



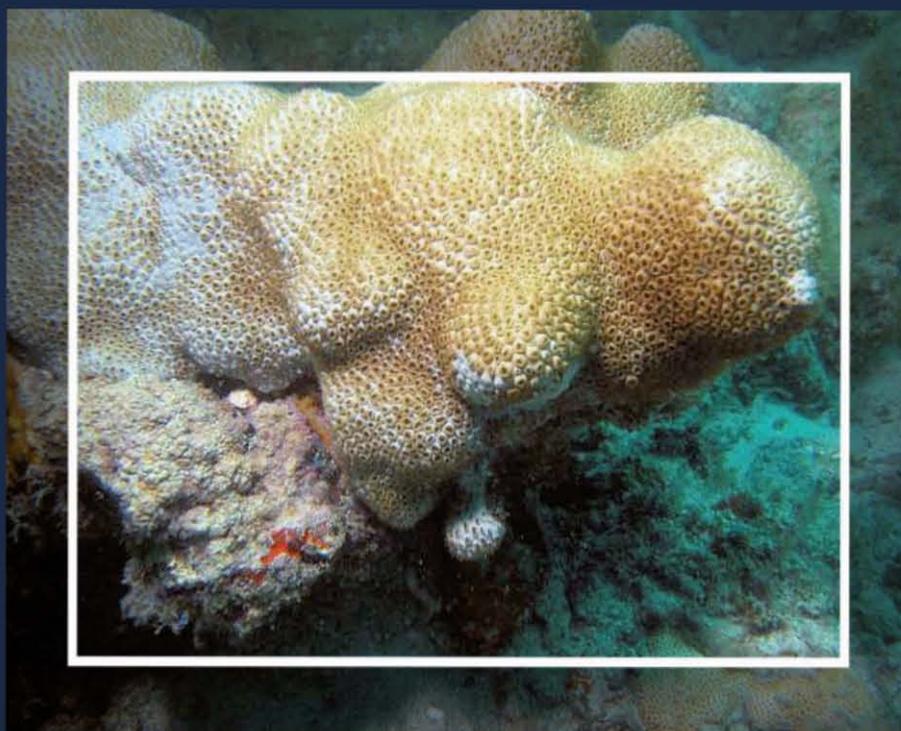
UNIVERSIDAD DE LAS PALMAS DE GRAN CANARIA
Departamento de Biología

Tesis Doctoral

Valoración ecológica del Área Marina Protegida de la Bahía de Murdeira, Isla de Sal, Cabo Verde

Programa de Doctorado:

Ecología y Gestión de los Recursos Vivos Marinos



Corrine do Rosário Timas Almeida

Las Palmas de Gran Canaria - 2013



Anexo I

**D. José Manuel Vergara Martín SECRETARIO DEL
DEPARTAMENTO DE BIOLOGÍA DE LA UNIVERSIDAD DE LAS
PALMAS DE GRAN CANARIA,**

CERTIFICA,

Que el Consejo de Doctores del Departamento en su sesión de fecha.....tomó el acuerdo de dar el consentimiento para su tramitación, a la tesis doctoral titulada **“Valoración ecológica del Área Marina Protegida de la Bahía de Murdeira, Isla de Sal, Cabo Verde”** presentada por la doctoranda D^a **Corrine do Rosário Timas Almeida** y dirigida por la Doctora **Nieves González Henríquez**.

Y para que así conste, y a efectos de lo previsto en el Artº 6 del Reglamento para la elaboración, defensa, tribunal y evaluación de tesis doctorales de la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, firmo la presente en Las Palmas de Gran Canaria, a...de.....de dos mil.....



UNIVERSIDAD DE LAS PALMAS DE GRAN CANARIA

Departamento: Biología

Programa de doctorado: Ecología y Gestión de los Recursos Vivos Marinos

Título de la Tesis

Valoración ecológica del Área Marina Protegida de la
Bahía de Murdeira, Isla de Sal, Cabo Verde

Tesis Doctoral presentada por D^a Corrine do Rosário Timas Almeida

Dirigida por la Dra. Nieves González Henríquez

La Directora,

La Doctoranda,

Las Palmas de Gran Canaria, a 28 de octubre de 2013

UNIVERSIDAD DE LAS PALMAS DE GRAN CANARIA

DEPARTAMENTO DE BIOLOGÍA



TESIS DOCTORAL

**VALORACIÓN ECOLÓGICA DEL ÁREA MARINA PROTEGIDA DE LA
BAHÍA DE MURDEIRA, ISLA DE SAL, CABO VERDE**

CORRINE DO ROSÁRIO TIMAS ALMEIDA

Las Palmas de Gran Canaria, a 28 de octubre de 2013

Eterno aprendiz

*Eu fico com a pureza da resposta das crianças
É a vida, é bonita e é bonita
Viver e não ter a vergonha de ser feliz
Cantar... (E cantar e cantar...)*

*A beleza de ser um eterno aprendiz
Ah meu Deus!
Eu sei... (Eu sei...)*

*Que a vida devia ser bem melhor e será
Mas isso não impede que eu repita
É bonita, é bonita e é bonita*

*Viver e não ter a vergonha de ser feliz
Cantar... (E cantar e cantar...)
A beleza de ser um eterno aprendiz
Ah meu Deus!
Eu sei... (Eu sei...)
Que a vida devia ser bem melhor e será
Mas isso não impede que eu repita
É bonita, é bonita e é bonita*

*E a vida?
E a vida o que é diga lá, meu irmão?
Ela é a batida de um coração?
Ela é uma doce ilusão?
Mas e a vida?
Ela é maravilha ou é sofrimento?
Ela é alegria ou lamento?
O que é, o que é meu irmão?*

*Há quem fale que a vida da gente
É um nada no mundo
É uma gota, é um tempo
Que nem dá segundo,*

*Há quem fale que é um divino
Mistério profundo*

*É o sopro do Criador
Numa atitude repleta de amor
Você diz que é luta e prazer;
Ele diz que a vida é viver;
Ela diz que o melhor é morrer,
Pois amada não é
E o verbo sofrer.*

*Eu só sei que confio na moça
E na moça eu ponho a força da fé
Somos nós que fazemos a vida
Como der ou puder ou quiser*

*Sempre desejada
Por mais que esteja errada
Ninguém quer a morte
Só saúde e sorte*

*E a pergunta roda
E a cabeça agita
Fico com a pureza da resposta das crianças
É a vida, é bonita e é bonita*

*Viver e não ter a vergonha de ser feliz
Cantar... (E cantar e cantar...)
A beleza de ser um eterno aprendiz
Ah meu Deus!
Eu sei... (Eu sei...)
Que a vida devia ser bem melhor e será
Mas isso não impede que eu repita
É bonita, é bonita e é bonita (bis)*

Gonzaguinha

A MIS PRECIOSAS HIJAS RAQUEL Y MARLINE,
Y A TODOS MIS ALUMNOS

AGRADECIMIENTOS

A lo largo de los años, desde que decidí empezar mis estudios de doctorado en la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, en colaboración con el Instituto Canario de Ciencias Marinas, ha sido imprescindible el apoyo de una serie de personas e instituciones a las que les doy sinceramente mi gratitud.

En primer lugar, la oportunidad que me brindó el profesor D. Luis Felipe López-Jurado, sin la cual no hubiera empezado y no habría contado con los demás apoyos. Especialmente agradezco a la Dra. Nieves González Henríquez, tanto la dirección del trabajo, como los apoyos diversos y principalmente por su infinita paciencia.

Agradezco a la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria y a la Dirección General de las Relaciones con África del Gobierno de Canarias la concesión de una beca de estudios, durante el periodo de Abril de 2006 a Julio de 2007, en particular la persona de D. Pablo Martel Escobar, Vicerrector de Relaciones Internacionales y Comunicación de la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Esto se extiende a la Fundación Universitaria de Las Palmas que se encargó de la gestión de la beca, en particular a D. Concha y D. Josefa por la atención y amabilidad.

Agradezco al Instituto Superior de Engenharias e Ciências do Mar (ISECMAR) por la concesión de mi licencia para estudios. En los dos años que estuve en Canarias, me acogió el Instituto Canario de Ciencias Marinas, al que debo agradecer todo el apoyo por parte de su dirección y administración, en particular, a las personas de Don Octavio Llinás y Miguel Medina. Esto también se extiende a los compañeros Raúl, Aketza, Pablo, Goro, Monica, Lolo, Maite, Nayra, Oreto, Macu y Nuria, así como por sus labores en este estudio y enseñanzas varias.

Debo agradecer también a todos los profesores del Programa de Doctorado en Ecología y Gestión de los Recursos Vivos Marinos, no solo por las enseñanzas sino también por la colaboración cuando ha sido necesaria, en especial, por mis problemas con la lengua española. En particular, agradezco a los Coordinadores del Curso de Doctorado, los Doctores Pedro Soza y Ángel Luque, su disponibilidad en todo momento.

Agradezco a todos los funcionarios del ICCM y de la ULPGC por su atención y amabilidad, haciéndome sentir bien acogida, esto se extiende a todas las personas que tuve la oportunidad de conocer en Canarias.

Un recuerdo muy especial para mis sucesivos compañeros de piso, Juan, Rober y Vito, también se extiende a Silvia y Moneiba.

Este trabajo, se realizó dentro del proyecto de la WWF/ADENA, Evaluación del Ambiente y Recursos Marinos de la Bahía de Murdeira (Isla de Sal, Cabo Verde), a cargo del Instituto Canario de Ciencias Marinas (ICCM), Instituto Superior de Engenharias e Ciências do Mar (ISECMAR) y el Instituto Nacional de Desenvolvimento das Pescas (INDP). Además, ha contado con el apoyo de las entidades siguientes: Instituto Marítimo e Portuário (IMP), Capitanía dos Portos de Barlavento, Câmara Municipal de la Isla de Sal, Delegação Marítima de la Isla de Sal, Associação de Pescadores da Palmeira, petrolíferas Shell y Enacol y Clube de Mergulho Scuba Team. Se incluye también el Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica (INMG) por el aporte de los datos climáticos referentes a los dos años de estudio.

Al ICCM agradezco, una vez más, por permitirme la utilización del programa PRIMER Versión 5 (Clarke & Gorley, 2001). Mi agradecimiento también a Mendeley Lda, pues su programa disponible gratuitamente me ha facilitado muchísimo la redacción de la tesis.

A los demás participantes de este estudio Nieves González Henríquez, Aricson Elisio Delgado, Gregorio Louzara Fernández, João de Deus Soares, Joaquim, Maite Zarranz Elso, Manuel Ruiz de la Rosa, Nayra García Jiménez, Nelson Andrade, Pablo Manent Sintes, Pedro López Suárez, Péricles Silva Neves, Raúl Domínguez Quintana, Rui Motta Freitas, Tommy Arruda Melo, Victor Baessa, Celeste Benchimol, Katya Neves y Maria da Cruz Soares, mi agradecimiento por hacer posible la concepción de la presente tesis.

A mis compañeros del grupo de Biología en el DECM (Rui, Evandro, Mara y Carina) por el intercambio de ideas, sugerencias, motivación y, particularmente, por liberarme un poco de nuestras labores, lo que fue una importante ayuda. Esto se extiende también a todos los compañeros del departamento y de la Uni-CV en general.

A todos los que fueron, son y serán mis alumnos, son ustedes mi mayor motivación.

A toda mi familia (mis hijas, padres, hermanos, sobrinos y todos los que me quieren bien) agradezco profundamente, en especial a mí hija Raquel y a mí madre, que me hicieron posible la dura partida. En esto incluyo también a mi hija Marline, por los sacrificios suportados por ambas. También agradezco a Pelé (siempre buen amigo), D. Ricarda y Vanda, por liberarme, en momentos imprescindibles, de los cuidados con Marline y, particularmente a Marisia, su segunda madre. En los últimos momentos de esta larga escalada, ha sido también importante, la motivación y control del estrés proporcionado por Abel, lo que le agradezco mucho.

A todos, mi más sincero agradecimiento en el reconocimiento a su labor, motivación, paciencia y cariño. Muchas gracias.

RESUMEN

La Reserva Natural Marina de la Bahía de Murdeira, Isla de Sal (Cabo Verde), fue declarada e integrada en la red de áreas protegidas de Cabo Verde a través de la Ley de Espacios Naturales Protegidos de Cabo Verde (Decreto-Lei nº 3/2003, de 24 de Fevereiro). En este contexto, se reivindicó la necesidad de conocer el ambiente y recursos marinos representados en ella, las relaciones que se producen entre los diversos componentes de su ecosistema, fundamental para el desarrollo de una correcta gestión de la zona y preservación de sus recursos naturales. El presente estudio se realizó en el ámbito del Programa de Conservación Marina y Costera y contempló varios componentes del ecosistema de esta área marina protegida, analizados en dos épocas del año diferentes, con el propósito de establecer la valoración de la misma, cuyos objetivos fueron: caracterizar el medio físico, realizar el estudio bionómico de la comunidad planctónica, realizar el estudio bionómico de las comunidades bentónica y demersal, identificar bioindicadores para futuros estudios de monitorización del área protegida. Los resultados de los dos periodos de estudio, septiembre de 2006 y junio de 2007, tradujeron diferencias estacionales en las condiciones oceanográficas, representando las épocas caliente y fría, respectivamente. Esas diferencias estacionales se verificaron tanto en la temperatura, así como, en varias características físicas y químicas de la columna de agua y de los sedimentos. La columna de agua en la Bahía de Murdeira se identificó como pobre en nutrientes, lo que llevó a una productividad baja. Sin embargo, por acción de los vientos alisios (fuertes en junio), se verificó una surgencia de aguas su superficiales o simplemente una intensa mezcla, que incrementó la cantidad de nutrientes y, por lo tanto, la productividad. El incremento en la productividad fue muy evidente en lo que respecta a la productividad primaria y secundaria, pero no tanto en niveles tróficos superiores. En general, las comunidades (fitoplanctónica, íctica demersal y de invertebrados vágiles) presentaron una gran variedad de especies, donde la mayoría de las especies presentaron una densidad muy baja. Consecuentemente, resultaron valores de índices de riqueza y de diversidad, de bajos a medios. Sin embargo, el valor biológico y de interés asignado al área marina protegida de la Bahía de Murdeira fue alto, siendo este determinado particularmente por la presencia de especies de distribución restringida y por la importancia biogeográfica del área.

RESUMO

A Reserva Natural Marinha da Baía de Murdeira, Ilha do Sal (Cabo Verde), foi declarada e integrada na rede de áreas protegidas de Cabo Verde através da Lei de Espaços Naturais Protegidos de Cabo Verde (Decreto-Lei nº 3/2003, de 24 de Fevereiro). Neste contexto, se reivindicou a necessidade de se conhecer o ambiente e recursos marinhos presentes na mesma, as relações entre os diversos componentes do ecossistema, essencial para o desenvolvimento de uma correta gestão da zona e preservação de seus recursos naturais. O presente estudo foi realizado no âmbito do Programa de Conservação Marinha e Costeira e contemplou vários componentes do ecossistema desta área marinha protegida, analisados em duas diferentes épocas do ano, com o propósito de se estabelecer a valoração da mesma, por meio dos seguintes objetivos: caraterizar o meio físico, realizar o estudo bionómico da comunidade planctónica, realizar o estudo bionómico das comunidades bentónica e demersal e identificar bioindicadores para futuros estudos de monitorização da área protegida. Os resultados dos dois períodos de estudo, setembro de 2006 e junho de 2007, evidenciaram diferenças sazonais nas condições oceanográficas, representando as épocas quente e fria, respetivamente. Essas diferenças sazonais foram verificadas tanto na temperatura, assim como, nas várias características físicas e químicas da coluna de água e dos sedimentos. A coluna de água na Baía de Murdeira foi identificada como pobre em nutrientes, o que levou a uma produtividade baixa. No entanto, por ação dos ventos alísios (fortes em junho), verificou-se uma ressurgência de águas sub-superficiais ou simplesmente uma intensa mistura, que incrementou a quantidade de nutrientes e, portanto, a produtividade. O incremento na produtividade foi muito evidente no que respeita à produtividade primária e secundária, mas nem tanto em níveis tróficos superiores. Em geral, as comunidades (fitoplanctónica, íctica demersal e de invertebrados vágeis) apresentaram uma grande variedade de espécies, no entanto a maioria das espécies apresentou uma densidade muito baixa. Consequentemente, resultaram valores de índices de riqueza e de diversidade, de baixos a médios. No entanto, o valor biológico e de interesse da área marinha protegida da Baía de Murdeira foi alto, sendo este determinado particularmente pela presença de espécies de distribuição restrita e pela importância biogeográfica da área.

ABSTRACT

The Murdeira Bay's Marine Natural Reserve, Sal Island (Cape Verde), was declared and integrated into the Cape Verde's network of protected areas through the Protected Natural Areas Act of Cape Verde (Decreto-Lei nº 3/2003, de 24 de Fevereiro). In this context, it claimed the need to know the environment and marine resources represented, the relationships that occur between the various components of the ecosystem, essential to the development of the proper management of the area and preservation of natural resources. The present study was conducted under the Marine and Coastal Conservation Program and included several ecosystem's components of the Murdeira Bay's marine protected area. These were analyzed in two different seasons, in order to establish the valuation of the area, whose objectives were: to characterize the physical environment, make the bionomic study of the plankton community, make the bionomic study of benthic and demersal communities and to identify bioindicators for future monitoring studies of the protected area. The results of the two study periods, September 2006 and June 2007, translated seasonal differences in oceanographic conditions, representing the hot and cold seasons respectively. These seasonal differences have been identified in temperature as well in various physical and chemical characteristics of the water column and sediment. The water column in the Murdeira Bay was poor in nutrients, which led to a low productivity. However, by the action of the trade winds (strong in June), there was an upwelling of subsurface waters or just an intense mixing, which increased the amount of nutrients and therefore the productivity. The increase in productivity was very evident in regard to primary and secondary productivity, but not at higher trophic levels. In general, communities (of phytoplankton, demersal fish, and mobile invertebrates) presented a large variety of species, with the majority of species showing a very low density. This resulted in values of diversity and richness indices from low to medium. The biological value assigned to Murdeira Bay marine protected area was high, and this was determined particularly by the presence of restricted-range species and by the biogeographic importance of the area.

ÍNDICE

I. INTRODUCCIÓN GENERAL	1
II. OBJETIVOS GENERALES	4
III. MARCO DE LOS ESTUDIOS AMBIENTALES EN EL AREA MARINA PROTEGIDA (AMP) DE LA BAHÍA DE MURDEIRA (ISLA DE SAL – CABO VERDE)	5
Capítulo 1: Caracterización del área de estudio	6
1.1 - Marco geográfico del archipiélago de Cabo Verde	6
1.2 - Marco oceanográfico del archipiélago de Cabo Verde	9
1.3 - Caracterización de la Bahía de Murdeira (Isla de Sal)	12
Capítulo 2: El medio físico en la Bahía de Murdeira	16
2.1 - Introducción.....	16
2.2 - Material y Métodos.....	18
2.2.1 - HIDRODINAMISMO.....	18
2.2.2 - SEDIMENTO	19
2.2.3 - CALIDAD DEL AGUA.....	22
2.3 - Resultados.....	25
2.3.1 - EL HIDRODINAMISMO EN LA BAHÍA DE MURDEIRA	25
2.3.2 - TEXTURA DE LOS SEDIMENTOS	33
2.3.3 - CALIDAD DEL AGUA EN LA BAHÍA DE MURDEIRA.....	38
2.3.4 - CALIDAD DE LOS SEDIMENTOS EN LA BAHÍA DE MURDEIRA	43
2.4 - Discusión	47
2.5 - Conclusiones	52
Capítulo 3: Estudio bionómico de comunidades planctónicas	53
3.1 - Introducción.....	53
3.2 - Material y métodos.....	55

3.2.1 - MUESTREOS Y RECOLECCIÓN DE LOS DATOS DEL PLANCTON (FITOPLANCTON Y ZOOPLANCTON).....	55
3.2.2 - TRATAMIENTO DE LOS DATOS DEL PLANCTON (FITOPLANCTON Y ZOOPLANCTON).....	57
3.3 - Resultados.....	59
3.3.1 - COMPOSICIÓN Y ESTRUCTURA DE LA COMUNIDAD FITOPLANCTÓNICA DE LA BAHÍA DE MURDEIRA	59
3.3.2 - COMPOSICIÓN Y ESTRUCTURA DE LA COMUNIDAD ZOOPLANCTÓNICA DE LA BAHÍA DE MURDEIRA	73
3.4 - Discusión	78
3.5 - Conclusiones	82
Capítulo 4: Estudio bionómico de las comunidades bentónicas y demersales	83
4.1 - Introducción.....	83
4.2 - Material y Métodos.....	85
4.2.1 - MUESTREOS Y RECOLECCIÓN DE DATOS POR MEDIO DE BUCEO AUTONOMO .	85
4.2.1.1 - COBERTURA DEL HÁBITAT BENTÓNICO	86
4.2.1.2 - COMPOSICIÓN Y ESTRUCTURA DE LAS COMUNIDADES ALGALES Y DE INVERTEBRADOS BENTÓNICOS	90
4.2.1.3 -.. COMPOSICIÓN Y ESTRUCTURA DE LA COMUNIDAD ÍCTICA DEMERSAL	91
4.2.2 - TRATAMIENTO DE LOS DATOS	91
4.3 - Resultados.....	98
4.3.1 - COMPOSICIÓN Y ESTRUCTURA DE LA COMUNIDAD BENTONICA.....	98
4.3.2 - COMPOSICIÓN Y ESTRUCTURA DE LA COMUNIDAD ÍCTICA DEMERSAL.....	111
4.3.3 - COBERTURA DEL HÁBITAT BENTÓNICO	123
4.4 - Discusión	153

4.4.1 - COMPOSICIÓN Y ESTRUCTURA DE LAS COMUNIDADES BENTÓNICA E ÍCTICA DEMERSAL	153
4.4.2 - COBERTURA DEL HÁBITAT BENTÓNICO	156
4.4.3 - EL BLANQUEAMIENTO DE CORALES EN LA BAHÍA DE MURDEIRA.....	157
4.5 - Conclusiones	160
IV. BIOINDICADORES PARA LA BAHÍA DE MURDEIRA (PROPUESTA)	161
V. VALORACIÓN ECOLÓGICA DE LA BAHÍA DE MURDEIRA	164
1. Presencia de especies y/o comunidades de distribución restringida	166
2. Presencia de comunidades con elevada biodiversidad	166
3. Zonas de reproducción o cría	167
4. Importancia biogeográfica de la zona	168
5. Estado de conservación de las comunidades	169
6. Potencialidad de recuperación.....	169
7. Presencia de especies y/o comunidades protegidas.....	169
8. Presencia de especies de interés económico.....	170
9. Presencia de bioindicadores	171
10. Zonas de interés científico.....	172
VI. CONCLUSIONES GENERALES	175
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	178

LISTADO DE FIGURAS

Figura 1.1 - Región de la Macaronesia Fuente: García-Talavera, 2003.	6
Figura 1.2 - Archipiélago de Cabo Verde, con destaque la isla de Sal (adaptado de Zazo <i>et al.</i> , 2007).....	7
Figura 1.3 - Mapa geológico de la Isla de Sal (adaptado de Zazo <i>e. al.</i> , 2006), indicando en azul claro la Reserva Natural Marina de la Bahía de Murdeira. Lado superior izquierdo, mapa batimétrico de la isla de Sal (adaptado de Cunha <i>et al.</i> , 2011).	12
Figura 1.4 – Foto aérea de la Bahía de Murdeira, Isla de Sal (Cabo Verde). Fuente: Jeff Hellio & Nicolas Van Ingen, 2006.	14
Figura 2.1 - Distribución de las estaciones de muestreo de sedimento, en la Bahía de Murdeira, Isla de Sal (Cabo Verde).	20
Figura 2.2 - Distribución de las estaciones de muestreo de agua y del punto de fondeo del correntímetro, en la Bahía de Murdeira, Isla de Sal (Cabo Verde).	23
Figura 2.3 - Distribución de frecuencias de las distintas características de las olas (dirección, altura significativa y periodo) que ocurrieron al este de la Isla de Sal, posición 16.64°N y 22.96°W, en el periodo de noviembre de 2005 a noviembre de 2006.	26
Figura 2.4 - Histograma de distribución de la velocidad de corrientes, en la Bahía de Murdeira, durante el periodo de 23 de septiembre al 10 de octubre de 2006.	28
Figura 2.5 - Histograma de distribución de la velocidad de corrientes, en la Bahía de Murdeira, durante el periodo de 1 de junio al 3 de julio de 2007.	28
Figura 2.6 - Serie temporal de vectores de corrientes, en la Bahía de Murdeira, durante el periodo de 23 de septiembre al 10 de octubre de 2006.....	30
Figura 2.7 - Serie temporal de vectores de corrientes, la Bahía de Murdeira, durante el periodo de 1 de junio al 3 de julio de 2007.....	30
Figura 2.8 - Distribución polar de la dirección de corrientes, en la Bahía de Murdeira, durante el periodo de 23 de septiembre al 10 de octubre de 2006.	31
Figura 2.9 - Distribución polar de la dirección de corrientes, en la Bahía de Murdeira, durante el periodo de 1 de junio al 3 de julio de 2007.	31
Figura 2.10 - Vector progresivo de corrientes, en la Bahía de Murdeira, durante el periodo de 23 de septiembre al 10 de octubre de 2006.....	32
Figura 2.11 - Vector progresivo de la corriente en la Bahía de Murdeira, durante el periodo de 1 de junio a 3 de julio de 2007.	32

Figura 2.12 - Porcentaje gravimétrico simple de las distintas fracciones del sedimento en escala aritmética, por estación de muestreo, realizada en la Bahía de Murdeira, en septiembre de 2006.	37
Figura 2.13 - Porcentaje gravimétrico simples de las distintas fracciones del sedimento en escala aritmética, por estación de muestreo, realizada en la Bahía de Murdeira, en junio de 2007.	37
Figura 3.1 – Dendrograma del análisis de Cluster (modo de ligación: el promedio de grupo) sobre la densidad del fitoplancton (posterior a la transformación log x+1), por estación de muestreo en los dos periodos (septiembre de 2006 y junio de 2007), en la Bahía de Murdeira, Isla de Sal (Cabo Verde).	71
Figura 4.1 - Análisis de Escalamiento Multidimensional - MDS (índice de similitud: Bray-Curtis posterior a transformación log x + 1) la densidade de las especies de invertebrados bentónicos, por estación de muestreo, referente a la segunda campaña, en la Bahía de Murdeira, Isla de Sal (Cabo Verde). Señaladas según el rango de profundidad: S (somero), I (intermedio), P (profundo).	110
Figura 4.2 - Análisis de Escalamiento Multidimensional - MDS (índice de similitud: Bray-Curtis posterior a transformación log x + 1) de la densidad de las especies de peces demersales, por estación de muestreo, referente a la primera campaña, en la Bahía de Murdeira, Isla de Sal (Cabo Verde). Señaladas según el rango la categoría de sustrato: AP (arena y piedra), R (roca), A (arena).	122
Figura 4.3 - Análisis de Escalamiento Multidimensional - MDS (índice de similitud: Bray-Curtis posterior a transformación log x + 1) de la densidad de las especies de peces demersales, por estación de muestreo, referente a la segunda campaña, en la Bahía de Murdeira, Isla de Sal (Cabo Verde). Señaladas según el rango de profundidad: S (somero), I (intermedio), P (profundo).	122
Figura 4.4 - Gráfico de los valores de porcentaje de cobertura de los corales, distribuidos en cinco clases de amplitud, en el submareal de la Bahía de Murdeira. Clases de amplitud: 0 a 1; 1 a 10; 10 a 20; 20 a 30 y > 30 %. Anillo blanco, presencia de corales parcial o totalmente blanqueados; círculo blanco, solo corales parcial o totalmente blanqueados y círculo sin relleno, solo arena.	127
Figura 4.5 - Gráficos del porcentaje de cobertura de las diferentes categorías de sustrato, referentes a la primera campaña de muestreo (izquierda) y a la segunda campaña (derecha), en la Bahía de Murdeira, Isla de Sal (Cabo Verde), con basis en la técnica de Línea de Intercepción.	128
Figura 4.6 - Gráficos del porcentaje de cobertura de las diferentes categorías bióticas, referentes a la primera campaña de muestreo (izquierda) y a la segunda campaña (derecha), en la Bahía de Murdeira, Isla de Sal (Cabo Verde), con basis en la técnica de Línea de Intercepción.	128
Figura 4.7 - Gráficos del porcentaje de cobertura de las diferentes categorías de sustrato (izquierda) y del porcentaje de cobertura de las diferentes categorías bióticas (derecha), referentes a la segunda campaña de muestreo en la Bahía de Murdeira, Isla de Sal (Cabo Verde), con basis en la técnica de Punto de Intercepción.	129
Figura 4.8 - Gráficos de los porcentajes de cobertura de las diferentes categorías de sustrato, por estrato, referentes a la primera campaña de muestreo (izquierda) y a la segunda campaña (derecha), en la Bahía de Murdeira, Isla de Sal (Cabo Verde), con basis en la técnica de Línea de Intercepción.	130
Figura 4.9 - Gráficos de los porcentajes de cobertura de las diferentes categorías bióticas, por estrato, referentes a la primera campaña de muestreo (izquierda) y a la segunda campaña (derecha), en la Bahía de Murdeira, Isla de Sal (Cabo Verde), con basis en la técnica de Línea de Intercepción.	131

- Figura 4.10** - Gráficos de los porcentajes de cobertura de las diferentes categorías de sustrato (izquierda) y del porcentaje de cobertura de las diferentes categorías bióticas (derecha), por estrato, referentes a la segunda campaña en la Bahía de Murdeira, Isla de Sal (Cabo Verde), con basis en la técnica de de Punto de Intercepción..... 131
- Figura 4.11** - Dendrograma del análisis de Cluster (modo de ligación: el promedio de grupo) sobre el porcentaje de cobertura de las categorías de sustrato, por estación de muestreo, referente a la primera campaña, en la Bahía de Murdeira, Isla de Sal (Cabo Verde). AP (arena y piedra), R (roca), A (arena), RL (Rodolitos) y AR (Arena y Roca) corresponden a los tipos de sustrato predominantes en cada de estación de muestreo. 135
- Figura 4.12** - Dendrograma del análisis de Cluster (modo de ligación: el promedio de grupo) sobre el porcentaje de cobertura de las categorías de sustrato, por estación de muestreo, referente a la segunda campaña de muestreo, en la Bahía de Murdeira, Isla de Sal (Cabo Verde). A (arena), AP (arena y piedra), R (roca) y PA (piedra y arena) corresponden a los tipos de sustrato predominantes en cada de estación de muestreo. 135
- Figura 4.13** - Dendrograma del análisis de Cluster (modo de ligación: el promedio de grupo) sobre el porcentaje de cobertura de las categorías bióticas, por estación de muestreo, referente a la primera campaña, en la Bahía de Murdeira, Isla de Sal (Cabo Verde). AP (arena y piedra), R (roca), A (arena), AR (arena y roca) y RL (Rodolitos) corresponden a los tipos de sustrato predominantes en cada estación de muestreo.. 136
- Figura 4.14** - Dendrograma del análisis de Cluster (modo de ligación: el promedio de grupo) sobre el porcentaje de cobertura de las categorías bióticas, por estación de muestreo, referente a la segunda campaña, en la Bahía de Murdeira, Isla de Sal (Cabo Verde). AP (arena y piedra), A (arena), R (roca) y PA (piedra y arena) corresponden a los tipos de sustrato predominantes en cada estación de muestreo. 136
- Figura 4.15** - Gráfico del Análisis de Componentes Principales (ACP) sobre los porcentaje de cobertura de las categorías de sustrato y bióticas en las estaciones de referente a la primera campaña (época caliente), en la Bahía de Murdeira, Isla de Sal (Cabo Verde). AP (arena y piedra), R (roca), A (arena) y RL (rodolitos).... 141
- Figura 4.16** - Gráfico del Análisis de Componentes Principales (ACP) sobre los porcentaje de cobertura de las categorías de sustrato y bióticas en las estaciones de referente a la segunda campaña (época fría), en la Bahía de Murdeira, Isla de Sal (Cabo Verde). AP (arena y piedra), A (arena), R (roca) y PA (piedra y arena). 142
- Figura 4.17** - Dendrogramas de los análisis de Cluster (modo de ligación: el promedio de grupo) sobre los porcentajes de cobertura de las categorías de sustrato (arriba) y de las categorías bióticas (abajo), por estrato, referente a la primera campaña, en la Bahía de Murdeira, Isla de Sal (Cabo Verde). SN (somero norte), SS (somero sur), IN (intermedio norte), IS (intermedio sur), PN (profundo norte) y PS (profundo sur). 146
- Figura 4.18** - Dendrogramas de los análisis de Cluster (modo de ligación: el promedio de grupo) sobre los porcentajes de cobertura de las categorías de sustrato (arriba) y de las categorías bióticas (abajo), por estrato, referente a la segunda campaña, en la Bahía de Murdeira, Isla de Sal (Cabo Verde). SN (somero norte), SS (somero sur), IN (intermedio norte), IS (intermedio sur), PN (profundo norte) y PS (profundo sur). 147

Figura 4.19 - Gráfico del Análisis de Componentes Principales (ACP) sobre los porcentaje de cobertura de las categorías de sustrato y bióticas en los estratos de referente a la primera campaña (época caliente), en la Bahía de Murdeira, Isla de Sal (Cabo Verde)..... 151

Figura 4.20 - Gráfico del Análisis de Componentes Principales (ACP) sobre los porcentaje de cobertura de las categorías de sustrato y bióticas en los estratos de referente a la segunda campaña (época fría), en la Bahía de Murdeira, Isla de Sal (Cabo Verde). 152

LISTADO DE TABLAS

Tabla 2.1 - Datos del punto fondeo del correntímetro, en las dos campañas de muestreo, 23 de septiembre a 4 de octubre de 2006 (época caliente) y 31 de mayo a 7 de junio de 2007 (época fría), en la Bahía de Murdeira, Isla de Sal (Cabo Verde).....	19
Tabla 2.2 - Localización de los puntos de recogida de sedimentos, en las dos campañas de muestreo, 23 de septiembre a 4 de octubre de 2006 (época caliente) y 31 de mayo a 7 de junio de 2007 (época fría), en la Bahía de Murdeira, Isla de Sal (Cabo Verde).....	20
Tabla 2.3 - Estaciones de recogida de las muestras de agua, en las dos campañas de muestreo, 23 de septiembre a 4 de octubre de 2006 (época caliente) y 31 de mayo a 7 de junio de 2007 (época fría), en la Bahía de Murdeira, Isla de Sal (Cabo Verde).....	24
Tabla 2.4 - Descriptores estadísticos de la velocidad y dirección de corrientes registradas en las series temporales de datos obtenidos por medio del correntímetro, durante los periodos de muestreo, en la Bahía de Murdeira (Isla de Sal).	27
Tabla 2.5 - Porcentaje gravimétrico de las distintas fracciones del sedimento según la escala de Wentworth, obtenidas a partir de los muestreos de septiembre de 2006, en la Bahía de Murdeira y, índice de equitatividad de Pielou para cada estación.....	34
Tabla 2.6 - Porcentaje gravimétrico de las distintas fracciones del sedimento según la escala de Wentworth, obtenidas a partir de los muestreos de junio de 2007, en la Bahía de Murdeira y, índice de equitatividad de Pielou para cada estación.	34
Tabla 2.7 - Valores de los diferentes parámetros estadísticos determinados a partir de los datos granulométricos de los sedimentos, en septiembre de 2006, en las diferentes estaciones en la Bahía de Murdeira. X (media); Δ (desviación estándar); SK (asimetría); K (Kurtosis) y Mo (moda).....	36
Tabla 2.8 - Valores de los diferentes parámetros estadísticos determinados a partir de los datos granulométricos de los sedimentos, en junio de 2007, en las diferentes estaciones en la Bahía de Murdeira. X (media); Δ (desviación estándar); SK (asimetría); K (Kurtosis) y Mo (moda).	36
Tabla 2.9 - Resultados de los test, para muestras pareadas, t de student, para comparaciones en términos de textura del sedimento, entre los dos periodos de muestreos, en la Bahía de Murdeira. Nivel de significancia corresponde a 0.05, t obs (valor observado), t crit (valor crítico), gl (grados de libertad). En negrita, los resultados de p-valor significativos.	36
Tabla 2.10 – Datos de las características fisico-químicas del agua referentes a diferentes estaciones de muestreo, en la Bahía de Murdeira, en el periodo de septiembre de 2006.....	41
Tabla 2.11 - Datos de las características fisico-químicas del agua referentes a diferentes estaciones de muestreo, en la Bahía de Murdeira, en el periodo de junio de 2007.....	42

Tabla 2.12 - Parámetros estadísticos de distintas variables registradas en las series temporales de datos, obtenidos por medio de sensores acoplados a un correntímetro, durante los periodos de muestreo, en la Bahía de Murdeira (Isla de Sal).....	43
Tabla 2.13 - Resultados de los test no paramétricos, para muestras pareadas, de Wilcoxon con signo (cuando los supuestos para ANOVA no se obtuvieron) para comparar las características físico-químicas del agua, entre los dos periodos de muestreos, en la Bahía de Murdeira Nivel de significancia corresponde a 0.05, V obs (valor observado), V esp (valor esperado), Var (Variancia). En negrita, los resultados de p-valor significativos.	43
Tabla 2.14 - Valores medios de las variables químicas de los sedimentos de la Bahía de Murdeira analizados en la campaña de septiembre de 2006.....	45
Tabla 2.15 – Valores medios de las variables químicas de los sedimentos de la Bahía de Murdeira analizados en la campaña de junio de 2007.....	46
Tabla 2.16 - Resultados de los test, para muestras pareadas, no paramétricos de Wilcoxon con signo (casos en que los supuestos para ANOVA no fueron obtenidos) para comparar las características físico-químicas del sedimento, entre los dos periodos de muestreos, en la Bahía de Murdeira Nivel de significancia corresponde a 0.05, V obs (valor observado), V esp (valor esperado) y Var (Variancia) referentes al test Wilcoxon. En negrita, los resultados de p-valor significativos.	46
Tabla 3.1 - Estaciones de recogida de muestras de fitoplancton y de zooplancton (*), en las dos campañas de muestreo, 23 de septiembre a 4 de octubre de 2006 (época caliente) y 31 de mayo a 7 de junio de 2007 (época fría), en la Bahía de Murdeira, Isla de Sal (Cabo Verde).....	56
Tabla 3.2 – Especies del fitoplancton en las diferentes estaciones de muestreo realizadas en la Bahía de Murdeira, en septiembre de 2006, con sus respectivos valores de densidad (células por litro).	62
Tabla 3.3 – Especies del fitoplancton en las diferentes estaciones de muestreo realizadas en la Bahía de Murdeira, en junio de 2007, con sus respectivos valores de densidad (células por litro).	65
Tabla 3.4 – Índices de diversidad y de equitatividad de la comunidad fitoplanctonica, por cada estación de muestreo en los dos periodos, septiembre de 2006 y junio de 2007, en la Bahía de Murdeira, Isla de Sal (Cabo Verde). Número de especies (S), Densidad (D), Índice de riqueza de Margalef (d), Índice de equitatividad de Pielou (J'), Índice de diversidad de Shannon-Wiener (H'- loge), Índice de diversidad de Simpson (1-λ') .	69
Tabla 3.5 - Comparación de la comunidad de fitoplancton de la Bahía de Murdeira, entre los dos periodos de muestreos con base en los test, para muestras pareadas, t de student (paramétrico) o de Wilcoxon con signo (no paramétrico), en este último caso, cuando los supuestos para ANOVA no dieron resultados. Nivel de significancia corresponde a 0.05, D (diferencia), t obs (valor observado), t crit (valor crítico) referentes al test t de student; V obs (valor observado), V esp (valor esperado), Var (Variancia) referentes al test Wilcoxon y; gl (grados de libertad). En negrita, los resultados de p-valor significativos.	70
Tabla 3.6 – Contribución de las diferentes especies (o taxones), de acuerdo con la rutina SIMPER, a la comunidad de fitoplancton observadas en cada uno de los dos periodos de muestreo, septiembre de 2006 y junio de 2007, en la Bahía de Murdeira, Isla de Sal (Cabo Verde). Valores expresados en %.	72

Tabla 3.7 - Densidad (nº de organismos/m ³) y porcentaje (%) de los diferentes grupos de zooplancton recolectados, durante la primera campaña (septiembre 2006), en la Bahía de Murdeira, e índice de diversidad de Shannon, por zona de muestreo.	75
Tabla 3.8 - Densidad (nº de organismos/m ³) y porcentaje (%) de los diferentes grupos de zooplancton, durante la segunda campaña (junio 2007), recolectados en la Bahía de Murdeira e índice de diversidad de Shannon, por zona de muestreo.	76
Tabla 3.9 - Índices de diversidad y de equitatividad de la comunidad zooplanctónica, por cada zona de muestreo en los dos periodos, septiembre de 2006 y junio de 2007, en la Bahía de Murdeira, Isla de Sal (Cabo Verde). Número de grupos del zooplancton (S), Densidad (D), Índice de riqueza de Margalef (d), Índice de equitatividad de Pielou (J'), Índice de diversidad de Shannon (H' - loge), Índice de diversidad de Simpson (1-λ').....	77
Tabla 4.1 - Categorías de sustrato y categorías bióticas establecidas en las dos campañas de muestreo, 23 de septiembre a 4 de octubre de 2006 (época caliente) y 31 de mayo a 7 de junio de 2007 (época fría), en la Bahía de Murdeira, Isla de Sal (Cabo Verde).....	87
Tabla 4.2 - Estaciones de muestreo de la primera campaña para la caracterización del bentos y de las comunidades ícticas demersales, profundidades y coordenadas geográficas, en <i>Universal Transverse Mercator</i> - UTM (Datum: WGS-84; 27Q). La denominación de las estaciones de muestreo incluye, sus respectivas clasificaciones según los factores (profundidad y zona geográfica): S, somero; I, intermedio; P, profundo; N, norte y S, sur.	88
Tabla 4.3 - Estaciones de muestreo de la segunda campaña para la caracterización del bentos y de las comunidades ícticas demersales, profundidades y coordenadas geográficas, en <i>Universal Transverse Mercator</i> - UTM (Datum: WGS-84; 27Q). La denominación de las estaciones de muestreo incluye, sus respectivas clasificaciones según los factores (profundidad y zona geográfica): S, somero; I, intermedio; P, profundo; N, norte y S, sur.	89
Tabla 4.4 - Distribución por grupos (de algas y animales) de las especies observadas en las dos campañas de muestreo, 23 de septiembre a 4 de octubre de 2006 (época caliente) y 31 de mayo a 7 de junio de 2007 (época fría), en la Bahía de Murdeira, Isla de Sal (Cabo Verde).	100
Tabla 4.5 - Clasificaciones taxonómicas de las especies de algas identificadas en las dos campañas de muestreo, 23 de septiembre a 4 de octubre de 2006 (época caliente) y 31 de mayo a 7 de junio de 2007 (época fría), en la Bahía de Murdeira, Isla de Sal (Cabo Verde). ¹ y ² , indican respectivamente, las especies observadas, en solo, la primera o la segunda campaña.	101
Tabla 4.6 - Clasificaciones taxonómicas de las especies de invertebrados identificadas en las dos campañas de muestreo, 23 de septiembre a 4 de octubre de 2006 (época caliente) y 31 de mayo a 7 de junio de 2007 (época fría), en la Bahía de Murdeira, Isla de Sal (Cabo Verde).	103
Tabla 4.7 - Indicadores de abundancia (presencia, frecuencia de presencia y densidad) de las especies de invertebrados con presencia superior a uno, en la campaña de muestreo del 31 de mayo a 7 de junio de 2007 (época fría), en la Bahía de Murdeira, Isla de Sal (Cabo Verde).	105
Tabla 4.8 - Índices de riqueza de Margalef (d), de equitatividad de Pielou (J'), de diversidad de Shannon-Wiener (H') y de Simpson (1-λ') indicadores de abundancia (número por muestreo y densidad total) de la	

fauna de invertebrados bentónicos, en la campaña de muestreo del 31 de mayo a 7 de junio de 2007 (época fría), en la Bahía de Murdeira, Isla de Sal (Cabo Verde). S – número de especies; N – número de individuos. 107

Tabla 4.9 - Resultados de los test t-student para comparaciones en términos de diversidad de Shannon-Wiener y densidad total de la comunidad de invertebrados bentónicos, entre las estaciones de muestreo, en la Bahía de Murdeira, según la profundidad y la posición geográfica. Nivel de significancia corresponde a 0.05, Dif. (Diferencia), t obs (valor observado), t crit (valor crítico) y Gl (grados de libertad). En negrita, los resultados de p-valor significativos. 108

Tabla 4.10 - Resultados de los test no paramétricos de Mann-Whitney (supuestos para test paramétricos no cumplidos) para comparaciones, en términos de Riqueza de Margalef, de la comunidad de invertebrados bentónicos, entre las estaciones de muestreo, en la Bahía de Murdeira, según la profundidad y la posición geográfica. Nivel de significancia corresponde a 0.05, U (estadística del test), Esp (Esperanza) y Var. (Variancia). En negrita, los resultados de p-valor significativos. 108

Tabla 4.11 - Resultados del ANOVA para comparaciones en términos de diversidad de Shannon-Wiener, Riqueza de Margalef y densidad total de la comunidad de invertebrados bentónicos, entre las estaciones de muestreo, en la Bahía de Murdeira, según el estrato y la categoría de sustrato. Nivel de significancia corresponde a 0.05, Gl (grados de libertad), C. M. (cuadrados medio) F-valor (valor observado) y Pr (probabilidad). En negrita, los resultados de p-valor significativos. 109

Tabla 4.12 - Resultados de la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis (supuestos para ANOVA no cumplidos) para comparaciones en términos de riqueza de Margalef y densidad total de la comunidad de invertebrados bentónicos, entre las estaciones de muestreo, en la Bahía de Murdeira, según el estrato y la categoría de sustrato. Nivel de significancia corresponde a 0.05, K obs (valor observado), K crit (valor crítico) y gl (grados de libertad). Última columna los resultados de comparaciones múltiples pareadas por el procedimiento de Dunn, en los casos en que los p-valores del test anterior fueron significativos. En negrita, los resultados de p-valor significativos. 109

Tabla 4.13 - Resultados del ANOSIM para comparaciones en términos de la estructura de la comunidad de invertebrados bentónicos, entre las estaciones de muestreo, en la Bahía de Murdeira, según el estrato, la profundidad, la posición geográfica y categoría de sustrato. 111

Tabla 4.14 - Clasificaciones taxonómica y trófica (de acuerdo con Halpern & Floeter, 2008 y Freitas, 2012) de la ictiofauna demersal en las dos campañas de muestreo, 23 de septiembre a 4 de octubre de 2006 (época caliente) y 31 de mayo a 7 de junio de 2007 (época fría), en la Bahía de Murdeira, Isla de Sal (Cabo Verde). ¹ y ², indican respectivamente, las especies observadas en la primera o la segunda campaña. HEV- herbívoros no territorialistas; HET - herbívoros territorialistas; INM – comedores de invertebrados móviles; INS – comedores de invertebrados sesiles; PIS – piscívoros; CAR – carnívoros; OMN – omnívoros y PLT – planctívoros, ? - dudoso. 113

Tabla 4.15 - Indicadores de abundancia (número de individuos, frecuencia numérica, frecuencia numérica acumulada, presencia, frecuencia de presencia y porcentaje de juveniles) de la ictiofauna que comprende un 90% de los individuos observados en la campaña de muestreo del 23 de septiembre a 4 de octubre de 2006 (época caliente), en la Bahía de Murdeira, Isla de Sal (Cabo Verde). 115

Tabla 4.16 - Indicadores de abundancia (número de individuos, densidad, densidad acumulada, presencia, frecuencia de presencia y porcentaje de juveniles) de la ictiofauna que comprende un 90% de los individuos

observados en la campaña de muestreo del 31 de mayo a 7 de junio de 2007 (época fría), en la Bahía de Murdeira, Isla de Sal (Cabo Verde). 116

Tabla 4.17 – Resultados de los índices de riqueza de Margalef (d), de equitatividad de Pielou (J'), de diversidad de Shannon-Wiener (H') y de Simpson (1-λ'), número de especies (S), indicadores de abundancia (número de individuos por muestreo y densidad total) de la ictiofauna demersal, en la campaña de muestreo del 23 de septiembre a 4 de octubre de 2006 (época caliente), en la Bahía de Murdeira, Isla de Sal (Cabo Verde). 118

Tabla 4. 18 - Índices de riqueza de Margalef (d), de equitatividad de Pielou (J'), de diversidad de Shannon-Wiener (H') y de Simpson (1-λ'), número de especies (S), indicadores de abundancia (número de individuos por muestreo y densidad total) de la ictiofauna demersal, en la campaña de muestreo del 31 de mayo a 7 de junio de 2007 (época fría), en la Bahía de Murdeira, Isla de Sal (Cabo Verde). 119

Tabla 4.19 - Resultados de los test t-student para comparaciones en términos de diversidad de Shannon-Wiener y densidad total de la comunidad de peces demersales, entre las estaciones de muestreo, en la Bahía de Murdeira, según la posición geográfica. Nivel de significancia corresponde a 0.05, Dif. (Diferencia), t obs (valor observado), t crit (valor crítico) y Gl (grados de libertad). En negrita, los resultados de p-valor significativos. 120

Tabla 4.20 - Resultados de los test no paramétricos de Mann-Whitney (supuestos para test paramétricos no cumplidos) para comparaciones, en términos de Riqueza de Margalef, de la comunidad de peces demersales, entre las estaciones de muestreo, en la Bahía de Murdeira, según la posición geográfica. Nivel de significancia corresponde a 0.05, U (estadística del test), Esp (Esperanza) y Var. (Variancia). En negrita, los resultados de p-valor significativos. 120

Tabla 4.21 - Resultados del ANOVA para comparaciones en términos de diversidad de Shannon-Wiener, Riqueza de Margalef y densidad total de la ictiofauna demersal, entre las estaciones de muestreo, en la Bahía de Murdeira, según el estrato, profundidad y la categoría de sustrato. Nivel de significancia corresponde a 0.05, Gl (grados de libertad), C. M. (cuadrados medio), F-valor (valor observado) y Pr (probabilidad). Comparaciones múltiples pareadas test de Tukey. En negrita, los resultados de p-valor significativos. 121

Tabla 4.22 - Resultados de la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis para comparaciones en términos de densidad total y de diversidad de Shannon-Wiener de la ictiofauna demersal, entre las estaciones de muestreo de ambas campañas, en la Bahía de Murdeira, según el estrato, la profundidad, la posición geográfica y la categoría de sustrato. Nivel de significancia corresponde a 0.05, K obs (valor observado), K crit (valor crítico) y gl (grados de libertad). En negrita, los resultados de p-valor significativos. 121

Tabla 4.23 - Resultados del ANOSIM para comparaciones en términos de la estructura de la comunidad íctica demersal, entre las estaciones de muestreo de ambas campañas, en la Bahía de Murdeira, según el estrato, la profundidad, la posición geográfica y categoría de sustrato. 123

Tabla 4. 24 – Indicadores de abundancia (presencia, Pre.; frecuencia de presencia, F. P. y porcentaje de cobertura, %C.) de las categorías de sustrato y bióticas, en las dos campañas de muestreo, en la Bahía de Murdeira, Isla de Sal (Cabo Verde). 126

Tabla 4. 25 - Resultados del ANOSIM para comparaciones según el estrato, la profundidad, la posición geográfica y tipo de sustrato, en términos del porcentaje de cobertura de las categorías de sustrato o bióticas,

entre las estaciones de muestreo referente a la campaña del 23 de septiembre a 4 de octubre de 2006 (época caliente), en la Bahía de Murdeira, Isla de Sal (Cabo Verde). 137

Tabla 4. 26 - Contribuciones de las diferentes categorías de sustrato, obtenidos por la aplicación de la rutina SIMPER, a cada uno de los grupos de estaciones de muestreo referentes a la primera campaña, en la Bahía de Murdeira, Isla de Sal (Cabo Verde). A (arena), AP (arena y piedra), AR (arena y roca) y R (roca) corresponden a los tipos de sustrato predominantes en cada grupo de estaciones de muestreo. Valores expresados en %. 138

Tabla 4. 27 - Contribuciones de las diferentes categorías de sustrato, obtenidos por la aplicación de la rutina SIMPER, a cada uno de los grupos de estaciones de muestreo referentes a la segunda campaña de muestreo, en la Bahía de Murdeira, Isla de Sal (Cabo Verde). A (arena), AP (arena y piedra) y PA (piedra y arena) corresponden a los tipos de sustrato predominantes en cada grupo de Estaciones de muestreo. Valores expresados en %. 138

Tabla 4. 28 - Contribuciones de las diferentes categorías bióticas, de acuerdo con la rutina SIMPER, a cada uno de los grupos resultantes del análisis de Cluster sobre las categorías bióticas, referentes a la primera campaña de muestreo, en la Bahía de Murdeira, Isla de Sal (Cabo Verde). Valores expresados en %. 139

Tabla 4. 29 - Contribuciones de las diferentes categorías bióticas, de acuerdo con la rutina SIMPER, a cada uno de los grupos de estaciones de muestreo determinados por la categoría de sustrato predominante A (arena), AP (arena y piedra), AR (arena y roca) y R (roca), referentes a la primera campaña de muestreo, en la Bahía de Murdeira, Isla de Sal (Cabo Verde). Valores expresados en %. 139

Tabla 4. 30 - Contribuciones de las diferentes categorías bióticas, de acuerdo con la rutina SIMPER, a cada uno de los grupos resultantes del análisis de Cluster sobre las categorías bióticas, referentes a la segunda campaña de muestreo, en la Bahía de Murdeira, Isla de Sal (Cabo Verde). Valores expresados en %. 140

Tabla 4. 31 - Contribuciones de las diferentes categorías bióticas, de acuerdo con la rutina SIMPER, a cada uno de los grupos de estaciones de muestreo determinados por la categoría de sustrato predominante A (arena), AP (arena y piedra) y PA (piedra y arena), referentes a la primera campaña de muestreo, en la Bahía de Murdeira, Isla de Sal (Cabo Verde). Valores expresados en %. 140

Tabla 4. 32 - Matriz de correlación de Pearson entre las variables (categorías) producido por el Análisis de Componentes Principales a partir de los porcentajes de cobertura de las categorías de sustrato y bióticas, referentes a la primera campaña de muestreo, en la Bahía de Murdeira, Isla de Sal (Cabo Verde). 143

Tabla 4. 33 - Matriz de correlación de Pearson entre las variables (categorías) de base en el Análisis de Componentes Principales a partir de los porcentajes de cobertura de las categorías de sustrato e bióticas, referentes a la segunda campaña de muestreo, en la Bahía de Murdeira, Isla de Sal (Cabo Verde). 143

Tabla 4. 34 - Resultados del ANOSIM para comparaciones según la profundidad, la posición geográfica y grupos del análisis de Cluster, en base al porcentaje de cobertura de las categorías de sustrato o bióticas, entre los estratos, referente a la primera campaña, en la Bahía de Murdeira, Isla de Sal (Cabo Verde). 148

Tabla 4. 35 - Contribuciones de las diferentes categorías de sustrato, de acuerdo con la rutina SIMPER, a cada uno de los grupos de estratos determinados por el análisis de Cluster, referentes a la primera campaña, en la Bahía de Murdeira, Isla de Sal (Cabo Verde). Valores expresados en %. 148

Tabla 4. 36 - Contribuciones de las diferentes categorías bióticas, de acuerdo con la rutina SIMPER, a cada uno de los grupos de estratos distribuidos según la profundidad, somero (S), intermedio (I) y profundo (P), referentes a la primera campaña, en la Bahía de Murdeira, Isla de Sal (Cabo Verde). Valores expresados en %.....	148
Tabla 4. 37 - Contribuciones de las diferentes categorías bióticas, de acuerdo con la rutina SIMPER, a cada uno de los grupos de estratos determinados por el análisis de cluster, referentes a la primera campaña, en la Bahía de Murdeira, Isla de Sal (Cabo Verde). Valores expresados en %.....	149
Tabla 4. 38 - Resultados del ANOSIM para comparaciones según la profundidad, la posición geográfica y grupos del análisis de Cluter, en base al porcentaje de cobertura de las categorías de sustrato o bióticas, entre los estratos, referente a la segunda campaña, en la Bahía de Murdeira, Isla de Sal (Cabo Verde).....	149
Tabla 4. 39 - Contribuciones de las diferentes categorías de sustrato, de acuerdo con la rutina SIMPER, al único grupo de estratos determinado por el análisis de Cluster, referentes a la segunda campaña, en la Bahía de Murdeira, Isla de Sal (Cabo Verde). Valores expresados en %.....	149
Tabla 4. 40 - Contribuciones de las diferentes categorías de sustrato, de acuerdo con la rutina SIMPER, a cada uno de los grupos de estratos distribuidos según la profundidad, somero (S) e intermedio (I), referentes a la segunda campaña, en la Bahía de Murdeira, Isla de Sal (Cabo Verde). Valores expresados en %.....	150
Tabla 4. 41 - Contribuciones de las diferentes categorías bióticas, de acuerdo con la rutina SIMPER, al único grupo de estratos determinado por el análisis de cluster, referentes a la segunda campaña, en la Bahía de Murdeira, Isla de Sal (Cabo Verde). Valores expresados en %.....	150
Tabla 4. 42 - Contribuciones de las diferentes categorías bióticas, de acuerdo con la rutina SIMPER, a cada uno de los grupos de estratos distribuidos según la profundidad, somero (S) e intermedio (I), referentes a la segunda campaña, en la Bahía de Murdeira, Isla de Sal (Cabo Verde). Valores expresados en %.....	150

I. INTRODUCCIÓN GENERAL

Los ecosistemas marinos y costeros juegan funciones ecológicas que se traducen directa o indirectamente en una variedad de servicios de gran valor para la sociedad (Fletcher *et al.*, 2011). Estos incluyen la producción de alimentos, la regulación del clima, la protección contra las inundaciones y la recreación (DEFRA, 2007; Remoundou *et al.*, 2009). Los recursos que provienen de estos ecosistemas son en gran parte renovables. Por lo tanto, si son gestionados adecuadamente podrían proporcionar retornos continuamente sin disminuir su productividad. Sin embargo, en muchos de estos recursos, incluso los de los sectores de la pesca y el turismo, ha sido excepcional la gestión eficiente y sostenible y no una regla general (Remoundou *et al.*, *op cit*). Después de la primera mitad del siglo pasado, estos recursos han ido disminuyendo y se han colapsado debido a las presiones humanas y los cambios climáticos (IPCC, 2007), con consecuencias económicas y sociales para la humanidad. Es decir, las actividades humanas en la actualidad, constituyen serias amenazas a la diversidad biológica y a los servicios en los ecosistemas marinos y costeros. Además estas amenazas se presentan en un momento en que aún sabemos poco acerca de la vida que existe en el mar (Roberts & Hawkins, 2000). En el contexto presentado anteriormente, la humanidad se ve con la necesidad urgente de gestionar los ecosistemas marinos y costeros.

El presente trabajo, como señala el título, pretende hacer la valoración ecológica del Área Marina Protegida (AMP) de la Bahía de Murdeira, Isla de Sal, Cabo Verde. La valoración biológica (o ecológica) es una respuesta a la continua solicitud de legisladores y administradores de las áreas marinas protegidas, para tener mapas biológicos de referencia fiables y significativos, y poder hacer adecuadas selecciones, garantizando el uso sostenible y la conservación de los ambientes marinos (Borja *et al.*, 2011). De acuerdo con Derous *et al.* (2007a) se trata de un instrumento para señalar áreas que presentan alto significado ecológico o biológico y para facilitar la percepción del grado de riesgo en la gestión de actividades de dichas áreas.

De modo general el “valor” de una determinada entidad está directamente asociado a los objetivos por encima del proceso de valoración (es decir, uso sostenible, recreación, interés científico y otros). En el ámbito del presente trabajo, para el proceso de valoración ecológica se siguió Derous *et al.* (*op cit*), basándose esencialmente en los valores intrínsecos de la biodiversidad marina, sin referenciar los usos antropogénicos. Sin embargo, al tratarse de un AMP, se incluyen también criterios de gestión.

La denominada Reserva Natural Marina de la Bahía de Murdeira, Isla de Sal (Cabo Verde), es una AMP que fue declarada como tal e integrada en la red de áreas protegidas de Cabo Verde a través de la Ley de Espacios Naturales Protegidos de Cabo Verde (Decreto-Lei nº 3/2003, de 24 de Fevereiro). Una AMP es, de acuerdo con Kelleher (1999) y adoptado por la IUCN desde esta fecha, “cualquier área del territorio intermareal o submareal, cuyos fondos, aguas, flora y fauna asociadas, así como sus rasgos históricos y culturales, han sido preservados por las leyes o cualquier otra medida efectiva para proteger todo o parte del medio ambiente comprendido en ella” (Dudley, 2008). Con la categoría de Reserva Marina, que corresponde a la categoría Ia de la IUCN, se prohíbe cualquier extracción de especies marinas y modificación, extracción o recogida de recursos marinos (por ej. mediante pesca, la recolección, dragado, minería o perforación), con excepciones como la investigación científica. Además, las visitas están limitadas para asegurar la preservación de los valores de conservación (Dudley, *op cit*). De acuerdo con el Decreto-Ley citado arriba, la gestión de una reserva natural tiene por objetivo no solamente su salvaguarda, sino también la recuperación de los valores que motivaron su declaración.

Las áreas marinas protegidas (AMP) han demostrado ser instrumentos eficientes en la conservación de la biodiversidad y en la gestión de la pesca, presentando mayores abundancias de las especies pesqueras, y además, las especies generalmente presentan tamaños medios mayores en las AMP comparativamente con las áreas sin protección (Dugan & Davis, 1993). Por otro lado, las AMP ayudan a preservar los ecosistemas marinos frágiles, a salvaguardar el patrimonio natural y cultural, a mejorar el uso sostenible de los recursos marinos así como promover actividades económicas locales.

La conservación presupone conocimiento, por consiguiente, el estudio de la diversidad biológica de las áreas protegidas, así como, de las comunidades y ecosistemas representados en ellas, es fundamental para desarrollar una correcta gestión de la zona y preservar los recursos naturales y las relaciones que pueden ocurrir entre los diversos componentes.

La escasez de estudios científicos es notable en Cabo Verde en general, y no es diferente, en el caso particular de la Bahía de Murdeira. Por otra parte, las citas en la bibliografía científica referentes a la Bahía de Murdeira e islote vecino (Islote Rabo de Junco), evidencian por si solo la importancia del ambiente marino y costero de este punto del archipiélago de Cabo Verde. Entre estos trabajos científicos, destacan los de moluscos gasterópodos (Rolán, 1987; Salas & Rolán,

1990; Templado & Rolán, 1993; Rolán & Templado, 1993; Ortea *et al.*, 1997 y Duda Jr & Rolán, 2005) y los de aves (Narois & Bonnafoux, 1969; Naurois, 1987 y Barone, 1997).

Sin embargo, también es notable, en las últimas dos décadas, el incremento en el número de estos estudios, generalmente de naturaleza florística o faunística, extendiéndose a otros grupos además de los gasterópodos. Entre estos se señalan: todos los grupos vegetales y animales (Silva *et al.*, 1999 y Medina *et al.*, 2002), opistobranquios (Ortea *et al.*, 1998), poliquetos (Fraga *et al.*, 1999), erizos (Entrambasaguas *et al.*, 2008), peces (Brito *et al.*, 2007), isópodos (Castelló & Junoy, 2007), fauna malacológica (Rólan, 2005) y zoantídeos (Reimer *et al.*, 2010).

El número limitado y el carácter esporádico de los estudios científicos realizados en la Bahía de Murdeira, no permiten realizar una adecuada valoración de la misma. En este sentido, el Programa de Conservación Marina y Costera, ejecutado por la Dirección General de Ambiente y por WWF, han proporcionado medios con el fin de garantizar la realización de estudios de evaluación del ambiente y de los recursos marinos en la Bahía de Murdeira.

