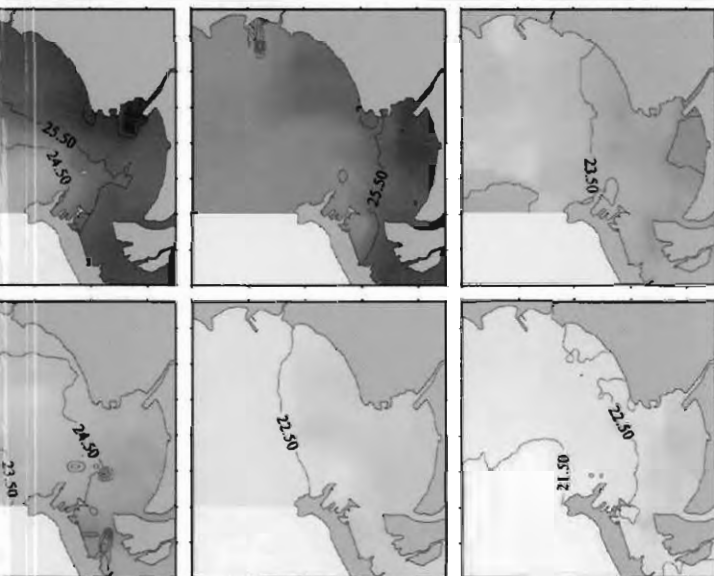


Bahía de Cádiz:

Protección de los Recursos Naturales Pesqueros y Aplicaciones para Instalaciones Acuícolas



Consejería de Agricultura y Pesca



BAHÍA DE CÁDIZ: PROTECCIÓN DE LOS RECURSOS NATURALES PESQUEROS Y APLICACIONES PARA INSTALACIONES ACUÍCOLAS.

© JUNTA DE ANDALUCÍA. *Consejería de Agricultura y Pesca*

© *Textos:* Autor/es.

Publica: Viceconsejería. Servicio de Publicaciones y Divulgación

Colección: PESCA Y ACUICULTURA

Serie: RECURSOS PESQUEROS

Coordinación: José Carlos Manzano Harriero (Coordinador)
José María Naranjo Márquez
Manuel Aguilar Perea

Autores: Alfonso Sánchez de Lamadrid Rey (Director Técnico)
M^ª Teresa Jiménez Peral
Javier Tomás Ruíz Segura
José Manuel Gutiérrez Mas
José Luis Muñoz Pérez.
Manuel Saavedra Martín
Ana Juárez Dávila
Abraham Pérez Pastor
María Zeneida Romero Romero

Ilustraciones: Autores

I.S.B.N.: 84-8474-043-9

Depósito Legal: SE-102-2002

BAHÍA DE CÁDIZ:

PROTECCIÓN DE LOS RECURSOS NATURALES PESQUEROS
Y APLICACIONES PARA INSTALACIONES ACUÍCOLAS

**Centro de Investigación y Cultivo de Especies Marinas “El Toruño”.
Dirección General de Investigación y Formación Agraria y Pesquera.
Consejería de Agricultura y Pesca de la Junta de Andalucía.**



F.E.D.E.R.
Iniciativa “Pesca”



JUNTA DE ANDALUCÍA
Consejería de Agricultura y Pesca

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	13
2. OBJETIVOS Y ZONA DE ESTUDIO	19
2.1 ZONA DE ESTUDIO.....	20
2.2 EMBARCACIÓN UTILIZADA.....	22
3. DESCRIPCIÓN MORFOLÓGICA DE LA ZONA EXTERNA DE LA BAHÍA DE CÁDIZ	23
3.1 INTRODUCCIÓN.....	23
3.1.1 PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS.....	23
3.1.1.1 Longitud Máxima.....	23
3.1.1.2 Longitud Máxima Efectiva.....	23
3.1.1.3 Anchura Máxima.....	23
3.1.1.4 Anchura Máxima Efectiva.....	23
3.1.1.5 Superficie Total.....	23
3.1.1.6 Perímetro.....	23
3.1.1.7 Factor de Desarrollo de la Orilla.....	24
3.1.1.8 Fetch.....	25
3.1.1.9 Batimetría: Volúmenes y Áreas de la Bahía.....	25
4. GRANULOMETRÍA, LUGARES DE SEDIMENTACIÓN, TOPOGRAFÍA, BATIMETRÍA	29
4.1 ESTUDIO SEDIMENTOLÓGICO.....	29
4.1.1 INTRODUCCIÓN.....	29
4.1.1.1 Geografía y Zonas Ambientales.....	29
4.1.1.2 Marco Geológico.....	29
4.1.2 MATERIAL Y MÉTODOS.....	31
4.1.2.1 Análisis Granulométrico.....	31
4.1.2.2 Contenido en Carbonatos.....	33
4.1.2.3 Contenido en Materia Orgánica.....	33
4.1.2.4 Clasificación de los Sedimentos.....	33
4.1.2.5 Cartografía.....	34
4.1.3 RESULTADOS.....	34
4.1.3.1 Naturaleza Granulométrica de los Sedimentos. Ambientes de Depósito y Tipos de Sedimentos.....	34
4.1.3.2. Contenido en Carbonatos.....	41
4.1.3.3 Contenido en Materia Orgánica.....	41

4.1.4 CONSIDERACIONES SOBRE LOS RESULTADOS.....	41
4.1.4.1 Origen y Fuentes de Aportes de las Diferentes Fracciones de Tamaño de los Sedimentos.....	41
4.1.4.2 Comportamiento Mecánico de los Sedimentos.....	41
4.1.4.3 Conclusiones.....	43
4.2 ESTUDIO SONOGRÁFICO, MORFOLÓGICO Y DINÁMICO SEDIMENTARIO.....	44
4.2.1 INTRODUCCIÓN.....	44
4.2.2 MATERIAL Y MÉTODOS.....	45
4.2.2.1 Campañas de Sonar de Barrido Lateral y Levantamientos Batimétricos	45
4.2.2.2 Diseño de Líneas y Transectos.....	46
4.2.2.3 Técnicas y Equipos Utilizados.....	46
4.2.2.4 Análisis de Gabinete.....	47
4.2.2.5 Análisis Sonográfico.....	47
4.2.2.6 Análisis Morfológico y Dinámico.....	47
4.2.3 CONSIDERACIONES SOBRE LOS RESULTADOS.....	48
4.2.3.1 Factores de Control.....	48
4.2.3.2 Campos de Forma de Fondo, Dirección de la Corriente y Régimen Energético.....	48
4.3 CONCLUSIONES GENERALES Y RECOMENDACIONES.....	51
4.3.1 CONCLUSIONES GENERALES.....	51
4.3.1.1 Naturaleza del Sedimento.....	51
4.3.1.2 Factores de Control del Régimen Energético.....	52
4.3.1.3 Direcciones de Transporte.....	52
4.3.1.4 Régimen Energético.....	53
4.3.1.5 Acción Antrópica.....	53
ANEXO.....	CD
5. CORRIENTES EN LA BAHÍA DE CÁDIZ.....	55
5.1 PLANTEAMIENTO DE LOS MUESTREOS.....	55
5.1.1 PRIMERA FASE. SEPTIEMBRE DE 1999.....	55
5.1.2 SEGUNDA FASE. NOVIEMBRE DE 1999.....	55
5.1.3 TERCERA FASE. ABRIL DE 2000.....	57
5.1.4 CUARTA FASE. AGOSTO DE 2000.....	61
5.2 RESULTADOS.....	61
5.2.1 PRIMERA FASE.....	61



5.2.2 SEGUNDA FASE.....	62
5.2.3 TERCERA FASE.....	62
5.2.4 CUARTA FASE.....	63
5.3 DISPERSIÓN DE LAS PARTÍCULAS.....	63
5.4 PROPUESTA DE ORDENACIÓN.....	64
ANEXO.....	CD
6. OLEAJE PARA LA ZONA DE ESTUDIO.....	81
7. CALIDAD DE LAS AGUAS.....	83
7.1 INTRODUCCIÓN.....	83
7.1.1 MARCO CONCEPTUAL.....	83
7.1.2 MARCO HIDROLÓGICO.....	84
7.1.3 FUNDAMENTOS TÉCNICOS DEL ESTUDIO.....	84
7.2 MATERIAL Y MÉTODOS.....	85
7.2.1 TOMA DE DATOS.....	85
7.2.1.1 Registro en Continuo.....	85
7.2.1.2 Muestras Discretas.....	86
7.2.1.3 Intercomparación: Registro Continuo-Muestras Discretas.....	88
7.2.2 DERROTA.....	88
7.2.3 FRECUENCIA Y DURACIÓN DE LOS MUESTREOS.....	89
7.3 RESULTADOS.....	90
7.3.1 METEOROLOGÍA.....	90
7.3.2 CICLO ANUAL.....	98
7.3.2.1 Temperatura	98
7.3.2.2 Oxígeno.....	99
7.3.2.3 Salinidad.....	102
7.3.2.4 pH.....	103
7.3.2.5.Clorofila	103
7.3.2.6 Fitoplancton.....	104
7.3.2.7 Sólidos en Suspensión / Turbidez.....	107
7.3.2.8 Nutrientes.....	108
7.3.3 CICLO MAREAL.....	111
7.3.4.TEMPORAL.....	111



7.3.5 OTRAS CARACTERÍSTICAS DE LA BAHÍA.....	112
7.3.5.1 Estructura Vertical.....	112
7.3.5.2 La Zona Exterior de la Bahía.....	117
7.3.5.3 La Bahía de Cádiz en el Contexto del Golfo de Cádiz.....	117
7.4 PROPUESTA DE ORDENACIÓN.....	118
7.4.1 ORDENACIÓN DE UN SISTEMA ALTAMENTE CAMBIANTE.....	118
7.4.2 ÍNDICE DE CALIDAD DE AGUA PARA EL CULTIVO DE ESPECIES MARINAS EN LA BAHÍA DE CÁDIZ.....	119
7.4.3 ORDENACIÓN DE LA BAHÍA EXTERNA DE CÁDIZ.....	121
ANEXO.....	CD
8. VEGETACIÓN DE LOS FONDOS.....	125
8.1 INTRODUCCIÓN.....	125
8.2 PLANTEAMIENTO DE LOS MUESTREOS.....	125
8.2.1 PRADERAS DE ALGAS.....	126
8.2.2 PRADERAS DE FANERÓGAMAS MARINAS.....	126
8.3 RESULTADOS.....	128
8.3.1 PRADERA DE CAULERPA PROLIFERA.....	128
8.3.2 PRADERA DE CYMODOCEA NODOSA.....	129
8.4 PROPUESTA DE ORDENACIÓN.....	131
ANEXO.....	CD
9. BANCOS NATURALES DE MOLUSCOS BIVALVOS.....	133
9.1 INTRODUCCIÓN.....	133
9.2 METODOLOGÍA.....	134
9.2.1 ARTES EMPLEADAS.....	134
9.2.2 MUESTREOS REALIZADOS EN 1999.....	136
9.2.2.1 Estrategia de Muestreo.....	136
9.2.2.2 Estaciones de Muestreo.....	136
9.2.2.3 Procesado de Muestras.....	136
9.2.3 MUESTREOS REALIZADOS EN 2000.....	138
9.2.3.1 Dinámica de Poblaciones.....	138



9.2.3.2 Estudio Transversal de los Bancos Naturales.....	139
9.3 RESULTADOS.....	141
9.3.1 CAMPAÑA 1999.....	141
9.3.1.1 Relación de Especies de Moluscos Bivalvos.....	141
9.3.1.2 Relación Fauna Acompañante.....	143
9.3.1.3 Estructura de la Comunidad de Bivalvos.....	144
9.3.1.4 Densidad y Biomasa de Moluscos Bivalvos.....	151
9.3.2 CAMPAÑA 2000.....	153
9.3.2.1 Dinámica de Población de chirla.....	153
9.3.2.2 Estudio Transversal del Banco de chirla.....	158
9.3.2.3 Dinámica de Población de coquina.....	162
9.3.2.4 Estudio Transversal del Banco de coquina.....	167
9.3.2.5 Dinámica de Población de navaja.....	171
9.3.2.6 Estudio Transversal del Banco de navaja.....	176
9.4 PROPUESTAS DE PROTECCIÓN DE LOS BANCOS.....	181
9.4.1 PROTECCIÓN DEL MEDIO FÍSICO.....	181
9.4.2 PROTECCIÓN DE LOS RECURSOS MARISQUEROS.....	182
ANEXO.....	CD
10. PROPUESTAS DE ZONAS DE CULTIVO EN MAR ABIERTO.....	183
10.1 ZONAS NO APTAS PARA CULTIVOS MARINOS FLOTANTES.....	184
10.2 ZONAS POSIBLES.....	184
10.3 ZONAS SELECCIONADAS.....	186
ANEXO.....	CD
11. PROPUESTAS DE ZONAS DE PROTECCIÓN.....	187
12. BIBLIOGRAFÍA.....	189



ÍNDICE ANEXO

Este libro incluye un CD donde se adjuntan los mapas indicados como Anexo y una presentación interactiva para la consulta de los resultados del proyecto. Así mismo, una presentación automatizada con sonido permite visualizar en un ordenador los principales resultados y conclusiones.

ANEXO DEL CAPITULO 4. SEDIMENTOS

MAPA Nº 4.1	Distribución tamaño medio de grano
MAPA Nº 4.2	Distribución del contenido en grava
MAPA Nº 4.3	Distribución del contenido en arena
MAPA Nº 4.4	Distribución del contenido en fango
MAPA Nº 4.5	Distribución del contenido en limo
MAPA Nº 4.6	Distribución del contenido en arcilla
MAPA Nº 4.7	Fracciones de tamaño de grano predominantes
MAPA Nº 4.8	Distribución de los tipos de sedimentos
MAPA Nº 4.9	Distribución contenido en carbonatos
MAPA Nº 4.10	Distribución contenido en materia orgánica
MAPA Nº 4.11	Clasificación del fondo según transporte dominante
MAPA Nº 4.12	Probabilidad de removilización del sedimento
MAPA Nº 4.13	Localización con sonar de barrido lateral
MAPA Nº 4.14	Formas de los fondos
MAPA Nº 4.15	Mapa sinóptico

ANEXO DEL CAPITULO 5. CORRIENTES

MAPA Nº 5.1	Posición de los correntímetros. Septiembre 1999
MAPA Nº 5.2	Posición de los correntímetros y diagrama polar. Noviembre 1999
MAPA Nº 5.3	Posición de los correntímetros y diagrama polar. Abril 2000

ANEXO DEL CAPITULO 7. CALIDAD DE AGUAS

MAPA Nº 7.1	Localización derrota y puntos de muestreo discreto
MAPA Nº 7.2	Variación estacional de temperatura (°C)
MAPA Nº 7.3	Variación estacional de oxígeno (mg/l)
MAPA Nº 7.4	Variación estacional de salinidad
MAPA Nº 7.5	Variación estacional de pH (SWS)
MAPA Nº 7.6	Variación estacional de clorofila (µg/l)
MAPA Nº 7.7	Variación estacional de turbidez (NTU)
MAPA Nº 7.8	Variación estacional de sólidos en suspensión (mg/l)
MAPA Nº 7.9	Variación estacional de materia inorgánica en suspensión (%)
MAPA Nº 7.10	Variación estacional de nitrato (µM)
MAPA Nº 7.11	Variación estacional de nitrito (µM)
MAPA Nº 7.12	Variación estacional de fosfato (µM)
MAPA Nº 7.13	Variación estacional de silicato (µg/l)
MAPA Nº 7.14	Ciclo mareal completo 15/09/99
MAPA Nº 7.15	Ciclo mareal completo 03/12/99
MAPA Nº 7.16	Ciclo mareal completo 17/05/00
MAPA Nº 7.17	Ciclo mareal completo 03/10/00



MAPA Nº 7.18	Patrón espacial temporal 27-10-99
MAPA Nº 7.19	Localización derrota y puntos de muestreo discreto del C2-08-00
MAPA Nº 7.20	Patrón espacial muestreo 02-08-00
MAPA Nº 7.21	Patrón espacial en la vertical. Datos CTD del 02-08-00
MAPA Nº 7.22	Imágenes de satélite. Ciclo anual 22-07-99 a 02-08-00
MAPA Nº 7.23	Índice de calidad total

ANEXO DEL CAPITULO 8. VEGETACIÓN DE LOS FONDOS

MAPA Nº 8.1	Localización de vegetación
MAPA Nº 8.2	Biomasa de <i>Caulerpa prolifera</i>
MAPA Nº 8.3	Biomasa de <i>Cymodocea nodosa</i>

ANEXO DEL CAPITULO 9. BANCOS NATURALES DE MOLUSCOS

MAPA Nº 9.1	Localización de <i>C. gallina</i> , <i>V. aureus</i> , <i>C. edule</i> , <i>D. trunculus</i> , <i>M corallina</i> y <i>P. inaequalvis</i> . Rastros, 1999
MAPA Nº 9.2	Localización de <i>D. lupinus</i> , <i>S. solida</i> , <i>C. gibba</i> , <i>A. aculeata</i> , <i>A. echinata</i> y <i>A. tuberculata</i> . Rastros, 1999
MAPA Nº 9.3	Localización de <i>T. tenuis</i> , <i>T. incarnata</i> , <i>T. distorta</i> , <i>T. fabuloide</i> , <i>A. ehippium</i> y <i>P. legumen</i> . Rastros, 1999
MAPA Nº 9.4	Localización de <i>P. exiguum</i> , <i>Lima hians</i> , <i>N. nulceus</i> , <i>N. Tenuis</i> , <i>M barbatus</i> y <i>Pitar rude</i> . Rastros, 1999
MAPA Nº 9.5	Localización de <i>P. pectinata</i> , <i>A. corbuloides</i> , <i>C. angulata</i> , <i>S. marginatus</i> , <i>C. spp</i> y <i>V. verrucosa</i> . Rastros, 1999
MAPA Nº 9.6	Densidad y biomasa de <i>A. aculeata</i> , <i>A. echinata</i> y <i>C. edule</i> . Dragas, 1999
MAPA Nº 9.7	Densidad y biomasa de <i>C. gallina</i> , <i>C. gibba</i> y <i>D. trunculus</i> . Dragas, 1999
MAPA Nº 9.8	Densidad y biomasa de <i>D. lupinus</i> , <i>M corallina</i> y <i>N. nulceus</i> . Dragas, 1999
MAPA Nº 9.9	Densidad y biomasa de <i>P. inaequalvis</i> , <i>P. exiguum</i> y <i>P. legumen</i> . Dragas, 1999
MAPA Nº 9.10	Densidad y biomasa de <i>S. marginatus</i> , <i>S. solida</i> y <i>T. incarnata</i> . Dragas, 1999
MAPA Nº 9.11	Densidad y biomasa de <i>T. tenuis</i> y <i>V. aureus</i> . Dragas, 1999

ANEXO DEL CAPITULO 10. PROPUESTAS DE ORDENACIÓN

MAPA Nº 10.1	Propuestas de protección y acuicultura flotante
--------------	---

ANEXO FOTOGRÁFICO



1. INTRODUCCIÓN

La bahía de Cádiz es un espacio marítimo singular en la región suratlántica andaluza, al suroeste de la península ibérica. Localizado concretamente a 36° 34' de latitud Norte y a 6° 16' de longitud Oeste, este ámbito corresponde a un sector litoral hundido a consecuencia de movimientos tectónicos y sometido a frecuentes periodos de invasiones marinas, la última relativamente reciente. De hecho, en el transcurso de la transgresión flandriana, hace unos 6.000 años, este enclave era un golfo marino bordeado al este por una costa recortada con acantilados y esteros, en el cual desembocaba el río Guadalete, principal agente generador de la fisonomía del territorio de la bahía. Todavía al final de dicha transgresión marina, el mar llegaba al pie de la sierra de San Cristóbal y los acantilados de Puerto Real, permaneciendo solamente emergidas algunas islas como Cádiz y San Fernando (Barragán Muñoz, 1996; Gutiérrez Más 1992).

En el transcurso de los siglos se formaron bajos, cordones arenosos y tómbolos, que a medida que crecieron provocaron un rápido depósito de limos de origen fluvial, que en conjunto fueron transformando la primitiva gran ensenada en varias bahías o ensenadas más pequeñas, que de menor a mayor influencia marina conformarían las siguientes unidades territoriales:

- una antigua bahía, con una superficie de 6.200 has., actualmente desecada, que corresponde al antiguo estuario del Guadalete- Río San Pedro, que en época de los fenicios eran una bahía marina, siendo a partir de época medieval que se desarrollan bajos y cordones arenosos que las fueron aislando del mar, con marismas evolucionadas drenadas por los anteriores cauces, hasta ser desecadas por el hombre, en gran parte en los últimos 40 años.
- Otra zona de marismas ha sido transformada en salinas, conformando el complejo salinero de Sancti-Petri, con unas 5.700 has., ya con una importante transformación en la Edad Media, si bien el cambio fundamental se llevó a cabo en el siglo XVIII, con la duplicación de la superficie de las salinas existentes. Esta zona comunica con el resto de la bahía a través del caño de Sancti Petri, por el norte, si bien su principal comunicación con el mar es por el sur, igualmente a través de dicho caño.
- una bahía interna, o saco de la bahía de Cádiz, al sur del cuello de botella de Puntales-Matagorda, con una superficie de 4.000 has., muy abrigada y en proceso de plena colmatación con una gran superficie de zona intermareal de marismas mareales y fangales (2.650 has.), en la que deben incluirse las marismas y salinas del río Arillo (790 has.). en esta ensenada la acción marina es poco notable.
- una bahía externa, situada al norte de aquel estrechamiento, con una superficie de 3.400 has., limitada, al Este, por las playas de Levante y los Toruños, al oeste por la ciudad de Cádiz, y, hacia mar abierto, por una serie de bajos rocosos. Esta zona es la que presenta una presencia importante de espacios permanentemente sumergidos, estando ampliamente abierta a las influencias del oleaje y de las corrientes de marea.

Cabe destacar como se produce un gradiente de influencia del mar, desde la bahía desecada, donde la tierra firme es el principal elemento paisajístico, hasta la bahía externa, donde la lámina de agua es el factor predominante en el paisaje.

Por otro lado cabe destacar que esta bahía externa se encuentra enclavada, conectada a través de una amplia bocana de más de 13 km, en una amplia región marítima, el Golfo de Cádiz, caracterizada desde el punto de vista oceanográfico por la corriente atlántica superficial procedente del Atlántico Norte y por el agua mediterránea que sale por el estrecho de Gibraltar en profundidad que deriva hacia la plataforma portuguesa y hacia las Islas Canarias. Además, los ríos más importantes del sur de la península, como son el Guadalquivir, el Guadiana y el Guadalete desembocan en el Golfo, y sin duda, sus aportes de agua dulce motivan la diversidad de ambientes y de comunidades que habitan esta región marítima. En este ámbito, la bahía de Cádiz está delimitada por la cercanía del Estrecho de Gibraltar y del mar de Alborán por el Este, y por los afloramientos de aguas profundas del cabo San Vicente y Santa María por el Oeste.



Al mismo tiempo, desde el punto de vista pesquero, el Golfo de Cádiz es una zona de pesca muy importante debido a varios factores, entre los que se encuentran la amplia extensión de la plataforma continental y la mayor productividad pesquera de las aguas atlánticas en comparación con las mediterráneas. Además, el estrecho de Gibraltar es paso obligado de muchas especies de interés comercial, como los túnidos desde el Atlántico al Mediterráneo o viceversa. Por otro lado, en el Golfo de Cádiz se encuentran zonas de puesta y alevinaje de otras especies de interés pesquero, como el boquerón, la sardina, el langostino o la acedía (Sobrino, García, García y Silva, 2000).

La bahía de Cádiz es un sistema de agua semicerrado con unas condiciones ecológicas que lo hacen idóneo para la implantación de diversas actividades de elevado interés socio-económico. Entre ellos se pueden considerar la instalación de cultivos marinos flotantes, la explotación de recursos naturales marisqueros ociosos y el fondeo de arrecifes artificiales disuasorios que mejoren la actividad pesquera.

La utilización de recursos en un medio natural, especialmente en zonas de alto valor ecológico como es este caso, requiere un conocimiento previo del sistema que permita predecir las consecuencias que pueden derivarse de cualquier aplicación o modificación realizada en esa área.

Estos estudios resultan obligatorios para el fondeo de arrecifes artificiales así como para la colocación de estructuras flotantes. No sólo revelan el posible impacto sobre el medio marino, sino que también aportan información acerca de la rentabilidad y eficacia de una zona respecto a otra. Es fundamental, por tanto, que ante las perspectivas de desarrollo acuícola y pesquero de una determinada zona costera se plantee un estudio previo que permita su posterior desarrollo sostenible.

La bahía de Cádiz se encuentra rodeada de diversas poblaciones (Cádiz, San Fernando, Chiclana, Puerto Real, El Puerto de Santa María y Rota) con una importante tradición acuícola y pesquera. En estos núcleos urbanos habitan unas 700.000 personas de las que un porcentaje importante trabaja en alguno de estos sectores.

Dentro de la acuicultura marina, la provincia de Cádiz es líder en producción de peces. Concretamente en la bahía se encuentran ubicadas la mayor parte de las 3.490 de las 7.375 Hectáreas dedicadas a acuicultura en Andalucía, contando con 106 establecimientos autorizados que produjeron en 1999 un total de 1.744 Tm. de dorada, la especie más abundante (Macías, 2001). En los últimos años, el crecimiento de este sector ha sido espectacular, llegando a multiplicarse por quince la producción de la pasada década. Sin embargo, este incremento de la producción se ha debido principalmente a la mejora en empresas asentadas anteriormente a la ley de Costas. La confusión creada por la ley de Costas, al determinar la titularidad pública de las zonas de marismas - lugar donde se ubican la mayor parte de las instalaciones acuícolas- y la menor rentabilidad de estos cultivos en tierra ha frenado el desarrollo de nuevos proyectos. En las jaulas los crecimientos son mayores y las inversiones menores, por lo que en los últimos años el crecimiento en producción de peces cultivados aumenta principalmente por los cultivos en jaulas.

Como alternativa, se propone en este trabajo, el desarrollo en mar abierto de acuicultura flotante en la bahía de Cádiz. A este tipo de cultivos se ha debido el importante crecimiento de este sector en los países mediterráneos. En Andalucía, provincias como Almería han pasado a tener producciones importantes mediante el desarrollo de varios proyectos de jaulas flotantes en pocos años. Este incremento se ha debido principalmente a la mejora de las estructuras flotantes respecto a su resistencia a los temporales y a la adecuada selección de los lugares y sistemas de fondeo. La mayor parte de las instalaciones de acuicultura flotante se encuentran en el mediterráneo, mar menos expuesto a los temporales, aunque ya hay una instalación flotante en Barbate, para el engorde de atunes y algunas en el Algarve portugués.

También se han llevado a cabo experiencias de cultivo de moluscos en long-line, tanto en la provincia de Huelva como en la de Cádiz (río Carreras y Barbate). En los dos casos los resultados fue-

ron positivos, aunque al tratarse de cultivos experimentales, no se han aplicado aún industrialmente. El desarrollo de estos de la acuicultura flotante, en la bahía de Cádiz, puede suponer un complemento importante a las producciones obtenidas en estanque de tierra y parcelas de cultivo de moluscos.

Cádiz es la provincia andaluza con mayor flota y capturas pesqueras, por lo que este sector también presenta una gran importancia en nuestra economía, hasta el punto de que la bahía de Cádiz es el puerto base de un 68% del censo de la flota pesquera de la provincia gaditana. En estos puertos se llegó a desembarcar en 1996 un 52% del total de capturas realizadas en la provincia (30.357 Tm). Además en la bahía, se encuentra una importante flota de barcos pesqueros artesanales y deportivos con un volumen de capturas que no es posible concretar ya que una gran cantidad de desembarcos se realiza fuera de las lonjas, bien porque se carece de ellas (San Fernando, Puerto Real y Chiclana), o porque las ventas se realizan directamente.

A pesar de todo ello el progresivo aumento de las restricciones en los tratados internacionales de pesca con Marruecos ha provocado una importante reducción de la flota pesquera instalada en la bahía de Cádiz. Esta situación ha ocasionado la aparición de una fuerte problemática de desempleo entre los trabajadores del sector. En relación con esta crisis, en los últimos años, ha proliferado una importante flota con actividades ilegales que intentan sacar el máximo beneficio económico de sus pescas. Esto implica la extracción pesquera en zonas prohibidas, que daña especialmente el alevinaje de los peces de la bahía. El arte ilegal utilizado es el denominado de arrastre litoral. Este sistema de pesca consiste en la utilización de artes de malla ciega que buscan crustáceos de alto valor económico, como camarones y langostinos. Se ha demostrado que más del 75% de las capturas realizadas con este arte son alevines y juveniles de especies como acedías, sargos y lenguados con tallas menores a la comercial (Muñoz y Sánchez-Lamadrid, 1994).

Ante la problemática surgida en el sector pesquero en otros lugares de la provincia, como Conil, Sanlúcar y Barbate, se ha ensayado positivamente la utilización de arrecifes artificiales disuasorios. Se trata de una herramienta útil para la regeneración de las zonas costeras. El fondeo de estructuras especialmente diseñadas para este fin, impide el paso de este tipo de artes, favoreciendo la regeneración natural de las especies. Asimismo, protege el fondo donde han sido colocados, siendo a veces lugares de especial valor ecológico, como praderas de fanerógamas marinas. El cambio necesario de modalidad de pesca en las zonas protegidas hacia artes más selectivos, provoca en muchos casos un aumento a medio plazo tanto del total de capturas como del tamaño medio de las capturas, hecho muy beneficioso para la protección del recurso vivo.

Para conseguir la máxima eficiencia de los arrecifes es necesario que antes de su colocación se establezcan los lugares idóneos para ello. Una colocación inadecuada puede significar la realización de una inversión importante sin obtener resultado alguno. Las condiciones del fondo marino, su morfología o los desplazamientos de los sedimentos, así como las corrientes marinas, la altura del oleaje en zonas poco profundas, los parámetros fisicoquímicos del agua y la riqueza bentónica deben ser bien conocidos.

La colocación de estas instalaciones repercute positivamente en el medio marino aumentando la producción en una zona litoral de gran importancia pesquera artesanal. Así mismo, indirectamente, es también beneficioso el fomento del uso de artes pesqueros selectivos, práctica muy adecuada en orden a favorecer la regeneración natural del recurso. Si resulta exitoso este proyecto, podrá usarse como modelo en otras zonas costeras de problemáticas similares.

Se tienen algunas evidencias de la existencia de bancos de moluscos en la misma. En noviembre de 1997 se observaron varios fenómenos coincidentes: el vertido contaminante del barco *J.P. Bobo*, un fuerte temporal del SW con abundantes lluvias y la muerte de grandes cantidades de moluscos de distintas especies. Entre ellas se encontraron algunas de interés comercial, como navajas, berberechos y perrillos.



La realización de la cartografía de los bancos de moluscos de la bahía puede resultar de interés para los barcos marisqueros de la zona. Con este trabajo se podrá evaluar la conveniencia de su explotación comercial, así como aconsejar las restricciones de la pesca que asegurarían la perdurabilidad y renovación del recurso.

El interés que el medio marino en la bahía de Cádiz suscita es notorio, al darse en ella la mayor concentración de organismos públicos de investigación marina de Andalucía, como son el Instituto Hidrográfico de la Marina, la Facultad de Ciencias del Mar, el Instituto de Ciencias Marinas de Andalucía, el Instituto Español de Oceanografía y el Centro de Investigación y Cultivo de Especies Marinas El Toruño, además de otras empresas y organismos relacionados con este medio. Son numerosos los trabajos de investigación sobre la bahía, centrándose la mayor parte de ellos en aspectos específicos de la misma, y solo algunos en visiones más globales, como la ordenación, planificación y gestión de las zonas húmedas (Barragán, 1996) o la aplicación de la Teledetección (Guillemot, 1989), abordando el conocimiento de la bahía desde diversos aspectos relacionados con esta técnica.

Por su cercanía a la bahía y su especial envergadura, requiere una mención especial el realizado en 1996 en la localidad de Barbate. Este estudio, titulado "El Medio Marino y Costero del Parque Natural del Acantilado y Pinar de Barbate" permitió determinar las zonas más adecuadas para la ubicación de un Arrecife Artificial Productivo frente a esta franja costera gaditana (C.E.A.M., S.C.P.).

Una de las principales zonas de alevinaje de especies de interés pesquero del Golfo de Cádiz, se encuentra en la bahía de Cádiz, en los caños de las marismas y salinas y en la Bahía Interior (Arias y Drake, 1990, Muñoz y Sánchez de Lamadrid, 1994). En la bahía Interior se dan ecosistemas bentónicos muy ricos, como son las praderas de fanerógamas marinas, como reveló el Informe Técnico "El Medio Físico y Biológico en la Bahía de Cádiz: Saco Interior" (Muñoz Pérez, J.L. y Sánchez de Lamadrid, A., 1994), hábitat idóneo para el alevinaje. Este informe está centrado en el cuerpo de agua más interior de los dos que conforman la bahía, sirvió para destacar la importancia como zona de marisqueo de esta zona.

Otros trabajos realizados en esta zona aportan un conocimiento en algunos de los aspectos que la caracterizan. Es el caso de la topografía y batimetría de la bahía (Instituto Hidrográfico de la Marina, carta 443A) y de los datos de oleaje medio, publicados de forma periódica por el MOPT (ROM 0.3-9.1). Existe también información acerca de las corrientes, especialmente de aquella con interés para la navegación costera. En este sentido, una tesis del Departamento de Física Aplicada de la Universidad de Cádiz (Álvarez, 1990) ha desarrollado un modelo de simulación numérica del sistema de corrientes presente en el saco externo de la bahía.

A pesar del interés de todos y cada uno de estos estudios, todos tienen en común el tratamiento individualizado de los resultados y un objetivo meramente descriptivo. A diferencia de ellos, el objetivo principal de este trabajo incluye el conocimiento general e integrado del medio físico y biológico de la bahía de Cádiz, con un fin común, conseguir una mejor planificación de los recursos marisqueros y acuícolas de la zona.

Para la consecución de dicho fin, en este trabajo se actualizan, amplían y constatan *in situ* los resultados existentes de topografía, batimetría, oleaje y corrientes. También incluye estudios para los que no existen antecedentes en la zona. Es el caso de la localización, caracterización y extensión de los bancos naturales de moluscos, así como de las praderas de algas y fanerógamas de interés ecológico presentes sobre el fondo marino del saco exterior de la bahía. En este mismo estado se encuentran los trabajos acerca de los sedimentos. Por este motivo se ha incluido un exhaustivo estudio sedimentológico, que abarca desde el análisis del tipo de sedimento presente en las distintas zonas hasta una deducción de la dinámica sedimentaria de los fondos de la bahía.



Respecto a los parámetros físico-químicos y biológicos del agua de la bahía, los trabajos realizados por Establier aportan un buen conocimiento de la evolución estacional de los principales parámetros y de la clorofila "a" (Establier, 65, 79, 87, 86 y 90). En el planteamiento actual, la búsqueda de lugares adecuados para la ubicación de instalaciones acuícolas y arrecifes artificiales disuasorios, requiere un estudio capaz de detectar los fuertes gradientes propios de las zonas litorales. Con el objeto de caracterizarlos adecuadamente, se utilizó un sistema de adquisición de datos en continuo específicamente diseñado para la elevada resolución espacial necesaria en este muestreo, quedando todos los valores detectados geo-referenciados. Este sistema en continuo realiza un barrido sinóptico de la zona con la rapidez suficiente para detectar eventos esporádicos que puedan afectar a la evolución de cultivos marinos instalados en mar abierto.

Finalmente, todas las líneas de investigación seguidas en este trabajo aportan resultados de aplicación inmediata a los sectores pesquero y acuícola, así como en la protección de los ecosistemas marinos bentónicos. Las actividades realizadas a lo largo de este proyecto revelan una información primordial para facilitar y fomentar la creación de nuevas empresas acuícolas en la zona y, en consecuencia, aumentar las posibilidades de empleo complementario al sector pesquero. De igual manera todo el estudio realizado permitirá un mejor aprovechamiento y regulación de los recursos marisquero y pesquero presentes en la bahía de Cádiz.

2. OBJETIVOS Y ZONA DE ESTUDIO

Los principales objetivos de este trabajo son el conocimiento de las posibilidades de la acuicultura flotante, la pesca racional de los recursos marisqueros en la bahía de Cádiz y la protección de los ecosistemas bentónicos. Se pretende por tanto, la cartografía del medio físico y biológico en la bahía de Cádiz encaminado a una mejor planificación pesquera y acuícola de la misma.

Como producto final de este trabajo se señala la idoneidad de cada zona de la bahía de Cádiz para su protección o para proponer una de estas aplicaciones, siempre de una forma respetuosa con el medio ambiente. Estos resultados se podrán aplicar inmediatamente mediante proyectos de fondeo de arrecifes artificiales o de instalaciones de acuicultura flotante. Además se estudian los recursos de moluscos bivalvos de la bahía de Cádiz, determinando la magnitud de los recursos de este tipo.

La topografía y batimetría actual del fondo es uno de los aspectos básicos a llevar a cabo. Se estudia la fisiografía de los sedimentos marinos en la bahía, ya que permite determinar tanto el tipo y formas de fondo, como las zonas del mismo que se encuentren en desplazamiento, fenómeno frecuente en zonas estuáricas. La batimetría actual permite conocer la profundidad con más precisión que la disponible con la última actualización de la carta náutica de la zona. Se estudia en conjunto con los datos de fisiografía obtenidos por el sonar de barrido lateral, pudiendo facilitar su interpretación.

El análisis de los sedimentos, mediante el estudio granulométrico de los mismos y su cartografía, permitirá conocer su textura, además de determinar las zonas de sedimentación de la bahía. Este estudio facilitará predecir hacia dónde se dirigirán las excretas y los alimentos no ingeridos de los cultivos flotantes, factor importante al localizar en las inmediaciones muchas playas de importancia turística, y zonas de alto valor ecológico. Así mismo, deben evitarse fondos móviles o zonas de sedimentación para la colocación de arrecifes artificiales o fondeos de estructuras flotantes. La colocación de los mismos en esos lugares provocaría su ineficacia y la pérdida de la inversión.

El régimen de corrientes de la bahía de Cádiz influirá de manera importante en cualquier instalación tanto fija como flotante que se coloque en la bahía. Resulta especialmente importante su conocimiento para los cultivos de peces en jaulas. Estos se llevan a cabo de forma adecuada en un régimen de corrientes concreto. Al depender la misma tanto de la marea como de las condiciones atmosféricas y de la zona de la bahía, deberán tomarse las medidas teniendo en cuenta estas variables.

La frecuencia de temporales en el golfo de Cádiz es importante. Deben conocerse por tanto, las condiciones del mar en esas ocasiones, especialmente en lo que se refiere al oleaje e influencia en la calidad del agua. El oleaje es uno de los aspectos más estudiados en el mar, ya que sus efectos pueden ser devastadores. La bahía, a pesar de ser una zona protegida, sufre a veces sus consecuencias, acompañándose en primavera y otoño de fuertes lluvias. Esto provoca la llegada de avenidas de agua dulce procedentes del río Guadalete, así como de material en suspensión. El conocimiento de la calidad del agua de mar, tanto en condiciones normales como extremas es esencial a la hora de realizar cualquier cultivo de especies marinas. La productividad primaria es importante conocerla, fundamentalmente para el cultivo de moluscos filtradores.

La presencia de praderas de fanerógamas marinas o de algas debe evaluarse en este tipo de estudios. Su importante valor ecológico justifica su protección mediante arrecifes artificiales, así como la exclusión de estas zonas para el cultivo flotante. Por este motivo deben ser identificadas y cartografiadas.

El estudio de la macroinfauna bentónica servirá para localizar los principales bancos de moluscos. Además se determinará la dinámica de estas poblaciones y sus principales indicadores biológicos durante el tiempo de estudio.

Una vez realizados todos estos trabajos se seleccionarán posibles áreas de instalación de arrecifes disuasorios, para contemplar factores no incluidos hasta el momento. Éstos son: las zonas de navegación y fondeo, así como la comprobación de las principales zonas de arrastre ilegal. El diseño y construcción de distintos tipos de módulos de arrecifes, deben ser adecuados tanto al tipo de pesca que se intenta disuadir, como a las zonas de poca profundidad donde pretendan colocarse.

Para la búsqueda de lugares adecuados para la colocación de jaulas marinas, se han recopilado unas condiciones técnicas estándar, que de cumplirse, implicarían su disponibilidad para la colocación de cultivos de peces en jaulas. A este respecto, debe tenerse en cuenta la cercanía del lugar seleccionado a un puerto o lugar de atraque y ubicación de instalaciones en tierra.

Las condiciones medioambientales que debe tener una zona idónea para la colocación de jaulas para el cultivo de peces marinos son las siguientes:

- ✓ Se evitarán áreas marinas sujetas a cualquier nivel de protección medioambiental que establezcan incompatibilidades de uso con actividades de acuicultura. Las estructuras flotantes deben estar alejadas de fondos con gran riqueza bentónica (fanerógamas marinas, macroinfauna bentónica)
- ✓ Buen conocimiento del clima marítimo de la zona. La zona seleccionada debe estar relacionada con el tipo de instalación flotante que queramos utilizar. Para zonas muy expuestas, usaremos estructuras para mar abierto y en zonas con menor grado de exposición, estructuras diseñadas para lugares protegidos.
- ✓ Corrientes marinas entre 0,2 y 1 nudo (10-50 cm/s).
- ✓ Buena calidad del agua de mar. No son adecuadas las zonas cercanas a radas ni vertidos urbanos o industriales o aguas contaminadas:
- ✓ Se evitarán ramblas o zonas con influencia de escorrentías en condiciones de temporales de lluvia.
- ✓ Buen conocimiento de la batimetría de la zona. Profundidad entre 15 y 50 metros.
- ✓ Conocimiento del tipo de fondo. Para un fondeo adecuado de los muertos, es preferible un fondo de arena y sin pendientes acusadas.
- ✓ Conocimiento previo de las zonas de sedimentación de los piensos sobrantes y de los excrementos de los peces. Estas no deben coincidir con zonas de pesca, playas o zonas de alto valor ecológico, como pueden ser las praderas de plantas fanerógamas marinas. Para ello es necesario establecer previamente la localización exacta de las mismas.

2.1 ZONA DE ESTUDIO

A comienzos del proyecto se acotó la zona de estudio, estimándose la superficie de la zona externa de la bahía en 88 km² en bajamar escorada y 93 km² en pleamar. Se calculó mediante el uso de planímetro digital *Placom* modelo KP-90 sobre la carta náutica 443A Aproximos del puerto de Cádiz, escala 1:25000. Los límites de la bahía de Cádiz considerados al comenzaren este trabajo son los siguientes:

Oeste:	línea entre Punta Candor, Rota y el castillo de San Sebastián en Cádiz
Este:	línea de costa.
Sur:	límite con el saco interior (puente Carranza).



En la figura 2.1 se muestra la toponimia de la zona de estudio.

Tras los primeros muestreos se decidió ampliar la zona de muestreos para algunos de los factores estudiados, incluyendo la zona adyacente a la bahía hasta la isobata de 30 m. Esto fue debido a que la zona adecuada para cultivos flotantes necesita una batimetría mayor a la que se encuentra en la bahía.

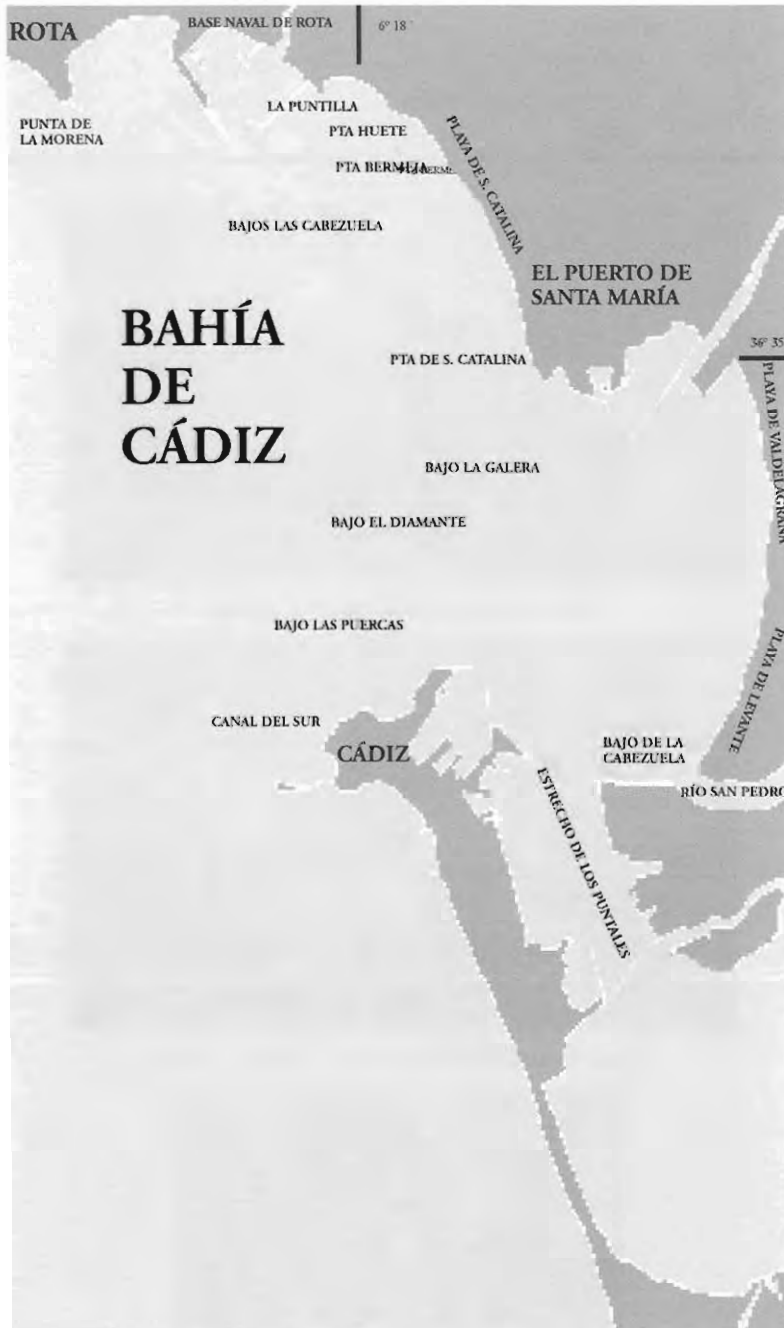


Figura 2.1. Toponimia de la zona de estudio



2.2 EMBARCACIÓN UTILIZADA

Se utilizó la embarcación “Andalucía”, perteneciente a la Consejería de Agricultura y Pesca de la Junta de Andalucía. Se trata de una Rodman 43, con las siguientes características:

Eslora total	13 m
Manga	3,9 m
Calado	1,2 m
Puntal	2 m
Potencia	200 hp
Velocidad aproximada	10 nudos
T.R.B.	17



Buque Andalucía visto desde el muelle.



Popa del buque Andalucía visto desde el muelle



Maquinilla



3. DESCRIPCIÓN MORFOLÓGICA DE LA ZONA EXTERNA DE LA BAHÍA DE CÁDIZ

3.1 INTRODUCCIÓN

La orientación de la entrada de la bahía externa es hacia el oeste y la anchura de este límite océano-bahía permiten la entrada del oleaje, de corrientes y una alta tasa de renovación del agua con una alta exposición a la influencia oceánica. Esta zona abarca desde el límite de la bahía (línea Rota-castillo de San Sebastián) hasta el puente José León Carranza en el estrecho de Puntales.

Las mediciones fueron realizadas con un planímetro digital PLACOM modelo KP-90 y el curvímetro SILVA, sobre la carta náutica 443 A, escala 1:25000.

3.1.1 PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS

3.1.1.1 Longitud Máxima

Es la distancia que hay entre los dos puntos más alejados de la costa sin cruzar por tierra. En la zona externa de la bahía de Cádiz, esta distancia va desde Punta Candor hasta el puente de Carranza, siguiendo una línea curva que coincide con el canal de navegación a la altura del puerto de Cádiz, y que mide 19,6 Km.

3.1.1.2 Longitud Máxima Efectiva

Se define como la distancia en línea recta entre los dos puntos de la orilla más alejados entre sí y que no cruza por tierra o islas. A lo largo de esta distancia, tanto el viento como las olas pueden actuar sin interrupción, por lo que es un dato relevante de la morfometría de la bahía. La longitud efectiva en la bahía exterior es de 18,125 Km, que es la distancia que hay entre Punta Candor y la desembocadura del río San Pedro.

3.1.1.3 Anchura Máxima

Definida por la línea recta perpendicular a la longitud máxima que une los dos puntos más distantes de la costa sin cruzar por tierra. En la bahía exterior, esta distancia es 7,625 Km y va desde el castillo de San Sebastián hasta la caleta del Agua (junto a Puerto Sherry).

3.1.1.4 Anchura Máxima Efectiva

De forma análoga a la anchura máxima, la anchura máxima efectiva es la medida de la línea recta perpendicular a la longitud máxima efectiva que une los dos puntos más alejados de la costa y que no cruza por tierra. En la bahía de Cádiz coincide con la anchura máxima (7,625 Km).

3.1.1.5 Superficie Total

Se calculó la superficie total del espejo de agua se tomó como límite septentrional de la bahía la línea que une Punta Candor con el castillo de San Sebastián en Cádiz, y como límite meridional la línea definida por el puente de Carranza. El área total comprendida entre estos límites y la costa es 88 Km² durante la bajamar viva escorada.

3.1.1.6 Perímetro

Se han realizado dos mediciones: una siguiendo el perfil actual de la costa, y otra soslayando las construcciones antropogénicas, sin considerar, por tanto, puertos, espigones y relleos.

La costa tiene una longitud de 57,18 Km considerando las estructuras de ingeniería que bordean la bahía. Si ignoramos estas construcciones y seguimos el perfil natural de la costa, ésta mediría 41,35 Km.

La boca de entrada de la bahía tiene una anchura de 13,5 Km (**límite externo**), desde Punta Candor hasta el castillo de San Sebastián. A través de ella pasa la onda de marea, introduciendo



agua dentro de la bahía. Esa acumulación de agua en el saco interior, sólo puede ser evacuada por la misma entrada o por el caño de Sancti Petri.

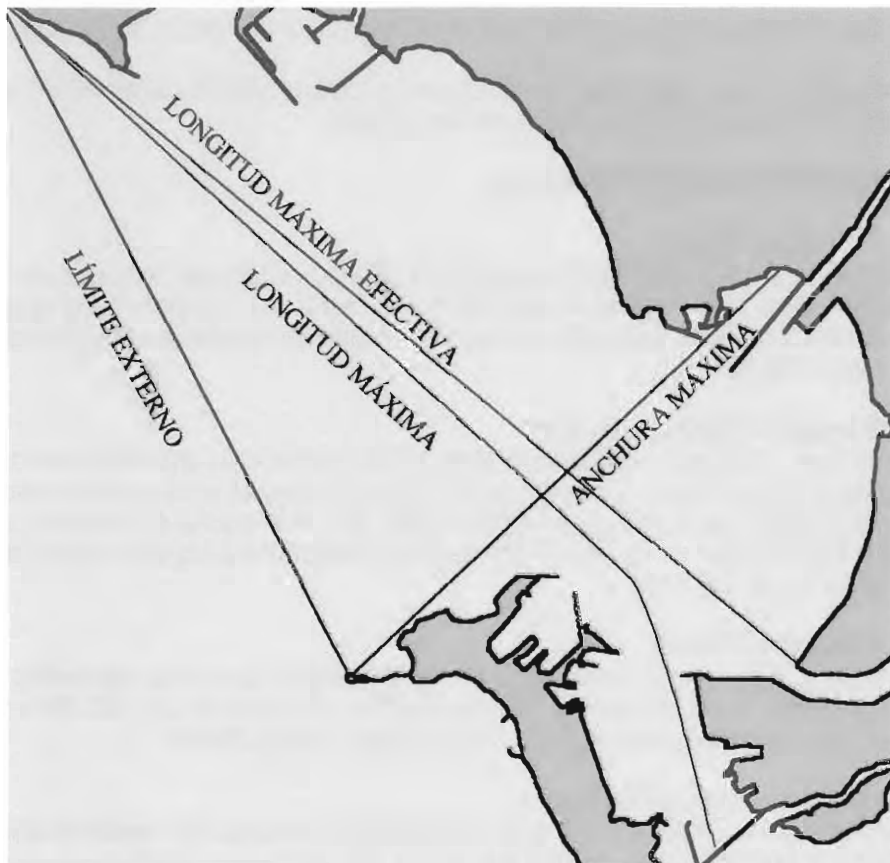


Figura 3.1. Dimensiones de la bahía de Cádiz

3.1.1.7 Factor de Desarrollo de la Orilla

Coficiente que da idea del grado de irregularidad de la orilla. Si la bahía fuese una circunferencia perfecta, el factor de desarrollo de la orilla tendría valor 1, a mayor irregularidad más alto es el valor que alcanza. Si no tenemos en cuenta las construcciones humanas, el factor de desarrollo de la orilla tiene un valor de 1,206. Las intervenciones humanas en la línea de costa hacen que este coeficiente suba hasta 1,667. El factor de desarrollo de la orilla de la bahía de Cádiz es pequeño, lo que indica que no estamos frente a una costa excesivamente recortada, sino más bien suave.

3.1.1.8 Fetch

El fetch es un parámetro que cuantifica la distancia en la que sopla el viento sobre las olas antes de llegar a un punto determinado. A mayor fetch, más altas son las olas. Calculamos el fetch según el método introducido por "Beach Erosion Board" (1972).

En el área geográfica de la bahía los vientos predominantes son los de ESE (Levante) y WNW (Poniente).

En la figura 3.2 se representa el fetch para el viento de Levante. Conforme nos alejamos de la costa, el valor del fetch aumenta hasta más de 30 Km en el área considerada. Dentro de la bahía el fetch tiene valores menores en la parte sur y este, zona del estrecho de Puntales y Valdelagrana, donde está por debajo de 3 Km. En la parte norte de la bahía alcanza valores de 10 Km. Cuanto más nos alejamos de la costa occidental, mayor es el fetch para vientos de Levante.

Con los valores de fetch y conociendo la velocidad de un viento determinado podemos estimar la altura de la ola máxima teórica en cada punto. Tomando una velocidad del viento de 115 Km/h se obtiene una distribución de la altura máxima de las olas como la que se ve en la figura 3.3. Los valores de altura máxima teórica de ola dependen directamente del fetch. Por lo tanto, es de esperar que la morfología de las isólinas de ambas magnitudes sea parecida. Las olas son más altas cuanto más nos alejamos de la costa, coincidiendo los valores mínimos con playas.

El fetch para vientos de Poniente no se puede calcular, ya que se obtendrían valores de miles de Km en casi toda la bahía.

3.1.1.9 Batimetría: Volúmenes y Áreas de la Bahía

Para los cálculos batimétricos representados en este mapa se ha utilizado la carta náutica 443 A (Figura 3.4). Los datos de profundidad obtenidos a partir de la carta de navegación se han procesado a través del programa informático Surfer. Con este programa se ha realizado una representación en tres dimensiones del fondo de la bahía y se han calculado las áreas y volúmenes correspondientes a distintas alturas de marea.

Para calcular los volúmenes y áreas de la bahía exterior, se ha tomado como límite exterior la línea que une Punta Candor con el castillo de San Sebastián y como límite con el saco interior el puente de Carranza en el estrecho de Puntales. Se han determinado los volúmenes y áreas de la bahía para una marea viva (coeficiente: 1,05), una marea media (coeficiente: 0,67) y una marea muerta (coeficiente: 0,3). La diferencia entre los volúmenes de pleamar y bajamar nos permite conocer la tasa de renovación mareal de la bahía exterior. En la tabla 3.1 se puede observar la diferencia entre los volúmenes de la pleamar y la bajamar de mareas con coeficientes de mareas vivas, medias o muertas. Estas variaciones nos dan idea del tiempo que tardaría en renovarse el agua de la bahía. Durante una marea viva la diferencia de volumen entre bajamar y pleamar es 405 Hm³ (cantidad de agua que entra y luego sale de la bahía externa en un ciclo mareal completo de una marea viva, unas 11 horas). Con ese valor se obtiene una tasa de renovación del agua de 37,2%; es decir, en tres ciclos de mareas vivas consecutivos (un día y medio) podría renovarse totalmente el agua de la bahía. En el caso de mareas medias la diferencia de volumen es 207 Hm³ y la tasa de renovación 20,7%, por tanto, en menos de tres días se renovaría el volumen total de la bahía exterior. Para mareas muertas hay 124 Hm³ de diferencia entre bajamar y pleamar y una tasa de renovación de 13,23% (cuatro días para una renovación completa).

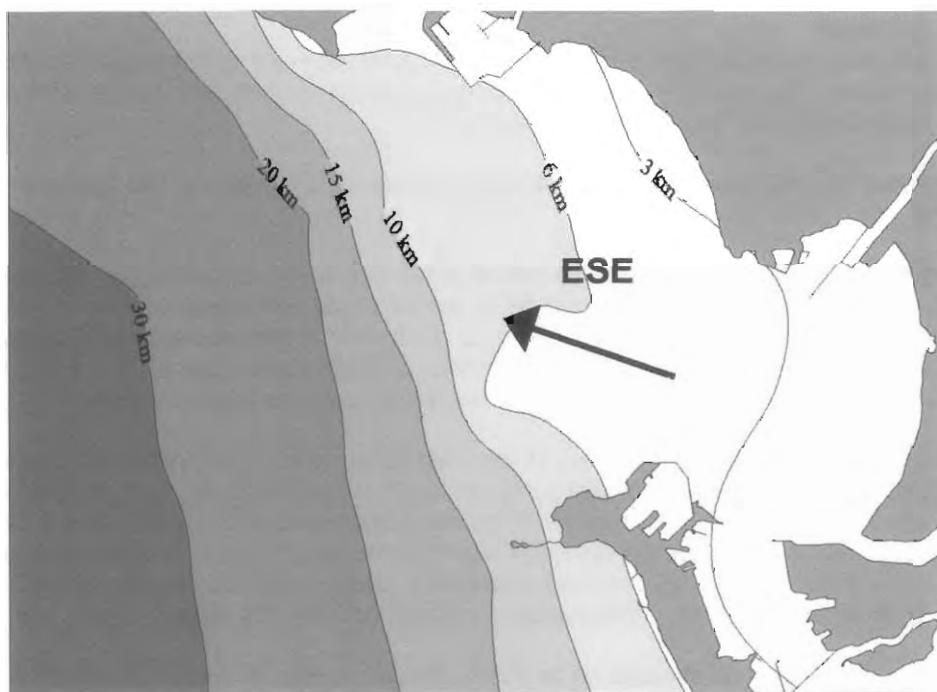


Figura 3.2. Valores de Fetch en la bahía de Cádiz para vientos ESE.

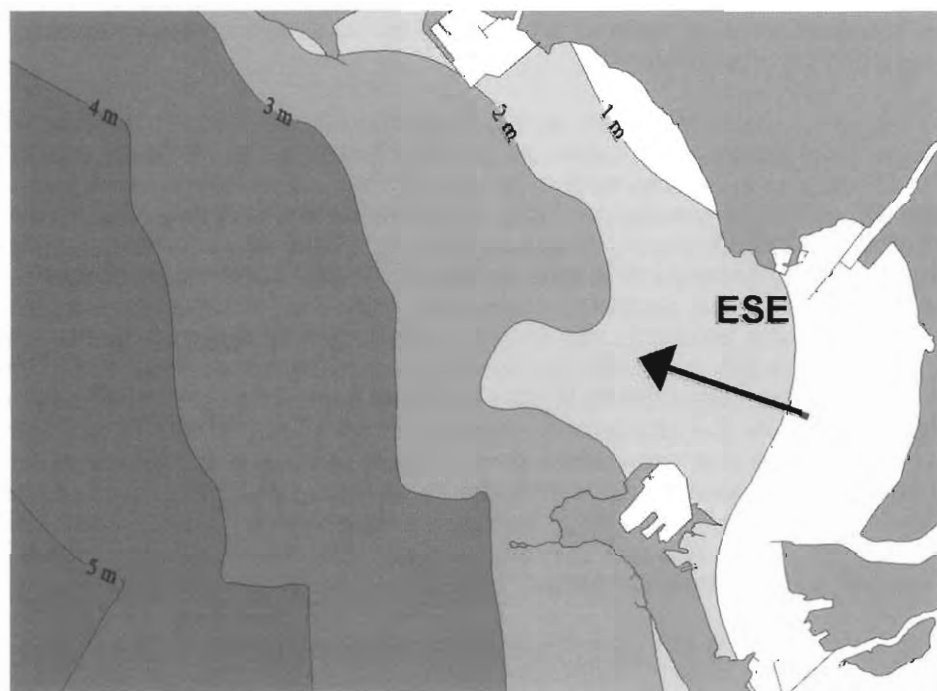


Figura 3.3. Altura teórica de las olas en la bahía de Cádiz para vientos ESE de 115 Km/hr.

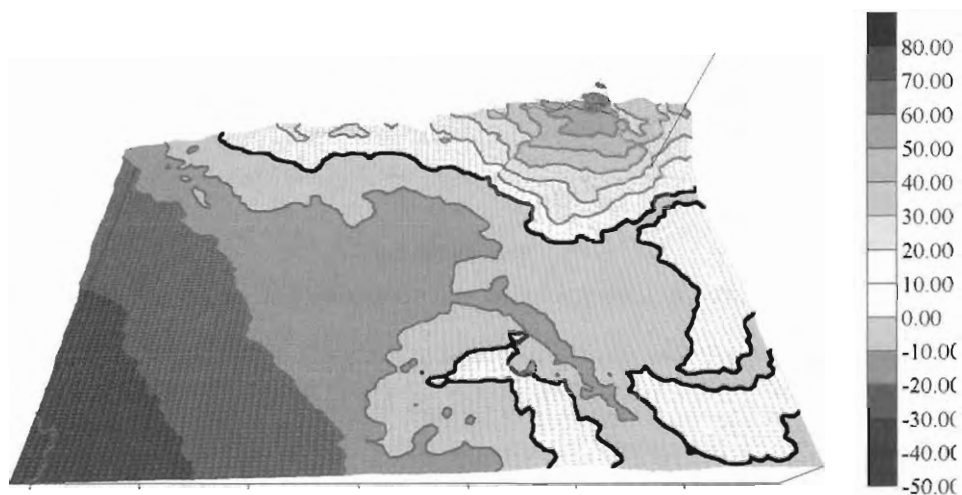
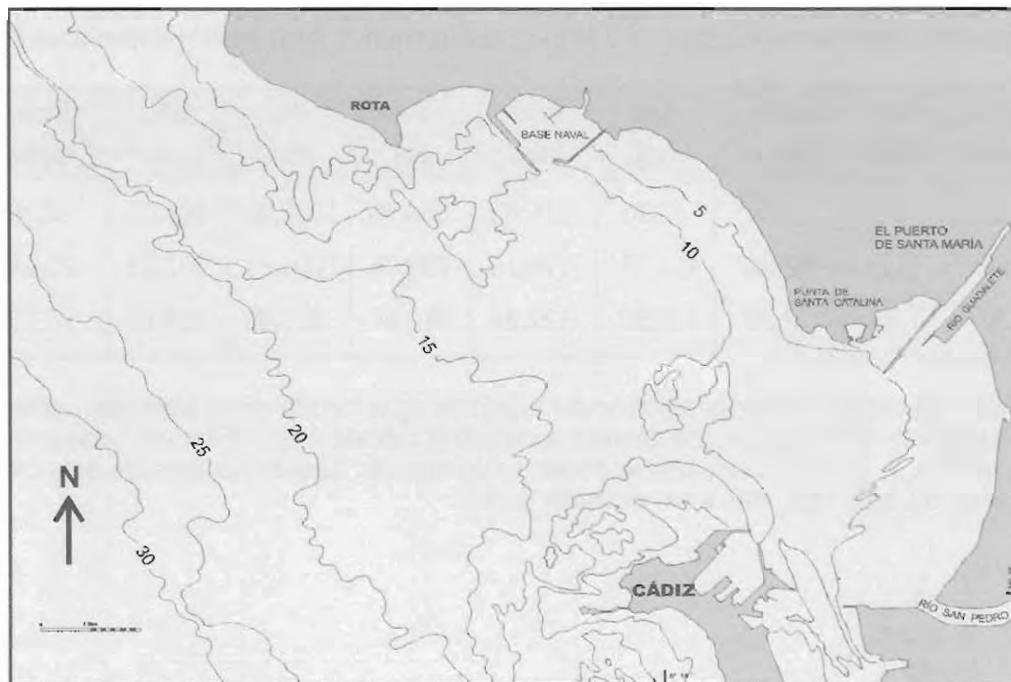


Figura 3.4. Batimetría de la bahía de Cádiz y representación de la misma. En esta última, las líneas de nivel van de 10 en 10 metros y la línea negra corresponde a la isobata de 0 metros.



Tabla 3.1. Alturas de la columna de agua, áreas, volúmenes y tasas de renovación del agua para mareas vivas, medias y muertas. Coef. marea: coeficiente de marea; Alt baj: altura bajamar (m); Alt plea: altura pleamar (m); Área baj: área bajamar (Km²); Área plea: área pleamar (Km²); Vol baj: volumen bajamar (Hm³); Vol plea: volumen pleamar (Hm³); Vol: volumen (Hm³); Tasa renov: tasa renovación (%).

Coef marea	Alt baj	Alt plea	Area baj	Area plea	Vol baj	Vol plea	Vol	Tasa renov
1,05	0,0	3,51	91,15	126,85	684,90	1089,90	405,00	37,16
0,67	1,0	92,80	117,17	124,15	793,78	1000,81	207,03	20,69
0,30	1,26	2,29	118,50	122,34	813,84	937,96	124,12	13,23

Existe una diferencia entre la superficie del espejo de agua medida con el planímetro sobre la carta náutica (88 Km²) y la superficie calculada mediante el ordenador (91,15 Km²) en bajamar viva. Esta diferencia es atribuible a una baja resolución en las medidas batimétricas tomadas de la carta náutica. En cualquier caso, este error es menor del 4%.

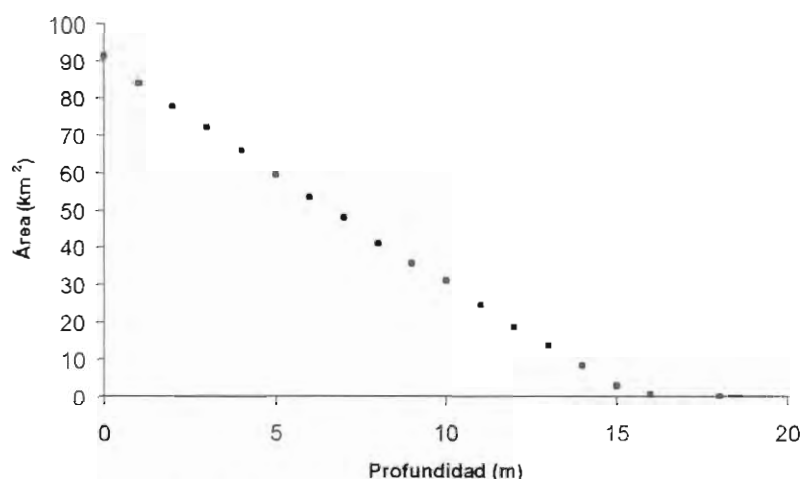


Figura 3.5. Superficie (acumulada) correspondiente a cada isobata.

La diferencia entre el área durante la bajamar y la pleamar de una marea viva es de 35,7 Km², lo que significa que un 28,1% del espejo de agua durante la pleamar es zona intermareal. La superficie intermareal de una marea media es 6,98 Km² (5,62% de la superficie ocupada por el agua durante la pleamar de esa marea) y durante una marea muerta es 3,84 Km² (3,14%). Es de destacar la gran extensión de terreno que está por debajo de la cota 3,5 metros de altura y que esporádicamente se inunda. La mayor parte de este área corresponde a las marismas del Guadalete y del río San Pedro (incluyendo la península "El Toruño"). Durante las mareas medias, la diferencia de altura de la columna de agua es de 1,7 metros aproximadamente, y los casi 7 Km² de zona intermareal corresponden en gran medida a playas. Lo mismo ocurre durante las mareas muertas (diferencia de altura de 1 metro aproximadamente).

En la figura 3.5 se representa el área acumulada cubierta por el agua según su profundidad. Se observa que la pendiente de la gráfica es constante hasta 15 metros de profundidad. Esto quiere decir que el área correspondiente a cada intervalo de profundidad es aproximadamente la misma, luego el fondo tiene una pendiente constante.



4. GRANULOMETRÍA, LUGARES DE SEDIMENTACIÓN, TOPOGRAFÍA, BATIMETRÍA.

4.1 ESTUDIO SEDIMENTOLÓGICO

4.1.1 INTRODUCCIÓN

El estudio ha consistido en la extracción, análisis, clasificación y cartografía de los sedimentos superficiales del fondo marino de la bahía de Cádiz. Incluye también un análisis sobre el origen y la respuesta dinámica de los diferentes tipos de sedimentos hallados.

4.1.1.1 Geografía y Zonas Ambientales

Teniendo en cuenta las diferencias hidrodinámicas y medioambientales, en la bahía de Cádiz se pueden diferenciar varias zonas:

La bahía externa presenta características de ensenada abierta, bien conectada con el océano Atlántico, alcanzando profundidades superiores a los 20 m. Se trata de una zona muy afectada por los temporales de componente Oeste, en la que se pueden encontrar costas arenosas, rocosas y acantiladas y en la que predominan los fondos arenosos.

La bahía interna o "Saco", se encuentra al Sur y SE de la anterior. Se trata de una zona más abrigada a la acción directa del oleaje, caracterizada por su escaso calado y gran extensión de los ambientes mareales, representados por marjales y esteros (Barragán, 1996). La profundidad rara vez supera los 2 m, excepto en el canal de navegación. En esta zona predominan los fondos fangosos.

El estrecho de Puntales sirve de conexión entre las dos zonas anteriores y está afectado tanto por la acción de las mareas como la de los temporales.

Las zonas de marjal o marisma salobre, constituyeron la antigua llanura mareal y actualmente están constituidas por antiguos depósitos marinos repoblados por vegetación. Ocupan las partes internas, desde El Puerto de Santa María hasta Puerto Real, San Fernando y Chiclana.

Los caños mareales, surcan la llanura mareal y ponen en conexión las zonas más internas con los ambientes puramente marinos. Especialmente importante por su tamaño e hidrodinámica es el caño de Sancti Petri, que conecta el saco interior con mar abierto a la altura del castillo del mismo nombre.

Las playas ocupan tramos de costa de la bahía externa y de sus zonas periféricas externas. En general, se trata de playas llanas y amplias de carácter arenoso, en las cuales se ha establecido un manto dunar de origen eólico. Otras playas de menor extensión se encuentran en la base de acantilados costeros y fondo de calas.

Los acantilados están presentes en algunos sectores de la bahía externa y zonas periféricas, como en el tramo comprendido entre El Puerto de Santa María, Rota y Cádiz (acantilado de la playa de Santa María del Mar).

4.1.1.2 Marco Geológico

La bahía de Cádiz es un complejo morfodinámico constituido por una amplia ensenada al Norte, la bahía externa, un sistema de isla-barrera-lagoon al Sur y al Oeste, y finalmente la llanura mareal y las zonas de marjal. Bajo el punto de vista geológico, la bahía corresponde a un sector hundido como consecuencia de movimientos tectónicos recientes a la escala geológica. En la costa y margen con-



tinental predominan dos familias de fracturas (Gutiérrez Mas y Gracia, 1994): una dominante de dirección NNO-SSE, que condiciona la dirección general de la costa y otra de dirección ENE-OSO, responsable del aspecto escalonado de la misma.

Los materiales que constituyen la mayor parte de la bahía de Cádiz, tanto emergidos como sumergidos, son fundamentalmente de origen sedimentario y edad plio-cuaternaria, encontrándose arcillas, margas, arenas, areniscas y algunos niveles de calizas y conglomerados (*roca ostionera*) (Zazo et al., 1983). Los materiales más recientes están representados por depósitos continentales y marinos de edad holocena, constituidos por fangos de marisma, arenas de playa y depósitos continentales. La rápida evolución de esta zona en tiempos recientes, y la intensa acción de los agentes dinámicos, ha dado lugar a una gran variedad de ambientes y morfologías. Estas formas pueden clasificarse en dos grandes grupos: *formas funcionales*, generadas por la acción de los actuales agentes marinos y *formas relictas*, generadas por los agentes marinos en momentos precedentes, cuando el nivel del mar se encontraba a diferente altura del nivel actual.

Las formas funcionales están representadas por:

Barras arenosas que se forman en la desembocadura de ríos y caños mareales gracias a los aportes fluviales y al efecto modelador del oleaje.

Playas, estrechas debido a la limitación de la amplitud mareal, la extensión relativamente pequeña de las plataformas rocosas que las sostienen y la pendiente. El cordón dunar se sitúa en la parte alta de la playa seca.

Las *llanuras mareales*, *deltas mareales* y *marismas*, ocupan una amplia extensión en la bahía de Cádiz, sobre todo en la bahía interna. La primera es consecuencia de la acción de las corrientes mareales en zonas abrigadas del oleaje, lo que propicia el depósito de partículas finas, que dan lugar a sedimentos fango-arcillosos en el fondo.

Relacionados con la llanura mareal se encuentran los *deltas de refluo*, que se encuentran en las desembocaduras de los caños más importantes que desembocan en la bahía interna. Actualmente se encuentran muy retrabajados por acción del oleaje.

Las *zonas de marjal*, representan la adaptación de la antigua llanura mareal al medio subaéreo, lo que ha dado lugar a una zona llana constituida por arcillas salitrosas de origen marino, sobre las que se han desarrollado algunos niveles edáficos y vegetación halófila. Sobre estas marismas se ha desarrollado una compleja red de caños mareales.

Los *acantilados vivos*, son formas erosivas que se encuentran en contacto directo con el mar y que están siendo erosionados en el momento actual por la acción del oleaje. También sufren procesos típicamente continentales, relacionados con la evolución de laderas (derrumbes, deslizamientos, acción del agua de escorrentía, etc.). Aparecen en diversos lugares, especialmente en el margen norte de la bahía externa. Su altura es variable, entre 10 y 15 m.

Las *plataformas de abrasión* o *rasas*, son plataformas de arrasamiento generadas por la acción erosiva del oleaje sobre superficies rocosas resistentes a la erosión. Generalmente aparecen asociadas a promontorios y acantilados.

Los *sedimentos submarinos actuales*, son depósitos acumulados en el fondo como consecuencia de procesos de transporte y sedimentación que tienen lugar en el momento actual. Cabe destacar un prisma prodeltaico de naturaleza fangosa, que aparece cerca de la desembocadura de los principales ríos, un prisma arenoso litoral y sublitoral y otros depósitos de diferente naturaleza generados por el oleaje (*depósitos de temporal*) y las corrientes (*contouritas*).

