
PROYECTO FIN DE CARRERA:

**AVES ACUÁTICAS COMO BIOINDICADORES EN EL
SEGUIMIENTO DE HUMEDALES: APLICACIÓN EN EL
MAR MENOR**

TUTOR:

FRANCISCO ROBLDANO AYMERICH

Indice

1.	INTRODUCCIÓN.....	4
1.1.	LA LAGUNA COSTERA DEL MAR MENOR	4
1.1.1.	Descripción general de la laguna y su encuadre geográfico.....	4
1.1.2.	La cuenca hidrográfica y sus características hidrológicas.....	5
1.1.3.	Características de la laguna	6
1.1.3.1.	Características geológicas	6
1.1.3.2.	Características hidrológicas e hidrodinámicas	7
1.1.3.3.	Sedimentos	8
1.1.3.4.	Valores biológicos	9
1.1.3.5.	Figuras de protección.....	12
1.1.3.6.	Valores culturales y tradicionales (agricultura, pesca, otros).....	13
1.2.	MARCO GENERAL Y JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO.....	15
1.2.1.	FACTORES DE PRESIÓN.....	16
1.2.1.1.	Contaminación minera.....	16
1.2.1.2.	Agricultura intensiva	17
1.2.1.3.	Presión urbanística y modelos de turismo insostenible.....	20
1.2.1.4.	Amplificación de las perturbaciones naturales.....	22
1.2.2.	EXTERNALIDADES DERIVADAS	24
1.2.2.1.	Cambios en la concentración de nutrientes. Proceso de eutrofización..	24
1.2.2.2.	Cambios en la composición de especies y aprovechamiento de recursos. Alteración de redes tróficas.	26
1.2.2.3.	Alteración de hábitats	27
1.2.3.	AVES ACUÁTICAS COMO BIOINDICADORES.....	28
1.3.	OBJETIVOS	31
1.3.1.	GENERALES	31
1.3.2.	ESPECÍFICOS	31
2.	METODOLOGÍA.....	33
2.1.	REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA Y DOCUMENTAL.....	33
2.1.1.	COMPOSICIÓN Y CARACTERÍSTICAS DE LA COMUNIDAD DE AVES	33
2.1.2.	CARACTERIZACIÓN DE LAS RELACIONES TRÓFICAS	34
2.2.	TRABAJO DE CAMPO.....	35
2.2.1.	PROTOCOLO Y METODOLOGÍA DE CENSO	35
2.2.1.1.	Selección de estaciones de muestreo.....	35
2.2.1.2.	Selección de especies.....	43
2.2.1.3.	Planificación de la temporada: Calendario de censos	44
2.2.1.4.	Registro de datos: fichas de censo y de sector.....	45
2.2.1.5.	Metodología de observación.....	46
2.3.	SELECCIÓN DE VARIABLES AMBIENTALES	46
2.4.	ANÁLISIS ESTADÍSTICO	49
3.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	52
3.1.	COMPOSICIÓN Y ABUNDANCIA DE LA COMUNIDAD DE AVES DE LA LAGUNA	52
3.1.1.	ANTECEDENTES	52
3.1.2.	TEMPORADA ESTUDIADA	54
3.2.	CARACTERIZACIÓN DE LAS RELACIONES TRÓFICAS	58
3.2.1.	ESTRUCTURA GENERAL DE LAS RELACIONES TRÓFICAS	58
3.2.1.1.	Consideraciones generales.....	58
3.2.1.2.	Distribución de las biocenosis en el área de estudio	59
3.2.2.	CARENCIAS DE INFORMACIÓN Y PROPUESTAS DE MEJORA.....	62

3.3.	DISTRIBUCIÓN Y ABUNDANCIA DE LAS POBLACIONES DE AVES	64
3.3.1.	Somormujo Lavanco (<i>Podiceps cristatus</i>)	64
3.3.2.	Focha Común (<i>Fulica atra</i>)	67
3.3.3.	Zampullín Cuellinegro (<i>Podiceps nigricollis</i>)	69
3.3.4.	Cormorán Grande (<i>Phalacrocorax carbo</i>)	71
3.4.	RELACIONES CON LAS VARIABLES AMBIENTALES	73
3.4.1.	Somormujo Lavanco (<i>podiceps cristatus</i>)	73
3.4.2.	Focha Común (<i>fulica atra</i>)	77
3.4.3.	Zampullín Cuellinegro (<i>podiceps nigricollis</i>)	80
3.4.4.	Cormorán grande	84
3.4.5.	Síntesis final	85
4.	CONCLUSIONES	89
5.	AGRADECIMIENTOS	93
6.	BIBLIOGRAFÍA	94
7.	ANEXOS	103

1. INTRODUCCIÓN

1.1. LA LAGUNA COSTERA DEL MAR MENOR

1.1.1. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA LAGUNA Y SU ENCUADRE GEOGRÁFICO

La laguna hipersalina del Mar Menor y los humedales asociados a ella, constituyen un rico complejo palustre situado en la costa sureste del levante español (Figura 1). Concretamente su cuenca se integra en el llamado Campo de Cartagena, que ocupa el este de la Región de Murcia (Rodríguez-Estrella y Lillo, 1992).

