

# UNIVERSIDAD DE CANTABRIA



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

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

AREA DE ECOLOGÍA

## TESIS DOCTORAL

### CONTRIBUCIÓN AL CONOCIMIENTO DEL ERIZO DE MAR *Paracentrotus lividus* (LAMARCK, 1816) EN EL MAR CANTÁBRICO: CICLO GONADAL Y DINÁMICA DE POBLACIONES

Presentada por: **JOSÉ MANUEL GONZÁLEZ IRUSTA**

Dirigida por: **JUAN CARLOS CANTERAS JORDANA**  
**GERARDO GARCÍA-CASTRILLO RIESGO**

Santander, julio 2009



*A Raquel, por todo....*

*Maktub*



## **AGRADECIMIENTOS**

*Después de más de cinco años pensando en cómo sería este momento por fin ha llegado y la verdad es que ahora no sé qué decir.... Comenzaré por el principio, que no puede ser otro que agradecer a mi Director de tesis, Juan Carlos Canteras, el haberme dado la oportunidad de realizar esta tesis doctoral y cumplir así en parte mi sueño de dedicarme a la investigación en el medio marino. Durante estos últimos cinco años ha habido momentos buenos, malos y muy malos y en todos ellos Juan Carlos siempre ha tenido la puerta de su despacho abierta, la paciencia de escucharme y una solución para cada problema. Por todo, gracias jefe*

*Además, también tengo que agradecer a mi otro director de tesis, el doctor Gerardo García-Castrillo el tiempo y esfuerzo dedicado a codirigir esta tesis doctoral, especialmente en la parte final donde sus correcciones y consejos han mejorado notablemente este documento.*

*Por supuesto a mis compañeros del grupo de Ecología: A Ángela por esos cafés en los que solo hablaba yo, contándole mis penas mientras ella escuchaba paciente y por los muestreos de Laredo en los que compartimos frío y buenos momentos. A Javi, por acompañarme en todos y cada uno de los muestreos en Laredo, por la ayuda con la taxonomía, por las fotos y por su humor ácido. A Patricia, por ser mi profesora particular de edición, por mejorar mi trabajo con su buen gusto y por cabrearme con sus inteligentes correcciones. A María, por la ayuda con la estadística, los muestreos y porque durante varios años compartimos juntos las penurias del doctorado. A mi compi de despacho Pablo, por la ayuda con las fotos aéreas, por la música infernal que me pone y sobre todo por las risas. A Manuel por las fotos y los consejos. A Jaime, por la ayuda con los muestreos y porque se le sigue echando de menos por el departamento. A JR, por su paciencia conmigo en el laboratorio y su compañía en aquellos largos días tras los muestreos. A Xabi, Luisa, Sira, Rebeca Isabel, Juampa, Joaco... A todos muchas gracias.*

*A los compañeros de café de la Fundación, por aguantarme incluso cuando estaba tan cabreado que solo tenía ganas de decir borderías. Por hacerme el doctorado más llevadero y por hacer de las 11:50 el mejor momento del día.*

*A Paco Baldó, por leerse el capítulo del crecimiento y por los consejos y correcciones en esa parte crítica de la tesis.*

*A las personas que con sus fotos han embellecido esta tesis doctoral. (Fernando Sanchoyarto, Luis Angel Díaz, Pedro Agustín, etc).*

*A la gente del Instituto Español de Oceanografía: Arronte, Juan, Esther, Lucia, Xulio, Alberto, Antonio, Pepe, Isa y tantos otros.....Porque durante los tres años en los que he embarcado con vosotros me habéis devuelto la ilusión por mi trabajo.*

*A la Biokuadri, porque nunca tanto talento coincidió en tan poco espacio, porque cada biokedada me ha acercado al final de este doctorado, por compartir penurias y risas y porque gracias a biólogos como vosotros me siento orgulloso de mi profesión.*

*A mis colegas de Castro, porque sin vuestra amistad este doctorado no serviría de nada. Por escuchar mis quejicosas chapas, porque siempre me habéis apoyado y animado, por todo, gracias.*