Entre las formas relictas se encuentran:

Los *acantilados fósiles*, que son antiguos acantilados marinos formados en momentos en que el nivel del mar se encontraba a una altura diferente a la actual. Pueden encontrarse emergidos y afectados por procesos de ladera y erosión subaérea, o sumergidos, detectables en cartografía por la existencia de escarpes de pendiente relativamente alta.

Otras formas relictas son *antiguas dunas* fijadas por pinares costeros, como las que aparecen por todo el litoral de la bahía. Las *dunas colgadas* aparecen a cierta altura sobre el actual nivel del mar, coronando con frecuencia los acantilados.

Además de las antiguas dunas se pueden observar *antiguas flechas de arena*.

Fuentes de aportes de sedimentos a la bahía de Cádiz

Los aportes sedimentarios de origen continental proceden de ríos y arroyos que desembocan en la bahía, aunque también hay que tener en cuenta los procedentes de fuentes marinas externas a ésta, que penetran en la misma arrastrados por las corrientes.

Los principales ríos que aportan sedimentos a la bahía de Cádiz son: El Guadalete, Salado (Rota), Iro (Chiclana) y otros cursos fluviales de menor entidad, secos durante casi todo el año, pero que, en periodos de crecida, constituyen una importante fuente de sedimentos, así como también el río Guadalquivir, el cual a través de las corrientes litorales hacia el SE, aporta gran cantidad de material en suspensión.

La Plataforma Continental

Bajo un punto de vista medioambiental e hidrodinámico, la parte más externa de la bahía de Cádiz está muy relacionada con la plataforma continental. Esta se inicia a una profundidad de unos 20 m, tiene una anchura promedio de unos 35 km y presenta una pendiente hacia mar abierto del 0,4%. En ella aparecen una serie de aterrazamientos de origen tectónico, que se manifiestan en cartografía como escarpes paralelos a la costa.

Bajo el punto de vista sedimentológico, en la plataforma continental gaditana pueden distinguirse tres zonas: una zona sublitoral de carácter arenoso, una zona septentrional, entre Cádiz y la desembocadura del río Guadalquivir, constituida por sedimentos fangosos y un sector Sur, entre Cádiz y el cabo de Trafalgar, donde dominan esencialmente las arenas (Gutiérrez Mas, 1992).

Evolución Sedimentológica Actual

La tasa de aportes en la bahía de Cádiz está controlada por los ríos que desembocan en la misma, como el Guadalete y el Salado de Rota, que dan lugar a acumulaciones fangosas frente a sus desembocaduras. En el sector Sur los aportes proceden de pequeños cursos fluviales y aguas de arroyada, que drenan tanto las zonas continentales periféricas a la bahía de Cádiz, como las de marraja.

En la bahía interna se han medido tasas de sedimentación de 1 cm/año, aunque esta tendencia a la coleccion se contrarresta por el control efectuado por la acción de los vientos de Levante, con *fecht* suficiente como para generar oleaje y removilizar el sedimento del fondo.

4.1.2 MATERIAL Y MÉTODOS

4.1.2.1 Análisis Granulométrico

Tiene por objeto conocer la distribución de tamaños de grano en los sedimentos, establecer la curva de distribución y calcular los parámetros granulométricos característicos. El primer paso es el análisis mecánico de los mismos, cuyo objetivo es determinar la proporción en que se encuentran



las diferentes fracciones de tamaño presentes en los sedimentos. Para ello se tomaron las siguientes muestras:

- 112 muestras en la parte oriental de la bahía externa, entre el extremo Norte del estrecho de Puntales y la desembocadura del río Guadalete por el Este y los bajos de la Galera y el Diamante por el Oeste. La distancia promedio entre estaciones ha sido de 0,5 millas náuticas.
- 113 muestras en el sector occidental de la bahía externa, desde el bajo de la Galera hacia mar abierto, hasta la isobata de 23 m. La distancia promedio entre estaciones ha sido de 0,5 millas.
- 50 muestras en las estaciones de moluscos (Capítulo 9).

Escala de tamaños.- Se ha utilizado la escala de tamaños de Udden-Wentworth (1914, 1922), con objeto de que los resultados sean homologables, al ser esta la escala más aceptada internacionalmente para estudios granulométricos y sedimentológicos en general. Esta escala tiene su base en el tamaño de 1 mm, y los sucesivos tamaños, mayores o menores, se consiguen multiplicando o dividiendo por dos respectivamente los tamaños anteriores, salvo la fracción fangosa (<0,063mm).

Tabla 4.1. Escala de Tamaños de Grano.

Tamaños definidos en la escala de Udden-Wentworth	Milímetros	Micras
GRAVA	>4 mm	4000 μ
ARENA		
Arena muy gruesa	1-2 mm	1000-2000 μ
Arena gruesa	0,5-1	500-1000
Arena media	0,250-0,5	250-500
Arena fina	0,125-0,250	125-250
Arena muy fina	0,063-0,125	63-125
LIMO		
Limo grueso	0,031-0,063 mm	31-63 μ
Limo medio	0,016-0,031	16-31
Limo fino	0,008-0,016	8-16
Limo muy fino	0,004-0,008	4-8
ARCILLA		
Arcilla gruesa	0,002-0,004 mm	2-4 μ
Arcilla media	0,001-0,002	1-2
Arcilla fina	0,0005-0,001	0,5-1
Arcilla muy fina	0,00025-0,0005	0,25-0,5

Análisis mecánico.- Para obtener la distribución de tamaños de grano de una muestra de sedimento, se partió de una cantidad suficiente de muestra húmeda, previamente etiquetada y conservada. Esta muestra se secó en estufa a temperatura entre 80 y 90°C hasta eliminar el agua.

Para la separación de las fracciones gruesa y fina una vez seca la muestra, se separan varias fracciones destinadas a diferentes análisis. Para el análisis mecánico se separa una fracción entre 100 a 150 g. Para disgregar la muestra se le añade dispersante (hexametáfosfato sódico en una concentración de 10 g/l) y se somete a agitación durante unas 2 horas. A continuación se procede a la separación por vía húmeda de las fracciones gruesa y fina, vertiendo la suspensión en un tamiz de 63 micras, en el que queda retenida la fracción gruesa (grava más arena), mientras que la fina (limo más arcilla) se recoge para su estudio posterior.

Análisis de la fracción gruesa.- El tamiz de 0,63 micras conteniendo la fracción gruesa se vuelve a colocar en la estufa y se seca. Esta fracción se pesa y se procede a su tamizado durante 10 a 15 minutos, pesando posteriormente el sedimento retenido en cada tamiz.

Análisis de la fracción fina.- Se ha realizado mediante analizador *laser* modelo Fritsch Analysette 22. La suspensión que contiene la fracción fina, una vez dispersada y homogeneizada, se coloca en la cubeta del equipo, el cual cuenta también con agitación y ultrasonido, y se la hace circular. El equipo mide contenidos de fracciones de tamaño comprendidas entre 1 y 0,16 micras.

4.1.2.2 Contenido en Carbonatos

La determinación del contenido en carbonato cálcico ha sido realizada mediante la utilización del calcímetro de Bernard, también denominado método gasométrico. Este método es válido para la determinación sistemática de los carbonatos siempre que no exista en la muestra un contenido importante de dolomita (carbonato esencialmente magnésico). Estudios preliminares realizados (Gutiérrez Mas, 1992) indican que en los sedimentos de los fondos marinos de la zona de estudio predomina esencialmente la calcita (carbonato cálcico), lo que, junto a la facilidad de determinación, justifican la utilización del método. Este método se basa en la determinación del CO₂ desprendido al atacar los carbonatos con HCl. Este gas desplaza una columna de agua saturada en CO₂ sobre una escala graduada. Correlacionando el volumen de gas desprendido por una muestra de sedimento, con el desprendido por una muestra patrón de carbonato cálcico puro, se obtiene el porcentaje de carbonato cálcico del sedimento.

4.1.2.3 Contenido en Materia Orgánica

La determinación del contenido en materia orgánica se ha realizado mediante el método de calcinación. Una cantidad, entre 1 y 6 g de muestra seca triturada se depositó en un crisol de porcelana previamente tarado y se atacó con 10 ml de ácido acético durante 24 horas, para eliminar los minerales carbonatados menos estables, que podrían desaparecer durante la calcinación. Transcurrido el ataque, se realizaron sucesivos lavados con agua destilada, con el fin de eliminar el ácido y los compuestos solubles, evitando la pérdida de material particulado. Posteriormente los crisoles se llevaron a la estufa, donde permanecieron a 80° C hasta peso constante para quitarle el agua. Luego se dejaron enfriar y se pesaron. A continuación fueron calcinados a 550° C en horno mufla durante 5 horas, dejándose enfriar antes de ser pesado. La diferencia entre los dos últimos pesos netos en relación al peso inicial de la muestra proporcionan el porcentaje de materia orgánica en la muestra de sedimento.

4.1.2.4 Clasificación de los Sedimentos

Los sedimentos se han clasificado a partir de sus características texturales, en este caso el tamaño de grano. Se ha tenido en cuenta la proporción en la que se encuentran las diferentes fracciones de tamaño en los sedimentos. Para la clasificación se han utilizado gráficos o representaciones triangulares, que permiten la diferenciación de los sedimentos a partir de tres parámetros o fracciones de tamaño.

Se han utilizado dos tipos de gráficos: representaciones triangulares considerando las fracciones grava, arena y fango (limo más arcilla) o en el segundo tipo las fracciones: gruesas (grava más arena), limo y arcilla.

4.1.2.5 Cartografía

Se han realizado mapas representativos de la distribución por áreas de los principales parámetros granulométricos medidos en los sedimentos, así como de las fracciones de tamaño (grava, arena, limo, arcilla, fango y fracciones de tamaños de la escala de Udden-Wentworth) y de los tipos de sedimentos.

Se ha cartografiado también la distribución por áreas del comportamiento mecánico de fondos de la bahía externa.

4.1.3 RESULTADOS

4.1.3.1 Naturaleza Granulométrica de los Sedimentos. Ambientes de Depósito y Tipos de Sedimentos

Bajo el punto de vista granulométrico, los fondos de la parte externa de la bahía de Cádiz muestran una relativa variedad de sedimentos, en consonancia con los diferentes ambientes de depósito presentes e historia sedimentológica, variación e intensidad de los factores de control de la sedimentación, especialmente de los agentes hidrodinámicos, y procesos que han tenido lugar en tiempos relativamente recientes en la zona.

Distribución por áreas de los parámetros granulométricos de tendencia central

Media.- Este parámetro representa el tamaño medio de grano de las distribuciones granulométricas. Ofrece una idea del tipo de sedimento predominante y del nivel energético bajo el que se depositaron. Los sedimentos de los fondos de la parte externa de la bahía de Cádiz, presentan un valor promedio de la media de 0,01 mm (arena muy fina), oscilando los valores extremos entre 1,65 mm (arena muy gruesa) y 0,007 mm (limo muy fino).

La distribución por áreas de este parámetro (Mapa 4.1, anexo) muestra el predominio de la fracción arena muy fina en casi todos los sectores de la zona de estudio, aunque valores de la media más bajos aparecen en el sector occidental de ésta, en coincidencia con la existencia de sedimentos arenoso-fangosos. En general, estos sedimentos presentan distribuciones de tamaños con una baja clasificación, salvo las muestras eminentemente arenosas. Los valores más altos de la media se dan en el sector oriental de la bahía externa, en sedimentos de arena fina, en zonas batidas por el oleaje, y sobre arena media, gruesa y superiores, junto a los bajos rocosos de La Galera, frente a la ciudad de Rota y en zonas locales próximas a la isobata de 20 m.

Moda.- Representa la fracción o intervalo de tamaño más abundante de la distribución. El valor medio de la moda en los sedimentos estudiados es de 0,125 mm, correspondiente al límite entre las fracciones arena fina y muy fina, aunque presenta valores extremos de 5,65 mm (grava), por un lado, y de 0,00275 mm (arcilla gruesa), por otro. En general, las modas se presentan bien desarrolladas en distribuciones que presentan una buena clasificación, especialmente en sedimentos arenosos, donde se observa el predominio de la fracción arena muy fina, mientras que en sedimentos donde predomina la fracción grava y en zonas cercanas a la orilla se dan las mayores variaciones de los valores de la moda. Estas variaciones indican tendencias hacia tamaños más gruesos, como arenas y gravas en zonas próximas a la costa, especialmente cerca de bajos rocosos y acantilados. En otros sectores predominan las clases modales finas, como el limo cerca de los bajos de Rota y al NO del bajo de La Galera, mientras que la arcilla predomina en la parte central del sector oriental de la bahía externa.



Distribución por áreas de los contenidos de las fracciones de tamaño en los sedimentos

Se ha representado la distribución por áreas de los contenidos de las diferentes fracciones granulométricas en los sedimentos, habiéndose diferenciado las siguientes fracciones de tamaño: Grava, Arena, Fango (suma de los porcentajes de limo y arcilla en cada muestra), Limo y Arcilla.

Grava

Se trata de una fracción de tamaño minoritaria en los sedimentos de los fondos de la parte externa de la bahía de Cádiz, con valores máximos del 20%, que aparecen con carácter excepcional en estaciones próximas a bajos y afloramientos rocosos. El valor promedio es de 3,5%, predominante en fondos relativamente someros, desapareciendo prácticamente como componente del sedimento con la profundidad, excepto en la zona de plataforma interna, al Oeste de Cádiz, a más de 20 m de profundidad, donde vuelve a presentarse. Los contenidos mínimos (0%) son frecuentes en muchas zonas de la bahía externa, pero especialmente en los sectores centrales de la misma, a profundidades entre 5 y 20 m (Mapa 4.2, anexo).

En cuanto a la naturaleza composicional de la fracción grava de los sedimentos, está compuesta mayoritariamente por bioclastos, es decir, por restos de caparazones y partes rígidas de organismos marinos, salvo en las proximidades de los bajos y afloramientos rocosos, donde la grava está compuesta mayoritariamente por fragmentos de roca ostionera.

Arena

Es la fracción de tamaño dominante en los fondos de la bahía externa, con contenidos medios muy altos (76%), que pueden llegar a máximos de casi el 100% en muchas zonas. Los contenidos mínimos en esta fracción (2%) aparecen con carácter local en algunos puntos al Oeste del tramo de costa entre la punta de Santa Catalina y Rota, a profundidades entre 10 y 15 m (Mapa 4.3, anexo). Las zonas con contenidos superiores al 60% están ampliamente representadas y ocupan prácticamente todo el sector oriental y el margen Oeste del occidental, siendo por otra parte muy escasos los contenidos inferiores al 40%.

De forma general se puede decir que predominan los sedimentos que contienen más de un 60% de arena, pudiéndose diferenciar tres sectores:

Un sector oriental, al Oeste de la playa de Valdelagrana, con fondos que contienen desde el 60 hasta más del 80% de arena.

Un sector central, aproximadamente entre la base naval de Rota y Cádiz, cuyos fondos contienen entre el 40 y el 60% de arena.

Un sector occidental, al Oeste del meridiano de Cádiz, entre 15 y más de 20 m de profundidad, con fondos cuyos sedimentos contienen entre 60 y más del 80% de arena.

La distribución de esta fracción es bastante homogénea, no observándose ninguna tendencia a variar con la profundidad, salvo el hecho de que los contenidos máximos se dan en zonas intermareales y submareales de playa (95%), y los mínimos en zonas más profundas, entre 20 y 30 m, ya en la plataforma continental.

En cuanto a la naturaleza composicional de la fracción arena, ésta es de carácter esencialmente siliciclástico y origen terrígeno, apareciendo los carbonatos en cantidades entre el 15 y el 25% en forma de bioclastos. El mineral más abundante es el cuarzo, seguido de calcita, feldespatos, fragmentos de roca, minerales pesados, micas, glauconita, etc.



Fango

Esta fracción, suma de las fracciones limo y arcilla, presenta en los sedimentos de la bahía externa contenidos medios del 20%, aunque en muchas zonas se dan valores más altos que pueden alcanzar hasta el 60%, con máximos del 97%. La distribución por áreas del contenido en fango (Mapa 4.4, anexo), permite dividir los fondos de esta parte de la bahía en tres sectores:

Un sector oriental, donde el contenido en fango es bajo, y tan solo frente a las desembocaduras del río Guadalete, río San Pedro y estrecho de Puntales, aparecen contenidos mínimamente representativos.

Un sector central, entre la base naval de Rota y Cádiz, donde se dan los mayores contenidos en fango, con valores entre 15 y más del 60%.

Una zona occidental, la más profunda y abierta al mar, donde nuevamente bajan los contenidos en esta fracción fina.

Los datos adquiridos junto al conocimiento del medio, permiten afirmar que el fango predomina en aquellas zonas donde existe precipitación de partículas finas desde la suspensión.

La naturaleza composicional de la fracción fango, constituida por la suma de las fracciones limo y arcilla, es esencialmente siliciclástica y su origen terrígeno. En el limo predomina esencialmente el cuarzo, seguido de feldespatos y mica, mientras que en la arcilla, además del cuarzo, encontramos ilita, esmectitas, caolinita, y otros minerales de la arcilla.

Limo

El limo es la fracción de mayor tamaño de las que constituyen la fracción fango, junto con la arcilla. Sus límites texturales se sitúan entre la arena (0,063 mm) y la arcilla (0,002 mm). En los sedimentos de la bahía externa los contenidos medios de esta fracción son del 13%, valor predominante en casi toda la zona, mientras que los contenidos más altos, entre el 30 y más del 50%, se encuentran en el sector central de la bahía, en la desembocadura del río Guadalete y en algunos puntos cerca del puerto de la base naval de Rota (Mapa 4.5, anexo).

La distribución por áreas de los contenidos de fracción limo en los sedimentos presenta una tendencia a incrementarse desde las zonas litorales intermareales, donde el contenido es muy bajo o nulo, hasta alcanzar contenidos próximos al 50%, a profundidades superiores a los 25 m. No obstante, esta tendencia no se puede considerar generalizada.

En cuanto a la naturaleza composicional, esta fracción es de carácter esencialmente siliciclástico, siendo el cuarzo el principal componente, seguido de calcita, feldespatos, micas, etc.

Arcilla

El contenido en arcilla en los sedimentos superficiales de los fondos de la bahía externa es bajo, comparado con el de arena, presentando un valor medio inferior al 7%, con máximos de más del 30% en zonas como la desembocadura del río Guadalete y la parte central de la bahía externa, donde se encuentran los sedimentos que presentan un mayor contenido en esta fracción. Cerca de Rota también existe una zona donde el contenido en arcilla es relativamente alto, entre el 15 y el 20% (Mapa 4.6, anexo).

La distribución del contenido en arcilla, igual que en el caso del fango, permite dividir la zona en tres sectores:

Una zona oriental con predominio de contenidos bajos en su parte Norte y medios en el sector Sur.



Un sector central, entre el puerto de la base naval de Rota y Cádiz, donde los contenidos son relativamente altos (entre 15 y 20%).

Un sector occidental, al Oeste del anterior, donde predominan sedimentos con un contenido en arcilla muy bajo (entre 5 y 10%).

La distribución por áreas del contenido en arcilla de los sedimentos de los fondos de la bahía externa, está controlada por la acción de los flujos mareales que transportan materia en suspensión y por la fisiografía del fondo y la costa, que condicionan la dirección y velocidad de estos flujos. La naturaleza composicional de esta fracción está dominada esencialmente por minerales de la arcilla como: illita, esmectitas, illita-esmectitas, kaolinita y clorita, pudiendo estar también presente el cuarzo y algún mineral carbonatado, como la calcita.

Proporción Limo/Arcilla

La distribución de los valores de los contenidos de las fracciones limo y arcilla indica que existe un dominio de la fracción limo sobre la arcilla. El limo predomina en los fondos de la mitad Norte del sector oriental, en la zona de las desembocaduras del río Guadalete y caño del río San Pedro y en algunas zonas del sector occidental, como al Sur de Rota y cerca de la ciudad de Cádiz. Por su parte, la arcilla aparece en mayor proporción en la zona frente al estrecho de Puntales, así como en una franja que, desde la zona de la base naval de Rota, se orienta hacia mar abierto, hacia el Oeste.

Distribución por áreas de las fracciones de tamaño de la escala de Udden-Wentworth

En el mapa 4.7 (anexo), se representa la distribución por áreas de las fracciones de tamaño predominantes en cada sector de los fondos marinos de la parte externa de la bahía de Cádiz, según los intervalos definidos en la escala de tamaños de Udden-Wentworth.

El tamaño de grano predominante en los sedimentos de la mayor parte de estos fondos es el intervalo 0,124-0,063 mm, correspondiente a la fracción: arena muy fina. Este tamaño domina en los fondos de la parte central, tanto en la parte oriental como en la occidental, llegando hasta la plataforma, donde aparece a profundidades superiores a los 20 m. Lateralmente los sedimentos pasan a tamaños de grano más gruesos en las zonas litorales e inframareales, como playas, bases de acantilados, etc., donde predomina un tamaño de grano más grueso, desde 0,25 mm hasta 4 mm, pudiéndose alcanzar hasta 8 mm, en fondos rocosos.

Clasificación y distribución por áreas de los tipos de sedimentos

Los sedimentos de los fondos de la parte externa de la bahía de Cádiz son de carácter esencialmente siliciclástico, con un contenido en carbonatos de origen bioclástico medio del 25%. Estos fondos muestran una distribución granulométrica heterogénea, en consonancia con los diferentes ambientes de depósito y los factores hidrodinámicos que controlan la sedimentación. Así, aunque predomina la arena sobre el resto de las fracciones, en cada sector existen sensibles diferencias granulométricas.

En el mapa 4.8, se muestra la distribución por áreas de los diferentes tipos de sedimentos clasificados, entre los que se han distinguido los siguientes:

Roca.- Al Oeste y al Sur de Rota, y rodeando a Cádiz por el Norte y el Oeste existen dos importantes zonas rocosas en la Bahía. Así mismo, los bajos rocosos de la Galera y del Diamante, al encontrarse en la zona central de la bahía resultan agentes configuradores de importancia en la bahía (Capítulos 10 y 11).

Arena-gravosa.- Es el tipo de sedimento que presenta una mayor extensión en los fondos de la bahía externa. Aparecen indistintamente tanto en la parte occidental como oriental de la misma, y



Mapa 4.8. Distribución de los tipos de sedimentos en la bahía de Cádiz.



también en las zonas litorales de playa y en la base de acantilados, especialmente en el margen Norte y Este de la bahía, así como en zonas periféricas externas de la misma (Mapa 4.8).

Arena-limosa.- Los depósitos de arena-gravosa que ocupan la mayor parte de la bahía externa, lateralmente pasan a arena-limosa y también a arena-limo-arcillosa. Estos depósitos arenoso-fangosos se encuentran en la parte central de la bahía externa, constituyendo dos formaciones o depósitos principales: una, la más extensa se orienta de NNE-SSO, entre el puerto militar de Rota y por fuera de los bajos rocosos que bordean a la ciudad de Cádiz. Otra se orienta de Este a Oeste, desde la base naval de Rota hacia mar abierto, paralelamente a la costa e isobatas. (Mapa 4.8).

Limo-arenoso y limo-arcilloso.- Se trata de depósitos en los que predominan las fracciones de tamaño más finas (limo y arcilla). Estos depósitos se encuentran asociados a los sedimentos anteriormente descritos (arena-limosa), y representan las zonas o puntos donde los procesos de precipitación de partículas finas desde la suspensión son más frecuentes e intensos. Depósitos de estas características aparecen en el sector central de la bahía, al Norte de la ciudad de Cádiz, al Sur de Rota y frente a la desembocadura del estrecho de Puntales.

4.1.3.2 Contenido en Carbonatos

En el sector externo de la bahía de Cádiz, los valores máximos de contenido en carbonatos oscilan entre el 60% y el 80%. La naturaleza de esta fracción es fundamentalmente bioclástica, dominando el grupo de los moluscos bivalvos. Las áreas de distribución se encuentran asociadas a dos fuentes de aportes: por un lado, a los bajos rocosos constituidos por materiales (roca ostionera) con un alto contenido en conchas, y por otro, a zonas con sedimentos areno-fangosos, esto último debido a que los moluscos bivalvos habitan también fondos con un cierto contenido fangoso (Mapa 4.9, anexo).

El contenido en carbonatos en la zona de estudio, en general, no se relaciona con las condiciones hidrodinámicas sino con las fuentes de aportes, tanto fósiles como procedentes de organismos vivos, y disminuye con la profundidad. Los contenidos en carbonatos de la bahía de Cádiz presentan un valor promedio del 23%, y máximos del 80%, encontrándose fundamentalmente en zonas de aguas someras. Los contenidos mínimos, en torno al 9%, se presentan en zonas cercanas a las playas y en las zonas más profundas de la bahía. Bajo el punto de vista de su distribución, en la bahía externa se diferencian claramente dos sectores:

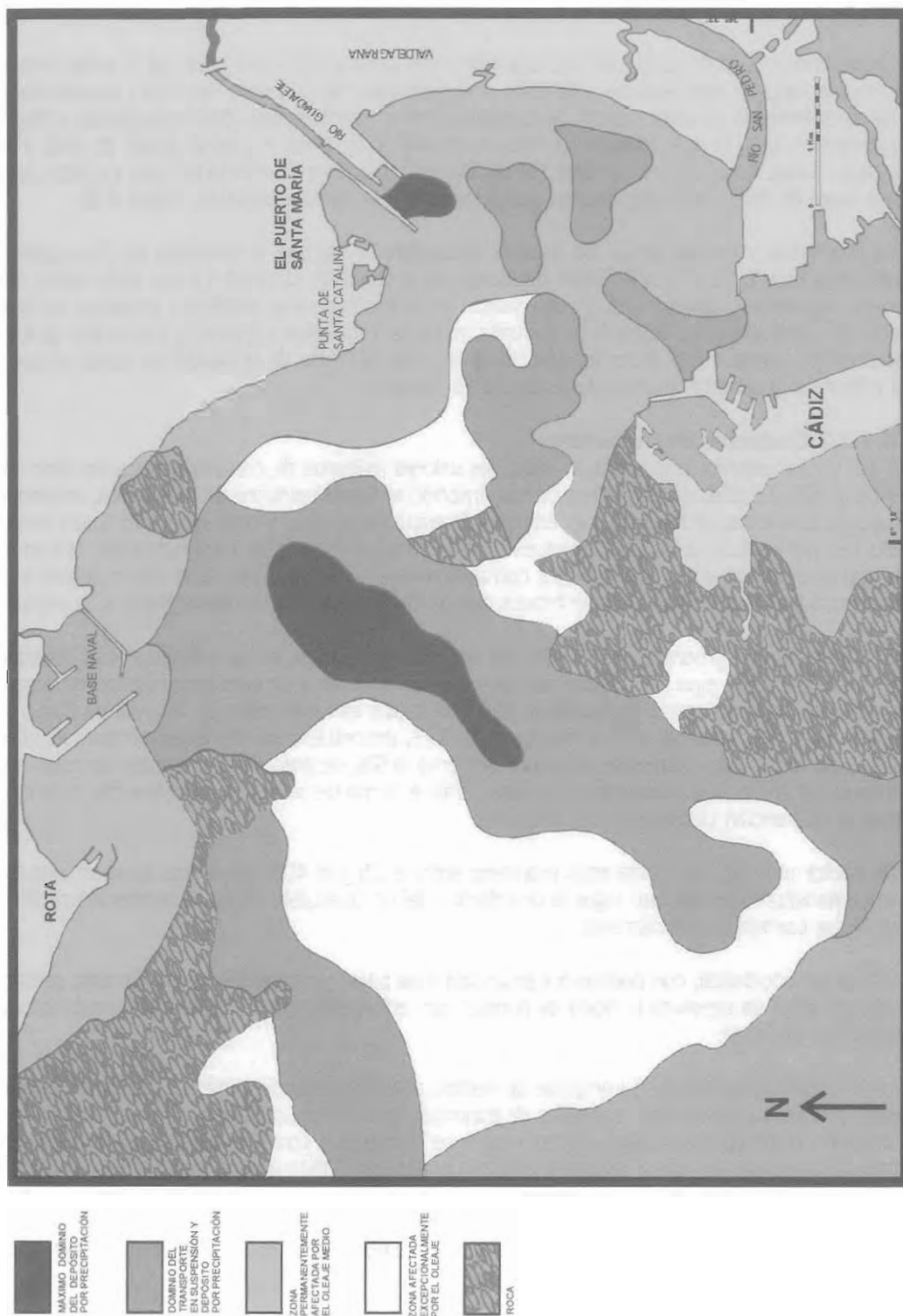
Un sector oriental, con contenidos promedio entre el 25 y el 40%, en el cual aparece una franja con contenidos máximos que sigue la orientación del río Guadalete en su desembocadura, disminuyendo sus contenidos lateralmente.

Un sector occidental, con contenidos promedio más bajos, entre el 10 y 20%. En este sector la distribución areal se presenta a modo de bandas con orientación NNE-SSO, disminuyendo los contenidos hacia el Oeste.

La fracción carbonatada se compone de restos, enteros y fragmentados de moluscos bivalvos y gasterópodos, equinodermos, espículas de esponjas, crustáceos, briozoos, corales, foraminíferos bentónicos y planctónicos, y otros. Estos restos se distribuyen como bioclastos en las diferentes fracciones de tamaño de grano, predominando los moluscos (30%) y equinodermos (5%) en la grava, arena muy gruesa y gruesa. En la fracción arena media predominan también los moluscos, aunque en menor porcentaje (13%), debido a la mayor presencia de cuarzo, mientras que en las fracciones arena fina y muy fina, el contenido bioclástico disminuye notablemente a favor de los componentes siliciclásticos.

4.1.3.3 Contenido en Materia Orgánica

En la bahía externa, los contenidos en materia orgánica son bastante más bajos que en la bahía interior (Muñoz y Sánchez-Lamadrid, 1994), con valores medios del 2% y máximos del 6%, mostrándose su distribución espacial en concordancia con las trayectorias de distribución de materiales



Mapa 4.11. Clasificación del fondo según el tipo de transporte dominante y zonas de sedimentación en la bahía de Cádiz.



finos. Los máximos contenidos aparecen en la desembocadura del río Guadalete y en dos amplias bandas que coinciden con las facies areno-fangosas y fangosas, a profundidades mayores de 10 m (Mapa 4.10, anexo).

4.1.4 CONSIDERACIONES SOBRE LOS RESULTADOS

4.1.4.1 Origen y Fuentes de Aportes de las Diferentes Fracciones de Tamaño de los Sedimentos

La principal fuente de aportes de materiales finos, limo y arcilla, a los fondos de la bahía externa es la bahía interna, ya que suministra material fino a través de las corrientes de reflujo mareal. Estas partículas finas, una vez fuera de la bahía interna y, tras atravesar el estrecho de Puntales donde la corriente alcanza una gran velocidad y capacidad de transporte, alcanzan las aguas de la bahía externa y, a medida que el flujo mareal pierde velocidad, se produce la precipitación sobre sus fondos. Primero precipita el limo y después lo hace la arcilla, lo que da lugar a un depósito constituido por sedimentos de naturaleza granulométrica más fina que el preexistente en esta zona. Otros aportes de partículas finas a los fondos de la bahía externa proceden de la erosión de la llanura mareal, bordes de caños y marismas.

Otros aportes de materia en suspensión alcanzan la bahía a través de las corrientes litorales y atlánticas que llegan por su margen Norte y penetran en la misma favorecidas por la acción del flujo mareal entrante. La bahía de Cádiz actúa como una trampa de sedimentos finos (Allen, 1973 y Castaing, 1989). A pesar de todo, la tasa de sedimento entrante en la bahía mediante este mecanismo es extremadamente baja en comparación con la que sale desde la bahía interna por efecto del reflujo mareal. La influencia fluvial sólo es importante en los momentos de crecida, momentos en los que los ríos que desembocan en la bahía aportan una gran cantidad de materia en suspensión, especialmente arcilla.

En cuanto a la fracción arena presente en los fondos de la parte externa de la bahía, tiene varios orígenes:

- a) Por una parte, la arena presente en las zonas de playa, base de acantilados y zona submareal próxima, tiene su origen en los aportes fluviales que alcanzan la costa en momentos de crecida, erosión de acantilados, rasas rocosas y aportes procedentes de depósitos más antiguos.
- b) En las zonas más profundas de la bahía externa, el origen de la arena presente en los fondos, tiene dos orígenes principales: en las zonas más someras y cercanas a la orilla, la arena procede directamente de la erosión de las playas que se encuentran en los márgenes de la bahía. Muchos de los sedimentos arenosos presentes en las partes más profundas de la bahía externa, como los que ocupan las partes centrales de ésta, son sedimentos relictos depositados en momentos anteriores, bien cuando el nivel del mar se encontraba por debajo del actual, o bien, debido a los arrastres de arena desde las zonas litorales, sufridos durante la acción de eventos de excepcional intensidad.

La fracción de tamaño más gruesa, la grava, compuesta esencialmente por fragmentos de roca y restos de conchas de bivalvos y gasterópodos, no muestra una relación directa con los procesos de transporte ni con el régimen dinámico, sino más bien con la naturaleza del sustrato y de los organismos que lo habitan.

4.1.4.2 Comportamiento Mecánico de los Sedimentos

En este apartado se tratan aquellos aspectos relacionados con el comportamiento hidrodinámico del sedimento del fondo, en relación con el transporte y depósito, que puedan deducirse del análisis de distribución de tamaños de grano y de la cartografía realizada.

A.-Tipos de transporte y condiciones de depósito de los sedimentos

Teniendo en cuenta las distribuciones por áreas de las diferentes fracciones de tamaño, parámetros granulométricos y tipos de sedimentos, en la parte externa de la bahía de Cádiz se pueden diferenciar varias modalidades de transporte de los granos detríticos:

- a) *Carga de fondo.*- Está constituida por el conjunto de materiales que, por su tamaño y peso, son transportados por la corriente por el fondo de la masa de agua. Predomina en las zonas someras y litorales de alta energía, donde los depósitos sedimentarios están constituidos por granos detríticos de tamaño relativamente grande. También se da en las zonas cercanas a bajos rocosos y base de acantilados. No obstante, las zonas dominadas por este tipo de transporte extienden su área de influencia enormemente durante los temporales.

Los materiales transportados como carga de fondo se desplazan, según su tamaño y peso, de dos modos: *tracción*, con un límite de tamaño inferior en 0,5 mm, y *saltación*, con límite de tamaño inferior en 0,1 mm (Visher, 1969; Degiovanni, 1970 y Komar, 1977). En el caso de la bahía de Cádiz estos límites corresponden a situaciones de alta energía, como son las de temporales fuertes de poniente y levante, momentos durante los que la fracción arena muy fina puede ser transportada en suspensión. En la zona infralitoral, contigua a la intermareal, se sitúa el límite del transporte por tracción en 0,8 mm, y la saltación es el modo de transporte más importante pudiendo llegar a representar entre el 90% y 98% del transporte total de sedimentos (Visher, 1969).

- b) *Carga en suspensión.*- La suspensión como modo de transporte afecta a partículas de tamaño entre 0,2 y 0,16 mm. Es el tipo de transporte que predomina en la bahía interna, mientras que en la bahía externa coexiste con el tractivo y en saltación. En la parte oriental de la bahía externa el transporte en suspensión condiciona los depósitos sedimentarios en la zona de la desembocadura del río Guadalete y en sectores puntuales ubicados frente a la playa de Valdelagrana. En la zona occidental, el transporte en suspensión predomina fundamentalmente en dos sectores que se muestran en el fondo a través de la existencia de depósitos de materiales de menor tamaño de grano como: arena-limosa, arena-limo-arcillosa y limo-arcilloso, que lateralmente pasan a otros más gruesos como, arena-gravosa, predominantes en los fondos de la bahía externa. En realidad, lo que sucede en esta parte de la bahía, es que sobre un sedimento preexistente, como es la arena-gravosa, se depositan sedimentos finos, como el limo y la arcilla, por precipitación desde la suspensión. Estos materiales finos proceden principalmente de los fondos de la bahía interna, donde son removilizados por el oleaje y transportados hasta la bahía externa y plataforma continental por las corrientes de refluo mareal. Una vez atravesado el estrecho de Puntales, donde las corrientes tienen la velocidad suficiente como para transportar partículas de tamaño arcilla y limo, la corriente va perdiendo velocidad y disminuye su capacidad de carga en suspensión, dando lugar a la precipitación de partículas. Primero se sedimentan las más gruesas (limo) y luego, cuando la corriente ha disminuido suficientemente su velocidad, las más finas (arcilla). La sedimentación de estas partículas en el fondo da lugar al retrabajamiento por mezcla del sedimento preexistente, el cual pasa a tener un menor tamaño de grano que los que se encuentran fuera de la acción del flujo. Así, los sedimentos pasan de arena-gravosa a arena-limosa, arena-limo-arcillosa y limo-arenoso. La distribución areal de éstos indica los sectores donde domina el transporte en suspensión y el depósito por precipitación desde la suspensión.

Se puede establecer una correspondencia entre la ubicación de las facies más gruesas (arena-gravosa) y las zonas de dominio del transporte tractivo y en saltación y, por otra parte, una correspondencia entre la ubicación de las facies más finas (arena-fangosa y fango-arenoso) y las zonas de dominio del transporte en suspensión y sedimentación por precipitación de partículas. (Mapa 4.11).

B.-Removilización del fondo por acción del oleaje y condiciones de transporte y depósito

En el proceso de propagación del oleaje desde las zonas más profundas a las más someras, mientras la relación entre la profundidad (d) y la longitud de onda de las olas (L) sea mayor que $1/2$ ($d/L > 1/2$), las olas son independientes de la profundidad y no remobilizan el sedimento del fondo. Las olas empiezan a afectar al fondo cuando la longitud de onda supere en más del doble a la profundidad ($L > 2d$) (Cerc, 1984). Una vez que la ola toca fondo, la respuesta, en términos de removilización y transporte, es diferente ya que depende de las características granulométricas del fondo. Varios autores han estudiado este proceso de removilización de los sedimentos del fondo marino causado por la incidencia de las olas al propagarse (Shields, 1936). En el área de la bahía de Cádiz, Muñoz Pérez y Gutiérrez Mas (*en prensa*) han determinado la frecuencia con que el oleaje medio en la zona removiliza los fondos de diferente profundidad y tamaño de grano, y han establecido las curvas de isoprobabilidad de que una ola de tamaño y período medio removilicen los sedimentos superficiales del fondo. En la zona de la bahía de Cádiz se ha determinado esta profundidad a partir de la formulación de Birkemeier (1985) y datos de la boya escalar de oleaje situada frente a Cádiz (R.O.M 03-91 Area IV). El valor propuesto para el límite entre la zona litoral y la de asomeramiento, es de 6 m, correspondiente a la profundidad máxima de influencia de los temporales con periodo de retorno de un año.

Los resultados indican que la mayor probabilidad de que los sedimentos del fondo sean removilizados por el oleaje entrante, se da en la parte oriental de la bahía externa, con una frecuencia entre 30 y 33%, en fondos de baja profundidad, entre 0 y 10 m.

En la parte occidental de la bahía externa, a medida que aumenta la profundidad, disminuye la probabilidad de removilización del sedimento del fondo por el oleaje, entre 20 y 30%, lo que permite el depósito de sedimento fino en los fondos que se encuentran bajo la acción de las corrientes de reflujo mareal.

En la parte más externa de la bahía, donde los fondos son más profundos, entre 15 y 20 m, la probabilidad de removilización del sedimento del fondo por acción del oleaje es menor que en las zonas anteriores, entre el 15 y el 20%. Esta zona, a pesar de la menor incidencia del oleaje, presenta depósitos de carácter eminentemente arenosos, debido a la baja tasa de aportes de finos a la zona. (Mapa 4.12, anexo)

4.1.4.3 Conclusiones

Del análisis de los datos obtenidos se deduce que, aunque el conjunto de la zona estudiada está afectada por factores, agentes hidrodinámicos y procesos comunes, éstos no actúan por igual en cada sector de la misma. Así, en función de las características del sedimento, agentes hidrodinámicos dominantes e intensidad de los procesos generados por éstos, en la zona se pueden diferenciar varios sectores:

- A) Una zona litoral, entre la orilla y los 5 a 10 m de profundidad, de naturaleza eminentemente arenosa, o en su caso gravosa o rocosa, cuando en vez de playas hay acantilados, lajas rocosas o bajos. Se trata de la zona de máxima influencia del oleaje y de las corrientes generadas por éste. El único sedimento estable en estas condiciones es la arena media y gruesa, la cual permanece en condiciones precarias, dadas las restricciones de aportes fluviales existentes.

Con temporales muy fuertes, el efecto del oleaje sobre el fondo es grande. Las olas incidentes remobilizan el sedimento en dirección a la costa, donde tiende a acumularse la arena y formar playas. Simultáneamente se generan fuertes corrientes de relajación y resaca, debido a la acumulación de agua en la orilla y al subsecuente ascenso del nivel del mar, que se compensa con flujos profundos en dirección hacia fuera. La acción combinada de la ola rompiente sobre la orilla, que removiliza el sedimento depositado y de las corrientes de relaja-



ción, puede erosionar y arrastrar parte del sedimento hacia zonas más profundas y estables. En estas condiciones el sedimento removilizado es transportado en saltación y tracción a gran velocidad por el fondo.

Bajo el punto de vista expuesto, estas zonas se pueden calificar como de muy alta energía y se encuentran en la franja litoral hasta una profundidad entre 5 y 10 m, pero que puede ampliarse en caso de fuertes temporales y sobrepasar ampliamente los 10 m. Además, estas zonas suelen tener poco o nulo contenido en sedimentos finos, ya que éstos no soportan las fuertes condiciones energéticas y tienden a mantenerse en suspensión, salvo en zonas frente a la desembocaduras de ríos, caños importantes, etc., donde pueden aparecer depósitos de materiales más finos de diferentes tamaños.

- B) Una zona sublitoral, por debajo de la profundidad límite de influencia de las olas y corrientes de relajación en temporales medios, con poca influencia en el sedimento del fondo de las olas incidentes. Se trata de una franja de amplitud variable, comprendida entre los 12 y 25 m, según las condiciones y configuración del fondo. En el caso de la parte externa de la bahía de Cádiz, esta zona está constituida por fondos de naturaleza arenosa, aunque presenta variaciones granulométricas relativamente importantes y en base a las cuales se han diferenciado dos subsectores:

B.1.- Uno de carácter más arenoso, poco afectado por el oleaje y por las corrientes mareales y con un contenido en finos bajo. Es la zona que se encuentra al NO de Cádiz y Sur de Rota, a profundidad entre 13 y 25 m. Se trata de una zona bastante estable, con un nivel energético de medio a bajo y fondo poco alterado, que sólo se removiliza en condiciones excepcionales. En todo caso, salvo situaciones especiales, el sedimento se movería por el fondo de forma tractiva y muy difícilmente en saltación.

B.2.- Otro de carácter arenoso-limoso y limoso-arcilloso, que se encuentra en sectores que están bajo la influencia de corrientes y flujos que transportan gran cantidad de materia en suspensión. En este caso, el sedimento del fondo presenta características mixtas, ya que el sedimento del fondo preexistente, más grueso y estable, se enriquece con el más fino procedente de la precipitación desde la suspensión.

4.2 ESTUDIO SONOGRÁFICO, MORFOLÓGICO Y DINÁMICO-SEDIMENTARIO

4.2.1 INTRODUCCIÓN

La utilización de la técnica de *sonar de barrido lateral*, ha tenido por objeto identificar y cartografiar las características morfológicas de los fondos de la parte externa de la bahía de Cádiz, de cara a complementar los datos sedimentológicos obtenidos. De esta forma, se han realizado interpretaciones de tipo dinámico para relacionar la morfología y naturaleza del fondo con los procesos que le afectan y el tipo de sedimento.

La parte más importante del equipo de *sonar de barrido lateral* es el *transductor*, responsable de transmitir la onda acústica que se propaga hasta el fondo a través del agua. El transductor emite un haz sónico a ambos lados del barco, este haz es horizontalmente estrecho, con objeto de conseguir una buena resolución, mientras que verticalmente es ancho, con objeto de cubrir una extensión suficiente del fondo, conocida como *ancho de barrido*. De lo anterior se deduce que los registros sonográficos no tienen la misma escala en una dirección que en otra, aunque éstas pueden corregirse geométricamente o mediante un módulo de conversión de las distancias en horizontales (Abarzuza, 1991). Algunos equipos disponen de sistemas de corrección de distancia oblicua, como el utilizado en este estudio, para eliminar el efecto de la columna de agua. Los pulsos se transmiten a intervalos regulares de tiempo y cuando la onda acústica choca contra un objeto, una parte refleja y vuelve al transductor, donde se transforma en impulsos eléctricos que se amplifican y regis-



tran. El tiempo de recogida de los ecos depende de la distancia y de la velocidad de propagación del sonido en el agua, dato conocido de antemano. Si el fondo fuese plano, la mayor parte del sonido incidente se reflejaría fuera del entorno del sonar, sin embargo, gracias a las irregularidades generadas por la diversidad y tamaño de las partículas que lo componen (algas, rocas, arena, grava, limo, arcilla), el fondo actúa como un difusor que refleja el sonido en todas direcciones.

La intensidad del sonido reflejado es directamente proporcional a la rugosidad del fondo y al ángulo de incidencia del haz emitido inicialmente, que dependerá de la frecuencia utilizada. Por su parte, la rugosidad del fondo, está relacionada con el relieve submarino y el tamaño de grano del sedimento, siendo más reflectivos los tamaños gruesos, como la grava y la arena, y menos los finos, como el limo y la arcilla.

Los ecos recibidos se registran gráficamente en papel, indicándose su intensidad mediante tonalidades de grises. El aspecto general del sonograma se debe a que los objetos sobresalientes del fondo impiden que el sonido llegue tras ellos, produciendo una sombra acústica que aparece en el registro como una zona en blanco, al no existir retorno de señal al otro lado del objeto. Las alturas de los objetos que producen estas sombras se pueden calcular geoméricamente teniendo en cuenta la longitud de la sombra.

Actualmente las tendencias más recientes consisten en la adquisición de datos digitales, visualización en pantallas de ordenador y almacenamiento digital. De esta forma, una vez adquiridos los datos, un programa de tratamiento de imágenes puede hacer las correcciones geométricas, de posicionamiento, de velocidad del buque, de profundidad del transductor, etc. y generar mosaicos que proporcionan una visión global del fondo, facilitando enormemente las interpretaciones.

4.2.2 MATERIAL Y MÉTODOS

4.2.2.1 Campañas de Sonar de Barrido Lateral y Levantamientos Batimétricos

Sectores Estudiados y Diseño de Líneas y Transectos

Esta campaña abordó tanto el registro sonográfico de diferentes sectores de la parte externa de la bahía de Cádiz como el levantamiento batimétrico de los mismos, y se realizó durante los meses de agosto y septiembre de 1999, con objeto de conocer la fisiografía del fondo, especialmente las formas generadas por efecto de la dinámica marina sobre el sedimento del fondo.

Se programaron 4 sectores o campos de exploración (Mapa 4.13), lo que supuso un total de 1121,5 ha de superficie explorada, distribuidas de la siguiente manera:

- SECTOR A.- En las proximidades de la playa de Fuentebravía, con orientación paralela a la línea de costa y a los veriles. Tiene una longitud de 3.000 m y una anchura de 950 m, lo que supone una superficie de 285 ha.
- SECTOR B.- Frente a la playa de Valdelagrana, orientada paralelamente a la costa e isobatas. Tiene 3.100 m de largo por 850 m de ancho, cubriendo un área de 263,5 ha.
- SECTOR C.- Se ubica al NNE de la bocana del puerto de Cádiz, al Oeste del sector anterior. Tiene una longitud de 2.000 m y una anchura de 1.050 m, lo que supone una superficie total de 210 ha.
- SECTOR D.- Se encuentra al Sur de la base naval de Rota y al Oeste del sector A. Sus dimensiones son: 2.200 m de longitud por 1.650 m de anchura, lo que supone una superficie de 363 has.

4.2.2.2 Diseño de Líneas y Transectos

Los transectos seguidos por la embarcación se han diseñado de acuerdo con el ancho de barrido del equipo sonar, con objeto de obtener un grado de solapamiento suficiente para realizar mosaicos completos de los sectores o campos estudiados.

Se programó una distancia entre líneas de 100 m, lo que supone un solape entre líneas de 50 m, ya que el ancho de barrido del equipo sonar utilizado es de 75 m a cada banda. Esto supone que los 50 m centrales entre líneas se han barrido dos veces, una en cada sentido y cada línea adyacente, con objeto de evitar dejar zonas en blanco o sin explorar, debido a guiñadas de la embarcación de arrastre y también ayuda a confirmar formas u objetos dudosos presentes en el fondo.

Durante el levantamiento con *sonar de barrido lateral*, se registraron simultáneamente los datos batimétricos, a fin de conocer exactamente la cartografía de la zona explorada. Posteriormente, se realizó una selección de sondas, de tal manera que se eligiera la sonda mínima con un radio de 10 m. La observación de mareas para corregir adecuadamente los datos batimétricos obtenidos con el sondador, se realizó en directo, utilizándose la misma regla instalada en las inmediaciones del mareógrafo del puerto de Cádiz.

4.2.2.3 Técnicas y Equipos Utilizados

Las campañas de toma de datos de *sonar de barrido lateral* y batimétricos fueron realizadas por la empresa FONDEMAR, S.A., con sede en la bahía de Cádiz, y se utilizaron los siguientes equipos:

- A) *Sonar de Barrido Lateral*.- Se ha utilizado un equipo marca C-MAX, modelo CM800, con las siguientes especificaciones:

Frecuencia de operación: 325 Khz
Dimensiones del haz: Horizontal 0,3°. Vertical 70°
Ancho de pulso: Optimizado según la escala seleccionada
Escala: Mínima escala 50 mts. Máxima escala 150 mts
Medida automática de la altura del pez remolcado sobre el fondo.
Registro de datos en disco magneto-óptico

Las señales de sonar fueron registradas digitalmente y grabadas en disco magneto-óptico, con objeto de poder proceder posteriormente a su procesado e interpretación en gabinete.

El estudio se ha completado con datos procedentes de diversas campañas realizadas con anterioridad, que han servido, no sólo para completar los datos de algunas zonas no incluidas en los sectores estudiados, sino también para verificar el comportamiento de los fondos de esta parte de la bahía de Cádiz a lo largo del tiempo. Los registros sonográficos se obtuvieron en diciembre de 1988 y enero de 1990 con equipos Klein 100 Khz y Klein 500 Khz respectivamente, con un ancho de barrido de 100 m, y un solapamiento del 30% entre líneas.

- B) *Sondador*.- Se ha utilizado un equipo Atlas Deso 22, con las siguientes especificaciones:

Frecuencias: Utiliza simultáneamente dos canales de 33 Khz y 210 Khz
Precisión: Frecuencia de 33 Khz: +/- 9.5 cm, +/- 0.12% de la profundidad
Frecuencia de 210 Khz: +/- 1.5 cm, +/- 0.12 % de la profundidad
Frecuencia de medida: 10 sondas por segundo
Salida digital simultánea de ambos canales de sonda

- C) *Equipo de posicionamiento*.- Para la estación base se ha utilizado un equipo DGPS marca ASHTECH, modelo DNS12 con las siguientes especificaciones:



Número de canales: 12
Precisión: < 1 mt rms
Velocidad de actualización de la posición: 2 veces por segundo

A bordo de la embarcación se ha utilizado un equipo DGPS marca ASHTECH, modelo G12 con las siguiente especificaciones:

Número de canales: 12
Precisión: <90 cm rms
Velocidad de actualización de la posición: 10 por segundo

4.2.2.4 Análisis de Gabinete

El análisis e interpretación de los registros sonográficos y batimétricos fue realizado por un equipo del Departamento de Geología de la Universidad de Cádiz, y consistió en la lectura, impresión, interpretación y cartografía de la fisiografía del fondo. Finalmente se ha realizado un mapa significativo de las características más relevantes determinadas en este estudio, de cara a los objetivos marcados en el proyecto.

4.2.2.5 Análisis Sonográfico

Lectura de registros digitales e impresión gráfica. Los registros grabados en disco óptico, fueron leídos mediante un *software* específico, que permite el reconocimiento de todas las señales y simula en el monitor el recorrido de cada línea o transecto realizado, de forma exacta a la original. Igualmente este *software* permite la realización de medidas de forma automática y otras operaciones de interés a la hora de analizar los sonogramas.

Una vez reconocidas las imágenes sonar se procedió a la impresión de los registros correspondientes a cada línea. La impresión de los registros continuos se realizó en papel térmico, con objeto de obtener la mejor resolución posible.

Los segmentos de sonograma más interesantes fueron procesados digitalmente y transformados en imágenes *bip*, utilizando un *software* específico. Posteriormente estas imágenes se fusionaron con objeto de obtener mosaicos de imágenes sonar que han facilitado el estudio, al permitir una amplia visión sinóptica del fondo, así como la estimación de la continuidad de las formas y objetos encontrados.

4.2.2.6 Análisis Morfológico y Dinámico

Diferenciación de campos

En base a las observaciones visuales realizadas sobre las imágenes monitorizadas y los registros sonográficos continuos, se procedió a la subdivisión de los sectores estudiados en campos y subcampos. El criterio de subdivisión utilizado se ha basado en el grado de alteración encontrado en el fondo, ya sea de origen natural, como los producidos por los agentes hidrodinámicos sobre los sedimentos del fondo, acción de la gravedad, etc., o las alteraciones producidas por la acción humana, como arrastres, objetos hundidos, fondeos, etc.

Análisis morfológico y dinámico

Inicialmente se procedió al análisis individualizado de las formas longitudinales y transversales, determinándose la orientación respecto al rumbo del barco y al Norte geográfico. La determinación de las trayectorias seguidas por las corrientes se ha basado en la medida sistemática de la orientación de las formas de fondo transversales, como ripples, ondas de arena, dunas, etc. En las zonas donde dichas formas están ausentes, se ha recurrido a las formas longitudinales, como cintas de arena, deslizamientos y parches de fango.



4.2.3 CONSIDERACIONES SOBRE LOS RESULTADOS

4.2.3.1 Factores de Control

Del estudio sonográfico, batimétrico y morfológico realizado en los fondos de la parte externa de la bahía de Cádiz, se deduce que en éstos existen diferentes campos de formas en correspondencia con las diferentes condiciones existentes. Así, se ha comprobado que los factores que controlan el grado de deformación de los sedimentos del fondo son esencialmente los siguientes:

- Naturaleza granulométrica del fondo.- Es decir, el tamaño de grano del sedimento que se encuentra en la superficie del fondo o la existencia de fondos rocosos.
- Velocidad y dirección de las corrientes.
- Profundidad del fondo.
- Morfología de la costa y del fondo.

4.2.3.2 Campos de Formas de Fondo, Dirección de la Corriente y Régimen Energético

De la dirección de las formas transversales y longitudinales se ha deducido la dirección de transporte de los sedimentos y de las corrientes de fondo. De la tipología de las formas y del tamaño de grano se ha deducido el régimen energético, es decir, la velocidad o intensidad relativa aproximada de las corrientes que han dado lugar a estas formas y campos. (Mapa 4.14).

De forma general, en la parte externa de la bahía de Cádiz predominan los fondos arenosos y rocosos, estos últimos aparecen principalmente en zonas someras y en las de bajos, mientras que la arena predomina en las zonas litorales cercanas a playas y en los sectores más profundos. Intercalados entre los fondos arenosos aparecen fondos gravosos y rocosos, especialmente en las zonas próximas a los bajos. Los fondos arenosos contienen diferentes contenidos en finos, que se incrementan en la zona media de la parte occidental, donde la arena pasa lateralmente a arena-limosa y a limo-arcilloso.

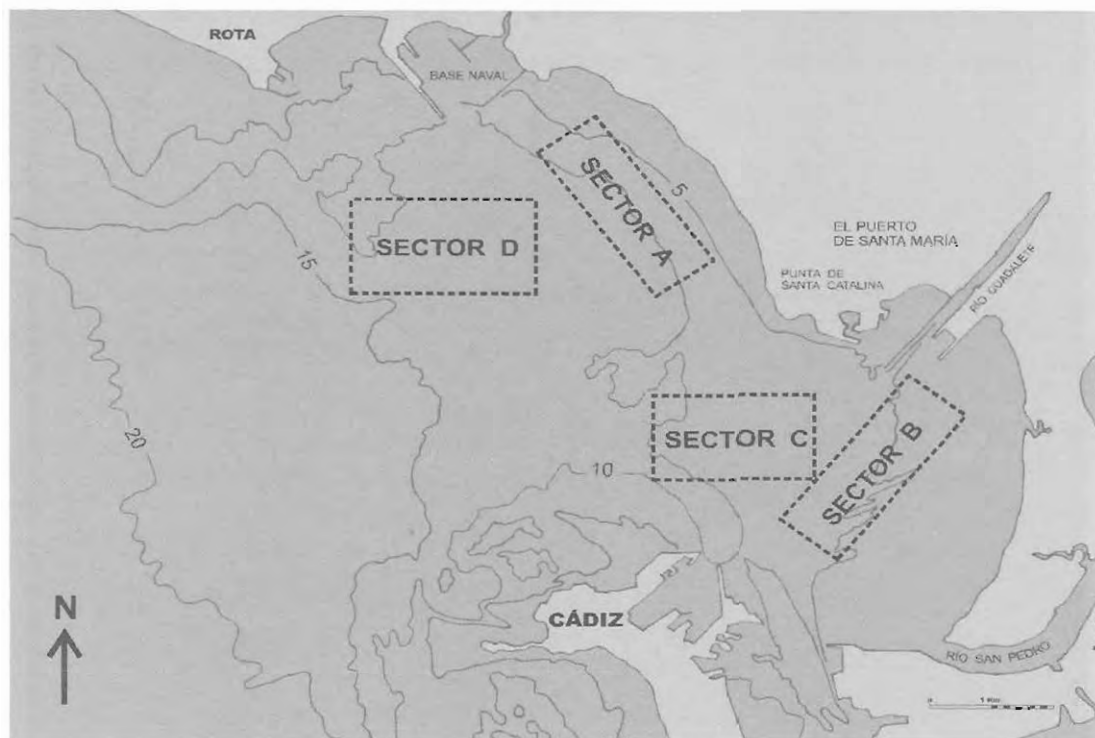
En el conjunto de los sectores estudiados se han encontrado diferentes condiciones del régimen dinámico-deposicional. Si se tienen en cuenta los tipos de formas encontradas, en los fondos de la bahía externa se pueden diferenciar varios campos:

En el sector oriental de la bahía externa, entre las desembocaduras de los ríos Guadalete y San Pedro, frente a la playa de Valdelagrana, a partir de datos batimétricos se ha detectado la presencia de fondos de arena fina de morfología alomada, debido a la existencia de campos de ondas de arena de altura decimétrica y crestas orientadas prácticamente de Norte a Sur. Estas morfologías indican una velocidad de la corriente relativamente alta, con un buen aporte de arena, suministrada por el frente de playa cercano. En estas condiciones se deduce un régimen energético alto, con velocidades de la corriente entre 60 y 100 cm/s, generadas por las corrientes de relajación que se producen durante los temporales más fuertes.

Hacia el Oeste cambia el régimen y las características del fondo, debido a la existencia de afloramientos rocosos que en los sonogramas se ponen de manifiesto como pequeños escarpes de unos decímetros de altura, orientados de NNE a SSO. En esta zona aparecen fondos rocosos, gravosos y de arena gruesa. Las corrientes circulan aquí de NNE a SSO y están muy condicionadas por la morfología del fondo. El régimen de flujo es entre alto y muy alto, alcanzándose velocidades máximas entre 60 y más de 100 cm/s.

Al Oeste de esta zona, en fondos de carácter predominantemente arenoso, las formas de fondo dominantes son las ondas de arena de altura decimétrica y crestas orientadas de Norte a Sur. El régimen energético es entre medio y alto (vel.: 60-100 cm/s).

Más hacia el Oeste, aunque todavía al Este de los bajos de La Galera y El Diamante, el fondo mantiene su carácter arenoso y los campos de formas de fondo varían sensiblemente su morfología y orientación. Así, hacia el Sur aparecen pequeños montículos o dunas orientadas de NE a SO,



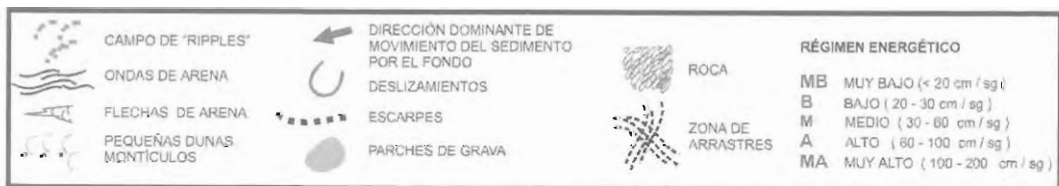
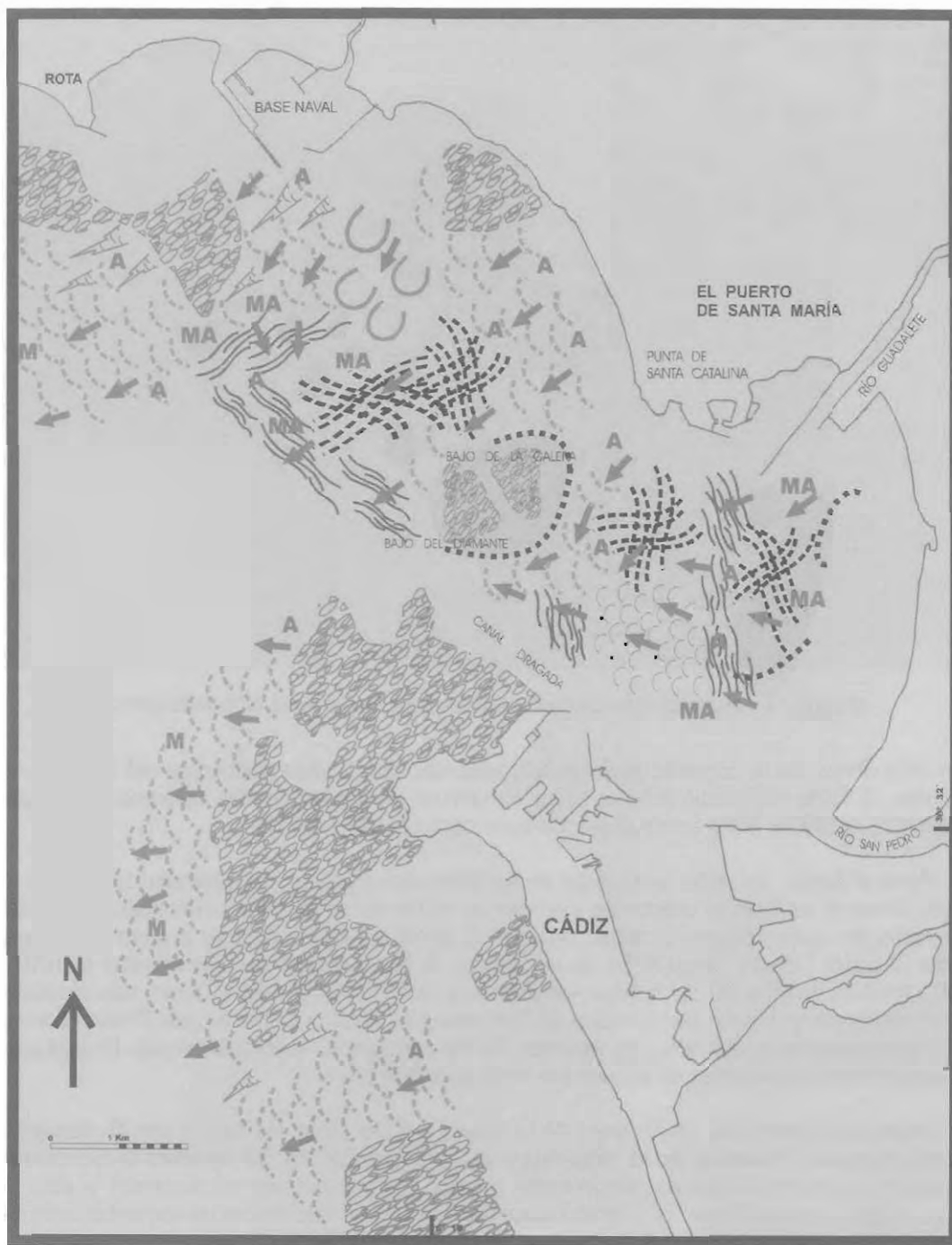
Mapa 4.13. Localización de los sectores estudiados con el sonar de barrido lateral.

con direcciones de la corriente hacia el NO, alineadas con la desembocadura del estrecho de Puntales. Al Norte del campo anterior aparecen campos de ripples y ondas de arena con crestas orientadas de NNO a SSE, siendo el sentido de la corriente hacia el SSO.

Hacia el Oeste, cerca del flanco Este de los bajos de La Galera y El Diamante, las formas de fondo arenosas cambian su orientación y las crestas de las ondas de arena se orientan de NO a SE, afectadas por corrientes que se dirigen hacia el SE desde las zonas cercanas al promontorio de la punta de Santa Catalina. Hacia el Sur de las crestas de las ondas de arena se orientan de NNO a SSE y también de NE a SO que indican sentidos de la corriente hacia el NO y Oeste, muy afectadas por el pasillo que se forma entre los bajos del Diamante y los bajos cercanos a Cádiz (Fraile, Puercas, etc.), que condiciona el flujo entre los sectores oriental y occidental de la bahía externa. En esta zona se han estimado velocidades de la corriente entre 60 y 100 cm/s.

Pegados al flanco Este de los bajos de La Galera y el Diamante, los fondos son de naturaleza rocosa, gravosa y arenoso-gravosa, dirigiéndose las corrientes hacia el SO siguiendo la dirección de los escarpes generados por los afloramientos rocosos, para luego, una vez superada la zona de bajos, dirigirse hacia el Oeste. El régimen energético es alto, con velocidades de corrientes entre 60 y 100 cm/s.

Al Oeste de los bajos de La Galera y El Diamante y entre éstos y los bajos cercanos al puerto de la base de Rota, aparecen diversos campos de formas. Así, al NO de la punta de Santa Catalina se observa un extenso campo de ripples rectos y sinuosos en fase, entre los que aparecen intercalados ondas de arena de unos decímetros de altura. Las crestas de ambos tipos de formas se orientan de NO a SE, indicando la existencia de corrientes hacia el SO de velocidad entre moderada y alta (60-100 cm/s), que se amortiguan hacia mar adentro en esta misma dirección. Estas corrientes se generan como consecuencia del flujo de relajación que se produce durante los temporales más fuertes, al incidir el oleaje sobre la orilla. En esta misma zona se observa la existencia de numerosas tra-



Mapa 4.14. Formas de fondo, dirección de desplazamientos de los sedimentos y régimen energético en la bahía de Cádiz.



zas de corrientes de resaca con dirección hacia el SO, puestas de manifiesto a través de la presencia de campos de ripples muy sinuosos y linguoides, tal vez antidunas, que se superponen al resto, interceptando otros campos de menor nivel energético. En estas últimas zonas el régimen de flujo es alto, con velocidades de corriente entre 60 y 100 cm/s.

Hacia el SO se pasa a fondos arenosos, arenoso-gravosos y rocosos, caracterizados por la existencia de ondas de arena con crestas orientadas de NE a SE, lo que pone de manifiesto la existencia de corrientes hacia el SO de gran velocidad (100 cm/s).

Al Norte de esta zona, cerca del puerto de la base naval de Rota, se observan dos campos, uno más próximo de fondo arenoso y con presencia de ripples y cintas y flechas de arena que indican direcciones de la corriente en esta zona hacia el SO.

Otro campo se sitúa al SE del anterior, sobre fondos arenoso-arcillosos en los que predominan los parches de fango generados por deslizamientos gravitacionales que tienen lugar a favor de la pendiente, favorecidos por el efecto de cizalla de las fuertes corrientes que actúan en la zona y por la incidencia directa de las olas sobre el fondo.

Al Sur y SO de Rota, bordeando los bajos rocosos próximos a esta localidad costera y por su flanco SE, aparecen campos de arena gruesa y roca, y más hacia el Sur, ondas de arena de crestas orientadas de NE a SE, que indican la existencia de fuertes corrientes hacia el Sur y SSE, que pasan a SSO y SO más hacia el Sur, buscando las zonas más abiertas y libres del encajamiento que produce la existencia de los bajos y afloramientos rocosos del fondo.

En el flanco Sur de los bajos próximos a Rota, aparecen abundantes campos de ripples rectos y sinuosos en fase con crestas orientadas de NNO a SSE. Esta disposición indica un régimen energético medio-bajo, con velocidades de la corriente entre 20 y 40 cm/s. Cuando hay poco sedimento fino, éste puede percolar e incluso mezclarse con el grueso, pero, en algunas zonas como por ejemplo cerca de fuentes de aportes de cierta importancia, como al Sur del puerto de la base naval de Rota, donde la acumulación de fango es importante, el material arcilloso puede deslizarse gravitacionalmente, favorecido por la acción de las olas y corrientes, dando lugar a un transporte gravitatorio en dirección de la pendiente dominante, que puede llegar a removilizar grandes cantidades de sedimento y afectar a zonas relativamente extensas.

En el extremo Sur de la bocana principal de la bahía, bordeando los bajos y fondos rocosos cercanos a Cádiz, se observan campos de ripples orientados de NO a SE, paralelos a la línea de costa. Se forman por la acción de corrientes hacia el SO que actúan muy condicionadas por el fondo rocoso, y las canalizaciones y los huecos presentes en el mismo y que pueden alcanzar velocidades entre 30 y 100 cm/s.

4.3 CONCLUSIONES GENERALES Y RECOMENDACIONES

4.3.1 CONCLUSIONES GENERALES

Del estudio realizado se observa la existencia de campos de formas de fondo diferentes como: numerosos campos de ripples, ondas de arena, cintas de arena, deslizamientos gravitacionales, pequeñas dunas y montículos, fondos de grava y escarpes rocosos, entre otras, que se distribuyen por diversas zonas y cuya presencia es indicadora de las características sedimento-dinámicas de los fondos.

4.3.1.1 Naturaleza del Sedimento

A partir de las características de los sedimentos del fondo, agentes dinámicos dominantes e intensidad de los procesos, en el conjunto de la zona estudiada se pueden diferenciar varios secto-



res: Una zona litoral, entre 5 y 10 m de profundidad, de naturaleza arenosa o gravosa-rocosa, cuando hay acantilados, lajas o bajos. Es la zona de máxima influencia del oleaje y corrientes generadas por éstos. La acción combinada de las olas rompientes, que removiliza el sedimento depositado, y de las corrientes de relajación, puede erosionar y arrastrar mucho sedimento hacia zonas más profundas y estables. El sedimento removilizado puede ser transportado en saltación o tracción a gran velocidad por el fondo. (Mapa 4.15, anexo).

Una zona sublitoral, por debajo de la profundidad de influencia del oleaje y de las corrientes de relajación en temporales medios. Se trata de una franja de amplitud variable, comprendida entre 12 y 25 m, según la configuración del fondo. En el caso de la parte externa de la bahía de Cádiz, esta zona está constituida por fondos de tipo arenoso, aunque existen variaciones granulométricas relativamente importantes, por lo que esta zona se ha subdividido en dos: una más arenosa y poco afectada por el oleaje y las corrientes de refluo marea, con un contenido en finos bajo. Se encuentra al NO de Cádiz y Sur de Rota, a profundidades entre 13 y 25 m. Se trata de una zona estable, con un nivel energético relativamente bajo y fondos poco alterados, que sólo se removilizan en condiciones excepcionales.

La otra es de carácter arenoso-limoso y limoso-arcilloso, aparece en sectores del fondo afectados por la influencia de corrientes y flujos que transportan materia en suspensión. El preexistente del fondo, de tipo arenoso, se enriquece con el más fino procedente de la precipitación desde la suspensión. Cuando hay poco sedimento fino, éste percola y se mezcla con el grueso, pero cuando los aportes de finos son altos, como sucede cerca del puerto de la base naval de Rota, el material arcilloso puede deslizarse gravitacionalmente, favorecido por la acción de las olas y corrientes, dando lugar a un transporte en dirección de la pendiente dominante que puede removilizar una gran cantidad de sedimento.

4.3.1.2 Factores de Control del Régimen Energético

De forma general se observa que la removilización del fondo y el transporte de sedimentos está condicionado por varios factores, entre los que cabe destacar los siguientes:

El grado y frecuencia con que el oleaje incide sobre el sedimento del fondo, por efecto del movimiento de propagación de las olas hacia la costa.

El efecto de las corrientes de relajación y de resaca generadas por efecto de la compensación del gradiente de incremento de altura en la costa, al acumularse los continuos frentes de ola sobre ésta.

Las corrientes mareales que actúan de diferente manera y con distinta intensidad, según cada zona y sector. En aquellas partes donde la corriente marea alcanza una velocidad suficiente, ésta condiciona la naturaleza y morfología del fondo, como sucede en las proximidades de la desembocadura del estrecho de Puntales. El principal efecto de las corrientes mareales es el transporte de materia en suspensión procedente de la removilización de los sedimentos del fondo.

La morfología de la costa y del fondo, que condiciona la acción de las corrientes sobre el sedimento del fondo y la velocidad y dirección de éstas.

4.3.1.3 Direcciones de Transporte

En general se observa una dirección predominante de transporte hacia el Oeste y SO, lógica dada la dirección predominante de la costa de NO a SE y la abertura al Oeste de la ensenada que constituye la parte externa de la bahía de Cádiz, factores que condicionan la dirección de todo tipo de flujos y corrientes hacia mar abierto.



Las principales variaciones de este sistema, están relacionadas con los cambios morfológicos y de orientación de la costa y el fondo, siendo esencial en este aspecto la presencia de bajos y fondos rocosos, cuyos escarpes actúan de manera definitiva a la hora de desviar, orientar y/o dividir a las corrientes.

4.3.1.4 Régimen Energético

El nivel energético observado del análisis de los campos de formas encontrados en las zonas y sectores oscila entre muy alto y medio-bajo. El primero se pone de manifiesto a partir de formas de fondo que reflejan una gran velocidad de la corriente como, fondos gravosos, ondas de arena, ripples linguoides y antidunas. En el conjunto de todos los sectores estudiados, aparecen en la zona frente a Valdelagrana, al Este de los bajos de La Galera y El Diamante, y al Sur del puerto de la base naval de Rota (Mapa 4.14).

Niveles energéticos de tipo medio-alto se dan al SO del promontorio de la punta de Santa Catalina y al NO de ésta, en el frente litoral de la zona de Fuentebravía, cerca de la bocana del puerto de la base naval de Rota y también, cerca de los bajos rocosos que rodean a Cádiz, especialmente al SO de esta ciudad, entre otras zonas.

Niveles energéticos de tipo medio-bajo se dan al SO de Rota, cerca del flanco Sur de los bajos rocosos que aparecen en esta zona costera. También aparecen al Oeste de Cádiz, en el flanco Oeste de los bajos próximos a esta localidad. Se trata de zonas algo más profundas, donde los efectos de las corrientes están atenuados debido a la mayor profundidad y distancia del punto donde se generaron cerca de la costa, así como por un menor grado de encajonamiento.

