



**ESTRATEGIA MARINA**  
**DEMARCACIÓN MARINA CANARIA**  
**PARTE IV. DESCRIPTORES DEL BUEN ESTADO AMBIENTAL**  
**DESCRIPTOR 5: EUTROFIZACIÓN**  
**EVALUACIÓN INICIAL Y BUEN ESTADO AMBIENTAL**



**Madrid, 2012**



# ESTRATEGIAS MARINAS: EVALUACIÓN INICIAL, BUEN ESTADO AMBIENTAL Y OBJETIVOS AMBIENTALES

## AUTORES DEL DOCUMENTO

Instituto Español de Oceanografía:

- Dolores Cortés
- Francisco Gómez
- Jesús M. Mercado
- Lidia Yebra

Asistencia Técnica TRAGSATEC S.A.:

- Alejandro León

## COORDINACIÓN INSTITUTO ESPAÑOL DE OCEANOGRAFÍA

Demetrio de Armas

Juan Bellas

## COORDINACIÓN GENERAL MINISTERIO DE AGRICULTURA, ALIMENTACIÓN Y MEDIO AMBIENTE (DIVISIÓN PARA LA PROTECCIÓN DEL MAR)

José Luis Buceta Miller

Felipe Martínez Martínez

Ainhoa Pérez Puyol

Sagrario Arrieta Algarra

Jorge Alonso Rodríguez

Ana Ruiz Sierra

Javier Pantoja Trigueros

Mónica Moraleda Altares

Víctor Escobar Paredes



MINISTERIO DE AGRICULTURA, ALIMENTACIÓN Y MEDIO AMBIENTE

### Edita:

© Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente  
Secretaría General Técnica  
Centro de Publicaciones

Catálogo de Publicaciones de la Administración General del Estado:

<http://publicacionesoficiales.boe.es/>

NIPO: 280-12-175-8



## DESCRIPTOR 5: EUTROFIZACIÓN

---

### Índice

---

<b>1. CONSIDERACIONES PREVIAS A LA EVALUACIÓN DEL DESCRIPTOR .....</b>	<b>1</b>
1.1. Trabajos realizados en el marco de OSPAR y de la DMA .....	1
1.2. Escala espacial y temporal.....	4
1.3. Principales presiones e impactos .....	8
1.4. Fuentes de información.....	10
1.4.1. Programas de seguimiento.....	10
1.4.2. Fuentes de datos .....	11
1.4.3. Otras fuentes de información.....	12
<b>2. EVALUACIÓN DEL ESTADO AMBIENTAL ACTUAL.....</b>	<b>13</b>
2.1. Conceptos clave y criterios de evaluación .....	13
2.2. Elementos de evaluación.....	14
2.2.1. Fundamento en la selección de criterios e indicadores: viabilidad y operatividad. Justificación de la selección de parámetros o componentes de cada indicador. ....	14
2.3. Determinación de niveles de referencia o de base.....	18
2.4. Evaluación del estado actual. Principales presiones, actividades e impactos. ...	27
2.4.1. Estado actual y tendencias de las principales presiones.....	27
2.4.2. Estado actual y tendencias temporales de los indicadores de presión.....	30
2.4.3. Estado actual y tendencias temporales de los indicadores de efectos directos.....	30
2.4.4. Evaluación integrada del estado actual de los indicadores y el descriptor.....	31
2.5. Lagunas de información y conocimiento. Necesidades de investigación y desarrollo de programas de seguimiento .....	32
2.6. Conclusiones.....	33
<b>3. DEFINICIÓN DEL BUEN ESTADO AMBIENTAL.....</b>	<b>34</b>
<b>4. REFERENCIAS .....</b>	<b>36</b>
<b>5. ANEXOS .....</b>	<b>41</b>
Anexo I. Glosario de términos y acrónimos.....	41
Anexo II. Determinación de niveles de base: Metodología y fundamento .....	43



## 1. CONSIDERACIONES PREVIAS A LA EVALUACIÓN DEL DESCRIPTOR

El marco conceptual que ha guiado la evaluación del descriptor 5 está basado en las recomendaciones del grupo de trabajo sobre Eutrofización promovido por la UE (Ferreira, 2010). En el Apartado 5 de la sección IV del Documento Marco de las Estrategias Marinas (*Descriptores del Buen Estado Ambiental*) se discute ampliamente cómo se han adaptado estas recomendaciones para la elaboración de la presente evaluación. En el mismo documento se discute además cómo se han integrado en el presente informe (1) las directrices emanadas de los diferentes convenios regionales que han desarrollado programas de seguimiento de la eutrofización y (2) los desarrollos técnicos derivados del seguimiento y evaluación realizados en el marco de la implementación de otras directivas europeas (en particular de la DMA). Las particularidades de este proceso de discusión que ha guiado la evaluación del Descriptor 5 en la Demarcación Marina de Canarias se exponen a continuación.

### **1.1. Trabajos realizados en el marco de OSPAR y de la DMA**

La Demarcación Canaria no está incluida en el área de OSPAR. Sin embargo, se ha señalado reiteradamente la necesidad de expandir dicha área marítima hacia el sur de manera que integre toda la región macaronésica. Siguiendo esta tendencia, en la evaluación del Descriptor 5 para esta Demarcación se ha optado por seguir las recomendaciones, procedimientos analíticos y criterios de evaluación emanados del Convenio OSPAR. En particular, el Procedimiento Común de OSPAR ha sido tenido en cuenta en la evaluación del Descriptor 5 en los siguientes aspectos:

- Se han seguido las recomendaciones de la Estrategia de Eutrofización de OSPAR para la evaluación cuantitativa y/o cualitativa de cada uno de los indicadores del Descriptor 5 (o del parámetro armonizado equivalente). Más en concreto se han tenido en cuenta las recomendaciones del comité HASEC recogidas en los documentos *Development of advice on GES descriptor 5 (eutrophication)* y *Terms of reference for the review of the Common Procedure* (aun cuando se trata de documentos que se encuentran en su fase de borrador).
- En la definición del BEA se han adoptado como criterios de calidad ambiental en cuanto a la eutrofización los descritos en el Procedimiento Común para la evaluación integrada de los parámetros armonizados (ver Documento Marco).

Algunos de los elementos de calidad de la DMA son equivalentes a los indicadores del Descriptor 5, por tanto los trabajos llevados a cabo para la evaluación de las masas de



agua costeras realizados en el marco de la aplicación de la DMA deben ser tenidos en cuenta en la evaluación del Descriptor 5 en Canarias. Hasta la fecha no se cuenta aún con una evaluación de los elementos de calidad de la DMA, sin embargo el Gobierno Regional sí ha llevado a cabo diferentes trabajos para implementar esta Directiva. Los trabajos se han centrado por un lado en el establecimiento de valores de referencia para algunos elementos de calidad (nutrientes y clorofila *a*) y por otro en la tipificación y zonación de las aguas costeras (Gobierno de Canarias, 2006 a,b).

En relación con este segundo aspecto, el Gobierno de Canarias publicó en 2005 un Informe sobre los trabajos realizados en la implementación de la DMA donde se especifica la tipología de aguas costeras del Archipiélago Canario (Gobierno de Canarias, 2005). De acuerdo con el mismo, se establecen cinco tipos de masas de agua atendiendo a las características que se indican en la Tabla 5.1. En el plano reproducido en la Figura 5.1, se muestra la distribución de las masas de agua costera (cuyo código, extensión y características se muestra en la Tabla 5.2).

Tabla 5.1. Tipología de masas de agua costera en la Demarcación Marina de Canarias. V. corriente: velocidad de corriente; C. mezcla: condiciones de mezcla; B/D: sustrato blando-duro. Datos tomados del Informe de los Artículos 5 y 6 de la Directiva Marco del Agua (Gobierno de Canarias, 2005).

Tipo de masa	Exposición al oleaje	Profundidad	V. corriente	C. mezcla	Sustrato	Área intermareal	Presiones
I	Expuesta	<50m	<1 nudo	mezcla	B/D	<50%	No
II	Protegida	<50m	<1 nudo	mezcla	B/D	<50%	No
III	Protegida	>50m	<1 nudo	mezcla	B/D	<50%	No
IV	Expuesta	<50m	<1 nudo	mezcla	B/D	<50%	Sí
V	Expue./Prot.	<50m	<1 nudo	mezcla	B/D	<50%	Sí

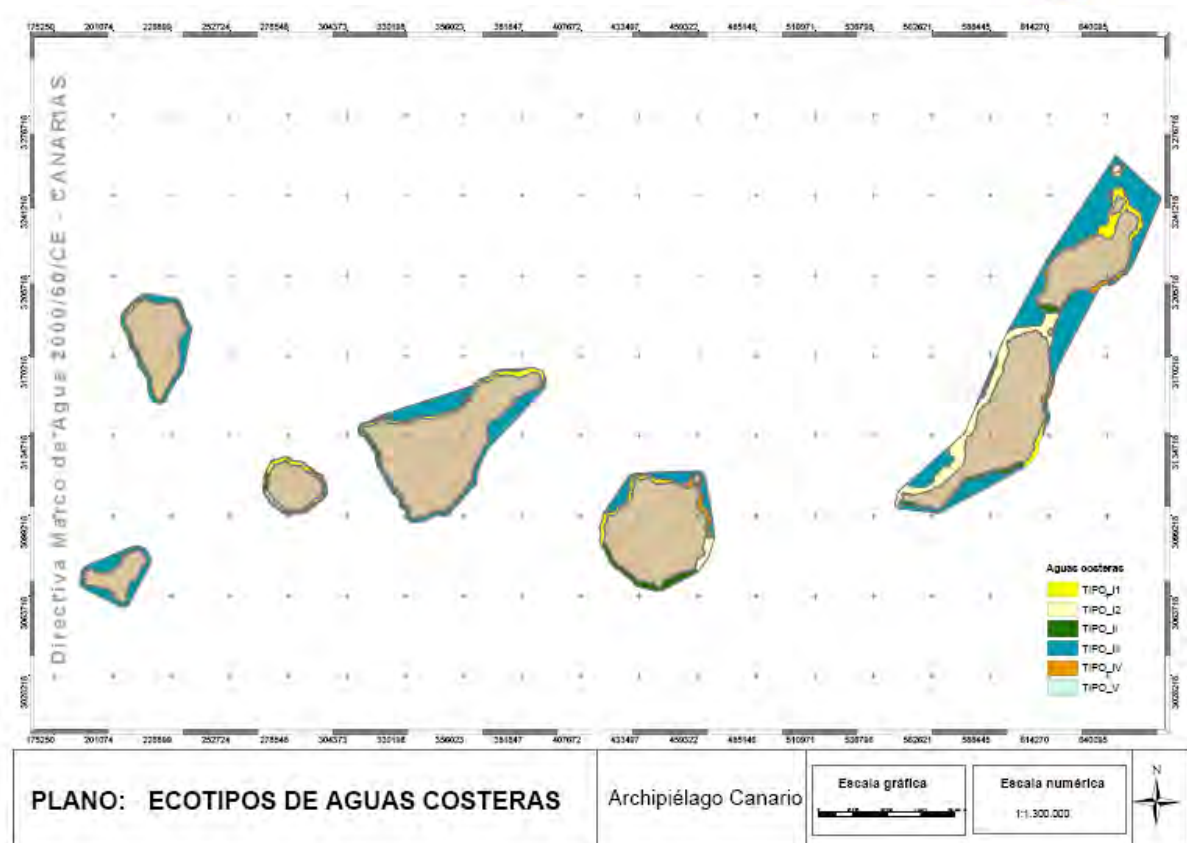


Figura 5.1. Distribución de los diferentes tipos de masas de agua costera en la Demarcación Marina de Canarias. El Plano, elaborado por la Dirección General de Aguas del Gobierno de Canarias, se ha reproducido desde el documento *Informe de los Artículos 5 y 6 de la Directiva Marco del Agua* (Gobierno de Canarias, 2005).

Tabla 5.2. Masas de agua de la Demarcación de Canarias. Se indica su tipología y extensión. Datos tomados del documento *“Informe de los Artículos 5 y 6 de la Directiva Marco del Agua”* (Gobierno de Canarias, 2005).

Masa de agua	Localización	Tipología	Extensión (km <sup>2</sup> )
ES70EHTI	El Hierro	I	26,1
ES70EHTII	El Hierro	II	4,8
ES70EHTIII	El Hierro	III	230,6
ES70LGTI	La Gomera	I	75,7
ES70LGTII	La Gomera	II	15,8
ES70LGTIII	La Gomera	III	44,0
ES70LGTIV	La Gomera	V	26,3
ES70LPTI1	La Palma	I	35,0
ES70LPTI2	La Palma	I	6,82
ES70LPTII	La Palma	II	27,2
ES70LPTIII	La Palma	III	204,2
ES70LPTIIV	La Palma	IV	1,33
ES70TFTI1	Tenerife	I	147,0



ES70TFTI2	Tenerife	I	14,7
ES70TFTII	Tenerife	II	23,8
ES70TFTIII	Tenerife	III	573,3
ES70TFTIV	Tenerife	IV	8,6
ES70TFTV	Tenerife	V	32,9
ES70GCTI1	Gran Canaria	I	100,2
ES70GCTI2	Gran Canaria	I	51,6
ES70GCTII	Gran Canaria	II	126,3
ES70GCTIII	Gran Canaria	III	201,4
ES70GCTIV	Gran Canaria	IV	64,6
ES70FVTI1	Fuerteventura	I	41,0
ES70FVTI2	Fuerteventura	I	483,4
ES70FVTII	Fuerteventura	II	82,6
ES70FVTIV	Fuerteventura	IV	20,6
ES70LZTI1	Lanzarote	I	192,6
ES70LZTI2	Lanzarote	I	13,9
ES70LZTII	Lanzarote	II	38,7
ES70LZTIV	Lanzarote	IV	37,2
ES70IOTII	Islas Orientales	III	1596

\*Las Islas de Lanzarote y Fuerteventura han sido consideradas como una unidad para delimitar las masas de agua Tipo III

## 1.2. Escala espacial y temporal

En las aguas marinas de la Demarcación Canaria, el forzamiento atmosférico e hidrológico configura áreas oceánicas con diferente productividad que se caracterizan no sólo por una mayor o menor concentración de clorofila anual, sino también por diferencias en la intensidad y en la distribución anual de los máximos de producción (Sathyendranath et al., 1995; Arístegui et al. 1997, 2001; Neuer et al., 1997; Barton et al., 1998; Basterretxea y Arístegui, 2000; Bode et al., 2001; Abrantes et al., 2002; Basterretxea et al., 2002; Sprengel et al., 2002; García-Muñoz et al., 2004; Montero et al., 2005; Pelegrí et al. 2005; Pradhan et al., 2006; Hernández-León et al., 2007; Baltar et al., 2009; Troupin et al., 2010; Nieto et al., 2012; Schmoker et al., 2012). La identificación de estas áreas de productividad contrastante es necesaria para describir un marco *esperable* (o si se quiere valores de base de clorofila *a*) que permita determinar la presencia de núcleos con alta productividad atribuibles en su caso a contaminación por nutrientes. La definición de estas áreas de productividad contrastante requiere el empleo de series temporales de datos con una alta resolución temporal, que sea además homogénea espacialmente. Los datos procedentes de



campañas oceanográficas no cumplen estos requisitos ya que normalmente sólo se cuenta con muestreos puntuales o bien el esfuerzo de muestreo en unas zonas y otras es muy desigual. Por el contrario, las imágenes de satélite sí ofrecen una aproximación sinóptica de toda la demarcación con una alta resolución temporal. Es por esto que decidimos utilizar esta herramienta para llevar a cabo la de identificación de las áreas de productividad contrastante. El potencial de las imágenes de satélite para describir la variabilidad espacial y temporal de la clorofila  $a$  en el área de estudio es demostrado por la relativamente abundante literatura científica disponible en la que se hace uso de esta herramienta (ver como ejemplos Sathyendranath et al., 1995; Arístegui et al., 1997; Neuer et al., 1997; Barton et al., 1998; Davenport et al., 2001; ; Pradhan et al., 2006; Patti et al., 2008; Nieto et al., 2012). Más específicamente, el seguimiento de la eutrofización basado en imágenes de satélite ha sido propuesto por numerosos autores (ver los siguientes artículos a modo de ejemplo: Bailey et al., 2000; Hooker and McClain, 2000; Gregg and Casey, 2004; Bailey and Werdell, 2006; Banks et al., 2012; Novoa et al., 2012). Por otro lado, el grupo de trabajo sobre el D5 de la UE recomendó el uso de las imágenes de satélite como una de las metodologías para el seguimiento de la concentración de la clorofila  $a$  en el marco de la DMEM (Ferreira et al. 2010). No obstante, hay que tener en cuenta que la estimación de la clorofila  $a$  partir de las imágenes de satélite está sometida a ciertas limitaciones. Así, en general se asume que la incertidumbre asociada a los valores de clorofila  $a$  de satélite calculados con los algoritmos empíricos basados en análisis de regresión entre los datos de satélite y las bases de datos de clorofila  $a$  *in situ* es de  $\pm 35\%$  (Cota et al., 2004; MacClain, 2009). La incertidumbre podría ser aún mayor para las aguas costeras en las que el material particulado no algal o las sustancias coloreadas disueltas modifican las propiedades ópticas de la columna de agua. Para solventar en lo posible estas limitaciones, se ha propuesto el uso de algoritmos regionales basados en información de la clorofila  $a$  *in situ* para cada región marina específica (ver por ejemplo Bricaud et al., 2002; Darecki et al., 2005; Eiras-García et al., 2005; Sancak et al., 2005; Volpe et al., 2007; Novoa et al., 2012). Para la Demarcación Canaria no ha sido posible el desarrollo de un algoritmo regional debido a que los datos de clorofila  $a$  *in situ* que se han conseguido recopilar han sido insuficientes, particularmente para las zonas costeras. Teniendo en cuenta estas limitaciones, en el presente informe las imágenes de satélite se han usado exclusivamente como herramienta prospectiva, para la identificación inicial de las áreas potencialmente más productivas, sin que en ningún caso se proponga su uso extensivo para la determinación de valores de referencia o de base de clorofila  $a$ .



