARVAEZ, R. NEIRA, C. A. OROZCO y G. TORO-FARMER. 2001. Organismos bioerodadores en arrecifes de la isla Gorgona En: BARRIOS, L. M. y M. LÓPEZ-VICTORIA (Eds.). Gorgona marina: Contribución al conocimientos de una isla única. Inst. Invet. Mar. y Cost. "José Benito Vives de Andreis". Ser. Publ. Esp. No. 7. 51-64.
- CASO, M. E. 1976. El estado actual del estudio de los equinodermos de México. An. Cent. Cienc. Mar y Limnol. UNAM. México. 3: 1-56.
- _____. 1978a. Los equinodermos de la bahía de Mazatlán, Sinaloa. Anales del Centro de Ciencias del Mar y Limnología. Universidad Nacional Autónoma de México. An. Cent. Cienc. Mar y Limnol. UNAM. México. 6: 197-368.



- CASO, M. E. 1978b. Los equinoideos del Pacífico de México. Parte primera. Ordenes Cidaroida y Aulodonta. Parte segunda. Ordenes Stridonta y Camarodonta. An. Cent. Cienc. Mar y Limnol. UNAM. México. Pub. Esp. 1. 244 p.
- _____. 1980. Los equinoideos del Pacífico de México. Parte tercera. Orden Clypeasteroidea. An. Cent. Cienc. Mar y Limnol. UNAM. México. Pub. Esp. 4: 252 p.
- _____. 1983. Los equinoideos del Pacífico de México. Parte cuarta – órdenes Cassiduloidea y Spatangoida. An. Cent. Cienc. Mar y Limnol. UNAM. México. Pub. Esp.6: 200 p.
- _____. 1987. Asteroideos, Ofiuroideos y Equinoideos de la Bahía de Mazatlán, Sinaloa. An. Cent. Cienc. Mar y Limnol. UNAM. México. Pub. Esp. 1: 214 p.
- CLARK, A. M. 1982. An index of names of recent Asteroidea. London, U.K. 347 p.
- _____. 1987. Notes on Atlantic and other Asteroidea. 5. Echinasteridae. Bull. Br. Mus. Nat. Hist. (Zool.). 53(2): 65-78.
- CLARK, A. M. and M. E. DOWNEY. 1992. Starfish of the Atlantic. Chapman and Hall. London, U.K. 794 p.
- CLARK, A. M. and F. W. E. ROWE. 1971. Monograph of shallow-water indo-west Pacific echinoderms. London. 238 p y 31 láminas.
- CLARKE, K. R. and R. M. WARWICK. 2001. Change in marine communities: an approach to statistical analysis and interpretation. 2nd edition. Primer-E Ltd. United Kingdom. 11.1-11.11 p.
- COMISIÓN COLOMBIANA DE OCEANOGRAFÍA. 1996. Aporte al conocimiento de la Biodiversidad Costero-marina de la isla de Malpelo, Colombia. Comisión Permanente del Pacífico Sur (CPPC) y Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA). Informe Nacional. 34 p.
- D'CROZ, L. and D. R. ROBERTSON. 1997. Coastal oceanographic conditions affecting coral reefs on both sides of the Isthmus of Panama. In: LESSIOS H.A. and I.G. MACINTYRE (Eds.). Proc. 8th Int. Coral Reef Symp. Smithsonian Tropical Research Institute, Balboa, Panama. 2053-2058.