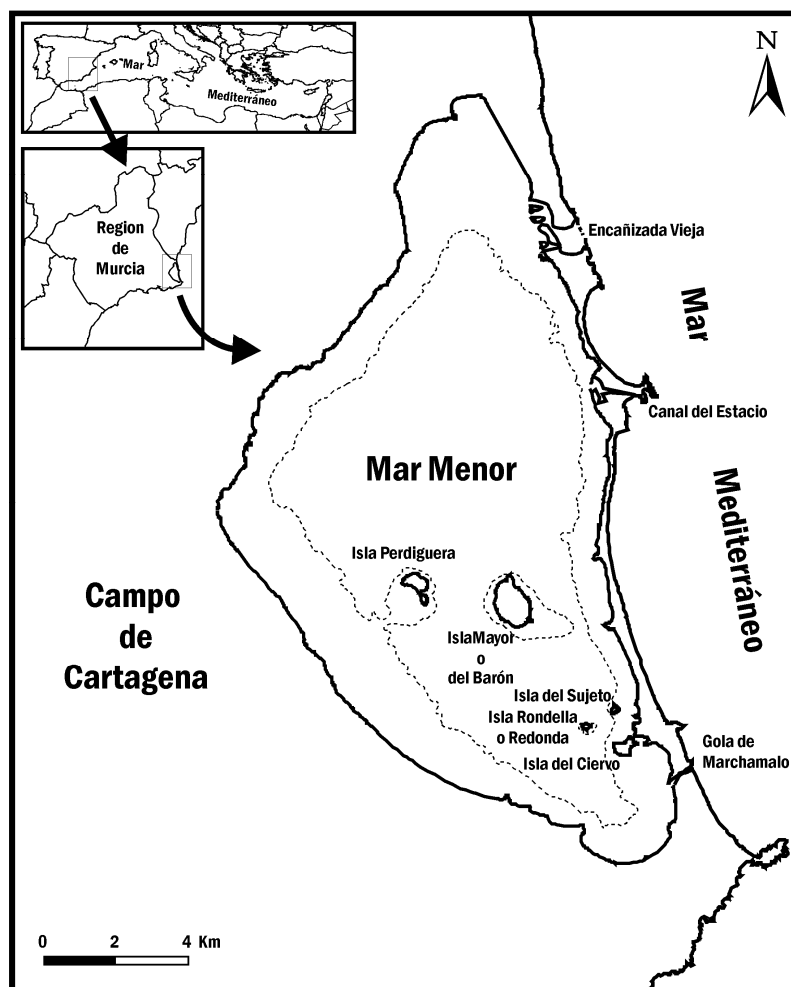


Figura 1. Localización del Mar Menor y detalle de sus principales accidentes interiores (islas) y elementos de comunicación con el exterior (golas).

Esta laguna costera, la mayor de todo el Mediterráneo (Pérez-Ruzafa y Marcos, 2003), es un ecosistema complejo, abierto y muy dinámico, que intercambia materia y energía con los sistemas adyacentes. Este humedal, de elevada biodiversidad y heterogeneidad ambiental, ofrece destacables, singulares, y a veces únicos, valores ecológicos, paisajísticos así como culturales. De hecho, ha sido poseedora de una rica y tradicional cultura de actividades de producción tales como la agricultura de secano y las artes de pesca tradicional, o el desarrollo, desde tiempos del imperio romano, de la industria salinera o minera. Si bien es cierto, como se verá, que estos hábitos culturales y tradicionales han sido empujados al olvido, obligados al cambio, sustituidos o explotados, en muchas ocasiones, hasta el punto de superar las capacidades de carga de los sistemas que recogen los impactos generados.

1.1.2. LA CUENCA HIDROGRÁFICA Y SUS CARACTERÍSTICAS HIDROLÓGICAS

La cuenca hidrográfica que rodea y alimenta la laguna tiene un área aproximada de 1.200 km² y está drenada por varios cursos de agua, presentando la gran mayoría de ellos, un régimen intermitente.

La mayoría de estos cursos, llamados “ramblas” constituyen un fenómeno típico de los paisajes semiáridos mediterráneos. Estos cursos presentan flujos naturales escasos y efímeros, y son altamente dependientes de los regímenes de lluvias torrenciales y esporádicas. Según Pérez-Ruzafa (2005), se cuentan más de veinte cursos de agua cataclinales, descargando muchos en la parte sur de la cuenca. Por su parte, Martínez *et al.* (2005 b) identifican 16 subcuencas, cada una de ella drenada por un canal o rambla principal, dentro de la cuenca de drenaje del Mar Menor.

Hasta hace algunos años no había cursos de agua permanentes que vertieran a la laguna. No obstante, los incrementos significativos en la superficie irrigada en el Campo de Cartagena están cambiando, en los últimos años, el régimen hídrico de algunos de estos cursos, como la Rambla del Albuñón, que actualmente mantiene caudales regulares (Martínez *et al.*, 2003) descargando agua, sedimentos y nutrientes a la laguna.