*A mi hermana Patricia, porque siempre me ha comprendido y apoyado. Por ayudarme a explicar al resto de la familia que investigar es trabajar y por Héctor, mi sobrino.*

*A mi hermano Ángel. Porque aunque lo demuestre a su manera sé que me quiere y me apoya. Por ser un entrañable gruñón y porque me digan lo que me digan sobre los vagos investigadores él ya me lo ha dicho antes.*

*A mi Abuela Mercedes. Porque siempre he sido su nieto favorito. Por la noche de Coso Blanco en la que me bajó a hombros, por sacar adelante a su familia ella sola en una época tan difícil y porque mientras pudo cuidó de todos.*

*A mi padre. Porque con él descubrí el mar. Por llevarme a pescar en Balamo, porque nunca olvidaré aquellos días de verano en los que íbamos a pescar cabras, ni aquel enorme zapatero que saqué en la bahía de Castro.*

*A mi madre. Por ser la mejor madre del mundo, aunque suene a tópico en este caso es científicamente demostrable. Porque lo ha sacrificado todo para que a mí y mis hermanos no nos falte de nada. Por obligarme a estudiar a base de interminables repeticiones, por compartir conmigo el placer de la lectura, por todo.*

*A Raquel, por compartir su vida conmigo, sin ella esta tesis solo serían hojas vacías.*

*A todos, muchas gracias!!!!!!!!!!!!!!*







# ÍNDICE

|   |    |
|---|----|
| <b>1. CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN</b> .....                                | 1  |
| 1.1. LOS ERIZOS DEL MAR CANTÁBRICO.....                                 | 6  |
| 1.2. EL ERIZO DE MAR <i>PARACENTROTUS LIVIDUS</i> (LAMARCK, 1816) ..... | 13 |
| 1.3. LOS ERIZOS DE MAR COMO RECURSO PESQUERO .....                      | 16 |
| 1.3.1. EVOLUCIÓN DE LAS PESQUERÍAS DE ERIZO EN EL MUNDO .....           | 16 |
| 1.3.2. LA PESCA DEL ERIZO DE MAR EN EUROPA.....                         | 19 |
| 1.3.2.1. FRANCIA .....  | 20 |
| 1.3.2.2. IRLANDA.....   | 22 |
| 1.3.2.3. OTROS PAÍSES.....  | 23 |
| 1.3.3. LA PESCA DEL ERIZO DE MAR EN ESPAÑA .....                        | 24 |
| 1.3.3.1. EL ERIZO DE MAR EN CANTABRIA.....                              | 27 |
| <b>2. CAPÍTULO 2: OBJETIVOS</b> .....                                   | 29 |
| 2.1. OBJETIVOS GENERALES .....  | 31 |
| 2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICO .....   | 31 |
| 2.2.1. ESTUDIO DEL CICLO GONADAL.....                                   | 31 |
| 2.2.2. ESTUDIO DE LA DINÁMICA POBLACIONAL .....                         | 32 |
| <b>3. CAPÍTULO 3: CICLO GONADAL</b> .....                               | 35 |
| 3.1. INTRODUCCIÓN .....   | 37 |
| 3.2. MATERIAL Y MÉTODOS.....  | 40 |
| 3.2.1. ESTACIONES DE MUESTREO .....                                     | 41 |
| 3.2.1.1. ISLARES.....   | 41 |
| 3.2.1.2. ARNÍA .....  | 45 |
| 3.2.1.3. FONFRÍA.....   | 47 |
| 3.2.2. METODOLOGÍA DE MUESTREO .....                                    | 52 |
| 3.2.3. TRATAMIENTO DE LAS MUESTRAS.....                                 | 53 |
| 3.2.3.1. EXTRACCIÓN DE LAS GÓNADAS .....                                | 54 |
| 3.2.4. TRATAMIENTO HISTOLÓGICO.....                                     | 55 |
| 3.2.5. ÍNDICES GONDALES .....   | 58 |
| 3.2.5.1. ÍNDICE GONADAL INSESGADO .....                                 | 62 |

