

**UNIVERSIDAD DE CANTABRIA**



**E.T.S. INGENIEROS DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS**

**DPTO. DE CIENCIAS Y TÉCNICAS DEL AGUA Y DEL MEDIO AMBIENTE**

**GRUPO DE EMISARIOS SUBMARINOS E HIDRÁULICA AMBIENTAL**

**T E S I S   D O C T O R A L**

**DESARROLLO DE PROCEDIMIENTOS APLICABLES A LA  
EVALUACIÓN DEL ESTADO ECOLÓGICO DE LAS MASAS DE  
AGUA COSTERAS, *SENSU* DIRECTIVA MARCO DEL AGUA**

Presentada por: XABIER GUINDA SALSAMENDI

Dirigida por: JOSÉ A. JUANES DE LA PEÑA  
JOSÉ A. REVILLA CORTEZÓN

Santander, Febrero de 2008

## CAPÍTULO II

### DESCRIPCIÓN DEL ÁMBITO DE ESTUDIO

---

#### 2.1. CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL GOLFO DE VIZCAYA

Los objetivos de la presente tesis se circunscriben al ámbito espacial de las aguas costeras de la zona meridional del Golfo de Vizcaya, en su mitad más oriental (Figura 2.1). Las principales características físicas, químicas y biológicas de esta región costera están condicionadas por los procesos geológicos, oceanográficos y meteorológicos propios de la zona.

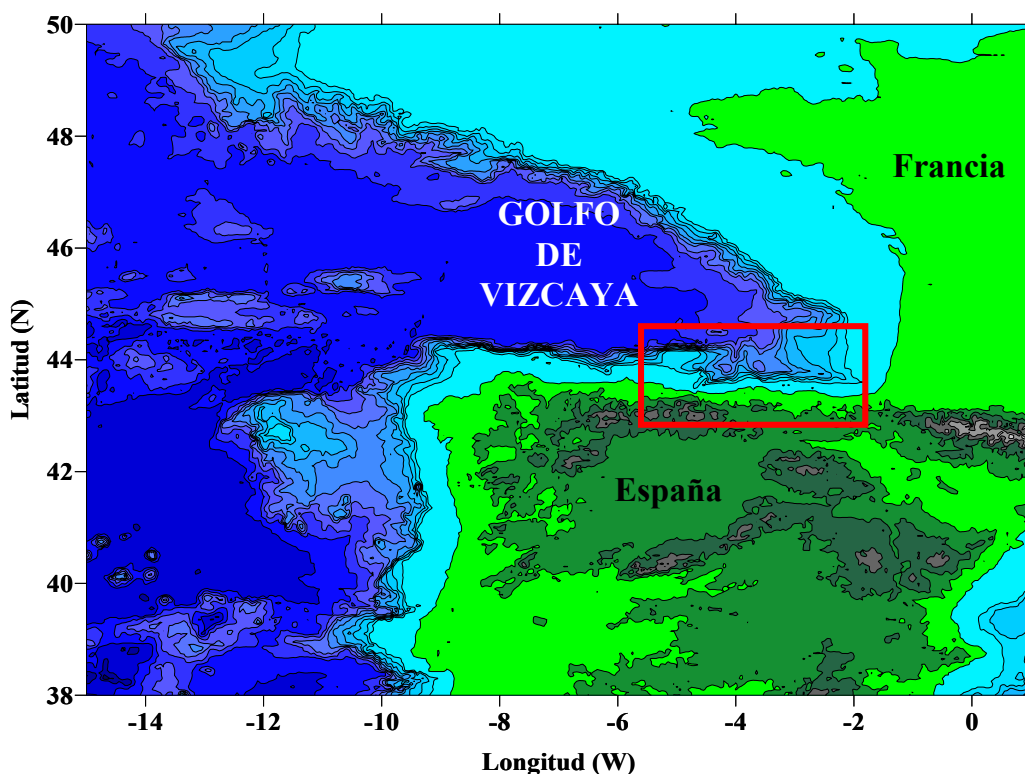


Figura 2. 1. Localización del área de estudio y batimetría del Golfo de Vizcaya.

El Golfo de Vizcaya se creó entre el periodo Triásico y el Eoceno, como consecuencia de la fractura y rotación de la Península Ibérica, aunque la fase extensiva más activa se

produjo durante el Cretácico, hace unos 115-80 Millones de años, dando lugar al mar Cantábrico. Alfred Wegener, autor de la teoría de la deriva continental, fue el que sugirió por vez primera que la costa Oeste de Francia y la costa Norte de España estaban unidas antes de la apertura del Golfo de Vizcaya. Dicho planteamiento se basaba en la similitud entre la orogenia Ibérica Hercínica y la Armórica francesa, aspecto que haría suponer su pertenencia a una misma cadena (Wegener, 1922). Tras esta primera fase de expansión se produjo una segunda fase de compresión que dio lugar a la formación de la Cordillera Cantábrica y los Pirineos, hace unos 40-65 Millones de años. Según Sibuet y Le Pichón (1971), estos fenómenos se produjeron debido, por una parte, a la convergencia entre la corteza oceánica del Golfo de Vizcaya y la corteza continental de la Península Ibérica, originando lo que se conoce como una “subducción forzada” (Malod *et al.*, 1982), y, por otra parte, debido a la convergencia entre la placa continental de Eurasia y la micro-placa de Iberia.

Todos estos procesos dieron lugar a la creación de una llanura abisal de unos 4500 metros de profundidad, con varias montañas submarinas de hasta 2000 m de altura sobre la misma (Figura 2.1). Al sur de esta llanura abisal y frente a la costa norte española se encuentra la plataforma continental Cantábrica, que se caracteriza por su estrechez (unos 20 km), frente a la amplia plataforma continental Aquitana de las costas francesas (60-200 km). Entre la plataforma continental y la llanura abisal se produce un fuerte talud continental de elevada pendiente (10-30%), que está surcado por numerosos cañones submarinos (Pascual *et al.*, 2004).

La franja costera Cantábrica es de tipo erosivo, por lo que abundan las formaciones rocosas, generalmente acantiladas, intercaladas con playas y arenales, a menudo asociados a las desembocaduras de los cauces fluviales.

Las características hidrográficas de las aguas del Golfo de Vizcaya se asocian a las masas de agua del Nordeste Atlántico. Según Valencia y Franco (2004), las masas de agua presentes en la zona interna del Golfo de Vizcaya pueden describirse como: (i) *aguas superficiales* y *aguas superiores*, constituidas por Aguas Centrales del Atlántico Noreste (ENACW) más o menos modificadas; (ii) *aguas intermedias*, principalmente constituidas por Aguas Mediterráneas (MW); y (iii) *aguas profundas* constituidas por las Aguas Profundas del Atlántico Norte (NADW). El ámbito de análisis del presente trabajo se limita, fundamentalmente, a las masas de agua superficiales y superiores presentes sobre la zona correspondiente a la plataforma continental (ENACW), las cuales están fuertemente modificadas por la influencia de factores atmosféricos y continentales, especialmente por encima de la termoclina estacional (Valencia y Franco, 2004). La advección y el transporte tienen también una gran influencia en las

propiedades de estas aguas, al igual que los procesos de afloramiento y hundimiento (Valencia y Franco, 2004).

En la literatura científica existen diversos estudios que analizan las características de las aguas superficiales en distintos puntos de la costa Cantábrica (Molina, 1972; Valencia *et al.*, 1988; Botas *et al.*, 1989; Valdés *et al.*, 1991; Lavín *et al.*, 1992; Valencia *et al.*, 1996; Lavín *et al.*, 1998). De ellos se desprende que existe una marcada estacionalidad a lo largo del ciclo anual, caracterizada por períodos más o menos estables de estratificación de las aguas en verano y procesos de mezcla en invierno, separados por períodos de transición más irregulares durante la primavera y el otoño.

