

REVISIÓN DEL PLAN HIDROLÓGICO DE FUERTEVENTURA

**CONDICIONES DE REFERENCIA:
LÍMITES ENTRE CLASES DE CALIDAD PARA LAS
MASAS DE AGUA COSTERAS**



Indice

Indice	i
1. Introducción	1
2. Objetivos	4
3. Campañas de muestreo	5
3.1. Campañas oceanográficas	5
3.1.1. Diseño del muestreo.....	5
3.1.2. Actividades realizadas.....	6
3.1.3. Protocolos de muestreo.....	9
3.2. Campañas intermareales	10
3.2.1. Diseño del muestreo.....	10
3.2.2. Protocolos de muestreo.....	11
4. Indicadores	12
4.1. Indicadores Físico-químicos y Químicos	12
A) Indicadores físico-químicos generales	12
4.1.1. Introducción	12
4.1.2. Generalidades.....	12
4.1.3. Metodología	13
4.1.3.1. Métodos analíticos	13
4.1.3.2. Métodos estadísticos	15
4.1.4. Resultados	15
b) Contaminantes específicos	18
4.1.5. Introducción	18
4.1.6. Generalidades.....	18
4.2. Indicadores Biológicos	19
4.2.1. Indicador biológico. Fitoplancton y clorofila-a.....	19
4.2.1.1. Introducción: El fitoplancton en la DMA.....	19
4.2.1.2. Generalidades	19
4.2.1.3. Metodología.....	21
4.2.1.4. Resultados	22
4.2.2. Indicador biológico. Macroalgas.....	32
4.2.3. Indicador biológico. Infauna.....	39
4.3. Indicadores Hidromorfológicos	49
4.3.1. Introducción	49
4.3.2. Generalidades.....	50
5. Condiciones de referencia y establecimiento de límites entre clases de calidad	52
5.1. Introducción	52
5.2. Metodología	54
5.3. Indicadores biológicos	56
5.3.1. Fitoplancton.....	56
5.3.2. Macroalgas.....	68
5.3.3. Infauna.....	69
5.4. Indicadores físico- químicos y químicos	71

5.4.1.	Indicadores físico-químicos generales.....	71
5.4.2.	Contaminantes específicos.....	76
5.5.	Indicadores Hidromorfológicos.....	79
5.6.	Condiciones de referencia para las masas de aguas muy modificadas	80
5.6.1.	Potencial ecológico	80
5.6.2.	Calidad química	88
6.	Bibliografía	89

ANEXOS

ANEXO - Campañas Oceanográficas

ANEXO - Campañas Oceanográficas I: Estadillos 1ª Campaña

ANEXO - Campañas Oceanográficas II: Estadillos 2ª Campaña

ANEXO - Campañas Oceanográficas III: Planos Puntos de Muestreo

ANEXO - Indicadores Biológicos

ANEXO - Indicador Biológico Fitoplancton

ANEXO - Indicador Biológico Fitoplancton I: Tablas Clorofila-a (1^{er} y 2^o muestreo)

ANEXO - Indicador Biológico Fitoplancton II: Tablas Clorofila-a (Percentil 90)

ANEXO - Indicador Biológico Fitoplancton III: Tablas Abundancia Fitoplanctónica

ANEXO - Indicador Biológico Fitoplancton IV: Listado de Especies Identificadas

ANEXO – Indicador Biológico Macroalgas

ANEXO – Indicador Biológico Macroalgas I: Estadillos de muestreo para cálculo CFR.

ANEXO – Indicador Biológico Infauna

ANEXO – Indicador Biológico Infauna I: Listado de Especies Identificadas

ANEXO – Indicador Biológico Infauna II: Gráficos I

ANEXO – Indicador Biológico Infauna III: Gráficos II

ANEXO – Indicador Biológico Infauna IV: Gráficos III-AMBI

ANEXO – Indicadores Físico-Químicos

ANEXO - Indicadores Físico- Químicos I: Perfiles en profundidad (1ª y 2ª Campaña)

ANEXO – Indicadores Físico-Químicos II: Tablas de nutrientes (1ª y 2ª Campaña)

ANEXO – Indicadores Físico-Químicos III: Tablas Estadística Descriptiva

ANEXO – Indicadores Físico-Químicos IV: Tratamiento Estadístico

Anexo IV-I: Saturación de Oxígeno (%)

Anexo IV-II: Turbidez

Anexo IV-III: Nutrientes

ANEXO – Indicadores Físico-Químicos V: Gráficos Parametros Físico-químicos.
Histogramas

1. INTRODUCCIÓN

Antecedentes en la protección del agua

Hasta la aparición de la Directiva 2000/60/CE, del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de octubre de 2000, por la que se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas (conocida como Directiva Marco de Aguas, en adelante DMA), no existía legislación para la protección de las aguas costeras y continentales en su conjunto a nivel europeo. Además, nunca se habían tenido en cuenta, a nivel legislativo, como un mismo sistema hidrológico.

Fue a partir de los años 70, a partir de la aparición de una conciencia social sobre la protección del medioambiente, cuando se empezó realizar políticas y a redactar legislación que regulara la calidad y proporcionara cierto grado de protección, tanto a las aguas continentales como costeras.

A continuación se expone la legislación que se ha aplicado al medio marino a lo largo de la corta historia sobre la protección y conservación ambiental, a escala mundial, europea, nacional y autonómica:

- ❖ En 1974, se estableció el Convenio MARPOL sobre Prevención de la Contaminación Marina por Vertidos desde Buques y Aeronaves.
- ❖ En 1992, de Protección del Medio Marino del Noreste Atlántico.
- ❖ Directiva 76/160/CEE, relativa a la calidad de las aguas de baño (derogada por la Directiva 2006/7/CE relativa a la gestión de la calidad de dichas aguas) (Comunidad Europea).
- ❖ Directiva 79/923/CEE, relativa a la calidad exigida a las aguas para la cría de moluscos (cuya derogación está prevista en la DMA en el año 2013) (Comunidad Europea).
- ❖ Ley 22/1988, de 28 de julio, de Costas y su Real Decreto 147/1989, de 1 de Diciembre por el que se aprueba el Reglamento General para el desarrollo y ejecución de la Ley de Costas (Reino de España).
- ❖ Decreto 174/1994, de 29 de julio, por el que se aprueba el Reglamento de Control de Vertidos para la Protección del Dominio Público Hidráulico, que incluye también las aguas interiores (Comunidad Autónoma de Canarias).

Durante todo este tiempo se han ido desarrollando una serie de directivas comunitarias, leyes y decretos nacionales y leyes autonómicas, referentes a la protección y conservación de las aguas continentales.

En el año 1991, comenzó el debate sobre el control de la calidad ecológica de los ríos, en la Conferencia Internacional sobre Control y Evaluación Ecológica de la Calidad de las Aguas Fluviales. En esta conferencia, se llegó a un acuerdo para desarrollar una directiva con el fin de proteger la calidad ecológica de las aguas, en la que se homologaran métodos de índices de biodiversidad y bioindicadores. A partir de esta conferencia y hasta el año 2000 la Directiva Marco de Agua (en adelante DMA) se fue fraguando hasta llegar a la actual Directiva que incluye todo el ciclo del agua.

Evolución de la implementación de la Directiva Marco de Aguas.

Como se ha explicado en el apartado anterior, la DMA surgió con el fin de reunir en una sola directiva toda la variada legislación, existente hasta la fecha, relativas al medio acuático y al control y prevención de la contaminación. Nació con la voluntad de gestionar de manera integrada el agua dentro de su ciclo natural, contemplando las aguas subterráneas y las superficiales continentales y costeras en un mismo ámbito.

Por tanto, la DMA, debe ser una herramienta básica para la gestión de los recursos hídricos de los países miembros de la Unión Europea. La DMA contempla el agua no sólo como un recurso, sino como el elemento fundamental de los ecosistemas hídricos. Por consiguiente, los factores biológicos e hidromorfológicos obtienen una especial relevancia a la hora de evaluar la calidad, junto con los indicadores físico-químicos y las sustancias prioritarias o contaminantes tóxicos y persistentes.

El trabajo para conseguir implementar esta directiva y conseguir los objetivos marcados, no ha sido, ni será un trabajo fácil para los Estados Miembros y sus administraciones competentes. A lo largo de estos años, se ha ido realizando una serie de tareas de implementación, según el cronograma establecido por la propia DMA.

A continuación, se detallan las tareas realizadas para la implementación de la DMA en la Comunidad Autónoma de Canarias, en relación a la gestión de las aguas costeras:

1. División de los sistemas acuáticos en Islas que serán designadas Demarcaciones Hidrográficas reglamentariamente en breve.

2. Delimitación y tipificación de las masas de agua superficiales.

3. Análisis de presiones e impactos y evaluación del riesgo de las masas de agua costeras a no cumplir los objetivos medio ambientales.

4. Elaboración de los Programas de Seguimiento de las aguas superficiales.

5. Participación en el ejercicio de intercalibración: este ejercicio actualmente en ejecución, y en el que Canarias se encuentra inmersa a través del Grupo de Intercalibración Geográfica del Noreste Atlántico (en adelante, NEA GIG), tiene como objetivo establecer el valor límite entre las clases de estado Muy Bueno y Bueno, así como el valor del límite entre estado Bueno y Aceptable. Para ello se trabaja en la elección de indicadores biológicos comunes para cada ecorregión y en la selección de metodologías de muestreo y análisis, todo ello con el propósito de obtener resultados de calidad ecológica de las aguas que puedan ser comparables.

El ejercicio de intercalibración tenía previsto concluirse en junio de 2006. Sin embargo, debido a la imposibilidad de cumplimiento del cronograma por parte de los miembros pertenecientes al NEA-GIG (Grupo de Intercalibración del Noreste Atlántico), en la actualidad se está planteando una segunda fase de intercalibración para 2008 – 2009.

En esta segunda fase debe concluir la intercalibración de los indicadores biológicos y se deberá iniciar el establecimiento de los valores de calidad para indicadores físico-químicos o hidromorfológicos, sobre los cuales no existe aún consenso.

En todo caso, en 2009 los Estados Miembros deben tener rangos de valores para los indicadores biológicos, hidromorfológicos y físico-químicos con los cuales poder clasificar los resultados de los programas de seguimiento en clases de calidad, mediante las cuales calificar el estado ecológico de las masas de agua.

2. OBJETIVOS

El objetivo general de este estudio es establecer los límites entre clases de calidad de los parámetros biológicos y físico-químicos para las masas de agua superficiales de Canarias. Para la consecución de este hito se plantearon los siguientes objetivos específicos:

- ❖ Seleccionar emplazamientos para cada una de las tipologías definidas para Canarias.
- ❖ Localizar las estaciones de muestreo y definir el nº de puntos de muestreo en cada una de las masas de agua seleccionadas.
- ❖ Seleccionar los indicadores químicos, físico-químicos y biológicos y establecer los parámetros de análisis para cada indicador.
- ❖ Realizar dos campañas de muestreo para la recolección de muestras y toma de datos *in situ*.
- ❖ Analizar y determinar los valores para los distintos parámetros seleccionados, aplicando en la medida de lo posible las métricas utilizadas en el ejercicio de intercalibración para fomentar la comparabilidad.
- ❖ Establecer las condiciones de referencia.
- ❖ Establecer los límites entre clases para los ecotipos definidos para las aguas superficiales canarias y para las aguas modificadas.

3. CAMPAÑAS DE MUESTREO

3.1. Campañas oceanográficas

Para el desarrollo de este trabajo se han realizado dos campañas en aguas del Archipiélago canario, la primera de ellas entre los meses de octubre, noviembre de 2006 y la segunda entre enero y febrero de 2007.

3.1.1. Diseño del muestreo

Selección de masas de agua

Siguiendo una de las recomendaciones propuestas en el punto 4.5 de la *Guía nº 5 de la Estrategia para la implementación común de la Directiva Marco del Agua*, se seleccionaron, para la determinación de las condiciones de referencia, masas de agua que se encuentren inalteradas o casi inalteradas para cada una de los 5 ecotipos, definidos hasta el momento para las aguas del Archipiélago Canario. Estas masas fueron calificadas *a priori* como masas de agua de calidad ecológica muy buena (MB).

Además para cada ecotipo se seleccionó otra masa de agua considerada *a priori* de muy mala calidad ecológica (MM). Esta selección se realizó en base a un hipotético grado de alteración atribuido, *a priori*, a las masas de agua en función una serie de presiones antrópicas conocidas que están presentes en la costa y que pueden estar afectando a la masa de agua.

En total se han seleccionado 10 masas de agua para establecer las condiciones de referencia de las 5 tipologías definidas para las aguas superficiales de Canarias.

La siguiente tabla muestra las masas de agua seleccionadas y la clasificación realizada, en color rojo se muestran las definidas *a priori* como masas de agua de calidad ecológica muy mala y en verde las masas de agua de calidad ecológica muy buena.

La Gomera	ES70LGTV	Tipo V
Lanzarote	ES70LZTI	Tipo I
*Islas Orientales	ES70IOTIII	Tipo III
* Fuerteventura, Lanzarote y Archipiélago Chinijo		
Gran Canaria	ES70GCTII	Tipo II
	ES70GCTIII	Tipo III
	ES70GCTIV	Tipo IV
La Palma	ES70LPTII	Tipo II
	ES70LPTIV	Tipo IV

Criterio de localización de los puntos

En cada masa de agua se han establecido 4 puntos de muestreo, distribuidos de manera que se obtenga una información lo más representativa posible de la masa en estudio, para ello se han seguido las siguientes directrices:

- En las aguas someras (TI, TII, TIV y TV): independientemente de la calidad que se le haya atribuido a priori a la masa de agua, se han escogido 2 puntos sobre la batimétrica -10 y 2 puntos sobre la batimétrica -30, separados en ambos casos por un mínimo de 1000 metros.

- En las aguas profundas (TIII): independientemente de la calidad que se le haya atribuido a priori a la masa de agua, se han establecido 2 transectos perpendiculares a la batimétrica -50, con estaciones a 500 y 1000 metros de distancia de la misma y una separación mínima entre transectos de 1000 metros.

Las profundidades de muestreo en cada uno de los puntos establecidos fueron: en aguas someras, superficie (3 metros) y fondo (profundidad variable dependiendo de la cota batimétrica pero en todos los casos aproximadamente a 1,5 metros del fondo) para las aguas profundas además de estas dos profundidades se muestreó a media agua, es decir, a una profundidad intermedia entre la superficie y el fondo.

3.1.2. Actividades realizadas

Las campañas de muestreo se realizaron en las diferentes masas de aguas seleccionadas en la tabla 3.1.

Para cada una de las masas de agua a estudiar la localización de los puntos de muestreo se realizó *a priori* sobre cartografía. Para las aguas someras una vez localizada la cota de -10 metros se estableció el transecto hasta llegar a la cota de muestreo de mayor profundidad (30 m). En las masas de agua profundas a partir de la cota de -50 m se estableció el transecto sobre el que se fijaron los puntos de muestreo, el primero de ellos a 500 m y el segundo a 1000 m de distancia de dicha cota.

En el ANEXO - Campañas Oceanográficas I y II se muestran los estadillos con la información obtenida en cada una de las campañas.

En el ANEXO - Campañas Oceanográficas III: Planos Puntos de Muestreo, se presentan los planos con los puntos muestreados, en cada una de las masas de agua

A continuación se exponen algunas imágenes de las tareas de recolección de muestras, realizadas en las mencionadas campañas.

Obtención de datos físico-químicos



Foto 3.1: Sonda multiparamétrica

Filmación de imágenes del fondo

Antes de iniciar los dragados, se realizaron filmaciones submarinas, para conocer la naturaleza del fondo y las comunidades bentónicas presentes en cada punto de muestreo. En un principio estas filmaciones fueron planificadas para las masas de agua someras, pero debido a las condiciones del mar no se han podido obtener imágenes en todas ellas.

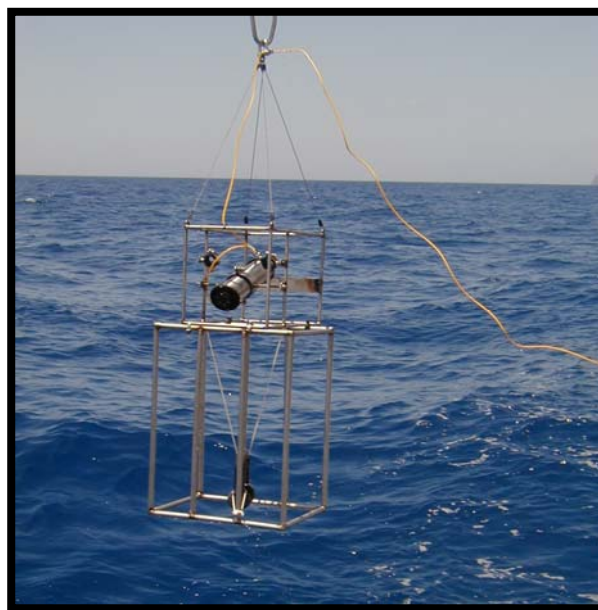


Foto 3.2: Cámara submarina empleada para las grabaciones

Recogida de muestras de agua



Foto 3.3: Recogida de muestras de agua



Foto 3.4: Draga empleada para la extracción de sedimento

3.1.3. Protocolos de muestreo

En cada uno de los puntos o estaciones de muestreo se tomaron datos físico-químicos y se recogieron muestras de sedimento y de agua, para el estudio de los parámetros biológicos y físico-químicos, siguiendo las directrices de la DMA en su anexo V, para aguas costeras.

Los datos físico-químicos fueron obtenidos en cada punto utilizando una sonda multiparamétrica Idronaut Ocean Seven S316. La utilización de una sonda de este tipo permite la determinación *in situ* de distintos parámetros, temperatura, salinidad, saturación de oxígeno (%), turbidez y pH, a través de todo el perfil de profundidades.

En el caso de la salinidad y la temperatura, a pesar de haberse obtenido estos datos en el campo, no serán utilizados para la obtención de condiciones de referencia ni límites entre clases, ya que la variabilidad de estos parámetros no está directamente relacionada con un impacto antropogénico.

A continuación se exponen los protocolos seguidos para la recolección y conservación de muestras, actividades que se realizaron de acuerdo a la norma UNE-EN 5667-3 de *Calidad del agua; Muestreo; Guía para la conservación y manipulación de las muestras*, recomendada por la DMA.

Sedimento: Las muestras de sedimento han sido recolectadas mediante dragados con una draga cilíndrica y conservadas en bolsas de plástico debidamente etiquetadas. Las muestras de sedimento se conservan congeladas hasta su posterior análisis en el laboratorio. De cada dragado se obtuvieron submuestras para el análisis granulométrico y para la determinación del contenido en materia orgánica.

Agua: Las muestras de agua para el análisis de nutrientes, fitoplancton y para la determinación de clorofila-a han sido recolectadas mediante el uso de una botella hidrográfica tipo Niskin de 5 litros.

Análisis de la biomasa fitoplantónica (clorofila-a): para el estudio de la clorofila-a se recogieron en las masas de aguas someras 2 muestras (superficie y fondo) en cada punto de muestreo, en total 8 muestras por masa de agua en estudio. En el caso de las aguas profundas se recogieron 3 muestras por punto (superficie, media agua y fondo), en total 24 muestras por masa de agua.

Las muestras de agua para la determinación de clorofila-a se almacenan en botellas de plástico opacas y conservan en frío hasta proceder al filtrado de las mismas, antes de 24 horas. Una vez filtradas las muestras estas se conservan a -80°C hasta su posterior análisis en el laboratorio.

Análisis de la abundancia fitoplanctónica e identificación taxonómica: para el estudio de la abundancia se tomó una muestra de agua por punto a media agua (profundidad media), en total 4 muestras por masa de agua.

Para el estudio cuantitativo y taxonómico las muestras de fitoplancton fueron conservadas en frascos de 100 ml de capacidad y fijadas con formaldehído al 10%.

Análisis de nutrientes: las muestras para la determinación de nutrientes se almacenan en frascos de 350 ml y se congelan hasta el momento de su análisis.

3.2. Campañas intermareales

3.2.1. Diseño del muestreo

Selección de localidades

Para valorar la calidad ecológica de las masas de agua superficiales de Canarias, a partir del indicador biológico macroalgas se seleccionaron distintas localidades del archipiélago canario.

En dicha selección se tuvo en cuenta que en la tipificación inicial de las masas de agua, masas de agua contiguas fueron inicialmente separadas en función de las presiones, de manera que la tipología I, presenta las mismas características que la Tipo IV y la Tipo II, las mismas que la Tipo V. La única diferencia entre los tipos I y IV y II y V, respectivamente es la existencia en la tipologías IV y V de una serie de presiones que podrían modificar sustancialmente las características de la masa de agua y por tanto la calidad ecológica de la misma.

En base a lo expuesto anteriormente y con el propósito definir las condiciones de referencia de las aguas superficiales canarias para cada masa de agua se seleccionó una localidad calificada, *a priori*, a juicio de experto con Buen Estado Ecológico (azul) y otra masa de agua afectada en mayor o menor medida por diversas presiones calificada como Mal Estado Ecológico (rojo).

Tabla 3.2. Localidades de muestreo

Isla	Código	Tipo	Localidad	Coordenadas UTM	
				X	Y
La Palma	ES70LP-TI	Tipo I	San Andrés	230518	3189612
	ES70LP-TII	Tipo II	Fuencaliente	221641	3150773
	ES70LP-TIV	Tipo IV	Los Cancajos	230222	3172617
Fuerteventura	ES70FV-TI	Tipo I	Puerto Laja	614019	3157176
	ES70FV-TIV	Tipo IV	Puerto del Rosario		
Gran Canaria	ES70GC-TII	Tipo II	Arguineguín	432481	3071010
	ES70GC-TIV	Tipo IV	Melenara	463359	3096010
Tenerife	ES70TFTV	Tipo V	El Médano	349189	3102786
	ES70TFTV	Tipo V	Playa San Juan	321107	3119350

Estaciones de muestreo

Las localidades de muestreo, tal y como indica la tabla anterior, fueron seleccionadas en diferentes islas y se corresponden con las siguientes estaciones:

- ❖ Puerto Espíndola (San Andrés. La Palma): Estación ES70LPTI
- ❖ Punta del Faro (Fuencaliente. La Palma): Estación ES70LPTII
- ❖ Los Cancajos (Breña Baja. La Palma): Estación ES70LPTIV
- ❖ Puerto Laja (Pto. del Rosario. Fuerteventura): Estación ES70FVTI
- ❖ Puerto del Rosario (Pto. del Rosario. Fuerteventura): Estación ES70FVTIV
- ❖ Arguineguín (Mogán. Gran Canaria): Estación ES70GCTII
- ❖ Melenara (Telde. Gran Canaria): Estación ES70GCT IV
- ❖ El Médano (Granadilla de Abona. Tenerife): Estación ES70TFTV
- ❖ Playa de San Juan (Guía de Isora. Tenerife): Estación ES70TFTV

3.2.2. Protocolos de muestreo

La metodología de muestreo empleada en el intermareal para el estudio de las macroalgas se explica en el apartado 4.2.2.3. Metodología.

4. INDICADORES

4.1. Indicadores Físico-químicos y Químicos

A) Indicadores físico-químicos generales

4.1.1. Introducción

Los indicadores físico-químicos son muy importantes a la hora de evaluar los ecosistemas, pues representan el estado en que se encuentra. En el anexo II cita la necesidad de establecer condiciones de referencia y en el anexo V los indicadores a tener en cuenta para fijar dichas condiciones de referencia.

Los indicadores que se citan en el Anexo V son: Transparencia, Condiciones Térmicas, Condiciones de Oxigenación, Salinidad y Condiciones relativas a los nutrientes. Para Canarias se ha tenido en cuenta los siguientes: Saturación de oxígeno, turbidez, amonio, nitratos y fosfatos. Estos indicadores son también utilizados por otras regiones del Estado Español en la implementación de la DMA.

Se ha descartado la salinidad y las condiciones térmicas, pues salvo si existe vertidos de salmueras o de aguas caliente procedente de centrales térmicas, apenas tendrá influencia antropogénica sobre los ecosistemas (Borja, et al. 2004). En Canarias aunque existen, vertidos de salmuera procedentes de la desalación de agua de mar y vertidos de centrales térmicas, estos son muy puntuales y por tanto su impacto en el conjunto de la masa de agua es muy poco significativo.

4.1.2. Generalidades

Las aguas costeras canarias son de tipo oceánico, porque al ser el archipiélago islas oceánicas, apenas tiene plataforma continental. Están influenciadas por la *Corriente de Canarias*, que forma parte del conjunto de corrientes marinas que forman el giro subtropical del Atlántico Norte. Esta corriente presenta temperaturas inferiores a las esperadas para estas latitudes. Por lo general, las temperaturas presentan un gradiente que aumenta de Este a Oeste, siendo las temperaturas de las islas orientales inferiores a las occidentales. Por lo general, las temperaturas medias oscilan entre los 17-18 ° C en invierno y los 22-23 ° C en verano. Aunque se puede dar temperaturas superiores en verano.

Los valores de salinidad oscilan entorno a 36-37 PSU. Aunque también existe un gradiente de salinidad de aumentando de Este a Oeste.

Los valores medios de pH oscilan entre 8,1 y 8,6 de manera general. Este parámetro no suele variar en la columna de agua, salvo que existe una presión antropogénica muy importante.

Como las aguas canarias son oceánicas, tienen carácter oligotrófico, por tanto presenta valores muy bajos en nutrientes, de manera general. Aunque en costa esos valores pueden aumentar. Asimismo, en la zona costera africana se produce un fenómeno de afloramiento, que hace que aumente la concentración de nutrientes que va a beneficiar a la cadena trófica. Este fenómeno también influye en las aguas canarias, pues hay un gradiente en la concentración de nutrientes, que suele aumentar de Este a Oeste. Por lo general en las zonas oceánicas entre Canarias y Cabo Blanco, se han obtenido concentraciones medias de nitratos + nitritos de 2,5-3 $\mu\text{mol/l}$ en invierno y como concentración máxima 6 $\mu\text{mol/l}$.