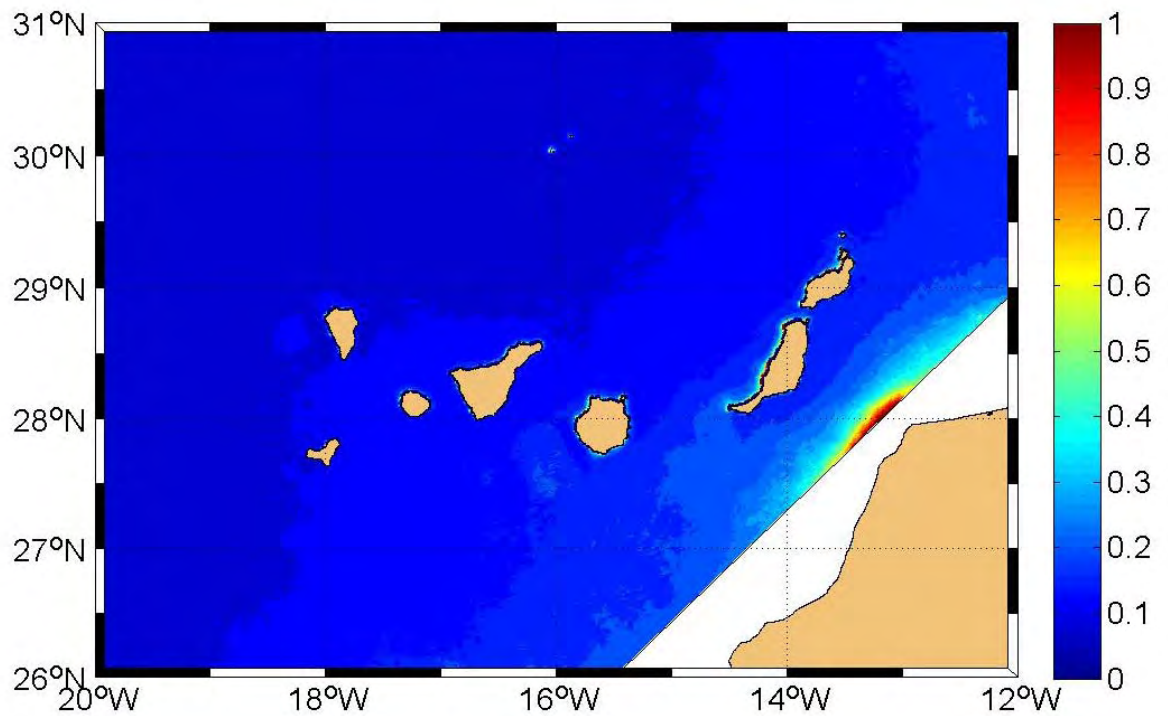


Figura 5.2. Distribución de la concentración de clorofila  $a$  de satélite en las aguas de la Demarcación de Canarias, estimada a partir de los datos diarios proporcionados por el satélite MODIS-Aqua durante el periodo 2002-2010.

La Figura 5.2 muestra una imagen promedio de la distribución de la clorofila  $a$  de satélite calculada a partir de los valores diarios proporcionados por el satélite MODIS Aqua desde 2002 hasta 2010. La imagen muestra claramente que las áreas de mayor productividad se localizan asociadas a la costa africana y a su afloramiento. Se aprecia así mismo como las aguas oceánicas son en general muy poco productivas por localizarse en el margen oriental del giro subtropical del Atlántico Norte, que es un giro oligotrófico. Como se mostrará más adelante, en la propuesta de los valores de base de clorofila  $a$  y nutrientes se partirá de este patrón de distribución de la productividad.

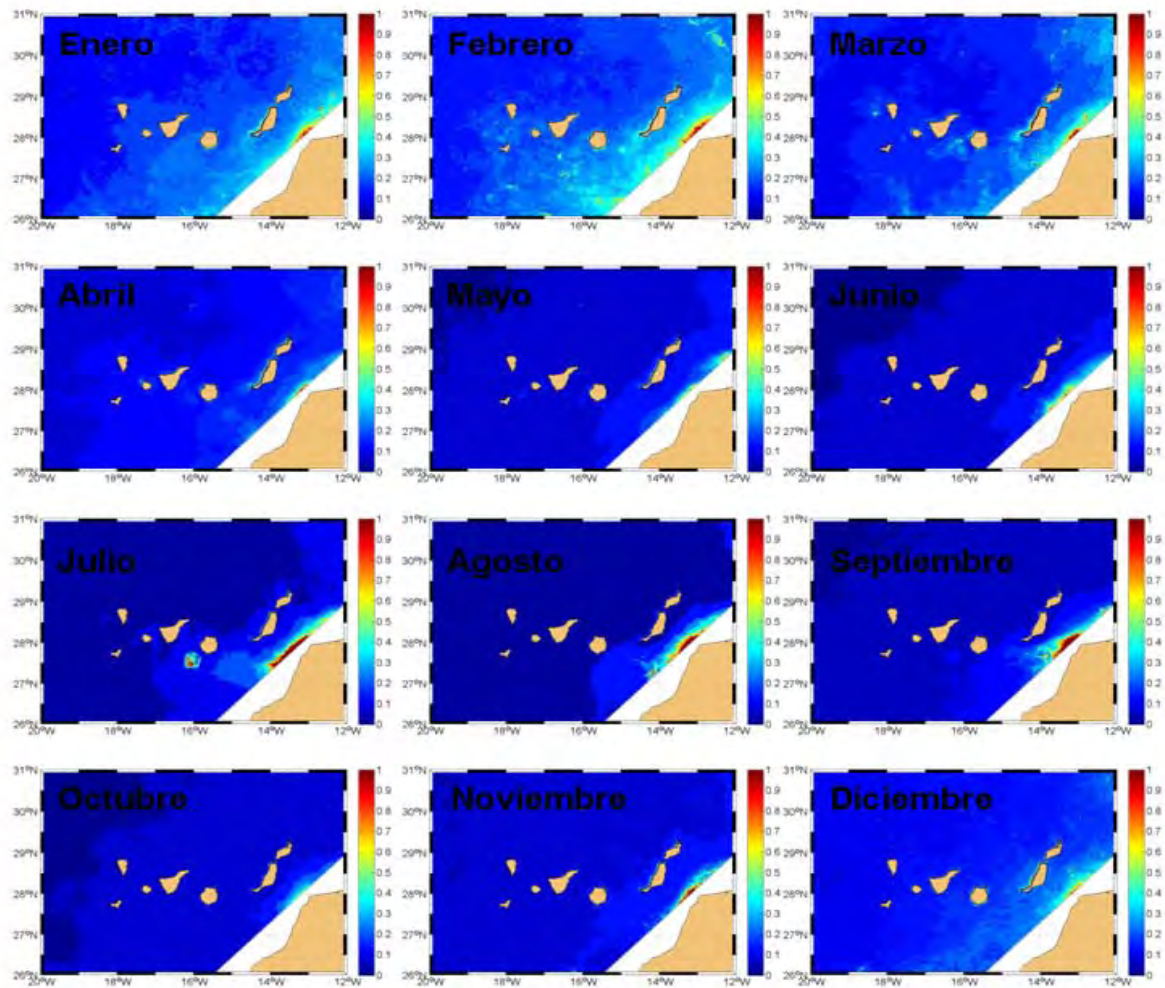


Figura 5.3. Distribución mensual de la clorofila *a* de satélite calculado a partir del promedio del período 2002-2010 (satélite Modis-Aqua).

De acuerdo con la información obtenida desde las imágenes de satélite (Figura 5.3), la clorofila *a* en la Demarcación Canaria presenta con carácter general un ciclo estacional caracterizado por un máximo de producción en invierno. Adicionalmente, en la zona de influencia del afloramiento se produce un segundo máximo anual en verano. Siguiendo las recomendaciones del grupo de trabajo de la UE sobre el D5 (Ferreira et al. 2010), este ciclo anual será tenido en cuenta en la evaluación de la eutrofización.



### 1.3. Principales presiones e impactos

La Figura 5.4 muestra un esquema conceptual de las principales fuentes alóctonas que pueden dar lugar al vertido de nutrientes en la zona costera. Independientemente de su intensidad, la materia orgánica y composición de nutrientes asociados a cada una de estas fuentes puede ser *a priori* bastante diferente. En general, los aportes procedentes de las descargas al mar de ríos y arroyos (escorrentía en la Figura 5.4) dependen en gran medida de la naturaleza de la cuenca y de las actividades que a su vez inciden en la calidad de estas masas de agua. Una intensa actividad agrícola y ganadera suele aportar nitrógeno inorgánico que finalmente puede alcanzar el medio marino. El vertido de aguas residuales no tratadas puede suponer también una fuente adicional de nutrientes cuya composición depende de la actividad que la origina. A estas fuentes potenciales de contaminación hay que añadir los vertidos directos al mar procedentes de explotaciones marinas acuícolas que pueden aportar cantidades significativas de nutrientes, en especial amonio (Pitta et al., 2006).

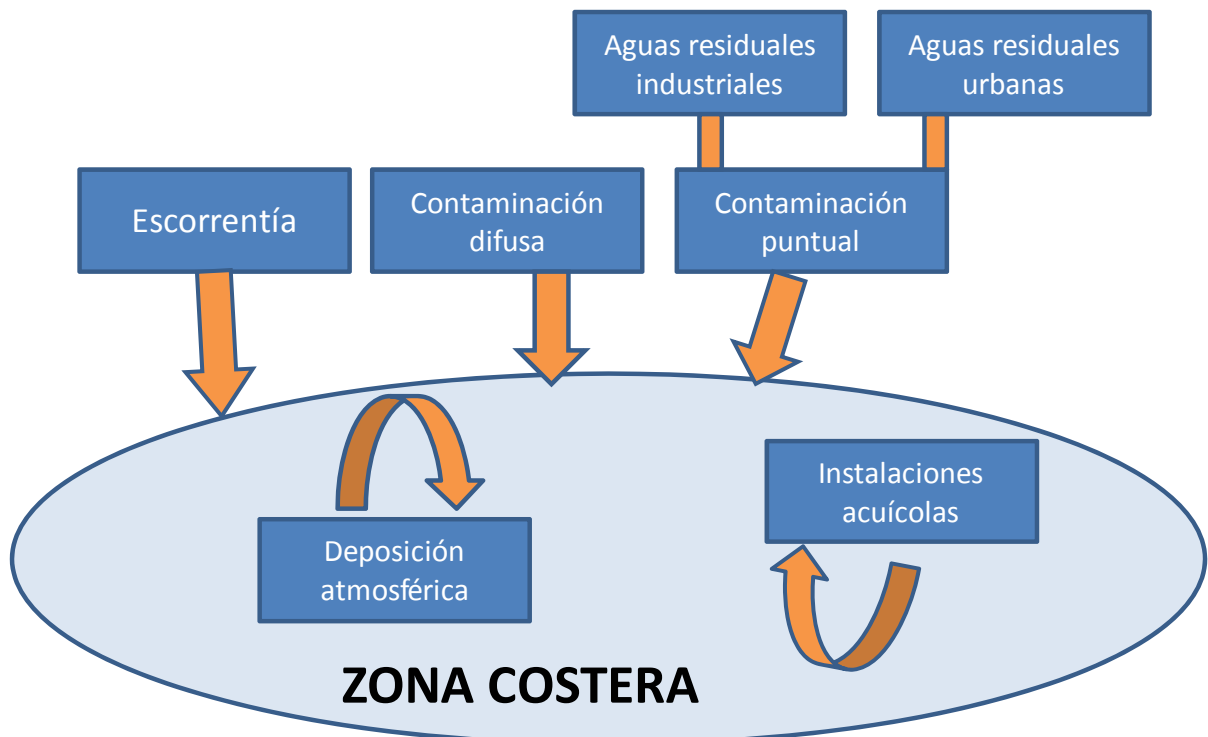


Figura 5.4. Esquema conceptual de las principales vías de descarga de nutrientes a la zona costera.

Dado su régimen de precipitaciones, es de esperar que los aportes de nutrientes por escorrentía en la zona costera de la Demarcación Canaria sean poco significativos y tengan en todo caso un carácter temporal puntual. Además, dada la elevada porosidad de las rocas volcánicas que forman las islas, la mayor parte del agua de lluvia se infiltra



en el terreno hacia las aguas subterráneas desde donde acaban vertiéndose directamente al mar. La cuantificación de estos vertidos es compleja y en todo caso no se dispone de datos que permitan estimar su incidencia.

En la Figura 5.5 se muestra la distribución de las fuentes puntuales de vertidos inventariadas en la Demarcación, según los datos recogidos en el informe sobre Presiones e Impactos elaborado por el Gobierno de Canarias para la implementación de la DMA (Gobierno de Canarias, 2005). La composición media del caudal procedente de estos vertidos se muestra en la Figura 5.6, donde se pone de manifiesto que las aguas residuales urbanas representan el principal vertido procedente de fuentes puntuales. En todas las Islas, excepto en El Hierro y Lanzarote, este tipo de vertido es el más cuantioso. Destacan también los vertidos de salmuera en Las Palmas y los de aguas de escorrentía en Tenerife. El sistema de vertido de aguas residuales más común en la Demarcación es la conducción desagüe y el vertido directo. Tan sólo un 10% de los vertidos se canalizan a través de emisario submarino. Esto implica que la incidencia de los vertidos debe estar muy focalizada en la franja más costera.

No se dispone de información que permita valorar la incidencia de la contaminación difusa en la Demarcación. Sin embargo es de esperar que estas fuentes contaminantes no aporten cantidades significativas de nutrientes debido a la escasa actividad agrícola y ganadera.

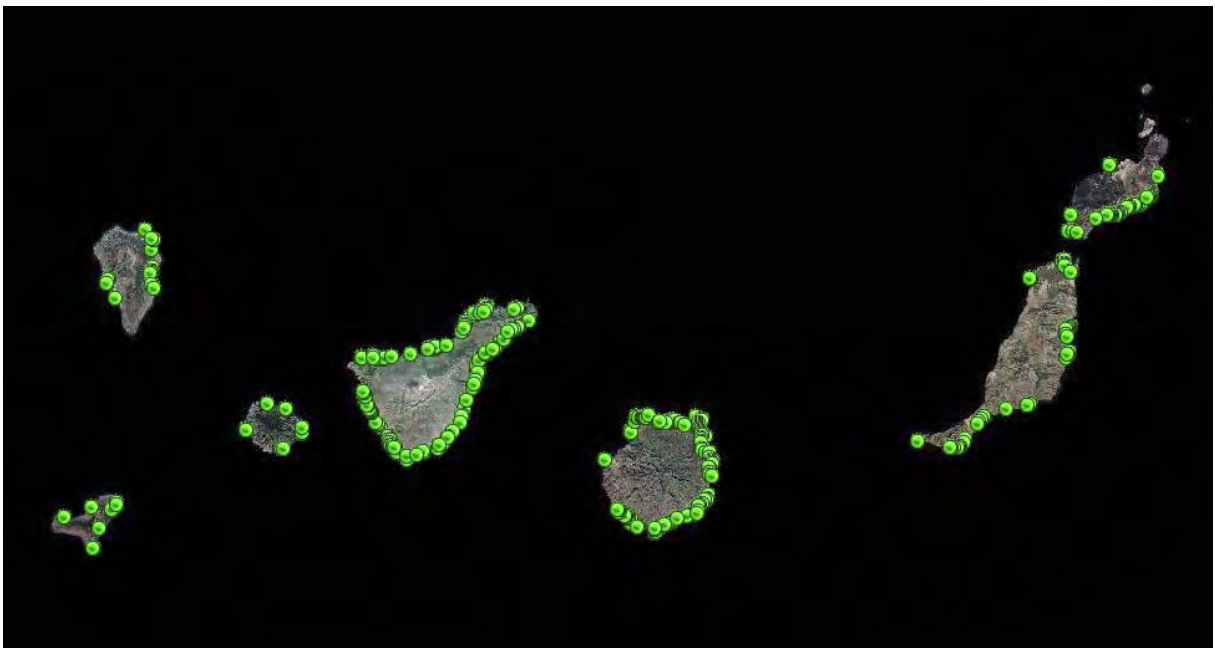


Figura 5.5. Posición de los puntos de vertido de tierra a mar del archipiélago Canario. Reproducido desde el IDE de Canarias (Infraestructura de Datos Espaciales de Canarias, Gobierno de Canarias).