La unidad hidrogeológica del campo de Cartagena, es una unidad amplia y compleja, en la que existen varios acuíferos. Los más significativos pertenecen al Triásico, formados por dolomías, al Andaluciense, por calizas bioclásticas, al Plioceno, por areniscas, y al Cuaternario, por materiales detríticos y conglomerados. La llegada del trasvase Tajo-Segura permitió reducir la sobreexplotación a la que estaban sometidos, y además supuso un aporte hídrico extra en las aguas de infiltración. Estos dos aspectos posibilitaron el aumento, a partir de los años 80, del nivel freático en la cuenca, que mantenía una tendencia claramente descendente hasta entonces (Senent Alonso, 2003).

1.1.3. Características de la laguna

1.1.3.1. Características geológicas

Sin duda, el fenómeno más notorio e importante de la historia geológica asociada a la laguna es la formación de La Manga y las islas volcánicas del interior. La Manga constituye un cordón detrítico-volcánico de 24 km de largo y una anchura de entre 100 y 800 m, que se formó, entre el Mioceno superior y el Cuaternario, tras una serie de erupciones volcánicas que dieron lugar a la formación de las islas del interior. Gracias a los escollos de rocas volcánicas presentes en los extremos de la laguna, que todavía era una bahía en forma de arco, las arenas movidas por las corrientes y los fangos descargados por las ramblas se fueron acumulando formando un cordón de barras detríticas, cada vez más compactas e intercomunicadas que dio lugar, finalmente, a La Manga (Mancheño Jiménez y Arana Castillo, 2003). El actual sustrato de arenas eólicas constituye un depósito reciente formado sobre este basamento calcarenítico (Lillo, 1988), hoy desfigurado en su mayor parte por el desarrollo urbanístico.

Las islas presentes en la laguna, resultado de afloramientos volcánicos, son cinco, en orden creciente de tamaño son: Redonda o Rondella, del Sujeto, del Ciervo, Perdiguera y Mayor o del Barón (Figura 1).

Con respecto a los sedimentos, encontramos principalmente tres tipos: los dominantes son los sedimentos fangosos, cubiertos por lechos de *Caulerpa*

prolifera; sedimentos arenosos, frecuentes en áreas cercanas a la costa; y afloramientos rocosos cercanos a las islas. La tasa de sedimentación, durante los últimos 80.000 años, se ha calculado en 2 mm/año (Díaz del Río, 1990 en Martínez *et al*, 2003). Estos sedimentos se cargan de materia orgánica, habiéndose producido un incremento en el contenido de materia orgánica del 2% al 7% entre 1972 y 1986 (Mas, 1996 en Martínez *et al*, 2003)

1.1.3.2. Características hidrológicas e hidrodinámicas

Las lagunas costeras, como sistemas dinámicos y abiertos, mantienen una gran dependencia con los sistemas adyacentes, en un continuo intercambio de materiales (agua, sedimentos, nutrientes, sales, organismos) y energías (en forma de calor, asociada a corrientes u olas, etc.) (Pérez-Ruzafa y Marcos-Diego, 2003). En el caso del mar Menor, con una superficie de 135 km² y una profundidad media de 4 m y máxima de 6 m, el aislamiento con respecto al Mediterráneo es relativamente alto, conformando un sistema confinado con un balance hídrico negativo de 600 mm/m² año, donde las precipitaciones, menores de 300 mm anuales, y las descargas de cursos de agua dulce son superadas, en conjunto, por la evapotranspiración potencial, calculada en unos 900 mm anuales, siendo compensado el balance hídrico total por el intercambio marino por parte del mar abierto (Pérez-Ruzafa, 2005).

El intercambio de materia y energía con el Mediterráneo se realiza a través de un sistema de canales naturales llamados *golas*, que también determinan en gran medida, junto con los vientos, la dinámica de la circulación interna en la laguna. El más importante de estos canales es el del Estacio, que desde su ampliación en 1973, ha incrementado el intercambio hídrico total entre la laguna y mar abierto, alcanzando valores de 1.6 Hm³/ día, el cual representa una relativa alta tasa de renovación para el volumen total estimado de la laguna, de unos 580 Hm³ (Arévalo, 1988 en Martínez *et al*, 2003).

No obstante, la comunicación total con el mar abierto es reducida, y supone un escaso intercambio de aguas. Este hecho, unido a las bajas profundidades, determina unas condiciones ambientales más extremas en la laguna, lo que se traduce en gradientes fisicoquímicos y biológicos muy pronunciados (Pérez-Ruzafa y Marcos-Diego, 2003).

Con respecto a las temperaturas medias, normalmente varían entre 10 y 30° C en invierno y verano respectivamente (Martínez *et al*, 2003), con diferencias dependiendo de la localización y la profundidad. La salinidad en la laguna se distribuye según un gradiente creciente desde la cubeta norte a la cubeta sur, la salinidad media actual se ha situado entre 42 y 46 PSU. La ampliación del canal del Estacio, a principios de la década de los 70, moderó los extremos del rango de temperatura, así como redujo los máximos de salinidad de 52 PSU a 46 PSU. (Martínez *et al*, 2003).