- DEICHMANN, E. 1938. Eastern Pacific expeditions of the New York Zoological Society. XVI. Holothurians from the western coasts of Lower California and Central America, and from Galápagos Islands. *Zoologica* 23 (18): 361-387.
- DÍAZ, J. M., L. M. BARRIOS, M. H. CENDALES, J. GARZÓN-FERREIRA, J. GEISTER, M. LOPEZ-VICTORIA, G. H. OSPINA, F. PARRA-VELANDIA, J. PINZÓN, V. VARGAS-ANGEL, F. A. ZAPATA y S. ZEA. 2000. Áreas Coralinas de Colombia. INVEMAR, Serie Publicaciones Especiales No. 5, Santa Marta, 176 p.
- DOWNEY, M. E. 1975. Asteroids from Malpelo Island with a description of a new species of the genus *Tamaria* In: GRAHAM, J. (Ed.) The Biological Investigation of Malpelo Island, Colombia. Smithsonian Institution Press. 176: 86-90.
- EAKIN, C. M. 1988. Avoidance of damselfish lawns by the sea urchin *Diadema mexicanum* at Uva island, Panama. Proc. 6th Intern. Cor. Reef Symp. Australia. 2: 21-26.
- _____. 1992. Post-El Niño Panamanian reefs: less accretion, more erosion and damselfish protection. Proc. 7th Intern. Cor. Reef Symp. Guam. 1: 387-396.
- EDGAR, G.J.; BANKS, S.; FARIÑA, J. M.; CALVOPÍÑA, M. and C. MARTÍNEZ. 2004. Regional biogeography of shallow reef fish and macro-invertebrate communities in the Galapagos archipelago. *J. Biogeogr.* 31: 1107-1124.
- ENDEAN, R. 1974. *Acanthaster planci* on the Great Barrier Reef. Proc. 2nd Intern. Cor. Reef Symp. Brisbane: 563 - 576.
- ESPINO-BARR, E., R. CIBRIÁN y A. GARCÍA-BOA. 1996. Estructura y densidad de la población del erizo tinta *Diadema mexicanum* en el litoral rocoso del estado de Colima INP. SEMARNAP. *Cienc. Pesq.* 12: 60-65.
- FELL, H. B. 1960. Synoptic keys to the Genera of Ophiuroidea. Zoology Publications from Victoria University of Wellington (26): 1-44.
- FUNDACIÓN MALPELO Y OTROS ECOSISTEMAS MARINOS. 2005. Plan de manejo 2005 - 2009. 84 p.





- FUNDACIÓN MALPELO Y OTROS ECOSISTEMAS MARINOS. 2006. Noticias: Julio 2006. Fecha de consulta: 17 de Abril de 2007. http://www.fundacionmalpelo.org/espanol/inicio_julio06bis.htm
- GARRISON, G. 2005. Peces de la isla del Coco: Fishes. Editorial INBio. Costa Rica. 429 p.
- GARZÓN-FERREIRA, J y J. H. PINZÓN. 1999. Evaluación rápida de estructura y salud de las formaciones coralinas de la isla Malpelo (Pacífico colombiano). Bol. Invest. Mar. Cost. 28: 137-154.
- GLYNN, P. W. 1979. Coral reef growth in the Galápagos: Limitation by sea Urchins. Science. 203 (4375): 47-49.
- GOREAU, T. 1962. On the Predation of Coral by the Spiny Starfish *Acanthaster planci* (L.) in the Southern Red Sea. Israel South Red Sea Expedition Report. 2: 23-26.
- GORMAN, G. and T. CHORBA. 1975. Terrestrial biology of Malpelo island: a historical review. In: GRAHAM, J. (Ed.) The Biological Investigation of Malpelo Island, Colombia. Smithsonian Institution Press. 176: 11-14.
- GRAHAM, J. 1975. The Biological Investigation of Malpelo Island: Introduction. In: GRAHAM, J. (Ed.) The Biological Investigation of Malpelo Island, Colombia. Smithsonian Institution Press. 176: 3 -10.
- GUISANDE-GONZÁLES, C., A. BARRERIRO-FELPETO, I. MANEIRO-ESTRAVIZ, I. RIVEIRO-ALARCÓN, A. R. VERGARA-CASTAÑO y A. VAAMONDE-LISTE. 2006. Tratamiento de datos. Ediciones Diaz de Santos. España. 256 p.
- GUZMÁN, H. M. and J. CORTÉZ. 1992. Cocos island (Pacifico of Costa Rica) coral reef after the 1982-83 El Niño disturbance. Rev. Biol. Trop. 40 (3): 309-324.
- HANSEN, B. 1975. Systematics and biology of the deep-sea holothurians. In: WOLF, T. (Ed.) Galathea reports. Vol. 13. 262 p and 14 plates.
- HENDLER G.; J. E. MILLER, and D. L. PAWSON. 1995. Sea stars, Sea urchins and Allies: Echinoderms of Florida and the Caribbean. Smithsonian Institution Press. Washington and London. 390 p.
- HERRERA-ESCALANTE, T., R. A. LÓPEZ-PÉREZ and G. E. LEYTE-MORALES. 2005. Bioerosion caused by the sea urchin *Diadema mexicanum* (Echinodermata:



- Echinoidea) at Bahias de Huatalco, western Mexico. *Rev. Biol. Trop.* 53 (3): 263-273
- HICKMAN, C. P. 1998. A field guide to sea stars and other echinoderms of Galápagos. Sugar Spring Press. Lexington, Virginia. 83 p.
- HUGHES, T. P., D. C. REED and M. J. BOYLE. 1987. Herbivory on coral reef: community structure following mass mortalities of sea urchins. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 113: 39-59.
- INVEMAR. 2000. Programa nacional de investigación en biodiversidad marina y costera PNIBM. Editado por J. DÍAZ y D. GÓMEZ. INVEMAR, FONADE, MMA. Santa Marta, Colombia, 83 p.
- KWIECINSKI, B y D. ARROYO. 1975. Producción primaria en el Golfo de Panamá (1973-1974). I Simp. Latin. Ocean. Mar. México. 201-209.
- LALLI, C. M. and T. R. PARSONS. 1993. *Biological oceanography: An Introduction.* Oxford. 341 p.
- LAWRENCE, J. 1987. *A Functional Biology of Echinoderms.* The Johns Hopkins University Press, Baltimore. 340 p.
- LESSIOS, H. A. 2005. Echinoids of the Pacific Waters of Panama: Status of knowledge and new records. *Rev. Biol. Trop. Supl.* 3. 147-170.
- LESSIOS, H. A., B. D. KESSING and D. R. ROBERTSON. 1998. Massive gene flow across the world's most potent marine biogeographic barrier. *Prot. R. Soc. Lond. B* 265: 583-588.
- LOZANO-CABO, F. 1970. *Oceanografía, biología marina y pesca.* Tomo 1. Paraninfo. Madrid. 339 p
- LYMAN, T. 1879. Ophiuridae and Astrophytidae of the exploring voyage of H. M. S. "Challenger", under Prof. Sir W. Thomson, F. R. S. Part II. Ophiuridae and Astrophytidae of the "Challenger" expedition. *Bulletin of the Museum of Comparative Zoölogy at Harvard College, Cambridge* 6(2): 17-83.
- LYMAN, T. 1882. Report on the Ophiuroidea dredged by H.M.S. "Challenger" during the years 1873-1876. *Report of the Scientific Results of the Voyage of H. M. S. "Challenger" 1873-1876*, 5(14): 1-386.