Con respecto al oxígeno, cabe destacar que son aguas sobresaturadas, debido a las condiciones de salinidad y temperatura de la *Corriente de Canarias*. Por lo general, todas las masas de agua presentan valores superiores al 100% en la saturación de oxígeno.

Además los valores de turbidez son muy bajos, debido a que son aguas oligotróficas. Por lo general, los valores medios oscilan entre 0,8 y 1,9 NTU, aunque se dan valores muy superiores en épocas de lluvias en zonas cercanas a las desembocaduras de barrancos y cercanos al fondo de la masa de agua, si ésta presenta fondo blando y existe fuertes corrientes u oleaje.

4.1.3. Metodología

4.1.3.1. Métodos analíticos

Parámetros físico-químicos del agua

Mediante el uso, *in situ*, de una sonda multiparamétrica (modelo Idronaut Ocean Seven S316), que permite realizar perfiles en continuo se obtuvieron registros de los siguientes parámetros:

- Temperatura
- Conductividad
- pH
- Turbidez
- Salinidad: las medidas de conductividad del agua son transformadas a salinidad, usando el algoritmo propuesto por la UNESCO en el Informe Técnico en Ciencias

Marinas nº 44 "Algorithms for computation of fundamental properties of sea water". Las normas a tener en cuenta son las mismas que en la conductividad.

- Oxígeno disuelto: para la determinación de los niveles de oxígeno disuelto en ppm, la sonda emplea el algoritmo propuesto por la UNESCO en el Informe Técnico en Ciencias Marinas nº 44 "*Algorithms for computation of fundamental properties of sea water*". La sonda aporta también información de la saturación de oxígeno en el agua, cuyo rango de trabajo será entre un 0-100%, teniendo en cuenta la norma UNE-EN 25814 relativa a la determinación de oxígeno disuelto por método electroquímico.

Para la toma de estos registros se han tenido en cuenta además las siguientes normas UNE, UNE-EN 27888 sobre la determinación de la conductividad eléctrica, UNE 77077 referente a los instrumentos de medida en continuo de conductividad de vertidos industriales, y UNE 77079 sobre instrumentos de medida en continuo de la conductividad en vertidos industriales.

- Nutrientes (amonio, nitratos y fosfatos): para la determinación de las concentraciones de nitratos, fosfatos y amonio, se utilizan técnicas espectrométricas, mediante un analizador de flujo continuo (modelo Skalar® SCAN plus). Para estos análisis se han tenido en cuenta las normas UNE-EN-ISO 11732 relativa al análisis de nitrógeno amoniacal mediante análisis de flujo continuo y detección espectrométrica, UNE-EN-ISO 13395 sobre análisis de nitratos por análisis de flujo continuo con detección espectrométrica y la norma UNE-EN-ISO 15681 para la determinación de fosfatos mediante análisis por flujo continuo.

Parámetros físico-químicos en sedimento.

Los indicadores físico-químicos analizados en el sedimento han sido el contenido en nitrógeno, en fósforo y la materia orgánica. Estos parámetros han sido analizados para la obtención de datos sobre la naturaleza y composición del sustrato, y no para establecer límites entre clases de calidad ecológica, ya que estos no están establecidos por la DMA como parámetros para determinar la calidad del medio.

Además de estos parámetros se ha estudiado la granulometría del sedimento con el fin de determinar con mayor precisión la naturaleza del sustrato.

- Contenido en nitrógeno: el contenido en nitrógeno total ha sido determinado mediante el método Kjeldahl (AOAC, 1995). Este método consiste en una digestión inicial de la muestra con ácido sulfúrico concentrado y catalizador Kjeldahl durante una hora a 420°C. Posteriormente se realiza una destilación, con ácido bórico como sustancia receptora, y valoración con HCl 0,1 N.

El % de Nitrógeno se obtiene a partir de la siguiente fórmula:

$$\% N = \frac{(\text{ml HCl} - \text{ml HCl (blanco)}) \times 0.1 \times 14.007 \times}{100}$$

-Contenido en fósforo: el contenido en fósforo total ha sido determinado mediante el método modificado de Burton y Riley. Método basado en una digestión inicial y transformación, mediante hidrólisis ácida, del fósforo orgánico e inorgánico en ortofosfato y posterior determinación del fósforo presente, mediante espectrofotometría a una longitud de onda de 730 nm

Del mismo modo que para el análisis de nitrógeno, el contenido en fósforo del sedimento expresado en porcentaje se obtiene a partir de la siguiente fórmula:

$$\% P = \frac{[] (\text{ppm}) \times 25 \text{ ml} \times 50 \text{ ml} \times 100}{\text{peso (gr)} \times \text{recovery}}$$

-Materia orgánica: el porcentaje en materia orgánica del sedimento ha sido obtenido mediante combustión de la muestra a 400 – 450 °C durante 24 horas

4.1.3.2. Métodos estadísticos

Se realizó estadísticos descriptivos de cada una de las masas de agua estudiadas para los parámetros que se pretendían analizar. Entre los parámetros descriptivos se obtuvo la media, moda, mediana, varianza, máximo, mínimo y percentiles 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80 y 90. Posteriormente se realizaron análisis comparativos de las medias. Se comprobó la normalidad y homogeneidad de varianzas a través de Kolmogorov-Smirnov ($p > 0.05$) y Levene ($p > 0.05$). Si cumplen, se les aplicó t-student ($p > 0.05$). En caso de no cumplirse alguna de las anteriores premisas, se recurrió a las pruebas no paramétricas de la U de Mann-Whitney ($p > 0.05$), para dos o más muestras.

4.1.4. Resultados

En el anexo I de fisicoquímicos se presenta las gráficas de los perfiles para los distintos parámetros determinados con la sonda. La salinidad presenta valores medios entre 36,7-36,9 PSU. Por lo general según se muestra en las gráficas, presenta un perfil continuo en toda la columna de agua. Ocurre lo mismo para el pH, que muestra valores medios entre 8,2 y 8,6, que son valores bastante normales.

La temperatura también presenta un perfil continuo en toda la columna de manera, que disminuye con la profundidad por lo general. Aunque se puede observar una pequeña termoclina en algunos perfiles de las masas de agua profundas, en torno a los 50 metros. La temperatura media es de 19-21 grados.

En el anexo II de indicadores físicoquímicos se presenta las tablas de los valores de nutrientes obtenidos en las diferentes campañas.

Oxígeno

Los perfiles de oxígeno, presentan de modo general una disminución en los primeros metros de la columna de agua, en torno a los 5 metros, y luego aumenta, produciéndose los fenómenos de sobresaturación de oxígeno (ver ANEXO - Indicadores Físico- Químicos I: Perfiles en profundidad (1ª y 2ª Campaña). Este fenómeno de sobresaturación de oxígeno es común en las aguas marinas en la zona de Canarias.

Después del tratamiento estadístico se ha observado que no se obtiene normalidad de los datos para todas las masas en relación a la saturación de oxígeno y que existen diferencias entre masas de agua con el mismo ecotipo entre diferentes islas, excepto en el tipo V, entre Tenerife y La Gomera (ver ANEXO – Indicadores Físico-Químicos IV: Tratamiento Estadístico Anexo IV-I: Saturación de Oxígeno (%)).

Con un gráfico de cajas y bigotes (figura 4.1.4) vemos los valores máximos, mínimos y medias de las diferentes masas de aguas, para el parámetro oxígeno. Por lo general en todas las masas de aguas las consideradas no alteradas presentan valores medios de oxígeno superiores a las masas consideradas alteradas. Excepto las comparadas entre Gran Canaria y La Palma.

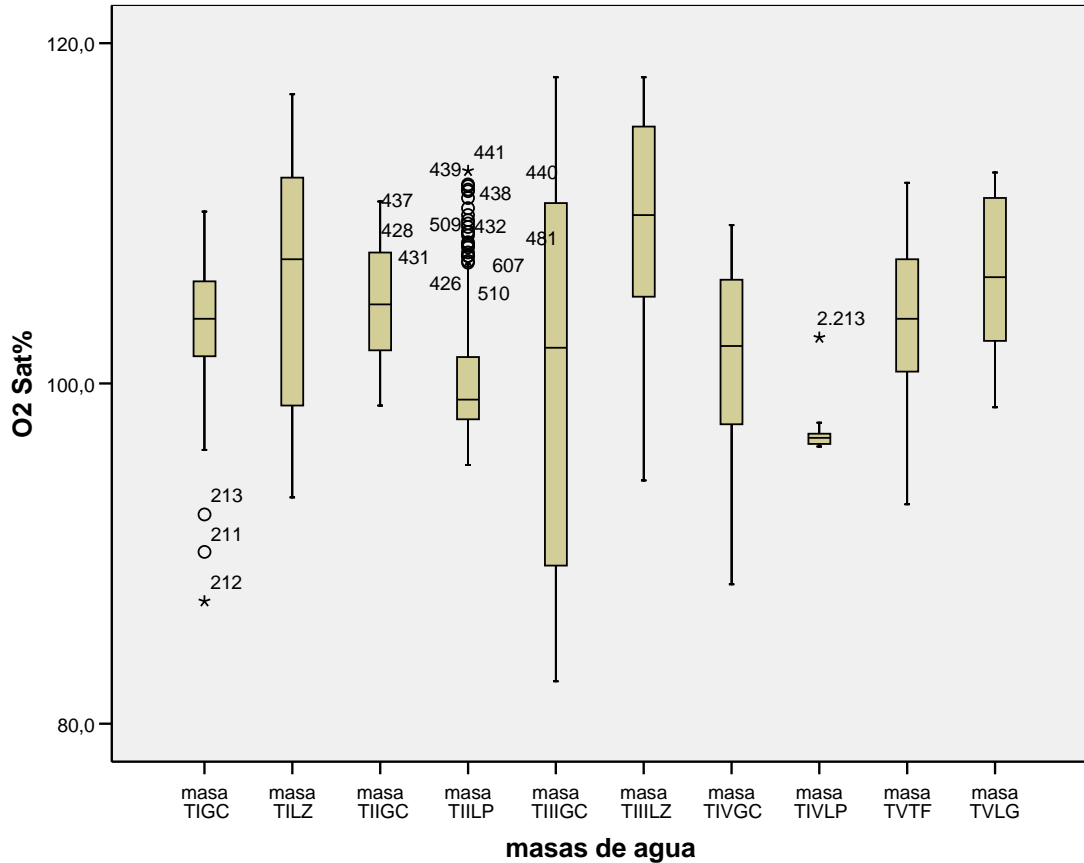


Figura 4.1.4 Gráfico de Cajas y bigotes para todas las masas de aguas. Parámetro: Saturación de Oxígeno.

Los valores con asterisco son los casos atípicos que se encuentran a más de un cuartil fuera de la caja, el número es la fila del registro de datos en la que se encuentra ese caso atípico.

Si comparamos los diferentes ecotipos dentro de una misma isla, vemos que sucede lo mismo, excepto entre las masas TIII y TIV en la isla de Gran Canaria.

Turbidez

Este parámetro, no presenta un patrón definido en sus perfiles, como ocurre con los otros (ANEXO - Indicadores Físico- Químicos I: Perfiles en profundidad (1ª y 2ª Campaña))

Estadísticamente a la turbidez le ocurre lo mismo que al oxígeno (ANEXO – Indicadores Físico-Químicos IV: Tratamiento Estadístico. Anexo IV-II: Turbidez). Es decir hay diferencias entre los diferentes ecotipos por isla. Además, si comparamos diferentes ecotipos en la misma isla, vemos que también hay diferencias, excepto entre las masas TII y TIV en la isla de Gran Canaria.

Nutrientes

Con respecto a los nutrientes no existen diferencias significativas en la columna de agua. Además tampoco existen diferencias entre una isla y otra para el ecotipo TIII (ANEXO – Indicadores Físico-Químicos IV: Tratamiento Estadístico. Anexo IV-III: Nutrientes).

Existen diferencias significativas si se compara el parámetro fosfato en Gran Canaria entre las masas TI y TII y entre TII y TIV (ANEXO – Indicadores Físico-Químicos IV: Tratamiento Estadístico. Anexo IV-III: Nutrientes).

b) Contaminantes específicos

4.1.5. Introducción

Según propone la DMA en el punto 1.1.4 del Anexo V, los contaminantes específicos que afectan a los indicadores biológicos, serán aquellos compuestos que se encuentran en los anexos VIII y X (la lista de sustancias prioritarias), y que se hayan observado su presencia en la masa de agua. Asimismo, también se incluirán otros contaminantes específicos cuya presencia también se haya observado en dicha masa de agua.

Al igual que ocurre para los físico-químicos generales, la importancia de estos indicadores se basan en como pueden afectar a los indicadores biológicos. Hasta el momento, no se ha llegado un acuerdo en las reuniones de intercalibración a la hora de fijar un criterio para determinar las condiciones de referencia en las masas de agua.

A la hora de fijar condiciones de referencia, la mayoría de estos compuestos se encuentran legislados, lo cual facilita mucho el trabajo. Por tanto, no se realizó ningún muestreo para valorar las condiciones de referencia.

4.1.6. Generalidades

Por lo general algunos de los compuestos citados en los anexos anteriores pueden encontrarse en la columna de agua en los océanos, ya sea procedente de aportes de ríos o, procedentes de fumarolas submarinas. Como puede ser el caso de algunos metales pesados. Pero aún así, sus concentraciones son ínfimas. El problema surge cuando proceden de fuentes de emisión de origen antropogénico.

Esta situación puede darse en las zonas costeras, debido a la presencia de vertidos industriales, o en la propia actividad portuaria. Además, también se da la circunstancia de que suelen aparecer una serie de compuestos sintéticos, que de manera natural no tienen por qué encontrarse en la columna de agua ni en los

sedimentos. Estos compuestos a partir de cierto nivel umbral de concentración, pueden crear muchos problemas en el funcionamiento de los ecosistemas acuáticos. Pues algunos de ellos son disruptores hormonales, como ocurre con el TBT, por ejemplo.

4.2. Indicadores Biológicos

4.2.1. Indicador biológico. Fitoplancton y clorofila-a

4.2.1.1. Introducción: El fitoplancton en la DMA

El fitoplancton es uno de los elementos biológicos considerados por la Directiva Marco de Agua (DMA) ya que los procesos de eutrofización por enriquecimiento de nutrientes constituyen una de las presiones más comunes en los sistemas acuáticos de la Unión Europea (OSPAR 2003, Agencia Medioambiental Europea 2005). La Directiva a su vez establece que la biomasa (concentración de clorofila "a"), la composición, la abundancia y la frecuencia e intensidad de blooms son indicadores idóneos para evaluar el fitoplancton (OJEC 2000).

El Grupo de Intercalibración Geográfica del NorEste Atlántico (NEA GIG), en el que participa España, acordó tres sub-métricas aplicables para la evaluación del fitoplancton, biomasa (concentración de clorofila "a"), abundancia y conteo de células de *Phaeocystis*, de las cuales esta última ha sido desestimada por España debido a la escasez de esta especie en las aguas costeras españolas.

Por tanto sólo se han aplicado para este elemento biológico dos de las tres métricas acordadas por el Grupo de Intercalibración Geográfica del NorEste Atlántico (NEA GIG), biomasa (concentración de clorofila "a") y la abundancia de fitoplancton.

4.2.1.2. Generalidades

El fitoplancton, principal responsable de la producción primaria en los sistemas acuáticos, representa la entrada de la energía solar a los ecosistemas marinos y la base de su mantenimiento; además, es el encargado de producir la materia orgánica que posteriormente será aprovechada por el resto de la cadena trófica.

El plancton autótrofo o fitoplancton, constituido por microorganismos fotosintéticos pertenecientes a diversos grupos de algas, constituye uno de los grupos más heterogéneos y diversos que se encuentra flotando libremente en las aguas marinas y dulces.

La concentración de clorofila a, indicador práctico de la cantidad de fitoplancton, en el agua de mar, está reconocida desde el punto de vista oceanográfico, como el índice de capacidad del océano para fijar CO₂ atmosférico a través de la

fotosíntesis. Por otro lado, el contenido de fitoplancton se encuentra relacionado con la concentración de nutrientes ya que, generalmente, actúa como factor limitante de la producción primaria.

Esta producción primaria no se distribuye de manera homogénea a lo largo del océano. Walsh (1975), indica que la producción en la plataforma continental varía en función de la amplitud de la misma, dirección del viento que induce la entrada de nutrientes y la disponibilidad de energía lumínica.

Especificidades de Canarias

En Canarias debido a la naturaleza volcánica de las islas la plataforma continental es muy escasa, de ahí que se considere a la masa de agua que rodea a las islas como aguas oceánicas, y por tanto oligotróficas, pobres en nutrientes.

El carácter oligotrófico de las aguas del Archipiélago ha sido constatado por diversos autores; Real et al. (1979) describe valores superficiales medios de 0,04 mg/m³ de clorofila-a, y Braun (1978) cita valores de 0,1 mg/m³, en aguas de Canarias.

Arístegui (1990) realiza uno de los registros más completos sobre la distribución de pigmentos fotosintéticos en aguas del litoral de Canarias. En este estudio se observa que existen ligeras diferencias en las concentraciones medias de clorofila-a por isla, apreciándose un ligero aumento hacia las islas más orientales. El rango de valores observado se situaba entre 0.15 mg/m³ para la Palma y 0.19 mg/m³ para Gran Canaria, Lanzarote y Fuerteventura.

Este ligero incremento de clorofila-a que se observa en las aguas del archipiélago canario se debe a la existencia del afloramiento sahariano del cual las islas orientales parecen recibir una muy débil influencia por su mayor cercanía al continente africano.

Además de estas variaciones debidas a fenómenos puntuales que se dan en las masas de agua, la cantidad y distribución vertical del fitoplancton y por tanto de los niveles de clorofila-a en aguas de las Islas Canarias es variable y depende de la estación del año. Así cuando se produce el florecimiento primaveral, existe un máximo en superficie de la concentración de clorofila, éste máximo suele ser del orden de 1,0-1,5 µg/l, y los valores disminuyen progresivamente con la profundidad. Al producirse el descenso de fitoplancton se suelen presentar valores máximos en la profundidad de la termoclina estacional del orden de 0,3-0,5 µg/l de clorofila, y valores débiles, en los primeros 50 m del orden de 0,1 µg/l de clorofila-a.

A nivel general dentro de la comunidad fitoplanctónica, desde el punto de vista sistemático, destacan como grupos dominantes los Dinoflagelados y las Diatomeas. Un estudio de la Dra. Alicia Ojeda sobre Dinoflagelados de Canarias, pone de manifiesto la importante contribución de este grupo al fitoplancton de las aguas Canarias, los cuales representan, generalmente, más del 50% o 70% de la biomasa total de microalgas planctónica, mayores de 5 μm , perteneciendo las formas más frecuentes y abundantes a la categoría del nanoplancton (2-20 μm).

En aguas oceánicas se ha demostrado que el nanoplancton (<20 μm) constituye del 60% a más del 90% de la biomasa total de fitoplancton y de la producción primaria (Malone, 1971; Glover et al., 1985; Hopcroft & Roff, 1990), mientras que la contribución del microplancton o plancton de red (> 20 μm) es normalmente más alta en aguas próximas a la costa (Malone, 1971, 1980; Harris et al., 1991; Robles-Jarero & Lara-Lara, 1993). Observaciones realizadas por Braun & Real (1981) en aguas de las islas Canarias, durante un ciclo anual y hasta profundidades de 200 m, revelaron que solo el 9% de la productividad y biomasa fitoplanctónica se debe al microplancton.

La estratificación o heterogeneidad vertical de la biomasa fitoplanctónica en los sistemas marinos esta relacionada con la distribución no uniforme de ciertos parámetros tales como; la intensidad de la luz, la concentración de nutrientes, la turbulencia, y la existencia de discontinuidades del tipo termoclina y de la superficie del agua.

Estudios estacionales sobre dinoflagelados de Canarias ponen de manifiesto una mayor abundancia de dinoflagelados en épocas de estratificación de la columna de agua, coincidiendo valores de máximos de biomasa subsuperficiales con épocas de mínimos en las poblaciones de zooplancton (Ojeda A. 2006, Dinoflagelados de Canarias). Además en dicho estudio, la distribución espacial mostró un patrón determinado entre las distintas islas del archipiélago estudiadas (Gran Canaria, La Palma, Lanzarote y Fuerteventura), aunque parece existir una clara relación entre las zonas de mínima abundancia de dinoflagelados con regiones en las que se observaron máximos de zooplancton.

4.2.1.3. Metodología

Métodos analíticos

-Biomasa: Clorofila-a

El método empleado para determinar la concentración de clorofila-a en agua de mar ha sido, extracción con acetona y determinación por fluorimetría según el método 445 de United Status Environmental Protection Agency (EPA).

-Fitoplancton: Identificación taxonómica y recuento de células

Tanto para la identificación taxonómica como para la estimación cuantitativa del fitoplancton, se empleó el método de Utermöhl. Una vez en el laboratorio las muestras son homogeneizadas por agitación manual suave y después de 24 horas de sedimentación, en cubetas de metacrilato de 50 ml de capacidad, dotadas de base removible, se procede al análisis de las mismas empleando un microscopio invertido XSB-1^a dotado de objetivos de óptica plana de 5, 10, 20 y 40 aumentos y oculares de 10 aumentos.

Para la identificación y recuento de las células fitoplanctónicas menos abundantes, contenidas en 50 ml de la muestra original, se observó la base entera de la cubeta a 100 aumentos. Para el estudio de los organismos más abundantes, estos fueron identificados y cuantificados en un transecto a 100 aumentos para el microplancton (> 20 μ m) y un transecto a 400 aumentos para el nanoplancton (2-20 μ m).

Métodos estadísticos

Para el análisis comparativo de las medias se comprobó la normalidad y homogeneidad de varianzas por medio de la prueba de Kolmogorov-Smirnov ($p > 0.05$) y Levene ($p > 0.05$), respectivamente. En el caso de que las muestras cumplieren ambas premisas se aplicaron las pruebas paramétricas de la *t* de Student ($p > 0.05$), para la comparación de dos muestras, o una ANOVA de una vía ($p > 0.05$), para más de dos muestras. Cuando no se cumplieron dichas premisas, se emplearon las pruebas no paramétricas de la *U* de Mann-Whitney ($p > 0.05$) y la *H* de Krukal-Wallis ($p > 0.05$), para dos o más de dos muestras, respectivamente (Zar, 1996).

4.2.1.4. Resultados

-Biomasa: Clorofila-a

La concentración de clorofila-a obtenida para cada una de las tipologías por isla (Anexo Indicadores Biológicos. Anexo Fitoplancton. Anexo I) muestra un patrón típico de aguas oligotróficas.

Los análisis comparativos de las medias (*t* de Student) de la concentración de clorofila-a en las masas de agua Tipo I, IV y V no detectaron variaciones significativas con la profundidad. Sin embargo, en la tipología II se observaron diferencias significativas entre superficie y fondo, en las dos masas de aguas muestreadas (GC, $t=2.578$, $p=0.022$; LP $t=2.444$, $p=0.028$) (Tabla 4.2.1).

Tabla 4.2.1: Comparación de medias de clorofila-a ($\mu\text{g l}^{-1}$) por profundidad de muestreo para cada tipología en las distintas masas de agua estudiadas.

Isla	Masa de agua	Superficie	Fondo	t	p
GC	ES70GCTI	0.372±0.074	0.419±0.093	-0.392	0.701
GC	ES70GCTII	0.220±0.023	0.309±0.026	-2.578	0.022
GC	ES70GCTIV	0.282±0.037	0.282±0.038	0.005	0.996
TF	ES70TFTV	0.283±0.059	0.281±0.024	0.027	0.979
LP	ES70LPTII	0.141±0.014	0.202±0.021	-2.444	0.028
LP	ES70LPTIV	0.197±0.022	0.194±0.023	0.116	0.910
LG	ES70LGTV	0.173±0.013	0.217±0.023	-1.703	0.111
LZ	ES70LZTI	0.250±0.049	0.262±0.032	-0.201	0.843

En el caso particular de la tipología III, el análisis multivariante de medias (ANOVA, $p > 0.05$) no mostró variaciones significativas entre las profundidades de muestreo en las masas de agua estudiadas (Tabla 4.2.2).

Tabla 4.2.2: Comparación de medias de clorofila-a ($\mu\text{g l}^{-1}$) por profundidad de muestreo para la tipología III en GC y LZ.

Isla	Masa de agua	Superficie	Media	Fondo	F	p
GC	ES70GCTIII	0.198±0.035	0.283±0.034	0.199±0.017	2.735	0.088
LZ	ES70LZTIII	0.256±0.049	0.412±0.068	0.375±0.051	2.074	0.151

Al estudiar la concentración media de clorofila-a por islas para cada una de las tipologías se observó existían diferencias entre las islas para un mismo tipo de masa de agua (Tabla 4.2.3 y 4.2.4).

Tabla 4.2.3: Comparación de medias de clorofila-a ($\mu\text{g l}^{-1}$) para la tipología I, III, IV y V entre islas.

