

**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



*Al Mar,*





## *Agradecimientos*

Aunque a veces he pensado que este momento no llegaría nunca, de repente me veo aquí, frente a un papel en blanco, pensando en todas las cosas y en todas las personas a las que, de un modo u otro, tengo mucho que agradecer el que esta tesis se haya hecho realidad.

En primer lugar quisiera agradecer a mis directores de tesis José A. Revilla y José A. Juanes la oportunidad que me dieron de trabajar en el Grupo de Emisarios Submarinos e Hidráulica Ambiental (GESHA), así como su esfuerzo y dedicación en ayudarme a desarrollar esta tesis. También quisiera incluir en este párrafo a Araceli Puente, que ha sido para mí como una tercera directora de tesis.

En segundo lugar tengo que agradecer a todos los compañeros y amigos del GESHA y del GIOC, tanto actuales como pasados, el buen ambiente de trabajo que generan y han generado, lo que me ha ayudado, y mucho, tanto a desarrollar esta tesis, como a disfrutar de muy buenos momentos dentro y fuera del trabajo.

Puesto que considero que el disfrutar de la vida ayuda a combatir el estrés asociado al desarrollo de una tesis, en este sentido quisiera también agradecer el apoyo de otros muchos amigos a los que no me es posible nombrar porque retrasaría en exceso el depósito de esta tesis, por lo que me conformo con tenerlos en mi pensamiento. Únicamente haré dos excepciones; la primera, por la “*Kuadrilla*” de Donosti y alrededores, por estar siempre ahí, y, la segunda, por la “*Familia minera*”, por habernos acogido ahí durante estos últimos meses.

Hablando de familias, en este párrafo especial quisiera agradecer a la Ama, al Aita y a Iñaki el haberme dado todo lo necesario para llevar una buena vida, lo que me ha permitido dedicarme a lo que siempre he querido, y cuyo resultado “parcial” es esta tesis.

Finalmente, el párrafo más especial lo reservo para Maitane, porque, en todos los sentidos, es la persona a la que más debo agradecer, tanto el disfrutar de la vida, como el haber hecho realidad esta tesis. *Horregatik, maittia, tesi hau zuretzat da.*

Muchas gracias a todos,  
*Eskerrik asko*



# - ÍNDICE -

## CAPÍTULO I

|  |           |
|--|-----------|
| <b>INTRODUCCIÓN</b>                        | <b>1</b>  |
| <b>1.1. Exposición de motivos</b>          | <b>1</b>  |
| <b>1.2. Estado del conocimiento</b>        | <b>8</b>  |
| 1.2.1. Elementos de calidad fisicoquímicos | 17        |
| 1.2.2. Elementos de calidad biológicos     | 23        |
| 1.2.2.1. Fitoplancton                      | 23        |
| 1.2.2.2. Macroalgas                        | 27        |
| 1.2.2.3. Invertebrados bentónicos          | 33        |
| 1.2.3. Elementos hidromorfológicos         | 37        |
| 1.2.4. Metodologías de Integración         | 38        |
| <b>1.3. Síntesis</b>                       | <b>43</b> |
| <b>1.4. Objetivos de la tesis</b>          | <b>45</b> |

## CAPÍTULO II

|  |           |
|--|-----------|
| <b>DESCRIPCIÓN DEL ÁMBITO DE ESTUDIO</b>                             | <b>47</b> |
| <b>2.1. Características generales del Golfo de Vizcaya</b>           | <b>47</b> |
| <b>2.2. Área de estudio</b>  | <b>52</b> |
| <b>2.3. Masas de agua costeras de Cantabria</b>                      | <b>56</b> |
| <b>2.4. Características biológicas de las comunidades bentónicas</b> | <b>60</b> |
| <b>2.5. Características fisicoquímicas de las aguas</b>              | <b>62</b> |

## CAPÍTULO III

|  |           |
|--|-----------|
| <b>CALIDAD FISICOQUÍMICA DE LAS AGUAS</b>                        | <b>69</b> |
| <b>3.1. Introducción</b>   | <b>69</b> |
| <b>3.2. Objetivos</b>  | <b>78</b> |
| <b>3.3. Metodología</b>  | <b>79</b> |
| 3.3.1. Datos de partida  | 79        |
| 3.3.2. Diseño experimental                                       | 82        |
| 3.3.3. Factor 1: Variables                                       | 83        |
| 3.3.4. Factor 2: Condiciones de referencia y umbrales de calidad | 84        |
| 3.3.5. Factor 3: Métodos de valoración                           | 87        |
| 3.3.5.1. Índice ICATYM2  | 88        |
| 3.3.5.2. Índice CCME WQI   | 91        |
| 3.3.5.3. Método AF-AD  | 94        |
| 3.3.5.4. Método CV   | 97        |

|  |            |
|--|------------|
| 3.3.6. Procesado de datos.....                           | 99         |
| <b>3.4. Resultados.....</b>                              | <b>102</b> |
| 3.4.1. Análisis descriptivo.....                         | 102        |
| 3.4.2. Ordenación estadística de los procedimientos..... | 105        |
| 3.4.3. Análisis de significación de los Factores.....    | 106        |
| 3.4.4. Selección de procedimientos.....                  | 109        |
| 3.4.5. Análisis del grado de ajuste entre métodos.....   | 113        |
| <b>3.5. Discusión.....</b>                               | <b>115</b> |