En su conjunto, los factores climáticos e hídricos, asociados con las características geomorfológicas de la laguna, la hacen comportarse como una cuenca de concentración (Pérez-Ruzafa, 2005) a la que llegan, de forma desmesurada en los últimos años, importantes cargas de nutrientes.

En este contexto, la consideración de las lagunas costeras como sistemas confinados tiene un interés biológico añadido notable. El confinamiento es una teoría que intenta explicar los gradientes de abundancia, diversidad y riqueza de especies del bentos en relación con la distancia a los canales de comunicación con el mar abierto (ver apartado 1.1.3.4). Acuñado por Guelorget y Perthuisot (1983) en términos de tiempo de reciclaje de vitaminas y oligoelementos, ha sido reinterpretado por Pérez-Ruzafa y Marcos (1992) en función de las tasas de colonización de especies marinas en competencia con especies lagunares (Pérez-Ruzafa y Marcos, 1993). Las modificaciones en la influencia continental que se ejerce a través de los aportes de las ramblas y nuevos cursos de agua permanentes, puede alterar considerablemente los gradientes ambientales controlados por el intercambio de agua con el Mediterráneo, ya de por sí alterados por el dragado del Estacio.

1.1.3.3. Sedimentos

Los fondos de la laguna son un elemento del medio físico muy importante, pues sustentan al bentos, reciben todo el detritus (en él se produce la remineralización de nutrientes, descomposición y acumulación de materia orgánica, etc.). Y si tenemos en cuenta que la laguna tiene una naturaleza totalmente sedimentaria, con tendencia a la concentración de sedimentos y a la colmatación, la

configuración y composición de los fondos es un aspecto de gran importancia a considerar. Los fondos del Mar Menor, están cubiertos principalmente por dos categorías de sedimentos, de acuerdo con su composición granulométrica, son fangosos o arenosos, existiendo también algunas zonas con afloramientos rocosos. Los fondos fangosos cubren toda el área central de la cubeta y las zonas someras, donde el hidrodinamismo es bajo y están cubiertos por un denso césped del alga *Caulerpa prolifera* que se expandió por la laguna después de la ampliación del canal de El Estacio. Los fondos arenosos, con un contenido de arenas de hasta el 89%, están localizados en los márgenes de la cuenca y en las bahías que rodean las islas, mostrando pequeñas manchas de la fanerógama *Cymodocea nodosa* (Ballester *et al.* 2003).

El contenido de materia orgánica de los sedimentos es muy variable, oscilando desde menos de 0,34 % en arcillas rojas compactadas hasta más de 8,6% en las áreas de *Caulerpa prolifera*. Estacionalmente, desde el otoño al invierno, se observa un incremento en el contenido de materia orgánica en los sedimentos, tanto en fondos fangosos como en arenosos. Este incremento se explica por la contribución de las frondas del alga *Caulerpa prolifera* y la fanerógama *Cymodocea nodosa*, respectivamente. La cobertura de macrófitos tiene una influencia decisiva en la naturaleza del sedimento. En el Mar Menor la producción macrofítica ha sido estimada en 165,6 g C/m² por año. Esto significa una entrada, a los fondos de la laguna, en forma detrítica, de, al menos, 20.120 Tm C/año (Ballester *et al.* 2003)

1.1.3.4. Valores biológicos

El Mar Menor es poseedor de una elevada diversidad biológica, más alta que en la mayoría de lagunas costeras. Esto es debido a la conjunción de varios aspectos, como la gran heterogeneidad ambiental que encontramos en sus fondos, con lechos fangosos o arenosos sometidos a distintos regímenes de hidrodinamismo, combinados con afloramientos rocosos (volcánicos, calizos) así como con infraestructuras humanas como los balnearios, diques, puertos, etc. Por otro lado, asociados con la masa central de agua, o la laguna propiamente dicha, encontramos importantes y valiosos hábitats terrestres o de transición, muchos de ellos de naturaleza sedimentaria, con comunidades integradas de flora y fauna específicas y de alto valor ecológico (con numerosos endemismos e iberoafricanismos). Ejemplos

son tradicionales salinas (activas o inactivas), los relictos arenales, singulares cabezos calizos o volcánicos (algunos de gran importancia geológica), los carrizales, saladares y las estepas salinas, los cultivos de secano tradicionales sustituidos, cada vez con más intensidad y frecuencia, por regadíos) o las ramblas y cursos efímeros que vierten a la masa de agua.

Así, todo este complejo y heterogéneo mosaico de ecosistemas acuáticos y terrestres asociados y gradientes ambientales acusados, determina un alto contenido en especies, característica a la que no es ajena la propia laguna: por un lado tenemos 89 especies vegetales agrupadas en 4 *phyla*: Spermatophyta (fanerógamas), Chlorophyta, Rhodophyta, Phaeophyta; y por otro 459 especies animales agrupadas en 13 *phyla*: Foraminífera, Porifera, Coelentera, Nemátoda, Anélida, Crustacea, Chelicerata, Unirramia, Molusca (grupo numeroso), Ectoprocta, Phoronida, Echinodermata y Chordata (Pérez-Ruzafa, A., 1989 en Pérez-Ruzafa y Marcos-Diego, 2003).