Además, en estas zonas el efecto de removilización del sedimento por acción de las olas en su movimiento de propagación hacia la orilla es menor que en otros sectores, habiéndose estimado una probabilidad relativa de removilización del sedimento del fondo por acción del oleaje entre el 20 y el 15%, que es una probabilidad baja en relación con otros sectores de la zona estudiada.

4.3.1.5 Acción Antrópica

Las zonas donde se han encontrado huellas de arrastres, producidas por barcos arrastreros o por fondeos de embarcaciones de gran porte que se encuentran en dos sectores bien definidos: una en la parte oriental de la bahía externa, entre la desembocadura del río Guadalete y los bajos de La Galera y El Diamante, frente al promontorio de la punta de Santa Catalina, y otra que se encuentra al Oeste de la anterior, al Sur del puerto de la base naval de Rota.



5. CORRIENTES EN LA BAHÍA DE CÁDIZ

En la bahía de Cádiz las corrientes están afectadas por varios factores, dependiendo tanto de la zona que estudiemos -fricción sobre el fondo, topografía- como del coeficiente mareal, los vientos, la presión atmosférica y la influencia de la plataforma continental.

En la bahía interior es el fenómeno de las mareas el principal factor determinante de la existencia de corrientes. Estas son muy fuertes en el canal de navegación, registrándose datos de hasta 150 cm/s en el estrecho de Puntales, siendo débiles en el resto de la bahía interna. La dirección de las mismas se ajusta a los canales de navegación, tomando el sentido de la marea vaciante o creciente. Es el estrecho de Puntales el agente configurador más importante, al encauzar toda el agua entrante y saliente a la bahía interior (Muñoz y Sánchez de Lamadrid, 1994, Tejedor *et al.*, 1998).

En la bahía exterior las corrientes son más débiles, salvo en la zona del canal de navegación, por donde discurre principalmente el agua creciente o vaciante del estrecho de Puntales. En la bahía externa influyen en la corriente además de la marea, la morfología del fondo, los vientos y la presión atmosférica (Bruno *et al.*, 1997)

Este trabajo tiene como objetivos la descripción de las corrientes que se establecen en la bahía externa, especialmente en los puntos de mayor interés para el establecimiento de sistemas de acuicultura flotante.

5.1 PLANTEAMIENTO DE LOS MUESTREOS

Para la caracterización de las corrientes, se dispuso del correntímetro Aanderaa RCM9, que registra la velocidad (± 2 cm/s), dirección de la corriente ($\pm 5^\circ$) y la temperatura del agua. También se utilizaron algunos correntímetros Aanderaa RCM7, de similares características al anterior. Los datos registrados los almacena internamente en una unidad, para después ser volcado al ordenador, o los transmite directamente a través de un cable a la unidad de almacenamiento. El estudio se dividió en cuatro fases bien diferenciadas:

5.1.1 PRIMERA FASE. SEPTIEMBRE DE 1999

Se caracterizaron corrientes en días de mareas de elevado coeficiente en 12 estaciones de la bahía externa, mediante lectura directa desde el barco los valores registrados por el correntímetro RCM9. Esta toma de medidas se llevó a cabo con el fin de seleccionar los puntos donde mantener fondeados los correntímetros en las fases siguientes. Para ello se fondeaba en la estación elegida, comprobando mediante GPS diferencial que el barco se encontraba totalmente inmóvil. El correntímetro se sumergía a 2,5 m de la superficie y tomaba medidas durante 10 minutos. Las 12 estaciones de muestreo se seleccionaron con los siguientes criterios (Mapa 5.1): estaciones relacionadas con el estrecho de Puntales y el canal principal de navegación; estaciones relacionadas con el río Guadalete y estaciones en el resto de la bahía en puntos de posible interés para el fondeo de cultivos flotantes.

Los datos se tomaron en el transcurso de los días 27 y 28 de septiembre de 1999, donde los coeficientes mareales fueron de 1,05 y 0,99, respectivamente.

5.1.2 SEGUNDA FASE. NOVIEMBRE DE 1999

Se utilizaron para los fondeos del correntímetro tanto en esta fase como en las siguientes, una cadena de 80 Kg de peso como muerto, el propio correntímetro, una boya de flotabilidad de 60 Kg y boyas de superficie de fácil avistamiento en el mar. Todos los elementos (cables y grilletes) utilizados en la unión de los distintos componentes del fondeo eran de acero inoxidable, a excepción del cabo de nylon que une la boya de flotabilidad con las de avistamiento.



Correntímetros



Preparación del fondeo de los correntímetro



Boyas para fondeo correntímetro



Cadenas para fondeo correntímetro



RCM-9



▲ RCM-7, unidad de almacenamiento RCM-7 ▶





Se fondearon cinco correntímetros de forma simultánea durante un ciclo mareal completo (12 horas), en una marea de coeficiente cercano a 1, en los lugares que se consideraron más apropiados. Se distinguieron dos zonas en la bahía de Cádiz, la zona exterior donde la corriente es pequeña y dominada por las condiciones meteorológicas y la zona del estrecho de Puntales y del canal de navegación, dominados por las fuertes corrientes de marea. Los puntos seleccionados fueron (Mapa 5.2):

- C1.- 36° 33,51'N 6° 16,36'W con 9 metros de profundidad, a una milla y media al SO de la desembocadura del río Guadalete
- C2.- 36° 32,45'N 6° 16,23'W con 7 metros de profundidad, en el estrecho de Puntales
- C3.- 36° 34,48'N 6° 18,62'W con 13 metros de profundidad, a algo menos de dos millas al O de la Punta de Santa Catalina, en El Puerto de Santa María.
- C4.- 36° 33,15'N 6° 19,3'W con 14 metros de profundidad, en el canal de navegación de entrada a Cádiz, junto al Bajo de las Puercas
- C5.- 36° 35,10'N 6° 19,58'W con 14 metros de profundidad, en el Bajo de las Cabezuelas, cercano a Rota

Se fondearon el día 26.XI.99 entre las 4:30 a.m. (coeficiente de marea 0,95) y las 18:00 p.m. (coeficiente 0,89), de tal manera que se tomaron datos de los momentos de máxima corriente tanto en la creciente como en la vaciante.

5.1.3 TERCERA FASE. ABRIL DE 2000

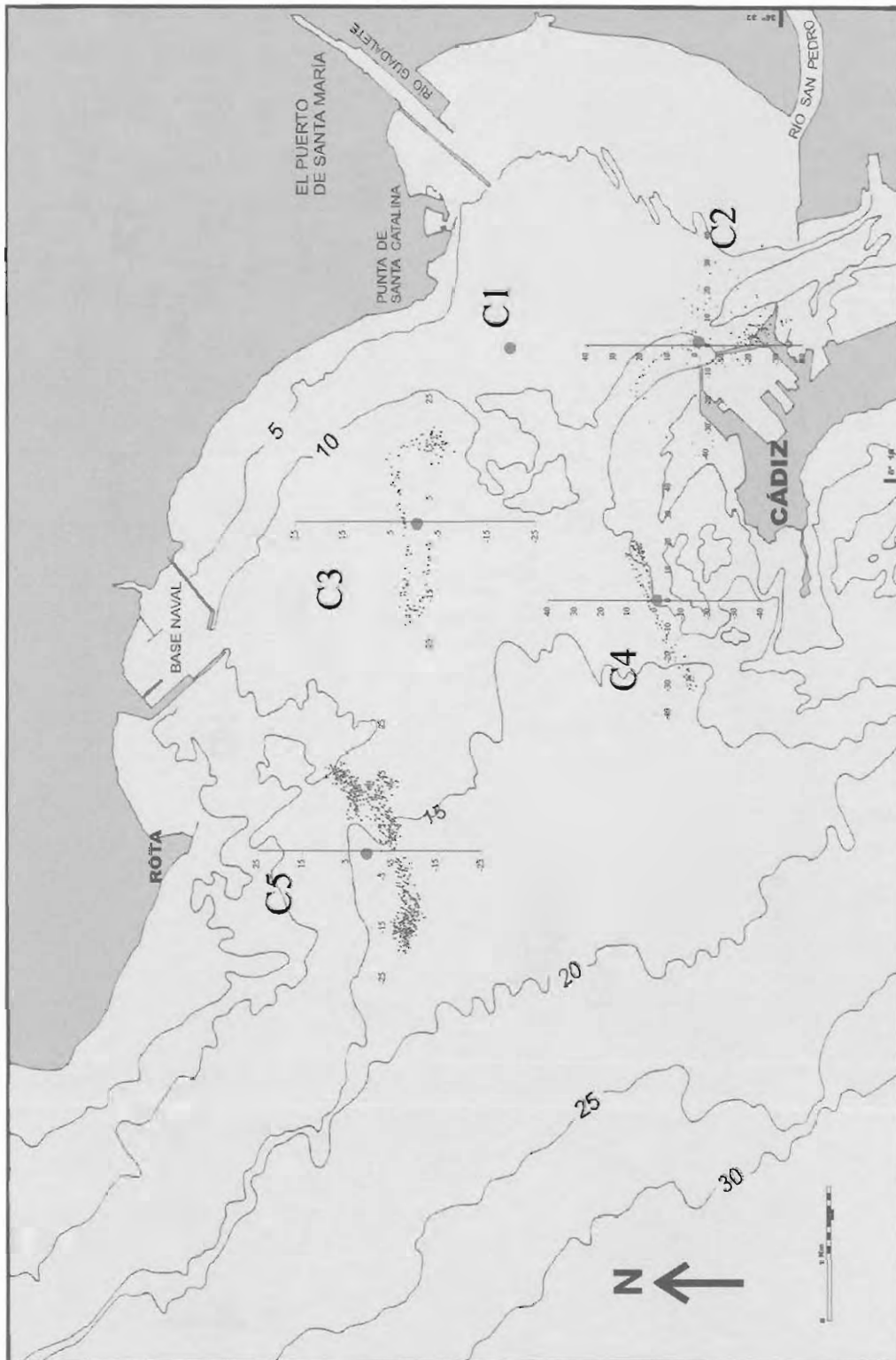
Se fondearon seis correntímetros de forma simultánea, utilizando criterios similares a los del muestreo de noviembre. La metodología que se usó fue la misma que en la fase anterior, registrándose datos, en colaboración con el proyecto MAR98 - 0796, durante periodos de 24 horas, aunque alguno quedó fondeado por más tiempo al no localizarse la boya de superficie. La situación de los puntos fue la siguiente (Mapa 5.3, CICYT):

- B1.- 36° 33,65'N 6° 15,72'W con 8 metros de profundidad, a algo más de una milla al SO de la desembocadura del río Guadalete, situado cerca del punto C1 del muestreo de noviembre
- B2.- 36° 31,35'N 6° 15,72'W con 11 metros de profundidad, en el estrecho de Puntales, cerca del punto C2 del muestreo de noviembre
- B3.- 36° 33,59'N 6° 18,33'W con 15 metros de profundidad, a una milla al N de Cádiz en el canal de navegación, cercano al punto C4 del muestreo de noviembre
- B4.- 36° 32,54'N 6° 19,97'W con 15 metros de profundidad, a una milla aproximadamente al NO de Cádiz, situado fuera del canal de navegación
- B5.- 36° 35,53'N 6° 22,00'W con 17 metros de profundidad, a algo más de dos millas al SO de la Punta de la Morena, en Rota (cercano al punto C5 del muestreo de noviembre)
- B6.- 36° 35,53'N 6° 17,85'W con 12 metros de profundidad, a una milla y media al O de la Punta de Santa Catalina, en El Puerto de Santa María (cercano al punto C3 del muestreo de noviembre)

Los fondeos se realizaron entre los días 24 y 25 de abril, con coeficientes de marea de 0,51 y 0,41, respectivamente.



Mapa 5.1. Posición del correntímetro en las medidas puntuales de septiembre de 1999.



Mapa 5.2. Posición de los correntímetros y diagrama polar de la corriente. Noviembre de 1999.



Mapa 5.3. Posición de los correntímetros y diagrama polar. Abril de 2000.



Cuatro de los correntímetros utilizados en noviembre y cinco de los de abril fueron cedidos por el Departamento de Física Aplicada de la Universidad de Cádiz.

5.1.4. CUARTA FASE. AGOSTO DE 2000.

Se fondeó el correntímetro RCM9 en la zona prevista como la adecuada para cultivos flotantes en este estudio. El fondeo fue de 7 horas de duración, registrando los momentos de mayor intensidad de corriente en la vaciante y en la creciente de una marea de coeficiente 0,99. El punto seleccionado corresponde a las coordenadas L 36° 33,5489 N y I 6° 25,1399 W, con una profundidad de 30 m. El correntímetro se fijó a 2,5 m del fondo.

Como complemento de estos registros el Departamento de Física Aplicada de la Universidad de Cádiz nos ha facilitado los datos de corriente tomados en el Bajo del Quemado, punto cercano a este emplazamiento, entre los meses de febrero y abril de 1992.

5.2 RESULTADOS

5.2.1 PRIMERA FASE. SEPTIEMBRE DE 1999

Los resultados obtenidos en esta fase (Tabla 5.1), indican como inadecuados el estrecho de Puntales y el canal de navegación, donde - por otra parte - se prohíbe el fondeo de estructuras flotantes por dificultar el uso principal de entrada al puerto de Cádiz de buques (estaciones 1, 2, 3 y 5). En otros puntos, como los localizados en las cercanías de Rota o en lugares centrales de la bahía, la velocidad de corriente no supera los 25 cm/s (estaciones 6, 7, 8, 9, 10, 11 y 12). Es previsible que en el punto 4 (río Guadalete) la corriente debe ser elevada al cesar el reparo de la marea. Estos datos confirman lo que esperábamos, altas corrientes en el canal de navegación y menores en el resto de la bahía externa.

Tabla 5.1. Datos obtenidos en el muestreo de los doce puntos mencionados (la toma de muestras fue cada 30 s y a 2,5 metros de profundidad). Est: estación de muestreo; Lat: latitud; Long: longitud; Prof: profundidad; H In: Hora Inicio (GMT); H Fin: Hora Final (GMT); Dif Baj: Diferencia con Bajamar; Vel: velocidad (cm/s); Dir: dirección (grados)

Est	Lat	Long	Prof	H In	H Fin	Dif Baj	Vel	Dir
1	36 30.44	6 14.82	9.4	10:35	10:45	1:25	55.8	152.9
2	36 30.30	6 15.08	5.4	10:57	11:07	0:50	21.4	178.4
3	36 32.20	6 16.00	16.5	11:32	11:42	2:20	52.4	162.5
4	36 34.60	6 14.50	3.8	9:45	9:57	0:34	13.3	27.2
5	36 33.44	6 17.08	10.7	13:01	13:07	3:16	41.1	20.2
6	36 33.30	6 15.80	7.5	11:58	12:08	2:57	22.3	125.5
7	36 34.20	6 17.51	11	12:40	12:46	2:55	24.9	101.2
8	36 35.74	6 17.30	9.8	11:44	11:50	1:59	3.8	114.4
9	36 35.35	6 21.26	15.3	10:04	10:11	0:20	5.2	244.7
10	36 36.66	6 20.04	8.6	11:11	11:17	1:26	8.4	61.4
11	36 35.87	6 22.80	14.9	10:33	10:40	0:49	8.0	292.3
12	36 35.96	6 23.33	20.4	14:28	14:35	4:44	14.6	132.1



5.2.2 SEGUNDA FASE. NOVIEMBRE DE 1999

- Punto C1.-* Por problemas técnicos no se pudieron obtener datos de este punto.
- Punto C2.-* Se registraron corrientes con dirección N (25 cm/s de media), correspondiente a la vaciante, y S (25 cm/s de media), en la llenante. La mínima fue de 2 cm/s y la máxima de 38 cm/s (Figura 5.1)
- Punto C3.-* La corriente en este puntose dirige hacia el O (con una media de 15 cm/s) durante la vaciante, y hacia el ESE (10 cm/s de media) durante la llenante. La mínima fue de 2 cm/s y la máxima de 25 cm/s (Figura 5.2)
- Punto C4.-* En este punto la corriente fluye hacia el SO en la vaciante (media de 20 cm/s) y en la llenante hacia el E (media de 15 cm/s). La mínima fue de 2 cm/s y la máxima fue de 37 cm/s (Figura 5.3). Al comparar el módulo de la velocidad en la creciente con el de la vaciante, puede observarse como hay una corriente neta resultante en dirección hacia fuera de la bahía. Es decir, una masa de agua, en ese punto, después de cada llenante y vaciante de marea iría avanzando en dirección de la vaciante, encontrándose por tanto una corriente residual saliente.
- Punto C5.-* La corriente toma aquí dirección SO en la vaciante (15 cm/s de media) y ENE (15 cm/s de media) en la llenante. La mínima fue de 3 cm/s, y la máxima alcanzó los 22 cm/s (Figura 5.4). Al igual que en el punto C4, hay una corriente residual saliente.

5.2.3 TERCERA FASE. ABRIL DE 2000

- Punto B1.-* La corriente durante la vaciante lleva dirección NO (8 cm/s de media) y durante la llenante se dirige hacia el SE (con 8 cm/s de media). La mínima fue de 3 cm/s y la máxima fue de 13 cm/s (Figura 5.5).
- Punto B2.-* La dirección de la corriente en la vaciante fue hacia el N (25 cm/s de media) y hacia el SE en la llenante (25 cm/s de media). La mínima estuvo situada en 3 cm/s y la máxima en 48 cm/s (Figura 5.6.)
- Punto B3.-* Durante la vaciante la corriente se dirige hacia el NO (12 cm/s de media) y durante la llenante hacia el SE (8 cm/s de media). La mínima fue de 3 cm/s y la máxima de 22 cm/s (Figura 5.7). Hay una corriente residual saliente, al igual que ocurría con los puntos C4 y C5.
- Punto B4.-* En éste punto no se puede apreciar una dirección de la corriente clara ni en la llenante ni en la vaciante, siendo la mínima de 0 cm/s y la máxima de 12 cm/s (Figura 5.8). En este punto se observa una corriente residual saliente.
- Punto B5.-* Ésta es una zona de corrientes bastante constantes que no llegan nunca a cesar, la dirección de la vaciante es O (15 cm/s de media) y la de la vaciante va hacia el E (media de 16 cm/s). La mínima se halla en torno a los 2 cm/s, y la máxima en 21 cm/s (Figura 5.9). Puede observarse cómo no se da el período de seis horas, sino que hay pulsos de corriente menores y mayores a las seis horas, que parecen suavizar bastante la influencia de las mareas.
- Punto B6.-* En este punto la corriente en la vaciante se dirige hacia el NO (6 cm/s de media) y la llenante hacia el S (6 cm/s de media). La mínima fue de 4 cm/s y la máxima de 11 cm/s (Figura 5.10).



5.2.4. CUARTA FASE. AGOSTO DE 2000.

Los valores de corriente tienen 15,6 cm/s de velocidad media, encontrándose el mínimo en 3,4 y el máximo en 27,4 cm/s. Respecto a la dirección, ésta es NW durante la vaciante, cambiando la dirección hacia el NE con la creciente (Figura 5.11).

5.3 DISPERSIÓN DE LAS PARTÍCULAS

La dispersión teórica de los productos de desecho procedentes de las jaulas de piscicultura es un factor a tener en cuenta al considerar el posible impacto ambiental sobre los fondos de la Bahía. En efecto, una partícula arrojada al mar, recorrería una distancia dependiente de su densidad, de su tamaño y de la intensidad y dirección de la corriente que exista en esa zona. En este caso, las consideraciones realizadas se estudian con la suposición de que se trate de una masa de agua que se comporta como un sólido rígido. De esta manera, abarcamos con seguridad los límites máximos de la posible distribución de sólidos sobre los sedimentos del fondo.

Utilizamos para este supuesto los dos tipos de representaciones gráficas de los datos obtenidos en las distintas campañas de registro de datos. Mediante los diagramas polares o gráficos u-v y la representación del módulo de la velocidad y de las direcciones de las corrientes, se puede analizar la dispersión de partículas en el caso de que una hipotética jaula estuviera colocada en los puntos seleccionados. El diagrama polar se calcula mediante la representación del seno de la dirección * velocidad (u) frente al coseno de la dirección * velocidad (v) en cada momento en los que se han medido. El diagrama polar nos permite conocer si hay una dirección preferente o una corriente residual si el diagrama es asimétrico, pues las coordenadas coinciden con las direcciones Norte-Sur (Eje Y) y Este-Oeste (Eje X). La simetría de las corrientes durante la creciente y vaciante se confirma mediante las representaciones de velocidad y dirección. En los fondeos de corta duración, como es nuestro caso, es importante tener en cuenta los datos de una creciente y una vaciante, despreciando el resto en el caso de que no se tenga el número suficiente como para completar el periodo de una creciente y vaciante más. El diagrama polar u-v nos indica la forma en la que se dispersarían las partículas sobre los sedimentos del fondo, aunque no la distancia que podría recorrer esa partícula. El vector progresivo de corriente (suma de los vectores de corriente, representados desde el origen), podría indicarnos la distancia máxima y la dirección de una masa de agua, en el caso de que ésta pudiera considerarse homogénea. En la Bahía, en pocas millas cambian las corrientes de forma importante, por lo que no se utiliza este tipo de representación, además, se necesitarían series de datos más largas que para el diagrama polar. Sin embargo, sí podrá calcularse el desplazamiento aproximado de la masa de agua, teniendo en cuenta la velocidad media tanto en creciente como en vaciante, y las direcciones principales de las mismas. En general hay muchas formas distintas en los diagramas u-v, así, la forma simétrica, indica que no hay dirección predominante de la corriente, mientras que en otros casos la dirección de la marea creciente o de la vaciante es clara (por ejemplo en el correntímetro del punto B1). Entre estos dos extremos encontramos formas distintas y peculiares de sitios concretos, explicadas al principio de esta sección. En lugares donde las corrientes son de intensidad importante (canales de navegación) ocurre que cuando la masa de agua ha sido arrastrada hacia la salida durante la vaciante, en la creciente esa misma masa de agua volvería aproximadamente al mismo lugar de donde partió.

Al estudiar los datos de los correntímetros de noviembre-99 y abril de 2000 (tabla 5.2 y 5.3) se confirma las corrientes residuales entrante al N de la Bahía y saliente al S. En ninguna de las situaciones se prevé que estas partículas alcancen la costa, puesto que una vez que lleguen al fondo su movilización requiere alta energía.



Tabla 5.2. Estimación del espacio recorrido en m, en la creciente y en la vaciante del día 27.XI.99 en las estaciones C3, C4 y C5. Se consideraron los datos en los que la velocidad de corriente es mayor a 10 cm/s. Est: estación de muestreo; Marea; Fase mareal; Vel Med: velocidad media (cm/s); Dir Med: dirección media (grados); t corr: tiempo de corriente (horas y minutos); Esp rec: espacio recorrido (m).

Est	Marea	Vel Med	Dir Med	t corr	Esp rec
C3	Creciente	16,23	96 (E)	4 h 20 m	2531
C3	Vacante	15,79	270 (O)	3 h 40 m	2084
C4	Creciente	16,98	67 (ENE)	4 h 50 m	2954
C4	Vacante	25,06	246 (OSO)	3 h 35 m	3233
C5	Creciente	13,89	80 (E)	3 h 49 m	1908
C5	Vacante	16,09	236 (SO)	3 h 58 m	2297

Tabla 5.3. Estimación del espacio recorrido en m, en la creciente y en la vaciante en abril de 2000 en las estaciones B1, B2, B3, B4 y B5. Se consideraron los datos en los que la velocidad de corriente es mayor a 10 cm/s, salvo en el punto B4, donde se consideraron 15 cm/s. Est: estación de muestreo; Marea; Fase Marial; Vel Med: velocidad media (cm/s); Dir Med: dirección media (grados); t corr: tiempo de corriente (horas y minutos); Esp rec: espacio recorrido (m).

Est	Marea	Vel Med	Dir Med	t corr	Esp rec
B1	Creciente	11,15	119 (ESE)	1 h 40 m	669
B1	Vacante	11,55	306 (NO)	3 h 35 m	1489
B2	Creciente	24,82	161 (SSE)	9 h 25 m	8413
B2	Vacante	25,91	339 (NNO)	9 h 30 m	8861
B3	Creciente	11,23	114 (ESE)	40 m	269
B3	Vacante	13,42	286 (ONO)	6 h 10 m	3100
B4	Creciente	17,46	32 (NE)	1 h 15 m	785
B4	Vacante	19,31	221 (SO)	3 h 35 m	2491
B5	Creciente	13,05	81 (E)	28 h 15 m	13271
B5	Vacante	11,67	263 (O)	22 h 30 m	9452

5.4 PROPUESTAS DE ORDENACIÓN

Haciendo uso de los resultados de aquellos puntos que se hallan en posiciones cercanas en las tomas de datos de noviembre 1999 y abril 2000, se puede hacer una valoración preliminar de varias zonas de la bahía de Cádiz para su posible explotación piscícola mediante el uso de jaulas. Desde el punto de vista de las corrientes hay dos zonas bien diferenciadas:



El estrecho de Puntales presenta corrientes que están siempre cerca del límite tolerado para una explotación piscícola (mayores a los 50 cm/s), por lo que la producción en dicha zona no resultaría óptima, debido al agotamiento que sufren los peces para mantenerse, al someterlos a corrientes demasiado elevadas. El canal de navegación que discurre por el estrecho de Puntales se continúa en la zona correspondiente a la entrada del canal principal. Ésta tiene corrientes de mediana intensidad (en torno a los 16 cm/s) aunque presentan picos de corriente similares a aquellos alcanzados en el estrecho de Puntales en cada marea. Por tanto, aunque las condiciones sean un poco mejores, tampoco se alcanzarían aquí las producciones esperadas debido al estrés que pueden sufrir los alevines (Figura 5.12). Además se observa que existe una corriente residual saliente de la bahía por esta zona, ya que todos los correntímetros fondeados en el canal de navegación muestran este comportamiento. De la misma manera puede suponerse, que este comportamiento será el habitual de esta zona de la Bahía (Figura 5.13).

Como zona de transición aparece el sector entre los bajos de la Galera y del Diamante y la playa de Valdelagrana. En ella, las condiciones desde el punto de vista de las corrientes, son también favorables, siendo la media de 10 cm/s y la máxima de 22 cm/s, alejadas del límite de estrés para los peces. Este es un punto donde la influencia de la marea en las corrientes es bastante importante, aunque se observan influencias de ondas de período más largo.

En la zona situada al sudoeste de Rota, la segunda zona bien diferenciada, se observa que la señal de marea es muy débil, dominando la variabilidad de las fluctuaciones de las ondas de período más largo o más corto que el mareal. Estas oscilaciones corresponden a ondas propias de la plataforma continental y de la meteorología del momento, lo que nos indica que las pautas observadas en los muestreos realizados no pueden extrapolarse para el resto del año, sino que tienen un significado exclusivo para los momentos en que fueron tomados. En todo caso, parece que por este sector, al tener mayor sección por donde entrar y salir el agua, las corrientes son de menor intensidad, por lo que resulta más difícil detectar una residual. Probablemente exista una corriente residual creciente o entrante, los resultados avalan este sector como lugar de mejor calidad de agua. Por lo tanto toda esta área sería una zona aconsejable, desde el punto de vista de las corrientes, para su explotación piscícola. En esta zona las corrientes no parece que se detengan nunca, dando un flujo continuo de agua, y siendo la media de 15 cm/s (coincidiendo ésta tanto en abril como en noviembre). Además, su máximo alcanza los 25 cm/s, no superando nunca los 50 cm/s limitantes. En efecto, según los datos de corrientes registrados en los Bajos del Quemado (Figura 5.14), correspondientes también a esta zona, unidos a los obtenidos en el punto B5 que se halla cercano al bajo, podemos decir que durante los temporales que ocurrieron en este período, las corrientes pueden aumentar hasta alcanzar máximos de 30 – 40 cm/s, no excediendo los 50 cm/s aconsejados para el cultivo de peces.

Por último los datos del correntímetro fondeado en esta zona durante la cuarta fase de muestreos, al W de Rota, también corroboran su idoneidad a las condiciones requeridas para los cultivos flotantes.

Así pues, tanto por los datos tomados como por las series más largas de datos consultados, podemos decir que las corrientes en la bahía de Cádiz, salvo los canales de navegación, son aptas para el fondeo de estructuras flotantes destinadas a la producción acuícola, considerando exclusivamente el punto de vista de las corrientes. En la bahía de Cádiz, la masa de agua parece que entra principalmente por la zona norte, entre Rota y el bajo de la Galera y sale por el canal de navegación, al sur de la misma.

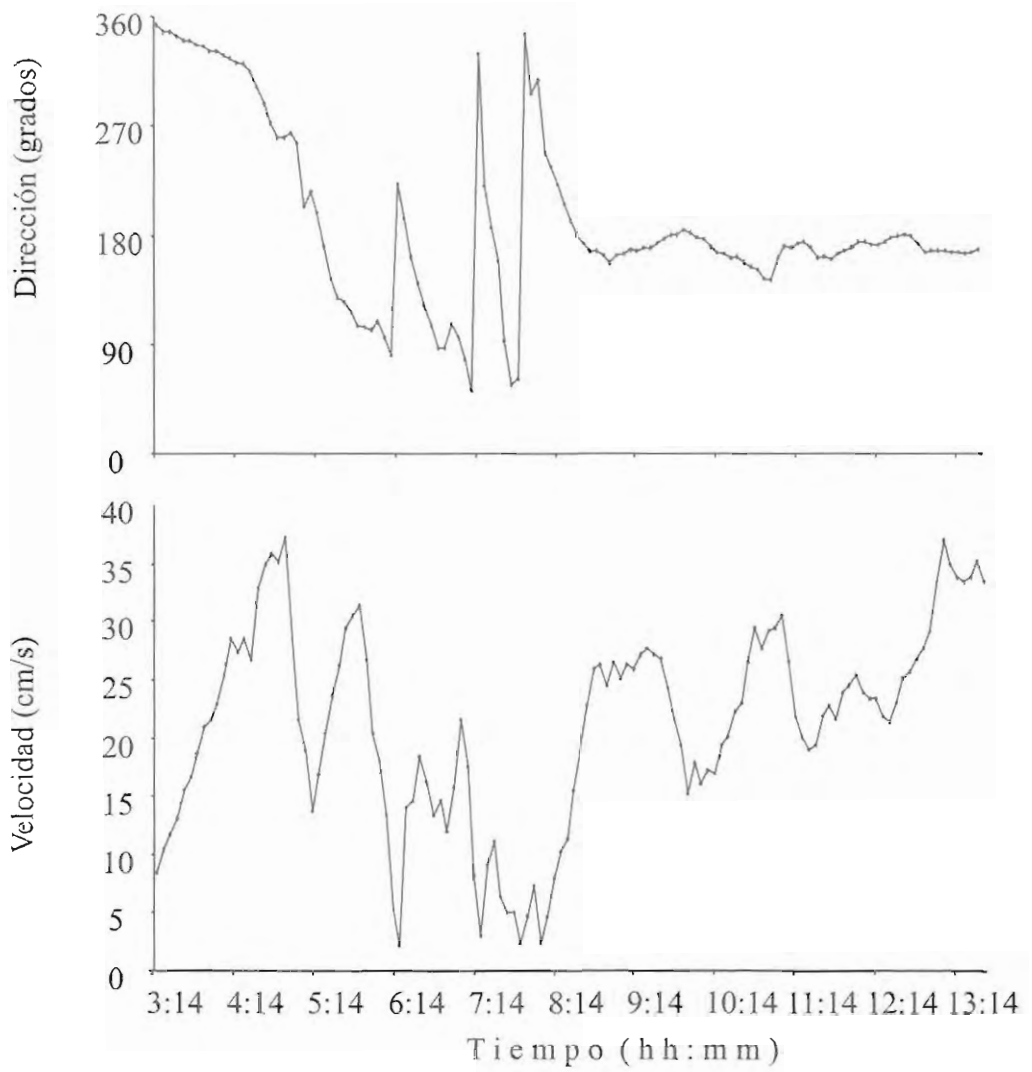


Figura 5.1. - Punto C2, muestreo de velocidad y dirección de la corriente. Noviembre, 1999

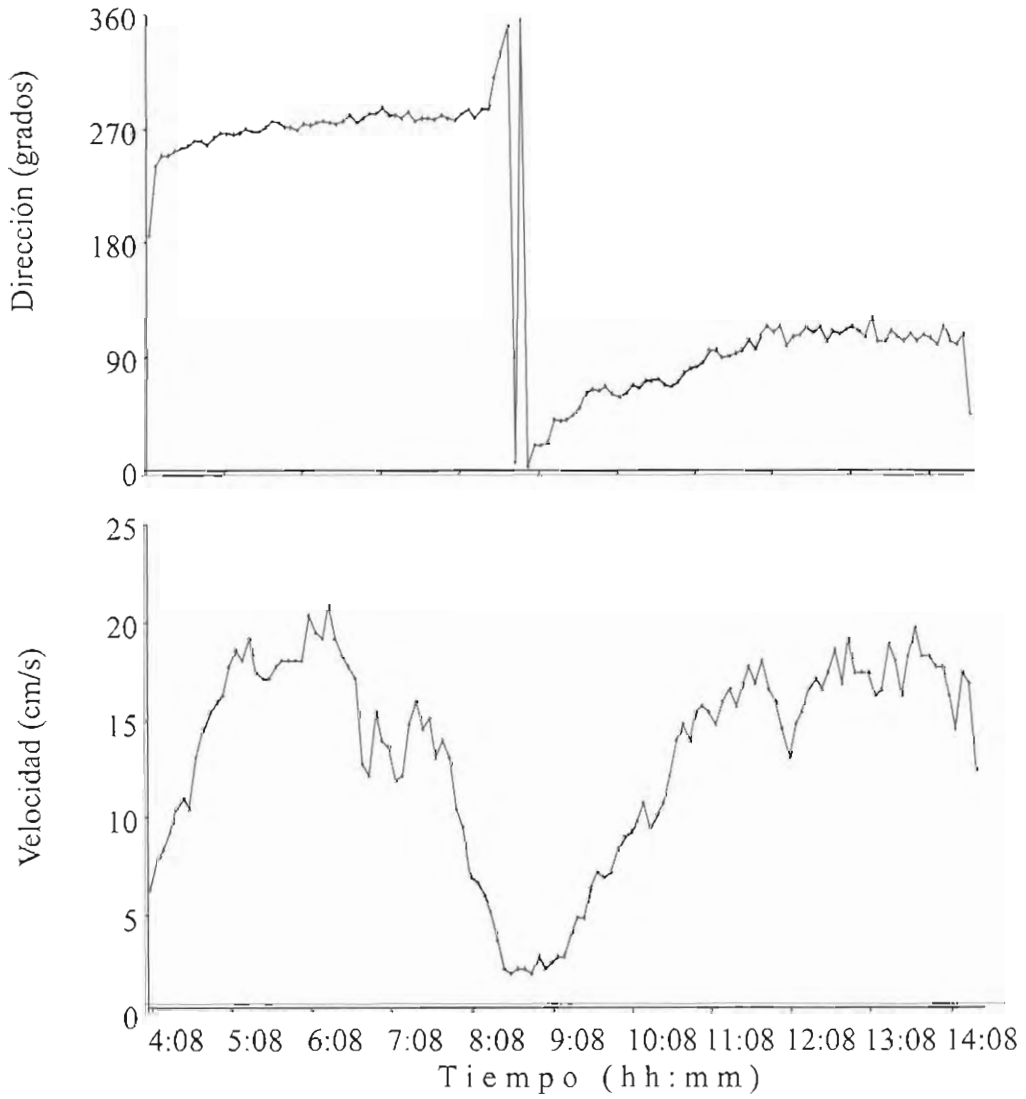


Figura 5.2. - Punto C3, muestreo de velocidad y dirección de la corriente. Noviembre, 1999

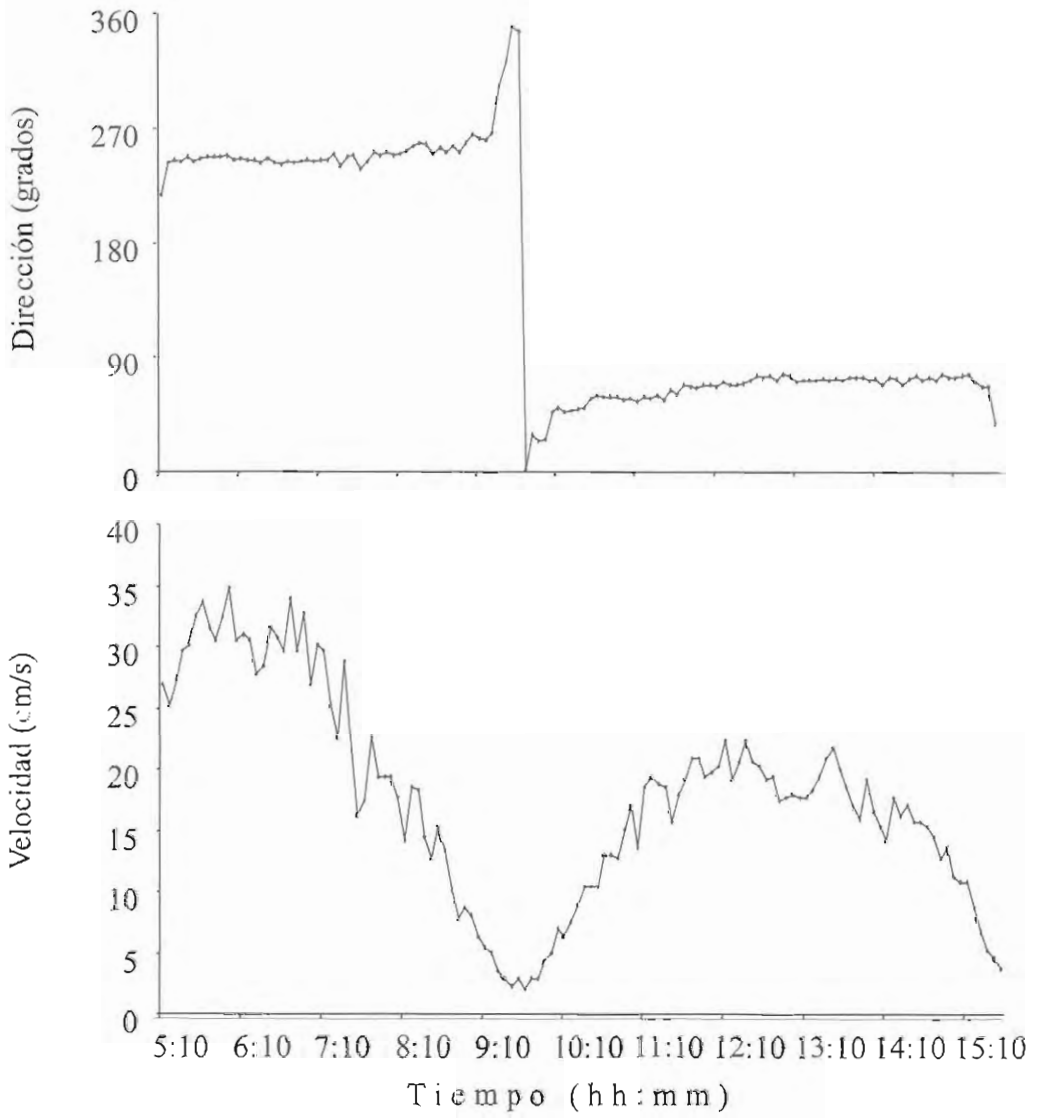


Figura 5.3. - Punto C4, muestreo de velocidad y dirección de la corriente. Noviembre, 1999

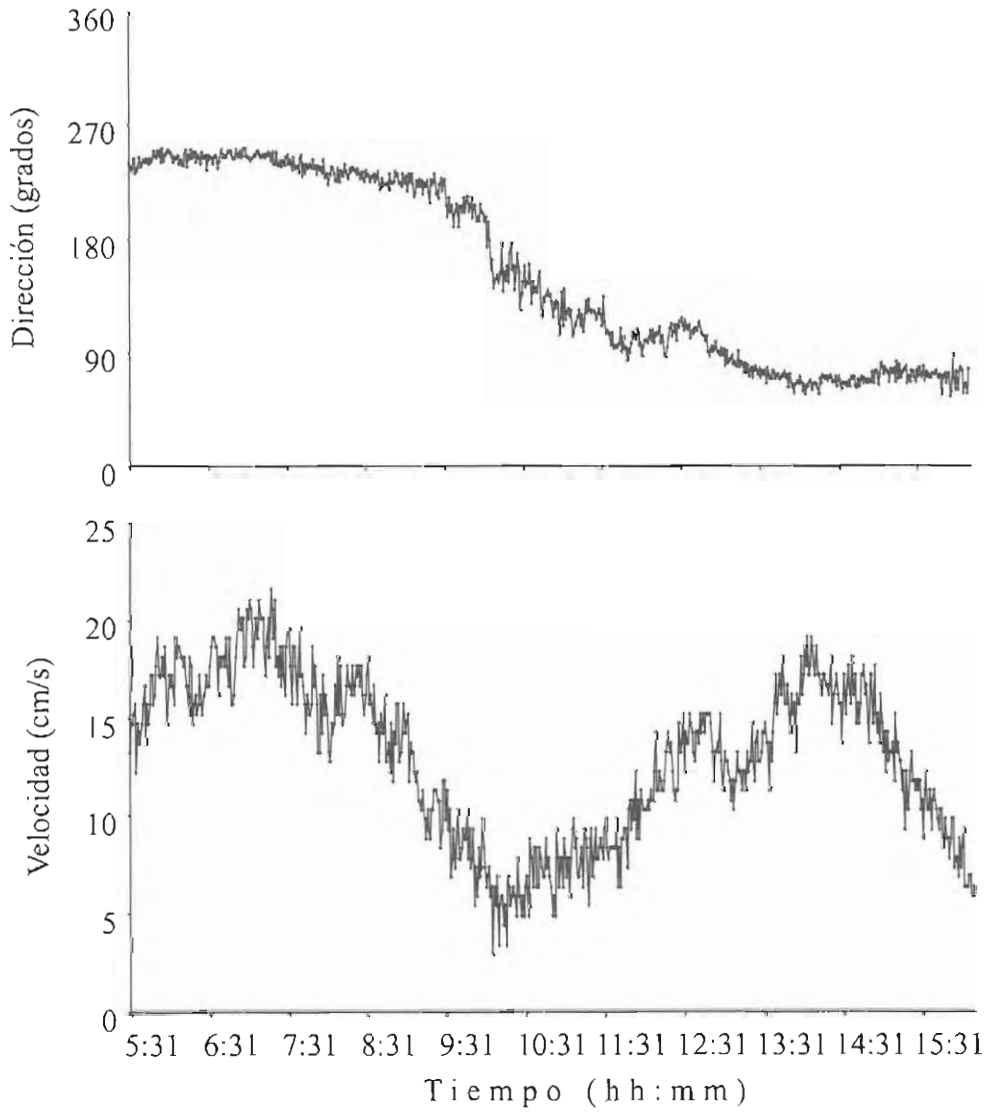


Figura 5.4. - Punto C5, muestreo de velocidad y dirección de la corriente. Noviembre, 1999

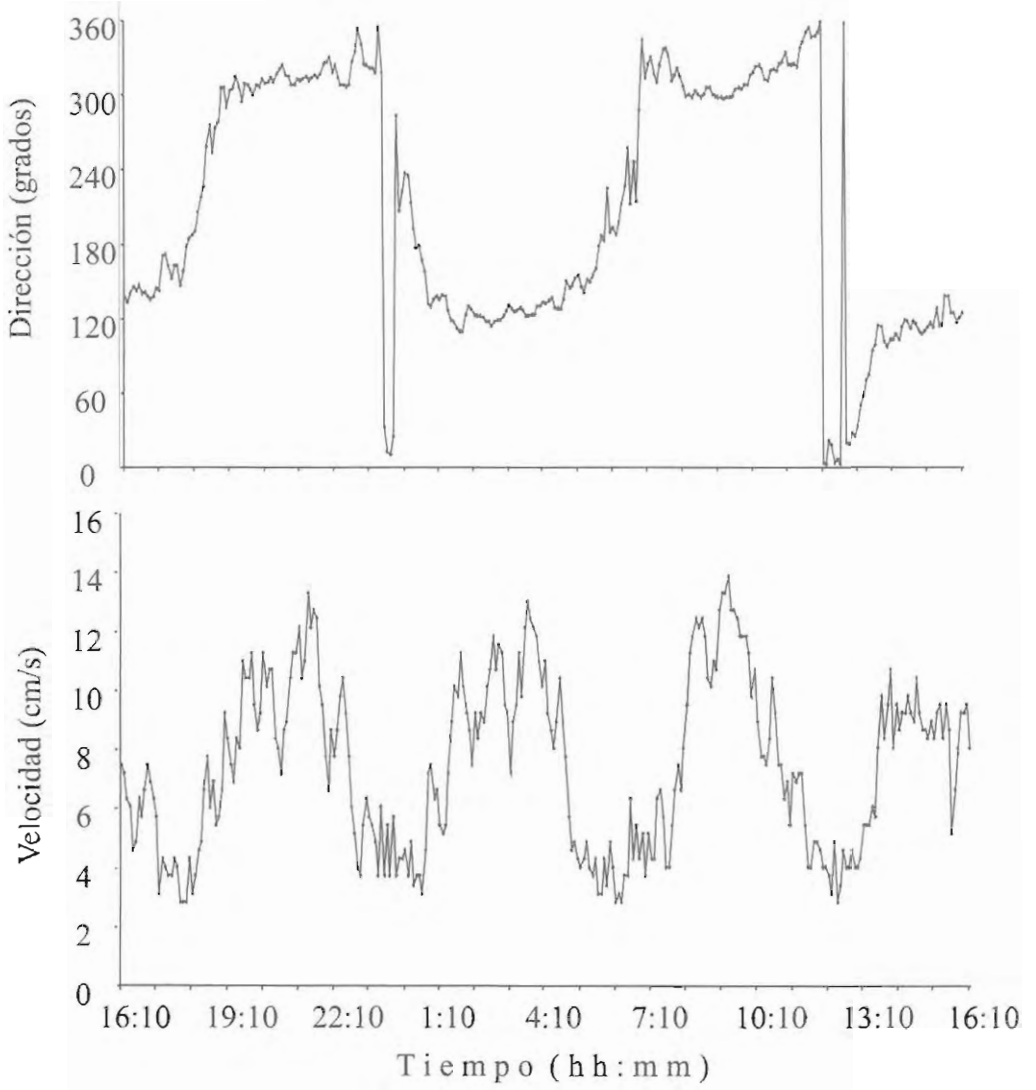


Figura 5.5. - Punto B1, muestreo de velocidad y dirección de la corriente. Abril, 2000

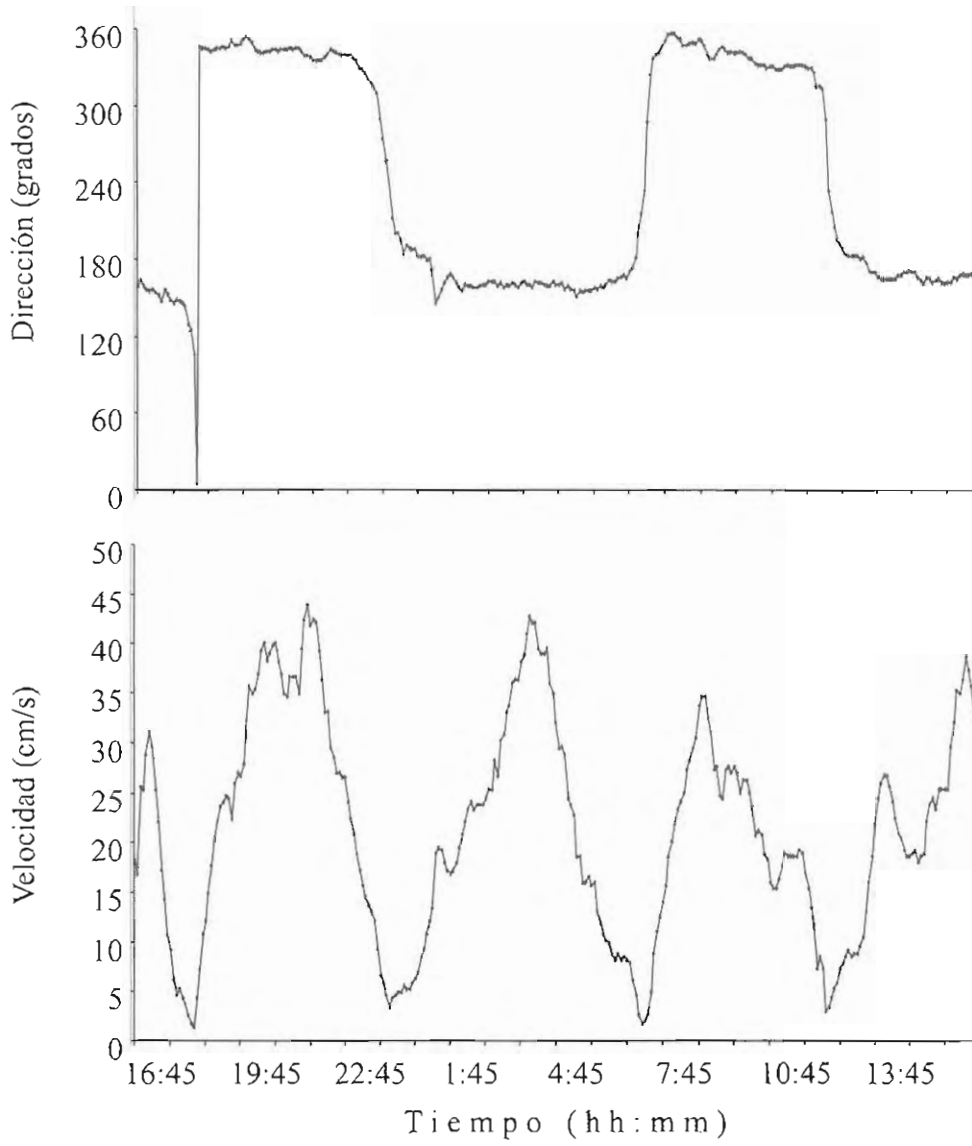


Figura 5.6. - Punto B2, muestreo de velocidad y dirección de la corriente. Abril, 2000

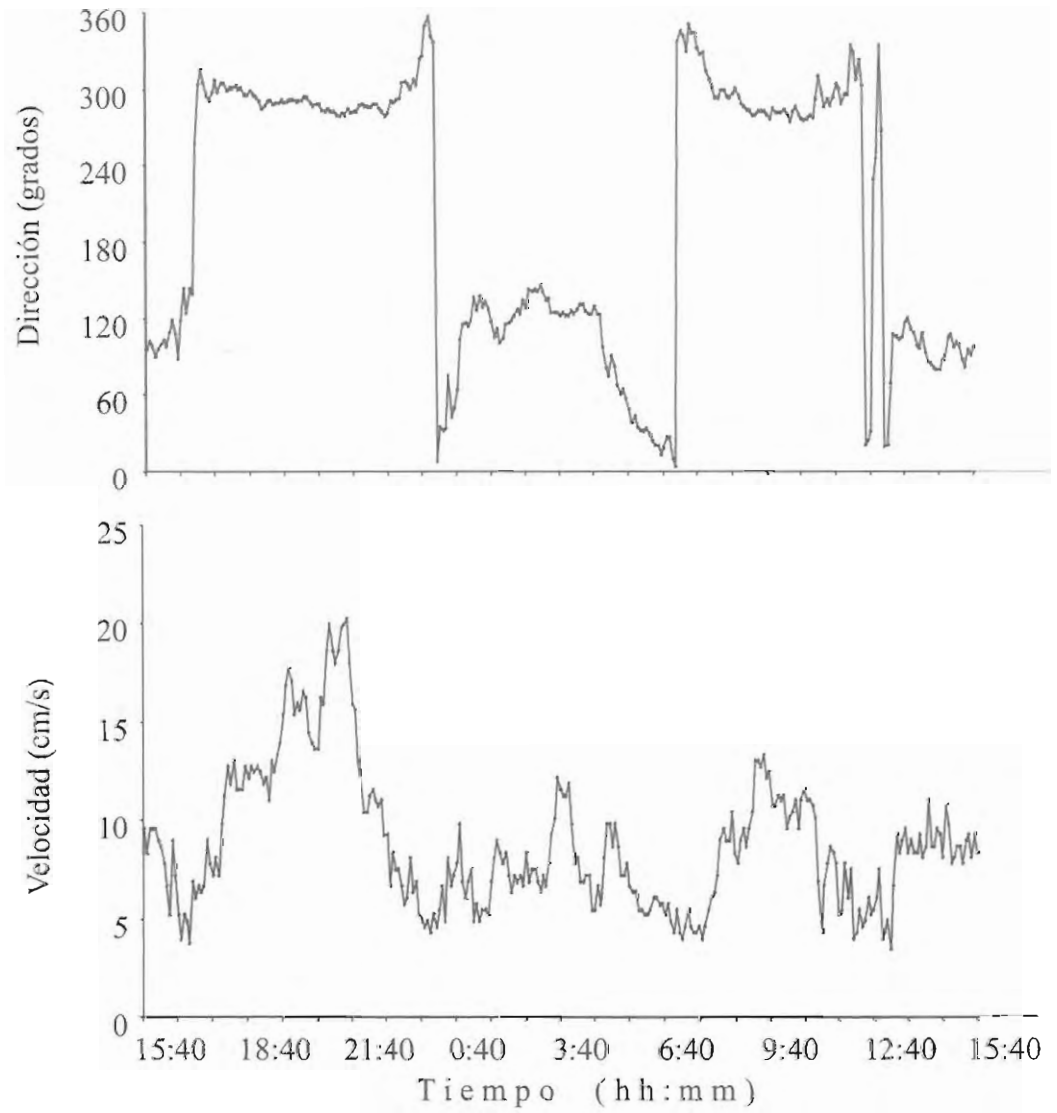


Figura 5.7. - Punto B3, muestreo de velocidad y dirección de la corriente. Abril, 2000

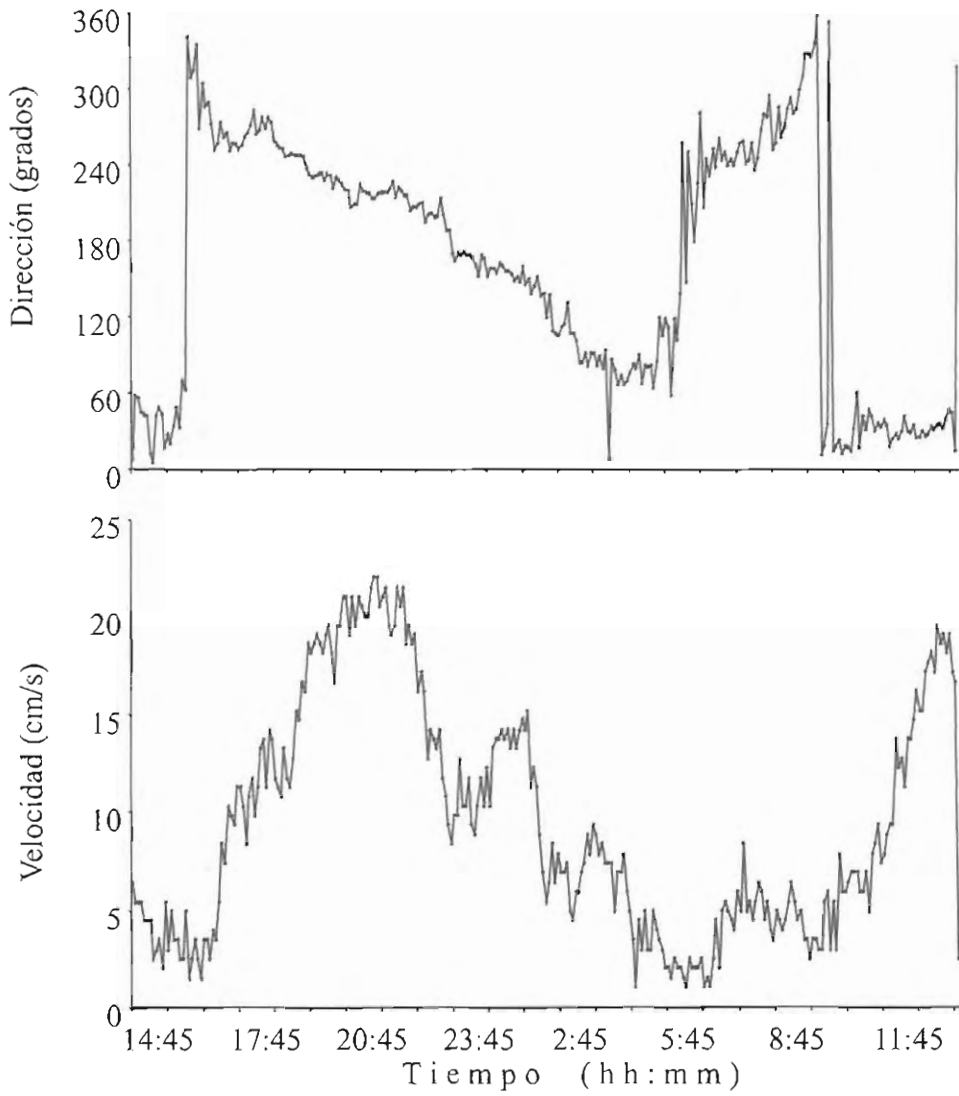


Figura 5.8. - Punto B4, muestreo de velocidad y dirección de la corriente. Abril, 2000

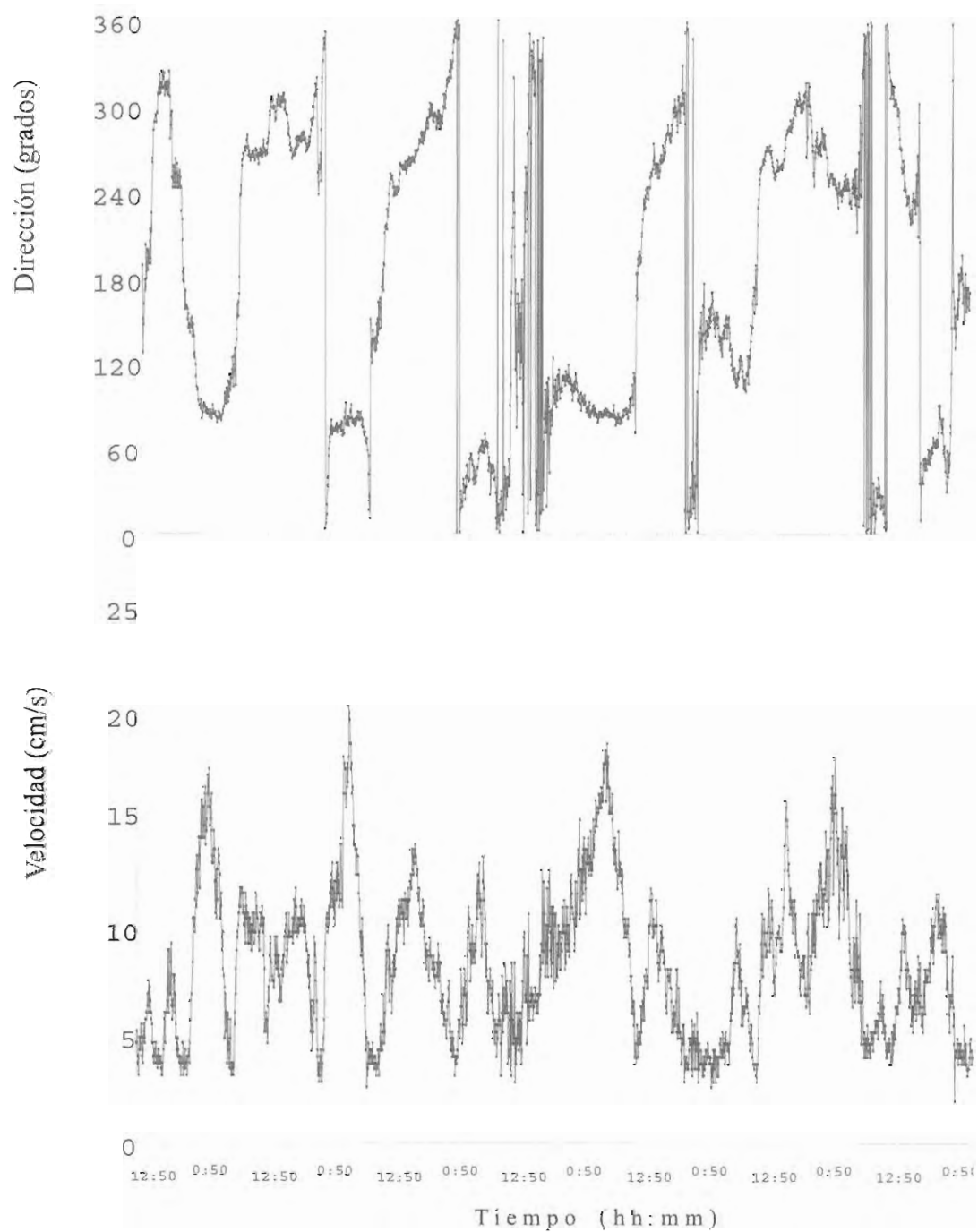


Figura 5.9. - Punto B5, muestreo de velocidad y dirección de la corriente. Abril, 2000

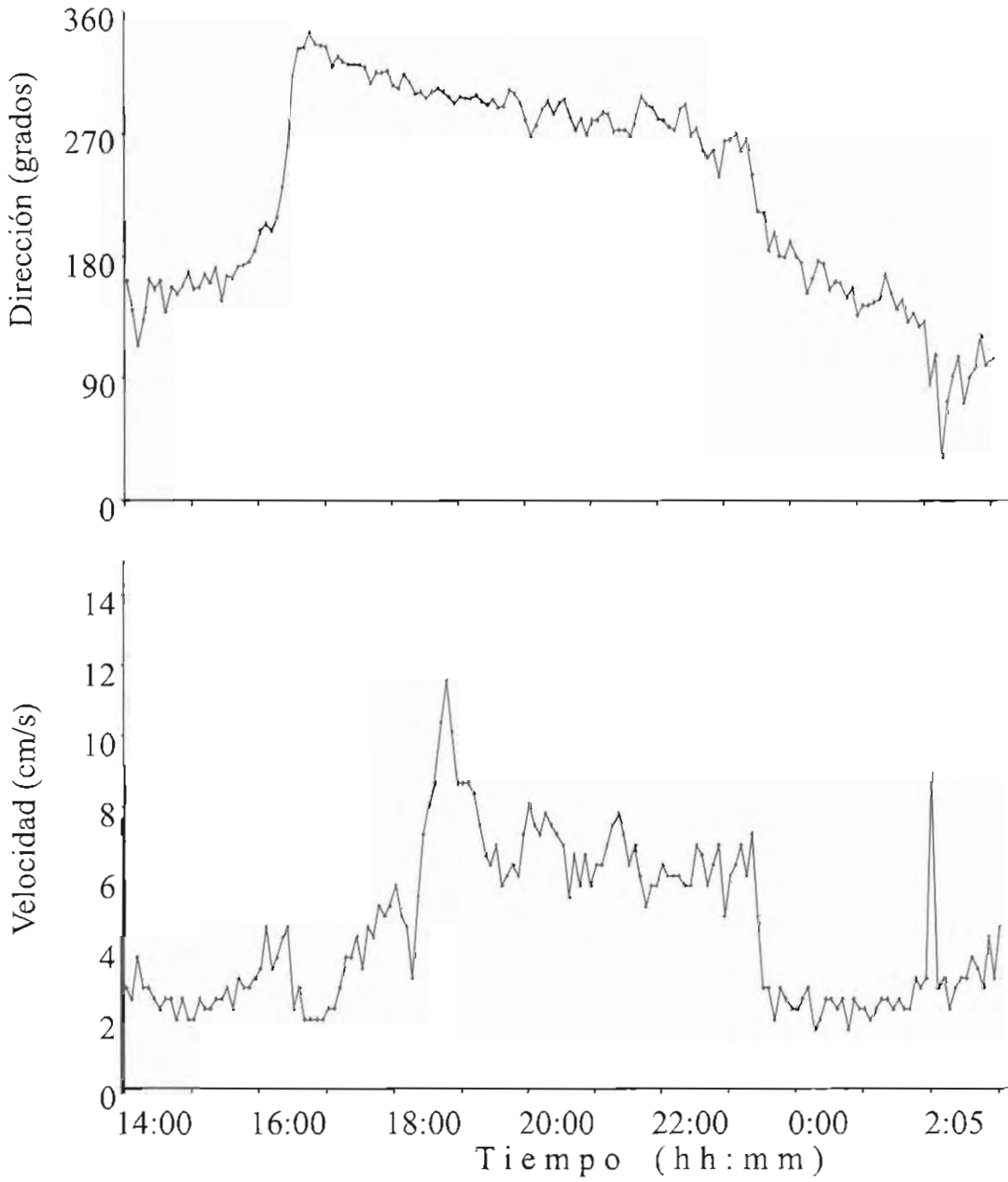


Figura 5.10. - Punto B6, muestreo de velocidad y dirección de la corriente. Abril, 2000

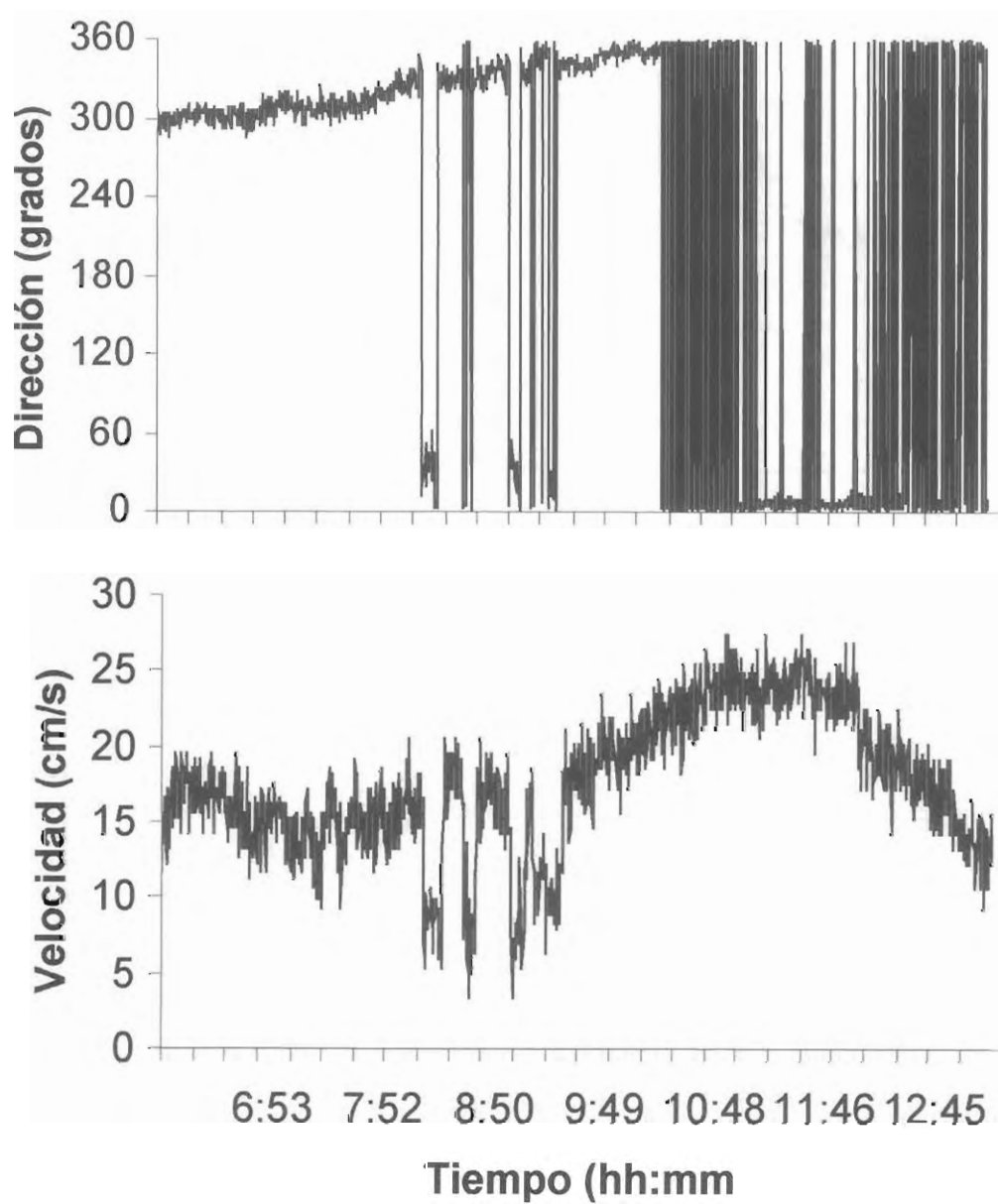


Figura 5.11. - Corrientes en el punto seleccionado para cultivos flotantes. Agosto, 2000.

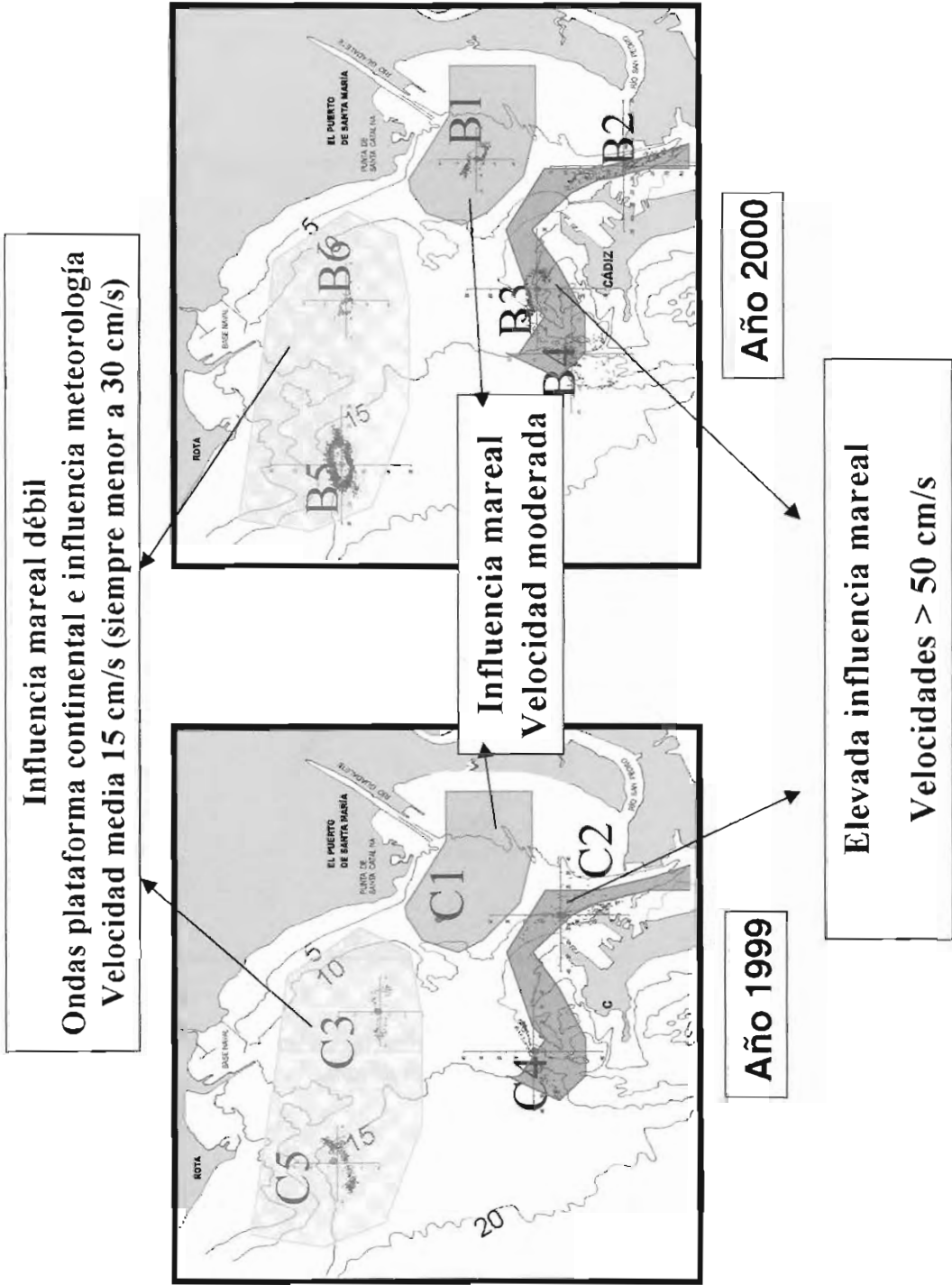


Figura 5.12. - Zonas de distinta intensidad de corriente en la bahía de Cádiz.