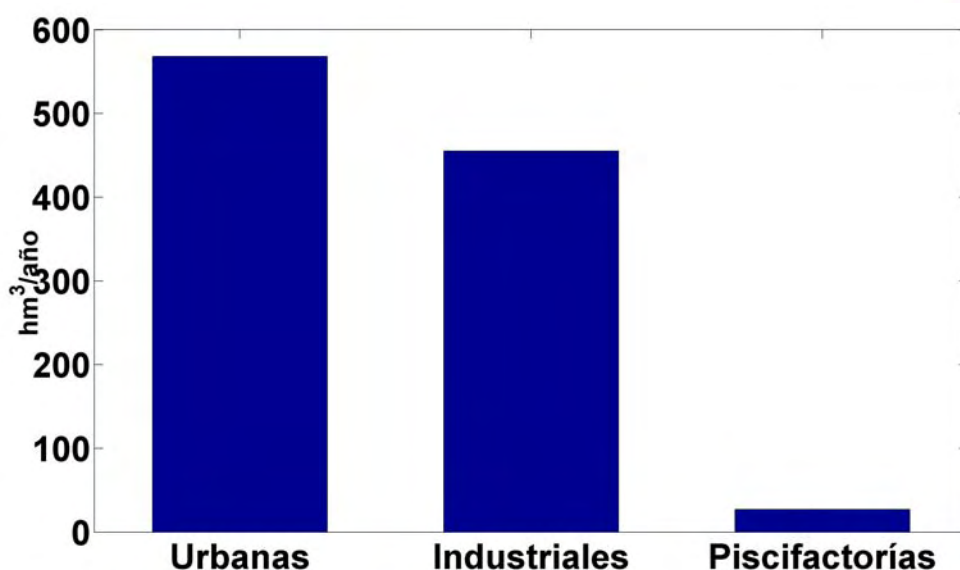


Figura 5.6. Autorizaciones de vertidos de aguas residuales en la Comunidad Autónoma de Canarias (datos extraídos del Informe de autorizaciones de vertidos al mar de 2010 del Gobierno de Canarias)

## 1.4. Fuentes de información

### 1.4.1. Programas de seguimiento

Desde el año 1994 se viene desarrollando el proyecto ESTOC (Estación Europea de Series Temporales Oceánicas de Canarias), que es un programa de seguimiento de las aguas oceánicas oligotróficas del giro subtropical al norte de Canarias (<http://www.estoc.es/es/>). Durante el proyecto se han realizado muestreos periódicos en la denominada estación ESTOC (29.167N, 15.50W) que además cuenta con un fondeo de instrumentos de medición en continuo y de registro de perfiles de salinidad y temperatura. Los muestreos proporcionan información de clorofila  $\alpha$  y nutrientes.

Por otro lado, en el marco de la implementación de la DMA se vienen llevando a cabo muestreos para la determinación del estado de los indicadores de los elementos de calidad biológicos y fisicoquímicos. Los resultados de la primera de las campañas oceanográficas de evaluación se documentaron en 2006 (Gobierno de Canarias, 2006a). Ese mismo año, se publicó el diseño del programa de seguimiento para la implementación de la DMA en todas las Demarcaciones Hidrográficas de Canarias, en el que se incluyó la determinación de casi todos los indicadores del Descriptor 5 (Gobierno de Canarias, 2006b). Sin embargo, no se ha podido disponer de los resultados de este programa para la elaboración del presente informe.



### 1.4.2. Fuentes de datos

La principal base de datos consultada ha sido la Red Nacional de Datos Oceanográficos administrada por el Centro de Datos del Instituto Español de Oceanografía (<http://indamar.ieo.es/>). En comparación con la información hidrológica, la información sobre nutrientes y clorofila *a* es bastante limitada. El Centro de Datos del IEO es el encargado de proveer datos a *SeaDataNet*, la infraestructura pan-europea que se encarga de la gestión de datos marinos y oceánicos. Por tanto, los datos disponibles para esta demarcación en ambas bases de datos son coincidentes. Se han hecho también consultas a la base de datos de la NOAA (*World Ocean Database*) y del ICES, así como a la base de datos CARINA. En general los datos disponibles de nutrientes son escasos, en especial en lo que se refiere a las aguas costeras. En la Figura 5.7 se muestra la posición de las estaciones de las cuales se han podido recabar datos de nutrientes y clorofila. La serie de datos recopilada abarca desde 1994 a 2010. En la misma se incluyen los datos suministrados por el Instituto Canario de Ciencias Marinas referentes a la estación ESTOC (datos de diarios y mensuales de nutrientes y clorofila *a* correspondientes al período 1994-2010).

Adicionalmente se han recopilado todas las imágenes disponibles del satélite MODIS-Aqua para la demarcación de Canarias, suministradas diariamente desde 2002 hasta 2010. Las imágenes tienen una resolución espacial de 1 km<sup>2</sup>.

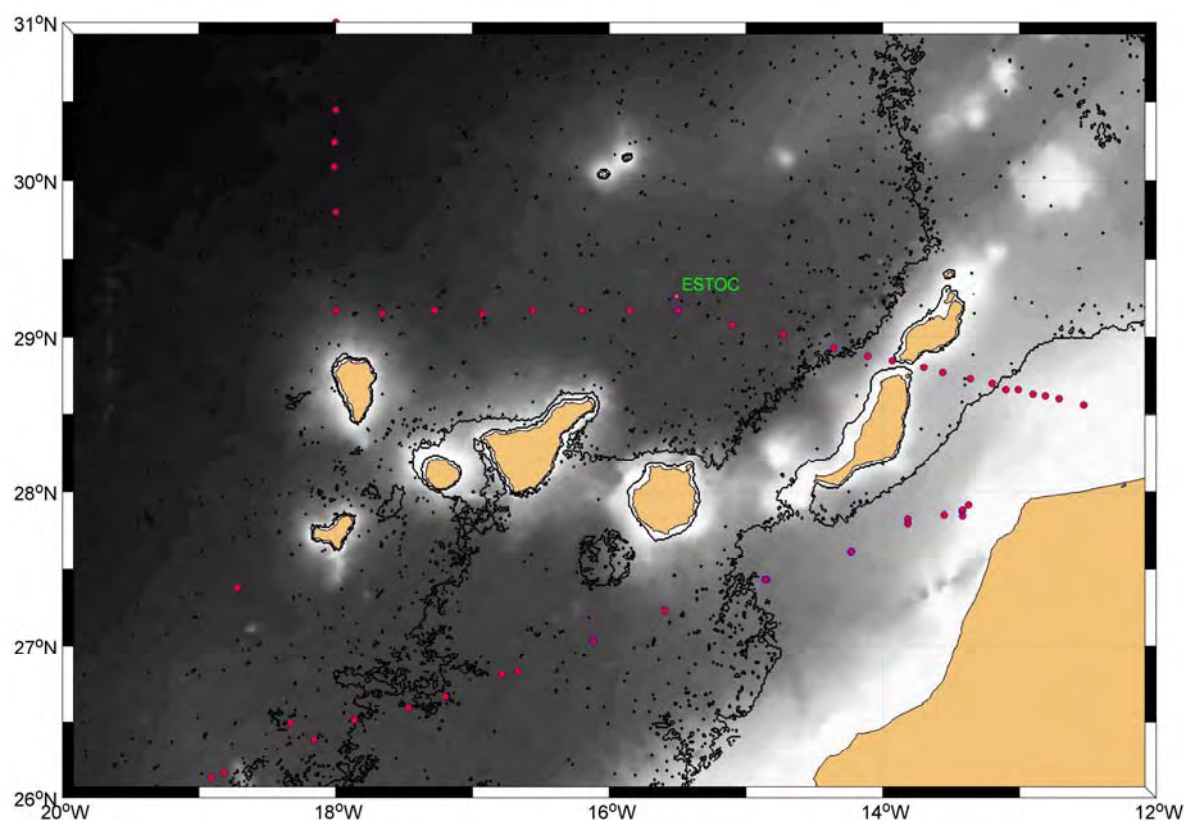


Figura 5.7. Posición de las estaciones de muestreo de las que se dispone información sobre algunos de los indicadores del Descriptor 5.

### 1.4.3. Otras fuentes de información

Se ha realizado una búsqueda exhaustiva de informes y artículos que contienen información que pudiera resultar útil para la evaluación de los indicadores del Descriptor 5. Dado que la mayoría de esta información está disponible en Internet, la principal herramienta de búsqueda ha sido este medio. Una de las principales fuentes de información sobre la implementación de la DMA en Canarias han sido los documentos elaborados por el Gobierno de Canarias y los cabildos insulares sobre las diferentes fases de aplicación de la Directiva. Adicionalmente, se han consultado los documentos disponibles sobre los trabajos encaminados a elaborar los nuevos planes hidrológicos de las diferentes demarcaciones hidrográficas de Canarias.

Por otro lado, para la localización de artículos científicos se han realizado consultas a la base de datos *Science Citation Index* accesible desde *Web of Knowledge*.



## 2. EVALUACIÓN DEL ESTADO AMBIENTAL ACTUAL

### 2.1. Conceptos clave y criterios de evaluación

Los indicadores del Descriptor 5 aparecen agrupados en tres categorías: indicadores de presión, efectos directos y efectos indirectos. Las tres categorías de indicadores responden a un esquema conceptual que no hace sino jerarquizar los efectos del impacto de la contaminación por nutrientes. Siguiendo este esquema, la evaluación de la eutrofización requiere del siguiente proceso secuencial:

- (1) Cálculo del impacto de los aportes antropogénicos sobre el balance de nutrientes en el medio marino
- (2) Determinación del impacto de este “exceso de nutrientes” sobre la productividad primaria y la consiguiente modificación de la disponibilidad de luz en la columna de agua (evaluación de los efectos directos)
- (3) Análisis del efecto del aumento de la productividad primaria sobre otras comunidades, particularmente sobre macrófitos perennes y otras comunidades bentónicas, por vía de la modificación de la disponibilidad de luz o de oxígeno (efectos indirectos).

Siguiendo este esquema, la evaluación del Descriptor 5 se debería centrar en determinar en qué medida la concentración de clorofila obtenida en una zona particular de la demarcación se explica por un “exceso de nutrientes” con origen en aportes desde fuentes alóctonas (Figura 5.4).

Teóricamente, la evaluación de la eutrofización requeriría definir en primer lugar una línea de base frente al cual comparar el estado actual. Idealmente, el estado de referencia sería aquel que es esperable en las áreas donde la incidencia de los aportes antropogénicos de nutrientes fuesen mínimos. Dadas las características oceanográficas de la Demarcación, en principio las áreas de referencia podrían ser todas aquellas zonas homogéneas hidrológicamente, que están alejadas suficientemente de las fuentes potenciales de contaminación. En definitiva, la zona no costera de la Demarcación. En todo caso, y como se ha mostrado previamente (Figuras 5.2 y 5.3) incluso en estas áreas no costeras se evidencia la presencia de un gradiente decreciente de productividad de este a oeste, asociado a la influencia de los afloramientos costeros. Con el fin de definir adecuadamente las condiciones de base teniendo en cuenta estas diferencias en concentración de clorofila  $a$  asociadas a variabilidad hidrológica, se ha llevado a cabo un análisis estadístico de las imágenes del





satélite MODIS-Aqua (descrito en detalle en el ANEXO II). Una vez definidas las áreas, se ha generado una serie temporal de valores de clorofila *a* y nutrientes para cada una de estas áreas de productividad contrastante, agregando los datos procedentes de muestreos realizados en las estaciones localizadas dentro de cada zona. Los valores de base para los indicadores en cada área se han calculado a partir del análisis estadístico de cada serie temporal. Los estadísticos que se han usado son la media y el percentil 90.

El paso final en la evaluación del BEA debería ser la comparación de los valores de base obtenidos con los datos disponibles para el período actual procedentes de las masas de agua costera (donde se espera que la incidencia de la contaminación sea más acusada). Sin embargo, no se ha podido realizar esta comparación porque no se dispone de datos que permitan caracterizar esta franja costera. Alternativamente, se ha optado por comparar los valores de base calculados en el presente informe con los valores de referencia que la Comunidad Autónoma está usando en la implementación de la DMA.

## ***2.2. Elementos de evaluación***

### **2.2.1. Fundamento en la selección de criterios e indicadores: viabilidad y operatividad. Justificación de la selección de parámetros o componentes de cada indicador.**

#### *2.2.1.1 Nutrientes (indicador 5.1.1)*

En el Cuadro 1 del Anexo III de la DMEM se especifica la lista indicativa de características, presiones e impactos que deben ser tenidas en cuenta en la aplicación del Artículo 8 (Evaluación). Entre las características físico-químicas se enumeran los nutrientes que se espera sean tenidos en cuenta: nitrógeno inorgánico disuelto (NID), nitrógeno total (NT), fósforo inorgánico disuelto (PID), fósforo total (PT) y carbono orgánico total (COT). Las tres especies de NID presentes en el agua son nitrato, nitrito y amonio, mientras que el fósforo inorgánico disuelto se encuentra en forma de fosfato y se suele medir como ortofosfato (el ión  $\text{PO}_4^{-3}$ ) que son los fosfatos más comunes. A estos nutrientes habría que sumar el silicato (Si) que es necesario para el crecimiento de las diatomeas (uno de los grupos de fitoplancton costero más importante cuantitativa y funcionalmente). Carbono, nitrógeno y fósforo total hacen referencia a la suma de todas las formas orgánicas e inorgánicas en que se combinan estos



elementos en el agua. El principal factor que ha determinado la posibilidad o no de usar los indicadores del Descriptor 5 en la evaluación de la Demarcación de Canarias ha sido la disponibilidad de datos. Finalmente sólo se cuenta con datos suficientes de nitrato y fosfato para definir adecuadamente valores de referencia.

Los nutrientes en la Demarcación suelen presentar una distribución vertical no homogénea caracterizada por muy bajas concentraciones en la capa superficial y una fuerte nutriclina a profundidades intermedias (Figura 5.8; ver además las referencias citadas en el apartado 1.2). Por lo tanto, la “columna de agua” como tal no se puede caracterizar por una única concentración de nutrientes. Más bien habría que definir concentraciones características asociadas a cada una de estas capas de agua. En el presente informe se ha optado por considerar sólo la capa de agua más superficial (hasta 50 m) para el cálculo de este indicador, dado que, en promedio, la nutriclina se suele situar a esta profundidad (Figura 5.8). Además, dadas las características ópticas habituales de la columna de agua en la Demarcación, el límite inferior de la capa eufótica se sitúa normalmente dentro de esta capa superior de 50 m. Nótese también que la profundidad media de las masas de agua costera no excede de 50 m (Tabla 5.1).

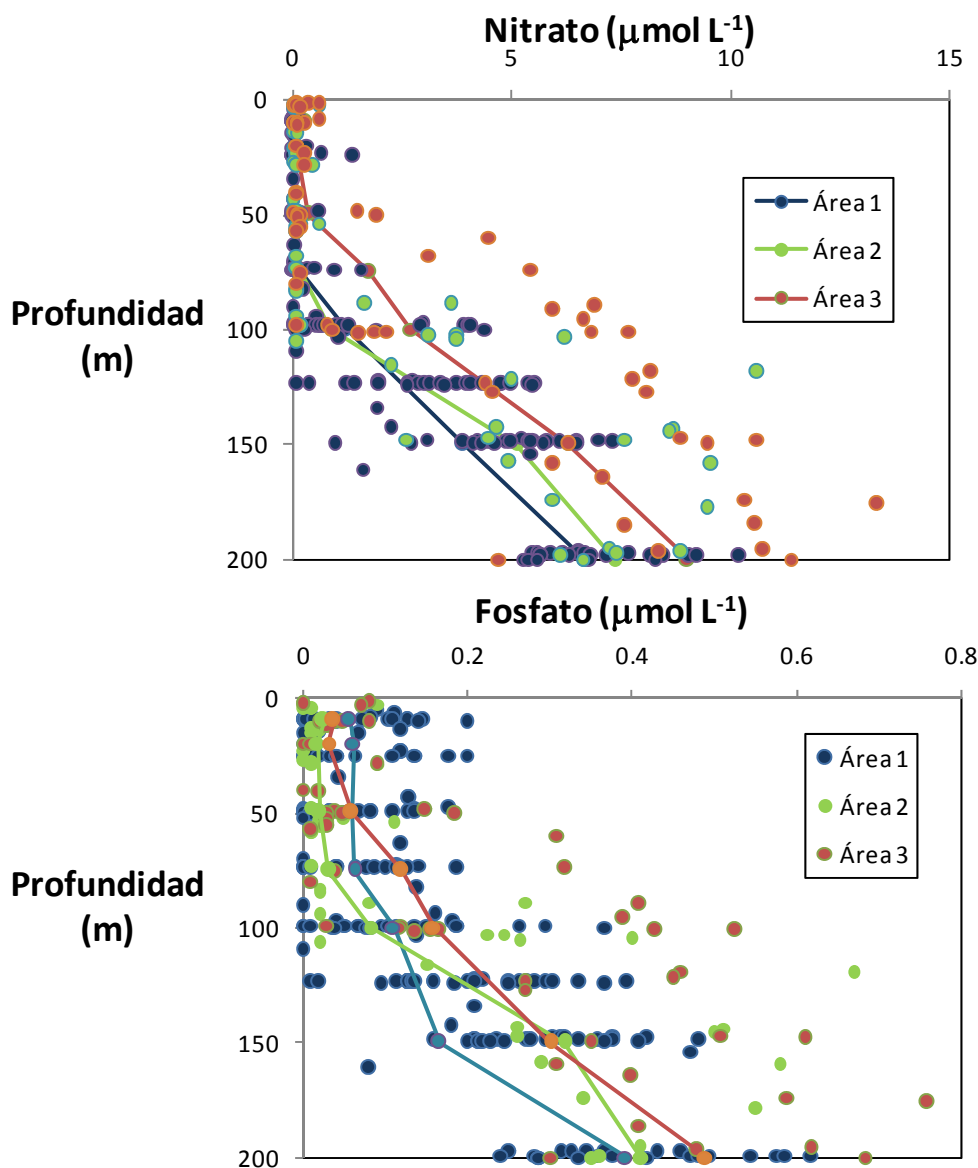


Figura 5.8. Distribución en profundidad de las concentraciones de nitrato y fosfato en diferentes áreas de productividad contrastante de la demarcación. Las líneas continuas indican el promedio por profundidad. Ver el apartado 2.3 para una explicación sobre las tres áreas de productividad.