II. OBJETIVOS GENERALES

El presente estudio tiene como objetivo evaluar los componentes del ecosistema del área marina protegida de la Bahía de Murdeira, en dos épocas del año diferentes, con el propósito de hacer la valoración de la referida área. Este objetivo general se tradujo en cada uno de los siguientes objetivos específicos:

- Caracterizar el medio físico de la Bahía de Murdeira
- Realizar el estudio bionómico de la comunidad planctónica
- Realizar el estudio bionómico de las comunidades bentónica y demersal
- Identificar bioindicadores para futuros estudios de monitorización
- Valorar el área protegida de la Bahía de Murdeira

III. MARCO DE LOS ESTUDIOS AMBIENTALES EN EL ÁREA MARINA PROTEGIDA (AMP) DE LA BAHÍA DE MURDEIRA (ISLA DE SAL – CABO VERDE)

Los presentes estudios han sido realizados tomando como base los datos obtenidos en el marco del Proyecto de la WWF/ADENA, Evaluación del Ambiente y Recursos Marinos de la Bahía de Murdeira (Isla de Sal, Cabo Verde), a cargo del Instituto Canario de Ciencias Marinas (ICCM) en colaboración con el Instituto Superior de Engenharias e Ciências do Mar (ISECMAR) y el Instituto Nacional de Desenvolvimento das Pescas (INDP).

En los años 2006 y 2007, fueron realizadas dos campañas de muestreo, en las zonas intermareal y submareal de la referida bahía. La primera campaña tuvo lugar entre los días 23 de septiembre y 4 de octubre de 2006 (época caliente) y, la segunda, desde el 31 de mayo al 7 de junio de 2007 (época fría). A lo largo de las mismas, se realizaron muestreos para la obtención de datos necesarios para la caracterización del medio ambiente (hidrodinamismo, calidad físico-química del sedimento y del agua), de las comunidades planctónicas (fitoplancton y zooplancton), del bentos y de la comunidad íctica demersal.

Capítulo 1: Caracterización del área de estudio

1.1 - Marco geográfico del archipiélago de Cabo Verde

El archipiélago de Cabo Verde se encuentra localizado en el margen occidental del continente africano, concretamente, entre los paralelos 14° 48'N y 17° 12'N, y los meridianos 22° 44'W y 25° 22'W, distando de Senegal y de Canarias, alrededor de 500 km y 1.300 km, respectivamente. De acuerdo con Ekman (1953) y Briggs (1974) *cit in* Morri *et al.* 2000, biogeográficamente, el entorno marino del archipiélago de Cabo Verde es considerado como la frontera entre la región Atlántico-Mediterránea Templada Caliente y la región Atlántico Occidental Tropical. Sin embargo, Morri *et al.* (*op cit.*) han detectado también afinidades con el Atlántico Oriental Tropical. Por otro lado, este archipiélago está incluido dentro de la región biogeográfica de la Macaronesia, que engloba partes del continente europeo y africano y otros cuatro archipiélagos: Azores, Madeira, Salvajes y Canarias (Figura 1.1).

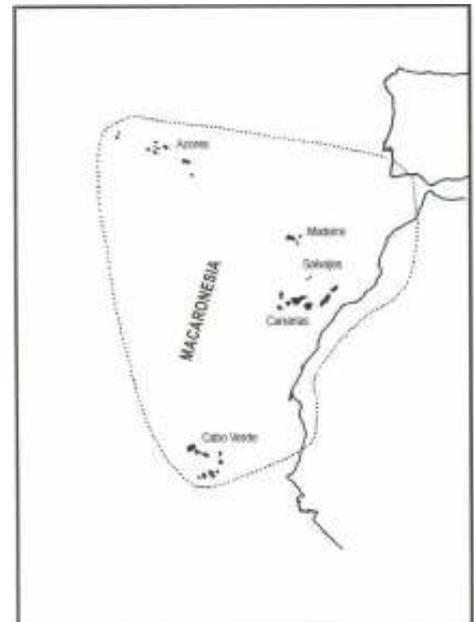


Figura 1.1 - Región de la Macaronesia
Fuente: García-Talavera, 2003.

La Macaronesia, constituye una extensa unidad biogeográfica, esencialmente botánica (en particular flora terrestre), bajo un marco semejante en términos de origen, situación geográfica, clima, flora y fauna (García-Talavera, 2003). En cuanto al origen, todos los archipiélagos son de origen volcánico-oceánico. El clima, marcado por los vientos alisios del NE y la corriente de Canarias, es variable o se encuentra modificado por la orografía y orientación de cada uno de los archipiélagos. En este contexto, según la edad, la distancia entre los archipiélagos y los continentes y entre ellos mismos, se han enmarcado las afinidades florísticas y faunísticas.

El archipiélago de Cabo Verde comprende diez islas, varios islotes y roques más pequeños. En total ocupan una extensión aproximada de 4.000 km², siendo la isla mayor, Santiago, con una superficie de 990 km², y la más pequeña, Santa Luzía, con 35 km² de superficie (Figura 1.2). De acuerdo con la disposición de las islas en relación a los vientos dominantes, los vientos alisios, el archipiélago de Cabo Verde está dividido en dos grupos: Grupo de Barlovento (Santo Antão, São Vicente, Santa Luzía, islotes Branco y Raso, São Nicolau, Sal y Boa Vista) y Grupo de Sotavento (Maio, Santiago, Fogo, Brava y los islotes de Rombo).

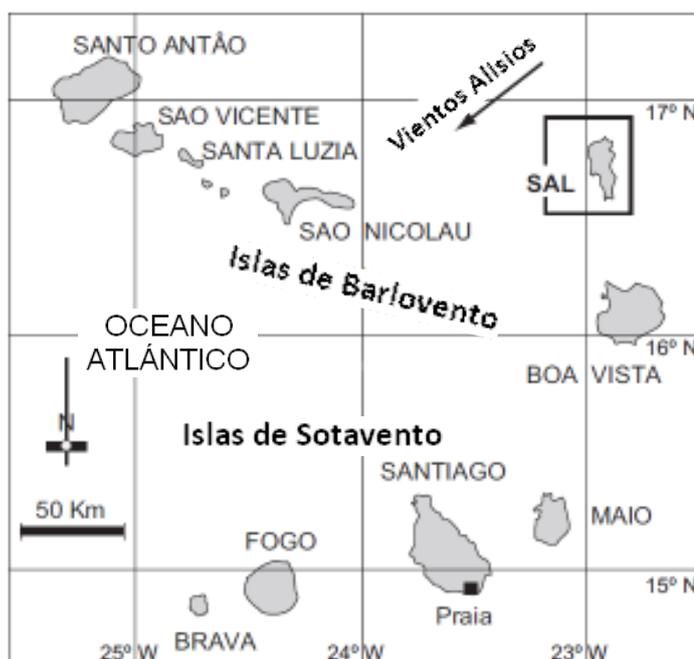


Figura 1.2 - Archipiélago de Cabo Verde, con destaque la isla de Sal (adaptado de Zazo *et al.*, 2007).

El archipiélago de Cabo Verde representa la Macaronesia árida, escasa en agua (García-Talavera, 2003). El clima se diferencia de los demás archipiélagos macaronésicos, ya que se encuentra ubicado dentro de una importante zona geográfica, la zona Saheliana. Esta zona constituye una extensa banda con clima árido a semiárido, al sur del desierto del Sahara, que se extiende a lo largo del continente africano y con continuación en el continente asiático. Así, el clima de estas islas se puede definir como árido a semiárido, suavizado por la influencia oceánica. Se caracteriza por una larga estación seca de cerca de 8-10 meses y por una corta estación lluviosa, cuya media anual no pasa de los 300 mm, para el 65% del territorio situado a menos de 400 m de altitud. En las zonas situadas a más de 500 m de altitud, las precipitaciones pueden llegar a los 700 mm en un año de lluvia considerado bueno (Hazevoet, 1995).

Además de la localización geográfica, el clima de estas islas está determinado por otros cuatro factores preponderantes. La corriente fría de Canarias, que alcanza Cabo Verde desde el norte y tiene un efecto moderador, tanto en la temperatura como en la humedad relativa del aire. Los vientos alisios, que soplan fuertemente a lo largo de casi todo el año (siendo más fuertes de diciembre a abril). Estos vientos tienen poca humedad relativa, por esto la precipitación solo es

posible en las altitudes elevadas (más de 600 m) y orientadas al nor-nordeste. Los monzones del sureste, que suelen ocurrir de agosto a octubre (algunas veces hasta noviembre), son responsables de las precipitaciones más importantes. Sin embargo, Cabo Verde se encuentra localizado al norte de la zona de convergencia inter-tropical (ZCIT), por lo tanto, es alcanzado por estos monzones de forma esporádica. Las precipitaciones originadas por monzones varían mucho de un año para otro. Se han registrado largos periodos de sequía, incluso superiores a 18 años (1968 a 1980). El último factor determinante del clima de estas islas, es el harmatán, que son vientos secos y calientes, provenientes del Sahara, que soplan generalmente por cortos periodos, de octubre a junio. Cuando ocurren traen el polvo sahariano (Hazevoet, 1995).

Localmente el clima es muy variable, en función de la altitud, orientación y pendiente de las montañas. De hecho, las regiones más altas y orientadas al norte-nordeste de las islas de Santiago, Fogo, Santo Antão y São Nicolau reciben mayores precipitaciones, en cualquier mes de agosto a marzo, generalmente, en forma de niebla (Hazevoet, *op cit*).

La temperatura es moderada y relativamente constante, debido a la influencia del entorno marítimo. Solamente en el interior de las tres islas más llanas se han registrado temperaturas entre 35 y 40°C, en los meses más calientes de julio a septiembre. Las temperaturas más bajas registradas fueron en las regiones más altas (superiores a 800 m), alcanzando 10°C (Hazevoet, *op cit*).

1.2 - Marco oceanográfico del archipiélago de Cabo Verde

Uno de los aspectos más destacados de las características oceanográficas del archipiélago de Cabo Verde, es tener una plataforma continental estrecha. Según Bravo de Laguna (1985), la plataforma continental de Cabo Verde presenta 5.934 km². Además de estrecha, dicha plataforma está fragmentada. Las plataformas de las islas de Boavista y Maio (las más extensas) son contiguas, así como las de São Vicente, Santa Luzía, Islotes Zinho, Branco y Raso. Sin embargo, las plataformas de las demás islas, se encuentran aisladas unas de las otras, separadas por profundidades que pueden pasar los 3.000 m.

Debido a su ubicación, las características oceanográficas superficiales, en términos de temperatura y circulación del océano, en el archipiélago de Cabo Verde, están fuertemente determinadas por la influencia de la circulación oceánica a gran escala. De acuerdo con Fernandes *et al.* (2004) y Lázaro *et al.* (2005), la variabilidad estacional de la circulación superficial en la región de Cabo Verde traduce la señal estacional de la circulación superficial a gran escala del nordeste del Atlántico Tropical. Dicho archipiélago se encuentra en el borde este del giro subtropical del Atlántico Norte, en concreto, en el límite sur de la Corriente de Canarias (Fernandes *et al.*, *op cit* y Lázaro *et al.*, *op cit*). Esta corriente sufre desviación de la costa occidental africana, hacia el oeste, entre los paralelos 25° N y 20° N, y gradualmente, se convierte en la Corriente Norte Ecuatorial (CNE), en latitudes inferiores (Mittelstaedt, 1991).

La Corriente de Canarias o su derivación (la Corriente Norte Ecuatorial), presenta velocidad reducida, alrededor de 15 cm/s y, trae aguas frías ($\leq 23^{\circ}\text{C}$) y ricas en nutrientes, desde las áreas de surgencia en el Norte de África, bañando completamente el archipiélago, durante el periodo de diciembre a junio, creando condiciones favorables para la productividad biológica (Almada, 1993). Más al sur, entre las latitudes 10° N y 5° N, con flujo hacia el este, se desplaza la Contracorriente Ecuatorial (Fernandes *et al.*, *op cit* y Lázaro *et al.*, *op cit*). Por tanto, de acuerdo con estos mismos autores, el área entre 15° N y 10° N, que incluye parte del archipiélago de Cabo Verde, puede ser considerada como una región de interacciones a gran escala entre la Corriente de Canarias, la Corriente Norte Ecuatorial y la Contracorriente Ecuatorial. Se producen cambios estacionales en el sur de este sistema que están especialmente relacionados con la fuerte variación estacional de la Contracorriente Ecuatorial. Esta corriente que transporta agua ecuatorial, es más fuerte en el periodo de julio a diciembre, aumentando así la velocidad de las corrientes en esta zona, cuando la Zona de

Convergencia Intertropical (ZCTI) alcanza su posición más al norte (Fernandes *et al.*, 2004 y Lázaro *et al.*, 2005). Además, el aumento de la fuerza de dicha contracorriente, produce el desplazamiento de la Corriente Norte Ecuatorial, también hacia el norte, mientras se le inyecta agua ecuatorial (Stramma & Siedler, 1988). Estas son aguas calientes (24 a 27°C) que crean las condiciones necesarias para la permanencia de peces pelágicos (Almada, 1993). En este período la Corriente de Canarias solo afecta a las islas de Santo Antão, São Vicente, Santa Luzía, São Nicolau y parte Norte de la isla de Sal. Durante el periodo de diciembre a junio, los fuertes vientos alisios son responsables del descenso de la Contracorriente Ecuatorial que, al mismo tiempo, se vuelve irregular (Mittelstaedt, 1991).

La circulación y la distribución de las masas de agua, en la capa superficial, están acopladas (Mittelstaedt, *op cit*). El archipiélago de Cabo Verde se encuentra cerca de un área de transición de masas de Aguas Centrales (Barton, 1998). La masa de Agua Central Norte Atlántica (*North Atlantic Central Water* - NACW) que fluye hacia el sur en la corriente de Canarias y la masa de Agua Central Sur Atlántica (*South Atlantic Central Water* - SACW) que fluye hacia el norte (Arhan *et al.*, 1994). La transición entre las masas de agua, NACW (más salina, más caliente, rica en oxígeno y pobre en nutrientes) y SACW (menos salina, menos caliente, pobre en oxígeno y más rica en nutrientes), según Barton (*op cit*), se produce al sur del paralelo 21° N, un área llamada Zona Frontal de Cabo Verde (ZFCV). De acuerdo con Fraga (1974) y Manríquez y Fraga (1982) *cit in* Pérez-Rodríguez *et al.*, 2001, la referida transición está marcada por un fuerte gradiente en la temperatura y salinidad en las aguas de la termoclina superior, hasta los 400 a 600 m de profundidad, estando la columna de agua, entre -600 y -1000 m, ocupada solamente por NACW. Según, Pérez-Rodríguez *et al.* (*op cit*), la fuerte convergencia entre la NACW y la SACW es responsable por el cambio en la circulación hacia el oeste. Desde la ZFCV al sur, el NACW se desplaza hacia el sudoeste ocupando la capa de la termoclina hasta los -1000 m, en la región de Cabo Verde.

En los primeros -100 m, en la capa de mezcla hay un fuerte gradiente en la temperatura y la salinidad que traduce la transición entre aguas Superficiales del Norte (NS) y aguas Superficiales del Sur (SS). De acuerdo con Almada (1993) la termoclina se sitúa entre los 40 y 70 metros de profundidad y presenta variaciones estacionales. Stramma *et al.* (2005) se refieren a estas aguas (NS y SS) como Agua Superficial Tropical.

La temperatura media superficial del mar presenta poca variabilidad, oscilando entre 22-23°C, en la época fría (diciembre a junio) y, entre 26-27°C, en la época caliente. Además, las islas de

Cabo Verde son atravesadas temporalmente por una frente caliente entre los meses de junio-julio y de octubre-noviembre. Los cambios en la distribución de temperatura superficial del océano, en la región del archipiélago, siguen también la ZCIT (Almada, 1993).

Otro condicionamiento oceanográfico que afecta en particular a las zonas costeras, es el número reducido de zonas abrigadas. Las costas al norte están prácticamente siempre expuestas al fuerte hidrodinamismo causado por los vientos alisios. Por otro lado, las costas al sur y oeste presentan también, pocas zonas abrigadas debido a la presencia casi continua del fuerte oleaje oceánico, frecuentemente proveniente de varias direcciones. En algunas islas, las bahías proporcionan abrigo, pero generalmente, por cortos periodos de tiempo (Van der Land, 1993).

Las mareas presentes son semidiurnas, produciendo dos pleamares y dos bajamares diarias, siendo el valor mínimo histórico de -0.2 m y el máximo histórico de 1.9 m. La amplitud media es 1.15 m, siendo la máxima de 1.4 m, durante las mareas vivas.

Por último, la influencia de los vientos alisios con intensidades de 5 a 8 nudos, durante los meses de enero a julio, provocan una situación ciclónica al sur de las islas que da lugar a procesos de surgencias locales (denominado efecto isla), enriqueciendo así, las aguas superficiales con nutrientes provenientes de las aguas más profundas que afloran (López-Jurado, 1998).

Todas estas características oceanográficas, en particular la fragmentación y aporte de corrientes de varias direcciones, favorecen una gran diversificación, pudiéndose, según López-Jurado (*op cit*), caracterizar las aguas de Cabo Verde como de alta biodiversidad, pero no en su biomasa, ya que esta está concentrada en las zonas de plataforma más extensa, donde es mayor la confluencia de condiciones favorables.

1.3 - Caracterización de la Bahía de Murdeira (Isla de Sal)

La isla de Sal presenta una forma alargada en el sentido norte-sur, con una extensión de 216 km², 30 km de largo (norte-sur) y 12 km de anchura entre las costas este y oeste. La forma alargada produce dos áreas litorales muy diferenciadas: costa norte a este, orientada a los vientos alisios y costa sur a oeste, resguardada de los mismos. Esto da como resultado, de acuerdo con Zazo *et al.* (2007), una costa sur con extensos depósitos Cuaternarios muy expuestos, contrastando con la costa norte, con plataformas erosivas y pocos depósitos asociados. Además, la plataforma continental, en esta isla, es más extensa en la parte sur, mientras que en la parte norte se encuentran grandes profundidades a pocas millas de la costa (Figura 1.3). De acuerdo con Zazo *et al.* (*op cit*), es posible que la isla de Sal, haya sido cortada por una fractura, produciendo la elevación del bloque norte y la subsidencia del bloque sur.

Respecto a la Bahía de Murdeira, su litoral se compone principalmente de depósitos sedimentarios del Cuaternario (Figura 1.3), con una anchura de cerca de 1 km, a excepción del promontorio basáltico, al norte, denominado Monte Rabo de Junco (Torres *et al.*, 2002).

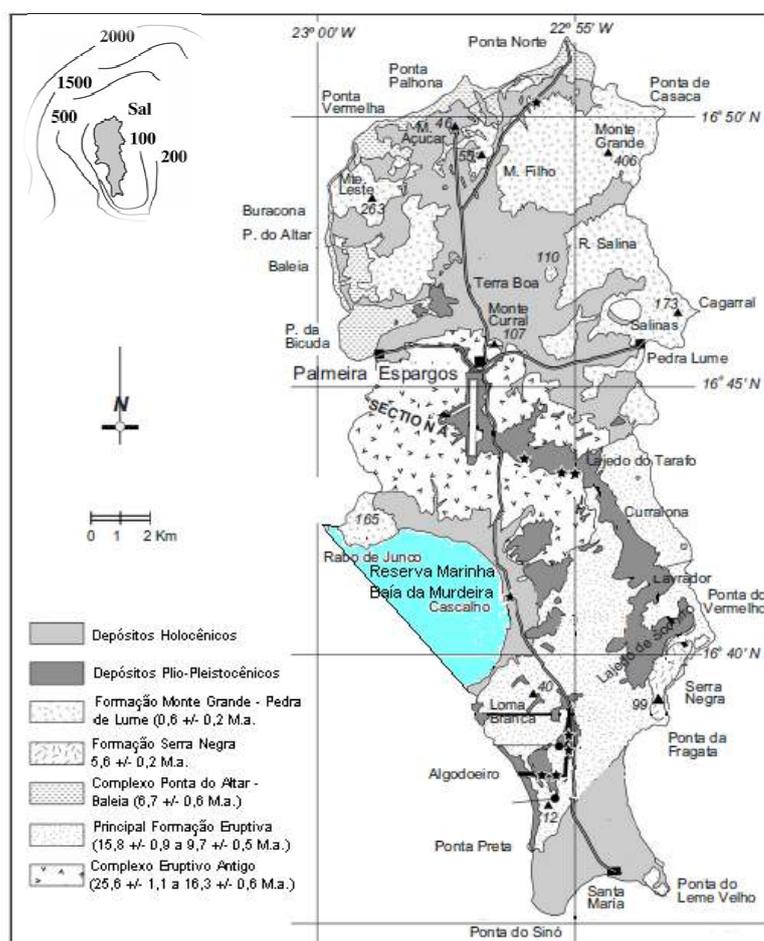


Figura 1.3 - Mapa geológico de la Isla de Sal (adaptado de Zazo *et al.*, 2006), indicando en azul claro la Reserva Natural Marina de la Bahía de Murdeira. Lado superior izquierdo, mapa batimétrico de la isla de Sal (adaptado de Cunha *et al.*, 2011).

Otra característica de la bahía, es la presencia de fondos someros, presentando en la parte interna fondos que no superan los 10 m de profundidad. El perfil es casi horizontal con sustrato rocoso y arenoso (ver Figura 1.4). En las zonas más abrigadas de la región infra litoral,

especialmente en Calheta Funda, Jorge Fonseca o próximas a la punta de Rabo de Junco, se encuentran colonias de corales más o menos extensos de las especies: *Millepora alcicornis*, *Porites astreoides*, *Siderastrea radians*, *Favia fragum* y *Palythoa caribbaeorum* (López-Jurado, 1998).

Los ecosistemas marinos presentes en la isla se manifiestan con gran singularidad en la Bahía de Murdeira. Este lugar, orientado al suroeste, mantiene casi todo el año unas condiciones de aguas remansadas que permiten una estratificación térmica muy estable a lo largo del tiempo. La línea de costa es más o menos uniforme (propia de un lugar resguardado, al abrigo del embate del mar), en la que se suceden algunas pequeñas calas o bahías muy pronunciadas, como la Praia de Cascalho o la Praia de Canoa, entre las más importantes (López-Jurado, *op cit*).

En la bahía predominan las comunidades de corales formadas por las especies citadas arriba. La concentración de invertebrados marinos es notable, entre ellos un grupo también muy importante son los moluscos gasterópodos, destacando las especies de *Conus*. Entre alrededor de 50 especies de Conídeos que habitan en Cabo Verde, 47 son endémicas, aunque el mayor número de endemismos se encuentra en las islas de Boavista, Maio y Sal. Comparando las tres islas, las especies que se encuentran en la isla de Sal son genéticamente más aisladas en relación a las especies de las demás islas, debido a la profundidad que las separa (Duda Jr. & Rolán, 2005). Una particularidad de estos casos de endemismos es que se restringen a una única isla y hasta una bahía (Röckel *et al.*, 1980 *cit in* Duda Jr. & Rolán, *op cit*). Un ejemplo es la especie *Conus mordeirae* endémica de la Bahía de Murdeira. Además, habitan en la referida bahía, al menos, las especies *C. ermineus*, *C. cuneolus* y *C. alteralbus* (Rolán, 1985), siendo las dos últimas endémicas de la región.



Figura 1.4 – Foto aérea de la Bahía de Murdeira, Isla de Sal (Cabo Verde). Fuente: Jeff Hellio & Nicolas Van Ingen, 2006.

Las extensiones de rodolitos calcáreos formados principalmente por algas del género *Porolithon* son las responsables en gran medida de la formación de las arenas que cubren esta y gran parte de las costas de estas islas orientales, tras un proceso de erosión marino y transporte eólico (López-Jurado, 1998).

La ictiofauna se encuentra representada por numerosas especies, muchas de ellas de interés comercial, pertenecientes a las familias Pomacentridae, Scaridae, Muraenidae y Labridae, entre otras. Además, la proximidad de los grandes fondos permite el acercamiento también de algunas especies de túnidos (*Tunnus albacora*, *T. obesus*, *Katsuwonus pelamis*), especies de cetáceos marinos como *Megaptera novaengliae*, y especies de tortugas marinas de especial interés (*Caretta caretta* y *Chelonia mydas*), según López-Jurado (*op cit*).

El mismo autor señala que en los ecosistemas terrestres existen, tanto el islote de Rabo de Junco como en la montaña del mismo nombre (ambos constituyen otro espacio protegido), varios

nidos de guincho (*Pandion haliaetus*) y una de las escasas colonias supervivientes de la ave marina *Phaeton aethereus*, para las cuales la Bahía de Murdeira constituye un hábitat fundamental.

La excepcional riqueza e importancia de los ecosistemas submarinos de la Bahía de Murdeira, con una elevada proporción de elementos endémicos y singulares, así como la importancia de sus recursos pesqueros y costeros, han sido el fundamento para su protección y conservación. Por ello, ha sido declarada como Reserva Natural Marina en la Ley de Espacios Naturales Protegidos de Cabo Verde (Decreto–Lei nº 3/2003, de 24 de Fevereiro). La Reserva limita al norte con la costa de Monte Rabo de Junco (en concreto en Ponta de Pesqueirona) y al sur con la punta denominada Rife al norte de Calheta Funda e incluye también las aguas que rodean el islote de Rabo de Junco (Figura 1.3).

En la década pasada, hubo un repentino interés por estas islas, y más concretamente por la isla de Sal, con la llegada de muchos inversores para compras masivas de tierra y alianzas con empresas locales para desarrollar varios proyectos en el área inmobiliaria y del turismo. Independientemente del estatus de la Bahía de Murdeira como un AMP, se aprobaron proyectos para la construcción inmobiliaria, incluso la construcción de una marina con 4 ha de superficie, siendo 1.6 ha de la zona marina. Esto ha merecido la intervención del Ministerio Público que demandó los mecanismos legales para poner fin a esta ilegalidad, no habiendo cualquier resolución hasta el momento. Con la crisis económica, no hubo avances en tales proyectos, pero sin embargo, el AMP de Bahía de Murdeira se encuentra todavía sin plan de gestión aprobado.

Capítulo 2: El medio físico en la Bahía de Murdeira

2.1 - Introducción

El Atlántico Noreste Tropical es de las regiones atlánticas menos estudiadas, debido al hecho de que los países vecinos (de la costa nor-occidental africana) no tienen poder económico suficiente para hacer investigaciones oceanográficas a gran escala (Stramma *et al.*, 2005). Con el creciente interés sobre los efectos del cambio climático, dónde la zona tropical juega un papel importante, se ha incrementado el número de estudios en la referida región. Entre ellos, los estudios sobre las masas de agua y corrientes (Stramma *et al.*, *op cit*), circulación superficial (Lázaro, *et al.*, 2005), distribución de la clorofila *a* (Lathuilière, 2008), zona del mínimo oxígeno (Stramma *et al.*, 2008). Sin embargo, a nivel de las regiones costeras, además de los informes técnicos producidos en el marco de este estudio (González-Henríquez *et al.*, 2006) y (PCMC, 2007), se encontró tan solo un estudio científico en el ámbito del ambiente físico marino costero, el Lopes *et al.* (2012). Así que este sería el primero, de esta naturaleza para todo el archipiélago, y para la Bahía de Murdeira en particular.

En general, en los ecosistemas marinos costeros, los flujos de marea, vientos locales, surgencias y el aporte de agua dulce, generan condiciones oceanográficas de mezcla o estratificación de la columna de agua, provocando cambios en el balance de nutrientes y en el estado trófico de estos ecosistemas (García *et al.*, 2012).

Las diferentes condiciones oceanográficas también se pueden observar en el sedimento. La granulometría es una de las propiedades físicas fundamentales de los sedimentos, una vez que permite conocer la proporción de los diferentes tamaños de granos presentes en el sustrato. El conocimiento de dichas proporciones tiene un valor considerable, ya que el tamaño de los granos, puede reflejar y/o determinar las demás características ambientales.

Según Betancourt *et al.* (2009) dentro de los indicadores a tener en cuenta, la temperatura, el potencial redox (Eh), el oxígeno disuelto y el pH, resultan de gran interés porque se incluyen dentro

de los factores que regulan el fenómeno altamente complejo de liberación de nutrientes, metales y materia orgánica desde los sedimentos.

En este trabajo se tiene como objetivo analizar las variaciones de las variables físico-químicas del sedimento, en dos estaciones del año, en la columna de agua y en los sedimentos de la Bahía de Murdeira, Isla de Sal, Cabo Verde. Además de identificar las interacciones entre las diferentes variables, se pretende, por último, caracterizar las condiciones oceanográficas en las diferentes estaciones del año.

2.2 - Material y Métodos

2.2.1 - HIDRODINAMISMO

El estudio del hidrodinamismo, realizado en el ámbito de este trabajo, ha contemplado análisis del oleaje y de las corrientes.

Los análisis del oleaje se hicieron con los datos disponibles en internet, en la página web de la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). Así, para la zona de estudio, se recurrió a datos de las variables de las olas, producidos por el modelo NWW 3 (NOAA wave watchIII) a partir de los datos obtenidos en varias boyas oceanográficas, ubicadas en distintas regiones geográficas. Los datos descargados (de altura, periodo y dirección de las olas) se refirieron al periodo de noviembre del 2005 a noviembre de 2006, para la posición 16.64° N (latitud) y 22.96° W (longitud). Estos datos fueron posteriormente analizados mediante gráficos de distribución de frecuencias para cada una de las variables.

Los datos de corrientes se obtuvieron por medio de la colocación de un correntímetro Doppler, Aanderaa modelo RCM9 a una profundidad aproximada de 15 m. El instrumento lleva alojada una batería alcalina y una memoria de estado sólido, donde va almacenando los datos que registra, a intervalos de tiempos, de forma que pueden ser analizados una vez el correntímetro sea recuperado. Con esto, se obtuvo el registro de datos acerca de intensidad y dirección de las corrientes.

El intervalo de muestreo se fijó en 30 minutos y el periodo de muestreo fue superior a 15 días. La agencia escocesa para el medio ambiente (SEPA) recomienda el tiempo mínimo de 15 días, que corresponde a medio ciclo lunar, para una evaluación robusta de las corrientes locales (SEPA, 1998). La localización del punto de fondeo del correntímetro (Tabla 2.1), en las dos campañas, se estableció *a priori* y se eligió dentro de una zona con una profundidad situada entre los 10 y 20 metros y en un área de poca pendiente.

Tabla 2.1- Datos del punto de fondeo del correntímetro, en las dos campañas de muestreo, 23 de septiembre a 4 de octubre de 2006 (época caliente) y 31 de mayo a 7 de junio de 2007 (época fría), en la Bahía de Murdeira, Isla de Sal (Cabo Verde).

Coordenadas		Profundidad	Periodo de inmersión
Sistema sexagesimal	Sistema UTM (27 Q)		
16° 40.863' N	1845294		23/09/06 al 10/10/06
22° 57.368' W	291399	15 m	01/06/07 al 03/07/07

Los datos almacenados fueron recuperados al conectar la memoria sólida, vía una lectora DSU 2995, a un ordenador. Los datos fueron procesados con el programa 5059 de lectura de datos, también de la empresa noruega Aanderaa.

A partir de estos datos, se hicieron análisis estadísticos descriptivos para la obtención de los principales parámetros que caracterizan las distintas variables medidas, que se presentan en los resultados en tablas y en distintos modelos gráficos.

2.2.2 - SEDIMENTO

En el sedimento, se analizaron varios parámetros químicos (materia orgánica, potencial redox, % nitrógeno, % fósforo) y la granulometría. En aquellos puntos de la bahía donde el sustrato era arena se tomaron muestras de sedimento, se eligieron un total de 8 estaciones de muestreo a lo largo de toda la bahía (Figura 2.1 y Tabla 2.2). El análisis de las muestras para el %N y %P se realizó en los laboratorios de Aguas de Telde, Gestión Integral del Servicio, S.L., Gran Canaria.

La recolección de muestras de sedimento se hizo mediante una draga tipo Van Veen. Una vez obtenidas, las muestras fueron conservadas, debidamente etiquetadas, en bolsas de plástico y congeladas, para evitar su degradación hasta su posterior análisis. Los parámetros que se analizaron fueron porcentaje de nitrógeno (%N), porcentaje de fósforo (%P), porcentaje de materia orgánica (% M.O), medida del potencial redox y además se obtuvo la granulometría.

La cuantificación de la materia orgánica de las muestras se realizó, en los Laboratorios del ICCM mediante el método de calcinación. El contenido en cenizas (materia inorgánica) se

determinó, quemando 0.5 g de muestra seca en un horno mufla a 450°C, durante 24 horas. Las cenizas obtenidas después de la combustión fueron pesadas y a partir del peso se determinó el porcentaje por muestra. El porcentaje de materia orgánica (peso seco libre de cenizas, PSLC) se calculó restando de 100 el porcentaje de cenizas.

La medida del potencial redox se realizó mediante una sonda *in situ* en cada estación para evitar reacciones de oxido-reducción que puedan dar lugar a datos erróneos. Dicho parámetro se midió utilizando un sensor combinado de pH/Potencial redox marca Crison 507, mediante un electrodo de Pt (Crison 52-61).

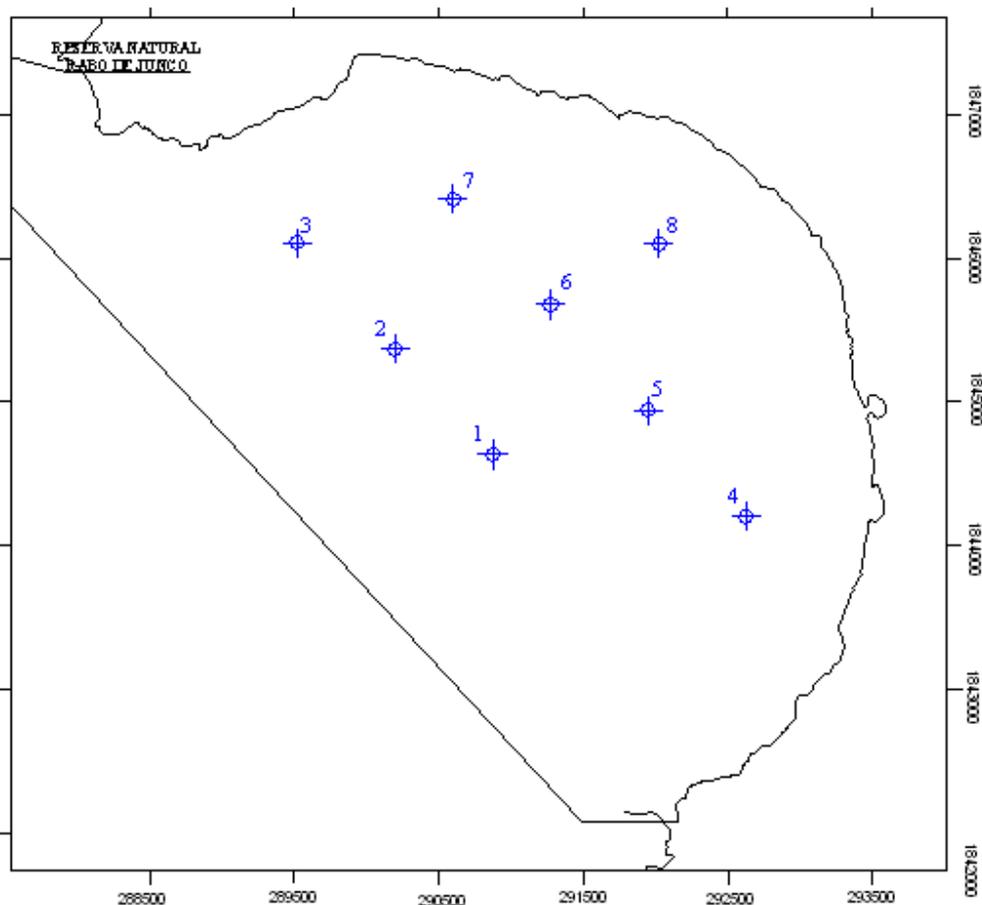


Figura 2.1 - Distribución de las estaciones de muestreo de sedimento, en la Bahía de Murdeira, Isla de Sal (Cabo Verde).

Tabla 2.2 - Localización de los puntos de recogida de sedimentos, en las dos campañas de muestreo, 23 de septiembre a 4 de octubre de 2006 (época caliente) y 31 de mayo a 7 de junio de 2007 (época fría), en la Bahía de Murdeira, Isla de Sal (Cabo Verde).

Estaciones	Coordenadas			
	Longitud W	Latitud N	UTM (X) 27 Q	UTM (Y)
1	22° 57.659'	16° 40.502'	290876	1844634
2	22° 58.044'	16° 40.898'	290199	1845371
3	22° 58.428'	16° 41.294'	289523	1846107
4	22° 56.672'	16° 40.280'	292627	1844206
5	22° 57.056'	16° 40.676'	291951	1844943
6	22° 57.441'	16° 41.071'	291274	1845679
7	22° 57.826'	16° 41.466'	290597	1846415
8	22° 57.021'	16° 41.306'	292024	1846105

La granulometría se realizó mediante el método de tamizaje. Se elimina la materia orgánica del sedimento con agua oxigenada al 50%. Transcurridas 24 horas se añade agua destilada y calgón, solución dispersante, manteniendo en agitación durante 2 horas. Las muestras fueron secadas en una estufa a 100 °C hasta alcanzar el peso constante y después colocadas en una tamizadora. La columna de tamices empleada comienza con luz de malla de 4 mm (-2 Φ) siguiendo la escala geométrica de Wentworth. El proceso de tamizaje tiene una duración aproximada de 20 a 25 minutos. Según Krumbien (1934) Φ se define como:

$$\Phi = -\log_2 D$$

$$(D = \text{diámetro de la partícula en mm})$$

Para obtener la distribución granulométrica de las arenas, el contenido de cada tamiz fue pesado, obteniendo la fracción correspondiente a cada tamaño en porcentaje, a partir del peso inicial. Las distribuciones granulométricas se mostraron en tablas y por medio de gráficos simples de porcentaje gravimétrico y, para averiguar el grado de homogeneidad, se determinó, por cada estación de muestreo, el índice de equitatividad de Pielou. Los resultados fueron analizados estadísticamente, incluyendo media, desviación estándar, moda, medida de simetría y Kurtosis y, presentados también en tablas.

Los valores de porcentaje de nitrógeno, de fósforo y de materia orgánica, así como, el del potencial redox, y del índice de equitatividad de Pielou sobre los porcentajes gravimétricos, fueron testados en cuanto a la homogeneidad de variancia (test de Levéne) y normalidad de Shapiro-Wilk

como recomienda Sokal & Rohlf (1981). Cuando estos supuestos para ANOVA no dieron las diferencias entre los años, se testaron por medio de test no paramétrico para muestras pareadas de Wilcoxon con signo. Los análisis univariantes fueron realizados por medio del programa XLStat2009 (Addinsoft 2009) y para calcular el índice de equitatividad de Pielou se utilizó el programa PRIMER Versión 5 (Clarke & Gorley, 2001).

2.2.3 - CALIDAD DEL AGUA

Se tomaron muestras de agua tanto para los análisis de los parámetros físico-químicos del agua, como para la determinación de la concentración de clorofila *a* e identificación y cuantificación de los organismos fitoplanctónicos. Por otro lado, se registraron datos de temperatura, salinidad y turbidez, cada 30 minutos a lo largo de al menos 15 días, por medio de la colocación de sensores específicos al correntímetro. La localización del punto de fondeo del correntímetro y los periodos de registro, en las dos campañas, se presenta en la Tabla 2.1.

Las muestras de agua se recogieron en 14 estaciones de muestreo distribuidos por toda la bahía (Figura 2.2 y Tabla 2.3), utilizando una botella Niskin de 5 litros, a 5 m de profundidad. De cada muestreo se separaron submuestras de agua para los análisis de calidad, que fueron conservadas en frascos de diferentes volúmenes, según los parámetros de estudio y congeladas hasta su posterior análisis. Se analizaron una serie de parámetros físico-químicos (temperatura, salinidad, pH, oxígeno disuelto, turbidez, sólidos en suspensión, clorofila *a* y nutrientes - amonio, nitratos y fosfatos).

La temperatura y salinidad fueron tomadas *in situ* mediante un conductímetro/salinómetro YSI modelo 95. Los parámetros pH, turbidez y oxígeno disuelto se midieron, también *in situ*, con una sonda Horiba modelo U-10.

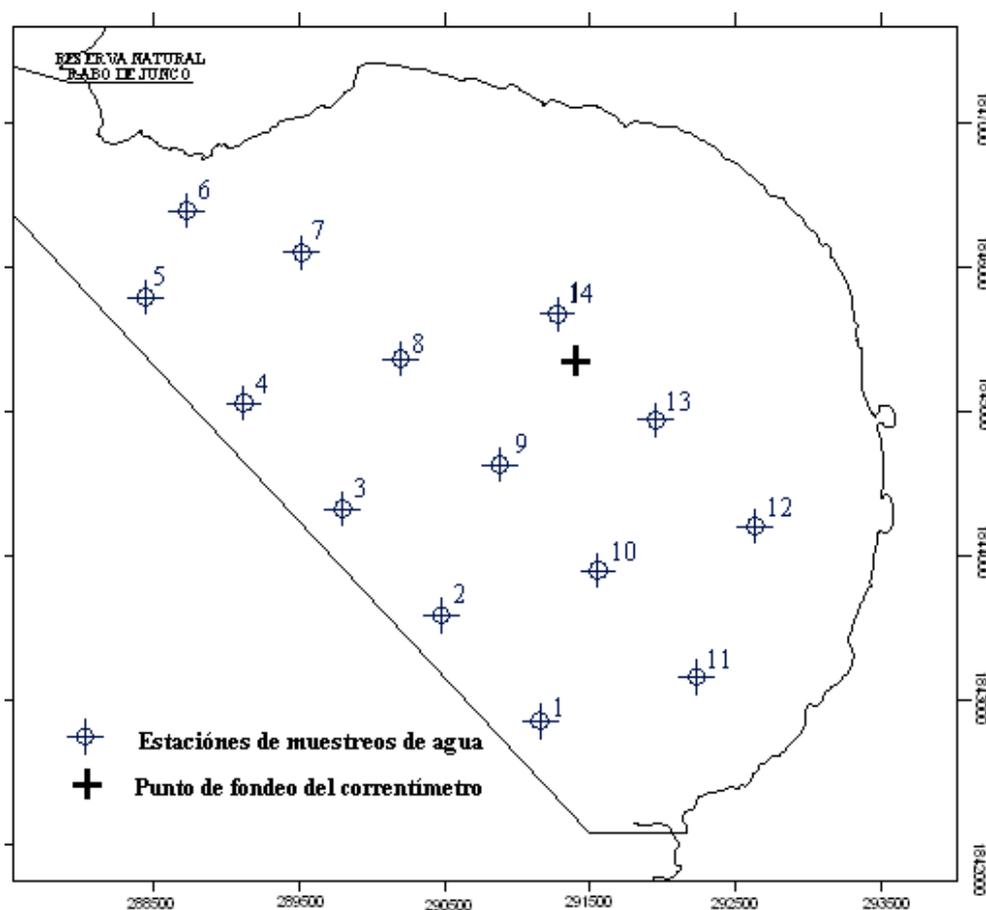


Figura 2.2 - Distribución de las estaciones de muestreo de agua y del punto de fondeo del correntímetro, en la Bahía de Murdeira, Isla de Sal (Cabo Verde).

Para la determinación de los sólidos en suspensión se utilizó el método gravimétrico por desecación a 105 °C, descrito por Symons & Morey (1941).

La concentración de nutrientes (amonio, nitratos y fosfatos) se determinó por espectrofotometría de absorción molecular con un espectrofotómetro DR/4000 HACH modelo 48000, según las normas ISO 9001, en los laboratorios de Aguas de Telde, Gestión Integral del Servicio, S.L, Gran Canaria. La metodología usada para el análisis de nitrato fue la de reducción de cadmio. Para las sales de fósforo el método seguido fue el del molibvanadato. Para el amonio, el método usado fue el del salicilato.

La concentración de clorofila *a*, después de previa extracción con acetona, se analizó por fluorescencia usando un fluorímetro modelo TURNER A-10, según el método descrito por Welschmeyer (1994). La unidad de medida para este método es del orden de $\mu\text{g} / \text{l}$.

Tabla 2.3 - Estaciones de recogida de las muestras de agua, en las dos campañas de muestreo, 23 de septiembre a 4 de octubre de 2006 (época caliente) y 31 de mayo a 7 de junio de 2007 (época fría), en la Bahía de Murdeira, Isla de Sal (Cabo Verde).

Estaciones de muestreo	Coordenadas			
	Longitud W	Latitud N	UTM (X)	UTM (Y)
			27 Q	
1	22° 57.493'	16° 39.538'	291154	1842853
2	22° 57.877'	16° 39.934'	290478	1843590
3	22° 58.262'	16° 40.330'	289801	1844326
4	22° 58.646'	16° 40.725'	289125	1845062
5	22° 59.031'	16° 41.121'	288448	1845799
6	22° 58.872'	16° 41.448'	288736	1846400
7	22° 58.428'	16° 41.294'	289523	1846107
8	22° 58.044'	16° 40.898'	290199	1845371
9	22° 57.659'	16° 40.502'	290876	1844634
10	22° 57.275'	16° 40.107'	291552	1843898
11	22° 56.890'	16° 39.712'	292229	1843162
12	22° 56.672'	16° 40.280'	292627	1844206
13	22° 57.056'	16° 40.676'	291951	1844943
14	22° 57.441'	16° 41.071'	291274	1845679

A partir de los datos obtenidos en las diferentes estaciones de muestreo a 5 m, se hicieron análisis estadísticos para comparar las variables físico-químicas, entre los dos periodos. Los valores de temperatura, salinidad, pH, oxígeno disuelto y sólidos en suspensión fueron testados en cuanto a la homogeneidad de varianza (test de Levéne) y normalidad de Shapiro-Wilk como recomienda Sokal & Rohlf (1981). Cuando estos supuestos para ANOVA no dieron las diferencias entre los años, se testaron por medio de test no paramétrico para muestras pareadas de Wilcoxon con signo. Los análisis univariantes fueron realizados por medio del programa XLStat2009 (Addinsoft 2009).

2.3 - Resultados

2.3.1 - EL HIDRODINAMISMO EN LA BAHÍA DE MURDEIRA

El régimen de oleaje en el archipiélago de Cabo Verde es predominantemente del NE, de intensidad débil a moderada, como se verificó por medio de los gráficos de distribución de frecuencias para cada uno de los parámetros de las olas, producidos en base a datos obtenidos de noviembre de 2005 a noviembre de 2006 (ver Figura 2.3). Las olas con mayor frecuencia (superior a un 30%) presentaron dirección NNE. Las alturas de olas más frecuentes fueron de tan solo 1.5 a 1.9 metros, siendo la altura máxima alcanzada (muy poco frecuente) de 4.1 metros. Y, la mayoría de las olas presentaron periodo bajo, 7 a 8 s, siendo la frecuencia, referida a este intervalo, superior a 40%.

La Bahía de Murdeira, se encuentra protegida debido a su geomorfología y orientación oeste contraria a las olas provenientes de los sectores norte y este. Las olas que más afectan dicha bahía son las que tienen una fuerte componente oeste, sin embargo, las olas de esta componente son las que ocurren con menor frecuencia (Figura 2.3). Las demás olas, con componente sur u oeste, que están en el tercer y cuarto cuadrante, afectan a la bahía de una manera parcial. La frecuencia del oleaje, en la Bahía de Murdeira, ha sido alrededor de 34.42%.

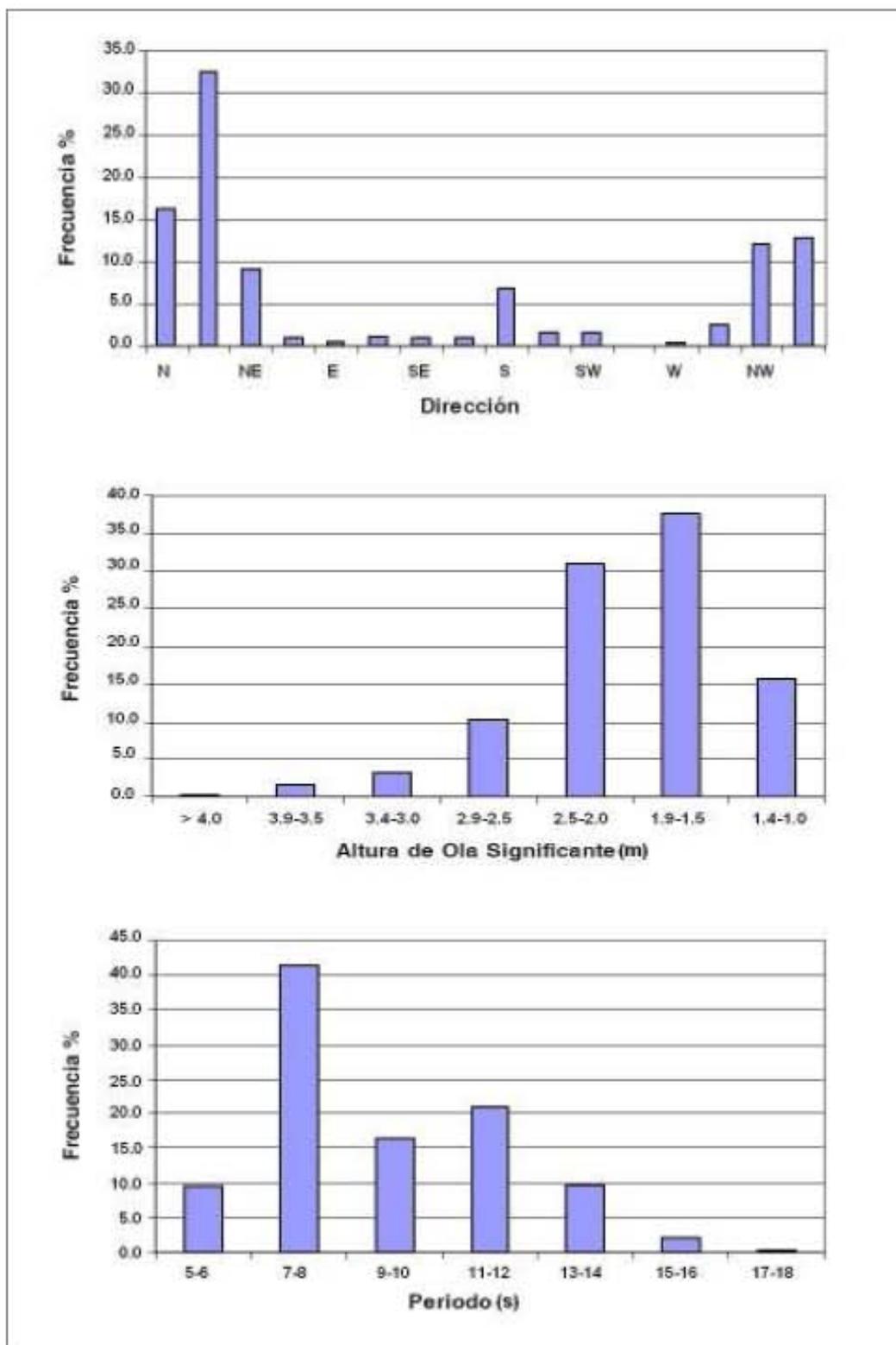


Figura 2.3 - Distribución de frecuencias de las distintas características de las olas (dirección, altura significativa y periodo) que ocurrieron al este de la Isla de Sal (Cabo Verde), posición 16.64°N y 22.96°W, en el periodo de noviembre de 2005 a noviembre de 2006.

Respecto a las corrientes, se determinaron los principales descriptores estadísticos de las variables registradas (velocidad y dirección), correspondientes a los dos periodos de muestreos (Tabla 2.4). Además, algunas de las variables fueron representadas gráficamente (Figuras 2.4 a 2.11), para facilitar la interpretación de los datos.

El rango de velocidades alcanzadas, durante el periodo de septiembre de 2006, osciló entre 0.49 y 25.91 cm/s, con una velocidad media de 8.86 cm/s, habiendo sido inferiores, en el periodo de junio de 2007, con variaciones entre 0 y 19.56 cm/s y una velocidad media de 6.64 cm/s. Observando los histogramas de distribución de la velocidad (Figuras 2.4 y 2.5), se ha verificado que las velocidades más frecuentes (superior a un 11%) han correspondido con el intervalo 6 - 7 cm/s, seguido de 3 - 4 y 8 - 9 cm/s (en el primer periodo) y de 3 - 4 cm/s, seguido de 2 - 3 y 5 - 6 cm/s (en el segundo periodo).

Tabla 2.4 - Descriptores estadísticos de la velocidad y dirección de corrientes registradas en las series temporales de datos obtenidos por medio del correntímetro, durante los periodos de muestreo, en la Bahía de Murdeira (Isla de Sal).

	septiembre de 2006		junio de 2007	
	Velocidad (cm/s)	Dirección (° sexagesimales)	Velocidad (cm/s)	Dirección (° sexagesimales)
Media	8.68	141.53	6.64	153.94
Des. Std.	5.08	68.51	3.92	92.78
Máximo	25.91	359.69	19.56	359.69
Mínimo	0.49	0	0	0

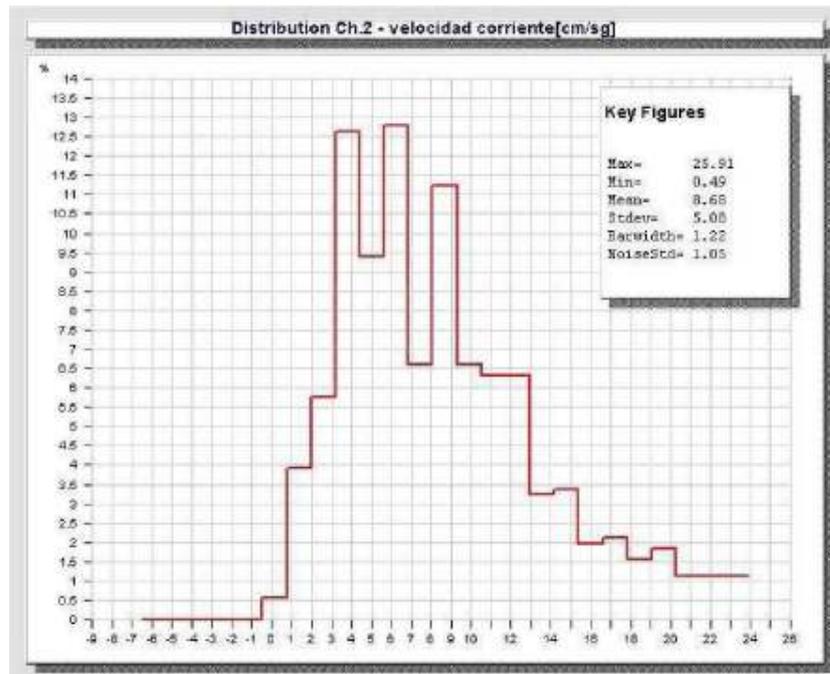


Figura 2.4 - Histograma de distribución de la velocidad de corrientes, en la Bahía de Murdeira, durante el periodo de 23 de septiembre al 10 de octubre de 2006.

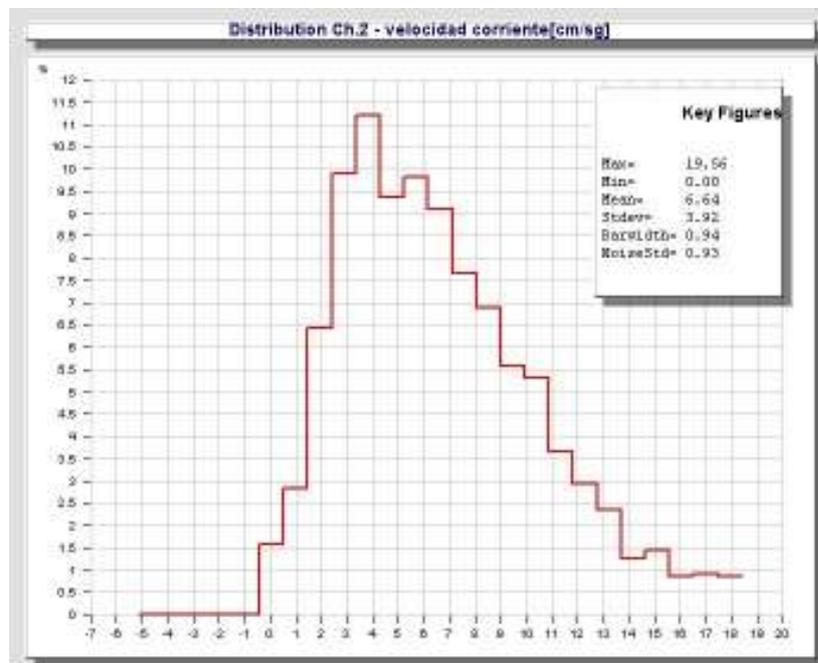


Figura 2.5 - Histograma de distribución de la velocidad de corrientes, en la Bahía de Murdeira, durante el periodo de 1 de junio al 3 de julio de 2007.

La distribución temporal de los vectores de las corrientes, en ambos periodos, está representada respectivamente en las Figuras 2.6 y 2.7, en los cuales se evidenció el cambio en la dirección y velocidad de las corrientes, según un patrón semi-diurno. Es decir que, en ambos periodos, las corrientes presentaron, dirección SSE (primer periodo) o SE (segundo periodo) y con mayor velocidad, cambiando a la dirección NNW y con menor velocidad, y vice-versa, dos veces al día, de modo alternante, indicando influencia de las corrientes mareales.

Los diagramas de distribución polar de la dirección de las corrientes (Figuras 2.8 y 2.9) evidenciaron que la dirección que presentó mayor frecuencia fue SSE y SE, con una frecuencia superior a 26% y 31%, respectivamente en el primer y segundo periodo de muestreo. Comparándose estos diagramas con los de la distribución temporal de los vectores de corrientes, quedó evidente que la dirección reinante y la dominante coinciden.

Los diagramas de los vectores progresivos correspondientes a los dos periodos, Figuras 2.10 y 2.11, representan el dibujo de la trayectoria que seguiría una partícula sometida a un campo de velocidades constante espacialmente y que toma los mismos valores en el tiempo medidos por el correntímetro. En estos diagramas los valores negativos del eje X corresponden al oeste y, los valores negativos del eje Y, al sur. Según los vectores progresivos de la zona se puede afirmar que el desplazamiento neto habría sido al SE y SSE, respectivamente en el primer y el segundo periodo de muestreos. Estos desplazamientos corresponderían a las características generales de las corrientes en la Bahía de Murdeira en los dos períodos, como se observa comparando estos diagramas a los de las distribuciones polares de la dirección de corrientes (Figuras 2.8 y 2.9).

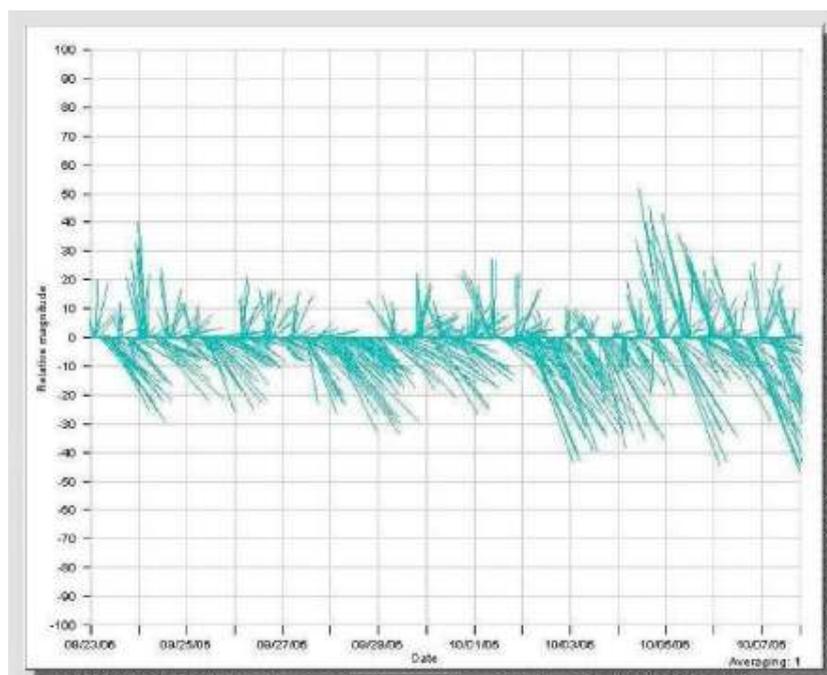


Figura 2.6 - Serie temporal de vectores de corrientes, en la Bahía de Murdeira, durante el periodo de 23 de septiembre al 10 de octubre de 2006.

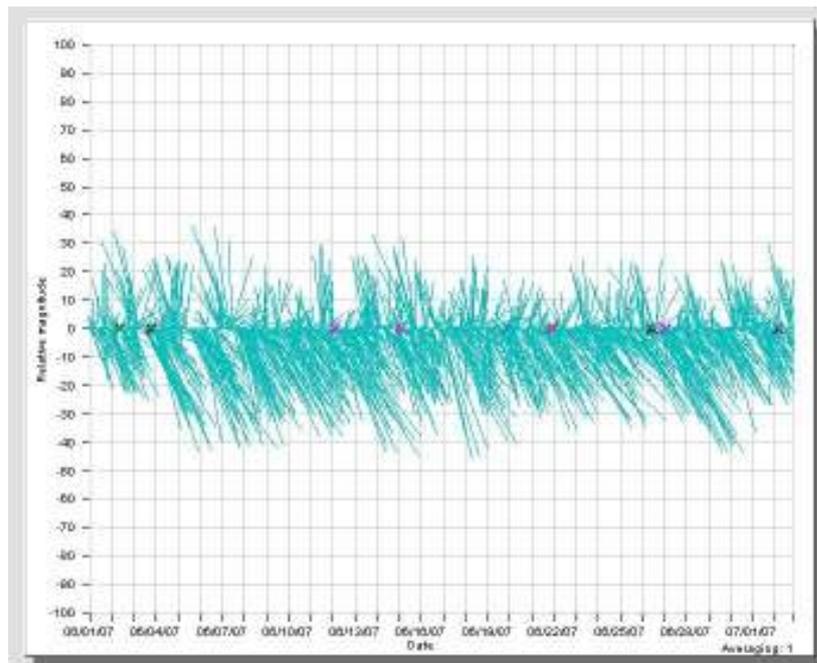


Figura 2.7 - Serie temporal de vectores de corrientes, la Bahía de Murdeira, durante el periodo de 1 de junio al 3 de julio de 2007.

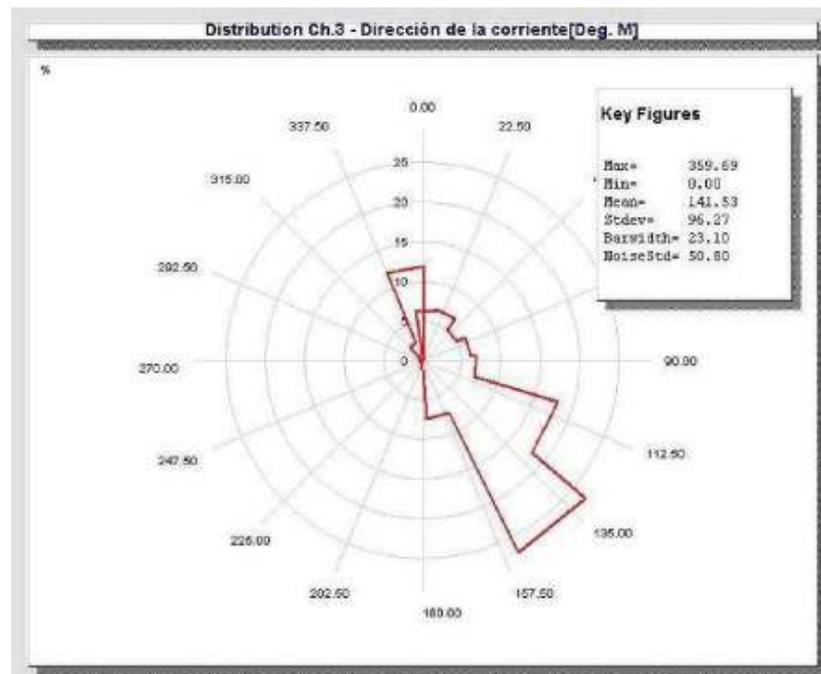


Figura 2.8 - Distribución polar de la dirección de corrientes, en la Bahía de Murdeira, durante el periodo de 23 de septiembre al 10 de octubre de 2006.