- MAH, C. 2007. Phylogeny of the Zoroasteridae (Zorocallina; Forcipulatida): evolutionary events in deep-sea Asteroidea displaying Palaeozoic features. *Zoological Journal of the Linnean Society* 150 (1):B75 177–210
- MALUF, L. 1988. Composition and distribution of the central Pacific echinoderms. Tech. Rep. 2. Nat. Hist. Museum of Los Angeles. California. 242 p.
- _____. 1991. Echinoderm fauna of the Galápagos islands. In: JAMES, M. J. (Ed.). *Galapagos marine invertebrates: taxonomy, biogeography and evolution in Darwins islands*. 345-367.
- MORTENSEN, TH. 1928. A Monograph of the Echinoidea. I. Cidaroida. C. A. Rietzel, Copenhagen. 551 p.
- _____. 1943. A Monograph of the Echinoidea. III. 2, 3 Camarodonta. C. A. Rietzel, Copenhagen. 553 p.
- _____. 1950. A Monograph of the Echinoidea. V. 1, Spatangoida 1. C. A. Rietzel, Copenhagen. 371 p.
- NARVÁEZ, K and F, ZAPATA. In press. First record of the crown-of-thorns starfish *Acanthaster planci* (Linnaeus, 1758) (Spinulosida: Acanthasteridae) in the Colombian Pacific.
- NEIRA, R. y J. CANTERA. 1988. Notas taxonómicas y ecológicas de los equinodermos de la Bahía de Málaga (costa pacífica colombiana). VI Sem. Nac. Cien. Mar. Colombia. 121-129.
- _____. 2005. Composición taxonómica y distribución de las asociaciones de equinodermos en los ecosistemas litorales del Pacífico colombiano. *Rev. Biol. Trop.* 53 (3): 275-284.
- NEIRA, R. y H. VON PRAHL. 1986. En: VON PRAHL, H. y M. ALBERICO, *Isla de Gorgona. Fondo de promoción de la cultura del Banco Popular. Cap. 3. Bogotá, Colombia*. 252 p.
- NEIRA, R. P. BARBA y R. PARDO ANGEL, 1992. Equinodermos del Parque Nacional Natural Ensenada de Utría (Pacífico colombiano). *An. Inst. Invest. Mar. Punta Betín*. 21: 77-83.



- NOAA, 2007. NOAA Coral Reef Watch Program NOAA National Environmental Satellite Data and Information Service, 2007-01-01, Sea Surface Temperature Anomaly Charts (Global) 2007 - Archived NOAA Twice-Weekly Satellite 50km Near Real-Time Nighttime AVHRR: NOAA Coral Reef Watch Program, Suitland, Maryland, USA. o <<http://www.osdpd.noaa.gov/PSB/EPS/SST/climo.html>>
- ORMOND, F. and A. CAMPBELL. 1974. Formation and Breakdown of *Acanthaster planci* Aggregations in the Red Sea. Cambridge Coral Starfish Reserchers Group, Port Sudan, Democratic Republic of the Sudan. Proc. 2nd Intern. Cor. Reef. Symp. Brisbane. 595 – 619.
- ORTIZ, E. 2006. Cambio espicular en algunos pepinos de mar del género *Holothuria* Linnaeus, 1758 (Echinodermata: Holothuroidea) presentes en el Caribe y Pacífico colombianos. Trabajo de grado para optar el título de Biólogo Marino. Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras-INVEMAR. Fundación Universidad Jorge Tadeo Lozano. Santa Marta. 109 p.
- PARDO-ANGEL, R y R. NEIRA. 1990. Lista anotada de los equinodermos de la ensenada de Tumaco. VII Sem. Nac.Cien. Mar. Colombia. 422-429.
- PARDO-ANGEL, R., R. NEIRA y J. CANTERA. 1988. Taxonomía y ecología de equinodermos litorales del Pacífico colombiano. Mem. VI Sem. Nac.Cien. Mar. Colombia. 115-120.
- PATERSON, G. L. J. 1985. The deep-sea Ophiuroidea of the North Atlantic Ocean. The Bulletin of the British Museum (Natural History) Zoology 49 (1): 1-162
- PAWSON, D. L. 1995. Echinoderms of the tropical island Pacific: status of their systematics and notes on their ecology and biogeography. In: J. E. MARAGOS, M. N. A. PETERSON, L.G. ELDREDGE, J.E. BARDACH and H. E. TAKEUCHI. (Eds.) Marine and Coastal Biodiversity in the Tropical Island Pacific Region. Vol. 1. Species Systematics and Information Management Priorities. East-West Center, Honolulu, Hawaii. 171-192.
- _____. 1970. The marine fauna of New Zeland: Sea cucumber (Echinodermata: Holothuroidea). Bull. N. Z. Dep. Scient. Ind. Res. (201): 69 p.