Tal y como describen Valencia *et al.* (2004), durante el otoño y el invierno, los intensos vientos del sur y del oeste, junto con el incremento de la densidad de las aguas superficiales debido al frío invernal, reactivan las corrientes marinas hacia el este y el norte, así como la dominancia de los procesos de hundimiento. El efecto combinado del enfriamiento, la turbulencia y el hundimiento de las aguas da lugar a la generación de la capa de mezcla invernal de profundidad variable, caracterizada por su elevada homogeneidad. Durante la primavera, el balance térmico entre la atmósfera y el océano comienza a invertirse, dando lugar a un progresivo incremento en la temperatura de las aguas superficiales. Simultáneamente, la disminución de la intensidad del viento y el cambio en su dirección, permiten la reducción de la turbulencia y de los procesos de hundimiento, proporcionando a las aguas un cierto grado de estabilidad, necesario para que se produzca la estratificación.

El incremento de la temperatura superficial y la expansión de plumas de aguas poco saladas producen una disminución en la densidad de las aguas, incrementando la probabilidad de permanencia de estas aguas en la capa superficial. En estas condiciones de estabilidad, las aguas superficiales reciben un mayor aporte calorífico de la atmósfera, produciéndose un fenómeno de retroalimentación que puede llegar a mantener las condiciones de estratificación hasta principios del otoño. Por otro lado, el efecto de los vientos del este da lugar a procesos de afloramiento costero que transportan aguas frías y cargadas de nutrientes desde las capas profundas hacia la superficie, preservando a su vez la estratificación y la estabilidad en la columna de agua. El resultado de todos estos procesos da lugar a un período de estratificación estival, con una marcada termoclina subsuperficial. Con la entrada del otoño vuelven a descender las temperaturas y se reactivan los procesos de turbulencia y hundimiento, rompiendo la estratificación vertical y dando lugar a una nueva capa de mezcla invernal.

Uno de los estudios más completos y detallados llevados a cabo frente a las costas de Cantabria es el realizado por Lavín *et al.* (1998), durante los años 1991-1995. En este estudio se analiza tanto la variabilidad estacional como la interanual en las características de las aguas superficiales (hasta los 100 m de profundidad), a lo largo de una sección transversal a la plataforma continental localizada frente a Santander. Las variables analizadas en este estudio incluyen datos de temperatura, salinidad y nutrientes. Además se hace una descripción general de las condiciones meteorológicas (temperatura del aire y precipitación) medidas en la zona durante un período de 35 años anteriores a 1995.

Los resultados del citado estudio (Lavín *et al.*, 1998) indican que la temperatura del aire entre 1961 y 1980 se mantuvo más o menos constante en torno a los 14 °C de media anual. A partir de 1980 se registraron tres periodos cálidos, con máximos relativos en 1983, 1989 y 1995, con un ascenso medio de las temperaturas hasta los 15 °C. Respecto a las precipitaciones, el periodo de 1991-1995 fue un 10% más seco que la media, si bien se registraron meses con intensas precipitaciones. La temperatura superficial del agua estuvo muy relacionada con la temperatura ambiental, con mínimos de 12-13 °C en invierno y máximos de 18-21 °C en verano.

A partir de dichos datos, Lavín *et al.* (1998) comprobaron que los procesos de estratificación en verano y mezcla en invierno daban lugar a la aparición de una termoclina estacional en verano, a unos 25-50 m de profundidad, y a aguas con temperaturas más o menos homogéneas en profundidad durante el invierno. En general, y especialmente en las capas más someras, se observaba una tendencia clara de incremento en la temperatura media de las aguas durante los años de estudio, lo que concordaba con el incremento de la temperatura del aire registrado desde principios de los 80. Además, los fenómenos de afloramiento producidos en verano, asociados a vientos del este, generaban la intrusión de aguas frías y cargadas de nutrientes, desde las capas profundas hacia las capas superficiales.

Del mismo modo, los valores de salinidad se encontraban generalmente entre los 34.5 y los 35.5 UPS, con valores mínimos superficiales asociados a los aportes continentales de agua dulce y con valores máximos en profundidad, observándose además una tendencia decreciente en la salinidad a lo largo del periodo estudiado. Al igual que la temperatura del agua, la salinidad también estuvo sometida a los ciclos de estratificación en verano y mezcla en invierno, aunque los gradientes estaban más definidos en las estaciones próximas a la costa, ya que estuvieron más influenciadas por los aportes de agua dulce continentales.

Respecto a los nutrientes (nitratos en este caso), se observaron valores elevados durante el período de mezcla invernal (2-4  $\mu\text{mol/l}$ ), mientras que, en el período de estratificación se observaron valores mínimos superficiales ( $<1 \mu\text{mol/l}$ ) y máximos en profundidad (10  $\mu\text{mol/l}$ ), estos últimos generalmente asociados a fenómenos de afloramiento.

Según Valencia *et al.* (2004), los principales mecanismos que modifican las características locales de las masas de agua superficiales son; (i) el intercambio de calor entre la atmósfera y el océano, (ii) el balance entre la precipitación y la evaporación, (iii) el aporte de agua dulce de los ríos y la escorrentía continental. Además, la intensidad y dirección de los vientos determina la intensidad, extensión y profundidad de la columna de agua afectada por los procesos anteriores, ya que regula en gran medida el balance entre los procesos de afloramiento y hundimiento de las masas de agua. De manera similar, los procesos advectivos son otra de las causas que influyen en las características presentes en las masas de agua.

Es necesario destacar la gran importancia que tienen los fenómenos de afloramiento en los procesos biológicos de la zona, ya que, gracias al aporte de nutrientes procedentes de las aguas profundas hacia las capas superficiales, se produce un gran crecimiento del fitoplancton que, como elemento básico en la cadena trófica, constituye una fuente de alimento fundamental para que se produzca el desarrollo de los niveles tróficos superiores (zooplancton, larvas, peces, aves, mamíferos...), llegando a tener incluso, una gran influencia en las pesquerías comerciales (Borja *et al.*, 1998; Arregi *et al.*, 2004).

Por otro lado, si se comparan las temperaturas superficiales del agua en distintas zonas del Golfo de Vizcaya, se observa que, mientras en invierno se produce un incremento gradual de la temperatura desde Bretaña hacia Galicia, en verano, las temperaturas del extremo sureste son notablemente más elevadas debido a los procesos de estratificación estacional comentados anteriormente. El resultado de todos estos procesos hace que, en el extremo sureste del Golfo de Vizcaya se produzca una bolsa térmica con una temperatura media anual superior a los 17 °C, frente a unas temperaturas de unos 15.5-16 °C en Galicia y de unos 12.5-13 °C en la punta de Bretaña (Fischer-Piette, 1963). Se cree que estas diferencias de temperatura son la causa principal de la marcada discontinuidad biogeográfica que se produce entre las costas del sureste del Golfo de Vizcaya, con presencia de especies más meridionales, y las costas gallegas y bretonas, con especies más septentrionales (Sauvageau, 1897; Fischer-Piette, 1955).