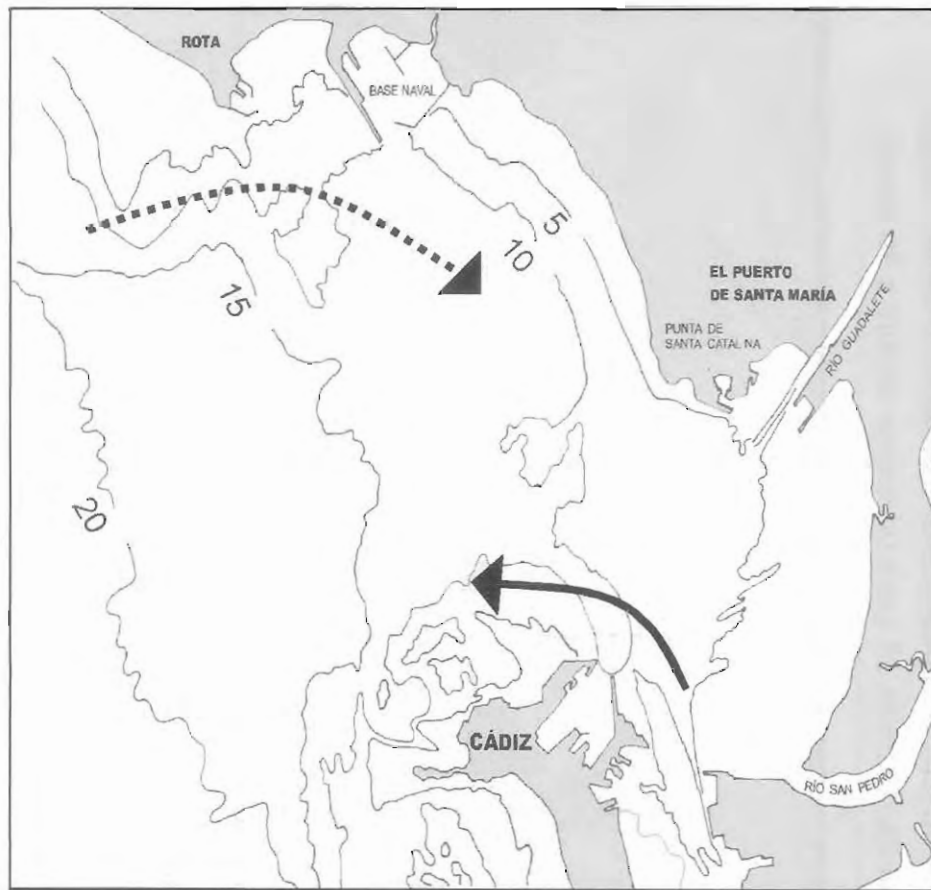
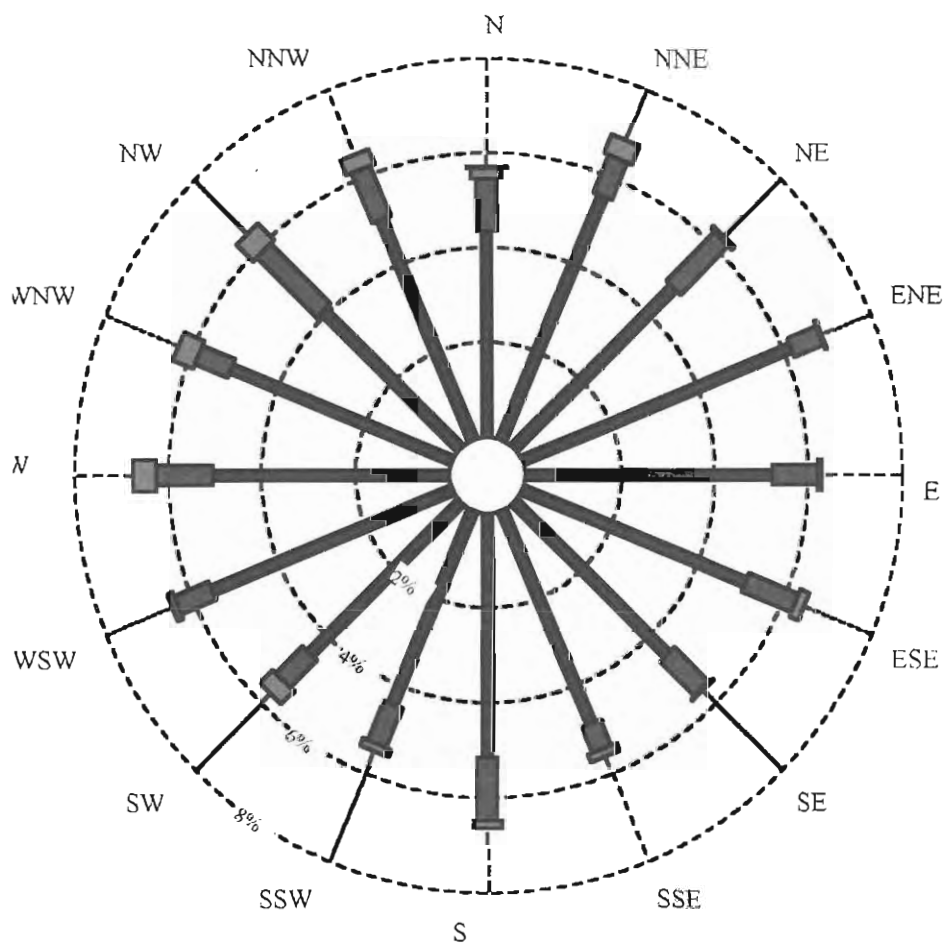


Figura 5.13. - Corriente residual saliente en el canal de navegación de la bahía de Cádiz y posible corriente residual entrante al sur de Rota.



Velocidad de Corriente (cm/s)

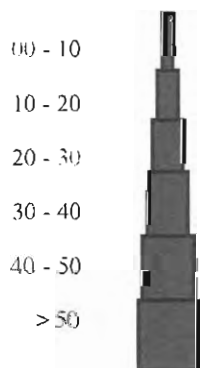


Figura 5.14.- Rosa de corrientes del Quemado (febrero-marzo 1992).

6. OLEAJE PARA LA ZONA DE ESTUDIO

Los datos de oleaje han sido extraídos de “Recomendaciones para obras marítimas” ROM 0.3-91 del M.O.P.T. (1992), y calculados a partir de la información instrumental obtenida en la zona de Cádiz (Area IV del Atlas). La información ha sido contrastada por la Demarcación de Cádiz. La boya de Cádiz se encuentra muy cerca de la zona de estudio, frente al castillo de San Sebastián en el veril de los 22 m (36°30'20N; 6°20'10W). A esa zona pueden afectarle fuertes temporales con direcciones comprendidas entre el NW y el SE, y el oleaje más suave generado por los vientos de Levante.

La probabilidad de ocurrencia de los distintos oleajes según la dirección del temporal, se muestra en la tabla 6.1 y los datos de oleaje medio para un año normal, se muestran en la tabla 6.2.

Tabla 6.1. Probabilidad de oleaje según el viento.

Dirección	Probabilidad (%)
N	12
NW	23
W	17
SW	11
S	5
SE	8
E	17
NE	7

Los datos de oleaje están representados en altura de ola significativa (H_s , es la media del tercio de olas más altas, desechando la altura del resto de olas para su cálculo).

Tabla 6.2. Oleaje medio para un año normal.

Probabilidad (%)	H_s metros
30	1
4	2
0,7	3
0,1	4
0,05	5

La altura de ola significativa con probabilidad de ocurrencia del 50 % ($H_{s50\%}$), es aquella H_s tal que la probabilidad de que una cualquiera sea superior o inferior es de una entre dos. Para Cádiz es $H_{s50\%} = 0,70$ m.



El oleaje umbral establecido como temporal en Cádiz es $H_s = 1,50$ m, es decir, la altura de ola significativa a partir de la cual se considera temporal. Esto significa un número medio de días de tormenta al año de 20. Los datos de oleaje extremo, representan el tiempo medio para el que se miden olas del tamaño indicado (Tabla 6.3).

Tabla 6.3. Período de retorno (años) de la altura de ola significativa especificada (H_s).

Período de retorno (años)	H_s metros (medio)	con confianza 90%
5	5,60	6,70
10	6,20	7,30
20	6,80	8,00
50	7,50	9,00
100	8,00	10,00

7. CALIDAD DE AGUAS

7.1 INTRODUCCIÓN

En el presente estudio se caracteriza la calidad hidrológica de las aguas contenidas en el saco externo de la bahía de Cádiz como parte de un programa más amplio destinado a proteger los recursos naturales pesqueros de esta bahía y a evaluar sus aplicaciones para realizar instalaciones acuícolas dedicadas al cultivo de especies marinas.

7.1.1 MARCO CONCEPTUAL

El concepto de calidad de agua con el que se suele abordar la caracterización hidrológica de una determinada zona es similar al propuesto por la *Environmental Protection Agency* de los Estados Unidos, que lo considera como la estimación de un determinado constituyente tal que estando por debajo de un cierto valor garantiza su uso para un determinado fin. Este criterio es incompleto cuando se trata de caracterizar el uso de los recursos naturales de una determinada masa de agua marina. Por un lado, los sistemas marinos, especialmente los costeros, presentan una elevada heterogeneidad espacial de carácter altamente dinámico. Esta característica invalida las mediciones puntuales, que se suelen derivar de esa acepción, como método para caracterizar la calidad de una determinada masa de agua. Resulta también necesario tener en cuenta que en la evaluación de una determinada zona para su dedicación al cultivo de especies marinas los criterios de calidad de agua pueden variar respecto a una evaluación de carácter medioambiental. Las diferencias surgen en parte del hecho de que los criterios medioambientales suelen diseñarse para proteger a un amplio rango de especies y estados vitales, mientras que la acuicultura precisa de aguas adecuadas para el desarrollo de un número muy limitado de especies marinas en una fase concreta de su ciclo vital. Alteraciones antropogénicas o naturales que pueden provocar un impacto negativo y desorganizador del ecosistema del área no tienen necesariamente que ser negativas para el cultivo de una especie concreta. Por ejemplo, un pequeño incremento en el nivel de eutrofización o en la temperatura del agua puede favorecer el desarrollo de algunos moluscos cultivables.

Además de esta diferencia de criterio (medioambiental-acuicultura) en la evaluación de la calidad de una determinada masa de agua, destaca la escasez de documentación adecuada de criterios de calidad para el cultivo de especies marinas. Contrasta esta escasez con la información disponible para especies dulceacuícolas, donde los estudios son mucho más abundantes (Huguenin y Colt, 1989). No obstante, resulta necesario disponer de criterios de calidad de agua para la acuicultura marina. Éstos deben resumir la cantidad masiva de información oceanográfica generada por estos estudios en un formato lo suficientemente sintético como para ser de fácil uso al sector. De hecho, la escasez y dispersión de información oceanográfica es reconocida en el "Libro Blanco de la Acuicultura en España" como uno de los elementos paralizantes de una adecuada ordenación del sector. Esta situación ha llevado incluso a planteamientos divergentes entre los diferentes agentes interesados en la acuicultura marina en jaulas, con propuestas de paralizar nuevas instalaciones hasta que no se haya planificado correctamente el litoral para este uso, mientras que las empresas sugieren una ordenación *a posteriori*.

En este contexto se sitúa el presente estudio en el que se aborda la ordenación de la bahía de Cádiz desde la perspectiva del uso de sus aguas para la explotación de recursos pesqueros y más concretamente para el cultivo de especies marinas. Esta ordenación se propone mediante la síntesis de una cantidad masiva de información oceanográfica, generada a lo largo del estudio, en un índice de calidad que pueda ser rápidamente consultado por cualquier agente del sector. Este índice, cuyo formalismo matemático se describe posteriormente, está diseñado para su aplicación a los usos de acuicultura previsibles en el área, fundamentalmente la instalación de jaulas flotantes para el cultivo de doradas. Por este motivo, a los criterios generales de buena calidad del agua que resultan necesarios para la implantación de cultivos marinos en una determinada área (como puede ser la existencia o no de elevadas concentraciones de oxígeno) se les han unido valoraciones relaciona-



das con el crecimiento de esta especie (como puede ser el rango óptimo de temperatura para su desarrollo).

7.1.2 MARCO HIDROLÓGICO

Las aguas que ocupan esta bahía están separadas del saco interno por el estrecho de Puntales y se encuentran ampliamente conectadas con las de mar abierto por las más de 5 millas que separan Punta del Sur de Punta Morena. Esta espaciosa conexión proporciona una elevada tasa de intercambio con las masas de agua más superficiales que ocupan el golfo de Cádiz y cuyos valores de temperatura y salinidad son característicos del Atlántico norte (Juárez, 1999). El motor principal de este intercambio lo constituye la componente semidiurna de la marea. Con una carrera media de unos 2 m para esta componente en el saco externo (Tejedor y Bruno, 1996), y considerando una profundidad media de unos 10 m, cabe esperar tasas de renovación diarias (dos ciclos mareales) del orden del 40% de la masa de agua.

Bajo estas premisas acerca de la renovación de las aguas que ocupan la bahía externa, resulta difícil imaginar la existencia de zonas en las que la calidad de éstas sea deficiente. Cualquier deterioro que resulte de la acción de agentes naturales o antropogénicos tiene en principio una alta probabilidad de ser "lavado" en cada ciclo mareal. No obstante, varios condicionantes pueden contrarrestar este efecto beneficioso de las mareas. Por un lado se trata de una masa de agua rodeada de diversas poblaciones (Cádiz, Puerto Real, El Puerto de Santa María y Rota) con creciente interés turístico y presión humana. Además, recoge los aportes fluviales del río Guadalete que, esporádicamente, pueden ser importantes tanto en materiales en suspensión como en nutrientes provenientes del lavado de tierras agrícolas y ganaderas o aguas residuales aportadas por las poblaciones situadas en su cuenca. A lo largo de este estudio también ha sido posible detectar en la calidad de las aguas otras actividades antropogénicas, como es el caso del emisario submarino que vierte en las cercanías de Punta Santa Catalina. A la presión antropogénica se le une el hecho de que algunos de los puntos de entrada para estos elementos empobrecedores de la calidad del agua se encuentran en zonas someras y cercanas a la costa donde la corriente mareal es más débil (Tejedor *et al.*, 1999), favoreciendo un mayor tiempo de residencia de los mismos en la bahía. El saco interno también deja su influencia en las aguas de la bahía externa por el flujo y reflujo mareal en el estrecho de Puntales. A través de este estrechamiento puede ocurrir un importante aporte de sólidos en suspensión a las aguas del saco externo (Gutiérrez-Mas *et al.*, 1997). Por último, hay que considerar también el hecho de que los escasos estudios existentes acerca de la circulación oceánica en el golfo de Cádiz (Folkard *et al.*, 1997) parecen mostrar una estructura anticiclónica que podría propiciar el arrastre de material fluvial del río Guadalquivir al entorno de la costa gaditana, donde podría penetrar en la bahía con el flujo mareal. Con la excepción de las zonas cercanas al estrecho de Gibraltar, la circulación en el golfo de Cádiz no genera fuertes velocidades, de forma que cabe la posibilidad de que el material saliente de la bahía con el reflujo mareal quede en las cercanías de la bahía y entre de nuevo con el siguiente flujo mareal.

A pesar de la importancia de la bahía externa como fuente de recursos económicos para la zona, destaca la escasez de estudios que muestreen adecuadamente la calidad de sus aguas. No ocurre lo mismo con la bahía interna gracias a los estudios realizados por la Consejería de Agricultura y Pesca de la Junta de Andalucía (Muñoz y Sánchez de Lamadrid, 1994). Entre los estudios realizados en la bahía externa destacan por su extensión temporal los emprendidos por Establier (Establier, 1966, 1969 y 1975; Establier *et al.*, 1986). En ellos se caracterizan puntos concretos de la bahía, al igual que ocurre con otros análisis más recientes (López *et al.*, 1999). Todos estos estudios indican una calidad de agua que en principio parece adecuada para el desarrollo de recursos naturales pesqueros en la bahía externa.

7.1.3 FUNDAMENTOS TÉCNICOS DEL ESTUDIO

No obstante, las características ya descritas para la zona, alto dinamismo y entradas puntuales de elementos que pueden ser negativos para las instalaciones acuícolas que se prevé instalar, gene

ran fuertes gradientes de condiciones ambientales, que por otro lado son comunes a las zonas litorales. La presencia de estos fuertes gradientes impide identificar las propiedades de un punto con aquellas del conjunto en el que se encuentran. El muestreo de la bahía debe por tanto realizarse mediante algún sistema que permita la construcción de mapas en los que las propiedades ambientales queden reflejadas con una elevada densidad de puntos de muestreo. De igual manera, las características dinámicas de la zona hacen que estas propiedades cambien con gran rapidez debido a la presencia de intensas mareas así como de fuertes vientos y precipitaciones. Por consiguiente, la estrategia de muestreo debe ser capaz de hacer un barrido sinóptico de la bahía con suficiente rapidez como para detectar eventos esporádicos que, sin embargo, pueden tener gran importancia en el desarrollo ulterior de las biocenosis de la zona. Este estudio ha demostrado que esto es realmente así y que la calidad del agua de la bahía puede verse espectacularmente deteriorada por eventos esporádicos cuyo efecto hubiera pasado desapercibido de no haberse diseñado un muestreo *ad hoc*, pero cuyas consecuencias negativas sobre los potenciales recursos naturales derivados de la pesca o del cultivo de especies en la zona se prevén muy intensas.

7.2 MATERIAL Y MÉTODOS

7.2.1 TOMA DE DATOS

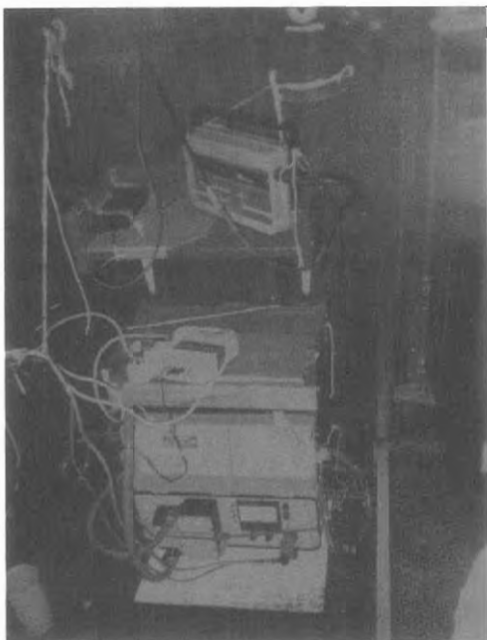
El diseño experimental para realizar el muestreo consta de dos componentes fundamentales: registro electrónico en continuo y toma de muestras en puntos discretos.

7.2.1.1 Registro en Continuo

Los muestreos se realizaron a bordo del buque "Andalucía" de la Consejería de Agricultura y Pesca de la Junta de Andalucía. Las características de maniobrabilidad, eslora y calado de este buque lo hacen idóneo para el presente estudio por su versatilidad para explorar zonas someras (abundantes en la bahía) en una infraestructura que permite la instalación de toda la electrónica necesaria para el sistema de registro en continuo de los diversos parámetros de calidad de agua. Para realizar este registro, el sistema de bombeo contra incendios del Andalucía se hacía funcionar constantemente mientras el barco realizaba su derrota, de esta forma se obtenía agua de mar de la parte más superficial de la columna de agua (unos dos metros) a lo largo de esta derrota. Puesto que el caudal de este sistema es excesivo para hacerlo pasar directamente por los sensores, se canalizó una derivación del mismo hacia los transductores de los diferentes sensores, de forma que el agua en contacto con éstos se renovaba permanentemente a lo largo del muestreo.

Para registrar las señales proporcionadas por estos sensores se preparó un ordenador con un sistema de integración de señales externas tanto analógicas como digitales. Entre los sensores que transmiten señales digitales se incluyen los medidores de temperatura, los electrodos de pH y oxígeno, y la señal del GPS diferencial. Como equipo analógico se incluye un fluorómetro con filtros de excitación y emisión adecuados para la detección *in vivo* de clorofila. Con señal analógica se incluye también un transmisómetro, de gran precisión y exactitud en la medida de la atenuación de luz en agua de mar debido a los sólidos en suspensión. Este sensor se usó durante los muestreos realizados desde el 27 de julio hasta el 13 de octubre de 1999, a partir del cual el equipo dejó de funcionar correctamente y fue sustituido como registro en continuo de sólidos en suspensión por un turbidímetro. El equipo volvió reparado de la casa matriz en Estados Unidos en mayo de 2000 y se volvió a utilizar hasta el final de los muestreos de campo. Las señales de ambos equipos, transmisómetro y turbidímetro, fueron transformadas a unidades nefelométricas de turbidez (de acuerdo con las indicaciones técnicas de los equipos) que es la información presentada en los mapas.

Gracias a un programa registrador y al acoplamiento de un conversor analógico-digital al mismo ordenador que recibía por sus puertos en serie la señal de los sensores con emisión digital, se centralizó la toma de señales de todos los sensores en el mismo computador. Este ordenador hace una toma instantánea de la señal de cada uno de los sensores (analógicos y digitales) y de la posición proporcionada por el GPS diferencial cada 10 segundos. Esta frecuencia de muestreo supone tener



Fluorímetro, pHmetro, Water Quality data logger



Sonda multiparamétrica



Ordenador registrando datos de calidad del agua



Electrodo de pH en su cubeta



CTD Seabird 19

un dato cada 25.7 metros, lo que implica un registro en continuo a lo largo de la derrota seguida por el Andalucía y un total de más de 1500 mediciones de pH, oxígeno, temperatura y salinidad, así como de estimadores de la concentración de clorofila y sólidos en suspensión para cada uno de los muestreos.

7.2.1.2 Muestras Discretas

Para el análisis de muestras discretas se tomaron 5 litros de agua en 16 puntos distribuidos a lo largo de la derrota del barco y procurando obtener una representación compensada de los distintos tipos de masas de agua que se pueden dar en la bahía. Estas muestras fueron rápidamente trasladadas al laboratorio donde fueron procesadas para la obtención de las concentraciones de clorofila (medida *in vitro*), sólidos en suspensión, nutrientes y materia orgánica e inorgánica en suspensión.

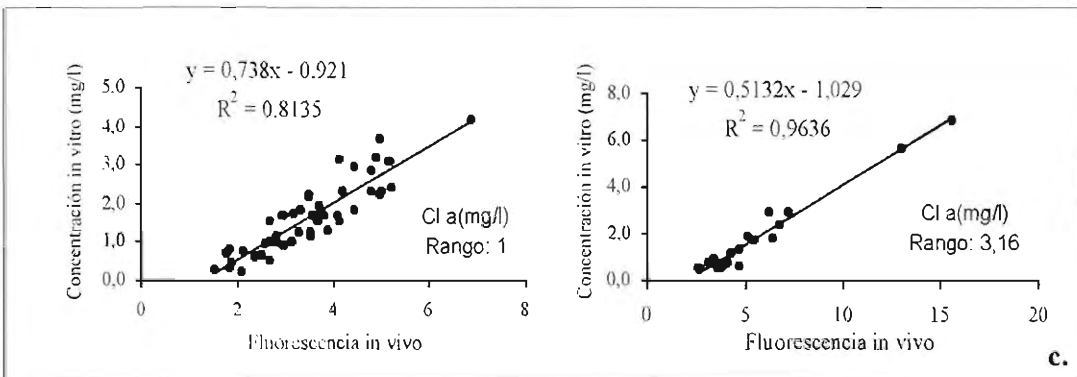
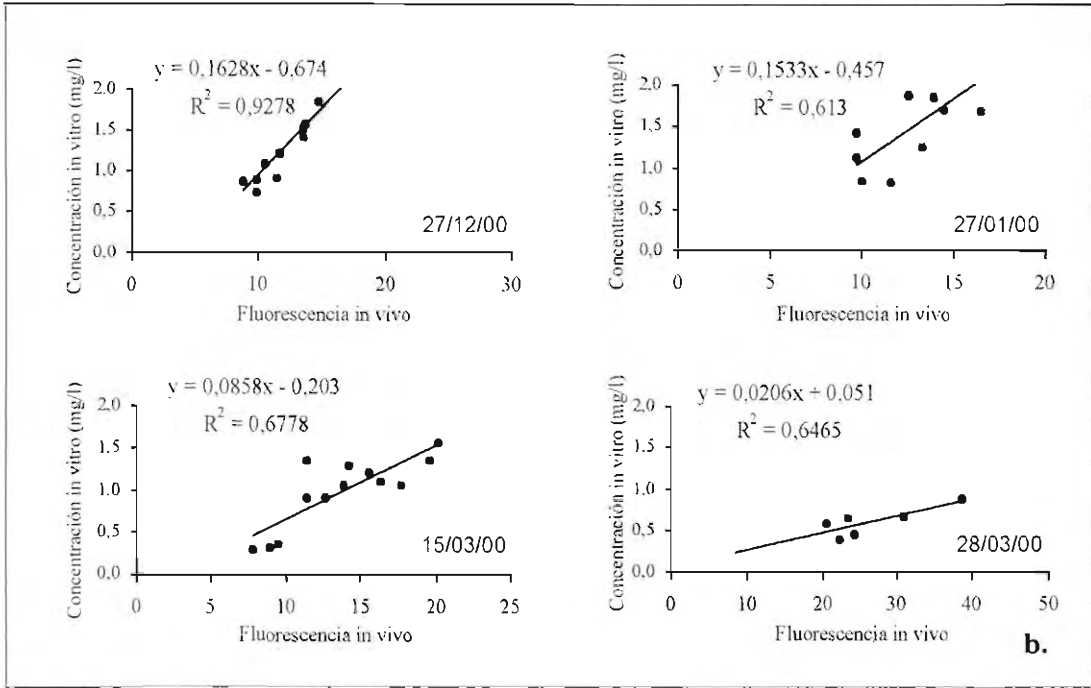
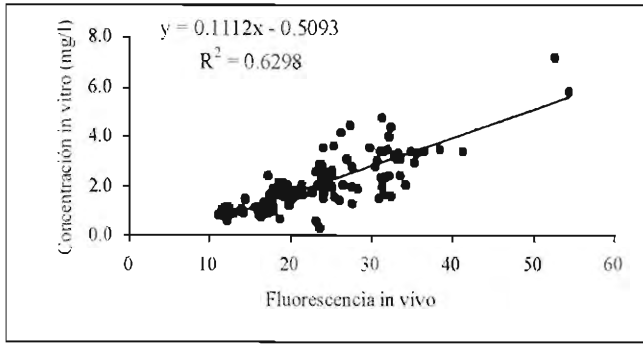


Figura 7.1. Intercomparación muestras discretas - registro continuo.



7.2.1.3 Intercomparación: Muestras Discretas - Registro Continuo

Las determinaciones *in vitro* de clorofila en los puntos discretos fueron utilizadas para calibrar la señal *in vivo* obtenida en el registro continuo mediante una recta de regresión (Figura 7.1). El primer algoritmo obtenido (Figura 7.1.a) se utilizó para transformar las unidades arbitrarias de fluorescencia *in vivo* en datos de concentración de clorofila. A partir del día 27 de diciembre de 1999 se observó que la salida analógica del rango de escala del fluorímetro para registrar *in vivo* la clorofila comenzó a tener fallos intermitentes. Por este motivo, se realizó una calibración individual para cada uno de los muestreos realizados entre los días 27 de diciembre de 1999 hasta 28 de marzo de 2000 (Figura 7.1.b). A partir del día 18 de abril de 2000 se consiguió mantener estable la señal de salida dentro de cada uno de los rangos de escala del equipo (1 y 3.16) y se utiliza la misma calibración desde ese día hasta el final del estudio (Figura 7.1.c).

Un procedimiento similar se realizó para los valores de turbidez. No obstante, los cambios en la naturaleza del material particulado a lo largo del semiciclo anual impiden obtener una recta de regresión lo suficientemente buena como para transformar su señal en un valor de sólidos en suspensión. Por este motivo se presentan mapas en unidades nefelométricas de turbidez, entendiendo que los mismos presentan una visión cualitativa de los sólidos en suspensión existentes en la bahía de Cádiz en el momento en el que se realiza el muestreo.

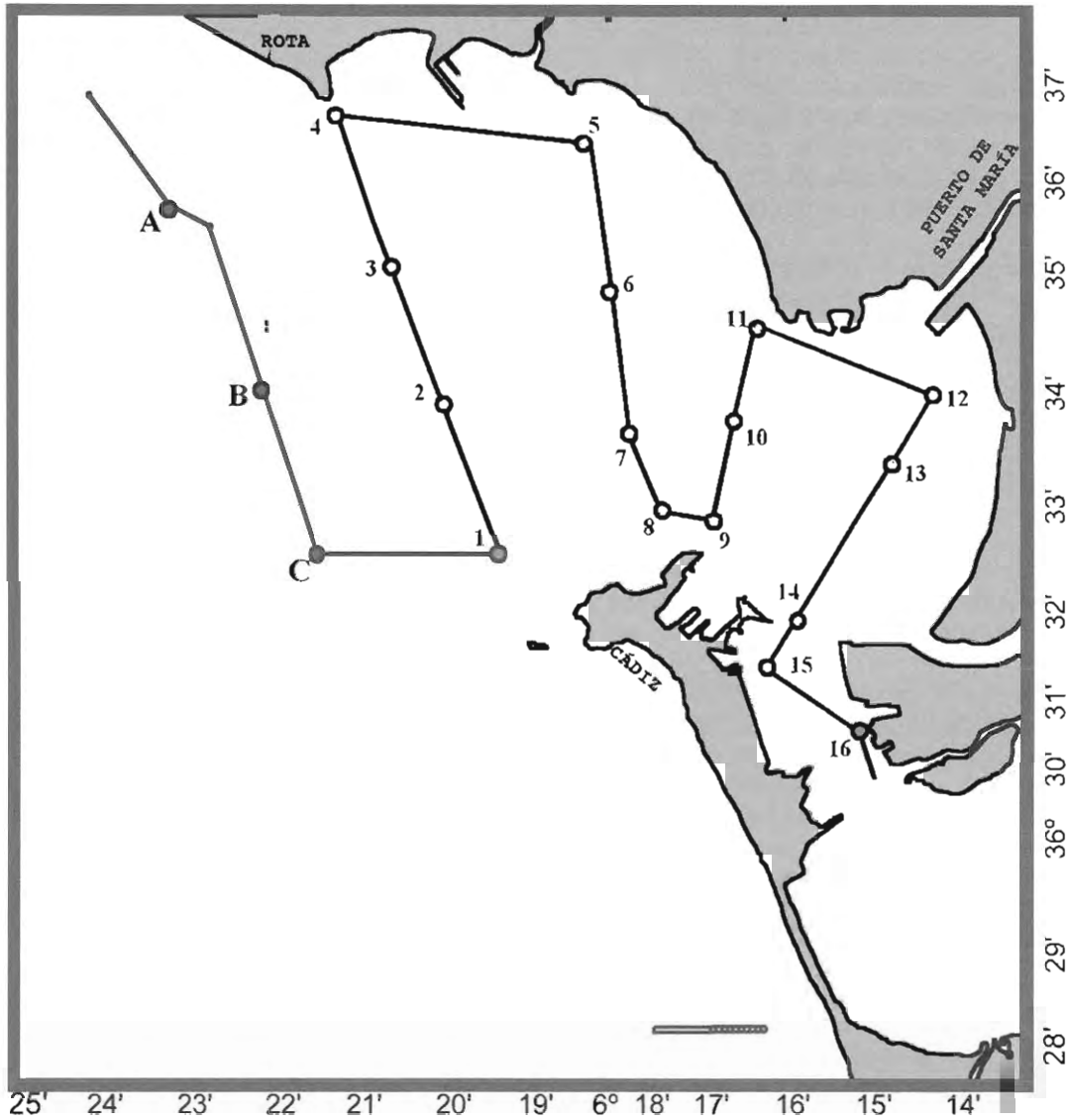
7.2.2 DERROTA

Como se ha comentado en la introducción de este informe, las características dinámicas de la bahía de Cádiz hacen prever fuertes gradientes espaciales para las variables ambientales que caracterizan la calidad del agua. A la hora de diseñar la derrota para un registro en continuo se tuvo en cuenta dos factores. Por un lado es necesario considerar que los gradientes ambientales no tienen la misma intensidad en todas las direcciones de la bahía en las que el Andalucía puede desplazarse. En los desplazamientos desde la periferia hacia el centro de la bahía cabe prever una mayor intensidad en los gradientes que en desplazamientos paralelos a la costa. Es, por otro lado, cerca de la costa donde puede resultar interesante tener mayor información, ya que es a la vez el área más probable de entrada de elementos que deterioran la calidad del agua y el sitio donde se sitúan poblaciones de especies, como los moluscos, que tienen interés como recurso pesquero. Con estos condicionantes se diseñó una estructura de 4 transectos *cuasi* ortogonales a la línea de costa y que barren la totalidad de la bahía (Mapa 7.1). Las conexiones entre estos transectos son *cuasi* paralelas a la línea de costa y las más extensas sirven además para caracterizar zonas de posible impacto antropogénico (Base Naval) y fluvial (río Guadalete). Un último transecto se introduce en el estrecho de Puntales para caracterizar la influencia del vaciado del saco interno sobre las aguas de la bahía exterior.

A lo largo de esta derrota se localizaron los diferentes puntos para los muestreos discretos, de forma que éstos estuvieran suficientemente repartidos a lo largo de la bahía y proporcionalmente compensados en lo que respecta a zonas cercanas a la costa o más en el centro de la bahía.

En el desarrollo del proyecto se consideró interesante añadir a la derrota habitual del barco un transecto exterior a la bahía. Este transecto tiene como objeto completar la evaluación de la calidad del agua de la bahía mediante la caracterización de zonas exteriores a la misma, zonas que también pueden resultar interesantes para realizar instalaciones acuícolas. Este nuevo transecto se incorporó a partir del muestreo realizado el 3 de noviembre de 1999.

Dentro de esta zona, se realizó un muestreo especialmente exhaustivo en el sector que se consideraba como más adecuado para la instalación de jaulas. Este muestreo se realizó el día 2 de agosto de 2000 con un diseño de derrota en forma de cruz (Mapas 7.19 a 7.21, anexo). De esta forma se intentaba interceptar los gradientes que se pudieran producir en la zona tanto por el patrón de circulación costera en la zona, con dirección aparentemente paralela a la línea de costa, como por el de mareas que es necesariamente, al menos en su componente barotrópico, perpendicular a



Mapa 7.1. Localización de la derrota seguida en los muestreos de calidad de agua y puntos de muestreo discreto.

la conexión de la bahía con el golfo de Cádiz. Por este motivo se repitió dos veces el muestreo en cruz: uno durante la llenante y otro durante la vaciante.

7.2.3 FRECUENCIA Y DURACIÓN DE LOS MUESTREOS

La estrategia para distribuir los muestreos en el tiempo persigue un triple objetivo a la hora de caracterizar la variabilidad en la calidad de las aguas de la bahía: conocer la evolución de éstas a lo largo del ciclo anual, establecer el papel del ciclo mareal y cuantificar el efecto de los eventos esporádicos.

Los muestreos para caracterizar la evolución en la calidad de las aguas a lo largo del ciclo anual se realizaron entre julio de 1999 y octubre de 2000 en coincidencia, en todos los casos, con la baja-



mar. Como el Andalucía tarda aproximadamente unas cuatro horas en realizar todo el recorrido, los muestreos se iniciaron en las cercanías de Punta Sur dos horas antes de la bajamar. De esta forma se consigue centrar cada muestreo en el momento de bajamar, cuando la calidad de las aguas se prevé inferior pues se acentúa la influencia antropogénica, fluvial y del saco interno. Este muestreo se repitió cada quince días, de forma que se pudiera proseguir la variación de las condiciones del agua a lo largo del ciclo anual con la suficiente resolución temporal como para resolver su conexión con el forzamiento meteorológico de la zona.

Para establecer el papel del ciclo mareal se repitió la estrategia de cuatro horas de muestreo pero centrandolo en el mismo día uno de los períodos de muestreo en la bajamar y el otro en la pleamar. Este ciclo mareal se repitió en cuatro ocasiones con objeto de reconocer patrones estacionales en el mismo, tanto durante el período primavera/verano como en el otoño/invierno (Mapas 7.14 a 7.17, anexo).

Por último, la elevada resolución temporal del estudio ha permitido recoger dos situaciones de temporal los días 10 y 28 de marzo de 2000 (Mapas 7.2 a 7.13, anexo). Durante estas situaciones de temporal resultó necesario modificar la derrota habitual del Andalucía como consecuencia del estado de la mar, quedando sectores sin muestrear por motivos de seguridad. Además de los temporales registrados durante el muestreo quincenal, el equipo material y humano se mantuvo constantemente preparado a lo largo del estudio para realizar una salida en un plazo inferior a 24 horas con la que detectar el efecto de eventos esporádicos de carácter meteorológico y de elevada intensidad. Al producirse unas lluvias muy intensas durante los días previos al 27 de octubre de 1999 se decidió realizar una salida en ese día. Con mucha dificultad por el intenso viento de levante que batía la zona (el Andalucía era el único barco en aguas de la bahía), se pudo realizar el muestreo hasta que las condiciones meteorológicas fueron tan adversas que el patrón del barco decidió que no era seguro continuar con la derrota habitual y consideró necesario volver a puerto. A pesar de lo intenso y duro de la experiencia, ésta ha permitido obtener un conjunto excepcional y único de datos de calidad de las aguas de la bahía en unas condiciones en las que habitualmente no se sale a muestrear (Mapa 7.18, anexo). Como se verá en la sección de resultados, los cambios mostrados por la bahía en estas condiciones son espectaculares y de gran trascendencia para el desarrollo de especies marinas de interés económico.

7.3 RESULTADOS

Para la presentación de los Mapas de variación estacional se utiliza un formato que engloba el conjunto de la bahía externa en una cuadrícula que va desde $36^{\circ} 37.76'$ a $36^{\circ} 30.00'$ de latitud y desde $006^{\circ} 13.00'$ a $006^{\circ} 22.00'$ de longitud. En la representación espacial se utiliza el método "Kriging" de interpolación con el que se genera una red de nodos equidistantes con una densidad de 50×50 (un total de 2500) puntos en el conjunto de la cuadrícula mencionada anteriormente. Para representar la evolución estacional y espacial se genera la misma escala de colores que se aplica a todos los gráficos de forma que estos sean comparables entre sí. El conjunto de estos mapas se proporciona en la sección de cartografía bajo el apartado "Variación estacional" (Mapas 7.2 a 7.13) donde se pueden observar las tendencias de las diferentes variables a lo largo de ese ciclo.

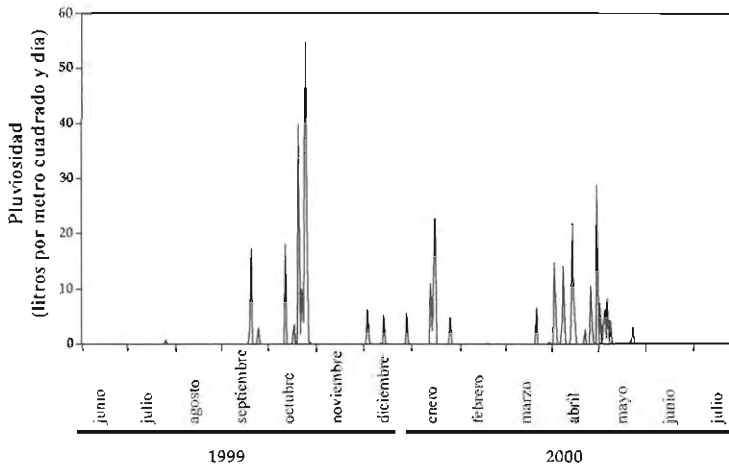
7.3.1 METEOROLOGÍA

Los datos meteorológicos fueron proporcionados por la estación meteorológica de Cádiz (Instituto Nacional de Meteorología) y contienen información de presión atmosférica, horas de insolación, pluviosidad, temperatura y velocidad del viento durante los meses que van de junio de 1999 a julio de 2000. En la serie de datos proporcionada por esta estación no está incluido el mes de agosto.

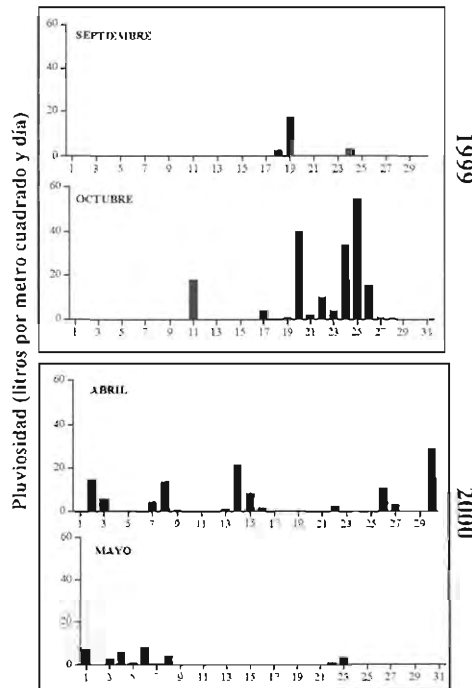
A lo largo de estos meses se producen lluvias esporádicas en la última quincena de septiembre que sin ser elevadas en magnitud si que, como se verá posteriormente, han afectado a la dinámica



de las poblaciones de fitoplancton de la bahía. Sin embargo, las precipitaciones más abundantes tuvieron lugar entre los días 19 y 27 de octubre de 1999 en los que se acumula una cantidad total de 165 litros por metro cuadrado (Figura 7.2). El efecto de estas abundantes precipitaciones sobre la calidad de las aguas de la bahía es muy intenso, fundamentalmente sobre los sólidos en suspensión, y es objeto de un análisis detallado posteriormente. Las precipitaciones esporádicas que se producen durante los meses de abril y mayo no parecen tener un impacto especialmente intenso sobre las aguas de la bahía.



a. Pluviosidad durante el periodo de estudio



b. Pluviosidad durante los meses más lluviosos.

Figura 7.2. Pluviosidad durante el periodo de estudio.

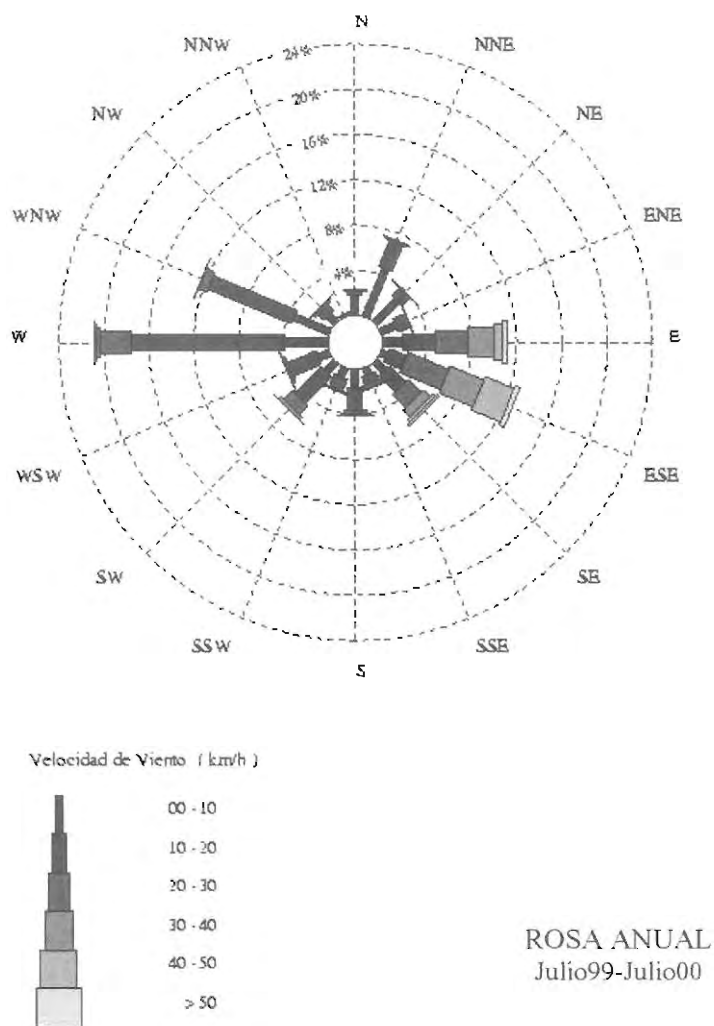


Figura 7.3. Rosa de vientos anual del periodo de estudio.

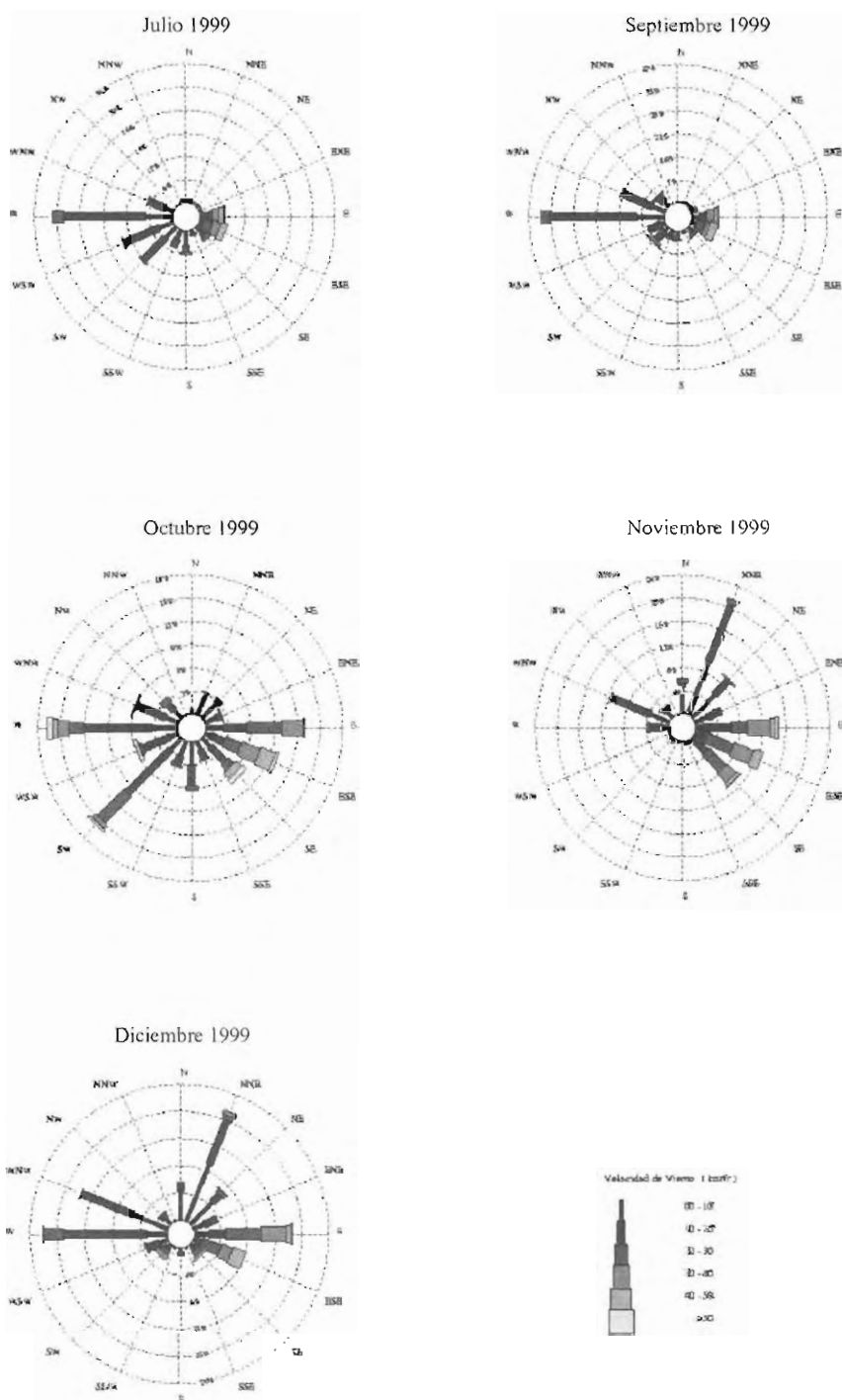


Figura 7.3.b. Rosa de viento mensuales (1).

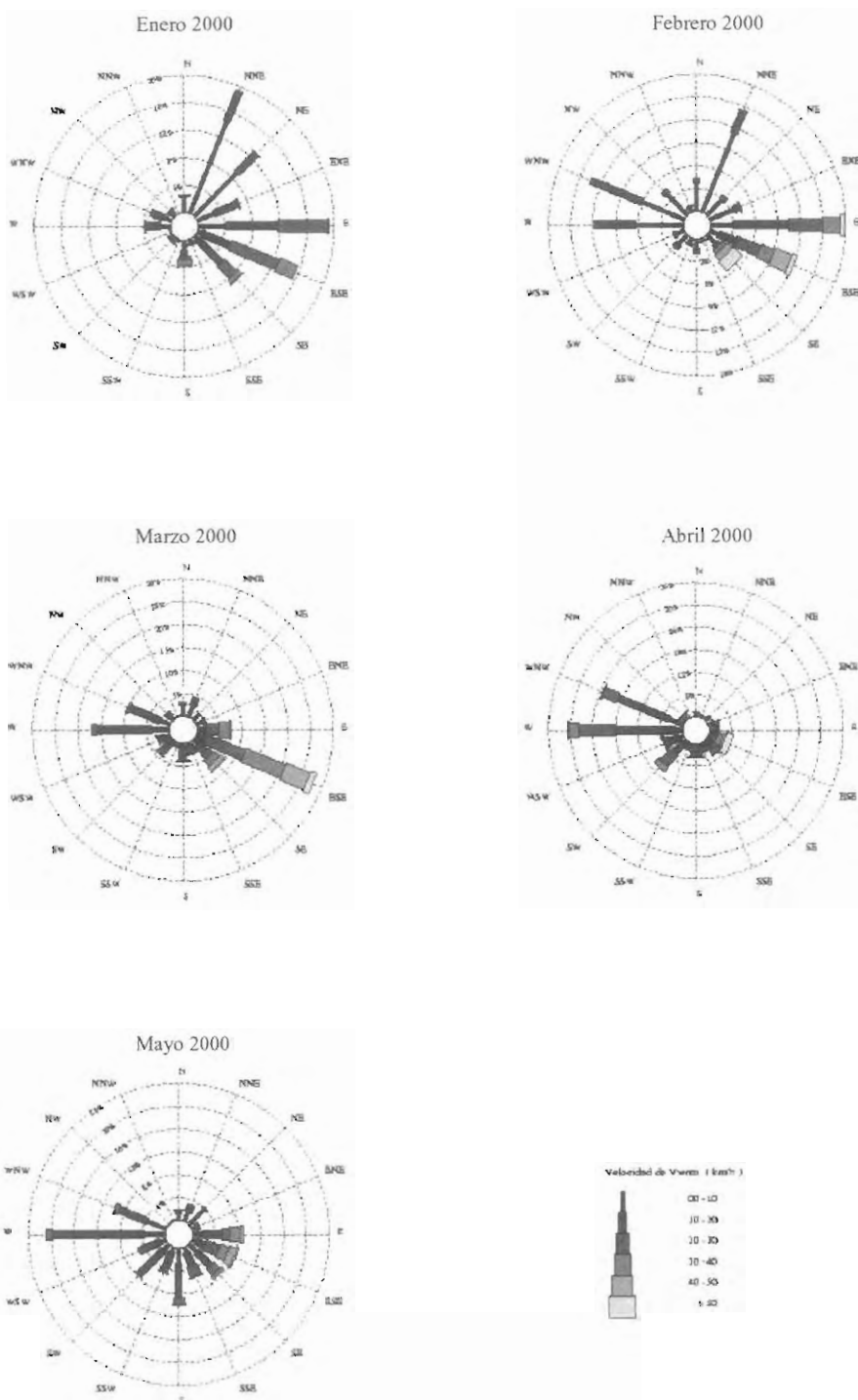


Figura 7.3.b. Rosa de viento mensuales (2).

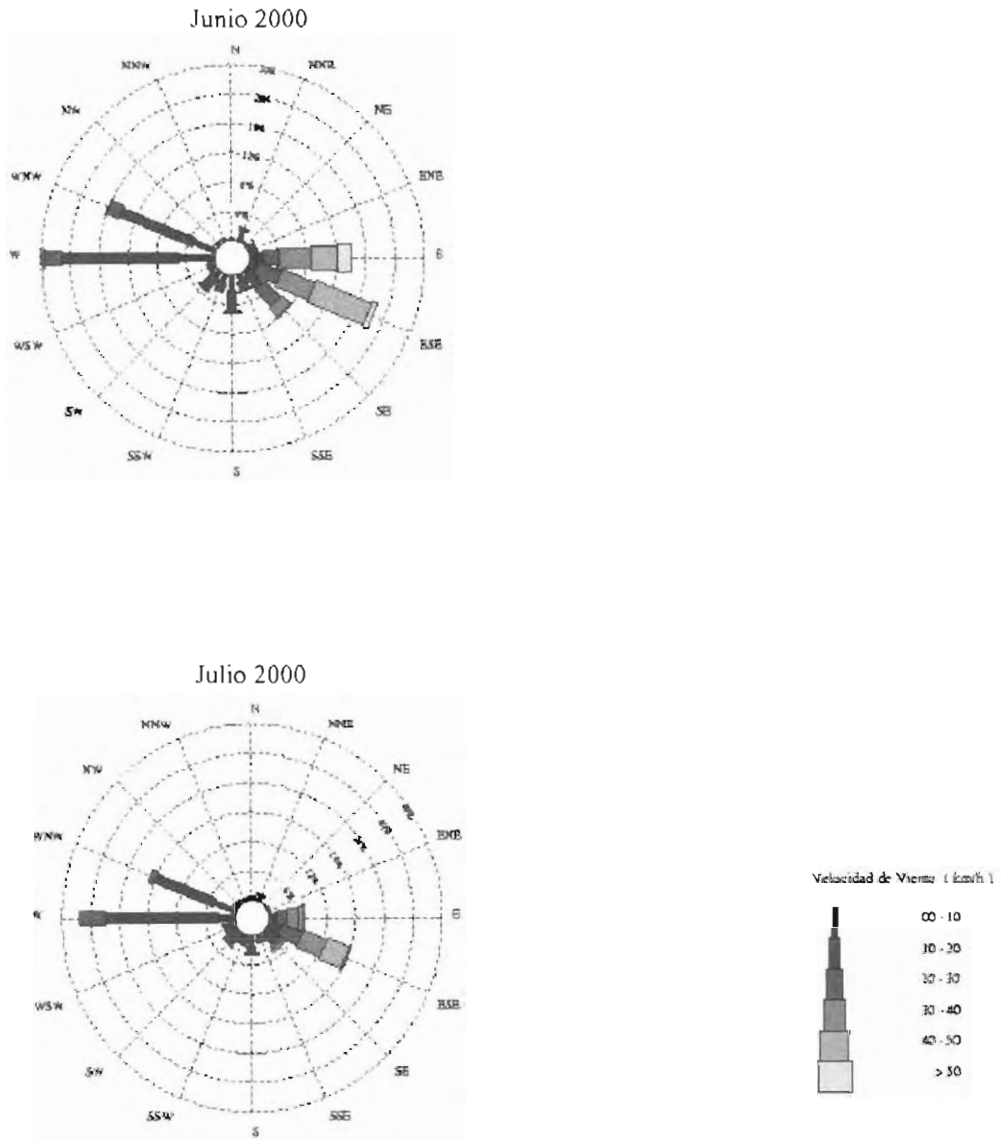


Figura 7.3.b. Rosa de viento mensuales (3).

Figura 7.3. Rosa de vientos anual y mensual del periodo de estudio.

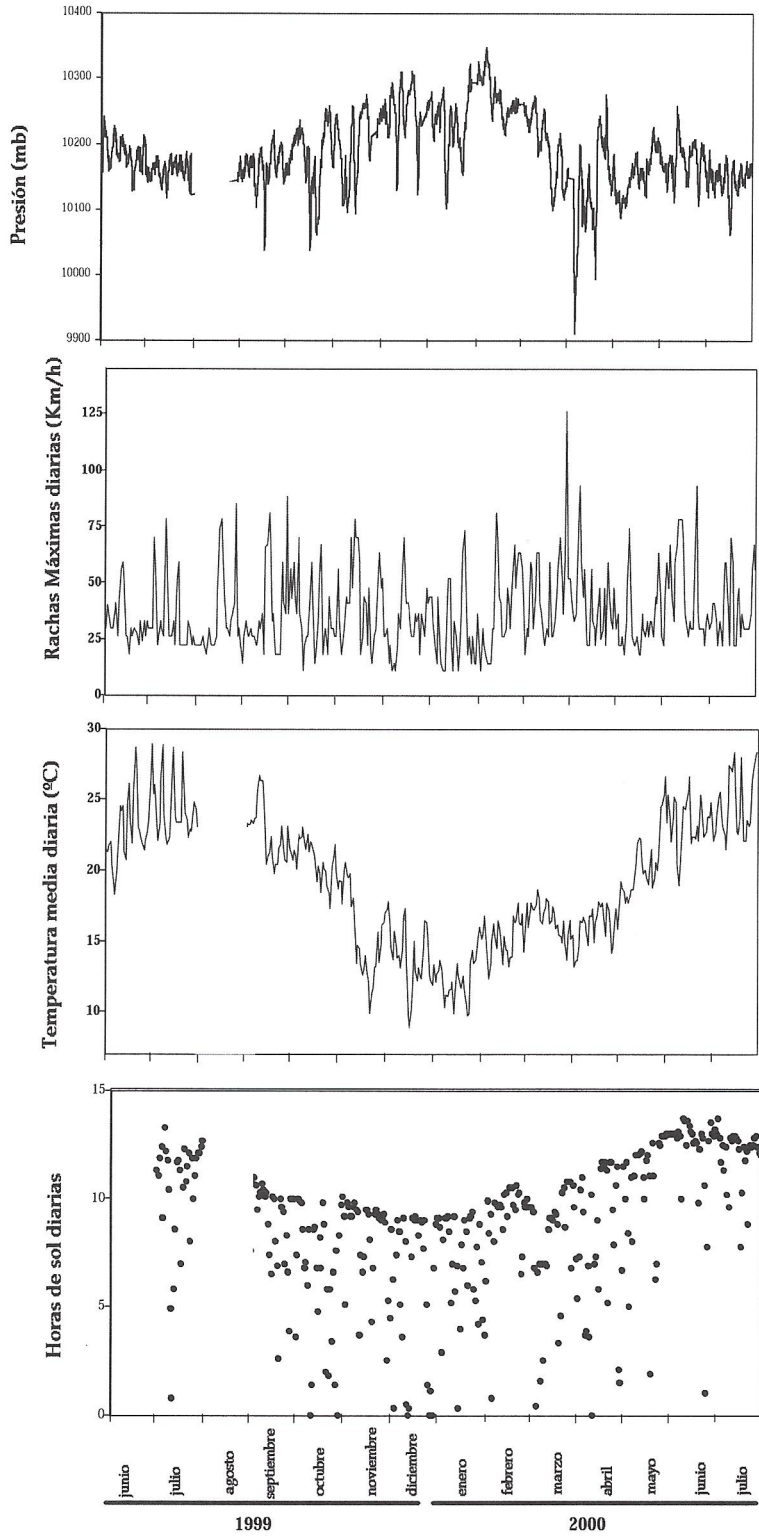


Figura 7.4. Evolución de la presión, velocidad máxima del viento, temperatura media y horas de sol diarias a lo largo del período de estudio.

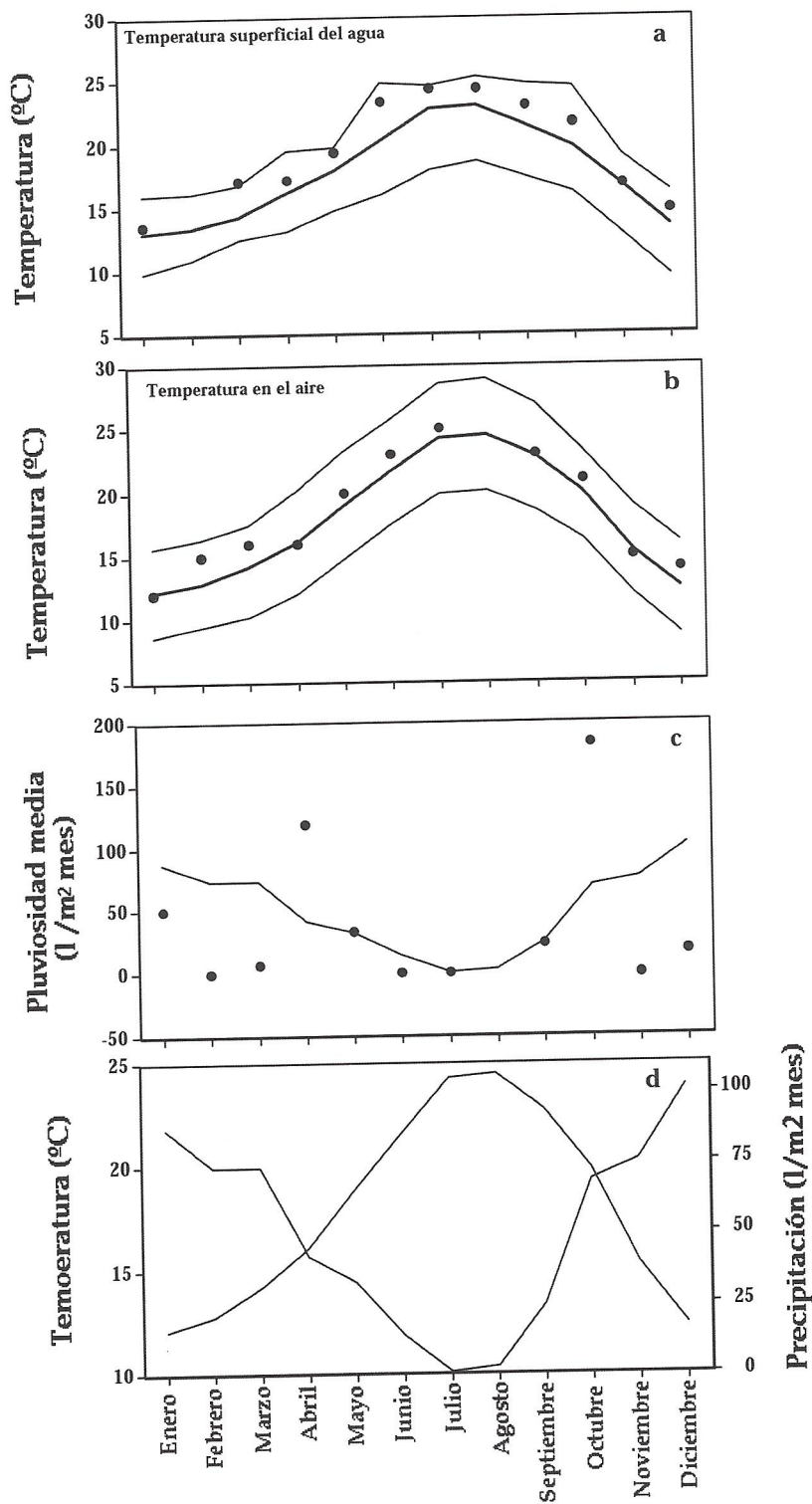


Figura 7.5. Evolución de la temperatura superficial del agua, temperatura del aire y pluviosidad media en el período 1947-1976.



Estas lluvias coinciden con el paso de borrascas, que se pueden detectar como descensos bruscos de la presión atmosférica hasta valores cercanos a los 1000 milibares en los días 20 de septiembre así como 20 y 26 de octubre de 1999 (Figura 7.4.a). El descenso más brusco se observa durante el mes de abril de 2000 en el que el paso de la borrasca que genera las lluvias de este mes produce un descenso brusco de la presión hasta valores cercanos a 9900 milibares. Este descenso se ve acompañado de fuertes vientos que superan los 100 kilómetros por hora el día 7 de abril de 2000. La rosa de vientos para el período de estudio (Figura 7.3.a) muestra la predominancia de los vientos de poniente. Los vientos de levante, siendo menos frecuentes que los de poniente, sí que presentan velocidades mayores. Los vientos de componente norte o sur fueron poco frecuentes y en general de baja intensidad. Este patrón general aparece especialmente marcado durante los meses de junio, julio y septiembre del año 1999, tal como se muestra en las rosas de vientos individuales para cada uno de los meses. Durante estos meses, los vientos de levante son muy escasos pero cuando ocurren lo hacen con una intensidad muy elevada (Figura 7.3.b).

A medida que avanza el otoño los vientos de componente este se hacen más frecuentes y durante el invierno podemos encontrar meses como enero y febrero del año 2000 en los que los vientos de componente norte son abundantes. No obstante, en ningún caso llegan estos vientos de componente norte a tener intensidades tan elevadas como los vientos de levante. Durante la primavera podemos encontrarnos meses (marzo de 2000) en los que los vientos de levante predominan tanto en frecuencia como en intensidad.

La temperatura media diaria del aire (Figura 7.4.c) sigue el ciclo estacional, con las oscilaciones características del paso de eventos meteorológicos, hasta alcanzar mínimos alrededor de 10°C durante los meses de invierno y máximos cercanos a los 30°C durante los meses de verano. De igual manera, el número de horas de sol diarias (Figura 7.4.d) sigue el ciclo estacional característico en el que el paso de las borrascas queda reflejado por su disminución eventual hasta valores que en algunos casos son muy cercanos a cero.

La comparación de la evolución meteorológica durante el período de estudio con los datos medios para el período 1947-1976 (Figura 7.5) (Informe Técnico de la Junta de Andalucía 28/94) muestra que realizamos el estudio en una año ligeramente más cálido (tanto en la temperatura superficial del agua de la bahía como en la del aire) y seco (con excepción de los meses de abril y octubre) que el promedio de esa serie temporal.

7.3.2 CICLO ANUAL

Se describe a continuación la evolución de las diferentes variables a lo largo de los meses en que se realiza el seguimiento de las mismas.

7.3.2.1 Temperatura

A partir del mes de julio, en el que se inicia el muestreo, la temperatura sigue un patrón descendente para el conjunto de la bahía, tal y como lo indica el mapa de temperaturas medias a lo largo de toda la derrota y que puede ser considerada como representativa del conjunto de la bahía (Figura 7.6). Como se puede observar en este gráfico, el conjunto de la bahía de Cádiz presenta, durante la práctica totalidad del período de estudio, temperaturas adecuadas para realizar cultivos marinos y únicamente durante los meses de diciembre y enero se observan temperaturas medias que están por debajo del rango óptimo de crecimiento para el cultivo de algunas especies como la dorada. A partir de esos meses, la temperatura media comienza a crecer hasta alcanzar de nuevo su máximo anual durante el mes de julio.

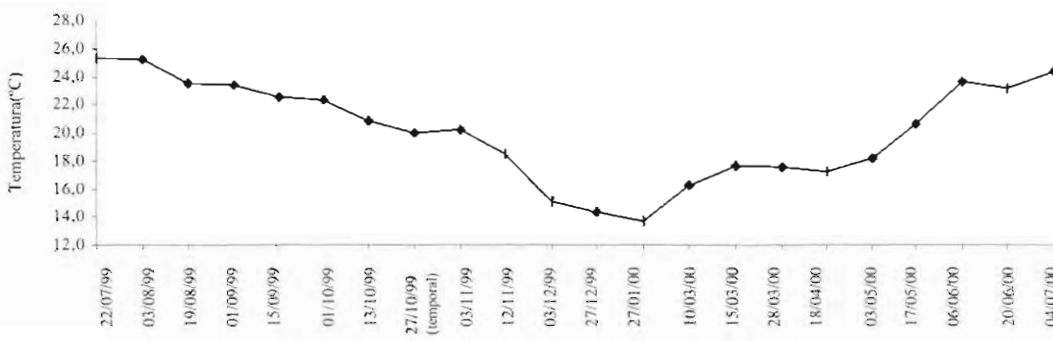


Figura 7.6. Evolución anual de la temperatura promedio en el área de estudio

Los patrones espaciales de temperatura (Mapa 7.2) muestran que durante el período estival los valores más bajos se localizan en las zonas más exteriores de la bahía, frecuentemente en las cercanías de punta del Sur. Los valores más altos de temperatura se dan durante este periodo en las cercanías de la costa más oriental, especialmente en la desembocadura del río Guadalete y en la playa de Valdelagrana. Sin embargo, este patrón se invierte en los meses más fríos en los que las temperaturas más bajas aparecen en la zona oriental y las más altas en los exteriores de la bahía. Esta inversión de patrones refleja el influjo continental en la temperatura de las aguas de la bahía. Siendo la inercia térmica de los continentes menor que la del océano resulta lógico esperar que las variaciones de temperatura en las zonas más exteriores de la bahía, las más influenciadas por las aguas del golfo de Cádiz, sean menores que en las zonas más costeras, donde la influencia continental es mayor. Desde el punto de vista de la temperatura el mejor área de cultivo se encuentra precisamente en las zonas más externas por tener mayores temperaturas en invierno y poseer un mayor tamponamiento térmico. En cualquier caso las diferencias espaciales de temperatura en la bahía son sólo de unos pocos grados para un momento determinado del año.

7.3.2.2 Oxígeno

Los 50000 valores de oxígeno recogidos en la bahía se mantienen por encima de los 3 mg/l, valor considerado en las explotaciones de acuicultura como el mínimo para no generar problemas de anoxia en los peces. La tendencia general es de incremento en los meses de invierno y decremento en los de verano (Figura 7.7), efecto debido fundamentalmente a los cambios de la temperatura del agua durante el ciclo anual y a la mayor solubilidad de este gas en el agua de mar cuando ésta está a temperaturas más bajas.

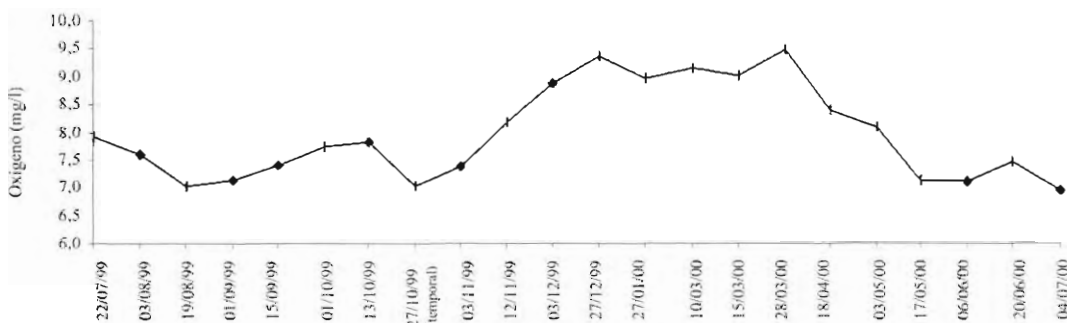
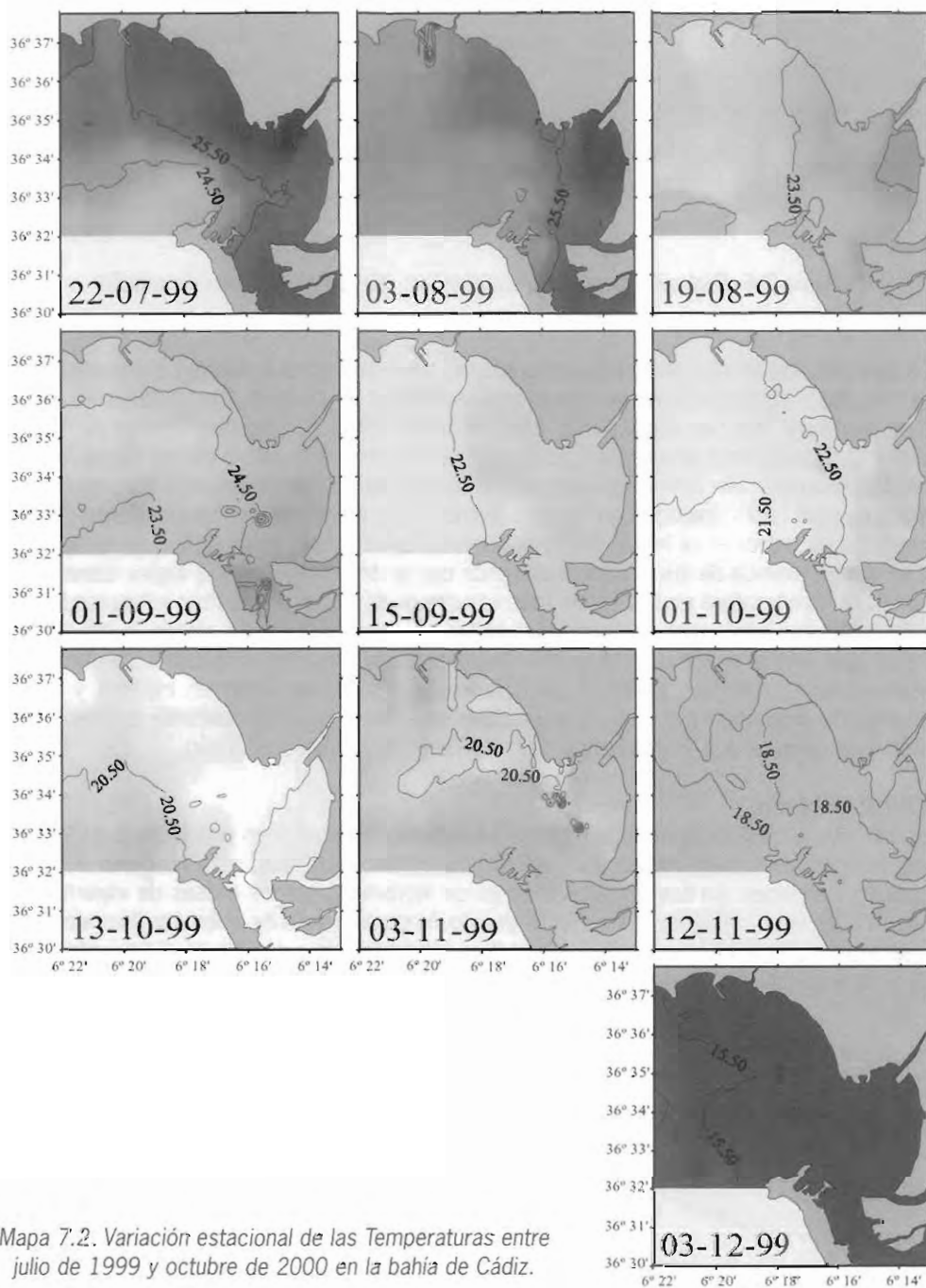


Figura 7.7. Evolución anual del oxígeno promedio en el área de estudio



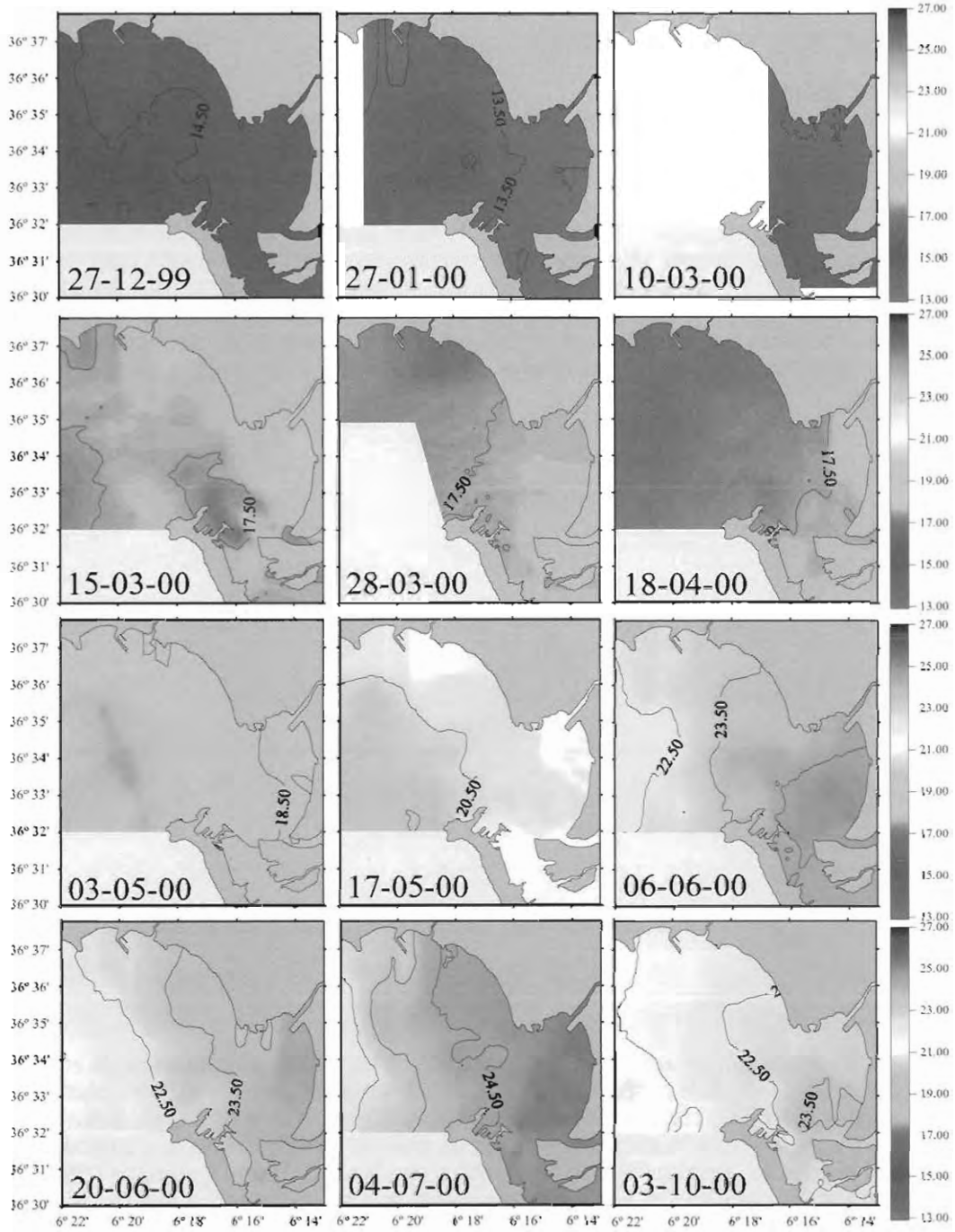
VARIACIÓN ESTACIONAL: TEMPERATURA

(Incremento isolinias: 1 °C)



VARIACIÓN ESTACIONAL: TEMPERATURA

(Incremento isolíneas: 1 °C)



Mapa 7.2. Continuación. Variación estacional de las Temperaturas entre julio de 1999 y octubre de 2000 en la bahía de Cádiz.