Los humedales son hábitats clave conectados física y socialmente con procesos que tienen lugar en un territorio mucho más amplio (Amezaga *et al.*, 2002). En este sentido, es importante destacar el papel que juega el Mar Menor como conector ecológico (área refugio, fuente de recursos y corredor biológico) para especies de aves y peces sobre todo, interrelacionando toda esta serie de humedales y saladares circundantes (áreas satélite) (Robledano *et al.* 2003). Finalmente, no puede dejar de citarse el papel de refugio ecológico que la laguna y sus humedales periféricos tienen, para muchas especies de vertebrados (nuevamente peces y aves) que han desaparecido históricamente de la mayoría de ecosistemas acuáticos continentales de la Cuenca del Segura, por procesos de degradación ambiental (Robledano *et al.*, en prensa). Finalmente hay que mencionar la participación de la laguna en los desplazamientos migratorios de aves, que relacionan humedales a distintas escalas biogeográficas.

Pero la riqueza biológica no está repartida por igual a lo largo de la laguna, se establece una zonación horizontal determinada por la colonización de especies procedentes del Mediterráneo. Muchas de estas especies son abundantes en las cercanías a los canales de comunicación o *golas*, pero desaparecen a medida que se penetra hacia el interior de la laguna. De esta forma, se genera un gradiente de

riqueza específica que lleva asociado un gradiente inverso de abundancia (Pérez-Ruzafa y Marcos-Diego, 2003). A medida que nos alejamos de mar abierto y penetramos en la laguna, el número de especies disminuye (por la disminución en la tasa de colonización y eficiencia ecológica en especies no lagunares) y el número de individuos por especie aumenta.

Por tanto la comunicación con el mar Mediterráneo determina, en gran medida, la composición biológica de las aguas de la laguna. Es obvio que las alteraciones que se han llevado a cabo en estos canales de comunicación (como la ampliación del canal del Estacio) han modificado definitivamente esta composición total, aumentando el contenido general de especies. Es de destacar la proliferación de lechos de *Caulerpa prolifera* a expensas de los valiosos lechos monoespecíficos de *Cymodocea nodosa* o la aparición de los *blooms* de las especies de medusas *Rizhostoma pulmo* y *Cothylorhiza tuberculata*, que ha permitido mantener la laguna, durante algunos años al menos, a un ritmo de eutrofización relativamente bajo.

Hay determinados grupos faunísticos que adquieren cierta relevancia en la laguna. Por un lado, la comunidad de peces presenta una riqueza en especies elevada, y una abundancia en aumento, encontrando bastantes representantes de la familia de los mugílidos (Martínez *et al.*, 2003). Entre la ictiofauna destaca, por ejemplo, el Fartet (*Aphanius iberus*), pequeño pez endémico del levante y sur español que habita en salinas y humedales perilagunares (Robledano *et al.*, en prensa). La laguna soporta importantes pescas que mantienen una economía local gracias a la calidad y precio que alcanzan sus productos, y que consisten principalmente en anguilas, mújoles, doradas, magres, sargos, lenguados, lubinas, etc. y crustáceos (langostinos) (Ballester *et al.* 2003). La laguna se ha mostrado como una zona importante de alevinaje para las especies de la familia de los mugílidos, especialmente para *Liza saliens* y *Liza aurata* (Verdiell *et al.* 2005).

Por otro lado, para muchas especies de aves acuáticas el Mar Menor es una localización clave para pasar la temporada invernante, para la alimentación, e incluso para la reproducción y cría. Piscívoros e insectívoros explotan la columna de agua y el bentos, y la dinámica de sus poblaciones refleja en muchos casos, y como se verá a lo largo del estudio, los cambios que se dan en estos medios. Especies como *Mergus serrator* o *Tadorna tadorna* son representantes importantes de la

avifauna acuática murciana (Hernández y Robledano, 1997; Robledano y Esteve, 2003).

1.1.3.5. Figuras de protección

Todo este conjunto de características ecológicas mencionadas le confiere al Mar Menor una importancia y un valor inherente que queda reflejado en las figuras de protección que se le han otorgado (Tabla 1), sobre todo a raíz de las políticas comunitarias en materia de conservación de la biodiversidad.

En primer lugar, y a la escala mayor, en 1994 el Mar Menor y los humedales asociados fueron declarados Humedal de Importancia Internacional por el Convenio Ramsar debido a su contingente de aves acuáticas y limícolas (Robledano, 1998).

A nivel comunitario y partiendo de las bases y premisas establecidas por la Directiva 92/43 CEE relativa a la Conservación de los Hábitats Naturales y de la Fauna y la Flora Silvestre, con el objetivo de constituir la Red Natura 2000, el Mar Menor, las Salinas de San Pedro del Pinatar, y los Espacios Abiertos e Islas del Mar Menor, han sido designados como Lugar de Interés Comunitario (LIC). Determinados tipos de hábitat o especies presentes en la laguna y humedales asociados quedan recogidos, como hábitats de importancia o especies que necesitan la protección de sus hábitats respectivamente, en los anexos de esta directiva, como los lechos de *Ruppia cirrosa*, las dunas móviles, bosquetes de *Tetraclinis articulata* o el ciprinodóntido *Aphanius iberus* (Martínez *et al*, 2003).