|            |   |     |
|------------|---|-----|
| 3.2.6.     | CLASIFICACIÓN DE LOS CORTES HISTOLÓGICOS .....              | 64  |
| 3.2.7.     | DESCRIPCIÓN DE LAS FASES GONDALES EMPLEADAS .....           | 67  |
| 3.2.7.1.   | FASE I: FASE DE RECONSTITUCIÓN GONADAL.....                 | 67  |
| 3.2.7.2.   | FASE II: FASE DE CRECIMIENTO .....                          | 68  |
| 3.2.7.3.   | FASE III: FASE DE PREMADURACIÓN.....                        | 68  |
| 3.2.7.4.   | FASE IV: FASE MADURA.....                                   | 69  |
| 3.2.7.5.   | FASE V: FASE DE PUESTA PARCIAL .....                        | 70  |
| 3.2.7.6.   | FASE VI: FASE POST-PUESTA .....                             | 72  |
| 3.2.8.     | OBTENCIÓN DE DATOS DE TEMPERATURA                           |     |
|            | Y CONCENTRACIÓN DE CLOROFILA .....                          | 73  |
| 3.2.8.1.   | DATOS DE TEMPERATURA .....                                  | 73  |
| 3.2.8.2.   | DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE CLOROFILA.....         | 75  |
| 3.2.9.     | TRATAMIENTO DE DATOS .....                                  | 77  |
| 3.3.       | RESULTADOS .....  | 79  |
| 3.3.1.     | PORCENTAJE DE HUMEDAD DE LA GÓNADA .....                    | 79  |
| 3.3.1.1.   | EFFECTO DEL TIEMPO (VARIACIÓN MENSUAL) SOBRE EL P.H.G. .... | 79  |
| 3.3.1.2.   | EFFECTO DE LA FASE GONADAL SOBRE EL P.H.G.....              | 81  |
| 3.3.1.3.   | RELACIÓN ENTRE EL PORCENTAJE DE HUMEDAD Y EL                |     |
|            | ÍNDICE GONADAL HÚMEDO .....                                 | 83  |
| 3.3.2.     | RELACIONES BIOMÉTRICAS.....                                 | 83  |
| 3.3.2.1.   | RELACIÓN ENTRE EL COLOR Y EL DIÁMETRO .....                 | 83  |
| 3.3.2.2.   | RELACIÓN ENTRE EL DIÁMETRO Y LA ALTURA .....                | 87  |
| 3.3.2.3.   | RELACIÓN ENTRE EL DIÁMETRO Y EL I.G.H.....                  | 90  |
| 3.3.3.     | ANÁLISIS DEL ÍNDICE GONADAL HÚMEDO .....                    | 92  |
| 3.3.3.1.   | ANÁLISIS DEL TAMAÑO GONADAL .....                           | 93  |
| 3.3.3.1.1. | INFLUENCIA DEL SEXO EN EL I.G.H.....                        | 93  |
| 3.3.3.1.2. | INFLUENCIA DE LA LOCALIDAD EN EL I.G.H.....                 | 93  |
| 3.3.3.1.3. | INFLUENCIA DEL HÁBITAT EN EL I.G.H.....                     | 95  |
| 3.3.3.1.4. | INFLUENCIA DEL HÁBITAT Y LA LOCALIDAD                       |     |
|            | EN EL I.G.H. ....   | 96  |
| 3.3.3.2.   | EVOLUCIÓN EN EL TIEMPO DEL I.G.H.....                       | 98  |
| 3.3.3.2.1. | EVOLUCIÓN DEL I.G.H. PARA EL CONJUNTO                       |     |
|            | DE POBLACIONES .....  | 98  |
| 3.3.3.2.2. | EVOLUCIÓN DEL I.G.H. EN FUNCIÓN DEL HABITAT.....            | 100 |
| 3.3.3.2.3. | EVOLUCIÓN DEL I.G.H. EN FUNCIÓN DE LA LOCALIDAD ...         | 104 |
| 3.3.3.2.4. | EVOLUCIÓN DEL I.G.H. EN FUNCIÓN DE LA POBLACIÓN....         | 109 |
| 3.3.4.     | CORTES HISTOLÓGICOS .....                                   | 120 |
| 3.3.4.1.   | ANÁLISIS CONJUNTO .....                                     | 120 |
| 3.3.4.2.   | ANÁLISIS EN FUNCIÓN DEL HÁBITAT .....                       | 122 |
| 3.3.4.3.   | ANÁLISIS EN FUNCIÓN DE LA LOCALIDAD .....                   | 126 |