#### 2.2.1.2. Concentración de clorofila a en la columna de agua (indicador 5.2.1)

Los perfiles verticales de clorofila se caracterizan por la presencia de un máximo subsuperficial cuya posición es muy variable dependiendo del área de estudio y de las condiciones hidrológicas durante las cuales se realiza el muestreo (Barton et al., 1998, Davenport et al., 2002, Hernández-León et al., 2007). No obstante, el máximo subsuperficial de clorofila se suele encontrar dentro de la capa superior de 50 m, por debajo de esta profundidad la concentración de clorofila suele disminuir



notablemente. Por otro lado, estudios anteriores indican que la concentración de clorofila en esta capa superficial está estrechamente correlacionada con la concentración de clorofila  $a$  integrada en toda la columna de agua lo cual indica que la mayor parte de la producción primaria tiene lugar en esa capa de agua. Así pues, y como en el caso de los nutrientes, para el uso de este indicador se ha optado por considerar sólo los valores de clorofila obtenidos en la capa superior de la columna de agua.

Además de los datos de clorofila  $a$  procedentes de campañas de investigación oceanográfica, se ha llevado a cabo una recopilación de datos de clorofila  $a$  superficial generados a partir de imágenes de satélite. Como se ha comentado anteriormente, el uso de imágenes de color del océano tiene enorme potencial en la monitorización de los riesgos de eutrofización en zonas costeras (Klemas, 2011). De hecho, se ha aplicado a la detección de *blooms* de diferentes grupos taxonómicos de fitoplancton (Hu *et al.*, 2005; Ahn y Shanmugam, 2006; Carvalho *et al.*, 2011; Shanmugam *et al.*, 2008; Jackson *et al.*, 2011) y a la descripción de cambios regionales en los patrones de distribución de la clorofila  $a$  (Gohin *et al.*, 2008). Sin embargo, como se ha discutido anteriormente, las limitaciones de esta técnica para la estimación de valores de clorofila  $a$  con un adecuado grado de certidumbre son notables. Además ya se ha mostrado que no se dispone de un algoritmo regional para la Demarcación que en parte reduzca esta incertidumbre, por lo que en el presente informe se usará el algoritmo OC3M. Teniendo en cuenta estas limitaciones, la información de satélite será tratada estadísticamente con el fin de determinar los principales patrones de variabilidad temporal y espacial de la clorofila  $a$ . El tratamiento estadístico de las imágenes de satélite (que se describirá a continuación) va encaminado a detectar estos patrones de variabilidad más allá de la incertidumbre asociada a los valores de clorofila  $a$  calculados a partir de los algoritmos disponibles. En el mismo sentido, Vantrepotte y Mélin (2010) han demostrado que las imágenes de satélite reproducen adecuadamente la variabilidad estacional y temporal en los diferentes mares regionales europeos, independientemente de la incertidumbre asociada a los productos derivados de las imágenes de satélite.

Las aguas de la Demarcación están clasificadas ópticamente como aguas Tipo 1, esto es, son aguas en las que la penetración de la luz es determinada principalmente por la concentración de clorofila. Por otro lado, dado el rango de variabilidad de la clorofila  $a$  en la Demarcación, la transparencia de la columna de agua no debe ser un factor relevante en la limitación de la penetración de la luz en las masas de agua costera (todas ellas de profundidad inferior a 50 m). Por tanto este indicador no será considerado en la evaluación del Descriptor 5.



#### *2.2.1.3. Abundancia de macroalgas oportunistas (indicador 5.2.3)*

No se dispone de datos extensivos sobre la abundancia de este grupo de algas más allá de los publicados en el informe publicado por el Gobierno de Canarias en 2006. Los datos son por tanto insuficientes para evaluar el estado actual de este indicador.

#### *2.2.1.4. Cambios en la composición de especies (indicador 5.2.4)*

Los cambios en la proporción relativa de los principales nutrientes pueden dar lugar a cambios en la abundancia relativa de los grupos taxonómicos del fitoplancton (en particular diatomeas y dinoflagelados). Así, se considera que una disminución de la proporción de nitrato relativa a fosfato o sílice favorece el crecimiento de dinoflagelados frente a diatomeas. Los datos disponibles sobre la composición taxonómica del plancton mayor de 10  $\mu\text{m}$  en la Demarcación de Canarias proceden de muestreos puntuales (ver como ejemplo, Basterretxea y Arístegui, 2000; Hernández, 2001), insuficientes para llevar a cabo una valoración de las tendencias temporales. Por tanto, este indicador no puede ser usado para la evaluación del Descriptor.

#### *2.2.1.5. Cambios en la abundancia de algas perennes y angiospermas (indicador 5.3.1)*

La abundancia de algas perennes y angiospermas será evaluada en el marco del Descriptor 6, por tanto para la evaluación del indicador 5.3.1 se asume la presentada para el indicador 6.2.2 del Descriptor 6.

### **2.3. Determinación de valores de base**

#### *2.3.1. Áreas con diferente productividad*

Conforme al mapa de distribución superficial de clorofila *a* de satélite mostrado en la Figura 5.2, resulta evidente que la productividad en la Demarcación Canaria varía horizontalmente según la proximidad al continente, principalmente a causa del afloramiento costero en la costa africana, a los filamentos que se desprenden de él debido a la circulación superficial inducida por el viento y a la variabilidad asociada a un pequeño giro ciclónico que se produce al suroeste de Gran Canaria. Esta



heterogeneidad en la distribución de la clorofila  $a$  y la productividad primaria es corroborada por la información publicada desde los diferentes estudios oceanográficos que se han realizado en la zona (ver como ejemplo los artículos de Arístegui et al. 1997; Barton et al., 1998; Hernández-León et al. 2007). Con el fin de delimitar más claramente estas áreas de productividad contrastante, se llevó a cabo un análisis clúster no jerárquico con los datos de clorofila  $a$  de satélite de la demarcación. El procedimiento analítico se describe en detalle en el ANEXO II. En breve, se obtuvo la serie temporal de imágenes diarias de satélite para cada uno de los píxeles de la Demarcación (período 2002-2010). Se calculó el promedio mensual de clorofila  $a$  de satélite para cada píxel a partir de toda la serie temporal. Posteriormente, los píxeles se clasificaron mediante un análisis clúster no jerárquico (*k-means*) en el que se utilizaron como variables las medias mensuales. Los resultados del análisis se muestran en la Figura 5.9. Hay que notar que de acuerdo con el procedimiento seguido, cada píxel de la Demarcación resultó agrupado no sólo en función de la concentración media de clorofila de satélite sino también en función de la distribución mensual de la misma.

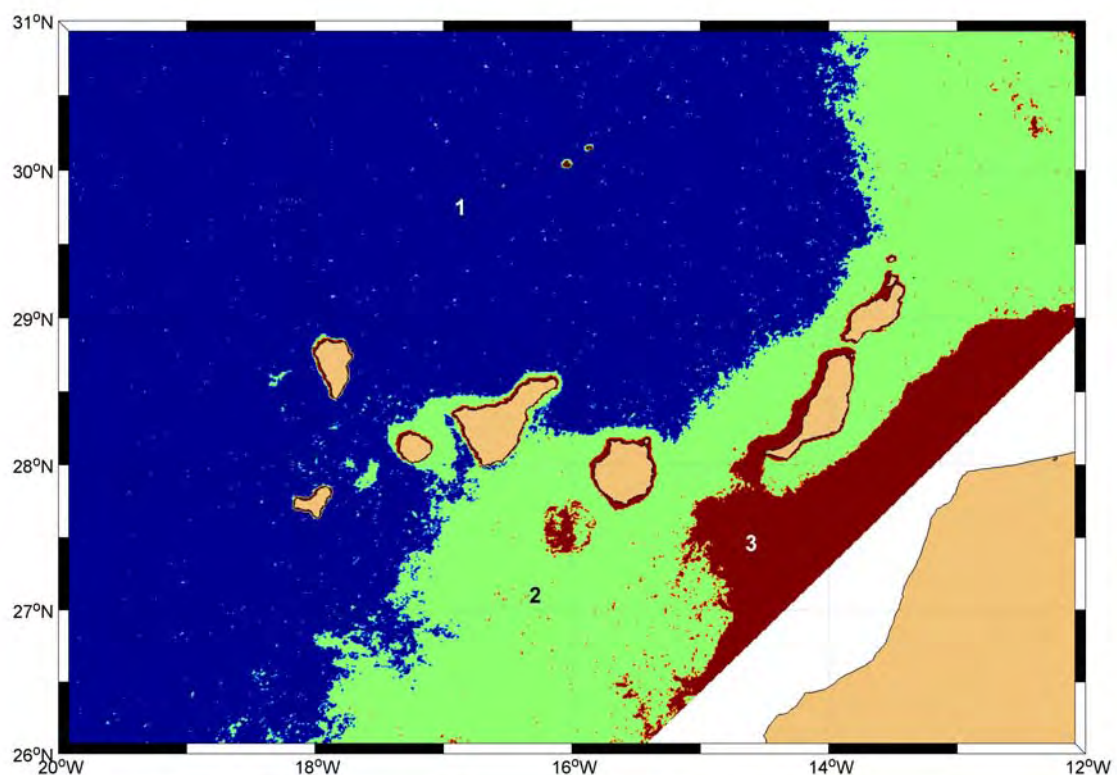


Figura 5.9. Clústeres obtenidos a partir de las series temporales de clorofila  $a$  de satélite para los 12 meses del ciclo anual.



Las concentraciones mensuales de clorofila  $a$  promediadas para las tres grupos de píxeles (o áreas de productividad contrastante según la terminología que se empleará en adelante) se muestran en la Figura 5.10. De acuerdo con este análisis, la demarcación de Canarias puede considerarse dividida en tres sectores en cuanto a su productividad. La zona de influencia directa del afloramiento costero de la costa africana ocupa la parte más oriental de la Demarcación, que incluye también las costas occidentales de las islas de Fuerteventura y Lanzarote (Área 3). El resto de la Demarcación está dividido en dos bandas de productividad. La más cercana al continente (en adelante Área 2) incluye las islas de Gran Canaria, La Gomera y Tenerife. La más alejada (Área 1) incluye las islas de La Palma y el Hierro. En las tres áreas, el pico de producción anual se produce en febrero (Figura 5.10). En el área 3 se produce además un segundo pico anual en Julio.

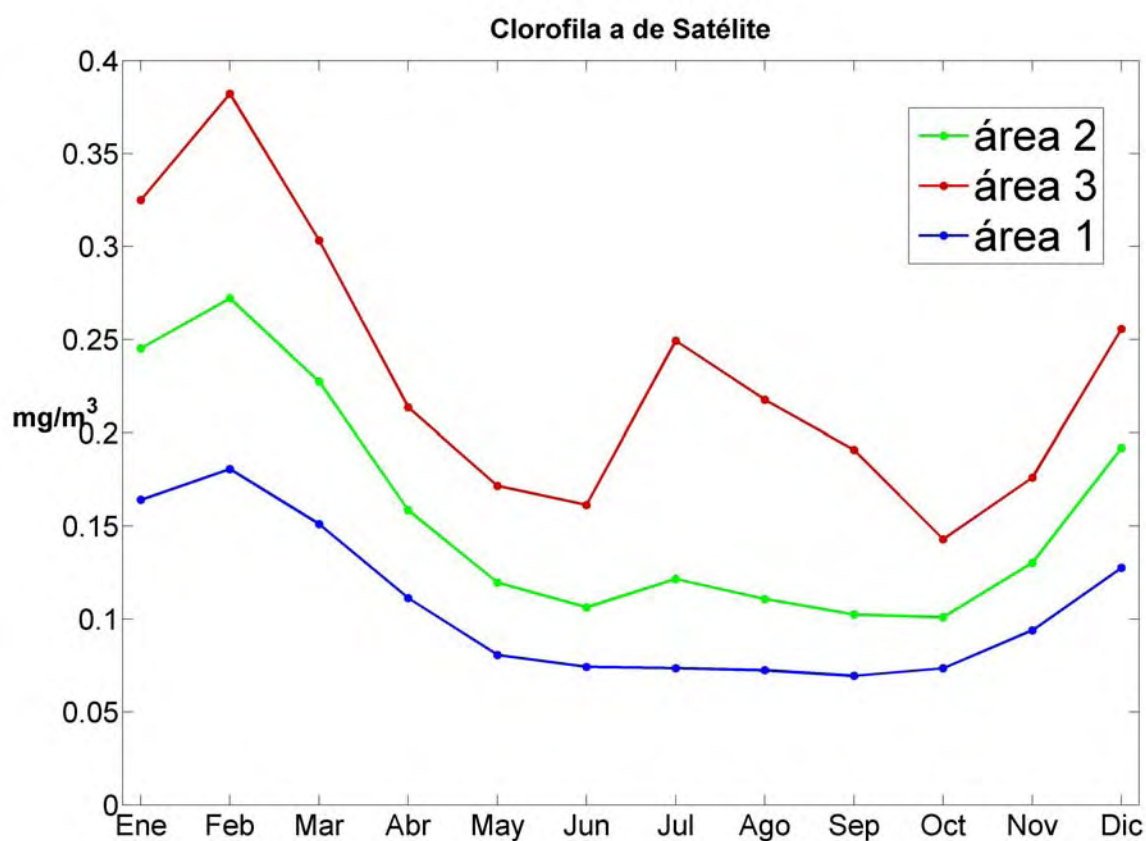


Figura 5.10. Variación mensual de la concentración de clorofila  $a$  de satélite promediada para cada zona de productividad identificada en la Figura 5.9.



Tabla 5.3. Áreas de productividad contrastante identificadas a partir de las imágenes de satélite. La extensión indica el porcentaje de demarcación marina ocupada por cada área.

Identificador de las áreas	Denominación	Extensión (%)
Área3	Aguas de influencia del afloramiento africano	9
Área2	Aguas oceánicas orientales	28
Área1	Aguas oceánicas occidentales	62

### 2.3.2 Valores de base de los indicadores

A continuación se presentarán los valores de base para los indicadores que son susceptibles de análisis cuantitativo de acuerdo con los datos que se han conseguido recopilar para cada zona de productividad contrastante identificada por imágenes de satélite. Se ha optado por presentar los valores del percentil 90 además de la media, ya que el primero es el estadístico que normalmente se está usando para establecer los valores de referencia en el marco de la aplicación de otras normativas (DMA) y del Procedimiento Común de OSPAR. Por otro lado, y de acuerdo con la distribución anual de la clorofila *a* en la demarcación, se presentan dos valores de base para este indicador, uno de ellos para caracterizar el periodo anual más productivo (meses de enero, febrero y marzo) y el otro para caracterizar el resto del periodo anual. En el Anexo II se ofrece una descripción estadística detallada de las series de datos para cada área de productividad contrastante a partir de las cuales se han generado los valores mostrados a continuación.

### Niveles de nutrientes

Como se ha comentado, la mayoría de los datos de nutrientes disponibles son los de la estación ESTOC, cuya localización se indica en la Figura 5.7. No obstante, se han obtenido también algunos datos adicionales procedentes de las bases de datos consultadas. Los valores del percentil 90 de nitrato calculados para las tres áreas de productividad contrastante se muestran en la Figura 5.11. La concentración de nitrato+nitrito en la capa superficial de 50 m del Área 1 varió desde valores menores al límite de detección hasta un máximo de  $1,4 \mu\text{mol L}^{-1}$  (Figura 5.12). El rango de





variabilidad del nitrato en las otras dos áreas de productividad contrastante fue similar. Sin embargo, en promedio las concentraciones de nitrato fueron mayores en el Área 3 ( $0,22 \mu\text{mol L}^{-1}$ ) que en las otras dos áreas ( $0,17$  y  $0,11 \mu\text{mol L}^{-1}$ , para las Áreas 1 y 2, respectivamente). Los datos de concentración de nitrato obtenidos para el Área 1 durante el período de mayor productividad y el resto del ciclo anual no fueron significativamente diferentes (Figura 5.12). En general, no se encontró ningún patrón de variabilidad definido para el nitrito (por otro lado en el 90% de las muestras su concentración estuvo por debajo de los límites de detección). Por tanto se considera que esta forma de nitrógeno inorgánico no es relevante en el contexto de la evaluación del Descriptor 5. En relación con el fosfato, tanto el percentil 90 como la media fueron algo menores en el Área 2 (Figura 5.11).

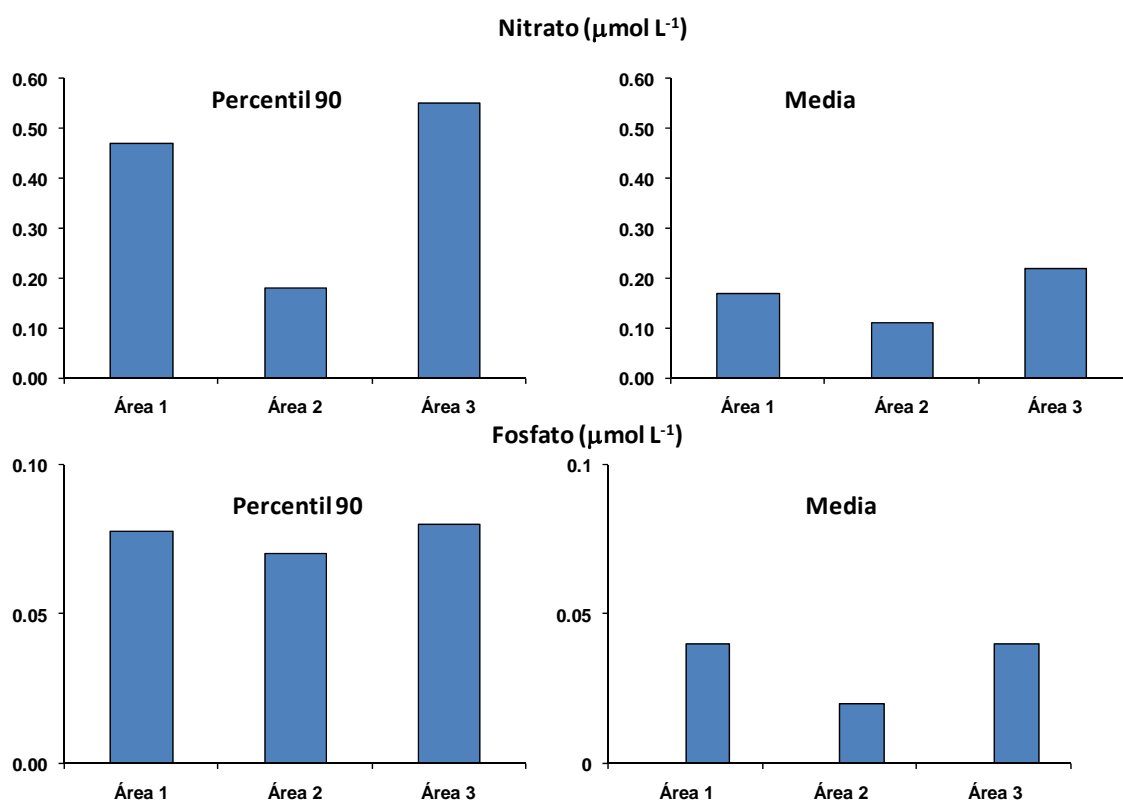


Figura 5.11. Percentil 90 y media de la concentración de nitrato y de fosfato en las tres áreas de productividad contrastante identificadas en la Demarcación de Canarias.