Isla	Masa de agua	Concentración media de clorofila-a	t	p
GC	ES70GCTI	0.395±0.057	2.166	0.042
LZ	ES70LZTI	0.256±0.028		
GC	ES70GCTIII	0.227±0.018	-3.112	0.004
LZ	ES70LZTIII	0.348±0.034		
GC	ES70GCTIV	0.282±0.026	2.866	0.008
LP	ES70LPTIV	0.195±0.015		
TF	ES70TFTV	0.282±0.031	2.565	0.016
LG	ES70LGTV	0.195±0.014		

Tabla 4.2.4: Comparación de medias de clorofila-a ($\mu\text{g l}^{-1}$) para la tipología II (GC y LP)

Isla	Masa de agua	Superficie	t	p	Fondo	t	p
GC	ES70GCTII	0.220±0.023	2.985	0.010	0.309±0.026	3.201	0.006
LP	ES70LPTII	0.141±0.014			0.202±0.021		

Dado que se encontraron diferencias en las masas de agua entre las islas, se seleccionó la isla de Gran Canaria, donde existen cuatro de las cinco tipologías definidas para el archipiélago, para efectuar un análisis comparativo entre las masas de agua tipo I y II y las tipo I y IV. En el primer caso, el propósito fue verificar si el factor exposición es un elemento determinante en las masas de agua respecto a la concentración de clorofila-a. En el segundo caso, en el proceso de tipificación, masas de agua contiguas fueron inicialmente separadas en función de las presiones, de manera que la tipología I, presenta las mismas características que la tipo IV y la tipo II, las mismas que la tipo V. La única diferencia entre los tipos I y IV, y II y V, respectivamente, es la existencia en los tipos IV y V de una serie de presiones que podrían modificar sustancialmente las características de la masa de agua y por tanto la calidad ecológica de la misma. Al no existir el tipo V en Gran Canaria, el estudio se hizo comparando los tipos I y IV.

En ambos casos, el análisis estadístico muestra que no se observan variaciones significativas de la concentración de clorofila-a entre las tipologías I - II y I - IV (Tabla 4.2.5 y Tabla 4.2.6).

Tabla 4.2.5: Comparación de medias de clorofila-a ($\mu\text{g l}^{-1}$) entre las tipologías I y II de Gran Canaria

Isla	Masa de agua	Superficie	t	p	Fondo	t	p
GC	ES70GCTI	0.372±0.074	1.959	0.084	0.418±0.093	1.128	0.291
GC	ES70GCTII	0.220±0.023			0.310±0.026		

Tabla 4.2.6: Comparación de medias de clorofila-a ($\mu\text{g l}^{-1}$) entre las tipologías I y IV de Gran Canaria

Isla	Masa de agua	Concentración media de clorofila-a	t	p
GC	ES70GCTI	0.395±0.057	1.792	0.088
GC	ES70GCTIV	0.282±0.026		

Para ver si existen diferencias entre las tipologías II y V se ha tenido que recurrir a masas de agua de diferentes islas, para ello se ha comparado la tipología II en primer lugar con la masa de agua tipo V de La Palma y en segundo lugar con la tipología V de la isla de Tenerife.

Los análisis comparativos de las medias (*t* de Student) de la concentración de clorofila-a dieron como resultado que no existen variaciones significativas entre las tipologías II y V entre La Palma y La Gomera, mientras que si se obtienen diferencias entre La Palma y Tenerife (Tabla 4.2.7 y Tabla 4.2.8).

Tabla 4.2.7: Comparación de medias de clorofila-a ($\mu\text{g l}^{-1}$) entre las tipologías II (LP) y V (LG)

Isla	Masa de agua	Superficie	t	p	Fondo	t	p
LP	ES70LPTII	0.141±0.014	-1.673	0.116	0.202±0.021	-0.475	0.642
LG	ES70LGTV	0.173±0.013			0.217±0.022		

Tabla 4.2.8: Comparación de medias de clorofila-a ($\mu\text{g l}^{-1}$) entre las tipologías II (LP) y V (TF)

Isla	Masa de agua	Superficie	t	p	Fondo	t	p
LP	ES70LPTII	0.141±0.014	-2.334	0.049	0.202±0.021	-2.442	0.029
TF	ES70TFTV	0.283±0.059			0.281±0.069		

-Abundancia fitoplanctónica

1º Campaña.

-Estimación cuantitativa del fitoplancton

El recuento de células fitoplanctónicas ha sido expresado en número de células por litro, a excepción de las cianobacterias filamentosas las cuales se expresan en número de filamentos. (ANEXO - Indicador Biológico Fitoplancton III: Tablas Abundancia Fitoplanctónica)

Las concentraciones medias de los grandes grupos del fitoplancton para las diferentes islas (Tabla 4.2.9) muestran que el grupo de las diatomeas presentó una mayor variación, con un promedio mínimo de 498 céls. L^{-1} en la isla de Lanzarote y un máximo de 17.718 céls. L^{-1} registrados en la isla de La Palma. Sin embargo, el grupo de los dinoflagelados y cocolitoforales presentaron concentraciones similares.

Tabla 4.2.9: Promedio del nº de céls. L^{-1} y de la diversidad (nºespecies/Log nº células).

Grupos	Islas				
	Lanzarote	Gran Canaria	La Gomera	La Palma	Tenerife
Dinoflagelados	940	796	1045	753	1080
Cocolitofóridos	3083	1210	2592	2417	1354
Diatomeas	498	4084	2320	17718	3795
Nanoflagelados	569	1091	949	822	1139
N (nº de muestras)	8	16	4	8	4
Diversidad	5,8	6,2	7,7	6,7	6,6

EL grupo de los nanoflageladas (Tabla 4.2.9) presentó en general, para esta época del año, una abundancia muy baja en el conjunto de las 5 islas, con un valor promedio mínimo de 569 céls.L⁻¹ en Lanzarote y un máximo de 1.139 céls.L⁻¹ en la isla de Tenerife.

La diversidad específica del fitoplancton (nº especies/Log nº células) fue en general alta en el conjunto de las muestras analizadas, con valores comprendidos entre 3,99, obtenido en la masa de agua tipo III de la isla de Lanzarote (T 1-Pto.1), y 8,56 registrado en la masa de agua tipo IV de la isla de La Gomera (T 2-Pto.1)

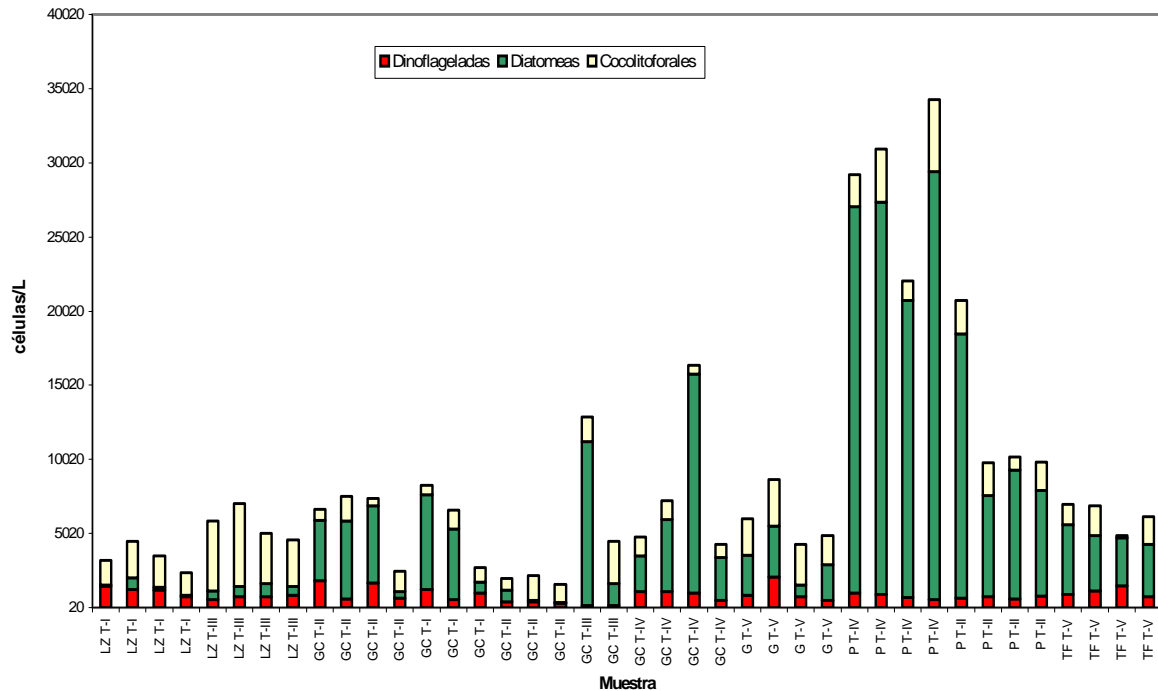
La masa de agua tipo IV de la isla de La Palma registro los máximos valores para los 4 principales grupos analizados, seguida de la tipología II de la misma isla, en esta última masa de agua el grupo de los cocolitofóridos no registro el segundo valor más alto correspondiendo este, a la masa de agua GC-TIV. Los registros más bajos de dinoflagelados y diatomeas se registraron en la masa de agua GC-TIII, mientras que los cocolitofóridos y nanoflagelados estuvieron peor representados en la masa de agua GC-TI (Tabla 4.2.10).

Tabla 4.2.10: Nº de células totales en cada una de las masas de agua analizadas (1^{er} muestreo)

Grupos	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Dinoflagelados	8752	3738	8690	21763	2704	6880	6816	29990	9249	8554
Diatomeas	7624	4743	8530	10797	3090	7313	8770	31722	8915	9422
Cocolitofóridos	3212	4530	8924	10925	13404	5795	18876	22332	4880	4537
Nanoflagelados	2472	2898	2998	11103	5502	4823	4532	35040	6424	5111

1= GC-TI; 2= LZ-TI, 3=GC-TII; 4=LP-TII; 5=GC-TIII; 6= LZ-TIII; 7= GC-TIV; 8=LP-TIV; 9= TF-TV; 10=LG-TV

La figura que se expone a continuación muestra las tendencias de los grupos principales de fitoplancton en el conjunto de las muestras estudiadas.



Los análisis comparativos de las medias (t de Student) del nº de células L^{-1} de fitoplancton para cada una de las masas de aguas estudiadas, en general no detectaron variaciones significativas entre las islas. Sin embargo, para la tipología IV se observaron diferencias significativas entre la isla de GC y la isla de La Palma ($t=-4.820$, $p=0.003$) (Tabla 4.2.11).

Tabla 4.2.11: Promedio del nº de células L^{-1} por masa de agua e isla (1^{er} muestreo)

Isla	Masa de agua	Nº de células L^{-1}	t	p
GC	ES70GCTI	5515±1567	0.948	0.405
LZ	ES70LZTI	3977±419		
GC	ES70GCTII	7285±1431	-2.078	0.083
LP	ES70LPTII	13647±2706		
GC	ES70GCTIII	6175±2488	-0.011	0.992
LZ	ES70LZTIII	6203±560		
GC	ES70GCTIV	9748±3163	-4.820	0.003
LP	ES70LPTIV	29771±2692		
TF	ES70TFTV	7367±1041	0.287	0.784
LG	ES70LGTV	6906±1220		

- Identificación taxonómica

La composición en detalle del fitoplancton muestra las características típicas de aguas oceánicas otoñales. El grupo de los dinoflagelados estuvo bien representado, por los géneros *Ceratium*, *Oxytoxum* y *Protoperdinium* además de por el predominio de dinoflagelados desnudos de pequeño tamaño. En cuanto a los coccolitofóridos destacan las especies *Discosphaera tubifer*, *Helicosphaera carteri*,

Rhabdosphaera claviger y *Syracosphaera pulchra*, presentes en las 5 islas muestreadas.

A estos dos grupos de microalgas se superponen proliferaciones locales de diatomeas, en determinadas islas, indicadoras de aportes de nutrientes inorgánicos, tales como diversas especies del género *Chaetoceros*, con concentraciones máximas en La Palma y moderadas en Gran Canaria y Tenerife, *Pseudo-nitzschia*, especialmente en Gran Canaria y La Palma, *Leptocylindrus minimus*, presente en todas las islas excepto Lanzarote, *Skeletonema costatum*, especialmente en La Palma, *Climacodium biconcavum*, presentes en todas las islas excepto en La Palma y *Guinardia striata*, presente en Gran Canaria, La Gomera y La Palma.

Destacar la presencia notable de organismos formadores de proliferaciones costeras o "blooms", tales como *Scrippsiella* spp., *Karlodinium* sp. y *Heterocapsa niei* y diatomeas bentónicas resuspendidas del sustrato donde viven.

Entre las particularidades encontradas cabe destacar la presencia, de forma casi exclusiva en algunas islas de determinadas especies, tal es el caso de los dinoflagelados *Peridinium quinquecorne* (solo presente en Gran Canaria), *Prorocentrum balticum* (presente en La Palma y La Gomera), las diatomeas *Asteronellopsis glacialis* (Lanzarote), *Lioloma delicatulum* y *Papillioceus elegans* (La Palma) y las cocolitoforales *Anoplosolenia brasiliensis* (Lanzarote), *Calciosolenia murrayi* (solo presente en Lanzarote y Gran Canaria) y *Umbilicosphaera sibogae* (solo presente en Gran Canaria y La Gomera).

Entre las especies encontradas que se consideran de importancia ecológica, al ser su presencia poco frecuente, cabe citar las dinoflageladas *Cladopyxis hemibrachiata*, *Corythodinium frenguelli*, *Corythodinium reticulatum*, *Corythodinium tessellatum*, *Dinophysis pusilla*, *Gymnodinium* cf. *breve*, *Histioneis cymbalaria*, *Histioneis rotundata*, *Micracanthodinium claytonii*, *Ornithocercus magnificus*, *Ornithocercus splendidus*, *Ornithocercus steinii*, *Ostreopsis siamensis*, *Pronoctiluca acuta*, las diatomeas *Bleakeleya notata*, *Chaetoceros dadayi*, *Lioloma delicatulum*, *Papillioceus elegans* y la cocolitoforal *Ophiaster hydroideus*.

2ª Campaña.

-Estimación cuantitativa del fitoplancton

Las concentraciones medias de los grandes grupos del fitoplancton para las diferentes islas (Tabla 4.2.12) muestran que el grupo de las diatomeas presentó una mayor variación, con un promedio mínimo de 640 céls. L⁻¹ en la isla de La Gomera y un máximo de 108.244 céls.L⁻¹ registrado en la isla de Gran Canaria, seguidas de los cocolitofóridos, con un promedio mínimo de 2.633 céls. L⁻¹ en la isla

de La Palma y un máximo de 28.820 céls.L⁻¹ en Tenerife y dinoflagelados, estos últimos con un valor promedio mínimo de 365 céls.L⁻¹ en Lanzarote y un máximo de 2.420 céls. L⁻¹ en Tenerife.

Tabla 4.2.12: Promedio del nº de céls.L⁻¹ y de la diversidad (nºespecies/Log nº células).

Grupos	Islas				
	Lanzarote	Gran Canaria	La Gomera	La Palma	Tenerife
Dinoflagelados	365	836	623	880	2420
Coccolitofóridos	12708	10046	2633	12411	28820
Diatomeas	18486	108244	2083	640	9230
Nanoflagelados	1433	3892	1481	5621	11494
N (nº de muestras)	8	16	8	4	4
Diversidad	9,2	8,2	6,7	6	7,5

En cuanto al resto de grupos identificados destacó en Tenerife el grupo de los nanoflagelados con 11.494 céls.L⁻¹ (Tabla 4.2.12).

La diversidad específica del fitoplancton (nº especies/Log nº células) fue en general alta en el conjunto de las muestras analizadas.

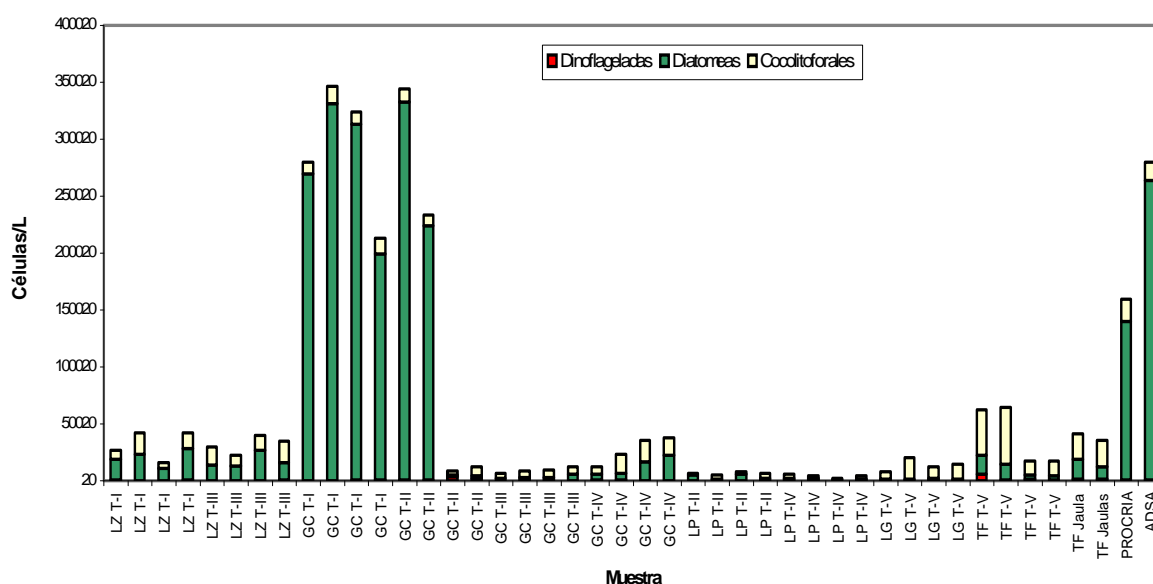
De forma general, el recuento de fitoplancton en cada una de las masas de agua muestreada fue superior en esta 2ª campaña. La masa de agua tipo IV de la isla de La Palma obtuvo en este segundo muestreo los valores mínimos registrados para los 4 principales grupos analizados. La masa de agua que presentó un mayor registro de dinoflagelados fue la masa de agua GC-TII, mientras que los tres grupos restantes obtuvieron sus valores máximos en la masa de agua GC-TI (Tabla 4.2.13).

Tabla 4.2.13: Nº de células totales en cada una de las masas de agua analizadas (2º muestreo)

Grupos	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Dinoflagelados	280558	27077	345286	8356	8666	31052	17346	7914	84860	13918
Diatomeas	349774	43131	234658	8186	12182	25804	26262	5217	81600	29264
Coccolitofóridos	327128	15894	18996	8810	13214	40610	40968	3265	21246	15616
Nanoflagelados	214440	43797	19600	7707	13970	36788	45244	5090	20146	19410

1= GC-TI; 2= LZ-TI, 3=GC-TII; 4=LP-TII; 5=GC-TIII; 6= LZ-TIII; 7= GC-TIV; 8=LP-TIV; 9= TF-TV; 10=LG-TV

La figura que se expone a continuación muestra las tendencias de los grupos principales de fitoplancton en el conjunto de las muestras estudiadas.



En esta 2ª campaña los análisis comparativos de medias (*t* de Student) del nº de células L⁻¹ de fitoplancton, para cada una de las masas de aguas estudiadas, no detectaron variaciones significativas entre las islas para la tipología II y V. Sin embargo, para la tipología I y III se observaron diferencias significativas entre la isla de GC y la isla de Lanzarote (Tipo I, *t*= 8.504, *p*=0.000; Tipo III, *t*=-6.243, *p*=0.001) (Tabla 4.2.14), al igual que para la tipología IV de la isla de La Palma y de Gran Canaria (Tipo IV, *t*= 4.140, *p*= 0.024)

Tabla 4.2.14: Promedio del nº de células L⁻¹ por masa de agua e isla (2º muestreo)

Isla	Masa de agua	Nº de células L ⁻¹	<i>t</i>	<i>p</i>
GC	ES70GCTI	292975±29880	8.504	0.000
LZ	ES70LZTI	32474±6744		
GC	ES70GCTII	154635±81334	1.800	0.170
LP	ES70LPTII	8264±228		
GC	ES70GCTIII	12008±1173	-6.243	0.001
LZ	ES70LZTIII	33563±3247		
GC	ES70GCTIV	32455±6472	4.140	0.024
LP	ES70LPTIV	5371±958		
TF	ES70TFTV	51963±18065	1.762	0.170
LG	ES70LGTV	19552±3434		

-Identificación taxonómica

El conjunto de las muestras analizadas presenta una composición específica basal común, con la presencia de poblaciones de microalgas oceánicas y algunas proliferaciones o "blooms" tempranos localizados de diatomeas y flageladas oportunistas.

En cuanto a la composición basal hubo una buena representación en el conjunto de las muestras de, dinoflagelados pertenecientes a los géneros *Oxytoxum* (*O. gracile*, *O. cf. mediterraneum*, *O. longiceps*, *O. milneri*, *O. scolopax*, *O. variable*), *Prorocentrum* (*P. balticum*, *P. compressum*, *P. dentatum*, *P. gracile*, *P. mexicanum*, *P. micans*, *P. minimum*, *P. rostratum*, *P. scutellum* y *P. triestinum*) y *Protoperidinium* spp., de diatomeas (*A. glacialis*, *Chaetoceros* spp., *C. closterium*, *G. striata*, *L. delicatulum*, *Pseudonitzschia* spp. y *S. costatum* entre otras) y cocolitoforales (*C. murrayi*, *D. tubifera*, *R. clavigera*, *S. pulchra*, *U. sibogae*) y el silicoflagelado *Dictyocha fibula*. Es de destacar la abundancia numérica que presentaron las diatomeas *Asterionellopsis glacialis* y *Skeletonema costatum*, especies que suelen presentarse típicamente en el invierno.

En cuanto a las proliferaciones algales es de resaltar la detectada en las masas de agua GC-TI y GC-TII, en esta última solo en el transecto 1, en la que participaron con elevadas concentraciones celulares las diatomeas *A. glacialis*, *C. lorenzianus*, *C. curvisetus*, *Chaetoceros* spp., *Detonula* sp., *G. delicatula*, *G. striata*, *Lauderia annulata*, *L. danicus*, *P. recta*, *Pseudonitzschia* spp., *S. costatum* y *Thalassiosira* spp.

Cabe destacar por su importancia ambiental (ya que el nº de células es relativamente bajo), la detección de dos proliferaciones o "blooms" de dinoflagelados deletéreos para la fauna en general, en Tenerife (masa de agua TF-TV, transecto 1, punto 1) y en Gran Canaria (masa de agua GC-TII, transecto 2, punto 1 y 2), ambos con una composición específica similar caracterizada por la presencia de *Heterocapsa niei*, *Karlodinium* sp., *Oxytoxum variable* y *Scrippsiella* spp. entre otras especies.

En las muestras analizadas fue muy frecuente una considerable abundancia de diatomeas bentónicas, presentes en el plancton como consecuencia de ser resuspendidas del sustrato donde viven, y la presencia de *Phaeocystis* globosa (*Haptophyta*, formadora de mucílago) en muestras de La Gomera y Tenerife.

Entre las especies encontradas que se consideran de importancia ecológica, al ser su presencia poco frecuente, cabe citar las dinoflagelados *Amphisolenia thrinax*, *Oxytoxum milneri*, *Corythodinium reticulatum*, *Corythodinium tessellatum*, *Histioneis rotundata*, *Micracanthodinium claytonii*, *Ostreopsis siamensis*, *Prorocentrum dentatum*, *Prorocentrum rostratum*, las diatomeas *Bellerrochea malleus*, *Bleakeleya notata*, *Chaetoceros dadayi*, *Chaetoceros atlanticus* v. *napolitana*, *Corethron hystrix*, *Helicotheca tamesis*, *Lioloma delicatulum*, *Papiliocellulus elegans*, *Toxarium undulatum* y los cocolitofóridos *Michaelsarsia elegans*, *Ophiaster hydroideus* y *Tethya citrus*.

En los siguientes anexos, ANEXO - Indicador Biológico Fitoplancton III: Tablas Abundancia Fitoplanctónica y ANEXO - Indicador Biológico Fitoplancton IV: Listado de Especies Identificadas, se muestra la abundancia de fitoplancton por grupos obtenida en las dos campañas y las especies identificadas en cada una de las estaciones analizadas.

4.2.2. Indicador biológico. Macroalgas

4.2.2.1. Introducción

En el medio marino los organismos del bentos varían según el tipo de sustrato sobre el que se asienten. Se distinguen de forma general dos tipos de sustrato, el sustrato rocoso o duro caracterizado por tener una mayor riqueza tanto vegetal como animal, mientras que el sustrato arenoso o blando, constituido por elementos que pueden desplazarse, se caracteriza por ser un sustrato más pobre, como consecuencia de su inestabilidad.

Las comunidades de macroalgas, que se distribuyen sobre el sustrato rocoso, han sido seleccionadas por la DMA como indicadores para medir la calidad ecológica del medio ya que estas constituyen una herramienta eficaz para la valoración del estado ambiental y del efecto de las perturbaciones introducidas en los sistemas acuáticos.

4.2.2.2. Generalidades

El intermareal o piso mesolitoral comprende la estrecha franja del litoral influenciada por el recorrido de las mareas y caracterizada por albergar poblaciones de seres que soportan o precisan de emersiones algo prolongadas. La conjunción de factores tales como la duración de la emersión, la morfología y la estabilidad del sustrato o la exposición al oleaje, determinan la existencia de una gran variedad de microambientes que sustentan una singular y diversa biota.

En esta franja litoral están presentes diversos biotopos (rasas, cantiles rocosos, charcos) sobre los que se asientan una gran variedad de especies algales formando comunidades de macroalgas características, cuya composición específica y organización espacial depende de distintos factores entre los que destaca la mayor o menor exposición al oleaje

4.2.2.3. Metodología

La métrica empleada para la evaluación de las comunidades costeras de macroalgas de fondos rocosos, ha sido el índice de calidad de los fondos rocosos (CFR), el cual, tal y como indica la DMA, integra la valoración de la composición

(riqueza de macroalgas), la abundancia (cobertura) y su estado de conservación (presencia de oportunistas, estado fisiológico cualitativo).