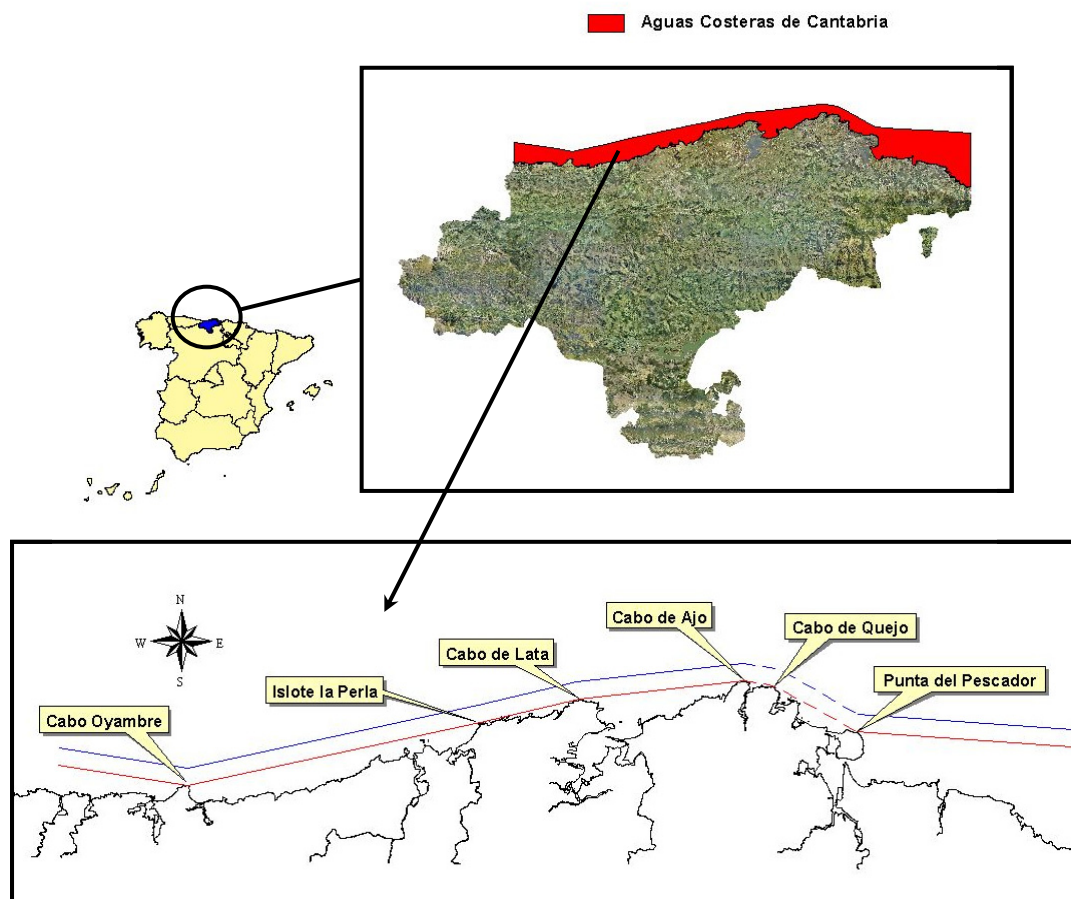
En general, las aguas costeras del Cantábrico presentan una elevada capacidad de dilución de los contaminantes que llegan al mar a través de las desembocaduras

fluviales o mediante vertidos directos. Esta capacidad se debe tanto a factores estáticos (elevado volumen de mezcla asociado a la batimetría), como a factores dinámicos (oleaje, mareas y corrientes horizontales y verticales con elevada capacidad de dispersión) (Valencia *et al.*, 2004), dando lugar a una buena calidad general de las aguas, aunque no exenta de eventos contaminantes puntuales u ocasionales.

### 2.2. ÁREA DE ESTUDIO

Una vez analizadas las condiciones generales, a continuación se describen las características específicas del área de estudio en la que se centra el presente trabajo, cuya extensión se limita a la de las aguas costeras de la Comunidad Autónoma de Cantabria, definidas de acuerdo con la aplicación e interpretación de lo dispuesto en la Directiva Marco del Agua (DMA 2000/60/CE) (Figura 2.2). Esta delimitación se ha llevado a cabo en el proyecto “*Plan de investigación integral para la caracterización y diagnóstico ambiental de los sistemas acuáticos de la comunidad de Cantabria*” (GESHA, 2005b), considerando los siguientes límites:

- La línea de costa de la Comunidad Autónoma de Cantabria, trazada sobre el nivel de pleamar definido en la Base Cartográfica Nacional (escala 1:25.000).
- El límite exterior de las aguas de transición.
- El límite septentrional definido por una línea imaginaria situada a una distancia de 1 milla náutica de las Líneas de Base Rectas (LBRs).
- El límite de las aguas territoriales del Principado de Asturias, por el oeste, y del País Vasco, por el este.



**Figura 2. 2. Situación geográfica y delimitación de las aguas costeras de Cantabria (área roja). Línea roja: LBR, Línea azul: Límite de las aguas costeras según lo establecido en la DMA (GESHA, 2005b).**

En total, las aguas costeras de Cantabria abarcan una superficie de 52940 hectáreas, comprendidas entre la desembocadura de la ría de Tina Mayor, como límite occidental, y la Punta de Covarón, como límite oriental, cuyas características generales responden a un perfil de masas de agua mesomareales (1-5 m), muy expuestas al oleaje, con bajos tiempos de residencia (días), velocidades de corriente moderadas (1-3 nudos) y temperaturas que oscilan entre los 11 °C y los 22 °C.

En cuanto al tipo de sustrato de los fondos que subyacen en este espacio litoral, el 56 % de la superficie es de sustrato rocoso, mientras que el 44 % restante está dominado por sustrato arenoso (Figura 2.3). La profundidad media de estas aguas costeras es de 37 m, con un máximo de 93 m localizado en el extremo occidental (Figura 2.4).



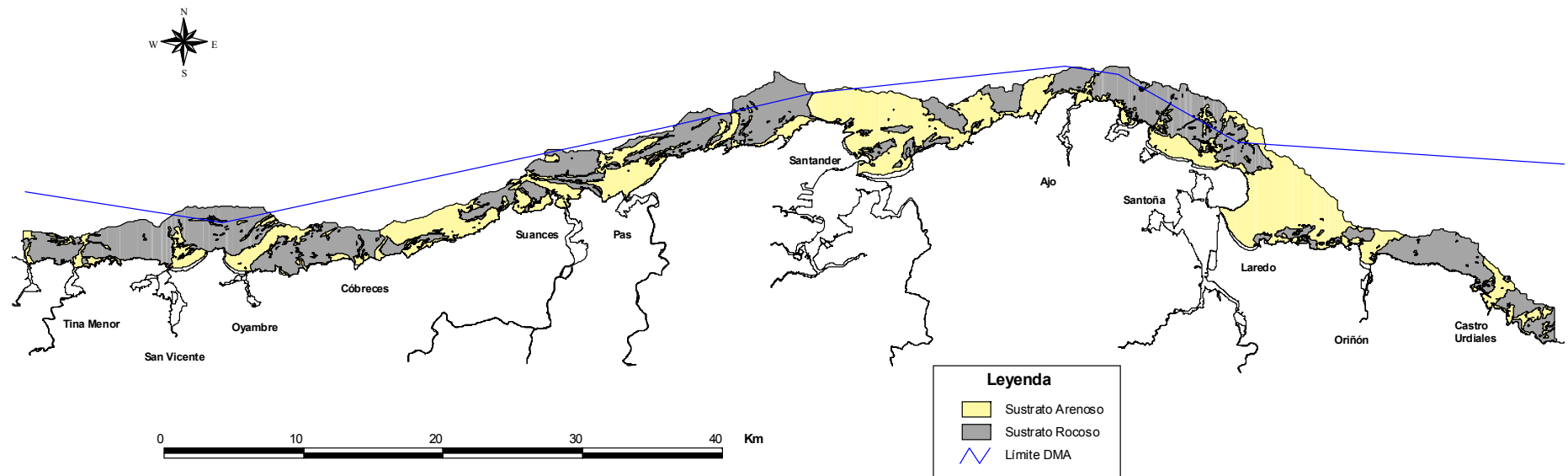


Figura 2. 3. Tipo de sustrato presente en las aguas costeras de Cantabria (Fuente: Geomytsa, 1992).