Por otra parte, según la Directiva 79/409 CEE relativa a la protección de las aves, el Mar Menor –incluyendo también sus criptohumedales asociados- y las Salinas de San Pedro del Pinatar han sido declarados Zonas de Especial Protección para las Aves (ZEPA). Además, todas estas zonas se incluyen en el espacio designado como Zona Especialmente Protegida de Importancia para el Mediterráneo (ZEPIM) “Área del Mar Menor y Zona Oriental mediterránea de la costa de la Región de Murcia”, de acuerdo con el Convenio de Barcelona para la Protección del Medio Ambiente Marino y las Zonas de Costa en el Mar Mediterráneo.

A nivel regional, según la Ley 4/92 de Ordenación y Protección del Territorio en la Región de Murcia se ha designado a los Espacios Abiertos e Islas del Mar Menor como Paisaje Protegido, y a las Salinas de San Pedro del Pinatar como Parque Regional. Por último la ley 7/95 de Fauna Silvestre, Caza y Pesca Fluvial establece una Red de Áreas de Protección de la Fauna Silvestre, incluyendo al Mar Menor y sus humedales asociados (salinas y criptohumedales) dentro de esta red.

	Mundial	Mediterráneo	Comunitario	Regional
Mar Menor	Humedal de Importancia Internacional (Ramsar)	ZEPIM	LIC ZEPA	Área de Protección de la Fauna Silvestre
Salinas de San Pedro del Pinatar	Humedal de Importancia Internacional (Ramsar)	ZEPIM	LIC ZEPA	Área de Protección de la Fauna Silvestre Parque Regional
Espacios Abiertos e Islas del Mar Menor	Humedal de Importancia Internacional (Ramsar)	ZEPIM	LIC ZEPA	Área de Protección de la Fauna Silvestre Paisaje Protegido

Tabla 1. Figuras de protección que afectan al Mar Menor y los humedales de su entorno, clasificadas según su ámbito de aplicación.

1.1.3.6. Valores culturales y tradicionales (agricultura, pesca, otros)

Distintos tipos de actividades humanas y formas de explotación del medio natural se han desarrollado alrededor del Mar Menor desde hace siglos. Actividades tan distintas como la minería, la pesca, la caza, la agricultura de secano o la industria salinera han tenido cabida en el área, y se han acoplado con otros usos más específicos o minoritarios como el uso terapéutico o medicinal.

Desde tiempos casi prehistóricos hay registros de asentamientos humanos en la laguna. Antes de que el Mar Menor alcanzara su configuración actual ya había poblados eneolíticos (2.670 a.C.) asentados en la Manga. Desde entonces, y cada vez con mayor intensidad, a través de las colonizaciones fenicias, romanas, árabes y cristianas, y hasta el presente, ha sido explotado como área de asentamiento urbano e industrial, y como recurso pesquero, ganadero, agrícola, minero, etc. (Pérez-Ruzafa y Marcos-Diego, 2003). Durante el imperio romano se iniciaron las

actividades mineras, así como agrícolas. Con la llegada de los árabes se ponen en práctica el uso de las encañizadas como arte de pesca consolidada. Todo este aprovechamiento no comenzó a incidir de forma significativa en la evolución natural del medio hasta el siglo XVI, cuando la combinación del pastoreo, las roturaciones en las riberas y el vertido de los lavados procedentes de la actividad minera comienzan a acelerar el ritmo de colmatación de la laguna. Además, la deposición y arrastre de esos lixiviados de minas, que se prolongó y alcanzó su apogeo bien entrado el siglo XX, dejó una innegable huella en forma de elevadas concentraciones de metales pesados en el sedimento.

Pero en el último siglo, junto con la desaparición de algunas de estas actividades tradicionales, asistimos a la aparición de formas de aprovechamiento y explotación del medio, tales como el turismo de masas, la ocupación urbanística o los regadíos intensivos, prácticas y actividades tan impactantes y transformadoras, que el medio y el equilibrio en el que se encuentra, no lo puede soportar. La pérdida de valores y usos de la cultura tradicional de la zona, como los balnearios, el uso de las encañizadas en la pesca, o los cultivos de secano, y las alteraciones drásticas en el medio tales como la construcción de puertos deportivos, aterramientos de zonas someras o dragados de playas, se hacen cada día más patentes, y sus efectos se muestran más claros.

El turismo, que en principio, podría ser un uso legítimo y compatible con la conservación de los recursos que ofrece la laguna, se ha planteado como una serie de actuaciones incontroladas y mal planificadas, y esto, unido al desconocimiento o la despreocupación por las consecuencias, han acelerado los procesos de colmatación, degradación del paisaje y alteración del hidrodinamismo y del estado trófico de la laguna (Pérez-Ruzafa y Marcos-Diego, 2003).