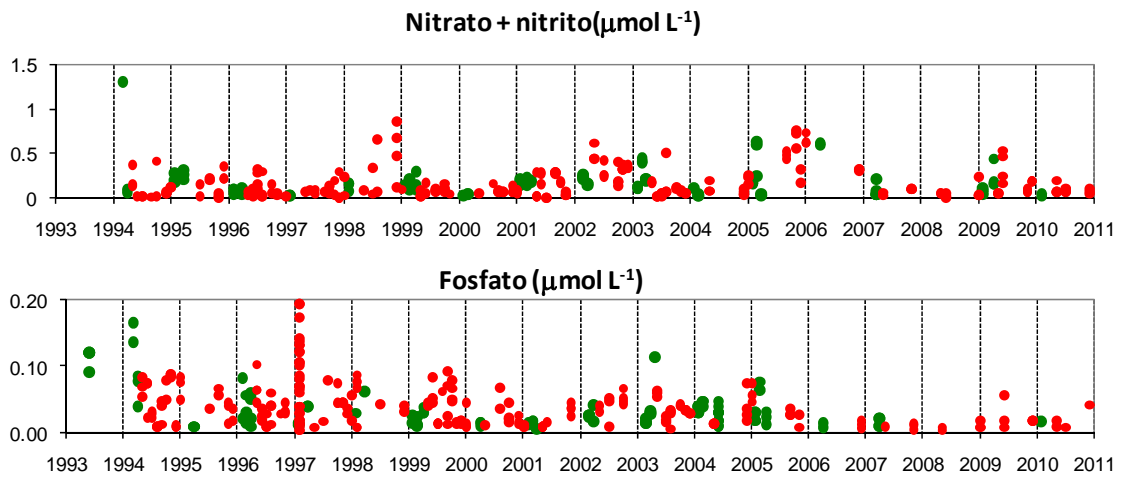


Figura 5.12. Concentraciones de nitrato+nitrito y de fosfato obtenidas en la estación ESTOC (Área 1). En verde se indican los valores obtenidos durante el período más productivo y en rojo los obtenidos durante el resto del ciclo anual.

### Clorofila *a*

No se han obtenido datos de clorofila *a in situ* en las áreas de productividad 2 y 3. Los datos disponibles para el Área 1 (todos ellos procedentes de la estación ESTOC) se muestran en la Figura 5.13. Las mayores concentraciones de clorofila *a* se registraron en 1999, aunque estas fueron en todo caso menores de  $1 \mu\text{g L}^{-1}$ . En general, los valores de concentración de clorofila están dentro del rango de los valores publicados previamente (Real *et al.*, 1981; Ojeda, 1986; Arístegui, 1986; Hernández y Miranda, 1987). Por otro lado, en promedio la concentración de clorofila para el período más productivo fue mayor que para el resto del año. La serie temporal de clorofila *a* de satélite para el Área 1 presenta un rango de variabilidad algo menor que la serie de datos *in situ* (Figura 5.14). Sin embargo si se considera sólo el periodo de 2002 a 2010, el rango de variabilidad de ambas series temporales es muy similar, con máximos en ambos casos en 2009. En consecuencia, el percentil 90 de la serie temporal de clorofila *a in situ* es algo mayor que el de la clorofila *a* de satélite (Tabla 5.4). En promedio, la concentración de clorofila *a* de satélite fue entre un 25% y un 12% mayor que el promedio de la concentración de clorofila *a in situ*. El percentil 90 de la concentración de clorofila *a* de satélite para las Áreas de productividad 2 y 3 fue mayor que el del



Área 1 tanto durante el período más productivo como durante el resto del ciclo anual (Figura 5.15).

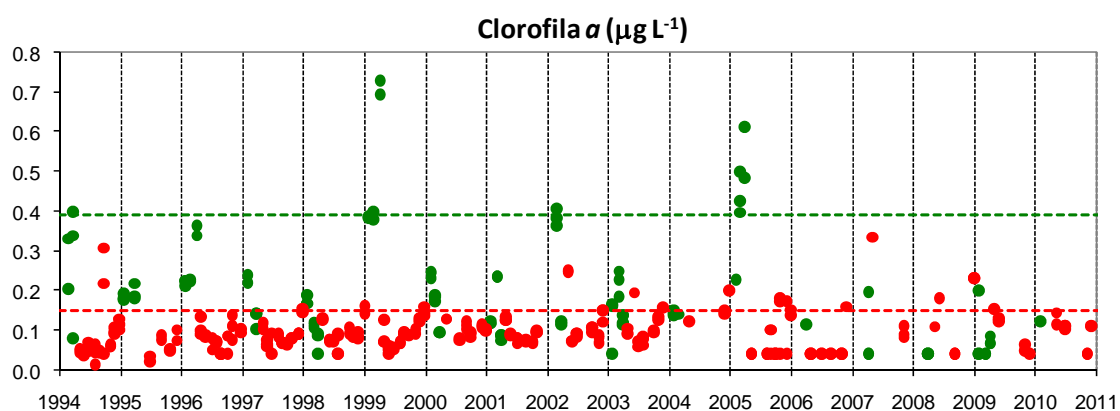


Figura 5.13. Concentración de clorofila *a* en la estación ESTOC (Área 1). En verde se indican los valores obtenidos durante el período más productivo y en rojo los obtenidos durante el resto del ciclo anual.

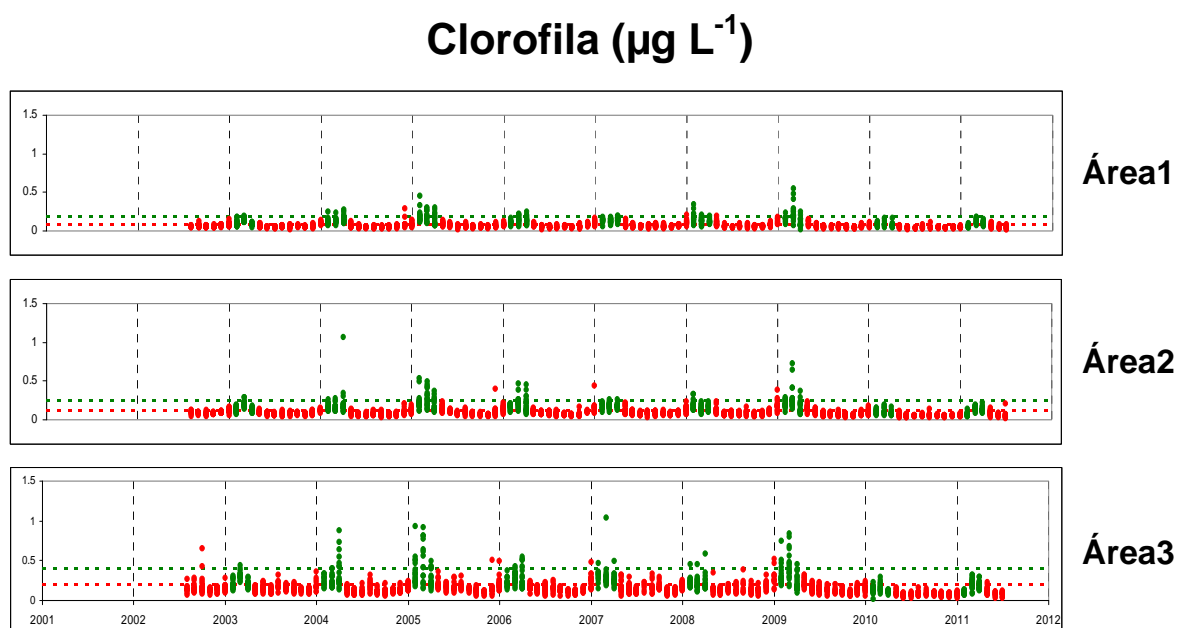


Figura 5.14. Variabilidad temporal de la concentración de clorofila *a* en las áreas de productividad contrastante. Las líneas horizontales muestran el percentil90 para el período más productivo (de marzo a mayo; línea discontinua verde) y para el resto del año (línea discontinua roja).

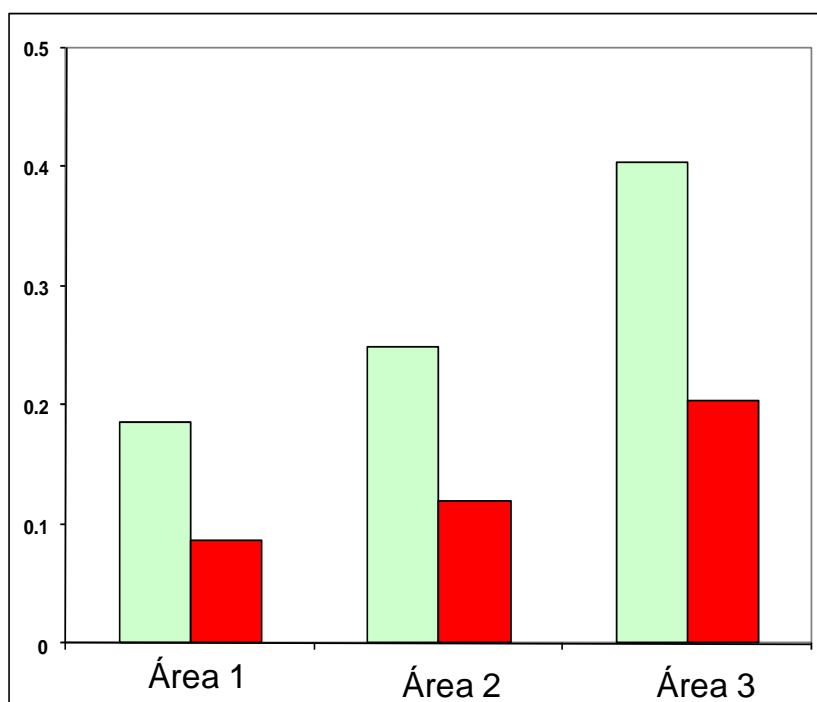


Figura 5.14. Percentil 90 de la clorofila *a* para las tres áreas de productividad calculado a partir de los promedios diarios de la concentración de clorofila *a* de satélite para el período anual más productivo (barras verdes) y para el resto del año.



Tabla 5.4. Valores de base (percentil 90; P90) de clorofila *a* basados en datos tomados *in situ* (datos ESTOC) y de satélite para las tres áreas de productividad contrastante de la Demarcación de Canarias.

Clorofila <i>a</i> ( $\mu\text{g/L}$ )	P90-Periodo más productivo	P90-Resto del ciclo anual
<b>Datos ESTOC (área 1)</b>	0,39	0,15
<b>Área 1</b>	0,19	0,09
<b>Área 2</b>	0,25	0,12
<b>Área 3</b>	0,40	0,20

*Valores límite para la definición del estado Bueno/Moderado establecidos en aplicación de la DMA*

En el informe “Condiciones de Referencia de las Tipologías de las Masas de Agua Costeras” del Gobierno de Canarias (2006) se publicaron los valores de referencia de los diferentes indicadores de calidad biológicos y fisicoquímicos de la DMA para los diferentes tipos de masas de agua costera (Tabla 5.5). Los valores de referencia de la DMA para la clorofila están basados en el percentil 90, por tanto son directamente comparables a los valores de base mostrados en la Tabla 5.4. Para todas las masas de agua se estableció como umbral para delimitar el límite de clase Muy Bueno  $1 \mu\text{g L}^{-1}$ , y el de la clase Bueno  $2 \mu\text{g L}^{-1}$ , valores algo mayores a los valores de base obtenidos en el presente informe. En el caso de los nutrientes, se tomó como valor umbral para determinar el estado Bueno/Muy Bueno el menor valor de concentración registrado, y como límite del estado Malo la mayor concentración. Estos umbrales para cada tipo de masa de agua costera se muestran en la Tabla 5.5 junto con los propuestos en el presente informe (todos ellos basados en el percentil 90). Es de destacar que los valores de referencia propuestos para nitrato son relativamente bajos en comparación con los valores de base calculados en el presente informe.



Tabla 5.5. Valores de concentración de clorofila *a* y nutrientes propuestos por el Gobierno de Canarias (2006) para la definición de los diferentes estados de calidad en aplicación de la DMA. Se muestran para comparación los valores de base (percentil 90) de clorofila *a* obtenidos en el presente informe.

Elemento de calidad	Tipo de agua	Límite bueno/muy bueno	Límite bueno/moderado	Límite Malo/Muy malo	Valores de base (percentil 90) (DMEM)
Clorofila <i>a</i> (µg/L) (percentil)	I	<1.00	1 – 4	>4	0,37 – 0,54
	II				
	III				
	IV				
	V				
Nitratos (µmol/L)	I	0.01	-	8.85	0,10 – 0,55
	II	0.00		12.71	
	III	0.00		7.61	
	IV	0.20		15.17	
	V	0.01		15.22	
Fosfatos (µmol/L)	I	0.00	-	0.29	0,02 – 0,06
	II	0.03		0.69	
	III	0.03		0.27	
	IV	0.10		2.10	
	V	0.14		0.83	

## ***2.4. Evaluación del estado actual. Principales presiones, actividades e impactos.***

### **2.4.1. Estado actual y tendencias de las principales presiones**

En las memorias de los Planes Hidrológicos que gestionan las masas de agua costera de la Demarcación Marina de Canarias, se ofrece información sobre la distribución de las principales fuentes contaminantes. En general esta misma información es la recogida en *El informe de los artículos 5 y 6 de la Directiva Marco del Agua* publicado por el Gobierno de Canarias (2005). En el citado informe, se recoge la configuración de los puntos de vertido de aguas residuales urbanas, industriales y salmueras que se reproducen en las Figuras 15, 16 y 17. De acuerdo con esta distribución de vertidos, en el mismo documento se identifican las áreas con riesgo de contaminación (Figura 5.18).



Más allá de esta distribución de las áreas de riesgo, no se cuenta con datos que permitan estimar la cantidad de nutrientes procedentes de estas fuentes de contaminación. Por tanto no es posible evaluar su impacto sobre la concentración de nutrientes en las masas de agua costera, y mucho menos determinar su tendencia temporal.

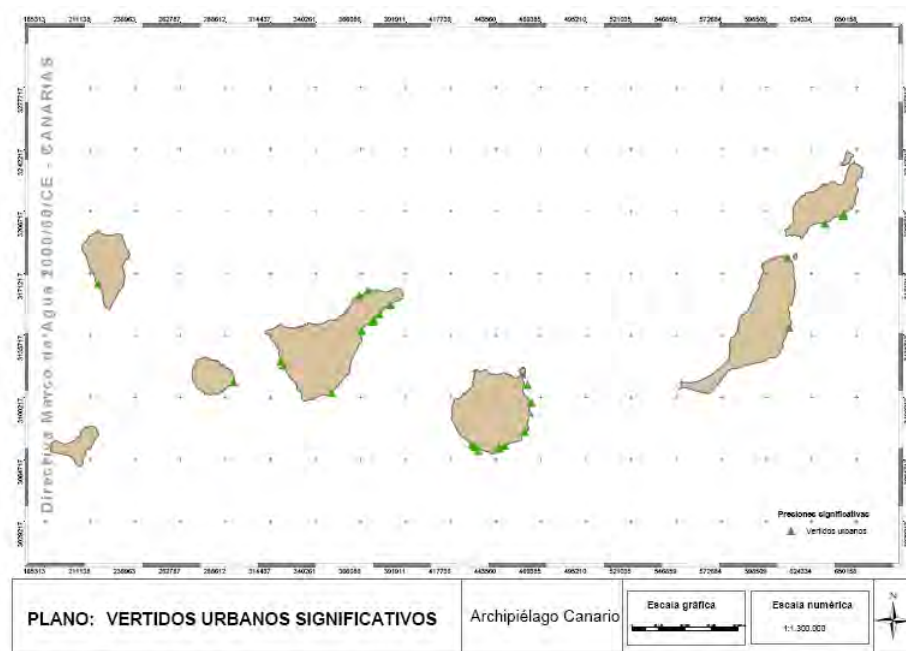


Figura 5.15. Plano de la distribución de vertidos urbanos publicado en *El informe de los artículos 5 y 6 de la Directiva Marco del Agua del Gobierno de Canarias (2005)*.