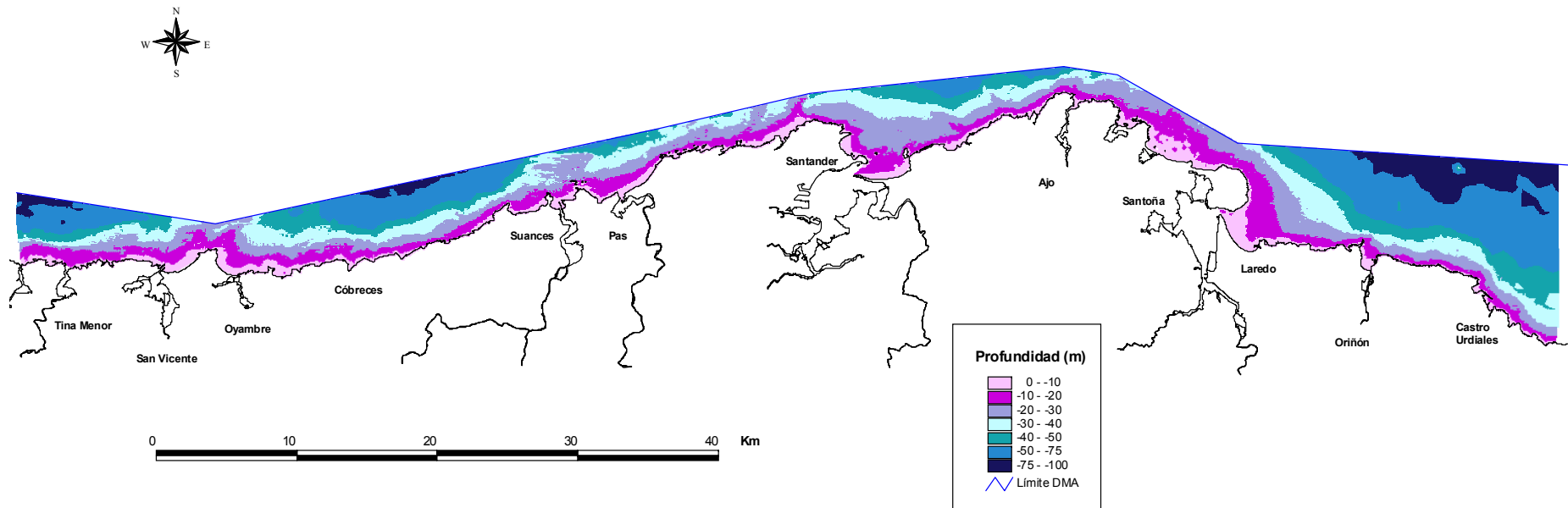


Figura 2. 4. Batimetría de las aguas costeras de Cantabria.

### **2.3. MASAS DE AGUA COSTERAS DE CANTABRIA**

En base a las características homogéneas de algunos de los descriptores específicos propuestos en la DMA (Sistema B: velocidad de las corrientes, exposición al oleaje, temperatura del agua, características de la mezcla de aguas, etc.), toda la zona se incluye dentro de la categoría de “aguas costeras de tipo 1”. No obstante, debido a la existencia de áreas bien delimitadas que presentan diferencias notables en la naturaleza de sus fondos (blandos-duros), dentro de esta zona costera se han propuesto una serie de masas de agua que constituirían las unidades de gestión necesarias para la aplicación de la DMA. Así, en función del tipo de sustrato predominante, se han establecido 7 masas de agua, de las cuales 4 son de “tipo rocoso” y 3 de “tipo arenoso” (Figura 2.5). En las Tablas 2.1 y 2.2 se muestran, respectivamente, los límites y las características generales de las masas de agua costeras identificadas.

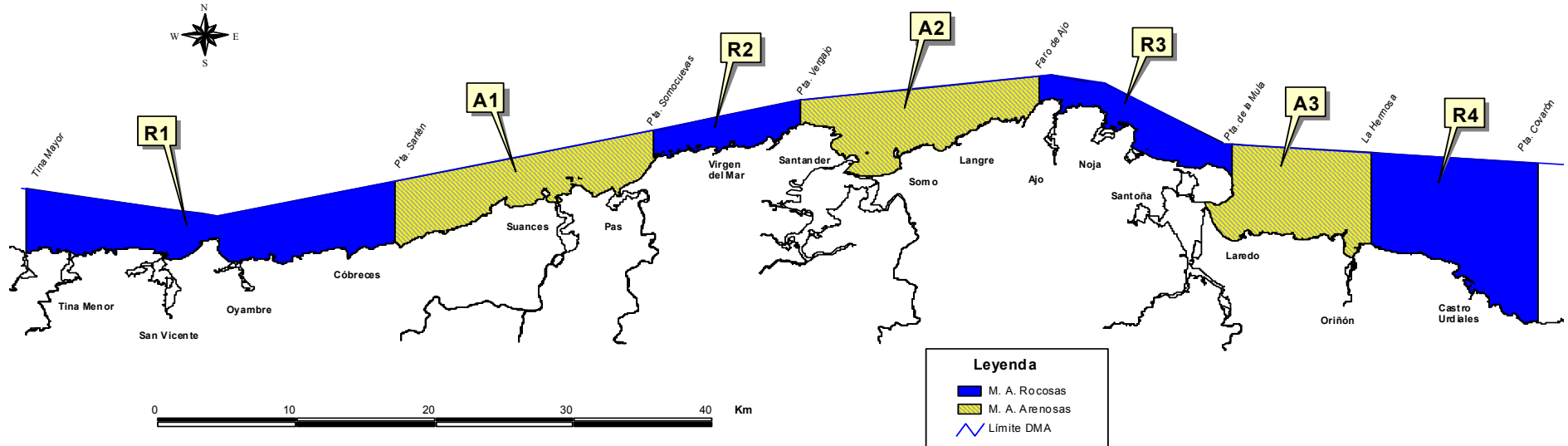


Figura 2. 5. Masas de agua costeras identificadas en Cantabria.

Masas de Agua Costeras	Denominación	Punto Inicio (W)	Punto Final (E)	Tipo	Coordenada UTM X	Coordenada UTM Y
<b>R1</b>	Oyambre	Tina Mayor	Pta. Sartén	Rocoso	391059	4808233
<b>A1</b>	Suances	Pta. Sartén	Pta. Somocuevas	Arenoso	414117	4810936
<b>R2</b>	Virgen del Mar	Pta. Somocuevas	Pta. Vergajo	Rocoso	428764	4815778
<b>A2</b>	Santander	Pta. Vergajo	Faro de Ajo	Arenoso	442831	4815981
<b>R3</b>	Noja	Faro de Ajo	Pta de La Mula	Rocoso	458553	4816014
<b>A3</b>	Santoña	Pta de La Mula	La Hermosa	Arenoso	469636	4809875
<b>R4</b>	Castro	La Hermosa	Pta. Covarón	Rocoso	481829	4806944

**Tabla 2. 1. Masas de agua costeras identificadas.**

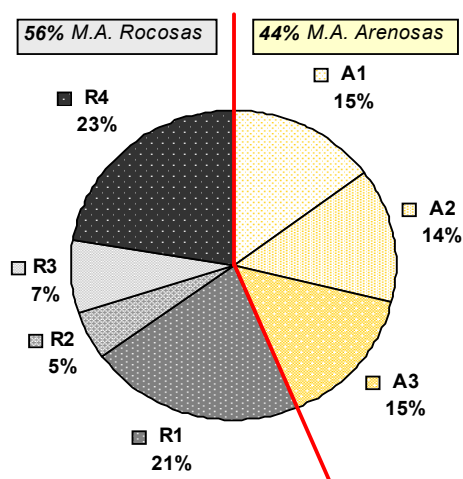
La extensión de las masas de agua delimitadas oscila entre las 2622 hectáreas correspondientes a la masa de agua R2, localizada entre la Punta de Somocuevas y Punta Vergajo, y las 11939 hectáreas de la masa de agua R4, correspondiente a la zona comprendida entre La Hermosa, en Islares, y Punta Covarón. La superficie media de las masas de agua costeras es de 7563 hectáreas (Tabla 2.2).