- PEARSE, J. S. and S.W. ARCH. 1969. The agregation behaviour of *Diadema* (Echinodermata, Echinoidea). *Micronesia* 5(1): 165-171.
- PENNINGTON, J. T., K. L. MAHONEY, V. S. KUWAHARA, D. D. KOLBER, R. CALIENTES y F. P. CHAVEZ. 2006. Primary production in the eastern tropical Pacific: A Review. *Prog. Ocean.* 69: 285-317.
- PEREZ FARFANTE, I. 1959. Los Erizos Irregulares de Cuba. *Revista de la Universidad Central de las Villas. Islas* 1(2): 331-372
- PETZELT, C. 2006. Are echinoderms of interest to biotechnology? In: WERNER, E., MÜLLER G. and MATRANGA, V. *Progr. Molec. Subcell. Biol.: Echinodermata B5739*: 1-6.
- RAMÍREZ, A. 1999. *Ecología aplicada, diseño y análisis estadístico*. Universidad Jorge Tadeo Lozano. Bogotá. 300 p.
- ROWE, F. W. E. 1969. A review of the family Holothuriidae (Holothuroidea: Aspidochirotidae). *Zoology* 18 (4): 119-170.
- RUPPERT, E y R, BARNES. 1995. *Zoología de los Invertebrados*. Sexta edición. Mc. Graw - Hill Interamericana Editores. México. 113 p.
- SAAVEDRA, L. M. y F. ZAPATA. 1992. Patrones de densidad y diversidad de la malacofauna asociada a dos especies de octocorales de la bahía de Málaga en el Pacífico colombiano. *Mem. VIII Sem. Nac.Cien. Mar. Colombia.* 1: 377-386.
- SAMMARCO, P. W. 1982. Effects of grazing by *Diadema antillarum* Philippi (Echinodermata: Echinoidea) on algal diversity y comunnity structure. *Exp. Mar. Biol. Ecol.* (sólo abstract).
- SCHOPPE, S. and B. WERDING. 1996. The boreholes of the sea urchin genus *Echinometra* (Echinodermata: Echinoidea: Echinometridae) as a microhabitat in tropical South America. *Mar. Eco.* 17 (1-3): 181-186.
- SHEPHERD, S. A., P.MARTINEZ, M. V. TORAL-GRANDA and G. J. EDGAR. 2004. The Galápagos sea cucumber fishery: management improves as stocks decline. *Environmental Conservation.* 31 (2): 102-110.
- SLADEN, W. P. 1889. Asteroidea. Report of the Scientific Results Voyage of H.M.S. "Challenger". 1873-76 30: 893 p.