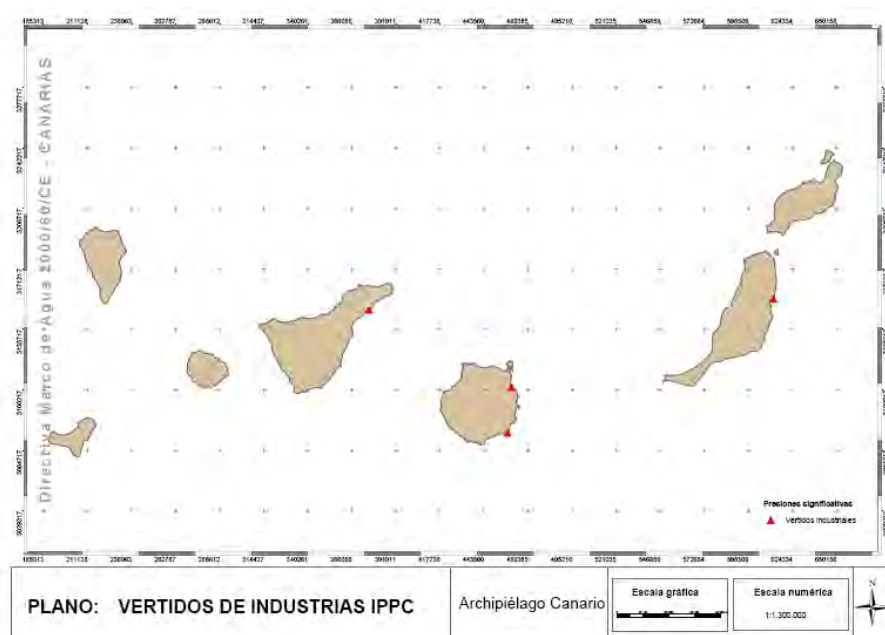




Figura 5.16. Plano de la distribución de vertidos industriales publicado en *El informe de los artículos 5 y 6 de la Directiva Marco del Agua* del Gobierno de Canarias (2005).

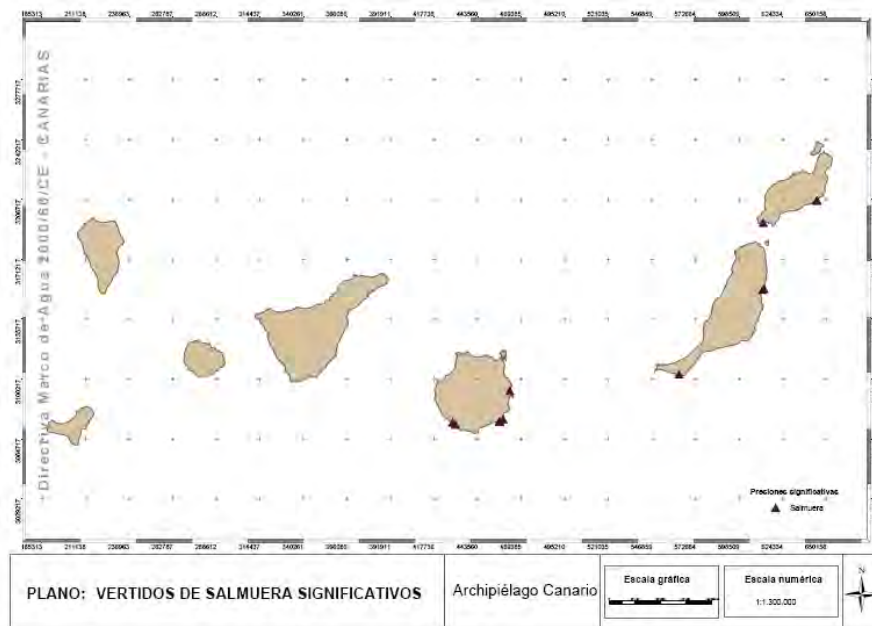


Figura 5.17. Plano de la distribución de vertidos industriales publicado en *El informe de los artículos 5 y 6 de la Directiva Marco del Agua* del Gobierno de Canarias (2005).

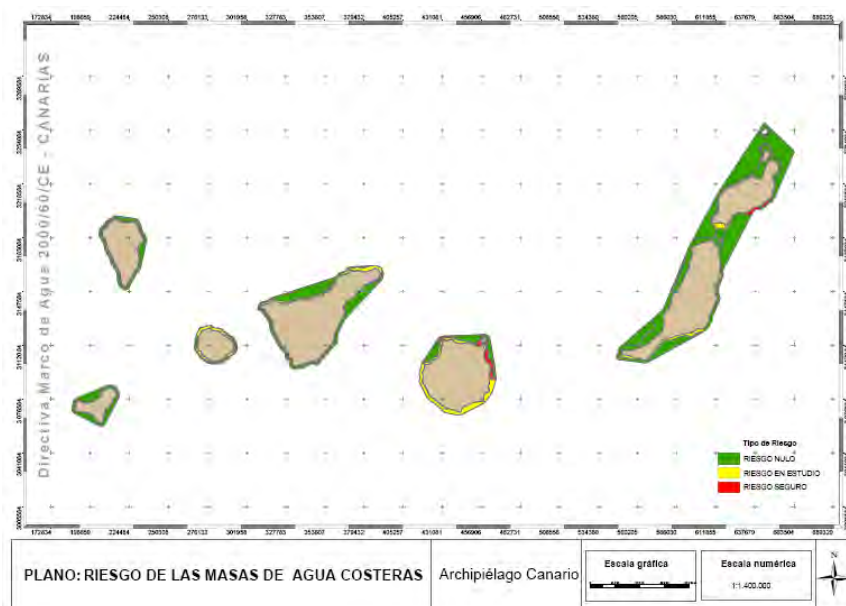


Figura 5.18. Plano de la distribución de masas de agua costera en riesgo según la distribución de los puntos de vertido inventariados en la Demarcación de Canarias. Reproducido desde el *Informe de los artículos 5 y 6 de la Directiva Marco del Agua* del Gobierno de Canarias (2005).





#### **2.4.2. Estado actual y tendencias temporales de los indicadores de presión**

Los datos de nutrientes obtenidos en el Área 1 no evidencian ninguna tendencia temporal significativa durante el periodo del que se dispone datos (Figura 5.12). Por lo tanto, no sería de esperar que en las aguas costeras de las islas más occidentales (que son las ocupadas por esta área) se registre una tendencia significativa en la concentración de nutrientes, a menos que los aportes antropogénicos de nutrientes hayan experimentado un aumento durante los últimos años. Sin embargo, no hay datos disponibles que permitan contrastar esta hipótesis, dado que los datos recopilados son insuficientes para llevar a cabo un análisis estadístico de tendencias temporales, particularmente, con los datos disponibles no se puede establecer el estado actual de los nutrientes en las masas de agua costera por comparación con las oceánicas.

#### **2.4.3. Estado actual y tendencias temporales de los indicadores de efectos directos**

El análisis de la serie temporal de concentración de clorofila  $a$  basada en imágenes de satélite no revela cambios significativos en 2002-2011 en ninguna de las tres áreas de productividad contrastante. Al menos esto se puede inferir del análisis de tendencias temporales de la serie de clorofila  $a$  de satélite (ver Anexo II para una descripción más detallada del procedimiento de análisis utilizado). De igual forma, y con relación al Área 1, la tendencia temporal de la concentración de clorofila  $a$  *in situ* (Figura 5.19) calculada para todo el periodo no es estadísticamente significativa. Por tanto, con los datos disponibles no hay evidencias de que la clorofila  $a$  durante los últimos años (2005-2010) haya experimentado ningún cambio significativo en la Demarcación con respecto a periodos previos. Por otro lado, el percentil 90 de la clorofila  $a$  de satélite calculado para el periodo 2005-2010 en las masas de agua costera de la Demarcación no difieren respecto a los valores de base mostrados en la Figura 5.11 para las tres áreas de productividad contrastante. Por tanto, no hay evidencias de que la concentración de clorofila sea mayor en las áreas costeras que en las áreas oceánicas que las circundan. Finalmente, tampoco contamos con evidencias que indiquen que el valor propuesto para el límite de estado Bueno/Muy Bueno en aplicación de la DMA (Tabla 5.5) se ha sobrepasado en las masas de agua costera.

En relación con la abundancia de macroalgas oportunistas, el análisis realizado para el establecimiento de los valores de referencia de la DMA (Gobierno de Canarias, 2005),



aplicado a 9 masas de agua costera, revela que la mayoría de las comunidades muestreadas de macroalgas se encuentran en Muy Buen o Buen estado. Tan sólo en uno de los muestreos el estado fue Deficiente. En cualquier caso, los datos son sólo orientativos e insuficientes para una evaluación global de las aguas costeras de la Demarcación Marina.

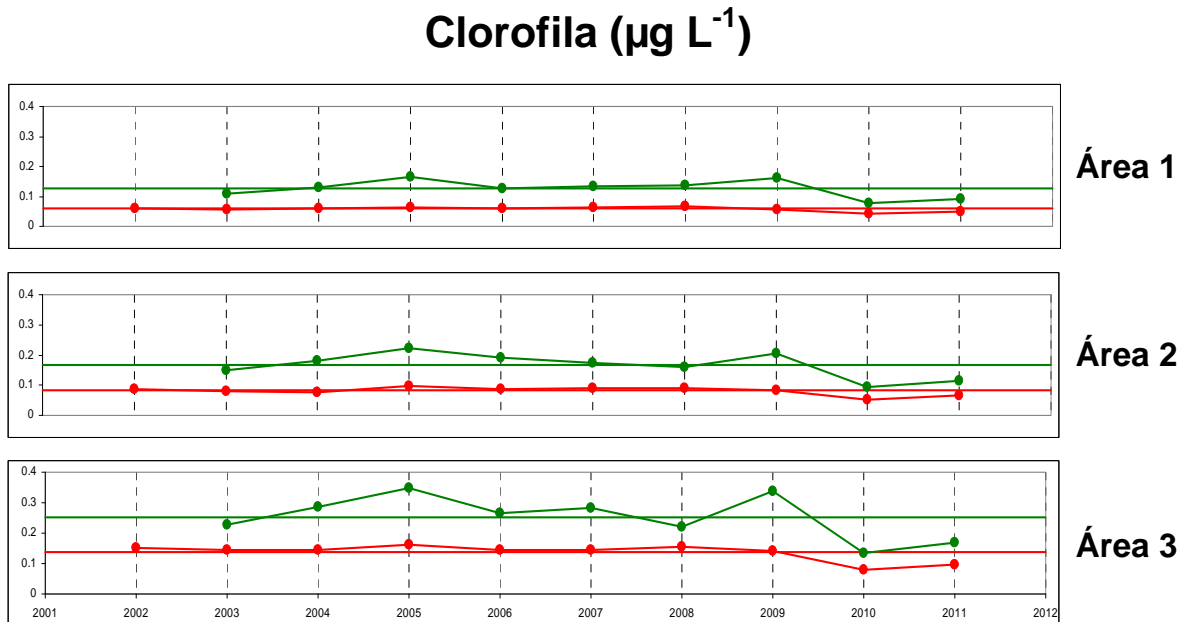


Figura 5.19. Variabilidad de la media anual de clorofila a de satélite en las áreas de productividad contrastante. Las líneas horizontales muestran la media de toda la serie para el período más productivo (de febrero a abril; línea verde) y para el resto del ciclo anual (línea roja).

#### 2.4.4. Evaluación integrada del estado actual de los indicadores y el descriptor

El procedimiento común de OSPAR, propone una clasificación de las zonas marinas en tres clases en cuanto a la eutrofización: con problemas, con problemas potenciales y sin problemas. La clasificación se basa en la evaluación integrada y secuencial de las tres categorías de parámetros propuestos en el Procedimiento Común para el monitoreo de la eutrofización: nutrientes, efectos directos y efectos indirectos. Ya se ha discutido previamente que en gran medida la estructura de los indicadores del Descriptor 5 responde al mismo esquema jerárquico de presiones y efectos propuestos en el Procedimiento Común. Por lo tanto, en el contexto de la evaluación del Descriptor 5 se puede asumir plenamente el esquema de evaluación de la eutrofización.



De acuerdo con el Procedimiento Común de OSPAR, la evaluación integrada estará basada en las tendencias de los indicadores registradas durante el período actual por comparación con periodos previos, así como en la ocurrencia o no de valores de nutrientes y clorofila  $a$  mayores a las concentraciones de evaluación. Estos últimos valores no han sido definidos para Canarias (puesto que el Procedimiento Común de OSPAR no ha sido aplicado a estas aguas). Sin embargo en el presente informe se propone adoptar los valores de la DMA usados para la definición del límite de clase Bueno/Moderado como valores de evaluación (Tabla 5.5). Debe notarse que estos valores son concordantes con los valores de base calculados (Tabla 5.5), que a su vez están basados en datos de las masas de agua oceánicas.

Debido a la falta de datos en las masas de agua costera, no es posible determinar el estado de eutrofización en la Demarcación conforme al Procedimiento Común. No obstante, los datos de clorofila  $a$  de satélite indicarían que la concentración de clorofila en la zona costera de la Demarcación no difiere respecto a la concentración en las zonas de mar abierto, que en principio pueden considerarse como zonas de referencia por cuanto deben de estar libre de todo efecto por aportes antropogénicos de nutrientes. De ser así, la Demarcación no presentaría problemas de eutrofización, aunque no se puede descartar que presente problemas potenciales de eutrofización (*sensu* OSPAR) en tanto no se disponga de datos de nutrientes.

## **2.5. Lagunas de información y conocimiento. Necesidades de investigación y desarrollo de programas de seguimiento**

La principal dificultad en la evaluación del Descriptor 5 en la Demarcación de Canarias es la falta de datos, en especial en su zona costera. Más concretamente, las principales lagunas de información son:

- En relación con las presiones, la información cuantitativa de las fuentes de contaminación y de sus aportes a la zona costera es escasa. Sólo es posible estudiar la relación funcional entre el vertido de nutrientes y su concentración y efectos en la columna de agua si se dispone de esta información. Es conveniente por tanto que para la próxima evaluación se cuente con datos de la composición e intensidad de las diferentes fuentes puntuales de vertidos, información que debería estar desagregada espacial y temporalmente.



- En relación con los indicadores, sería necesario desarrollar un programa de monitoreo integral de la eutrofización conforme a los protocolos, estándares y requerimientos definidos en el Procedimiento Común de OSPAR.

## 2.6. Conclusiones

- No se dispone de datos cuantitativos sobre el aporte de nutrientes procedente de las fuentes puntuales de contaminación.
- Dadas las características hidrológicas de la Demarcación, se propone llevar a cabo la evaluación del Descriptor 5 en las zonas costeras mediante la comparación del estado de los indicadores en esas zonas con los valores de base calculados a partir de las masas de agua oceánicas. El análisis estadístico de las imágenes de satélite ha permitido delimitar tres grandes áreas marinas en la Demarcación de Canarias. Basado en esta zonación, se han calculado valores de base para clorofila  $a$ , nitrato y fosfato a partir de los datos recopilados procedentes de campañas oceanográficas y de la estación ESTOC.
- El análisis de la serie temporal de clorofila  $a$  de satélite, incluyendo las zonas costeras, no revela diferencias significativas con respecto a los valores de base calculados. Además, no se tienen evidencias de que los valores de referencia de clorofila  $a$  establecidos para la definición del estado Bueno/Muy Bueno en el contexto de la implementación de la DMA, se hayan sobrepasado en las zonas costeras. Por tanto, el análisis de los datos recabados llevaría a concluir que no existen problemas de eutrofización en la Demarcación.
- En todo caso, los datos disponibles de nutrientes y clorofila  $a$  para las masas de agua costera son muy escasos e insuficientes para llevar a cabo una evaluación completa de la eutrofización conforme se propone en la DMEM.



### 3. DEFINICIÓN DEL BUEN ESTADO AMBIENTAL

De acuerdo con la DMEM, el Buen Estado Ambiental (BEA) respecto a la eutrofización se alcanza cuando “la eutrofización inducida por el ser humano se minimiza, especialmente los efectos adversos como pueden ser la pérdida de biodiversidad, la degradación de los ecosistemas, las eflorescencias masivas de algas y el déficit de oxígeno en las aguas profundas”. Es evidente que la minimización de los efectos de la eutrofización se produce cuando el impacto de los nutrientes vertidos desde fuentes alóctonas se mantiene por debajo de un umbral tal que no produce efectos sobre el medio marino. Este umbral máximo dependerá de las características de cada zona (condiciones hidrográficas, corrientes, estructura de los ecosistemas, etc.). Por tanto, debería definirse específicamente para cada área de estudio dentro de la Demarcación. En la evaluación presentada en la sección anterior, se han definido áreas de productividad relativamente homogéneas, que se espera por tanto que presenten una “sensibilidad” homogénea al enriquecimiento de nutrientes.

En la práctica no es posible definir cuantitativamente, con los datos disponibles, ese umbral máximo de carga de nutrientes. Alternativamente, proponemos evaluar la eutrofización en las zonas costeras de la Demarcación por comparación con las zonas de mar abierto. De acuerdo con esta evaluación, es posible definir un BEA para cada uno de los indicadores (o grupo de indicadores) en los términos que se recogen en la Tabla 5.6. Como puede observarse, en la definición se recogen dos criterios complementarios para definir el BEA de cada grupo de indicadores: las tendencias temporales y los valores de referencia.

Los indicadores del Descriptor 5 están estructurados jerárquicamente, de manera que sólo si detecta una tendencia hacia el incremento de la concentración de nutrientes no ligada a variabilidad hidrológica se podrían esperar efectos sobre la concentración de clorofila  $a$  o las comunidades de fitoplancton atribuibles a eutrofización. De igual forma, sólo si se manifiestan algunos de estos efectos directos, cabe esperar efectos indirectos relacionados con la contaminación por nutrientes. Dicho de otra forma, el hecho de que la carga contaminante afecte a la concentración de nutrientes en la columna de agua no implica necesariamente que se esté produciendo un proceso de eutrofización si no se manifiestan efectos directos. Bajo este punto de vista, el BEA se podría redefinir como aquel en el cual la carga contaminante de nutrientes no produce efectos directos ni indirectos. Siguiendo este planteamiento, un área dada podría encontrarse en BEA respecto a la eutrofización incluso cuando se haya concluido que los indicadores de nutrientes no se encuentran en BEA.



Tabla 5.6. Definición del BEA de los grupos de indicadores del Descriptor 5.