M. A. Costeras	Extensión (ha)	Long. de Costa (Km)	Profundidad (m)		Superf. Arena (%)	Superf. Roca (%)
			Media	Máxima		
<b>R1</b>	11302	42.5	35	93	17	83
<b>A1</b>	7836	35	35	84	72	28
<b>R2</b>	2622	19.1	22	47	24	76
<b>A2</b>	7526	34.8	29	69	82	18
<b>R3</b>	3932	28.2	18	65	31	69
<b>A3</b>	7781	27.2	36	82	90	10
<b>R4</b>	11939	24.2	56	90	6	94
Media M.A. Arenosas	7714 Tot. 23144	31.1	33	78	81	19
Media M.A. Rocosas	7449 Tot. 29796	28.5	33	74	15	85
Media Total	7563	29.4	33	76	46	54
<b>TOTAL</b>	<b>52940</b>	<b>210.9</b>	<b>37</b>	<b>93</b>	<b>44</b>	<b>56</b>

**Tabla 2. 2. Características específicas de las masas de agua costeras.**

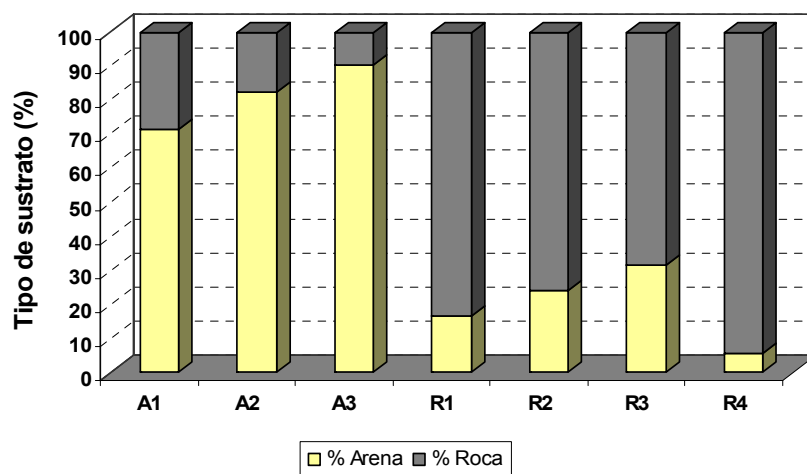
En cuanto a la longitud de costa de cada una de las masas de agua, destaca la masa de agua R1, localizada en el extremo occidental de Cantabria, con 42.5 km de costa. Por el contrario, la masa de agua con menor longitud de costa es la R2, con 19.1 km.

Al observar las masas de agua agrupadas según su tipología, se observa que, del total de 52940 ha de las aguas costeras de Cantabria, el 43.7 % (23144 ha) corresponde a masas de agua de tipo arenoso, mientras que el 56.3 % restante (29796 ha) corresponde a masas de agua de tipo rocoso (Figura 2.6). En general, las masas de agua rocosas son ligeramente más homogéneas que las masas de agua arenosas en cuanto al tipo de sustrato, ya que las primeras contienen un 85 % de superficie de roca, frente a un 81.3 % de arena de las segundas (Tabla 2.2).



**Figura 2. 6. Porcentaje de superficie de cada masa de agua, agrupadas según su tipología. Los colores grises corresponden a masas de agua de tipo rocoso y los colores amarillos a las de tipo arenoso. La intensidad de los colores es proporcional al porcentaje de sustrato correspondiente a su tipología.**

En la Figura 2.7 se muestra la distribución del tipo de sustrato (arena y roca) en las diferentes masas de agua. La masa de agua más heterogénea es la R3 con un 68.6 % de sustrato rocoso, mientras que la más homogénea es la R4 con un 94.1 % también de sustrato rocoso.



**Figura 2. 7. Distribución del tipo de sustrato (arena y roca) en las diferentes masas de agua.**

En cuanto a la batimetría, la masa de agua costera más profunda es la R4, con una profundidad media de 55.6 m, sin embargo, la R1 es la que alcanza la mayor profundidad, con un máximo de 93.3 m. Por otro lado, la masa de agua más somera es la R3, con una profundidad media de 18.4 m (Figura 2.8).

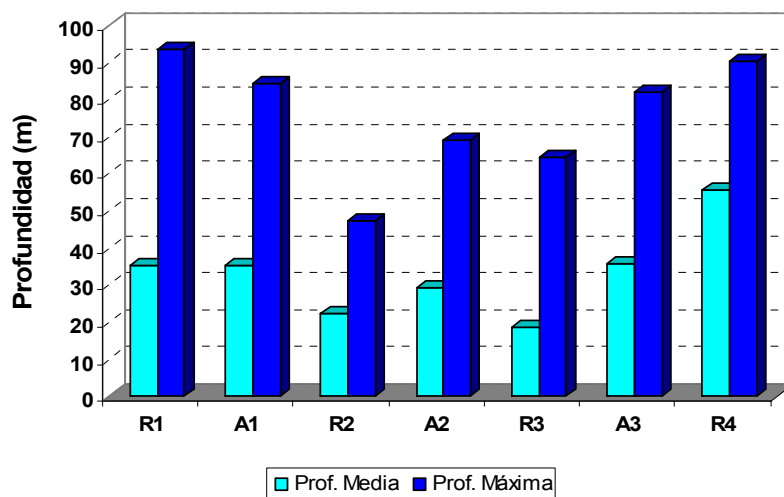


Figura 2. 8. Batimetría de las Aguas Costeras de Cantabria.

### 2.4. CARACTERÍSTICAS BIOLÓGICAS DE LAS COMUNIDADES BENTÓNICAS

Las características morfológicas, hidrodinámicas y batimétricas de las masas de agua van a determinar las comunidades biológicas que van a predominar en cada una de ellas. Así, mientras los fondos sedimentarios están poblados básicamente por especies animales, en los fondos rocosos se puede encontrar una gran variedad de especies tanto animales como vegetales.

A partir del análisis de distintos estudios realizados en Cantabria (Juanes y Gutiérrez, 1992; ACEM, 1998; CHN, 1998a, 1998b; Puente, 2000) se deduce que las principales comunidades de los fondos rocosos se estructuran en torno a una serie de poblaciones dominantes, entre las que destacan por su abundancia y extensión global las de *Gelidium sesquipedale*, *Cystoseira* spp. y Laminariales, entre las que se intercalan poblaciones de *Halopteris* sp., *Corallina* sp., *Dictyota* sp., *Dictyopteris* sp., *Phyllophora* sp., etc., siendo el grupo de las rodofíceas el que presenta una mayor diversidad de especies. En cuanto a la fauna acompañante de estas comunidades predominan los artrópodos (*Verruca* sp., *Caprella* sp., *Apherusa* sp., etc.), moluscos (*Hiatella* sp., *Bittium* sp., *Hinia* sp., etc.), anélidos (*Pomatoceros* sp., *Sabellaria* sp., *Lysidice* sp., etc.) y equinodermos (*Ophiothrix* sp., *Paracentrotus* sp., *Amphipholis* sp., etc.).

Los fondos sedimentarios son más pobres en especies y en grupos faunísticos, predominando los anélidos (*Magelona* sp., *Owenia* sp., *Spiophanes* sp., etc.), moluscos (*Abra* sp., *Bittium* sp., *Hinia* sp., etc.), artrópodos (*Ampelisca* sp., *Urothoe* sp., *Clibanarius* sp., *Apherusa* sp., etc.) y equinodermos (*Echinocardium* sp., etc.).

Además de variar en función del tipo de sustrato, estas comunidades también presentan una clara variación con la profundidad, tal y como puede observarse en las siguientes figuras, en las que se muestra la distribución en profundidad de las comunidades de fauna (Figura 2.9) y flora (Figura 2.10), para distintas muestras tomadas a lo largo de la costa de Cantabria (Puente *et al.*, en preparación).

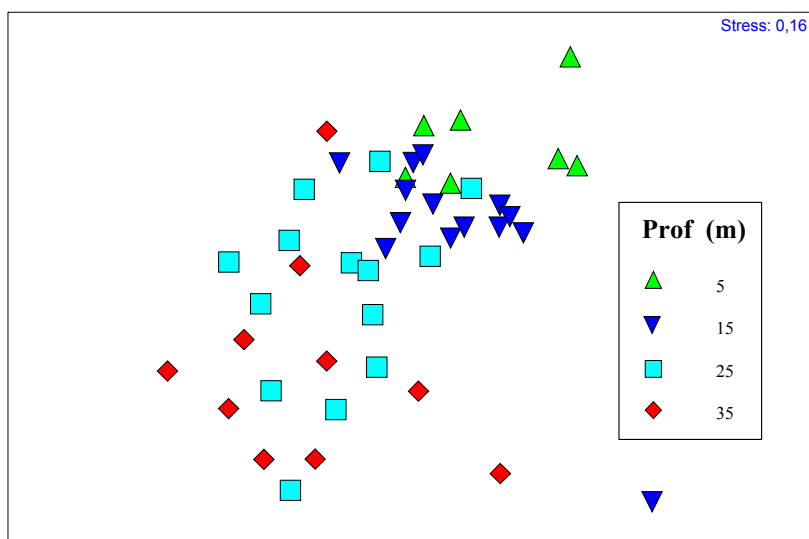


Figura 2. 9. Ordenación mediante MDS de muestras de fauna de distintas profundidades.