En el conjunto de la bahía (Mapa 7.3, anexo), los valores más bajos se detectaron habitualmente en la costa oriental de la zona muestreada, especialmente en la desembocadura del río Guadalete y en la playa de Valdelagrana. Sin embargo, durante los meses más fríos del año se pueden observar los valores más altos de oxígeno de la bahía en estas zonas, fenómeno asociado a la influencia continental mencionada anteriormente que decreta especialmente la temperatura del agua y favorece una mayor disolución del oxígeno.

7.3.2.3 Salinidad

Los valores de salinidad media del agua superficial se mantienen estables en torno a 37 ‰ durante los meses de julio, agosto y septiembre, mientras que en octubre y noviembre sufre una serie de oscilaciones asociadas a las lluvias que acontecen durante este periodo (Figura 7.8). Tras este periodo de lluvias, vuelve de nuevo a valores cercanos a 37 ‰ hasta que las lluvias de primavera durante los meses de abril y mayo la hacen decrecer de nuevo. Este descenso es de menor intensidad que las oscilaciones de octubre y se recupera durante el mes de junio para volver de nuevo al entorno del 37 ‰. Valorada en su conjunto, la salinidad media de la bahía es adecuada para el cultivo de especies marinas ya que los descensos asociados a las lluvias no la hacen bajar a valores que pudieran considerarse nocivos para la acuicultura marina, ni tan siquiera cuando éstas son de carácter muy intenso, como ocurrió por ejemplo el 27 de octubre de 1999 (Mapa 7.18, anexo).

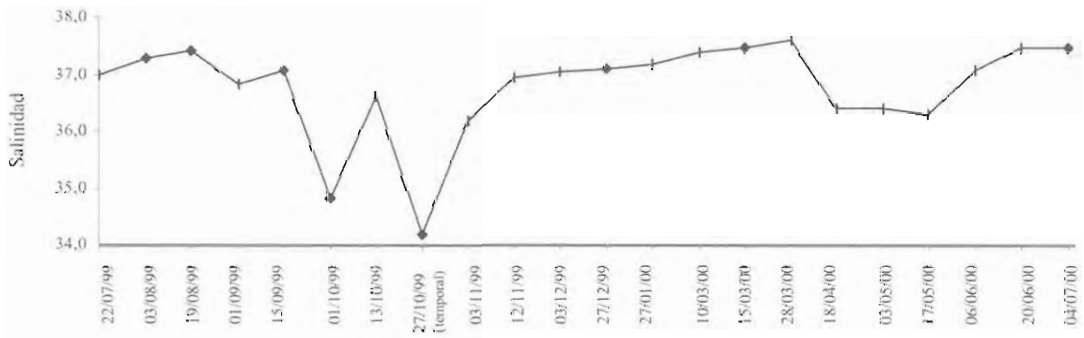


Figura 7.8. Evolución anual de la salinidad promedio en el área de estudio

Por zonas (Mapa 7.4, anexo), los valores más bajos se encuentran sistemáticamente en la cercanías del río Guadalete. Éste genera una mancha de baja salinidad que afecta fundamentalmente a las zonas adyacentes de la playa de Valdelagrana. Ésta es también la zona en la que la salinidad fluctúa más, un hecho a tener en cuenta para el cultivo de especies como la dorada que, a pesar de ser eurihalinas, podrían no soportar bien cambios bruscos de salinidad. El resto de la bahía muestra un ligero gradiente de salinidad, las aguas son ligeramente más salinas a medida que se encuentran más cercanas a la conexión de la bahía con mar abierto.

Los cambios de salinidad que ocurren en octubre suceden de manera bastante rápida y asociados a la escorrentía de las aguas descargadas en la zona durante los importantes temporales ocurridos en este mes. Aunque los cambios de salinidad ocurridos son bruscos, la magnitud de los mis-

mos no supera el 4⁰/₁₀₀. Mención especial merece el registro de salinidades que se tomó durante el temporal acaecido el 27 de este mes y que se comentará posteriormente.

7.3.2.4 pH

Los valores de pH se normalizaron para una temperatura de 20 °C para todos los muestreos realizados. Todos ellos se situaron dentro del rango óptimo de crecimiento para las especies marinas cultivables (Figura 7.9). La tendencia general es a obtener valores de pH más ácidos cuando la influencia de las aguas continentales es mayor: en el periodo de bajamar, en las cercanías del río Guadalete (Mapa 7.5, anexo) o, en el mes de octubre, cuando se producen temporales con fuertes precipitaciones. En cualquier caso las alteraciones son del orden de décimas y rara vez hacen bajar al pH del valor 8.

7.3.2.5 Clorofila

Para producir importantes floraciones de fitoplancton en una masa de agua son necesarias tres condiciones: una capa de mezcla superficial que no sea profunda, elevada intensidad de luz incidente y nutrientes. La primera de las condiciones se cumple en la bahía dado lo somero de su batimetría que impide a las células de fitoplancton el verse sometidas a una baja intensidad promedio de luz debido a los procesos de mezcla vertical. La luz incidente es muy intensa en los meses de verano pero decrece a medida que se acerca el solsticio de invierno, haciendo más difícil por tanto la formación de alguna floración fitoplanctónica. Por último, la entrada de nutrientes a la bahía parece estar asociada a la escorrentía de aguas proveniente de las lluvias y al vertido de aguas residuales de las poblaciones que la circundan.

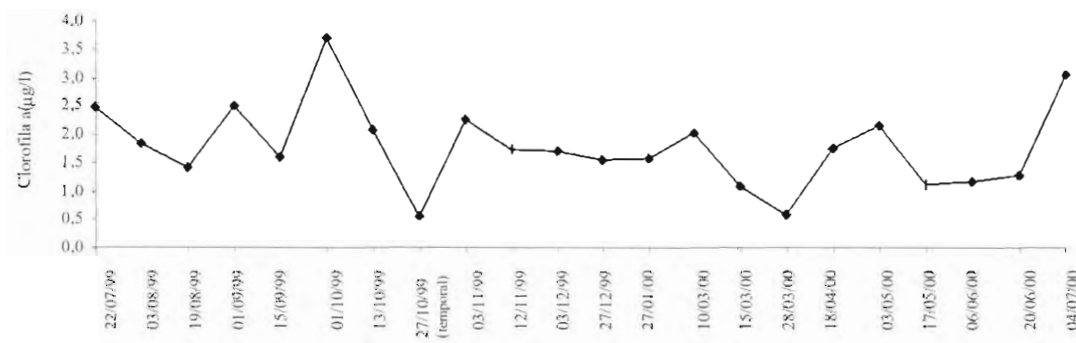


Figura 7.9. Evolución anual de la concentración media de clorofila en el área de estudio

Las concentraciones de clorofila en el semiciclo anual oscilaron entre mínimos cercanos a cero y máximos en torno a 7 µg/l. En ningún caso puede considerarse que se alcanzaran concentraciones lo suficientemente altas para ser preocupantes por el posible colapso del bloom y la consiguiente generación de abundante materia orgánica en degradación que podría perjudicar a las poblaciones de especies marinas tanto naturales como cultivadas. La tendencia general observada muestra mayores concentraciones en las cercanías del río Guadalete y la playa de Valdelagrana (Mapa 7.6, anexo). Existe frente a Punta Catalina una pequeña zona cuyas concentraciones de clorofila son frecuentemente más altas que las de las aguas que la rodean y cuyo origen puede estar en la ruptura del emisario submarino que vierte en las cercanías. Cabe destacar el importante aumento que tiene lugar en la concentración de clorofila entre los muestreos de los días 15 de septiembre y 1 de octubre de 1999 (Figura 7.9 y Mapa 7.6, anexo). Éste puede explicarse por haber ocurrido en ese período lluvias que introducen nutrientes en el conjunto de la bahía y en un período del ciclo



anual en el que la intensidad luminosa es todavía lo suficientemente alta como para propiciar intensas tasas fotosintéticas. No ocurre lo mismo en el temporal del día 27 de octubre de 1999 cuando también se produce una muy importante entrada de nutrientes asociados a la escorrentía de aguas continentales (Mapa 7.18, anexo). A medida que avanza el invierno la concentración de nutrientes se incrementa pero no se produce un aumento de clorofila por el bajo nivel de luz incidente al disminuir las horas de sol, por factores astronómicos ligados al ciclo estacional y por el paso de borrascas (ver apartado de meteorología), así como su ángulo de incidencia. Es probable que la limitación por luz se haya acentuado en períodos de temporal, como el 27 de octubre, en los que la alta concentración de sólidos en suspensión atenúa de forma importante la penetración de luz en la columna de agua. Esta limitación por luz se debe mantener durante el período invernal hasta la llegada del verano. No obstante, dado que en el tránsito de invierno a verano no se detectan concentraciones altas de clorofila es probable que, a pesar de la elevada frecuencia de muestreo, no haya sido registrada la floración primaveral de fitoplancton en la bahía. Cabe resaltar también las elevadas concentraciones de clorofila en julio de 2000, un fenómeno que al no estar asociado a lluvias esporádicas hace pensar en una entrada de nutrientes a la bahía que no estaba presente en el verano anterior.

7.3.2.6 Fitoplancton

La evolución temporal de la concentración de clorofila en las estaciones (Figura 7.9) y período (01/10/99 a 17/08/00) en que ha sido estudiado el fitoplancton muestra escasas variaciones. Lo más remarcable es el incremento medio registrado en julio y agosto de 2000 (04/07/00 y 17/08/00), especialmente intenso en la zona este de la bahía. Sin embargo, la estacionalidad, descrita en el apartado anterior, así como estos incrementos registrados en verano, se deben a grupos distintos de fitoplancton (determinación realizada por el laboratorio de Control de Fitoplancton Tóxico del CICEM "Agua del Pino" perteneciente a la Delegación Provincial de la Consejería de Agricultura y Pesca en Huelva). Durante el otoño, invierno y parte de la primavera, las especies dominantes son diatomeas (Figura 7.11). Sólo en los muestreos de octubre y noviembre de 1999 se observa, en algunas estaciones, un porcentaje superior de dinoflagelados.

Los cambios de composición más relevantes se registran a finales de primavera y en verano. En el muestreo de junio (06/06/00) se produce una clara dominancia de los dinoflagelados, manteniéndose los niveles de clorofila, es decir, hay un cambio de especies dominantes sin que la biomasa de fitoplancton registre cambios apreciables. En este período se produce el mayor incremento en la temperatura media de las aguas de la bahía (Figura 7.6), aspecto que podría estar relacionado con este cambio sucesional.

En julio (04/07/00) la biomasa fitoplanctónica, expresada como clorofila, muestra un notable incremento, con un patrón espacial caracterizado por una mayor concentración en las aguas más orientales. Es destacable, que la distribución de dicha biomasa se corresponde con la dominancia relativa de los dinoflagelados sobre las diatomeas. Es decir, en aquellas zonas con mayor concentración de clorofila, las más interiores, hay un claro predominio de dinoflagelados.

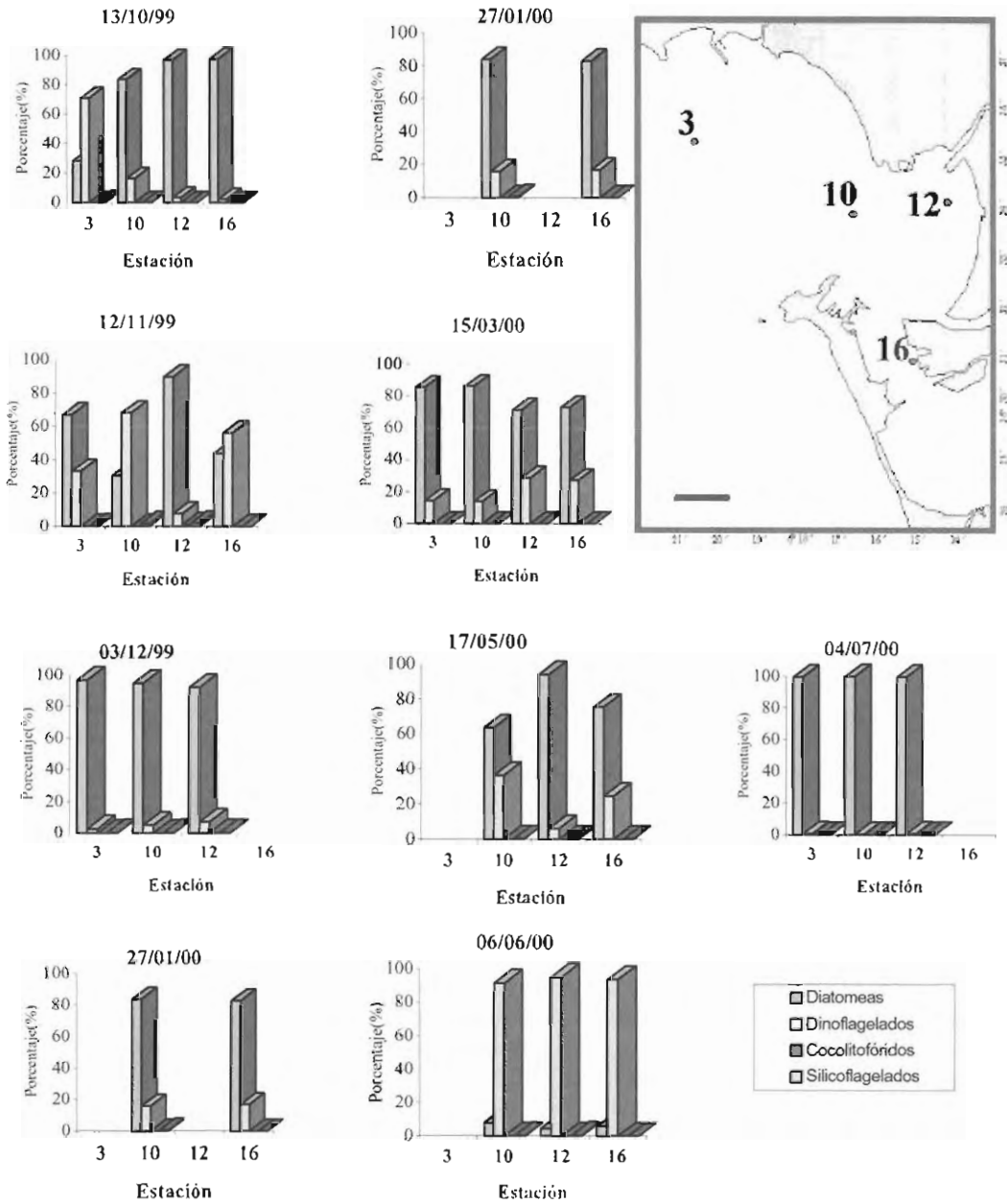


Figura 7.11. Estacionalidad de las poblaciones de fitoplancton en el periodo de estudio.

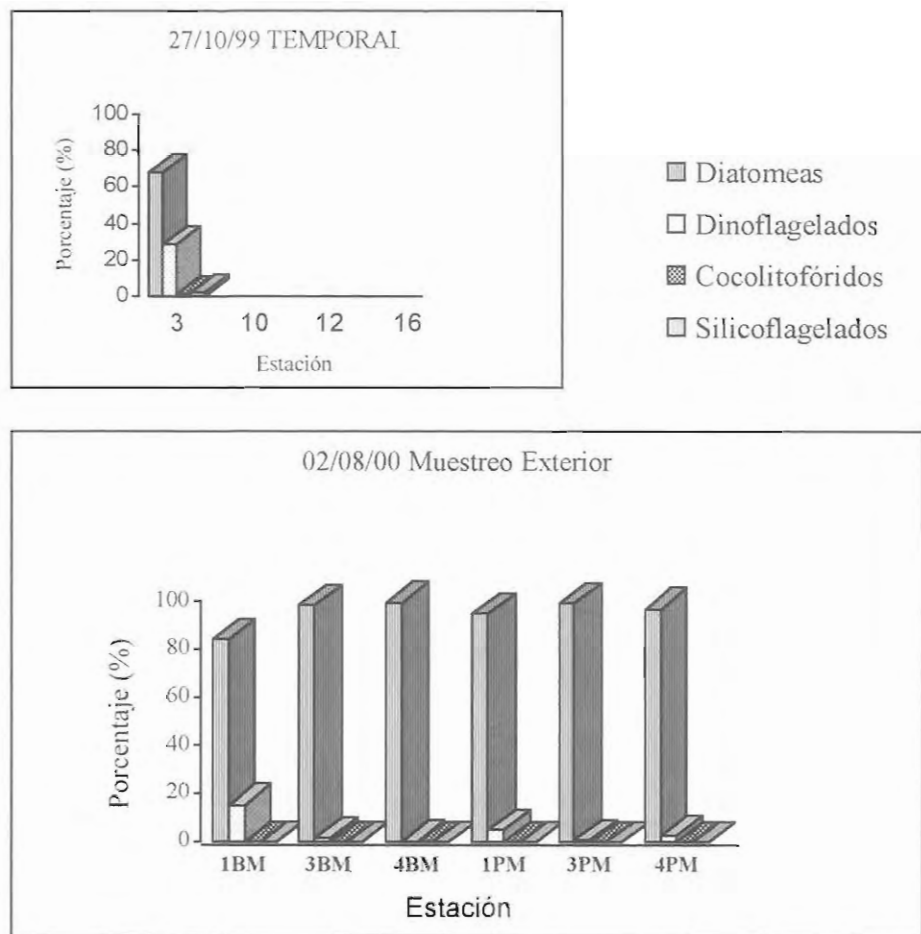


Figura 7.11. Estacionalidad de las poblaciones de fitoplancton en el período de estudio.

En las aguas más abiertas, con menor biomasa fitoplanctónica, la dominancia corresponde a las diatomeas. En definitiva, la distribución de clorofila en este período está explicada por la concentración de dinoflagelados. Este grupo es el que presenta un mayor número de especies tóxicas, por lo que podría esperarse un riesgo potencial de toxicidad mayor en especies cultivadas en la zona oriental de aguas interiores. Sin embargo, las concentraciones de especies tóxicas registradas (Tabla 7.1), aunque con densidades ligeramente superiores en estas aguas, no muestran una distribución espacial clara. En cualquier caso, las densidades de estas especies no superaron en el período estudiado valores que puedan ser considerados peligrosos.



puesta a la entrada de nutrientes. También cabe destacar que durante el segundo verano que se muestrea la bahía (muestreo del 4 de julio de 2000, Mapa 7.8) la concentración de sólidos fue más alta que en el primero.

En cualquier caso estos aportes de material parecen afectar mucho más a la sección oriental de la bahía, mientras que en la zona occidental en el mapa 7.8, incluso en los momentos en los que la calidad del agua de la sección oriental puede considerarse inadecuada (durante el temporal), no se registran valores que pueden empezar a ser perjudiciales para posibles cultivos.

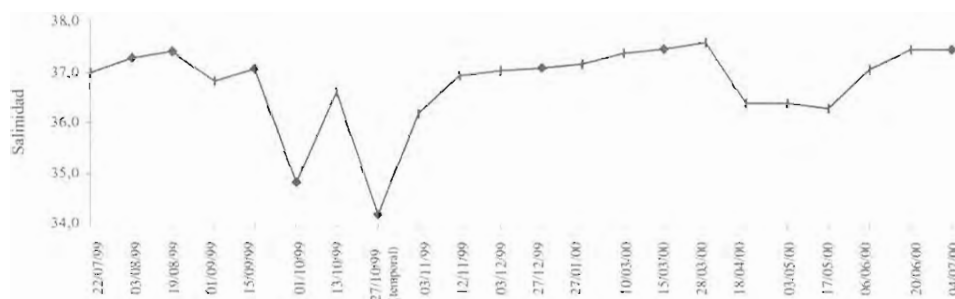


Figura 7.8. Evolución anual de la salinidad promedio en el área de estudio

Tanto la señal obtenida del transmisómetro como la del turbidímetro (expresadas ambas como unidades estándar de nefelometría en los gráficos) representan una información a mayor resolución espacial del material en suspensión de la masa de agua. Además de los patrones ya descritos en el párrafo anterior basándose en las muestras discretas, estos sensores han permitido detectar la presencia de plumas de turbidez con un origen aparentemente batimétrico. De esta forma se obtienen valores de turbidez sistemáticamente más altos cuando la derrota del Andalucía pasaba por las cercanías de los bajos del Diamante y la Galera.

7.3.2.8 Nutrientes

Evolución Temporal

En la evolución de los nutrientes se distinguen dos periodos claros cuyo origen está condicionado por la climatología y por la cantidad de radiación incidente en la bahía (Figura 7.13). La primera fase engloba los meses de primavera y verano. Durante este periodo las concentraciones de todos los nutrientes son bajas pues las elevadas irradiancias asociadas a la época estival permiten a las poblaciones de fitoplancton la asimilación activa de los mismos en el proceso fotosintético. De esta forma, cualquier entrada esporádica (sea de origen antropogénico o natural) de nutrientes durante este periodo repercute en un incremento rápido de las poblaciones de fitoplancton que los retiran de la fase disuelta. Un ejemplo claro de este proceso se observa con las primeras lluvias otoñales durante los días 18, 19 y 24 de septiembre. Estas lluvias no generan un importante incremento de la concentración media de nutrientes en la bahía aunque, como vimos anteriormente, sí que provocan un importante incremento de los valores medios de clorofila. El hecho de que este incremento de clorofila se produzca tras las precipitaciones sin que éstas dejen una marca clara en la concentración de nutrientes indica que, en el periodo que transcurre desde que ocurren las precipitaciones hasta que se realiza el siguiente muestreo (1 de octubre), las poblaciones de fitoplancton de la bahía han crecido y agotado de nuevo los nutrientes aportados por la escorrentía.

Durante este periodo en el que los niveles de luz son suficientes para permitir un crecimiento rápido del fitoplancton, el nitrógeno parece ser el elemento limitante de la producción primaria ya que se mantiene siempre con valores por debajo de $1 \mu\text{M}$, valores que empiezan a ser limitantes para numerosas especies de fitoplancton.

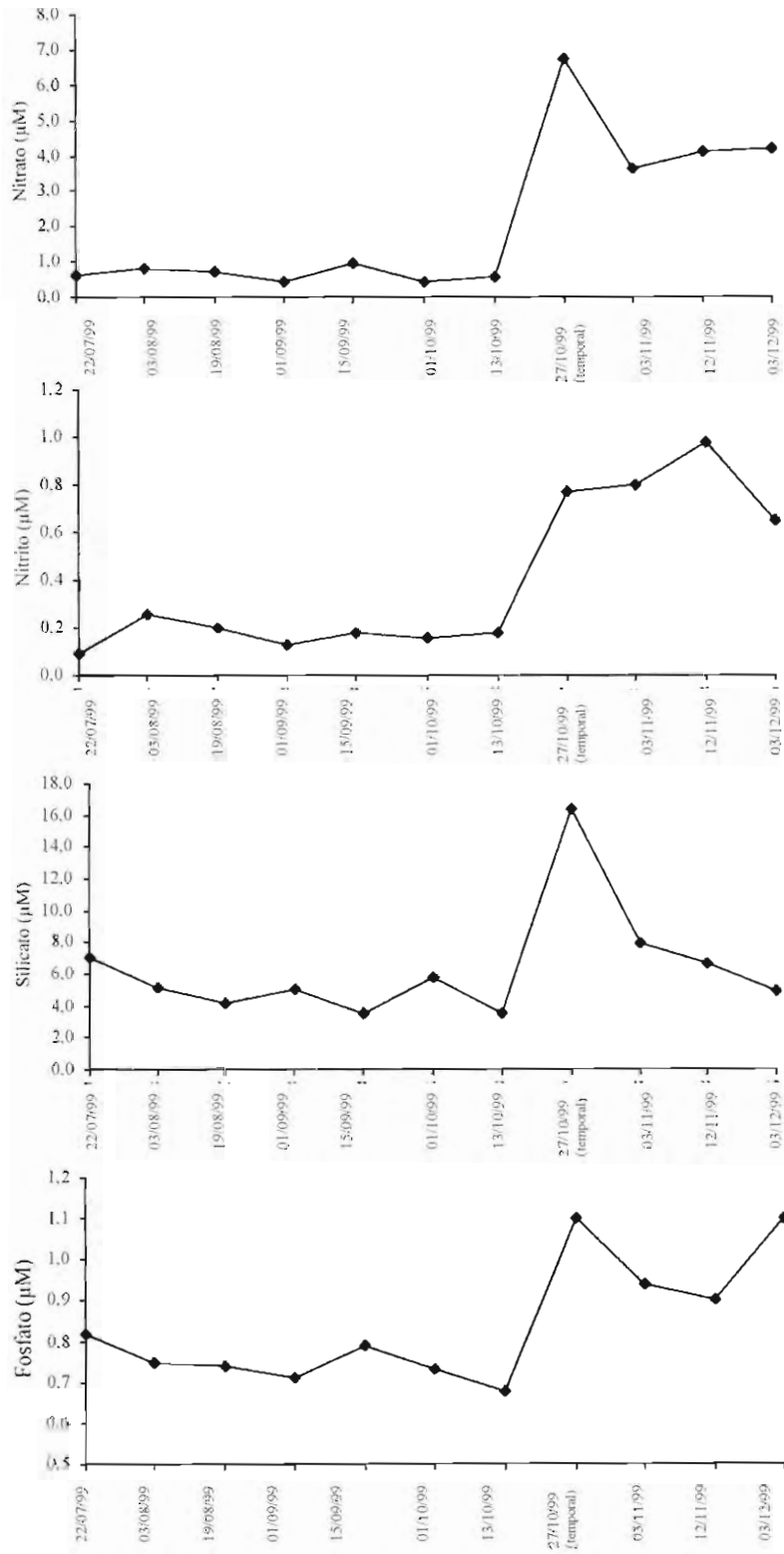


Figura 7.13. Evolución temporal de la concentración de nutrientes en el area de estudio



Ni el silíce ni el fósforo parecen actuar como limitantes durante este período, ya que sus concentraciones están por encima de 1 y 0.1 μM respectivamente, las cuales se empiezan a considerar como limitantes para la producción fitoplanctónica. El *ratio* molar entre nitrógeno y fósforo da más apoyo al nitrógeno como elemento limitante (Figura 7.14). Los valores de este *ratio* se mantienen siempre más bajos del cociente 15 que caracteriza a la relación de Redfield. La relación de Redfield es la proporción estándar entre átomos de nitrógeno y fósforo en los organismos del fitoplancton. Al ser el cociente entre átomos de nitrógeno y fósforo en forma de sales disueltas inferior a 15 en las aguas de la bahía, existe para el fitoplancton escasez relativa de átomos de nitrógeno respecto a los de fósforo. El *ratio* nitrógeno/ fósforo solamente incrementa su valor (aunque sin superar el 8) con el aporte de las lluvias de octubre en el momento en que la luz empieza a limitar la fotosíntesis.

Durante este período en el que la luz comienza a limitar la producción (finales de otoño e invierno) se produce un pico de nutrientes asociado a las fuertes lluvias que ocurren en la zona durante los días 20 a 26 de octubre. En el muestreo siguiente al del temporal (3 de noviembre) las concentraciones decrecen bastante por un proceso que probablemente está más asociado al lavado de la bahía con el flujo y reflujo mareal que a la asimilación de estos nutrientes por el fitoplancton, ya que no se observan incrementos significativos de clorofila posteriores al temporal.

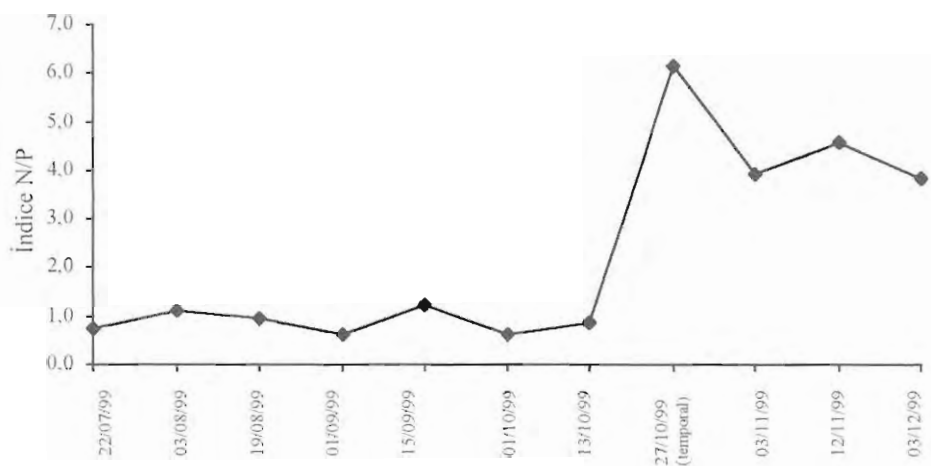


Figura 7.14. Evolución anual de la salinidad promedio en el área de estudio

En el resto de la serie temporal (meses de noviembre y diciembre) las concentraciones de nitrógeno, silíce y fósforo se mantienen en valores que claramente se pueden calificar como no limitantes de la producción primaria. La permanencia de estas elevadas concentraciones de nutrientes es consecuencia, como se mencionó anteriormente, de la escasa luz incidente que no permite una rápida asimilación fotosintética.

Distribución Espacial

La distribución espacial de los nutrientes refleja claramente la influencia del río Guadalete tanto durante el período estival como otoñal (Mapas 7.10 a 7.13, anexo). En las cercanías de este río las concentraciones de nitrato no suelen alcanzar valores que puedan ser considerados como limitadores de la producción primaria. El resto de la bahía mantiene valores bajos durante el período estival con excepción de la mancha que se observa el día 15 de septiembre, en el que la interacción entre

la mar de fondo con los bajos de la Galera y el Diamante pudiera haber originado concentraciones superiores a las del resto de la bahía.

Las concentraciones de nitrato marcan claramente su origen en las aportaciones del río Guadalete, patrón que puede observarse tanto durante el periodo estival como en el posterior. En el caso de los fosfatos, los mapas indican que, además del Guadalete, parecen tener otras fuentes de aportes puntuales a la bahía. Es el caso de la ruptura del emisario submarino que vierte en las cercanías de Punta Santa Catalina. Debido al carácter discreto del muestreo de los nutrientes, no es posible detectar la pluma de nutrientes que se genera a partir de este vertido en muchos de los muestreos que se realizaron. Sin embargo, en los días 15 de septiembre y 12 de noviembre se distingue con nitidez el aporte puntual de este emisario. Otros aportes de fosfato a la bahía externa parecen proceder de las cercanías de la costa oriental de Cádiz, bien por vertidos en esta misma zona o en la bahía interna con posterior evacuación a través del estrecho de Puntales. Por último, las concentraciones de silicato tienen un patrón de distribución que viene en parte marcado por el Guadalete pero que también muestra otras fuentes importantes de aportación a la bahía. En ocasiones, días 22 de julio y 3 de noviembre, este aporte parece tener su origen en la bahía interna o en el estrecho de Puntales.

7.3.3 CICLO MAREAL

Se han realizado en este periodo cuatro ciclos mareales (Mapas 7.14 a 7.17, anexo): 15 de septiembre de 1999, 3 de diciembre de 1999, 17 de mayo de 2000 y 3 de octubre de 2000. En líneas generales no se observan cambios drásticos en la calidad del agua de la bahía según nos encontremos en la pleamar o en la bajamar.

El efecto térmico continental, en el que las aguas interiores son más cálidas en verano y más frías en invierno, se acentúa durante el ciclo mareal. De esta forma, en los ciclos realizados durante el periodo estival (por ejemplo el 15 de septiembre) el agua que ocupa la bahía en la bajamar es más cálida mientras que en invierno (por ejemplo el 3 de diciembre) es más fría. En términos generales la salinidad es más baja durante la bajamar, especialmente en las cercanías del Guadalete. La concentración de oxígeno tiende a ser menor durante la bajamar, en la que la influencia del Guadalete se hace también más notoria. Cabe destacar que durante la bajamar la influencia del río Guadalete y de las aguas de la bahía interior forman una traza que se dirige hacia el exterior de la bahía por el lado sureste. Como se discute en el apartado de corrientes, existe una corriente residual de marea de salida neta de agua por esta zona de la bahía. Esta corriente residual explicaría la forma de esta traza que por ejemplo se observa con mucha nitidez en el gráfico de bajamar del día 15 de septiembre. Asociada a esta traza aparece durante la bajamar una zona aislada de altas concentraciones de oxígeno en las cercanías de la playa de Valdelagrana. La clorofila y los sólidos en suspensión no presentan un patrón claro durante el ciclo mareal, probablemente porque el tiempo de respuesta (del orden de días) de las poblaciones de fitoplancton hace que la distribución final de estas variables sea en forma de manchas dispersas en la bahía. No obstante, una de estas manchas aparece consistentemente en las cercanías de la desembocadura del Guadalete durante la pleamar. Estas manchas pueden estar originadas por el estancamientos de la salida de las aguas procedentes de este río durante esta fase del ciclo mareal.

7.3.4 TEMPORAL

Como se comentó en la introducción a este informe, existía la sospecha antes de realizar este estudio de que las condiciones de la bahía podrían verse fuertemente modificadas por la existencia de eventos meteorológicos esporádicos de elevada intensidad. Por este motivo se mantuvo preparada la estructura de muestreo y el día 27 de octubre, cuando una importante borrasca (ver el apartado meteorológico en resultados) barría el sudoeste de la península, se realizó un muestreo de la zona. El área cubierta no engloba a toda la bahía pues las condiciones meteorológicas se tornaron tan adversas que el Andalucía se vio obligado a retornar a puerto.



Los resultados de este día (Mapa 7.18, anexo) muestran una bahía con una temperatura superficial muy homogénea y con unas concentraciones de clorofila bastante bajas. Las concentraciones de oxígeno no decrecen y los valores de pH (Mapa 7.5, anexo), aunque algo más ácidos que para el resto de los días, siguen en términos generales manteniéndose por encima de 8. Las variables que más intensamente se ven afectadas son la salinidad, que llega a alcanzar valores por debajo de 33 ‰ en la zona muestreada, y la concentración de sólidos en suspensión, que llegan a alcanzar valores cercanos a 500 mg/l. Estos valores de sólidos en suspensión suponen un aumento de dos órdenes de magnitud respecto a las concentraciones que habitualmente existen en la bahía y demuestran la importancia que estos eventos meteorológicos pueden tener en la biota que ocupa la misma. 500 mg/l es una concentración claramente por encima de los 100 mg/l que pudieran empezar a afectar a instalaciones de acuicultura. Supone, de hecho, la existencia de cantidades cercanas a los 5 kg de sólidos en suspensión por cada metro cuadrado de área en la zona de la bahía donde se registraron estos valores considerando una profundidad media de 10 m. Aunque una sección importante de la bahía quedó sin muestrear por las condiciones meteorológicas, al ser esta zona (la más oriental) donde siempre se detectaron los máximos de sólidos en suspensión, cabe esperar que en el área no visitada éstos tengan valores aún mayores a los registrados por nosotros en el resto de la bahía. Más aún, la práctica totalidad de estos sólidos en suspensión están compuestos de materia inorgánica (valores superiores al 80%) de nulo valor para algunos cultivos como los de bivalvos que pudieran obtener ventajas energéticas de la materia orgánica en suspensión. En cualquier caso, la importancia de estos eventos en la ecología de la bahía debe ser enorme, no sólo por el papel de los sólidos como material en suspensión, sino también por los procesos que van asociados a ellos. Cabe esperar que los metales que son adsorbidos por partículas vean también incrementadas sus concentraciones de forma importante durante estos eventos. De igual manera, este material en suspensión parece haber afectado a la formación de una importante capa nefeloide detectada por el equipo de submarinistas de D.a.p. días después del evento. Las capas nefeloides se forman como resultado de la suspensión de material muy fino en abundante concentración en las cercanías del fondo. Esta mezcla de agua-sedimentos tiene una densidad mayor a la del agua de mar, dificultando el intercambio de propiedades con el resto de la columna de agua. Como resultado de esta falta de intercambio se pueden generar problemas de anoxia o una concentración muy alta de material en suspensión en los primeros decímetros del fondo y afectar negativamente a las poblaciones bentónicas del área.

Por los valores de sólidos en suspensión registrados durante nuestro estudio, el efecto más negativo de este aporte de material particulado (tanto durante el temporal, cuando la influencia es más intensa, como en el resto del período) parece concentrarse en la zona más oriental de la bahía. Concretamente, una línea imaginaria que uniera la ciudad de Cádiz con los bajos de la Galera y el Diamante y con la parte más oriental de la base naval de Rota parece delimitar hacia el este la zona donde este aporte de sólidos tiene su efecto más adverso.

7.3.5 OTRAS CARACTERÍSTICAS DE LA BAHÍA

7.3.5.1 Estructura Vertical

La información recogida en todos los muestreos, tanto del sistema de registro en continuo como del análisis de muestras discretas, puede considerarse como representativa de las propiedades superficiales de la masa de agua. En principio, al ser la bahía un sistema somero sometido a la influencia de fuertes mareas, cabe pensar que la columna de agua presenta una estratificación lo suficientemente débil como para que las propiedades superficiales sean iguales a las del conjunto de la columna de agua.

Para comprobar que realmente es así, se realizaron perfiles verticales de temperatura y salinidad en diversas estaciones durante la época estival (7 de septiembre de 1999) cuando se prevé que la posibilidad de una estratificación vertical es más intensa. Estos perfiles se realizaron con una sonda Grant/YSI en una serie de estaciones coincidentes con los puntos de toma de muestras discretas en la derrota habitual del

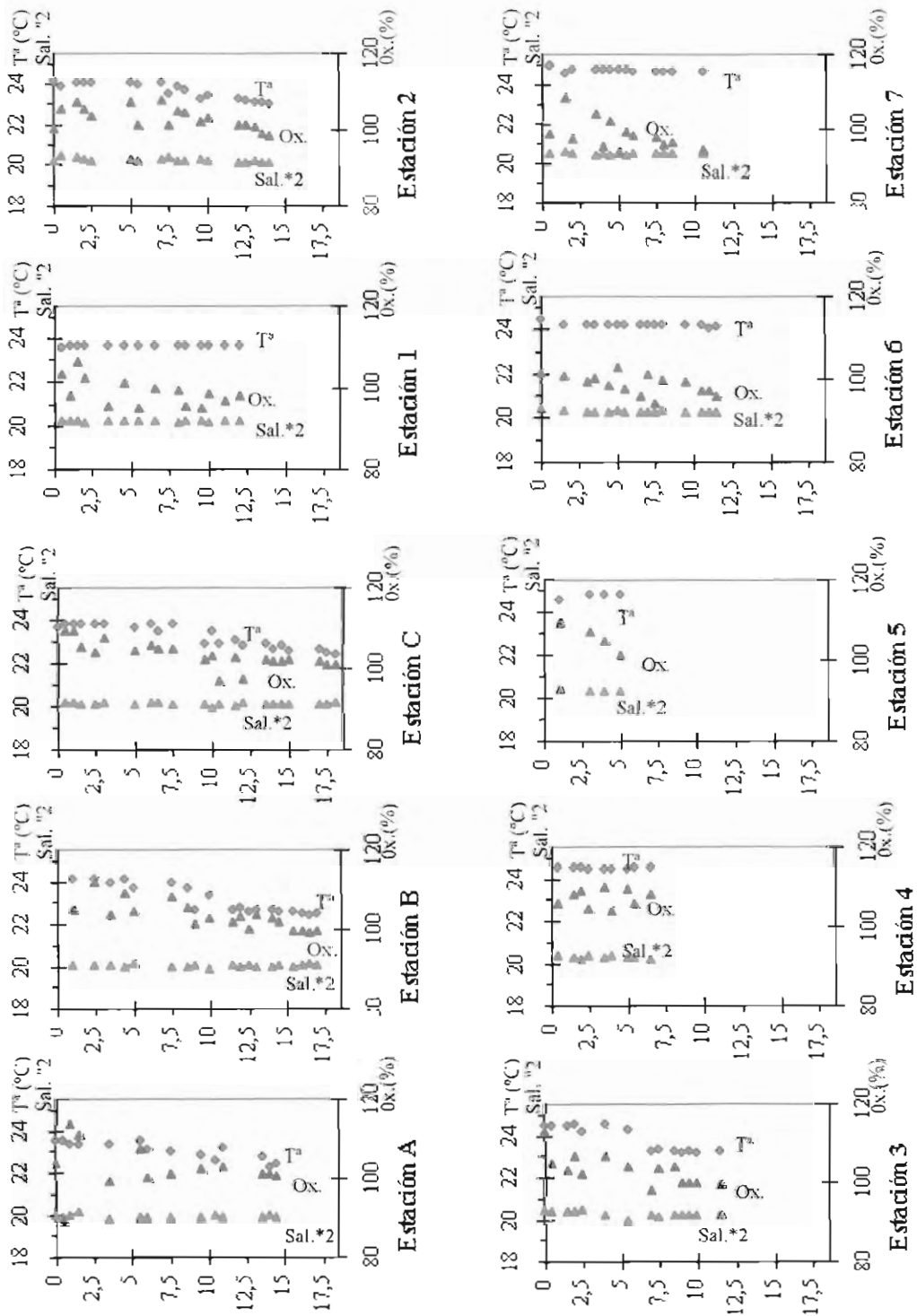


Figura 7.15. Perfiles verticales del muestreo del 17-08-00 realizado con sonda Grant/YSI.

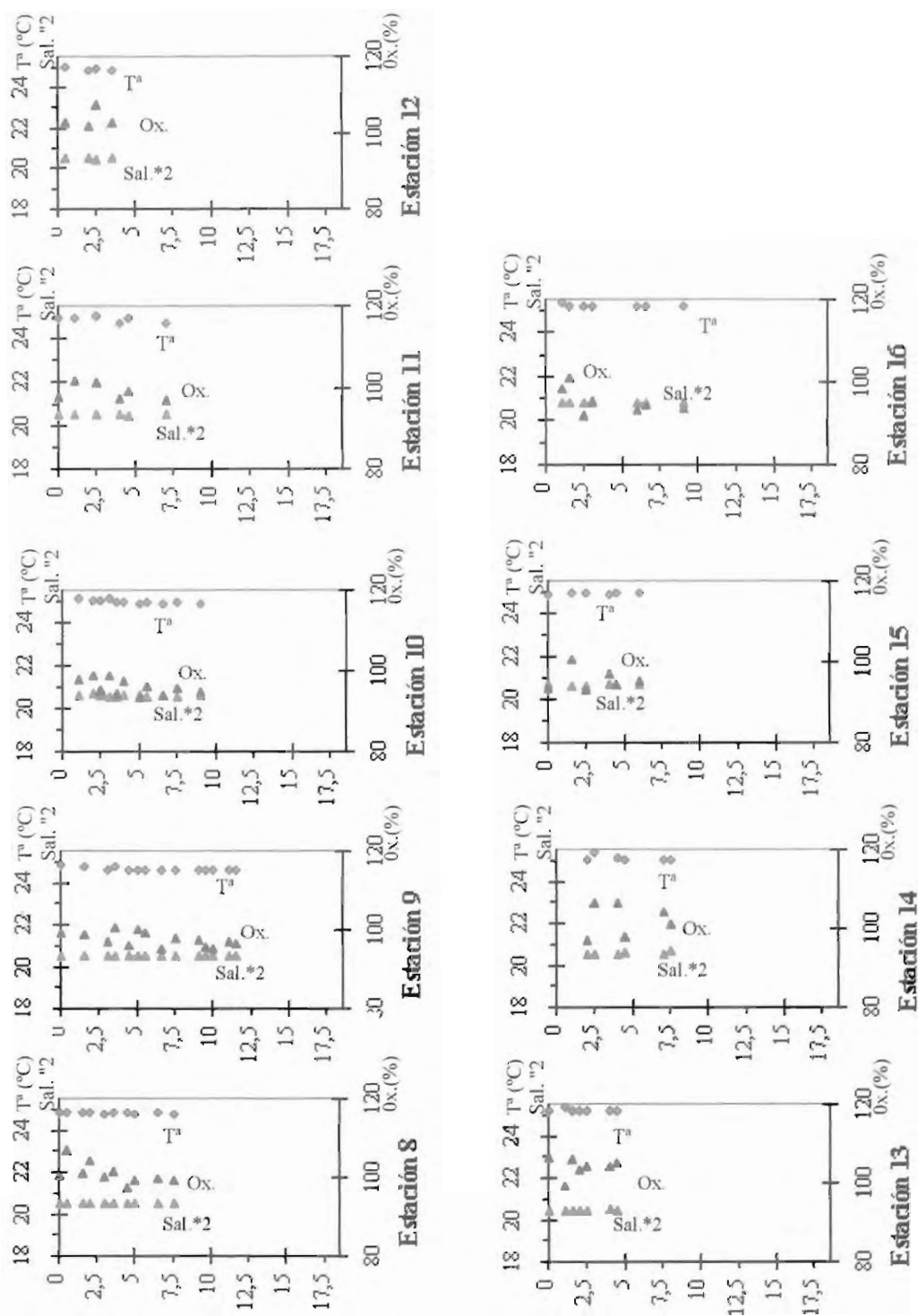
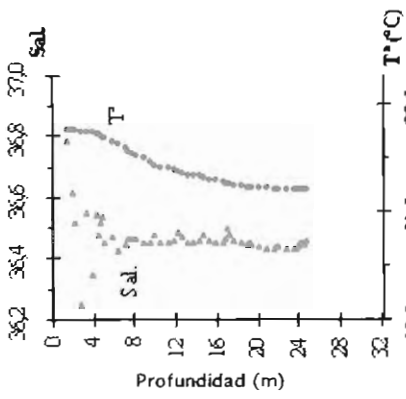


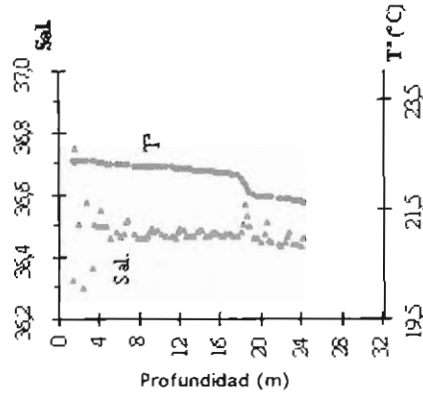
Figura 7.15. Perfiles verticales del muestreo del 17-08-00 realizado con sonda Grant/YSI.

02-08-2000

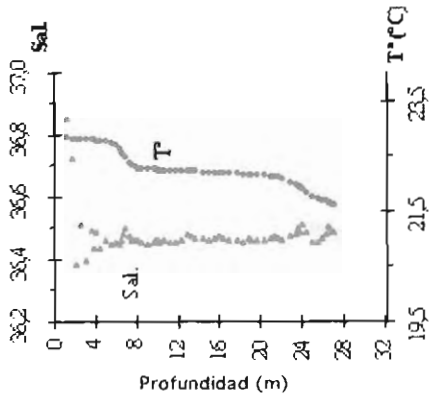
Muestreo exterior VACIANTE



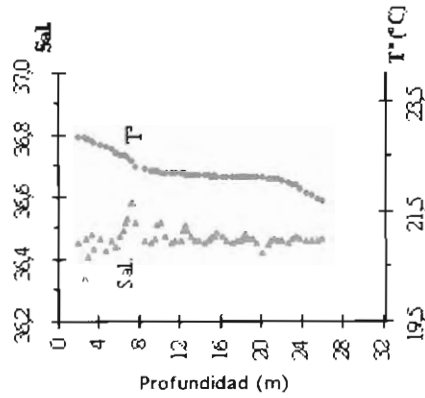
Estación 3



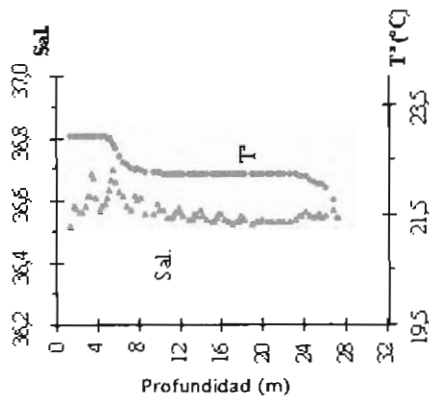
Estación 6



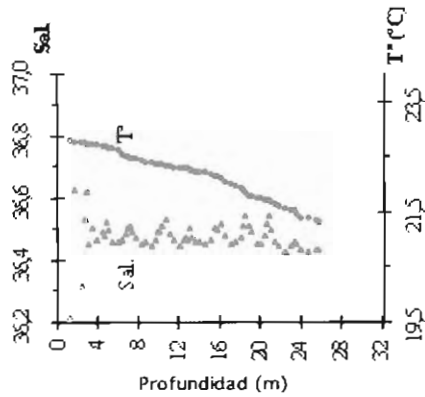
Estación 2



Estación 5



Estación 1



Estación 4

Figura 7.16. Perfiles verticales del muestreo en cruz realizado el 02-08-00.

02-08-2000

Muestreo exterior LLENANTE

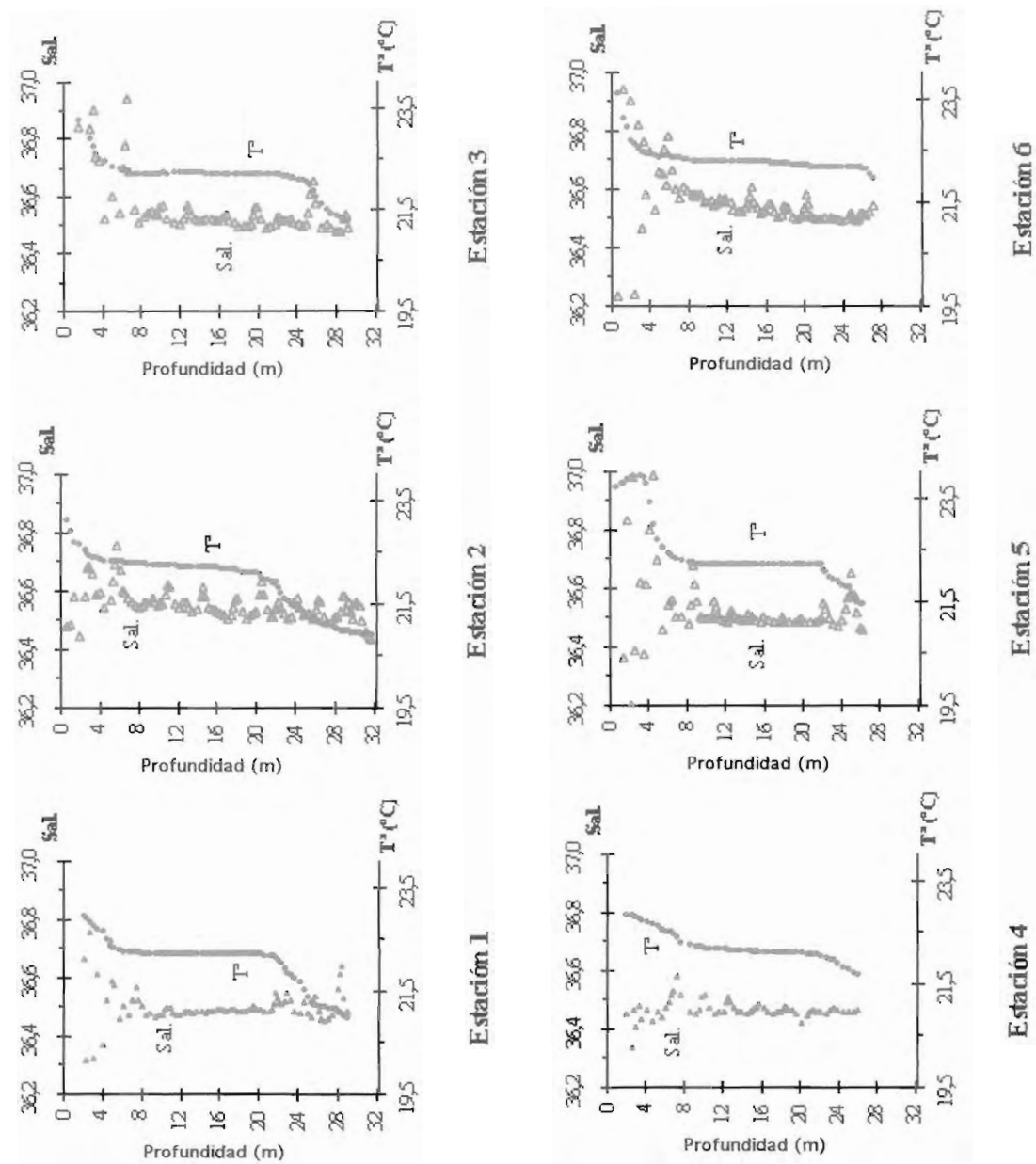


Figura 7.16. Perfiles verticales del muestreo en cruz realizado el 02-08-00.

Andalucía. Los resultados (Figura 7.15) mostraron una ausencia de haloclinas y una estratificación térmica muy débil excepto por una termoclina de cinco grados en una estación profunda en el centro de la bahía. Además, el día 2 de agosto de 2000 se realizó un muestreo en cruz que se comentará posteriormente y en el que también se realizaron perfiles verticales, en este caso con un CTD Seabird-19 (Figura 7.16).

Sobre la base de los resultados obtenidos resulta difícil prever la existencia de picnoclinas asociadas a gradientes de temperatura o salinidad con una intensidad lo suficientemente fuerte como para generar hipoxia en capas inferiores. Como se comentó anteriormente, los submarinistas de D.a.p. mencionan la existencia de importantes capas nefeloides tras el temporal de octubre; existe la posibilidad, no explorada en este estudio, de que la generación de picnoclinas asociadas a una elevada carga de sólidos en suspensión en las aguas más cercanas al fondo produzca eventos anóxicos en los decímetros más profundos de la columna de agua durante este período.

7.3.5.2 La Zona Exterior de la Bahía

En el desarrollo del proyecto surge la necesidad de explorar zonas externas, aunque adyacentes a la bahía, y que podrían ser de elevado interés para la implantación de cultivos. Estas zonas se sitúan al exterior de la línea Cádiz-Rota y se exploran en el muestreo del día 3 de diciembre y en los sucesivos mediante un nuevo transecto que se añade a la derrota habitual seguida por el Andalucía. La nueva derrota que se añade al muestreo habitual se presenta en el mapa 7.1 con trazo en azul. Las nuevas estaciones de muestras discretas que se añaden se nombran con letras. La información de esta nueva zona aparece en el apartado "Ciclos mareales" (Mapas 7.14 a 7.17, anexo) de la sección de cartografía aunque todos los valores recogidos durante los muestreos realizados a partir del 3 de diciembre quedan incluidos en el cálculo del índice de calidad, que se describirá posteriormente, para esta zona. Sin entrar en una discusión repetitiva acerca de la evolución de las diferentes variables, si cabe remarcar el carácter de estas aguas que en general presentan, como cabía esperar, características más cercanas a las de mar abierto: mayor inercia térmica, menores oscilaciones en la salinidad, concentraciones generalmente bajas de nutrientes, clorofila y sólidos en suspensión, así como concentraciones de oxígeno cercanas a la saturación.

Durante el día 2 de agosto de 2000 se realizó un muestreo exhaustivo de una sección concreta de esta zona exterior. Este muestreo tiene forma de cruz (Mapa 7.19, anexo) al objeto de cortar perpendicularmente los dos principales gradientes de calidad de agua que se prevén en esa sección: los asociados a las corrientes paralelas a la costa y los resultantes del proceso de llenado y vaciado de la bahía como resultado del ciclo mareal. Durante este recorrido en cruz se muestreó la columna de agua mediante un CTD Seabird-19. La calidad del agua registrada fue excelente en todos los parámetros analizados, tanto en lo que se refiere al seguimiento superficial (Mapas 7.20, anexo) como a la estructura vertical (Figura 7.17 y Mapa 7.21, anexo). En pleno mes de agosto las termoclinas fueron muy tenues y no superaron en ningún caso los 3 grados centígrados en los más de 20 metros que tiene la columna de agua en este sector. La fricción mareal impone un grado de mezcla lo suficientemente intenso como para contrarrestar la tendencia de la columna de agua a estratificarse durante el período estival. En estas circunstancias no cabe esperar situaciones en las que la difusión vertical de oxígeno se vea limitada y el consumo de este elemento en la zona más profunda, debido a la sedimentación y oxidación de la comida proporcionada a los peces cultivados en jaulas, no se prevé como un elemento preocupante para el desarrollo de la acuicultura con jaulas en la zona.

7.3.5.3 La Bahía en el Contexto del Golfo de Cádiz

La evolución oceanográfica que se observa para el conjunto de la bahía de Cádiz a lo largo de este estudio no es el resultado exclusivo de su interacción con los sistemas terrestres que la circundan. Existe, como se ha podido comprobar en este estudio, una importante componente estacional que debe ser compartida con el conjunto del golfo de Cádiz desde donde las aguas de la bahía se renuevan en cada ciclo mareal. Una exploración de este conjunto puede ser realizada mediante imágenes térmicas del conjunto del golfo. Para ello se han seleccionado aquellas imágenes que coin-



ciden con el momento en el que se realiza un muestreo de la bahía. Cuando esto no fue posible porque la cobertura nubosa lo impedía, se seleccionó la imagen temporalmente más cercana dentro de la misma semana. Cuando no es posible encontrar una imagen con suficiente cobertura dentro de la misma semana se dejó el hueco temporal.

Observando el conjunto de imágenes térmicas (Mapa 7.22, anexo) se puede constatar el progresivo enfriamiento y calentamiento de las aguas en el conjunto del golfo a medida que transcurre el ciclo estacional. Las inestabilidades y plumas de afloramiento características del cabo de San Vicente no parecen afectar al entorno de la bahía. Una circunstancia llamativa es el hecho de que el conjunto del golfo parece tener, a una escala espacial mucho mayor, una respuesta térmica similar a la que con el muestreo *in situ* detectamos para la bahía. De esta forma, las zonas más cercanas a la costa aparecen más frías que el conjunto del golfo durante los meses de invierno y más cálidas durante el verano. Dado que no se dispone de datos de campo para estas aguas de mar abierto, y que al tratarse de zonas más profundas estarán estratificadas durante el período estival, no se puede conjeturar que esta respuesta térmica tenga el mismo origen que en el caso de la bahía. Es probable que exista un origen dinámico más complejo que explique las peculiaridades térmicas de la zona comprendida entre el cabo de Santa María y la bahía de Cádiz. De hecho, aparecen plumas muy frías que parten de las cercanías de Tavira en Portugal (por ejemplo el día 4 de julio de 2000) que deben estar de alguna forma conectadas con la circulación general de la zona. La desembocadura del río Guadalquivir también parece dejar su huella térmica (por ejemplo en el día 6 de junio de 2000). En su conjunto esta zona costera parece tener un comportamiento específicamente distinto del conjunto del golfo. Dado que se trata de una zona que es importante para la cría de algunas especies de interés comercial, resultaría interesante obtener más información de la misma, conocer el origen dinámico de las señales detectadas por los satélites y estudiar sus posibles efectos sobre los recursos de la zona.

Las señales térmicas asociadas al estrecho de Gibraltar y a los bajos de Trafalgar si tienen un origen conocido en el intercambio de masas de agua que se produce a través de este estrecho y la mezcla que la batimetría produce al interactuar con las corrientes generadoras de este intercambio. En cualquier caso, no parece que ninguno de estos procesos afecte a las aguas que alimentan la bahía.

7.4 PROPUESTA DE ORDENACIÓN

7.4.1 LA ORDENACIÓN DE UN SISTEMA ALTAMENTE CAMBIANTE

La evolución temporal y los importantes gradientes espaciales que caracterizan a las distintas variables analizadas para evaluar la calidad de las aguas de la bahía han sido ya mostrados individualmente en el apartado de resultados. No obstante, a la hora de realizar una recomendación de ordenación en función de la calidad de las aguas, resulta necesario ofrecer una información más sintética, y rápidamente interpretable, que la presentación de cada una de estas variables. En el caso de sistemas marinos esto resulta más difícil que para ecosistemas terrestres ya que implica conocer la calidad del agua en un determinado punto espacial cuando se tiene la certeza de que ésta cambia en el tiempo como resultado, entre otros, del forzamiento mareal, meteorológico o estacional. Precisamente, el alto nivel de resolución tanto temporal como espacial con el que se ha realizado este estudio permite ofrecer una visión más completa de esta disyuntiva que caracteriza a los ecosistemas costeros y en los que la necesidad de síntesis parece estar reñida con su realidad oceanográfica.

El elevado número de puntos de muestreo y la alta frecuencia con la que la bahía ha sido muestreada permiten ofrecer una propuesta de ordenación de la misma sobre una base más sólida que la de asignar valores puntuales o promedios a amplias áreas de ésta. La metodología utilizada admite una clasificación en la que se cuantifican también los rápidos e importantes cambios de las condiciones ambientales que pueden tener lugar en unas masas de aguas tan dinámicas como son las que



ocupan la bahía de Cádiz. La clasificación que se propone está basada en una combinación de las diferentes variables medidas con dos criterios básicos. Cuando en alguno de los muestreos se registra para alguna de las variables un valor fuera del rango adecuado para el cultivo de especies marinas, a ese punto se le asigna un valor cero de calidad. Para aquellos puntos en los que no se ha detectado a lo largo de todo el muestreo ningún valor excluyente para alguna de las variables analizadas, la calidad se cuantifica mediante un índice que tiene un valor máximo de diez y decrece a medida que las variables adquieren valores que se alejan del óptimo para el cultivo de especies marinas.

7.4.2 ÍNDICE DE CALIDAD DEL AGUA PARA EL CULTIVO DE ESPECIES MARINAS EN LA BAHÍA DE CÁDIZ

El algoritmo matemático que genera este índice de calidad para el cultivo de especies marinas es el siguiente:

$$\text{Calidad} = \frac{k \times 10 - f_1(O_2) - f_2(T^e) - f_3(S\%o) - f_4(SS) - f_5(\text{Clorofila}) - f_6(pH) - f_7(NO_2^-)}{k}$$

Donde k es el número de variables analizadas para realizar el estudio (en nuestro caso son siete). Las diferentes f son funciones de las variables que contienen entre paréntesis y para su formulación se han tenido en cuenta las indicaciones dadas por el Centro de Investigación y Cultivo de Especies Marinas "El Toruño" de la Consejería de Agricultura y Pesca acerca de la calidad de agua necesaria para especies como la dorada que es representativa de los cultivos habituales en la bahía. En cualquier caso, las funciones que se presentan en el índice podrían ser ajustadas a cualquier otra especie de interés para la acuicultura. Las funciones están escaladas según las propiedades de la masa de agua observadas a lo largo del estudio. Para cada una de las variables de calidad del agua la fórmula propuesta es:

Oxígeno.- Por debajo de 3 mg/l los animales pueden sufrir problemas de anoxia, concentraciones mayores disminuyen esta posibilidad.

$$f_1(O_2) = \begin{cases} 10 & \text{si } [O_2] \leq 3(\text{mg/l}) \text{ para ese punto en algún muestreo} \\ 2.5 \times \{7 - [O_2]\} & \text{si } 7 \geq [O_2] \geq 3(\text{mg/l}) \\ 0 & \text{si } [O_2] \geq 7(\text{mg/l}) \end{cases}$$

Temperatura.- El rango óptimo está entre 20 y 30°C, por debajo de 20°C se ralentiza el crecimiento y por debajo de 10°C los animales se debilitan. Entre 10 y 26°C, cuanto mayor es la temperatura más veloz es el crecimiento de las doradas, por eso en este rango a mayor temperatura el índice refleja una mayor calidad del agua. Dado que en ningún caso se registran valores por encima de 30 °C, no se han tenido en cuenta la posibilidad de temperaturas muy altas al generar el índice.

$$f_2(T^e) = \begin{cases} 10 & \text{si } T^e \leq 10^\circ \text{C para ese punto en algún muestreo} \\ 26 - T^e & \text{si } 20 \geq T^e \geq 10^\circ \text{C} \\ 0 & \text{si } T^e \geq 20^\circ \text{C} \end{cases}$$



Salinidad.- Las doradas son eurihalinas aunque cambios bruscos de salinidad les afectan negativamente. Dado que en la bahía no se observan valores extremos de salinidad, aunque ésta varía en asociación con los fenómenos meteorológicos, el índice está basado en el coeficiente de variación de la salinidad en cada punto en tantos por diez.

$$f_s(S‰) = \frac{\sigma_{s‰}}{X_{s‰}} \times 10$$

Sólidos en suspensión.- En un medio como la bahía, donde se detectan aumentos espectaculares de sólidos en suspensión durante determinados eventos esporádicos, es necesario tener en cuenta las consecuencias que concentraciones puntuales muy elevadas de sólidos pueden tener sobre la biología de las especies piscícolas cultivadas. Aunque en principio estas consecuencias no se encuentran bien caracterizadas, es de esperar que un incremento de sólidos en el medio de cultivo aparte paulatinamente a estas especies de su nivel óptimo de crecimiento y plantee dificultades en el cultivo de la especie (alimentación, inspección de las redes). Para plasmar este comportamiento se adopta una forma funcional consistente en el logaritmo de la concentración máxima de sólidos en suspensión detectada, de forma que elevadas concentraciones van progresivamente deteriorando el valor del índice.

$$f_s(SS) = \text{Ln}(SS_{\text{máx}})$$

Clorofila.- La calidad es mejor a menor concentración. La concentración de clorofila es un estimador de biomasa fitoplanctónica por lo que su posible efecto nocivo en altas concentraciones se encuentra asociado a problemas de anoxia que puede generar la descomposición de materia orgánica y a la respiración nocturna. Además, una elevada concentración de clorofila también puede encontrarse relacionada con la proliferación de mareas rojas. En este sentido, dentro de los objetivos de calidad para el litoral andaluz se sugiere un valor imperativo de 15 µg/l para evitar la presencia de especies de fitoplancton con toxinas en zonas de producción acuícola. Por este motivo, esta concentración se corresponde con un valor de 10 en este índice.

$$f_s(\text{Cla}) = \begin{cases} 10 & \text{si } [\text{Cla}] \geq 15 \text{ } \mu\text{g/l} \\ \frac{[\text{Cla}]}{1.5} & \text{si } [\text{Cla}] < 15 \text{ } \mu\text{g/l} \end{cases}$$

pH.- El crecimiento óptimo se da entre 7.7 y 8.3. En la bahía el pH puede disminuir por influencia terrígena, el índice por tanto recoge posibles pérdidas de calidad del agua por aumento de su acidez.

$$f_s(\text{pH}) = \begin{cases} 0 & \text{si } 8.3 \geq \text{pH} \geq 7.7 \\ 10 - 10 \times \frac{\text{pH} - 7.7}{7.7} & \text{si } \text{pH} < 7.7 \end{cases}$$

Nitritos.- Valores por encima de 10 μM pueden ser nocivos, a medida que disminuye su concentración disminuye esta posibilidad.

$$f, ([\text{NO}_2^-]) = \begin{cases} 10 & \text{si } [\text{NO}_2^-] \geq 10\mu\text{M} \\ [\text{NO}_2^-] & \text{si } [\text{NO}_2^-] \leq 10\mu\text{M} \end{cases}$$

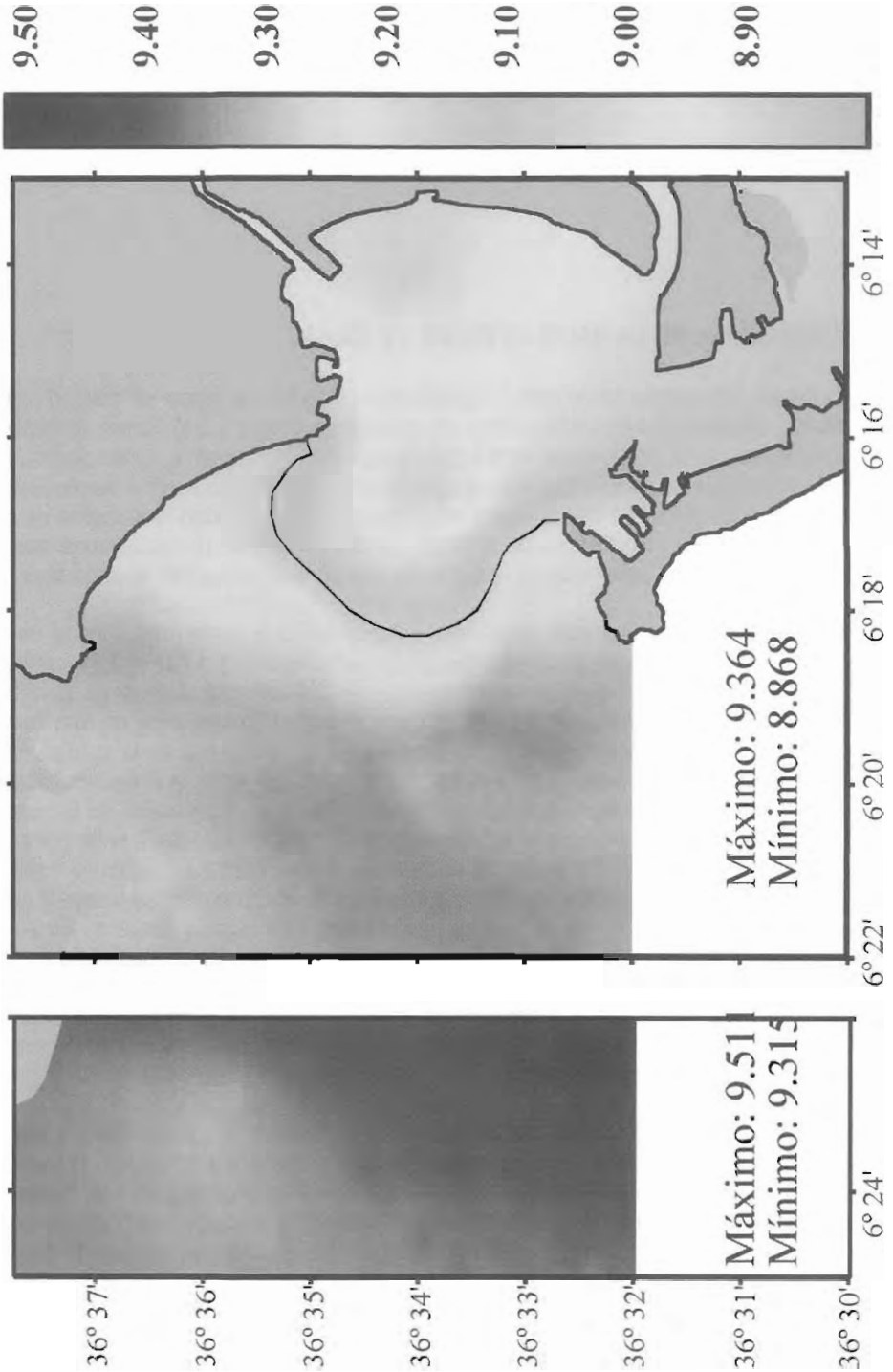
7.4.3 ORDENACIÓN DE LA BAHÍA EXTERNA DE CÁDIZ

En la sección de cartografía se adjunta la distribución espacial del índice de calidad hidrológica de la bahía para la implantación de instalaciones de acuicultura (Mapa 7.23). Como se explicó anteriormente, el mapa que se construye con este índice integra todos los datos, tanto continuos como discretos, que se han obtenido a lo largo del estudio. El conjunto de todos estos datos supone más de un millón cien mil estimaciones de variables relacionadas con la calidad hidrológica de la bahía, estimaciones que son todas sintetizadas en el figura de calidad que se presenta en el mapa 7.23. Estos números dan idea de la solidez de la ordenación que se propone a raíz de este figura.

En el mapa se ha dibujado una línea negra que delimita hacia la parte más oriental de la bahía una zona en la que la influencia terrestre se manifiesta con tanta intensidad que el flujo y reflujo mareal no son suficientes para contrarrestar el descenso de calidad que ésta lleva pareja. El río Guadalete, así como el vaciado de aguas a través del estrecho de Puntales y del río San Pedro parecen ser, por este orden, los principales focos generadores de un descenso en la calidad. Este descenso es especialmente intenso durante los temporales de otoño en los que la escorrentía de agua continental a través del río Guadalete eleva la cantidad de sólidos en suspensión en la zona a niveles que pueden dificultar el cultivo de especies como la dorada y que impedirían el de especies propias de mar abierto. El área contenida al este de la línea negra en el mapa 7.23 viene a coincidir con una línea imaginaria que uniera la ciudad de Cádiz con el bajo de El Diamante, La Galera y con Punta de Santa Catalina del Puerto. Además, esta zona tiene profundidades más someras de 10 metros con excepción de los canales de navegación. Dado que la instalación de las jaulas requiere de una profundidad mínima y puesto que no es admisible su fondeo en un canal de navegación, el impacto que la influencia terrestre ejerce sobre la calidad hidrológica de la bahía tiene lugar en la sección de ésta donde menos perjudicial es para la implantación de cultivos flotantes, ya que esta zona resulta inadecuada en base a criterios batimétricos.

El resto de la bahía presenta una calidad hidrológica muy buena con valores por encima de 9.1. Los valores más bajos se dan en las zonas más cercanas a la costa o a los bajos. De esta forma, se puede observar (mapa 7.23) en las cercanías de la costa y al noroeste de punta de Santa Catalina una mancha de baja calidad que aparentemente no está conectado con la batimetría y que podría guardar relación con las urbanizaciones y vertidos de aguas residuales que se realizan en la zona.