1.2. MARCO GENERAL Y JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

Según lo expuesto en el último epígrafe, queda patente la generación de una serie de impactos, de diversa gravedad y escala, sobre la laguna y espacios naturales asociados, debidos principalmente a las distintas actividades de aprovechamiento y explotación por parte del hombre desde tiempos antiguos, incrementadas de forma notoria en el último siglo. Aunque los primeros de estos impactos se remontan a los siglos XVI y XVII cuando el desarrollo del pastoreo, la deforestación y la minería en la cuenca circundante indujeron un incremento de las tasas de sedimentación en la laguna desde los 30 mm/siglo a los 30 cm/siglo (Ballester *et al.* 2003)

Como ya se ha expuesto, el Mar Menor cuenta con importantes poblaciones de determinadas especies de aves acuáticas, que justifican su protección como Humedal Ramsar y ZEPA. Atendiendo a la relevancia y al peso que tiene este grupo dentro de la laguna y, como se explicará más adelante, a la respuesta relativamente rápida que muestra ante las modificaciones del medio, y a la relativa facilidad de su observación y control, este estudio intentará determinar el efecto de todos esos impactos sobre el uso de la laguna reflejado por la comunidad de aves invernantes. Las aves acuáticas han sido consideradas como indicadores útiles por su respuesta a factores de presión hidrológicos, cambios en la vegetación, salinidad, turbidez, nutrientes y contaminantes (Adamus, 1996).

Como paso previo, se debe realizar un análisis general de los impactos producidos por los principales sectores de actividad humana en la laguna, para comprender la evolución y situación actual de los distintos hábitats a estudiar, y poder posteriormente analizar la comunidad de aves a distintas escalas temporales, estudiando la relación entre los cambios en la avifauna y los cambios registrados en diversos parámetros o variables ambientales. Con ello se pretende avanzar en dos objetivos; por un lado se puede integrar el seguimiento de aves en un sistema de indicadores de calidad o salud del medio, que anticipe cambios no deseados en el sistema. Por otro, el conocimiento de las variables que influyen sobre la comunidad de aves, a través del establecimiento de modelos predictivos, debe permitir que se integren sus requerimientos en las políticas de gestión orientadas a incrementar la biodiversidad en el sistema del Mar Menor.

1.2.1. FACTORES DE PRESIÓN

1.2.1.1. Contaminación minera

De los dos grandes frentes históricos mineros de la región (Sierra de Cartagena y Mazarrón), sólo el primero se encuentra integrado en la cuenca de drenaje del Mar Menor, y por tanto va a tener un impacto directo sobre éste. Hay que distinguir dos tipos generales de influencia: un aporte extra de sedimento por los vertidos de estériles de la extracción, y por otro lado, los lixiviados de elementos metálicos y su entrada a la laguna a través de las ramblas, dependientes de los fenómenos de lluvias torrenciales.

La importancia de la minería en la región se debe a su gran variedad de mineralizaciones, y su explotación tiene una antigüedad milenaria. No obstante, a pesar de que los romanos ya explotaban los yacimientos de forma relevante, buena parte del subsuelo permanece virgen hasta el siglo XIX, en el que la explotación de las reservas comienza a ser intensiva. En la sierra de Cartagena, el principal elemento a extraer era el plomo, normalmente menas asociadas a otros elementos metálicos (plata, zinc, cobre, estaño, hierro, manganeso), en sus más variados compuestos: óxidos, carbonatos, silicatos, etc. (Pérez de Perceval, 2003). Tras la liberalización de la explotación minera a principios del s. XIX, la extracción se incrementa en escala, alcanzándose el apogeo de influencia sobre el Mar Menor a partir de los años 50, con los vertidos de Peñarroya, en la época más moderna y productiva de la minería en Cartagena. Aquí se sitúa un importante aporte de estériles de minería a la laguna, vertido que cesó pocos años después para trasladarse al Mediterráneo y desencadenar la funesta historia de la bahía de Portman.

Por otra parte, las concentraciones de metales pesados en el sedimento de la laguna y en determinadas áreas de su ribera, como el saladar de Lo Poyo, son producto directo de fenómenos naturales de escorrentía, subterránea y superficial, y lavado y arrastre de material; e indirecto de la actividad minera, con la erosión y alteración de los relieves que conlleva, que facilita el fenómeno de lixiviación y

arrastre de material (Marin-Guirao *et al.*, 2005). Las ramblas juegan un papel crucial en esos aportes, ya que son principalmente estos cursos los que recogen las aguas de escorrentía y el lixiviado de la sierra minera, y movidos por los episodios de lluvias torrenciales, descargan ese conjunto de sedimento y elementos metálicos a la laguna, además de cómo se verá más adelante, importantes cantidades de nutrientes y residuos de fertilizantes procedentes de la agricultura intensiva. Cursos como la rambla de la Carrasquilla, de Ponce, de las Matildes o del Beal, en el mismo saladar de Lo Poyo, son los ejemplos más notorios. Hoy en día, este saladar, que es además, uno de nuestros sectores de estudio, es una estepa sedimentaria salina cargada de altas concentraciones de metales pesados.