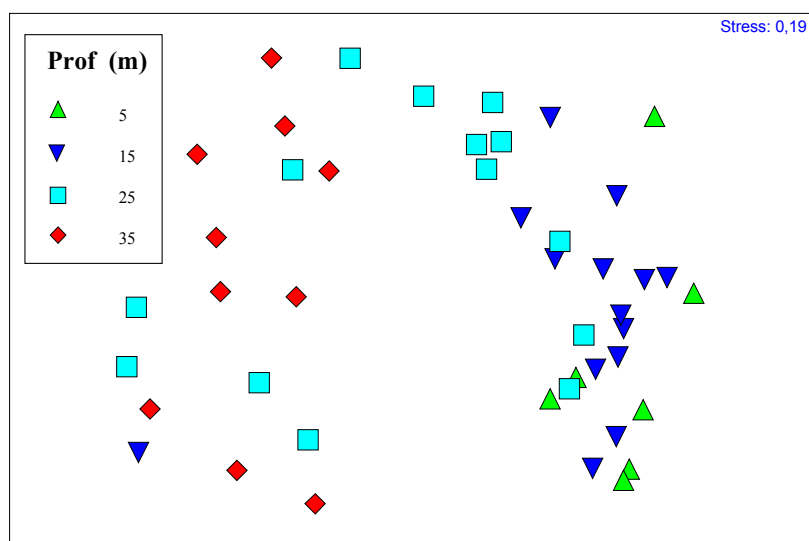


Figura 2. 10. Ordenación mediante MDS de muestras de flora de distintas profundidades.



### 2.5. CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS DE LAS AGUAS

La variabilidad estacional de las condiciones hidrográficas referidas anteriormente en la descripción general a nivel del Golfo de Vizcaya se traducen en variaciones espaciales, así como estacionales, en las características fisicoquímicas de las masas de agua costeras de Cantabria. Como muestra representativa de dichas condiciones, a continuación se describen las características de temperatura, salinidad, oxígeno disuelto y clorofila obtenidas durante cuatro campañas realizadas en agosto 2005, diciembre 2005, junio 2006 y septiembre 2006 a lo largo de la costa de Cantabria (GESHA, 2005a, 2006).

El parámetro más representativo de los cambios estacionales que se producen en las aguas costeras es la temperatura. En la Figura 2.11 se muestran los perfiles de temperatura correspondientes a las cuatro campañas llevadas a cabo. La primera imagen, correspondiente al mes de agosto, representa a las condiciones de estratificación que se producen durante el periodo estival. En ella se observa un incremento notable en la temperatura superficial del agua, superando en este caso los 22 °C, que va acompañado de un fuerte gradiente térmico hacia los 8-15 m de profundidad y llegando a descender por debajo de los 13 °C a partir de los 20-25 m de profundidad. Es importante destacar las diferencias de temperatura registradas entre la zona occidental de Cantabria (menores temperaturas superficiales y mayor gradiente térmico) y la zona oriental (mayores temperaturas superficiales y menor gradiente térmico), que podrían ser debidas a procesos de afloramiento en la zona occidental o a procesos de mezcla ocurridos durante la toma de muestras en la zona oriental, ya que las campañas en cada una de las zonas se realizaron con un intervalo temporal de 9 días.

La segunda imagen de la Figura 2.11, correspondiente al mes de diciembre, representa a las condiciones de mezcla que se producen durante el periodo invernal. En esta imagen se invierte la situación estival, produciéndose importantes fenómenos de mezcla que dan lugar a una homogenización en las características físico-químicas de la columna de agua. Los valores de temperatura oscilan entre los 13.5 °C y los 14.5 °C, produciéndose además un proceso de inversión térmica que da lugar a valores mínimos superficiales, asociados a descargas fluviales, y a valores máximos en profundidades intermedias y profundas. Estos mínimos superficiales son más bajos en la zona occidental, aunque, al igual que sucedía durante el periodo estival, la variabilidad temporal puede ser la causa de estas diferencias, ya que las estaciones de la zona occidental se muestrearon a

mediados de diciembre mientras que las de la zona oriental se muestrearon a finales de noviembre.

En cuanto a la tercera y cuarta imágenes de la Figura 2.11, correspondientes a las campañas realizadas en junio y septiembre de 2006, son representativas de situaciones intermedias entre la estratificación estival y la mezcla invernal. Así, durante la campaña de junio se observa el comienzo del proceso de estratificación, con temperaturas moderadamente elevadas en superficie (19 °C) y un progresivo enfriamiento en profundidad, alcanzando los 15 °C a 25 m; mientras que, en la campaña de septiembre, las elevadas temperaturas superficiales, de unos 21 °C, alcanzan los 20 metros de profundidad, desplazando la termoclina hacia zonas más profundas (25-30 m).

En la Figura 2.12 se muestran los perfiles de salinidad obtenidos en las cuatro campañas realizadas durante 2005 y 2006. En todos los casos se observan valores mínimos muy variables en superficie, asociados fundamentalmente a las principales descargas fluviales, que van aumentando y estabilizándose progresivamente en profundidad. El rango de variación ha oscilado entre los 35.5-35.6 ‰ a 20-25 m de profundidad y los 34.4 ‰ medidos en varias estaciones superficiales durante el mes de diciembre.

En Figura 2.13 se muestran los perfiles de saturación de oxígeno. Los valores obtenidos han superado el 95 % de saturación en todas las campañas realizadas, por lo que se podría decir que se trata de aguas bien oxigenadas. En general se observa una gran homogeneidad de los valores a lo largo de la columna de agua, con la única excepción de la campaña correspondiente a agosto de 2005, en la que se produce un máximo de saturación de oxígeno coincidiendo aproximadamente con el nivel de la termoclina.

Finalmente, en la Figura 2.14 se muestran los perfiles de clorofila. En general, los valores obtenidos han sido bastante bajos durante todas las campañas realizadas (<0.7 µg/l). Sin embargo, durante la campaña de agosto de 2005 se han registrado valores máximos de clorofila (1-2 µg/l) entre los 15 y los 25 m de profundidad en algunas estaciones localizadas en la zona occidental de Cantabria. Estos valores elevados coinciden con el posible afloramiento de aguas profundas en la zona occidental mencionado anteriormente al analizar los datos de temperatura, aunque también pueden ser debidas a la temporalidad del muestreo.

En definitiva, los resultados obtenidos durante las distintas campañas de muestreo realizadas constatan la alternancia de los fenómenos de estratificación y mezcla que se producen estacionalmente en el Golfo de Vizcaya, tal y como han sido descritos por numerosos autores (Molina, 1972; Valencia *et al.*, 1988; Botas *et al.*, 1989; Valdés *et*

*al.*, 1991; Lavín *et al.*, 1992; Valencia *et al.*, 1996; Lavín *et al.*, 1998; Valencia *et al.*, 2004; Valencia y Franco, 2004), mostrando, no obstante, oscilaciones interanuales que condicionarán el establecimiento de los rangos de “valores normales”.