Métodos analíticos

El índice está diseñado para ser aplicado tanto en la zona intermareal (eulitoral o intermareal medio-bajo) como en el submareal. Este estudio, tal y como requiere la DMA, se basará en la franja intermareal, para ello la aplicación de este índice distingue entre, intermareal semiexpuesto, con pendiente inferior a 45°, e intermareal expuesto, con fuerte pendiente y asociado principalmente a zona de acantilados.

Estaciones de muestreo y nº de réplicas.

La aplicación del CFR requiere, en la medida de lo posible, que las estaciones estén en localizaciones que reflejen posibles gradientes de presión ambiental o en zonas donde se prevea la existencia de presiones que puedan afectar a la composición y estructura de las comunidades naturales, como por ejemplo los vertidos de aguas residuales (depuradas o no), el vertido de material de dragado, los vertidos industriales (efluentes tóxicos, térmicos, etc..).

La estación de muestreo consiste en un transecto de longitud y anchura variable (distancia, tiempo de recorrido), previamente determinada y adaptada a la peculiaridad de la costa o del ámbito de estudio (intermareal/submareal). Dicho transecto cubrirá el rango de variación altitudinal que abarca la zona normalmente colonizada por macroalgas, desde el nivel litoral medio-superior al infralitoral somero.

En una misma zona se han realizado 3 réplicas, de manera que la integración de las valoraciones obtenidas por las distintas réplicas dará como resultado el valor medio final del CFR.

Especies consideradas

Para la aplicación del índice se consideran tres tipos de especies:

- **Especies de macroalgas características:** aquellas especies que constituyen poblaciones conspicuas o cinturones definidos. Estas especies son las que se consideran a la hora de valorar la cobertura, la riqueza o el estado fisiológico de las comunidades algales, las cuales han sido definidas por cada CCAA para la aplicación de este índice.

Tabla 4.2.15: Especies de macroalgas características

Nombre científico
Comunidad de <i>Cystoseira</i> spp.
Comunidad de <i>Dictyota</i> spp.
Comunidad de <i>Padina pavonica</i>
Comunidad de <i>Lobophora variegata</i>
Comunidad de <i>Stypocaulon scoparium</i>
Comunidad de <i>Sargassum</i> spp.
Comunidad de <i>Halopteris filicina</i>
Comunidad de <i>Zonaria tournefortii</i>
Comunidad de <i>Asparagopsis taxiformis</i>
Comunidad de <i>Corallinaceas</i>
Comunidad de <i>Gelidiales</i>
Comunidad de <i>Plocamium</i>
Comunidad de <i>Fucus spiralis</i>
Comunidad de <i>Enteromorpha</i>
Comunidad de <i>Laurencia</i> spp. / <i>Chondrophyucus</i> spp.
Comunidad de <i>Pterocladia capillacea</i>
Comunidad de Calcáreas incrustantes

- Especies oportunistas e indicadoras de contaminación.

Tabla 4.2.16: Especies de macroalgas oportunistas

Nombre científico
<i>Ulva rigida</i>
<i>Cladophora prolifera</i>
<i>Cladophora</i> spp.
<i>Enteromorpha</i> spp.

- Especies invasoras: la presencia de especies invasoras restará 10 puntos (hasta un mínimo de 0 puntos) en el bloque de las especies oportunistas. En Canarias no se han definido especies de este tipo.

Características morfológicas

Para la valoración de la cobertura mediante la aplicación del CFR se tienen en cuenta las zonas rocosas estables (bloques, lastras, acantilados...), en aquellos casos en los que la estructura del lecho dificulte el asentamiento de comunidades

de macroalgas características se podrán añadir 10 puntos adicionales (hasta obtener un máximo de 40 en el bloque).

Valoración de los indicadores

El índice está compuesto por cuatro indicadores que se deben evaluar independientemente, cada uno de los cuales podrá obtener las siguientes puntuaciones máximas:

- **Cobertura** (40 puntos): en este bloque se valora el grado de cobertura de las poblaciones de macroalgas características de la zona. Para ello se tendrán en cuenta los niveles de profundidad a los que se aplica el índice y el tipo de zona intermareal a la hora de asignar las puntuaciones. La valoración se lleva a cabo mediante la estimación del porcentaje de recubrimiento de las macroalgas características en las zonas rocosas estables del transecto. Se sumarán 10 puntos adicionales si la estructura del lecho dificulta el asentamiento de las poblaciones de macroalgas características.

- **Riqueza de poblaciones** (15 puntos): en este bloque se evalúa la riqueza de macroalgas características que presenten poblaciones conspicuas en la zona. La valoración se realizará de acuerdo a los criterios establecidos para cada uno de los niveles de profundidad y tipos de zonas intermareales.

- **Oportunistas** (30 puntos): se valora el grado de cobertura de especies oportunistas o indicadoras de contaminación presentes en la estación evaluada respecto a la cobertura vegetal total. Para ello se estima el porcentaje de recubrimiento de las mismas en las zonas rocosas estables del transecto y se aplica el criterio establecido para su valoración en función del nivel de profundidad. La presencia de especies que presenten un carácter invasivo en la zona de evaluación restará 10 puntos a la valoración del bloque. En el caso de estaciones sin cubierta vegetal de ningún tipo, la valoración de éste indicador, así como del índice global, será de 0.

- **Estado fisiológico** (15 puntos): para ello se tiene en cuenta el grado de epifitismo, la despigmentación y la cantidad de frondes dañados o rotos que no sean debidos a causas naturales, como por ejemplo factores estacionales. Debido a los múltiples factores que pueden influir en el estado fisiológico de las comunidades, la valoración de este indicador se realiza en base al "juicio de experto".

Cada indicador presenta una serie de rangos establecidos para cada uno de los niveles mareales en los que se aplique el índice, con una puntuación asignada a cada uno de estos rangos.

Valoración final

El valor del índice CFR corresponderá a la suma de las puntuaciones obtenidas en cada uno de los cuatro bloques y estará comprendido entre 0 (mala calidad) y 100 (muy buena calidad) (ver Anexo Indicadores Biológicos. Indicador Macroalgas)

Categorías de calidad

Con el fin de adaptar las clases de calidad a los rangos que se están proponiendo para la aplicación de la Directiva Marco del Agua (2000/60/CEE), se ha establecido la siguiente escala de categorías:

Tabla 4.2.17.: Escala de calidad establecida para el Índice CFR

CFR	Calidad
83-100	Muy Buena
62-82	Buena
41-61	Moderada
20-40	Deficiente
0-19	Mala

Métodos estadísticos

La relación entre la cobertura, riqueza, oportunistas, estado, CFR y los valores esperados a priori de CFR de las estaciones muestreadas se obtuvo mediante regresión lineal, considerándose aceptable dicha relación cuando la varianza explicó más del 50 % de la variabilidad de los datos (coeficiente de determinación $R^2 > 0,50$).

Al objeto de establecer la precisión del ajuste del índice de calidad de fondos rocosos (CFR) entre el valor teórico y el esperado a priori se empleó el estadístico de Kappa (κ), el cual indica cuanto mejora un sistema de clasificación al aplicar determinados criterios (Titus et al. 1984).

4.2.2.4. Resultados

Los resultados de la aplicación del índice CFR se muestran en la Tabla 4.2.19. Tal y como se esperaba, incluso en aquellas masas de aguas calificadas a priori con peor

calidad ecológica, la valoración de las distintas estaciones seleccionadas ha sido en general de muy buena o buena calidad, a excepción de una de las estaciones de la masa de agua ES70FVTIV en la que se obtuvo una calidad deficiente.

La relación entre los valores de calidad esperados y los valores de cada uno de los indicadores fue significativa en todos los casos (Tabla 4.2.18). Sin embargo, sólo el modelo de regresión lineal de la cobertura y riqueza explicó más del 50% de la variabilidad de los datos (58 y 65,3 %, respectivamente), considerándose a dichos indicadores como los más relevantes.

Tabla 4.2.18: Resultado de las regresiones lineales entre valores de calidad esperados y los valores de cada uno de los indicadores y de los valores finales del CFR

Cobertura	Riqueza	Oportunistas	Estado	Valor de CFR
$y = 0.07x + 1.59$ $R^2 = 0.5632$ $p < 0.001$	$y = 0.24x + 1.09$ $R^2 = 0.6390$ $p < 0.001$	$y = 0.06x + 2.86$ $R^2 = 0.3985$ $p < 0.001$	$y = 0.13x + 2.75$ $R^2 = 0.2189$ $p < 0.01$	$y = 0.04x + 0.87$ $R^2 =$ $p < 0.001$

La correlación entre los valores obtenidos de CFR y los esperados fue elevada ($R^2 = 0,79$), poniendo de manifiesto, en términos relativos, la buena capacidad de discriminación del CFR. En términos absolutos, el 74,1 % de las estaciones se clasificaron correctamente, obteniéndose un valor del índice de Kappa ponderado del 0.80, mostrando un nivel **"excelente"** de predicción (Monserud y Leemans, 1992).

Tabla 4.2.19: Resultados de la aplicación del índice CFR en Canarias

Masa de agua	Transecto	Cobertura	Riqueza	Oportunistas	Estado	CFR	Estado observado	Estado esperado
ES70LPTI	T1	40	15	30	15	100	MB	MB
	T2	40	15	30	15	100	MB	MB
	T3	40	15	30	15	100	MB	MB
ES70FVTI	T1	20	15	30	11	76	B	B
	T2	20	15	30	11	76	B	B
	T3	20	11	30	11	72	B	MOD
ES70LPTII	T1	40	15	30	15	100	MB	MB
	T2	40	15	30	15	100	MB	MB
	T3	40	15	30	15	100	MB	MB
ES70GCTII	T1	40	15	30	7	92	MB	MB
	T2	40	15	5	7	67	B	B
	T3	20	11	5	11	47	MOD	MOD
ES70LPTIV	T1	40	15	30	15	100	MB	MB
	T2	40	15	30	15	100	MB	MB
	T3	40	15	30	15	100	MB	MB
ES70FVTIV	T1	30	7	30	7	74	B	MOD
	T2	20	7	5	7	39	DEF	MOD
	T3	30	11	20	7	68	B	B
ES70GCTIV	T1	40	15	30	11	96	MB	MB
	T2	40	15	30	11	96	MB	MB
	T3	40	15	20	11	86	MB	B
ES70TFTV	T1	30	15	30	7	82	B	B
	T2	40	15	30	11	96	MB	B
	T3	30	7	5	15	57	MOD	MOD
ES70TFTV	T1	40	15	30	15	100	MB	MB
	T2	40	11	20	15	86	MB	B
	T3	30	11	15	11	67	B	MOD

4.2.3. Indicador biológico. Infauna

4.2.3.1. Introducción: Los organismos bentónicos en la DMA

El estudio del bentos, es tal vez el indicador peor abordado dentro de los indicadores biológicos considerados por la Directiva Marco de Agua (DMA), esto se debe a la gran disparidad que existe en los estudios de las comunidades bentónicas.

En el medio marino, que es el que afecta a Canarias, existen diversos ambientes capaces de albergar organismos bentónicos, diferenciados principalmente por el tipo de sustrato (rocoso o blando). Esta diferenciación da lugar a organismos muy diversos, con estudios, a su vez, que se enfocan de manera diferente.

En este trabajo, el estudio de los invertebrados bentónicos para el establecimiento de las condiciones de referencia, se ha llevado a cabo siguiendo las directrices del Grupo de Intercalibración Geográfica del NorEste Atlántico (NEA GIG), en el que participa España. Por este motivo sólo se ha planteado el estudio de los organismos bentónicos asociados a fondos blandos, y en concreto al grupo de invertebrados pertenecientes a la infauna.

Con el fin de establecer la calidad ecológica de las costas y estuarios, técnicos de AZTI-Tecnalia, coordinados por el Dr. Ángel Borja, han desarrollado el índice AMBI y la herramienta M-AMBI. Estas herramientas exploran la respuesta de las comunidades a los cambios naturales y humanos en la calidad del agua, integrando condiciones medioambientales a largo plazo. Canarias, al igual que en otras regiones españolas del grupo NEA, acordó aplicar este índice con el objeto de comprobar si en un futuro podría ser una herramienta adecuada para el estudio de la infauna, dentro del ámbito de la DMA.

Es importante advertir que en la actualidad se siguen resolviendo cuestiones sobre métodos e indicadores a utilizar, ya que no existe consenso por un lado entre las diversas regiones españolas ni entre los diferentes países implicados en este grupo. Por otro lado la escasez de datos en Canarias, así como la falta de uniformidad en los datos en estudios anteriores, lleva a plantear este estudio de manera que sea posible la obtención de resultados preliminares para, en un futuro próximo, poder consensuar metodologías y métricas, con el grupo de intercalibración así como revisar los límites de las condiciones de referencia. A medida que el GIG del NorEste Atlántico acuerde la inclusión de nuevos indicadores, especialmente para los organismos asociados a sustrato rocoso, cabrá la posibilidad de ir adaptando las métricas al estudio de dichos invertebrados en Canarias.

4.2.3.2. Generalidades

La preferencia en el estudio de los macroinvertebrados bentónicos se debe a que cumplen una serie de características, que los convierten en indicadores muy adecuados:

- ❖ son relativamente sedentarios y por lo tanto representativos del área donde son recolectados;
- ❖ tienen ciclos de vida relativamente cortos comparado con los peces y reflejan con mayor rapidez las alteraciones del medio ambiente mediante cambios en la estructura de sus poblaciones y comunidades;
- ❖ viven y se alimentan en los sedimentos donde tienden a acumularse las toxinas, las cuales se incorporan a la cadena trófica a través de ellos;
- ❖ su sensibilidad a los factores de perturbación y responden a las sustancias contaminantes presentes tanto en el agua como en los sedimentos,
- ❖ son fuente primaria como alimento de muchos peces y participan de manera importante en la degradación de la materia orgánica y el ciclo de nutrientes.

4.2.3.3. Metodología

Métodos analíticos

En el laboratorio las muestras se tamizaron con el fin de separarlas en los diferentes grupos y proceder a su identificación taxonómica.

Métodos estadísticos

Una vez identificados los organismos se procedió a procesar los datos estadísticamente.

Por un lado se aplicaron los índices estadísticos tradicionales con el fin de obtener una visión general de los organismos bentónicos en Canarias. Para ello se realizó un estudio comparativo de las muestras, analizando como se comporta la muestra frente a diversos factores:

1. **Localización.** En este estudio se agruparon las estaciones en función de la isla donde fueron recogidas, con el fin de determinar si existen diferencias en cuanto a composición y diversidad en función de la localización.
2. **Composición granulométrica:** Fangos, Arenas muy finas (AMF), Arenas finas (AF), Arenas medias (AM), Arenas Gruesas (AG).
3. **Porcentaje de materia orgánica,** 0-2%, 2-4%, más de 4%.

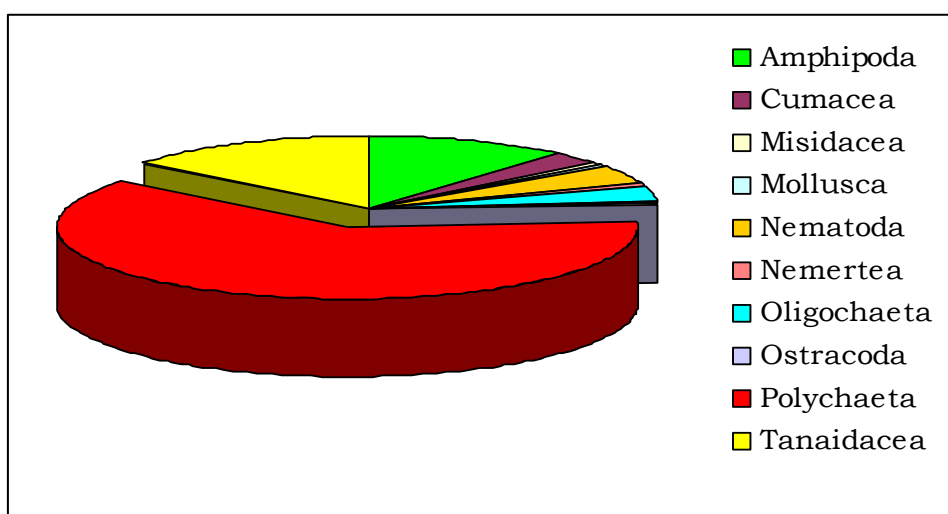
Por otro lado, se aplicó la metodología propuesta por AZTI, con el fin de determinar el estado ecológico de las masas de agua estudiadas. Para ello se aplicó la metodología M-AMBI (Muxika et al. 2006) con el fin de determinar la EQR y el estado ecológico (ES), ésta puede consultarse en Bald et al. (2005). La aplicación de esta metodología se realizó a través del programa informático mencionado. Como parámetros estructurales se utiliza la riqueza (s); la diversidad de Shannon (h) y AMBI.

4.2.3.4. Resultados

La abundancia total registrada en estas estaciones fue de 175 ejemplares, siendo las especies más abundantes el tanaidáceo *Apseudes talpa* con 21 individuos y el poliqueto *Streptosyllis bidentata* con 14 ejemplares. En cambio, 20 especies estuvieron representadas por un único individuo (ANEXO – Indicador Biológico Infauna I: Listado de Especies Identificadas).

En términos de diversidad específica, se identificaron un total de **44 especies**, pertenecientes a 10 grupos taxonómicos, siendo mejor representado los poliquetos con 27 taxones, seguido por los anfípodos con 7 especies. Los grupos taxonómicos peor representados fueron los misidáceos, nemertinos, oligoquetos y ostrácodos con una única especie. Además, los **poliquetos** también fueron el grupo taxonómico más importante en términos de abundancia, al representar el **61%** de la abundancia macrofaunal total registrada en las muestras analizadas. Otros grupos importantes fueron los tanaidáceos y los anfípodos, con un 14,28 y 11,42%, respectivamente (Fig. 4.2.1).

Figura 4.2.1. Porcentaje de los grupos taxonómicos macrofaunales en las estaciones de estudio.



En el ANEXO – Indicador Biológico Infauna II: Gráficos I se muestran los gráficos obtenidos para cada una de las islas.

Localización

Las estaciones fueron agrupadas por la isla en la que fueron recolectadas, creándose cinco conjuntos:

- a) Gran Canaria
- b) La Gomera
- c) La Palma
- d) Tenerife
- e) Lanzarote

El número de especies fue bajo en todas las islas, siendo máximo en La Palma con una media de 5,5 taxones, seguida por Gran Canaria con 5,1 especies. En cambio, la diversidad específica mínima se obtuvo en Lanzarote con 3 taxones (ver ANEXO – Indicador Biológico Infauna III: Gráficos II Fig. 1). Las diferencias encontradas entre las cinco islas (Gran Canaria, La Gomera, La Palma, Tenerife y Lanzarote) no fueron significativas en cuanto a su diversidad específica ($H = 1,844$; $p = 0,764$).

La abundancia media de ejemplares fue muy baja en las cinco islas, destacando las densidades mínimas registradas en Lanzarote, con una media de 3,5 individuos. En el resto de las islas se obtuvieron abundancias superiores a 7 ejemplares, llegando a 10 y 9,5 individuos en La Gomera y La Palma, respectivamente (ver ANEXO – Indicador Biológico Infauna III: Gráficos II Fig. 2). Las diferencias encontradas en este parámetro no fueron significativas entre las cinco islas analizadas ($H = 2,81$; $p = 0,59$).

La diversidad de Shannon (H') se mantuvo más o menos constante entre las cinco islas, con valores mínimos en Lanzarote que registró una media de 1,01. En cambio, la diversidad máxima se obtuvo en La Palma con 1,44 y Gran Canaria con 1,38, (ver ANEXO – Indicador Biológico Infauna III: Gráficos II Fig. 3) Las diferencias registradas en este estadístico no fueron significativas entre las islas muestreadas ($H = 1,275$; $p = 0,866$)

La equitatividad de Pielou (J') experimentó valores altos en todas las islas, superiores a 0,8. La equitatividad mínima se registró en La Gomera, con un valor medio de 0,88, mientras que los máximos se obtuvieron en Lanzarote, con una media de 0,96 y La Palma con 0,92, (ver ANEXO – Indicador Biológico Infauna III:

Gráficos II Fig. 4). Las diferencias registradas en este estadístico no fueron significativas entre las islas analizadas ($H = 1,24$; $p = 0,871$).

En el dendrograma de la figura 5 (ver ANEXO – Indicador Biológico Infauna III: Gráficos II) se representan las estaciones de muestreo agrupadas según la isla en la que fueron muestreadas. Las estaciones de la isla de Lanzarote se segregan del resto al 20% de similaridad, caracterizada por la ausencia de especies dominantes y abundancias macrofaunales muy bajas. El siguiente conjunto de muestras que se separa del grupo corresponde a las de la isla de Tenerife, al nivel del 26,3% de similitud, que presentaron el oligoqueto Tubificidae sp.1 y densidades bajas. Las muestras de La Palma se separan al 30% de similitud, debido principalmente a la presencia del poliqueto filodócido *Protomystides* sp. y a la ausencia de especies dominantes en la estructura de la comunidad macrofaunal de estas estaciones.

Composición granulométrica

Las estaciones fueron agrupadas según la fracción granulométrica dominante en los sedimentos donde fueron recolectadas. De esta forma se establecieron seis grupos, correspondientes a cada uno de los tipos sedimentarios.

- f) Fangos,
- g) Arenas muy finas
- h) Arenas finas
- i) Arenas medias
- j) Arenas gruesas
- k) Arenas muy gruesas.

La diversidad específica fue baja en todos los tipos sedimentarios analizados, siendo máxima en los fangos que registraron un valor medio de 6,3 especies. En cambio, el número mínimo de especies se obtuvo en las arenas finas, con una media de 3,7 taxones (ver Fig. 6, ANEXO – Indicador Biológico Infauna III: Gráficos II). Las diferencias registradas en este parámetro no fueron significativas entre las seis fracciones granulométricas analizadas (Fangos, Arenas muy finas, Arenas finas, Arenas medias, Arenas gruesas y Arenas muy gruesas) ($H = 7,27$; $p = 0,201$).

La abundancia de ejemplares también fue baja en todos los tipos sedimentarios analizados, con densidades inferiores a 12 individuos, registrándose los valores máximos en la fracción de arenas medias con un valor medio de 10,7 ejemplares. En cambio, las abundancias mínimas se obtuvieron en el tipo sedimentario de arenas muy gruesas con 3,7 individuos (ver Fig. 7, ANEXO – Indicador Biológico

Infauna III: Gráficos II). Las diferencias que se obtuvieron entre las seis fracciones granulométricas no fueron significativas ($H = 6,54$; $p = 0,257$).

La diversidad de Shannon (H') se mantuvo en valores bajos en todos los tipos sedimentarios analizados, destacando la media registrada en los fangos con 1,77. Sin embargo, el resto de fracciones granulométricas obtuvieron valores inferiores a 1,5, siendo mínimos en arenas gruesas con 1,02 y arenas muy gruesas con 0,7 (ver Fig. 8 ANEXO – Indicador Biológico Infauna III: Gráficos II). Las diferencias registradas entre los tipos sedimentarios estudiados (Fangos, Arenas muy finas, Arenas finas, Arenas medias, Arenas gruesas y Arenas muy gruesas) no fueron significativas en cuanto a su diversidad ($H = 7,67$; $p = 0,175$).

La equitatividad de Pielou (J') presentó valores altos en todas las fracciones sedimentarias analizadas, siendo máximos en los fangos con 0,98 y en arenas muy finas con 0,95. En cambio, la equitatividad mínima se registró en arenas gruesas con 0,87 (ver Fig. 9, ANEXO – Indicador Biológico Infauna III: Gráficos II). Las diferencias encontradas en este estadístico entre los seis tipos sedimentarios analizados no fueron significativas ($H = 8,87$; $p = 0,114$).

Materia orgánica

Las estaciones de fondos blandos analizadas se separaron en tres grupos dependiendo de su contenido en materia orgánica:

- l) 0-2%, estaciones
- m) 2-4%, estaciones
- n) > 4%, estaciones.

El número de especies se mantuvo más o menos constante entre los tres grupos de estaciones, siendo máximo en las que presentaron un contenido entre 0 y 2%, con un valor medio de 5,8 taxones. En cambio, las estaciones con un porcentaje superior al 4% obtuvieron los valores de diversidad específica más bajos, con una media de 3,5 especies (ver Fig. 10 ANEXO – Indicador Biológico Infauna III: Gráficos II). Las diferencias encontradas entre los tres grupos de estaciones (0-2%, 2-4% y > 4% de materia orgánica) no fueron significativas en cuanto al número de especies ($H = 2,062$; $p = 0,357$).

La abundancia de ejemplares varió entre los tres grupos de estaciones, con valores máximos en las estaciones con un contenido en materia orgánica de 0-2%, que presentó una media de 11,4 individuos. En cambio, las densidades mínimas se obtuvieron en las estaciones que presentaron un porcentaje superior al 4%, con un valor medio de 4,25 ejemplares (ver Fig. 11, ANEXO – Indicador Biológico Infauna

III: Gráficos II). Las diferencias registradas en este parámetro no fueron significativas entre los tres grupos de estaciones ($H = 3,372$; $p = 0,185$).

La diversidad de Shannon (H') se mantuvo constante entre los tres grupos de estaciones, con valores inferiores a 1,5. La diversidad máxima se registró en el grupo con un contenido en materia orgánica de 0-2%, que presentó un valor medio de 1,49. En cambio, la diversidad más baja se obtuvo en las estaciones con un porcentaje de materia orgánica superior al 4%, con una media de 1,06 (ver Fig. 12, ANEXO – Indicador Biológico Infauna III: Gráficos II). Las diferencias registradas en este estadístico no fueron significativas entre los tres grupos de estaciones ($H = 1,625$; $p = 0,444$).