|            |  |     |
|------------|--|-----|
| 3.3.4.4.   | ANÁLISIS DE LAS POBLACIONES POR SEPARADO .....                                       | 131 |
| 3.3.5.     | INFLUENCIA DE LA FASE GONADAL EN EL ÍNDICE<br>GONADAL HÚMEDO .....                   | 139 |
| 3.3.6.     | FACTORES AMBIENTALES: TEMPERATURA, FOTOPERIODO Y<br>CONCENTRACIÓN DE CLOROFILA ..... | 141 |
| 3.3.6.1.   | TEMPERATURA EN LAS BOYAS OCEANOGRÁFICAS .....  | 141 |
| 3.3.6.2.   | TEMPERATURA <i>IN SITU</i> .....   | 144 |
| 3.3.6.3.   | FOTOPERIODO .....  | 148 |
| 3.3.6.4.   | CONCENTRACIÓN DE CLOROFILA .....   | 148 |
| 3.4.       | DISCUSIÓN .....  | 152 |
| 3.4.1.     | PORCENTAJE DE HUMEDAD DE LA GÓNADA .....   | 152 |
| 3.4.2.     | RELACIONES BIOMÉTRICAS.....  | 156 |
| 3.4.2.1.   | RELACIÓN ENTRE EL COLOR Y EL DIÁMETRO .....  | 156 |
| 3.4.2.2.   | RELACIÓN ENTRE EL DIÁMETRO Y LA ALTURA .....   | 158 |
| 3.4.2.3.   | RELACIÓN ENTRE EL DIÁMETRO Y EL ÍNDICE<br>GONADAL HUMEDO .....                       | 160 |
| 3.4.3.     | ÍNDICE GONADAL HÚMEDO.....   | 161 |
| 3.4.3.1.   | TAMAÑO GÓNADAL.....  | 161 |
| 3.4.3.2.   | CICLO GÓNADAL .....  | 167 |
| 3.4.3.2.1. | CONJUNTO DE POBLACIONES.....   | 167 |
| 3.4.3.2.2. | EFECTO DEL HÁBITAT EN EL EVOLUCIÓN DEL<br>CICLO GONADAL.....                         | 171 |
| 3.4.3.2.3. | EFECTO DE LA LOCALIDAD SOBRE EL CICLO GONADAL...                                     | 174 |
| 3.4.3.2.4. | POBLACIONES POR SEPARADO.....  | 177 |
| 3.4.4.     | RELACIÓN ENTRE EL CICLO GONADAL Y<br>LOS FACTORES AMBIENTALES.....                   | 188 |

#### **4. CAPÍTULO 4: DINÁMICA DE POBLACIONES .....** 198

|        |  |     |
|--------|--|-----|
| 4.1.   | INTRODUCCIÓN .....   | 201 |
| 4.2.   | DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO Y METODOLOGÍA<br>DE MUESTREO ..... | 202 |
| 4.2.1. | TRANSECTO A .....  | 210 |
| 4.2.2. | TRANSECTO B .....  | 210 |
| 4.2.3. | TRANSECTO C .....  | 213 |
| 4.2.4. | TRANSECTO D .....  | 216 |
| 4.2.5. | METODOLOGÍA DE MUESTREO .....  | 218 |
| 4.3.   | CRECIMIENTO .....  | 221 |
| 4.3.1. | INTRODUCCIÓN .....   | 221 |
| 4.3.2. | MATERIAL Y MÉTODOS.....  | 231 |