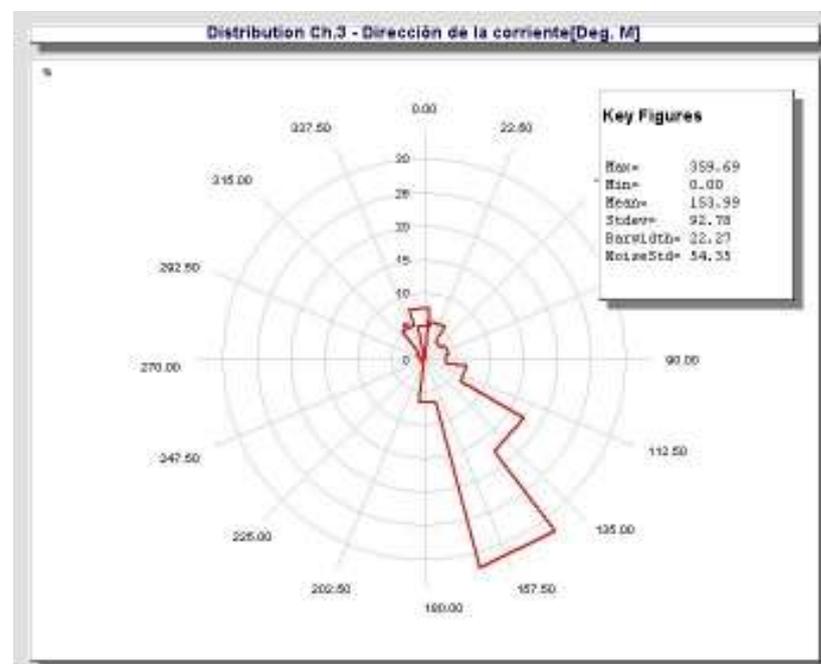


Figura 2.9 - Distribución polar de la dirección de corrientes, en la Bahía de Murdeira, durante el periodo de 1 de junio al 3 de julio de 2007.

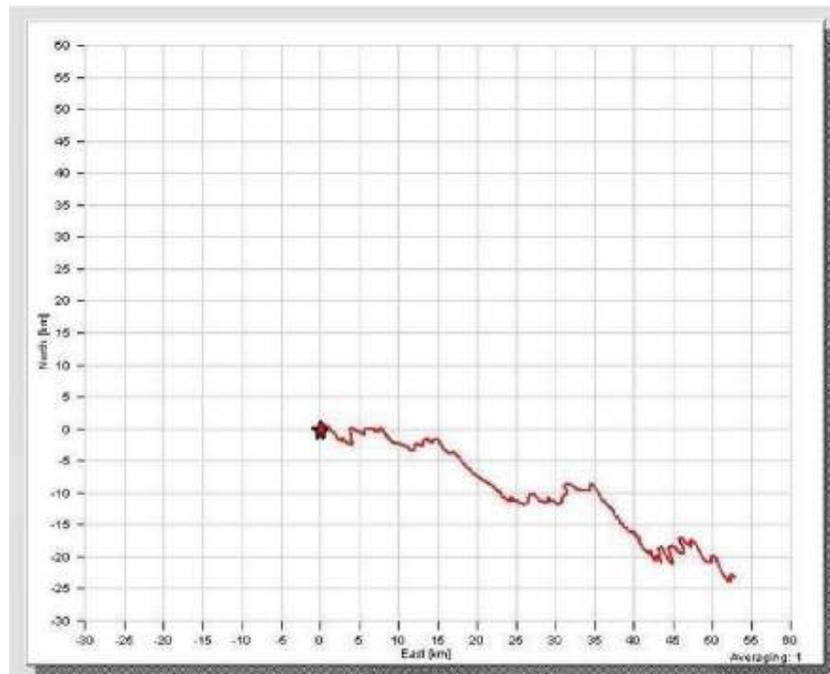


Figura 2.10 - Vector progresivo de corrientes, en la Bahía de Murdeira, durante el periodo de 23 de septiembre al 10 de octubre de 2006.



Figura 2.11 - Vector progresivo de la corriente en la Bahía de Murdeira, durante el periodo de 1 de junio a 3 de julio de 2007.

2.3.2 - TEXTURA DE LOS SEDIMENTOS

La clasificación textural del sedimento se realizó en base a la escala de Wentwort. En las Tablas 2.5 y 2.6, se presenta la caracterización granulométrica de las estaciones muestreadas en el área de estudio, mediante el porcentaje de peso de cada una de las fracciones de sedimento. La composición del sedimento en cada una de las estaciones muestreadas, en los dos periodos de muestreos (septiembre de 2006 y junio de 2007), fue esencialmente arenas, con valores superiores a 97%. Por lo tanto, el sedimento estuvo constituido, en su mayoría, por materiales cuyo diámetro de granos, en unidades ϕ , oscilaron entre 0 y 4, rango entre los límites de diámetro de las arenas. Contrariamente, los materiales finos (limos y arcillas) han contribuido con valores muy bajos, oscilando entre 0.07 y 1.55%, en el primer periodo y, 0.03 – 0.24%, en el segundo. La dominancia de arena en la textura del sedimento se tradujo en bajos valores del índice de equitatividad de Pielou que se verificaron en todas las estaciones y, en ambos periodos.

Sin embargo, en cada una de las estaciones muestreadas y en los dos periodos, en la fracción arenosa de sedimentos, la textura de los granos reveló diferencias, presentando varios tipos de arena, en función del tamaño de los granos (Figuras 2.12 y 2.13). Además, por medio de los resultados de diferentes parámetros estadísticos analizados, se vieron diferencias entre las estaciones de muestro y entre los dos periodos (Tablas 2.7 y 2.8).

En general, hubo predominancia de arenas finas en la mayoría de las estaciones, como se muestra en las Figuras 2.12 y 2.13 y por el valor de la moda (que permite la clasificación de los sedimentos) de 3 ϕ . Las arenas muy finas (4 ϕ), representaron la fracción siguiente, en el primer periodo y, las arenas medias (2 ϕ), en el segundo periodo. En el primer periodo, las excepciones fueron, la estación 2 con la fracción mayoritaria de arenas medias y, las estaciones 3 y 8, que han presentado como fracción de arena mayoritaria, la arena muy fina. En el segundo periodo, las estaciones 4 y 7, presentaron como fracción mayoritaria las arenas medias y, la estación 3, presentó como fracción mayoritaria, las arenas muy finas.

El **tamaño medio de los granos** indica la energía cinética media del medio, así que, una zona con un bajo valor medio en el tamaño de los granos indica que es poco energética, y si el valor medio es alto, la energía cinética incidente en la zona es alta. Por consiguiente, la mayoría de las estaciones fueron poco energéticas, siendo las estaciones 3 y 8 en el primer periodo y, la 3 en el

segundo periodo, las menos energéticas. Por otra parte, la estación 2, en el primer periodo, y las estaciones 4 y 7, en el segundo periodo, fueron las más energéticas.

Tabla 2.5 - Porcentaje gravimétrico de las distintas fracciones del sedimento según la escala de Wentworth, obtenidas a partir de los muestreos de septiembre de 2006, en la Bahía de Murdeira y, índice de equitatividad de Pielou para cada estación.

Estaciones	Gravas	Gránulos	Arenas	Limos y arcillas	Equitatividad
1	0.00	0.07	99.67	0.26	0.0217
2	0.23	1.28	98.39	0.09	0.0663
3	0.37	1.06	97.02	1.55	0.1175
4	0.78	1.34	97.60	0.28	0.0980
5	0.42	0.77	98.48	0.33	0.0681
6	0.09	0.21	99.56	0.14	0.0237
7	0.14	0.43	99.37	0.07	0.0318
8	0.44	0.72	98.30	0.53	0.0750
Máximo	0.78	1.34	99.67	1.55	0.1175
Mínimo	0.00	0.07	97.02	0.07	0.0217

Tabla 2.6 - Porcentaje gravimétrico de las distintas fracciones del sedimento según la escala de Wentworth, obtenidas a partir de los muestreos de junio de 2007, en la Bahía de Murdeira y, índice de equitatividad de Pielou para cada estación.

Estaciones	Gravas	Gránulos	Arenas	Limos y arcillas	Equitatividad
3	0.13	0.16	98.56	1.15	0.0610
4	0.00	0.20	99.77	0.03	0.0156
5	0.00	0.08	99.76	0.16	0.0168
6	0.00	0.00	99.76	0.24	0.0243
7	0.53	1.65	97.68	0.14	0.0921
8	0.00	0.02	99.93	0.05	0.0056
Máximo	0.53	1.65	99.93	1.15	0.0921
Mínimo	0.00	0.00	97.68	0.03	0.0056

En el primer y segundo periodo de muestreos, el tamaño medio de los granos osciló entre 1.20 y 2.87 ϕ y, 1.54 y 2.88 ϕ respectivamente y, comparándolos por medio del test t de student, se constató que no hubo diferencias significativas (Tabla 2.9). Estos valores medios y el resultado del test han demostrado que los granos presentaron una cierta homogeneidad de tamaños entre los muestreos y entre los periodos. Además, el resultado del test t de student para dos muestras pareadas sobre el índice de equitatividad (con un p-valor igual a 0.192) también evidenció que la diferencia en la textura del sedimento, entre los dos periodos, no fue significativa (Tabla 2.9).

La **desviación estándar** ($\Delta\phi$) es una medida de dispersión, por lo tanto, indica la variación en la granulometría del sedimento, traduciendo así las oscilaciones en la energía cinética en el ambiente sedimentario, en relación al valor medio. En este sentido, las estaciones con mayores valores de desviación estándar serían las que han sufrido mayores oscilaciones en la energía cinética media y viceversa. En la zona de estudio, en el periodo de septiembre de 2006, 5 de 8 estaciones de muestreo presentaron valores de $\Delta\phi$ superior a 1 y, en otras dos, muy cerca de este valor (0.99). En el periodo de junio de 2007, solamente en 2 de 5 estaciones de muestro, se presentaron valores de $\Delta\phi$ superior a 1. Además, para las demás estaciones los valores resultantes no se acercaron a 1. Así, las mayores oscilaciones en la energía cinética se verificaron en el periodo de septiembre de 2006.

La **medida de simetría** indica la distribución de frecuencias, marcando la posición de la moda en relación a la media. De tal forma que, valores positivos muestran que la energía cinética se desplazó hasta valores más bajos y viceversa. En la zona de estudio, en los dos periodos, se observó que en todas las estaciones el valor de la simetría fue negativo, que se tradujo en concentración de la granulometría más gruesa, lo que indica que la energía cinética era alta.

La **medida de angulosidad o Kurtosis** indica la agudeza de la curva de frecuencia, es decir, la relación de proximidad entre los valores externos y centrales. Así, valores superiores a cero, como los obtenidos para los muestreos analizados en los dos periodos, corresponden a curvas angulosas (leptokúrticas) e indican que las oscilaciones en la energía cinética media se limitaron a un área central de 50%, durante un tiempo superior al normal. Esto también es evidente observando los gráficos de porcentaje gravimétrico de las Figuras 2.12 y 2.13, donde se observa que la oscilación (el tamaño de granos) se mantuvo alrededor de los valores centrales.

Tabla 2.7 - Valores de los diferentes parámetros estadísticos determinados a partir de los datos granulométricos de los sedimentos, en septiembre de 2006, en las diferentes estaciones en la Bahía de Murdeira. X (media); Δ (desviación estándar); SK (asimetría); K (Kurtosis) y Mo (moda).

Parámetros	Estaciones							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Moϕ	3	2	4	3	3	3	3	4
Xϕ	2.72	1.54	2.88	2.13	2.19	2.13	2.49	2.72
$\Delta\phi$	0.99	1.44	1.08	1.14	1.16	1.17	0.63	0.99
SK	-1.96	-1.60	-1.54	-2.51	-1.80	-1.55	-2.94	-1.96
K	8.54	3.18	6.62	8.37	5.26	3.43	18.73	8.54

Tabla 2.8 - Valores de los diferentes parámetros estadísticos determinados a partir de los datos granulométricos de los sedimentos, en junio de 2007, en las diferentes estaciones en la Bahía de Murdeira. X (media); Δ (desviación estándar); SK (asimetría); K (Kurtosis) y Mo (moda).

Parámetros	Estaciones					
	3	4	5	6	7	8
Moϕ	4	2	3	3	2	3
Xϕ	2.87	1.85	2.53	2.59	1.20	2.51
$\Delta\phi$	0.85	1.02	0.51	0.74	1.75	0.42
SK	-0.99	-1.43	-1.52	-1.11	-1.41	-2.28
K	6.42	2.60	9.97	4.43	2.40	15.85

Tabla 2.9 - Resultados de los test, para muestras pareadas, t de student, para comparaciones en términos de textura del sedimento, entre los dos periodos de muestreos, en la Bahía de Murdeira. Nivel de significancia corresponde a 0.05, t obs (valor observado), t crit (valor crítico), gl (grados de libertad). En negrita, los resultados de p-valor significativos.

Comparaciones entre periodos	t obs	t crit	gl	p-valor
Tamaño medio de granos (ϕ)	0.58	2.23	10	0.575
Equitatividad de Pielou	1.58	2.57	5	0.192

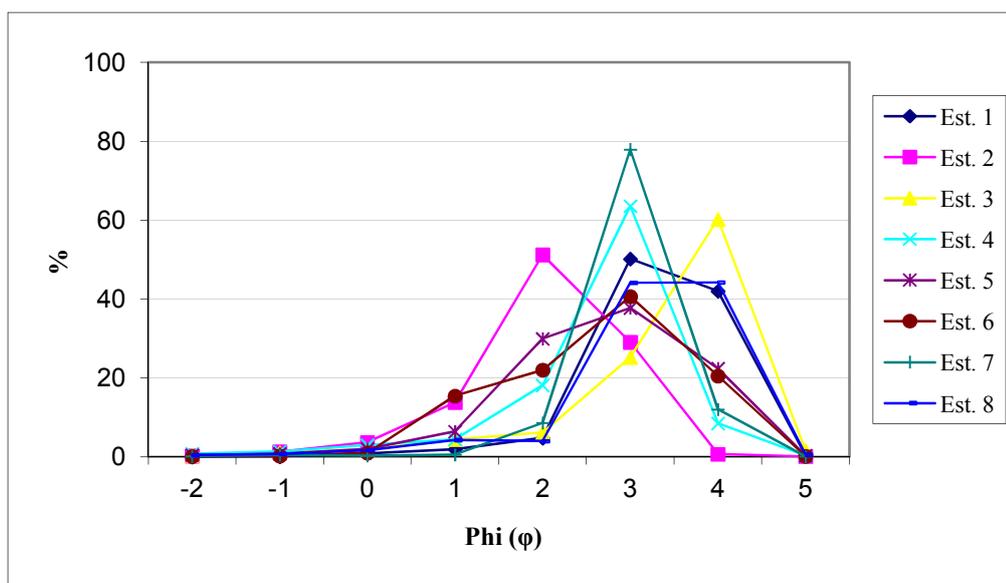


Figura 2.12 - Porcentaje gravimétrico simple de las distintas fracciones del sedimento en escala aritmética, por estación de muestreo, realizada en la Bahía de Murdeira, en septiembre de 2006.

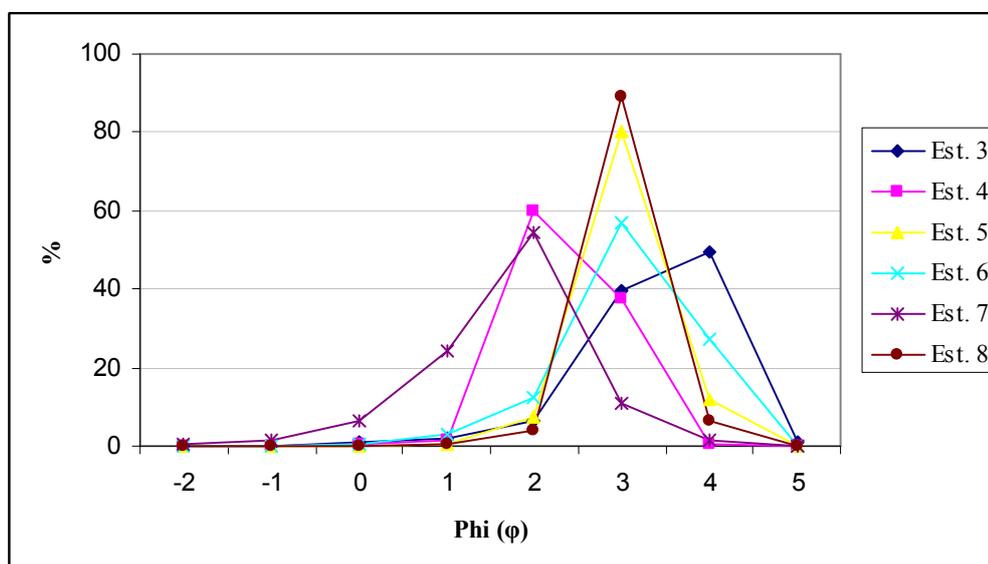


Figura 2.13 - Porcentaje gravimétrico simples de las distintas fracciones del sedimento en escala aritmética, por estación de muestreo, realizada en la Bahía de Murdeira, en junio de 2007.

2.3.3 - CALIDAD DEL AGUA EN LA BAHÍA DE MURDEIRA

En las campañas de caracterización de la Bahía de Murdeira, realizadas en septiembre de 2006 y junio de 2007, se tomaron muestras de agua para la caracterización del estado de la columna de agua. Se analizaron y cuantificaron una serie de parámetros físico-químicos que definen la calidad del agua, tales como temperatura, pH, salinidad, oxígeno disuelto, turbidez, sólidos en suspensión y nutrientes (nitratos, amonio y fosfatos). Las Tablas 2.10 y 2.11 se refieren a los resultados, respectivamente en el primer y segundo periodo, obtenidos puntualmente en diferentes estaciones de muestreo, a los 5 m de profundidad. Mientras que la Tabla 2.12, se corresponde con series temporales de datos (de temperatura, salinidad y turbidez) de una estación en el centro de la bahía, a la profundidad de 15 m, para ambos periodos.

Respecto a la **temperatura**, los valores obtenidos fueron muy similares entre las diferentes estaciones de muestreo de un mismo periodo, pero entre los dos periodos la diferencia fue alrededor de 4 °C, siendo el mes de septiembre de 2006 más caliente que junio de 2007. Se confirmó la diferencia significativa de la temperatura entre los dos periodos, por medio del test no paramétrico de Wilcoxon (ver Tabla 2.13). En septiembre de 2006, la menor temperatura registrada fue en la estación 12, con 27.6° C, alcanzando la máxima temperatura, 28.0° C, en las estaciones 3 y 6, y la media de temperatura, incluyendo todas las estaciones, fue de 27.8° C. En junio de 2007, los valores de temperatura oscilaron entre 23.0 y 23.3 ° C, siendo la media de 23.2° C.

En ambos periodos, los valores medios de temperatura de la serie temporal (es decir, la más profunda) fueron cercanos a los de la temperatura media en la superficie. Sin embargo, en septiembre de 2006, entre la superficie y el fondo, hubo un descenso de cerca de 2 °C en el valor mínimo de la temperatura y de cerca de 1 °C en la temperatura media. Esto puede no tener significado, una vez que el valor máximo registrado en el fondo se encuentra entre el intervalo de temperatura que se registró en la superficie. Por tanto, es posible que la temperatura en la superficie hubiera sido registrada en un momento de mayores valores de la temperatura también, en el fondo.

Los valores de **salinidad**, en el periodo de septiembre de 2006, indicaron un mínimo y un máximo de 36.1 y 36.7 en las estaciones 1 y 10 respectivamente, siendo la media entre todas las estaciones de 36.4. Entre la superficie y el fondo, en este periodo, los rangos de salinidad presentaron sobreposición en los valores más altos, pero en la superficie se verificaron valores de salinidad más bajos, particularmente en las estaciones 1, 2 y 3. Estos están ubicados en la parte

centro-sureste de la boca de la bahía (Figura 2.2). En el periodo de junio de 2007, los valores fueron mayores, con un mínimo y un máximo de 36.7 y 37, en las estaciones 8 y 1 respectivamente, y una media entre todas las estaciones de 36.8.

La diferencia en la salinidad, en la capa de superficie, entre los dos periodos, se reveló significativa por medio del test no paramétrico de Wilcoxon (ver Tabla 2.13). En la superficie, en el periodo de junio de 2007, la salinidad fue evidentemente superior a la del fondo, comparándose los rangos de salinidad encontrados en cada profundidad. Además, se registró en el fondo, valores relativamente bajos de salinidad, siendo el mínimo 35.5.

Los valores de **pH** oscilaron, en el periodo de septiembre de 2006, entre 7.42 en la estación 1 y, 8.00 en las estaciones 6 y 11, siendo la media igual a 7.92. En este periodo, al igual que la salinidad, el pH presentó valores menores en la boca de la bahía. Siendo, menores junto al extremo sureste. En el periodo siguiente, junio de 2007, la amplitud de variación en los valores de pH fue aún más estrecha, oscilando entre 7.63 y 7.92, en las estaciones 4 y 6, respectivamente, con un valor medio de 7.74. Se confirmó una diferencia significativa en el pH entre los dos periodos, por medio del test no paramétrico de Wilcoxon (ver Tabla 2.13)

Los valores de **oxígeno disuelto**, en el periodo de septiembre de 2006, variaron entre 4.28 mg/l, en la estación 13, y 5.02, en estación 1, con una media de 4.46 mg/l. La distribución espacial de los mayores valores de oxígeno disuelto se concentró también en la porción centro-sureste de la boca de la bahía (estaciones 1, 2 y 3, incluyendo igualmente la estación 11). Los valores registrados, en el periodo de junio de 2007, fueron más reducidos, y con rango de variación más estrecho, confirmándose una diferencia significativa, por el test no paramétrico de Wilcoxon (ver Tabla 2.13). En la estación 8, se registró el valor mínimo, que fue de 2.79 mg/l y, 3.25 mg/l fue el valor máximo, registrado en la estación 6. La media de oxígeno disuelto fue de 2.90 mg/l. El conjunto de los 4 valores mayores de oxígeno disuelto se produjo en las estaciones 4 a 7, todos ubicados en el extremo noroeste de la bahía (Figura 2.2).

En los dos periodos, el valor de **turbidez** obtenido para la mayoría de las estaciones de muestreo fue 0, siendo el valor máximo obtenido en las estaciones 4 y 5 (solo en el periodo de junio de 2007), correspondiente a 2 NTU. Asociados a estos bajos valores de turbidez se constató también que los valores obtenidos de **sólidos en suspensión** fueron bajos, en ambos periodos. Los valores estuvieron comprendidos entre 1.4 y 19.4 mg/l, en las estaciones 6 y 14 respectivamente, con una media de 6.9 mg/l, en el primer periodo. En el segundo, variaron entre 9.6 y 14.3 mg/l, en las

estaciones 4 y 10 respectivamente, y una media de 12.2 mg/l. Aunque los rangos de los valores de sólidos en suspensión presentaron sobreposición, la diferencia entre los dos periodos se reveló significativa por medio del test no paramétrico de Wilcoxon (ver Tabla 2.13). Así, los valores, de junio de 2007 fueron superiores en relación al periodo de septiembre de 2006. Los valores de turbidez en el fondo, a lo largo del periodo de junio de 2007, fueron claramente superiores, comparándolos con los resultados de los distintos parámetros estadísticos, entre los dos periodos de muestreos y, con los de la superficie. Fue también notable la gran variación en la Unidad de Turbidez, en el mismo periodo.

Los valores de **nutrientes** (nitratos, fosfatos y amonio) fueron muy bajos en todas las estaciones de muestreo y en ambos periodos. En septiembre de 2006, la concentración de nitratos y fosfatos presentó valores inferiores a 1 mg/l, los valores para amonio fueron menores de 0.05 mg/l, en todas las estaciones. En junio de 2007, la concentración de nitratos aumentó en relación al periodo anterior, habiendo alcanzado, en las estaciones 6 y 14, el valor máximo equivalente a 1.70 mg/l. La concentración de fosfatos fue menor, siendo valores mayoritariamente inferiores a 0.20 mg/l. A su vez, la concentración de amonio fue inferior a 0.05 mg/l, en casi todas las estaciones, con excepción de las estaciones 4, 5 y 13, habiendo alcanzado en esta última el valor máximo de 0.25 mg/l. No fue posible hacer comparaciones entre los dos periodos por medio de análisis estadísticos, ya que gran parte de los valores de nutrientes no eran precisos.

Los valores de **clorofila *a*** fueron máximos en la estación 9, con un valor de 0.33 ($\mu\text{g/l}$), mientras que el valor mínimo fue en la estación 8 con 0.14 ($\mu\text{g/l}$). El valor medio en toda la Bahía, en septiembre de 2006, fue de 0.24 ($\mu\text{g/l}$). Respecto al periodo de junio de 2007, no fue posible hacer la medición de clorofila *a*.

Tabla 2.10 – Datos de las características físico-químicas del agua referentes a diferentes estaciones de muestreo, en la Bahía de Murdeira, en el periodo de septiembre de 2006.

Ests.	Temp. (° C)	Sal.	pH	O ₂ Dissol. (mg/l)	Turbidez (NTU)	Sols en susp. (mg/l)	Nitratos (mg/l)	Amonio (mg/l)	Fosfatos (mg/l)	Clorofila <i>a</i> (µg/l)
1	27.7	36.1	7.42	5.02	0	3.6	<1	<0.05	<1	0.20
2	27.9	36.2	7.71	4.72	0	3.9	<1	<0.05	<1	0.24
3	28.0	36.3	7.96	4.51	0	4.3	<1	<0.05	<1	0.17
4	27.9	36.4	7.95	4.46	2	5.5	<1	<0.05	<1	0.16
5	27.9	36.4	7.99	4.35	1	4.1	<1	<0.05	<1	0.22
6	28.0	36.5	8.00	4.38	0	1.4	<1	<0.05	<1	0.26
7	27.9	36.4	7.98	4.39	0	7.4	<1	<0.05	<1	0.23
8	27.9	36.5	7.99	4.35	1	3.3	<1	<0.05	<1	0.14
9	27.8	36.5	7.99	4.37	0	15.4	<1	<0.05	<1	0.33
10	27.8	36.7	7.98	4.34	0	8.2	<1	<0.05	<1	0.25
11	27.8	36.5	8.00	4.53	0	6.9	<1	<0.05	<1	0.28
12	27.6	36.6	7.98	4.36	0	5.9	<1	<0.05	<1	0.31
13	27.8	36.6	7.98	4.28	0	7.4	<1	<0.05	<1	0.23
14	27.7	36.5	7.99	4.35	0	19.4	<1	<0.05	<1	0.27
Media	27.8	36.4	7.92	4.46	0.3	6.9	<1	<0.05	<1	0.24
Dev. Est.	0.12	0.16	0.16	0.20	0.61	4.89	-	-	-	0.12
Máximo	28.0	36.7	8.00	5.02	2	19.4	<1	<0.05	<1	0.33
Mínimo	27.6	36.1	7.42	4.28	0	1.4	<1	<0.05	<1	0.14

Tabla 2.11 - Datos de las características físico-químicas del agua referentes a diferentes estaciones de muestreo, en la Bahía de Murdeira, en el periodo de junio de 2007.

Ests.	Temp. (° C)	Sal.	pH	O₂ Dissol. (mg/l)	Turbidez (NTU)	Sols en susp. (mg/l)	Nitratos (mg/l)	Amonio (mg/l)	Fosfatos (mg/l)
1	23.3	37.0	7.67	2.80	0	12.1	1.5	< 0.05	0.40
2	23.2	36.9	7.75	2.88	0	11.9	1.2	< 0.05	0.40
3	23.1	36.9	7.64	2.83	0	13.9	1.0	< 0.05	< 0.20
4	23.2	36.9	7.63	3.03	2	9.1	< 1.0	0.15	< 0.20
5	23.2	36.9	7.64	3.10	2	10.5	< 1.0	0.14	< 0.20
6	23.2	36.9	7.92	3.25	0	13.9	1.7	< 0.05	0.40
7	23.0	36.8	7.85	2.97	1	12.1	1.5	< 0.05	< 0.20
8	23.3	36.7	7.81	2.79	1	12.9	1.6	< 0.05	< 0.20
9	23.3	36.8	7.77	2.84	1	11.4	< 1.0	< 0.05	< 0.20
10	23.1	36.8	7.74	2.82	1	14.3	< 1.0	< 0.05	< 0.20
11	23.1	36.8	7.73	2.84	0	14.1	1.0	< 0.05	0.30
12	23.1	36.8	7.75	2.80	0	9.6	1.0	< 0.05	< 0.20
13	23.1	36.8	7.75	2.81	0	13.5	1.0	0.25	< 0.20
14	23.3	36.8	7.74	2.82	0	11.9	1.7	< 0.05	< 0.20
Media	23.2	36.8	7.74	2.90	0.6	12.2	1.2	< 0.08	< 0.25
Dev. Est.	0.10	0.08	0.08	0.14	0.76	1.67	-	-	-
Máximo	23.3	37.0	7.92	3.25	2	14.3	1.7	0.25	0.40
Mínimo	23.0	36.7	7.63	2.79	0	9.1	<1.0	< 0.05	< 0.20

Tabla 2.12 - Parámetros estadísticos de distintas variables registradas en las series temporales de datos, obtenidos por medio de sensores acoplados a un correntímetro, durante los periodos de muestreo, en la Bahía de Murdeira (Isla de Sal).

	septiembre de 2006			junio de 2007		
	Temp. (°C)	Salinidad (‰)	Turbidez (NTU)	Temp. (°C)	Salinidad (‰)	Turbidez (NTU)
Media	26.86	36.62	0.30	23.20	36.14	2.37
Des. Std.	0.37	0.03	0.04	0.30	0.40	3.98
Máximo	27.74	36.70	0.51	23.74	36.61	19.38
Mínimo	25.20	36.51	0.29	23.20	35.50	0.29

Tabla 2.13 - Resultados de los test no paramétricos, para muestras pareadas, de Wilcoxon con signo (cuando los supuestos para ANOVA no se obtuvieron) para comparar las características fisico-químicas del agua, entre los dos periodos de muestreos, en la Bahía de Murdeira Nivel de significancia corresponde a 0.05, V obs (valor observado), V esp (valor esperado), Var (Variancia). En negrita, los resultados de p-valor significativos.

Comparaciones entre periodos	V obs	V esp	Var	p-valor
Temperatura	105.0	52.5	249.0	0.001
Salinidad	0.0	52.5	252.9	0.001
pH	94.5	52.5	253.4	0.009
Oxígeno disuelto	105.0	52.5	253.8	0.000
Sólidos en suspensión	12.0	52.5	253.6	0.012

2.3.4 - CALIDAD DE LOS SEDIMENTOS EN LA BAHÍA DE MURDEIRA

Los resultados obtenidos de las variables fisico-químicas analizadas en el sedimento, evidenciaron diferencias entre los dos periodos de muestreos (septiembre de 2006 y junio de 2007).

En cuanto al contenido en **materia orgánica**, el segundo periodo presentó mayor contenido, siendo los valores medios de porcentaje de materia orgánica superiores al primer periodo. Además, los valores del **potencial redox** fueron generalmente superiores y en su mayoría negativos, valores en términos de números absolutos (Tablas 2.14 y 2.15). Sin embargo, de estas dos variables fisico-

químicas, solamente se verificó diferencia significativa entre los dos periodos, en el potencial redox (ver Tabla 2.16).

Los valores medios de **porcentaje de materia orgánica**, en septiembre de 2006, variaron entre 1.67 y 2.37%, en las estaciones 7 y 3, respectivamente (ver Tabla 2.14), mientras que la tendencia a mayores valores se encontró en los puntos más externos de la bahía (Figura 2.1 y Tabla 2.14). En el mes de junio de 2007, los porcentajes de materia orgánica fueron superiores a los obtenidos durante la primera campaña, aproximadamente un 1% más elevados. Estos valores variaron entre 2.12 y 4.33%, en las estaciones 4 y 5, respectivamente (ver Tabla 2.15). En las estaciones 1 y 2, la draga fue recuperada sin sedimentos después de varias tentativas. Los valores de materia orgánica del primer periodo son considerados normales, una vez que no superaron el 2.4%. Por otro lado, en el segundo periodo, los niveles de materia orgánica fueron de normales a altos, teniendo en cuenta que valores mayores de 3% son, en general, considerados altos en los sedimentos.

En el primer periodo, los valores de **potencial redox**, obtenidos *in situ* con un potenciómetro, en los distintos puntos de muestreo, oscilaron entre -21.0 mV y 130.8 mV, respectivamente en las estaciones 3 y 1, ver Tabla 2.14. Además de este último valor de potencial redox, se verificó otro valor también muy alto (88.8 mV), ambos en las dos estaciones en el centro de la boca de la bahía (ver Figura 2.1 y Tabla 2.14). La mayoría de los valores obtenidos en los muestreos fueron positivos, lo que indica, en principio, buena salud del sedimento. Sin embargo, la situación fue completamente diferente en el periodo de junio de 2007. Los valores de potencial redox, en este caso, fueron en su mayoría negativos, con excepción de la estación 4, variando entre -106.7 mV y 14.9 mV (ver Tabla 2.15). Este hecho, indica en principio, que existieron en ese periodo, condiciones de anaerobiosis en el medio, posiblemente debido al mayor contenido de materia orgánica.

Los valores de **porcentajes de nutrientes** (nitrógeno y fósforo) han evidenciado también diferencias entre los dos periodos de muestreo. Los valores de porcentaje de nitrógeno (%N) obtenidos en el periodo de septiembre de 2006, oscilaron entre 0.06 y 0.10%, correspondientes a las estaciones 5 y 2, respectivamente (ver Tabla 2.14). En el periodo siguiente, los valores han resultado más bajos, variando entre 0.012 y 0.033%, en las estaciones 4 y 7, respectivamente (ver Tabla 2.15). La diferencia entre los dos periodos resultó significativa, mediante el test no paramétrico de Wilcoxon con signo (Tabla 2.16).

Los valores de porcentaje de fósforo obtenidos en cada una de las estaciones, en septiembre de 2006, oscilaron entre 0.08% en las estaciones 2 y 7, y 0.11%, en las estaciones 4 y 8 (ver Tabla 2.14), estando estas más cerca de la orilla (Figura 2.1). En junio de 2007, los valores de fósforo oscilaron entre 0.07%, en la estación 4, y 0.14%, en las estaciones 5, 6 y 7, estando estas y la 8, con el valor de 0.13%, distribuidas desde el centro a la orilla noreste (Figura 2.1 y Tabla 2.15). Sin embargo, por medio del test no paramétrico de Wilcoxon con signo se compararon los dos periodos de muestreo, no resultando diferencia significativa para el %P (Tabla 2.16).

Tabla 2.14 - Valores medios de las variables químicas de los sedimentos de la Bahía de Murdeira analizados en la campaña de septiembre de 2006.

ESTACIONES	%N	%P	%M. O.	Potencial redox
1	0.07	0.09	2.31	130.8
2	0.10	0.08	2.15	88.8
3	0.07	0.09	2.37	-21.0
4	0.08	0.11	2.12	-11.1
5	0.06	0.09	1.87	63.3
6	0.07	0.09	1.92	19.8
7	0.07	0.08	1.67	-13.9
8	0.07	0.11	1.86	25.1
Media	0.07	0.09	2.03	35.2
Máximo	0.10	0.11	2.37	130.8
Mínimo	0.06	0.08	1.67	-21.0

Tabla 2.15 – Valores medios de las variables químicas de los sedimentos de la Bahía de Murdeira analizados en la campaña de junio de 2007.

ESTACIONES	%N	%P	%M. O.	Potencial redox
3	0.031	0.11	3.67	-106.7
4	0.012	0.07	2.12	14.9
5	0.031	0.14	4.33	-116.0
6	0.027	0.14	2.50	-68.1
7	0.033	0.14	2.95	-64.1
8	0.030	0.13	4.24	-34.7
Media	0.03	0.12	3.30	-62.5
Máximo	0.03	0.14	4.33	14.9
Mínimo	0.01	0.07	2.12	-116.0

Tabla 2.16 - Resultados de los test, para muestras pareadas, no paramétricos de Wilcoxon con signo (casos en que los supuestos para ANOVA no fueron obtenidos) para comparar las características físico-químicas del sedimento, entre los dos periodos de muestreos, en la Bahía de Murdeira Nivel de significancia corresponde a 0.05, V obs (valor observado), V esp (valor esperado) y Var (Variancia) referentes al test Wilcoxon. En negrita, los resultados de p-valor significativos.

Comparaciones entre periodos	V obs	V esp	Var	p-valor
Porcentaje de nitrógeno	21.00	10.50	22.63	0.036
Porcentaje de fósforo	1.00	10.50	22.63	0.058
Porcentaje de materia orgánica	1.00	10.50	22.75	0.063
Potencial redox	21.00	10.50	22.75	0.031

2.4 - Discusión

El régimen del oleaje reinante en el archipiélago de Cabo Verde no afecta a la Bahía de Murdeira, debido a su geomorfología y orientación contraria a las olas predominantes, que provienen de los sectores norte y este. Dicha bahía, como se verificó, está afectada con una frecuencia muy baja, por olas con un componente sur u oeste, que suelen tener largo periodo (olas tipo Swell). Este oleaje afecta al fondo desde mayores profundidades, en relación con las olas de corto periodo, por lo tanto, producen mayor dinámica sedimentaria y energía en la zona afectada. Sin embargo, los resultados referentes a la textura del sedimento, no se tradujeron en una variación significativa en la dinámica sedimentaria entre los dos periodos de estudio, septiembre de 2006 y junio de 2007. Esto está de acuerdo con Lopes *et al.* (2012) que afirmaron, no haber en la región norte del archipiélago, mucha variación mensual en el régimen de corrientes, tanto en términos de dirección como velocidad.

En ambos periodos, se constató influencia de las corrientes mareales sobre el régimen de corrientes en la Bahía de Murdeira, con cambios en la velocidad y dirección, según un patrón semi-diurno. Los vectores de corrientes hacia el S-SE eran, generalmente mayores en relación a aquellos dirigidos al NW (Figuras 2.6 y 2.7). Este tipo de asimetría en el patrón semi-diurno de las corrientes fue observado, en el canal São Vicente-Santa Luzía, por Lopes *et al.* (*op cit*), habiendo señalado ellos, que esto sería debido a interacciones entre el flujo y el fondo.

Las corrientes en junio de 2007 fueron, tendencialmente, menos veloces en relación a septiembre de 2006 y menos oscilantes, tanto en términos de velocidad como en términos de dirección. Esto ha dado lugar a un desplazamiento neto más linear, comparativamente al segundo periodo (Figuras 2.10 **Figura 2.10** y 2.11). Las oscilaciones en la energía, en los dos periodos, se observaron también por medio de los análisis de granulometría, siendo los valores de desviación estándar mayores, en septiembre de 2006. Por otro lado, aunque la media en el tamaño de los granos no hubiera sido significativamente mayor en junio de 2007, en relación a septiembre de 2006, los granos fueron tendencialmente mayores en aquel periodo. En resumen, en junio de 2007 las corrientes fueron ligeramente (no significativamente) menos fuertes, pero por hubieran presentado un patrón menos oscilante, el desplazamiento neto resultante fue más linear y habrá sido mayor.

El cambio en la temperatura entre los dos periodos, se tradujo en lo que se encuentra en la literatura señalado para el archipiélago de Cabo Verde, una época fría, desde diciembre a junio y,

una época caliente, desde julio a noviembre (Almada, 1993). La época caliente, que en este caso, se refiere a septiembre de 2006, fue favorable a la formación de termoclina, como se observó con el descenso de la temperatura, de al menos 1°C, desde la superficie (5 m) al fondo (15 m). En junio, entre estas dos profundidades, se mantuvo prácticamente la misma temperatura. La columna de agua se encontraba menos estabilizada, favoreciéndose la mezcla. Estos resultados indican condiciones oceanográficas diferentes en los dos periodos, estando septiembre de 2006 caracterizado por una condición de estratificación y junio de 2007 por una condición de mezcla. La mezcla estuvo marcada también por menores valores de desviación estándar en la salinidad, pH, oxígeno disuelto y sólidos en suspensión, en este último periodo. Este fenómeno estaría ocasionado por procesos turbulentos debidos a la energía eólica, siendo junio el último mes del año marcado por los fuertes vientos alisios.

Aunque el mes de septiembre es generalmente el mes más caliente del año (datos del INMG), que favorecería la evaporación, aumentando así la salinidad; en el mes de septiembre de 2006, la salinidad en la superficie fue inferior al mes de junio 2007. Esto podría ser debido al segundo factor que determina la salinidad que es la precipitación. La época de las lluvias en Cabo Verde, va desde julio a septiembre, habiéndose producido lluvias en el referido año (datos del INMG). Sin embargo, el menor valor de la salinidad que se registró fue 35.5 que según Varela *et al.* (2005), indica claramente influencia oceánica. Además, la distribución espacial de la salinidad en la superficie, siendo la salinidad más alta en los puntos más internos de la bahía, estaría producido por el menor intercambio con las aguas externas a la bahía y en esta, por las condiciones más cerradas que favorecen mayor evaporación y, por consiguiente, mayor salinidad. El intercambio junto a la boca sureste con las aguas externas a la bahía, se tradujo también en menores valores de pH, asociados a mayores valores de oxígeno disuelto.

El oxígeno disuelto en la columna de agua, en junio de 2007, mostró mayores valores en el cuadrante noroeste, en la porción más al norte de la boca de la bahía. Esto podría ser debido a la predominancia de las corrientes hacia el SSE, que llevarían a mayor acumulación de nutrientes y demás partículas en esta área, promoviendo una mayor depleción en los niveles de oxígeno disuelto.

En el segundo periodo, en el fondo, se registró una reducción en la salinidad y además, se produjo una variación más amplia. Este valor de salinidad inferior en el fondo, cuando la temperatura se mantuvo casi inalterable entre la superficie y el fondo, parece anómalo, una vez que esto se traduciría en una densidad menor en el fondo. Se explicaría por el hecho de que los datos

hubieran sido tomados de manera diferente, ya que los muestreos en la superficie fueron puntuales y en el fondo se tomaron una serie temporal de datos con un mes de duración. Además se obtuvieron en fechas ligeramente diferentes.

Los bajos valores de clorofila *a* fueron compatibles con los resultados de Lathuilière *et al.* (2008), basado en estudios a escala de la región del Atlántico Tropical Noreste. Para los mismos autores, la desviación estándar del logaritmo de los valores de clorofila *a* para la región del archipiélago de Cabo Verde, son inferiores a 0.35. Siendo los valores esperados para los demás periodos del año no muy diferentes de los determinados para el periodo de septiembre de 2006, si no son modificados por procesos locales.

Por su ubicación en la costa occidental de la isla y ocasionado por los vientos alisios, la Bahía de Murdeira es susceptible a un transporte masivo de agua superficial (transporte Ekman) y subsuperficial en dirección perpendicular y hacia la derecha de la dirección del viento (por efecto de la fuerza de Coriolis). La retirada masiva de agua en la costa deja un vacío que es rápidamente reemplazado por agua subsuperficial, fenómeno esto denominado de surgencia. De acuerdo con (Chavez & Messié, 2009), las surgencias en regiones de alta mar, en este caso islas oceánicas con estrecha plataforma insular, transportan hacia la superficie aguas su superficiales que no presentan un amplio contacto con la plataforma insular, y por lo tanto presentan mayor contenido en nutrientes, pero no llegan a ser tan ricas como en las plataformas continentales. Así, producen una mayor productividad que la típica de la región.

Según García *et al.* (2012), en el área costera de Santa Marta (Colombia), se produjo un fenómeno de surgencia, resultando en una entrada de agua con temperaturas de 21-25 °C y salinidades de 36.0 y 37.2. Los mismos autores señalan que estas aguas, con tales características físicas, pertenecen a la «masa de agua subtropical sumergida» (MASS) que se localiza entre los 100 y 200 m de profundidad en el Mar Caribe. La misma masa de agua fue señalada por Stramma *et al.* (2005), en el Atlántico Tropical Noreste, siendo denominada Agua Sub-superficial Subtropical. Tales características también se corresponden al agua presente en la Bahía de Murdeira en el periodo de junio de 2007, donde la salinidad varió entre 36.14 y 36.8 y la temperatura entre 23.17 y 23.20, respectivamente en el fondo y en la superficie. Sin embargo, estos valores también son compatibles con interacciones con la atmósfera, particularmente la temperatura, siendo la media en este periodo de 23.3 °C (datos del INMG). Pero, teniendo en cuenta los valores de nutrientes en la columna de agua en este periodo, el indicio de surgencia se mostró más evidente, ya que se produjo un aumento

significativo en el nivel de nitratos y amonio, en relación al periodo de septiembre de 2006. Sin embargo, estos mismos resultados podrían estar relacionados con el proceso de mezcla ocasionado por los mismos vientos, pero sin surgencia de aguas más profundas. Además, en el fondo se verificó un descenso considerable en el porcentaje de nitrógeno, comparando el periodo de septiembre de 2006 con junio de 2007 (ver Tablas 2.14 y 2.15). Este hecho, puede ser debido a la resuspensión de nutrientes del fondo en la columna de agua, debido a la acción de los vientos, incrementándose este nutriente en la columna.

Aunque los sedimentos entre los dos periodos, no habían presentado diferencias significativas en el contenido de materia orgánica, por los valores negativos de potencial redox siguiendo Bibi *et al.* (2010), los sedimentos en el periodo de junio de 2007 presentaron niveles de materia orgánica que pueden considerarse más elevados en relación al periodo de septiembre de 2006, generando condiciones reductoras o anoxias. Las condiciones anoxias del sedimento suelen ocurrir cuando la demanda de oxígeno en la columna de agua excede al suministro, como puede ocurrir en las surgencias, cuando el suministro de oxígeno de aguas profundas no iguala a la demanda, ocasionando el decaimiento de los organismos (Demaison & Moore, 1980). Sin embargo, estos autores señalan que ninguna correlación sistemática existe entre fenómenos de surgencia y condiciones anóxicas, por el hecho de que las aguas profundas son generalmente ricas en oxígeno.

Además, de acuerdo con Stramma *et al.* (2008), en la región de las islas de Cabo Verde, las aguas con salinidad superior a 36 alcanzan valores de oxígeno entre 150 y 200 $\mu\text{mol/kg}$, correspondientes a valores superiores a 4.7 mg/l. Estos valores son similares a aquellos encontrados en la bahía, en el periodo de septiembre de 2006, aunque los que se verificaron en el periodo de junio de 2007, fueron significativamente inferiores. Esta última condición indica final de época de surgencia, cuando después de una alta productividad primaria, se ha incrementado la productividad secundaria, con mortalidad de los organismos vegetales y animales. Con esto, se habrían incrementado los niveles de materia orgánica, promoviendo la proliferación de microorganismos, responsables de la degradación de dicha materia y del descenso en los niveles de oxígeno disuelto y en el sedimento.

Los resultados también se corroboran con los trabajos de Lathuilière *et al.* (2008), ellos delimitaron las condiciones oceanográficas en la región Noreste Atlántica Tropical (Costa Noroccidental Africana) en tres estaciones: la **estación del inicio de la surgencia** (septiembre a enero), el **final de la estación de surgencia** (febrero a mayo) y la **estación de relajación** (mayo a

septiembre). Estas condiciones diferenciadas están fuertemente determinadas por las variaciones en la intensidad de los vientos alisios, según los mismos autores. El mismo patrón de variaciones en la intensidad de los vientos se verifica en Cabo Verde, pero con un desplazamiento en un mes. Esto es evidente si se comparan los valores medios mensuales con el valor medio anual, en la intensidad de los vientos entre la Ciudad de Dakar (Costa Nor-Occidental Africana) y la isla de Sal (archipiélago de Cabo Verde). En la primera, los valores medios mensuales son superiores a la media anual desde el mes de noviembre al mes de mayo. En la segunda, esto ocurre desde el mes de diciembre al mes de junio. Así, lo esperado sería que en las costas occidentales de las islas de Cabo Verde, en particular de aquellas islas meridionales (como la isla de Sal), se confirme, por estudios posteriores, un patrón semejante en las condiciones oceanográficas, con el mencionado desplazamiento. Aunque estos resultados ya muestran indicios de una estación de final de surgencia (posiblemente de marzo a junio) y una estación de relajación (posiblemente de julio a octubre o noviembre).

2.5 - Conclusiones

En la Bahía de Murdeira, Isla de Sal (Cabo Verde), los dos periodos de estudio, septiembre de 2006 y junio de 2007 evidenciaron dos condiciones oceanográficas diferenciadas, señalando diferencias estacionales debidas a diferencias en el régimen de vientos.

El **primer periodo** (septiembre 2006) estuvo caracterizado por estratificación de las aguas o periodo de relajación, resultante del aumento de la temperatura y reducción en la intensidad de los vientos alisios. Consecuentemente, se disminuyeron las interacciones entre el fondo y la columna de agua, aportando menor cantidad de nutrientes y dando lugar a una productividad baja.

En el **segundo periodo** (junio 2007), debido a una mayor intensidad de los vientos, se verificó mezcla de toda la columna de agua, con resuspensión de nutrientes desde el fondo y/o, posiblemente, ascenso de aguas frías y más ricas en nutrientes, incrementando la productividad, que se ha traducido en condiciones anóxicas del sedimento. Este periodo se correspondería al final de la estación de surgencia y/o simplemente, de mezcla.

Capítulo 3: Estudio bionómico de comunidades planctónicas

3.1 - Introducción

La determinación de la estructura de la comunidad fitoplanctónica es particularmente importante, ya que a pesar de ser ampliamente conocido, que los principales taxa de productores planctónicos en el océano son diatomeas, dinoflagelados, cocolitofóridos, silicoflagelados y cianofitas, la estructura de su comunidad puede presentar importantes cambios cualitativos y cuantitativos como respuesta a la variabilidad ambiental (Verdugo-Díaz *et al.*, 2010).

La variabilidad en la estructura de la comunidad planctónica, a lo largo de todo el ecosistema marino asociado a la corriente de Canarias, es casi desconocida, debido a la escasez de estudios locales (Arístegui *et al.*, 2009). Este gran ecosistema, muy variable según los mismos autores y Lathuilière *et al.* (2008), dónde las características posiblemente más cercanas al entorno marino del archipiélago de Cabo Verde serían las de las Islas Canarias. Sin embargo, al estar estas islas al sur de la corriente de Canarias, sujetas a las interacciones a gran escala entre la Corriente de Canarias, la Corriente Norte Ecuatorial y la Contracorriente Ecuatorial (Fernandes *et al.*, 2004 y Lázaro *et al.*, 2005), más distantes del continente africano y por lo tanto, del fenómeno de surgencias que caracteriza al gran ecosistema marino de la corriente de Canarias, la región del archipiélago de Cabo Verde presentará algunas características propias. Estas podrían verse reflejadas en la comunidad fitoplanctónica, tanto en su estructura como en la dinámica.

De acuerdo con García-Rojas (2011), para las Islas Canarias, no son tan abundantes los estudios que se han realizado para determinar la abundancia y diversidad taxonómica de los organismos fitoplanctónicos, y menos aún los que abarcan la zona más próxima a la costa. Particularmente para Cabo Verde, no se encontraron estudios tanto sobre la comunidad fitoplanctónica como la comunidad zooplanctónica, con excepción de dos estudios uno sobre la comunidad larval de peces (Hanel *et al.*, 2010) y otro sobre la comunidad microbiana (Hill *et al.* 2012).

La variabilidad en las condiciones oceanográficas a lo largo del año, asociadas a precipitaciones o surgencias, promueve la dinámica estacional en la estructura de las comunidades planctónicas costeras en varias regiones, principalmente templadas, pero también en las tropicales (Estrada, 1984; López-Cortés *et al.*, 2003; Varela *et al.*, 2008 y Rojas-Herrera *et al.*, 2012). Estas variaciones estacionales en la comunidad planctónica, en particular fitoplanctónica, deben de estar bien caracterizadas, por un lado para permitir evaluar los efectos de las variaciones en los factores ambientales en el ciclo de vida del fitoplancton, y por otro para permitir distinguir estos efectos de los antropogénicos (Varela *et al.*, 2006 y Varela *et al.*, 2008).

Hay que tener en cuenta también, que el fondo de la Bahía de Murdeira se presenta parcialmente recubierto por comunidades coralinas, establecidas sobre una columna de agua oligotrófica. Debido a este status oligotrófico, el aumento en las concentraciones de nutrientes se espera que tenga un mayor impacto en la comunidad fitoplanctónica asociada a estos ambientes, comparativamente con aguas templadas meso a eutróficas (Jacquet *et al.*, 2006).

En este contexto, el presente estudio reviste gran importancia por ser el primero en Cabo Verde y en particular para la Bahía de Murdeira. El objetivo es conocer la composición y estructura de la comunidad planctónica en dicha bahía, en dos periodos diferentes del año y relacionarlas con las condiciones oceanográficas de la misma (Capítulo 2).

3.2 - Material y métodos

3.2.1 - MUESTREOS Y RECOLECCIÓN DE LOS DATOS DEL PLANCTON (FITOPLANCTON Y ZOOPLANCTON)

Las muestras de agua fueron recogidas, tanto para los análisis de las variables físico-químicas del agua, como para la determinación de la concentración de clorofila *a* e identificación y cuantificación de los organismos fitoplanctónicos. Estas muestras se recogieron en 14 estaciones de muestreo distribuidas por toda la bahía (Figura 2.2 y Tabla 3.1), utilizando una botella Niskin de 5 litros, a 5 m de profundidad. De cada muestra, se obtuvieron submuestras de agua en frascos de 100 ml, que fueron fijadas con formol al 4%, para la posterior identificación y cuantificación de los organismos fitoplanctónicos.

El análisis de las submuestras para la determinación de las comunidades fitoplanctónicas fue realizado en el Instituto de Ciencias del Mar del CSIC, Barcelona por el especialista Dr. Maximino Delgado.

El método utilizado fue el de Utermöhl, después de 24 horas de sedimentación en las cubetas, empleando un microscopio invertido XSB-1A dotado de objetivos de óptica plana con aumento de 5, 10, 25 y 40 x, y oculares con 10 x de aumento. La base entera de las cubetas fue recorrida con aumento de 100 x para enumerar los organismos menos abundantes y un transepto con 400 x para el nanoplancton (2-20 micrómetros). La identificación de los organismos se realizó hasta el taxón más preciso posible (especie o género) en el caso de dinoflagelados, diatomeas y cocolitoforales. Se han incluido otros grupos de organismos, como por ejemplo, diatomeas bentónicas (cuyo hábitat natural es el sedimento y se hallan en las muestras de plancton al ser resuspendidas por diferentes mecanismos) y nanoflagelados (pertenecientes a diferentes grupos de fitoplancton).

El muestreo del zooplancton se realizó mediante el arrastre de una red tipo WP-2 (200 μ m) durante 10 minutos, a una profundidad de entre 1 y 3 metros y a una velocidad media de 1 nudo. Debido a la topografía accidentada y la poca profundidad de la bahía (20 metros aproximadamente), la pesca de zooplancton se hizo por medio de arrastres horizontales. Se eligieron 3 estaciones (ver Tabla 3.1) de muestreo en la zona más externa de la bahía, abarcando el límite exterior de la reserva marina. Las muestras obtenidas fueron guardadas en frascos de 500 ml y fijadas con formol al 4%.

Las muestras de zooplancton, una vez en el laboratorio, se fraccionaron y se subdividieron para obtener alícuotas representativas. En cada una de estas alícuotas se identificaron y cuantificaron los principales grupos taxonómicos del zooplancton empleando una lupa binocular Olympus.

Tabla 3.1 - Estaciones de recogida de muestras de fitoplancton y de zooplancton (*), en las dos campañas de muestreo, 23 de septiembre a 4 de octubre de 2006 (época caliente) y 31 de mayo a 7 de junio de 2007 (época fría), en la Bahía de Murdeira, Isla de Sal (Cabo Verde).

Estaciones de muestreo	Coordenadas			
	Longitud W	Latitudes N	UTM (X) 27 Q	UTM (Y)
1*	22° 57.493'	16° 39.538'	291154	1842853
2	22° 57.877'	16° 39.934'	290478	1843590
3*	22° 58.262'	16° 40.330'	289801	1844326
4*	22° 58.646'	16° 40.725'	289125	1845062
5	22° 59.031'	16° 41.121'	288448	1845799
6	22° 58.872'	16° 41.448'	288736	1846400
7	22° 58.428'	16° 41.294'	289523	1846107
8	22° 58.044'	16° 40.898'	290199	1845371
9	22° 57.659'	16° 40.502'	290876	1844634
10	22° 57.275'	16° 40.107'	291552	1843898
11	22° 56.890'	16° 39.712'	292229	1843162
12	22° 56.672'	16° 40.280'	292627	1844206
13	22° 57.056'	16° 40.676'	291951	1844943
14	22° 57.441'	16° 41.071'	291274	1845679

3.2.2 - TRATAMIENTO DE LOS DATOS DEL PLANCTON (FITOPLANCTON Y ZOOPLANCTON)

Los resultados del análisis de las muestras de **fitoplancton** fueron expresados en número de células por litro, a excepción de las cianobacterias filamentosas (expresados en número de filamentos/litro) y *Phaeocystis globosa* (expresado en número de colonias/litro). Otros organismos cuantificados pertenecientes al zooplancton (tales como ciliados desnudos, tintínidos, nauplios y copépodos), se han expresado en número de organismos por litro.

A partir de los datos obtenidos del **zooplancton** se calculó la densidad, expresada como número de organismos/m³ y, el porcentaje de cada uno de los taxones identificados. Para el cálculo de la densidad, se ha determinado en primer lugar, el volumen filtrado, según las siguientes formulas:

$$\text{Volumén filtrado} = \pi r^2 * h \quad \text{siendo, } h = v * t$$

Dónde,

h = distancia recorrida por la red

t = tiempo de arrastre

r = radio de la red

v = velocidad de la embarcación

A partir de las densidades (del fitoplancton o zooplancton) se calcularon la riqueza de Margalef, los índices de diversidad de Shannon-Wiener y de Simpson y, el índice de equitatividad de Pielou, mediante el programa PRIMER Versión 5 (Clarke & Gorley, 2001). Los resultados de estos indicadores, por periodo de muestreo, tanto del fitoplancton como del zooplancton, fueron testados en cuanto a la homogeneidad de variancia (test de Levéne) y normalidad de Shapiro-Wilk como recomienda Sokal & Rohlf (1981). Posteriormente fueron testados mediante el test t de student para comparaciones entre muestras pareadas. Cuando estos supuestos para ANOVA no dieron, las diferencias entre los periodos se testaron por medio de test no paramétrico para muestras pareadas de Wilcoxon con signo.

Con base en la matriz especies x densidad (del fitoplancton), incluyendo las estaciones de muestreo de los dos años se aplicó el análisis de Cluster (modo de ligación - el promedio de grupo)

según el coeficiente de similitud de Bray-Curtis, posterior a la transformación $\log(x + 1)$ de los datos. Sobre la misma matriz de similitud de Bray-Curtis, se aplicó el Análisis de Similitud (ANOSIM), de una vía, para averiguar la significancia de los dos grupos. Así como, la rutina SIMPER (porcentual de similitud) para jerarquizar las especies que más han contribuido para las similitudes y disimilitudes dentro y entre los grupos. Estos análisis no fueron aplicados a la comunidad de zooplancton por el hecho de que la resolución taxonómica en el caso de dicha comunidad se realizó a niveles taxonómicos elevados (por encima de familia).

Los análisis multivariantes de Cluster, así como, ANOSIM y SIMPER fueron realizados mediante el programa PRIMER Versión 5 (Clarke & Gorley, 2001) y los univariantes, se hicieron por medio del programa XLStat2009 (Addinsoft 2009).

3.3 - Resultados

3.3.1 - COMPOSICIÓN Y ESTRUCTURA DE LA COMUNIDAD FITOPLANCTÓNICA DE LA BAHÍA DE MURDEIRA

La comunidad fitoplanctónica de la Bahía de Murdeira que se encontró en este trabajo, consta de un total de 126 especies o taxones, distribuidos entre dinoflagelados (61), diatomeas (49), coccolitoforales (11) y otros grupos del fitoplancton (5), considerando los dos periodos de estudios. Esa comunidad fue mucho más abundante en el segundo periodo de muestreo (junio de 2007), donde los valores totales presentaron diferencias del orden de millares a decenas de millares (Tablas 3.2 a 3.4). El número de especies o taxones también aumentó considerablemente, pasando de 76 a 100 especies, donde el mayor incremento se obtuvo en las diatomeas, de 27 a 42 especies. El número de especies comunes entre los dos periodos fue 50. Se verificó un aumento en los índices de diversidad, en particular el índice de riqueza de Margalef (Tabla 3.4). Estas diferencias fueron confirmadas por medio de test estadísticos. Tanto la densidad como los índices de riqueza de Margalef y de equitatividad de Pielou, dieron diferencias significativas entre los dos periodos (Tabla 3.5). Los demás índices analizados, de diversidad de Shannon y Simpson, no evidenciaron diferencias significativas entre los dos periodos (Tabla 3.5).

En el primer periodo (septiembre de 2006) hubo un dominio numérico de los organismos de pequeño tamaño (nanoflagelados y coccolitoforales pequeños). Sin embargo, las especies de dinoflagelados y diatomeas fueron los principales contribuyentes en términos de diversidad y posiblemente biomasa. En el segundo periodo (junio de 2007), fue destacable el dominio numérico de las diatomeas (entre 41.145 y 114.704 cels/l), principales contribuyentes en términos de biomasa y con una contribución considerable en la diversidad (42 taxones identificados).

En septiembre de 2006, entre el grupo de las diatomeas cabe resaltar en orden de importancia numérica las especies: *Pseudo-nitzschia spp.*, *Cylindrotheca closterium*, *Chaetoceros spp.*, *Leptocylindrus minimus*, *Guinardia striata*, *Proboscia alata*, *Leptocylindrus danicus*, *Dactyliosolen fragilissimus*, *Cerataulina pelagica*, *Leptocylindrus mediterraneus*, *Hemiaulus sinensis*, *Rhizosolenia spp.*, *Pseudosolenia calcar-avis*, *Rhizosolenia setigera*, *Guinardia flaccida* y *Skeletonema costatum*. Entre los dinoflagelados cabe destacar las especies (en orden de importancia numérica): *Scrippsiella spp.*, *Gonyaulax gracilis*, *Mesoporos perforatus*, *Prorocentrum gracile*,

Ceratium kofoidi, *Amphidinium acutissimum*, *Prorocentrum compressum* y *Prorocentrum rostratum*.

En junio de 2007, estuvieron presentes, en orden de importancia numérica las especies: *Dactyliosolen fragilissimus*, *Pseudo-nitzschia* spp, *Chaetoceros* spp. peq.(< 20 un), *Guinardia striata*, *Dactyliosolen puketensis*, *Nitzschia* sp., *Leptocylindrus danicus*, *Chaetoceros* spp. grandes (> 20 un), Diatomeas bentónicas pequeñas ($< 20\mu\text{m}$), *Bacteriastrum* spp., *Leptocylindrus* cf. *minimus*, Diatomeas bentónicas grandes ($> 20\mu\text{m}$), *Eucampia zodiacus*, *Cerataulina pelagica*, *Thalassiosira* spp., *Rhizosolenia* cf. *imbricata*, *Thalassionema nitzschioides*, *Cylindrotheca closterium*, *Hemiaulus sinensis*, *Chaetoceros* spp. subgenero *Phaeoceros*, *Skeletonema costatum*, *Lioloma doicatum*, *Proboscia eumorpha*, *Chaetoceros aequatorialis*, *Climacodium frauenfeldianum*, *Pseudoguinardia recta*, *Proboscia alata*, *Corethron hystrix*, Diatomeas céntricas ni, *Rhizosolenia setigera*, *Pleurosigma* spp., *Chaetoceros atlanticus*, *Haslea gigantea*, *Rhizosolenia hebetata*, *Asterionellopsis kariana*, *Bleakeleya notata*, *Chaetoceros peruvianus*, *Coscinodiscus* spp., *Guinardia flaccida*, *Isthmia enervis*, *Leptocylindrus mediterraneus* y *Papiliocellulus elegans*.