- SLOAN, N. A. and B. VON BODUNGEN. 1980. Distribution and feeding of the sea cucumber *Isostichopus badionotus* in relation to shelter and sediment criteria of the Bermuda platform. *Mar. Eco. Prog. Ser.*2: 257-264.
- SOLIS-MARÍN, F. y A. LAGUARDA-FIGUERAS. 1997. Historia de la sistemática de los equinodermos: de Ostrakoderma a Echinodermata. *Quetzal, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Facultad de Biología*, 7: 13-15.
- SOLIS-MARÍN, F., A. LAGUARDA-FIGUERAS, A. DURÁN-GONZALEZ, C. G. AHEARN y J. TORRES-VEGA. 2005. Echinodermos (Echinodermata) del Golfo de California, México. *Rev. Biol. Trop.* 53 (3): 123-137
- STEAD, J. 1975. Field observations in the geology of Malpelo island In: GRAHAM, J. (Ed.) *The Biological Investigation of Malpelo Island, Colombia*. Smithsonian Institution Press.176: 19-22.
- STEER, R., F. ARIAS-ISAZA, A. RAMOS, O. SIERRA-CORREA, D. ALONSO y P. OCAMPO 1997. Documento base para la elaboración de la “Política Nacional de Ordenamiento Integrado de Zonas Costeras Colombianas”. Documento de consultoría para el Ministerio del Medio Ambiente. Serie publicaciones especiales No. 6. 390 p.
- THÉEL, H. 1879. Preliminary report on the Holothuride, of the exploring voyage of H. M. “Challenger”. Part I. *Bihang Till K. Svenska Vet. Akad. Handlingar* 5(19): 1-20.
- _____. 1886. Report on the Holothurioidea dredged by the HMS Challenger during the years 1873-1876 Part II. – Report of the Scientific Results of the Voyage of H.M.S. Challenger 1873-1876, *Zoology* 14: 1-290.
- TORAL-GRANDA, M. V. 2006. Fact sheets and identification guide for commercial sea cucumber species. *Beche Mer Inform. Bull.* 24. 49-52.
- TORO-FARMER, G., J. R. CANTERA, E. LONDOÑO-CRUZ, C. OROZCO y R. NEIRA, R. 2004. Patrones de distribución y tasa de bioerosión del erizo *Centrostephanus coronatus* (Diadematoida: Diadematidae), en el arrecife de Playa Blanca, Pacífico colombiano. *Rev. Biol. Trop.* 52 (1): 67-76.
- VÉGAS-VÉLEZ, M. 1980. Introducción a la ecología del bentos marino. Programa regional de desarrollo científico y tecnológico. Washington D.C. 98 p.





VERRIL, A. E., 1867. V. Notes on the Radiata in the Museum of Yale College, with Descriptions of New Genera and Species. No. 2. Notes on the echinoderms of Panama and west coast of America, with descriptions of new genera and species. Trans. Acad. Conn. Acad. Arts, 1(2): 251-322.

VON PRAHL, H. 1990. Malpelo la Roca Viviente. Fondo para la Protección del Medio Ambiente "José Celestino Mutis". FEN COLOMBIA. 57 p.



13. ANEXOS

ANEXO A: NUEVOS REGISTROS PARA EL SFF MALPELO.

*: Nuevos registros para el Pacífico colombiano

CLASE ASTEROIDEA

Orden Valvatida

Familia Asterodiscididae

* *Amphiaster insignis* Verrill, 1868





Orden Valvatida

Familia Acanthasteridae

***Acanthaster planci* (Linnaeus, 1758)**

Arriba: Ejemplar de la Nevera de 14 brazos.
Fotografía cortesía de Alberto Rodríguez Ramírez. 2007.



Abajo: Ejemplar del Arrecife de seis brazos.
Fotografía cortesía de Graham Edgar. 2006.





Familia Ophidiasteridae

***Pharia unifascialis* (Gray, 1840)**

Arriba: Morfotipo de coloración
blancusco.

Fotografía cortesía de Alberto
Rodríguez Ramírez. 2007.



Abajo: Morfotipo de coloración
azul y más abundante.

Fotografía cortesía de Bruno
Génard. 2007.