|            |  |     |
|------------|--|-----|
| 4.3.2.1.   | IDENTIFICACIÓN DE COHORTES.....  | 231 |
| 4.3.2.2.   | SEGUIMIENTO DE COHORTES.....   | 234 |
| 4.3.2.3.   | DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE CRECIMIENTO .....                                   | 235 |
| 4.3.2.3.1. | DETERMINACIÓN DE LA CURVA DE CRECIMIENTO<br>MEDIANTE DATOS DE EDAD-DIÁMETRO .....      | 238 |
| 4.3.2.3.2. | DETERMINACIÓN DE LA CURVA DE CRECIMIENTO<br>A PARTIR DE INTERVALOS DE CRECIMIENTO..... | 241 |
| 4.3.2.4.   | ANÁLISIS DE LA ESTACIONALIDAD DEL CRECIMIENTO.....                                     | 245 |
| 4.3.3.     | RESULTADOS .....   | 246 |
| 4.3.3.1.   | IDENTIFICACIÓN Y SEGUIMIENTO DE COHORTES.....  | 246 |
| 4.3.3.1.1. | COHORTE 07.....  | 249 |
| 4.3.3.1.2. | COHORTE 06.....  | 251 |
| 4.3.3.1.3. | COHORTE 05.....  | 254 |
| 4.3.3.1.4. | COHORTE 04.....  | 257 |
| 4.3.3.1.5. | COHORTE 03.....  | 263 |
| 4.3.3.1.6. | COHORTE 02.....  | 268 |
| 4.3.3.1.7. | COHORTE 01.....  | 272 |
| 4.3.3.1.8. | COHORTE 00.....  | 275 |
| 4.3.3.1.9. | COHORTE 99.....  | 277 |
| 4.3.3.2.   | DATOS DE EDAD-DIÁMETRO Y TASAS DE CRECIMIENTO .....                                    | 279 |
| 4.3.3.3.   | MODELOS DE CRECIMIENTO .....   | 282 |
| 4.3.3.3.1. | MODELOS DE CRECIMIENTO BASADOS EN<br>INTERVALOS DE DE CRECIMIENTO.....                 | 282 |
| 4.3.3.3.2. | MODELOS DE CRECIMIENTO BASADOS EN DATOS<br>DE EDAD-DIÁMETRO.....                       | 285 |
| 4.3.3.4.   | ANÁLISIS DE LA ESTACIONALIDAD DEL CRECIMIENTO.....                                     | 287 |
| 4.3.3.4.1. | EFECTO DE LA REPRODUCCIÓN EN LA<br>ESTACIONALIDAD DEL CRECIMIENTO.....                 | 291 |
| 4.3.3.4.2. | EFECTO DE LA TEMPERATURA EN LA TASA<br>DE CRECIMIENTO .....                            | 296 |
| 4.3.3.4.3. | EFECTO DEL AÑO EN LA TASA DE CRECIMIENTO .....   | 301 |
| 4.3.4.     | DISCUSIÓN .....  | 305 |
| 4.3.4.1.   | MODELOS DE CRECIMIENTO .....   | 305 |
| 4.3.4.1.1. | DETERMINACIÓN Y COMPARACIÓN DE LOS<br>PARÁMETROS DE CRECIMIENTO .....                  | 311 |
| 4.3.4.1.2. | DETERMINACIÓN Y COMPARACIÓN DE LA CURVA<br>DEFINITIVA DE CRECIMIENTO.....              | 320 |
| 4.3.4.2.   | ESTACIONALIDAD DEL CRECIMIENTO .....   | 324 |
| 4.3.4.2.1. | EFECTO DE LA REPRODUCCIÓN EN<br>LA ESTACIONALIDAD DEL CRECIMIENTO .....                | 325 |