El grupo de los dinoflagelados, aunque menos abundantes (entre 865 y 4.605 cels./l), estuvieron bien representados (44 taxones) y con dominio de dinoflagelados de pequeño tamaño. Estuvieron presentes las especies (en orden de abundancia): *Scrippsiella* spp., *Protoperidinium* spp., *Gyrodinium* spp., *Heterocapsa* sp., *Prorocentrum rostratum*, *Oxytoxum* cf. *mediterraneum*, *Ceratium kofoidi*, *Mesoporos perforatus*, *Prorocentrum gracile*, *Protoperidinium mite*, *Torodinium robustum*, *Ceratium fusus*, *Gonyaulax turbynei*, *Gymnodinium* spp., *Pronoctiluca acuta*, *Ceratium azoricum*, *Ceratium gibberum*, *Ceratium pentagonum*, *Ceratium tripos*, *Gonyaulax* spp., *Leptodiscus medusoides*, *Oxytoxum longiceps*, *Protoperidinium* cf. *oviforme*, *Ceratium candoabrum*, *Ceratium falcatum*, *Ceratium massiliense*, *Ceratium* spp., *Ceratocorys reticulata*, *Corythodinium reticulatum*, *Dinophysis dubia*, *Dinophysis rotundata*, *Gonyaulax spinifera*, *Kofoidinium vellehoides*, *Oxytoxum* spp., *Oxytoxum variable*, *Podolampas elegans*, *Podolampas palmipes*, *Podolampas spinifer*, *Prorocentrum compressum*, *Prorocentrum mexicanum* y *Prorocentrum triestinum*.

El grupo de los cocolitoforales fueron más escasos (entre 305 y 2.635 cels./l), con el dominio numérico de células de pequeño tamaño ($<10 \mu\text{m}$). Estuvieron presentes las siguientes especies (en orden de abundancia): *Helicosphaera carteri*, *Discosphaera tubifera*, *Umbilicosphaera sibogae*,

Calciosolenia murrayi, *Rhabdosphaera clavigera*, *Calciosolenia brasiliensis*, *Syracosphaera* spp., *Rhabdosphaera longistylis* y *Syracosphaera pulchra*.

Tabla 3.2 – Especies del fitoplancton en las diferentes estaciones de muestreo realizadas en la Bahía de Murdeira, en septiembre de 2006, con sus respectivos valores de densidad (células por litro).

Estaciones	Est 1	Est 2	Est 3	Est 4	Est 5	Est 6	Est 7	Est 8	Est 9	Est 10	Est 11	Est 12	Est 13	Est 14
Fitoplancton														
Dinoflagelados														
<i>Alexandrium sp.</i>	0	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Amphidinium acutissimum</i>	20	60	0	20	0	0	0	80	80	40	20	0	40	0
<i>Blepharocysta splendormaris</i>	0	0	0	0	0	20	0	20	0	0	0	0	0	0
<i>Ceratium arietinum</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	0	0	0	0
<i>Ceratium falcatum</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	0	0
<i>Ceratium furca</i>	0	0	0	0	0	0	20	0	0	0	20	0	0	0
<i>Ceratium fusus</i>	0	0	0	0	0	0	20	0	20	0	20	20	20	0
<i>Ceratium kofoidi</i>	0	60	20	60	60	0	20	0	0	40	60	20	0	20
<i>Ceratium pentagonum</i>	0	0	20	0	0	0	20	0	0	0	0	0	0	0
<i>Ceratium spp.</i>	0	0	0	0	0	0	0	20	0	0	0	0	0	0
<i>Ceratium tripos</i>	0	0	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Corythodinium reticulatum</i>	0	20	0	20	0	0	0	0	0	20	0	0	0	0
<i>Dinophysis doriphora</i>	0	0	0	0	0	20	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Dinophysis rotundata</i> DSP	20	0	20	0	0	20	0	20	0	20	40	0	40	0
<i>Dinophysis spp.</i> DSP	0	0	0	0	0	0	0	0	20	0	20	0	0	0
<i>Gonyaulax gracilis</i>	100	40	0	0	40	120	40	120	300	0	160	380	20	160
<i>Gonyaulax polygramma</i>	20	0	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Gonyaulax sp.</i>	20	20	0	0	0	0	20	0	20	20	20	0	0	0
<i>Mesoporos perforatus</i>	0	60	20	120	80	0	20	40	80	80	100	120	100	80
<i>Ostreopsis siamensis</i>	20	0	0	0	0	80	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Oxytoxum mediterraneum</i>	20	0	0	0	20	0	0	0	0	0	0	0	20	20
<i>Oxytoxum scolopax</i>	0	0	0	0	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Podolampas elegans</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	0	0
<i>Podolampas palmipes</i>	20	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Podolampas spinifer</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	20	0	0	0	0	0
<i>Pronoctiluca acuta</i>	0	0	0	0	0	0	20	40	60	0	20	0	0	0
<i>Prorocentrum compressum</i>	0	20	0	20	0	60	0	0	40	20	20	20	40	20
<i>Prorocentrum mexicanum</i>	0	0	0	0	20	0	0	0	0	0	0	0	20	0
<i>Prorocentrum rostratum</i>	40	40	20	0	20	0	0	40	0	0	0	20	20	20
<i>Prorocentrum minimum</i> DSP	20	0	0	0	0	0	0	0	0	20	20	0	0	0
<i>Prorocentrum scutellum</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20
<i>Protoceratium reticulatum</i>	20	0	0	0	0	0	0	20	0	0	0	0	0	0
<i>Protoperidinium. divergens</i>	0	0	0	0	0	0	20	0	0	0	0	0	0	0
<i>Protoperidinium spp.</i>	20	0	0	0	20	0	20	0	20	0	40	20	20	0
<i>Protoperidinium steinii</i>	0	0	20	0	0	0	0	0	20	0	0	0	20	0

Tabla 3.2 – (Continuación)

Estaciones	Est 1	Est 2	Est 3	Est 4	Est 5	Est 6	Est 7	Est 8	Est 9	Est 10	Est 11	Est 12	Est 13	Est 14
Fitoplancton														
<i>Pseliodinium vaubanii</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	20
<i>Scrippsiella spp.</i>	200	100	520	280	220	120	320	280	320	240	240	220	200	240
Quistos Dinoflagelados	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	253	0	0
Dino grandes ni (> 30 µm)	20	20	60	40	60	20	20	20	40	60	60	80	60	100
Dino pequeños ni (< 30 µm)	440	1160	1720	1040	600	1040	500	540	1020	480	680	880	460	860
Diatomeas														
<i>Cerataulina pelagica</i>	0	0	0	60	60	0	0	0	0	0	80	60	120	100
<i>Chaetoceros aequatorialis</i>	20	0	0	0	20	20	20	0	0	0	0	0	0	0
<i>Chaetoceros spp.</i>	560	660	0	160	0	180	0	0	160	0	580	740	620	0
<i>Climacodium biconcavum</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	60	40
<i>Coscinodiscus spp.</i>	0	0	0	0	40	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Cylindrotheca closterium</i>	520	560	240	360	320	440	0	400	360	140	200	480	300	180
<i>Dactyliosolen fragilissimus</i>	0	0	0	0	60	40	0	20	40	120	20	60	0	120
<i>Guinardia cylindrus</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	60	0	0	0
<i>Guinardia flaccida</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	180
<i>Guinardia striata (R. stolterfothi)</i>	320	546	80	40	40	60	80	0	20	40	120	140	80	0
<i>Haslea gigantea</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	0	40	0
<i>Hemiaulus sinensis</i>	0	0	0	0	240	80	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Leptocylindrus danicus</i>	0	0	0	400	480	0	180	0	0	0	0	120	0	0
<i>Leptocylindrus mediterraneus</i>	20	120	100	20	20	0	0	0	0	0	60	0	0	40
<i>Leptocylindrus minimus</i>	400	760	300	0	600	100	0	0	160	0	220	180	0	320
<i>Lioloma delicatulum</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	0	0	0	0
<i>Odontella aurita</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20
<i>Pleurosigma spp.</i>	0	20	0	0	0	20	0	0	0	0	20	0	0	0
<i>Proboscia alata</i>	60	120	100	200	120	100	60	120	160	120	160	40	60	140
<i>Pseudo-nitzschia spp. ASP</i>	520	440	400	820	2960	1240	420	80	520	280	420	280	340	320
<i>Pseudosolenia calcar-avis</i>	0	100	0	40	40	0	20	0	0	20	0	0	0	0
<i>Rhizosolenia setigera</i>	0	40	20	0	20	40	0	20	20	0	0	0	20	0
<i>Rhizosolenia spp.</i>	0	0	0	40	0	0	40	0	60	0	20	20	0	40
<i>Skeletonema costatum</i>	0	0	0	0	160	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Thalassionema nitzschioides</i>	40	0	0	0	0	0	0	0	100	0	0	0	0	0
Diat centricas ni	0	0	0	0	0	0	40	20	80	0	0	0	0	0
Diat bentónicas ni	40	100	80	60	100	380	100	120	60	0	220	180	60	160
Cocolitoforales														
<i>Discosphaera tubifer</i>	0	40	60	100	20	0	0	40	20	40	20	40	20	40
<i>Helicosphaera carteri</i>	20	0	0	0	0	20	0	0	20	0	0	0	0	20

Tabla 3.2 – (Continuación)

Estaciones	Est 1	Est 2	Est 3	Est 4	Est 5	Est 6	Est 7	Est 8	Est 9	Est 10	Est 11	Est 12	Est 13	Est 14
Fitoplancton														
<i>Rhabdosphaera claviger</i>	60	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	0	0
<i>Umbilicosphaera sibogae</i>	60	120	100	180	80	40	80	100	160	120	160	300	120	180
Cocolitoforales < 10 µm	4048	5060	3036	1012	6072	2024	1012	2024	2024	1012	3036	8096	5060	5060
Otros Cocolitoforales grandes	20	40	0	20	0	60	0	20	0	20	40	20	0	20
Otros fitoplancton	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Dictyocha fibula</i>	0	0	0	0	0	0	0	20	0	0	0	0	0	0
<i>Phaeocystis globosa (colonias)</i>	20	0	0	0	0	0	0	60	40	20	60	80	40	0
Cianobacterias filamentosas	0	0	0	0	20	80	20	0	20	0	60	0	20	120
Nanoflagelados	6072	15180	5060	3036	1012	14168	3036	1012	1012	2024	4048	3036	2024	2024
Zooplancton														
Ciliados desnudos	120	240	140	200	280	100	180	60	220	140	180	20	120	120
Tintinídeos	0	80	20	100	0	60	60	0	20	0	0	40	120	20
Náuplios	40	20	40	0	0	40	40	20	60	0	0	80	0	20
Copépodos	0	0	20	0	0	20	0	20	20	0	0	40	0	0
Larvas gasterópodos	0	0	0	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Resumen Fitoplancton:														
Total Dinoflagelados	1000	1680	2520	2420	1180	1520	1100	1260	201580	1580	1620	2153	1120	1580
Total Diatomeas	2500	3466	1320	2200	5280	2700	960	780	1740	740	2200	2300	1700	1660
Total Cocolitoforales	4208	5260	3196	1312	6172	2144	1092	2184	2224	1192	3256	8476	5200	5320
Total Otros	6092	15180	5060	3036	1032	14248	3056	1092	1072	2044	4168	3116	2084	2144

Tabla 3.3 – Especies del fitoplancton en las diferentes estaciones de muestreo realizadas en la Bahía de Murdeira, en junio de 2007, con sus respectivos valores de densidad (células por litro).

Fitoplancton	Estaciones	Est 1	Est 2	Est 3	Est 4	Est 5	Est 6	Est 7	Est 8	Est 9	Est 10	Est 11	Est 12	Est 13	Est 14
Dinoflagelados															
<i>Ceratium azoricum</i>		0	0	20	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Ceratium candoabrum</i>		0	0	0	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Ceratium falcatum</i>		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	0
<i>Ceratium fusus</i>		0	0	0	20	0	0	0	20	0	0	0	0	20	0
<i>Ceratium gibberum</i>		0	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20
<i>Ceratium kofoidi</i>		40	0	0	0	0	0	0	20	0	0	0	20	0	0
<i>Ceratium massiliense</i>		0	0	0	0	0	0	20	0	0	0	0	0	0	0
<i>Ceratium pentagonum</i>		0	0	40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Ceratium tripos</i>		0	0	0	0	0	20	0	0	0	0	0	0	20	0
<i>Ceratium spp.</i>		0	0	0	0	0	0	0	0	20	0	0	0	0	0
<i>Ceratocorys reticulata</i>		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	0	0	0
<i>Corythodinium reticulatum</i>		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	0	0	0
<i>Dinophysis dubia</i> DSP		0	0	0	0	0	0	20	0	0	0	0	0	0	0
<i>Dinophysis rotundata</i> DSP		0	0	0	0	0	20	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Gonyaulax spinifera</i>		0	0	0	0	0	0	0	20	0	0	0	0	0	0
<i>Gonyaulax turbynei</i>		20	0	0	0	0	20	0	20	0	0	0	0	0	0
<i>Gonyaulax spp.</i>		0	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20
<i>Gymnodinium spp. grandes</i>		0	0	0	0	0	0	0	0	40	0	20	0	0	0
<i>Gyrodinium spp. heterotróficos</i>		0	60	80	0	20	40	0	60	0	40	20	20	0	40
<i>Heterocapsa sp.</i>		40	0	20	60	20	40	0	0	0	0	60	80	0	20
<i>Kofoidinium velelhoides</i>		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20
<i>Leptodiscus medusoides</i>		0	0	0	20	0	0	0	0	0	0	0	20	0	0
<i>Mesoporos perforatus</i>		20	0	40	0	0	0	0	0	0	0	0	20	0	0
<i>Oxytoxum cf. mediterraneum</i>		0	20	0	0	0	20	0	20	20	0	0	0	0	20
<i>Oxytoxum longiceps</i>		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	20	0	0
<i>Oxytoxum variabile</i>		0	0	0	0	0	20	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Oxytoxum spp.</i>		0	0	0	0	0	20	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Podolampas elegans</i>		0	0	0	0	0	0	0	0	20	0	0	0	0	0
<i>Podolampas palmipes</i>		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20
<i>Podolampas spinifer</i>		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	0	0	0
<i>Pronoctiluca acuta</i>		0	0	20	0	0	20	0	0	20	0	0	0	0	0
<i>Prorocentrum compressum</i>		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	0	0
<i>Prorocentrum gracile</i>		0	0	0	0	0	40	0	0	20	20	0	0	0	0
<i>Prorocentrum mexicanum</i>		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	0	0	0
<i>Prorocentrum rostratum</i>		0	0	0	60	0	0	0	40	20	0	0	20	0	0

Tabla 3.3 – (Continuación)

Estaciones	Est 1	Est 2	Est 3	Est 4	Est 5	Est 6	Est 7	Est 8	Est 9	Est 10	Est 11	Est 12	Est 13	Est 14
Fitoplancton														
<i>Prorocentrum triestinum</i>	0	0	0	0	0	20	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Protoperidinium mite</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	80	0	0
<i>Protoperidinium cf. oviforme</i>	0	0	0	0	0	40	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Protoperidinium</i> spp.	40	40	60	40	60	60	40	40	0	60	20	80	20	40
<i>Scrippsiella</i> spp.	60	120	100	100	20	120	20	80	40	40	40	80	0	80
<i>Torodinium robustum</i>	0	0	0	0	0	0	20	0	0	20	40	0	0	0
Quistos Dinoflagelados	200	120	80	20	280	320	80	40	280	360	120	200	80	40
Dino grandes ni (> 20 µm)	640	320	840	440	920	800	440	880	360	560	600	440	320	1360
Dino pequeños ni (< 20 µm)	1800	2025	1575	1732	1125	675	225	900	675	1125	2025	2250	1350	2925
Diatomeas														
<i>Asterionellopsis kariana</i>	0	0	0	0	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Bacteriastrium</i> spp.	220	840	560	200	680	660	0	0	780	0	800	640	500	140
<i>Bleakeleya notata</i>	0	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Cerataulina pelagica</i>	0	60	240	80	300	0	80	0	60	0	220	240	100	500
<i>Chaetoceros aequatorialis</i>	0	60	40	40	0	40	100	120	0	20	0	40	0	0
<i>Chaetoceros atlanticus</i>	0	0	60	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Chaetoceros peruvianus</i>	0	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Chaetoceros</i> spp. subgen. <i>Phaeoceros</i>	80	40	40	60	60	0	100	180	20	40	40	40	100	60
<i>Chaetoceros</i> spp. grandes (> 20 µm)	2200	4800	4280	2920	1600	2120	440	1920	1640	1480	1760	3760	1720	1520
<i>Chaetoceros</i> spp. peq. (< 20 µm)	2475	675	6750	15075	3825	10350	6975	5175	2700	3600	5625	7425	7875	6975
<i>Climacodium frauenfeldianum</i>	40	180	0	80	0	0	0	0	0	40	0	0	0	0
<i>Corethron hystrix</i>	0	20	0	20	60	0	0	0	0	0	40	0	20	0
<i>Coscinodiscus</i> spp.	0	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Cylindrotheca closterium</i>	120	200	140	140	60	60	80	140	80	0	40	80	20	40
<i>Dactyliosolen fragilissimus</i>	17568	63684	38979	49959	58743	45567	29097	45018	39528	17550	24525	29025	41850	30375
<i>Dactyliosolen puketensis</i>	2925	2640	4725	2475	3600	5625	4500	6075	2475	6300	9225	8550	5175	6975
<i>Eucampia zodiacus</i>	0	360	240	380	280	80	60	80	160	140	160	140	40	0
<i>Guinardia flaccida</i>	0	0	0	0	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Guinardia striata</i>	3150	11529	5175	2925	7200	6300	4050	3600	4050	3600	6750	7200	8550	4050
<i>Haslea gigantea</i>	0	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	20	0
<i>Hemiaulus sinensis</i>	40	40	180	260	0	40	0	80	140	0	100	0	0	40
<i>Isthmia enervis</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	0	0
<i>Leptocylindrus danicus</i>	1320	2925	5175	675	7200	2025	3375	675	1350	1350	1800	5625	3825	2700
<i>Leptocylindrus mediterraneus</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20
<i>Leptocylindrus cf. minimus</i>	160	225	1350	0	675	450	675	0	900	0	0	0	0	0
<i>Lioloma doicatum</i>	40	20	0	20	60	40	40	80	100	20	0	100	60	60
<i>Papiliocelluluselegans</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	0
<i>Pleurosigma</i> spp.	40	0	0	0	0	0	0	20	0	0	20	0	0	0

Tabla 3.3 – (Continuación)

Estaciones	Est														
Fitoplancton	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
<i>Proboscia alata</i>	20	20	0	60	0	0	20	0	20	0	0	20	20	20	
<i>Proboscia eumorpha</i>	0	20	0	20	0	100	40	60	0	0	0	40	180	20	
<i>Pseudoguinaridia recta</i>	0	0	0	0	0	0	240	0	20	0	0	0	0	0	
<i>Pseudo-nitzschia</i> spp. ASP	10431	20313	5625	6525	5850	9450	4275	2250	4500	4275	6075	3600	6975	9000	
<i>Nitzschia</i> sp.	0	3843	4275	1125	9450	3375	1575	1800	3375	2025	675	5625	5850	4725	
<i>Rhizosolenia hebetata</i>	0	20	0	0	0	20	0	0	0	0	0	0	0	0	
<i>Rhizosolenia cf. imbricata</i>	60	60	0	20	160	0	100	40	260	200	160	100	100	260	
<i>Rhizosolenia setigera</i>	0	20	0	0	20	0	0	0	0	0	40	20	0	0	
<i>Skeletonema costatum</i>	120	0	0	200	180	0	0	0	80	0	0	240	0	0	
<i>Thalassionema nitzschioides</i>	160	0	320	560	0	0	80	0	80	0	0	0	0	160	
<i>Thalassiosira</i> spp.	120	240	80	80	80	100	100	60	100	160	140	260	60	40	
Diat céntricas ni	0	160	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Diat bentónicas grandes > 20 µm ni	240	280	160	80	60	60	560	120	140	120	360	920	160	160	
Diat bentónicas pequeñas < 20 µm ni	1800	1350	225	225	225	450	675	225	225	225	450	1350	225	225	
Cocolitoforales															
<i>Calciosolenia brasiliensis</i>	0	20	0	0	0	0	0	0	20	0	0	0	0	0	
<i>Calciosolenia murrayi</i>	20	20	0	40	0	0	0	0	0	20	20	0	0	0	
<i>Discosphaera tubifera</i>	40	20	60	40	80	100	20	0	120	0	0	0	0	60	
<i>Helicosphaera carteri</i>	0	20	80	40	0	160	0	100	0	100	80	100	40	20	
<i>Rhabdosphaera clavigera</i>	0	20	0	0	0	0	0	20	0	0	20	0	0	0	
<i>Rhabdosphaera longistylis</i>	0	0	0	0	0	20	0	0	0	0	0	0	0	0	
<i>Syracosphaera pulchra</i>	0	0	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
<i>Syracosphaera</i> spp.	0	0	0	0	0	40	0	0	0	0	0	0	0	0	
<i>Umbilicosphaera sibogae</i>	20	60	0	40	40	100	0	40	20	20	20	20	20	20	
Cocolitoforales < 10 µm	225	2475	1350	675	1800	675	450	1575	450	900	1125	1350	225	1800	
Otros Cocolitoforales grandes	0	0	40	20	20	140	20	80	0	160	80	0	40	0	
Otros grupos de fitoplancton															
<i>Eutreptiella</i> spp.	0	0	0	0	0	0	40	0	0	0	0	0	0	0	
<i>Halosphaera viridis</i>	0	0	0	0	0	0	0	20	0	0	0	0	0	0	
Cianobacterias filamentosas	240	20	0	0	20	0	200	0	0	40	140	80	0	20	
Fungos (esporas)	0	0	0	0	0	0	0	0	20	0	0	0	0	20	
Nanoflagelados	12627	9333	5400	13725	10431	4941	1350	2250	900	3375	3150	9000	2925	3600	
Zooplancton															
<i>Mesodinium rubrum</i>	0	0	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
<i>Globigerina</i> sp.	20	0	0	0	0	0	20	0	0	0	20	20	0	0	
Ciliados nus	440	400	120	320	240	280	80	40	160	280	240	280	120	440	

Tabla 3.3 – (Continuación)

Estaciones	Est 1	Est 2	Est 3	Est 4	Est 5	Est 6	Est 7	Est 8	Est 9	Est 10	Est 11	Est 12	Est 13	Est 14
Fitoplancton														
Tintinídeos	60	40	40	40	140	60	0	40	40	20	0	60	100	0
Rotíferos	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Náuplios	20	0	0	40	80	40	20	20	20	40	0	20	80	40
Copépodos	20	20	0	0	0	0	0	0	0	0	20	0	0	0
Larvas bivalves	0	0	0	0	0	0	40	0	0	0	0	0	0	0
Larvas gasterópodes	0	0	0	0	0	0	20	0	0	0	0	20	0	0
Total Fitoplancton														
Total Dinoflagelados	2860	2745	2875	2532	2445	2295	865	2140	1515	2225	3045	3350	1830	4605
Total Diatomeas	43329	114704	78619	84204	100408	86912	57237	67718	62783	41145	59005	75080	83445	68065
Total Cocolitoforales	305	2635	1550	855	1940	1235	490	1815	610	1200	1345	1470	325	1900
Total Otros	12867	9353	5400	13725	10451	4941	1590	2270	920	3415	3290	9080	2925	3640
N° taxones	37	50	38	44	37	45	37	39	41	32	43	44	35	41

Tabla 3.4 – Índices de diversidad y de equitatividad de la comunidad fitoplanctonica, por cada estación de muestreo en los dos periodos, septiembre de 2006 y junio de 2007, en la Bahía de Murdeira, Isla de Sal (Cabo Verde). Número de especies (S), Densidad (D), Índice de riqueza de Margalef (d), Índice de equitatividad de Pielou (J'), Índice de diversidad de Shannon-Wiener (H' - loge), Índice de diversidad de Simpson (1-λ')

Estaciones	S	D	d	J'	H' - loge	1-λ'
Est 1-06	31	7,728	3.351	0.5628	1.933	0.7026
Est 2-06	28	10,366	2.920	0.5940	1.979	0.7315
Est 3-06	22	6,976	2.373	0.5933	1.834	0.7369
Est 4-06	23	5,112	2.576	0.7713	2.418	0.8744
Est 5-06	30	12,612	3.071	0.5335	1.815	0.7053
Est 6-06	25	6,344	2.741	0.6776	2.181	0.8221
Est 7-06	24	3,112	2.860	0.7112	2.260	0.8329
Est 8-06	25	4,284	2.870	0.6327	2.037	0.7437
Est 9-06	31	6,064	3.444	0.7073	2.429	0.8402
Est 10-06	24	3,012	2.871	0.7383	2.346	0.8378
Est 11-06	35	7,056	3.837	0.6578	2.339	0.7888
Est 12-06	30	12,929	3.063	0.4957	1.686	0.5953
Est 13-06	29	8,040	3.114	0.4913	1.654	0.5899
Est 14-06	28	8,540	2.983	0.5355	1.784	0.6323
Media - 06	28	7,298	3.005	0.6216	2.050	0.7453
Máximo - 06	35	12,929	3.837	0.7713	2.429	0.8744
Mínimo - 06	22	3,012	2.373	0.4913	1.654	0.5899
Est 1-07	35	46,494	3.164	0.5772	2.052	0.7891
Est 2-07	48	120,084	4.018	0.4407	1.706	0.6763
Est 3-07	37	83,044	3.178	0.5621	2.030	0.7511
Est 4-07	43	87,591	3.691	0.4252	1.599	0.6357
Est 5-07	35	104,793	2.941	0.4865	1.730	0.6617
Est 6-07	44	90,442	3.768	0.4846	1.834	0.7107
Est 7-07	35	58,632	3.097	0.5238	1.862	0.7190
Est 8-07	38	71,693	3.309	0.4253	1.547	0.5876
Est 9-07	39	64,908	3.429	0.4567	1.673	0.6129
Est 10-07	30	44,570	2.709	0.6156	2.094	0.7973
Est 11-07	41	63,395	3.618	0.5621	2.088	0.7974
Est 12-07	42	79,900	3.632	0.5978	2.235	0.8240
Est 13-07	34	85,600	2.906	0.5153	1.817	0.7249
Est 14-07	38	74,570	3.298	0.5687	2.069	0.7908
Media - 07	39	76,837	3.340	0.5173	1.881	0.7199
Máximo - 07	48	120,084	4.018	0.6156	2.235	0.8240
Mínimo - 07	30	44,570	2.709	0.4252	1.547	0.5876

Tabla 3.5 - Comparación de la comunidad de fitoplancton de la Bahía de Murdeira, entre los dos periodos de muestreos con base en los test, para muestras pareadas, t de student (paramétrico) o de Wilcoxon con signo (no paramétrico), en este último caso, cuando los supuestos para ANOVA no dieron resultados. Nivel de significancia corresponde a 0.05, D (diferencia), t obs (valor observado), t crit (valor crítico) referentes al test t de student; V obs (valor observado), V esp (valor esperado), Var (Variancia) referentes al test Wilcoxon y; gl (grados de libertad). En **negrita**, los resultados de p-valor significativos.

Comparaciones entre periodos	Test	D	V obs/ t obs	V esp/ t crit	Var	gl	p-valor
Densidad	Wilcoxon con signo		0	52.500	253.750		0.000
Índice de riqueza de Margalef	t de student	-0.335	-2.439	2.160		13	0.030
Índice de diversidad de Shannon-Wiener	t de student	0.169	1.594	2.160		13	0.135
Índice de diversidad de Simpson	t de student	0.025	0.672	2.160		13	0.513
Índice de equitatividad de Pielou	t de student	0.104	3.081	2.160		13	0.009

En el dendrograma resultante del análisis de Cluster, se observó una nítida separación entre las estaciones de muestro de septiembre de 2006 y las de junio de 2007, marcado también por una mayor similitud entre las estaciones de muestreo del segundo periodo (Figura 3.1). Por medio del ANOSIM se confirmó la distinción en la comunidad fitoplanctónica entre los dos periodos, siendo el valor de R igual a 0.998. Aplicando la rutina de SIMPER se mostraron los principales contribuyentes a la comunidad fitoplanctónica, en cada uno de los periodos. De todo el listado de especies (o taxones), 23 y 26 han contribuido respectivamente con un 90% en la abundancia (Tabla 3.6), en septiembre de 2006 y junio de 2007, siendo 10 comunes en ambos periodos. Entre ellas, con excepción de las especies (o taxones) *Pseudo-nitzschia spp.*, *Guinardia striata* y Dinoflagelados grandes ($> 30 \mu\text{m}$), los valores fueron diferentes entre los dos periodos. La contribución de las especies (o taxones) que no eran comunes entre los dos periodos fue considerable, de 35.85% y 47.21% en el primer y segundo periodo respectivamente.

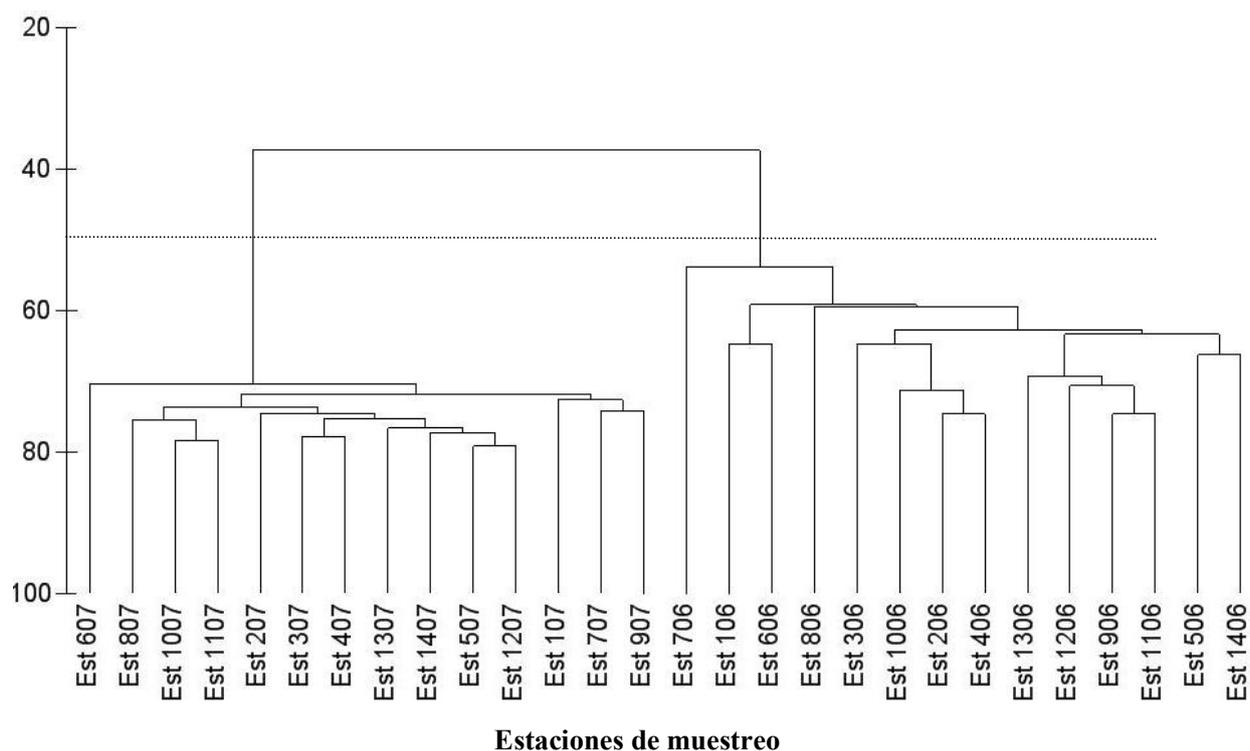


Figura 3.1 – Dendrograma del análisis de Cluster (modo de ligación: el promedio de grupo) sobre la densidad del fitoplancton (posterior a la transformación $\log x+1$), por estación de muestreo en los dos periodos (septiembre de 2006 y junio de 2007), en la Bahía de Murdeira, Isla de Sal (Cabo Verde).

Tabla 3.6 – Contribución de las diferentes especies (o taxones), de acuerdo con la rutina SIMPER, a la comunidad de fitoplancton observadas en cada uno de los dos periodos de muestreo, septiembre de 2006 y junio de 2007, en la Bahía de Murdeira, Isla de Sal (Cabo Verde). Valores expresados en %.

Especies	Periodos	septiembre de 2006	junio del 2007
Cocólitos < 10 mm		10.64	4.50
Dino pequeños ni (< 30 µm)		9.04	4.84
<i>Pseudo-nitzschia</i> spp.		8.05	6.03
<i>Scrippsiella</i> spp.		7.43	
<i>Dactyliosolen fragilissimus</i> (<i>R.fragilissima</i>)		1.46	7.33
<i>Cylindrotheca closterium</i>		6.60	2.42
<i>Umbilicosphaera sibogae</i>		6.31	1.63
<i>Proboscia alata</i>		6.20	
<i>Guinardia striata</i> (<i>R.stolterfothi</i>)		4.00	5.94
<i>Dactyliosolen puketensis</i>			5.86
<i>Chaetoceros</i> spp. <i>peq.</i>			5.81
<i>Chaetoceros</i> spp. <i>grandes</i>	2.26		5.21
<i>Leptocylindrus danicus</i>			5.21
Dino grandes ni (> 30 µm)		4.81	4.38
<i>Nitzschia</i> sp.			4.61
<i>Mesoporos perforatus</i>		3.93	
<i>Gonyaulax gracilis</i>		3.29	
<i>Thalassiosira</i> spp.			3.10
Quistos Dinoflagelados			3.05
<i>Discosphaera tubifer</i>		2.81	
<i>Leptocylindrus minimus</i>		2.75	
<i>Bacteriastrum</i> spp.			2.44
<i>Chaetoceros</i> spp. <i>subgen. Phaeoceros</i>			2.33
<i>Eucampia zodiacus</i>			2.33
<i>Scrippsiella</i> spp.			2.27
<i>Rhizosolenia</i> cf. <i>Imbricata</i>			2.20
<i>Protoperidinium</i> spp.			2.19
<i>Ceratium kofoidi</i>		1.85	
<i>Lioloma delicatulum</i>			1.84
Otros Cocólitos grandes		1.72	1.00
<i>Prorocentrum compressum</i>		1.67	
<i>Cerataulina pelagica</i>			1.58
<i>Amphidinium acutissimum</i>		1.44	
<i>Prorocentrum rostratum</i>		1.34	
<i>Helicosphaera carteri</i>			1.30
<i>Hemiaulus sinensis</i>			1.09
<i>Phaeocystis globosa</i> (colonias)		1.06	
<i>Leptocylindrus mediterraneus</i> (<i>Dact.med</i>)		1.05	
<i>Dinophysis rotundata</i>		1.03	
Total		90.74	90.49
Suma de las contribuciones comunes		54.89	43.28
Suma de las contribuciones no comunes		35.85	47.21

3.3.2 - COMPOSICIÓN Y ESTRUCTURA DE LA COMUNIDAD ZOOPLANCTÓNICA DE LA BAHÍA DE MURDEIRA

Las densidades medias de la comunidad del zooplancton fueron 101.7 y 1,313.0 individuos/m³ respectivamente, en la primera campaña (septiembre de 2006) y segunda campaña (junio de 2007). Las Tablas 3.7 y 3.8 presentan los resultados de la densidad (nº de individuos/m³) y la frecuencia numérica (%) por cada grupo zooplanctónico, en las 3 zonas de muestreo, en cada una de las campañas.

Para la mayor parte de los grupos de organismos, las densidades fueron muy superiores en junio de 2007 en relación a la campaña de septiembre de 2006. Los **copépodos** fueron el taxón más abundante en las 3 zonas de estudio y en ambas campañas. La frecuencia numérica de este grupo fue siempre superior a un 50% y la densidad osciló entre los 57 individuos/m³, en la zona 2, y los 86 individuos/m³, en la zona 3, en la primera campaña. En la segunda campaña, la densidad de copépodos varió entre los 1033 individuos/m³, en la zona 1, y los 473 individuos/m³, en la zona 3.

El segundo grupo mejor representado, en las zonas 1 y 2, fue el de los larvaceos, aunque con una densidad muy inferior a la de los copépodos. Este grupo presentó una densidad en la zona 1 de 20 individuos/m³ y, de 7 individuos/m³, en la zona 2, en septiembre de 2006. Sin embargo, en junio de 2007, la densidad del grupo, en la zona 1, fue de 354.3 individuos/m³ y de 110.6 individuos/m³, en la zona 3. En la zona 2, para el mismo periodo, el segundo grupo mejor representado fueron los radiolarios con 150.8 individuos/m³. Los **radiolarios** también presentaron una abundancia relativamente elevada en las otras dos zonas de estudio, con densidades de 75.4 y 30.2 individuos/m³, en las zonas 1 y 3, respectivamente. Los protozoarios, foraminíferos y dinoflagelados estuvieron presentes en las tres zonas estudiadas, destacando igualmente, en términos de densidad, en la zona 2 en relación a las zonas 1 y 3.

En el periodo de septiembre de 2006, los demás grupos presentaron densidades muy inferiores en las 3 zonas de estudio. Cabe destacar los **moluscos gasterópodos** y **lamelibranquios** en la zona 3, con 2 y 2.6 individuos/m³, respectivamente. Además, en las 3 zonas se encontraron con frecuencia relativamente baja, pero constante dos grupos de **protozoarios**, destacando los foraminíferos en la zona 1, con 4.5 individuos/m³ y, los dinoflagelados en las zonas 2 y 3, con 3 y 7 individuos/m³, respectivamente.

En el periodo de junio de 2007, los crustáceos estuvieron mejor representada en la zona 2, con presencia de **cladóceros** y **anfípodos** y una elevada densidad de **larvas de decápodos** (70.4 individuos/m³). El grupo de **vertebrados** se encontró en las tres zonas, siendo larvas y huevos de peces, con densidades máximas de 45.2 larvas de peces/m³, en la zona 1, y 30.2 huevos/m³, en la zona 2. Cabe destacar también la presencia elevada de **gasterópodos** en las tres zonas estudiadas, especialmente, 2 y 3, con 70.4 y 60.3 individuos/m³, respectivamente. Los lamelibranquios también estuvieron mejor representados en las zonas 2 y 3, aunque con densidades muy inferiores a los gasterópodos (10.1 individuos/m³ para ambas zonas).

La diversidad registrada en el área de estudio en los dos periodos, según los diferentes índices estimados fue baja (Tabla 3.9). Según el índice de diversidad de Shannon, los valores variaron entre 1.073 y 1.244 (en el primer periodo) y entre 1.276 y 1.787 (en el segundo periodo). Los demás índices estimados (índice de diversidad de Simpson y de equitatividad de Pielou) siguieron la misma tendencia, siendo ligeramente mayores en el segundo periodo. La excepción se tuvo en cuanto al índice de riqueza de Margalef que fue superior en el primer periodo en relación al segundo.

Tabla 3.7 - Densidad (nº de organismos/m³) y porcentaje (%) de los diferentes grupos de zooplancton recolectados, durante la primera campaña (septiembre 2006), en la Bahía de Murdeira, e índice de diversidad de Shannon, por zona de muestreo.

ZOOPLANCTON	Zona 1		Zona 2		Zona 3	
	(nºind/m ³)	%	(nºind/m ³)	%	(nºind/m ³)	%
FILO ARTHROPODA						
CLASE CRUSTACEA						
GRUPO COPEPODA (ADULTOS)	76.5	65.8	57.4	75.0	86.3	77.5
GRUPO COPEPODA (NAÚPLIOS)	5.0	4.3	1.3	1.6	1.7	1.5
GRUPO CLADOCERA	0.8	0.6	0.2	0.3	1.0	0.9
GRUPO AMPHIPODA	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.3
GRUPO DECAPODA (LARVAS)	0.5	0.4	0.2	0.3	0.7	0.6
FILO CHORDATA						
SUBFILO UROCHORDATA						
CLASE LARVACEA (OIKOPLEURA)	20.8	17.8	7.0	9.2	2.0	1.8
CLASE THALIACEA (DOLIOLUM)	1.0	0.9	0.4	0.5	0.0	0.0
CLASE ASCIDIACEA						
SUBFILO CHORDATA						
CLASE VERTEBRATA (LARVAS PECES)	0.3	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0
CLASE VERTEBRATA (HUEVOS PECES)	1.3	1.1	0.2	0.3	0.3	0.3
FILO CHAETOGNATA	0.0	0.0	0.8	1.0	0.7	0.6
FILO PROTOZOA						
GRUPO DINOFLAGELADOS	2.8	2.4	3.0	3.9	7.3	6.6
GRUPO FORAMINIFERA	4.5	3.9	1.4	1.8	1.7	1.5
GRUPO RADIOLARIA	0.8	0.6	1.2	1.6	1.7	1.5
GRUPO CILIADOS (TINTINIDEOS)	0.3	0.2	0.0	0.0	1.0	0.9
FILO MOLLUSCA						
CLASE GASTROPODA	0.0	0.0	0.8	1.0	2.0	1.8
CLASE LAMELIBRANCHIA	0.8	0.6	0.8	1.0	2.7	2.4
FILO ANNELIDA						
CLASE POLICHAETA (ADULTOS)	0.0	0.0	0.2	0.3	0.3	0.3
CLASE POLICHAETA (LARVAS)	0.5	0.4	0.5	0.7	0.3	0.3
FILO PLATHYELMINTHES	0.5	0.4	0.4	0.5	0.0	0.0
FILO CNIDARIA						
GRUPO SIPHONOPHORA	0.3	0.2	0.8	1.0	1.0	0.9
FILO NEMATODA	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.3
TOTAL	116.3	100.0	76.5	100.0	111.3	100.0

Tabla 3.8 - Densidad (n° de organismos/m³) y porcentaje (%) de los diferentes grupos de zooplancton, durante la segunda campaña (junio 2007), recolectados en la Bahía de Murdeira e índice de diversidad de Shannon, por zona de muestreo.

ZOOPLANCTON	Zona 1		Zona 2		Zona 3	
	(n°ind/m ³)	%	(n°ind/m ³)	%	(n°ind/m ³)	%
FILO ARTRÓPODA						
CLASE CRUSTACEA						
GRUPO COPEPODA (ADULTOS)	1,032.9	62.0	794.1	55.2	472.5	56.6
GRUPO COPEPODA (NAÚPLIOS)	30.2	1.8	40.2	2.8	20.1	2.4
GRUPO CLADOCERA	0.0	0.0	10.1	0.7	0.0	0.0
GRUPO AMPHIPODA	0.0	0.0	10.1	0.7	0.0	0.0
GRUPO DECAPODA (LARVAS)	30.2	1.8	70.4	4.9	0.0	0.0
FILO CHORDATA						
SUBFILO UROCHORDATA						
CLASE LARVACEA (OIKOPLEURA)	354.3	21.3	30.2	2.1	110.6	13.3
CLASE THALIACEA (DOLIOLUM)	0.0	0.0	10.1	0.7	0.0	0.0
CLASE ASCIDIACEA	0.0	0.0	10.1	0.7	0.0	0.0
SUBFILO CHORDATA						
CLASE VERTEBRATA (LARVAS PECES)	45.2	2.7	10.1	0.7	20.1	2.4
CLASE VERTEBRATA (HUEVOS PECES)	7.5	0.5	30.2	2.1	20.1	2.4
FILO CHAETOGNATA	7.5	0.5	20.1	1.4	30.2	3.6
FILO PROTOZOA						
GRUPO DINOFLAGELADOS	30.2	1.8	70.4	4.9	30.2	3.6
GRUPO FORAMINIFERA	7.5	0.5	60.3	4.2	10.1	1.2
GRUPO RADIOLARIA	75.4	4.5	150.8	10.5	30.2	3.6
GRUPO CILIADOS (TINTINIDEOS)	7.5	0.5	0.0	0.0	10.1	1.2
FILO MOLLUSCA						
CLASE GASTROPODA	30.2	1.8	70.4	4.9	60.3	7.2
CLASE LAMELIBRANCHIA	0.0	0.0	10.1	0.7	10.1	1.2
FILO ANNELIDA						
CLASE POLICHAETA (ADULTOS)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CLASE POLICHAETA (LARVAS)	0.0	0.0	30.2	2.1	0.0	0.0
FILO CNIDARIA						
GRUPO SIPHONOPHORA	0.0	0.0	0.0	0.0	10.1	1.2
FILO EQUINODERMATA						
CLASE ECHINOIDEA	7.5	0.5	10.1	0.7	0.0	0.0
Total	1,666.2	100.0	1,437.5	100.0	834.3	100.0

Tabla 3.9 - Índices de diversidad y de equitatividad de la comunidad zooplanctónica, por cada zona de muestreo en los dos periodos, septiembre de 2006 y junio de 2007, en la Bahía de Murdeira, Isla de Sal (Cabo Verde). Número de grupos del zooplancton (S), Densidad (D), Índice de riqueza de Margalef (d), Índice de equitatividad de Pielou (J'), Índice de diversidad de Shannon (H' - loge), Índice de diversidad de Simpson (1-λ').

Estaciones	S	D	d	J'	H' - loge	1-λ'
Zona 1-06	16	117	3.152	0.4486	1.244	0.5388
Zona 2-06	17	77	3.688	0.3916	1.110	0.4328
Zona 3-06	18	111	3.608	0.3711	1.073	0.3957
Media - 06	17.0	101.7	3.483	0.4038	1.142	0.4558
Zona 1-07	13	1,666	1.618	0.4975	1.276	0.5666
Zona 2-07	18	1,438	2.338	0.6184	1.787	0.6729
Zona 3-07	13	835	1.784	0.6327	1.623	0.6513
Media - 07	14.7	1,313.0	1.913	0.5829	1.562	0.6303

3.4 - Discusión

En la Bahía de Murdeira, se verificaron diferencias en la comunidad fitoplanctónica, entre los dos periodos (septiembre de 2006 y junio de 2007), tanto en términos de abundancia como de diversidad, traduciéndose en una gran disimilitud en la comunidad entre los dos periodos. Esto es en un claro indicador de condiciones oceanográficas distintas.

Una ligera sobreposición entre la comunidad de los dos periodos se evidenció por la existencia de 50 especies comunes y entre estas, 10 se encontraron entre las especies dominantes (Tabla 3.6). Una sobreposición parcial en la composición de la comunidad fitoplanctónica en diferentes condiciones oceanográficas ha sido citado por Varela *et al.* (2008). Ellos sugirieron que esto se debería a la rápida transición entre las condiciones y por la persistencia de eventos de surgencia en la primavera y verano.

En el primer periodo (septiembre de 2006) hubo un dominio numérico de los organismos de pequeño tamaño (nanoflagelados y cocolitoforales pequeños), lo que evidencia una composición del fitoplancton característico de aguas oceánicas pobres en nutrientes. De hecho, la columna de agua en ese periodo fue más pobre en nutrientes en relación al periodo de junio de 2007, y tendencialmente estratificada (Capítulo 2). Bajo la situación de estratificación se ha visto que las comunidades nano y picofitoplanctónicas pueden lograr un crecimiento rápido y ser numéricamente dominantes en el sistema, ya que están fisiológicamente adaptadas para utilizar de forma efectiva menores concentraciones de nutrientes (Verdugo-Díaz, 2010).

De un periodo al otro se cambió de una producción fitoplanctónica muy baja (7,323 cels/litro) por ser muy pobre en nutrientes, a una producción de baja a moderada (76,891 cels/litro) con el ligero aumento en la concentración de nutrientes, siendo este último periodo donde se observaron indicios de surgencia y/o de resuspensión de nutrientes desde el fondo (Capítulo 2). De acuerdo con (Chavez & Messié, 2009), las surgencias en regiones de alta mar, en este caso islas oceánicas con estrecha plataforma insular, transportan hacia la superficie aguas subsuperficiales que no presentan un amplio contacto con la plataforma insular, y por lo tanto presentan mayor contenido en nutrientes, pero no llegan a ser tan ricas como en las plataformas continentales. Así, producen mayor productividad que la típica de la región.

En términos de diversidad, los dinoflagelados fueron junto con las diatomeas los grupos más importantes, en el primer periodo, siendo los primeros sustituidos en gran parte por las diatomeas en

el segundo periodo, donde estas fueron las más importantes en abundancia numérica. Resultados similares están bien documentados en la literatura, p.e. Galicia (Estrada, 1984 y Varela *et al.*, 2008), Islas Canarias (Medina, 1995), México (Rojas-Herrera *et al.*, 2012), entre otros. Particularmente en las Islas Canarias, Medina (*op. cit.*), encontró que en el mes de marzo, la máxima densidad poblacional estaba dominada por diatomeas, mientras que en el periodo de verano dominaban los dinoflagelados.

La estratificación en el verano, ocasiona un cambio en la dominancia relativa de las diatomeas a los dinoflagelados y fitoflagelados, promoviendo así, el descenso en la producción y biomasa fitoplanctonica (Varela *et al.*, 2008). Según Tilstone *et al.* (2000), la evolución temporal de surgencia a estratificación está marcada por un cambio desde pequeñas diatomeas, a una comunidad mixta de diatomeas de tamaño medio y culmina en flagelados que están más adaptados a mantener la flotabilidad en condiciones de poca mezcla. En el presente estudio, sí que se verificó un cambio entre la época más fría, con mayor diversidad de diatomeas y, la época más caliente, con mayor diversidad de los dinoflagelados, pero en términos de la abundancia numérica los nanoflagelados fueron los dominantes, en la época más caliente. Varela *et al.* (2008) explican que la tendencia general observada, cuando la alta biomasa fitoplanctonica cambia a pequeños organismos fitoplanctónicos, refleja la eficiencia de las grandes células (como las diatomeas) en aprovechar más los aportes nitrogenados provenientes de las surgencias. Sin embargo, hay registros que, como en el caso del presente estudio, siguen verificando gran diversidad de las diatomeas, aún durante la estratificación del verano (Varela *et al.*, *op cit.*).

Además de las diatomeas del genero *Pseudo-nitzschia*, las más abundantes en el periodo de estratificación fueron *Cylindrotheca closterium* y *Proboscia alata*, que también han sido registradas entre las más abundantes en el periodo post-monzones (aguas más estables) en el sur del Mar de la China por Boonyapiwat (1999). Sin embargo, Varela *et al.* (2005) registraron la segunda especie tan solo en el periodo de surgencia, en Galicia. Los mismos autores registraron en el periodo de surgencia las especies *Dactyliosolen fragilissimus* (*R.fragilissima*), *Leptocylindrus danicus* y *Chaetoceros spp.*, que coinciden con las encontradas entre las dominantes, en el periodo de junio de 2007 (de surgencia y/o mezcla), en la Bahía de Murdeira. A estas se suman también *Chaetoceros spp.*, *Dactyliosolen puketensis* y *Guinardia striata* (*R.stolterfothi*), también dominantes en este periodo, pero que no fueron registradas por ellos, en el periodo de surgencia en Galicia. Mientras que la última especie, en el estudio de Varela *et al.* (*op cit.*) fue igualmente abundante en los periodos de estratificación y de surgencia.

La diversidad de la comunidad fitoplanctónica, en los dos periodos, de acuerdo con los índices de Shannon y Simpson (Tabla 3.4) resultó similar. Sin embargo, entre los dos periodos la diferencia en la comunidad fitoplanctónica fue significativa, en términos de densidad, riqueza y equitatividad. Analizando en detalle se constató, mayor densidad y riqueza en el segundo periodo en relación al primero, mientras la equitatividad fue superior en el primero. La diversidad es un balance entre la riqueza y la equitatividad. En el presente estudio, cuando una aumentó la otra se redujo y viceversa, dando una diversidad similar entre los dos periodos.

En resumen, esto se tradujo en una entrada de algunas nuevas especies muy abundantes y/o aumento significativo de la densidad de algunas ya existentes, señalada en la tabla de contribuciones de las especies dominantes (Tabla 3.6). Aún así, proporcionalmente al número total de especies, el número de especies dominantes disminuyó. La mayoría de las nuevas especies presentó baja densidad, esto podría ser explicado por el hecho de que apenas unas pocas especies pudieron aprovechar las nuevas condiciones ambientales de surgencia y/o mezcla.

Entre las especies fitoplanctónicas observadas, algunas en particular, están marcadas por su interés ambiental. Destaca la presencia de especies potencialmente productoras de toxicidad, entre estas cabe citar las diatomeas del género *Pseudo-nitzschia* (productoras potenciales de toxicidad ASP) y dinoflagelados del género *Dinophysis* y *Prorocentrum minimum* (productores potenciales de toxicidad DSP). Sin embargo la abundancia de estas especies que se verificaron en la Bahía de Murdeira, en estos periodos, fue muy baja, no representando peligro a la salud humana, de acuerdo con los niveles establecidos por Borja *et al.* (2003). Otras especies de dinoflagelados también registradas y en densidades muy bajas, igualmente productoras de toxicidad de interés para la salud humana, en particular en las regiones tropicales, fueron *Ostreopsis siamensis* (Onuma *et al.*, 1999) y *Prorocentrum mexicanum* (Faust *et al.*, 1992).

En relación a los otros grupos del fitoplancton cabe comentar la presencia de *Phaeocystis globosa*, formador potencial de proliferaciones costeras, con deterioro ambiental e impactos en la industria pesquera en latitudes altas (Moestrup & Larsen, 1992) y de cianobacterias filamentosas, características de ambientes con limitación de nitrógeno en relación al fósforo.

En una condición de mayor producción fitoplanctónica, se verificó mayor producción zooplanctónica, que pasó de una densidad media de 102 individuos/m³ (en el primer periodo) a 1,313 individuos/m³ (en el segundo periodo). Esto sugiere un efecto *bottom-up* de los cambios físicos en la disponibilidad de nutrientes y producción primaria, así como en la producción en los

niveles superiores (zooplancton, peces, aves marinas y mamíferos), señalado en varios estudios, según Ebert *et al.* (2012). Un aumento del mismo orden de magnitud fue encontrado en el mar de Creta, entre la primavera y el invierno, por Gotsis-Skretas *et al.* (1999), habiendo señalado también diferencias en la composición.

En el presente estudio, existió una clara sobreposición de los grupos entre los dos periodos, siendo las diferencias entre ambos tan solo en términos de abundancia. Sin embargo, este resultado debe tomarse con cautela por el hecho de que la resolución taxonómica de los organismos zooplanctónicos fue a niveles altos.

La gran proporción de copépodos en el zooplancton de la Bahía de Murdeira representa el típico ambiente marino, según Trujillo & Thurman, 2005. Similarmente en el estudio de Gotsis-Skretas *et al.* (*op cit*) la contribución de los copépodos fue alrededor del 70%.

3.5 - Conclusiones

En la Bahía de Murdeira se verificaron diferencias en la comunidad fitoplanctónica, entre los dos periodos estudiados (septiembre de 2006 y junio de 2007), tanto en términos de abundancia como de diversidad, explicadas por diferencias en las condiciones oceanográficas.

La misma tendencia se verificó en la comunidad zooplanctónica, sin embargo las diferencias identificadas fueron tan solo en términos de abundancia.

Algunas especies fitoplanctónicas de interés ambiental fueron observadas en la Bahía de Murdeira, especialmente las especies potencialmente productoras de toxicidad, sin embargo en concentraciones que no ponen en riesgo la salud humana. Entre estas cabe citar, las diatomeas productoras potenciales de toxicidad ASP del genero *Pseudo-nitzschia*, dinoflagelados productores potenciales de toxicidad DSP del género *Dinophysis* y las especies *Prorocentrum mínimum*, *Prorocentrum mexicanum* y *Ostreopsis siamensis*.

Capítulo 4: Estudio bionómico de las comunidades bentónicas y demersales

4.1 - Introducción

La comunidad bentónica en una determinada área, suele presentar un mosaico de biotopos, comprendiendo una o más de las siguientes comunidades: comunidades de algas cespitosas, comunidades de algas coralináceas costrosas, seabadales, comunidades recifales o coralinas, fondos de arena, entre otros. Estos diferentes biotopos se distribuyen según un conjunto de factores ambientales, p. e. temperatura, salinidad, hidrodinamismo, profundidad, tipo de sustrato e intensidad de energía luminosa. Entre estos, Costello (2000) destaca el tipo de sustrato y el hidrodinamismo como los factores más importantes que determinan la composición de las comunidades bentónicas. Según Caeiro *et al.* (2005), el hecho de que las comunidades bentónicas costeras suelen estar definidas por una combinación entre la profundidad y el tipo de sustrato es consistente con la teoría de que el perfil de energía hidrodinámica en el fondo constituye el factor controlador. Garrabou *et al.* (2002) señalaron que la profundidad no puede ser considerada como un factor ecológico *per se*, sin embargo importantes factores abióticos (como luz, hidrodinamismo, disponibilidad de nutrientes, sedimentación y temperatura) relevantes para la organización de comunidades bentónicas sublitorales varían con la profundidad.

Un primer estudio que pretendió entender el patrón de zonación de las comunidades bentónicas en Cabo Verde fue realizado por Otero-Schmitt (1993), seguido por Morri *et al.* (2000). En Otero-Schmitt (1995), se encuentran discriminadas las diferentes comunidades bentónicas costeras por él identificadas en Cabo Verde. Más recientemente se estudiaron las comunidades bentónicas en la Bahía de Murdeira (parte del presente estudio ya publicado) habiéndose identificado en dicha bahía, las comunidades coralinas, poblaciones de *Siderastrea radians*, poblaciones de algas cespitosas, comunidades de rodolitos y fondos de arena (González-Henríquez *et al.*, 2006 y PCMC, 2007). Además, se identificaron las comunidades más importantes en el área protegida de Santa Luzía: comunidades coralinas, algas cespitosas, algas calcáreas costrosas y rodolitos (Almeida *et al.*, 2012).

Morri & Bianchi (1995a), estudiando los nichos ecológicos de las cuatro especies de corales escleractinios hermatípicos (*Siderastrea radians*, *Porites astreoides*, *Porites porites* y *Favia fragum*) mostraron el patrón de distribución de cada una de las especies, determinada por la intensidad de la energía luminosa y del hidrodinamismo. Monteiro *et al.* (2008) se centraron en las comunidades coralinas en sustrato duro, habiendo determinado como factores estructurantes de las referidas comunidades, la profundidad y la orientación del sustrato.

Garrabou *et al.* (2002) afirman que hay necesidad de estudios que puedan proveer datos relevantes sobre la organización de dichas comunidades, particularmente sobre las variaciones estacionales. No se encontró para todo el archipiélago de Cabo Verde, ningún estudio relativo a la dinámica de las comunidades bentónicas o demersales.

De acuerdo con la Conservation International (2002), aunque no existen verdaderos arrecifes de corales en Cabo Verde, debido a las aguas muy frías para soportar el crecimiento de arrecifes, existen ricas comunidades coralinas sobre arrecifes rocosos en varios puntos del archipiélago. A pesar de la limitación en la distribución de estas comunidades, estas tienen una gran importancia en los ecosistemas costeros, albergando una gran variedad de especies de invertebrados y peces. Eso se debe a que estos y otros sistemas coralinos incrementan el área superficial, proporcionando una gran diversidad de abrigos y lugares de alimentación, aumentando así la riqueza en especies (Bell & Galzin, 1984). Además, afirma la Conservation International (*op cit*) que, en Cabo Verde, existen muy pocas actividades de conservación, pero hay buenas perspectivas para su protección si se tomaran medidas en breve. Para esto, es fundamental conocer la estructura y la dinámica de las comunidades bentónicas, como lo que se ha pretendido en el presente estudio, incluyendo todos los biotopos. Villaça & Pitombo (1997), destacan la importancia de estudiar los demás grupos asociados a los ambientes arrecifales, principalmente las algas coralinas costrosas, zoantídeos y algas cespitosas. Aunque se han realizado estudios similares, particularmente en la Bahía de Murdeira (Otero-Schmitt, 1995; Morri & Bianchi, 1995b; Morri *et al.*, 2000; González-Henríquez *et al.*, 2006; PCMC, 2007 y Monteiro *et al.*, 2008), ninguno presentó la extensión del presente estudio.

Los objetivos en este estudio son identificar y analizar los diferentes biótopos presentes en diferentes épocas del año, conocer su distribución y determinar los factores que dan lugar a dicha distribución. Además, conocer las comunidades bentónicas y demersales, de invertebrados y peces, asociados a cada uno de los biótopos, incluyendo la composición, su estructura y distribución.

4.2 - Material y Métodos

4.2.1 - MUESTREOS Y RECOLECCIÓN DE DATOS POR MEDIO DE BUCEO AUTÓNOMO

En las dos campañas de estudio se realizaron muestreos de las comunidades bentónicas y demersales. Para la recolección de datos del bentos y de la comunidad íctica demersal, en el submareal de la Bahía de Murdeira, se establecieron al azar varias estaciones de muestreo en toda la extensión de la bahía. Sin embargo, con base en un estudio batimétrico y cartográfico realizado previamente, de entre varios de los puntos obtenidos al azar, se eligieron preferentemente algunos sobre el sustrato consolidado, para recoger todos los rangos de profundidad. En la segunda campaña, se siguió la misma metodología de elección de las estaciones de muestreo, aunque se extendieron hacia la zona más somera.

La recolección de las muestras bentónicas en cada una de las estaciones del submareal, se hizo con un equipo de tres observadores, mediante inmersiones con escafandra autónoma, a lo largo de transeptos. En el equipo, cada observador se ocupaba de un tipo de recolección. En las dos campañas, uno de los observadores, al mismo tiempo que iba extendiendo el transepto, hacía el censo visual de peces, a lo largo de un pasillo de 5 m de anchura (2.5 m de cada lado del transepto). A continuación, seguía otro observador para la toma de los datos de las categorías bentónicas (Figura 4.1), mediante el método de transepto lineal. Este método se ha preferido en relación a los demás métodos (p.e. cuadrantes) para la toma de la cobertura bentónica de hábitats coralinos, por permitir una mayor cobertura del área de estudio, por unidad de tiempo, y así estar menos sujeto a sesgos, debido a la heterogeneidad de estos tipos de hábitats (Liddell & Ohlhorst, 1987). En las dos campañas se han adoptado dos técnicas diferentes del método de transepto lineal para la cobertura del bentos: Línea de Intercepción (en la primera campaña – época caliente) y el método de Punto de Intercepción (en la segunda campaña – época fría).

Por último, un tercer observador iba recolectando muestras de organismos (algas e invertebrados bentónicos), tomando fotos y/o videos digitales, en la primera campaña. En la segunda campaña, el tercer observador, solo recolectaba los organismos de especies no identificadas durante la primera y hacía la toma de fotos y/o de videos. En ambas campañas, se registraban las especies de invertebrados observadas y sus respectivas abundancias.

4.2.1.1 - COBERTURA DEL HÁBITAT BENTÓNICO

La cobertura del hábitat bentónico se hizo en el submareal, mediante el porcentaje de cobertura de las categorías de sustrato y categorías bióticas identificadas.

En la **primera campaña**, se determinó el porcentaje de cobertura de las categorías de sustrato y categorías bióticas (comunidades o poblamientos de organismos, ver Tabla 4.1), mediante el método de transecto de Línea de Intercepción modificado de Loya (1972), en un total de 23 estaciones submareales. En cada estación de muestreo (Tabla 4.2), se registraron las extensiones lineales de cada categoría a lo largo de tres transectos de 50 m de longitud, perpendiculares a la línea de la costa.

En la **segunda campaña** se ha adoptado la técnica de Punto de Intercepción (Liddell & Ohlhorst, 1987). En esta campaña, el objetivo era conocer la proporción de los componentes de cada una de las comunidades, ya identificadas en la primera campaña. Además, de acuerdo con Ohlhorst *et al.* (1988), la técnica del Punto de Intercepción es más eficiente que la de Línea de Intercepción, sobre todo si el tiempo es un factor importante a tener en cuenta; como lo es, en el caso de buceos autónomos en profundidades de 15 y más de 20 metros. Según dicha técnica, se estimó el porcentaje de cobertura bentónica mediante el número de puntos de ocurrencia de las diferentes categorías de sustrato y bióticas, por transecto. En este caso, las categorías bióticas fueron especies o grupos de organismos (Tabla 4.1). A lo largo de cada transecto, se establecieron como puntos de intercepción, los puntos de 0 a 20 m, con distanciamiento de 0.5 m, dónde fueron registradas las categorías de sustrato y bióticas, totalizando 41 puntos. Para Segal & Castro (2001), este número de puntos por transecto, no es suficiente, pudiendo conducir a un error estándar elevado. Los mismos autores recomiendan que para estimar la cobertura de un área, este reducido número de puntos de intercepción por transecto, puede ser corregido con el aumento del número de réplicas. En este sentido, en cada estación de muestreo se realizaron 3 replicas de transectos (20 m cada uno, con 5 m de separación entre ellos) paralelos a la orilla, totalizando **123 puntos**. Además se agregaron al menos 4 estaciones de muestreo, constituyendo un total de **492 puntos**, muy cerca del número de puntos (500) recomendado por Segal & Castro (*op cit*). Así que, para las dos campañas, se decidió clasificar las estaciones según los rangos de profundidad (somero: inferior a -14 m; intermedio: igual o superior a -14 m e inferior o igual a -20 m y profundo: superior a -20 m) y según la zona geográfica (norte y sur). Con ello, los análisis se realizaron teniendo como base las estaciones de muestreo, así como, las estaciones de muestreo agregadas, constituyendo estratos. En total fueron 6

estratos dentro de la Bahía de Murdeira, repartidos de acuerdo con la profundidad y la posición geográfica. En las Tablas 4.2 y 4.3 se encuentran las estaciones de muestreo de los transeptos submareales, sus respectivas posiciones geográficas y profundidades, organizadas de acuerdo con los estratos correspondientes (SN, somero norte; SS, somero sur; IN, intermedio norte; IS, intermedio sur; PN, profundo norte y PS, profundo sur). Desafortunadamente, debido a cuestiones logísticas, el estrato profundo fue submuestreado.