La equitatividad de Pielou (J') presentó valores altos, superiores a 0,85, en todos los grupos de estaciones. La equitatividad máxima se registró en el grupo de estaciones con un contenido en materia orgánica superior al 4%, con una media de 0,94. En cambio, los valores mínimos se obtuvieron en las estaciones que presentaron un porcentaje de materia orgánica de 0-2%, con 0,87 (ver Fig. 13 ANEXO – Indicador Biológico Infauna III: Gráficos II). Las diferencias registradas en este estadístico no fueron significativas entre los tres grupos de estaciones diferenciadas por su contenido en materia orgánica (0-2%, 2-4% y > 4%) ($H = 1,098$; $p = 0,577$).

Del estudio inicial de la infauna se pueden extraer las siguientes conclusiones:

- 1) Ausencia de especies claramente dominantes sobre la estructura de la comunidad macrofaunal.
- 2) Las especies más abundantes, el tanaidáceo *Apseudes talpa* y el poliqueto *Streptosyllis bidentata*, son típicas de fondos arenosos y se encuentran en este tipo de biotopos a lo largo de todo el archipiélago canario. Este hecho indica la ausencia de especies bioindicadoras de crecimiento rápido que se encuentran en puntos que sufren alteraciones ambientales de tipo natural y/o antropogénico.
- 3) No se aprecian diferencias significativas en la estructura de la comunidad macrofaunal entre las islas (Gran Canaria, La Gomera, La Palma, Tenerife y Lanzarote).
- 4) No se observaron diferencias significativas entre los grupos de estaciones caracterizados por la fracción granulométrica dominante (Fangos, Arenas muy finas, Arenas finas, Arenas medias, Arenas gruesas y Arenas muy gruesas).

5) El contenido de materia orgánica tampoco fue un factor determinante en la estructura de la comunidad macrofaunal, no registrándose diferencias significativas entre las estaciones con diferente contenido de materia orgánica (0-2%, 2-4% y > 4%).

Método Ambi

La métrica empleada para la evaluación de la infauna ha sido el índice AMBI y la herramienta M-AMBI. Estas herramientas exploran la respuesta de las comunidades a los cambios naturales y humanos en la calidad del agua, integrando condiciones medioambientales a largo plazo. Canarias, al igual que otras regiones españolas del GIG NEA, acordó aplicar este índice con el objeto de comprobar si en un futuro podría ser una herramienta adecuada para el estudio de la infauna, dentro del ámbito de la DMA

A través del índice AMBI ha sido posible clasificar los organismos identificados en una serie de grupos ecológicos, cuyas características están directamente relacionadas con la acción antrópica. *A priori*, las zonas estudiadas pueden clasificarse en función del gradiente de polución, las características de los grupos de especies que viven en esos ambientes polucionados se reflejan en la siguiente tabla:

Tabla 4.2.20.: Clasificación de organismos por grupos ecológicos

GRUPO	DESCRIPCIÓN
I	Especies muy sensibles al enriquecimiento orgánico y presentes en ambientes sin polución.
II	Especies indiferentes al enriquecimiento, siempre presentes en densidades bajas, sin variaciones significantes en el tiempo.
III	Especies tolerantes a un exceso de materia orgánica. Estas especies aparecen en condiciones normales, pero aumentan su población en condiciones de enriquecimiento orgánico del medio.
IV	Especies oportunistas de segundo orden.
IV	Especies oportunistas de primer orden.

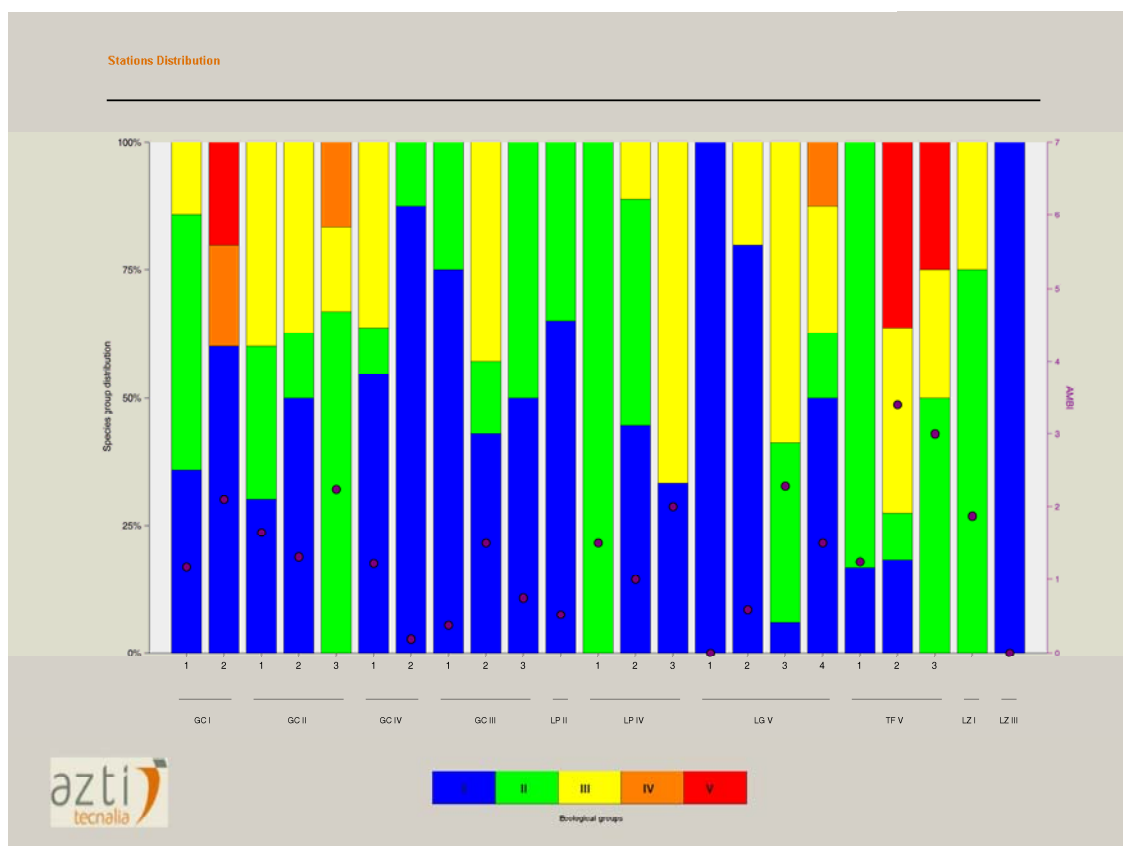
Siguiendo esta clasificación, las especies identificadas en este estudio pertenecen principalmente a los grupos I, II y III (ver Tabla 1 ANEXO – Indicador Biológico Infauna I: Listado de Especies Identificadas). La tabla siguiente refleja el % de especies en cada uno de los grupos ecológicos propuesto por AMBI.

Tabla 4.2.21. Porcentaje de especies en cada uno de los grupos ecológicos

	GCI	GCI I	GCI V	GCI III	LPI I	LPI V	LG V	TF V	LZI	LZI III
I (%)	42,1	29,2	68,4	53,8	65	27,8	36,4	14,3	0	100
II (%)	36,8	33,3	10,5	23,1	35	55,6	21,2	38,1	75	0
III (%)	10,5	33,3	21,1	23,1	0	16,7	39,4	23,8	25	0
IV (%)	5,3	4,2	0	0	0	0	3	0	0	0
V (%)	5,3	0	0	0	0	0	0	23,8	0	0

El siguiente histograma representa la distribución de las especies en cada una de las estaciones muestreadas.

Figura 4.2.2.: Histograma de distribución de especies



El cálculo del índice AMBI proporciona la siguiente información sobre las masas de agua.

Tabla 4.2.22.: Resultados obtenidos de la aplicación del índice AMBI.

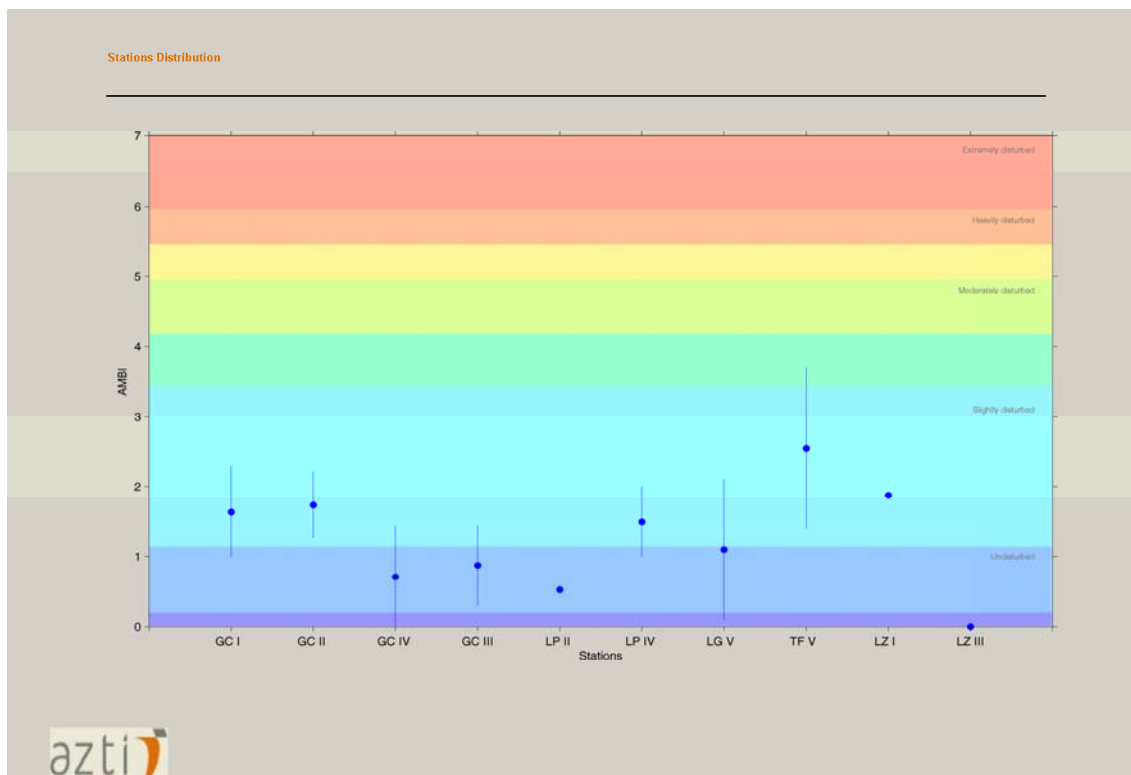
Tipología	I(%)	II(%)	III(%)	IV(%)	V(%)	Mean AMBI	Perturbación
GCI	42,1	36,8	10,5	5,3	5,3	1,639	Ligeramente perturbado
GCII	29,2	33,3	33,3	4,2	0	1,738	Ligeramente perturbado
GCIV	68,4	10,5	21,1	0	0	0,707	Sin perturbar
GCIII	53,8	23,1	23,1	0	0	0,875	Sin perturbar
LPII	65	35	0	0	0	0,525	Sin perturbar
LPIV	27,8	55,6	16,7	0	0	1,5	Ligeramente perturbado
LGV	36,4	21,2	39,4	3	0	1,099	Sin perturbar
TFV	14,3	38,1	23,8	0	23,8	2,553	Ligeramente perturbado
LZI	0	75	25	0	0	1,875	Ligeramente perturbado
LZIII	100	0	0	0	0	0	Sin perturbar

En la tabla 4.2.23 puede observarse que la clasificación de AMBI mantiene un paralelismo con los límites de la clasificación del estado ecológico.

Tabla 4.2.23.: Correspondencia de la clasificación de AMBI con los límites de clase

Grado de perturbación	Estado
Sin polución	Muy Buena
Polución ligera	Buena
Polución media	Moderada
Polución elevada	Deficiente
Polución extrema	Mala

Figura 4.2.3. Representación gráfica del índice AMBI



En el anexo IV se encuentran representados los histogramas en función de la tipología de la masa de agua, así como la representación del índice.

4.3. Indicadores Hidromorfológicos

4.3.1. Introducción

La DMA nombra en el apartado 1.3 del Anexo II, la necesidad de definir las condiciones hidromorfológicas de la masa de agua según los indicadores especificados en el punto 1.1 del anexo V de la propia directiva. Por tanto, para definir las condiciones de referencia hidromorfológicas en Canarias, se han tomado como indicadores los usados para determinar los ecotipos de las masas de aguas costeras de Canarias. Es decir, los del sistema B del punto 1.2.4 del Anexo V. Estos indicadores son: Salinidad, Mareas, Profundidad, Velocidad de la corriente, exposición al oleaje, condiciones de mezcla, tiempo de residencia, composición de sustrato y área de intermareal.

Cabe destacar que al igual que pasa con los indicadores físico-químicos generales y los contaminantes específicos, la directiva concede "prioridad" a los indicadores biológicos para valorar la calidad del agua sobre los hidromorfológicos. Pero aún así estos últimos tienen mucha importancia sobre los ecosistemas. Pues una variación

en uno de los indicadores como puede ser la exposición al oleaje, puede hacer variar el ecosistema de una zona.

No se han realizado reuniones de intercalibración para unificar criterios a la hora de definir las condiciones hidromorfológicas. Este proceso deberá comenzar en breve.

Para este tipo de indicadores no se realizó ninguna campaña de muestreo. De todas maneras, se puede acceder a través de Internet y consultar la red de boyas de puertos del estado para determinar corrientes, oleajes y mareas. Aunque no existen boyas en todas las masas de agua, se puede considerar válidos los resultados obtenidos de manera general para todas las masas de agua, pues los datos obtenidos de esas boyas, se utilizan en obras marítimas. También se suministra información de oleaje en la página web del Instituto Nacional de Meteorología.

4.3.2. Generalidades

Las aguas costeras canarias son de tipo oceánico, como ya se ha hecho referencia anteriormente en otros apartados. Al ser islas oceánicas, las aguas costeras presentan muy poca plataforma continental, ya que a escasos cientos de metros se la línea de costa puede haber profundidades superiores a los 50 metros. Por tanto, en Canarias se definieron masas de aguas someras y profundas. Además, esto implica que las zonas intermareales presentan una extensión muy pequeña en comparación con toda la superficie de la masa de agua.

La corriente general que afecta a las masas de aguas costeras de Canarias es la llamada *Corriente de Canarias*, que siempre va hacia el S-SW[#]. Esta corriente de agua fría, forma parte de las diferentes corrientes que forman el giro subtropical de Atlántico Norte. Las velocidades de la *Corriente de Canarias* presentan una media de 25 cm/s, aunque en los canales interinsulares puede llegar a 60 cm/s.

Por otro lado, teniendo en cuenta las condiciones meteorológicas de Canarias, los vientos reinantes son del NE (vientos alisios), que implica que el oleaje reinante procede generalmente de esa dirección. Efectivamente, las zonas Norte y Este de todas las islas Canarias suelen estar expuestas al oleaje la mayor parte del año, mientras que las zonas Sur y Oeste, se encuentran a sotavento y por tanto protegidas del viento y del oleaje reinante. En cambio, los vientos dominantes suelen ser del SW al NW, que vienen acompañados de las borrascas procedentes del Océano Atlántico.

[#] Nota: La dirección del viento siempre se nombra desde donde viene, las corrientes marinas hacia donde va)

Las mareas en Canarias son semidiurnas (dos pleamares y dos bajamares) con periodo de unas doce horas cada marea. Así mismo, los rangos de marea oscilan entre 1 y 3 metros, coincidiendo con las mareas equinocciales.

Las aguas costeras presentan procesos de mezcla debido a los vientos y al oleaje. Se suele dar una termoclina estacional en los meses de junio julio en las aguas superficiales entre los 50 y 120 metros de profundidad. Esto hace que exista una capa de mezcla. Esta capa de mezcla aumenta en profundidad en invierno y primavera.

El sustrato en las zonas costeras de Canarias es en diferentes zonas duro y en otros blando. Es decir, en una misma masa de agua nos encontramos los dos tipos de sustrato, ya que su extensión es muy pequeña en comparación con la superficie de la masa de agua.

5. CONDICIONES DE REFERENCIA Y ESTABLECIMIENTO DE LÍMITES ENTRE CLASES DE CALIDAD

5.1. Introducción

Tras la definición de los tipos de masas de agua, el siguiente paso según las directrices de la DMA es el establecimiento de las condiciones de referencia para cada una de las tipologías definidas.

Las condiciones de referencia podrían ser definidas como los valores que alcanzarían los parámetros de calidad para una situación de nula o muy pequeña modificación por presiones antropogénicas.

Según la DMA es necesaria la determinación tanto de las condiciones hidromorfológicas y fisicoquímicas, como de las condiciones de referencia biológicas específicas de cada tipo de masa de agua, siendo estas últimas elementos claves para la determinación del estado ecológico de la masa de agua.

LA DMA define como buen estado químico de las aguas superficiales el estado químico necesario para cumplir los objetivos medioambientales, es decir, el estado químico alcanzado por una masa de agua superficial en la que las concentraciones de contaminantes no superan las normas de calidad medioambiental establecidas en el anexo IX y con arreglo al apartado 7 del artículo 16, así como en virtud de otras normas que fijen normas de calidad ambiental a nivel comunitario. De esta forma los umbrales que delimitan el buen estado químico están por lo general detallados en la legislación vigente.

Sin embargo, para el estado ecológico, aún siendo considerado en la DMA como un factor clave en la definición del estado del sistema y de ahí la importancia que da esta Directiva a los elementos biológicos, como integradores de toda la calidad del sistema, no existen referencias legales como en el caso anterior.

En base a lo expuesto anteriormente este estudio tiene por objeto establecer las condiciones de referencia, tarea que se ha desarrollado en base a las directrices marcadas por la Directiva, en la que se plantean cuatro métodos para establecer las condiciones de referencia de las aguas costeras:

1. Estudio de una zona sin alteración o con una alteración mínima
2. Utilización de datos históricos
3. Empleo de modelos
4. Juicio de expertos.

Las condiciones de referencias que se obtengan para cada una de las tipologías definidas permitirán establecer los índices de calidad ecológica (EQR), es decir, la relación entre los valores de referencia y los valores de los parámetros biológicos observados en una masa de agua determinada permitirá definir el estado ecológico de dicha masa, tal y como especifica el apartado 1.4.1. del Anexo V de la DMA:

“Con objeto de lograr la comparabilidad de los sistemas citados, los resultados de los sistemas aplicados por cada Estado miembro se expresarán como índices de calidad a efectos de clasificación del estado ecológico. Estos índices representarán la relación entre los valores de los parámetros biológicos observados en una masa determinada de aguas superficiales y los valores correspondientes a dichos parámetros en las condiciones de referencia aplicables a la masa. El índice se expresará como un valor numérico variable entre 0 y 1, donde un estado ecológico muy bueno estará representado por valores cercanos a 1 y un estado malo, por valores cercanos a 0”.

El cálculo de los índices de calidad se obtendrá a través de la siguiente expresión:

$$EQR = \frac{\text{Parámetros biológicos observados}}{\text{Parámetros biológicos de referencia}}$$

Desviación	Estado	
1		Alta
		Buena
		Moderad
		Pobre
0		Mala

Al aplicar el procedimiento a las masas de agua costeras muy modificadas, las referencias al muy buen estado ecológico se interpretan como referencias al potencial ecológico máximo. Se ha propuesto para Canarias seguir la metodología descrita en el programa ROM de Puertos del Estado. Esto se debe a que en el Archipiélago Canario, este tipo de masas de agua se corresponden en su totalidad con las zonas I de los puertos de Arrecife (Isla de Lanzarote), Las Palmas (Isla de Gran Canaria) y Santa Cruz de Tenerife (Isla de Tenerife).

Asimismo, hay que destacar que en un futuro muy próximo, cada isla del Archipiélago Canario será en si misma una Demarcación Hidrográfica propia, gestionando conjuntamente las aguas subterráneas como las superficiales (que en este caso son todas costeras). A pesar de ello, para este trabajo las condiciones de referencia se han fijado a nivel autonómico, es decir son iguales para cada isla del archipiélago. Esto es debido a que los diferentes ecotipos de masas de agua definidas, son iguales para cada isla.

5.2. Metodología

La metodología empleada para fijar las condiciones de referencia para el Archipiélago Canario se basó en tres de las cuatro propuestas citadas en el punto 4.5 de la *Guía nº 5 de la Estrategia para la implementación común de la Directiva Marco del Agua* en el punto 4.5:

- ❖ Consideración de masas de aguas no alteradas antropogénicamente, o con alteraciones mínimas.
- ❖ Recopilación de datos históricos procedentes de diferentes proyectos.
- ❖ Uso de juicio de expertos.

Esta metodología se basa en el punto 1.3 del Anexo II de la DMA. Asimismo, como se comentó en el apartado 3.1.1 de este informe, se seleccionó en cada ecotipo de masas de agua que se encontraran alteradas antropogénicamente.

Por otro lado, para las masas de agua modificadas, las condiciones de referencia se fijarán usando la metodología de la ROM 5.1-05: *Calidad de las aguas litorales en las aguas portuarias*.

Selección de masas alteradas y no alteradas antropogénicamente.

Uno de los métodos para fijar las condiciones de referencia es considerar qué masas de aguas pueden estar sufriendo alteraciones de sus condiciones biológicas, físico-químicas, químicas e hidromorfológicas, debido a causas antropogénicas, y

cuales no. Se ha seleccionado para cada tipo de masa de agua, una que se encuentre alterada y una no alterada, en función de las presiones existentes en la costa. Es decir, se ha tratado de fijar las condiciones de referencia de muy malo y muy bueno, a partir de los datos obtenidos en esas masas de agua.

Recopilación de datos históricos

Se ha realizado una intensa recopilación de los mismos, para ello se han consultado varios de los trabajos realizados por distintos organismos (tanto estatales como autonómicos), en las masas de aguas superficiales definidas bajo la DMA para la Comunidad Autónoma de Canarias.

La información sobre la calidad de las aguas costeras de las Islas Canarias es escasa y muy dispersa entre las diferentes administraciones públicas. Asimismo los registros históricos son muy cortos en el tiempo. Los datos que se han obtenidos pertenecen todos al siglo XXI, no existiendo datos disponibles de la última década, del siglo XX.

Además se ha intentado conseguir datos de otros organismos públicos, pero ha sido imposible acceder fácilmente a ellos, debido a la complejidad burocrática para conseguir la información en un espacio corto de tiempo.

A pesar de los problemas expuestos anteriormente, se realizó una consulta de los siguientes trabajos sobre masas de agua costeras de Canarias:

- ❖ Ministerio de Medio Ambiente (Dirección General de Costas): se han consultado las siguientes ecocartografías litorales:
 - Ecocartografía de la isla de La Palma
 - Ecocartografía del Arco Sur de la isla de Gran Canaria
 - Ecocartografía de la isla de Lanzarote y Archipiélago Chinijo
- ❖ Instituto Canario de Ciencias Marinas: se han consultado diversos proyectos, realizados hasta la fecha:
 - Proyecto JACUMAR (diferentes zonas del Archipiélago Canario).
 - Proyecto Interreg MARMAC (isla de La Palma y Fuerteventura).
 - Proyecto Interreg PARQMAR(Sur de la isla de Gran Canaria).
 - Distintos Estudios de Impacto Ambiental.
- ❖ Universidad de Las Palmas de Gran Canaria:

- Canarias por una Costa Viva (diferentes zonas costeras y puertos de Canarias).
- Proyecto CALPORT (Puerto de Las Palmas).

5.3. Indicadores biológicos

5.3.1. Fitoplancton

Para establecer las condiciones de referencia de las aguas superficiales de Canarias respecto al elemento biológico fitoplancton se ha aplicado la métrica de análisis acordada por el NEA GIG en Asturias, España (15-16 de febrero de 2007).

La metodología básica usada en el ejercicio de intercalibración para el análisis de datos de fitoplancton se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 5.1. Métrica para la evaluación del fitoplancton

Métrica	Biomasa	Abundancia
	Clorofila "a" ($\mu\text{g L}^{-1}$) P-90	¹ Frecuencia de blooms (%)
Frecuencia de muestreo*	Mensual	Mensual
Época de muestreo*	Febrero a octubre	Anual
Periodo*	6 años	6 años

Consideraciones

*Condiciones óptimas de análisis

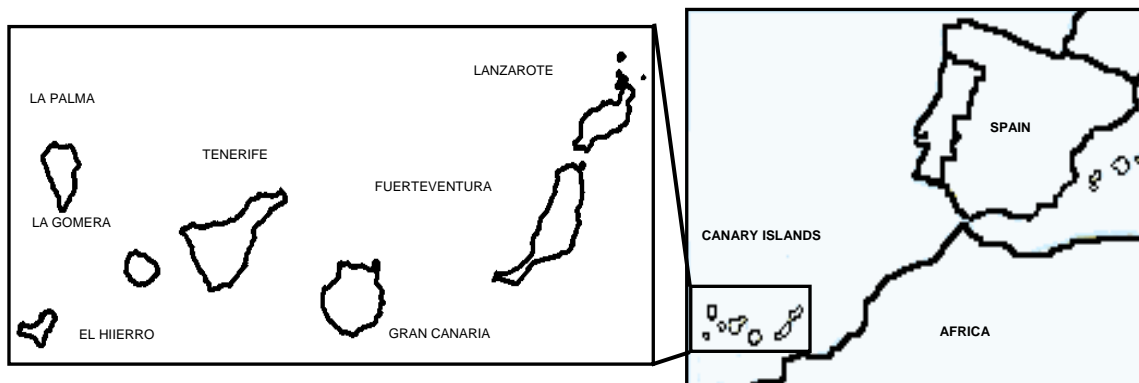
¹ Los taxones incluidos en el análisis son especies que se controlan normalmente en aguas costeras. Sin embargo se pueden seguir tres estrategias diferentes dependiendo de la especialización en la identificación taxonómica y en el recuento de células, según esto se puede realizar el análisis considerando:

1. Diatomeas, dinoflagelados y euglenofitas, no incluyendo en el análisis pequeños flagelados y cocolitofóridos.
2. Pequeños flagelados y cocolitofóridos clasificados en base a dos categorías de tamaño; fitoplancton menor de 20 μm (nanoplancton) y mayor de 20 μm (microplancton)
3. Pequeños flagelados y cocolitofóridos pero sin establecer categorías por tamaños.