	Definición
<b>Indicadores de presión</b>	No hay tendencias crecientes no explicables por variabilidad hidrológica en la concentración de nutrientes durante los últimos seis años, ni se han registrado valores por encima de los umbrales bueno/moderado definidos en aplicación de la DMA o planes de cuenca ni se sobrepasan los valores del percentil 90 con más frecuencia de lo esperable estadísticamente para toda la serie temporal
<b>Efectos directos</b>	No hay tendencias crecientes no explicables por variabilidad hidrológica en la concentración de clorofila <i>a</i> , ni se han registrado valores por encima de los umbrales bueno/moderado definidos en aplicación de la DMA o planes de cuenca ni se sobrepasan los valores del percentil 90 con más frecuencia de lo esperable estadísticamente para toda la serie temporal; no hay tendencia hacia la disminución de la transparencia ni cambios en las comunidades de fitoplancton atribuibles al enriquecimiento en nutrientes
<b>Efectos indirectos</b>	No se registran cambios en las comunidades de macrófitos atribuibles al aumento de la concentración de nutrientes; no hay una tendencia decreciente en la saturación de oxígeno ni se alcanzan valores inferiores al 80% más allá de lo esperable estadísticamente



## 4. REFERENCIAS

- Abrantes, F., Meggers, H., Nave, S., Bollman, J., Palma, S., Srengel, C., Henderiks, J., Spies, A., Salgueiro, E., Moita, T., Neuer S. (2002) Fluxes of micro-organisms along a productivity gradient in the Canary Islands region (29°N): implications for paleoreconstructions. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography* 17:3599-3629.
- Ahn Y-H, Shanmugam P. 2006. Detecting the red tide algal blooms from satellite ocean color observations in optically complex Northeast-Asia Coastal waters. *Remote Sensing of Environment* 104: 419-437
- Arístegui, A., Montero, M.F. (2005) Temporal and spatial changes in plankton respiration and biomass in the Canary Islands region: the effect of mesoscale variability. *Journal of Marine System* 54:65-82
- Arístegui, J., Barton, E.D., Álvarez-Salgado, X.A., Santos, A.M.P., Figueiras, F.G., Kifani, S., Hernández-León, S., Mason, E., Machú, E., Demarcq H. (2009) Sub-regional ecosystem variability in the Canary Current upwelling. *Progress in Oceanography* 83:33-48
- Arístegui, J., Hernández-León, S., Montero, M.F., Gómez, M. (2001) The seasonal planktonic cycle in coastal waters of the Canary Islands. *Scientia Marina* 65:51-58.
- Bailey, S.W., McClain, C.R., Werdell, P.J., Schrieber, B.D., 2000. Normalized waterleavingradiance and chlorophyll-a match-up analyses. In: Hooker, S.B., Firestone, E.R. (Eds.), 2000. *SeaWiFS Postlaunch Technical Report Series 10, SeaWiFS Postlaunch Calibration and Validation Analyses, Part 2*. NASA Tech. Memo. 2000-206892, 10 (Greenbelt, MD, NASA Goddard Space Flight Center, USA).
- Bailey, S.W., Werdell, P.J., 2006. A multi-sensor approach for the on-orbit validation of ocean color satellite data products. *Remote Sensing of Environment* 102, 12-23.
- Baltar, F., Arístegui, J., Montero, M.F., Espino, M., Gasol, J.M., Herndl, G.J. (2009) Mesoscale variability modulates seasonal changes in the trophic structure of nano- and picoplankton communities across the NW Africa-Canary Islands transition zone. *Progress in Oceanography* 83:180-188
- Banks, A.C., Prunet P., Chimot P, Pina, P., Donnadille, J., Jeansou , E., Lux , M., Petihakis G.,Korres, G., Triantafyllou, G., Fontana, C., Estournel C., Ulses, C., Fernandez L., 2012. A satellite ocean color observation operator system for eutrophication assessment in coastal waters. *Journal of Marine System* 94:S2-S15.
- Barton, E.D., Arístegui, J., Tett, P., Cantón, M., García-Braun, J., Hernández-León, S., Nykjaer, L., Almeida, C., Almunia, J., Ballesteros, S., Basterretxea, G., Escánez, J., García-Weill, L., Hernández-Guerra, A., López-Laatzén, F., Molina, R., Montero, M.F., Navarro-Pérez, E., Rodríguez, J.M., van Lenning, K., Vélez, H., Wild, K. 1998. The transition zone of the Canary Current upwelling region. *Progress in Oceanography* 41:455-504



- Basterretxea, G., Arístegui, J., (2000) Mesoscale variability in phytoplankton biomass distribution and photosynthetic parameters in the Canary-NW African coastal transition zone. *Marine Ecology Progress Series* 197:27-40
- Basterretxea, G., Barton, E.D., Tett, P. Sangrá, P., Navarro-Perez, E., Arístegui, J. (2002) Eddy and deep chlorophyl maximum response to wind-shear in the lee of Gran Canaria *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, 49: 1087-1101
- Bode, A., Barquero, S., Varela, M., Braun, J.G., de Armas, D. (2001) Pelagic bacteria and phytoplankton in oceanic waters near the Canary Islands in summer. *Marine Ecology Progress Series* 209:1-17
- Bosc, E., Bricaud, A., Antoine, D. 2004. Seasonal and interannual variability in algal biomass and primary production in the Mediterranean Sea, as derived from four years of Sea-WiFS observations, *Glob. Biogeochem. Cy.*, 18, GB1005, doi:10.1029/2003GB002034.
- Bricaud, A., Bosc, E., Antoine, D., 2002. Algal biomass and sea surface temperature in the Mediterranean Basin: intercomparison of data from various satellite sensors, and implications for primary production estimates. *Remote Sensing of Environment* 81: 163–178.
- Carvalho GA, Minnett PJ, Banzon VF, Baringer W, Heil CA (2011) Long-term evaluation of three satellite ocean color algorithms for identifying harmful algal blooms (*Karenia brevis*) along the west coast of Florida: A matchup assessment. *Remote Sensing of Environment* 115: 1-18
- Claustre, H., Morel, A., Hooker, S. B., Babin, M., Antoine, D., Oubelkheir, K., Bricaud, A., Leblanc, K., Qu'éguiner, B., Maritorena, S. 2002. Is desert dust making oligotrophic waters
- Consejería de Medio Ambiente del Gobierno de Canarias. Actualización del Censo de Vertidos desde tierra al mar en Canarias. [www.gobiernocanarias.org/cmayerot](http://www.gobiernocanarias.org/cmayerot)
- Cota GF, Wang J, Comiso JC 2004. Transformation of global satellite chlorophyll retrievals with a regionally tuned algorithm, *Remote Sensing of Environment*, Volume 90, Issue 3, 15 April 2004, Pages 373-377, ISSN 0034-4257, DOI: 10.1016/j.rse.2004.01.005.
- D'Ortenzio, F., Marullo, S., Ragni, M., d'Alcal`a, M. R., and Santoleri, R. 2002. Validation of empirical SeaWiFS chlorophyll-a algorithms retrieval in the Mediterranean Sea: a case study for oligotrophic seas, *Remote Sens. Environ.*, 82, 79–94.
- D'OrtenzioF, D'Alcalá MR. 2009. On the trophic regimes of the Mediterranean Sea: a satellite analysis. *Biogeosciences* 6, 1-10.
- Davenport, R.; Neuer, S.; Helmke, P.; Pérez-Marrero, J.; Llinás, O.; 2002. Primary productivity in the northern Canary Islands region as inferred from SeaWiFS imagery. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 49 (17): 3481-3496.
- Devred, E., Platt, T., and Sathyendranath, S. 2007. Delineation of ecological provinces using ocean colour radiometry, *Mar. Ecol. Progress S.*, 346, 1–7.





- Eiras-García CA, Tavano-García VM, McClain CR 2005 Evaluation of SeaWiFS chlorophyll algorithms in the Southwestern Atlantic and Southern Oceans, *Remote Sensing of Environment*. 95: 125-137.
- García-Muñoz, M., Arístegui, J., Montero, M.F., Barton, E.D. (2004) Distribution and transport of organic matter along a filament-eddy system in the Canaries – NW Africa coastal transition zone region. *Progress in Oceanography* 62:115-129.
- Gobierno de Canarias. Consejería de Infraestructuras, Transportes y Vivienda. Dirección General del Agua 2006a. Establecimiento de los límites entre clases de calidad de los parámetros biológicos y físico-químicos para cada tipo de masa de agua costera. *Directiva Marco del Agua*. Pp. 100
- Gobierno de Canarias. Consejería de Infraestructuras, Transportes y Vivienda. Dirección General del Agua 2006b. Programa de seguimiento de las aguas superficiales. *Directiva Marco del Agua*. Comunidad Autónoma de Canarias. Pp. 258
- Gobierno de Canarias. Consejería de Infraestructuras, Transportes y Vivienda. Dirección General del Agua 2005. *Directiva Marco de Aguas*. Comunidad Autónoma de Canarias. Pp 167
- Gohin F, Saulquin B, Oger-Jeanneret H, Lozach L, Lampert L, Lefebvre A, Riou P, Bruchon F (2008) Towards a better assessment of the ecological status of coastal waters using satellite-derived chlorophyll-a concentrations. *Remote Sensing of Environment* 112: 3329-3340 greener? *Geophys. Res. Lett.*, 29, 107–111.
- Gregg, W.W., Casey, N.W., 2004. Global and regional evaluation of the SeaWiFS chlorophyll data set. *Remote Sensing of Environment* 93, 463–479.
- Hansell, D.A., Follows M.J. (2008) Chapter 13 – Nitrogen in the Atlantic Ocean. En: *Nitrogen in the Marine Environment (Second Edition)*. Academic Press pp: 597-630
- Hernández, F. (Coordinadora principal). 2001. Biodiversidad pelágica de canarias. *Secretaría de Estado de Universidades e Investigación (SEUI). Acciones Especiales de I+D. Referencia MAR-1999-0722E*. 2000-2001: 209 págs.
- Hernández-León, S.; Almeida, C.; Gómez, M.; Torres, S.; Montero, I.; Portillo-Hahnefeld, A.; 2001. Zooplankton biomass and indices of feeding and metabolism in island-generated eddies. *Journal of Marine Systems*, 30: 51-66.
- Hernández-León, S.; Gómez, M.; Arístegui, J.; 2007. Mesozooplankton in the Canary Current Demarcación Canaria Evaluación inicial, buen estado ambiental y objetivos ambientales 111
- Helsel, D.R., Hirsch, R.M., 1992. *Statistical Methods in Water Resources*. Elsevier
- Hooker, S.B., McClain, C.R., 2000. The calibration and validation of SeaWiFS data. *Progress in Oceanography* 45, 427–465.
- Hu Ca, Muller-Karger F-E, Taylor C, Carder KL, Kelble C, Johns E, Heil CA (2005) Red tide detection and tracing using MODIS fluorescence data: A regional example in SW Florida coastal waters. *Remote Sensing of Environment* 97: 311-321
- Infraestructura de datos de Canarias (IDE Canarias). [www.idecan.grafcan.es](http://www.idecan.grafcan.es)
- Jackson T, Bouman HA, Sathyendranath S, Devred E (2011) Regional-scale changes in diatom distribution in the Humboldt upwelling system as revealed by remote sensing: implications for fisheries. *Journal of Marine Science* 68:729-736



- Klemas V (2011) Remote Sensing Techniques for Studying Coastal Ecosystems: An Overview. *Journal of Coastal Research* 27:2-17
- McClain, C.R., 2009. A decade of satellite ocean color observations. *Annual Review of Marine Science* 1, 19–42.
- MacQueen, J.B. (1967): "Some Methods for classification and Analysis of Multivariate Observations, *Proceedings of 5-th Berkeley Symposium on Mathematical Statistics and Probability*", Berkeley, University of California Press, 1:281-297
- Neuer, S., Cianca, A., Helmke, P., Freudenthal, T., Davenport, R., Meggers, H., Knol, M., Santana-Casiano, J.M., González-Davila, M., Rueda, M.J., Llinás, O. (2007) Biogeochemistry and hydrography in the eastern subtropical North Atlantic gyre. Results from the European time-series station ESTOC. *Progress in –oceanography* 27:1-29
- Neuer, S., Ratmeyer, V., Davenport, R., Fischer, G., Wefer, G. (1997) Deep water particle flux in the Canary Island region: seasonal trends in relation to long-term satellite derived pigment data and lateral sources. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers* 44:1451-1466
- Nieto, K., Demarcq, H., McClatchie; S. (2012) Mesoscale frontal structures in the Canary Upwelling System: New front and filament detection algorithms applied to spatial and temporal patterns. *Remote Sensing of Environment* 123:339-346
- Novoa, S., Chust, G., Sagarminaga, Y., Revilla, M., Borja, A., Franco, J., 2012. Water quality assessment using satellite-derived chlorophyll-a within the European directives, in the southeastern Bay of Biscay. *Marine Pollution Bulletin* 64: 739-750.
- O'Reilly JE, Maritorena S, Siegel DA, O'Brien MC, Toole D, Mitchell BG, et al. 2000 Ocean color chlorophyll a algorithms for SeaWiFS, OC2, and OC4: version 4. In: Hooker SB, Firestone ER, editors. *SeaWiFS Postlaunch Calibration and Validation Analyses, Part 3. NASA Technical Memorandum 2000–206892, Vol. 11. Greenbelt, Maryland: NASA Goddard Space Flight Center; pp. 9–23*
- Patti, B., Guisande, C., Vergara, A.R., Riveiro, I., Maneiro, I., Barreiro, A., Bonanno, A., Buscaino, G., Cuttitta, A., Basilone, G., Mazzola, S. (2008). Factors responsible for the differences in satellite-based chlorophylla concentration between the major global upwelling areas. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 76: 775-786.
- Pelegrí, J.L., Arístegui, J., Cana, L., González-Dávila, M., Hernández-Guerra, A., Hernández-León, S., Marrero-Díaz, A., Montero, M.F., Sangra, P., Santana-Casiano, M. (2005) Coupling between the open ocean and the coastal upwelling region off northwest Africa: water recirculation and offshore pumping of organic matter. *Journal of Marine Systems* 54:3-37.
- Pitta P., Apostolaki E.T., Tsagaraki T., Tsapakis M., Karakassis I. 2006. Fish farming effects on chemical and microbial variables of the water column: A spatio-temporal study along the Mediterranean Sea. *Hydrobiologia* 563: 99-108
- Pradhan, Y., Lavender, S.J., Hardman-Mountford, N.J., Aiken, J. (2006) Seasonal and inter-annual variability of chlorophyll-a concentration in the Mauritanian upwelling: Observation of an anomalous event during 1998–1999. *Deep-Sea Research Part II: Topical studies in Oceanography* 53:1548-1559



- Riera R., Pérez O., Monterroso O., Rodríguez M., Ramos E., Díaz A., Sánchez J., Durán C., González M., Reguera P. 2007. Caracterización y análisis de la calidad de las aguas costeras de Canarias. Isla de Gran Canarias. Diciembre de 2007. C.I.M.A. – CIS, Informe Técnico (2): 480 pp.
- Sancak, S., Besiktepe, S.T., Yilmaz, A., Lee, M., Frouin, R., 2005. Evaluation of SeaWiFS chlorophyll-a in the Black and Mediterranean Seas. *International Journal of Remote Sensing* 26: 2045–2060.
- Sathyendranath, S., Longhurst, A., Caverhill, C.M., Platt, T. (1995) Regionally and seasonally differentiated primary production in the North Atlantic. *Deep-Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers* 42:1772-1802
- Schmoker, C., Arístegui, J., Hernández-León, S. (2012) Planktonic biomass variability during a late winter bloom in the subtropical waters off the Canary Islands. *Journal of Marine system* 95:24-31
- Shanmugam P., Ahn Y.-H., Ram P.S. 2008. SeaWiFS sensing of hazardous algal blooms and their underlying mechanisms in shelf-slope waters of the Northwest Pacific during summer. *Remote Sensing of Environment* 112: 3248:3270
- Sprenkel, C., Baumann, K.-H., Henderiks, J., Henrich, R., Neuer, S. (2002) Modern coccolithophore and carbonate sedimentation along a productivity gradient in the Canary Islands region: seasonal export production and surface accumulation rates. *Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography* 17:3577-3598
- Troupin, Sangrà, P., Arístegui J. (2010) Seasonal variability of the oceanic upper layer and its modulation of biological cycles in the Canary Island region. *Journal of Marine System* 80: 172-183.
- Vantrepotte, V., Mélin, F. (2010) Temporal variability in SeaWiFS derived apparent optical properties in European seas. *Continental Shelf Research* 30:319-334.
- Volpe, G., Santoleri, R., Vellucci, V., Ribera d'Alcala, M., Marullo, S., D'Ortenzio, F. 2007. The colour of the Mediterranean Sea: global versus regional bio-optical algorithms evaluation and implication for satellite chlorophyll estimates, *Remote Sens. Environ.* 107, 625–638.



## 5. ANEXOS

### Anexo I. Glosario de términos y acrónimos

*Bloom*: Crecimiento explosivo de algas

*Diatomeas*: Formas unicelulares y coloniales de fitoplancton caracterizadas por presentar una cubierta de naturaleza silíceas. Normalmente dominan las comunidades de fitoplancton en masas de agua costera no estratificada y enriquecidas en nutrientes.

*Dinoflagelados*: Formas unicelulares de fitoplancton caracterizadas por presentar una cubierta denominada teca. Presentan dos flagelos desiguales, lo que les confiere capacidad de movimiento. Se considera que dominan masas de agua estratificadas ricas en nutrientes. Bajo determinadas condiciones pueden dar lugar a mareas rojas y a la producción de toxinas.