Tabla 4.1 - Categorías de sustrato y categorías bióticas establecidas en las dos campañas de muestreo, 23 de septiembre a 4 de octubre de 2006 (época caliente) y 31 de mayo a 7 de junio de 2007 (época fría), en la Bahía de Murdeira, Isla de Sal (Cabo Verde).

Primera campaña (septiembre de 2006)			Segunda campaña (junio de 2007)		
Categorías de sustrato	Categorías bióticas	Siglas	Categorías de sustrato	Categorías bióticas	Siglas
Roca	Comunidad Coralina	CCoral	Roca	<i>Siderastrea radians</i>	Sira
Roca y Arena	Comunidad de Rodolitos	CRodol	Piedra	<i>Porites porites</i>	Popo
Arena y Roca	Poblaciones Algales	PopAl	Arena	<i>Porites astreoides</i>	Poas
Piedra y Arena	Población de <i>Siderastrea radians</i>	PopSira	Rodolitos	<i>Favia fragum</i>	Fafr
Arena y Piedra	Población de <i>Millepora alcicornis</i>	PopMial		<i>Millepora alcicornis</i>	Mial
Arena	Bentos con otros macro-organismos	Otros		Esponjas	Espon
Rodolitos	Bentos sin macro-organismos	Bensin		Algas	Al
				Coral blando	Paly
				Coral blanqueado	Cobla
				Coral parcialmente blanqueado	Cobla-
				Rodolitos	Rodol
				Bentos sin macro-organismos	Bensin

Tabla 4.2 - Estaciones de muestreo de la primera campaña para la caracterización del bentos y de las comunidades ícticas demersales, profundidades y coordenadas geográficas, en *Universal Transverse Mercator* - UTM (Datum: WGS-84; 27Q). La denominación de las estaciones de muestreo incluye, sus respectivas clasificaciones según los factores (profundidad y zona geográfica): S, somero; I, intermedio; P, profundo; N, norte y S, sur.

Estación de muestreo	Prof. (m)	Coordenadas			
		Longitud W	Latitud N	UTM (X)	UTM (Y)
SN10	10	22° 57.086'	16° 41.279'	291908	1846058
SN04	9	22° 57.858'	16° 41.580'	290542	1846626
SN09	6	22° 57.492'	16° 41.588'	291193	1846633
SS11	12	22° 56.734'	16° 40.837'	292527	1845235
SS15	10	22° 57.096'	16° 39.699'	291861	1843143
SS16	13	22° 57.100'	16° 40.054'	291861	1843797
SS17	10	22° 56.725'	16° 28.005'	292527	1843797
IN22	15	22° 57.487'	16° 40.842'	291187	1845258
IN23	14.5	22° 57.854'	16° 41.223'	290542	1845967
IN24	19	22° 58.264'	16° 41.268'	289814	1846058
IN03	19	22° 58.673'	16° 41.265'	289087	1846058
IN05	14	22° 57.475'	16° 41.227'	291216	1845967
IS12	15	22° 57.554'	16° 39.695'	291048	1843143
IS14	20	22° 57.479'	16° 40.050'	291187	1843797
IS19	15	22° 57.096'	16° 40.444'	291875	1844516
IS20	14	22° 57.082'	16° 40.840'	291908	1845247
IS21	14	22° 57.082'	16° 40.840'	291908	1845247
PN01	29.7	22° 58.668'	16° 40.873'	289087	1845337
PN02	25	22° 59.067'	16° 41.315'	288387	1846158
PN06	27.2	22° 58.259'	16° 40.822'	289814	1845235
PN08	23	22° 57.850'	16° 40.826'	290542	1845235
PS13	22.3	22° 57.842'	16° 40.073'	290542	1843847
PS07	25	22° 57.846'	16° 40.436'	290542	1844516

Tabla 4.3 - Estaciones de muestreo de la segunda campaña para la caracterización del bentos y de las comunidades ícticas demersales, profundidades y coordenadas geográficas, en *Universal Transverse Mercator* - UTM (Datum: WGS-84; 27Q). La denominación de las estaciones de muestreo incluye, sus respectivas clasificaciones según los factores (profundidad y zona geográfica): S, somero; I, intermedio; P, profundo; N, norte y S, sur.

Estación de muestreo	Prof. (m)	Coordenadas			
		Longitud W	Latitud N	UTM (X)	UTM (Y)
SN28	5	22° 57.732'	16° 41.783'	290769	1846998
SN34	5	22° 58.156'	16° 41.814'	290017	1847063
SN36	7	22° 58.412'	16° 41.692'	289558	1846842
SN38	5	22° 57.236'	16° 41.704'	291649	1846843
SN04	9.6	22° 57.858'	16° 41.580'	290542	1846626
SN09	6	22° 57.492'	16° 41.588'	291193	1846633
SS11	11.3	22° 56.734'	16° 40.837'	292527	1845235
SS20	13	22° 57.082'	16° 40.840'	291908	1845247
SS27	6	22° 56.499'	16° 40.966'	292947	1845470
SS30	6	22° 56.373'	16° 40.326'	293160	1844286
SS31	6	22° 56.560'	16° 39.932'	292820	1843563
SS32	8	22° 56.812'	16° 39.553'	292364	1842869
IN22	14	22° 57.487'	16° 40.842'	291187	1845258
IN25	14	22° 57.965'	16° 41.412'	290348	1846317
IN26	20	22° 57.968'	16° 41.037'	290337	1845625
IN03	17	22° 58.673'	16° 41.265'	289087	1846058
IN35	14	22° 58.064'	16° 41.463'	290174	1846414
IN05	14	22° 57.475'	16 41.227'	291216	1845967
IS12	15	22° 57.554'	16° 39.695'	291048	1843143
IS16	14	22° 57.100'	16° 40.054'	291861	1843797
IS19	15	22° 57.096'	16° 40.444'	291875	1844516
IS29	19	22° 57.471'	16° 40.645'	291212	1844893
IS37	14	22° 56.960'	16° 40.313'	292115	1844272
PN33	24	22° 58.414'	16° 41.100'	289544	1845749

4.2.1.2 - COMPOSICIÓN Y ESTRUCTURA DE LAS COMUNIDADES ALGALES Y DE INVERTEBRADOS BENTÓNICOS

El catálogo de las especies bentónicas se hizo teniendo como base los dos tipos de unidades muestrales: transecto lineal y transecto de banda. A lo largo de la caracterización del hábitat bentónico, ya sea mediante la técnica de Línea de Intercepción (en la primera campaña), o a través de la técnica de Punto de Intercepción (en la segunda campaña), se registraron las especies observadas. Además, alrededor del contorno de los transectos establecidos, en la primera campaña, un observador iba identificando y registrando las especies de algas e invertebrados. En la segunda campaña, se estableció un pasillo virtual de 5 m de ancho, 2.5 m a cada lado del transecto, a lo largo del cual, un observador iba identificando o recolectando las especies de invertebrados y registrando su abundancia. Así, además de catalogar las especies de invertebrados se registraron datos cuantitativos. También, se hicieron barridos al azar, generalmente en las zonas menos profundas y en el intermareal, para abarcar una mayor área de muestreo y ampliar el catálogo de las especies.

En cada una de las recolecciones, tanto en la primera como en la segunda campaña, la identificación de las especies conocidas se hizo “*in situ*”, además de recolectar aquellos organismos que presentaban dudas taxonómicas y/o tomar fotografías y videos digitales. Los organismos recolectados se almacenaron en tarros debidamente etiquetados que fueron fijados con formol a 4% neutralizado con agua de mar, para su posterior identificación en el laboratorio.

La identificación de las muestras recogidas se llevó a cabo en los laboratorios del Departamento de Medio Litoral del Instituto Canario de Ciencias Marinas, en la primera campaña. En la segunda campaña, la identificación fue realizada en el laboratorio del Grupo de Biología Marina y Pescas del Instituto Superior de Engenharias e Ciências do Mar. La identificación de las diferentes especies de algas se hizo siguiendo Lawson (1987) y Afonso-Carrillo & Sansón (1999). Para los invertebrados se utilizó las siguientes publicaciones: Monod (1956), Zariquey-Álvarez (1968), Manning & Holthius (1981), Saldanha (1997) y Rolán (2005).

4.2.1.3 - COMPOSICIÓN Y ESTRUCTURA DE LA COMUNIDAD ÍCTICA DEMERSAL

La técnica utilizada en el muestreo de los peces fue el censo visual, una técnica no destructiva y ampliamente utilizada en estudios descriptivos de poblamientos y comunidades ícticas litorales. En cada una de las estaciones de muestreo establecidas, como se ha descrito anteriormente, un observador iba identificando las especies de peces a lo largo de un pasillo virtual de 5 m de ancho a lo largo de la longitud del transecto, 2.5 m de cada lado del transecto. El estudio se completó con la toma de fotografías y videos submarinos que permitieron ampliar el catálogo de peces, y confirmar la identificación de los organismos con clasificación taxonómica dudosa. Para abarcar una mayor área de muestreo se realizaron muestreos al azar, que permitieron obtener un catálogo de peces más amplio.

En el laboratorio, se procedió a la identificación de los mismos, mediante bibliografía adecuada. Para la identificación de las diferentes especies de peces se han seguido las siguientes publicaciones: Brito *et al.* (1999) y (2002), Brito & Miller (2001), Monteiro (1998), Reiner (1996) y Whitehead *et al.* (1986).

4.2.2 - TRATAMIENTO DE LOS DATOS

Posteriormente a la identificación de las especies de las comunidades bentónicas y demersales, se elaboraron tablas presentando la composición observada, en especies vegetales y animales (invertebrados y peces).

Los análisis de los datos cuantitativos se hicieron basándonos en la estimación de varios indicadores de abundancia. Con los datos de los muestreos para la caracterización del bentos de ambas campañas, se calcularon la presencia y la frecuencia de presencia, de cada especie o categoría bentónica para toda la bahía, así como, por estrato, de acuerdo con las fórmulas siguientes:

Presencia = Número de transectos con determinada categoría bentónica

$$\text{Frecuencia de presencia} = \frac{\text{Número de transeptos con determinada categoría}}{\text{Número total de transeptos}} \times 100$$

A partir de los datos cuantitativos de los invertebrados bentónicos y de los peces, además de la presencia y frecuencia de presencia referidas anteriormente, fueron calculadas, para cada estación de muestreo, de acuerdo con las fórmulas abajo descritas: la densidad total de individuos y la densidad específica, utilizando el programa Excel y expresados en número de individuos por 100 m².

Siendo,

$$\text{Densidad}_{\text{total}} = \frac{\text{Número total de individuos}}{\text{Longitud} \times \text{Anchura de transeptos}} \times 100$$

$$\text{Densidad}_{\text{específica}} = \frac{\text{Número total de individuos de determinada especie}}{\text{Longitud} \times \text{Anchura de transeptos}} \times 100$$

En el caso de la ictiofauna demersal se calcularon también, por especie la frecuencia numérica y la frecuencia numérica acumulada, de acuerdo con las fórmulas descritas abajo:

$$\text{Frecuencia numérica}_{\text{específica}} = \frac{\text{Número de individuos de una especie}}{\text{Número total de individuos}} \times 100$$

$$\text{Frecuencia numérica acumulada} = \sum_{i=1}^q \text{Frecuencia numérica}_{\text{específica}}$$

Además se calcularon por estación de muestreo, la riqueza de Margalef, los índices de diversidad de Shannon y de Simpson y, el índice de equitatividad de Pielou, mediante el programa PRIMER Versión 5 (Clarke & Gorley, 2001), de acuerdo con las fórmulas descritas abajo:

$$d = (S-1)/\ln(N)$$

$$H' = - \sum_{i=1}^q p_i \ln p_i$$

$$1 - \lambda = \frac{\sum_{i=1}^q N_i (N_i - 1)}{N (N - 1)}$$

$$J' = H' / \log(S)$$

Dónde,

N – número total de individuos

S – número de especies

p_i – proporción de la especie i

N_i – número de individuos de la especie i

d – riqueza de Margalef

H' - índice de diversidad de Shannon

$1 - \lambda$ - índice de diversidad de Simpson

J' - índice de equitatividad de Pielou

A partir de los datos de cobertura, se estimaron los porcentajes de cobertura por estación de muestreo (PC_{muest}), por estrato (PC_{est}) y total (PC_{total}), de acuerdo con las fórmulas descritas abajo. Obviamente, las fórmulas aplicadas en las estimativas fueron diferentes entre las dos técnicas de muestreos (Línea de Intercepción y Punto de Intercepción).

Para Línea de Intercepción,

$$PC_{muest} = \frac{\text{Extensión lineal de una categoría en una estación de muestreo} \times 100}{\text{Extensión de los transeptos en una estación de muestreo}}$$

$$PC_{est} = \frac{\text{Extensión lineal de una categoría en un estrato} \times 100}{\text{Extensión de los transeptos en un estrato}}$$

$$PC_{total} = \frac{\text{El sumatorio de la extensión lineal de una categoría en todos los transeptos} \times 100}{\text{El sumatorio de la extensión lineal de todos los transeptos}}$$

Para Punto de Intercepción,

$$PC_{muest} = \frac{\text{Número de puntos con una categoría en una estación de muestreo} \times 100}{\text{Número total de puntos en una estación de muestreo}}$$

$$PC_{\text{est}} = \frac{\text{Número puntos con una categoría en las réplicas de transectos en un estrato}}{\text{Número total de puntos en los transectos en un estrato}} \times 100$$

$$PC_{\text{total}} = \frac{\text{El sumatorio del número total de puntos muestreados con una categoría}}{\text{El sumatorio de todos los puntos muestreados}} \times 100$$

En el caso de la segunda campaña, para permitir comparaciones con la primera, los porcentajes de cobertura fueron determinados también, basándonos en las extensiones lineales de las mismas categorías establecidas en la primera campaña, obtenidas a partir de las secuencias de puntos. Es decir, se hizo la conversión de los datos de cobertura de la segunda campaña, obtenidos por medio de Puntos de Intercepción, en Líneas de Intercepción.

Los resultados de los indicadores de abundancia y de los índices, se resumen en tablas y/o gráficos. En particular, a partir de los resultados de porcentaje de cobertura por estrato y de porcentaje de cobertura total fueron elaborados respectivamente, histogramas y gráficos (de sectores) de la distribución de las diferentes categorías de sustrato y/o categorías bióticas.

La Densidad _{total}, así como, la riqueza de Margalef y diversidad de Shannon-Wiener, de invertebrados y peces, fueron testados en cuanto a la homogeneidad de variancia (test de Levéne) y normalidad de Shapiro-Wilk, como recomienda Sokal & Rohlf (1981). Posteriormente fueron comparados mediante el test t-student para dos muestras independientes para probar la diferencia entre las estaciones de muestro, distribuidas según rango de profundidad (somero e intermedio) y posición geográfica (norte y sur). El rango profundo fue excluido de los test por presentar una sola estación de muestro. Para probar la diferencia entre las estaciones de muestro, según el estrato y tipo de sustrato, se aplicó el ANOVA para más de dos muestras independientes. Cuando los supuestos para test no paramétricos no dieron, las diferencias en base a uno de los factores, se testaron por medio de test no paramétrico para dos muestras independientes de Mann-Whitney o no paramétrico para más de dos muestras independientes de Kruskal-Wallis. Después se utilizó el procedimiento para análisis paramétricos de Tukey o no paramétricos de Dunn (con corrección de Bonferroni) para comparaciones múltiples pareadas, en aquellos casos en que se detectó diferencias, es decir, cuando la hipótesis nula ha sido rechazada.

Basándonos en las matrices de Densidad _{especifica} por estación de muestreo, se elaboraron matrices de similitud mediante la aplicación del coeficiente de Bray-Curtis. De acuerdo con Legendre & Legendre (1998), en este índice, las especies (o categorías), abundantes y raras, tienen la misma contribución al resultado. Además, Bloom (1981), comparando diversos índices ha demostrado que solamente este índice refleja con precisión la verdadera similitud a lo largo de toda la escala de 0 a 1. Sobre las matrices de similitud, fue aplicado el análisis de escalamiento multidimensional (MDS) para representarlo espacialmente en un gráfico 2D, la distribución de las estaciones de muestreo, señaladas según el rango de profundidad.

Sobre las mismas matrices de similitud se hizo el Análisis de Similitud (ANOSIM) de una vía, para averiguar la significancia de posibles grupos de acuerdo con los factores (profundidad, posición geográfica, estrato y tipo de sustrato). Después, la rutina SIMPER (porcentual de similitud) fue utilizada para jerarquizar las categorías de bentos que más han contribuido para las similitudes y disimilitudes dentro y entre los grupos, preferentemente cuando el resultado del ANOSIM fue superior a 0.25.

Con los resultados de porcentaje de cobertura, por estación de muestreo (PC_{muest}) para ambas categorías, sustrato y categorías bióticas, fueron elaboradas matrices estaciones x categorías de sustrato o bióticas, a partir de las cuales se aplicó el análisis de Cluster (modo de ligación - el promedio de grupo) según el coeficiente de similitud de Bray-Curtis. Este índice se aplica a datos binarios (presencia/ausencia), y es aconsejable para estudios de comunidad, excluyendo las dobles-ausencias Legendre & Legendre (1998). En la elaboración del dendrograma del análisis de Cluster sobre las matrices estaciones de muestreo x categorías de sustrato, las estaciones de muestreo fueron clasificadas de acuerdo con los grupos obtenidos con nivel de similitud de al menos 30, en: totalmente arenoso (A), con arena y piedra (AP), con rodolitos (RL) y con rocas (R). Dicha clasificación, por tipo de sustrato, fue insertada como otro factor, en determinados análisis que toman además de la profundidad, posición geográfica y estrato; incluso, en la elaboración del dendrograma del análisis de Cluster sobre las matrices estaciones de muestreo x categorías bióticas.

Con los datos de porcentaje de cobertura por estrato, fueron elaboradas matrices estratos x categorías (sustrato y bióticas), a partir de cada una de las cuales se aplicó el análisis de Cluster (modo de ligación - el promedio de grupo) según el coeficiente de similitud de Bray-Curtis. Por la agregación de los datos en estratos, las matrices se redujeron significativamente y, en particular, los

ceros. Así, se entendió que sería más adecuado usar este mismo índice, pero con base en datos cuantitativos, en lugar de datos de presencia/ausencia.

Sobre matrices de similitud, entre estaciones de muestreo o entre estratos, el Análisis de Similitud (ANOSIM), de una vía, fue aplicado para averiguar la significancia de los grupos formados por el análisis de Cluster y/o aquellos determinados por los factores (tipo de sustrato, profundidad, posición geográfica y/o estrato). Este último factor, fue aplicado obviamente solo para las matrices de similitud entre estaciones de muestreo. Después, la rutina SIMPER (porcentual de similitud) fue utilizada para jerarquizar las categorías de bentos que más han contribuido para las similitudes y disimilitudes dentro y entre los grupos, cuando el resultado del ANOSIM fue superior a 0.25. Para establecer la correspondencia entre las categorías de sustrato y las categorías bióticas, se aplicó el Análisis de Componentes Principales (ACP) sobre las matrices de porcentaje de cobertura (categorías x estaciones o estratos), representados en gráficos y sus respectivas matrices de correlación de Pearson.

Los análisis multivariantes de Cluster, así como, ANOSIM, SIMPER y ACP fueron realizados mediante el programa PRIMER Versión 5 (Clarke & Gorley, 2001) y los univariantes por medio del programa XLStat2009 (Addinsoft 2009).

4.3 - Resultados

4.3.1 - COMPOSICIÓN Y ESTRUCTURA DE LA COMUNIDAD BENTÓNICA

Un total de 78 especies de algas y 78 especies de macroinvertebrados (Tablas 4.4 a 4.6) fueron identificadas (al menos hasta el nivel de género), en las zonas intermareal y submareal de la Bahía de Murdeira, en las dos épocas (caliente y fría). Entre los macroinvertebrados, además, fueron registradas en la segunda campaña, 11 especies no identificadas. El número de especies identificadas en la primera campaña (época caliente) fue mayor que en la segunda campaña (época fría), siendo respectivamente, 102 especies (60 de algas y 42 de macroinvertebrados) y 87 especies (31 de algas y 56 de macroinvertebrados).

La clase Rhodophyta fue la mejor representada, con más de un 50% de la totalidad de las especies de algas observadas (Tabla 4.4).

Las algas mostraron un patrón de zonación con la profundidad. En zonas con sustrato arenoso entre los 0 y 10 metros de profundidad, destacó la presencia del alga verde *Caulerpa sertularioides* y ocasionalmente masas de algas verde-azules (Cyanophyta) de la familia Oscillatoriaceae. En zonas de arena más profundas, a partir de los 20 metros, destacaron dos algas de gran porte, *Predaea feldmannii* (Rhodophyta) y *Codium decorticatum* (Chlorophyta). Sobre el sustrato duro, roca o piedras sobre arena, se verificó la dominancia de *Dictyota* spp. (Phaeophyta), que podía estar acompañada ocasionalmente por *Liagora* sp., *Asparagopsis taxiformis* y algas cespitosas de bajo porte.

Entre los invertebrados, el grupo de moluscos gasterópodos (Phylum Mollusca, Clase Gastropoda) fue el mejor representado. En general, las especies de moluscos gasterópodos, presentaron presencia y abundancia bajas en el submareal, con excepción de *Strombus latus* que se encontró puntualmente, pero en grandes densidades sobre la comunidad de algas coralináceas (rodolitos). Sin embargo, esta especie no fue registrada en la segunda campaña.

Entre las esponjas (Porifera), las especies dominantes fueron, *Aplysina aerophoba* que se encontraba aproximadamente desde los primeros hasta los 10 metros de profundidad, e *Ircinia* sp., que aparecía a partir de una cota más profunda. Las demás especies se encontraban de forma ocasional.

Entre el grupo de los cnidarios (Cnidaria) destacan, los corales duros que estructuran las comunidades coralinas. Estas comunidades, las más características de dicha bahía, incluyen las especies *Siderastrea radians*, *Millepora alcicornis*, *Porites astreoides* y *Favia fragum*, siendo también importante, en términos de presencia y abundancia, el coral blando *Palythoa caribbaeorum*.

Se registraron solamente tres especies de poliquetos (Annelida). De estas especies, *Dasychone lucullana*, perteneciente a la familia Sabellidae, fue la más abundante encontrándose ejemplares sobre los fondos tanto de arena como de roca.

Dentro del grupo de crustáceos se observaron las especies *Panulirus regius* (langosta) y *Stenorhynchus lanceolatus*, este último aparecía con relativa frecuencia, en zonas crípticas.

De los diferentes grupos del Phylum Echinodermata se registraron especies pertenecientes a las clases Ophiuroidea, Holoturoidea, Asteroidea y Echinoidea. En la mayoría de los casos, los registros fueron puntuales, excepto para la especie *Ophidiaster* sp. que apareció frecuentemente en la comunidad de algas coralíneas (rodolitos) y *Echinometra lucunter* muy abundante en las charcas del intermareal.

De los organismos del Phylum Urochordata, pertenecientes a la clase Ascidiacea, la única especie abundante fue *Distaplia corolla*, que formaba agregados importantes, llegando a ser característica en todas las zonas con presencia de sustrato arenoso.

Tabla 4.4 - Distribución por grupos (de algas y animales) de las especies observadas en las dos campañas de muestreo, 23 de septiembre a 4 de octubre de 2006 (época caliente) y 31 de mayo a 7 de junio de 2007 (época fría), en la Bahía de Murdeira, Isla de Sal (Cabo Verde).

Grupos de organismos	Phyllum	Número de especies		
		Total	Primera campaña	Segunda campaña
Cianobacterias	Cyanophyta	5	4	2
Algas rojas	Rhodophyta	41	36	12
Algas pardas	Ochrophyta	21	11	12
Algas verdes	Chlorophyta	11	9	5
Eponjas	Porifera	9	9	3
Cnidarios	Cnidaria	10	7	8
Moluscos gasterópodos	Mollusca	30	12	22
Moluscos bivalvos	Mollusca	3	0	3
Moluscos cefalópodos	Mollusca	1	0	1
Anélidos poliquetos	Annelida	3	2	3
Crustáceos cirrípedos	Arthropoda	2	0	2
Crustáceos decápodos	Arthropoda	4	1	4
Equinodermos	Echinodermata	12	8	7
Urocordatos	Urochordata	4	3	3
Total		156	102	87

Tabla 4.5 - Clasificaciones taxonómicas de las especies de algas identificadas en las dos campañas de muestreo, 23 de septiembre a 4 de octubre de 2006 (época caliente) y 31 de mayo a 7 de junio de 2007 (época fría), en la Bahía de Murdeira, Isla de Sal (Cabo Verde). ¹ y ², indican respectivamente, las especies observadas, en solo, la primera o la segunda campaña.

Phyllum	Orden	Familia	Especie	Autor
Cyanophyta	Oscillatoriales	Oscillatoriaceae	<i>Lyngbya</i> sp.	
			<i>Oscillatoria</i> sp. ¹	
		Schizotrichacea	<i>Schizothrix calcicola</i> ¹	(C. Agardh) Gomont
	Nostocales	Nostocaceae	<i>Anabaena cf. oscillarioides</i>	
Rhodophyta	Ceramiales	Ceramiaceae	<i>Anotrichium</i> sp. ¹	
			<i>Antithamnion</i> sp. ¹	
			<i>Centroceras clavatum</i> ¹	(C. Agardh) Montagne
			<i>Ceramium</i> sp. ¹	
			<i>Ceramium nitens</i> ¹	(C. Agardh) J. Agardh
			<i>Composothamnion</i> sp. ¹	
			<i>Crouania attenuata</i> ¹	(C. Agardh) J. Agardh
			<i>Spyridia hypnoides</i>	(Bory de Saint-Vincent) Papenfuss
		<i>Wrangelia argus</i> ¹	(Montagne) Montagne	
		Rhodomelaceae	<i>Rivularia</i> sp. ¹	
			<i>Digenea simplex</i>	(Wulfen) C. Agardh
			<i>Ophidocladus</i> sp. ²	
			<i>O. cf. simpliciusculus</i> ²	
			<i>Herposiphonia secunda</i> ¹	(C. Agardh) Ambronn
			<i>Laurencia majuscula</i> ¹	(Harvey) A.H.S. Lucas
			<i>Laurencia</i> sp. ¹	
	<i>Laurencia perforata</i>		(Bory de Saint-Vincent) Montagne	
	<i>Laurencia tenera</i> ²			
	<i>Polysiphonia</i> sp. ¹			
	<i>Lophocladia trichocladus</i> ¹	(Mertens ex C. Agardh) F. Schmitz		
	Dasyaceae	<i>Halydictyon mirabile</i> ¹	Zanardini	
	Delesseriaceae	<i>Cottoniella filamentosa</i> ¹	(M. A. Howe) Børgesen	
		<i>Platysiphonia delicata</i> ¹	(Clemente & Rubio) Cremades	
	Nemastomatales	Nemastomataceae	<i>Predeaea feldmannii</i> ¹	Børgesen
	Rhodimoniales	Champiaceae	<i>Champia parvula</i> ¹	(C. Agardh) Harvey
	Halymeniales	Halymeniaceae	<i>Halymenia elongata</i> ¹	C. Agardh
	Nemaniales	Liagoraceae	<i>Liagora</i> sp.	
		Galaxaureaceae	<i>Galaxaura rugosa</i> ¹	(J. Ellis & Solander) J.V. Lamouroux
			<i>Tricleocarpa cylindrica</i> ¹	(J. Ellis & Solander) Huisman & Borowitzka
	Corallinales	Corallinaceae	<i>Amphiroa fragilissima</i> ¹	(Linnaeus) J.V. Lamouroux
			<i>Amphiroa rigida</i>	J. V. Lamouroux
			<i>Amphiroa</i> sp.	
<i>Corallina</i> sp. ¹				
<i>Jania capillacea</i> ¹			Harvey	
Corallinales	Corallinaceae	<i>Jania</i> sp. ¹		

	Orden	Familia	Especie	Autor
Rhodophyta	Gracillariales	Gracillariaceae	<i>Gracilaria sp.</i> ¹	
	Gigartinales	Hypneaceae	<i>Hypnea arbuscula</i> ¹	P. Dangeard
			<i>Hypnea flagelliformis</i> ¹	Greville ex J. Agardh
			<i>Hypnea spinella</i> ²	
Bonnemaisoniales	Bonnemaisoniaceae	<i>Asparagopsis taxiformis</i>	(Delile) Trevisan de Saint-Léon	
		<i>Naccaria sp.</i> ²		
Ochrophyta (Phaeophyta)	Fucales	Sargassaceae	<i>Sargassum cymosum</i> ²	
			<i>Sargassum vulgare</i> ¹	C. Agardh
	Scytosiphonales	Scytosiphonaceae	<i>Colpomenia sinuosa</i> ¹	(Mertens ex Roth) Derbès & Solier
	Dictyotales	Dictyotaceae	<i>Dictyota cervicornis f. curvula</i> ²	
			<i>Dictyota crenulata</i> ¹	J. Agardh
			<i>Dictyota ciliolata</i> ²	
			<i>Dictyota dichotoma var dichotoma</i> ²	
			<i>Dictyota liturata</i> ²	J. Agardh
			<i>Dictyota pulchella</i> ²	Hörnig & Schnetter
			<i>Dictyota sp.</i>	
			<i>Dictyopteris sp.</i> ¹	
			<i>Lobophora variegata</i> ¹	J. Agardh
	Sphacelariales	Sphacelariaceae	<i>Sphacelaria sp.</i> ¹	
			<i>Sphacelaria tribuloides</i> ¹	Meneghini
	Ectocarpales	Acinetosporaceae	<i>Feldmannia cf paradoxa</i> ²	
			<i>Feldmannia irregularis</i> ²	(Kützing) G.Hamel
		Chordariaceae	<i>Levingia brasiliensis</i> ¹	(Montagne) A.B. Joly
			<i>Nemacystus flexuosus</i> ²	(C.Agardh) Kylin
			<i>Chnoospora minima</i> ²	(Hering) Papenfuss
<i>Hydroclathrus clathratus</i>	(C. Agardh) Howe			
Chlorophyta	Bryopsidales	Codiaceae	<i>Codium repens</i> ¹	P. et H. Crouan ex Vickers
			<i>Codium decorticatum</i> ¹	(Woodward) M.A. Howe
		Derbesiaceae	<i>Derbesia tenuissima</i> ²	(Moris & De Notaris) P.L.Crouan & H.M.Crouan
		Caulerpaceae	<i>Caulerpa sertularioides</i>	(S.G. Gmelin) M. Howe
	Cladophorales	Cladophoraceae	<i>Chaetomorpha antennina</i> ²	(Bory de Saint-Vincent) Kützing
			<i>Chaetomorpha sp.</i> ¹	
			<i>Cladophora sp.</i>	
			<i>Cladophoropsis membranacea</i> ¹	(Hofman Bang ex C. Agardh) Børgesen
		Valoniaceae	<i>Ernodesmis verticillata</i> ¹	(Kützing) Børgesen
	Dasycladales	Dasycladaceae	<i>Dasycladus vermicularis</i> ¹	(Scopoli) Krasser
Ulvales	Ulvaceae	<i>Ulva rigida</i>	C. Agardh	

Tabla 4.6 - Clasificaciones taxonómicas de las especies de invertebrados identificadas en las dos campañas de muestreo, 23 de septiembre a 4 de octubre de 2006 (época caliente) y 31 de mayo a 7 de junio de 2007 (época fría), en la Bahía de Murdeira, Isla de Sal (Cabo Verde).

Phyllum	Orden	Familia	Especie	Autor
Porifera	Clathrinida	Clathrinidae	<i>Clathrina clathrus</i> ¹	(Schmidt, 1864)
	Dictyoceratida	Irciniidae	<i>Ircinia sp.</i>	
		Dysideidae	<i>Pleraplysilla sp.</i>	
	Verongida	Aplysinidae	<i>Aplysina aerophoba</i>	Nardo, 1843
	Dendroceratida	Darwinellidae	<i>Aplysilla sulfurea</i> ¹	(Schulze, 1878)
	Chondrosida	Chondrillidae	<i>Chondrosia reniformes</i> ¹	Nardo, 1847
	Homosclerophodida	Plakinidae	<i>Plakortis simplex</i> ¹	Schulze, 1880
		Halichondriidae	<i>Hymeniacion perlevis</i> ¹	(Montagu, 1818)
	Dictyonellidae	<i>Scopalina fulva</i> ¹	(Topsent, 1893)	
Cnidaria	Anthoathecata	Milleporidae	<i>Millepora alcicornis</i>	Linnaeus, 1758
	Actiniaria	Actiniidae	<i>Actinia sali</i> ²	Monteiro, Sole-Cava y Thorpe, 1997
		Aliciidae	<i>Alicia mirabilis</i> ²	(Johnson, 1861)
	Scleractinia	Faviidae	<i>Favia fragum</i>	(Esper, 1793)
		Siderastreidae	<i>Siderastrea radians</i>	(Pallas, 1766)
		Poritidae	<i>Porites astreoides</i>	Lamarck, 1816
	Zoantharia	Zoanthidae	<i>Isaurus sp</i> ¹	
			<i>Palythoa sp.</i>	
			<i>Palythoa caribbaeorum</i>	(Duchassaing & Michelotti, 1860)
	Antipatharia	Antipathidae	<i>Cirripathes anguina</i> ¹	Dana, 1846
Alcyonacea	Gorgoniidae	<i>Eunicella verrucosa</i> ²	(Pallas, 1766)	
Mollusca	Archaeogastropoda	Patellidae	<i>Patella nigra</i>	(Da Costa, 1771)
		Fissurellidae	<i>Fissurella sp.</i> ¹	
		Trochidae	<i>Osilinus atratus</i> ²	(Wood, 1828)
	Basommatophora	Siphonariidae	<i>Siphonaria algerisae</i> ²	Quoy & Gaimard, 1829
			<i>Siphonaria pectinata</i> ¹	(Linnaeus, 1758)
	Neotaenioglossa	Littorinidae	<i>Littorina striata</i> ²	King and Broderip, 1832
			<i>Littorina punctata</i> ²	(Gmelin, 1791)
		Calyptraeidae	<i>Crepidula fornicata</i> ²	(Linnaeus, 1758)
		Cypraeidae	<i>Cypraea spurca</i> ²	Linnaeus, 1758
		Planaxidae	<i>Planaxis lineatus</i> ²	(E. M. da Costa, 1778)
		Ranellidae	<i>Cymatium tranquebaricum</i> ²	Lamarck, 1823
	Neogastropoda	Buccinidae	<i>Cantharus viverratus</i> ²	Kinner, 1834
			<i>Columbella adansoni</i> ²	Menke, 1853
		Columbellidae	<i>Mitrella ocellata</i> ²	(Gmelin, 1791)
			<i>Conus ermineus</i> ²	Born, 1778
			<i>Conus venulatus</i> ²	Hwass in Brugière, 1792
		Conidae	<i>Conus genuanus</i> ²	(Linnaeus, 1787)
			<i>Conus mordeirae</i> ²	Rolan & Trovão, 1990
			Muricidae	<i>Thais haemastoma</i> ²
	Cerithiidae	<i>Cerithium atratum</i> ¹	(Born, 1778)	
	Strombidae	<i>Strombus latus</i> ¹	(Gmelin, 1791)	
	Neritopsina	Neritidae	<i>Nerita senegalensis</i>	Gmelin, 1791
	Nudibranchia	Chromodorididae	<i>Hypselodoris webbi</i>	(d'Orbigny, 1839)
		Flabellinidae	<i>Flabellina bulbosa</i> ²	Ortea & Espinosa, 1998
			<i>Flabellina sp.</i>	
	Polyceridae	<i>Tambja fantasmalis</i> ²	Ortea & García-Gómez, 1986	
	Notaspidae	Tyloidinidae	<i>Tyloidina perversa</i> ¹	(Gmelin, 1791)

	Orden	Familia	Especie	Autor
Mollusca	Anaspeida	Notarchidae	<i>Doridacea</i> sp. ¹	
			<i>Dolabrifera</i> sp. ¹	
			<i>Bursatella leachi</i> ¹	De Blainville, 1817
	Mytiloidea	Mytilidae	<i>Brachidontes puniceus</i> ²	(Gmelin, 1791)
			<i>Modiolus</i> sp. ²	
	Pterioidea	Pinnidae	<i>Pinna nobilis</i> ²	(Linnaeus, 1758)
Octopoda	Octopodidae	<i>Octopus vulgaris</i> ²	Cuvier, 1797	
Annelida	Aciculata	Amphinomidae	<i>Hermodice carunculata</i>	(Pallas, 1766)
	Canalipalpata	Sabellidae	<i>Dasychone lucullana</i>	(Delle Chiaje)
	Phyllodocida	Syllidae	<i>Trypanosyllis</i> sp. ²	
Arthropoda	Sessilia	Chthamalidae	<i>Chthamalus</i> sp. ²	
		Balanidae	<i>Balanus</i> sp. ²	
	Decapoda	Palaemonidae	<i>Palaemon</i> sp. ²	
		Inachidae	<i>Stenorhynchus lanceolatus</i>	(Brullé, 1837)
		Portunidae	<i>Callinectes marginatus</i> ²	(A. Milne-Edwards, 1861)
		Xanthidae	<i>Xantho cf incisus</i> ²	
Echinodermata	Forcipulatida	Asteriidae	<i>Marthasteria glacialis</i> ¹	(Linnaeus, 1758)
			<i>Coscinasteria tecnuispina</i> ¹	(Lamarck, 1816)
	Spinulosida	Echinasteridae	<i>Echinaster sepositus</i> ²	(Retzius, 1783)
	Valvatida	Acanthasteridae	<i>Acanthaster</i> sp. ²	
		Ophidiasteridae	<i>Ophidiaster ophidianus</i>	(Lamarck, 1816)
			<i>Ophidiaster</i> sp. ¹	
	Ophiurida	Ophiothricidae	<i>Ophiothrix</i> sp. ¹	
	Arbacioida	Arbaciidae	<i>Arbacia lixula</i>	(Linnaeus, 1758)
	Diadematoida	Diadematidae	<i>Diadema antillarum</i> ²	Philippi, 1845
	Camarodontia	Echinometridae	<i>Echinometra lucunter</i> ²	(Linnaeus, 1758)
Apodida	Synaptidae	<i>Euapta lappa</i>	(Müller, 1850)	
Aspidochirotida	Holothuriidae	<i>Holothuria tubulosa</i>	Gmelin, 1791	
Urochordata	Enterogona	Asciidiidae	<i>Ascidia nigra</i> ²	(Savigny, 1816)
		Clavelinidae	<i>Clavelina</i> sp.	
		Didemnidae	<i>Didemnum</i> sp. ¹	
		Holozoidae	<i>Distaplia corolla</i>	Monniot, 1975

Entre los invertebrados con mayor presencia y densidad en el submareal de la Bahía de Murdeira (segunda campaña) destacaron, todas las especies de corales duros *Millepora alcicornis*, *Porites astreoides*, *Siderastrea radians* y *Favia fragum*, siendo la frecuencia de presencia superior a un 65% y la densidad superior a 4 individuos/100 m². Se registró también una presencia alta, en las especies *Dasychone lucullana* (poliqueto) y *Distaplia corolla* (ascidiáceo), siendo esta última especie la que presentó mayor densidad (35.04 individuos/100 m²), ver Tabla 4.7. Seguidas en términos de presencia y densidad por otras 13 especies que fueron registradas en, al menos, 2 estaciones de muestreo. Todas las demás especies de invertebrados se registraron como única presencia y presentaron densidades entre 0.33 y 3 individuos/100 m².

Tabla 4.7 - Indicadores de abundancia (presencia, frecuencia de presencia y densidad) de las especies de invertebrados con presencia superior a uno, en la campaña de muestreo del 31 de mayo a 7 de junio de 2007 (época fría), en la Bahía de Murdeira, Isla de Sal (Cabo Verde).

Especies	Presencia (n°)	Frecuencia de Presencia (%)	Densidad (n°/100 m²)
<i>Millepora alcicornis</i>	19	82.61	13.49
<i>Porites astreoides</i>	19	82.61	8.26
<i>Distaplia corolla</i>	18	78.26	35.04
<i>Dasychone lucullana</i>	18	78.26	9.41
<i>Siderastrea radians</i>	15	65.22	19.78
<i>Favia fragum</i>	15	65.22	4.11
<i>Ircinia</i> sp.	9	39.13	3.78
<i>Sthenorhynchus</i>	9	39.13	2.07
<i>Palythoa caribbaeorum</i>	7	30.43	2.86
<i>Hermodice carunculata</i>	6	26.09	4.11
<i>Euapta lappa</i>	6	26.09	0.67
<i>Acanthaster</i> sp.	5	21.74	1.20
Porifera n.i.	4	17.39	1.50
<i>Tambja fantasmalis</i>	4	17.39	0.75
<i>Palythoa</i> sp.	3	13.04	1.89
<i>Flabellina bulbosa</i>	3	13.04	0.67
<i>Balanus</i> sp.	2	8.70	4.00
<i>Pinna nubilis</i>	2	8.70	0.33
<i>Diadema antillarum</i>	2	8.70	0.33

El índice de diversidad de Shannon-Wiener, osciló entre 0.4 y 2.16 respectivamente en SN09 y IN03, presentando tendencia a aumentar con la profundidad (ver Tabla 4.8). Las diferencias entre los dos rangos de profundidad, en términos de diversidad, se confirmaron con el test t-student (Tabla 4.9). En lo que respecta a las comparaciones entre las mismas estaciones, en términos de índice de diversidad, por posición geográfica o por estrato y por categorías de sustrato, los resultados de test t-student o ANOVA, respectivamente, se mostraron no significativos (Tablas 4.9 y 4.11).

El índice de riqueza de Margalef, osciló entre 0.39 y 2.98 respectivamente en SS31 y IS12, presentando tendencia a aumentar con la profundidad (ver Tabla 4.8). Las diferencias entre los dos rangos de profundidad, en términos de riqueza, se confirmaron con la prueba no paramétrica de

Mann-Whitney (Tabla 4.10). Entre los estratos, también se confirmaron diferencias significativas, mediante la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis y por el procedimiento de Dunn (con corrección de Bonferroni) para comparaciones múltiples pareadas. También estas confirmaron las diferencias según el rango de profundidad, ya que entre los estratos del mismo rango de profundidad no se verificaron diferencias significativas (Tabla 4.12). En lo que respecta a las comparaciones entre las mismas estaciones, en términos de índice de riqueza de Margalef, por posición geográfica o por clases de sustrato, los resultados de la prueba no paramétrica de Mann-Whitney o ANOVA, respectivamente, se mostraron no significativos (Tablas 4.10 y 4.11).

La densidad total de organismos invertebrados, por replica de transepto (área de 100 m²), osciló entre 0 y 204 individuos/100 m². Considerando por estación de muestreo tres replicas de transeptos, los valores de densidad total oscilaron entre 8.7 y 183 individuos/100 m², en las estaciones SS30 y SN38 respectivamente (Tabla 4.7). Esto indicó, mayor variabilidad en la región somera, comparativamente con los demás rangos de profundidad y, además, se registraron los mayores valores de densidad total en el estrato somero sur. Sin embargo, el test t-student reveló que no hubo diferencia significativa entre los rangos de profundidad, en términos de densidad total (Tabla 4.9). Tampoco se verificaron diferencias significativas entre las densidades totales de las diferentes estaciones de muestreo, comparándolas por posiciones geográficas, por estratos o por clases de sustrato, por medio de test t-student, ANOVA o prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis, respectivamente (Tablas 4.9, 4.11 y 4.12).

Tabla 4.8 - Índices de riqueza de Margalef (d), de equitatividad de Pielou (J'), de diversidad de Shannon-Wiener (H') y de Simpson ($1-\lambda'$) indicadores de abundancia (número por muestreo y densidad total) de la fauna de invertebrados bentónicos, en la campaña de muestreo del 31 de mayo a 7 de junio de 2007 (época fría), en la Bahía de Murdeira, Isla de Sal (Cabo Verde). S – número de especies; N – número de individuos.

Estación de muestreo	S	N	d	J'	$H'(\log e)$	$1-\lambda'$	Dens Total (n°/100 m ²)
SN28	9	409	1.33	0.48	1.05	0.58	136.3
SN34	7	77	1.38	0.72	1.40	0.69	25.7
SN36	3	135	0.41	0.81	0.89	0.56	45.0
SN38	9	549	1.27	0.67	1.47	0.69	183.0
SN04	7	258	1.08	0.71	1.37	0.67	86.0
SN09	5	133	0.82	0.25	0.40	0.18	44.3
SS11	6	297	0.88	0.90	1.61	0.79	99.0
SS20	7	292	1.06	0.73	1.43	0.73	97.3
SS27	8	301	1.23	0.62	1.30	0.64	100.3
SS30	4	26	0.92	0.94	1.30	0.74	8.7
SS31	3	165	0.39	0.47	0.52	0.27	55.0
SS32	6	373	0.84	0.50	0.89	0.42	124.3
IN22	11	210	1.87	0.43	1.03	0.45	70.0
IN25	9	303	1.40	0.86	1.89	0.82	101.0
IN26	10	80	2.05	0.72	1.65	0.74	26.7
IN03	14	290	2.29	0.82	2.16	0.86	96.7
IN35	7	151	1.20	0.56	1.09	0.52	50.3
IN05	8	102	1.51	0.73	1.52	0.70	34.0
IS12	16	153	2.98	0.69	1.92	0.73	51.0
IS16	14	159	2.57	0.74	1.96	0.80	53.0
IS19	8	77	1.61	0.78	1.63	0.75	25.7
IS37	7	502	0.96	0.66	1.28	0.60	167.3
PN33	10	136	1.83	0.62	1.42	0.62	45.3
Máximo	16	549	2.98	0.94	2.16	0.86	183.0
Mínimo	3	26	0.39	0.25	0.40	0.18	8.7

Tabla 4.9 - Resultados de los test t-student para comparaciones en términos de diversidad de Shannon-Wiener y densidad total de la comunidad de invertebrados bentónicos, entre las estaciones de muestreo, en la Bahía de Murdeira, según la profundidad y la posición geográfica. Nivel de significancia corresponde a 0.05, Dif. (Diferencia), t obs (valor observado), t crit (valor crítico) y Gl (grados de libertad). En **negrita**, los resultados de p-valor significativos.

Comparaciones	Dif.	t obs	t crit	Gl	p-valor
Diversidad de Shannon-Wiener					
Entre profundidades	-0.478	-2.895	2.086	20	0.009
Entre posiciones geográficas	-0.056	-0.287	2.086	20	0.777
Densidad total					
Entre profundidades	0.408	0.802	2.086	20	0.432
Entre posiciones geográficas	-0.078	-0.151	2.086	20	0.882

Tabla 4.10 - Resultados de los test no paramétricos de Mann-Whitney (supuestos para test paramétricos no cumplidos) para comparaciones, en términos de Riqueza de Margalef, de la comunidad de invertebrados bentónicos, entre las estaciones de muestreo, en la Bahía de Murdeira, según la profundidad y la posición geográfica. Nivel de significancia corresponde a 0.05, U (estadística del test), Esp (Esperanza) y Var. (Variancia). En **negrita**, los resultados de p-valor significativos.

Comparaciones	U	Esp	Var	p-valor
Riqueza de Margalef				
Entre profundidades	10.000	60.000	230.000	0.000
Entre posiciones geográficas	73.000	60.000	230.000	0.418

Tabla 4.11 - Resultados del ANOVA para comparaciones en términos de diversidad de Shannon-Wiener, Riqueza de Margalef y densidad total de la comunidad de invertebrados bentónicos, entre las estaciones de muestreo, en la Bahía de Murdeira, según el estrato y la categoría de sustrato. Nivel de significancia corresponde a 0.05, Gl (grados de libertad), C. M. (cuadrados medio) F-valor (valor observado) y Pr (probabilidad). En **negrita**, los resultados de p-valor significativos.

Comparaciones	Gl	C. M.	F-valor	Pr
Diversidad de Shannon-Wiener				
Entre estratos	3	0.438	2.706	0.076
Entre clases de sustratos	3	0.124	0.580	0.635
Riqueza de Margalef				
Entre clases de sustratos	3	0.841	2.342	0.107
Densidad total				
Entre estratos	3	0.383	0.246	0.863

Tabla 4.12 - Resultados de la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis (supuestos para ANOVA no cumplidos) para comparaciones en términos de riqueza de Margalef y densidad total de la comunidad de invertebrados bentónicos, entre las estaciones de muestreo, en la Bahía de Murdeira, según el estrato y la categoría de sustrato. Nivel de significancia corresponde a 0.05, K obs (valor observado), K crit (valor crítico) y gl (grados de libertad). Última columna los resultados de comparaciones múltiples pareadas por el procedimiento de Dunn, en los casos en que los p-valores del test anterior fueron significativos. En **negrita**, los resultados de p-valor significativos.

Comparaciones	K obs	K crit	Gl	p-valor	Dunn
Riqueza de Margalef					
Entre estratos	11.520	7.815	3	0.009	SN ^{AB} , SS ^A , IN ^B , IS ^B
Densidad total					
Entre clases de sustratos	2.549	7.815	3	0.467	

Como se observa en la Figura 4.1, en el gráfico Análisis de Escalamiento Multidimensional (MDS), las estaciones de muestreo no se separaron en distintos grupos. Sin embargo, señalando las estaciones de muestreo según el rango de profundidad, se constató la disposición más cercana entre las estaciones correspondientes al mismo rango de profundidad, pero con gran grado de sobreposición, particularmente entre los rangos somero e intermedio. Por medio del ANOSIM se confirmaron las mismas tendencias; las diferencias entre las estaciones de muestreo no fueron significativas, comparándolas por profundidad, posición geográfica, estrato o categoría de sustrato, siendo los valores de R en ambas comparaciones muy cercanos a 0 (

Tabla 4.13). Aunque no se verificaron diferencias significativas entre los diferentes grupos, se aplicó la rutina SIMPER para análisis de las similitudes y disimilitudes entre grupos, con base en los mismos factores. Se constató que independientemente del factor de agrupamiento de las estaciones de muestreo utilizado, generalmente, las mismas especies estuvieron entre las dominantes que determinaron las similitudes: *Millepora alcicornis*, *Porites astreoides*, *Siderastrea radians*, *Distaplia corola* y *Dasychone lucullana*. En algunos grupos, solo tres o cuatro de estas especies fueron dominantes o, en algunos casos otras especies estuvieron entre las dominantes. Las diferencias encontradas entre los distintos grupos se respetaron en el orden de dominancia de las especies.

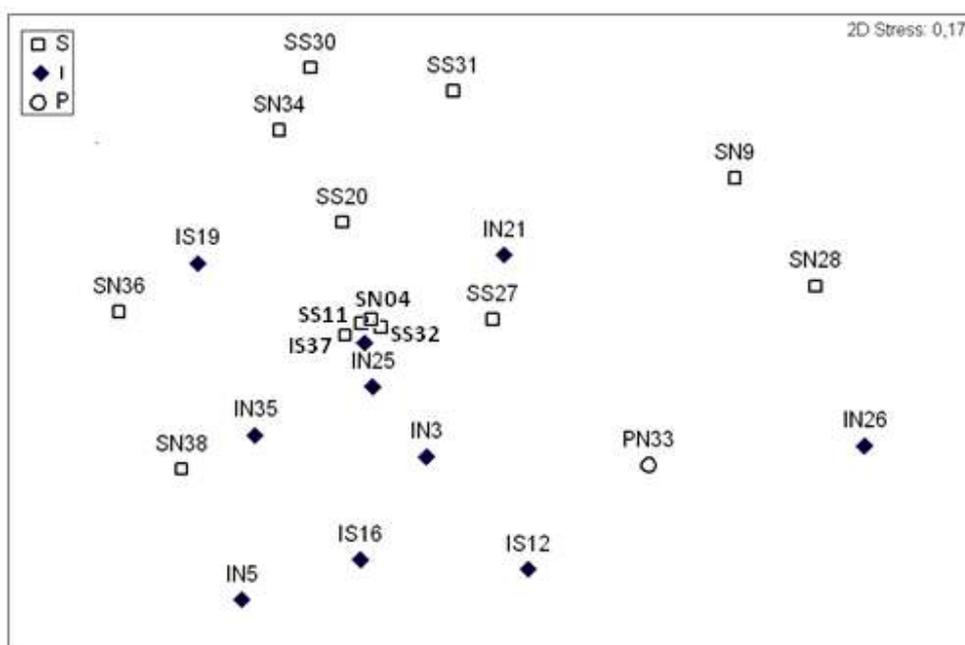


Figura 4.1 - Análisis de Escalamiento Multidimensional - MDS (índice de similitud: Bray-Curtis posterior a transformación $\log x + 1$) la densidad de las especies de invertebrados bentónicos, por estación de muestreo, referente a la segunda campaña, en la Bahía de Murdeira, Isla de Sal (Cabo Verde). Señaladas según el rango de profundidad: S (somero), I (intermedio), P (profundo).

Tabla 4.13 - Resultados del ANOSIM para comparaciones en términos de la estructura de la comunidad de invertebrados bentónicos, entre las estaciones de muestreo, en la Bahía de Murdeira, según el estrato, la profundidad, la posición geográfica y categoría de sustrato.

Comparaciones	R	p-valor
Entre estratos	0.103	0.090
Entre profundidades	0.147	0.032
Entre posiciones geográficas	-0.020	0.583
Entre clases de sustratos	0.177	0.045

4.3.2 - COMPOSICIÓN Y ESTRUCTURA DE LA COMUNIDAD ÍCTICA DEMERSAL

Los censos visuales de peces óseos (teleósteos), realizados en la Bahía de Murdeira, durante las dos campañas de muestreo, 23 de septiembre a 4 de octubre de 2006 (época caliente) y 31 de Mayo a 7 de junio de 2007 (época fría), registraron 58 especies, pertenecientes a 28 familias (Tabla 4.14). De estas, solamente dos especies fueron identificadas hasta solo el nivel de género. En totalidad, fueron contabilizados 8,271 individuos, siendo que la mayoría, uno 60% de los individuos, fue observada en la segunda campaña. Sin embargo, el número de especies ha sido mayor en la primera campaña, con 52 especies, contra 43 especies observadas en la campaña siguiente.

Las familias más representativas, en términos de número de especies, fueron: Pomacentridae (7 sp.), Sparidae (6 sp.), Labridae (5 sp.); Carangidae, Haemulidae, Scaridae, y Serranidae con 3 especies cada. Otras 7 familias fueron representadas por tan solo 2 especies y las demás 14 familias presentaron una única especie.

La mayoría de las especies de peces registradas son consideradas especies con valor comercial (Monteiro, 1998). Además, de las 14 especies de teleósteos endémicos del archipiélago de Cabo Verde, fueron observadas 6 especies en la Bahía de Murdeira, a lo largo del periodo de estudio, a saber: *Diplodus sargus lineatus* (Sargo branco), *Diplodus prayensis* (Sargo salema), *Diplodus fasciatus* (Sargo preto), *Virididentex acromegalus* (Benteia), *Similiparma hermani* (Rabopá-mané) y *Chromis lubbocki* (Burrinho).

No obstante del número de individuos y de especies observados en ambas campañas, tan solo cinco (5) especies se corresponden con más de un 50% de la frecuencia numérica total (Tablas 4.15 y 4.16). De estas, las especies *Acanthurus monroviae* y *Sparisoma cretense*, fueron de las más abundantes en las dos campañas. Alrededor del 90% de la frecuencia numérica total, correspondió a la suma de 20 y 19 especies respectivamente en la primera y la segunda campaña, entre ellas 14 se registraron en ambas campañas.

Tabla 4.14 - Clasificaciones taxonómica y trófica (de acuerdo con Halpern & Floeter, 2008 y Freitas, 2012) de la ictiofauna demersal en las dos campañas de muestreo, 23 de septiembre a 4 de octubre de 2006 (época caliente) y 31 de mayo a 7 de junio de 2007 (época fría), en la Bahía de Murdeira, Isla de Sal (Cabo Verde). ¹ y ², indican respectivamente, las especies observadas en la primera o la segunda campaña. HEV- herbívoros no territorialistas; HET - herbívoros territorialistas; INM – comedores de invertebrados móviles; INS – comedores de invertebrados sesiles; PIS – piscívoros; CAR – carnívoros; OMN – omnívoros y PLT – planctívoros, ? - dudoso.

Familia	Especie	Nombre común	Autor	Grupo trófico
Acanthuridae	<i>Acanthurus monroviae</i>	Barbeiro	Steindachner, 1876	HEV
Apogonidae	<i>Apogon imberbis</i>	Alcarraz	(Linnaeus, 1758)	INM
Aulostomidae	<i>Aulostomus strigosus</i>	Tururu	Wheeler, 1955	PIS
Balistidae	<i>Balistes capriscus</i>	Fambil	Gmelin, 1789	INM
	<i>Balistes punctatus</i>	Fambil	Gmelin, 1789	INM
Blennidae	<i>Entomacrodus cadenati</i> ¹	Patigal	Springer, 1967	HEV
	<i>Ophioblennius atlanticus atlanticus</i> ¹	Barroca	(Valenciennes, 1836)	HET
Bothidae	<i>Bothus podas</i> ²	Linguado	(Delaroche, 1809)	INM
Carangidae	<i>Caranx crysos</i>	Bonito	(Mitchill, 1815)	CAR
	<i>Pseudocaranx dentex</i> ²	Roncador	(Bloch & Schneider, 1801)	PIS
	<i>Trachinotus ovatus</i> ¹	Pelombeta	(Linnaeus, 1758)	INM
Centracanthidae	<i>Spicara melanurus</i>	Dobrada	(Valenciennes, 1830)	INM
Chaetodontidae	<i>Chaetodon hoefleri</i>	Peixe borboleta	Steindachner, 1881	INS
	<i>Holacanthus africanus</i>	Feitiçeira	Cadenat, 1951	OMN
Diodontidae	<i>Chilomycterus reticulatus</i> ¹	Crum	(Linnaeus, 1758)	INS
Ginglymostomatidae	<i>Ginglymostoma cirratum</i>	Gata dormideira	(Bonnaterre, 1788)	CAR
Gobiidae	<i>Bathygobius casamancus</i> ²	Mané cabeça d'areia	(Rochebrune, 1880)	INM
Grammistidae	<i>Rypticus saponaceus</i> ¹	Peixe sabão	(Bloch & Schneider, 1801)	CAR
Haemulidae	<i>Parapristipoma humile</i>	Papagaio	(Bowdich, 1825)	INM
	<i>Pomadasys incisus</i> ¹	Besugo ²	(Bowdich, 1825)	INM
	<i>Pomadasys rogeri</i> ¹	Abroto	(Cuvier, 1830)	INM
Holocentridae	<i>Myripristis jacobus</i>	Rainha	Cuvier, 1829	CAR
	<i>Sargocentron hastatus</i>	Rei	(Cuvier, 1829)	CAR
Labridae	<i>Bodianus speciosus</i>	Bedja	(Bowdich, 1825)	INM
	<i>Coris julis</i>	Fita	(Linnaeus, 1758)	INM
	<i>Halichoeres sp.</i> ²			INM
	<i>Thalassoma pavo</i>	Cornudo	(Linnaeus, 1758)	INM
	<i>Xyrichtys novacula</i>	Peixe elefante	(Linnaeus, 1758)	INM?
Lethrinidae	<i>Lethrinus atlanticus</i> ¹	Bica de roca	Valenciennes, 1830	CAR
Lutjanidae	<i>Lutjanus fulgens</i> ²	Goraz	(Valenciennes, 1830)	CAR
Mullidae	<i>Mulloidichthys martinicus</i>	Fótche	(Cuvier, 1829)	INM
	<i>Pseudopeneus prayensis</i>	Salmonete	(Cuvier, 1829)	INM
Muraenidae	<i>Gymnothorax afer</i> ¹	Moreia preta	Bloch, 1795	CAR
	<i>Gymnothorax vicinus</i> ¹	Moreia preta2	(Castelnau, 1855)	CAR
Pomacentridae	<i>Abudefduf hoefleri</i>	Castanheta preta	(Steindachner, 1881)	HER

Tabla 4.14 – (Continuación)

Pomacentridae	<i>Abudefduf luridus</i> ¹	Castanheta	(Cuvier, 1830)	OMN
	<i>Abudefduf saxatilis</i>	Castanheta2	(Linnaeus, 1758)	OMN
	<i>Abudefduf sp.</i> ¹			OMN
	<i>Chromis lubbocki</i>	Burrinho2	Edwards, 1986	PLT
	<i>Chromis multilineata</i>	Burrinho	(Guichenot, 1853)	PLT
	<i>Similiparma hermani</i>	Pa-Mané	(Steindachner, 1887)	HER
Priacanthidae	<i>Priacanthus arenatus</i>	Façola	Cuvier, 1829	OMN
Scaridae	<i>Scarus hoefleri</i>	Bidião carnaval	(Steindachner, 1881)	HEV
	<i>Sparisoma choati</i>	Bidião capil	Rocha, Brito & Robertson, 2012	HEV
	<i>Sparisoma cretense</i>	Bidião	(Linnaeus, 1758)	HEV
Scorpaenidae	<i>Scorpaena elongata</i> ¹	Charroco	Cadenat, 1943	INM
	<i>Scorpaena scrofa</i> ²	Garoupa de Madeira	Linnaeus, 1758	INM
Serranidae	<i>Cephalopholis taeniops</i>	Garoupa	(Valenciennes, 1828)	CAR
	<i>Epinephelus costae</i>	Badejo riscado	(Steindachner, 1878)	CAR
	<i>Mycteroperca fusca</i>	Badejo	(Lowe, 1838)	PIS?
Sparidae	<i>Diplodus fasciatus</i>	Sargo preto	(Valenciennes, 1830)	PIS
	<i>Diplodus prayensis</i>	Sargo salema	Cadenat, 1964	OMN
	<i>Diplodus puntazzo</i> ¹	Sargo bicudo	(Walbaum, 1792)	OMN
	<i>Diplodus sargus lineatus</i>	Sargo branco	(Valenciennes, 1830)	OMN
	<i>Lithognathus mormyrus</i>	Sargo d'arena	(Linnaeus, 1758)	OMN
	<i>Virididentex acromegalus</i>	Benteia	(Osório, 1911)	OMN
Synodontidae	<i>Synodus saurus</i> ¹	Lagartixa	(Linnaeus, 1758)	CAR
Tetraodontidae	<i>Canthigaster capistrata</i>	Ratinho	(Bloch, 1786)	INS

El porcentaje de juveniles en relación al número total de individuos fue alrededor de un 30% en ambas campañas, siendo por especies los valores muy diversos y con diferencias acentuadas entre las diferentes campañas (Tablas 4.15 y 4.16). Con excepción de las especies *Acanthurus monroviae*, *Sparisoma cretense* y *Thalassoma pavo*, donde los porcentajes de juveniles fueron semejantes entre las dos campañas.

En la primera campaña, la frecuencia de presencia varió entre 4.35 y 69.57, correspondiendo respectivamente, a una presencia en 1 y 16 estaciones de muestreo, en la cual 14 especies se registraron solo en una estación de muestreo. La especie que presentó mayor frecuencia de presencia fue *Pseudopeneus prayensis*, seguido de *Sparisoma cretense*. La frecuencia de presencia en la segunda campaña tendió a ser mayor, presentando valores entre 4.17 y 87.5, correspondientes respectivamente, a una presencia en 1 y 21 estaciones de muestreo. Siendo *Sparisoma cretense*,

seguido de *Pseudopeneus prayensis*, las especies de mayor presencia. Además, solo 9 especies se registraron en una sola estación de muestreo.