## **CAPÍTULO IV**

|   |            |
|---|------------|
| <b>VALORACIÓN DE LA CALIDAD DE LAS MACROALGAS</b>   | <b>127</b> |
| <b>4.1. Objetivos.....</b>  | <b>127</b> |
| <b>4.2. Variabilidad espacial y patrones de distribución de las comunidades vegetales de los fondos rocosos submareales de la costa de Cantabria.....</b> | <b>128</b> |
| 4.2.1. Metodología.....   | 131        |
| 4.2.1.1. Toma de datos.....   | 137        |
| 4.2.1.2. Tratamiento de los datos.....  | 140        |
| 4.2.2. Resultados.....  | 144        |
| 4.2.3. Discusión.....   | 156        |
| <b>4.3. Desarrollo de una métrica para la valoración de la calidad de las comunidades de macroalgas.....</b>  | <b>160</b> |
| 4.3.1. Desarrollo del índice.....   | 161        |
| 4.3.1.1. Definición del ámbito de aplicación.....   | 162        |
| 4.3.1.2. Reconocimiento de especies “características”.....  | 163        |
| 4.3.1.3. Selección de indicadores.....  | 164        |
| 4.3.1.4. Establecimiento de los umbrales de calidad.....  | 166        |
| 4.3.1.5. Integración de los indicadores.....  | 171        |
| 4.3.1.6. Procedimiento de aplicación del índice CFR.....  | 173        |
| 4.3.2. Validación preliminar del índice.....  | 175        |
| 4.3.3. Discusión.....   | 177        |
| <b>4.4. Validación del índice CFR en el medio intermareal.....</b>  | <b>181</b> |
| 4.4.1. Metodología.....   | 182        |
| 4.4.1.1. Área de estudio.....   | 182        |
| 4.4.1.2. Diseño experimental.....   | 185        |
| 4.4.1.3. Procesado de datos.....  | 188        |
| 4.4.2. Resultados.....  | 189        |
| 4.4.2.1. Índice CFR.....  | 190        |
| 4.4.2.2. Índice RSL.....  | 192        |
| 4.4.2.3. Intercalibración entre el índice CFR y el índice RSL.....  | 200        |
| 4.4.3. Discusión.....   | 201        |



## CAPÍTULO V

### INTEGRACIÓN DE LOS SISTEMAS DE VALORACIÓN Y APLICACIÓN A LAS MASAS DE AGUA COSTERAS DE CANTABRIA **209**

|  |     |
|--|-----|
| <b>5.1. Introducción</b> .....                                       | 209 |
| <b>5.2. Metodología</b> .....  | 211 |
| 5.2.1. Valoración de los indicadores a nivel de estación (NI-0)..... | 213 |
| 5.2.1.1. Calidad biológica.....                                      | 215 |
| 5.2.1.1.1. Fitoplancton.....   | 215 |
| 5.2.1.1.2. Macroalgas.....   | 218 |
| 5.2.1.1.3. Invertebrados bentónicos.....                             | 218 |
| 5.2.1.2. Calidad fisicoquímica.....                                  | 221 |
| 5.2.1.3. Calidad hidromorfológica.....                               | 221 |
| 5.2.2. NI-1: Integración a nivel de masa de agua.....                | 222 |
| 5.2.3. NI-2: Integración a nivel de elemento de calidad.....         | 223 |
| 5.2.4. NI-3: Integración a nivel de estado ecológico.....            | 224 |
| <b>5.3. Resultados</b> .....   | 225 |
| 5.3.1. Valoración de los indicadores a nivel de estación (NI-0)..... | 225 |
| 5.3.1.1. Fitoplancton.....   | 225 |
| 5.3.1.2. Macroalgas.....   | 226 |
| 5.3.1.3. Invertebrados bentónicos.....                               | 228 |
| 5.3.1.4. Calidad Fisicoquímica.....                                  | 229 |
| 5.3.1.5. Calidad Hidromorfológica.....                               | 232 |
| 5.3.2. NI-1: Integración a nivel de masa de agua.....                | 232 |
| 5.3.2.1. Fitoplancton.....   | 232 |
| 5.3.2.2. Macroalgas.....   | 233 |
| 5.3.2.3. Invertebrados bentónicos.....                               | 234 |
| 5.3.2.4. Calidad Fisicoquímica.....                                  | 235 |
| 5.3.2.5. Calidad Hidromorfológica.....                               | 236 |
| 5.3.2.6. Selección del procedimiento de agregación.....              | 237 |
| 5.3.3. NI-2: I Integración a nivel de elemento de calidad.....       | 238 |
| 5.3.3.1. Elementos de calidad biológicos.....                        | 238 |
| 5.3.3.2. Selección del procedimiento de agregación.....              | 239 |
| 5.3.4. NI-3: Integración a nivel de estado ecológico.....            | 239 |
| <b>5.4. Discusión</b> .....  | 240 |

## CAPÍTULO VI

### CONCLUSIONES Y FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN **251**

|   |     |
|---|-----|
| <b>6.1. Conclusiones</b> .....                    | 251 |
| <b>6.2. Futuras líneas de investigación</b> ..... | 254 |

|                          |            |
|--------------------------|------------|
| <b>REFERENCIAS</b> ..... | <b>255</b> |
|--------------------------|------------|