Es de destacar la formación de una lengua de agua de menor calidad desde las zonas centrales de la bahía hasta una longitud de $6^\circ 19'$, que alcanza los exteriores de la bahía. La extensión de esta lengua de agua puede tener su origen en la asimetría que parece existir entre las corrientes de llenado y vaciado en esa zona de la bahía. Los resultados obtenidos durante los fondeos de los diferentes correntímetros (capítulo 5) muestran la existencia de una corriente residual de salida en la sección más sudoriental de la zona más externa de la bahía, en el sector donde se observa esta lengua de aguas. Parece, por consiguiente, que este flujo neto de salida en cada ciclo mareal arrastraría masas de aguas con propiedades más influenciadas por las características del interior de la bahía.



Mapa 7.23. Índice de calidad de agua para la bahía de Cádiz.



Al ser éstas de más baja calidad para la acuicultura que las de mar abierto generarían la lengua que se observa en el mapa 7.23. Independientemente del mecanismo por el que se produce esta lengua, en el mapa 7.23 se refleja claramente que las zonas más exteriores de la bahía son las que presentan mejor calidad para la instalación de cultivos en jaulas flotantes.

Las zonas más externas de la bahía se muestrearon sólo a partir del 3 de diciembre de 1999 por lo que aparecen dentro del figura 7.23 en un recuadro diferente, ya que los valores de calidad para esta zona no incorporan estimaciones de las diferentes variables (O_2 , T^a , ...) para los meses de verano e inicios del otoño. Además, y por cuestiones de seguridad ya que se trata de un sector más expuesto al oleaje de mar abierto, esta zona no se pudo batir en ninguno de los tres temporales muestreados durante el periodo de estudio. Ya que la calidad del agua suele decrecer durante los temporales, el no tener datos para esta zona durante estos eventos se traduce en un índice de calidad promedio registrado que es aparentemente mayor que el del resto de la bahía. Aunque si estas zonas se hubieran también batido durante los temporales el índice hubiera sido inferior, se trata en cualquier caso se trata de aguas con unos valores de calidad muy buenos como resultado de ser una zona con menos influencia terrígena y más de mar abierto. De hecho, en este recuadro del mapa 7.23 se puede observar como al ir desplazándonos hacia el sudoeste (hacia mar abierto) la calidad del agua va creciendo hasta los valores máximos de 9.51 que se registran en todo el área de muestreo.





8. VEGETACIÓN DE LOS FONDOS

8.1 INTRODUCCIÓN

La bahía de Cádiz puede ser considerada como una zona fronteriza entre dos tipos de ambientes diferenciados, por un lado el mar Mediterráneo y por otro el océano Atlántico. En las zonas de transición como ésta, la biodiversidad suele ser más alta que en los ecosistemas limítrofes ya que conviven especies de ambos ambientes. No es de extrañar, entonces, la gran variedad de macroalgas existentes en la bahía de Cádiz, apareciendo ejemplares cuyo hábitat principal es el Atlántico Norte y otros que provienen del Mediterráneo oriental. Pero sólo algunas especies de algas, aparte de las fanerógamas marinas, generan praderas en los fondos marinos. Estas praderas tienen una gran importancia en diversos aspectos del desarrollo y composición final del ecosistema. Por un lado es fundamental para las comunidades o biocenosis (conjunto de poblaciones de especies que se presentan juntas en el espacio y en el tiempo), ya que los vegetales son, generalmente, la base de la cadena trófica. Las formaciones tipo pradera son un refugio natural que utilizan muchas especies de organismos como zona de alevinaje, aumentando así la probabilidad de éxito de su reproducción. Una gran cantidad de organismos animales y vegetales con fases iniciales planctónicas, se fijan a rizomas y hojas de algas y fanerógamas para iniciar su período sésil, aprovechándolos como sustrato sobre el que desarrollarán toda su vida. Así, las praderas de fanerógamas y de algas constituyen unos ecosistemas bentónicos muy complejos, desarrollados y ricos. Por otro lado, la existencia de praderas, también es determinante en aspectos del biotopo. Los haces de las algas y fanerógamas hacen que la corriente disminuya su intensidad, es decir, disminuye la energía del medio facilitando la deposición de los sólidos que estén en suspensión. Estos sólidos incluyen sedimentos, afectando a las condiciones físico-químicas del suelo (granulometría, tasa de sedimentación), y también incluyen materia orgánica que es utilizada por organismos detritívoros y bacterias. La capa vegetal hace de cubierta protectora evitando la erosión del fondo y compactando el sedimento con sus raíces o rizomas en algas. Esto último es importante porque da cierta estabilidad a los sedimentos en los que crece la pradera, sean arenosos o fangosos.

Se conoce la existencia de praderas de fanerógamas en la bahía interior, concretamente *Zostera noltii* y *Zostera marina* (Muñoz-Pérez y Sánchez-Lamadrid 1994). También se ha constatado visualmente la presencia de *Cymodocea nodosa* en el río San Pedro y en algunos caños anexos (zona marismaña).

En el saco externo de la bahía (zona marina) se localiza una sola pradera de algas formada por *Caulerpa prolifera*. Es un alga constituida por estolones poco ramificados de 1 a 2 mm de diámetro y hasta 1 m de longitud, semienterrados o enterrados someramente, a partir de los cuales se originan frondes foliáceos. Está presente todo el año y suele formar grandes colonias sobre fondos blandos (arenosos o fangosos) a 1-20 m de profundidad o más. A menudo aparece asociada con fanerógamas marinas (Cabioc'h, 1995).

En cuanto a fanerógamas, la única pradera encontrada en la bahía exterior está constituida por *Cymodocea nodosa*. Se trata de una planta de color verde grisáceo. Sus hojas son delgadas y cortas, de 10 a 30 cm de longitud y 2-4 mm de anchura. Tiene raíces muy ramificadas, de hasta 30 cm de largas. Suele encontrarse diseminada y ocupando pequeñas extensiones en fondos arenoso-fangosos, normalmente a poca profundidad.

El objetivo es localizar, delimitar y cuantificar las praderas de algas y fanerógamas marinas que hay en la bahía exterior, así como las variaciones que sufren a lo largo del tiempo.

8.2 PLANTEAMIENTO DE LOS MUESTREOS

Los muestreos se realizaron exclusivamente en fondos blandos (arena, fango o grava a lo sumo) por ser este tipo de fondo sobre el que se asientan las especies que forman praderas. Así



las especies que se desarrollan sobre el sustrato rocoso quedan excluidas de los objetivos de este proyecto.

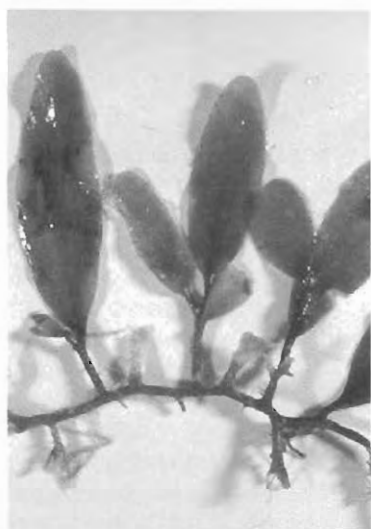
Para el estudio de las praderas de algas se utilizó un rastreo de fondo, el mismo que se usó para la recolección de moluscos bivalvos y una draga tipo Van Veen. Se tuvo en cuenta las observaciones realizadas por el equipo de submarinistas. El muestreo de praderas de fanerógamas marinas se llevó a cabo con una calicata metálica. En ambos casos se determinaron las coordenadas de los puntos de muestreo sobre la Carta Náutica "443 A" escala 1:25 000 y se localizaron *in situ* mediante GPS diferencial. Las estaciones de muestreo de algas y fanerógamas marinas aparecen indicadas en el mapa 8.1.

8.2.1 PRADERAS DE ALGAS

La primera campaña de muestreo se realizó en octubre de 1999 y la segunda en junio de 2000. En cada punto de muestreo, el estudio cualitativo se llevó a cabo mediante el lanzamiento del rastreo desde una embarcación, remolcándolo una distancia de 10 m. Posteriormente se utilizó la draga de tipo Van Veen, con objeto de recolectar y cuantificar la biomasa vegetal. Esta draga abarca una superficie de 0,025 m², por lo que se repetía el lanzamiento cinco veces en cada punto, obteniéndose así un área muestral de 0,125 m² (el área muestral mínima descrita en la bibliografía es de 0,1 m²). La vegetación recolectada en cada uno de los cinco lanzamientos de cada punto, se lavó con agua de mar sobre una criba de 1 mm. En el laboratorio se determinaron las especies encontradas y se estimó el peso fresco, el peso seco (manteniendo la muestra durante 6 horas en una estufa a una temperatura de 98° C), y el peso calcinado (en una mufla durante 2 horas a 475° C). Con estos datos se calculó el peso seco sin cenizas, restando al peso seco el peso calcinado, la media y la desviación estándar de la biomasa vegetal por unidad de superficie. La representación gráfica se hizo con el programa informático "SURFER", que permite trazar mapas de isolíneas.

8.2.2 PRADERAS DE FANERÓGAMAS MARINAS

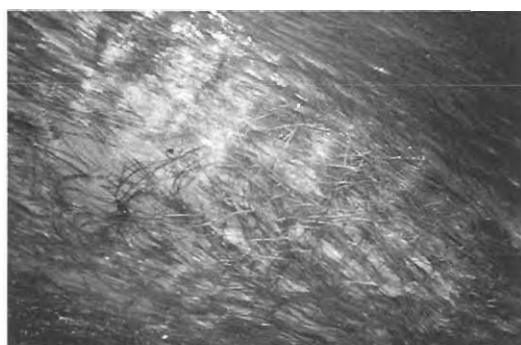
La observación de una pradera de *Cymodocea nodosa* durante el segundo año del proyecto, dio lugar a la realización de un estudio más exhaustivo de la misma a finales de agosto de 2000. Las muestras se tomaron en la zona intermareal con una calicata de dimensiones: 0,2 m x 0,25 m = 0,05 m². Se repitió el lanzamiento cinco veces en cada punto para obtener datos de una superficie de 0,25 m². El muestreo se llevó a cabo en condiciones de bajamar con coeficiente de marea de 1,05, por lo que la mayor parte de la pradera aparecía emergida. El proceso desarrollado posteriormente, incluido el tratamiento de datos en laboratorio, fue el mismo que para las praderas de algas.



Caulerpa Prolifera



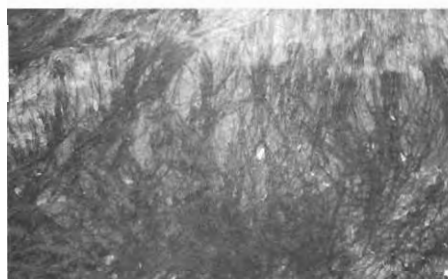
Cymodocea nodosa



Cymodocea nodosa



Pradera de Cymodocea nodosa



Cymodocea nodosa

Vegetación que forma praderas en los fondos de la bahía de Cádiz



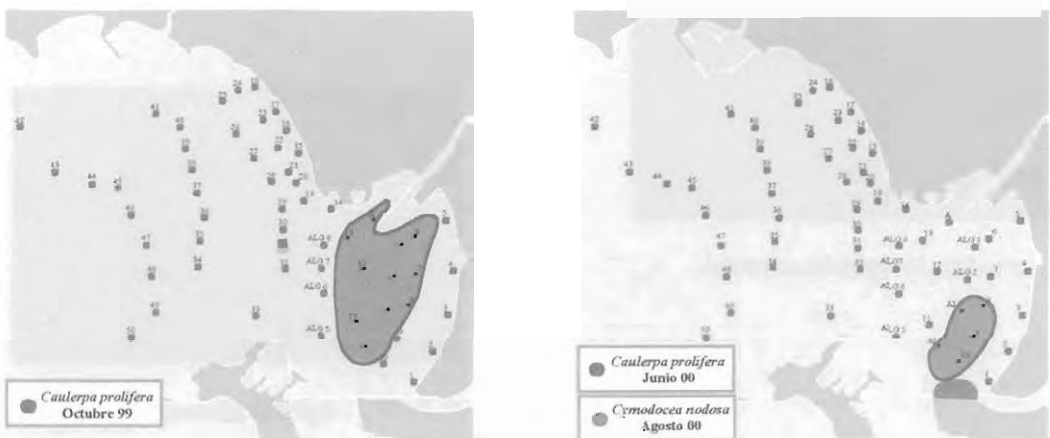
8.3 RESULTADOS

8.3.1 PRADERA DE CAULERPA PROLIFERA

La pradera estudiada en octubre de 1999, abarcó una superficie de 860 ha aproximadamente en la zona infralitoral al Oeste de la playa de Levante hasta la línea que une la punta de Santa Catalina de El Puerto con el bajo de la Cabezuela. Va desde los 0,5 m de profundidad hasta la isobata de 9 m aproximadamente (Mapa 8.1). El fondo de esta zona es predominantemente arenoso, sobre todo arena muy fina (AMF), aunque aparecen áreas de grava detectadas durante el estudio sedimentológico mediante *sonar de barrido lateral*. Se confirmó visualmente, utilizando escafandra autónoma, que la distribución de *C. prolifera* en la pradera es heterogénea, siendo en algunas partes más densa mientras que en otras aparecen manchas despobladas de algas. Es en la parte sur de la pradera donde abundan más los parches en los que no crece *C. prolifera*.

El área de mayor biomasa vegetal está comprendida entre 2,5 y 4,5 m de profundidad, y corresponde a la zona central de la pradera (Mapa 8.2, anexo) En esta zona llegan a encontrarse hasta 22g de Peso Seco Sin Cenizas por m² en octubre 99 (Tabla 8.1). La superficie que ocupa la pradera coincide con la zona de mayor riqueza bentónica y de mayor biomasa de la bahía exterior, en lo que a moluscos bivalvos se refiere.

Si analizamos los datos obtenidos en los muestreos de junio de 2000 (Tabla 8.2), observamos que la extensión de la pradera disminuyó considerablemente a finales de primavera, abarcando en esta fecha una superficie aproximada de 280 ha. (Mapa 8.1) El tipo de sedimento sobre el que se asienta es arenoso (AMF). Se recolectó *C. Prolifera* únicamente en cinco estaciones de muestreo, aunque posiblemente no desaparece por completo en el resto de los puntos, sino que la biomasa es menor (Mapa 8.2, anexo), por lo que también disminuye la probabilidad de recogerla mediante los lanzamientos al azar de la draga. Es destacable la desaparición de *C. prolifera* de la zona donde era más abundante en octubre de 1999, estación de muestreo 7 y su presencia, por el contrario, en los puntos 9 y 10 en los que no aparecía.



Mapa 8.1. Localización de *Caulerpa prolifera* y *Cymodocea nodosa* en la bahía de Cádiz.



Tabla 8.1. *Caulerpa prolifera*. Biomasa media para cada estación de muestreo en Octubre de 1999. Profundidad (m); P F: peso fresco (g/m^2); P S: peso seco (g/m^2); P C: peso calcinado (g/m^2); P S S C: peso seco sin cenizas (g/m^2).

Estación	Prof.	P F	P S	P C	P S S C
6	3	19,82±36,63	5,44±10,88	1,39±3,11	4,05±8,10
7	3,2	133,43±69,3	31,92±34	9,64±4,20	22,28±11,75
8	3,5	16,99±33,98	3,68±7,36	1,50±3,35	2,18±4,37
A	5	0,78±1,55	0,21±0,42	0,06±0,14	0,14±0,29
ALG 1	4	20,67±30,27	4,07±6,05	1,22±1,98	2,85±4,28
ALG 2	4,5	6,30±8,62	1,26±1,70	0,36±0,51	0,90±1,26
ALG 3	4,5	81,70±19,01	17,49±4,83	6,09±2,02	11,4±3,23
ALG 4	2,5	63,52±28,88	14,07±6,61	5,43±3,68	8,64±5,30
11	5,7	8,19±6,17	2,02±1,45	0,74±0,75	1,29±0,80
12	6	8,82±17,65	1,94±3,89	0,91±2,04	1,03±2,06
13	7	2,12±4,24	0,51±1,02	0,17±0,38	0,34±0,69
31	9	3,72±3,73	0,94±0,87	0,30±0,30	0,65±0,62

Tabla 8.2. *Caulerpa prolifera*. Biomasa media para cada estación de muestreo en Junio de 2000. Profundidad (m); P F: peso fresco (g/m^2); P S: peso seco (g/m^2); P C: peso calcinado (g/m^2); P S S C: peso seco sin cenizas (g/m^2).

Estación	Prof.	P F	P S	P C	P S S C
8	3,5	12,64±25,28	2,18±4,37	1,12±2,24	1,06±2,13
9	2,5	7,19±11,42	1,34±2,06	0,74±1,12	0,60±0,95
10	2	130,18±171,29	22,13±27,78	11,91±14,41	10,22±13,58
ALG 3	4,5	24,38±36,65	4,26±6,12	2,25±3,04	2,02±3,13
ALG 4	2,5	139,35±163,25	24,15±28,18	13,72±15,79	10,43±12,41

8.3.2 PRADERA DE CYMODOCEA NODOSA

Esta pradera se encuentra en la zona conocida como bajo de la Cabezuela, situada al margen izquierdo del río San Pedro, donde el tipo de sedimento predominante es arenoso. En agosto de 2000, fecha en que se realizó el muestreo, ocupaba una superficie aproximada de unas 16 ha. (Mapa 8.1).



La pradera aparece más desarrollada en su parte nor-occidental, donde se obtuvieron valores de biomasa de hasta 76 g/PSSC m² en agosto de 2000 (Tabla 8.3). Al muestrear *C. nodosa* se vio que se solapa por ese borde con la pradera de *C. prolifera*. Así en algunas de las estaciones se recolectaron muestras de ambas especies. Es importante resaltar que los valores de biomasa de *C. prolifera* de esta zona, son los mayores de todos los obtenidos durante este estudio (Tabla 8.4). También en ese área se observaron numerosos mariscadores capturando ejemplares de especies comerciales de moluscos bivalvos, tales como: perrillo (*Venerupis aureus*), berberecho (*Cerastoderma edule*) y navaja (*Solen marginatus*).

Tabla 8.3. *Cymodocea nodosa*. Biomasa media para cada estación de muestreo. Agosto de 2000. P F: peso fresco (g/m²); P S: peso seco (g/m²); P C: peso calcinado (g/m²); P S S C: peso seco sin cenizas (g/m²).

Estación	P F	P S	P C	P S S C
Cy 2	298,94±143,86	40,17±18,11	19,79±9,03	19,79±9,03
Cy 3	50,38±62,91	8,22±10,44	4,22±5,51	4,22±5,51
Cy 4	370,27±58,38	56,50±10,71	26,36±5,94	26,36±5,94
Cy 5	498,86±126,51	100,01±29,84	37,80±11,89	37,80±11,89
Cy 6	445,94±115,93	75,98±17,08	30,96±6,62	30,96±6,62
Cy 7	627,52±276,76	98,64±36,48	38,17±14,88	38,17±14,88
Cy 8	735,26±211,20	127,58±34,67	51,49±11,76	51,49±11,76
Cy 9	68,92±63,01	12,59±11,63	5,29±4,73	5,29±4,73
Cy 10	242,55±36,90	52,92±7,62	19,16±3,00	19,16±3,00
Cy 11	283,73±94,17	45,21±16,03	19,68±6,83	19,68±6,83
Cy 12	78,70±52,45	18,20±9,99	5,12±2,79	5,12±2,79
Cy 13	271,28±55,72	57,56±9,03	20,55±3,82	20,55±3,82

Tabla 8.4. *Caulerpa prolifera*. Biomasa media para cada estación de muestreo. Agosto de 2000. P F: peso fresco (g/m²); P S: peso seco (g/m²); P C: peso calcinado (g/m²); P S S C: peso seco sin cenizas (g/m²).

Estación	P F	P S	P C	P S S C
Cy 5	25,94±33,08	6,68±8,27	2,50±3,24	4,18±5,12
Cy 6	77,73±66,12	20,38±18,21	9,91±9,51	10,47±8,72
Cy 7	108,28±157,08	22,82±32,53	9,68±14,29	13,14±18,27
Cy 8	58,59±100,58	12,46±21,03	6,02±10,29	6,44±10,74
Cy 11	113,41±110,79	24,09±21,50	9,26±8,93	14,83±12,57
Cy 12	19,58±23,45	5,74±6,64	1,52±1,72	4,22±4,93

8.4 PROPUESTA DE PROTECCIÓN

En la bahía exterior de Cádiz encontramos dos especies vegetales que forman praderas, el alga clorofícea *Caulerpa prolifera* y la fanerógama *Cymodocea nodosa*. Después de los estudios llevados a cabo, encontramos que estas praderas vegetales presentan menor interés ecológico, así como menor extensión que en la bahía interior. Aún siendo de menor interés ecológico, es de reseñar la presencia de *C. nodosa*, una fanerógama que no se encontró en el saco interior. Esta pradera se asienta sobre una zona poco profunda, por lo que la iluminación es muy intensa. Sin embargo, se trata de una pradera de poca entidad en la que se aprecian manchas despobladas y poco desarrollo de la especie, sobre todo en su extremo sur. Aunque la biomasa parece elevada en comparación con la de *C. prolifera*, se debe a que *C. nodosa*, por tratarse de una fanerógama, tiene raíces verdaderas muy desarrolladas. Los ecosistemas más ricos de *Z. marina* y *Z. noltii* de la bahía interna (ausentes en la bahía externa), se producen por las condiciones de poca profundidad, su alta protección contra la acción humana al estar en zonas casi inaccesibles a las embarcaciones y la protección contra los temporales en sus localizaciones y el sedimento fangoso del fondo, propio de zonas poco alteradas por el oleaje. Sin embargo, en la bahía externa se dan varios factores que dificultan el desarrollo de praderas más sensibles, como son las fanerógamas. El primero de ellos es la presencia de mayor profundidad, impidiendo que llegue al fondo la luminosidad requerida por estas plantas. Otro factor que probablemente limite la aparición de praderas de fanerógamas en el saco externo de la bahía de Cádiz es la turbidez del agua, casi siempre muy elevada en la zona cercana a la desembocadura del río Guadalete, que es también una de las zonas de menor profundidad. Además, la incidencia de los temporales es directa, especialmente en zonas someras, donde el oleaje llega a combatir fuertemente.

También es menor la superficie de las praderas encontradas en la bahía exterior, siendo algunos de los motivos los mismos que los expuestos para la menor riqueza ecológica (profundidad, turbidez y temporales), aunque podemos encontrar alguna causa adicional. Utilizando el *sonar de barrido lateral*, se pueden observar las marcas producidas por los arrastros ilegales, en el fondo de la bahía exterior. Una de estas zonas coincide con la distribución de la pradera en octubre de 1999, sobre todo en su parte norte. En las numerosas salidas de toma de muestras realizadas, se han detectado muchos barcos de pequeñas dimensiones arrastrando en estas zonas. Puede ser uno de los motivos para la disminución del 67 % de la superficie de la pradera, entre octubre de 1999 y junio de 2000. La bahía de Cádiz está fuertemente explotada, sobre todo por pescadores no profesionales, casi siempre actuando fuera de la ley. Además del daño que hace una sobreexplotación desmedida de los recursos vivos, el arte de arrastre perjudica muy seriamente, si no deteriora por completo, la comunidad bentónica. Cuando se pesca arrastrando se remueve totalmente el fondo, arrasando todo lo que se encuentra a su paso. *Caulerpa prolifera* tiene un poder de regeneración relativamente alto en comparación con las Zosterales o *C. nodosa*, que son más sensibles a los cambios en las condiciones ambientales y cuyo ecosistema asociado es mucho más delicado y rico. Podría hacerse una gradación en la riqueza del ecosistema con estas cuatro especies; el de mayor biodiversidad es el formado por *Zostera marina*, seguido por *Zostera noltii* y *C. nodosa* y por último el formado por *Caulerpa prolifera* (Aula del Mar de Málaga, 1998).

Al estudiar la clara disminución de la superficie de la pradera de *C. prolifera* entre octubre de 1999 y junio de 2000, podemos encontrar que en los meses precedentes al primer muestreo, no se registraron temporales fuertes que pudieran afectar a la pradera. Las primeras lluvias otoñales se produjeron en la última quincena de septiembre de 1999, con el consecuente aporte de nutrientes a la bahía por escorrentía de aguas continentales, procedentes fundamentalmente del río Guadalete. Esto dio lugar a un importante bloom fitoplanctónico, ya que la intensidad de luz en esta época del año es todavía lo suficientemente elevada como para que las poblaciones de microalgas puedan asimilar los nutrientes en el proceso fotosintético. La pradera de algas, puede verse también beneficiada en esas condiciones óptimas. Si a esto unimos los valores adecuados de temperatura durante el verano y hasta la fecha, podemos decir que en el muestreo realizado en octubre de 1999, la pradera de *C. prolifera* se encontraba en muy buenas condiciones de desarrollo. Por otro lado,



observamos que entre esa fecha y el muestreo de junio de 2000 los temporales fueron muy numerosos. Estos pueden afectar de dos maneras a la *C. prolifera*. En primer lugar la acción abrasiva del oleaje, que puede arrancar al alga, unida al fondo sólo por un pequeño rizoma. Además la formación de una capa nefeloide, de espesor variable según la intensidad del temporal, fue observada en el muestreo de final de noviembre de 1999 (captura de navajas realizada por el equipo de submarinistas). Esta capa impide la llegada de luz a los organismos autótrofos, que pasarían a descomponerse rápidamente. Se forma principalmente en las cercanías de la desembocadura del río, lugar de donde desaparece la pradera, ya que los aportes continentales por escorrentía son más continuos e intensos, lo que implica un aumento en la turbidez del agua.

A la hora de plantearnos la protección de las praderas vegetales de la bahía exterior, nos encontramos con que están afectadas tanto por factores naturales, como los temporales, la turbidez, la batimetría de la zona, que no podemos manejar, como por factores humanos, difícilmente previsibles y regulables en la situación actual. Con respecto a los primeros, hemos visto que juegan un importante papel a la hora de delimitar la superficie donde se encuentran diseminadas, así como en cuanto a su biomasa, variando notablemente estos parámetros a lo largo del año de estudio. En cuanto a la acción humana, existe una alternativa, ensayada en otros lugares, que es la inmersión de arrecifes artificiales disuasorios. Este tipo de arrecifes, está diseñado para enganchar con facilidad un arte de arrastre y no moverse con la fuerza del barco. La profundidad a la que pueden colocarse, se limitaría a la zona norte de la pradera, excluyendo el canal de navegación de entrada al puerto comercial. Los módulos de protección podrían ser de reducidas dimensiones, al tratarse de redes y embarcaciones de pequeño tamaño. La colocación de arrecifes artificiales, o al menos la prohibición y control de la pesca ilegal en la zona frente a la playa de Levante, repercutiría en una mejora de la calidad medioambiental de la bahía, y por tanto, podría aumentar los recursos vivos explotables.



9. BANCOS NATURALES DE MOLUSCOS BIVALVOS

9.1 INTRODUCCIÓN

En la bahía de Cádiz se capturan habitualmente algunas especies de moluscos de interés comercial, concretamente navaja y coquina de arena, y en algunos casos berberecho. Algunos mariscadores llevan a cabo la extracción de navajas mediante buceo en apnea, lo que apunta a una extensión amplia del recurso. Así mismo los temporales fuertes en otoño e invierno, producen a veces importantes mortandades de moluscos, indicando que la zona submareal de la playa de Valdelagrana es muy rica en moluscos. Esto se evidenció especialmente tras el derrame de gasoil del buque J. P. Bobo, ocurrido durante un temporal en noviembre de 1997, produciendo mortandades muy notables.

Son escasos los estudios sobre los moluscos de la bahía exterior realizados (Campos, 1992). Hasta ahora no son bien conocidas las especies que la habitan, ni su importancia real. Salvo lo indicado en el párrafo anterior, no existen pescadores interesados en los moluscos de la bahía, hecho que puede haber preservado bastante bien los recursos. Quizás el motivo sea que en los puertos pesqueros de la zona la pesca de peces, usualmente de mayor valor que la de moluscos, ha centrado la actividad de este sector en las últimas décadas. La notable disminución de caladeros distantes y de barcos de gran tonelaje en El Puerto de Santa María y en el resto de los puertos de la bahía de Cádiz, está motivando una transformación de la actividad de estos pescadores hacia la pesca artesanal, que podría incluir la futura captura de moluscos en caso de que éstos fueran abundantes.

En otros lugares de Andalucía -como la costa de Huelva o la de Almería- es la chirla la especie que, con mayores rendimientos tanto en volumen de capturas como en número de personas dedicadas, ha tenido importancia tradicionalmente y en la actualidad, como se desprende de los datos de desembarco y ventas en la mayoría de los puertos (Márquez *et al.* 1999).

En el caso de la coquina de arena, la restricción de su hábitat a zonas arenosas someras batidas por el oleaje, implica una menor importancia en volumen de capturas respecto de otros recursos. A pesar de ello, la buena aceptación en el mercado así como su nula o escasa presencia en otras costas españolas, le otorgan un valor excepcional entre los recursos marisqueros del litoral de Huelva.

Otra especie como la navaja, es un recurso que ha experimentado un aumento de su valor económico en estos últimos años al incrementar la demanda para el consumo humano, mientras que anteriormente su principal uso era como cebo de pesca. Esto hace interesante conocer la magnitud del recurso y su importancia.

La legislación comunitaria, nacional y autonómica sobre la captura de moluscos es bastante amplia, habiéndose incluido la bahía de Cádiz como la zona AND 1-09, aunque sólo abarcó al saco de la bahía de Cádiz, marismas y caños, teniendo como límite el río San Pedro con sus marismas y salinas, pero no incluye la playa de Valdelagrana como zona de producción de moluscos (Orden de 15.VI.93 de la Consejería de Agricultura y Pesca de la Junta de Andalucía). Modificaciones posteriores a esa Orden denominaron nuevamente las zonas: 1.14 Río San Pedro; 1.15 Caño S. Petri y 1.16 Saco Interior de la Bahía.

El presente estudio pretende acercarse al conocimiento de los bancos naturales de moluscos bivalvos y especialmente la localización de especies comerciales, determinación de la dinámica poblacional, abundancia, así como la obtención de otros datos de interés que pueda contribuir a una regulación de estos recursos marisqueros. Los objetivos específicos de este estudio son pues los siguientes:



Localización de los bancos naturales de moluscos bivalvos de posible valor comercial de la bahía de Cádiz y posterior cartografiado.

Determinación de parámetros que definan la estructura de la comunidad: densidad y biomasa de la población, riqueza específica, abundancia relativa y grado de presencia de las especies.

Estudio de la dinámica poblacional en los bancos naturales de bivalvos comerciales.

9.2 METODOLOGÍA DE MUESTREO

9.2.1 ARTES EMPLEADAS

Para la captura de ejemplares de moluscos en zona submareal, se utilizó un rastro de 70 cm de anchura y 12 cm de longitud de dientes, con una luz de malla de 20 mm en la zona anterior y 10 mm en la posterior (Figura 9.1). El rastro, remolcado por barco, cubría una distancia estimada en unos 50 metros en cada uno de los puntos de muestreo, localizados mediante GPS diferencial. A partir de los muestreos de marzo de 2000 se dispuso de una aplicación informática asociada al GPS diferencial que permitió recorrer esa distancia con exactitud.

Durante el año 1999 también se recogieron muestras utilizando la draga de cuchara tipo Van Veen la cual abarca una superficie de 0,025 m² y permite el estudio cuantitativo de la infauna bentónica (Figura 9.1). Esta draga se lanzó seis veces en cada estación, cinco para lograr el área mínima de muestreo recomendado para infauna bentónica (0,1 m²) y una más para conseguir muestra para el análisis del sedimento.

Para la captura de ejemplares de coquina de arena (*Donax trunculus*) se usó el denominado "tala-dro", arte utilizado por los mariscadores de la costa de Huelva para zonas intermareales y que consiste en un rastro de 0,5 metros de anchura arrastrado desde un palo de madera por dos hombres con ayuda de un arnés de sujeción. Este arte carece de dientes y la penetración en el sustrato es mediante el borde afilado (Figura 9.1).

Por otra parte, para abordar el estudio del banco de navaja (*Solen marginatus*) y debido a las características peculiares de su captura, los ejemplares fueron obtenidos por varios procedimientos:

- ✓ Compra a mariscadores que las extraían mediante buceo en apnea, utilizando una varilla metálica de unos 75 cm de largo, 2 mm de grosor y punta en forma de cono de unos 4 mm en su parte más ancha. También en los meses de veda, mediante autorización, se realizó la captura en bajamar escorada por parte de los componentes de nuestro equipo, utilizando el mismo tipo de varilla que los mariscadores.
- ✓ En dos ocasiones (noviembre-99 y julio-00) se contó con el apoyo de un equipo de submarinistas compuesto por cuatro miembros, con un doble fin: por un lado, además de la zona habitualmente muestreada, se pretendía recolectar navajas de la zona submareal. Por otro, los muestreos se hicieron de forma cuantitativa, utilizando para ello marcos que definen la unidad de muestreo de 1 m², procurando recolectar todos los individuos de esa superficie.

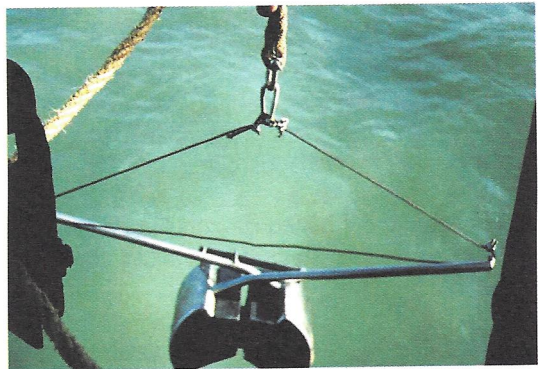


Figura 9.1. Métodos y artes empleados en los muestreos.

9.2.2 MUESTREOS REALIZADOS EN 1999

9.2.2.1 Estrategia de Muestreo

El período de recogida de muestras comenzó el 28 de julio de 1999 finalizando el 22 de noviembre del mismo año, realizándose un total de 32 salidas en barco. Con los datos obtenidos se procedió a:

- ✓ Identificar las especies de moluscos bivalvos presentes en la bahía de Cádiz, su localización espacial, grado de presencia, abundancia relativa y distribución de frecuencia de tallas
- ✓ Determinar la estructura de la comunidad de bivalvos mediante los siguientes parámetros: riqueza específica de las estaciones de muestreo e índice de diversidad de Shanon
- ✓ Identificar las especies de fauna acompañante, clasificándolas según su abundancia
- ✓ Establecer las especies que forman bancos naturales de interés comercial
- ✓ Estimar los parámetros poblacionales: densidad (i/m^2) y biomasa (g/m^2) de todas las especies de bivalvos capturadas mediante draga Van Veen.

9.2.2.2 Estaciones de Muestreo

Para la realización de los muestreos con rastro y draga de Van Veen se establecieron 6 transectos paralelos a la costa, situados a profundidades de 0, 3, 6, 9, 12 y 15 metros con un total de 50 estaciones de muestreo denominadas con números del 1 al 50 (Figura 9.2)

Una vez comenzada la campaña de recogida de muestras mediante rastro remolcado, se observó que en la zona de Valdelagrana aparecían ejemplares de algunas especies comerciales, tales como chirla (*Chamelea gallina*), perrillo (*Venerupis aureus*) y berberecho (*Cerastoderma edule*), por lo que se consideró oportuno incluir otras trece estaciones distribuidos entre los 3 y 6 metros de profundidad (denominados con letras, Figura 9.2).

El estudio del banco de coquina de arena se circunscribe a las estaciones situadas en la zona intermareal de las playas de Levante y Santa Catalina (Figura 9.2, estaciones 1, 2, 3, 4, 5, 15, 16, 17 y 18).

Para el estudio del banco de navajas se seleccionaron nueve estaciones de muestreo, denominadas NA1 a NA9 y distribuidas en dos transectos paralelos a las isobatas, entre 1 y 3 metros de profundidad, frente a las playas de La Puntilla y Valdelagrana (Figura 9.3). El muestreo realizado por el equipo de submarinistas (19 de noviembre de 1999) se hizo en cinco estaciones de las nueve seleccionadas.

9.2.2.3 Procesado de Muestras

Los ejemplares procedentes de las capturas mediante rastro remolcado fueron cribados a través de un juego de tamices (el menor de ellos de una luz de malla de 2 mm). Una vez identificados por especies, se estimaron las medidas del eje antero-posterior (talla) mediante pie de rey al milímetro más cercano.

Por otra parte, los ejemplares de la macrofauna acompañante extraídos en los rastros, fueron identificados hasta nivel de especie y clasificados según su abundancia numérica en las siguientes categorías:

Muy abundante (MA)	$n > 10$
Abundante (A)	$5 < n < 10$
Presente (P)	$2 < n < 4$
Ocasional (O)	$n = 1$



En el caso de los individuos capturados con dragas fueron cribados por un juego de tamices (el menor de ellos con luz de malla de 1 mm). Una vez identificados se midieron las tallas de la forma ya indicada, estimándose posteriormente la densidad poblacional (i/m^2) y biomasa en peso fresco (g/m^2) para cada una de las especies de moluscos bivalvos presentes.

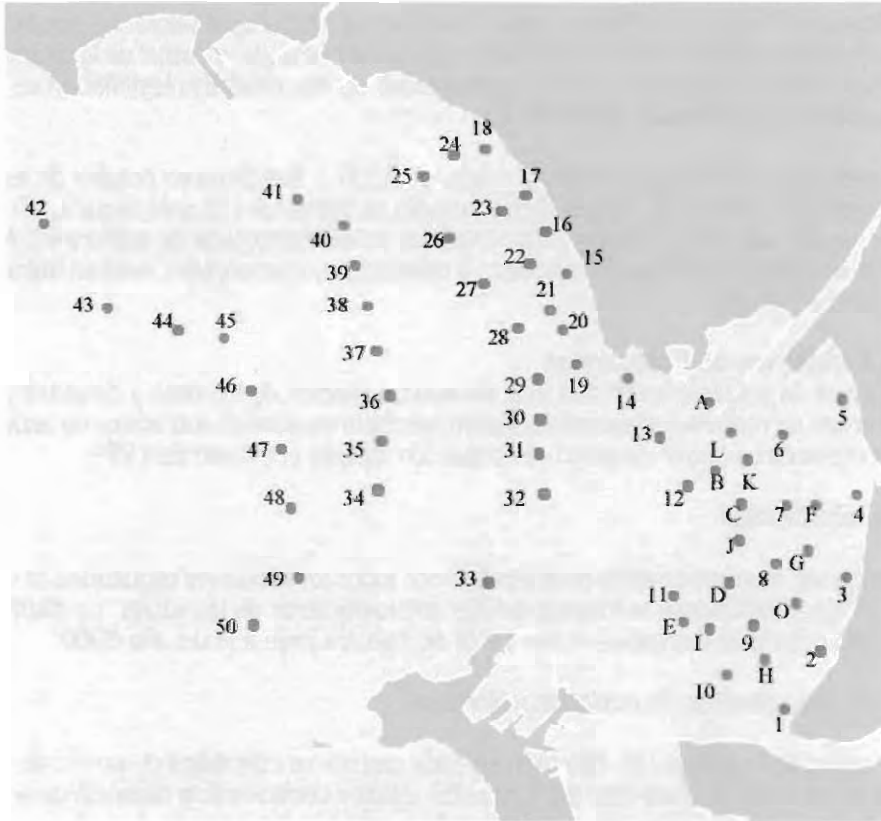


Figura 9.2. Estaciones de muestreo. Banco de moluscos bivalvos



Figura 9.3. Estaciones muestreo del banco de *Solen marginatus*. Submarinistas

9.2.3 MUESTREOS REALIZADOS EN 2000

En el año 2000 los muestreos se centraron en el estudio de los bancos naturales de tres especies comerciales encontrados durante el estudio de 1999, es decir, *Chamelea gallina* (chirla), *Donax trunculus* (coquina de arena) y *Solen marginatus* (navaja).

Durante el año 2000 se abordaron nuevos objetivos encaminados a valorar las posibilidades de explotación comercial de estos bancos naturales, mediante el estudio mensual de la dinámica de las poblaciones y estado gonadal así como el cartografiado de los resultados (estimación de biomasa, densidad poblacional y relaciones biométricas).

Los muestreos comenzaron el mes de marzo de 2000 y finalizaron en octubre de ese mismo año, realizándose un total de 31 salidas para el estudio de moluscos (12 para coquina, 10 para chirla y 9 para navaja). Todas las muestras fueron lavadas en el mismo lugar de captura y colocadas a continuación en neveras portátiles, trasladadas a laboratorio y conservadas vivas en frigorífico a 4º C hasta su procesamiento.

9.2.3.1 Dinámica de Poblaciones

La dinámica de poblaciones (distribución de tallas, variación de biomasa y densidad y determinación del grado de maduración sexual) se realizó mediante muestreos mensuales en aquellas estaciones que presentaron mayor densidad de población durante el estudio de 1999.

Distribución de tallas

La distribución mensual de tallas se determinó con todos los individuos capturados en cada estación de muestreo, midiéndose la longitud del eje antero-posterior de las valvas. La distribución de tallas obtenida durante la campaña del año 1999 se muestra junto a la del año 2000.

Variación de la densidad de población y biomasa

En los casos de *C. gallina* y *D. trunculus*, en cada captura se contabilizó el número de individuos recolectados, así como su peso total (g). Con estos datos y conociendo la distancia de arrastre, se estimaron los valores mensuales de densidad poblacional (i/m^2) y biomasa (g/m^2) para con ellos determinar la posible variación temporal.

A continuación se describe la nueva estrategia de muestreo seguida en cada uno de los bancos estudiados:

- *Chamelea gallina* - Se seleccionaron 5 estaciones de muestreo (7, 8, 9, 13 y A) por su mayor densidad poblacional, situadas a profundidades comprendidas entre 3 y 6 metros (Figura 9.2). Las capturas se realizaron mediante rastro remolcado desde embarcación, siendo la distancia de arrastre 50 metros calculada mediante GPS diferencial. Los muestreos mensuales se llevaron a cabo con valores de coeficiente mareal de 0,6.

- *Donax trunculus* - Las estaciones de muestreo (1, 2, 3 y 4) fueron seleccionadas por su mayor densidad poblacional, estando situadas en la zona intermareal de la playa de Levante (Figura 9.2). Estos muestreos mensuales fueron realizados en condiciones de bajamar con coeficiente de marea de 0,9. La distancia de arrastre con el taladro fue de 10 metros y se realizaron dos réplicas por estación.

- *Solen marginatus* - La zona seleccionada fue aquella donde los mariscadores capturan habitualmente los ejemplares de esta especie, situada en los márgenes de la desembocadura del río San Pedro y conocida como Bajo de la Cabezuela.

Como ya ha sido comentado con anterioridad, las muestras mensuales fueron tomadas mediante varilla específica para capturar esta especie.

Grado de maduración gonadal y "sex-ratio"

Cada mes se eligieron los individuos de mayor talla (70 ejemplares de *Chamelea gallina*, 92 de *Donax trunculus* y 50 de *Solen marginatus*) para establecer:

- La proporción de sexos: la diferenciación de sexos se hizo mediante frotis gonadal y observación al microscopio de los productos sexuales.
- El estado de maduración sexual, mediante observación del aspecto macroscópico de las gónadas y asignación de un índice gonadal.

El índice gonadal utilizado es el establecido por M. Ramón (1993). La clasificación es la siguiente:

ESTADO A: El sexo no puede determinarse. La gónada carece de coloración. Por raspado sólo se obtienen restos de tejidos no identificables al microscopio. Esta fase se corresponde con la de reposo sexual.

ESTADO B: La gónada comienza a volverse opaca. Se encuentran algunos espermatozoides y ovocitos maduros en el lumen folicular, de forma que el sexo puede ya determinarse por el examen microscópico de los frotis gonadales. Esta fase comprende el inicio y desarrollo de la maduración.

ESTADO C: La gónada está opaca, hinchada y coloreada. Los productos sexuales se esparcen con facilidad al hacer una pequeña incisión. Esta fase se corresponde con la madurez sexual.

ESTADO D: La gónada permanece coloreada y opaca pero ha perdido volumen. Microscópicamente se observan gametos maduros y en desarrollo, pues en los bivalvos es habitual que la puesta se efectúe de forma escalonada. Esta fase se corresponde con la puesta y postpuesta.

9.2.3.2 Estudio Transversal de los Bancos Naturales

Por último, para abordar el objetivo del cartografiado de las poblaciones se llevó a cabo en el año 2000 un muestreo en todas aquellas estaciones donde se capturaron ejemplares de estas tres especies durante el estudio del año 1999, realizándose la estimación de la densidad poblacional y biomasa con el fin de conocer la situación del banco respecto a la del año anterior. Así mismo, se establecieron los principales parámetros biométricos para estas especies.

Cartografiado del banco

- *Banco de chirla*- Se realizó una tanda de muestreo de dos semanas de duración en las 41 estaciones en las que se detectó presencia de *Chamelea gallina* durante el estudio del año 1999 (Mapa 9.1, anexo).

- *Banco de coquina*- La zona de estudio correspondió a la franja infralitoral entre 0 y 3 metros de profundidad. En la zona intermareal se seleccionaron 9 estaciones situadas en las playas de Levante y Santa Catalina (1, 2, 3, 4, 5, 15, 16, 17 y 18). En la zona submareal se fijaron 13 nuevas estaciones denominadas con la letra D (Donacidae) seguida de dos números: el primero corresponde a la profundidad de la isobata y el segundo al número de orden designado (Figura 9.4).



Los muestreos duraron cinco días, los correspondientes a la zona intermareal se realizaron con coeficiente de marea alto (0,9) y en el caso de la zona submareal los valores de coeficiente mareal fueron medios (0,6).

Las coordenadas de los puntos de muestreo en la zona submareal se determinaron *in situ* mediante GPS portátil modelo GARMIN, calculándose previamente la altura real de marea correspondiente al día y hora de muestreo, según las indicaciones del Libro de marea año 2000. En las estaciones donde no podía utilizarse el taladro, a profundidad de 3 metros, se usó el rastro remolcado desde embarcación neumática. La distancia de arrastre fue de 10 metros y se realizaron dos réplicas por estación.



Figura 9.4. Estaciones muestreo del banco de *Donax trunculus*. Año 2000

- *Banco de navaja*- Las estaciones de muestreo fueron las seleccionadas para el estudio cuantitativo en noviembre de 1999 (NA1 a NA9, Figura 9.3), además de aquellas estaciones en las que se extrajo algún individuo con el rastro durante el año 1999, es decir, las estaciones 26, 46 y A. Los ejemplares fueron capturados por el equipo de submarinistas, siendo el área de muestreo en cada estación de 1 metro cuadrado estimado mediante el lanzamiento de un cuadrado que comprende dicha superficie. Se realizaron dos réplicas por estación.

Parámetros biométricos

Para establecer los principales parámetros biométricos, en el caso de las especies *C. gallina*, *D. trunculus* y *S. marginatus*, se tomaron diez ejemplares de cada una de las tallas presentes. Con ello se procedió a la estimación de:

- Eje dorsoventral o altura (mm) de las valvas
- Anchura o grosor (mm) de las valvas
- Peso vivo individual (g). Se tomó con las valvas cerradas
- Peso escurrido (g). Se cortaron con un bisturí los músculos abductores del animal y se dejaron con las valvas abiertas durante unos 20 minutos sobre papel secante para eliminar el agua intervalvar



- Peso fresco carne (g). Con cuidado se separaron la masa visceral y las valvas, la carne se colocó en un cestillo de papel de aluminio previamente tarado
- Peso de las valvas (g)
- Peso seco de la carne (g). Se obtuvo después de mantener las muestras en estufa a 100° C durante 24 horas, pasado este tiempo se colocaron en un desecador hasta su enfriamiento.

Las medidas de longitud se realizaron con pie de rey al milímetro más cercano y los pesos hasta 0,001g. A partir de estos parámetros se determinaron las siguientes relaciones biométricas:

- Talla - eje dorsoventral
- Talla - eje inflexión de las valvas
- Talla - peso vivo individual

El cálculo de estas relaciones se efectuó mediante ajuste a ecuaciones de regresión. Además junto con las anteriores relaciones se obtuvieron los índices de condición relativos a la época del estudio. Éstos son utilizados como índices de calidad del molusco con relación a su contenido en carne, calculándose los siguientes:

$$\begin{aligned} \text{IC1} &= [P \text{ seco carne (g)} / \text{Peso valvas (g)}] \times 100; \text{IC2} = [P \text{ seco carne (g)} / (\text{P vivo} - \text{Peso valvas (g)})] \times 100; \\ \text{IC3} &= [P \text{ fresco carne (g)} / \text{Peso valvas (g)}] \times 100; \text{IC4} = [P \text{ fresco carne (g)} / (\text{P vivo} - \text{Peso valvas (g)})] \times 100; \\ \text{IC5} &= [P \text{ seco carne (g)} / \text{Peso vivo (g)}] \times 100; \\ \text{IC6} &= [P \text{ fresco carne (g)} / \text{Peso vivo (g)}] \times 100; \text{IC7} = [P \text{ seco carne (g)} / \text{Talla}^3] \times 100; \end{aligned}$$

9.3 RESULTADOS

9.3.1 CAMPAÑA 1999

En algunas estaciones se repitieron los muestreos, ya sea por réplica del rastro durante el mismo día, bien por haber sido visitadas en distintas fechas. Esto ocurre en el caso de las estaciones 1, 2, 3, 4, 5, 8, 13, 25, 26 y 27 por lo que para el tratamiento posterior de los datos, se utilizó la media estimada de los efectivos de cada especie en estas estaciones.

9.3.1.1 Relación de Especies de Moluscos Bivalvos

A continuación se relacionan las especies recolectadas en la bahía de Cádiz pertenecientes a la Clase *Bivalvia* (* comerciales):

-
- Familia *Nuculidae*:
 - Nucula nucleus* (nuececilla)
 - Nucula tenuis*
 - Familia *Mytilidae*:
 - Modiolus barbatus*
 - Familia *Arcidae*:
 - Anadara corbuloides*
 - Familia *Pectinacea*:
 - Clamys sp.*
 - Familia *Pinnidae*:
 - Pinna pectinata*



Familia <i>Limidae</i> :	
<i>Lima hians</i>	
Familia <i>Anomiidae</i> :	
<i>Anomia ephippium</i>	(ostra de perro)
Familia <i>Ostreidae</i> :	
<i>Crassostrea angulata</i>	(ostión) *
Familia <i>Cardiidae</i> :	
<i>Cerastoderma edule</i>	(berberecho o verdigón) *
<i>Acanthocardia tuberculata</i>	(curruco) *
<i>Acanthocardia echinata</i>	
<i>Acanthocardia aculeata</i>	
<i>Pavicardium exiguum</i>	
Familia <i>Veneridae</i> :	
<i>Chamelea gallina</i>	(chirla) *
<i>Venerupis aureus</i>	(perrillo) *
<i>Pitar rude</i>	
<i>Dosinia lupinus</i>	(duro)
<i>Venus verrucosa</i>	
Familia <i>Donacidae</i> :	
<i>Donax trunculus</i>	(coquina de arena) *
Familia <i>Tellinidae</i> :	
<i>Tellina tenuis</i>	
<i>Tellina incarnata</i>	
<i>Tellina distorta</i>	
<i>Tellina fabuloides</i>	
Familia <i>Solenidae</i> :	
<i>Solen marginatus</i>	(navaja o muergo) *
<i>Pharus legumen</i>	
Familia <i>Maclridae</i> :	
<i>Maclra corallina</i>	
<i>Spisula solida</i>	
Familia <i>Corbulidae</i> :	
<i>Corbula gibba</i>	
Familia <i>Pandoridae</i> :	
<i>Pandora inaequalvis</i>	

Se recolectaron individuos pertenecientes a un total de 30 especies de moluscos bivalvos, de las cuales 7 especies son comerciales, aunque sólo cinco pueden considerarse de interés: *C. gallina*, *D. trunculus*, *S. marginatus*, *V. aureus* y *C. edule*. El número de individuos recolectados de las otras dos especies –*A. tuberculata* y *C. angulata*– fue muy escaso. No obstante, las tres especies que podrían considerarse como explotables comercialmente, al tener la densidad adecuada al menos en alguna zona amplia de la bahía son *C. gallina*, *D. trunculus* y *S. marginatus*.

Por otro lado, hay que señalar que en el caso de la especie *Maclra corallina* aparecen las dos subespecies descritas en la literatura, éstas son *Maclra corallina cinerea* (parda) y *Maclra corallina corallina* (blanca). La estimación de su distribución y de los parámetros poblacionales se consideraron como una sola especie.

En estudios anteriores realizados en el saco interno de la bahía de Cádiz se encontraron 10 especies de bivalvos, de las que seis también aparecen en la bahía exterior. Las cuatro especies que no se encuentran en la zona externa son, *Loripes lacteus* y *Scrobicularia plana* (coquina de fango) normalmente presentes en fondos blandos, *Venerupis decussatus* (almeja fina) y *Venerupis philippinarum* (almeja japonesa), asociadas a las parcelas de cultivo de moluscos presentes en el saco interno (Muñoz y Sánchez de Lamadrid, 1994).

**9.3.1.2 Relación de Especies de Fauna Acompañante**

ESPECIE	PRESENCIA
Clase: <i>Hidrozoa</i>	
<i>Halocordyle disticha</i>	O
Tipo: <i>Sipunculida</i>	
<i>Phascolion strombi</i>	P
Clase: <i>Placophora</i>	
<i>Acanthochitona communis</i> (quitón)	P
Clase: <i>Gastropoda</i>	
<i>Turritella communis</i>	P
<i>Aporrhais pes-pelecani</i>	O
<i>Calyptrea chinensis</i>	P
<i>Lunatia poliana</i>	A
<i>Ceratostoma erinaceum</i>	O
<i>Hinia reticulata</i>	A
<i>Cyclope neritea</i>	P
<i>Sphaeronassa mutabilis</i>	A
<i>Bulla striata</i>	P
<i>Aplysia punctata</i>	O
Clase: <i>Scaphopoda</i>	
<i>Dentalium sp.</i>	P
Clase: <i>Polychaeta</i>	
<i>Diopatra naepolitana</i> (gusana de canutillo)	A
<i>Protula tubularia</i>	O
Clase: <i>Crustacea</i>	
<i>Squilla mantis</i>	O
<i>Penaeus keraturus</i>	P
<i>Palaemon sp.</i>	P
<i>Upogebia pusilla</i>	A
<i>Pagurus sp.</i> (cangrejo ermitaño)	MA
<i>Ethusa mascarone</i>	A
<i>Dorippe lanata</i>	P
<i>Illia nucleus</i>	MA
<i>Macropodia longirostris</i>	P
<i>Maia squinado</i> (centollo)	O
<i>Parthenope angulifrons</i>	A
<i>Macropipus sp.</i>	MA
Clase: <i>Holothurioidea</i>	
<i>Trachythyone elongata</i>	P
Clase: <i>Echinoidea</i>	
<i>Echinocardium cordatum</i> (erizo irregular)	MA
Clase: <i>Asteroidea</i>	
<i>Coscinasterias tenuispina</i>	O
<i>Astropecten sp.</i>	MA
Clase: <i>Ophiuroidea</i>	
<i>Ophiura texturata</i> (ofiura)	MA
Clase: <i>Ascidacea</i>	
Especies no determinadas	A



ESPECIE	PRESENCIA
Clase: <i>Osteichthyes</i>	
<i>Scorpaena</i> sp. (rascacio)	P
<i>Solea senegalensis</i> (lenguado)	O
<i>Halobatrachus didactylus</i> (sapo)	A
<i>Diplodus</i> sp. (mojarra)	O
<i>Hippocampus hippocampus</i> (caballito de mar)	P
<i>Syngnathus acus</i> (pez aguja)	O

La fauna acompañante es muy rica, y algunas especies muy abundantes, como ocurre con algunos crustáceos: *Pagurus* sp., *Illia nucleus* y *Macropipus* sp.; equinodermos: *Echinocardium cordatum*, *Astropecten* sp. y *Ophiura texturata*.

9.3.1.3 Estructura de la Comunidad de Moluscos Bivalvos

En cinco de las estaciones de muestreo no se encontraron moluscos bivalvos, bien por la existencia de sedimento rocoso que impide el arrastre (estaciones 19, 20 y 35), bien porque en dichas estaciones no hubo capturas de bivalvos (estaciones 18 y 29).

En la tabla 9.1 se relacionan para cada una de las estaciones de muestreo tanto el número de especies obtenidas como el total de efectivos capturados, pudiéndose observar que es en la zona submareal (3-6 metros) de la playa de Valdelagrana donde mayor número de especies se encuentran, seguida de la zona de la playa de Santa Catalina. Con estos datos se estimó el índice de diversidad de Shanon (H), obteniéndose una mayor diversidad en esta última zona, junto a estaciones dispersas situadas a unos 12 metros de profundidad (Figura 9.5). En ninguna de las estaciones se alcanzó el valor de $H_{\max}=1,4$.

Tabla 9.1. Número de especies y total de efectivos en cada una de las estaciones de muestreo. Rastros, Julio-octubre 1999.

Estación	Nº sp.	Efectivos	Estación	Nº sp.	Efectivos
1	8	139	34	2	5
2	7	248	36	7	49
3	9	123	37	7	70
4	13	203	38	6	37
5	8	120	39	7	50
6	9	186	40	11	80
7	9	1010	41	10	185
8	11	538	42	4	49
9	8	201	43	3	20
10	7	41	44	10	48
11	8	252	45	2	2
12	7	329	46	7	7
13	12	2247	47	1	1
14	7	374	48	5	20
15	1	6	49	4	23
16	1	1	50	10	56
17	1	4	A	11	904
21	5	66	B	10	6763
22	3	11	C	12	1768
23	8	240	D	13	2543
24	5	74	E	9	652
25	12	259	F	1	1
26	8	265	G	11	394
27	9	248	H	3	11
28	1	40	I	9	109
30	4	52	J	5	20
31	2	5	K	4	7
32	3	42	L	5	152
33	5	6	M	11	1357

La localización de cada una de las especies de bivalvos capturados con rastros, se muestra en los Mapas 9.1 a 9.5 (anexo). En la tabla 9.2 aparecen las 30 especies ordenadas de mayor a menor presencia relativa (% de estaciones donde están presentes). Junto a este valor aparece tanto la abundancia relativa (ejemplares de la especie respecto al total de individuos capturados) como el intervalo de tallas presentes. A continuación se comentan los resultados de las especies más abundantes (excepto *Chamelea gallina*, *Donax trunculus* y *Solen marginatus* cuyos resultados serán comentados junto a los obtenidos en el año 2000):

Venerupis aureus su distribución se circunscribió a la zona de Valdelagrana y la Puntilla, desde la zona submareal hasta los 5 m de profundidad, estando presente en un 25% de las estaciones (Mapa 9.1, anexo). Se midieron individuos entre 8 y 34 mm (Figura 9.6).

Cerastoderma edule se encontró en un 35% de las estaciones, hallándose en la playa de Valdelagrana principalmente y puntualmente en la de Santa Catalina. Se desarrolla desde la zona submareal hasta los 7 m de profundidad (Mapa 9.1). Se encontraron individuos entre 7 y 33 mm (Figura 9.7).

De las especies no comerciales, la más importante en cuanto al grado de presencia es *Corbula gibba* (70%). Se trata del bivalvo más abundante –con diferencia– en la bahía (59%) (Mapa 9.1). Es de pequeño tamaño, no superó los 11 mm (Tabla 9.2).

Mactra corallina en sus dos subespecies, se distribuyó por toda la bahía (67%), desde la zona submareal hasta los 17 m de profundidad (Mapa 9.1). Su abundancia es algo inferior a las descritas para las especies anteriores (3%). Alcanzó una talla de hasta 45 mm (Tabla 9.2 y Figuras 9.8 y 9.9).

Otra especie con un alto grado de presencia (68%) fue *Pandora inaequivalvis* con una abundancia de 9,6% (Mapa 9.1). El intervalo de tallas obtenido está entre 10 y 28 mm (Figura 9.10).

Tellina tenuis obtuvo un grado de presencia algo menor que *M. corallina* (62%), aunque fue más abundante (4%) (Mapa 9.3. Anexo). El rango de tallas fue de 10 a 33 mm (Figura 9.11).

El resto de especies obtuvieron un grado de presencia inferior al 50%, destacando *Spisula solida* y *Acanthocardia echinata* con 48% y 38%, respectivamente (Mapa 9.2); sin embargo, no llegaron a alcanzar el 1% de abundancia, es decir fueron escasos los especímenes recolectados. Las especies con presencia del 2% indican que han sido encontradas en una sola estación, mientras que el valor 0 en abundancia relativa indica que hubo capturas de un solo ejemplar (Tabla 9.2) (Mapas 9.3 a 9.5. Anexo).

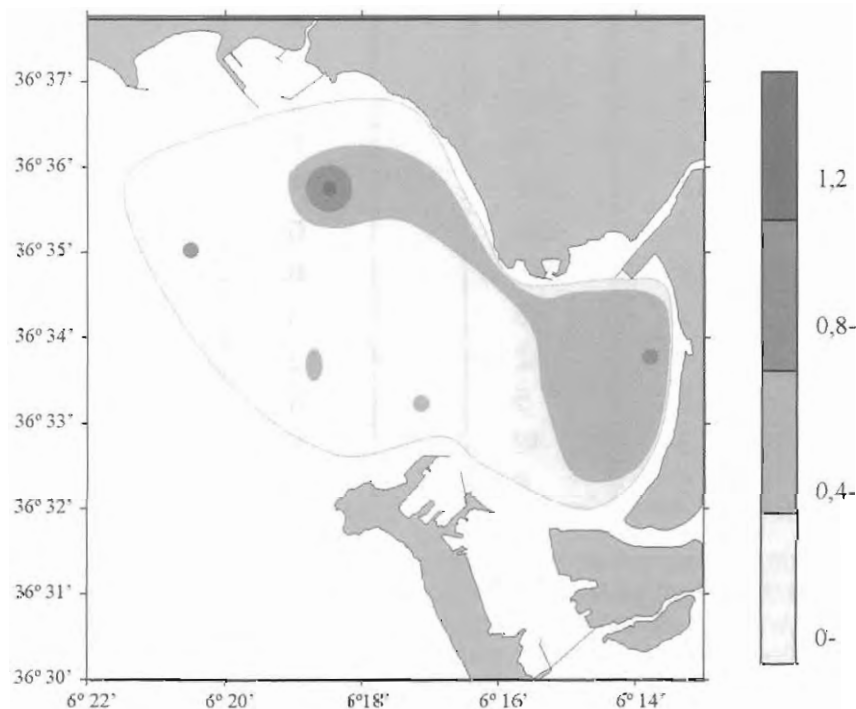


Figura 9.5. Índice de diversidad de Shannon. Julio-Octubre 1990.



Tabla 9.2. Grado de presencia y abundancia relativa de las especies capturadas con rastro. Julio-octubre 1999. N: número de individuos, T min: talla mínima, T max: talla máxima.

Especie	G. presencia	Ab. relativa	N	T min	T máx
<i>Corbula gibba</i>	70	58,6	13329	5	11
<i>Chamelea gallina</i>	68	20,1	4568	6	38
<i>Pandora inaequalis</i>	68	9,6	2175	10	28
<i>Mactra corallina</i>	67	3	682	7	45
<i>Tellina tenuis</i>	62	4,1	938	10	33
<i>Spisula solida</i>	48	0,9	211	6	22
<i>Acanthocardia echinata</i>	38	0,5	118	10	30
<i>Cerastoderma edule</i>	35	1,3	292	7	33
<i>Dosinia lupinus</i>	32	0,2	55	5	23
<i>Venerupis aureus</i>	23	0,9	198	8	34
<i>Acanthocardia aculeata</i>	20	0,1	30	10	33
<i>Tellina incarnata</i>	20	0,1	24	13	40
<i>Pharus legumen</i>	20	0,1	18	6	76
<i>Donax trunculus</i>	15	0,2	41	12	37
<i>Anomia ephippium</i>	15	0,06	14	10	46
<i>Solen marginatus</i>	12	0,04	10	55	100
<i>Tellina distorta</i>	7	0,03	7	7	14
<i>Pitar rude</i>	7	0,02	4	10	12
<i>Acanthocardia tuberculata</i>	5	0,01	2	14	41
<i>Nucula nucleus</i>	5	0,03	10	9	11
<i>Lima hians</i>	3	0,01	2	20	12
<i>Tellina fabuloides</i>	2	0	1	13	13
<i>Clamys sp.</i>	2	0	1	20	20
<i>Pavicardium exiguum</i>	2	0,01	2	8	9
<i>Nucula tenuis</i>	2	0	1	9	10
<i>Modiolus barbatus</i>	2	0	1	19	19
<i>Pinna fragilis</i>	2	0	1	15	15
<i>Anadara corbuloides</i>	2	0,01	2	24	25
<i>Crassostrea angulata</i>	2	0,01	2	32	35
<i>Venus verrucosa</i>	2	0	1	22	22

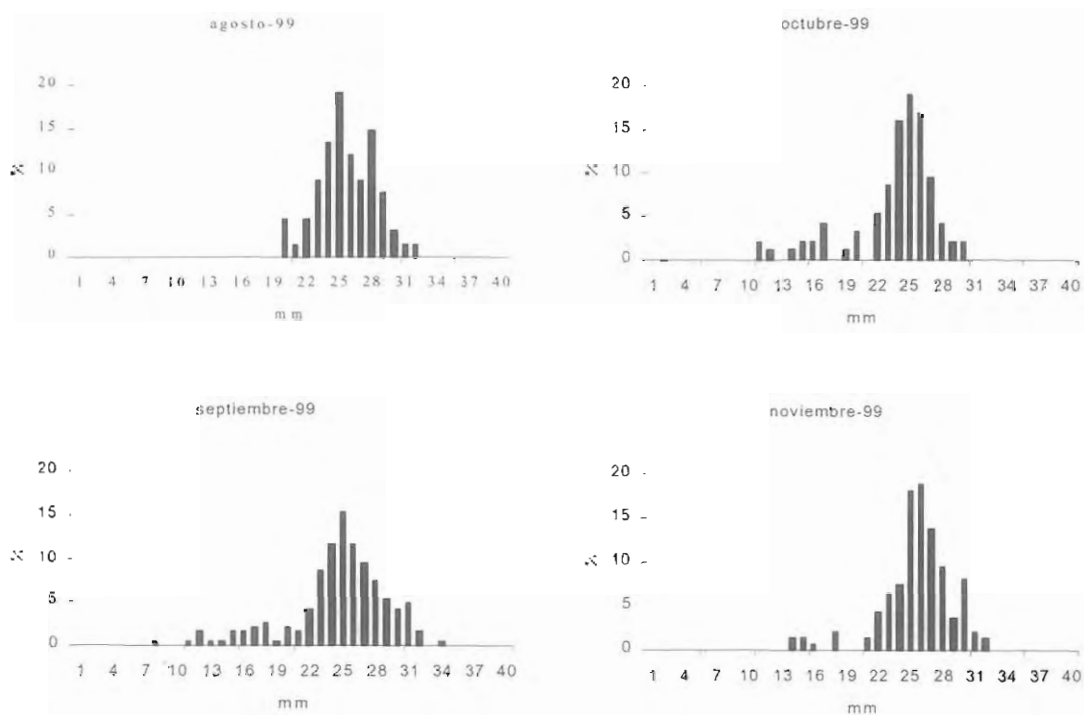


Figura 9.6. *Venerupus aureus*. Distribuciones de tallas.

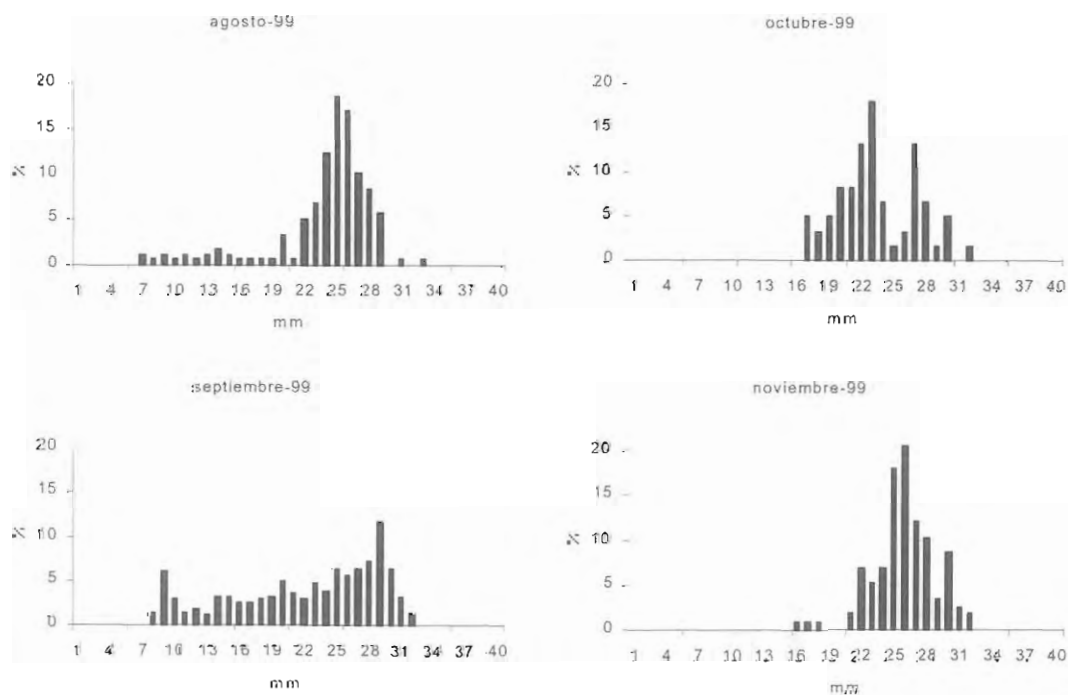


Figura 9.7. *Cerastoderma edule*. Distribuciones de tallas.

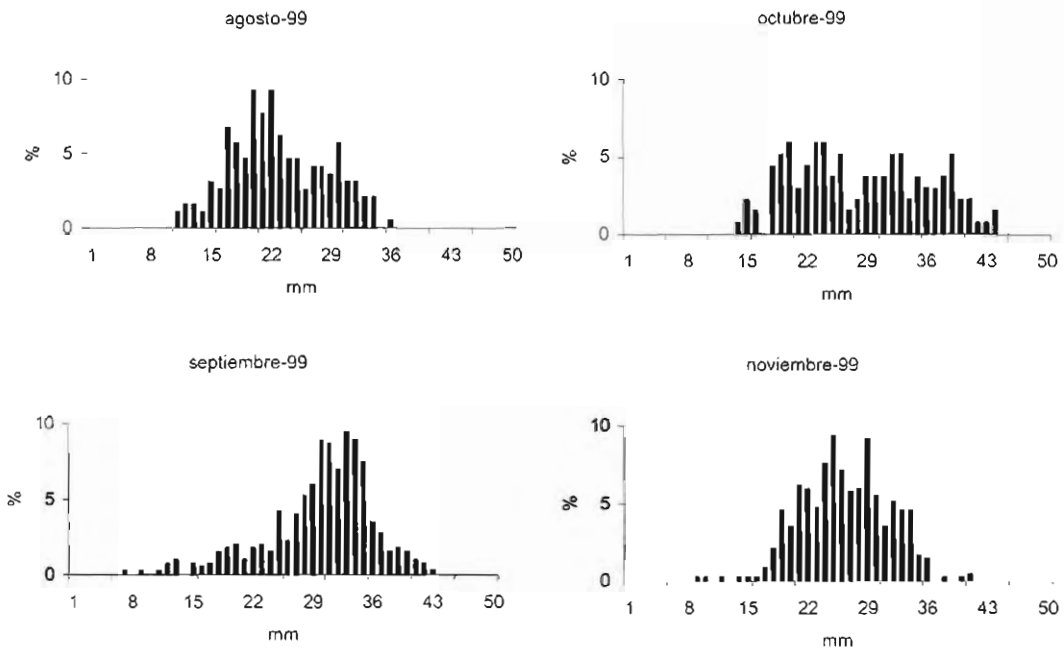


Figura 9.8. *Mactra corallina cinerea*. Distribuciones de tallas.

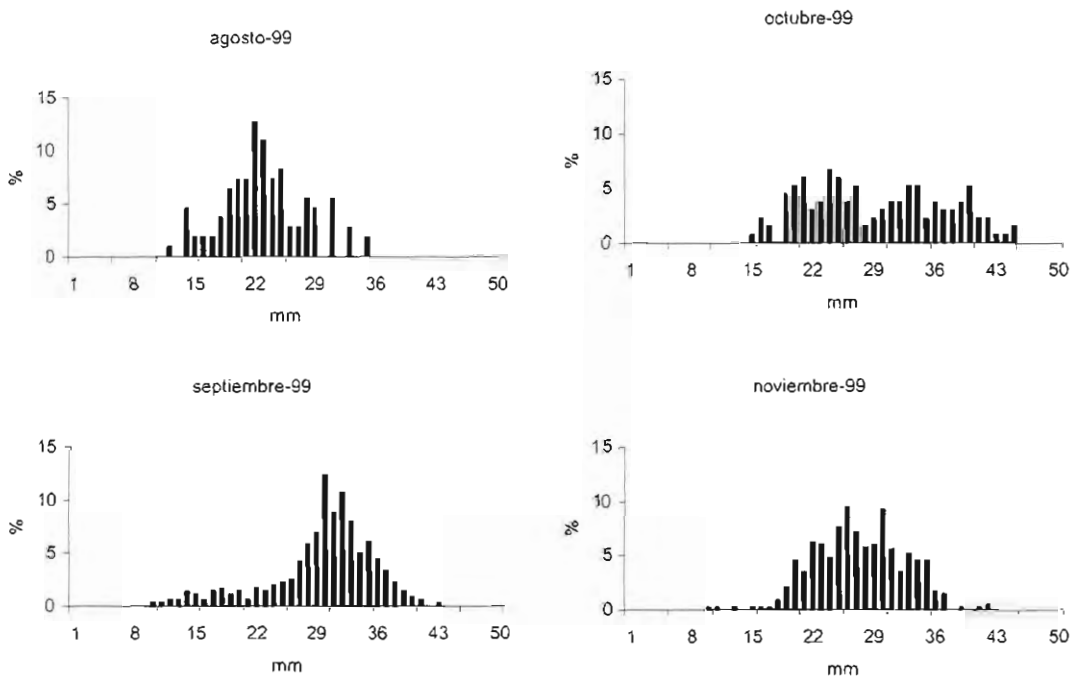


Figura 9.9. *Mactra corallina corallina*. Distribuciones de tallas.