|            |   |            |
|------------|---|------------|
| 4.3.4.2.2. | EFECTO DE LA TEMPERATURA<br>EN LA ESTACIONALIDAD.....               | 331        |
| 4.3.4.2.3. | EFECTO DEL AÑO EN LA ESTACIONALIDAD .....                           | 334        |
| 4.4.       | ANÁLISIS DE DENSIDAD: RECLUTAMIENTO, MIGRACIONES Y MORTALIDAD ..... | 335        |
| 4.4.1.     | INTRODUCCIÓN .....  | 335        |
| 4.4.2.     | MATERIAL Y MÉTODOS.....   | 338        |
| 4.4.2.1.   | RECLUTAMIENTO .....   | 339        |
| 4.4.2.2.   | MIGRACIONES .....   | 340        |
| 4.4.2.3.   | MORTALIDAD .....  | 341        |
| 4.4.3.     | RESULTADOS .....  | 345        |
| 4.4.3.1.   | DISTRIBUCIÓN Y COMPOSICIÓN DE LA POBLACIÓN .....                    | 345        |
| 4.4.3.1.1. | DISTRIBUCIÓN DE LA DENSIDAD.....                                    | 345        |
| 4.4.3.1.2. | ANÁLISIS DEL DIÁMETRO MEDIO EN LA<br>ZONA DE ESTUDIO .....          | 350        |
| 4.4.3.1.3. | DISTRIBUCIÓN DE DIÁMETROS EN LA POBLACIÓN .....                     | 353        |
| 4.4.3.2.   | RECLUTAMIENTO .....   | 361        |
| 4.4.3.2.1. | VARIACIÓN ESPACIAL DEL RECLUTAMIENTO .....                          | 371        |
| 4.4.3.2.2. | RELACIÓN ENTRE EL RECLUTAMIENTO Y LA<br>DENSIDAD DE ADULTOS .....   | 374        |
| 4.4.3.3.   | MIGRACIONES .....   | 379        |
| 4.4.3.3.1. | MIGRACIONES DURANTE EL CICLO DE VIDA.....                           | 380        |
| 4.4.3.4.   | MORTALIDAD .....  | 388        |
| 4.4.3.4.1. | COHORTE 06.....   | 392        |
| 4.4.3.4.2. | COHORTE 05 .....  | 393        |
| 4.4.3.4.3. | COHORTE 04 .....  | 395        |
| 4.4.3.4.4. | ESTIMACIÓN DE LA MORTALIDAD NATURAL Z.....                          | 396        |
| 4.4.4.     | DISCUSIÓN .....   | 400        |
| 4.4.4.1.   | DISTRIBUCIÓN Y COMPOSICIÓN DE LA POBLACIÓN .....                    | 400        |
| 4.4.4.1.1. | DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LA DENSIDAD.....                           | 400        |
| 4.4.4.1.2. | DISTRIBUCIÓN DEL DIÁMETRO Y COMPOSICIÓN<br>DE TALLAS .....          | 405        |
| 4.4.4.2.   | RECLUTAMIENTO .....   | 410        |
| 4.4.4.2.1. | VARIACIÓN ESPACIAL DEL RECLUTAMIENTO .....                          | 418        |
| 4.4.4.3.   | MIGRACIONES .....   | 424        |
| 4.4.4.3.1. | MIGRACIONES DURANTE EL CICLO DE VIDA.....                           | 428        |
| 4.4.4.4.   | MORTALIDAD .....  | 432        |
| <b>5.</b>  | <b>CAPÍTULO 5: CONCLUSIONES .....</b>                               | <b>443</b> |
| 5.1.       | RELACIONES BIOMÉTRICAS.....   | 445        |

|  |            |
|--|------------|
| 5.2. CICLO GONADAL .....   | 445        |
| 5.3. RELACIÓN ENTRE EL CICLO GONADAL Y LOS FACTORES AMBIENTALES.....         | 446        |
| 5.4. CRECIMIENTO .....   | 447        |
| 5.5. RECLUTAMIENTO, MIGRACIONES Y MORTALIDAD.....                            | 448        |
| 5.6. EL ERIZO DE MAR <i>Paracentrotus lividus</i> COMO RECURSO PESQUERO..... | 449        |
| <b>6. BIBLIOGRAFÍA .....</b>   | <b>451</b> |