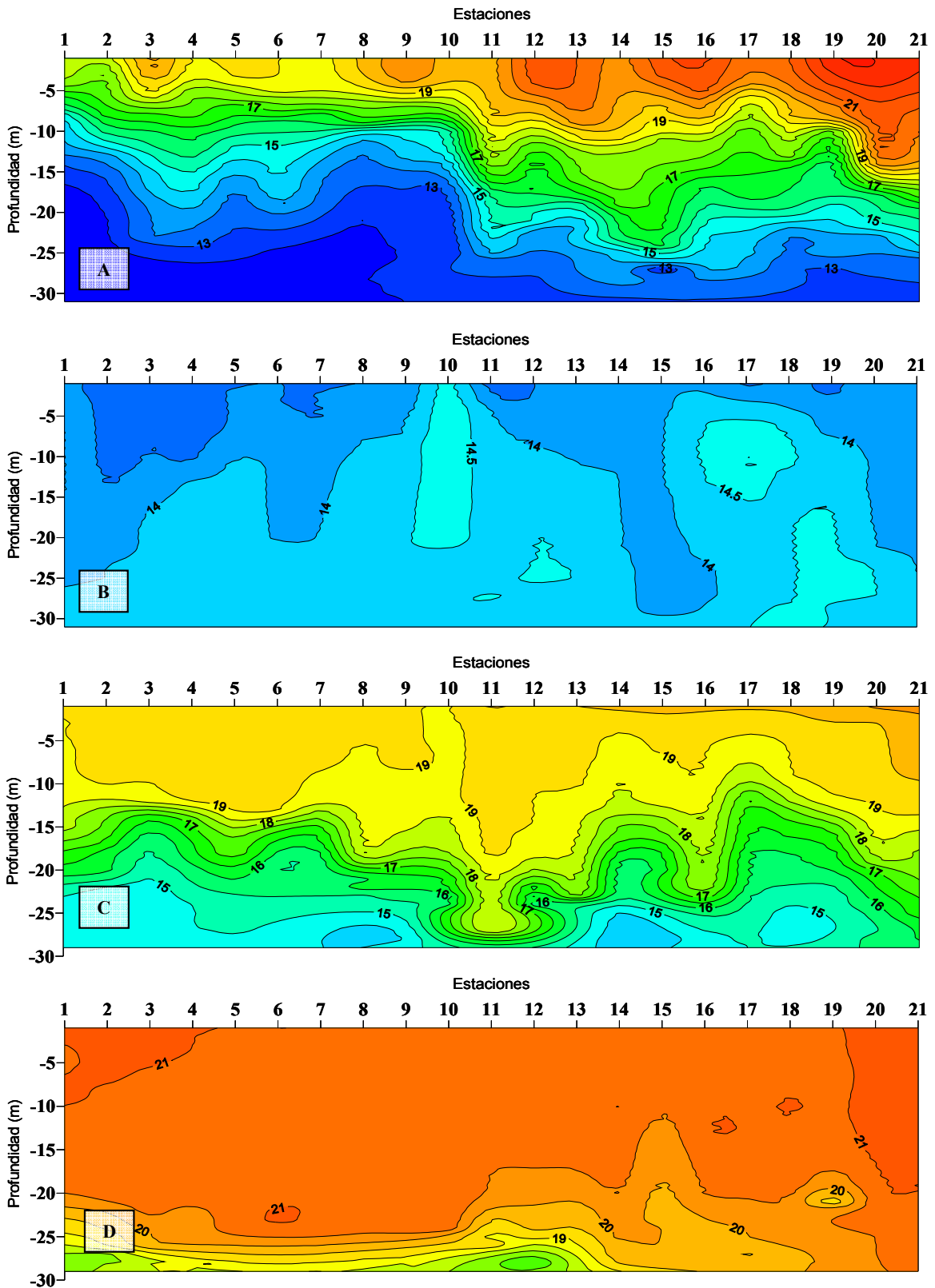


Figura 2. 11. Distribución vertical de Temperatura (°C) en las estaciones costeras de Cantabria durante las campañas de agosto 2005 (A), diciembre 2005 (B), junio 2006 (C) y septiembre 2006 (D).

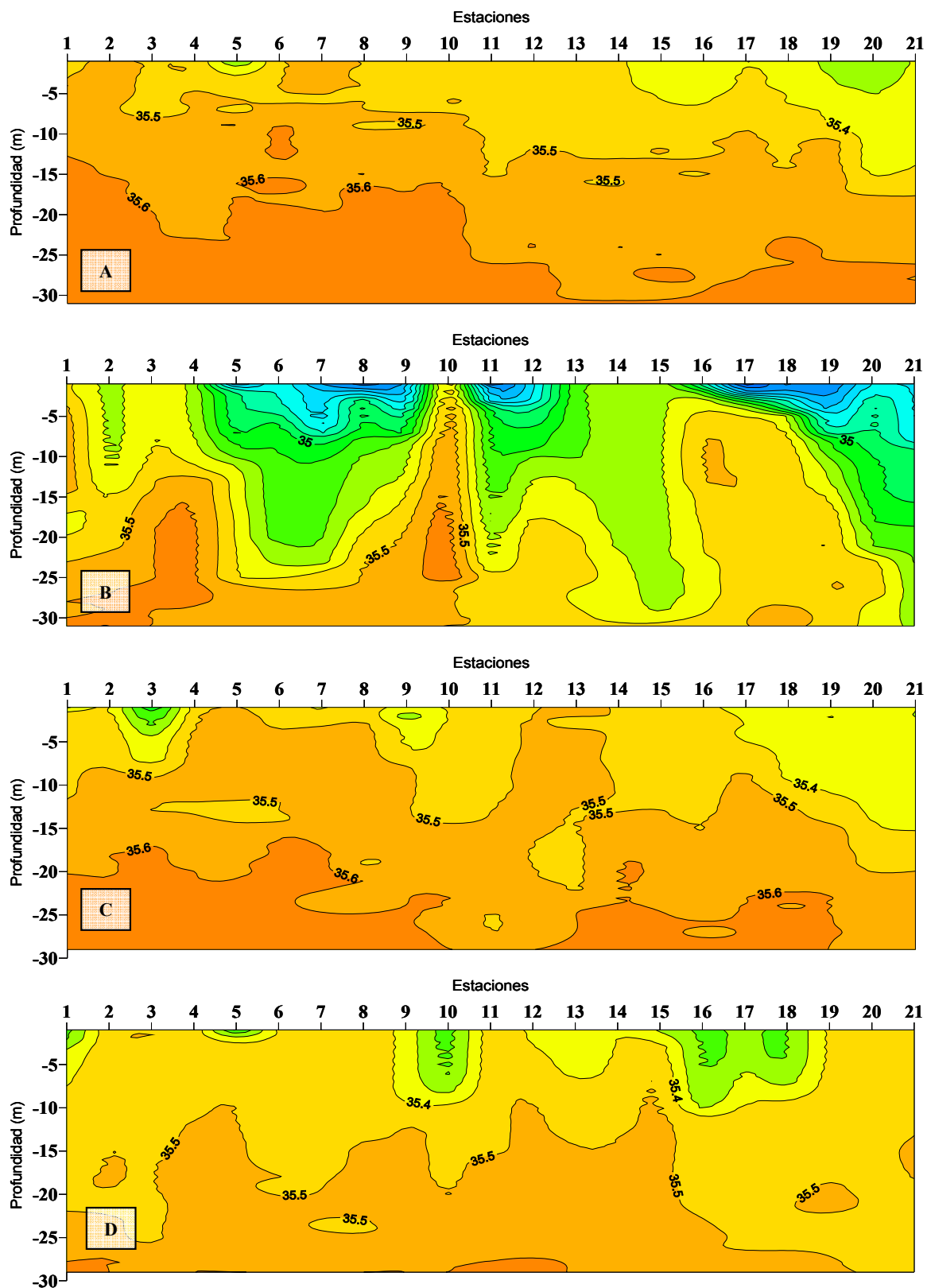


Figura 2. 12. Distribución vertical de Salinidad (‰) en las estaciones costeras de Cantabria durante las campañas de agosto 2005 (A), diciembre 2005 (B), junio 2006 (C) y septiembre 2006 (D).