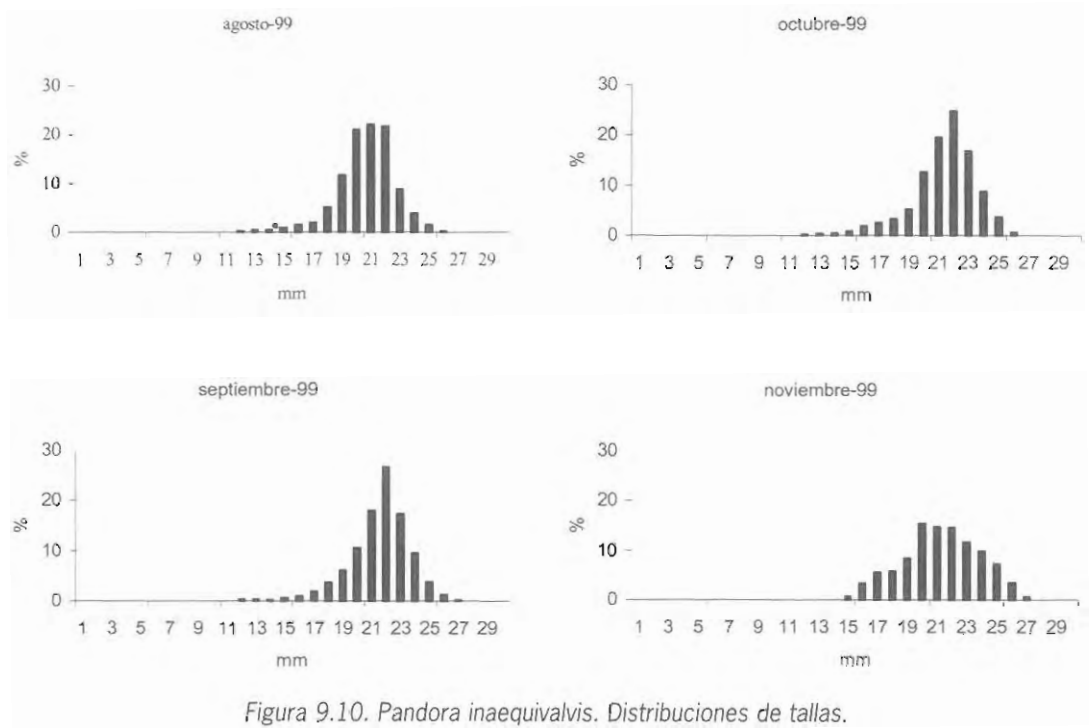


Figura 9.10. *Pandora inaequalvis*. Distribuciones de tallas.

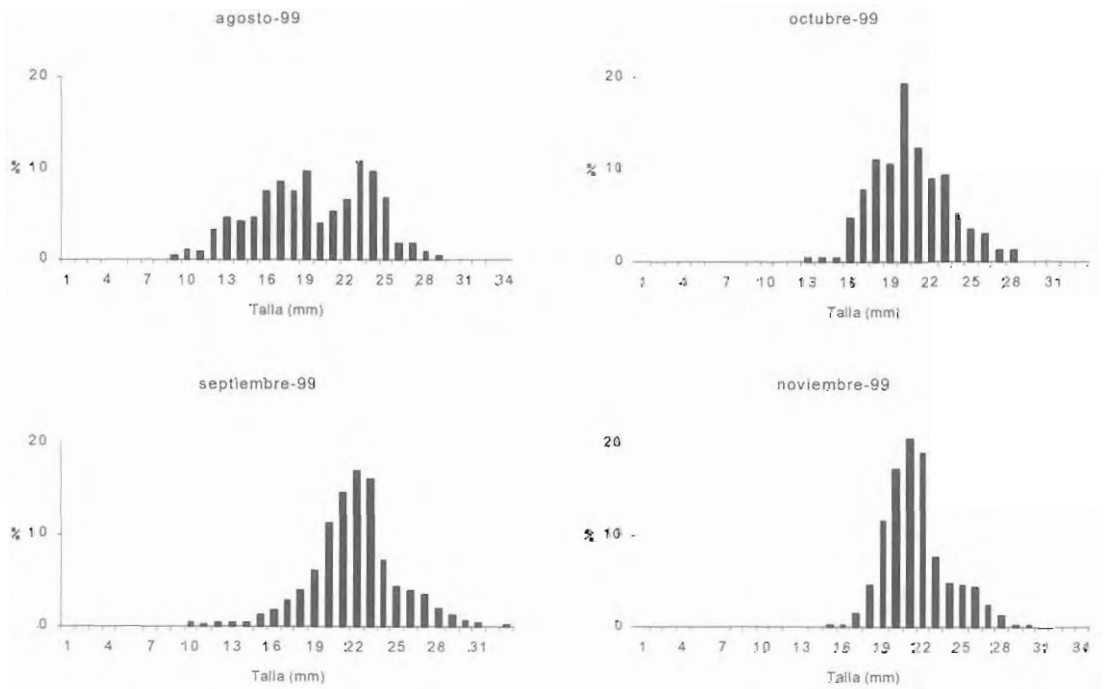


Figura 9.11. *Tellina tenuis*. Distribuciones de tallas.

9.3.1.4 Densidad y Biomasa de Moluscos Bivalvos

El estudio cuantitativo de distribución de las distintas especies de bivalvos fue realizado mediante draga Van Veen. Los resultados obtenidos muestran que la mayoría de estas especies tienen representación en la zona de la playa de Valdelagrana, en coincidencia con los datos obtenidos en los muestreos con rastros. En esta zona es donde suelen encontrarse los mayores valores de biomasa. En la parte de la bahía más expuesta al mar abierto se detectan pocas especies y generalmente con unos valores de biomasa y densidad de individuos bastante menores que en la playa de Valdelagrana. Sin embargo, en la zona de la playa de Santa Catalina se registran densidades muy altas de algunas especies.

Con este método se han capturado ejemplares pertenecientes a 17 especies. A continuación se comentan los parámetros densidad (i/m^2) y biomasa (g/m^2) estimados para cada especie y representados en los mapas 9.6 a 9.11 (anexo):

- *Acanthocardia aculeata*; apareció en dos estaciones de muestreo, en el límite externo de la bahía y cerca de la desembocadura del río Guadalete, sobre fondos de arena fina. Los valores de biomasa y de densidad son muy bajos en ambas estaciones, en comparación con otros ecosistemas donde es especie habitual. (Mapa 9.6)
- *Acanthocardia echinata*; se ha detectado en dos estaciones cercanas a la Base Naval de Rota en fondos de arena arcillosa y arena muy fina. La densidad y la biomasa en estos puntos son bajas (menor de $8 i/m^2$ y de $12 g PF/m^2$, respectivamente). (Mapa 9.6)
- *Cerastoderma edule*; apareció en las estaciones que se sitúan en la playa de Valdelagrana. Habita en distintos sustratos: arena, arena fangosa, fango o grava fangosa, desde la zona intermareal hasta los primeros metros de la zona submareal. Alcanza densidades de $52 i/m^2$ y biomasa de $184 g PF/m^2$, ambas en la estación más cercana al espigón de El Puerto. (Mapa 9.6)
- *Chamelea gallina*; presentó una amplia distribución en la bahía de Cádiz, principalmente en las estaciones correspondientes a la zona de las playas Valdelagrana y Santa Catalina. La mayoría de estas estaciones tienen fondos de arena muy fina. La densidad más alta se obtuvo en una estación cercana a Punta Bermeja, con $208 i/m^2$ (biomasa de $97,2 g PF/m^2$), mientras que los mayores valores de biomasa se registraron en las estaciones correspondientes a la desembocadura del río Guadalete ($142 g PF/m^2$) y zona frente a Valdelagrana, coincidiendo con la pradera de *Caulerpa prolifera*, a profundidades no superiores a 9 metros. (Mapa 9.7)
- *Corbula gibba*; esta especie fue la más abundante en la bahía de Cádiz. Se distribuyó prácticamente por toda ella, alcanzando densidades de más de $3000 i/m^2$ y valores de biomasa de casi $700 g PF/m^2$. La zona de mayor densidad correspondió a Valdelagrana. (Mapa 9.7)
- *Donax trunculus*; apareció en las estaciones de la zona intermareal de las playas Santa Catalina y Levante. Los valores más altos de densidad y biomasa fueron en la playa de Valdelagrana ($56 i/m^2$ y $114,8 g PF/m^2$). Esta especie habita zonas arenosas de aguas limpias. (Mapa 9.7)
- *Dosinia lupinus*; se detectó su presencia en las zonas de Valdelagrana y Santa Catalina. En la zona de Valdelagrana se encontró la máxima densidad ($64 ind/m^2$ y $44,8 g PF/m^2$). (Mapa 9.8)
- *Macra corallina*; fue detectada en las estaciones próximas a la desembocadura del río Guadalete y playa de Valdelagrana. Asimismo, es registrada su presencia en estaciones aisladas de la zona submareal del centro de la bahía. Los valores máximos de densidad y biomasa estimados fueron $112 i/m^2$ y $65 g PF/m^2$, respectivamente. (Mapa 9.8)



- *Nucula nucleus*; sólo apareció en dos estaciones mostrando valores de densidad y biomasa muy bajos (20 i/m² y 4 gPF/m²). (Mapa 9.8)
- *Pandora inaequalis*; aunque se localizó por casi toda la bahía, el área con mayor densidad correspondió a la zona de la desembocadura del río Guadalete. (Mapa 9.9)
- *Pavicardium exiguum*; se detectó en tres estaciones, situadas en la parte central y sur de la zona de la playa de Valdelagrana. Las densidades fueron muy bajas (no superan los 8 i/m²) al igual que la biomasa (2,4 g PF/m²). (Mapa 9.9)
- *Pharus legumen*; presente sobre todo en la playa de Valdelagrana aunque también apareció en dos estaciones de la playa de Santa Catalina. Se obtuvieron valores bajos de densidad (menos de 9 i/m²) y biomasa (11,2 g PF/m²). (Mapa 9.9)
- *Solen marginatus*; se trata de una especie difícil de capturar con la draga, al encontrarse profundamente enterrada. Así pues, los datos obtenidos no reflejan la realidad del banco existente en la bahía, especialmente frente a las playas Valdelagrana y La Puntilla. Llama la atención la captura de un individuo de talla comercial en la estación 46, localizada a 15 metros de profundidad. Esta zona es habitualmente visitada por pescadores y pudiera ser que este ejemplar haya sido utilizado como cebo de pesca. (Mapa 9.10)
- *Spisula solida*; se encontró al sur de la Base Naval de Rota, entre 6 y 15 m de profundidad, sobre los fondos de arena limosa del centro de la bahía. Los valores de mayor densidad y biomasa (40 i/m² y 12 gPF/m²) se registraron en la zona más profunda. (Mapa 9.10)
- *Tellina incarnata*; esta especie apareció en la bocana de entrada a la bahía (13-14 m) y en la zona de la playa de Santa Catalina (8-9 m). Son fondos de arena muy fina o arena arcillosa. En la parte más externa de la bahía es donde alcanzó mayores valores (16 i/m² y 4 g PF/m²) mientras que en la zona más cercana a costa los valores fueron menores (4 i/m² y 1,6 g PF/m²). (Mapa 9.10)
- *Tellina tenuis*; los principales bancos se situaron principalmente en la zona de la playa de Valdelagrana, donde se alcanzaron valores de densidad (280 i/m²) y biomasa altos (hasta 215 g PF/m²). También aparecieron ejemplares de *Tellina tenuis* en otras partes de la bahía, aunque con valores menores (de 8 a 4 i/m²). La mayor concentración de individuos se obtuvo entre 2 y 5 m de profundidad, aunque se localizaron individuos hasta 18 m (Mapa 9.11)
- *Venerupis aureus*; se localizó un banco en la playa de Valdelagrana, coincidente con la parte sur de la colonia de *Caulerpa prolifera*, (alrededor de 3 m de profundidad). Son fondos de arena muy fina o arena fina. Alcanzó densidades medias (16 i/m² y 25 g PF/m²). (Mapa 9.11)

Al comparar los datos obtenidos por los dos métodos de muestreo, dragas y rastros, pueden observarse algunas diferencias, tales como:

La draga utilizada está diseñada para extraer muestras de infauna hasta los 10 cm de profundidad como máximo. No obstante, la dureza de los fondos arenosos influye en su penetración, obteniéndose muestras con espesores inferiores. Por ello, la mayoría de los bivalvos capturados son los que se encuentran en la zona superficial del sedimento, presentando consecuentemente –y dependiendo de la especie– tallas pequeñas.

Por otra parte, el número de especies obtenidas con este método (17) es inferior al detectado con rastro (30), pues la superficie de muestreo también es menor.

9.3.2 CAMPAÑA 2000

9.3.2.1 Dinámica de Población de chirla

Dentro del estudio de la dinámica de población de *Chamelea gallina* realizado en el 2000, se han abordado tres aspectos importantes: distribución de tallas, evolución de parámetros poblacionales (densidad y biomasa) y variación del estado de desarrollo gonadal.

Distribución de tallas

La distribución de tallas obtenida en ambas campañas, muestra la incorporación de nuevas clases en el mes de septiembre del año 1999, siendo la talla mínima capturada de 6 mm (Figura 9.12). Sin embargo, en septiembre de 2000 no se detectó ningún reclutamiento, como cabría esperar. Por otra parte, la talla máxima encontrada fue de 38 mm (septiembre-99), siendo los individuos de clase superior a 30 mm bastante escasos en todos los muestreos. Este dato es llamativo, pues se trata de un banco natural no explotado. En cuanto al rango de tallas presente por meses, se observa que fue mayor durante el año 1999.

La descripción de las variables cuantitativas de los histogramas se presenta en la tabla 9.3. Respecto a la talla media, vemos como ésta va aumentando, siendo menor en el primer muestreo en agosto-99 (19 mm) y máximo en septiembre-00 (25,2 mm) (Figura 9.13). También podemos observar que el porcentaje de chirlas de tamaño comercial (≥ 24 mm) sigue la misma tendencia, el menor valor (14%) en el mes de agosto-99 y el máximo (77%) en septiembre-00.

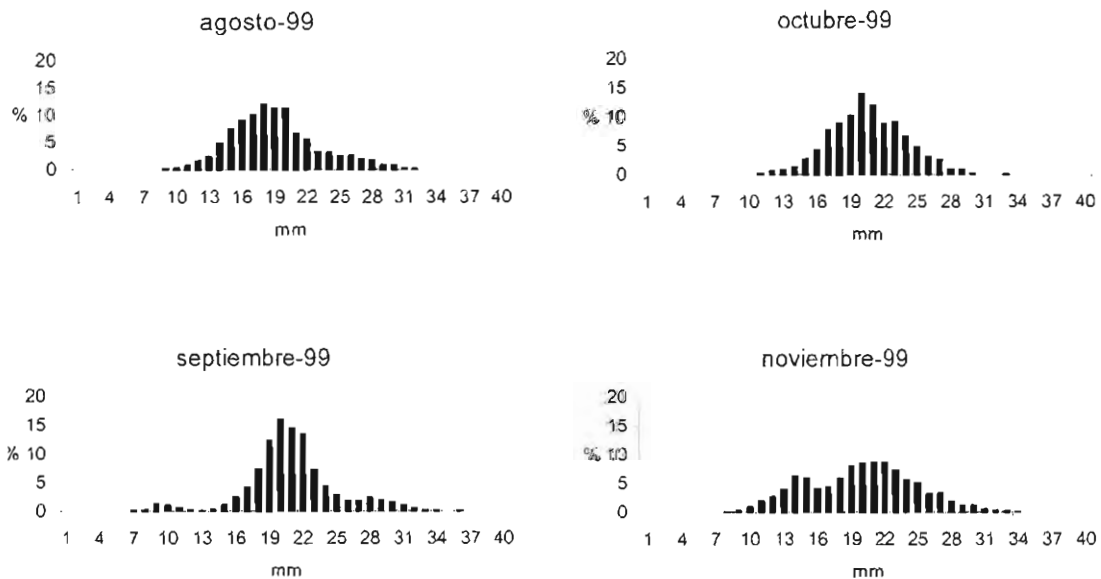


Figura 9.12. *Chamelea gallina*. Distribuciones de tallas

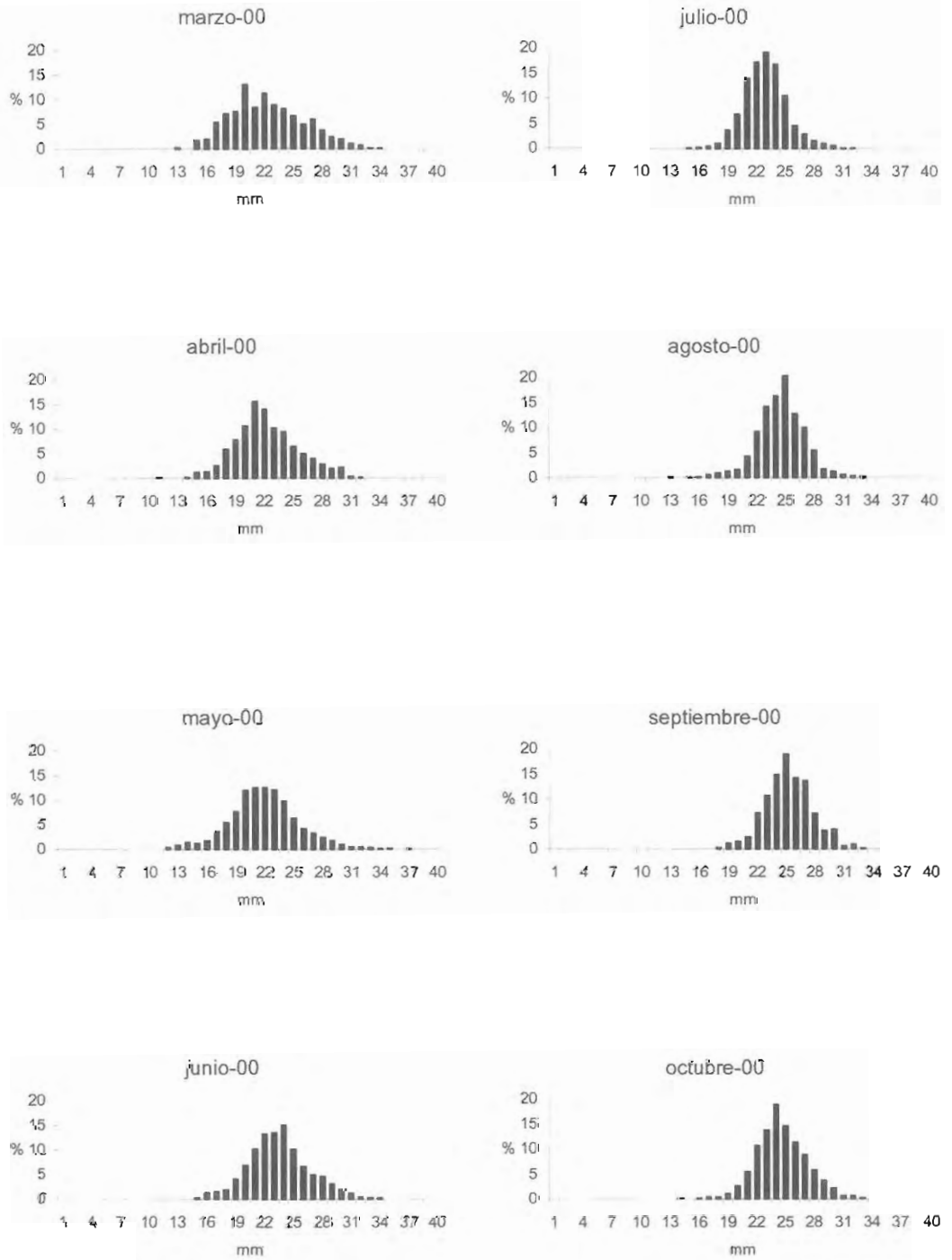


Figura 9.12 (cont.). *Chamelea gallina*. Distribuciones de tallas

Tabla 9.3. *Chamelea gallina*. Estimadores de los parámetros descriptivos de distribución de tallas. N: número de individuos capturados; Tm: talla media (mm); Desv tip: desviación típica; Tmin: talla mínima; Tmáx: Talla máxima; % comerc: porcentaje de individuos con talla comercial (≥ 24 mm)

Mes	N	Tm	Desv tip	Tmin	Tmáx	% comerc
Ago-99	3268	19,0	3,95	7	35	14
Sept-99	3571	20,9	3,97	6	38	18
Oct-99	744	20,6	3,38	11	33	19
Nov-99	4922	19,9	4,81	8	37	23
Marz-00	1129	22,3	3,74	13	34	35
Abril-00	913	22,3	3,22	11	32	32
Mayo-00	1593	22	3,52	12	37	30
Junio-00	1103	23,5	3,13	15	34	48
Julio-00	1469	22,9	2,26	15	32	38
Ago-00	988	24,5	2,43	13	33	68
Sept-00	752	25,3	2,44	18	33	77
Oct-00	1088	24,5	2,55	13	33	66

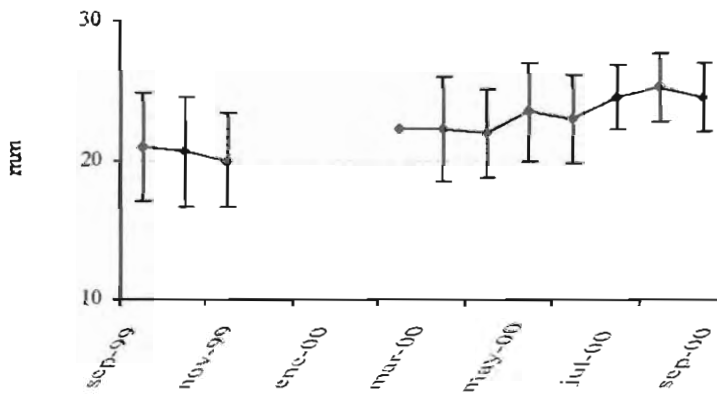


Figura 9.13. *Chamelea gallina*. Valores medios mensuales de talla (mm).



Variación de densidad y biomasa

La variación de densidad en cada una de las estaciones (Figura 9.14), presentó un comportamiento arbitrario que podemos atribuir al carácter dinámico de la población, la cual no permanece estacionaria en los sucesivos meses de muestreo. Sin embargo, al representar la evolución de los valores medios mensuales de este parámetro (Figura 9.15), podemos destacar la constancia de estos valores que se sitúan entre los 4 a 9 i/m^2 , siendo el valor medio total de densidad 6,5 i/m^2 (desv típ = 1,7).

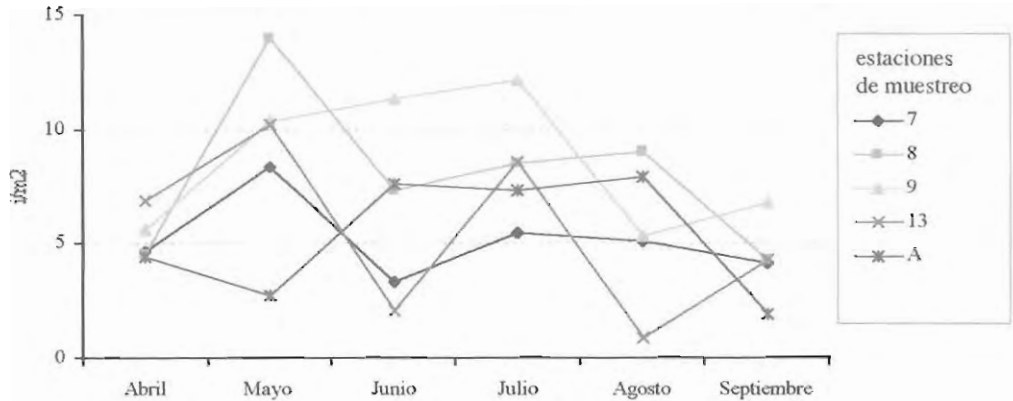


Figura 9.14. Chamelea gallina. Evolución de densidad poblacional (i/m^2) en las estaciones de muestreo.

Al igual que ocurre con la densidad poblacional, la biomasa encontrada en cada una de las estaciones (Figura 9.16) presentó una evolución diferente en cada una de ellas a lo largo del tiempo, aunque sin grandes variaciones en la evolución de los valores medios mensuales, oscilando entre 20 y 36 g/m^2 (Figura 9.17). El valor medio total de biomasa es de 28,8 g/m^2 (desv típ = 5,6).

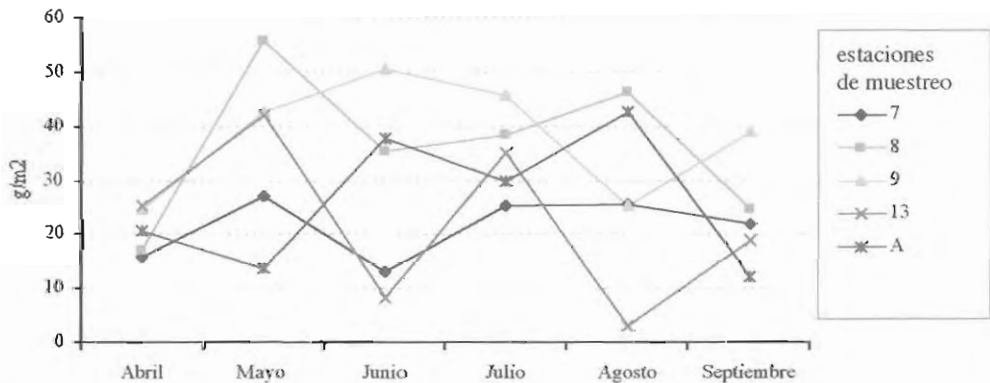


Figura 9.16. Chamelea gallina. Evolución temporal de biomasa (g/m^2) en las estaciones de muestreo.

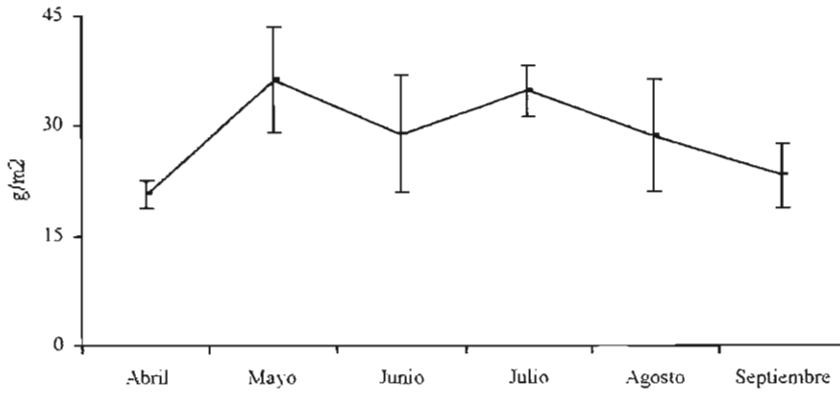


Figura 9.17. *Chamelea gallina*. Evolución de valores medios de biomasa (g/m²).

Grado de maduración gonadal y "sex-ratio"

Las observaciones macro y microscópicas nos permitieron diferenciar el sexo de los ejemplares capturados, pudiendo apreciar que durante la época de actividad sexual los machos de *Chamelea gallina* presentaron las gónadas de aspecto granular y tono anaranjado, mientras que las hembras presentaron gónadas de aspecto viscoso y tonalidad amarillenta. No se encontró diferencia estadísticamente significativa entre la proporción de machos y hembras en ninguno de los muestreos realizados (χ^2 , $P > 0,05$).

En cuanto al grado de maduración pudimos observar que durante los meses de marzo a agosto las gónadas ocuparon gran parte de la masa visceral, turgentes siendo gametos expulsados con facilidad al producir la punción (estado C). A partir de septiembre las gónadas pierden volumen y la diferenciación de sexos a simple vista es menos evidente, aunque al microscopio es posible distin-

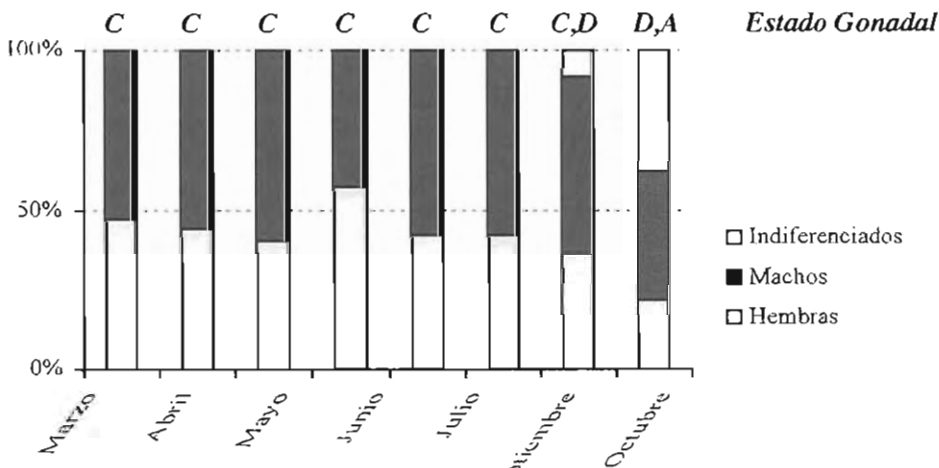


Figura 9.18. *Chamelea gallina*. Estado de maduración gonadal y proporción de sexos.

guir los gametos maduros (estado D). En octubre apareció un mayor número de individuos en los que el sexo no se puede determinar, coincidiendo con la fase de reposo (estado A) (Figura 9.18). Estos resultados coinciden con lo observado por otros autores sobre el amplio período reproductivo de esta especie, que abarca los meses de abril a agosto (Vizueté, 1993).

En cuanto a la talla mínima de maduración hay que señalar que no se pudo establecer, pues todos los individuos de las tallas inferiores capturados (hasta 11 mm) presentaron gónadas bien desarrolladas que permitieron la diferenciación de sexo.

9.3.2.2 Estudio Transversal del Banco de chirla

Relaciones Biométricas

El rango de tallas estudiado es de 16 a 34 mm. Las relaciones biométricas obtenidas son similares a las descritas para el rango de tallas 6-28 mm en la bibliografía consultada (Márquez et al., 1999). Las relaciones entre los distintos ejes se ajustaron a ecuaciones lineales (isométricas), mientras que la relación talla-peso fue a una ecuación potencial (alométrica). (Figuras 9.19 a 9.21).

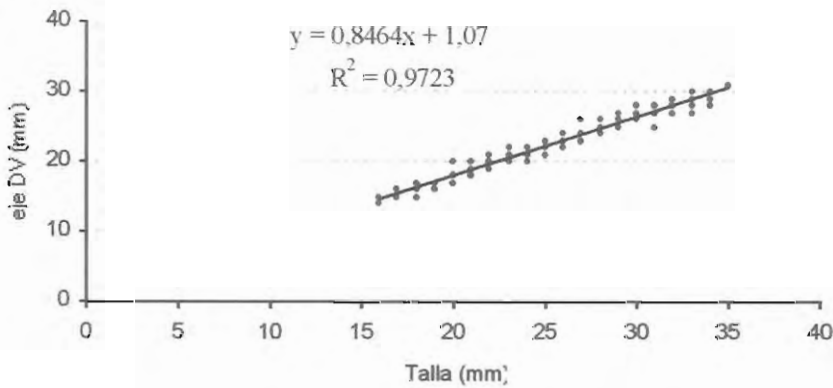


Figura 9.19. *Chamelea gallina*. Relación talla -eje dorsoventral

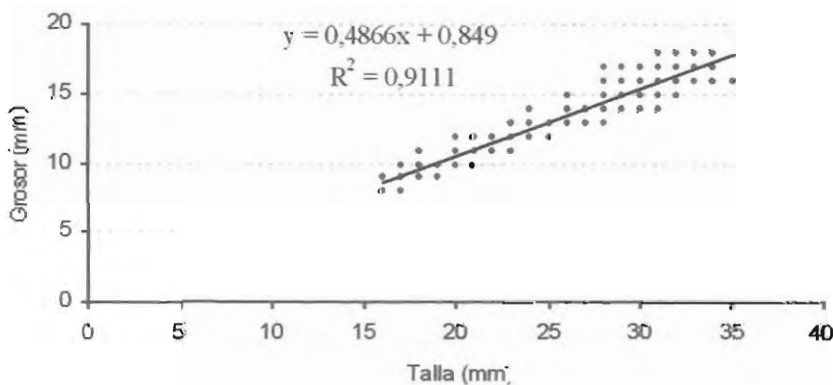


Figura 9.20. *Chamelea gallina*. Relación talla -grosor.

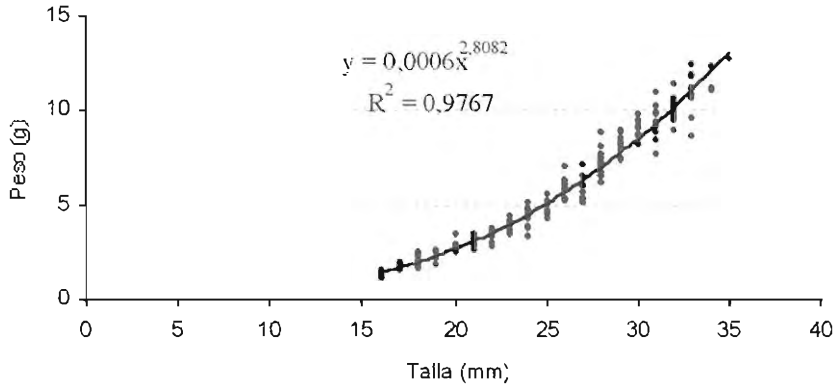


Figura 9.21. *Chamelea gallina*. Relación talla -peso individual.

Índices de Condición

Estos índices describen la condición de la población en el tiempo y sus variaciones son atribuibles, en individuos adultos, principalmente al ciclo sexual antes que al crecimiento somático (Vizueté, 1993). La evolución de los valores durante el período reproductivo de esta especie está ampliamente estudiada por diversos autores (Vizueté, 1993; Márquez *et al.*, 1999), concluyendo que el peso de la carne aumenta con el desarrollo de la gónada hasta un máximo justo antes de la freza, y posteriormente disminuye debido a la liberación de los gametos.

En el presente trabajo estimamos los valores de estos cuatro índices de condición en el mes de junio, época en la que los individuos se encuentran en avanzado estado de maduración. Los valores medios de los índices de condición estimados a partir del peso húmedo de la carne (IC4 e IC3) fueron superiores, como es de esperar, a los calculados a partir del peso seco de la carne (IC1 e IC2) (Tabla 9.4). En las figuras 9.22 y 9.23 se representan los valores de estos índices respecto a las tallas estudiadas (16 a 33 mm). Estos resultados concuerdan con los obtenidos por otros autores para el mes de junio (Vizueté, 1993; Márquez *et al.* 1999).

Tabla 9.4. *Chamelea gallina*. Valores medios y desviación típica de Índices de condición. Junio/00. IC1: Psc (g) x 100/Pch (g); IC2: Psc (g) x 100/Pt (g)-Pch (g); IC3: Phc (g) x 100/Pch (g); IC4: Phc (g) x 100/Pt (g)-Pch (g)

	IC 1	IC 2	IC 3	IC 4
Valor medio (%)	4,54	9,85	21,84	47,31
Desviación típica	0,32	0,8	1,57	3,75

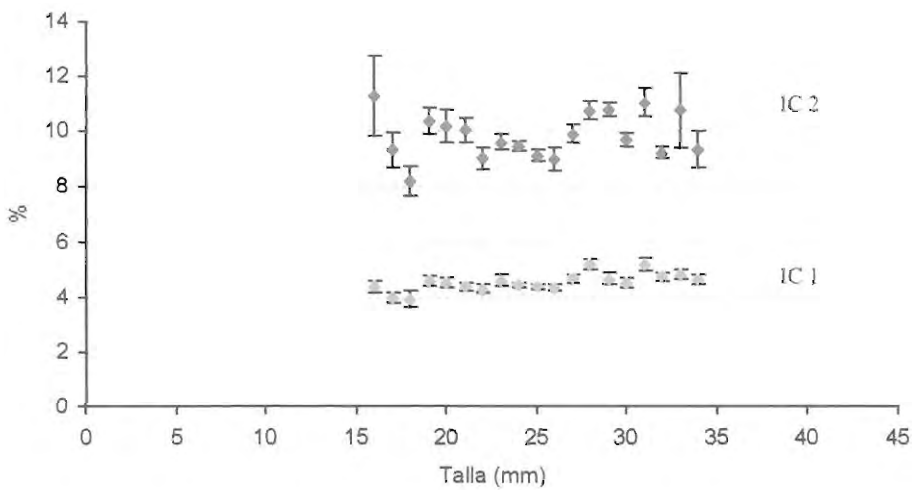


Figura 9.22. *Chamelea gallina*. Índices de condición a partir del peso seco de la carne.

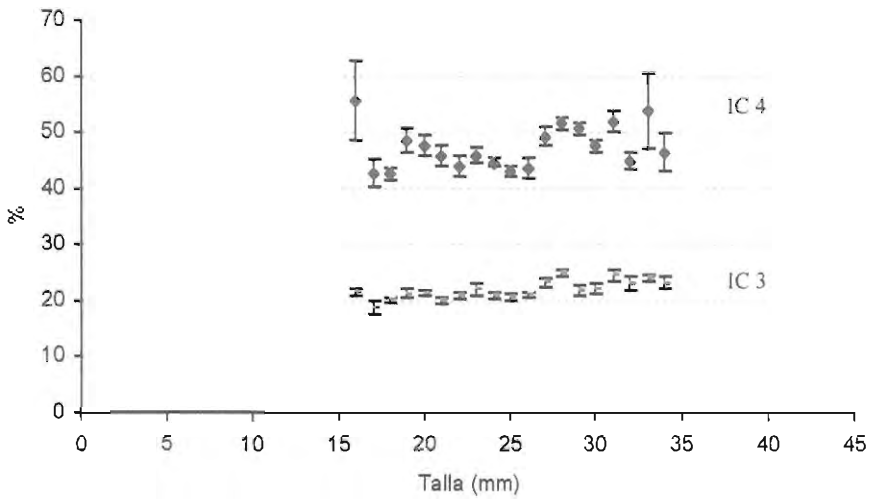


Figura 9.23. *Chamelea gallina*. Índices de condición a partir del peso fresco de la carne

Descripción del Banco de chirla

Durante el estudio del banco de *Chamelea gallina* realizado el mes de junio de 2000, se muestrearon las 42 estaciones donde se capturó al menos un individuo de esta especie en el año 1999, obteniéndose algún ejemplar sólo en 14 de estas estaciones. Esto supone una importante disminución del grado de presencia (33%) respecto al del año anterior (68%), siendo destacable la ausencia en Punta Bermeja (Figura 9.24).

En cuanto a los valores de densidad y biomasa obtenidos en estas 42 estaciones se representa en la figura 9.25, estimándose unos valores medios totales de densidad y biomasa del banco de 3,13 i/m^2 (desv típ= 3) y 14,56 g/m^2 (desv típ= 16), respectivamente. Durante estos muestreos la población se concentró en aquellas estaciones situadas a ambos lados de la desembocadura del río Guadalete, extendiéndose frente a Valdelagrana, a profundidades entre 6 y 9 metros. Los sedimentos de los fondos donde se asienta son predominantemente arena fina y arena muy fina, con presencia de cascajo en la zona sur. Esta localización puede deberse al aporte de material de arrastre procedente del río en forma de sólidos en suspensión, con alto contenido en materia orgánica particulada, que favorece el crecimiento de la infauna bentónica con régimen alimentario de tipo suspensívoro.

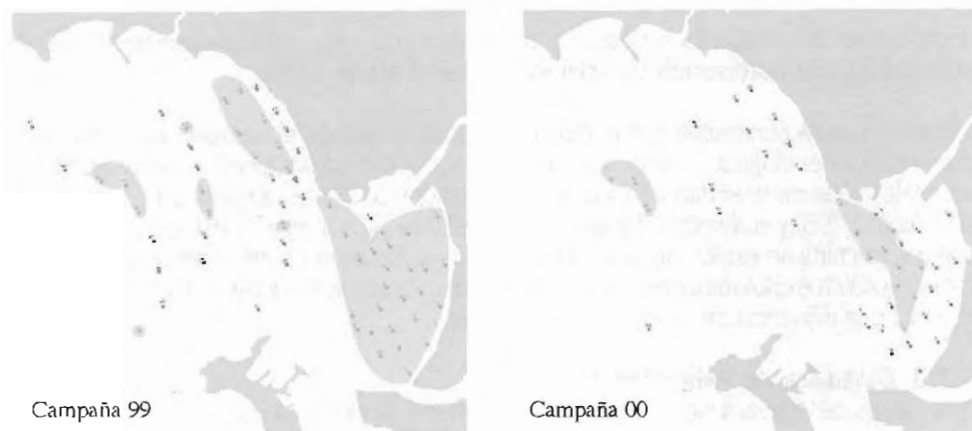


Figura 9.24. *Chamelea gallina*. Localización del banco. Campañas 1999 y 2000

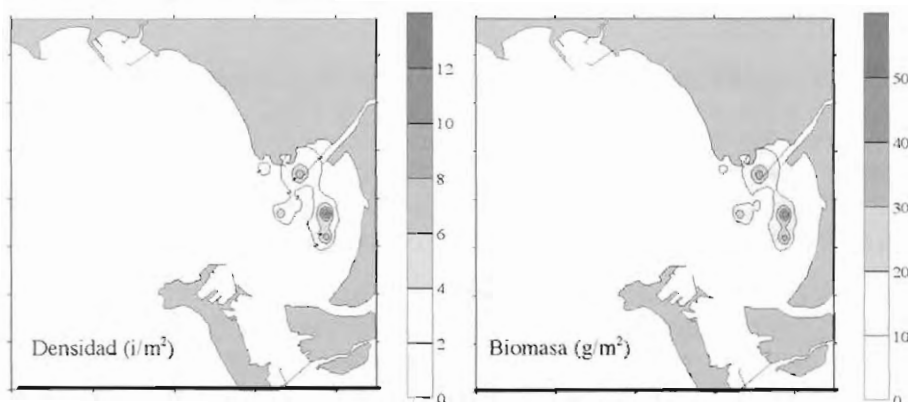


Figura 9.25. *Chamelea gallina*. Densidad y biomasa del banco. Junio 2000

Comparando los resultados obtenidos desde el primer muestreo realizado en agosto de 1999 y el último realizado en octubre de 2000, apreciamos una fuerte disminución de la distribución espacial del banco. La magnitud de una población está relacionada tanto por el aporte de biomasa (por reclutamiento y/o crecimiento de los individuos) como por la pérdida debida a mortandad (muerte natural o capturas). Así pues, a la vista de los resultados se constata que:



> No existe crecimiento de la población por reclutamiento, ya que en septiembre de 2000 - época esperada después del desove del verano- no detectamos la incorporación de tallas pequeñas.

> La disminución del área de distribución se debe a la pérdida de individuos; ya sea por muerte natural, por las capturas realizadas por embarcaciones con artes de arrastre no selectivas y en menor medida, por los muestreos de nuestro equipo. Entre las causas naturales de mortandad podemos citar, además de la depredación por parte de otros organismos, la influencia de los fuertes temporales ocurridos en la zona durante el estudio, al producirse sedimentación sobre los fondos.

> El aumento de la presencia de tallas comerciales detectado durante el 2000 se debe al crecimiento de los individuos ya presentes en la población.

> Este banco de chirla está asociado a la presencia del alga *Caulerpa prolifera* cuya pradera también ha sufrido una disminución considerable respecto al año 1999.

Finalmente, puede concluirse que el banco de chirla estudiado en la bahía de Cádiz, presenta unas características ecológicas, como son: la batimetría, la textura del fondo y la asociación con praderas vegetales, que concuerdan con los datos obtenidos por otros autores en bancos del litoral sudeste (Vizuete 1993) y sudoeste (Márquez et al, 1999) de la península. El estudio científico de este banco natural de chirla no explotado, permitiría determinar los motivos del comportamiento de otras poblaciones de chirla explotadas comercialmente, como la presencia mayoritaria de tallas menores a la comercial o la influencia de la explotación pesquera.

9.3.2.3 Dinámica de Población de coquina

En los meses de marzo a octubre de 2000 se estudió la dinámica de población de *Donax trunculus* en cuatro estaciones seleccionadas. A partir del comienzo del estío, con la llegada de veraneantes, se experimentó un fuerte descenso en las capturas por la incesante explotación a la que se vio sometido el banco, motivado tanto por el alto valor comercial de esta especie como por la facilidad de su pesca y calidad de su carne. Este hecho ha influido en los resultados obtenidos.

Distribución de tallas

Las distribuciones mensuales de tallas obtenidas en las dos campañas, reflejan que el reclutamiento se produjo en los meses de septiembre y octubre de 1999, con individuos de talla mínima de 12 mm (Figura 9.26). Sin embargo, en septiembre y octubre de 2000 no se apreció la incorporación de nuevas tallas. Puede observarse una disminución progresiva del rango de tallas presentes a lo largo de los muestreos, motivado por la mayor tasa de crecimiento que presentan los individuos de las tallas inferiores, mientras que las tallas superiores apenas experimentan cambios.

Las variables cuantitativas de los histogramas se muestran en la tabla 9.5, apreciándose un descenso en el número de ejemplares capturados a partir de junio de 2000 y hasta el final del estudio. Con relación al número de individuos con talla comercial (≥ 30 mm), en la mayoría de los muestreos estuvieron en torno al 20%. En cuanto a la talla media mensual se observó un crecimiento a lo largo de los muestreos, siendo menor en septiembre-99, (24,9 mm) y mayor en octubre-00 (29,1 mm) (Figura 9.27). Este incremento también se observó en la talla mínima de captura de cada mes, pasando de 12 mm en septiembre-99 a 23 mm en octubre-00. Sin embargo, las tallas máximas registradas se mantuvieron más o menos constantes en todos los muestreos. Estas observaciones refuerzan la idea de que el aumento de la talla media de la población se debe al crecimiento de las tallas menores incorporadas en el reclutamiento del año 1999.

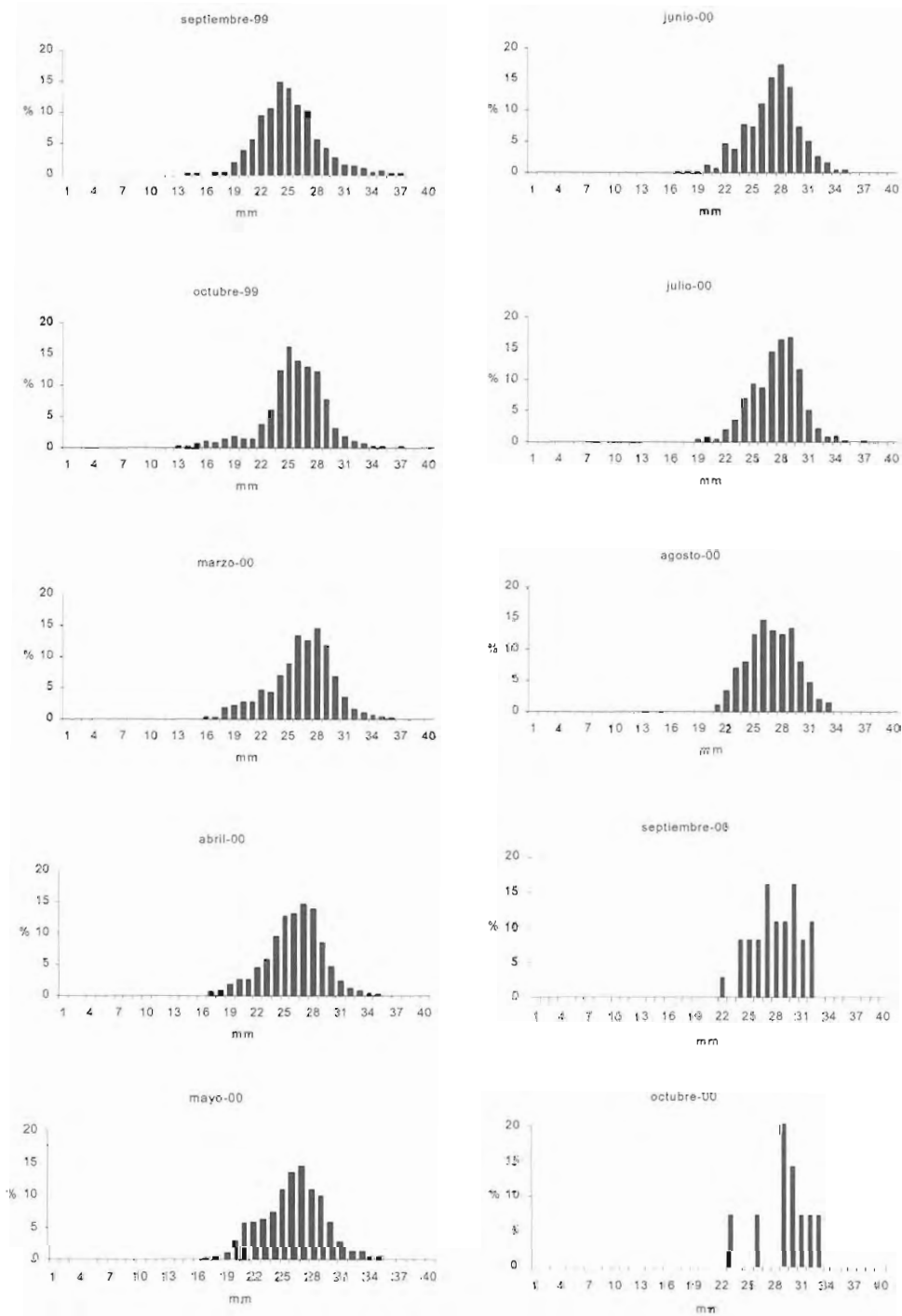


Figura 9.26. *Donax trunculus*. Distribuciones de tallas.



Tabla 9.5. *Donax trunculus*. Estimadores de los parámetros descriptivos de distribución de tallas. N: número de individuos capturados; Tm: talla media (mm); Desv típ: desviación típica; Tmín: talla mínima; Tmáx: Talla máxima; % comerc: porcentaje de individuos con talla comercial (≥ 30 mm)

Mes	N	Tm	Desv típ	Tmín	Tmáx	% comerc
Sept-99	1629	24,9	3,18	12	37	8
Oct-99	856	25,6	3,23	13	37	7
Marz-00	526	26,3	3,35	16	36	14
Abril-00	1516	26,1	3,04	17	37	10
Mayo-00	1677	26,1	3,12	16	35	12
Junio-00	743	27,1	2,81	17	35	17
Julio-00	498	27,5	2,65	19	37	21
Ago-00	218	26,9	2,58	21	33	7
Sept-00	37	28,1	2,62	22	32	35
Oct-00	14	29,1	2,41	23	33	36

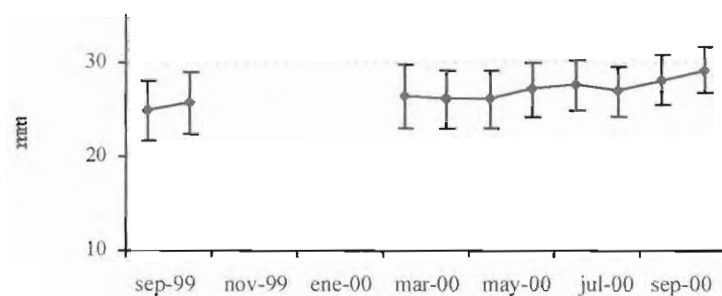


Figura 9.27. *Donax trunculus*. Valores medios mensuales de talla (mm)

Variación de densidad y biomasa

Como en el caso de *Chamelea gallina*, además de las distribuciones de tallas se estudió la evolución mensual de los parámetros densidad (i/m^2) y biomasa (g/m^2) desde marzo a octubre de 2000. Los valores medios mensuales de estos parámetros mostraron una tendencia creciente hasta el mes de mayo, a partir del cual se observó una disminución que continúa hasta octubre (Figuras 9.29 y 9.31). Este fuerte descenso en los efectivos de la población fue similar en todas las estaciones de muestreo y puede ser debido sobre todo, al intenso marisqueo ilegal al que se ve some-



tido el banco. Al representar los valores medios de densidad y biomasa en cada estación, se aprecia que es en la número 3 donde se obtuvieron los valores superiores (Figuras 9.28 y 9.30). Dicha estación está situada en las cercanías de uno de los caños que comunica la playa con las marismas colindantes, lo cual implica un mayor hidrodinamismo, así como el aporte de nutrientes. Estos dos factores favorecen un incremento de la productividad primaria, y por consiguiente, unas mejores condiciones para el desarrollo de los individuos.

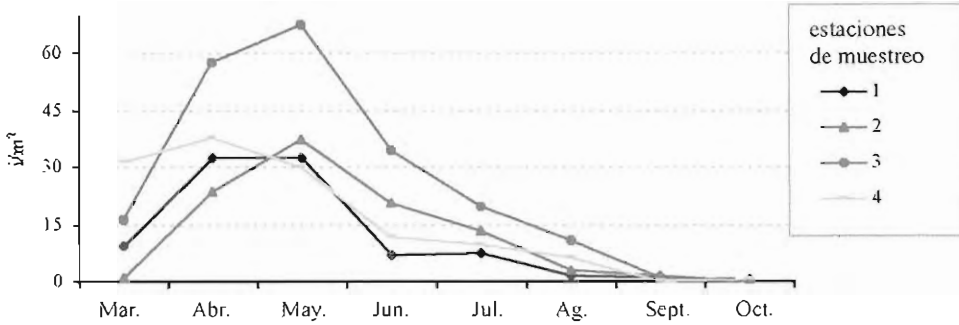


Figura 9.28. *Donax trunculus*. Evolución temporal de densidad poblacional (i/m^2) en cada una de las estaciones de muestreo.

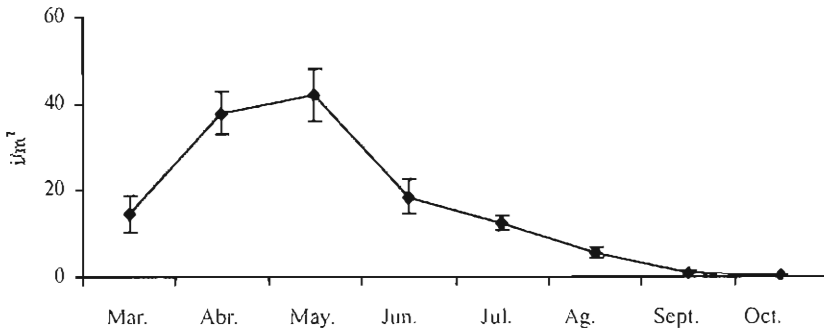


Figura 9.29. *Donax trunculus*. Evolución temporal en valores medios de densidad.

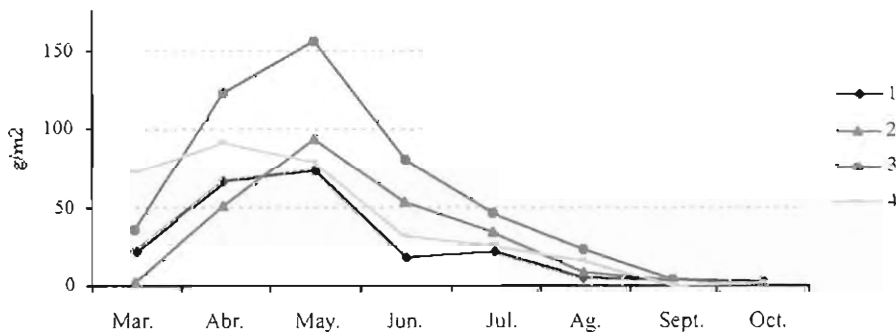


Figura 9.30. *Donax trunculus*. Evolución temporal de biomasa (g/m^2) en cada una de las estaciones de muestreo

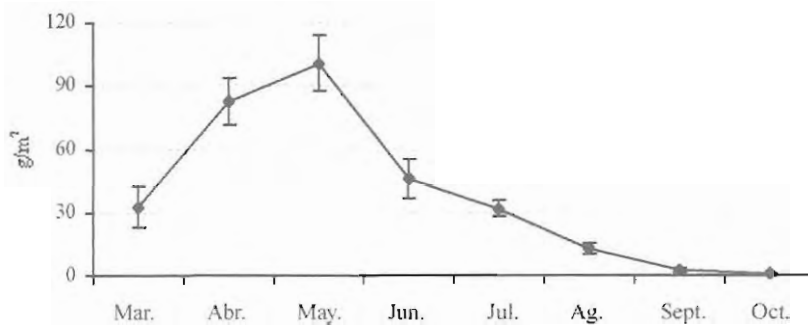


Figura 9.31. *Donax trunculus*. Evolución temporal en valores medios de biomasa (g/m^2).

Grado de maduración gonadal y "sex-ratio"

Las observaciones macroscópicas permitieron diferenciar el sexo de los ejemplares capturados. Durante la época de actividad sexual los machos de *Donax trunculus* presentaron gónadas de color amarillento y con aspecto viscoso, mientras que las hembras presentaron gónadas de color violeta intenso y aspecto granular. No se encontró diferencia estadísticamente significativa entre la proporción de machos y hembras en ninguno de los muestreos realizados (χ^2 , $P \leq 0,05$).

Durante los meses de marzo a julio pudimos apreciar que las gónadas se encuentran turgentes ocupando gran parte de la masa visceral (estado C). A partir de agosto las gónadas perdieron volumen y la coloración de los sexos no es tan evidente, al microscopio es posible distinguir los gametos maduros (estado D). En septiembre y octubre el sexo de los individuos observados no pudo ser determinado, coincidiendo con la fase de reposo (estado A) (Figura 9.32). Estos resultados coinciden con los obtenidos en bancos del litoral suratlántico (Márquez *et al.*, 1999), que ponen de manifiesto que el ciclo sexual de esta especie abarca los meses de febrero a agosto, aunque difieren de los estudios histológicos de otros autores en el litoral malagueño (Tirado, 1998) que establecen la duración del ciclo hasta octubre.

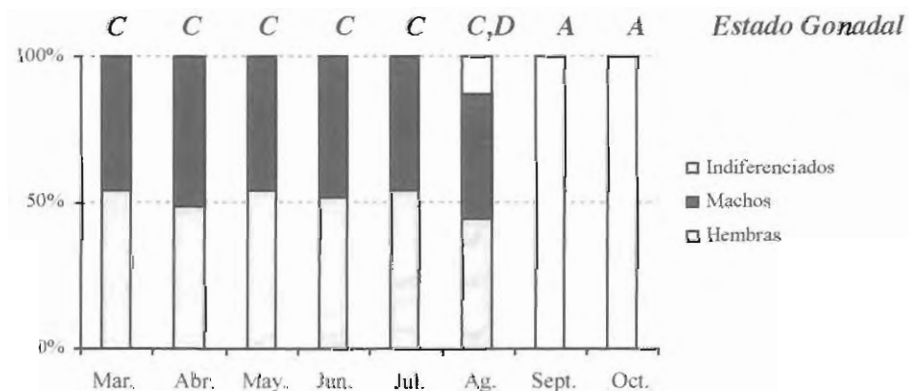


Figura 9.32. *Donax trunculus*. Estado gonadal y proporción de sexos:

Al igual que en el caso de *Chamelea gallina*, no se pudo establecer la talla mínima de maduración pues todos los individuos de las tallas inferiores (16 mm) capturados presentaron gónadas bien diferenciadas, en la época de maduración.

9.3.2.4 Estudio Transversal del Banco de coquina

Relaciones Biométricas

El rango de tallas estudiado es de 19 a 38 mm. Las relaciones talla-eje dorsoventral y talla-grosor se ajustaron a ecuaciones lineales para el rango de tallas estudiado, mientras que la relación talla-peso se ajustó a una ecuación potencial. Estos resultados son comparables a los obtenidos por otros autores para el rango de tallas 10-33 mm (Márquez et al., 1999) (Figuras 9.33 a 9.35)

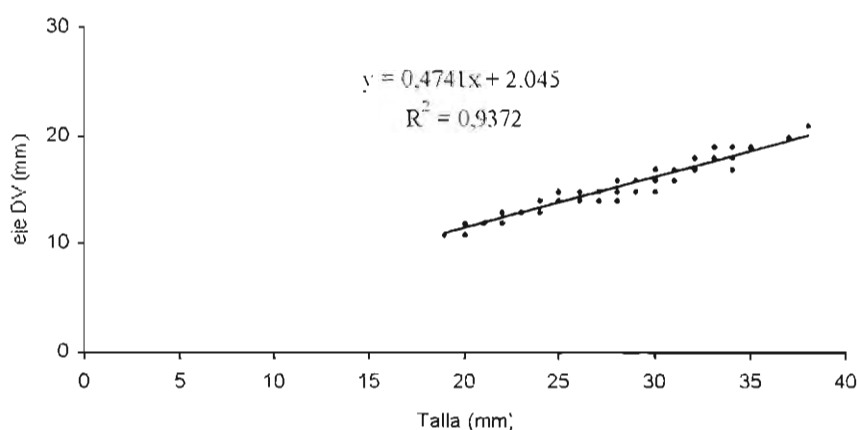


Figura 9.33. *Donax trunculus*. Relación talla -eje dorsoventral

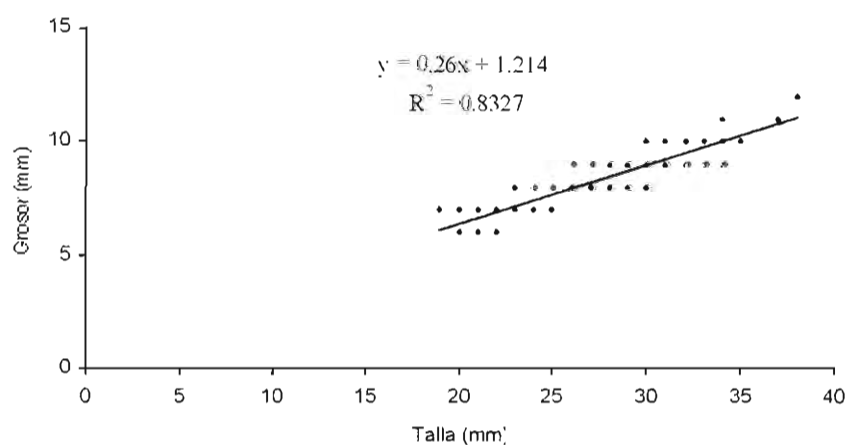


Figura 9.34. *Donax trunculus*. Relación talla -grosor

Donax trunculus
Relación talla-peso vivo

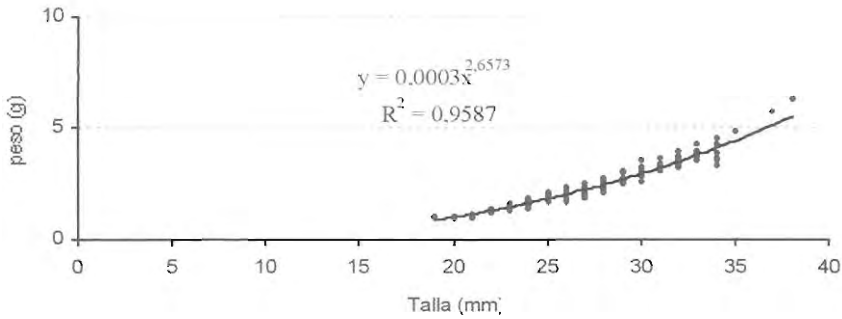


Figura 9.35. *Donax trunculus*. Relación talla - peso individual

Índices de Condición

Al igual que en el caso de *Chamelea gallina*, la variación temporal de los índices de condición de *Donax trunculus* ha sido estudiada por diversos autores (Tirado, 1998; Márquez et al., 1999). Para esta especie consideramos los índices de condición respecto al peso total, es decir IC5 e IC6, calculados en el mes de julio (Tabla 9.6). Los valores obtenidos para las tallas estudiadas (19 a 33 mm) se representan en las figuras 9.36 y 9.37.

Tabla 9.6. *Donax trunculus*. Valores medios y desviación típica de Índices de condición. Julio-00. IC5:Psc (g) x 100/Pt (g); IC6:Phc (g) x 100/Pt (g)

	IC 5	IC 6
Valor medio (%)	7,9	21,5
Desviación típica	0,9	2,7

Los valores medios de estos dos índices estimados para el rango de talla estudiado son inferiores a los índices definidos para la talla estándar 21 mm por otros autores (Márquez et al., 1999).

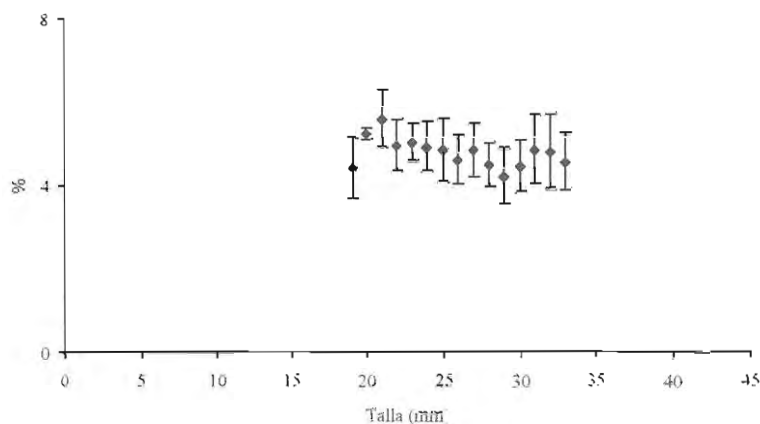


Figura 9.36. *Donax trunculus*. Índice de condición a partir del peso seco de la carne.

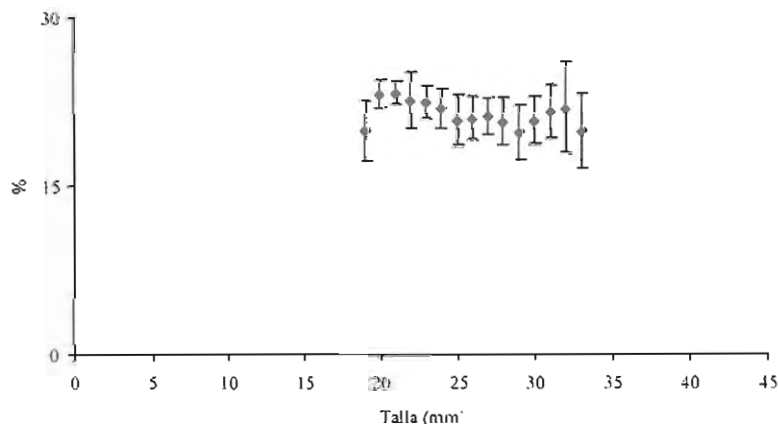


Figura 9.37. *Donax trunculus*. Índice de condición a partir del peso fresco de la carne.

Descripción del Banco de coquina

La batimetría es un factor decisivo en la distribución espacial de *Donax trunculus*, ya que esta especie suele ser litoral ocupando preferentemente la zona intermareal y de rompiente de olas (Salas, 1987; Márquez et al., 1999). Dichos autores incluyen esta especie dentro de la categoría "arenícolas limpias", estando determinada su distribución por factores hidrodinámicos que impiden una rápida sedimentación de las partículas en suspensión de las que se alimentan.

Durante el estudio de la situación del banco de coquina en julio de 2000 se muestrearon 22 estaciones establecidas en tres transectos paralelos a la costa con profundidades de 0, 1,5 y 3 metros. Se capturaron ejemplares de *Donax trunculus* en 13 estaciones: 7 situadas en la franja intermareal y 6 en la zona submareal de 1,5 metros (frente a playa de Levante). En la zona submareal de 3 metros de profundidad no se encontró ningún individuo de esta especie (Figura 9.38).



Los valores de densidad y biomasa obtenidos en estas 22 estaciones se representan en la figura 9.39, estimándose unos valores medios totales de 5 i/m² (desv típ= 5,7) y 12,9 g/m² (desv típ= 14,1), respectivamente. Los máximos valores se obtuvieron en la zona intermareal de la playa de Levante donde se concentra el banco, asentado sobre sedimentos de tipo arena media en su extremo norte y arena fina en el sur. Aunque en la playa de Santa Catalina hay presencia de ejemplares, no se obtuvieron valores altos de estos parámetros debido a la textura del sedimento de tipo arena gruesa. En cuanto a la estación de muestreo más septentrional de la playa de Valdelagrana, aún teniendo la textura del fondo de arena fina, coincide con una zona de deposición de sedimentos, con gran presencia de materia orgánica en descomposición procedente de acumulación de restos vegetales, lo que supone unas condiciones no adecuadas para el desarrollo de esta especie.

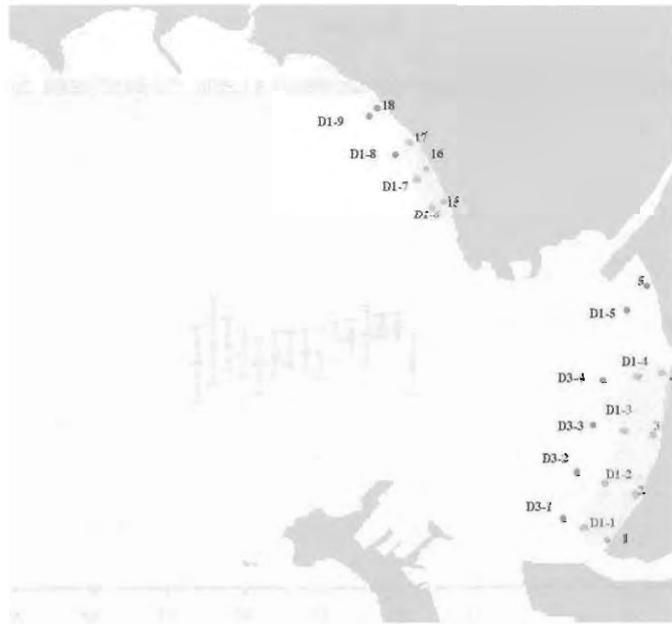


Figura 9.38. *Donax trunculus*. Localización del banco. Julio 2000.

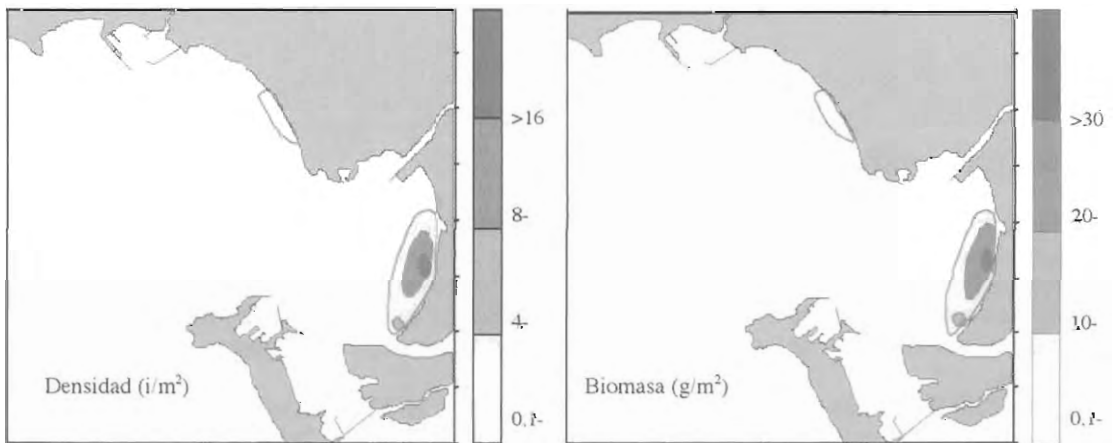


Figura 9.39. *Donax trunculus*. Densidad y biomasa del banco. Julio 2000.



En general, el banco de coquina estudiado en la bahía de Cádiz presenta unas características ecológicas (batimetría y sedimentos) similares a las descritas en bancos del litoral malagueño (Salas, C., 1987) y del litoral suratlántico (Márquez et al, 1999).

Según estos resultados, la distribución espacial del banco no ha sufrido variación en el año 2000 respecto al año 1999; sin embargo, la población experimenta un importante descenso demográfico causado, entre otros factores y como se ha dicho con anterioridad, por el intenso marisqueo al que se ha visto sometido.

Esta explotación incontrolada supone una amenaza para la continuidad del banco, por lo que se hace necesaria una mayor regulación del recurso mediante el cumplimiento de la normativa de ordenación de recursos marisqueros, Orden de la Consejería de Agricultura y Pesca de 12 de noviembre de 1984, que establece la talla mínima de captura en 30 mm y la época de veda del 1 de abril al 30 de septiembre. Teniendo en cuenta que la localización del banco se sitúa en la franja intermareal de la playa de Levante, ubicada en los límites del Parque Natural de la Bahía de Cádiz, el cumplimiento de esta normativa se hace más necesario.

9.3.2.5 Dinámica de Población de navaja

Existe escasa información sobre el banco de *Solen marginatus* localizado a ambos márgenes de la desembocadura del río San Pedro. No obstante, destaca el trabajo realizado por Bruzón et al. (2000) en relación con el ciclo gametogénico estudiado mediante técnicas histológicas. Actualmente la regulación de este recurso marisquero se basa en el control de la veda - período del 1 de abril al 30 de septiembre- y en la talla mínima de captura 80 mm (eje antero-posterior).

En el caso de la navaja, la dinámica de población se ha determinado mediante las distribuciones mensuales de tallas y la variación del grado de desarrollo gonadal. La densidad y biomasa han sido estimados a partir de los muestreos realizados por el equipo de submarinistas en noviembre de 1999 y julio de 2000.

Distribuciones de tallas

Las distribuciones de tallas obtenidas desde septiembre-99 a octubre-00 se muestran en la figura 9.40, agrupadas según el sistema de muestreo empleado. Estos resultados ponen de manifiesto que la incorporación de tallas pequeñas (38-60 mm) tuvo lugar en los meses de agosto, septiembre y octubre de 2000, debido sobre todo, al reclutamiento producido después de la puesta en verano. Por otra parte, la talla máxima encontrada fue de 126 mm, correspondiente al muestreo de noviembre-99 realizado por los mariscadores. En general, los individuos de las clases superiores tuvieron mayor representación en las capturas de los muestreos procedentes de mariscadores. Esto se debe a que se ven condicionados por el mayor valor económico de las tallas grandes y realizan las capturas en los lugares donde éstas predominan. Como consecuencia de ello, el porcentaje de ejemplares comerciales (≥ 80 mm) fue mayor en tales muestras (Tabla 9.7). En cuanto al rango de tallas presentes en cada muestreo, se comprueba que es variable en los distintos meses, siendo mayor en los muestreos realizados a partir de agosto por nuestro equipo, como consecuencia tanto del reclutamiento en la población, como de la ampliación de la zona de extracción de ejemplares. A su vez el rango de tallas presentes en las muestras obtenidas por los submarinistas fue mayor al rango de las muestras procedentes de los mariscadores, pues aquellos han realizado las capturas abarcando el área de todo el banco, y hasta donde fue posible, extrajeron individuos de todas las tallas.