Tabla 4.15 - Indicadores de abundancia (número de individuos, frecuencia numérica, frecuencia numérica acumulada, presencia, frecuencia de presencia y porcentaje de juveniles) de la ictiofauna que comprende un 90% de los individuos observados en la campaña de muestreo del 23 de septiembre a 4 de octubre de 2006 (época caliente), en la Bahía de Murdeira, Isla de Sal (Cabo Verde).

Especies	Total	Frec. Num.	Frec. Num. Acum.	Pre.	Freq. Pre.	%Juv.
<i>Acanthurus monroviae</i>	399	12.03	12.03	15	65.22	26.07
<i>Sparisoma cretense</i>	391	11.79	23.82	15	65.22	66.50
<i>Abudefduf luridus</i>	367	11.06	34.88	4	17.39	0.00
<i>Chromis multilineata</i>	355	10.70	45.58	9	39.13	39.15
<i>Pseudopeneus prayensis</i>	240	7.24	52.82	16	69.57	30.83
<i>Diplodus prayensis</i>	164	4.94	57.76	7	30.43	23.17
<i>Diplodus sargus lineatus</i>	133	4.01	61.77	9	39.13	3.01
<i>Thalassoma pavo</i>	107	3.23	65.00	8	34.78	54.21
<i>Sargocentron hastatus</i>	102	3.08	68.07	11	47.83	32.35
<i>Abudefduf hoefleri</i>	100	3.01	71.09	1	4.35	0.00
<i>Spicara melanurus</i>	100	3.01	74.10	1	4.35	0.00
<i>Diplodus fasciatus</i>	94	2.83	76.94	4	17.39	0.00
<i>Entomacrodus cadenati</i>	91	2.74	79.68	5	21.74	30.77
<i>Bodianus speciosus</i>	80	2.41	82.09	9	39.13	21.25
<i>Aulostomus strigosus</i>	75	2.26	84.35	10	43.48	34.67
<i>Chromis lubbocki</i>	54	1.63	85.98	3	13.04	22.22
<i>Lithognathus mormyrus</i>	40	1.21	87.19	4	17.39	0.00
<i>Cephalopholis taeniops</i>	36	1.09	88.27	9	39.13	52.78
<i>Holacanthus africanus</i>	36	1.09	89.36	7	30.43	30.56
<i>Parapristipoma humile</i>	35	1.06	90.41	2	8.70	100.00
Máximo	399	12.03	90.41	16	69.57	100.00
Mínimo	35	1.06	12.03	1	4.35	0.00
Total	3,317	100.00	100.00	23	100.00	28.16

Tabla 4.16 - Indicadores de abundancia (número de individuos, densidad, densidad acumulada, presencia, frecuencia de presencia y porcentaje de juveniles) de la ictiofauna que comprende un 90% de los individuos observados en la campaña de muestreo del 31 de mayo a 7 de junio de 2007 (época fría), en la Bahía de Murdeira, Isla de Sal (Cabo Verde).

Especies	Total	Frec. Num.	Frec. Num. Acum.	Pre.	Freq. Pre.	%Juv.
<i>Chromis lubbocki</i>	1,057	21.34	21.34	15	62.50	7.85
<i>Acanthurus monroviae</i>	567	11.45	32.78	16	66.67	30.16
<i>Parapristipoma humile</i>	386	7.79	40.57	3	12.50	18.13
<i>Sparisoma cretense</i>	308	6.22	46.79	21	87.50	60.39
<i>Diplodus fasciatus</i>	270	5.45	52.24	10	41.67	5.56
<i>Bathygobius casamancus</i>	231	4.66	56.90	3	12.50	98.70
<i>Pseudopeneus prayensis</i>	231	4.66	61.57	18	75.00	19.48
<i>Diplodus prayensis</i>	206	4.16	65.72	11	45.83	6.80
<i>Diplodus sargus lineatus</i>	206	4.16	69.88	11	45.83	16.02
<i>Abudefduf hoefleri</i>	152	3.07	72.95	6	25.00	1.32
<i>Bodianus speciosus</i>	140	2.83	75.78	13	54.17	45.71
<i>Thalassoma pavo</i>	119	2.40	78.18	6	25.00	68.91
<i>Apogon imberbis</i>	108	2.18	80.36	1	4.17	100.00
<i>Aulostomus strigosus</i>	108	2.18	82.54	8	33.33	15.74
<i>Cephalopholis taeniops</i>	88	1.78	84.32	12	50.00	32.95
<i>Sparisoma choati</i>	88	1.78	86.09	8	33.33	36.36
<i>Sargocentron hastatus</i>	83	1.68	87.77	10	41.67	18.07
<i>Canthigaster rostrata</i>	77	1.55	89.32	6	25.00	14.29
<i>Spicara melanurus</i>	70	1.41	90.73	1	4.17	0.00
Máximo	1057	21.34	90.73	21	87.5	100
Mínimo	70	1.41	21.34	1	4.17	0
Total	4,954	100.00	100.00	24	100.00	27.33

El conjunto de los índices de riqueza de Margalef (d), de equitatividad de Pielou (J'), de diversidad de Shannon-Wiener (H') y de Simpson (1-λ'), más los indicadores de abundancia (número por muestreo y densidad total) de la ictiofauna demersal, se presentaron muy variables en las dos campañas (Tablas 4.17 y 4.18). Las variaciones no evidenciaron ninguna tendencia, ya sea distribuyéndose las estaciones de muestreo por estrato, por profundidad, por posición geográfica o por categoría de sustrato. Además, aplicando los correspondientes test estadísticos (de acuerdo con

lo propuesto en el tratamiento de datos), se comprobó que no hubo diferencias significativas en ninguna de las comparaciones, teniendo en cuenta cualquiera de los factores apuntados arriba (Tablas 4.19 a 4.22). La única excepción fue en cuanto a los resultados del índice de diversidad de Shannon-Wiener, relativos a la primera campaña, en que la comunidad íctica demersal según las categorías de sustrato, presentó diferencias significativas (Tabla 4.21). Los valores de riqueza de Margalef, de diversidad de Shannon-Wiener y de densidad total entre las dos campañas de muestreo fueron también comparados, donde solamente el último reveló diferencias significativas entre los dos años (Tablas 4.19 a 4.20).

Como se observa en la Figura 4.2, en el gráfico Análisis de Escalamiento Multidimensional (MDS) referente a la comunidad íctica demersal de la primera campaña, la mayor parte de las estaciones de muestreo se agruparon, con excepción de tres de las cuatro señaladas con la categoría de sustrato arena (A), que quedaron aisladas entre ellas y del grupo formado por la mayoría de las de la categoría de sustrato arena y piedra (AP) y roca (R). Esto se traduce también de los resultados obtenidos en las pruebas paramétricas y no paramétricas, en los que la única diferencia significativa que se verificó entre las estaciones de muestreo correspondientes a la primera campaña fue, según la categoría de sustrato (Tablas 4.19 a 4.22). Respecto a la segunda campaña, en el gráfico Análisis de Escalamiento Multidimensional (MDS) que se presenta en la Figura 4.3, la mayoría de las estaciones se quedaron agrupadas. Sin embargo, eligiéndolas según el rango de profundidad se verificó que las intermedias se quedaron más cerca entre ellas y lo mismo se verificó en cuanto a las someras, pero con gran sobreposición entre los dos conjuntos. Esto también se constató por medio de los resultados de ANOSIM, no habiéndose distinguido grupos.

La estructura de la ictiofauna demersal observada en ambas campañas de muestreo, analizadas por medio del ANOSIM, se mostró sin diferencias significativas entre los grupos formados para cualquiera de los factores establecidos, siendo los valores de R muy cercanos a 0 (Tabla 4.23). Referente a la primera campaña, destacamos que, en cuanto al factor categoría de sustrato, el resultado de ANOSIM fue $R = 0.206$ y $p\text{-valor} = 0.056$, denotando así un ligero grado de distinción entre los grupos de la ictiofauna demersal. De acuerdo con los resultados de la aplicación de la rutina SIMPER, la gran similitud entre los grupos fue definida esencialmente por la dominancia de unas pocas especies, siendo *Acanthurus monroviae*, *Sparisoma cretense* y *Pseudopenaeus prayensis* los mayores contribuyentes en casi todos los grupos, incluyendo *Chromis lubbocki* en el segundo periodo. Las diferencias solo se revelaron en términos de grado de dominancia de las mismas especies en los diferentes grupos.

Tabla 4.17 – Resultados de los índices de riqueza de Margalef (d), de equitatividad de Pielou (J'), de diversidad de Shannon-Wiener (H') y de Simpson (1-λ'), número de especies (S), indicadores de abundancia (número de individuos por muestreo y densidad total) de la ictiofauna demersal, en la campaña de muestreo del 23 de septiembre a 4 de octubre de 2006 (época caliente), en la Bahía de Murdeira, Isla de Sal (Cabo Verde).

Estación de muestreo	S	N	d	J'	H'(loge)	1-λ'	Dens Total (n°/100 m ²)
SN10	12	228	2.03	0.74	1.84	0.79	30.40
SN04	4	7	1.54	0.98	1.35	0.86	1.40
SN09	21	723	3.04	0.66	2.01	0.77	144.60
SS11	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
SS15	7	93	1.32	0.63	1.22	0.64	12.40
SS16	19	398	3.01	0.87	2.56	0.91	79.60
SS17	6	98	1.09	0.78	1.39	0.74	19.60
IN22	17	222	2.96	0.78	2.20	0.86	88.80
IN23	16	193	2.85	0.90	2.49	0.91	25.73
IN24	3	21	0.66	0.66	0.73	0.45	2.80
IN03	8	72	1.64	0.62	1.29	0.59	16.00
IN05	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
IS12	13	98	2.62	0.82	2.10	0.84	13.07
IS14	10	119	1.88	0.72	1.65	0.76	15.87
IS19	18	276	3.03	0.62	1.78	0.71	36.80
IS20	10	63	2.17	0.91	2.09	0.87	7.68
IS21	14	363	2.21	0.85	2.24	0.86	72.60
PN01	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
PN02	10	73	2.10	0.78	1.79	0.78	14.60
PN06	4	14	1.14	0.79	1.09	0.66	2.80
PN08	11	25	3.11	0.95	2.29	0.93	2.84
PS13	10	221	1.67	0.74	1.71	0.74	44.20
PS07	2	10	0.43	0.72	0.50	0.36	2.00
Máximo	21	723	3.11	0.98	2.56	0.93	144.60
Mínimo	2	7	0.43	0.62	0.50	0.36	1.40

Tabla 4.18 - Índices de riqueza de Margalef (d), de equitatividad de Pielou (J'), de diversidad de Shannon-Wiener (H') y de Simpson (1-λ'), número de especies (S), indicadores de abundancia (número de individuos por muestreo y densidad total) de la ictiofauna demersal, en la campaña de muestreo del 31 de mayo a 7 de junio de 2007 (época fría), en la Bahía de Murdeira, Isla de Sal (Cabo Verde).

Estación de muestreo	S	N	d	J'	H'(loge)	1-λ'	Dens Total (nº/100 m ²)
SN28	12	417	1.82	0.62	1.54	0.64	139.00
SN34	5	36	1.12	0.80	1.29	0.70	12.00
SN36	5	61	0.97	0.77	1.25	0.68	20.33
SN38	13	279	2.13	0.82	2.11	0.85	93.00
SN04	11	125	2.07	0.74	1.77	0.73	41.67
SN09	11	111	2.12	0.45	1.08	0.46	37.00
SS11	8	73	1.63	0.85	1.76	0.82	24.33
SS20	19	252	3.26	0.83	2.45	0.88	84.00
SS27	6	34	1.42	0.94	1.69	0.83	11.33
SS30	3	9	0.91	0.91	1.00	0.67	3.00
SS31	1	1	****	****	0	***	0.33
SS32	19	509	2.89	0.87	2.56	0.90	169.67
IN22	2	26	0.31	0.98	0.68	0.51	8.67
IN25	13	435	1.98	0.49	1.27	0.51	145.00
IN26	9	114	1.69	0.93	2.05	0.86	38.00
IN03	14	647	2.01	0.76	2.01	0.82	215.67
IN35	13	270	2.14	0.72	1.84	0.78	90.00
IN05	4	11	1.25	0.93	1.29	0.76	3.67
IS12	10	126	1.86	0.95	2.18	0.88	42.00
IS16	24	903	3.38	0.78	2.49	0.87	301.00
IS19	15	356	2.38	0.45	1.22	0.49	118.67
IS29	10	85	2.03	0.90	2.07	0.86	28.33
IS37	5	43	1.06	0.69	1.10	0.60	14.33
PN33	7	31	1.75	0.88	1.72	0.81	10.33
Máximo	24	903	3.38	0.98	2.56	0.90	301.00
Mínimo	1	1	0.31	0.45	0.00	0.46	0.33

Tabla 4.19 - Resultados de los test t-student para comparaciones en términos de diversidad de Shannon-Wiener y densidad total de la comunidad de peces demersales, entre las estaciones de muestreo, en la Bahía de Murdeira, según la posición geográfica. Nivel de significancia corresponde a 0.05, Dif. (Diferencia), t obs (valor observado), t crit (valor crítico) y Gl (grados de libertad). En **negrita**, los resultados de p-valor significativos.

Comparaciones	Dif.	t obs	t crit	Gl	p-valor
Diversidad de Shannon-Wiener (primera campaña)					
Entre posiciones geográficas	-0.016	-0.062	2.101	18	0.952
Riqueza de Margalef (primera campaña)					
Entre posiciones geográficas	0.164	0.430	2.101	18	0.673
Diversidad de Shannon-Wiener (segunda campaña)					
Entre profundidades	0.027	0.117	2.086	20	0.908
Entre posiciones geográficas	-0.160	-0.693	2.086	20	0.496
Riqueza de Margalef (segunda campaña)					
Entre profundidades	0.023	0.069	2.086	20	0.945
Diversidad (entre las dos campañas)	0.046	0.275	2.020	41	0.784
Riqueza (entre las dos campañas)	0.191	0.799	2.020	41	0.429

Tabla 4.20 - Resultados de los test no paramétricos de Mann-Whitney (supuestos para test paramétricos no cumplidos) para comparaciones, en términos de Riqueza de Margalef, de la comunidad de peces demersales, entre las estaciones de muestreo, en la Bahía de Murdeira, según la posición geográfica. Nivel de significancia corresponde a 0.05, U (estadística del test), Esp (Esperanza) y Var. (Variancia). En **negrita**, los resultados de p-valor significativos.

Comparaciones	U	Esp	Var	p-valor
Densidad total (primera campaña)				
Entre posiciones geográficas	44.000	50.000	174.868	0.669
Densidad total (segunda campaña)				
Entre profundidades	49.000	60.500	231.917	0.478
Entre posiciones geográficas	72.000	60.000	230.000	0.456
Riqueza de Margalef (segunda campaña)				
Entre posiciones geográficas	48.000	60.000	230.000	0.456
Densidad total (entre las dos campañas)	147.000	230.000	1686.539	0.045

Tabla 4.21 - Resultados del ANOVA para comparaciones en términos de diversidad de Shannon-Wiener, Riqueza de Margalef y densidad total de la ictiofauna demersal, entre las estaciones de muestreo, en la Bahía de Murdeira, según el estrato, profundidad y la categoría de sustrato. Nivel de significancia corresponde a 0.05, Gl (grados de libertad), C. M. (cuadrados medio), F-valor (valor observado) y Pr (probabilidad). Comparaciones múltiples pareadas test de Tukey. En **negrita**, los resultados de p-valor significativos.

Comparaciones	Gl	C. M.	F-valor	Pr	Tukey
Diversidad de Shannon-Wiener (primera campaña)					
Entre clases de sustratos	3	0.829	3.711	0.034	AP ^A , R ^{AB} , AR ^{AB} , A ^B
Entre profundidades	2	0.215	0.648	0.535	
Riqueza de Margalef (primera campaña)					
Entre estratos	5	0.560	0.751	0.599	
Entre profundidades	2	0.461	0.635	0.542	
Entre clases de sustratos	3	1.564	2.925	0.066	
Diversidad de Shannon-Wiener (segunda campaña)					
Entre estratos	3	0.048	0.149	0.929	
Riqueza de Margalef (segunda campaña)					
Entre clases de sustratos	2	0.087	0.145	0.866	

Tabla 4.22 - Resultados de la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis para comparaciones en términos de densidad total y de diversidad de Shannon-Wiener de la ictiofauna demersal, entre las estaciones de muestreo de ambas campañas, en la Bahía de Murdeira, según el estrato, la profundidad, la posición geográfica y la categoría de sustrato. Nivel de significancia corresponde a 0.05, K obs (valor observado), K crit (valor crítico) y gl (grados de libertad). En **negrita**, los resultados de p-valor significativos.

Comparaciones	K obs	K crit	gl	p-valor
Diversidad (primera campaña)				
Entre estratos	2.791	11.070	5	0.778
Densidad total (primera campaña)				
Entre estratos	2.617	11.070	5	0.759
Entre profundidades	2.242	5.991	2	0.326
Entre clases de sustratos	6.069	7.815	3	0.108
Diversidad (segunda campaña)				
Entre clases de sustratos	3.032	7.815	3	0.387
Densidad total (segunda campaña)				
Entre estratos	2.542	9.488	4	0.637
Entre clases de sustratos	0.768	7.815	3	0.857
Riqueza (segunda campaña)				
Entre estratos	0.655	7.815	3	0.884

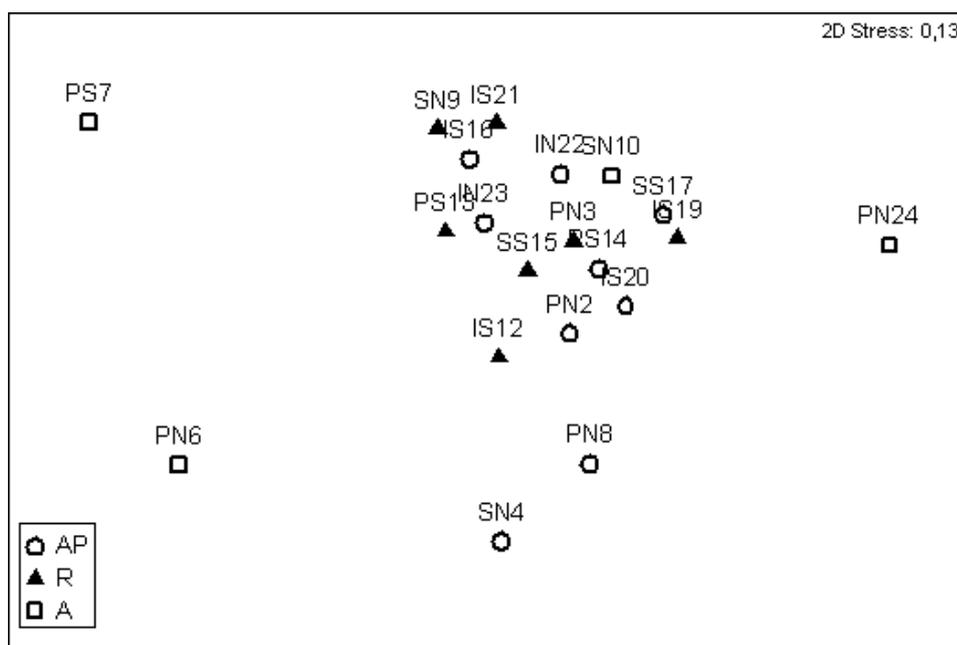


Figura 4.2 - Análisis de Escalamiento Multidimensional - MDS (índice de similitud: Bray-Curtis posterior a transformación $\log x + 1$) de la densidad de las especies de peces demersales, por estación de muestreo, referente a la primera campaña, en la Bahía de Murdeira, Isla de Sal (Cabo Verde). Señaladas según el rango la categoría de sustrato: AP (arena y piedra), R (roca), A (arena).

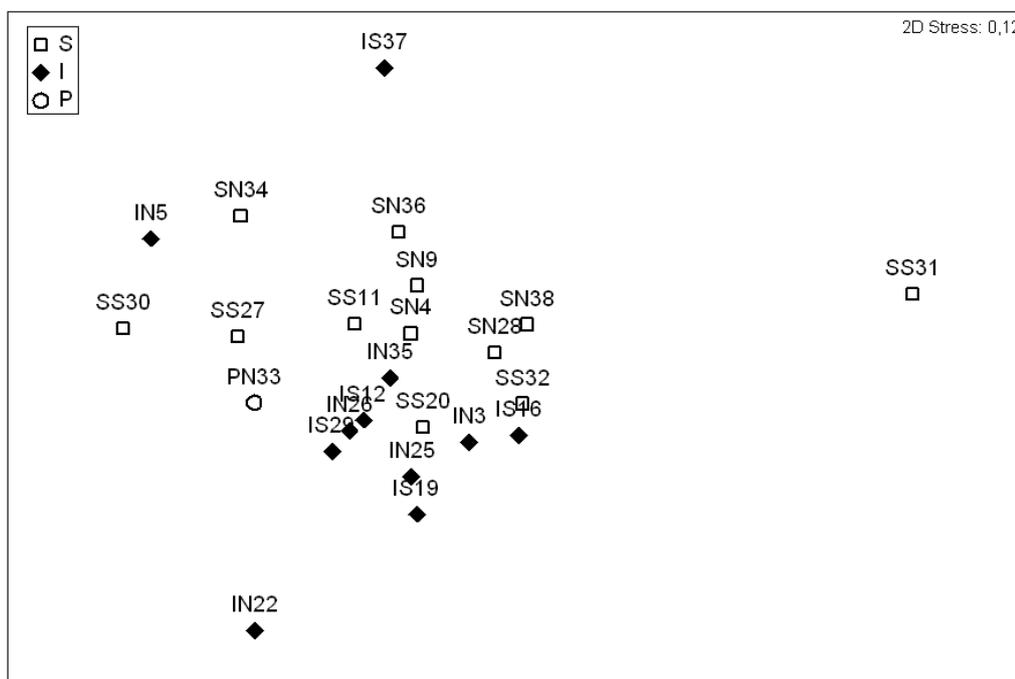


Figura 4.3 - Análisis de Escalamiento Multidimensional - MDS (índice de similitud: Bray-Curtis posterior a transformación $\log x + 1$) de la densidad de las especies de peces demersales, por estación de muestreo, referente a la segunda campaña, en la Bahía de Murdeira, Isla de Sal (Cabo Verde). Señaladas según el rango de profundidad: S (somero), I (intermedio), P (profundo).

Tabla 4.23 - Resultados del ANOSIM para comparaciones en términos de la estructura de la comunidad íctica demersal, entre las estaciones de muestreo de ambas campañas, en la Bahía de Murdeira, según el estrato, la profundidad, la posición geográfica y categoría de sustrato.

Comparaciones	R	p-valor
Septiembre de 2006		
Entre estratos	-0.142	0.915
Entre profundidades	-0.049	0.722
Entre posiciones geográficas	-0.062	0.899
Entre clases de sustratos	0.206	0.056
Junio de 2007		
Entre estratos	0.058	0.189
Entre profundidades	0.090	0.099
Entre posiciones geográficas	- 0.012	0.546
Entre clases de sustratos	- 0.129	0.964
Densidad total (entre las dos campañas)	0.101	0.003

4.3.3 - COBERTURA DEL HÁBITAT BENTÓNICO

Los porcentajes de cobertura de las diferentes categorías de sustrato, registradas en la primera campaña de muestreo (septiembre a octubre de 2006), variaron entre un 0.93 y un 33.88%, correspondiendo respectivamente a Roca y Arena (RA) y Arena (A), ver Tabla 4.24. En la segunda campaña (mayo a junio de 2007), la categoría de sustrato con menor porcentaje de cobertura que se registró, fue Rodolitos (RL) con un 4.34% y la de mayor porcentaje de cobertura fue Arena (A), con un 63.13%. La siguiente categoría de sustrato, en términos de porcentaje de cobertura, en la segunda campaña, fue Piedra (P), con un 23.71%. Sin embargo, la frecuencia de presencia de Piedra fue superior a 60% y a 90% respectivamente en la primera y la segunda campaña. Aunque la frecuencia de presencia de Roca y Rodolitos fue superior en la segunda campaña, comparativamente a la primera, los porcentajes de cobertura de ambas categorías de sustrato, han sido inferiores en la segunda (Tabla 4.24). En resumen, en la segunda campaña, la variación en los porcentajes de cobertura de las categorías de sustrato fue más amplia. Sin embargo, dichas diferencias reflejan esencialmente la diferencia en la metodología de recolección de los datos: en la primera campaña, fueron 7 las categorías de sustrato y, en la segunda, fueron tan solamente 4. Correspondiendo las 7 a diferentes combinaciones de las 4 categorías de sustrato, ver Tabla 4.24.

En cuanto a las categorías bióticas, en la primera campaña, la Comunidad Coralina (CCoral) ha destacado con un porcentaje de cobertura superior a un 55%. Le sigue en términos de porcentaje de cobertura las Poblaciones Algales (PobAl), con un 24.40%. Las demás categorías bióticas (comunidades o poblaciones) presentaron porcentajes de cobertura inferiores al 10%. También, por el hecho de haberse cambiado la metodología de recolección de datos, los resultados de la segunda campaña fueron muy diferentes de la primera. En la primera campaña, en la cual se utilizó la técnica de Línea de Intercepción, se registraron las extensiones lineales de categorías bióticas definidas como comunidades o poblaciones. Mientras que en la segunda campaña, mediante la técnica de Punto de Intercepción se registró un número de puntos con individuos de determinadas especies o grupos, siendo estas las categorías bióticas. En este caso, el Bentos sin macro-organismos fue la categoría biótica mejor representada, con un porcentaje de cobertura de un 54.04%, seguida por las Algas con un 28.62% y ninguna de las demás categorías bióticas alcanzó un porcentaje de cobertura del 6% (Tabla 4.24). No hubo registro de la especie *Porites porites*. Lo que representaría en parte la Comunidad Coralina en la segunda campaña, discriminada por medio de la técnica de Puntos de Intercepción, incluyó en orden decreciente de porcentaje de cobertura las especies de corales duros *Siderastrea radians*, *Millepora alcicornis* y *Porites astreoides* y, el coral blando, *Palythoa caribbaeorum*. Sin embargo, las referidas especies de corales, presentaron frecuencia de presencia superior a un 65% (ver Tabla 4.24). Cabe destacar, la frecuencia de presencia de la especie *Siderastrea radians* que ha sido de un 95.65%, considerando todos sus estados (íntegro, blanqueado y parcialmente blanqueado).

Los corales se encuentran distribuidos por casi toda la Bahía de Murdeira (Figura 4.4), habiéndose registrado los mayores porcentajes de cobertura en el rango intermedio de la misma, con excepción de la estación IN05, dónde no fue observada ninguna especie de coral. Las colonias blanqueadas se registraron también por casi toda la bahía, estando, en los transeptos SS27, SS30, IN22 y IN25, las colonias de *Siderastrea radians* observadas todas blanqueadas (Figura 4.4). La proporción de colonias de la especie *Siderastrea radians* “no íntegras” en relación a las “íntegras” fue aproximadamente de un tercio en términos de porcentaje de cobertura total y, poco más de la mitad respecto a la frecuencia de presencia (Tabla 4.24).

Con la conversión de los puntos de intercepción registrados en la segunda campaña a extensiones lineales, fue posible comparar los datos de porcentaje de cobertura entre ambas campañas (Figuras 4.6, 4.7, 4.9 y 4.10). Respecto a los porcentajes de coberturas totales de categorías de sustrato, es decir, de toda la Bahía de Murdeira, los resultados fueron similares entre

las dos campañas (Figura 4.5). La categoría de sustrato que presentó mayor porcentaje de cobertura en ambas campañas de muestreo, fue Arena (Figura 4.5), alrededor de un 35%. En términos de presencia, se registró Arena en 19 de las 23 estaciones de muestreo, en la primera campaña, lo que corresponde a una frecuencia de presencia de un 82.61%. En la segunda campaña, todas las estaciones de muestreo presentaron Arena (Tabla 4.24). Los porcentajes de cobertura de las dos principales categorías bióticas (Comunidad Coralina y Bentos sin macro-organismos) estuvieron marcados por grandes diferencias entre la primera y la segunda campaña (Figura 4.6), aunque, con la referida conversión. El registro del porcentaje de cobertura de la Comunidad Coralina, en la primera campaña, fue superior al 50%, contrastando con un 14.11%, en la segunda campaña. Por otra parte, el porcentaje de cobertura del Bentos sin macro-organismos fue más reducido en la primera campaña, un 6.98%, y superior a un 50%, en la segunda campaña. En cuenta a la frecuencia de presencia de la Comunidad Coralina fue semejante entre ambas campañas. Las demás categorías bióticas presentaron valores de porcentaje de coberturas y de frecuencia de presencia similares entre las dos campañas (Figura 4.6 y Tabla 4.24), incluso los poblamientos aislados de *Siderastrea radians* y *Millepora alcicornis*.

Tabla 4.24 – Indicadores de abundancia (presencia, Pre.; frecuencia de presencia, F. P. y porcentaje de cobertura, %C.) de las categorías de sustrato y bióticas, en las dos campañas de muestreo, en la Bahía de Murdeira, Isla de Sal (Cabo Verde).

		Pre.	F. P.	%C.	
Primera campaña (septiembre de 2006)	Categorías de sustrato	Roca	10	43.48	13.43
		Roca y Arena	1	4.35	0.93
		Arena y Roca	3	13.04	9.89
		Piedra y Arena	9	39.13	14.10
		Arena y Piedra	10	43.48	21.57
		Arena	14	60.87	33.88
		Rodolitos	3	13.04	6.19
	Categorías bióticas	Comunidad Coralina	18	78.26	55.97
		Comunidad de Rodolitos	7	30.43	8.81
		Población Algal	13	56.52	24.40
		Población de <i>Siderastrea radians</i>	5	21.74	3.36
		Población de <i>Millepora alcicornis</i>	1	4.35	0.11
		Gorgonias	2	8.70	0.37
Bentos sin macro-organismos		5	21.74	6.98	
Segunda campaña (junio de 2007)	Categorías de sustrato	Roca	17	73.91	8.53
		Piedra	21	91.30	23.71
		Arena	23	100.00	63.13
		Rodolitos	6	26.09	4.34
	Categorías bióticas	<i>Siderastrea radians</i>	22	95.65	5.65
		<i>Porites porites</i>	0	0.00	0.00
		<i>Porites astreoides</i>	15	65.22	2.14
		<i>Favia fragum</i>	11	47.83	0.64
		<i>Millepora alcicornis</i>	16	69.57	2.17
		Algas	22	95.65	28.62
		Esponjas	9	39.13	0.83
		Ascidias	8	34.78	0.91
		Coral blando	5	21.74	0.31
		Coral blanqueado	13	56.52	1.81
		Coral parcialmente blanqueado	1	4.35	0.10
Rodolitos	7	30.43	4.69		
Bentos sin macro-organismos	23	100.00	54.04		

El fondo de la Bahía de Murdeira se presenta como un mosaico de arena, piedras y rocas, siendo dominante el primer sustrato. Sobre ese fondo, se encuentra principalmente una comunidad coralina, en la cual un mosaico de poblaciones algales, de rodolitos y arena, tienden a preponderar

en diferentes condiciones del medio, siendo la profundidad y/o tipo de sustrato los factores ambientales, pero evidentes, que determinan este patrón. Donde el sustrato es duro, los corales tienden a ser abundantes, disminuyendo con profundidades superiores a 14 metros, mientras que a partir de esta profundidad se verifica la presencia y aumento de los rodolitos.

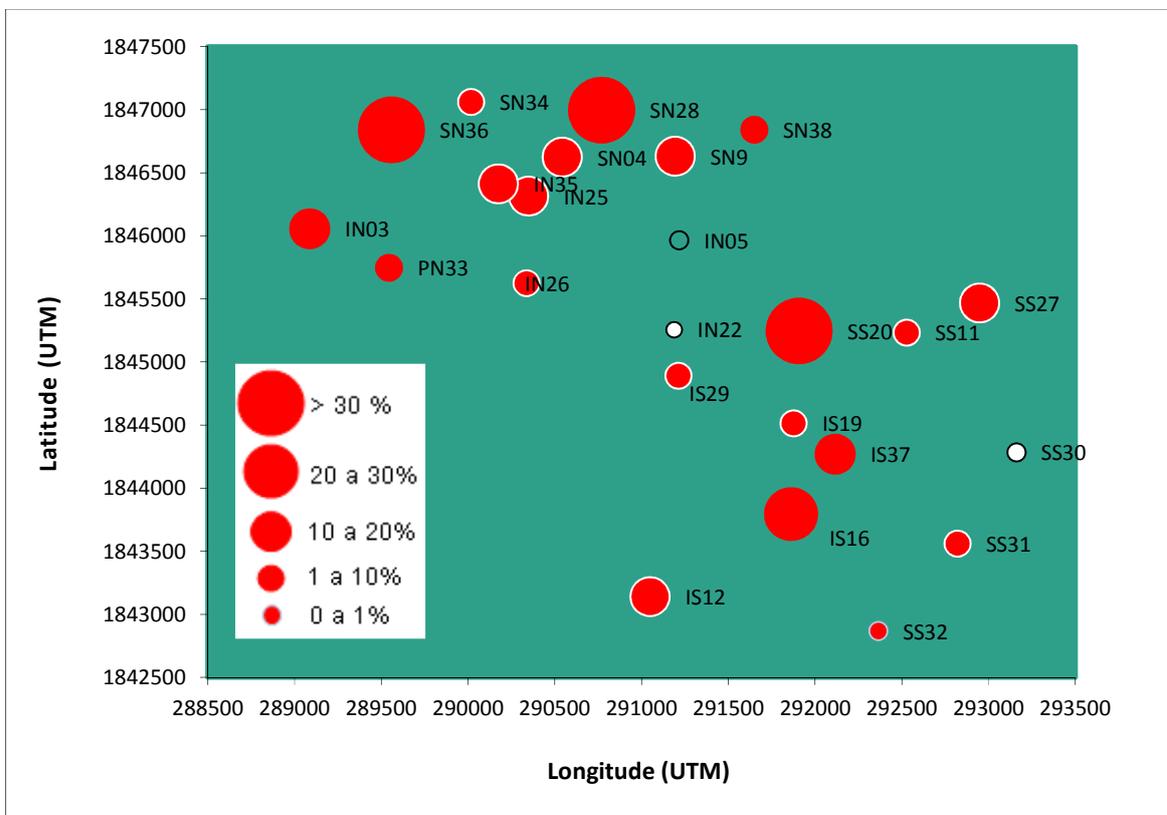


Figura 4.4 -Gráfico de los valores de porcentaje de cobertura de los corales, distribuidos en cinco clases de amplitud, en el submareal de la Bahía de Murdeira. Clases de amplitud: 0 a 1; 1 a 10; 10 a 20; 20 a 30 y > 30 %. Anillo blanco, presencia de corales parcial o totalmente blanqueados; círculo blanco, solo corales parcial o totalmente blanqueados y círculo sin relleno, solo arena.

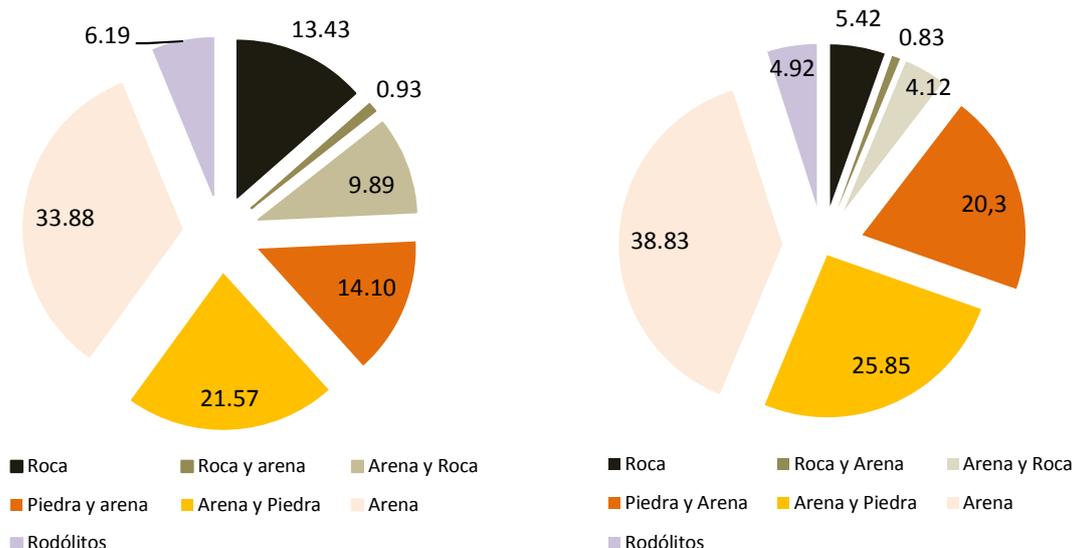


Figura 4.5 - Gráficos del porcentaje de cobertura de las diferentes categorías de sustrato, referentes a la primera campaña de muestreo (izquierda) y a la segunda campaña (derecha), en la Bahía de Murdeira, Isla de Sal (Cabo Verde), con base en la técnica de Línea de Intercepción.

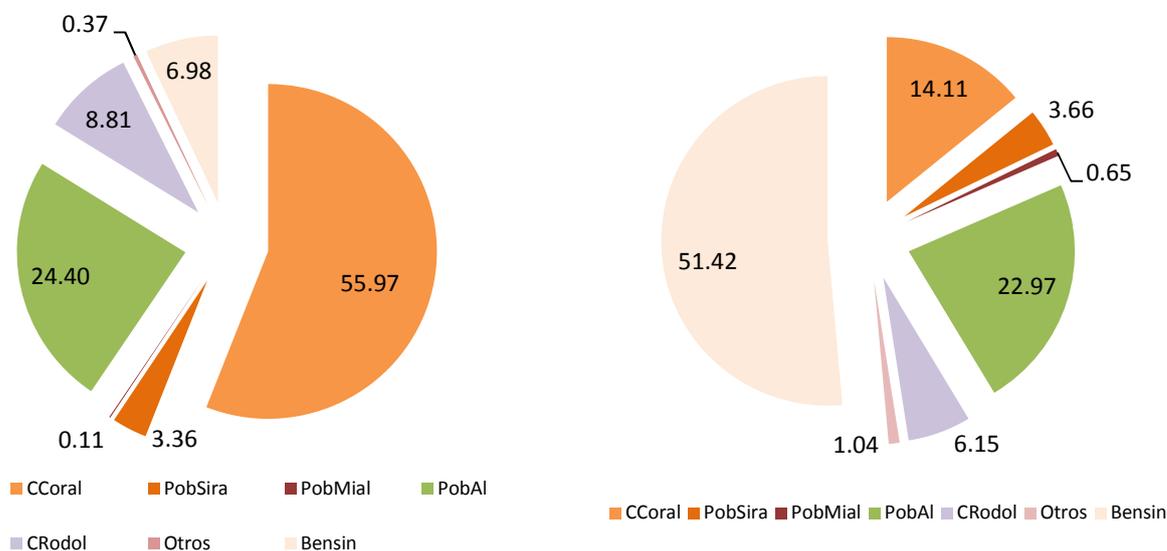


Figura 4.6 - Gráficos del porcentaje de cobertura de las diferentes categorías bióticas, referentes a la primera campaña de muestreo (izquierda) y a la segunda campaña (derecha), en la Bahía de Murdeira, Isla de Sal (Cabo Verde), con base en la técnica de Línea de Intercepción.

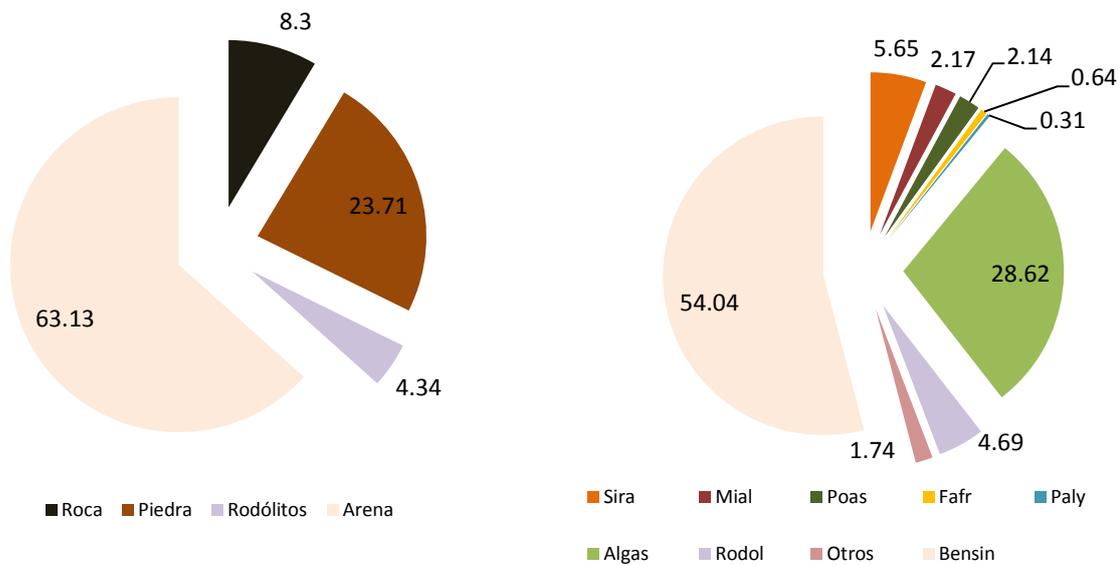


Figura 4.7 - Gráficos del porcentaje de cobertura de las diferentes categorías de sustrato (izquierda) y del porcentaje de cobertura de las diferentes categorías bióticas (derecha), referentes a la segunda campaña de muestreo en la Bahía de Murdeira, Isla de Sal (Cabo Verde), con base en la técnica de Punto de Intercepción.

Comparando la distribución de las categorías de sustrato por estrato, entre las dos campañas de muestreo (Figuras 4.8 y 4.10), se evidenció al menos una tendencia. El sustrato consolidado, Roca (R), presentó una distribución entre los estratos, similar entre ambas campañas, aunque los porcentajes de cobertura registrados en la primera fueron superiores. Las categorías de sustrato (Arena, Arena y Piedra y, Piedra y Arena) estaban presentes en todos los estratos y en ambas campañas, pero sin una clara tendencia. Los Rodolitos, en la primera campaña, se presentaron claramente asociados a los estratos profundos, pero en la segunda campaña, se han registrado incluso, en la zona somera. Cuando la Comunidad de Rodolitos era muy densa, cubriendo el sustrato subyacente, se registró también como una categoría de sustrato.

Respecto a las categorías bióticas (Figura 4.9), se constató que la Comunidad de Rodolitos estuvo presente en casi todos los estratos. No fue registrada en el estrato Somero Sur (SS) en la segunda campaña. En ambas campañas de muestreo, se verificaron mayores porcentajes de cobertura de dicha comunidad en todos los estratos profundos, Profundo Norte (PN) y Profundo Sur (PS) y en el estrato Intermedio Sur (IS). Generalmente, en los estratos somero e intermedio, la Comunidad de Rodolitos era menos densa, distinguiéndose del sustrato subyacente. Ya, en los

estratos profundos dicha comunidad se presentaba más densa, siendo por esto categorizada como sustrato, sobre la cual se presentaban algas, corales y otros grupos de organismos. Por esto, la frecuencia de presencia de Rodolitos como sustrato, fue siempre inferior comparativamente a la Comunidad de Rodolitos.

Una clara tendencia de reducción de la Comunidad Coralina en los estratos profundos, se verificó en ambas campañas, estando acompañada del aumento del Bentos sin macro-organismos y de los Poblamientos Algales (excepción fue la reducción de estos en los estratos intermedios de la primera campaña). Entre las especies de corales, *Siderastrea radians* fue la especie cuyo porcentaje de cobertura disminuyó claramente con el aumento de la profundidad (Figura 4.9). Independientemente del estrato, en la segunda campaña, se registró un porcentaje de cobertura superior al 40% en la categoría Bentos sin macro-organismos (Figuras 4.8 y 4.9).

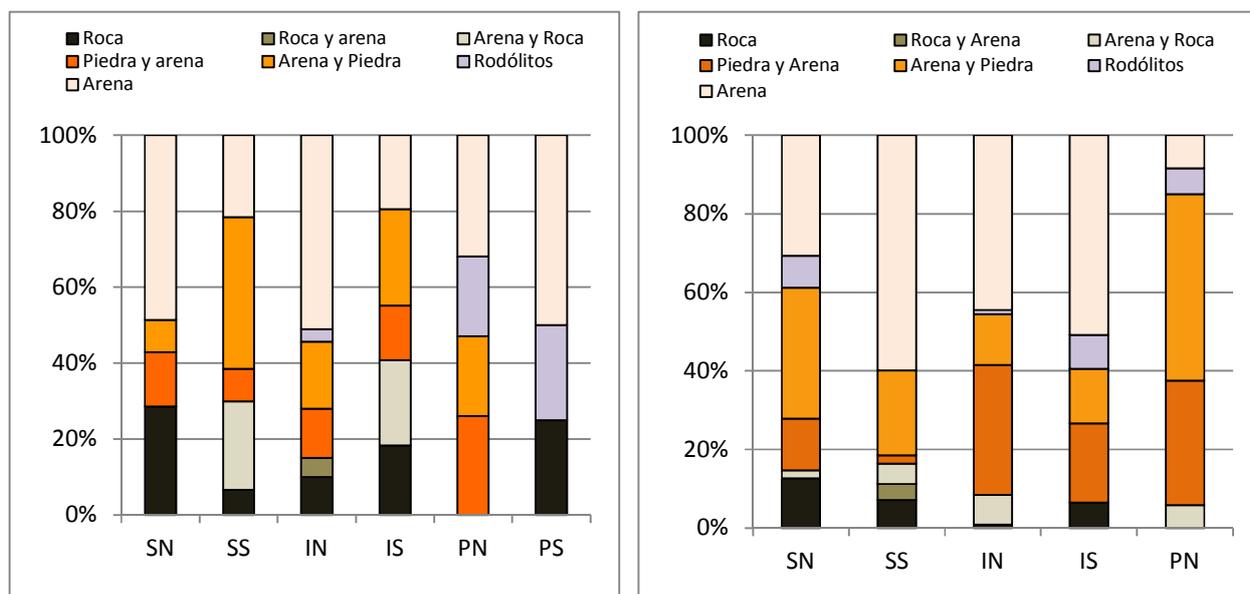


Figura 4.8 - Gráficos de los porcentajes de cobertura de las diferentes categorías de sustrato, por estrato, referentes a la primera campaña de muestreo (izquierda) y a la segunda campaña (derecha), en la Bahía de Murdeira, Isla de Sal (Cabo Verde), basados en la técnica de Línea de Intercepción.

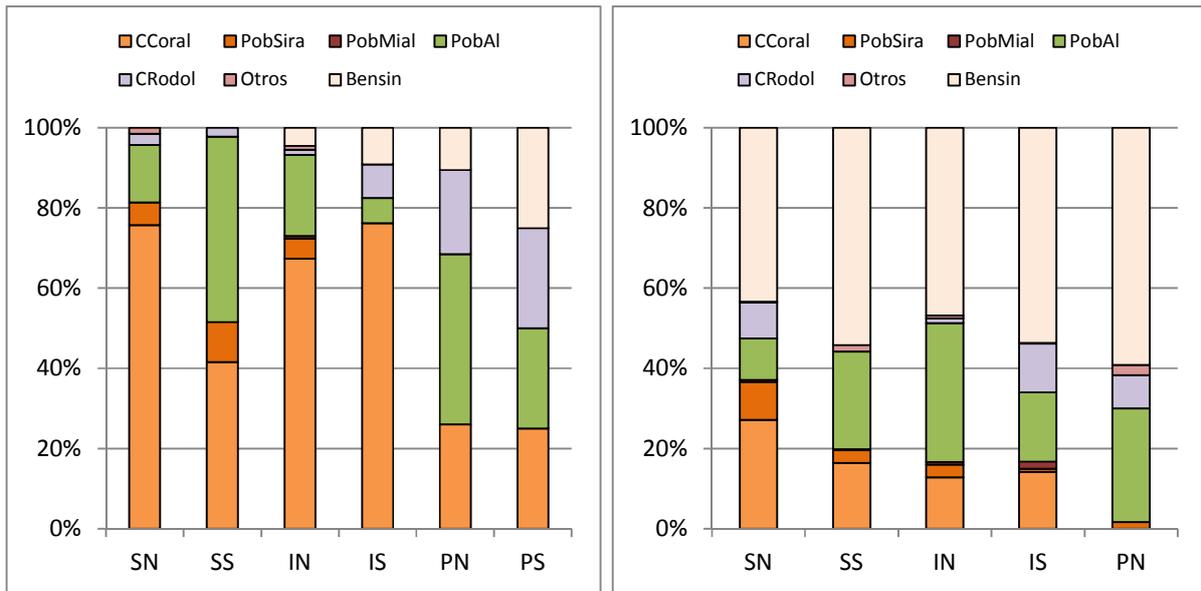


Figura 4.9 - Gráficos de los porcentajes de cobertura de las diferentes categorías bióticas, por estrato, referentes a la primera campaña de muestreo (izquierda) y a la segunda campaña (derecha), en la Bahía de Murdeira, Isla de Sal (Cabo Verde), basados en la técnica de Línea de Intercepción.

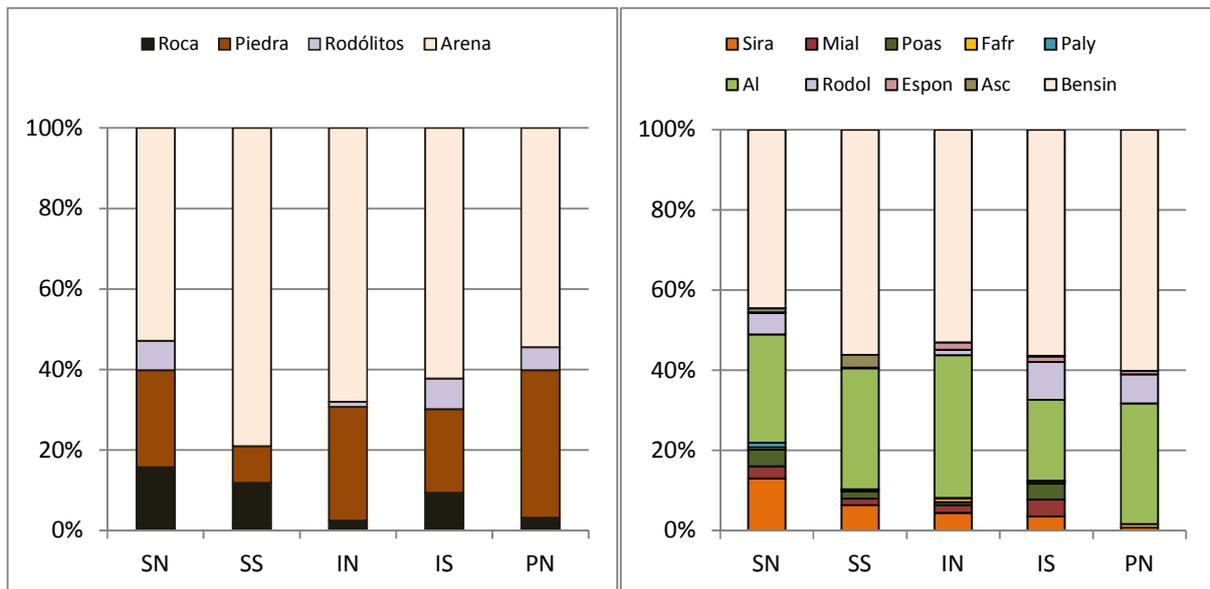


Figura 4.10 - Gráficos de los porcentajes de cobertura de las diferentes categorías de sustrato (izquierda) y del porcentaje de cobertura de las diferentes categorías bióticas (derecha), por estrato, referentes a la segunda campaña en la Bahía de Murdeira, Isla de Sal (Cabo Verde), basados en la técnica de de Punto de Intercepción.

Los análisis de Cluster sobre los porcentajes de cobertura de las categorías de sustrato o bióticas, por estación de muestreo, no presentaron un patrón de distribución, según el estrato, la profundidad o posición geográfica (Figuras 4.11 a 4.14). Basándonos en el ANOSIM se confirmó la inexistencia de agrupamientos, de acuerdo con estos factores, siendo los valores de R muy cercanos a 0, y en algunas ocasiones, inferiores a este (Tabla 4.25).

En el dendrograma basado en los porcentajes de cobertura de las categorías de sustrato observadas, en la primera campaña de muestreo, con un nivel de similitud de al menos 50, se formaron 4 grupos, según las categorías de sustrato predominantes: AP (Arena y Piedra), A (Arena), AR (Arena y Roca) y R (Roca), ver Figura 4.11. Dos estaciones quedaron aisladas, cuyos sustratos fueron esencialmente PA (piedra y arena) y RL (rodolitos). Aunque el nivel de similitud que determinaron estos grupos (AP, A, AR y R) fue tan solo de 50, cuando fueron analizados por medio del ANOSIM, el resultado evidenció cuatro grupos muy distintos, siendo el $R = 0.878$ (Tabla 4.25), confirmado también con la aplicación de rutina SIMPER (Tabla 4.26). Estos dos análisis han evidenciado un bajo grado de sobreposición entre los cuatro grupos de estaciones de muestreo determinados por las categorías de sustrato en la primera campaña.

Respecto a la segunda campaña, el grado de similitud entre las estaciones de muestreo fue superior, como se observa en el dendrograma de los porcentajes de cobertura de las categorías de sustrato (Figura 4.12). En este dendrograma, un corte sobre 50 diferenció tan solo tres grupos, A (Arena), AP (Arena y Piedra) y PA (Piedra y Arena), quedando una estación aislada, cuyo sustrato predominante fue R (Roca). Los grupos formados fueron confirmados por medio del ANOSIM, $R = 0.851$ (Tabla 4.25) y por la aplicación de la rutina SIMPER (Tabla 4.27). En la segunda campaña, también se verificó un bajo grado de sobreposición entre los grupos de estaciones de muestreo, en lo que se refiere a las categorías de sustrato.

Comparando el dendrograma de los porcentajes de cobertura de las categorías de sustrato con el de los porcentajes de cobertura de las categorías bióticas observadas en la primera campaña, se verificó en el último, un nivel muy superior de similitud entre las estaciones. Por lo que se decidió por hacer el corte sobre 70, determinando así, la formación de cinco grupos (Figura 4.13). Respecto a la segunda campaña, el nivel de similitud entre las estaciones de muestro que se presenta en el dendrograma de los porcentajes de cobertura de las categorías bióticas (Figura 4.14), fue aún superior. En ambos casos, dos de los grupos formados incluyeron estaciones con la misma categoría de sustrato, un grupo con R (Roca) y otro con A (Arena) - primera campaña – y, un grupo con AP

(Arena y Piedra) y otro con A (Arena) - segunda campaña. Respecto a la primera campaña, los demás grupos presentaron estaciones con diferentes categorías de sustrato aunque con predominancia de una de las categorías, donde la mayoría de las estaciones con AP (arena y piedra) han quedado en el mismo grupo (Figura 4.13). En la segunda campaña, los demás grupos presentaron una mezcla de categorías de sustrato predominantes y cuatro estaciones quedaron aisladas (Figura 4.14).

Los grupos determinados, en ambas campañas, por los análisis de Cluster fueron confirmados por ANOSIM siendo los valores de R superiores a 0.9 (Tabla 4.25), constituyendo así grupos muy distintos. Los resultados de estos análisis, para cada campaña, fueron también confirmados con la aplicación de la rutina SIMPER, mostrando grupos con un porcentaje de similitud entre las estaciones, superior a 75% (Tablas 4.28 y 4.29).

Los resultados de ANOSIM sobre los porcentajes de las categorías bióticas, teniendo como factor la categoría de sustrato predominante, fue similar entre las dos campañas, siendo el R alrededor de 0.32 (Tabla 4.25). Este valor indicó una ligera definición de grupos, pero con un alto grado de sobreposición. Esto se confirmó con la aplicación de la rutina SIMPER (Tablas 4.29 y 4.31), estando en ambas campañas la mayoría de los grupos determinados por la categoría de sustrato, la categoría biótica que presentó mayor contribución fue una misma. Referente a la primera campaña, la categoría Comunidad Coralina fue la que presentó mayor contribución, con porcentajes de similitud de al menos un 80%, aumentando de Roca; Arena y Roca, y Arena y Piedra (Figura 4.13). Respecto a la segunda campaña, la categoría Bentos sin macro-organismos presentó un porcentaje de cobertura superior a un 50%, aumentando de Arena y Piedra a Arena. Sin embargo, entre las dos campañas, fue evidente que la contribución de cada una de las categorías de sustrato, así como de las categorías bióticas en la distinción de grupos ha sido muy diferente (Tablas 4.27 a 4.30).

En cuanto a las categorías de sustrato, en la primera campaña, Roca (R) y Arena (A) tuvieron contribuciones similares, seguidas por Arena y Roca (AR), Arena y Piedra (AR) y, por último, Piedra y Arena (PA). Sin embargo, en la segunda campaña, después de Arena (A), siguieron Piedra y Arena (PA) y Arena y Piedra (AP), presentando tanto Roca (R) como las demás categorías de sustrato contribuciones irrisorias. Para las categorías bióticas, en la primera campaña, las mayores contribuciones fueron secuencialmente: Comunidad Coralina, Poblaciones Algales, Bentos sin macro-organismos y Comunidad de Rodolitos. En la segunda campaña fue mayoritariamente,

Bentos sin macro-organismos seguido por Poblaciones Algales, Comunidad Coralina y, por último, Poblaciones de *Siderastrea radians*. Teniendo en cuenta el valor de R (referido anteriormente), inferior a 0.75 y superior a 0.5, se concluye que, los grupos fueron significativamente distintos pero con algún grado de sobreposición. Esto se evidenció por los resultados de la rutina SIMPER (Tabla 4.30), pues en todos los grupos se verificó la contribución de la Comunidad Coralina, siendo diferente en los diversos grupos la proporción de dicha contribución.

Haciendo una correspondencia entre las categorías de sustrato y las categorías bióticas, por medio del Análisis de Componentes Principales (Figuras 4.15 y 4.16) y matriz de correlación de Pearson (Tablas 4.32 y 4.33), fue evidente que la Comunidad Coralina estuvo asociada a los sustratos más consolidados. En la primera campaña, se observó más asociada a Piedra y Arena y, ligeramente con Roca y en la segunda campaña, la correlación significativa de dicha comunidad fue con Roca. En ambas se verificó correlación negativa con Arena. El sustrato arenoso presentaba Bentos sin macro-organismos y Poblaciones Algales en la primera campaña, y esencialmente Bentos sin macro-organismos en la segunda campaña.

Las Poblaciones Algales se observaron asociadas principalmente a Piedra y Arena en la segunda campaña, mientras que la Comunidad de Rodolitos estuvo asociada a las diferentes categorías de sustratos con Arena y Roca (en la primera campaña) y Roca (en la segunda campaña). Dichas correspondencias fueron demostradas por ANOSIM basada en la matriz de similitud entre las estaciones de muestreo, en términos de categorías bióticas, teniendo como factor las categorías de sustrato. El R resultante fue alrededor de 0.32 en ambas campañas, indicando distinción de grupos, pero con un alto grado de sobreposición entre ellos. Con la aplicación de la rutina SIMPER, y siguiendo el mismo razonamiento, quedó evidenciado el alto grado de sobreposición. En todas las categorías de sustrato, excepto la del sustrato arenoso, la Comunidad Coralina fue la que presentó mayores contribuciones, siendo siempre superior a un 80% (Tabla 4.27), en la primera campaña. Sin embargo, en la segunda campaña el Bentos sin macroorganismos estuvo presente en todos los grupos de estaciones determinadas por las categorías de sustrato predominante, seguido por las Poblaciones Algales y, por último la Comunidad Coralina.

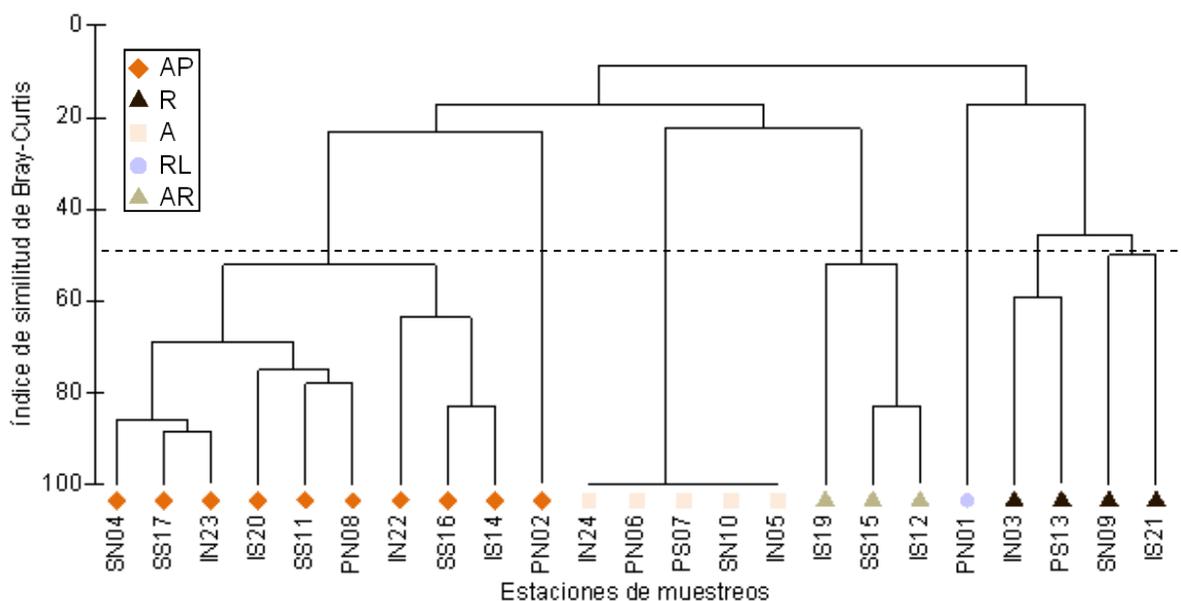


Figura 4.11 - Dendrograma del análisis de Cluster (modo de ligación: el promedio de grupo) sobre el porcentaje de cobertura de las categorías de sustrato, por estación de muestreo, referente a la primera campaña de muestreo, en la Bahía de Murdeira, Isla de Sal (Cabo Verde). AP (arena y piedra), R (roca), A (arena), RL (Rodolitos) y AR (Arena y Roca) corresponden a los tipos de sustrato predominantes en cada de estación de muestreo.

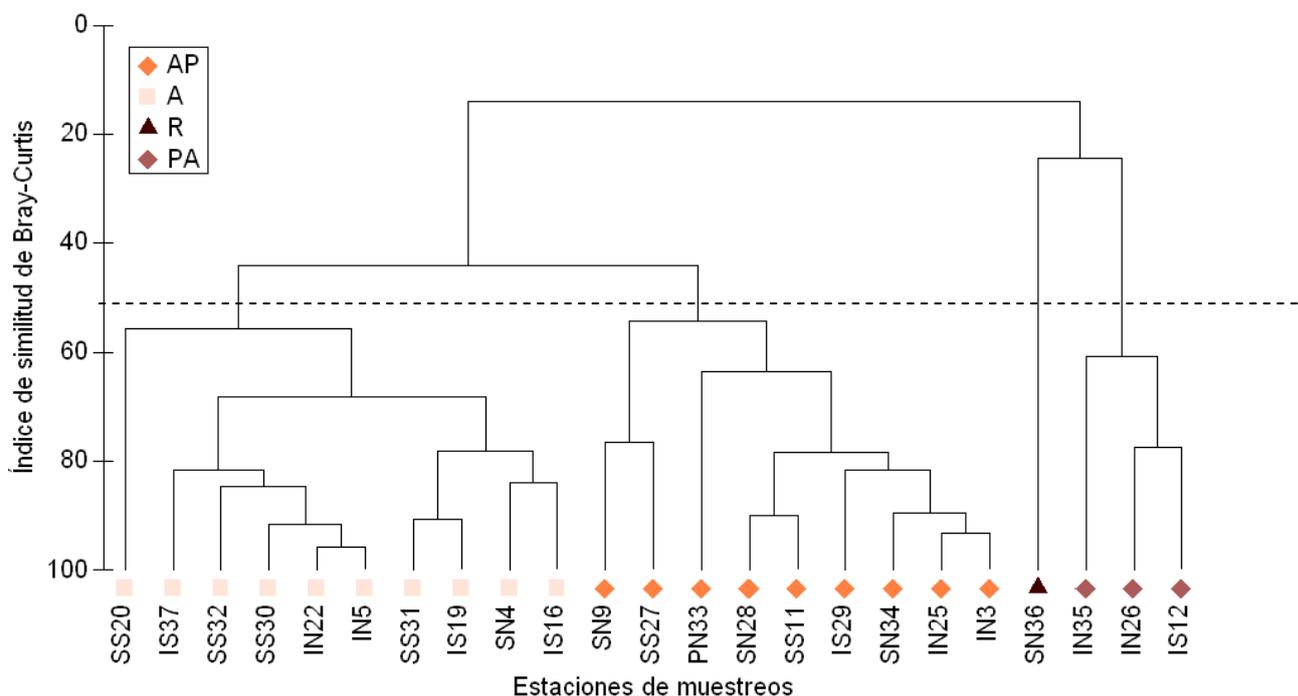


Figura 4.12 - Dendrograma del análisis de Cluster (modo de ligación: el promedio de grupo) sobre el porcentaje de cobertura de las categorías de sustrato, por estación de muestreo, referente a la segunda campaña de muestreo, en la Bahía de Murdeira, Isla de Sal (Cabo Verde). A (arena), AP (arena y piedra), R (roca) y PA (piedra y arena) corresponden a los tipos de sustrato predominantes en cada de estación de muestreo.