Biomasa fitoplantónica: Clorofila-a

Las Islas Canarias se encuentran localizadas en una zona de transición entre las aguas oligotróficas del océano y el sistema de upwelling del NW de África (Barton et al. 1988). Aunque existe un ligero incremento del gradiente de clorofila-a hacia el este de las islas, los valores medios, alrededor del archipiélago, son bajos durante la mayoría del año y los niveles máximos son generalmente inferiores a 1 $\mu\text{g L}^{-1}$.

Figura 5.1. Mapa de localización de las Islas Canarias



En las Islas no existen series temporales en aguas costeras con registros de al menos 6 años, tal y como establece la DMA y el Grupo de Intercalibración Geográfica del NorEste Atlántico. Debido a esta falta de información se ha recurrido a datos históricos de aguas oceánicas y costeras procedentes de muy diversas fuentes, para poder justificar el carácter oligotrófico de las aguas de Canarias y poder así modificar los niveles de clorofila-a para establecer los umbrales entre Muy Bueno (High)/Bueno (Good) y Bueno (Good)/Moderado (Moderate) respecto a los valores establecidos en otras regiones de España.

La estación europea oceánica de series temporales de las Islas Canarias esta localizada a 100 Km al norte de las islas de Gran Canaria y Tenerife a una profundidad de 3600 metros. Los datos procedentes de esta estación oceánica muestran que los niveles de clorofila-a registrados nunca alcanzan los niveles que se registran en otras regiones del atlántico Español, es decir no superan $1\mu\text{g L}^{-1}$.

A continuación se muestran perfiles de clorofila obtenidos en la estación europea oceánica de las Islas Canarias y concentraciones de clorofila-a en áreas costeras procedentes de muy diversas publicaciones.

Los gráficos que se muestran a continuación corresponden a perfiles verticales de los años 1994, 1995 y 1996 tomados en dicha estación oceánica.

Figura 5.2: Variación de clorofila-a con la profundidad en las aguas Canarias.

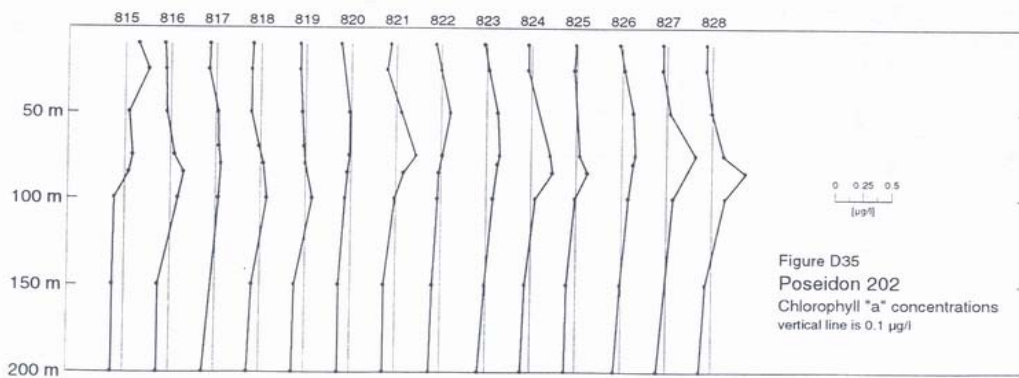
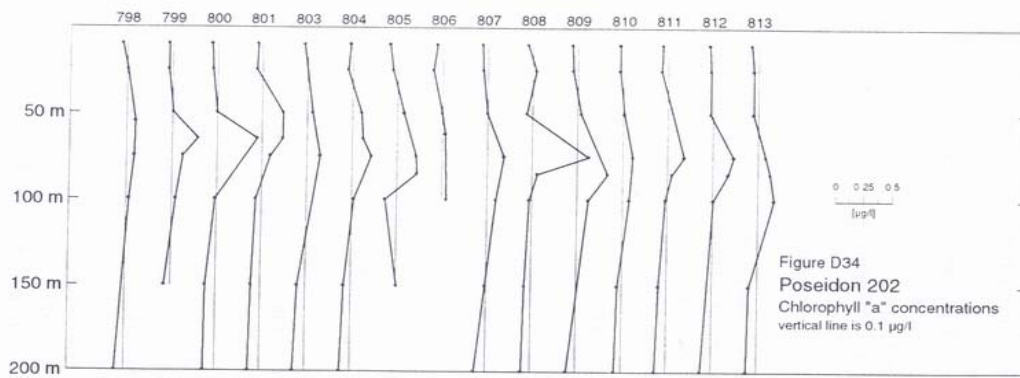
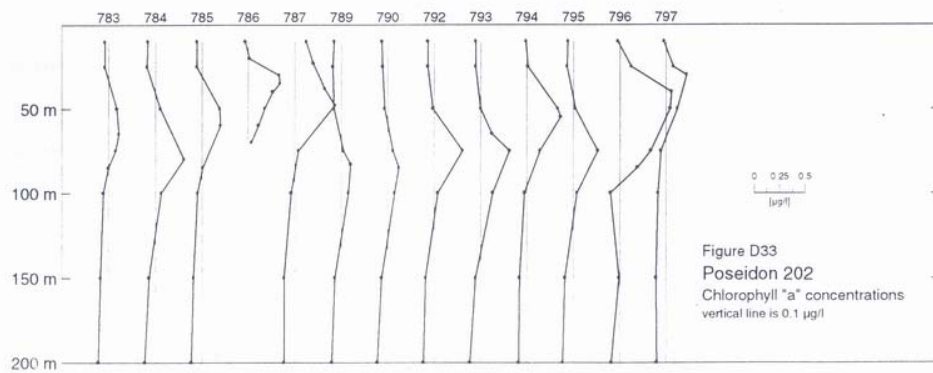
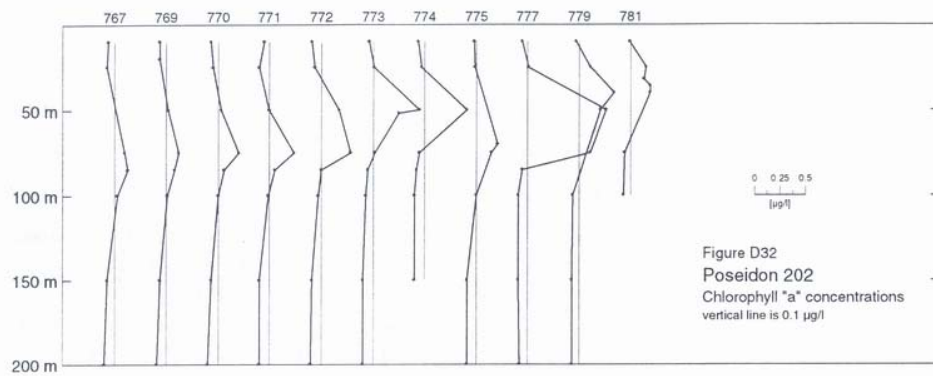


Figura 5.3: Variación de clorofila-a con la profundidad en las aguas Canarias.

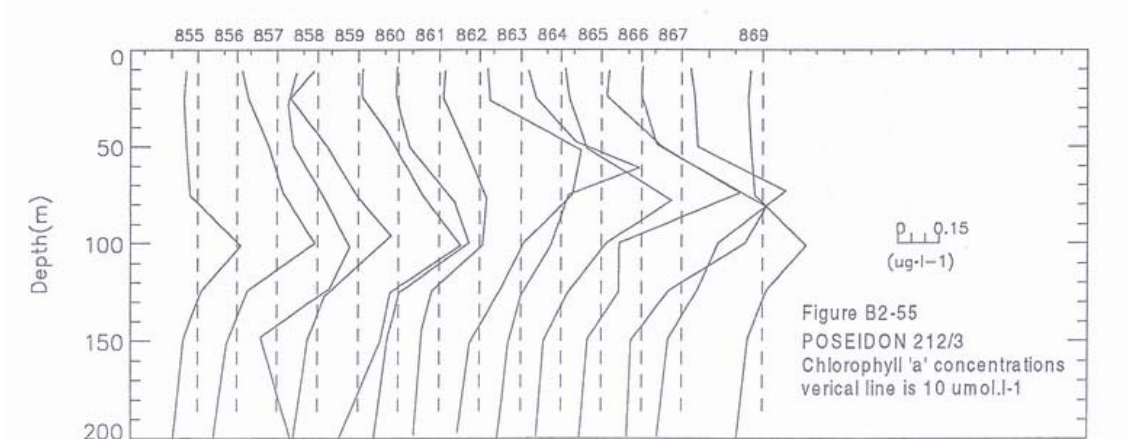
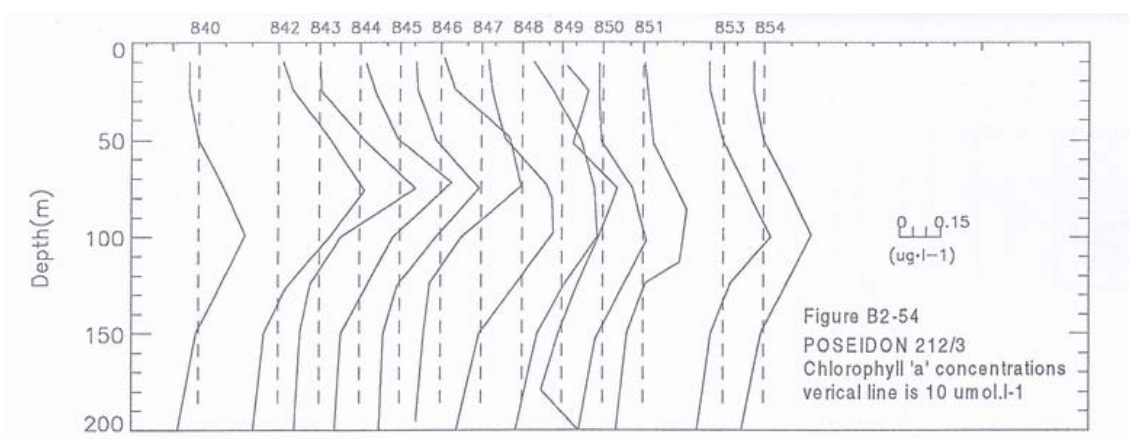


Figura 5.4.: Variación de clorofila-a con la profundidad en las aguas Canarias.

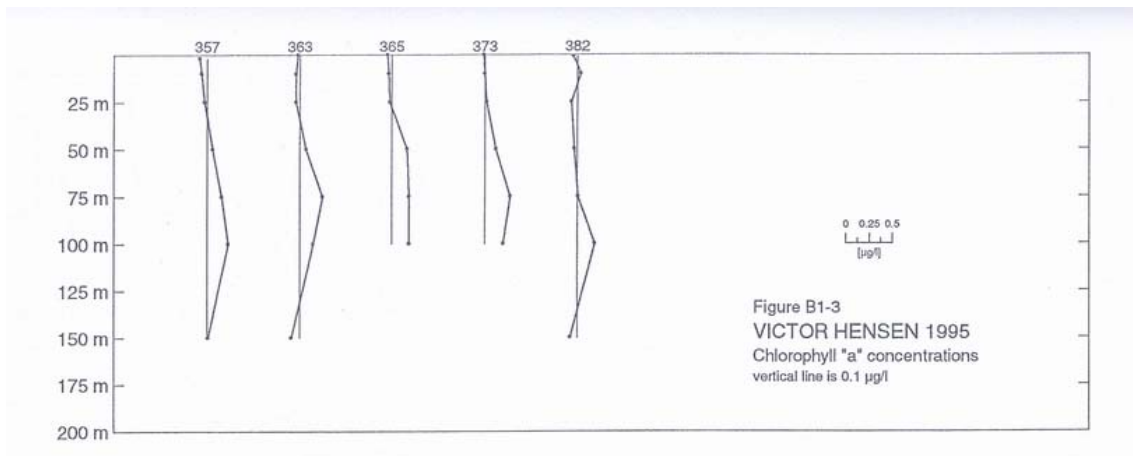
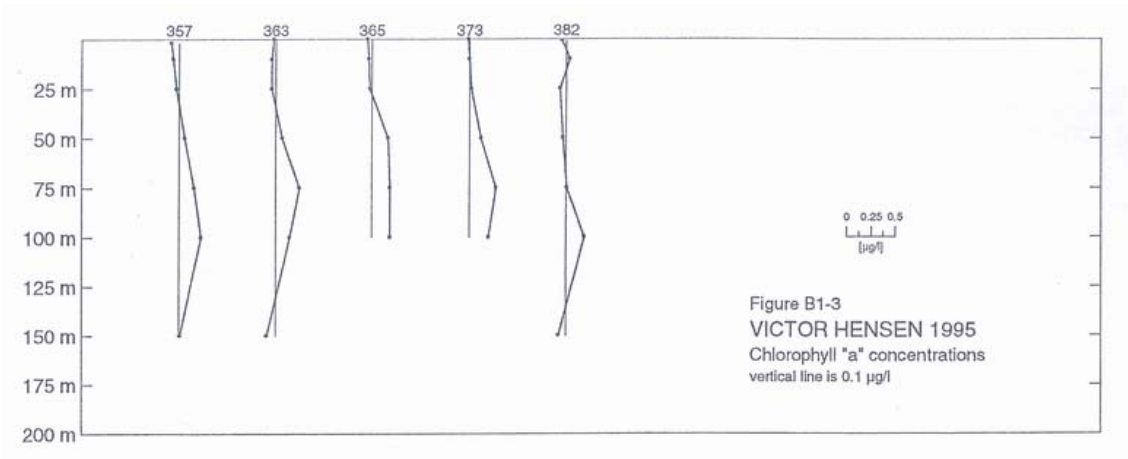


Figura 5.5.: Variación de clorofila-a con la profundidad en las aguas Canarias.

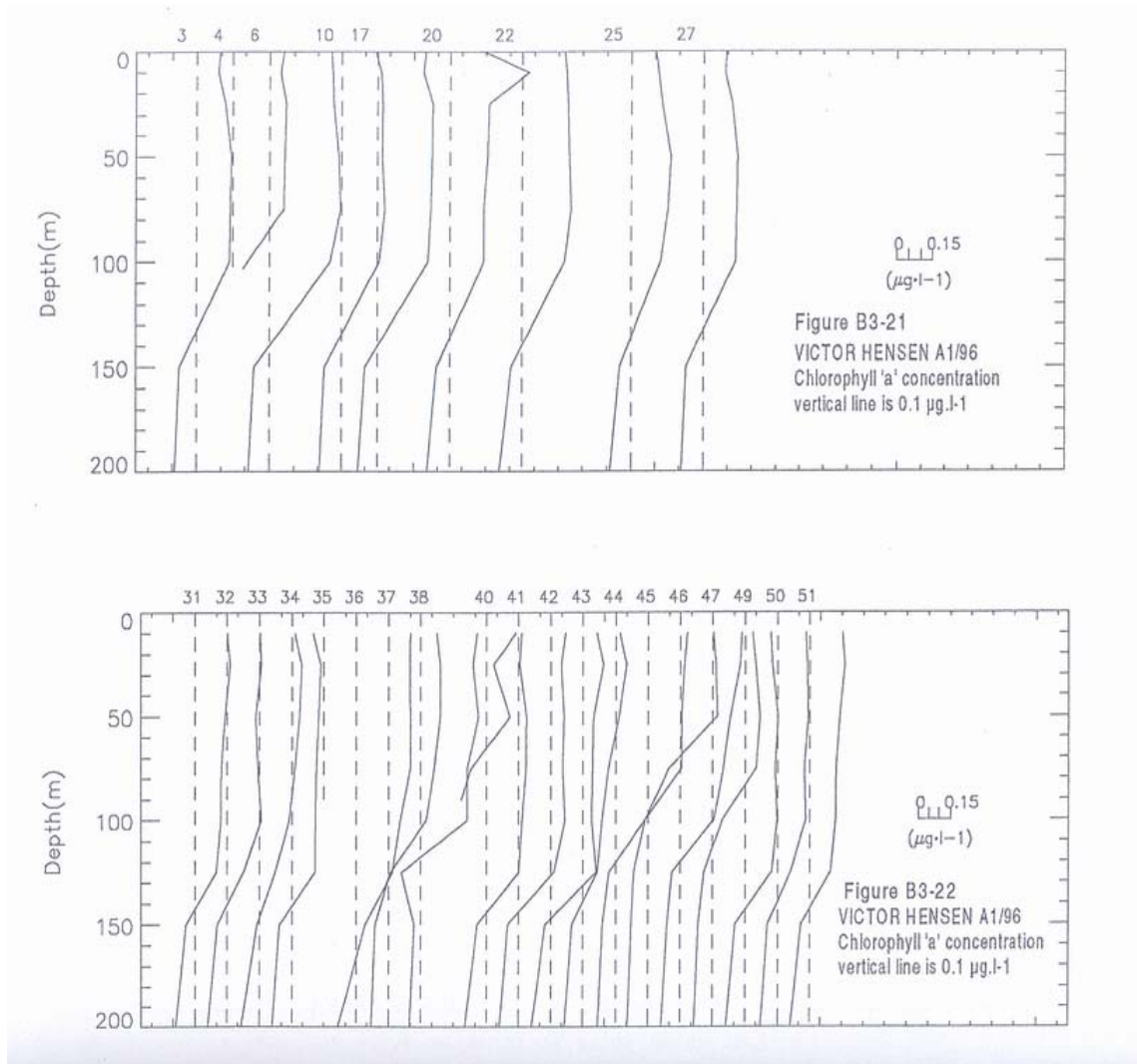
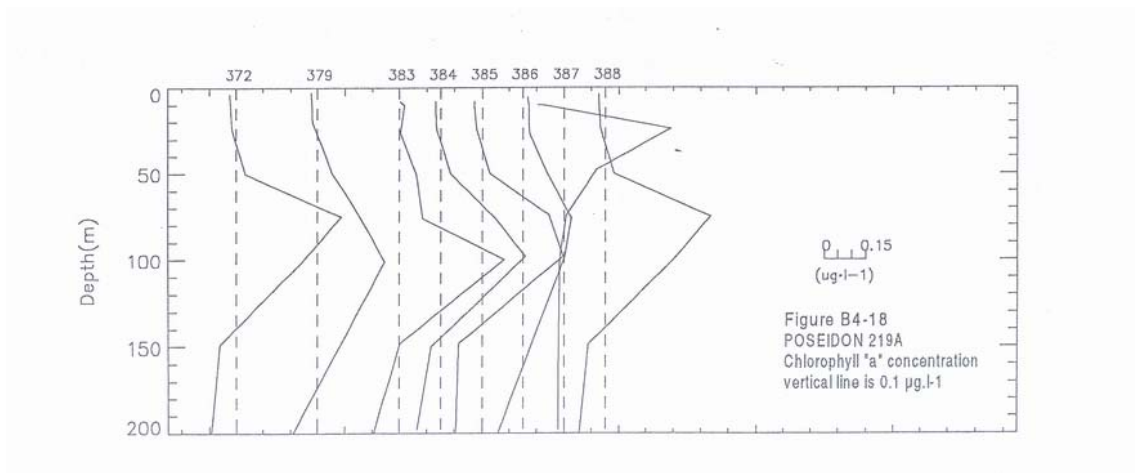
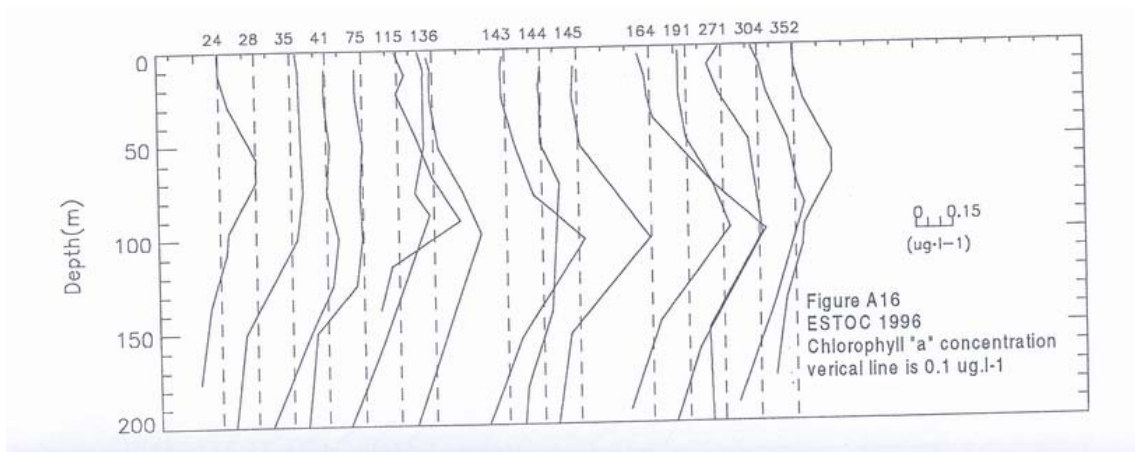


Figura 5.6.: Variación de clorofila-a con la profundidad en las aguas Canarias.



La bibliografía consultada sobre niveles de clorofila-a en áreas próximas a costa pone de manifiesto que dicha concentración, a pesar de seguir siendo típica de aguas oligotróficas, es por lo general superior a los niveles registrados en aguas oceánicas. En la siguiente tabla se muestran diversos datos y publicaciones registrados en aguas costeras del archipiélago canario.

Tabla 5.2.: Datos históricos de niveles de clorofila-a en aguas costeras procedentes de diversas fuentes.

Autor	Año	Período de muestreo	Localidad	Valor ($\mu\text{g l}^{-1}$)
¹ Ojeda, A.	1986	Mayo-Junio 1986	Tenerife (N and S)	0.09-0.25
			La Palma (N and S)	
			La Gomera (S)	
			El Hierro (S)	
² Real et al	1981	Julio 1976	El Hierro	0.02
			La Palma	0.01
			La Gomera	0.01
			Tenerife	0.02
			Gran Canaria	0.07
			Fuerteventura	0.09
			Lanzarote	0.05
³ Hernández y Miranda	1987	Junio 1985	El Hierro	0.15
			La Palma	0.22
			La Gomera	0.21
			Tenerife	0.24
			Gran Canaria	0.23
			Fuerteventura	0.26
¹ Arístegui, J.	1986	Mayo 1986	Lanzarote	0.23
			El Hierro	0.16

Para el establecimiento de las condiciones de referencia de las aguas superficiales de canarias respecto al indicador biológico fitoplancton, además de recurrir a datos históricos se han realizado, como se ha mencionado con anterioridad, dos campañas en aguas del Archipiélago canario. Los datos de clorofila-a de ambos muestreos han sido analizados conjuntamente con otros registros de clorofila-a, pertenecientes al departamento de Medio Litoral del ICCM, los cuales han sido clasificados en cada una de las tipologías correspondientes.

Siguiendo las directrices establecidas en España por el grupo de intercalibración y con el propósito de establecer los niveles de referencia de clorofila-a y los límites entre las clases Muy Bueno (High), Bueno (Good) y Moderado (Moderate) se cálculo, a partir de los datos mencionados anteriormente, el percentil 90.

La concentración de clorofila-a de todos los registros empleados para el cálculo del percentil 90 (Anexo Indicadores Biológicos. Indicador Fitoplancton-Anexo II.) ha sido obtenida mediante filtración de las muestras de agua a través de filtros Whatman GF/C, posterior extracción del pigmento con acetona y determinación por

fluorimetría según el método 445 de United Status Environmental Protection Agency (EPA).

El percentil 90 para la concentración de clorofila-a muestra valores muy similares entre las distintas tipologías, con valores que oscilan entre los 0.37 y los 0.54 $\mu\text{g L}^{-1}$.