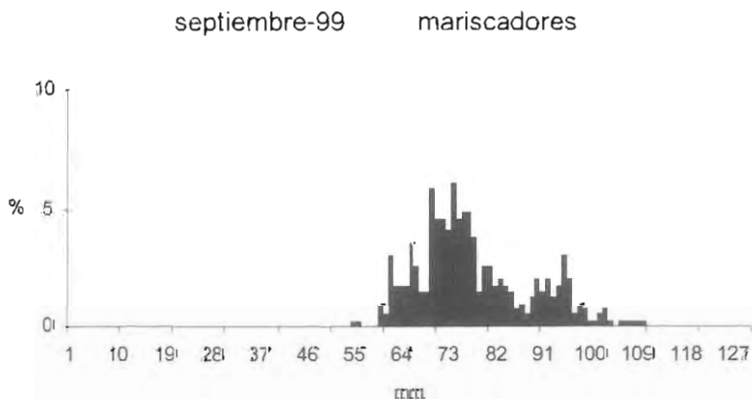
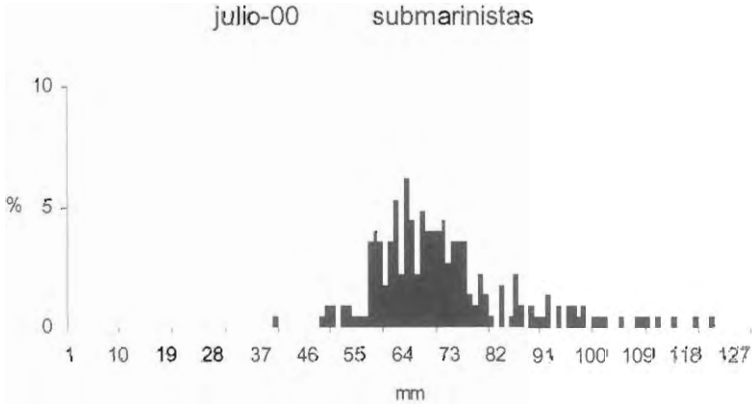
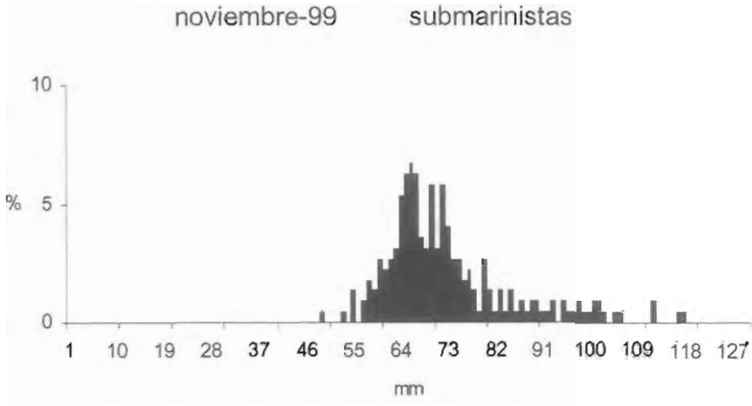


Figura 9.40. *Solen marginatus*. Distribuciones de tallas.

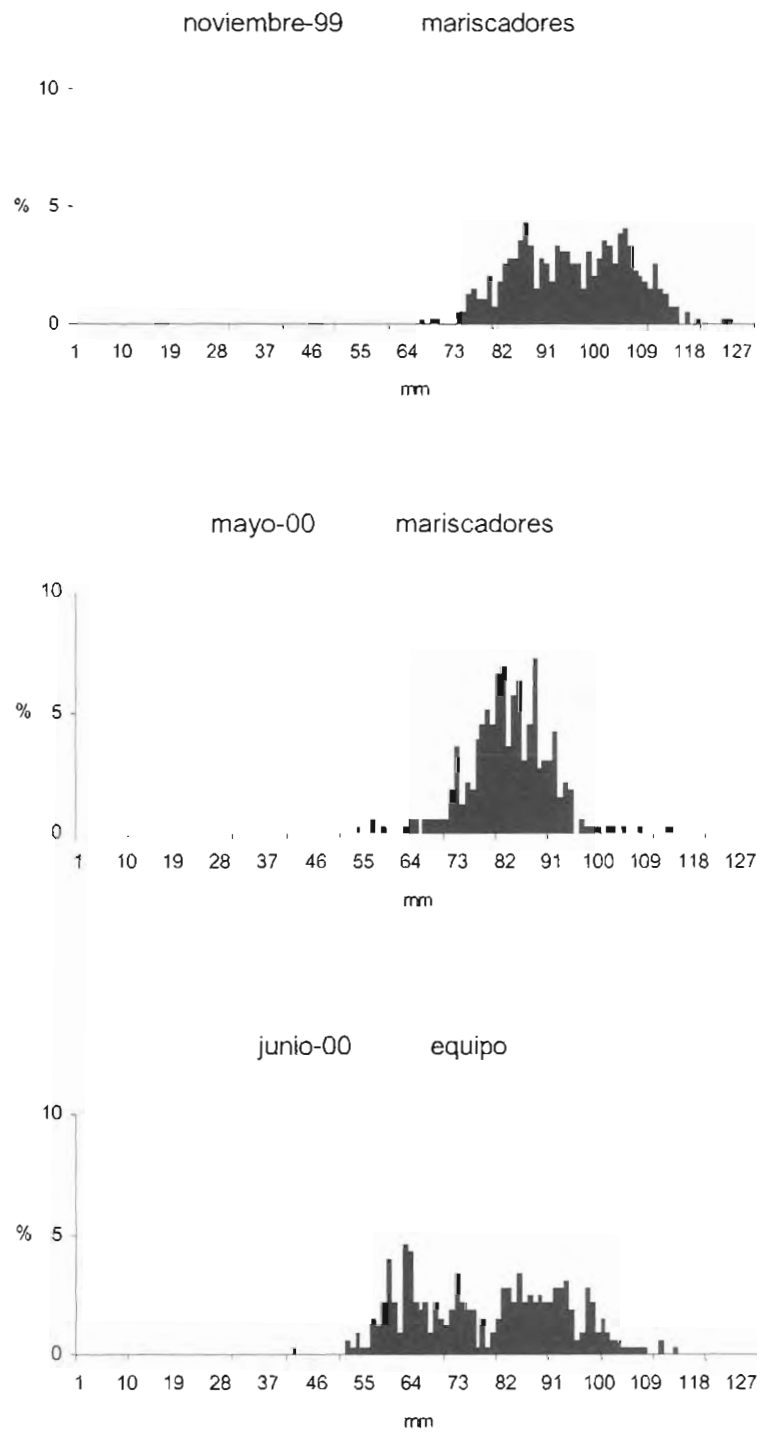


Figura 9.40 (cont.). *Solen marginatus*. Distribuciones de tallas.

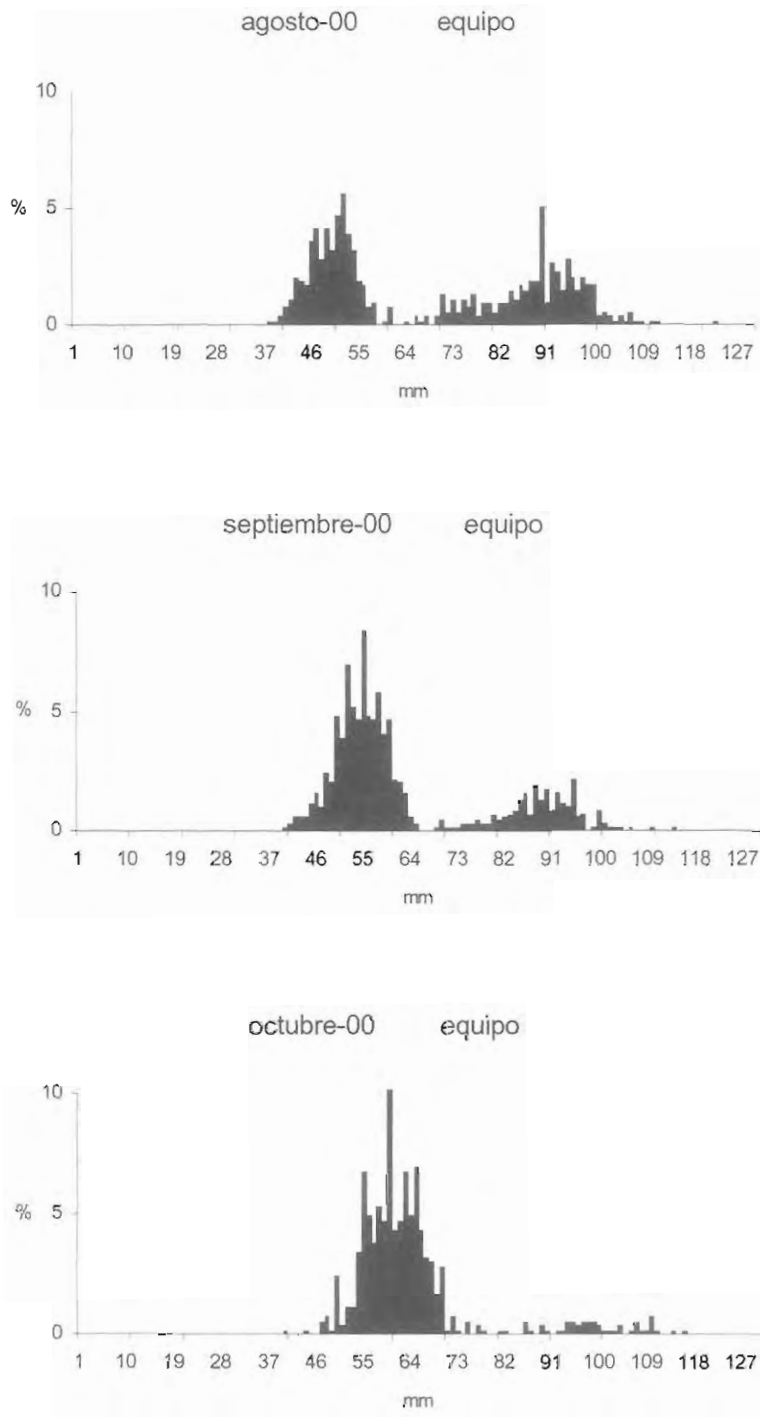


Figura 9.40 (cont.). *Solen marginatus*. Distribuciones de tallas.



Tabla 9.7. *Solen marginatus*. Estimadores de los parámetros descriptivos de distribución de tallas. Muestra: procedencia de las muestras; N: número de individuos capturados; Tm: talla media (mm); Desv típ: desviación típica; Tmín: talla mínima; Tmáx: Talla máxima; % comerc: porcentaje de individuos con talla comercial (≥ 80 mm)

Muestra	Mes	N	Tm	Desv típ	Tmin	Tmáx	% comerc
Submarinistas	Nov-99	223	73	12,3	49	118	22
Submarinistas	Jul-00	227	72	13,6	40	123	19
Mariscadores	Sep-99	391	78	10,9	55	110	35
Mariscadores	Nov-99	391	96	11	67	126	93
Mariscadores	May-00	332	83	8,1	54	114	70
equipo*	Jun-00	325	79	14,6	52	115	51
equipo	Ago-00	533	70	21	38	123	41
equipo	Sep-00	690	63	16	40	114	23
equipo	Oct-00	531	64	12,4	40	116	9

*equipo: capturas realizadas por nuestro equipo de trabajo

Grado de maduración gonadal y "sex-ratio"

La diferenciación del sexo mediante observaciones macroscópicas es dificultosa en el caso de *Solen marginatus*, pues la gónada sólo es apreciable como estructura diferenciada (aspecto filiforme) cuando están muy desarrolladas y los individuos están maduros sexualmente. En este caso los machos presentaron unos cordones de color blanquecino y las hembras de color marrón, al realizar la punción en estos cordones se confirma mediante observaciones al microscopio la presencia de espermatozoides y óvulos.

En cuanto al grado de maduración encontrado en los distintos muestreos (Figura 9.41) podemos señalar que durante los meses de mayo y junio la gónada se encontró bien desarrollada (estado C) aunque sin ocupar gran parte de la masa corporal, por las características anatómicas de esta especie. A partir de julio aparecieron individuos en los que la diferenciación del sexo es menos evidente (estado D). En septiembre y octubre los individuos están en fase de reposo y el sexo no se pudo determinar (estado A). Estos resultados coinciden con los obtenidos por Bruzón *et al.* (2000), en los que la población de *Solen marginatus* tiene un ciclo reproductivo que abarca los meses de marzo a septiembre con pico máximo de puesta en abril, apreciándose ya en junio una disminución de la actividad sexual. En mayo no encontramos diferencia significativa en la proporción entre machos y hembras (χ^2 , $P \leq 0,05$), aunque en el muestreo de junio aparece un mayor porcentaje de machos. En cuanto a la talla mínima de maduración no fue posible determinarla por la dificultad que entraña el examen de las gónadas en individuos de pequeño tamaño.

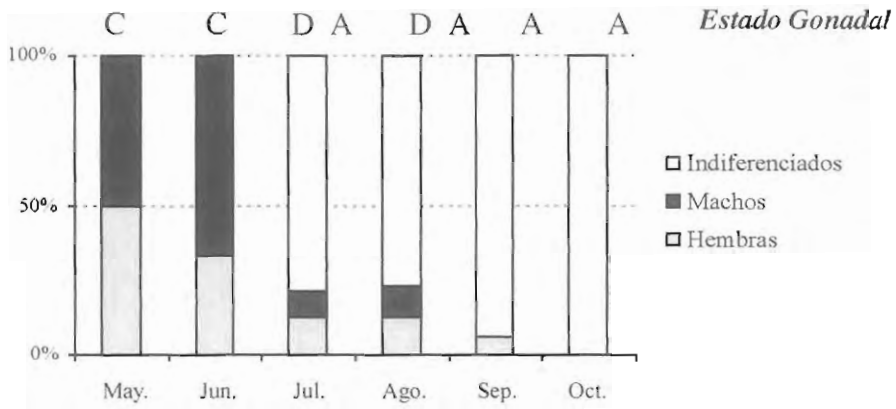


Figura 9.41. *Solen marginatus*. Estado de maduración y proporción de sexos

9.3.2.6 Estudio Transversal del Banco de navaja

Relaciones Biométricas

Las relaciones biométricas obtenidas no han podido ser comparadas con otros autores debido a los escasos estudios de esta especie, aunque al igual que ocurre en los casos de *C. gallina* y *D. trunculus*, las relaciones talla-eje dorsoventral y talla-grosor se ajustaron a ecuaciones lineales, mientras que la relación talla-peso vivo se ajustó a una ecuación potencial para el rango de tallas estudiado (40 a 123 mm) (Figuras 9.42 a 9.44)

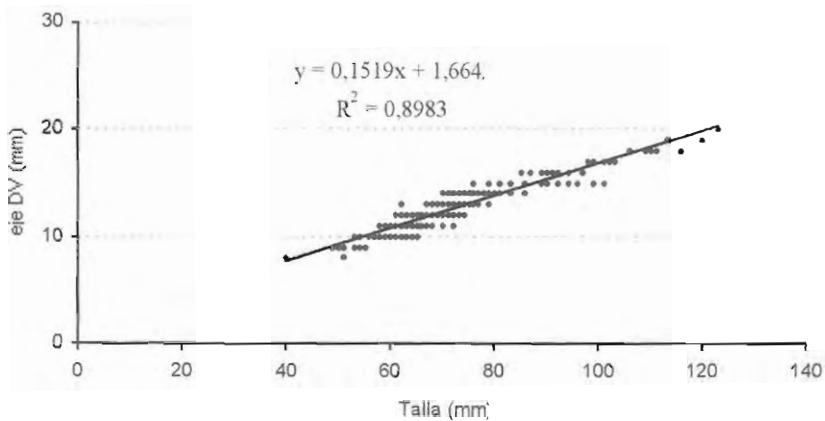


Figura 9.42. *Solen marginatus*. Relación talla (mm)-eje dorsoventral (mm)

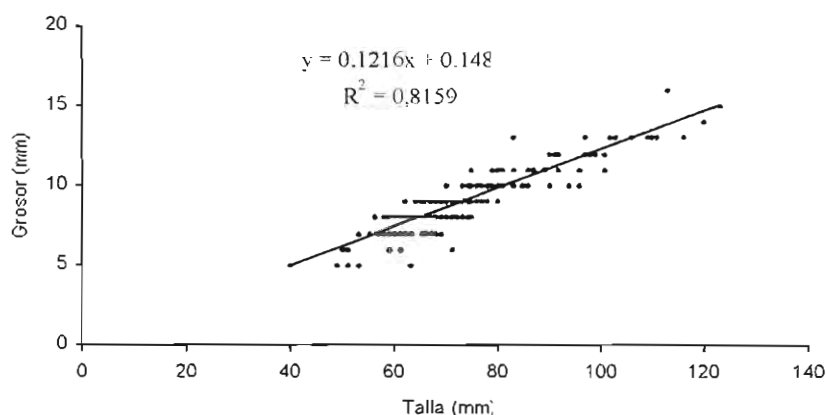


Figura 9.43. *Solen marginatus*. Relación talla (mm)-grosor (mm).

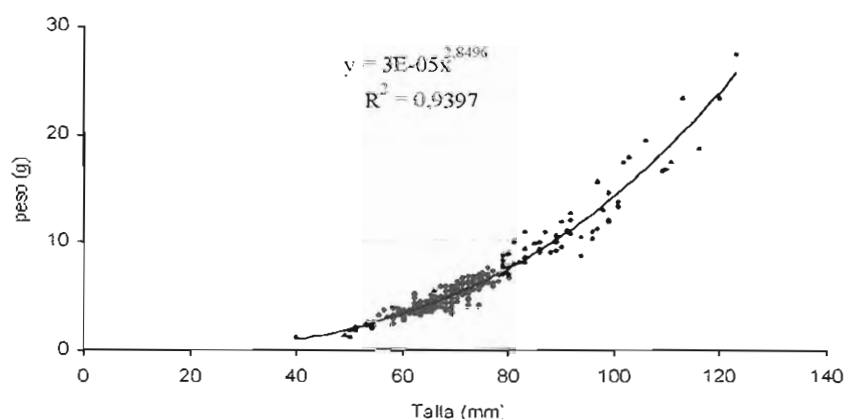


Figura 9.44. *Solen marginatus*. Relación talla (mm)-peso individual (g).

Índices de Condición

La variación del índice $Psec/L^3$ ha sido determinada por Bruzón et al., (2000). En nuestro caso estimamos el índice en julio de 2000, cuando la actividad sexual comienza su declive, obteniéndose un valor medio de $1,93E-6$ (desv tip= $3,3 E-7$), muy similar al valor obtenido para el mes de julio en el trabajo anteriormente mencionado.

En cuanto a los valores medios de este índice respecto a las tallas estudiadas (40-123 mm), los resultados son muy variables debido al escaso número de representantes por talla (Figura 9.45).

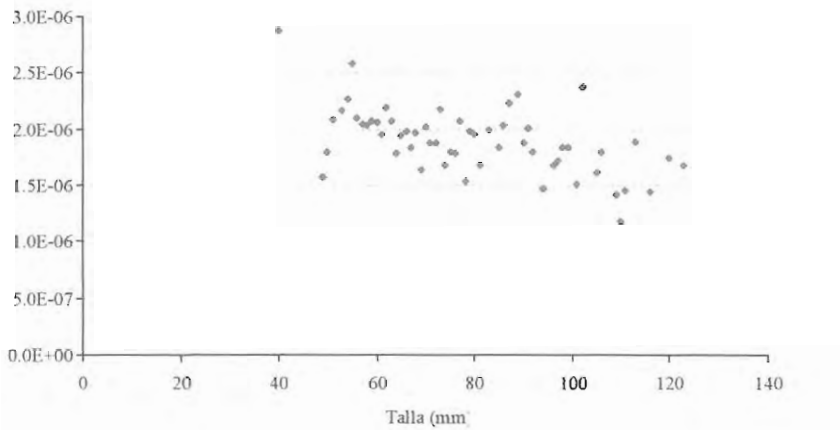


Figura 9.45. *Solen marginatus*. Índice de condición respecto a las tallas estudiadas.

Descripción del banco de navaja

El banco de *Solen marginatus* se encuentra localizado en las zonas intermareal y submareal (3 metros de profundidad) de las playas La Puntilla y de Levante, extendiéndose hasta los márgenes de la desembocadura del río San Pedro, en las barras arenosas que quedan al descubierto en bajamar escorada. La textura de los sedimentos es de tipo arena fina y arena muy fina. En su extremo meridional este banco está asociado a la presencia de praderas vegetales del alga *Caulerpa prolifera* y la fanerógama *Cymodocea nodosa*; asimismo, comparte habitat con otras especies de bivalvos comerciales como berberecho (*Cerastoderma edule*) y perrillo (*Venerupis aureus*).

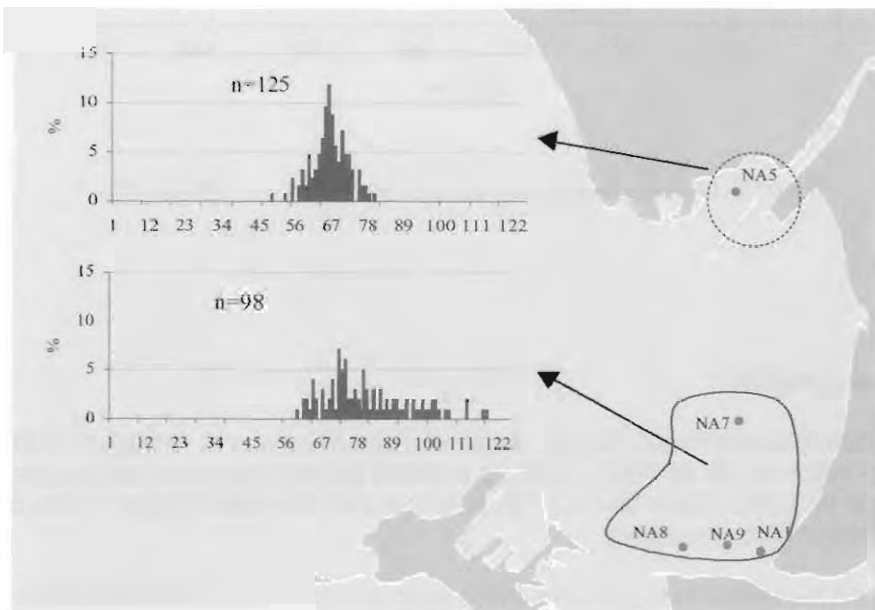


Figura 9.4b. *Solen marginatus*. Distribución de tallas por zonas. Noviembre 1999.



Se distinguen dos zonas bien diferenciadas, tanto con relación a los parámetros poblacionales como a las distribuciones de tallas, separadas entre sí por el espacio de influencia del canal de navegación de El Puerto de Santa María a Cádiz.

Durante el muestreo realizado por el equipo de submarinistas en noviembre 1999, la zona donde se registraron los valores máximos de densidad y biomasa (125 i/m^2 y 574 g/m^2 , respectivamente), así como donde menor es la talla media, correspondió a la estación NA5 situada frente a la Puntilla (Figura 9.46 y Tabla 9.8).

Tabla 9.8. *Solen marginatus*. Densidad, Biomasa y Tallas media, mínima y máxima por estación de muestreo. Submarinistas- Noviembre de 1999. D (i/m^2): densidad poblacional; B (g/m^2): biomasa; Tm: talla media (mm); Desv típ: desviación típica de talla media; Tmín (mm): talla mínima; Tmáx (mm): Talla máxima

Estación	D	B	Tm	Desv típ	Tmín	Tmáx
NA1	8	116	98	10,6	84	117
NA5	125	574	66	5,5	49	80
NA7	17	118	75	7,9	61	90
NA8	35	207	71	7,5	59	89
NA9	38	430	89	12,0	72	118

Para la estimación de los parámetros poblacionales en junio de 2000, el equipo de submarinistas muestreó las nueve estaciones correspondientes (NA1 a NA9), así como las estaciones A y 26, esta última situada frente a la playa de Santa Catalina y donde fue capturado un ejemplar mediante rastro remolcado durante el estudio cualitativo de moluscos (julio-octubre-99). No se obtuvieron ejemplares en las estaciones 26, NA4 y NA6 (Figura 9.47). Con los datos obtenidos podemos considerar que la localización del banco se mantiene respecto a la obtenida en noviembre de 1999, abarcando tres zonas diferenciadas (Figuras 9.48 y 9.49):

- ✓ submareal de 1 a 5 metros de profundidad, frente a la playa de la Puntilla donde la talla media es menor (62 mm) y con valores altos de densidad (27 i/m^2) y biomasa (103 g/m^2)
- ✓ submareal de 3 metros de profundidad (intermedia) que se corresponde con la estación NA7, con talla media de 71 mm y con los máximos valores de densidad (37 i/m^2) y biomasa (208 g/m^2)
- ✓ frente a la playa de Levante que llega hasta el bajo de la Cabezuela y que comprende tanto la franja intermareal de las barras arenosas como la zona submareal hasta los 3 metros de profundidad. En esta zona se obtuvieron mayores tallas medias (75 a 100 mm), siendo los valores de densidad y biomasa menores (9 i/m^2 y 95 g/m^2 , respectivamente). Es la zona más explotada por los mariscadores

Esta diferencia obtenida tanto en las tallas como en los valores de los parámetros poblacionales, en zonas de igual características ecológicas (batimetría y tipo de sedimentos) podrían deberse a la explotación a la que se ve sometido el banco, puesto que la única diferencia entre dichas zonas es su accesibilidad.



Figura 9.47. *Solen marginatus*. Localización del banco. Julio 2000

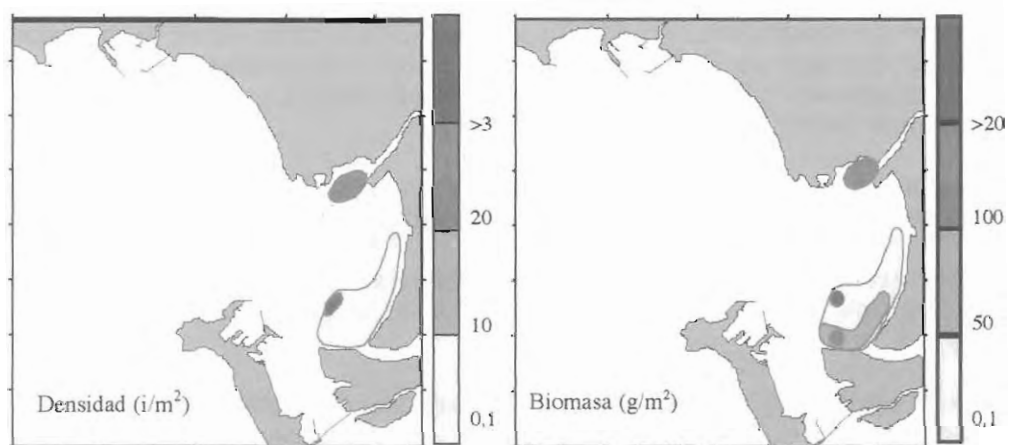


Figura 9.48. *Solen marginatus*. Densidad y biomasa. Julio 2000

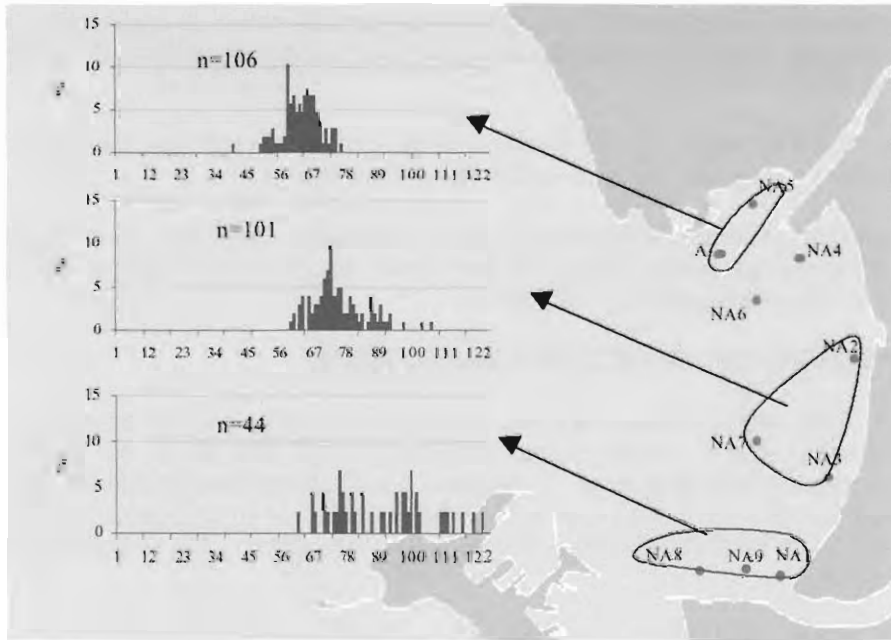


Figura 9.49. *Solen marginatus*. Distribución de tallas por zonas. Julio 2000

Tabla 9.9. *Solen marginatus*. Tallas medias, mínimas y máximas por estación de muestreo del banco de navajas. Submarinistas. Julio de 2000. D (i/m^2): densidad poblacional; B (g/m^2): biomasa; Tm: talla media (mm); Desv típ: desviación típica; Tmín (mm): talla mínima; Tmáx (mm): Talla máxima.

Estación	D	B	Tm	Desv típ	Tmín	Tmáx
NA1	5	76	100	11,4	83	120
NA2	10	98	85	10,6	62	106
NA3	4	39	88	3,8	80	92
NA5	27	103	62	6,6	40	75
A	26	100	64	5,7	49	76
NA7	37	208	71	5,3	59	83
NA8	10	58	73	5,5	61	83
NA9	8	104	101	9,1	89	123

9.4 PROPUESTAS DE PROTECCIÓN DE BANCOS NATURALES

9.4.1 PROTECCIÓN DEL MEDIO FÍSICO

Los bancos de moluscos están íntimamente relacionados con los factores físicos del medio donde habitan, por lo que es necesario conservar este medio natural. Las características hidrológi-

cas se ven afectadas, muy a menudo, por la presencia de contaminantes de origen antropogénico, cuyas consecuencias pueden ser minimizadas a través de medidas preventivas y/o correctoras, reguladas mediante normativa ambiental. Por lo tanto, entre otras, proponemos:

- ✓ mayor control de los vertidos de aguas residuales urbanas e industriales, procedentes tanto de estaciones depuradoras como de conducciones directas
- ✓ agilización del protocolo de actuación en caso de accidentes con vertido de hidrocarburos al mar desde embarcaciones (un ejemplo claro de un derrame de este tipo fue el ocurrido al buque J.P. Bobo en noviembre de 1997)

9.4.2 PROTECCIÓN DE LOS RECURSOS MARISQUEROS

Los bancos naturales de moluscos bivalvos estudiados en la bahía pertenecen a tres especies comerciales: chirla, coquina y navaja. De estos tres bancos sólo el de navaja es explotado habitualmente por mariscadores de la zona y su regulación está basada en la talla mínima y en el control de la época de veda. Sin embargo, en el caso de los bancos de chirla y coquina, en las actuales condiciones y con los datos obtenidos en este estudio se pone en duda su rentabilidad como recurso explotable.

Así pues, las recomendaciones propuestas difieren según el banco en cuestión. Para el banco de navaja proponemos un refuerzo de las medidas reguladoras ya existentes, como son:

- ✓ respeto de la veda, tanto con relación al período establecido (para evitar capturas en época de reproducción) como con el tamaño mínimo de captura (que asegure la regeneración del banco)
- ✓ aprovechamiento de los recursos por mariscadores profesionales provistos del correspondiente carnet, lo que facilita el seguimiento de la explotación (con las consiguientes medidas correctoras) y su conservación
- ✓ utilización de artes selectivas que permitan las capturas de ejemplares de talla comercial. En este caso sería recomendable el uso de la “varilla”, descartando la extracción mediante sal que provoca la desaparición del banco

En el caso de los bancos de chirla y coquina, la actual situación de los mismos está estrechamente relacionada con el incumplimiento de la legislación pesquera vigente. Esta normativa regula, entre otros, el ejercicio de la pesca de “arrastre de fondo” en aguas litorales, el uso de artes selectivas, así como la veda. Por consiguiente, las propuestas de protección de estos recursos están encaminadas al cumplimiento de estas medidas, que garanticen la conservación de los bancos. En el caso de la coquina, el descenso demográfico observado se debe principalmente a la explotación furtiva a la que se ha visto sometido el banco durante la época estival, dada la afluencia de veraneantes a la zona. La continuidad de la población de coquinas se ve amenazada por dicha actividad, por lo que sería necesario informar a estas personas de la prohibición de capturas en época de veda (v.g. mediante paneles informativos en playas). También sería recomendable incluir la conservación de estos recursos naturales dentro de los programas de educación ambiental.

Finalmente, resulta muy interesante la existencia de un banco de chirla no explotado -en el que no hay extracción de individuos por pesca- que permitiría el estudio de la evolución y dinámica de población desde el punto de vista científico y ecológico.

10. PROPUESTAS DE ZONAS DE CULTIVO EN MAR ABIERTO

En la bahía exterior se han podido determinar algunos agentes configuradores de la misma. El canal de navegación de entrada al puerto de Cádiz y el estrecho de Puntales forman uno de ellos. El régimen de las aguas en esta zona está caracterizado por su importante dinamismo con velocidades de corriente elevadas, además de ser la zona de la bahía de mayor profundidad. Es el sector donde se dan las aguas de menor calidad de la bahía. Este canal es dragado con mucha frecuencia, por lo que el ecosistema bentónico se degrada continuamente.

Además del canal de navegación, los bajos rocosos presentes en la bahía influyen notablemente sobre factores tanto físicos como biológicos. En efecto, los bajos de La Galera y del Diamante, -situados al norte de la ciudad de Cádiz- parecen estar especialmente relacionados con las características de los sedimentos, tipo de vegetación, los bancos naturales de moluscos y la calidad del agua. Así la zona donde la calidad de agua es menos adecuada para los cultivos flotantes es la que se encuentra al Este de estos bajos. Además afectan en los tipos de sedimentos y en la dinámica de los mismos, al aparecer una zona de sedimentación, con fondos algo más fangosos entre los bajos y la playa. Por otra parte, la pendiente del fondo es más suave al Este de los bajos que en el resto de la bahía. Puede decirse que la protección de estos accidentes a sotavento de los temporales del SW -los principales que afectan a esa zona-, puede ser decisivo a la hora de establecer el sector de mayor riqueza animal y vegetal de la bahía de Cádiz, encontrándose las mayores extensiones de praderas vegetales y de bancos de moluscos bivalvos. Al oeste de estos bajos, se da la zona de mayor profundidad, con moluscos presentes pero escasos, no se da vegetación y se registra una mayor calidad de agua. Un fenómeno importante observado es la variabilidad temporal de los factores estudiados, especialmente la distribución de la vegetación y de los moluscos y la calidad del agua. En los dos primeros se observa a lo largo del estudio, una disminución notable en la extensión de las zonas donde se encuentran. Parece que además del componente poblacional, hay otros factores como la frecuencia de lluvias o de temporales y oleaje, que pueden influir de forma importante en la extensión y localización de estas especies, así como en las propiedades del agua.

Salvo este sector, localizado al este de los bajos, en zona externa de la bahía de Cádiz no hay ningún lugar que esté protegido de los fuertes temporales del SW -frecuentes en la época invernal. Los de levante, también asiduos en nuestra zona, tendrán menor influencia en las instalaciones flotantes ya que se encontrarían a sotavento de la costa, aunque por su fuerte intensidad pueden llegar a provocar olas de hasta 4 m de altura a pocas millas de la costa. La exposición de la bahía a los temporales podría tener el peso suficiente como para desaconsejar cualquier zona de la bahía de Cádiz para realizar cualquier cultivo marino flotante. Esta afirmación hubiera sido válida hace unos años, cuando la tecnología de acuicultura en mar abierto estaba aún poco desarrollada. Sin embargo, actualmente existen instalaciones que aseguran que tanto la estructura flotante, como los animales que en ella son estabulados, resistan los temporales. Otras condiciones animan a tener en cuenta esta bahía como lugar adecuado para la acuicultura en mar abierto. La buena calidad de las aguas -salvo el sector especificado- así lo permite. Las temperaturas de las aguas como factor especialmente importante en el rendimiento, resultan adecuadas para el cultivo de dorada y lubina y son comparables a las encontradas en una de las mejores zonas de cultivo de peces marinos en el litoral mediterráneo español, el litoral murciano (Ballester et al, 1999). Las jaulas para cultivo de peces en mar abierto que existen en el mercado actual, están indicadas para profundidades mínimas entre 20 y 35 m. No se consideran convenientes profundidades menores, ya que corren el riesgo de convertirse en zona de rompiente casi toda la columna de agua cuando ocurren los temporales. Cualquier zona en la boca de la bahía sería apta para colocar este tipo de jaulas, siendo la más adecuada la situada al SW de Rota, entre 20 y 35 m de profundidad, al encontrarse más cerca de este puerto. Otro lugar capaz de albergar instalaciones de este tipo se localiza al SW de Cádiz, a una profundidad similar a la anterior. La concurrencia de las líneas comerciales de navegación hace resultar algo más peligrosa su colocación en ese punto. Además en esta zona las corrientes son de mayor intensidad y el agua de peor calidad, por lo que Rota reúne mejores condiciones.



10.1 ZONAS NO APTAS PARA CULTIVOS MARINOS FLOTANTES

Como zona no apta para realizar cultivos marinos flotantes se encuentra el canal principal de navegación, que discurre entre el estrecho de Puntales y la entrada al puerto de Cádiz. Es un canal por el que navegan grandes barcos hacia los principales puertos y astilleros de la Bahía. Este único motivo lo invalidaría totalmente para su uso en acuicultura. Además las corrientes que se dan en estos lugares son muy elevadas, lo que dificultaría la instalación y uso de estas estructuras. La calidad del agua no resulta adecuada en esta zona cuando ocurren temporales de lluvia, además de ser la principal zona de desagüe de las aguas de la bahía, al existir una corriente residual saliente.

Asimismo, la zona que se encuentra entre los bajos del Quemado y la Galera y la playa de Valdelagrana no se considera apta para cultivos en mar abierto por varios motivos: su profundidad menor a 10 m, el rico ecosistema bentónico existente, evidenciado por la presencia de las praderas vegetales (*Caulerpa prolifera* y *Cymonodea nodosa*) y las numerosas especies de moluscos que viven en esa zona. Por último la peor calidad de las aguas cuando se dan grandes lluvias hacen desaconsejar este sector para la acuicultura flotante.

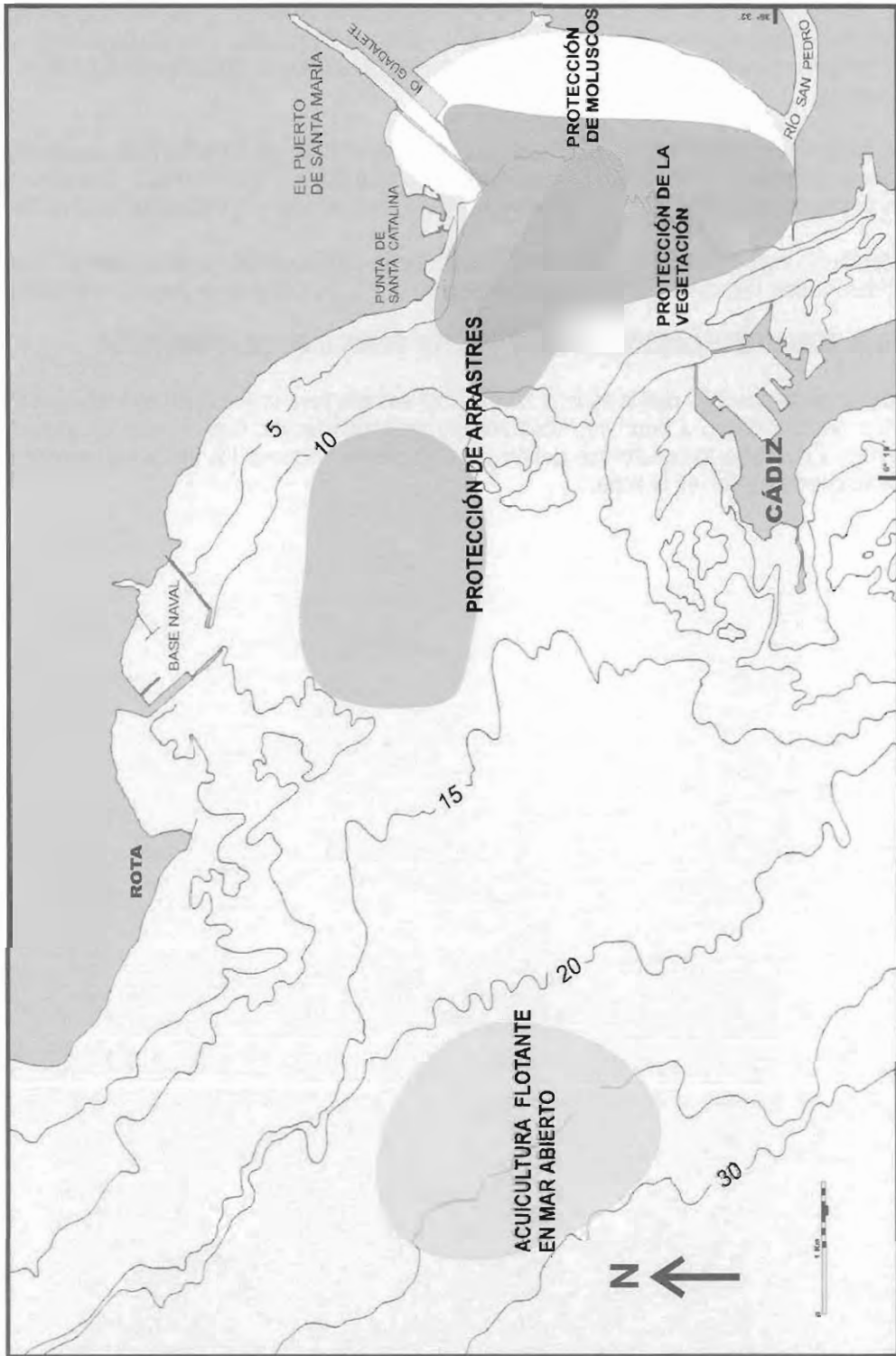
10.2 ZONAS POSIBLES O EN DISCUSIÓN

Parece posible la instalación de jaulas flotantes en una zona cercana a Rota, al SW del Bajo del Quemado (Mapa 10.1). Las características establecidas como condiciones técnicas para la instalación de jaulas marinas para el cultivo de peces se cumplen en este lugar, de forma respetuosa con el medio ambiente. Estas condiciones son igualmente aplicables a los cultivos flotantes de otro tipo como son los *long-line*, aunque por su menor implantación, haremos referencias principalmente a las primeras.

Zona de Rota. El sedimento encontrado es arena gravosa en la zona cercana a la roca y arena limosa en el resto. El fondo arenoso es el más adecuado para la colocación de estructuras flotantes. Como corresponde a áreas rocosas los carbonatos biogénicos son especialmente elevados y el contenido en materia orgánica es bajo. Respecto a la fisiografía de detalle del fondo, se llegó a la conclusión de que la zona es de energía media, siendo propio del transporte tractivo y en suspensión, con una probabilidad de removilización del fondo por el oleaje baja, en torno al 20%. Las formas detectadas en los fondos indican la dirección de corriente hacia el SW. Esto parece indicar que los residuos producidos por los peces tras caer al fondo irían mar adentro, evitando los posibles problemas de contaminación en playas. La zona es considerada idónea respecto a estos factores. Una velocidad de corriente adecuada se considera fundamental para éste tipo de cultivo, puesto que garantiza la renovación de las aguas, fundamental para el aporte de oxígeno necesario en el cultivo de peces. En esta zona se registran corrientes dentro del rango adecuado, por encima de 15 cm/s y por debajo de 50 cm/s.

El régimen de oleaje para la zona de la bahía de Cádiz es medido en una boya colocada dos millas al oeste del castillo de San Sebastián. Las olas esperadas con los temporales son bastante importantes, pero parecen tolerables por las estructuras diseñadas para cultivo en mar abierto. Es probable que en alguno de los temporales se sufran daños, que deben ser tenidos en cuenta a la hora de hacer las previsiones económicas que aseguren la rentabilidad de los cultivos marinos. En cualquier caso es absolutamente necesario evitar las zonas de rompiente del oleaje.

Las características del agua son adecuadas en la zona de Rota, encontrándose en ella los mejores índices de calidad de toda la bahía, alcanzando valores de hasta 9,5 - sobre un máximo de 10 - en el índice de Calidad Total. Resulta interesante comprobar cómo en esta zona de la bahía la mayor influencia del agua oceánica produce efectos beneficiosos para el cultivo de peces. En efecto, en otoño e invierno, las temperaturas son mayores en esta zona, alcanzándose hasta 1-2 °C más que en la costa. En verano, sin embargo, el fenómeno es el inverso, aunque se encuentran temperaturas siempre por encima de 20 °C, permitiendo un buen crecimiento de los peces en esta estación.



Mapa 10.1. Propuesta de protección ambiental y de acuicultura flotante en la bahía de Cádiz.



Por otro lado, en los muestreos realizados no se ha encontrado una termoclina importante -típica del verano- que pudiera hacer que los peces crecieran menos al cultivarse a una cierta profundidad. Además, esta localización se encuentra fuera de la influencia de ramblas y zonas de escorrentías y los vertidos más cercanos detectados en ningún caso llegan a influir en la calidad de agua en la zona seleccionada.

La ausencia total de praderas vegetales en la zona de Rota es otro motivo más que permite la colocación de estructuras flotantes. En la zona seleccionada no se detectan bancos de moluscos de interés comercial, encontrándose bastante alejada de la zona de mayor presencia de estas especies.

Además, la zona no está sujeta a ningún tipo de figura de protección medioambiental. Existe un fondeadero militar reservado para la Base Naval de Rota a unas millas de la zona seleccionada.

10.3 ZONA SELECCIONADA COMO APTA PARA CULTIVOS MARINOS

Por tanto se concluye que la zona al SW de Rota es apta para la ubicación de cultivos marinos flotantes, no suponiendo *a priori* impactos ambientales importantes. Deben utilizarse estructuras resistentes a mar abierto puesto que deben ser capaces de soportar los fuertes temporales que esporádicamente se dan en la zona.

11. PROPUESTAS DE ZONAS DE PROTECCIÓN

Durante el tiempo de estudio se ha comprobado que la bahía de Cádiz, a pesar de la influencia antropogénica (poblaciones que la rodean, tráfico marítimo, vertidos directos o a través de ríos, y otras agresiones como la pesca ilegal), se encuentra en un buen estado de conservación, aunque probablemente la fauna y la vegetación serían en su origen más diversos en especies vegetales y animales. Después de este estudio se destacan como zonas a proteger en la Bahía de Cádiz las siguientes (Mapa 10.1):

La pradera del alga *Caulerpa prolifera*, situada frente de la playa de Valdelagrana y La Puntilla que llega hasta la Punta de Santa Catalina, entre 0,5 y 8 m de profundidad, con una superficie de 860 ha. en octubre de 1999. Además, se ha detectado una pequeña pradera de *Cymonodea nodosa*, en el bajo de la Cabezuela en Rota. Estas praderas tienen un importante valor ecológico como queda demostrado por ser la zona donde tanto las especies presentes, como la densidad y biomasa de moluscos bivalvos son mayores. Así, en esta zona se encuentran los bancos de moluscos comerciales que pueden tener más interés, como son la chirla (*Chamelea gallina*), coquina de arena (*Donax trunculus*) y navaja (*Solen marginatus*). Estos bancos deben ser protegidos con medidas que tiendan a hacer efectivo el cumplimiento de la normativa actualmente vigente respecto a la prohibición de pesca con arrastre en zonas litorales, así como a la autorización de la pesca sólo por pescadores profesionales, y el respeto de las vedas y tallas de las especies estudiadas. De estas especies consideramos más importante la navaja, puesto que ya existe una significativa actividad extractiva, pudiéndose recolectar cantidades importantes de talla comercial, concretadas mediante muestreo en una producción máxima calculada de unas 360 Toneladas de la especie.

La zona frente a la playa de Santa Catalina, situada entre las isobatas de 10 y 15 m, al NW de los bajos de la Galera y el Diamante, tiene cierto interés desde el punto de vista de su conservación, ya que en ella se detectan mediante los registros del sonar de barrido litoral huellas de artes de pesca de arrastre. En las anotaciones tomadas en los días de muestreo se ha comprobado una intensa actividad de pesca de arrastre ilegal, coincidiendo con la zona más castigada que figura en las imágenes en el mapa 10.1. Se propone pues, para esa zona el fondeo de arrecifes artificiales disuasorios que pueden ser de pequeño porte, ya que las embarcaciones arrastreras observadas son botes de eslora y potencia de motor reducidas.

Son por lo tanto dos las zonas a proteger (Mapa 10.1):

➤ zona al NW de los bajos de la Galera y el Diamante. Se delimita al Norte por la zona rocosa junto a Rota, por la isobata de 10 m al este y la isobata de 15 m al oeste, por detectarse en ellas pesca ilegal con arte de arrastre.

➤ zona situada entre estos mismos bajos y la playa de Valdelagrana (exceptuando el Canal de navegación) por su especial importancia ecológica, dada la presencia de praderas del alga *Caulerpa prolifera* y de la fanerógama *Cymonodea nodosa* además del rico ecosistema bentónico, reflejado en parte, con las 30 especies de moluscos bivalvos recolectadas.

12. BIBLIOGRAFÍA

GENERAL

- C. E. A. M., s. c. p. El Medio Marino y Costero del Parque Natural del Acantilado y Pinar de Barbate. *Junta de Andalucía*. 59 pp.
- Barragán Muñoz, J.M (coord.). 1996 Estudios para la Ordenación, Planificación y Gestión Integradas de las Zonas Húmedas de la Bahía de Cádiz. *Oikos-tau y Universidad de Cádiz*. 379 pp.
- Calvin Calvo JC. 1999. El Litoral Sumergido de la Región de Murcia. Cartografía bionómica y valores ambientales. *Consejería de Medio Ambiente, Agricultura y Agua. Región de Murcia*. 127 pp.
- Macías Rivero, J.C. 2001. Estado Actual de la Acuicultura Marina en Andalucía. *Consejería de Agricultura y Pesca. Junta de Andalucía*. 110 pp.
- Muñoz Pérez, JL, Sánchez de Lamadrid A. 1994. El Medio Físico y Biológico en la Bahía de Cádiz. Saco Interior. *Informaciones Técnicas 28/94. Consejería de Agricultura y Pesca de la Junta de Andalucía*. 161 pp.
- Sobrino Yraola, I., García García, A., García Isarch, Eva Mª y Silva Caparro, L. 2000. Estudio previo para la delimitación de una reserva de pesca en la desembocadura del Guadalquivir. *Instituto Español de Oceanografía y Consejería de Agricultura y Pesca de la Junta de Andalucía*. 90 pp.

MORFOMETRÍA

- Guillemot E. 1989. Teledetection des Milieux Litoraux de la Baie de Cádiz. *These Doctoral. Universite de Paris-I. Pantheon- Sorbone*. 151 pp.
- Håkanson L. 1981. A manual of lake morphometry. Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York.(78 pp.).
- Håkanson L. 1974. A mathematical model for establishing numerical values of topographical roughness for lake bottoms. *Geografiska Annaler*. 56 A, Häfte 3-4.
- Instituto Hidrográfico de la Marina. 1973. Bahía de Cádiz, Hoja I, Carta 443 A; Escala 1:25 000. Corrección de 1987.

SEDIMENTOS

- Abarzuza J. 1991. Sónar de barrido lateral y penetrador de sedimentos. Aplicación en hidrografía. *Instituto Hidrográfico de la Marina*. 207 pp.
- Allen JR. 1973. Phase differences between bed configuration and flow in natural environments, and their geological relevance. *Sedimentology*. 20:323-9.
- Barragán Muñoz JM. 1996. Estudios para la ordenación, planificación y gestión integradas de las zonas húmedas de la bahía de Cádiz. *Universidad de Cádiz*. 369 pp.
- Birkemeier WA. 1985. Filled data on seaward limit of profile change. *Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering*. 111(? 3).
- Castaing P. 1989. Co-oscillating tide controls long-term sedimentation in the Gironde estuary, France. *Mar. Geol.* 89:1-9.
- CERC. 1984. Shore Protection Manual. U. S. Army Corps of Engineers. *Coastal Engineering Research Center. U. S. Govt. Printing Office*. 2-9.
- Degiovanni C. 1970. Les concentrations de minéraux lourds sur la plage de Pramouquier (Var), et leurs relations avec les indices d'evolution de A. Rivière. *Compte Rendus de L'Académie des Sciences, Paris*. 217(D):28-30.
- Gutiérrez Mas JM. 1992. Estudio de los sedimentos recientes de la plataforma continental y Bahía de Cádiz. *Tesis Doctoral. Universidad de Cádiz*. 346 pp.
- Gutiérrez Mas JM, Gracia Prieto FJ. 1994. Control morfoestructural de la dinámica sedimentaria litoral en el margen suratlántico español (Provincia de Cádiz, España). *GAIA. Revistas de Geociencias*. 8:87-90.



- Gutiérrez Mas JM, Hernández Molina FJ, López Galindo A, López Aguayo F. 1994. Establecimiento de la traza de un flujo desde la bahía de Cádiz a la plataforma continental. *GAIA*. 8:125-8.
- Komar PD. 1977. Selective longshore transport rates of different grain-size fraction within a beach. *Journ. Sed. Pet.* 47:1444-53.
- Muñoz Pérez JJ, Gutiérrez Mas JM, Parrado Román JM. 1996. Estudio del movimiento de sedimentos en la playa de "Regla" (Chipiona-Cádiz), mediante el uso de trazadores fluorescentes. *Boletín Geológico y Minero*. 107(1):29-37.
- Shields A. 1936. Anwendung der Ähnlichkeits-Mechanik und der Turbulenzforschung auf die Gesschiebebewegung. *Preussische Versuchsansalt Für Wasserbau Und Schiffbau*. 26(Berlin.).
- Visher GS. 1969. Grain-size distribution and depositional processes. *Jour. Sedim. Petrol.* 39:1074-106.
- Wright LD, Coffey FC, Cowell PJ. 1980. Nearshore Oceanography and Morphodynamics of the Broken-Bay-Palm Beach Region, N. S. W.: Implications for Offshore Dredging. *Tech. Rep. 80/1, Coastal Studies Unit, University of Sidney*. 208 pp.
- Zazo C, Goy J, Dabrio C. 1983. Medios marinos y marino-salobres en la bahía de Cádiz durante el Pleistoceno. *Rev. Mediterránea, Ser. Geol.* 2:29-52.

CORRIENTES Y OLEAJE

- Álvarez Esteban O. 1999. Simulación numérica de la dinámica de mareas en la bahía de Cádiz: análisis de las constituyentes principales, interacción marea-brisa e influencia del sedimento en suspensión. *Departamento de Física Aplicada. Universidad de Cádiz*.
- Álvarez O, Tejedor B, Tejedor L. 1997. Simulación numérica de la dinámica de marea en el dominio de la Bahía de Cádiz. *2º Simposio Sobre El Margen Continental Ibérico Atlántico, Cádiz*. 183-4.
- Bruno M, Fragueta B, Alonso JJ, Ruíz Cañavate A, Mañanes R, Rico J. 1997. Atmospheric pressure variations and water mass exchange between the continental shelf and the Bay of Cadiz. *Scientia Marina*. 61(3):379-87.
- Establier R, Blasco J, Lubián LM. 1987. Fitoplancton e hidrografía de la Bahía de Cádiz. Enero de 1984 a diciembre de 1985. *Inv. Pesq.* 51(4):501-15.
- Establier R, Blasco J, Lubián LM. 1986. Fitoplancton e hidrografía de la Bahía de Cádiz (SO de España) de marzo de 1980 a diciembre de 1983. *Inv. Pesq.* 50(1):69-81.
- Ewing JA. 1990. Wind, Wave and Current Data for the Desing of Ships and Offshore Structures. *Marine Structures*. 3:421-59.
- Instituto Hidrográfico de la Marina. 1990. Derrotero de las Costas de Portugal y SW de España desde el Río Miño al Cabo de Trafalgar con inclusión de Barbate. *Servicio de Publicaciones de la Armada*. III(2):312 pp.
- MOPT. Dirección General de Puertos. 1992. ROM 0.3-91. Oleaje. Anejo I. Clima Marítimo en el Litoral Español.:76 pp.
- Tejedor B, García E, Aboitiz A, Álvarez O. 1997. Estudio de la Interacción entre las corrientes originadas por el efecto brisa y las corrientes de marea en la Bahía de Cádiz. *2º Simposio Sobre El Margen Continental Ibérico Atlántico, Cádiz*. 183-4.

VEGETACIÓN

- Aula del Mar de Málaga. 1998. Praderas de fanerógamas marinas en el litoral andaluz. Guía de Especies Marinas Amenazadas. *Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía*. 127 pp.
- Cabioc'h J, Floc'h JY, Le Toquin A, Boudouresque CF, Meinesz A, Verlaque M. 1995. Guía de las algas de los mares de Europa: Atlántico y Mediterráneo. *Ediciones Omega, S. A.* 250 pp.
- Campbell AC. 1983. Guía de Campo de la Flora y Fauna de las costas de España y de Europa. *Ed. Omega*. 336 pp.
- Delgado O, Grau A, Pou S, Riera F, Massuti C, Zabala M, Ballesteros E. 1997. Seagrass regression cause by fish cultures in Fornells Bay (Menorca, Western Mediterranean). *Oceanologica Acta*. 20(3):557-63.

- Margalef R. 1989. Ecología. Ed. Omega. 951 pp.
- Riold R. 1986. Fauna y Flora del Mar Mediterráneo. Ed. Omega. 858 pp.

MOLUSCOS

- Ansell AD, Barnett PRO, Bodoy A, Massé H. 1980. Upper Temperature Tolerances of Some European Molluscs II. *Donax vittatus*, *D. semistriatus* and *D. trunculus*. *Marine Biology*. 58:41-6.
- Borja Á. 1989. Estudio de las Comunidades de Moluscos de las Rías de Euskadi. *Informe Técnico. Servicio de Investigación Oceanográfica*. 24:45 pp.
- Bruzón M, Rodríguez de la Rúa A, Romero Z, Prado M. 1999. Estudio de la Población de Muergos *Solen marginatus* (L., 1758) (Mollusca, Bivalvia) en el Bajo de la Cabezuela" (Bahía de Cádiz, España). 3º *Símpoio Sobre El Margen Continental Ibérico Atlántico*. Faro, Portugal.
- Campos Gómez A. 1992. Moluscos de la Bahía de Cádiz. *Real Club Náutico El Puerto de Santa María*. 2:10-4.
- Harry J., Turner Jr, Belding DL. 1957. The Tidal Migrations of *Donax variabilis* Say. *Limnology and Oceanography*. 11(2):120-4.
- Pérez-Ruzafa A, López-Ibor A. 1988. Echinoderm fauna from the south-western Mediterranean - Biogeographic relationships. *Echinoderm Biology, Burke et al. (Eds)*. ISBN 90 6191 7557:355-62.
- Royo Rodríguez A. 1979. Sobre la Chirla (*Venus galliana* Linneo) en el Litoral Onubense. *Tesis de Licenciatura, Universidad Complutense de Madrid*. 137 pp.
- Salas C. 1987. Ecología de los Donacidae (Mollusca, Bivalvia) de la bahía de Málaga (SE de España). *Inv. Pesq.* 51(1):67-77.
- Salas-Casanova C. 1987. The Donacidae of the Bay of Malaga (Spain). *Taxonomy. Basteria* 51:33-50.
- Tebble N. 1976. British Bivalve Seashells. A Handbook for Identification.:212 pp.
- Tirado C, Salas C. 1998. Reproduction and Fecundity of *Donax tunculus* L., 1758 (Bivalvia: Donacidae) in the Littoral of Málaga (Southern Spain). *Journal of Shellfish Research* 17(1):169-76.
- Tirado C, Salas C. 1999. Reproduction of *Donax venustus* Poli 1795, *Donax semistriatus* Poli 1795 and Intermediate Morphotypes (Bivalvia: Donacidae) in the Littoral of Málaga (Southern Spain). *Marine Ecology*. 20(2):111-30.
- Vizuete Cano F, Mas Hernández J. 1988. Biometría y Reproducción de *Chamelea Gallina*, L. en la Bahía de Mazarrón (SE de la Península Ibérica) y Algunas Consideraciones sobre su Pesca. *FAO Rapport Sur Les Pêches*. 395:107-11.
- Vizuete F, Martínez Baño P, Mas J. 1993. Estudio del ciclo reproductivo de *Chamelea gallina* L., en la bahía de Mazarrón (SE de la península Ibérica). *Publ Espec Inst. Esp. Oceanogr.* 11:49-56.
- Vizuete F, Martínez P, Mas J. Aspectos Biológicos de la Chirla Común (*Chamelea gallina* L., 1758) en el S. E. de la Península Ibérica. *Congreso Bentos de Palma de Mallorca*. 8 pp.
- Zenetos A, Papathanassiou E. 1989. Community Parameters and Multivariate Analysis as a Means of Assessing the Effects of Tannery Effluents on Macrobenthos. *Marine Pollution Bulletin*. 20(4):176-81.

CULTIVO DE PECES MARINOS

- Aguilar-Manjarrez J, Ross LG. 1993. Aquaculture development and GIS. *Mapping Awareness & GIS in Europe*. 7(4):49-52.
- Albright LJ, Yang CZ, Johnson S. 1993. Sub-lethal concentrations of the harmful diatoms, *Chaetoceros concavicornis* and *C. convolutus*, increase mortality rates of penned Pacific salmon. *Aquaculture*. 117:215-25.
- Ángel DL, Krost P, Silvert WL. 1998. Describing benthic impacts of fish farming with fuzzy sets: theoretical background and analytic methods. *J. Appl. Ichthyol.* 14:1-8.
- Arulampalam P, Yusoff FM, Shariff M, Law AT, Srinivasa Rao PS. 1998. Water quality and bacterial populations in a tropical marine cage culture farm. *Aquaculture Research*. 29:617-24.



- Black EA, Truscott J. 1994. Strategies for regulation of aquaculture site selection in coastal areas. *J. Appl. Ichthyol.* 10:295-306.
- Black KD, Ezzi IA, Kierner MCB, Wallace AJ. 1994. Preliminary evaluation of the effects of long-term periodic sublethal exposure to hydrogen sulphide on the health of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.). *J. Appl. Ichthyol.* 10:362-7.
- Blair A, Campbell R, Grant PT. 1982. A Submersible Fish Cage that can be rotated on the surface to remove biofouling and for other purposes. *Aquaculture.* 29.
- Blasco J, Gómez-Parra A, De Frutos M, Establier R. 1987. Evolución espacial y temporal de la concentración de materia orgánica en los sedimentos de esteros de la bahía de Cádiz. *Inv. Pesq.* 51(4):599-617.
- Cage Update. 1998. *Fish Farming International.* 25(5):14-5.
- Carss DN. 1990. Concentrations of wild and escaped fishes immediately adjacent to fish farm cages. *Aquaculture.* 90:29-40.
- Chua T-E. 1992. Coastal Aquaculture Development and the Environment. The Role of Coastal area Management. *Marine Pollution Bulletin.* 25:98-103.
- Del Valls TA, Forja JM, Blasco J, Ortega-Díaz T, Gómez-Parra A. 1994. Evaluation of pollution-induced degradation in Cadiz Bay, using the sediment quality triad approach. *GAIA. Revistas de Geociencias.* 9:127-30.
- Dougall NM, Black KD. 1999. Determining sediment properties around a marine cage farm using acoustic ground discrimination: RoxAnn™. *Aquaculture Research.* 30(451-458).
- Edward Huguenin J, Ansuini FJ. 1978. A Review of the Technology and Economics of Marine Fish Cage Systems. *Aquaculture.* 15:151-70.
- Establier R, Lubián LM, Blasco J, Gómez A. 1984. Estudio de las variaciones fisicoquímicas de salinas de Cádiz dedicadas al cultivo extensivo de peces. *Inf. Téc. Inv. Pesq.* 112:3-35.
- Fernö A, Huse I, Juell JE, Bjordal Å. 1995. Vertical distribution of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) in net pens: trade-off between surface light avoidance and food attraction. *Aquaculture.* 132:285-96.
- Flagg TA, Harrell LW. 1990. Use of Water-to-Water Transfers to Maximize Survival of Salmonids Stocked Directly into Seawater. *The Progressive Fish-Culturist.* 52:127-9.
- Folke C, Kautsky N. 1992. Aquaculture with its Environmental: Prospects for Sustainability. *Ocean & Coastal Management.* 17:5-24.
- Folke C, Kautsky N, Troell M. 1994. The Costs of Eutrophication from Salmon Farming: Implications for Policy. *Journal of Environmental Management.* 40:173-82.
- Forja JM, González-Mazo E, Gómez-Parra A. 1994. Dinámica de nutrientes en la Bahía de Cádiz. *GAIA. Revistas de Geociencias.* 9:11-4.
- Forja JM, Gómez-Parra A, Blasco J. 1990. Ritmos circadianos y perfiles verticales en un ecosistema litoral somero. *Sci. Mar.* 54(1):9-18.
- Foster M, Petrell R, Ito MR, Ward R. 1995. Detection and Counting of Uneaten Food Pellets in a Sea Cage Using Image Analysis. *Aquacultural Engineering.* 14(3):251-69.
- Geffen A. 1979. Rotating Fish Cages to Prevent Fouling. *Aquaculture.* 16:83-5.
- Grave K, Engelsta M, Sjøli NE, Håstein T. 1990. Utilization of Antibacterial Drugs in Salmonid Farming in Norway during 1980-1988. *Aquaculture.* 86:347-58.
- Hayashizaki K, Hayakawa Y, Ida H. 1999. Construction of a Database and Visualization System of Environmental Factors in Coastal Waters and its Utilization on the Internet. *Fisheries Science.* 65(4):663-4.
- Holby O, Hall POJ. 1994. Chemical fluxes and mass balances in a marine fish cage farm. III. Silicon. *Aquaculture.* 120:305-18.
- Huguenin JE. 1997. The design, operations and economics of cage culture systems. *Aquacultural Engineering.* 16:167-203.
- Johnsen RI, Grahl-Nielsen O, Lunestad BT. 1993. Environmental distribution of organic waste from a marine fish farm. *Aquaculture.* 118:229-44.



- Join Group of Experts on the Scientific Aspects of marine Environmental Protection. 1996. Monitoring the ecological effects of coastal aquaculture wastes. *Reports and Studies. GESAMP*. 57:38 pp.
- Juell J-E. 1991. Hydroacoustic Detection of Food Waste - A Method to Estimate Maximum Food Intake of Fish Populations in Sea Cages. *Aquacultural Engineering*. 10:207-17.
- Kaspar HF, Hall GH, Holland J. 1988. Effects of Sea Cage Salmon Farming on Sediment Nitrification and Dissimilatory Nitrate Reductions. *Aquaculture*. 70:333-44.
- Kelly LA. 1995. Predicting the effect of cages on nutrient status of Scottish freshwater lochs using mass-balance models. *Aquaculture Research*. 26:469-77.
- Kishi MJ, Iwata Y, Uchiyama M. 1991. Numerical Simulation Model for Quantitative Management of Mariculture. *Marine Pollution Bulletin*. 23:765-7.
- Krost P, Chrzan T, Schomann H, Rosenthal H. 1994. Effects of a floating fish farm in Kiel Fjord on the sediment. *J. Appl. Ichthyol.* 10:353-61.
- Landless PJ, Edwards A. 1976. Economical ways of assessing hydrography for fish farms. *Aquaculture*. 8:29-43.
- Landless PJ, Edwards A. 1977. Some Simple Methods for Surveying a Marine Farm Site. *Fish Farming International*. 32-4.
- Loverich GF, Croker TR. 1997. Ocean Spar® net pen systems: 32 months of offshore operations. *Ocean Spar Technologies, LLC*. 11 pp.
- Loverich G. 1998. Cleaning Mussels from Sea Station-Again. *Ocean Spar Technologies, LLC*. 2 pp.
- Loverich G. 1998. Ocean Spar® Trials at Global Aqua-Fort Ward. *Ocean Spar Technologies, LLC*. 3 pp.
- Loverich G. 1998. Stocking Density of Sea Cages. *Ocean Spar Technologies, LLC*. 5 pp.
- Loverich G. 1997. A summary of the Case Against the Use of Gravity Cages in the Sea Farming Industry. *Ocean Spar Technologies, LLC*. 8 pp.
- Loverich GF. 1997. The Affect of Currents and Waves on Several Classes of Offshore Sea Cages. *Ocean Spar Technologies, LLC*. 11 pp.
- Loverich GF. 1998. Recycling the Waste Stream From by Sea Farms. *Ocean Spar Technologies, LLC*. 3 pp.
- Lu L, Wu R. S. S. 1998. Recolonization and succession of marine macrobenthos in organic-enriched sediment deposited from fish farms. *Environmental Pollution*, 101: 241-51.
- Lupatsch I, Kissil GWm. 1998. Predicting aquaculture waste from gilthead seabream (*Sparus aurata*) culture using a nutritional approach. *Aquat. Living Resour.* 11(4):265-8.
- Med-Fish expands cage operations. *Fish Farming International*. 1998. 24(10):16pp.
- Montero D, Izquierdo MS, Tort L, Robaina L, Vergara JM. 1999. High stocking density produces crowding stress altering some physiological and biochemical parameters in gilthead seabream, *Sparus aurata*, juveniles. *Fish Physiology and Biochemistry*. (53-60).
- Phillips MJ, Beveridge MCM, Ross LG. 1985. The environmental impact of salmonid cage culture on inland fisheries: present status and future trends. *J. Fish Biol.* 27(A):123-37.
- Pitt R, Tsur O, Gordin H. 1977. Cage Culture of *Sparus aurata*. *Aquaculture*. 11:285-96.
- Ritz DA, Lewis ME, Shen Ma. Response to organic enrichment of infaunal macrobenthic communities under salmonid seacages. *Marine Biology*. 103:211-4.
- Ross A. 1989. Nuvan Use in Salmon Farming. The Antithesis of the Precautionary Principle. *Marine Pollution Bulletin*. 20(8):372-4.
- Ross LG, Mendoza QM, Beveridge MCM. 1993. The application of geographical information systems to site selection for coastal aquaculture: an example based on salmonid cage culture. *Aquaculture*. 112:165-78.
- Ross LG. Environmental modelling and management of complex datasets for aquaculture: progress in using GIS.
- Ruokolahti C. 1988. Effects of Fish Farming on Growth and Chlorophyll a Content of *Cladophora*. *Marine Pollution Bulletin*. 19(4):166-9.



- Silvert W. 1994. Decision support systems for aquaculture licensing. *J. Appl. Ichthyol.* 10:307-11.
- Silvert W, Sowles JW. 1996. Modelling environmental impacts of marine finfish aquaculture. *J. Appl. Ichthyol.* 12:75-81.
- Silvert W. 1992. Assessing environmental impacts of finfish aquaculture in marine waters. *Aquaculture.* 107:67-79.
- Tsutsumi H, Kikuchi T, Tanaka M, Higashi T, Imasaka K, Miyazaki M. 1991. Benthic Faunal Succession in a Cove Organically Polluted by Fish Farming. *Marine Pollution Bulletin.* 23:233-8.
- Urea Ramos AJ, Gándara de la F. 1999. Pesca y Acuicultura. En: *Conclusiones del Encuentro Medioambiental Almeriense: En Busca de Soluciones.* 25-27.
- Uriarte Villalba A. 1998. Desarrollo de la Acuicultura en la Costa y su relación con el Medio Ambiente. *Jornadas Técnicas Sobre Acuicultura. Instituto Tecnológico Pesquero y Alimentario.* 1-12.
- Wallin M, Håkanson L. 1991. The Importance of Inherent Properties of Coastal Areas. *Marine Pollution Bulletin.* 22(8):381-8.

ARRECIFES

- Bayle-Sempere JT, Ramos-Esplá AA, García-Charton JA. 1994. Intra-annual variability of an artificial reef fish assemblage in the marine reserve of Tabarca (Alicante, Spain, SW Mediterranean). *Bulletin of Marine Science.* 55(2-3):824-35.
- Belda Vallés L, Jover Cerdá M. 1992. Los Arrecifes Artificiales de la Comunidad Valenciana. *Sèrie Divulgació Tècnica.Generalitat Valenciana.Conselleria D'Agricultura i Pesca.* 19:119 pp.
- Bombace G, Fabi G, Fiorentini L, Speranza S. 1994. Analysis of the efficacy of artificial reefs located in five different areas of the Adriatic Sea. *Bulletin of Marine Science.* 55(2-3):559-79.
- Cole-King A. 1993. Marine conservation. A new policy area. *Marine Policy.* 171-85.
- Daza Cordero JL. 1994. El Papel de los Arrecifes Artificiales en la Regeneración del Recurso Pesquero y la Restauración de Costas. *Espacios Naturales de Andalucía.* 2:8-10.
- Durán Neira C, Santiago Caamaño J, Acuña Castroviejo R, Sotelo Solana JC, López Barral MJ. 1988. Biotops artificiais nas costas galegas. *Informes Técnicos. Conselleria de Pesca de la Xunta de Galicia.* 51 pp.
- Fabi G, Fiorentini L. 1994. Comparison between an artificial reef and a control site in the Adriatic Sea: analysis of four years of monitoring. *Bulletin of Marine Science.* 55(2-3):538-58.
- Fourth International Conference on Artificial Habitats for Fisheries, November 2-6, 1987.1989. Miami, Florida. *Bulletin of Marine Science.* 44(2):1081 pp..
- Jensen AC, Collings KJ, Lockwood APM, Mallinson JJ, Turnpenny WH. 1994. Colonization and fishery potential of a coal-ash artificial reef, Poole Bay, United Kingdom. *Bulletin of Marine Science.* 55(2):1265-78.
- Jensen AC, Collins KJ, Free EK, Bannister CA. 1994. Lobster (*Homarus gammarus*) movement on an artificial reef: the potential use of artificial reefs for stock enhancement. *Crustaceana.* 67(2):199-211.
- Kakimoto H. 1978. Artificial Fish Reefs in Japan Sea Coastal Regions. *Symp. Aquaculture.* 103-9.
- Sherman RL, Gilliam DS, Spieler RE. 1999. A preliminary examination of depth associated spatial variation in fish assemblages on small artificial reefs. *J. Appl. Ichthyol.* 15:116-21.
- Spanier E, Tom M, Pisanty M, Almong-Shtayer G. 1990. Artificial Reefs in the Low Productive Marine Environments of the Southeastern Mediterranean. *Marine Ecology.* 11(1):61-75.
- Spanier E, Moshe T, Pisanty S. 1985. Enhancement of Fish Recruitment by Artificial Enrichment of Man-Made Reefs in the Southeastern Mediterranean. *Bulletin of Marine Science.* 37(1):356-63.
- Thierry JM. 1988. Artificial Reefs in Japan - A General Outline. *Aquacultural Engineering.* 7:321-48.
- Third International Artificial Reef Conference, 3-5 November 1983.1985. Newport Beach, California. *Bulletin of Marine Science.* 37(1):402 pp.
- William Seaman Jr, Sprague LM. 1991. Artificial habitats for marine and freshwater fisheries. Ed. Academic Press, inc. 285 pp.

AGRICULTURA

GANADERÍA

PESCA Y ACUICULTURA

POLÍTICA, ECONOMÍA Y SOCIOLOGÍA AGRARIA

FORMACIÓN AGRARIA

CONGRESOS Y JORNADAS

R.A.E.A.



P.V.P. 17,14 €

ISBN 84-8474-043-9



9 788484 740438



JUNTA DE ANDALUCÍA

Consejería de Agricultura y Pesca