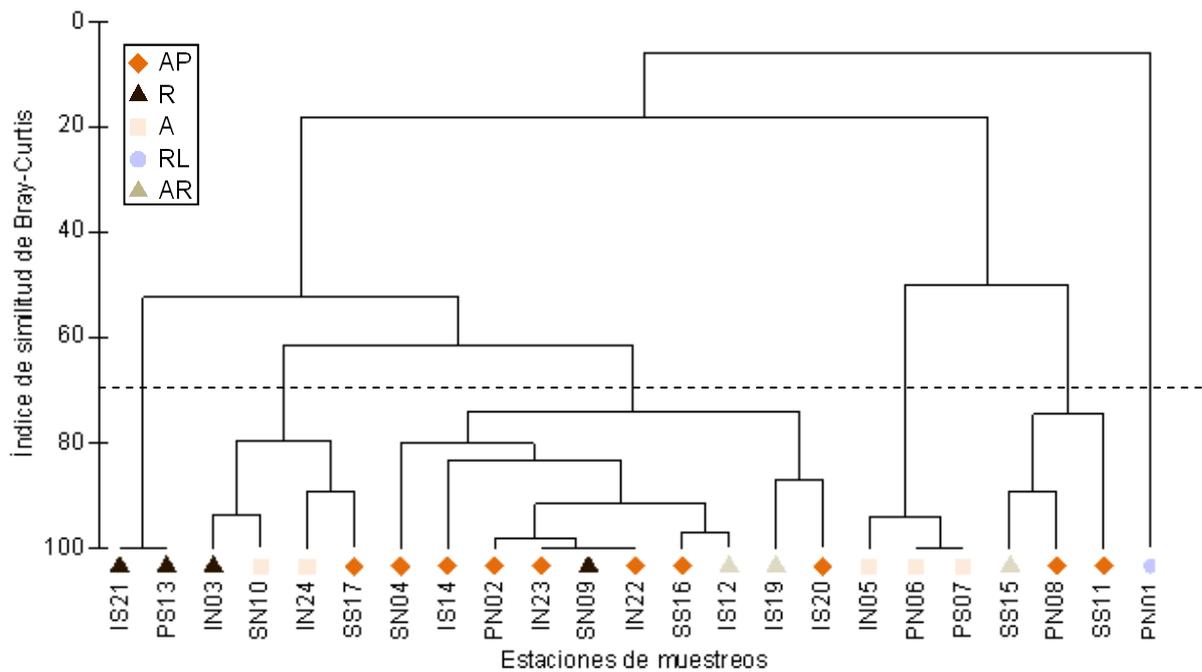


Figura 4.13 - Dendrograma del análisis de Cluster (modo de ligación: el promedio de grupo) sobre el porcentaje de cobertura de las categorías bióticas, por estación de muestreo, referente a la primera campaña, en la Bahía de Murdeira, Isla de Sal (Cabo Verde). AP (arena y piedra), R (roca), A (arena), AR (arena y roca) y RL (Rodolitos) corresponden a los tipos de sustrato predominantes en cada estación de muestreo.

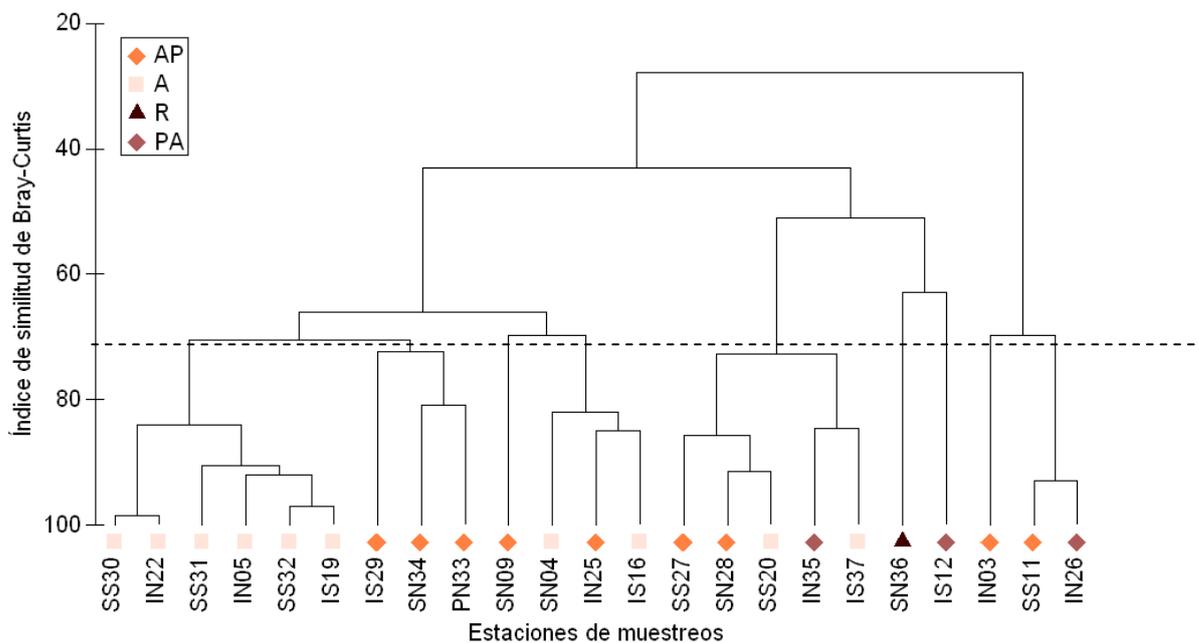


Figura 4.14 - Dendrograma del análisis de Cluster (modo de ligación: el promedio de grupo) sobre el porcentaje de cobertura de las categorías bióticas, por estación de muestreo, referente a la segunda campaña, en la Bahía de Murdeira, Isla de Sal (Cabo Verde). AP (arena y piedra), A (arena), R (roca) y PA (piedra y arena) corresponden a los tipos de sustrato predominantes en cada estación de muestreo.

Tabla 4.25 - Resultados del ANOSIM para comparaciones según el estrato, la profundidad, la posición geográfica y tipo de sustrato, en términos del porcentaje de cobertura de las categorías de sustrato o bióticas, entre las estaciones de muestreo referente a la campaña del 23 de septiembre a 4 de octubre de 2006 (época caliente), en la Bahía de Murdeira, Isla de Sal (Cabo Verde).

Comparaciones	R	p-valor
Porcentaje de cobertura de categorías de sustrato (primera campaña)		
Entre estratos	-0.059	0.706
Entre profundidades	0.001	0.448
Entre posiciones geográficas	-0.017	0.520
Entre categorías de sustratos predominantes (grupos formados por el Análisis de Cluster)	0.878	0.001
Porcentaje de cobertura de categorías de sustrato (segunda campaña)		
Entre estratos	0.027	0.337
Entre profundidades	0.031	0.342
Entre posiciones geográficas	0.038	0.193
Entre categorías de sustratos predominantes (grupos formados por el Análisis de Cluster)	0.851	0.001
Porcentaje de cobertura de categorías bióticas (primera campaña)		
Entre estratos	0.040	0.305
Entre profundidades	0.140	0.057
Entre posiciones geográficas	-0.067	0.978
Entre categorías de sustratos predominantes	0.323	0.013
Entre grupos formados del Análisis de Cluster	0.987	0.001
Porcentaje de cobertura de categorías bióticas (segunda campaña)		
Entre estratos	-0.098	0.912
Entre profundidades	-0.068	0.848
Entre posiciones geográficas	-0.073	0.982
Entre categorías de sustratos predominantes	0.326	0.003
Entre grupos formados del Análisis de Cluster	0.946	0.001

Tabla 4.26 - Contribuciones de las diferentes categorías de sustrato, obtenidos por la aplicación de la rutina SIMPER, a cada uno de los grupos de estaciones de muestreo referentes a la primera campaña, en la Bahía de Murdeira, Isla de Sal (Cabo Verde). A (arena), AP (arena y piedra), AR (arena y roca) y R (roca) corresponden a los tipos de sustrato predominantes en cada grupo de estaciones de muestreo. Valores expresados en %.

Estaciones de muestreo \ Categorías de sustrato		Sim.	Categorías de sustrato				
			Arena	Arena y Piedra	Piedra y Arena	Arena y Roca	Roca
A	SN10, IN05, PN06, PS07, PN24	100.00	100.00				
AP	IS16, IN22, IS20, IN23, SS17, SN04, IS11, PN08, PS14	54.78	15.81	57.74	25.23		
AR	SS15, IS12, IS19	62.33				66.31	24.60
R	PN03, PS13, IS21, SN09	48.50					93.83

Tabla 4.27 - Contribuciones de las diferentes categorías de sustrato, obtenidos por la aplicación de la rutina SIMPER, a cada uno de los grupos de estaciones de muestreo referentes a la segunda campaña de muestreo, en la Bahía de Murdeira, Isla de Sal (Cabo Verde). A (arena), AP (arena y piedra) y PA (piedra y arena) corresponden a los tipos de sustrato predominantes en cada grupo de estaciones de muestreo. Valores expresados en %.

Estaciones de muestreo \ Categorías de sustrato		Categorías de sustrato		
		Arena	Arena y Piedra	Piedra y Arena
A	SN04, SS32, SS31, SS30, SS20, IN22, IN05, IS16, IS19, IS37	71.48	91.45	
AP	SN09, SN28, SN34, SS27, SS11, IN25, IN03, IS29, PN33	68.20	31.89	50.70
PA	IN26, IN35, IS12	66.37		96.63

Tabla 4.28 - Contribuciones de las diferentes categorías bióticas, de acuerdo con la rutina SIMPER, a cada uno de los grupos resultantes del análisis de Cluster sobre las categorías bióticas, referentes a la primera campaña de muestreo, en la Bahía de Murdeira, Isla de Sal (Cabo Verde). Valores expresados en %.

Categorías bióticas		Sim.	Comunidad Coralina	Poblaciones Algaes	Comunidad de Rodolitos	Bentos sin macro-organismos
Estaciones De muestreo						
1	IS21, PS13	100.00	50.00		50.00	
2	SN10, SS17, IN03, IN24	83.46	64.14	30.48		
3	SN04, SN09, SS16, IN22, IN23, IS12, IS19, IS20, IS14, PN02	83.40	98.83			
4	IN05, PN06, PS07	96.00		52.08		47.92
5	SS15, SS11, PN08	79.33		93.70		

Tabla 4.29 - Contribuciones de las diferentes categorías bióticas, de acuerdo con la rutina SIMPER, a cada uno de los grupos de estaciones de muestreo determinados por la categoría de sustrato predominante A (arena), AP (arena y piedra), AR (arena y roca) y R (roca), referentes a la primera campaña de muestreo, en la Bahía de Murdeira, Isla de Sal (Cabo Verde). Valores expresados en %.

Categorías bióticas		Sim.	Comunidad Coralina	Poblaciones Algaes	Comunidad de Rodolitos	Bentos sin macro-organismos
Estaciones de muestreo						
A	SN10, IN05, PN06 PS07, PN24	56.90		66.96		24.25
AP	IS16, IN22, IS20, IN23, SS17, SN04, IS11, PN08, PS14	56.36	90.62			
AR	SS15, IS12, IS19	44.00	90.15			
R	PN03, PS13, IS21, SN09	62.35	82.91		17.09	

Tabla 4.30 - Contribuciones de las diferentes categorías bióticas, de acuerdo con la rutina SIMPER, a cada uno de los grupos resultantes del análisis de Cluster sobre las categorías bióticas, referentes a la segunda campaña de muestreo, en la Bahía de Murdeira, Isla de Sal (Cabo Verde). Valores expresados en %.

Categorías bióticas		Sim.	Comunidad Coralina	Poblaciones Algales	Población de <i>Siderastrea radians</i>	Bentos sin macro-organismos
Estaciones de muestreo						
1	SS32, SS31, SS30, IN22, IN5, IS19	88.25				93.66
2	SN04, IN25, IS16	83.07	28.78			62.41
3	SN28, SS27, SS20, IN35, IS37	78.40	33.56	28.71		37.35
4	IN26, SS11	93.07		86.17	6.38	
5	SN34, IS29, PN33	75.33		11.06		80.97

Tabla 4.31 - Contribuciones de las diferentes categorías bióticas, de acuerdo con la rutina SIMPER, a cada uno de los grupos de estaciones de muestreo determinados por la categoría de sustrato predominante A (arena), AP (arena y piedra) y PA (piedra y arena), referentes a la primera campaña de muestreos, en la Bahía de Murdeira, Isla de Sal (Cabo Verde). Valores expresados en %.

Categorías bióticas			Comunidad Coralina	Poblaciones Algales	Población de <i>Siderastrea radians</i>	Bentos sin macro-organismos
Estaciones de muestreo						
A	SN04, SS32, SS31, SS30, SS20, IN22, IN5, IS16, IS19, IS37	69.09		8.87		84.06
AP	SN9, SN28, SN34, SS27, SS11, IN25, IN3, IS29, PN33	49.33	11.46	24.77	7.50	53.32
PA	IN26, IN35, IS12	44.22	22.61	46.55		28.59

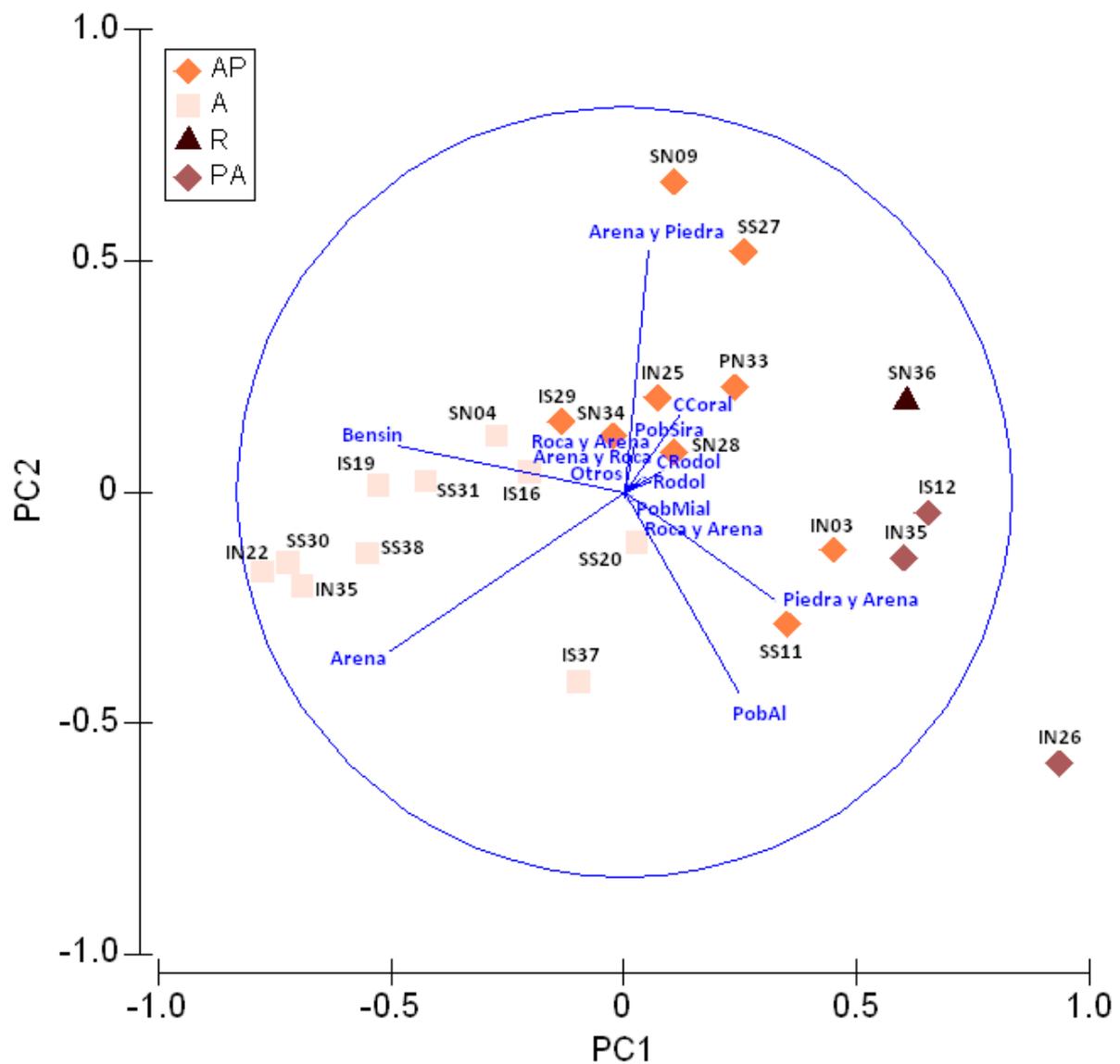


Figura 4.16 - Gráfico del Análisis de Componentes Principales (ACP) sobre los porcentajes de cobertura de las categorías de sustrato y bióticas en las estaciones de referencia a la segunda campaña (época fría), en la Bahía de Murdeira, Isla de Sal (Cabo Verde). AP (arena y piedra), A (arena), R (roca) y PA (piedra y arena).

Tabla 4.32 - Matriz de correlación de Pearson entre las variables (categorías) basada en el Análisis de Componentes Principales a partir de los porcentajes de cobertura de las categorías de sustrato y bióticas, referentes a la primera campaña de muestreo, en la Bahía de Murdeira, Isla de Sal (Cabo Verde).

Variables	Arena	Comunidad Coralina	Poblaciones Algales	Comunidad de Rodolitos	Otros	Bentos s/ macro
Roca	-0.442	0.330	-0.359	0.159	0.150	-0.225
Roca y Arena	-0.182	0.037	0.030	-0.027	0.890	-0.104
Arena y Roca	-0.173	0.077	0.106	-0.104	-0.104	-0.108
Piedra y Arena	-0.333	0.414	-0.349	-0.072	-0.180	-0.262
Arena y Piedra	-0.316	0.260	0.009	-0.250	-0.127	-0.295
Arena		-0.533	0.513	-0.329	0.002	0.687
Rodolitos		-0.297	-0.239	0.893	0.061	-0.158
Comunidad coralina			-0.734	-0.265	0.040	-0.514
<i>Millepora alcicornis</i>			0.208	-0.090	-0.062	0.464

Obs. Los valores en negrita fueron diferentes de 0, en un nivel de significancia $\alpha=0.05$. Las líneas y columnas en que todos los valores fueron inferiores a $|0.400|$ fueron eliminadas para reducir el tamaño de la tabla.

Tabla 4.33 - Matriz de correlación de Pearson entre las variables (categorías) basada en el Análisis de Componentes Principales a partir de los porcentajes de cobertura de las categorías de sustrato e bióticas, referentes a la segunda campaña de muestreo, en la Bahía de Murdeira, Isla de Sal (Cabo Verde).

Variables	Roca y Arena	Arena	Rodolitos	Comunidad Coralina	<i>Siderastrea radians</i>	<i>Millepora alcicornis</i>	Poblaciones Algales	Comunidad de Rodolitos	Otros	Bentos s/ macro
Roca	0.403	-0.211	0.557	0.508	-0.165	0.023	-0.169	0.499	-0.267	-0.293
Piedra y Arena		-0.670	0.142	-0.020	0.023	0.467	0.440	0.264	-0.048	-0.461
Arena y Piedra		-0.329	-0.242	0.039	0.673	-0.119	-0.056	-0.222	0.570	-0.076
Arena			-0.357	-0.371	-0.333	-0.288	-0.250	-0.432	-0.284	0.677
Rodolitos				0.333	-0.217	0.134	-0.111	0.950	-0.088	-0.411
Comunidad coralina					-0.204	0.225	-0.123	0.291	0.075	-0.534
Población algal								-0.177	0.236	-0.667

Obs. Los valores en negrita fueron diferentes de 0, en un nivel de significancia $\alpha=0,05$. Las líneas y columnas en que todos los valores fueron inferiores a $|0.400|$ fueron eliminadas para reducir el tamaño de la tabla.

Con la agregación de las estaciones de muestreo en estratos, los dendrogramas resultantes del análisis de Cluster de los porcentajes de cobertura de las categorías de sustrato (Figura 4.17 - arriba) y de las categorías bióticas (Figura 4.17 - abajo), estuvieron marcados por un alto grado de similitud entre los estratos, siendo superior a 45 **en la primera campaña**. Los cortes se hicieron en el nivel 60, definiéndose 2 grupos en relación a las categorías de sustrato, uno de los estratos, el estrato profundo norte (PN) quedó aislado. Además, en este mismo dendrograma, no se verificó un claro patrón de agregación de los estratos. En el dendrograma referente a las categorías bióticas, se verificó una tendencia parcial de agregación de los estratos de acuerdo con la profundidad, respecto a los estratos intermedios y profundos. Los estratos someros (somero norte y somero sur) se agregaron respectivamente con los estratos intermedios y profundos. Los resultados del ANOSIM, seguidos por la aplicación de la rutina SIMPER evidenciaron las tendencias observadas en los dendrogramas (Tablas 4.34 a 4.36). Respecto a las categorías de sustrato, ninguno de los factores, profundidad o posición geográfica, determinaron grupos bien definidos, con valores de R inferiores a 0.25. Los estratos, somero sur e intermedio sur, presentaron sustrato más diversificado, con Arena, Piedra y Roca y, sin marcada predominancia de ninguna de las categorías de sustrato. En los demás estratos, incluyendo el estrato profundo norte (PN), hubo una clara predominancia de Arena seguida por Roca y otras categorías, en menor proporción. En cuanto a las categorías bióticas, se verificó en el dendrograma y por medio del ANOSIM una tendencia en cuanto a la distinción entre los estratos, distribuidos según los rangos de profundidad, pero con alto grado de sobreposición, $R = 0.556$. De acuerdo con los resultados de la aplicación de la rutina SIMPER, en todos los rangos de profundidad se observaron, la Comunidades Coralina y las Poblaciones Algales, diferenciándose en sus respectivas contribuciones. Fue evidente también la disminución de la Comunidad Coralina en la zona profunda y simultáneamente un aumento de las Poblaciones Algales. Aunque las diferencias más marcadas fueron en la Comunidad de Rodolitos y en Bentos sin macro-organismos, donde sus respectivas contribuciones solo fueron considerables en los estratos profundos.

Los dendrogramas resultantes del análisis de Cluster de los porcentajes de cobertura de las categorías de sustrato y bióticas, observadas **en la segunda campaña**, evidenciaron un alto grado de similitud entre los diferentes estratos (Figura 4.18– arriba y abajo, respectivamente). Los cortes se hicieron en el nivel 60, formándose tan solo un grupo en relación a las categorías de sustrato, el estrato PN quedó aislado. Aunque, en este nivel de corte no se formaron grupos, se optó por aplicar los análisis ANOSIM y SIMPER.

Los análisis de ANOSIM aplicados sobre los porcentajes de las **categorías de sustrato**, teniendo como factores la posición geográfica, la profundidad y el resultado del análisis de cluster, evidenciaron que los dos últimos, determinaron grupos bien definidos, $R=1$ en ambos (Tabla 4.38). Con la aplicación de la rutina SIMPER, quedó más claro que el factor profundidad distinguió mejor los grupos (Tablas 4.39 y 4.40). En el grupo de todos los estratos someros e intermedios, la Arena presentó mayor contribución en la formación de estos, siendo superior a un 50%, seguido por Arena y Piedra y, Piedra y Arena. Sin embargo, si separamos los someros de los intermedios, de acuerdo con la rutina SIMPER, los grupos fueron aún más distintos, con niveles de similitud entre los elementos ligeramente superiores, comparativamente al conjunto de todos los estratos someros e intermedios.

Los análisis de ANOSIM aplicados sobre los porcentajes de las **categorías bióticas**, teniendo como factores la posición geográfica y la profundidad, no dieron como resultado grupos bien definidos, con valores de R inferiores a 0 (Tabla 4.41). Con la aplicación de la rutina SIMPER se constató, que la categoría Bentos sin macroorganismos fue la que contribuyó mejor para la determinación de los diferentes grupos, considerando cualquiera de los factores, incluso el resultado del análisis de Cluster. En este grupo único, la categoría Bentos sin macro-organismos estuvo seguida por la categoría Poblaciones Algales y, por último, la categoría Comunidad Coralina. Separando este grupo de acuerdo con el factor posición geográfica, los dos grupos formados, estratos norte y estratos sur, presentaron valores de similitud ligeramente diferenciados, pero las contribuciones de las diferentes categorías bióticas para la formación de ambos grupos, siguieron el mismo patrón anterior. Cuando se tomó como factor la profundidad, los grupos estratos someros y estratos intermedios, han diferido en cuanto a la contribución de las dos últimas categorías bióticas, Comunidad Coralina y Poblaciones Algales. Las categorías Comunidad Coralina y Poblaciones Algales fueron las más importantes en los estratos someros e intermedios respectivamente (Tablas 4.41 y 4.42).

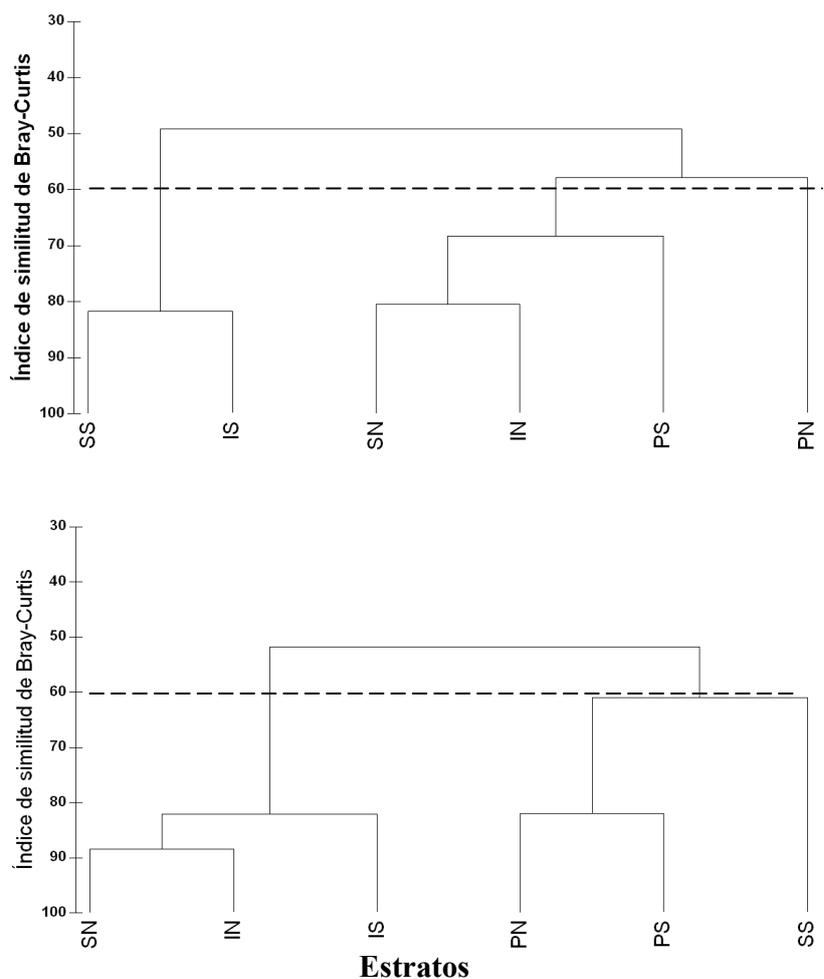


Figura 4.17 - Dendrogramas de los análisis de Cluster (modo de ligación: el promedio de grupo) sobre los porcentajes de cobertura de las categorías de sustrato (arriba) y de las categorías bióticas (abajo), por estrato, referente a la primera campaña, en la Bahía de Murdeira, Isla de Sal (Cabo Verde). SN (somero norte), SS (somero sur), IN (intermedio norte), IS (intermedio sur), PN (profundo norte) y PS (profundo sur).

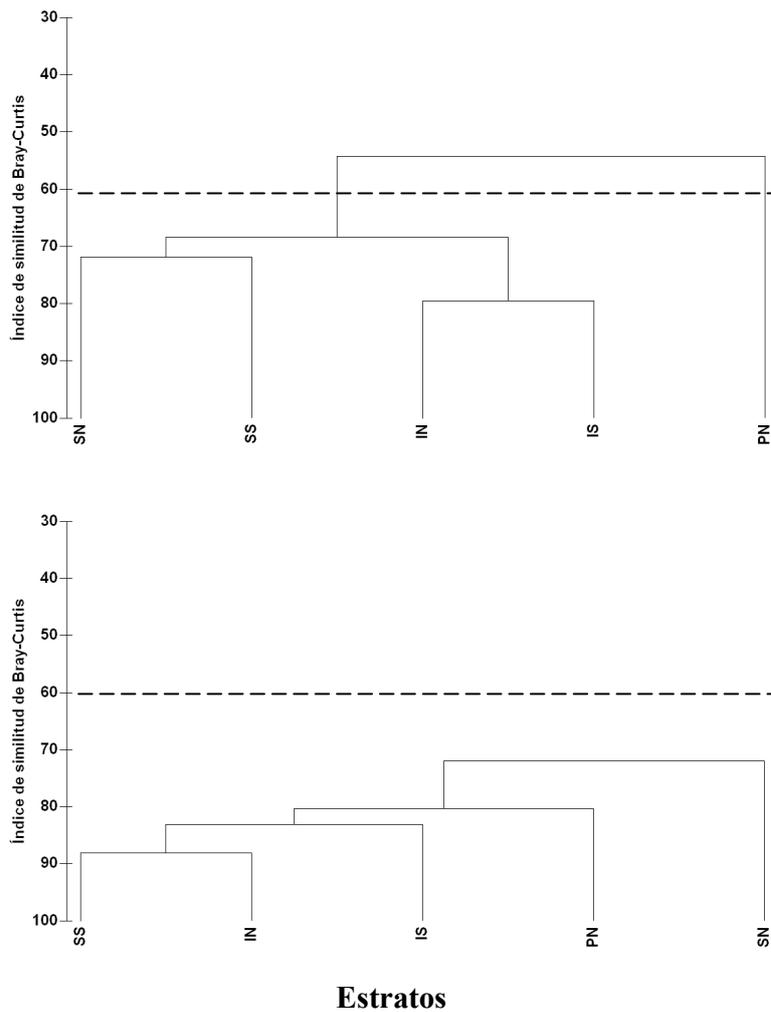


Figura 4.18 - Dendrogramas de los análisis de Cluster (modo de ligación: el promedio de grupo) sobre los porcentajes de cobertura de las categorías de sustrato (arriba) y de las categorías bióticas (abajo), por estrato, referente a la segunda campaña, en la Bahía de Murdeira, Isla de Sal (Cabo Verde). SN (somero norte), SS (somero sur), IN (intermedio norte), IS (intermedio sur), PN (profundo norte) y PS (profundo sur).

Tabla 4.34 - Resultados del ANOSIM para comparaciones según la profundidad, la posición geográfica y grupos del análisis de Cluster, en base al porcentaje de cobertura de las categorías de sustrato o bióticas, entre los estratos, referente a la primera campaña, en la Bahía de Murdeira, Isla de Sal (Cabo Verde).

Comparaciones	Todos los estratos	
	R	p-valor
Porcentaje de cobertura (categorías de sustrato)		
Entre profundidades	-0.333	0.867
Entre posiciones geográficas	0.111	0.400
Entre grupos formados del Análisis de Cluster (grupos 1, 2 y 3)	0.955	0.017
Porcentaje de cobertura (categorías bióticas)		
Entre profundidades	0.556	0.133
Entre posiciones geográficas	-0.278	1.000
Entre grupos formados del Análisis de Cluster (grupos 1 y 2)	1.000	0.017

Tabla 4.35 - Contribuciones de las diferentes categorías de sustrato, de acuerdo con la rutina SIMPER, a cada uno de los grupos de estratos determinados por el análisis de Cluster, referentes a la primera campaña, en la Bahía de Murdeira, Isla de Sal (Cabo Verde). Valores expresados en %.

Estaciones de muestreo	Categorías de sustrato	Sim.	Arena	Arena y Piedra	Piedra y Arena	Roca	Arena y Roca
			1	SS, IS	81.82	23.46	30.86
2	SN, IN, PS, PN	65.16	62.25	9.19	10.20	11.47	

Tabla 4.36 - Contribuciones de las diferentes categorías bióticas, de acuerdo con la rutina SIMPER, a cada uno de los grupos de estratos distribuidos según la profundidad, somero (S), intermedio (I) y profundo (P), referentes a la primera campaña, en la Bahía de Murdeira, Isla de Sal (Cabo Verde). Valores expresados en %.

Estaciones de muestreo	Categorías bióticas	Sim.	Comunidad Coralina	Población Algal	Población de <i>Siderastrea radians</i>	Comunidad de Rodolitos	Bentos sin macro-organismos
			S	SN, SS	64.00	65.63	21.88
I	IN, IS	78.79	85.90	7.69			
P	PN, PS	82.00	30.49	30.49		25.61	13.41

Tabla 4.37 - Contribuciones de las diferentes categorías bióticas, de acuerdo con la rutina SIMPER, a cada uno de los grupos de estratos determinados por el análisis de cluster, referentes a la primera campaña, en la Bahía de Murdeira, Isla de Sal (Cabo Verde). Valores expresados en %.

Categorías bióticas		Sim.	Comunidad Coralina	Población Algal	Población de <i>Siderastrea radians</i>	Comunidad de Rodolitos	Bentos sin macro-organismos
Estaciones de muestreo							
1	SN, IN, IS	84.42	83.67	10.35			
2	PN, PS	82.00	30.49	30.49		25.61	13.41

Tabla 4.38 - Resultados del ANOSIM para comparaciones según la profundidad, la posición geográfica y grupos del análisis de Cluster, en base al porcentaje de cobertura de las categorías de sustrato o bióticas, entre los estratos, referente a la segunda campaña, en la Bahía de Murdeira, Isla de Sal (Cabo Verde).

Comparaciones	Todos los estratos	
	R	p-valor
Porcentaje de cobertura (categorías de sustrato)		
Entre profundidades	1.000	0.067
Entre posiciones geográficas	-0.083	0.700
Entre grupos formados del Análisis de Cluster (grupos 1 y 2)	1.000	0.200
Porcentaje de cobertura (categorías bióticas)		
Entre profundidades	-0.250	0.876
Entre posiciones geográficas	-0.417	1.000

Tabla 4.39 - Contribuciones de las diferentes categorías de sustrato, de acuerdo con la rutina SIMPER, al único grupo de estratos determinado por el análisis de Cluster, referentes a la segunda campaña, en la Bahía de Murdeira, Isla de Sal (Cabo Verde). Valores expresados en %.

Categorías de sustrato		Arena	Arena y Piedra	Piedra y Arena	Roca	Arena y Roca
Estaciones de muestreo						
1	SN, SS, IN, IS	70.80	59.63	21.73	12.60	

Tabla 4.40 - Contribuciones de las diferentes categorías de sustrato, de acuerdo con la rutina SIMPER, a cada uno de los grupos de estratos distribuidos según la profundidad, somero (S) e intermedio (I), referentes a la segunda campaña, en la Bahía de Murdeira, Isla de Sal (Cabo Verde). Valores expresados en %.

Categorías de sustrato		Arena	Arena y Piedra	Piedra y Arena	Roca	Arena y Roca
S	SN, SS	71.86	52.71	36.16		4.17
I	IN, IS	79.44	55.92	16.25	25.44	

Tabla 4.41 - Contribuciones de las diferentes categorías bióticas, de acuerdo con la rutina SIMPER, al único grupo de estratos determinado por el análisis de cluster, referentes a la segunda campaña, en la Bahía de Murdeira, Isla de Sal (Cabo Verde). Valores expresados en %.

Categorías bióticas		Sim.	Comunidad Coralina	Poblaciones Algales	Población de <i>Siderastrea radians</i>	Comunidad de Rodolitos	Bentos sin macro-organismos
1	SN, SS, IN, IS, PN	78.27	10.62	21.75			60.68

Tabla 4.42 - Contribuciones de las diferentes categorías bióticas, de acuerdo con la rutina SIMPER, a cada uno de los grupos de estratos distribuidos según la profundidad, somero (S) e intermedio (I), referentes a la segunda campaña, en la Bahía de Murdeira, Isla de Sal (Cabo Verde). Valores expresados en %.

Categorías bióticas		Sim.	Comunidad Coralina	Poblaciones Algales	Población de <i>Siderastrea radians</i>	Comunidad de Rodolitos	Bentos sin macro-organismos
S	SN, SS	73.79	22.19	14.07			58.73
I	IN, IS	79.82	16.02	21.65			58.57

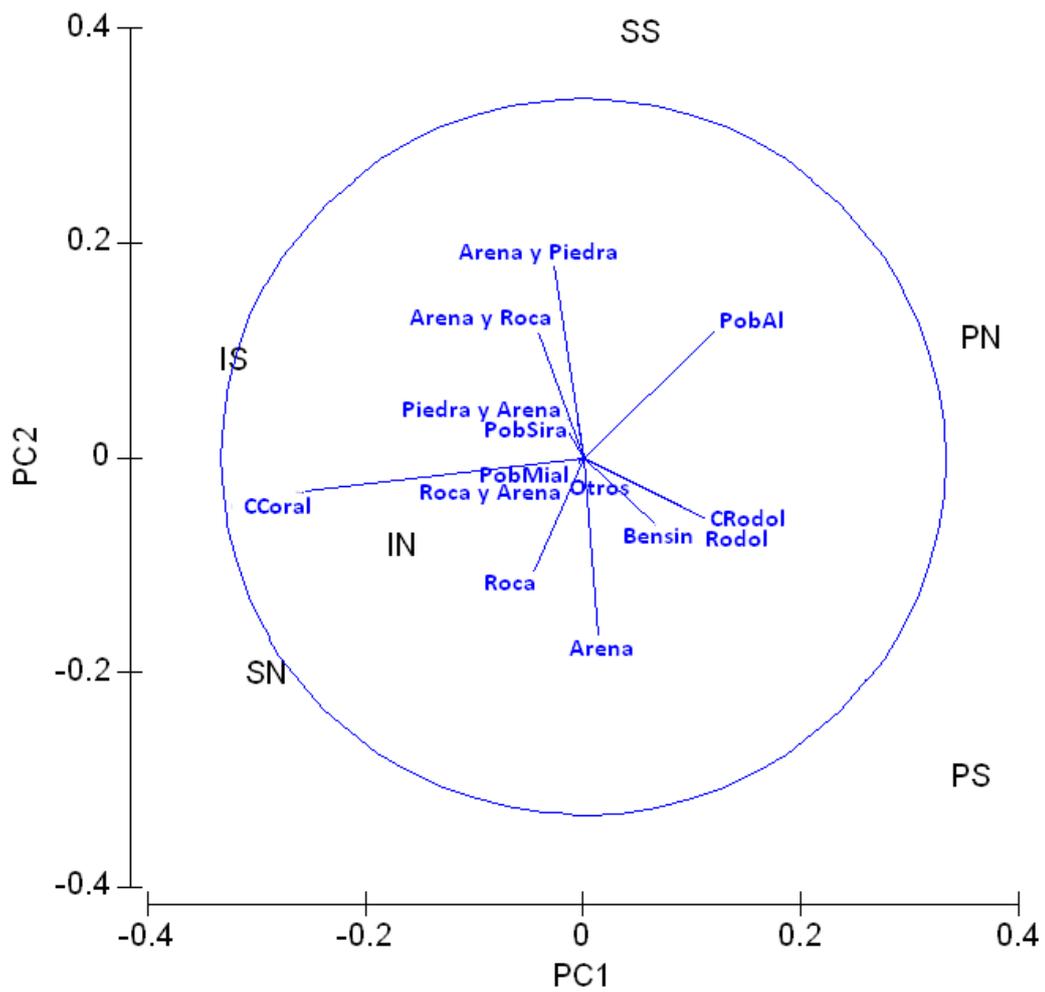


Figura 4.19 - Gráfico del Análisis de Componentes Principales (ACP) sobre los porcentaje de cobertura de las categorías de sustrato y bióticas en los estratos de referente a la primera campaña (época caliente), en la Bahía de Murdeira, Isla de Sal (Cabo Verde).

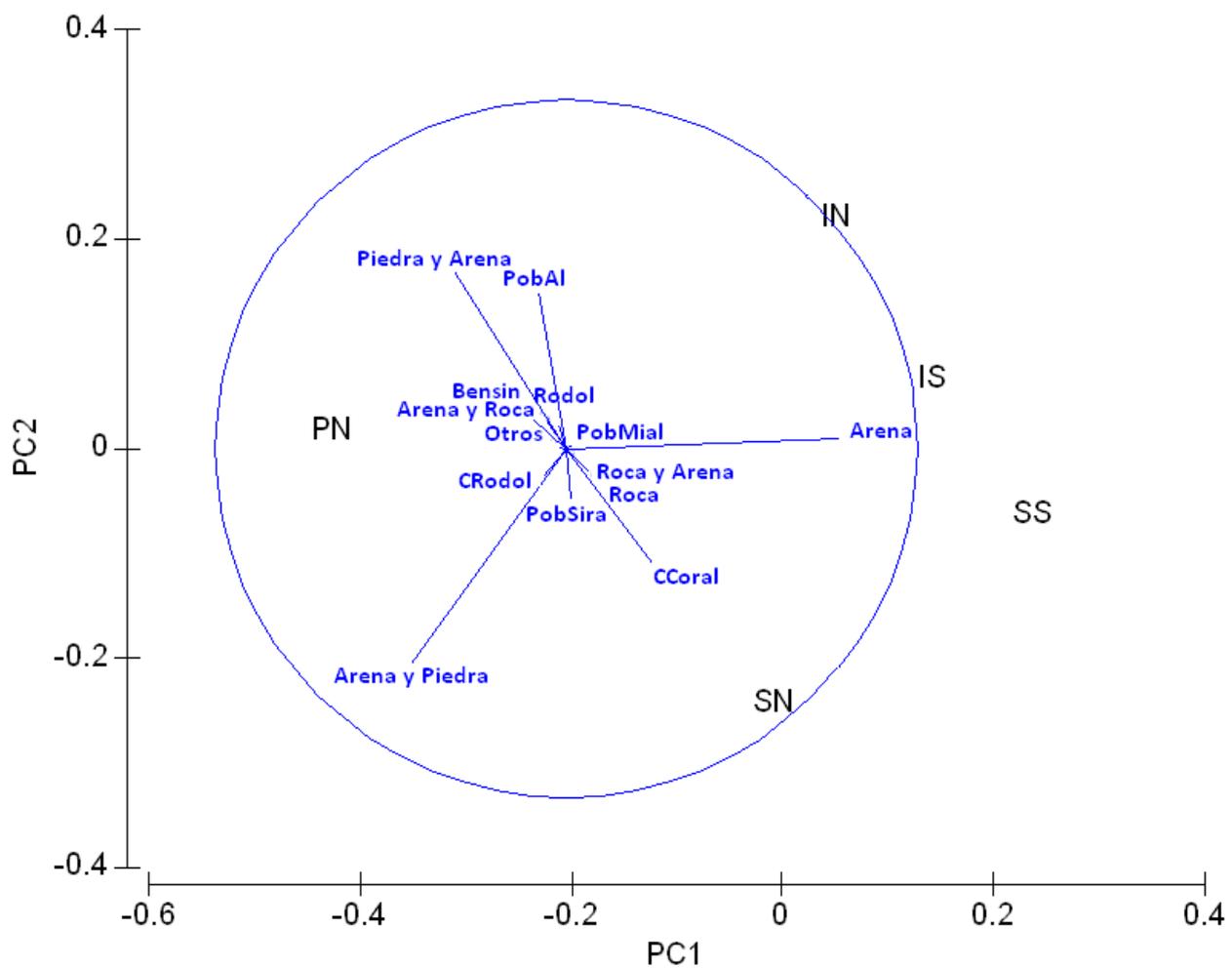


Figura 4.20 - Gráfico del Análisis de Componentes Principales (ACP) sobre los porcentaje de cobertura de las categorías de sustrato y bióticas en los estratos de referente a la segunda campaña (época fría), en la Bahía de Murdeira, Isla de Sal (Cabo Verde).

4.4 - Discusión

4.4.1 - COMPOSICIÓN Y ESTRUCTURA DE LAS COMUNIDADES BENTÓNICA E ÍCTICA DEMERSAL

La composición de las comunidades bentónicas fue comparable a los resultados de estudios anteriores. Las especies de corales se corresponden a las mismas citadas por Otero-Schmitt (1993), Otero-Schmitt (1995) y Morri *et al.* (2000), incluso como en este último, en el presente estudio no se registró en la gran extensión de la Bahía de Murdeira, la especie *Porites porites*. Dicha especie, fue referenciada por los mismos autores, tan solo en una pequeña cala (Jorge Fonseca) con 1 m de profundidad, ubicada en el margen central de la Bahía de Murdeira, siendo en este ambiente la especie de coral dominante. Según Morri & Bianchi (1995a), entre las cuatro especies de escleractinios hermatípicos en el archipiélago de Cabo Verde, esta es la que presenta una distribución más restringida estando en profundidades inferiores a 3 metros. Los resultados obtenidos corroboran también con Morri *et al.* (*op cit*) que las algas cespitosas más importantes en los sustratos rocoso y arenoso, son *Dictyota spp.* y *Caulerpa sertularioides* respectivamente. Así como, la presencia característica de *Distaplia corola* en el ambiente arenoso.

Aunque la densidad y el porcentaje de cobertura del coral blando *Palythoa caribaeorum* no fueron grandes, su presencia fue frecuente en la Bahía de Murdeira. Monteiro *et al.* (2008) observaron esta especie recubriendo a las especies de corales hermatípicos en la isla de Sal. Según Mendonça-Neto *et al.* (2008) la riqueza y densidad de peces arrecifales se redujo en los arrecifes dónde *P. caribaeorum* dominaba, ya que dicha especie al recubrir los organismos y las grietas, reduce la diversidad bentónica, así como la cantidad de abrigos y alimentos disponibles para los peces.

El patrón de zonación propuesto por Otero-Schmitt (1993), que más se asemeja al área de estudio del presente trabajo, corresponde a las playas rocosas semi-protegidas con inclinación de 15 a 35%. En los primeros 2 metros este patrón se corresponde con zonas en las que la *Siderastrea radians* es más frecuente, estando su presencia favorecida por la abrasión de arena, pues según el mismo autor, en estas condiciones dicha especie compite en ventaja con *Millepora alcicornis*. Sin embargo, a lo largo de toda la Bahía, la frecuencia de esta última especie fue mayor. Cuando el sustrato era predominantemente arenoso, se formaban poblaciones casi exclusivas de *Siderastrea radians*.

Las comunidades bentónicas (de macroalgas y de invertebrados) mostraron diferencias en la riqueza de especies entre los dos periodos de estudio, septiembre de 2006 (época caliente) y junio de 2007 (época fría). Sin embargo, las diferencias fueron debidas en parte, al cambio en la metodología de recolección de datos, por lo que, las posibles diferencias estacionales podrían estar sesgadas. En la segunda campaña se ha priorizado un análisis cuantitativo de los invertebrados, por ello, los observadores se concentraron en un pasillo de 5 m de ancho por 20 m de longitud. Sin embargo, durante la primera campaña, los observadores siguieron un transepto de 50 m de longitud, pero sin un límite definido de anchura. Aunque el número de especies ha sido menor en la segunda campaña, con ella, se ha incrementado el número total de especies identificadas para la Bahía de Murdeira a lo largo del presente estudio. Estos incrementos fueron principalmente en la flora y fauna del intermareal, siendo la recolección en dicha área más extensa en esta última campaña.

Considerando que el régimen hidrográfico sufrió cambios entre los dos periodos, de una condición de estratificación o relajación (en septiembre de 2006) a una condición de mezcla y/o surgencia (en junio de 2007), ver Capítulo 2, la comunidad bentónica se puede haber modificado. Witman & Smith (2003), estudiando comunidades bentónicas en Galápagos, sugirieron que los cambios en la diversidad y biomasa pueden ser excepcionalmente rápidos en áreas de surgencias tropicales. Garrabou *et al.* (2002) constataron cambios estacionales en comunidades bentónicas en el Mediterráneo, presentando estos cambios diferentes tasas en las diferentes categorías bentónicas. Las tasas de cambio tuvieron una media de 50% en las comunidades dominadas por algas y tan solo 10% en aquellas dominadas por animales, siendo inferiores a 5% en comunidades de animales o algas perennes. En el caso de la Bahía de Murdeira, particularmente en las comunidades coralinas, las especies estructurales (los corales) son perennes.

En cuanto a la estructura de la comunidad bentónica, en el periodo de junio de 2007 (época fría), el índice de diversidad de Shannon-Wiener y la riqueza de Margalef aumentaron con la profundidad, como ya se verificó en el sublitoral de otras regiones, p. e. en Mediterráneo (Garrabou *et al.*, 2002) e Indonesia (Cleary *et al.*, 2005). Los primeros autores explican que con la profundidad disminuye la tasa de crecimiento de las especies bentónicas, lo que puede producir una disminución en la competición inter-específica, manteniendo así la alta diversidad y complejos patrones espaciales. En contraste, en aguas someras las especies muestran mayor dinamismo, favoreciendo el proceso de competición que podrá llevar a la reducción de la diversidad, dando lugar a patrones espaciales menos complejos. Sin embargo, según los mismos autores la densidad tendió a reducirse

con la profundidad, mientras que en el presente estudio se mantuvo similar entre los rangos de profundidad estudiados.

En la comunidad íctica demersal se constató un incremento significativo en la densidad, de septiembre de 2006 (época caliente) a junio de 2007 (época fría), aunque producido esencialmente por una sola especie (*Chromis lubbocki*). Esto podría estar asociado al aumento en la densidad del plancton (Capítulo 3), ya que se trata de una especie planctívora (Floeter *et al.*, 2007). En ambos periodos, las especies planctívoras y las carnívoras estuvieron entre las más abundantes. De acuerdo con Ferreira *et al.* (2004), las primeras tienden a ser particularmente abundantes en las islas oceánicas y las segundas presentan alta abundancia en ambientes con sustrato duro y complejo. Los menos abundantes fueron los carnívoros y piscívoros, aunque representados por un número considerable de especies, que de acuerdo con los mismos autores, suelen ser los más afectados por la pesca.

En lo que respecta a la estructura de la comunidad íctica demersal, los cambios no fueron significativos. Toole *et al.* (2011) encontraron cambios estacionales significativos, pero muy pequeños, en la estructura de comunidad de peces demersales en la costa oeste de los Estados Unidos. Los cambios estacionales en la ictiofauna demersal suelen ser particularmente importantes en regiones estuarinas, debido en gran parte, a la variación estacional en el aporte de agua dulce (Ansari *et al.*, 1995). Contrariamente en las regiones litorales, en particular en los arrecifes de corales, la fluctuación en las poblaciones de peces es menor (McConnell, 1999). Según el mismo autor, en las condiciones más estables de dichos ambientes, las estrategias del ciclo de vida aseguran que los juveniles sean producidos a lo largo de todo el año, corroborando con esta hipótesis, se constató que la proporción de juveniles fue muy similar en los dos periodos (Tablas 4.15 y 4.16).

El mismo McConnell (*op cit*) apunta el tipo de fondo como de importancia fundamental en la determinación de la distribución de los peces demersales. De hecho, en este estudio, el único factor que dio como resultado la distinción de la comunidad de peces demersales, fue la categoría de sustrato presente en el fondo. Sin embargo, esto solo se verificó en el periodo de septiembre de 2006. La razón se desprende del muestreo (al azar), ya que ha sido más diversificado en términos de las categorías de sustrato en ese periodo. A su vez Damalas *et al.* (2010) afirmaron que la profundidad fue la variable predictiva más importante de la abundancia relativa de los peces. Cabe subrayar que la escala espacial del citado trabajo fue mayor en relación a la del presente estudio, habiendo utilizado ellos datos de pesquerías. Resumiendo, a menor escala, la categoría de sustrato

determina las diferencias en la estructura de las comunidades bentónicas y demersales, y en a mayor escala, la profundidad define la distribución de las mismas, siendo este el factor preponderante.

Aunque la estructura de la comunidad puede ser representada por un número, mediante la aplicación de varios índices de diversidad, de riqueza y de equitatividad, dicha metodología presenta sus limitaciones. Según Johnson *et al.* (2008), teóricamente los índices de diversidad de Shannon-Wiener y de riqueza, suelen ser menos sensibles en detectar las diferencias en las comunidades bentónicas, en relación a los índices de similitud como el Bray-Curtis. Esto es porque, de acuerdo con estos autores, este último incorpora la abundancia de cada una de las especies presentes, mientras que los primeros no. Sin embargo, los mismos autores señalan que varios estudios utilizaron los índices de diversidad y de riqueza para comparar estructuras de comunidades en diferentes regiones, obteniendo diferentes grados de éxito. En el presente estudio sucedió lo contrario, por medio de aquellos índices, se logró la distinción de la comunidad bentónica en la Bahía de Murdeira en dos rangos diferentes de profundidad, lo que no fue posible por medio del índice de similitud de Bray-Curtis seguido de MDS o permutación en base al ANOSIM.

4.4.2 - COBERTURA DEL HÁBITAT BENTÓNICO

La Bahía de Murdeira presenta un fondo arenoso, sobre el cual se encuentran piedras y algunas proliferaciones rocosas, definiendo diferentes hábitats. En una visión simple el tipo de sustrato define el hábitat bentónico (Diaz *et al.*, 2004), sin embargo según los mismos autores, el hábitat bentónico se determina por la combinación entre las preferencias y tolerancias ambientales de una especie y las características del sustrato. Adoptando la primera definición, particularmente por ser más práctica, entre los hábitats que se constataron en la Bahía de Murdeira, además de los fondos arenosos, rocosos y de rodolitos, se identificaron piedras sobre fondos de arena y rocas aisladas sobre fondos de arena, tal como describieron Morri & Bianchi (1995b). En el presente estudio, fueron diferenciados *a priori* como arena y piedra (AP), piedra y arena (PA), arena y roca (AR) y, roca y arena (RA). Sin embargo, con los análisis de los datos de las dos campañas de muestreo, de estas cuatro categorías de sustrato solo se diferenciaron las tres primeras, ya que la última categoría se sobreponía con la tercera. En resumen, se constató en la Bahía de Murdeira seis hábitats diferentes: fondos de arena, arena y piedra, piedra y arena, arena y roca, roca y, rodolitos.

De acuerdo con Morri *et al.* (2000) en los fondos del litoral en Cabo Verde, el cambio de flora y fauna con la profundidad es muy evidente, estando la parte del sublitoral hasta los -20 m cubierto por algas y corales y, a partir de esa profundidad, dominan las gorgonias y antipatarios. Estos resultados se corroboran con el presente estudio, en la medida en que, entre los rangos de profundidad (somero, inferior a -14 m, e intermedio, igual o superior a -14 m e inferior o igual a -20 m) no hubo diferencias significativas en la cobertura del fondo, estando este cubierto en gran parte por algas y corales. Además de las poblaciones algales y de la comunidad coralina, en el presente estudio se diferenciaron la comunidad de rodolitos, fondo de arena sin macroorganismos y fondo de arena con otros macroorganismos, siendo estos principalmente colonias de *Aplysina aerophoba*, *Distaplia corolla* o gorgonias. La comunidad coralina presentaba diferentes grados de complejidad, desde una comunidad que incluye todas o casi todas las especies de corales hermatípicos y otros organismos, hasta una simple población de una sola especie, *Siderastrea radians* o *Millepora alcicornis*, asociada a unas pocas especies de otros organismos.

Cada una de las comunidades o poblaciones se encontraba distribuida por uno o más hábitats (categorías de sustrato). La comunidad coralina o población simple, de *Millepora alcicornis* o de *Siderastrea radians*, estuvieron asociadas a hábitats más consolidados, en orden de preferencia: Roca, Piedra y Arena y, Arena y Piedra, respectivamente. Las poblaciones algales, dependiendo de las especies, se distribuyeron por el sustrato blando o consolidado, como se ha discutido anteriormente en el apartado 4.4.1. La preferencia de *Siderastrea radians* por el sustrato arenoso con piedras ya fue señalado anteriormente por Otero-Schmitt (1993) y Monteiro *et al.* (2008).

4.4.3 - EL BLANQUEAMIENTO DE CORALES EN LA BAHÍA DE MURDEIRA

La presencia en la Bahía de Murdeira del fenómeno de blanqueamiento de corales, en particular, de la especie *Siderastrea radians* fue registrado en el segundo periodo (época fría) y en una extensión considerable, más del 50% de las colonias de dicha especie estaban blanqueadas. Generalmente, los episodios de blanqueamiento de corales a nivel mundial, estuvieron asociados a incrementos en la temperatura superficial del agua (Kemp *et al.*, 2006). Los mismos autores afirman, que además de la temperatura, la irradiancia puede ser otro factor responsable de estos fenómenos. A nivel local, estos fenómenos han sido registrados en Colombia, particularmente en las Islas del Rosario por efecto combinado de la sedimentación y el calentamiento, en Santa Marta por

descargas de aguas turbias y temperaturas altas y en la Guajira debido a altas temperaturas y turbidez natural del área (Solano *et al.*, 1993).

En la Bahía de Murdeira, el registro de blanqueamiento en una época fría, sugiere que esto fuera debido a otro factor distinto de la temperatura, siendo posible que fuera por la acción de abrasión por arena. Esto se supone porque las dos únicas especies en que se registraron colonias blanqueadas en el sublitoral fueron *Siderastrea radians* y *Favia fragum*, que al revés de las demás especies que habitan generalmente sobre el sustrato duro, estas se registraron en gran parte sobre o cerca del sustrato arenoso. Algunas colonias de *Porites astreoides* presentes en las charcas, en la zona intermareal sur-sudeste, estaban también blanqueadas y cubiertas por sedimento.

La distribución de los corales blanqueados en el sublitoral fue más importante en la orilla del eje central de la Bahía (Figura 4.4), dónde se verificó mayor predominancia del sustrato arenoso. El eje central presenta orientación NE-SW, favorable a la acción de los vientos alisios y, por consiguiente, con mayor aporte de sedimentos y mayor hidrodinamismo, estando la zona cubierta casi exclusivamente por arena. Los puntos en que el fenómeno de blanqueamiento estuvo ausente fueron generalmente, aquellos en los que el porcentaje de cobertura de corales era mayor (Figura 4.4). Así que, dónde había mejores condiciones de crecimiento de la comunidad coralina también estaba mejor la salud de dicha comunidad.

Los fenómenos de blanqueamiento han sido monitorizados, particularmente en la región del Caribe, ya que pueden traducirse en cambios significativos en la estructura de las comunidades. La estructura de los arrecifes de corales en el Caribe, se mantuvo estable hasta la catastrófica mortandad masiva de corales en los años 80 del siglo pasado, llevando a una reducción en la cobertura de corales superior al 40% e incremento en el porcentaje de cobertura de las poblaciones algales (Maliao *et al.*, 2008). Las estimativas sugieren que el 20% de los arrecifes coralinos mundiales ya se han perdido, 24% se encuentran en riesgo inminente de colapso y otro 26% en peligro grave de daños irreversibles (Riegl *et al.*, 2009). Esta situación se debe a un conjunto de amenazas que han sido apuntadas por los mismos autores: sobrepesca y/o degradación de sus componentes biológicos, cambio climático y los fenómenos de oscilación del Sur de El Niño. Estos fenómenos han sido los principales responsables del blanqueamiento de forma indiscriminada, en áreas protegidas o no protegidas por todo el mundo (Riegl *et al.*, 2009).

En Cabo Verde, no hay registros anteriores de este blanqueamiento, sin embargo, Roberts *et al.* (2002) consideraron el archipiélago de Cabo Verde en la octava posición entre los diez puntos

calientes de la biodiversidad marina, particularmente asociados con las comunidades coralinas. Es decir, que entre los puntos de mayor biodiversidad marina a nivel mundial, Cabo Verde se incluye entre esos diez primeros por estar sujetos a un alto grado de amenaza. Entre las amenazas que afectan las comunidades coralinas en Cabo Verde destacan, la sobrepesca, la deforestación con el consecuente aporte de sedimentos, aunque estos también tienen otros orígenes, incluyendo el polvo sahariano.

4.5 - Conclusiones

La Bahía de Murdeira presenta un fondo arenoso sobre el cual se encuentran piedras y zonas rocosas definiendo diferentes hábitats: fondos arenosos, rocosos, de rodolitos, piedras sobre fondos de arena (arena y piedra o piedra y arena) y rocas aisladas sobre fondos de arena.

Asociados a estos hábitats, se distribuyen diferentes comunidades o poblaciones: comunidad coralina, comunidad de rodolitos, poblaciones algales, poblaciones de corales (*Siderastrea radians* o *Millepora alcicornis*), fondo de arena sin macroorganismos y fondo de arena con otros macroorganismos (siendo estos principalmente colonias de *Aplysina aerophoba*, *Distaplia corolla* o gorgonias).

En cuanto a la estructura de la comunidad bentónica (de invertebrados) en el periodo de junio de 2007 (época fría), el índice de diversidad de Shannon-Wiener y la riqueza de Margalef aumentaron con la profundidad. Sin embargo, la densidad se mantuvo similar en los rangos de profundidad estudiados (inferiores a -30 m).

En la comunidad íctica demersal se constató un incremento significativo en la densidad, de septiembre de 2006 (época caliente) a junio de 2007 (época fría), producido esencialmente por una sola especie (*Chromis lubbocki*), esto estaría asociado al aumento en la densidad del plancton. En lo que respecta a la estructura, los cambios no fueron significativos, esto podría ser debido a las condiciones más estables del ambiente. Se verificaron diferencias en la distribución de la comunidad íctica demersal en el periodo de septiembre de 2006 en cuanto al tipo de sustrato.

Se registraron corales blanqueados, particularmente de las especies *Siderastrea radians* y *Favia fragum*, siendo posible que esto fuera debido a la acción de abrasión por arena.

IV. BIOINDICADORES PARA LA BAHÍA DE MURDEIRA (PROPUESTA)

Los datos obtenidos en los estudios bionómicos fueron analizados y basándonos en los mismos, se determinaron algunos bioindicadores que se proponen en este capítulo como los más adecuados para monitorizar la Bahía de Murdeira (ver cuadro abajo).

1. Comunidad coralina:

Considerando que se trata de una comunidad coralina, en la cual se encuentran incluidas varias poblaciones de algas (*Dictyota* spp. y *Caulerpa sertularioides*) y arena, se muestran adecuados para el análisis del estado de conservación de dicha comunidad dos indicadores: el ratio entre los porcentaje de cobertura de corales y algas, el ratio entre los porcentaje de cobertura de corales duros y de coral blando (*Palythoa caribaeorum*) y, el ratio entre los porcentaje de cobertura de corales y arena.

Por otro lado, se verificó la presencia de un porcentaje considerable de corales blanqueados o parcialmente blanqueados (ver Capítulo 4), por consiguiente, se hace necesario seguir la evolución de este fenómeno mediante la determinación de la proporción entre el porcentaje de cobertura de corales no íntegros *versus* corales íntegros y la proporción de las frecuencias de presencia de corales no íntegros y corales íntegros.