Tabla 5.3.: Percentil 90 de Clorofila-a ($\mu\text{g L}^{-1}$)

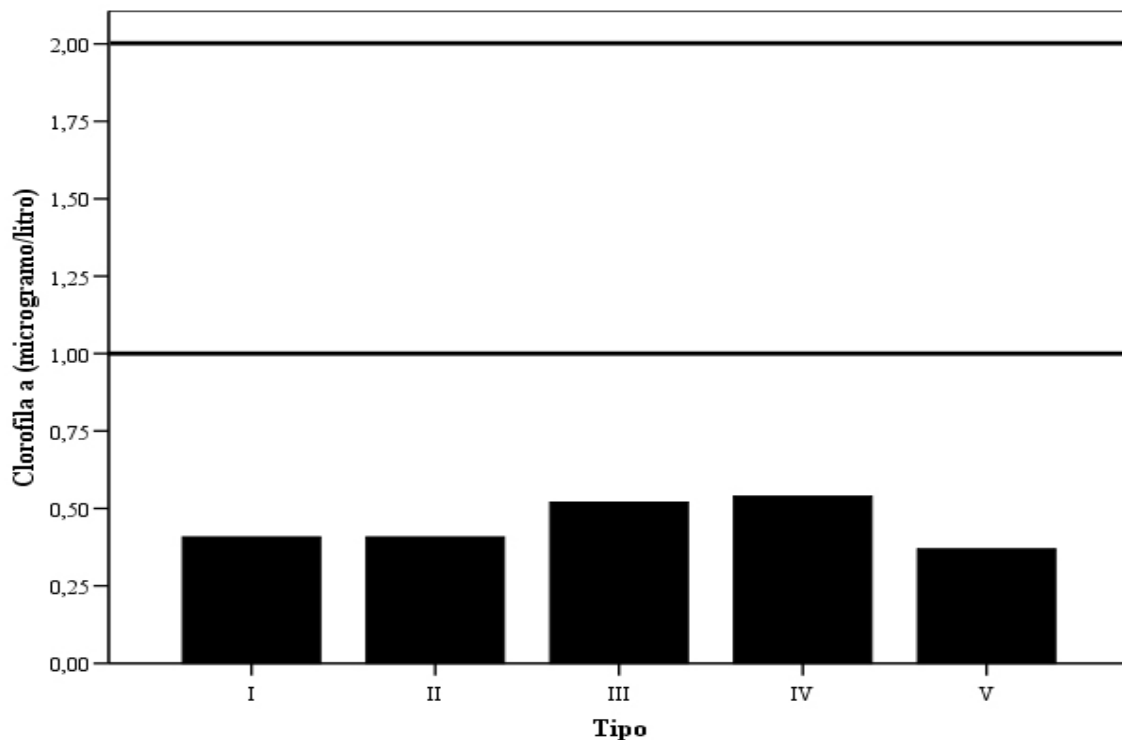
Tipología	Percentil 90 ($\mu\text{g L}^{-1}$)
I	0.41
II	0.41
III	0.52
IV	0.54
V	0.37

A partir del análisis estadístico de los datos para cada una de las tipologías definidas se ha considerado como umbral el percentil 90 para definir los límites entre clases sea de 1 $\mu\text{g L}^{-1}$. Este umbral es el que se ha establecido en la C.A. de Canarias a través del GIG-NEA de España en el documento *"Spain Member State Report for the phytoplankton Element: Coastal Waters NEA 1/26 type"*. Según lo expuesto anteriormente los umbrales para la métrica de la biomasa fitoplanctónica en las masas de agua superficiales de Canarias queda tal y como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 5.4.: Valor umbral para la clorofila-a ($\mu\text{g L}^{-1}$) y límites entre las clases MB/B y B/Mod

Área	Tipo	Muy Bueno/Bueno High/Good Umbral ($\mu\text{g L}^{-1}$)	Bueno/Moderado Good/Moderate Umbral ($\mu\text{g L}^{-1}$)
Islas Canarias	I	1	2
	II		
	III		
	IV		
	V		

Figura 5.6: Percentil 90 de la concentración de clorofila-a de las 5 tipologías definidas para las Islas Canarias. La línea representa los límites entre Muy Bueno/Bueno y Bueno/Moderado



Abundancia fitoplanctónica

El umbral que se ha establecido para la abundancia fitoplanctónica (blooms) en la C.A. de Canarias a través del GIG-NEA de España en el documento *"Spain Member State Report for the phytoplankton Element: Coastal Waters NEA 1/26 type"*, ha sido de 500.000 células L⁻¹.

Dicho umbral corresponde al nº de células totales y ha sido establecido siguiendo una de las estrategias mencionadas en el apartado 5.3.1. *Fitoplancton*, contaje e identificación de células mediante las técnicas de Uthermöhl, sin tener en cuenta el tamaño celular y el grupo taxónomico, es decir se incluyen también en el análisis pequeños flagelados y cocolitofóridos.

A partir de este umbral los límites entre las clases se establecen en porcentajes a partir de la frecuencia de blooms, de forma que una frecuencia de blooms, en las muestras analizadas, de un 20% marca el límite entre el estado Muy Bueno/High y Bueno/Good y un 40% el límite entre Bueno/Good y Moderado/Moderate Según lo expuesto anteriormente los límites entre clases para la abundancia fitoplanctónica

en las masas de agua superficiales de Canarias quedan tal y como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 5.5: Valor umbral para la abundancia de fitoplancton y límites entre las clases MB/B y B/Mod

Área	Tipo	Umbral (nº céls.L ⁻¹)	M. Bueno/Bueno High/Good Límite (%)	Bueno/Moderado Good/Moderate Límite (%)
Islas Canarias	I	500.000	20	40
	II			
	III			
	IV			
	V			

Las siguientes tablas muestran la abundancia de fitoplancton obtenida para cada una de las muestras analizadas en las masas de agua superficiales estudiadas. En todas las masas de agua la frecuencia de blooms ha sido inferior al 20%, por lo que la calidad obtenida para el parámetro abundancia de fitoplancton ha sido, para el conjunto de las tipologías del archipiélago canario, muy buena.

Tabla 5.6: Nº de células fitoplanctónicas totales por muestra analizada para cada una de las tipologías estudiadas (1^{er} muestreo).

Muestra	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
T1-Pto.1	8752	3738	8690	21763	2704	6880	6816	29990	9249	8554
T1-Pto.2	7624	4743	8530	10797	3090	7313	8770	31722	8915	9422
T2-Pto.1	3212	4530	8924	10925	13404	5795	18876	22332	4880	4537
T2-Pto.2	2472	2898	2998	11103	5502	4823	4532	35040	6424	5111

1= GC-TI; 2= LZ-TI, 3= GC-TII; 4= LP-TII; 5= GC-TIII; 6= LZ-TIII; 7= GC-TIV; 8= LP-TIV; 9= TF-TV; 10= LG-TV

Tabla 5.7: Nº de células fitoplanctónicas totales por muestra analizada para cada una de las tipologías estudiadas (2^o muestreo).

Muestra	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
T1-Pto.1	280558	27077	345286	8356	8666	31052	17346	7914	84860	13918
T1-Pto.2	349774	43131	234658	8186	12182	25804	26262	5217	81600	29264
T2-Pto.1	327128	15894	18996	8810	13214	40610	40968	3265	21246	15616
T2-Pto.2	214440	43797	19600	7707	13970	36788	45244	5090	20146	19410

1= GC-TI; 2= LZ-TI, 3= GC-TII; 4= LP-TII; 5= GC-TIII; 6= LZ-TIII; 7= GC-TIV; 8= LP-TIV; 9= TF-TV; 10= LG-TV

Límites entre clases de calidad ecológica

De acuerdo con los resultados obtenidos los límites entre clases de calidad ecológica, para el indicador biológico fitoplancton, propuestos para las aguas superficiales de Canarias se muestran en la tabla X.

Tabla 5.8: Límites entre clases de calidad ecológica para el indicador biológico fitoplancton

Parámetros	Calidad ecológica (Estado)				
	M. Bueno	Bueno	Moderado	Deficiente	Malo
Clorofila-a. Percentil 90	<1 µg L ⁻¹	1-2 µg L ⁻¹	2-3 µg L ⁻¹	3-4 µg L ⁻¹	> 4 µg L ⁻¹
Abundancia. Frec. Blooms (%)	< 20%	20-40%	40-60%	60-80%	> 80%

Cálculo del EQR

Para el cálculo del índice de calidad ecológica se deben seguir las indicaciones que muestran las siguientes tablas.

Tabla 5.9: Límites entre clases para la biomasa fitoplanctónica (clorofila-a)

Percentil 90 (X)	Clasificación	Puntuación
$X < 1^{\text{er}} \text{ umbral}$	High/Alto	1
$1^{\text{er}} \text{ umbral} \leq X < 2^{\text{o}} \text{ umbral}$	Good/Bueno	0.8
$X \geq 2^{\text{o}} \text{ umbral}$	Moderate/Moderado	0.6

Tabla 5.10: Límites entre clases para la frecuencia de blooms en aguas costeras NEA 1/26a

Frecuencia de muestras que exceden el umbral (X)	Clasificación	Puntuación
$X < 20\%$	High/Alto	1
$20\% \leq X < 40\%$	Good/Bueno	0.8
$X \geq 40\%$	Moderate/Moderado	0.6

La puntuación final para el fitoplancton se obtendrá a partir del valor medio resultante de las dos sub-métricas aplicadas, biomasa y abundancia fitoplanctónica.

Tabla 5.11: Puntuación final para el índice de calidad ecológica (EQR).

Puntuación promedio de las dos sub-métricas (X)	Clasificación
1	High
$0.8 \leq X < 1$	Good
$0.6 \leq X < 0.8$	Moderate

Según lo expuesto anteriormente los 5 ecotipos definidos para las aguas superficiales de Canarias obtendrían una clasificación de Muy Bueno/High (Tabla 5.12).

Tabla 5.12: Estado del indicador fitoplancton para los 5 Ecotipos de masas de aguas superficiales

Ecotipo	P 90	1 ^{er} umbral	Frecuencia de blooms (%)	Clasificación
I	0.41	< 1 µg L ⁻¹	< 20%	High/Alto
II	0.41			
III	0.52			
IV	0.54			
V	0.37			
Puntuación		1	1	

5.3.2. Macroalgas

Para establecer las condiciones de referencia de las aguas superficiales de Canarias respecto al elemento biológico macroalgas se ha aplicado la métrica de análisis desarrollada por la universidad de Cantabria y acordada por el NEA GIG de España.

La calidad ecológica para este indicador se obtendrá a partir del valor del índice de Calidad de Fondos Rocosos (CFR) mediante la suma de las puntuaciones obtenidas en cada uno de los cuatro bloques definidos, cobertura, riqueza, oportunistas y estado fisiológico y estará comprendido entre 0 (mala calidad) y 100 (muy buena calidad).

Cálculo del EQR

Las clases de calidad obtenidas a partir del índice empleado deben adaptarse a los a los rangos propuestos por el NEA GIG de España para la aplicación de la Directiva Marco del Agua (2000/60/CEE), para ello se ha establecido la siguiente escala de categorías.

Tabla 5.13: Escala de calidad ecológica establecida para el Índice CFR

CFR	Calidad
83-100	Muy Buena
62-82	Buena
41-61	Moderada
20-40	Deficiente
0-19	Mala

5.3.3. Infauna

Debido a la falta de datos que proporcionen límites específicos para Canarias, los valores límites para clasificar el estado ecológico (determinación del EQR) han sido los establecidos por AZTI para las aguas costeras. Estos valores se acordaron en el ejercicio de intercalibración (Borja et al., 2006) y vienen reflejados en la siguiente tabla:

Tabla 5.14: Escala de calidad ecológica para el Índice CFR

Calidad	Escala
Muy Buena / High	>0.77
Buena / Good	0.53-0.76
Moderada / Moderate	0.38-0.52
Deficiente / Poor	0.20-0.37
Mala / Bad	<0.20

Cálculo del EQR

El EQR, podemos calcularlo a partir del índice AMBI, de la diversidad y de la riqueza, los datos obtenidos para las estaciones estudiadas se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 5.15: Resultados de diversidad, riqueza, AMBI, EQR y estado de las masas de agua estudiadas

Tipología	Diversidad	Riqueza	AMBI	EQR	Estado
GCI	3,28	12,00	1,64	0,81	Good
GCI	3,65	15,00	1,74	0,90	High
GCI	2,69	8,00	0,71	0,72	Good
GCI	3,33	11,00	0,88	0,84	Good
LP II	2,32	8,00	0,53	0,70	Good
LPIV	3,53	13,00	1,50	0,86	High
LGV	2,20	13,00	1,10	0,85	High
TFV	3,29	12,00	2,55	0,76	Good
LZI	2,00	4,00	1,88	0,51	Moderate
LZIII	0,92	2,00	0,00	0,47	Moderate

En la siguiente gráfica se observa el análisis factorial de los principales componentes de la aplicación del análisis AMBI, en el marco de la DMA y la distancia que tiene cada estación del EQR "High" y "Bad."

Figura 5.6: Análisis factorial de los principales componentes del análisis AMBI

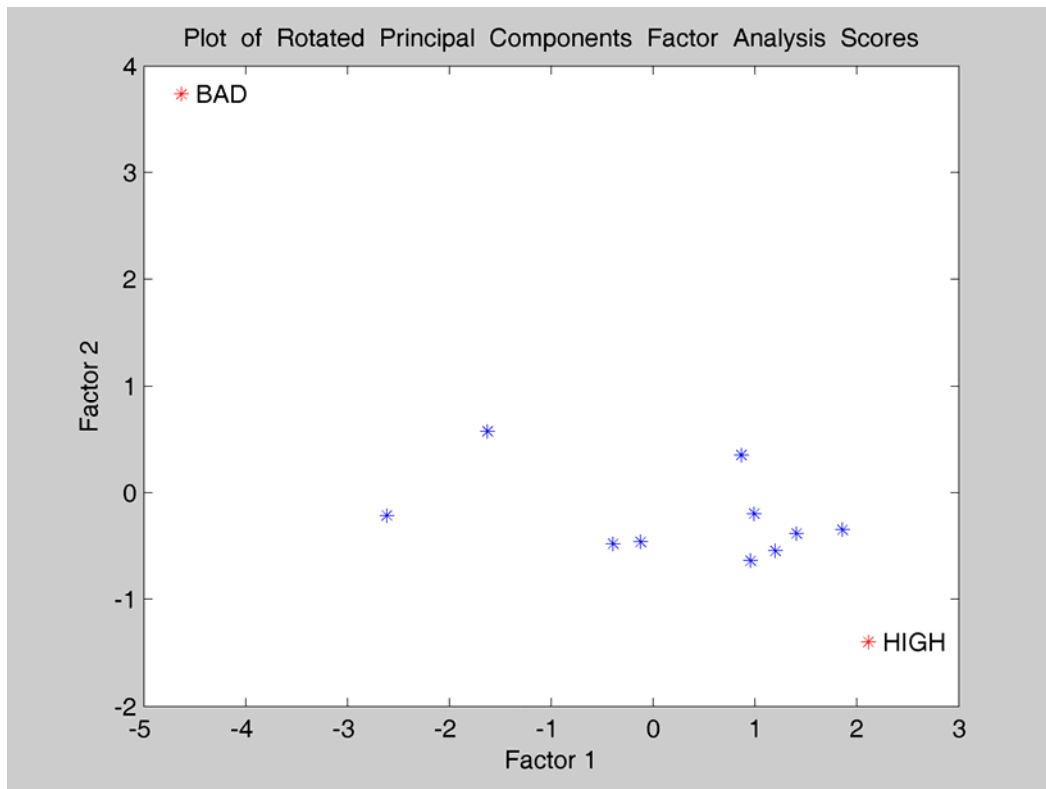
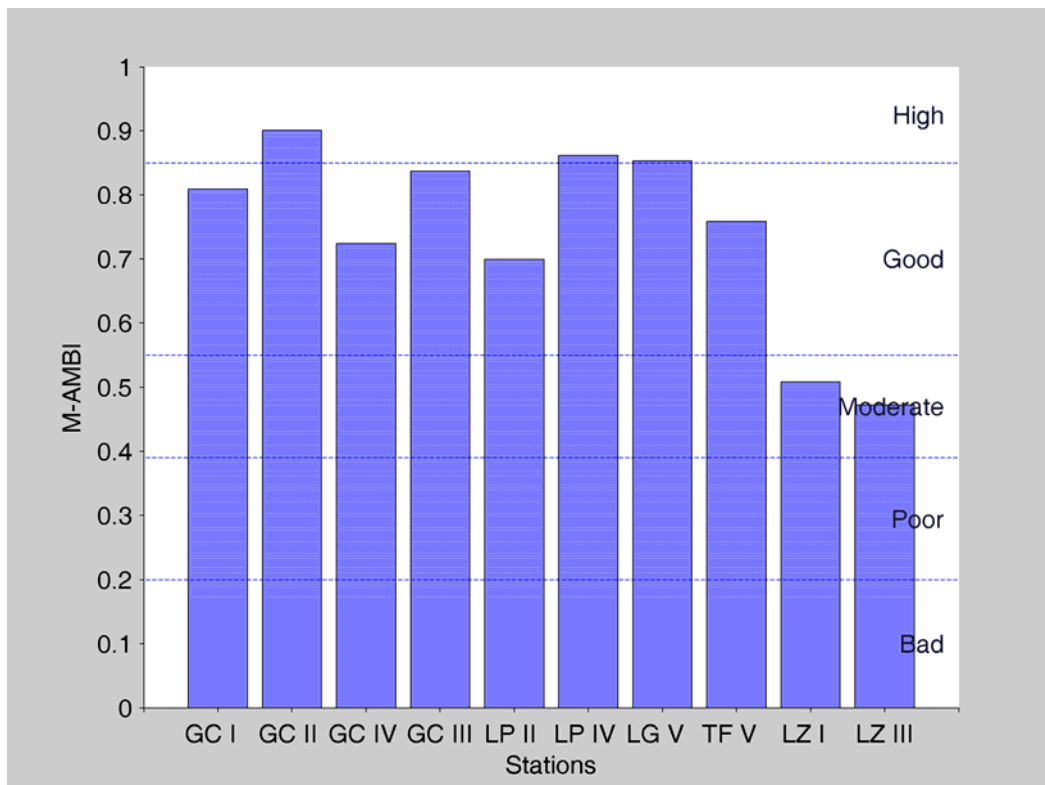


Figura 5.7: Valor de EQR para cada uno de los tipos de masa de agua de Canarias.



5.4. Indicadores físico- químicos y químicos

5.4.1. Indicadores físico-químicos generales

Como ya se ha citado anteriormente, la DMA hace más hincapié en los parámetros biológicos, pero tiene en cuenta los físico-químicos, pues éstos son importantes para valorar el estado en el que se encuentra el ecosistema.

Hasta la fecha, no existe un consenso entre las diferentes regiones que componen el grupo de intercalibración NEA GIG para los indicadores físico-químicos. Esto dificulta la tarea a la hora de fijar las condiciones de referencia. En la única reunión celebrada en julio de 2005, pocas Comunidades Autónomas dieron valores de referencias para los parámetros físico-químicos y los indicadores de Estado Químico. La Comunidad Autónoma del País Vasco, grupo puntero en la implantación de la DMA en España, propuso sus valores de referencia para muy buen estado y para muy mal estado. Además desarrollaron una metodología para fijar los límites entre clase.

En esa reunión Canarias no aportó datos sobre parámetros físico-químicos pues no tenía información al respecto, al igual que para los de estado químico. A partir de los muestreos realizados en las campañas y la recopilación de datos históricos muy dispersos se va a conseguir dar unas condiciones de referencia por masa de agua definida. Asimismo, se fijará los límites entre clases para cada parámetro.

Los indicadores elegidos para fijar las condiciones de referencia serán los siguientes: saturación de oxígeno %, turbidez (NTU), concentración de nitratos ($\mu\text{moles/l}$), concentración de amonio ($\mu\text{moles/l}$), concentración de fosfatos ($\mu\text{moles/l}$).

Para fijar las condiciones de referencia para cada indicador, se tendrá en cuenta si existe alguna legislación o recomendación de objetivos de calidad. Asimismo, se tomarán los mejores y peores valores históricos que se han registrado en dicha masa de agua, en caso de no encontrar una legislación al respecto. De esta forma, fijaremos las condiciones de referencia para el muy buen estado y el muy mal estado. Una vez fijado esos valores, se fijan los límites entre clases. Es decir, los límites entre muy bueno y bueno, entre bueno y moderado, entre moderado y malo y, entre malo y muy malo.

- Oxígeno

Para fijar las condiciones de referencia, se debe tener en cuenta las características oceanográficas de Canarias. Con respecto a este parámetro, las aguas canarias están sobresaturadas en oxígeno, lo cual es válido para fijar como condición de referencia de muy bueno. Por otro lado, para fijar el valor de muy malo, se puede recurrir a la directiva de aguas de baño 76/160/CEE. Esta directiva, en su anexo referente a los parámetros, propone como valores guía en la saturación de oxígeno el intervalo 120-80 %. Teniendo en cuenta las siguientes premisas:

1. Los sensores de oxígeno el valor de 120% sería en el aire,
2. El valor 80% sería el mínimo exigible para una calidad apta para el baño.
3. Las aguas Canarias son sobresaturadas en oxígeno.

Se puede definir como **referencia muy malo** valores por debajo del 80% en saturación de oxígeno.

Para definir las condiciones de **referencia muy bueno** se toma el mejor valor histórico observado en la masa de agua.

Tabla 5.4.1.a Condiciones de referencia para el muy buen estado y muy mal estado para el parámetro Saturación de Oxígeno (%) en cada masa de agua.

MASA DE AGUA	MUY BUENO	MUY MALO
TI	117 %	80 %
TII	112 %	80 %
TIII	118 %	80 %
TIV	112 %	80 %
TV	112 %	80 %

- Turbidez

Para fijar la turbidez, hay que tener en cuenta que las aguas canarias son oligotróficas. Exceptuando los periodos de lluvias fuertes, desembocaduras de barrancos, zonas del litoral con acantilados de material sedimentario, zonas poco profundas con fondo blando e intenso oleaje, etc, los valores de turbidez, son extremadamente bajos. Por otro lado, el BOJA recomienda que los valores de turbidez máximos permitidos en vertidos sea 150 NTU.

Según las siguientes premisas:

1. El valor máximo permitido será 150 NTU, basándose en el BOJA.
2. Las aguas Canarias son oligotróficas.

Se tomará como **condición de referencia muy malo** el valor de 150 NTU.

La condición **condición de referencia muy bueno** será el mejor valor histórico observado en la masa de agua.

Tabla 5.4.1.b Condiciones de referencia para el muy buen estado y muy mal estado para el parámetro Turbidez (NTU) en cada masa de agua

MASA DE AGUA	MUY BUENO	MUY MALO
TI	0,7	150
TII	0,3	150
TIII	0,7	150
TIV	0,6	150
TV	0,5	150

- Amonio

Puesto que las aguas canarias son oligotróficas, esto también influirá en la concentración de nutrientes. Por lo general son bajas, pero puede darse algún aumento debido a fenómenos de afloramiento.

La Directiva de aguas de baño del año 1976 no fijaba valores guía para las concentraciones de nutrientes, pero citaba que no debía existir eutrofización.

En este caso, para todos los nutrientes se ha tomado el valor histórico registrado más bajo como **condición de referencia muy bueno** y el peor mayor valor histórico registrado como **condición de referencia muy malo**.

Tabla 5.4.1.c Condiciones de referencia para el muy buen estado y muy mal estado para el parámetro Concentración de Amonio ($\mu\text{moles/l}$) en cada masa de agua.

MASA DE AGUA	MUY BUENO	MUY MALO
TI	0,08	5,49
TII	0,68	10,06
TIII	0,02	4,12
TIV	0,3	2,5
TV	1,39	4,62

- Nitratos

Tabla 5.4.1.d Condiciones de referencia para el muy buen estado y muy mal estado para el parámetro Concentración de Nitratos ($\mu\text{moles/l}$) en cada masa de agua.

MASA DE AGUA	MUY BUENO	MUY MALO
TI	0,01	8,85
TII	0	12,71
TIII	0	7,61
TIV	0,2	15,17
TV	0,01	15,22

- Fosfatos

Tabla 5.4.1.e Condiciones de referencia para el muy buen estado y muy mal estado para el parámetro Concentración de Fosfatos ($\mu\text{moles/l}$) en cada masa de agua

MASA DE AGUA	MUY BUENO	MUY MALO
TI	0	0,29
TII	0,03	0,69
TIII	0,03	0,27
TIV	0,1	2,1
TV	0,14	0,83

Una vez fijado los valores de las condiciones de referencia, se fijará los límites entre clases para cada parámetro. La metodología a seguir sería la propuesta para el EQR en los parámetros biológicos.

$$\text{EQR (FQ)} = \frac{\text{Parámetros fisicoquímicos observados}}{\text{Parámetros fisicoquímicos de referencia}}$$

Los límites entre clases para los parámetros físico -químicos se han establecido de igual forma que para los para parámetros biológicos, de manera que el valor 0 representa el muy mal estado físico-químico y 1 el muy buen estado físico-químico. Los valores intermedios se han establecido con una diferencia de 0,2 en 0,2 entre cada límite de clase, según la propuesta inicial realizada en el proyecto de implementación de la Directiva en las costas canarias (ICCM). Estos se pueden modificar en un futuro, cuando se realicen las reuniones de intercalibración relativas a los parámetros fisicoquímicos.

Tabla 5.4.1.f Valores de EQR para valorar el estado físico-químico

Valor EQR(FQ)	Estado físico-químico
1-0,8	Muy bueno
0,79-0,60	Bueno
0,59-0,40	Aceptable
0,39-0,20	Malo
< 0,20	Muy malo

Para cada indicador se tomará su valor medio de todos los datos obtenidos. Se observará su correspondencia en la tabla 5.4.1.f. El estado físico-químico global de la masa de agua será el del indicador observado en peor estado.

5.4.2. Contaminantes específicos

Para la mayoría de este tipo de sustancias existe legislación referente a los límites de concentración mínimos permitidos en agua. Además, existen agencias nacionales y supranacionales que también fijan unos objetivos de calidad mínimos. Esto facilitará evaluar las condiciones de referencia para contaminantes específicos.

El estado de la masa de agua desde el punto de vista químico (contaminantes específicos), se ha clasificado en tres tipos de estado: muy bueno, bueno y malo. La forma de evaluarlo será la siguiente:

1. Considerará **muy buen estado** si para cada contaminante específico analizado, el valor medio de los resultados, de todas las muestras recogidas en la masa de agua muestreada son cero, o se encuentran por debajo de los límites de de detección (ver tabla 5.4.2.a y 5.4.2.b).
2. Se considerará **buen estado**, en el caso de que el valor medio de las muestras analizadas por un indicador supere los valores de los límites de detección o cero, pero se encuentra por debajo de los límites que marca la legislación vigente. Si no existe una legislación vigente referente a cierta sustancia que se sospeche su presencia en la masa de agua, se seguirá las recomendaciones para los objetivos de calidad de la Environmental European Agency (EEA), o los propuestos por otras agencias tales como Environmental Protection Agency (EPA), National Atmospheric Administration (NOAA) ó Canadian Environment Agency (CEA).
3. Se considerará **mal estado** si el valor medio de algún indicador supera los límites fijado por la legislación vigente o en su defecto los límites recomendados por las agencias nombradas anteriormente.