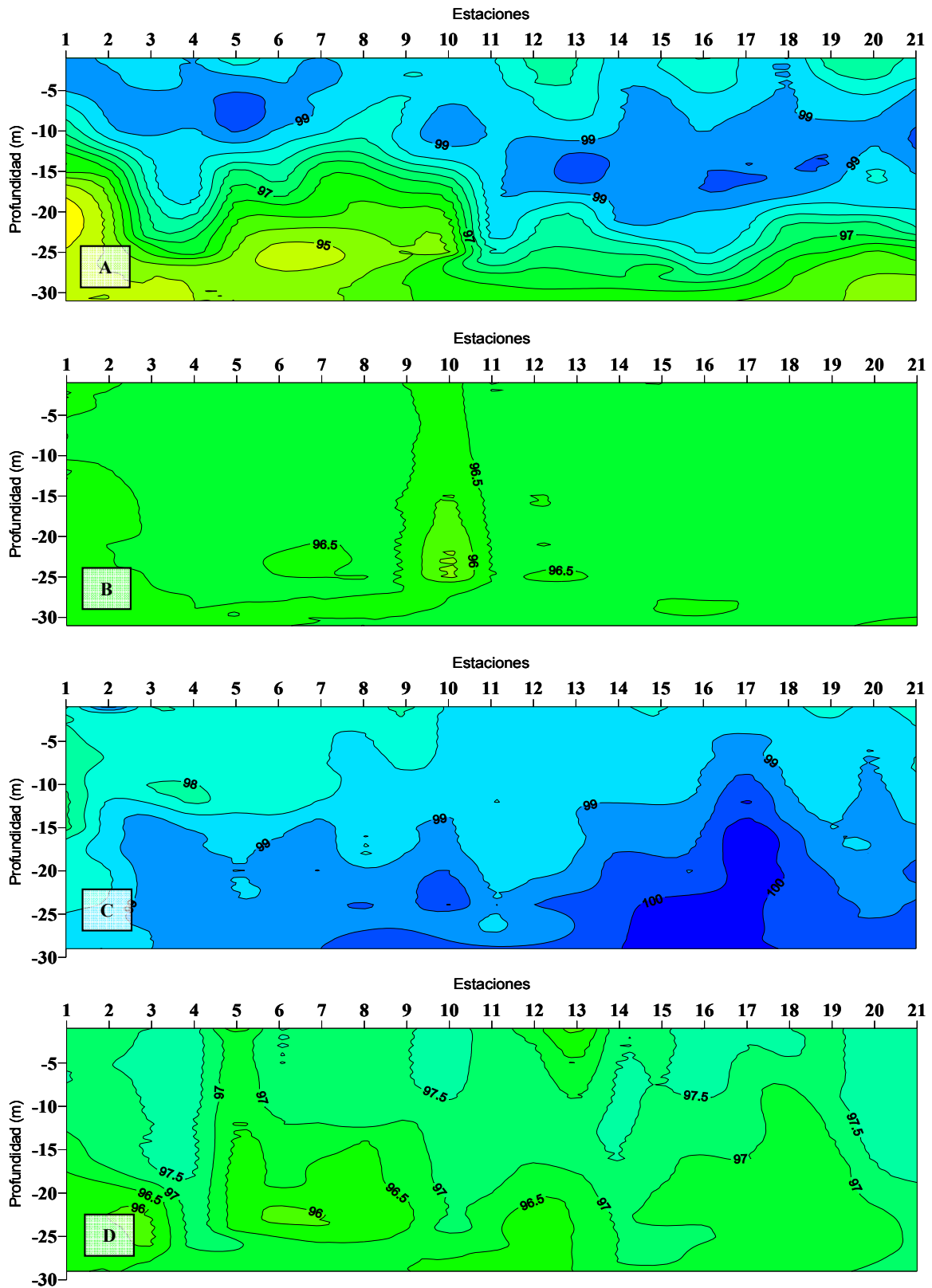


Figura 2. 13. Distribución vertical de Saturación de oxígeno (%) en las estaciones costeras de Cantabria durante las campañas de agosto 05 (A), diciembre 05 (B), junio 06 (C) y septiembre 06 (D).

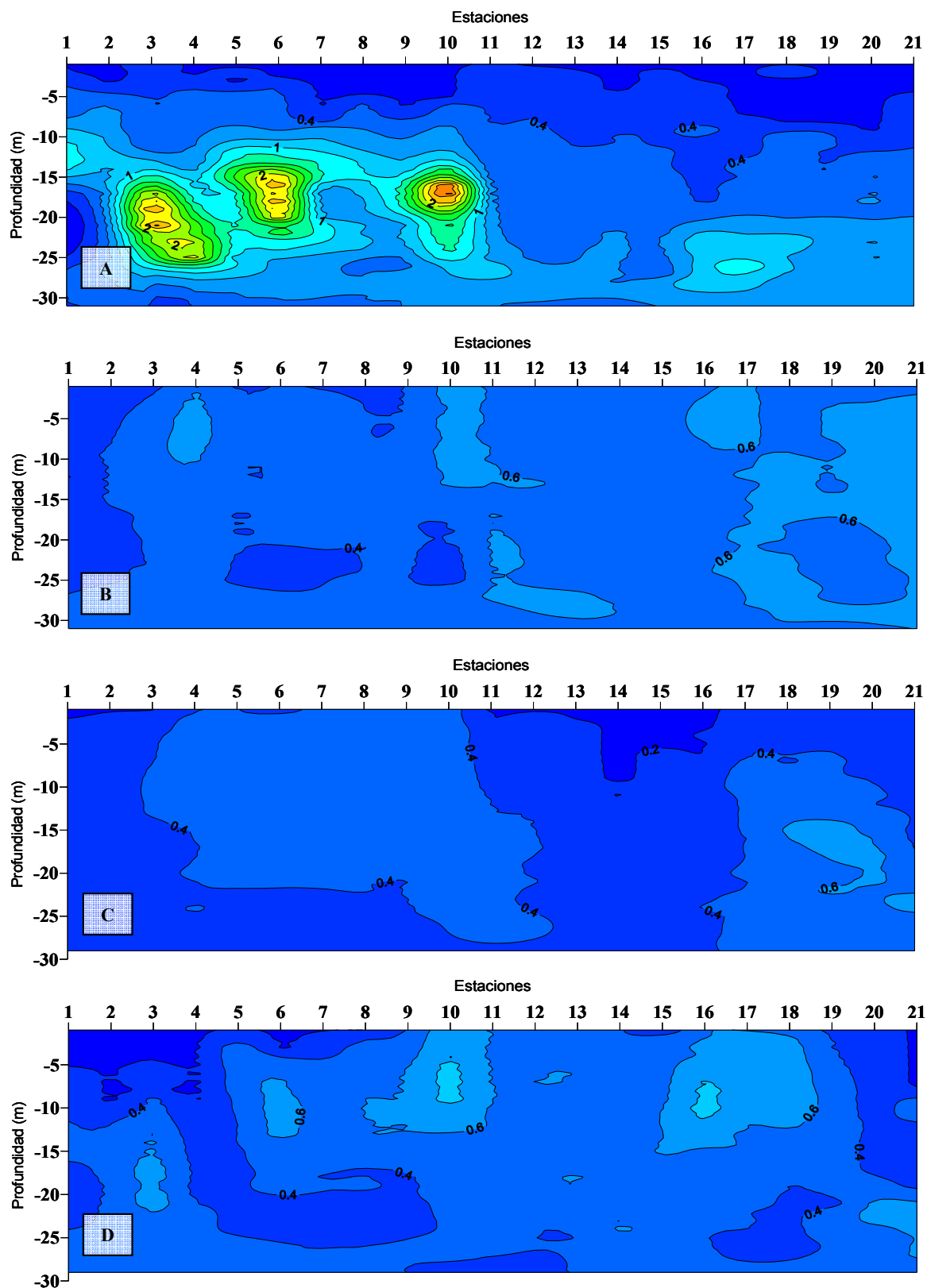


Figura 2. 14. Distribución vertical de Clorofila ( $\mu\text{g/l}$ ) en las estaciones costeras de Cantabria durante las campañas de agosto 2005 (A), diciembre 2005 (B), junio 2006 (C) y septiembre 2006 (D).