CLASE OPHIUROIDEA

Orden Ophiurida

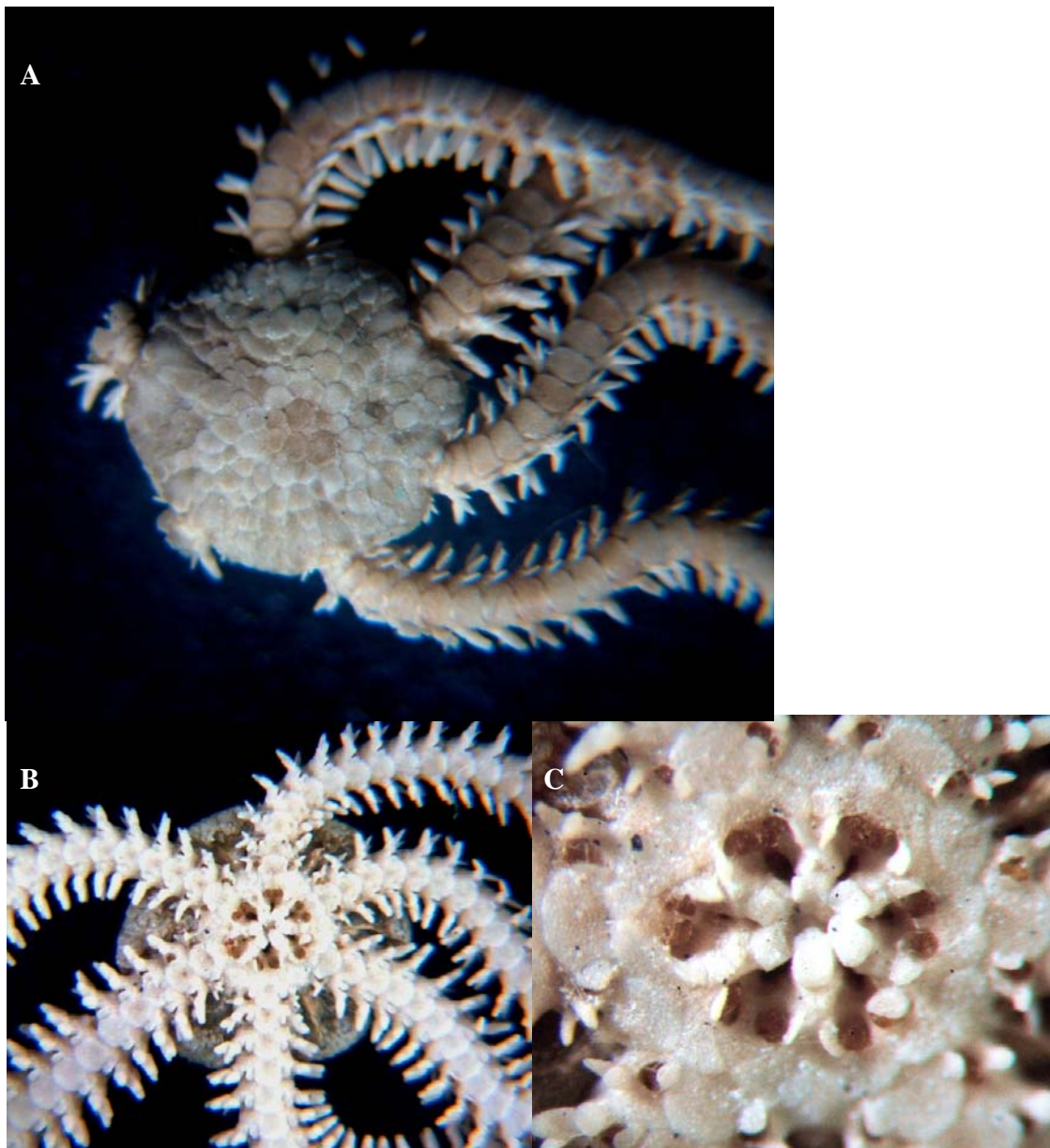
Familia Ophiactidae

* *Ophiactis simplex* (Le Conte, 1851)

A: Vista aboral

B: Detalle del disco en vista oral

C: Detalle mandíbula





CLASE ECHINOIDEA

Orden Diadematida

Familia Diadematidae

Centrostephanus coronatus (Verrill, 1867)

Fotografía cortesía
de Bruno Génard.
2007.



Orden Cidariida

Familia Cidaridae

Hesperocidaris asteriscus H.L. Clark, 1948

Fotografía cortesía de Graham
Edgar. 2006.





Orden Temnopleurida

Familia Toxopneustidae

Toxopneustes roseus (A.Agassiz, 1863)

Fotografía cortesía de
Graham Edgar. 2006.





Orden Spatangoida

Familia Brissidae

***Brissus obessus* Verrill, 1867**

Ejemplar muerto encontrado
a 20 m de profundidad.