Tabla 5.4.2.a Lista de algunas sustancias contaminantes con la normativa que las regula y límites de detección en la columna de agua.

Sustancia Contaminante	Normativa	Objetivo de Calidad	Límite de Detección
Cadmio	DIR 83/513/CEE	1	0.2
Cobre	R.D. 995/2000	5	0.2
Manganeso	R.D. 995/2000		0.2
Níquel	R.D. 995/2000	50	0.3
Plomo	R.D. 995/2000	50	0.3
Zinc	R.D. 995/2000	30	0.2
Hierro	R.D. 995/2000		0.3
Cromo hexavalente	R.D. 995/2000	50	0.3
Cromo trivalente	R.D. 995/2000	50	0.3
Arsénico	R.D. 995/2000	50	0.3
Selenio	R.D. 995/2000	1	0.3
Estaño			0.3
Mercurio	DIR 80/778/CEE	1	0.3
Cianuros	R.D. 995/2000	40	0.01
Aceites y grasas			0,03
Hidrocarburos			0.03
Fenoles	DIR 86/280/CEE CEGC	0.7-2	0.005
Detergentes			0.05
PAHs ¹	CEQG / OSPAR	0.001-1.4	0-0.02
PCBs ²	EPA	0.03	0.02
DDTs ³	DIR 86/280/CEE	25	0.02
Hexaclorociclohexano ⁴	DIR 84/491/CEE	0.02	0.003
Hexaclorobenceno	DIR 88/347/CEE	0.03	0.005
Pentaclorofenol	DIR 86/280/CEE	2	0.002
Transnonaclor	DIR 86/280/CEE		0.002
Aldrín, Dieldrín	DIR 86/280/CEE	0.01	0.004
Endrín, Isodrín	DIR 86/280/CEE	0.005	0.004
Triclorometano	DIR 86/280/CEE	12	0.15
1,2-Dicloroetano	DIR 86/280/CEE	10	0.15
Tetracloroetileno	DIR 86/280/CEE	10	0.15
Tricloroetileno	DIR 86/280/CEE	10	0.15
1,1,1-Tricloroetano	R.D. 995/2000	100	0.20
Hexaclorobutadieno	DIR 86/280/CEE	0.01	0.01
Benceno, Etilbenceno	R.D.995/2000 CEQG	30-110	0.05
Isopropilbenceno			0.02
Tolueno	R.D. 995/2000	50	0.05
Xileno	R.D. 995/2000	30	0.15
Clorobenceno	R.D. 995/2000	20	0.025
Diclorobenceno	R.D. 995/2000	20	0.075
1,2,4-triclorobenceno	DIR 90/415/CEE	0.4	0.05
Pentaclorobenceno	CEQC	6.0	0.05

Todos los datos en (µg/l).

¹ Se analizan los siguientes congéneres: Fenantreno, Pireno, Criseno, Benzo(a)pireno, Benzo(g,h,i)perileno, Fluoranteno, Benzo(a)antraceno, Benzo(a)fluoranteno, Benzo(a)pireno, Indeno(1,2,3-cd)pireno, Naftaleno, Acenaftileno, Acenafteno, Fluoreno, Antraceno, Benzo(k)fluoranteno, Dibenzo(a,h)antraceno, Perileno, 1-Metil naftaleno, Bifenilo, 2,6-DimetilNaftaleno, 2,3,5-TrimetilNaftaleno, 1-Metil-fenantreno.

² Se analizan los siguientes congéneres: IUPAC nº 28, 52, 101, 118, 153, 138, 180.

³ Se analizan los siguientes congéneres: p-p´DDE, p-p´DDD y p-p´DDT.

⁴ Se analizan los siguientes congéneres: α-HCH y γ-HCH.

Tabla 5.4.2.b Tabla de algunas sustancias contaminantes en matriz sedimento con sus objetivos de calidad y límites de detección

Sustancia	Objetivo de calidad	Límite de detección
Cadmio	9.6 mg/kg	*
Cobre	270 mg/kg	*
Níquel	52 mg/kg	*
Plomo	220 mg/kg	*
Zinc	410 mg/kg	*
Cromo	370 mg/kg	*
Arsénico	70 mg/kg	*
Mercurio	0.71 mg/kg	*
ΣPAHs ¹	45000 µg/kg	1.5-2.5 µg/kg
ΣPCBs ²	180 µg/kg	0.5-1.5 µg/kg
ΣDDTs ³	46 µg/kg	1 µg/kg
DDEs	27 µg/kg	
Aldrín, Dieldrín	5 µg/kg	0.3 µg/kg

*Variable en función de la técnica particular empleada. En general inferior al 10% de las concentraciones mínimas asignadas.

¹Se analizan los siguientes congéneres: Fenantreno, Pireno, Criseno, Benzo(a)pireno, Benzo(g,h,i)perileno, Fluoranteno, Benzo(a)antraceno, Benzo(a)fluorantreno, Benzo(a)pireno, Indeno(1,2,3-cd)pireno, Naftaleno, Acenaftileno, Acenafteno, Fluoreno, Antraceno, Benzo(k)antraceno, Perileno1-Metil naftaleno, Bifenilo, 2,6-DimetilNaftaleno, 2,3,5-TrimetilNaftaleno, 1-Metil-fenantreno.

² Se analizan los siguientes congéneres: IUPAC nº 28, 52, 101, 118, 153, 138, 180.

³ Se analizan los siguientes congéneres: p-p´DDE, p-p´DDD y p-p´DDT.

5.5. Indicadores Hidromorfológicos

Como ya se ha nombrado anteriormente, todavía no se ha realizado una reunión de intercalibración, para unificar criterios a la hora de fijar las condiciones de referencia relativas a los indicadores hidromorfológicos. Además, habrá que tener en cuenta la especificidad de Canarias, que al ser islas oceánicas y no contar con estuarios y apenas plataforma continental, sus condiciones son diferentes al resto de las aguas costeras del Estado Español. Por tanto, para establecer las condiciones de referencia en la hidromorfología de la masa de agua, se ha tenido en cuenta los indicadores seleccionados para la clasificación de los diferentes ecotipos de masas de aguas propuestos para el Archipiélago Canario. Los valores de referencia dados son los mismos que se fijaron a la hora de definir los diferentes ecotipos.

Este tipo de indicadores no suelen variar a corto plazo. Salvo que existan algunas infraestructuras marítimas de dimensiones muy considerables, no van a afectar directamente a todo el conjunto de la masa de agua definida.

Por tanto:

Muy buen estado: el valor medio de los datos recogidos para cada indicador, según indica el programa de seguimiento, cumplen con las condiciones de la tabla 5.5.1.

No muy buen estado: En uno o más de los indicadores, el valor medio de los datos recogidos, no cumple con los rangos establecidos en la tabla 5.5.1.

Tabla 5.5.a Condiciones de referencia para el muy buen estado hidromorfológico

INDICADORES	TIPO I	TIPO II	TIPO III	TIPO IV	TIPO V
Salinidad	>35	>35	>35	>35	>35
Rango de mareas	1 a 3 metros	1 a 3 metros	1 a 3 metros	1 a 3 metros	1 a 3 metros
Profundidad	< 50 m	< 50 m	> 50 m	< 50 m	< 50 m
Velocidad de la corriente	< 1 nudo (dirección general S-SW)	< 1 nudo (dirección general: S-SW)	< 1 nudo (dirección general: S-SW)	< 1 nudo (dirección general: S-SW)	< 1 nudo (dirección general: S-SW)
Exposición al oleaje	Expuesto (oleaje reinante del N-NE)	Protegido (oleaje reinante del N-NE)	Protegido (oleaje reinante del N-NE)	Expuesto (oleaje reinante del N-NE)	Expuesto-Protegido (oleaje reinante del N-NE)
Condiciones de mezcla	Mezcla	Mezcla	Mezcla	Mezcla	Mezcla
Sustrato	Blando-Duro	Blando-Duro	Blando-Duro	Blando-Duro	Blando-Duro
Residencia	Días	Días	Días	Días	Días
Área intermareal	< 50%	< 50%	< 50%	< 50%	< 50%

5.6. Condiciones de referencia para las masas de aguas muy modificadas¹

Las masas aguas muy modificadas definidas en las Islas Canarias, son las que corresponden a las zonas I de los puertos de Arrecife (Lanzarote), La Luz (Gran Canaria) y Santa Cruz de Tenerife (Tenerife). Para definir las condiciones de referencia y valorar el estado de la calidad de las mismas en este tipo de agua, se ha decidido seguir las recomendaciones propuestas en el programa ROM (Recomendación de Obras Marítimas).

El programa ROM son herramientas metodológicas redactadas por Puertos del Estado para la gestión portuaria. En concreto se ha seguido la "ROM 5.1-05 Calidad de las Aguas Litorales en Áreas Portuarias", "*... una primera herramienta metodológica y técnica para la gestión integral de las masas de agua portuarias,...*". Esta herramienta está basada en la propia DMA.

Para valorar la calidad del agua se utilizan dos tipos de indicadores, los de potencial ecológico y los de calidad química tanto en la columna de agua como en el sedimento.

5.6.1. Potencial ecológico

En la valoración del estado ecológico de las masas de agua muy modificadas, los indicadores utilizados se dividen en función del medio que se pretende medir. Es decir, en la columna de agua, medio pelágico y en el fondo, medio bentónico. A su vez, se dividen también en indicadores de presión, que caracterizan la influencia de los agentes externos sobre el ecosistema; e indicadores de estado, que prevé los efectos perjudiciales y/o el alcance de la contaminación (ver tabla 5.6.1.a).

¹ Todas las fórmulas y valores de las tablas de indicadores de este apartado proceden de la ROM 5.1-05 desarrollado por Puertos del Estado.

Tabla 5.6.1.a. Indicadores de Potencial Ecológico (fuente ROM 5.1-05. Puertos del Estado)

				INDICADORES	
Medio pelágico	Todos los fondos	Físico-químicos	Estado	Saturación de oxígeno (%)	
				Turbidez	
		Biológicos	Presión	Hidrocarburos totales	
				Detergentes	
Medio bentónico	Fondo blando	Físico-químicos	Estado	Clorofila "a"	
					Carbono Orgánico Total (COT)
					Nitrógeno Kjeldahl (NTK)
			Presión	Fósforo Total (P)	
				Metales Pesados: Hg, Cd, Pb, Cu, Zn, Ni, As, Cr	
	Fondo duro	Biológicos	Estado	PCB ⁽¹⁾	
			HAP ⁽²⁾		
			Comunidades Características		

(1): Σ 7 PCB (Bifenilos Policlorados)

(2): Σ 10 HAP (Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos)

En la determinación del potencial ecológico, se usa índices de calidad tanto para el medio pelágico como bentónico.

La **calidad de la columna de agua** se calcula mediante el siguiente índice:

$$I_{AG} = \frac{(3.5C_{SAT} + 3C_{TUR} + 3.5C_{CLA}) \cdot C_{HT} \cdot C_{DET}}{10}$$

Donde:

I_{AG}: Índice de calidad de la columna de agua

C_{SAT}: Valor normalizado del porcentaje de saturación de oxígeno disuelto anual en la columna de agua.

C_{TURB}: Valor normalizado de la turbidez media anual en la columna de agua.

C_{CLA}: Valor normalizado de la concentración media anual de clorofila "a" en la columna de agua.

C_{HT}: Valor normalizado de la concentración media anual de hidrocarburos en la superficie de la masa de agua.

C_{DET}: Valor normalizado de la concentración media anual de detergentes en la superficie de la masa de agua.

El **valor de la calidad del sedimento**, se calcula mediante el siguiente índice, que es la suma de los índices de contaminación química y contaminación orgánica:

$$I_{SED} = I_{CQ} + I_{CO}$$

Donde:

I_{SED}: Índice de calidad de sedimentos.

I_{CQ}: Índice de contaminación química.

I_{CO}: Índice de contaminación orgánica.

El valor de la **contaminación química de los sedimentos**, se calcula mediante el siguiente índice:

$$I_{CQ} = \frac{C_{MP} + C_{PCB} + C_{HAP}}{6}$$

I_{CQ}: Índice de contaminación química de los sedimentos.

C_{MP}: Valor normalizado de la concentración media anual de metales pesados en la fracción fina del sedimento seco (<63mm).

C_{PCB}: Valor normalizado de la concentración media anual de Bifenilos Policlorados (PCB) en la fracción total del sedimento seco a temperatura ambiente.

C_{HAP}: Valor normalizado de la concentración media anual de Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAP) en la fracción total del sedimento seco a temperatura ambiente.

Mientras que el siguiente índice se utiliza para determinar la **contaminación orgánica de los sedimentos**:

$$I_{CO} = \frac{C_{COT} + C_{NTK} + C_{PT}}{2}$$

Donde:

I_{CO}: Índice de contaminación orgánica de los sedimentos.

C_{CO_T}: Valor normalizado de la concentración media anual de Carbono Orgánico Total en la fracción fina del sedimento seco (<63mm).

C_{NTK}: Valor normalizado de la concentración media anual de Nitrógeno Total Kjeldhal en la fracción fina del sedimento seco (<63mm).

C_{PT}: Valor normalizado de la concentración media anual de Fósforo Total en la fracción fina del sedimento seco (<63mm).

Los valores medios anuales de los indicadores se encuentran normalizados en función de la tasa de renovación. En el Programa de Seguimiento se adoptó que la tasa de renovación de las masas de agua portuarias en Canarias, presentan una renovación baja (> 7 días). Por tanto, en las tablas siguientes se expone los valores normalizados de cada indicador de potencial ecológico para ese tipo de renovación. En caso de que la tasa de renovación de la masa de agua sea aceptable (< 7 días), entonces habría que cambiar el valor de los parámetros normalizados. Estos se encuentran definidos en la ROM 5.1-05. El valor normalizado de cada indicador, se calcula en las siguientes tablas, sustituyendo "X" por el valor de la concentración media anual del indicador en la masa de agua muestreada.

Indicadores normalizados para el cálculo del índice de calidad de la columna de agua (I_{AG})

Detergentes (mg/l)	C_{DET}	Hidrocarburos totales (mg/l)	C_{HT}
$X \geq 1$	0.2	$X \geq 1$	0.2
$0.3 \leq X < 1$	0.6	$0.9 \leq X < 1$	0.6
$0.1 \leq X < 0.3$	0.8	$0.5 \leq X < 0.9$	0.8
$X < 0.1$	1	$X < 0.5$	1

Saturación de oxígeno (%)	C_{SAT}	Clorofila "a" ($\mu\text{g/l}$)	C_{CLA}
$X > 70$	10	$X < 3$	10
$50 < X \leq 70$	8	$3 \leq X < 5$	8
$20 < X \leq 50$	5	$5 \leq X < 10$	5
$10 < X \leq 20$	2	$10 \leq X < 14$	2
$X \leq 10$	0	$X \geq 14$	0

Turbidez (NTU)	C_{TURB}
$X < 4$	10
$4 \leq X < 7$	8
$7 \leq X < 12$	5
$12 \leq X < 20$	2
$X \geq 20$	0

Indicadores normalizados para el cálculo del índice de calidad química en el sedimento (ICQ):

HAP (mg/kg)	C_{HAP}
$X < 0.5$	10
$0.5 \leq X < 1.0$	8
$1.0 \leq X < 40$	5
$40 \leq X < 320$	2
$X \geq 320$	0

PCB (mg/kg)	C_{PCB}
$X < 0.01$	10
$0.01 \leq X < 0.03$	8
$0.03 \leq X < 0.1$	5
$0.1 \leq X < 0.8$	2
$X \geq 0.8$	0

Mercurio (Hg) (mg/kg)	C_{Hg}
$X < 0.3$	10
$0.3 \leq X < 0.6$	8
$0.6 \leq X < 3.0$	5
$3.0 \leq X < 24$	2
$X \geq 24$	0

Cadmio (Cd) (mg/kg)	C_{Cd}
$X < 0.5$	10
$0.5 \leq X < 1.0$	8
$1.0 \leq X < 5.0$	5
$5.0 \leq X < 40$	2
$X \geq 40$	0

Plomo (Pb) (mg/kg)	C_{Pb}
$X < 60$	10
$60 \leq X < 120$	8
$120 \leq X < 600$	5
$600 \leq X < 4800$	2
$X \geq 4800$	0

Cobre (Cu) (mg/kg)	C_{Cu}
$X < 50$	10
$50 \leq X < 100$	8
$100 \leq X < 400$	5
$400 \leq X < 3200$	2
$X \geq 3200$	0

Zinc (Zn) (mg/kg)	C_{Zn}
$X < 250$	10
$250 \leq X < 500$	8
$500 \leq X < 3000$	5
$3000 \leq X < 24000$	2
$X \geq 24000$	0

Níquel (Ni) (mg/kg)	C_{Ni}
$X < 50$	10
$50 \leq X < 100$	8
$100 \leq X < 400$	5
$400 \leq X < 3200$	2
$X \geq 3200$	0

Arsénico (As) (mg/kg)	C_{As}
$X < 40$	10
$40 \leq X < 80$	8
$80 \leq X < 200$	5
$200 \leq X < 1200$	2
$X \geq 1200$	0

Cromo (Cr) (mg/kg)	C_{Cr}
$X < 100$	10
$100 \leq X < 200$	8
$200 \leq X < 1000$	5
$1000 \leq X < 8000$	2
$X \geq 8000$	0

Normalización	C_{MP}
Todos los metales = 10	10
Todos los metales ≥ 8	8
1-3 Metales con valores 2 ó 5	5
Más de 3 Metales con valores 2 ó 5	2
Algún Metal con valor 0	0

Indicadores normalizados para el cálculo del índice de contaminación orgánica de los sedimentos (ICO):

Fósforo Total (PT) (mg/kg)	
Valores	C_{PT}
$x < 500$	3
$500 \leq x < 800$	2
$800 \leq x < 1200$	1
$x \geq 1200$	0

Nitrógeno Kjeldahl (NTK) (mg/kg)	
Valores	C_{NTK}
$X < 600$	3
$600 \leq x < 2100$	2
$2100 \leq x < 3600$	1
$x \geq 3600$	0

Carbono orgánico Total (COT) (%)	
Valores	C_{COT}
$X < 0.6$	4
$0.6 \leq X < 2.3$	3
$2.3 \leq X < 4.0$	2
$4.0 \leq X < 5.8$	1
$X \geq 5.8$	0

Valoración del Potencial Ecológico

Una vez calculados todos los valores normalizados y sus respectivos índices en sedimento y la columna de agua. Se valora el potencial ecológico de la masa de agua que se está estudiando. Se dará un valor de 1 a 100. Siendo los valores cercanos a 100 un potencial ecológico muy bueno y los valores cercanos a 1 muy mal potencial ecológico (Ver tabla 5.6.1.b). Se calcula de la siguiente manera:

5.6.1.1.1. Se busca el valor de 1 a 10 que ha resultado del índice de calidad en la columna de agua en la primera fila.

5.6.1.1.2. Una vez encontrado, se baja por esa columna hasta la altura del valor del índice de calidad en el sedimento.

5.6.1.1.3. El valor que indica ese cuadro, es el valor de calidad que tiene esa masa de agua. Se observa el color que es según la leyenda, y se determina que potencial ecológico tiene en ese momento.

Otra forma de hacerlo, es multiplicando el índice resultante de la columna de agua por el índice obtenido en el sedimento. Seguidamente se busca el valor de ese producto en la tabla.

Tabla 5.6.1.b Cálculo del potencial ecológico (Fuente ROM 5.1-05)

		Calidad del medio pelágico (I_{AG})									
		10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
Calidad del Medio bentónico (I_{SED})	10	100	90	80	70	60	50	40	30	20	10
	9	90	81	72	63	54	45	36	27	18	9
	8	80	72	64	56	48	40	32	24	16	8
	7	70	63	56	49	42	35	28	21	14	7
	6	60	54	48	42	36	30	24	18	12	6
	5	50	45	40	35	30	25	20	15	10	5
	4	40	36	32	28	24	20	16	12	8	4
	3	30	27	24	21	18	15	12	9	6	3
	2	20	18	16	14	12	10	8	6	4	2
	1	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1

- Potencial Ecológico muy bueno
- Potencial Ecológico bueno
- Potencial Ecológico insuficiente
- Potencial Ecológico deficiente
- Potencial Ecológico malo

5.6.2. Calidad química

Los indicadores seleccionados para valorar la calidad química, tanto en la agua de agua como en el sedimento, serán aquellas sustancias que se sospeche su presencia debido a las actividades y las presiones existentes en el entorno portuario. Estas sustancias serán las que se encuentran en el Anexo X de la DMA (lista de sustancias prioritarias) u otras sustancias que se hayan detectado previamente debido a alguna emisión contaminante.

En la columna de agua, se considera buen estado químico de cada sustancia analizada, si su valor medio anual no supera los valores de referencia fijados en la normativa correspondiente.

En el caso de no existir normativa para una determinada sustancia, en España, Europa y tampoco existe objetivos de calidad propuestos por la Environmental European Agency (EEA), se recurrirá a los propuestos por otras agencias tales como Environmental Protection Agency (EPA), National Atmospheric Administration (NOAA) ó Canadian Environment Agency (CEA).

En conclusión, en la columna de agua, se considerará que una masa de agua muy modificada se encuentra en buen estado químico si las concentraciones medias anuales de las sustancias analizadas no superan los límites que marcan las normativas correspondientes, o en su defecto las propuestas por la EEA, EPA, NOAA o CEA, entre otras.

En los sedimentos, se aplica el principio de "mantenimiento del estado actual", es decir, la concentración media en el sedimento de cada sustancia analizada no debe superar el 50% de las concentraciones obtenidas en la primera campaña de muestreo, para que sea considerado buen estado.

6. BIBLIOGRAFÍA

❖ Bald, J., Borja, A., Muxika, I. Franco, J., Valencia, V., 2005. Assessing reference conditions and physico-chemical status according to the European Water Framework Directive: A case-study from the Basque Country (Northern Spain). *Marine Pollution Bulletin* 50. 1508-1522.

❖ Borja, A., B. García de Bikuña, J.M. Blanco, A. Agirre, E. Aierbe, J. Bald, M.J. Belzunce, H. Fraile, J. Franco, O. Gandarias, I. Goikoetxea, J.M. Leonardo, L. Lonbide, M. Moso, I. Muxika, V. Pérez, F. Santoro, O. Solaun, E.M. Tello y V. Valencia, 2003. Red de Vigilancia de las masas de agua superficial de la Comunidad Autónoma del País Vasco. Tomo 1: Metodologías utilizadas. Departamento de Ordenación del Territorio y Medio Ambiente, Gobierno Vasco. 199 p.

❖ Borja, A., B. García de Bikuña, J.M. Blanco, A. Agirre, E. Aierbe, J. Bald, M.J. Belzunce, H. Fraile, J. Franco, O. Gandarias, I. Goikoetxea, J.M. Leonardo, L. Lonbide, M. Moso, I. Muxika, V. Pérez, F. Santoro, O. Solaun, E.M. Tello y V. Valencia, 2003. Red de Vigilancia de las masas de agua superficial de la Comunidad Autónoma del País Vasco. Tomo 23: Síntesis del estado ecológico. Departamento de Ordenación del Territorio y Medio Ambiente, Gobierno Vasco. 266 p.

❖ Juanes, J.A., Guinda, X., Puente, A., Revilla, J.A., 2007. Macroalgae, a suitable indicator of the ecological status of coastal rocky communities in the NE Atlantic. *Ecological Indicators* in press (ECOIND 301).

❖ Monserud, R., Leemans, R., 1992. Comparing global vegetation maps with the Kappa statistic. *Ecological modelling* 62, 275-293.

❖ Proyecto de Implementación de la Directiva Marco 2000/60/CE en las costas canarias, 2004. Instituto Canario de Ciencias Marinas, Consejería de Educación cultura y Deportes, Gobierno de Canarias.

❖ REFCOND, 2003. Guidance on establishing reference conditions and ecological status class boundaries for inland surface waters. Working group 2.31 Reference conditions for inland surface (REFCOND), Common Implementation Strategy of the Water Framework Directive, European Commission.

❖ ROM 5.1-05: Calidad de las aguas litorales en áreas portuarias, 2005. Puertos del Estado, Ministerio de Fomento. 136 pp.

❖ Santana, R., Rueda, M.J., Llinás, O. 1998. Distribución de nitritos + nitratos entre Canarias y Cabo Blanco, 1991-1993. La química en el entorno marino: Nuevos aspectos y aplicaciones. VII Seminario Ibérico de Química Marina. J.M Fernández & R Prego eds. 19-24.

❖ Titus, U.; Mosher, J.A.; Williams, B.K., 1984: Chance-corrected clasification for use in discriminant analysis: ecological applications. Am. Midl. Nat. 111, 1-7.

❖ Vergara Martín, J.M., Haroun Tabraue, R., González Henríquez, M.N., Molina Domínguez, L., Briz Miquel, M.O., Boyra López, A., Gutiérrez Martínez de Marañón, L. y Ballesta Méndez, A. 2005 "Evaluación de Impacto Ambiental de Acuicultura en Jaulas en Canarias". (Eds. VergaraMartín, J.M., Haroun Tabraue, R. y González Henríquez, N.) Oceanográfica, Telde. ISBN: 84- 609-4073-X. 110pp.

❖ Zar, J.H., 1996: Biostatistical analysis. Edit. Prentice-Hall International, 3rd edit., New Jersey. pp. 662.