2. Comunidad íctica demersal y bentónica (invertebrados):

Asociada a la comunidad coralina, se observaron varias especies de peces, de los cuales han destacado en términos de abundancia, la vieja (Scaridae: *Sparisoma cretense*), el salmonete (Mullidae: *Pseudopeneus prayensis*) y el cirujano (Acanthuridae: *Acanthurus monroviae*). Por ello, se proponen también dos bioindicadores: la proporción de estas especies en relación al número total de individuos y la proporción de juveniles en relación al número de adultos, por especie.

Los mismos parámetros también deberían ser aplicados a otras especies de peces y de invertebrados, aunque en términos numéricos no hayan sido importantes, pero que tienen valor ecológico, comercial y/o carismático, tales como el mero tropical (Serranidae: *Cephalopholis taeniops*), la vieja lomonegro (Labridae: *Bodianus speciosus*), el sargo blanco (Sparidae: *Diplodus sargus lineatus*, endémico), el loro de Guinea (Scaridae: *Scarus hoefleri*), el pulpo (Octopodidae:

Octopus vulgaris), los erizos (Arbaciidae: *Arbacia lixula*; Diadematidae: *Diadema antillarum*) y las estrellas de mar (Echinasteridae: *Echinaster sepositus*; Ophidiasteridae: *Ophidiaster ophidianus*). Se ha considerado especialmente la facilidad en la identificación de las referidas especies en el campo como criterio para su elección como especies bioindicadoras.

3. Comunidad de fitoplancton:

En la columna de agua, se debe seguir la abundancia de los organismos de interés ambiental, como las cianobacterias filamentosas (características de ambientes con limitación de nitrógeno en relación al fósforo) y de especies potencialmente productoras de toxicidad. Entre estas cabe citar, las diatomeas productoras potenciales de toxicidad ASP del género *Pseudo-nitzschia*, dinoflagelados productores potenciales de toxicidad DSP del género *Dinophysis* y las especies *Prorocentrum mínimum*, *Prorocentrum mexicanum* y *Ostreopsis siamensis*.

Cuadro de los bioindicadores que se propone para la monitorización de la Bahía de Murdeira.

Bioindicadores ambientales de la Bahía de Murdeira	
1. Corales	(% de cobertura) - $\frac{\text{Algas}}{\text{Corales duros}}$ (% de cobertura) - $\frac{\text{Arena}}{\text{Corales duros}}$ (% de cobertura) - $\frac{\text{Palythoa caribaeorum}}{\text{Corales duros}}$
2. Corales (blanqueamiento)	(% de cobertura) - $\frac{\text{Corales duros no íntegros}}{\text{Corales duros}}$
3. Peces y invertebrados	(%) - $\frac{\text{Numero individuos de especie x}}{\text{Número total de individuos de peces o invertebrados}}$ (%) - $\frac{\text{Numero de juveniles especie x}}{\text{Numero adultos especie x}}$
4. Fitoplancton	Densidad de especies con toxicidad (céls/litro)

V. VALORACIÓN ECOLÓGICA DE LA BAHÍA DE MURDEIRA

Para la valoración ecológica de la Bahía de Murdeira, en el marco del presente estudio, se consideraron una serie de criterios ecológicos y de gestión de acuerdo con las directrices internacionales establecidas por WWF/Adena para la elaboración de su red Representativa de Áreas Marinas Protegidas. La Red de Áreas Marinas Protegidas en el Oeste Africano (RAMPAO) se trata de una iniciativa llevada a cabo por el Programa Regional de Conservación de las Zonas Costeras y Marinas de África Occidental (PRCM) y apoyada por instituciones internacionales, como WWF/Adena y la UICN.

Además de aquellos criterios se incorporó en parte, la estructura conceptual de Derous *et al.* (2007b), dividiendo tales criterios en: criterios biológicos (principales y modificadores) y criterios de gestión (ver diagrama abajo), aplicados en etapas según este mismo orden. Los criterios biológicos principales traducen los valores intrínsecos de la biodiversidad y los criterios biológicos modificadores, que pueden expresar valores intrínsecos o no de la biodiversidad, incrementan o disminuyen el valor de la zona en cuestión, basado en los criterios principales. Por último se consideran los criterios de gestión, que los gestores o legisladores pueden tener en cuenta además de los anteriores, en la toma de decisiones particularmente en la elección entre dos o más zonas diferentes. En el presente estudio, se consideraron los criterios de gestión que se citan en el diagrama abajo.

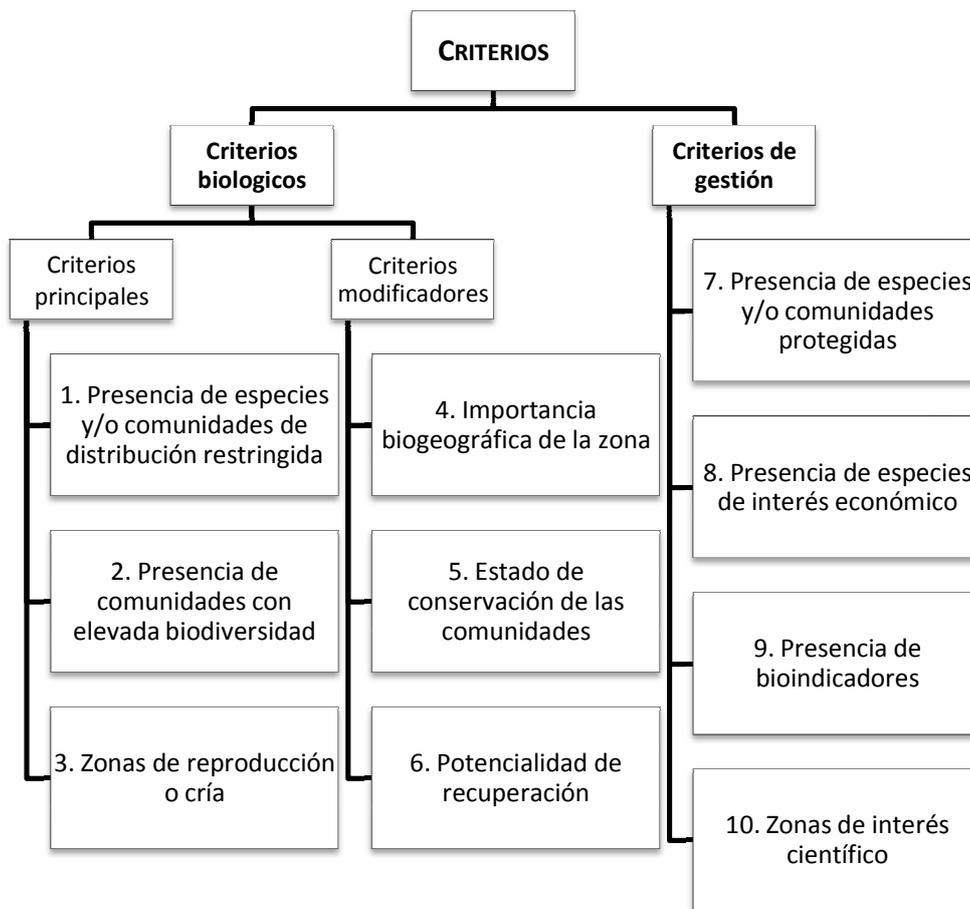


Diagrama de los criterios para la valoración biológica (o ecológica).

A cada uno de los criterios se le atribuyó un valor de 1 a 5, que corresponde a una clasificación de la zona en cuestión, según el mismo criterio en: muy bajo, bajo, medio, alto o, muy alto, respectivamente. Después, se estimó la media en cada uno de los niveles: criterios biológicos principales y criterios biológicos modificadores, la media de ambos representa el valor biológico (o ecológico) de la zona. Al incluir la media de los criterios de gestión se obtiene el valor biológico y de interés.

Se ha fundamentado la atribución de los valores según cada uno de los criterios, que se muestran en el cuadro final, dando como resultado un valor biológico alto y un valor biológico y de interés también alto.

1. Presencia de especies y/o comunidades de distribución restringida

Las comunidades coralinas en el lado oriental del océano atlántico se encuentran restringidas a unas pocas bahías protegidas, y generalmente, ubicadas en islas (Laborel, 1974), siendo la Bahía de Murdeira uno de los pocos ejemplos. Además, las islas de Cabo Verde fueron identificadas por Roberts *et al.* (2002), como uno de los diez *hotspots* (puntos calientes) de la biodiversidad marina y centros prioritarios para acciones de conservación de los arrecifes tropicales. Es decir, se encuentra entre los centros de endemismos más ricos, que en total constituyen cerca de 15.8% de los arrecifes de corales mundiales, pero que presentan entre 44.8 a 54.2% de las especies de distribución restringida. Un caso particular de distribución restringida en Cabo Verde, son las especies de la familia Conidae. De las 50 especies de esta familia presentes en Cabo Verde, casi el 94% son endémicas, estando el mayor número de endemismos en las islas de Boavista, Maio y Sal. Comparando las tres islas, las especies que se encuentran en la isla de Sal son genéticamente más aisladas en relación a las especies de las demás islas, probablemente debido a la profundidad que las separa (Duda Jr. & Rolán, 2005). Una particularidad de estos casos de endemismos es que se restringen a una única isla y hasta incluso una bahía (Röckel *et al.*, 1980 *cit in* Duda Jr. & Rolán, *op cit*). Un ejemplo, es la especie *Conus mordeirae*, endémica de la Bahía de Murdeira. Además de esta, se encuentran en la referida bahía, al menos las especies *C. ermineus*, *C. cuneolus* y *C. alteralbus* (Rolán, 1985), siendo las dos últimas también endémicas en la región.

De acuerdo con Floeter *et al.* (2008), la tasa de endemismos en la ictiofauna arrecifal de las islas de Cabo Verde es 8.3%, habiendo sido registradas en dicha bahía algunas de las especies endémicas (Capítulo 4). Con todo esto, se justifica la clasificación de este criterio para esta bahía como muy alta.

2. Presencia de comunidades con elevada biodiversidad

La Bahía de Murdeira se encuentra en la zona tropical, que en general presenta una diversidad alta. La influencia de los vientos alisios provoca además una situación ciclónica al sur de las islas, originando surgencias locales (efecto isla) que enriquecen las aguas superficiales con nutrientes provenientes de aguas más profundas. Estos afloramientos contribuyen al enriquecimiento de la cadena trófica que caracteriza las aguas de la Bahía de Murdeira adquiriendo entonces una productividad media (ver Capítulo 2), lo que explica su alta riqueza biológica.

Por otro lado, la posición geográfica de Cabo Verde ha contribuido también en la aportación de organismos de varios orígenes. La ictiofauna de Cabo Verde está dominada por elementos guineanos y anfiatlánticos tropicales, pero con presencia también de un alto número de especies pantropicales y de aguas cálido-templadas del Atlántico Oriental. También se incluyen las llamadas insulares o macaronésicas - compartidas exclusivamente con los archipiélagos de la Macaronesia (Azores, Madeira, Salvajes y Canarias), de acuerdo con Brito *et al.* (2007).

Además las características particulares de la Bahía de Murdeira, señaladas anteriormente, han contribuido para el establecimiento de una extensa comunidad coralina, destaca también la presencia de la comunidad de rodolitos. Estos dos tipos de comunidades ofrecen abrigo y alimento a varias especies de organismos y, por consiguiente, son comunidades naturalmente asociadas a una alta diversidad, justificando la clasificación de este criterio como alta.

3. Zonas de reproducción o cría

La proximidad de la Bahía de Murdeira a zona de grandes profundidades permite la aproximación de individuos de ballenas yubartas (*Megaptera novaengliae*) que suelen entrar en el interior de la bahía para la reproducción, así fueron observados adultos con crías en la zona (Hazevoet & Wenzel, 2000). Estos autores sugirieron que por las características de dicha bahía puede ser adecuada como área de parto para esta especie.

En las playas arenosas de la bahía, aunque con baja frecuencia debido a la depredación humana, ocurre el desove de la tortuga común o boba (*Caretta caretta*), especie protegida (como las demás tortugas marinas) a nivel mundial y que encuentra en Cabo Verde un lugar idóneo para completar su ciclo biológico. Además, la bahía constituye un hábitat idóneo para los juveniles de otras tortugas marinas, como la tortuga verde (*Chelonia mydas*), de acuerdo con Cabo Verde Natura 2000 (2001). Concretamente durante la segunda campaña de muestreo en junio de 2007, se observó en esta bahía una cópula entre dos individuos de *Caretta caretta*.

Como se ha descrito en el Capítulo 4, en las dos campañas de estudio realizadas se registraron juveniles de varias especies de peces demersales y pelágicos.

La bahía de Murdeira constituye un hábitat fundamental también para algunas especies de aves marinas, como *Pandion haliaetus* y *Phaeton aethereus*, que encuentran en los espacios

protegidos del islote y monte de Rabo de Junco, cuyos nombres se deben porque albergan una de las escasas colonias sobrevivientes de esta última y singular ave, que utiliza la bahía como zona de cría y de alimentación, de acuerdo con Cabo Verde Natura 2000 (2001).

Basándonos en los fundamentos anteriores se consideró la clasificación relativa a este criterio como alta.

4. Importancia biogeográfica de la zona

Las islas de Cabo Verde constituyen uno de los pocos sitios a lo largo del océano atlántico oriental donde los corales hermatípicos están presentes, esto es debido a que la supervivencia de estos organismos exige dos condiciones ambientales fundamentales: la temperatura entre los 20 y 28 °C y aguas transparentes. A lo largo de la orilla oriental y tropical del atlántico tales condiciones ambientales son escasas. Por un lado, la desembocadura de varios ríos aportando sedimentos y, por consiguiente, produciendo aguas turbias inadecuadas para la supervivencia de corales hermatípicos. Por otro lado, por la referida orilla pasan dos corrientes frías, la corriente fría de Canarias (en el atlántico norte) y la corriente fría de Benguela (en el atlántico sur). En este sentido, en el atlántico oriental solamente en las regiones con menos influencia de los ríos y de las corrientes frías se encuentran corales hermatípicos y, entre estas, en unas pocas, principalmente Cabo Verde y São Tomé y Príncipe, estos corales forman comunidades coralinas. Esas comunidades se encuentran en las bahías más o menos confinadas, protegidas del alto hidrodinamismo y en rasas (Laborel, 1974), constituyendo los puntos ideales para los corales hermatípicos en el atlántico oriental. La Bahía de Murdeira con su orientación sudoeste, a sotavento de la isla, se encuentra al resguardo del oleaje reinante y dominante (ver Capítulo 2), siendo así, uno de los pocos ejemplos de zonas con comunidades coralinas en este lado del atlántico. En Cabo Verde, esta bahía presenta otra particularidad, encontrarse dentro de una plataforma insular relativamente amplia (principalmente en el sector sur de la isla), pero aislada de las demás plataformas insulares adyacentes, lo que habrá contribuido a la presencia de especies con un significativo grado de endemismo y aislamiento genético. Con esto se justifica la clasificación de este criterio de muy alta.

5. Estado de conservación de las comunidades

El porcentaje medio de cobertura registrada fue alrededor de 10%, valor típico para una comunidad coralina. Exceptuando la ocurrencia del fenómeno del blanqueamiento, la comunidad coralina en sí, no parece encontrarse muy afectada. Sin embargo, se registró la presencia de algas con porcentaje de cobertura media mucho más elevada que los corales. Las algas presentan tasas de crecimiento más elevadas y, por consiguiente compiten con los corales por el espacio. Un ecosistema rico en corales y con las poblaciones de algas controladas, es indicativo de un buen estado de conservación. Sin embargo, no habiendo valores de referencia para la zona, no se puede evaluar el estado exacto de conservación con base en la proporción, corales *versus* algas. Lo mismo se puede afirmar al respecto de las demás especies asociadas a la comunidad coralina, peces e invertebrados. En el caso de los peces, la riqueza es relativamente alta, 58 especies identificadas, pero apenas 10 especies representan cerca del 50% de la abundancia total, los carnívoros y piscívoros presentaron abundancias muy bajas. Aunque no hay datos de referencia, los bajos valores de abundancia de estos grupos tróficos, pueden estar traduciendo la afección de la sobrepesca. Por lo que, el estado de conservación basado en este criterio, se clasificó como medio.

6. Potencialidad de recuperación

En términos generales, los arrecifes de corales crecen solamente unas pocas decenas de mm por año, tanto en el plano vertical como en la horizontal. Muchas especies de corales planos o en forma de cúpula (caso de *Siderastrea radians* y *Porites astreoides*) crecen solamente en torno a 30 mm por año. Además, se registró el blanqueamiento de colonias de *Siderastrea radians* y *Favia fragum* presentes en la Bahía de Murdeira (ver Capítulo 4), fenómeno este que limita más el crecimiento de corales. La comunidad más importante en la Bahía de Murdeira, por su extensión y principalmente por la diversidad asociada, es la comunidad coralina, presentando los organismos estructurantes de esta comunidad baja tasa de crecimiento, por lo que tendrá también baja tasa de recuperación. Por lo que se justifica la valoración de este criterio como baja.

7. Presencia de especies y/o comunidades protegidas

La existencia de algunas especies endémicas o con algún estatuto de protección confiere a la bahía mayor interés ecológico. Cabe recordar el alto grado de endemismo de los moluscos del

género *Conus* en Cabo Verde y la especie *Conus mordeirae* endémica de la Bahía de Murdeira. Además, se encuentran en la referida bahía las especies de *C. cuneolus* y *C. alteralbus* (Rolán, 1985), endémicas de la región.

En esta bahía se ha verificado la presencia ocasional de algunos ejemplares de langosta verde (*Panulirus regius*), cuya pesquería se practicó de forma abusiva hasta disminuir este recurso, estando actualmente protegida por ley durante la época de mayor actividad reproductiva.

La proximidad de la Bahía de Murdeira a grandes profundidades permite la aproximación de individuos de ballenas yubartas (*Megaptera novaengliae*) que suelen entrar en el interior de la bahía para la reproducción, así fueron observados adultos con crías en la zona (Hazevoet & Wenzel, 2000).

En las playas arenosas de la bahía, aunque con baja frecuencia debido a la depredación humana, ocurre el desove de la tortuga común o boba (*Caretta caretta*), especie protegida (como las demás tortugas marinas) a nivel mundial que encuentra en Cabo Verde un lugar idóneo para completar su ciclo biológico. Además, la bahía constituye un hábitat idóneo para los juveniles de otras tortugas marinas, como la tortuga verde (*Chelonia mydas*), de acuerdo con Cabo Verde Natura 2000 (2001). Durante la segunda campaña de muestreo se observó, una cópula entre dos individuos de *Caretta caretta*.

La bahía de Murdeira constituye un hábitat fundamental también para algunas especies de aves marinas como *Pandion haliaetus* y *Phaeton aethereus*, que encuentran en los espacios protegidos del islote y monte de Rabo de Junco, nombres dados por albergar una de las escasas colonias sobrevivientes de esta última y singular ave, que utiliza la bahía como zona de cría y de alimentación, de acuerdo con Cabo Verde Natura 2000 (2001).

Considerando estos ejemplos la clasificación del criterio debe ser alta.

8. Presencia de especies de interés económico

Las comunidades coralinas o arrecifes de corales constituyen un recurso valioso con beneficios inestimables en muchos países, sustentando sus industrias pesqueras y contribuyendo a la seguridad alimentaria, ya que sirven de hábitat para muchas especies marinas de consumo humano y con gran importancia económica.

En la Bahía de Murdeira existe una gran riqueza de peces demersales de interés comercial pertenecientes a las familias Pomacentridae, Scaridae, Muraenidae y Labridae. Algunas de las especies con mayor interés pesquero son *Sparisoma cretense* (Bidião), *Diplodus prayensis* (Sargo salema), *Diplodus sargus lineatus* (Sargo branco) y *Spicara melanurus* (Dobrada) comunes en la bahía, con una abundancia representada tanto por estadios juveniles como por adultos.

También fueron observadas algunas especies de peces pelágicos como *Tunnus albacora*, *T. obesus*, *Katsuwonus pelamis* de interés pesquero. Las langostas y bucio fueron en el pasado reciente importantes pesquerías en dicha zona.

Otro potencial económico, los *Conus*, son considerados actualmente un auténtico tesoro farmacéutico. Los péptidos presentes en el veneno de estos organismos, presentan un alto potencial farmacológico lo que ha atraído varias investigaciones en el sentido de desarrollar fármacos especialmente para trastornos neuropáticos (Wang & Chi, 2004).

Por lo que, la potencialidad económica de la biodiversidad presente en esta bahía es muy alta.

9. Presencia de bioindicadores

Algunas especies asociadas a las comunidades coralinas se han mostrado óptimas como bioindicadores del estado de conservación de estos ecosistemas. Entre estas, destacan las especies del género *Chaetodon* (peces “borboletas”) que, en general, se alimentan directamente de los corales y, por consiguiente, responden rápidamente al declive en la calidad y abundancia de los mismos. A nivel mundial, se han utilizado varios bioindicadores para detectar el estado de conservación de los ecosistemas coralinos, incluyendo los corales pétreos, las esponjas, el camarón de corales (*Stenopus hispidus*), el erizo de la especie *Heterocentrotus mammilatus*, los peces “borboletas” (*Chaetodon* sp.), algas, meros (*Serranidae*), langostas espinosas (*Panulirus*), erizos (*Diadema* sp.), morenas (Muraenidae), viejas (Scaridae), entre otros. Estos últimos grupos fueron propuestos en el presente trabajo como bioindicadores para ser evaluados en estudios de monitorización de la Bahía de Murdeira.

En la columna de agua, entre los organismos de interés ambiental destaca la presencia de cianobacterias filamentosas (características de ambientes con limitación de nitrógeno en relación al fósforo) y de especies potencialmente productoras de toxicidad. Entre estas cabe citar, las diatomeas

productoras potenciales de toxicidad ASP del género *Pseudo-nitzschia*, dinoflagelados productores potenciales de toxicidad DSP del género *Dinophysis* y las especies *Prorocentrum minimum*, *Prorocentrum mexicanum* y *Ostreopsis siamensis*.

Según este criterio se justifica la clasificación como muy alta.

10. Zonas de interés científico

Como se ha referido anteriormente, por sus características particulares en el marco del océano atlántico oriental y en Cabo Verde en particular, la Bahía de Murdeira posee una comunidad coralina constituida por corales hermatípicos o constructores de arrecifes.

Los fondos coralinos de Cabo Verde presentan casos de desaparición y pocos casos de mortalidad de las especies, lo que los hace ideales para diversos estudios paleoceanográficos. El esqueleto de carbonato de calcio de los corales pétreos registra los cambios producidos por las variaciones estacionales en la temperatura y luz a través de bandas de crecimiento estacionales, como los anillos de los árboles, que pueden ser leídos por rayo X y usados para determinar la edad y la tasa de crecimiento de los corales (Moses *et al.*, 2003).

La baja mortalidad de los corales en el archipiélago de Cabo Verde, también ha desatado algún interés científico en el lo que respecta a la resistencia de las colonias de corales. Aunque las condiciones en términos de temperatura y transparencia del agua, fueron suficientes para garantizar el establecimiento de las comunidades coralinas, no son las ideales. Por un lado, la corriente de Canarias aporta aguas frías y, por otro, el aporte de sedimentos provenientes del desierto del Sahara y, su aumento a lo largo de los años han contribuido a la reducción de corales en el Caribe, pero ese efecto, no se ha verificado en Cabo Verde. La especie dominante, *Siderastrea radians*, se diferencia mucho de las colonias de la misma especie en el Caribe, siendo más resistente y formando en este archipiélago verdaderas planchas que se pueden medir en metros.

La proximidad de la Bahía de Murdeira a grandes profundidades, permite la aproximación de individuos de ballenas yubartas (*Megaptera novaengliae*) que suelen entrar en el interior de la bahía para la reproducción, observándose adultos con crías en la zona (Hazevoet & Wenzel, 2000).

La bahía de Murdeira constituye un hábitat fundamental también para algunas especies de aves marinas como *Pandion haliaetus* y *Phaeton aethereus*, que encuentran en los espacios

protegidos del islote y monte de Rabo de Junco un albergue para una de las escasas colonias sobrevivientes de esta última y singular ave, que utiliza la bahía como zona de cría y de alimentación, de acuerdo con Cabo Verde Natura 2000 (2001).

Por lo que, la clasificación según este criterio sería alta.

Cuadro de la clasificación, de acuerdo con los criterios establecidos, del área marina protegida de la Bahía de Murdeira. 1 – Muy baja; 2 – Baja; 3 – Media; 4 – Alta y 5 – Muy Alta.

	CLASIFICACIÓN	1	2	3	4	5
	CRITERIOS BIOLÓGICOS Y DE GESTIÓN					
1	PRESENCIA DE ESPECIES Y/O COMUNIDADES DE DISTRIBUCIÓN RESTRINGIDA					
2	PRESENCIA DE COMUNIDADES CON ELEVADA BIODIVERSIDAD					
3	ZONAS DE REPRODUCCIÓN O CRÍA					
	MEDIA BASADA EN LOS CRITERIOS BIOLÓGICOS PRINCIPALES					
4	IMPORTANCIA BIOGEOGRÁFICA DE LA ZONA					
5	ESTADO DE CONSERVACIÓN DE LAS COMUNIDADES					
6	POTENCIALIDAD DE RECUPERACIÓN					
	MEDIA BASADA EN LOS CRITERIOS BIOLÓGICOS MODIFICADORES					
	VALOR BIOLÓGICO					
7	PRESENCIA DE ESPECIES Y/O COMUNIDADES PROTEGIDAS					
8	PRESENCIA DE ESPECIES DE INTERÉS ECONÓMICO					
9	PRESENCIA DE BIOINDICADORES					
10	ZONAS DE INTERÉS CIENTÍFICO					
	MEDIA BASADA EN LOS CRITERIOS DE GESTIÓN					
	VALOR BIOLÓGICO DE INTERÉS					

VI. CONCLUSIONES GENERALES

En la Bahía de Murdeira, los resultados de los estudios realizados en los dos periodos de estudio, septiembre de 2006 y junio de 2007, identificaron diferencias estacionales en las condiciones oceanográficas, características del archipiélago de Cabo Verde, representando las épocas caliente y fría, respectivamente. Esas diferencias estacionales se verificaron tanto en la temperatura como en las características físicas y químicas de la columna de agua y de los sedimentos.

PRIMERA.- La columna de agua en la Bahía de Murdeira presentó bajos niveles de nutrientes, lo que resultó en una productividad baja, típica en la región del Atlántico Noroeste. Sin embargo la Bahía de Murdeira, debido a su ubicación en la costa occidental de la isla de Sal (Cabo Verde) y a la exposición a los vientos alisios (fuertes en junio), es susceptible de la aparición de una surgencia de aguas subsuperficiales o simplemente una mezcla de agua más profunda, que incrementa la cantidad de nutrientes y, por lo tanto la productividad, como se ha verificado en el periodo de junio de 2007.

SEGUNDA.- El incremento en la productividad fue muy evidente en lo que respecta a la productividad primaria y secundaria. En septiembre del 2006, las densidades de fitoplancton y de zooplancton fueron respectivamente de 366.519 céls/litro y 101.7 individuos/m³, habiéndose incrementados hasta 1,159,523 céls/litro y 1,313.0 individuos/m³, en el periodo de junio de 2007.

TERCERA.- Según el tipo de sustrato, principal determinante del hábitat bentónico, se distribuyeron las diferentes comunidades o poblaciones presentes en dicha bahía: comunidad coralina, comunidad de rodolitos, poblaciones algales, poblaciones de corales (*Siderastrea radians* o *Millepora alcicornis*), fondo de arena sin macroorganismos y fondo de arena con otros macroorganismos (siendo estos principalmente colonias de *Aplysina aerophoba*, *Distaplia corolla* o gorgonias). A estas comunidades, en particular aquellas sobre sustratos duros, estaba asociada una comunidad de invertebrados vágiles. Los índices de diversidad de Shannon-Wiener y de riqueza de Margalef de dicha comunidad, en el periodo de junio de 2007 (época fría), se incrementaron con la profundidad. Sin embargo, la densidad se mantuvo similar entre los rangos de profundidad estudiados (inferiores a -30 m).

CUARTA.- En niveles tróficos superiores, particularmente en la comunidad íctica demersal, con excepción de una especie planctotrófica (*Chromis lubboki*), no se verificó un aumento significativo en la densidad. La comunidad íctica demersal no presentó cambios significativos en lo que respecta a su estructura, verificándose diferencias tan solo en la distribución de dicha comunidad en el periodo de septiembre de 2006 respecto al tipo de sustrato.

QUINTA.- En resumen, las comunidades fitoplanctónica, íctica demersal y de invertebrados vágiles presentaron una gran variedad de especies, teniendo la mayoría de ellas densidad muy baja. Los valores de los índices de riqueza y de diversidad fueron de bajos a medios. Por lo que, se consideró de forma particular la gran variedad de especies para la valoración biológica de la Bahía de Murdeira.

SEXTA. - Considerando los sucesivos informes sobre el estado de la biodiversidad de Cabo Verde y varios estudios científicos, es evidente que se ha incrementado en el conocimiento sobre la flora y fauna marina de este archipiélago. Por otra parte, se constató una gran representatividad de la biodiversidad de Cabo Verde en la Bahía de Murdeira, siendo un 47%, entre todos los grupos analizados. Los peces demersales y las microalgas se encuentran entre los grupos mejor representados, cerca de 53% y 89% de las especies respectivamente. La representatividad de las macroalgas, los invertebrados y otros (incluyendo cetáceos, tortugas y aves) fue alrededor de 33%, 32% y 23%, respectivamente.

SÉPTIMA.- Aunque la densidad y el porcentaje de cobertura del coral blando *Palythoa caribaeorum* no son elevadas, su presencia fue frecuente en la Bahía de Murdeira. Por ello, requiere un seguimiento de su población, ya que esta especie afecta a la riqueza y densidad de peces arrecifales, porque reduce la diversidad bentónica, así como la cantidad de abrigos y alimentos disponibles para los peces.

OCTAVA.- Una serie de bioindicadores para futuros estudios de monitorización del AMP de la Bahía de Murdeira fueron identificados, tanto en fondo como en la columna de agua. Entre ellos destacan: los ratios entre cada uno de los porcentajes de, cobertura de algas, arena y *Palythoa caribaeorum* versus porcentaje de cobertura de corales duros; la proporción de juveniles y adultos, y la proporción entre el número de individuos de cada especie en relación al número total de individuos (*Sparisoma cretense*, *Pseudopenaeus prayensis*, *Acanthurus monroviae*, *Cephalopholis taeniops*, *Bodianus speciosus*, *Diplodus sargus lineatus*, *Scarus hoefleri*, *Octopus vulgaris*, *Arbacia lixula*, *Diadema antillarum*, *Echinaster sepositus* y *Ophidiaster ophidianus*).

NOVENA. - En la columna de agua se identificaron especies bioindicadoras de interés ambiental, cianobacterias filamentosas (características de ambientes con limitación de nitrógeno en relación al fósforo) y especies potencialmente productoras de toxicidad (*Pseudo-nitzschia*, *Prorocentrum mínimum*, *Prorocentrum mexicanum* y *Ostreopsis siamensis* y especies del genero *Dinophysis*).

DÉCIMA. - El valor biológico atribuido al área marina protegida de la Bahía de Murdeira fue establecido siguiendo criterios biológicos y de gestión. Basándonos en los valores medios de ambos, pero sobre todo por la presencia de especies de distribución restringida y por la importancia biogeográfica, el valor biológico y el de interés del área obtuvo una clasificación global alta.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Afonso-Carrillo, J. & Sansón, M. 1999. Algas, hongos y fanerógamas marinas de las Islas Canarias (Clave analítica). Servicio de publicaciones de la Universidad de La Laguna. 255 pp.
- Almada, E. 1993. Caracterização oceanológica das zonas de pesca da ZEE do arquipélago de Cabo Verde. 1º Encontro Nacional de Pesca Responsável. Mindelo, 5 a 7 de Janeiro de 1994. INDP. Publicação avulsa Nº 0- Mindelo 1994. 177 pp.
- Almeida, C., Freitas, R., Ferreira, C.E. L & Luz, N.S.I. da. 2012. Estrutura das Comunidades Recifais da Reserva Natural Integral de Santa Luzia - Cabo Verde: Subsídios para o Monitoramento Contínuo (Fases I e II). Relatório Técnico, 31 pp.
- Ansari, Z.A., Chatterji, A., Ingole, B.S., Sreepada, R.A., Rivonkar, C.U. & Parulekar, A. H. 1995. Community structure and seasonal variation of an inshore demersal fish community at Goa, west coast of India. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 41(5): 593-610.
- Arhan, M., Colin de Verdière, A. & Mémery, L. 1994. The eastern boundary of the subtropical North Atlantic. *Journal of Physical Oceanography*, 24(6): 1295-1316.
- Aristegui, J., Barton, E.D., Álvarez-Salgado, X.A., Santos, A.M.P., Figueiras, F.G., Kifani, S., Hernández-León, S., Masona, E., Machúe, E. & Demarcq, H. 2009. Sub-regional ecosystem variability in the Canary Current upwelling. *Progress in Oceanography*, 83(1): 33-48.
- Barone, R. 1997. Observaciones de aves migratorias en el archipiélago de Cabo Verde, septiembre de 1997. *Rev. Acad. Canar. Cienc.*, IX (Núms. 2, 3 y 4): 87-96.
- Barton, E.D. 1998. Eastern boundary of the North Atlantic: northwest Africa and Iberia. *Coastal segment* (18, E). *The sea*, 11: 633-657.
- Bell, J.D. & Galzin, R. 1984. Influence of live coral cover on coral-reef fish communities. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 15(3): 265-274.
- Betancourt, C., Suárez, R. & Toledo, L. 2009. Patrones de distribución temporal de algunas variables físicas y químicas en el embalse Paso Bonito, Cienfuegos, Cuba. *Limnetica*, 28 (1): 23-34.
- Bibi, M.H., Ahmed, F., Ishiga, H., Asaeda, T. & Fujino, T. 2010. Present environment of Dam Lake Sambe, southwestern Japan: a geochemical study of bottom sediments. *Environ. Earth Sci.* 60: 655–670.
- Bloom, S.A. 1981. Similarity indices in community studies: potential pitfalls. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 5: 125-128.
- Boonyapiwat, S. 1999. Distribution, abundance and species composition of phytoplankton in The South China Sea Area I: Gulf of Thailand and East coast of Peninsular Malaysia.

In Proceeding of the first technical seminar on marine fishery resources survey in the South China Sea Area I: Gulf of Thailand and East Coast of Peninsular Malaysia, 111-134.

- Borja, Á., Galparsoro, I., Irigoien, X., Iriondo, A., Menchaca, I., Muxika, I., Pascual, M., Quincoces, I., Revilla, M., Germán-Rodríguez, J., Santurtún, M., Solaun, O., Uriarte, A., Valencia, V. & Zorita, I. 2011. Implementation of the European Marine Strategy Framework Directive: A methodological approach for the assessment of environmental status, from the Basque Country (Bay of Biscay). *Marine Pollution Bulletin*, 62(5), 889-904.
- Borja, A., García de Bikuña, B., Blanco, J.M., Agirre, A., Aierbe, E., Bald, J., Belzunce, M.J., Fraile, H., Franco, J., Gandarias, O., Goikoetxea, I., Leonardo, J.M., Lonbide, L., Moso, M., Muxika, I., Pérez, V., Santoro, F., Solaun, O., Tello, E.M. & Valencia, V. 2003. Red de Vigilancia de las masas de agua superficial de la Comunidad Autónoma del País Vasco. Departamento de Ordenación del Territorio y Medio Ambiente, Gobierno Vasco, vol. 22. 3043 pp.
- Bravo de Laguna, J. 1985. Plates-formes insulaires et zone économique exclusive à la République du Cap-Vert. PNUD/FAO, Project pour le renforcement du Secrétariat d'Etat aux Pêche du Cap-Vert, CVI/82/003/Rapport Technique, 6: 1-28.
- Brito A., Herrera, R., Falcón, J. M., García-Charton, J. A., Barquín J. & Pérez-Ruzafa, A. 1999. Contribución al conocimiento de la ictiofauna de las islas de Cabo Verde. *Revista de la Academia Canaria de la Ciencia*, 11 (3-4): 27-41.
- Brito, A. & Miller P. J. 2001. Gobiid fishes from de Cape Verde Islands, including two new species of *Gobius* (Teleostei: Gobioidae). *Journal of Natural History*, 35: 253-277
- Brito, A., Falcón, J.M. & Herrera, R. 2007. Características zoogeográficas de la ictiofauna litoral de las Islas de Cabo Verde y comparación con los archipiélagos macaronésicos. *Rev. Acad. Canar. Cienc*, 18: 93-109.
- Brito, A., Pasqual, P.J., Falcón, J.M., Sancho, A. & González, G. 2002. Peces de las Islas Canarias. Catálogo comentado e ilustrado. Francisco Lemus Ed. 419 pp.
- Cabo Verde Natura 2000. 2001. Planificación y Ordenación Sostenible del Territorio y los Recursos Naturales del litoral de Cabo Verde y de las islas de Sal, Boa Vista y Maio. IV. Espacios Naturales Protegidos de las Islas de Sal, Boa Vista y Maio. Proyecto B7/6200/98-10/ENV/V111. Unión Europea, Governo de Cabo Verde, Gobierno de Canarias, Fundación Universitaria de las Palmas.
- Caeiro, S., Costa, M.H., Goovaerts, P., Marco, P. & Flavio, M. 2005. Benthic biotope index for classifying hábitats. *Marine Environmental Research* 60: 570-593.
- Castelló, J. & Junoy, J. 2010. Catálogo de las especies de isópodos marinos (Crustacea: Isopoda) de los archipiélagos macaronésicos. *Boletín. Instituto Español de Oceanografía*, 23(1-4): 21-31.

- Cleary, D.F., Becking, L.E., de Voogd, N.J., Renema, W., de Beer, M., Van Soest, R. W. & Hoeksema, B.W. 2005. Variation in the diversity and composition of benthic taxa as a function of distance offshore, depth and exposure in the Spermonde Archipelago, Indonesia. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 65(3): 557-570.
- Conservation International. 2002. Top ten coral reef hotspots. Center for Applied Biodiversity Science at Conservation International. http://www.reef-guardian.org/Pubs/coral_5freefs_5ffactsheet.pdf. Último acceso en 22 Agosto de 2013.
- Costello, M.J. 2000. A framework for an action plan on marine biodiversity in Ireland. 47 pp.
- Cunha, R.L., Lopes, E.P., Reis, D.M. & Castilho, R. 2011. Genetic structure of *Brachidontes puniceus* populations in Cape Verde archipelago shows signature of expansion during the last glacial maximum. *Journal of Molluscan Studies*, 77: 175–181.
- Chavez, F. P. & Messié, M. 2009. A comparison of eastern boundary upwelling ecosystems. *Progress in Oceanography*, 83(1): 80-96.
- Damalas, D., Maravelias, C.D., Katsanevakis, S., Karageorgis, A.P. & Papaconstantinou, C. 2010. Seasonal abundance of non-commercial demersal fish in the eastern Mediterranean Sea in relation to hydrographic and sediment characteristics. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 89(1): 107-118.
- Decreto-Lei nº 3/2003. Estabelece o Regime Jurídico dos espaços naturais, paisagens, monumentos e lugares, que pela sua relevância para la biodiversidade, pelos seus recursos naturais, função ecológica, interesse socio-económico, cultural, turístico ou estratégico, merecem uma protecção especial e integrar-se na Rede Nacional de Áreas Protegidas. Praia. B. O. Da República de Cabo Verde, 1ª Série, Nº 5, 2003.
- DEFRA, 2007. An introductory guide to valuing ecosystem services. DEFRA, London. 65 pp.
- Demaison, G.J. & Moore, G.T. 1980. Anoxic environments and oil source bed genesis. *Organic Geochemistry*, 2: 9-31.
- Derous S., Agardy, T., Hillewaert, H., Hostens, K., Jamieson, G., Lieberknecht, L., Mees, J., Moolaert, I., Olenin, S., Paelinckx, D., Rabaut, M., Rachor, E., Roff, J., Stienen, E.W.M., Van der Wal, J.T., Van Lancker, V., Verfaillie, E., Vincx, M., Weslawski, J.M. & Degraer, S. 2007b. A concept for biological evaluation in the marine environment. *Oceanologia*, 49 (1): 99-128.
- Derous, S., Austen, M., Claus, S., Daan, N., Dauvin, J.C., Deneudt, K., Depestele, J., Desroy, N., Heessen, H., Hostens, K., Marboe, A.H., Lescauwaet, A.K., Moreno, M., Moolaert, I., Paelinckx, D., Rabaut, M., Rees, H., Ressureiçao, A., Roff, J., Santos, P.T., Speybroeck, J., Stienen, E.W.M., Tatarek, A., Ter Hofstede, R., Vincx, M., Zarzycki, T. & Degraer, S. 2007a. Building on the concept for marine biological valuation with respect to translating it to a

- practical protocol: Viewpoints derived from a joint ENCORA-MARBEB initiative. *Oceanologia* 49 (4): 579-586.
- Diaz, R.J., Solan, M. & Valente, R.M. 2004. A review of approaches for classifying benthic habitats and evaluating habitat quality. *Journal of Environmental Management*, 73(3): 165-181.
- Duda Jr, T.F. & Rolán, E. 2005. Explosive radiation of Cape Verde *Conus*, a marine species flock. *Molecular Ecology*, 14: 267-272.
- Dudley, N. (Editor). 2008. Directrices para la aplicación de las categorías de gestión de áreas protegidas. Gland, Suiza: UICN. 96 pp.
- Dugan, J.E. & Davis, G.E. 1993. Applications of marine refugia to coastal fisheries management. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 50: 2029-2042.
- Ebert, T.A., Hernández, J.C., & Russell, M.P. 2012. Ocean conditions and bottom-up modifications of gonad development in the sea urchin *Strongylocentrotus purpuratus* over space and time. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 467: 147-166.
- Entrambasaguas, L., Pérez-Ruzafa, Á., García-Charton, J. A., Stobart, B. & Bacallado, J. J. 2008. Abundance, spatial distribution and habitat relationships of echinoderms in the Cabo Verde Archipelago (eastern Atlantic). *Marine and Freshwater Research*, 59(6): 477-488.
- Estrada, M. 1984. Phytoplankton distribution and composition off the coast of Galicia (northwest of Spain). *Journal of Plankton Research*, 6(3): 417-434.
- Faust, M.A., Larsen, J. & Moestrup, Ø. 1999. Potentially toxic phytoplankton 3. Genus *Prorocentrum* (Dinophyceae). ICES Identification Leaflets for Plankton= Fiches d'identification du plankton. 184 pp.
- Fernandes, M.J., Lázaro, C., Santos, A.M.P. & Oliveira, P. 2004. Oceanographic characterization of the Cape Verde region using multisensor data. Proc. of the 2004 Envisat & ERC Symposium, Salzburg, Austria, 6-10 September 2004.
- Ferreira, C.E.L., Floeter, S.R., Gasparini, J.L., Ferreira, B.P. & Joyeux, J.C. 2004. Trophic structure patterns of Brazilian reef fishes: a latitudinal comparison. *Journal of Biogeography*, 31(7): 1093-1106.
- Fletcher, S., Saunders, J. & Herbert, R. J. H. 2011. A review of the ecosystem services provided by broad-scale marine habitats in England's MPA network. *Journal of Coastal Research*, SI 64 (Proceedings of the 11th International Coastal Symposium): 378-373.
- Floeter, S.R., Krohling, W., Gasparini, J.L., Ferreira, C.E. & Zalmon, I.R. 2007. Reef fish community structure on coastal islands of the southeastern Brazil: the influence of exposure and benthic cover. *Environmental Biology of Fishes*, 78(2): 147-160.

- Floeter, S.R., Rocha, L.A., Robertson, D.R., Joyeux, J.C., Smith-Vaniz, W.F., Wirtz, P., Edwards, A.J., Barreiros, J.P., Ferreira, C.E.L., Gasparini, J.L., Brito, A., Falcón, J.M., Bowen, B.W. & Bernardi, G. 2008. Atlantic reef fish biogeography and evolution. *Journal of Biogeography*, 35(1): 22-47.
- Fraga, J. N., Ruiz, G. V., Riera, R. & Castro, M. D. C. B. 1999. Anélidos poliquetos bentónicos de las Islas de Cabo Verde: Primer catálogo faunístico. *Revista de la Academia Canaria de Ciencias:= Folia Canariensis Academiae Scientiarum*, 11(3): 135-172.
- Freitas, R., 2012. Reef fish and benthic community structure of Santa Luzia marine reserve, Eastern Atlantic. *Dissertação de Mestrado em Recursos do Mar e Gestão Costeira*. Mindelo. DECM. Universidade de Cabo Verde. 33 pp.
- García, F., Palacio, C. & García, U. 2012. Distribución vertical de temperatura y salinidad en el área costera de santa marta (Colombia). *Dyna rev.fac.nac.minas* [online], vol.79, n.171 [cited 2013-08-22]: 232-238. Disponible en: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=s0012-73532012000100029&lng=en&nrm=iso. Último acceso en 22 Agosto de 2013.
- García-Rojas, A. 2011. Evaluación ambiental de aguas costeras y puertos deportivos a partir de la comunidad fitoplanctónica en las Islas Canarias, España. Tesis doctoral. Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Gran Canaria, España. 192 pp.
- García-Talavera, F.C. 2003. La Macaronesia (consideraciones geológicas, biogeográficas y paleoecológicas). Disponible en: <http://elguanche.net/macaronesiav2003.htm>. Último acceso en 6 de Marzo de 2007.
- Garrabou, J., Ballesteros, E. & Zabala, M. 2002. Structure and dynamics of north-western Mediterranean rocky benthic communities along a depth gradient. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 55(3): 493-508.
- González-Henríquez, N.G., Jiménez, N. G., Elso, M. Z., Fernández, G. L., Quintana, R. D., de la Rosa, M. R. & Sintés, P. M. 2006. Evaluación de los ecosistemas y recursos marinos de la Bahía Murdeira (Isla de Sal, Cabo Verde). ICCN / WWF Tec. Report vii + 98 p., 7 maps
- Gotsis-Skretas, O., Pagou, K., Moraitou-Apostolopoulou, M. & Ignatiades, L. 1999. Seasonal horizontal and vertical variability in primary production and standing stocks of phytoplankton and zooplankton in the Cretan Sea and the Straits of the Cretan Arc (March 1994–January 1995). *Progress in Oceanography*, 44(4): 625-649.
- Halpern, B. S. & Floeter, S. R. 2008. Functional diversity responses to changing species richness in reef fish communities. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 364: 147–156.
- Hanel, R., Hans-Christian, J., Meyer-Klaeden, O. & Piatkowski, U. 2010. Larval fish abundance, composition and distribution at Senghor Seamount (Cape Verde Islands). *Journal of plankton research*, 32(11): 1541-1556, doi:10.1093/plankt/fbq076

- Hazevoet, C. & Wenzel, F. 2000. Whales and dolphins (Mammalia, Cetacea) of the Cape Verde Islands, with special reference to the Humpback Whale *Megaptera novaengliae* (Borowski, 1781). *Contributions to Zoology*, 69 (3): 197-211.
- Hazevoet, C.J., 1995. The birds of the Cape Verde Islands. BOU Check-list 13. British Ornithologists' Union, Tring. 192 pp.
- Hill, P.G., Heywood, J.L., Holland, R.J., Purdie, D.A., Fuchs, B.M. & Zubkov, M.V. 2012. Internal and external influences on near-surface microbial community structure in the vicinity of the Cape Verde islands. *Microb. Ecol.*, 63(1): 139-148.
- IPCC, 2007. Climate Change 2007: synthesis report. *In*: PACHAURI, R. K. & REISINGER, A. (EDS.), Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC, Geneva, Switzerland. 104 pp.
- Jacquet, S., Delesalle, B., Torrétón, J. P. & Blanchot, J. 2006. Response of phytoplankton communities to increased anthropogenic influences (southwestern lagoon, New Caledonia). *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 320: 65-78.
- Johnson, R.L., Perez, K.T., Rocha, K. J., Davey, E.W., & Cardin, J.A. 2008. Detecting benthic community differences: Influence of statistical index and season. *Ecological Indicators*, 8(5): 582-587.
- Kemp, D.W., Cook, C.B., LaJeunesse, T.C. & Brooks, W. R. 2006. A comparison of the thermal bleaching responses of the zoanthid *Palythoa caribaeorum* from three geographically different regions in south Florida. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 335(2): 266-276.
- Laborel, J. 1974. West African reef corals: an hypothesis on their origin. *Proc. 2nd Int. Coral Reef Syrup.*, 1425-443.
- Lathuilière, C., Echevin, V. & Lévy M. 2008. Seasonal and intraseasonal surface chlorophyll-*a* variability along the northwest African coast. *J. Geophys. Res.*, 113, C05007, doi:10.1029/2007JC004433.
- Lawson, G.W. 1987. The marine algae and coastal environment of tropical West Africa. *Nova Hedwigia*, 93: 1-415.
- Lázaro, C., Fernandes, M.J., Santos, A.M.P. & Oliveira, P. 2005. Seasonal and interannual variability of surface circulation in the Cape Verde region from 8 years of merged T/P and ERS-2 altimeter data. *Remote sensing of environment*, 98(1): 45-62.
- Legendre, P. & Legendre, L. 1998. *Numerical Ecology*. 2nd English ed. Elsevier. 853 pp.
- Liddell, W.D., & Ohlhorst, S.L. 1987. Patterns of reef community structure, north Jamaica. *Bulletin of Marine Science*, 40(2): 311-329.

- Lopes, J.F., Ferreira, J.A. & Rocha, A.C. 2012. Modelling the circulation around the Sta. Luzia island (Cape Verde): A preliminary study. Research Results (CCAA)/ 2010-2019. <http://hdl.handle.net/10625/50679>.
- López Cortés, D.J., Gárate Lizárraga, I., Bustillos Guzmán, J.J. Alonso Rodríguez, R. & Murillo Murillo, I. 2003. Variabilidad de estado trófico y la biomasa fitoplanctónica en Bahía Concepción, Golfo de California (1997-1999). *Hidrobiológica*, 13(3): 195-206.
- López-Jurado, L. F. L. 1998. Inventario preliminar de los recursos naturales litorales de la Republica de Cabo Verde. 181 pp.
- Loya, Y. 1972. Community structure and species diversity of hermatypic corals at Eilat, Red Sea. *Mar. Biol.* 13 (2): 100-123.
- Maliao, R.J., Turingan, R.G. & Lin, J. 2008. Phase-shift in coral reef communities in the Florida Keys National Marine Sanctuary (FKNMS), USA. *Marine Biology*, 154(5): 841-853.
- Manning, R. & Holthius, B. 1981. West African Brachyuran Crabs (Crustacea: Decapoda). *Smithsonian Contributions to Zoology*, n° 306, 379 pp.
- McConnell, R. 1999. Estudos ecológicos de comunidades de peixes tropicales. Edusp, São Paulo, 534 pp.
- Medina, A., Vieira, M. H. & Varela, P. 2002. Deuxieme Rapport National Sur l'Etat de la Biodiversite au Cap Vert. 113 p.
- Medina, L. 1995. Análisis multidisciplinar del ecosistema costero insular, balance energetico, capa de mezcla y modelo biologico. Tesis doctoral. Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Gran Canaria, España, 334 pp.
- Mendonça-Neto, J.P., Ferreira, C. E., Chaves, L.C. & Pereira, R.C. 2008. Influence of *Palythoa caribaeorum* (Anthozoa, Cnidaria) zonation on site-attached reef fishes. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 80(3): 495-513.
- Mittelstaedt, E. 1991. The ocean boundary along the northwest African coast: Circulation and oceanographic properties at the sea surface. *Progress in Oceanography*, 26 (4): 307-355.
- Moestrup, Ø. & Larsen, J. 1992. Potentially toxic phytoplankton: 1. Haptophyceae (Prymnesiophyceae). ICES Identification Leaflets for Plankton=Fiches d'identification du plancton, 179 pp.
- Monod, T. 1956. Hippidea et Brachyura ouest-africains. *Mem. Inst. Franç. Afrique Noire*, 45: 674 pp.
- Monteiro, J., Almeida, C., Freitas, R., Delgado, A., Porteiro, F., & Santos, R. 2008. Coral assemblages of Cabo Verde: preliminary assessment and description. In *Proceedings of the 11th International Coral Reef Symposium*, Fort Lauderdale, Florida, 7(11): 1416-19.

- Monteiro, V.M.D.S. 1998. Peixes de cabo Verde con valor comercial. Ministerio do Mar. Gabinete do Secretário de Estado da Cultura. 179 pp.
- Morri, C. & Bianchi, C. N. 1995a. Ecological niches of hermatypic corals at Ilha do Sal (Arquipélago de Cabo Verde). Boletim do Museu Municipal do Funchal, Madeira, 4: 473-85.
- Morri, C. & Bianchi, C. N. 1995b. Cnidarian zonation at Isla do Sal (Arquipelago de Cabo Verde). Beiträge zur Paläontologie, 20: 41-49.
- Morri, C., Cattaeno-Vietti, R., Sartoni, G. & Bianchi, C. N. 2000. Shallow epibenthic communities of Ilha do Sal (Cape Verde Archipelago, eastern Atlantic). Arquipel Life Mar Sci Suppl, 2: 157-165.
- Moses, C., Helmle, K., Swart, P, Dodge, E. & Merino, S. E. 2003. Pavements of *Siderastrea radians* on Cape Verde reefs. Coral Reefs 22: 506. doi:10.1007/s00338-003-0346-x
- Narois, R. & Bonnafoux, D. 1969. L'avifaune de l'île du Sel (Isla do Sal, Archipel du Cap Vert). Rev. Int. Ornit., 2: 93-113.
- Naurois, R. 1987. Le balbuzard (*Pandion haliaetus* L.) aux îles du Cap Vert. Estratto dagli Annali del Museo Civico di Storia Naturale di Genova, Vol LXXXVI.
- Ohlhorst, S.L., Liddell, W.D., Taylor, R.J. & Taylor, J. M. 1988. Evaluation of reef census techniques. Proc. 6th Int'l. Coral Reef Symp., Australia 2: 319-324.
- Onuma, Y., Satake, M., Ukena, T., Roux, J., Chanteau, S., Rasolofonirina, N., Ratsimaloto, M., Naoki, H. & Yasumoto, T. 1999. Identification of putative palytoxin as the cause of clupeotoxism. Toxicon, 37(1): 55-65.
- Ortea, J., Moro, L. & Espinosa, J. 1997. Nuevos datos sobre el genero *Elysia* Risso, 1818 (Opisthobranchia: Sacoglossa) en el Atlántico. Rev. Acad. Canar. Cienc., IX (Núms. 2, 3 y 4): 141-155.
- Ortea, J., Moro, L., Bacallado, J. J. & Espinosa, J. 1998. Catálogo abreviado de las especies del orden Sacoglossa(= Ascoglossa, Mollusca: Opisthobranchia) de las islas Canarias y de Cabo Verde. Revista de la Academia Canaria de Ciencias, 10(4): 85-96.
- Otero-Schmitt, J. 1993. Some local patterns of zonation of benthic marine flora and fauna in Sal. Santiago. S. Vicente and Brava (Cape Verde Islands). Courier Forschungs-Inst Senckenberg, 159: 45-52.
- Otero-Schmitt, J. 1995. Comunidades bentónicas marinas de las islas de Sal, San Vicente, Santiago, Fogo y Brava (Islas Cabo Verde). Vieraea: Folia scientiarum biologiarum canariensium, (24): 1-11.
- PCMC, 2007. Avaliação do Ambiente e Recursos Marinhos da Baía da Murdeira. Projecto de Conservación Marina e Costeira. Direcção Geral do Ambiente, Praia. 139 p.

- Pérez-Rodríguez, P., Pelegrí, J. L. & Marrero-Díaz, A. 2001. Dynamical characteristics of the Cape Verde frontal zone. *Scientia Marina*, 65(Suppl 1): 241-250.
- Reimer, J. D., Hirose, M. & Wirtz, P. 2010. Zoanths of the Cape Verde Islands and their symbionts: previously unexamined diversity in the Northeastern Atlantic. *Contributions to Zoology*, 79(4): 147-163.
- Reiner, F. 1996. Catálogo dos pezes do Arquipélago de Cabo Verde. Publicações Avulsas do IPIMAR, N° 2, Lisboa. 337 p.
- Remoundou, K., Koundouri, P., Kontogianni, A., Nunes, P. A. L. D. & Skourtos, M. 2009. Valuation of natural marine ecosystems: an economic perspective. *Environmental Science and Policy*, 12: 1040-1051.
- Riegl, B., Bruckner, A., Coles, S.L., Renaud, P. & Dodge, R.E. 2009. Coral reefs. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1162(1): 136-186.
- Roberts, C. M., McClean, C. J., Veron, J. Y. N., Hawkins, J. P., Allen, G. R., McAllister, D. Y., Mittermeier, C. G., Schueler, F. W., Spalding, M., Wells, F. , Vynne, C. & Werner T. B. 2002. Marine Biodiversity Hotspots and Conservation Priorities for Tropical Reefs. *Science*, 295: 1280–1284.
- Roberts, C.M. & Hawkins, J.P. 2000. Reservas Marinas totalmente protegidas: una guía. Campaña Mares en Peligro del WWF, Washington y Environmental Department, University of York, Reino Unido. 143 pp.
- Rojas-Herrera, A.A., González, J.V., García-Ibáñez, S., Sevilla-Torres, V.M., Gil-Guerrero, J.S. & Flores-Rodríguez, P. 2012. Temporal variation in the phytoplankton community of Acapulco Bay, Mexico. *Microbiology Research*, 3(1), e4.
- Rolán, E. & Templado, J. 1993. The family Cingulopsidae (Prosobranchia: Rissoidea) in the Cape Verde islands, with the description of one new species. *Basteria*, 57: 193-198.
- Rolán, E. 1985. Aportaciones al conocimiento de los Conus de Cabo Verde por las observaciones realizadas en acuario. *Thalassas*, 3: 37-56.
- Rolán, E. 1987. El genero *Manzonia* Brussina, 1870 en el archipiélago de Cabo Verde. *Publ. Ocas. Soc. Port. Malac.*, 9: 27-36.
- Rolán, E. 2005. Malacological fauna from the Cape Verde Archipelago: 1. Polyplacophora and Gastropoda. *ConchBooks*. 455 p.
- Salas, C. & Rolán, E. 1990. Four new species of Condylardiidae from Cape Verde Islands. *Bull. Mus. natn. Hist. nat., Paris*, 4 sér., 12, section A, 2: 349-363.
- Saldanha, L. 1997. Fauna Submarina Atlântica: Portugal Continental, Açores e Madeira. 3ª Ed. Publicações Europa-America. 364 p.

- Scottish Environmental Protection Agency (SEPA). 1998. Regulation and Monitoring of Marine Cage Farming in Scotland—A Manual of Procedures. Scottish Environmental Protection Agency, Stirling, Scotland.
- Segal, B. & Castro, C.B. 2001. A proposed method for coral cover assessment: a case study in Abrolhos, Brazil. *Bull. Mar. Sci.*, 69 (2): 487-496.
- Silva, R., Levy, J. G., Gomes, I., Veiga, J. L. & Almada, E. O. 1999. Rapport National Sur l'Etat de la Biodiversite. 58 p.
- Sokal, R. R. & Rohlf, F. J. 1981. *Biometry*. W. H. Freeman, New York, 859 p.
- Solano, O.D., Navas Suárez, G. & Moreno-Forero, S.K. 1993. Blanqueamiento coralino de 1990 en el Parque Nacional Natural Corales del Rosario (Caribe, colombiano). *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras-INVEMAR*, 22(1): 97-111.
- Stramma, L. & Siedler, G. 1988. Seasonal changes in the North Atlantic subtropical gyre. *J. Geophys. Res.*, 93(C7): 8111–8118.
- Stramma, L., Brandt, P., Schafstall, J., Schott, F., Fischer, J. & Körtzinger, A. 2008. Oxygen minimum zone in the North Atlantic south and east of the Cape Verde Islands. *J. Geophys. Res.*, 113(C04014): doi:10.1029/2007JC004369.
- Stramma, L., Hüttl, S. & Schafstall, J. 2005. Water masses and currents in the upper tropical northeast Atlantic off northwest Africa. *J. Geophys. Res.*, 110(C12): 2156–2202.
- Symons, G. E. & B. Morey. 1941. The effect of drying time on the determination of solids in sewage and sewage sludges. *Seawage Works J.* 13: 936.
- Templado, J. & Rolán, E. 1993. Las especies del genero *Crisilla* y afines (Gastropoda: Prosobranchia: Rissoidae) en el archipiélago de Cabo Verde. *Iberus*, 11 (2): 1-25.
- Tilstone, G. H., Martín Míguez, B., Figueiras, F. G. & Fermín, E. G. 2000. Diatom dynamics in a coastal ecosystem affected by upwelling: coupling between species succession, circulation and biogeochemical processes. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 205: 23–41
- Toole, C. L., Brodeur, R. D., Donohoe, C. J. & Markle, D. F. 2011. Seasonal and interannual variability in the community structure of small demersal fishes off the central Oregon coast. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 428: 201-217.
- Torres, P.C., Silva, L.C., Serralheiro, A., Mendes, M.H., Macedo, J., Mota Gomes, A., 2002. Geologia da Ilha do Sal. Serie de Ciencias da Terra 10: 1-572, Geological Sheets I–II.
- Trujillo, A.P. & Thurman, H.V. 2005. *Essentials of oceanography*. Prentice Hall. 541 p.
- Van der Land, J. 1993. Marine biota of Cape Verde Islands. *Courier Forsch. – last Senckenbeng*, 159: 39-44.

- Varela, M., Bode, A., Lorenzo, J., Alvarez-Ossorio, M. T., Miranda, A., Patrocinio, T., Anadón, R., Viesca, L., Nieves Rodríguez, L. V., Cabal, J., Urrutia, A., García-Soto, C., Rodríguez, M., Álvarez-Salgado, X. A. & Groom, S. 2006. The effect of the “Prestige” oil spill on the plankton of the N–NW Spanish coast. *Marine Pollution Bulletin*, 53 (5): 272-286.
- Varela, M., Prego, R. & Pazos, Y. 2008. Spatial and temporal variability of phytoplankton biomass, primary production and community structure in the Pontevedra Ria (NW Iberian Peninsula): oceanographic periods and possible response to environmental changes. *Marine Biology*, 154 (3): 483-499.
- Varela, M., Prego, R., Pazos, Y. & Moróño, Á. 2005. Influence of upwelling and river runoff interaction on phytoplankton assemblages in a Middle Galician Ria and Comparison with northern and southern rias (NW Iberian Peninsula). *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 64 (4): 721-737.
- Verdugo-Díaz, G., Martínez-López, A. & Gárate-Lizárraga, I. 2010. Indicadores ecológicos de la estructura de la comunidad fitoplanctónica en Bahía Concepción, Golfo de California, México. *Oceánides* 25(2): 95-102.
- Villaça, R. & Pitombo, F. B. 1997. Benthic communities of shallow-water reefs of Abrolhos, Brazil. *Revista Brasileira de Oceanografia*, 45(1/2): 35-43.
- Wang, C.Z. & Chi C.W. 2004. *Conus* peptides - a rich pharmaceutical treasure. *Acta Biochim Biophys Sin, Shanghai*, 36 (11): 713-23.
- Welschmeyer, N. A. 1994. Fluorimetric Analysis of Chlorophylls *a* in presence of Chlorophylls *b* and Phaeopigments. *Limnol. Oceanog.*, 39(8): 1985-1992.
- Whitehead, P.J.P., Bauchot M.L., Hureau J.C., Nielsen, J. & Tortonese, E. 1986. Fishes of the North eastern Atlantic and the Mediterranean. Vol. I, II y III. UNESCO. 1473 p.
- Witman, J.D. & Smith, F. 2003. Rapid community change at a tropical upwelling site in the Galápagos Marine Reserve. *Biodiversity & Conservation*, 12(1): 25-45.
- Zariquey-Álvarez, R. 1968. Crustáceos decápodos ibéricos. *Investigación Pesquera*, Barcelona, 32: 510.
- Zazo, C., Goyb, J.L., Dabrio, C.J., Soler, V., Hillaire-Marcel, Cl., Ghaleb, B., González-Delgado, J.A., Bardají, T. & Cabero A. 2007. Quaternary marine terraces on Sal Island (Cape Verde archipelago). *Quaternary Science Reviews*, doi: 10.1016/j.quascirev.2006.12.014.



Reserva Natural Marinha



Bahía da Murdeira