A: Vista dorsal

B: Vista ventral

C: Vista lateral





CLASE HOLOTHUROIDEA

Orden Aspidochirotida

Familia Holothuridae

***Holothuria (Mertensiothuria) fuscocinerea* Jaeger, 1833**

Fotografía cortesía de Graham Edgar. 2006.



* ***Holothuria (Halodeima) kefersteini* Selenka, 1867**

Fotografía cortesía de
Graham Edgar. 2006.

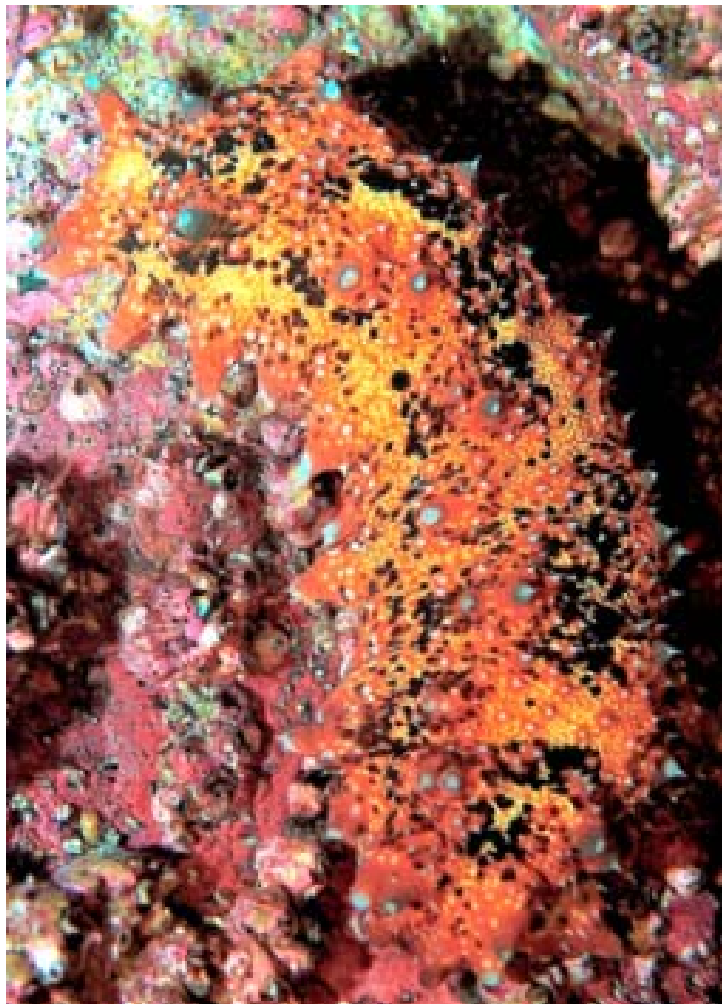




Familia Stichopidae

* *Isostichopus horrens* Selenka, 1867

Fotografía cortesía de Bruno
Génard. 2007.





ANEXO B. ESPECIE ENDÉMICA

CLASE ASTEROIDEA

Orden Valvatida

Familia Ophidiasteridae

***Narcissia gracilis malpeloensis* Downey, 1975**

Arriba: Fotografía cortesía de Bruno Génard. 2007.

Abajo: Fotografía cortesía de Fundación Malpelo y otros Ecosistemas Marinos.





ANEXO C. ESPECIES DE IDENTIFICACIÓN DIFÍCIL EN CAMPO

CLASE ASTEROIDEA

Orden Valvatida

Familia Ophidiasteridae

Morfotipo Ophidiasteridae 1

Fotografía cortesía de Graham Edgar. 2006.



Morfotipo Ophidiasteridae 2

Ejemplar muerto encontrado entre 40 y 60 m de profundidad.
Fotografía cortesía de Bruno Génard. 2007.





CLASE OPHIUROIDEA

Orden Ophiurida

Familia Ophiothrichidae

Ophiothela cf. mirabilis Verrill, 1867

Fotografía cortesía de
Bruno Génard. 2007.