*DMA*: Directiva Marco del Agua

*DMEM*: Directiva Marco sobre la Estrategia Marina

*EEA*: Agencia Europea de Medioambiente

*Fitoplancton*: Componente del plancton integrado por individuos unicelulares o coloniales con capacidad de llevar a cabo fotosíntesis oxigénica.

*Macroalgas oportunistas*: algas no perennes cuyo crecimiento se ve favorecido por el enriquecimiento en nutrientes y son capaces de desplazar a las comunidades perennes debido a su mayor capacidad de asimilación de nutrientes.

*Macrófitos*: Organismos fotosintéticos macroscópicos que incluyen a las macroalgas y las angiospermas.

*Mareas rojas*: Crecimiento masivo de fitoplancton, normalmente dinoflagelados, que suele ir acompañado de acumulación de toxinas en el agua. Por extensión, se utiliza el término de marea roja para describir el proceso de acumulación de toxinas fitoplanctónicas en el agua.

*Mareas verdes*: Fenómeno de crecimiento masivo de macroalgas normalmente del género *Ulva* (incluyendo las especies clasificadas anteriormente dentro del género *Enteromorpha*, que en la actualidad se considera asimilado al género *Ulva*). Adicionalmente, se han documentado casos de crecimiento masivo de macroalgas



protagonizados por otras especies de clorofitas (algas verdes) de los géneros *Pilayella*, *Chaetomorpha* y *Cladophora* así como por la rodofícea *Gracilaria*.

**OSPAR:** Convenio OSPAR firmado en 1992, que se constituyó como el instrumento legislativo que regula la cooperación internacional para la protección del Atlántico noreste que resultó de la combinación y actualización de los Convenios de Oslo (1972) y de París (1974).

**Procedimiento común:** Estrategia adoptada por los países firmantes para la identificación del estado de eutrofización del área marítima de OSPAR (1997-11). El Procedimiento Común fue adoptado en 1997 y representó un marco unificado para que los países evaluaran y clasificaran sus aguas con respecto al estado de eutrofización.

**N:P :** Razón molar entre el nitrógeno y el fósforo presentes en el agua. En el presente informe, y por simplificar, se utiliza el término para expresar la razón molar entre nitrato y fosfato.

**NID:** Suma de todas las formas de nitrógeno inorgánico (nitrato, nitrito y amonio) presentes en el agua.

**NT:** Nitrógeno total. Suma de todas las formas orgánicas e inorgánicas de nitrógeno presentes en el agua.

**PT:** Fósforo total. Suma de todas las formas orgánicas e inorgánicas de fósforo presentes en el agua.

**Si:P :** Razón molar silicato:fosfato.



## Anexo II. Determinación de niveles de base: Metodología y fundamento

### *Tratamiento de las imágenes de satélite*

Las concentraciones de clorofila  $a$  calculadas a partir de los valores de reflectancia a 443, 480 y 551 nm suministrados por el satélite MODIS-Aqua desde junio de 2002 hasta diciembre de 2011 fueron usadas para identificar las zonas de productividad contrastante en la Demarcación (<http://oceancolor.gsfc.nasa.gov/>). En principio, el satélite provee imágenes diarias de la zona de estudio, aunque algunas de ellas deben ser desechadas por la presencia de nubes o por la excesiva luminosidad solar (que resta calidad a las mismas). En el análisis se utilizaron imágenes de nivel 2 que se proyectaron sobre una malla regular de 1,1 Km<sup>2</sup>. Dentro de este mallado, y para cada imagen, se excluyeron los píxeles que fueron catalogados con la etiqueta L2 por el proveedor (esta etiqueta señala los píxeles de calidad dudosa según los criterios indicados por Bailey y Werdell; 2006). Hay que señalar que este control de calidad lleva implícito que los píxeles en los que se detecta la presencia de tierra (según color) son desechados en la estimación de la concentración de la clorofila  $a$ . Por lo tanto los píxeles más cercanos a costa, útiles para el cálculo de la concentración de clorofila  $a$ , se sitúan aproximadamente a una milla náutica de la línea de costa (nótese la franja blanca que rodea la línea de costa en las imágenes de satélite de clorofila  $a$  presentadas en el informe). Por otro lado es de destacar que el efecto de fondo, esperable en principio en las aguas más someras, no parece haber afectado a las imágenes de forma sistemática. Tampoco se aprecia en ninguna de las zonas costeras de la Demarcación una influencia de las escorrentías, que arrastran partículas en suspensión y sustancias coloreadas que podrían afectar a la señal que capta el satélite y por consiguiente producir valores espurios de clorofila  $a$  de satélite.

La concentración de clorofila  $a$  de satélite es estimada a partir de los valores de reflectancia para el color azul (443 y 488 nm) y el verde (551 nm), utilizando el algoritmo global OC3M (O'Reilly et al. 2000):

$$\text{Log}_{10}(\text{Chla}) = -1.403R^4 + 0.659R^3 + 1.457R^2 - 2.753R + 0.2830$$



Donde  $R$  es igual a  $\text{Log}_{10}(\max(R_{rs443}, R_{rs480}) / R_{rs551})$ .  $R_{rs}$  es la reflectancia captada por el satélite con la correspondiente corrección atmosférica.

Es conocido (y así se ha discutido previamente) que los datos de clorofila  $a$  de satélite del océano están afectados por un problema de incertidumbre (Claustre et al., 2002; D'Ortenzio et al., 2002; Bosc et al., 2004; Volpe et al., 2007) lo que da lugar a que las concentraciones de clorofila  $a$  de satélite se desvíen en promedio un 35% respecto a los valores *in situ*. En nuestro conjunto de datos, la diferencia entre el conjunto de valores de clorofila  $a$  *in situ* que se ha conseguido recopilar y la clorofila  $a$  de satélite calculada mediante el algoritmo OC3M es en promedio de entre el 25% y el 12%. No obstante, los datos presentados parecen indicar que, independientemente de esta desviación, las imágenes de satélite reproducen adecuadamente el ciclo anual de productividad descrito en la Demarcación, así como sus gradientes espaciales de distribución, como por otro lado es ampliamente demostrado en la literatura (Sathyendranath et al., 1995; Arístegui et al. 1997, 2001; Neuer et al., 1997; Barton et al., 1998; Basterretxea y Arístegui, 2000; Bode et al., 2001; Abrantes et al., 2002; Basterretxea et al., 2002; Sprengel et al., 2002; García-Muñoz et al., 2004; Montero et al., 2005; Pelegrí et al. 2005; Pradhan et al., 2006; Hernández-León et al., 2007; Baltar et al., 2009; Troupin et al., 2010; Nieto et al., 2012; Schmoker et al., 2012). Por tanto, los datos presentados corroboran la hipótesis de que las imágenes de satélite sí expresan adecuadamente los cambios temporales y espaciales en la concentración de clorofila (si bien los datos en tanto que valores en términos absolutos de concentración deben usarse con precaución). Otro aspecto técnico que hay que tener en cuenta es que el satélite sólo proporciona información de la primera profundidad óptica de la columna de agua (los primeros 10-30 metros), por tanto no recoge información sobre la distribución vertical de la clorofila  $a$ . Sin embargo, la información disponible en la Demarcación indica que la clorofila  $a$  de superficie está fuertemente correlacionada con su concentración integrada en la columna de agua por lo tanto en principio las conclusiones extraídas desde el análisis de las imágenes de satélite (referentes a clorofila de superficie) podrían extrapolarse a toda la columna de agua con un error asumible. En resumen, el procedimiento de zonación de la Demarcación basada en imágenes de satélite se fundamenta en dos hipótesis: (1) que la variabilidad espacio-temporal de la clorofila  $a$  de satélite refleja la variabilidad de la clorofila  $a$  superficial *in situ* y (2) que la clorofila de superficie está correlacionada con la clorofila  $a$  en toda la columna de agua. La comparación de los datos de clorofila  $a$  *in situ* recopilados con los de satélite indica que la primera hipótesis es razonable, aunque se requerirán datos adicionales para validarla completamente.



### *Procedimiento de zonación basado en imágenes de satélite*

Se utilizaron las imágenes diarias de MODIS-Aqua para generar series climatológicas mensuales de clorofila  $a$  de satélite para cada uno de los píxeles en que se dividió la Demarcación. Previamente, se realizó un análisis de las series temporales diarias con el fin de comprobar que los huecos (días o zonas para los cuales no se pudieron obtener imágenes) se presentaban bien distribuidos en el espacio y en el tiempo. De esta forma se descartó que existieran sesgos en la información de satélite que pudiera restar robustez a las medias mensuales que fueron calculadas. Con las series mensuales obtenidas para cada píxel se llevó a cabo un análisis clúster no jerárquico del tipo  $K$ -medias ( $K$ -means) con la finalidad de agrupar estadísticamente los píxeles, que por consiguiente quedaron ordenados en función no sólo de su media estacional de clorofila  $a$  de satélite sino además de su distribución durante el ciclo anual. Este método de ordenación descrito inicialmente por Mac Queen (1967) minimiza la suma global de las distancias euclídeas cuadráticas entre los distintos píxeles y el centroide del clúster al que asignan. Se trata de un proceso iterativo en dos fases (asignación de puntos a los centroides y recálculo de los centroides). Como resultado del análisis, los píxeles son separados en función de su distancia en relación con los demás píxeles, lo que hace que los resultados dependan más de las diferencias relativas dentro de la Demarcación que de los valores absolutos de clorofila  $a$  de satélite. Esto es, si se asume que la incertidumbre en los valores de clorofila  $a$  de satélite se distribuye al azar tanto espacial como temporalmente, este método de ordenación debe ser poco sensible a estas incertidumbres.

En el análisis clúster no jerárquico el número de grupos debe ser previamente escogido puesto que no se presupone ningún tipo de relación entre los elementos que se comparan (píxeles). Para la Demarcación Canaria el análisis se llevó a cabo ensayando diferente número de grupos. Atendiendo a la distancia entre los centroides y a la distribución estacional de los mismos que se obtuvo después de diferentes ensayos (partiendo de un número de grupos de 2 hasta 6) se decidió agrupar los píxeles en tres clústeres, ya que la distribución espacial resultante fue la que reprodujo de forma más adecuada las características hidrológicas de la Demarcación (en particular el gradiente este-oeste en temperatura y clorofila descrito en la literatura) y la distribución estacional de la clorofila  $a$  (ver Figura 5.10). Hay que señalar que se realizaron diferentes ensayos para asegurar que las soluciones del modelo de distribución convergieron independientemente del punto de partida.

De esta forma, el análisis clúster permitió obtener de manera relativamente sencilla y objetiva imágenes integradas de la Demarcación basadas en las variaciones





espaciales del ciclo estacional de la clorofila. Esta técnica estadística ha sido utilizada previamente por varios autores con la misma finalidad (Devred et al., 2007; D'Ortenzio y D'Alcalà 2009).

#### *Descripción estadística de las series temporales*

Para las tres zonas de productividad contrastante identificadas en la Demarcación se ha realizado una recopilación de datos de los indicadores del Descriptor 5. De esta forma se han construido series temporales de valores de los indicadores para cada zona. La descripción estadística de las series temporales para cada uno de los indicadores que han sido analizados cuantitativamente se presenta a continuación. Debe notarse que el percentil 90 es el estadístico utilizado para el cálculo de los valores de referencia presentados en este Informe de Evaluación Inicial. En cada tabla *n* representa el número de observaciones, *max* los valores máximos en toda la serie y *DE* la desviación estándar.

Tabla III.1. Descripción estadística de las series de datos de nitrato y fosfato obtenidas para las tres áreas de productividad contrastante identificadas en la Demarcación Canaria.

<b>Nitrato (<math>\mu\text{g L}^{-1}</math>)</b>							
	<b>n</b>	<b>max</b>	<b>promedio</b>	<b>mediana</b>	<b>moda</b>	<b>percentil90</b>	<b>des vest</b>
<b>Área 1</b>	<b>57</b>	<b>1,38</b>	<b>0,17</b>	<b>0,09</b>	<b>0,10</b>	<b>0,47</b>	<b>0,23</b>
<b>Área 2</b>	<b>22</b>	<b>0,59</b>	<b>0,11</b>	<b>0,09</b>	<b>0,02</b>	<b>0,18</b>	<b>0,15</b>
<b>Área 3</b>	<b>23</b>	<b>1,46</b>	<b>0,22</b>	<b>0,10</b>	<b>0,10</b>	<b>0,55</b>	<b>0,32</b>

<b>Fosfato (<math>\mu\text{g L}^{-1}</math>)</b>							
	<b>n</b>	<b>max</b>	<b>promedio</b>	<b>mediana</b>	<b>moda</b>	<b>percentil90</b>	<b>des vest</b>
<b>Área 1</b>	<b>317</b>	<b>0,20</b>	<b>0,04</b>	<b>0,03</b>	<b>-</b>	<b>0.08</b>	<b>0.03</b>
<b>Área 2</b>	<b>15</b>	<b>0,09</b>	<b>0,02</b>	<b>0,01</b>	<b>-</b>	<b>0.07</b>	<b>0.03</b>
<b>Área 3</b>	<b>19</b>	<b>0,15</b>	<b>0,04</b>	<b>0,03</b>	<b>-</b>	<b>0.08</b>	<b>0.04</b>



Tabla III.2. Descripción estadística de las series de temporales de clorofila  $a$  de satélite ( $\mu\text{g L}^{-1}$ ) obtenidas para las tres áreas de productividad contrastante identificadas en la Demarcación Canaria. Se presenta el análisis estadístico de la serie para el período más productivo (enero, febrero y marzo) y para el resto del ciclo anual.

<b>Total</b>							
	<b>n</b>	<b>max</b>	<b>promedio</b>	<b>mediana</b>	<b>Moda</b>	<b>percentil90</b>	<b>des vest</b>
Área 1	2857	0,92	0,10	0,07	0,01	0,20	0,09
Área 2	2183	1,06	0,10	0,08	-	0,18	0,06
Área 3	2024	2,50	0,17	0,14	-	0,28	0,12

<b>Período más productivo</b>							
	<b>n</b>	<b>max</b>	<b>promedio</b>	<b>mediana</b>	<b>Moda</b>	<b>percentil90</b>	<b>des vest</b>
Área 1	754	0,92	0,15	0,13	0,29	0,29	0,11
Área 2	560	1,06	0,17	0,15	-	0,25	0,09
Área 3	533	1,67	0,25	0,22	-	0,40	0,15

<b>Resto del ciclo anual</b>							
	<b>n</b>	<b>max</b>	<b>promedio</b>	<b>mediana</b>	<b>Moda</b>	<b>percentil90</b>	<b>des vest</b>
Masa 1	2103	0,59	0,08	0,06	0,09	0,15	0,07
Masa2	1623	0,43	0,08	0,08	-	0,12	0,03
Masa3	1491	2,50	0,14	0,13	-	0,20	0,08



Tabla III.3. Descripción estadística de la serie de temporal de clorofila  $a$  ( $\mu\text{g L}^{-1}$ ) obtenida en la estación ESTOC (Área 1). Se presenta el análisis estadístico de la serie para el período más productivo (enero, febrero y marzo) y para el resto del ciclo anual.

<b>Clorofila <math>a</math> (<math>\mu\text{g L}^{-1}</math>)</b>							
	<b>n</b>	<b>max</b>	<b>promedio</b>	<b>mediana</b>	<b>moda</b>	<b>percentil90</b>	<b>des vest</b>
<b>Periodo productivo</b>	<b>94</b>	<b>0,73</b>	<b>0,20</b>	<b>0,18</b>	<b>0,04</b>	<b>0,40</b>	<b>0,14</b>
<b>Resto del ciclo anual</b>	<b>242</b>	<b>0,34</b>	<b>0,09</b>	<b>0,09</b>	<b>0,04</b>	<b>0,15</b>	<b>0,05</b>

*Análisis estadístico de los valores de base. Validación de la zonación*

Con el fin de comprobar la validez estadística del procedimiento de zonación de la Demarcación (basado en datos de satélite), se han realizado análisis de varianza de una vía (ANOVA) con los datos de clorofila  $a$  de satélite. El análisis se ha realizado separadamente para el período más productivo y para el resto del año. En la Tabla III-4 se muestran los resultados de las comparaciones *a posteriori* entre las tres áreas de productividad contrastante (llevadas a cabo mediante el test de Fisher LSD). Los resultados de los test estadísticos indican que la concentración de clorofila  $a$  en el Área 3 difiere significativamente respecto a la de las Áreas 1 y 2 tanto durante el periodo más productivo como durante el resto del ciclo anual. Por el contrario, las diferencias entre las Áreas 1 y 2 no fueron significativas estadísticamente. Sin embargo, hay que notar que en promedio la concentración mensual de la clorofila de satélite fue mayor en el Área 2 que en el Área 1 (Figura 5.10). El ANOVA no reproduce adecuadamente estas diferencias mensuales, probablemente por haberse comparado íntegramente los dos períodos anuales.



Tabla III-4. Nivel de significancia estadística de las diferencias en la concentración de clorofila  $a$  de satélite entre las tres áreas de productividad contrastantes durante el período más productivo (enero, febrero y marzo) y el resto del ciclo anual. Las comparaciones a posteriori se llevaron a cabo mediante el test de Fisher LSD.

<b>Período más productivo</b>			
	<b>Área 1</b>	<b>Área 2</b>	<b>Área 3</b>
<b>Área 1</b>		ns	***
<b>Área 2</b>	ns		***

<b>Resto del ciclo anual</b>			
	<b>Área 1</b>	<b>Área 2</b>	<b>Área 3</b>
<b>Área 1</b>		ns	***
<b>Área 2</b>	ns		***

#### *Análisis de tendencias temporales*

Para la determinación de tendencias temporales se calcularon valores anuales promediados para todo el período del que se dispuso de datos. Las tendencias temporales para ese periodo fueron calculadas mediante el test no paramétrico de Mann-Kendall basado en el cálculo del coeficiente de correlación de Kendall (Helsel and Hirsch, 1992).