Saladar de lo Poyo. Rambla del Beal y sierra minera de fondo, 2006. Foto: P. Farinós

1.2.1.2. Agricultura intensiva

La agricultura ha sido una actividad ampliamente desarrollada en torno al Campo de Cartagena, ocupando tradicionalmente gran parte de su superficie, el cultivo de secano (cereales, almendro) y algunos regadíos tradicionales.

En las últimas décadas se está produciendo un doble proceso de intensificación y abandono de los sistemas agrarios motivado por los avances tecnológicos en la agricultura y por cambios socioeconómicos que lo han

propiciado; por un lado, la pérdida y abandono del paisaje de secano extensivo y la aparición de un paisaje dual, con áreas de producción intensificada, rodeadas de grandes extensiones sin función productiva; por otro lado, los regadíos tradicionales de las zonas agrarias de la región (como el Campo del Mar Menor), se han visto desplazados por regadíos intensivos, sobre todo de lechuga, melón, cítricos y cultivos en invernadero, con un elevado uso de fertilizantes, que lleva asociadas múltiples externalidades ambientales relacionadas con el uso de recursos como el agua o el espacio, así como la generación de efluentes residuales (Martínez y Esteve, 2003).



Cultivos de regadío. Los Nietos-Islas Menores, 2006. Foto: P. Farinós

Además de los evidentes impactos negativos como cambios drásticos en el paisaje, cambios en los hábitats (con sus consecuencias sobre las comunidades, en especial sobre la fauna), facilitación de los fenómenos de erosión, o la salinización de las aguas y el suelo, un impacto resulta especialmente relevante en este estudio: la descarga a la laguna, de forma concentrada o difusa, de los efluentes cargados de nutrientes (fosfatos, nitratos, nitritos y nitrógeno orgánico), excedentes de la fertilización intensiva. Contribuye al lavado, transporte y descarga de estos nutrientes, la alta movilidad del nitrógeno y el fósforo en esas formas. Esta descarga, realizada, en su mayoría, a través de las ramblas, provoca un aumento en la concentración de nutrientes en las aguas cercanas a los puntos de descarga (Pérez-

Ruzafa *et al.*, 2002; Lloret *et al.*, 2005). La puesta en regadío del Campo de Cartagena a raíz del trasvase Tajo-Segura ha sido el principal responsable de la subida del nivel freático y del aporte de aguas a la rambla del Albuñón, que es el principal colector de la cuenca, aportando un elevado contenido en nitratos principalmente, que actualmente alcanzan concentraciones en el agua diez veces mayores que hace apenas 9 años (Ballester *et al.* 2003).

Este aumento en la concentración de nutrientes, está provocando un proceso de eutrofización de las aguas, sobre todo en las más cercanas a la orilla, que se deja notar claramente en localizaciones tales como la desembocadura de la rambla del Albuñón o la playa de la Hita. Obviamente, este proceso provoca cambios en la productividad del área, aumentando la densidad del fitoplancton que aprovecha ese exceso de nutrientes, incrementando la producción primaria, disminuyendo la transparencia del agua y trasladándose estas alteraciones al resto de la cadena trófica.

El aumento de los *inputs* de nutrientes a los mares europeos ha sido identificado como una de las mayores amenazas para los medios costeros europeos, ya que el fenómeno de eutrofización, especialmente en cuerpos de agua encerrados, como las lagunas costeras, o los mares Báltico y Adriático, crea graves problemas a estos medios, y puede afectar de manera significativa a la pesca, a la salud humana y a los usos recreativos de esas zonas (Lloret *et al.*, 2005).



Indicios de eutrofización (proliferación de algas filamentosas) en la Playa de la Hita. 2006. Foto: F. Robledano

1.2.1.3. Presión urbanística y modelos de turismo insostenible

El turismo se lleva desarrollando en el Mar Menor desde el siglo pasado, siendo entonces, las actividades desarrolladas, actividades turísticas de bajo impacto sobre el litoral. La verdadera influencia del turismo en nuestras costas, y en consecuencia, la aparición de impactos más significativos, llega con la intensificación del modelo turístico a partir de los años 60, la urbanización de la Manga, o el ensanchamiento del Estacio.

El intenso proceso de construcción que se da a partir de la citada década revela que la actividad turística en la laguna y en general, en el litoral murciano, se ha concentrado en el turismo de segunda residencia. Este proceso, surgido al amparo de una coyuntura económica y normativa favorable, ha provocado una proliferación de urbanizaciones turístico-residenciales de calidad media-baja, con un acusado deterioro ambiental (saturación urbanística, ocupación de la primera línea de playa, congestión en el tráfico, deterioro del paisaje, contaminación del medio físico, acústica, etc.) con efectos negativos incluso en la propia actividad turística y su desarrollo futuro (García Sánchez y García Garay, 2003).

La actividad urbano-turística se ha intensificado en los años más recientes, provocando múltiples carencias, como la insuficiencia de los sistemas de abastecimiento y saneamiento. Además, tal desarrollo implica una elevada densidad poblacional alrededor de toda la laguna durante la época estival, lo que arrastra un incremento en la oferta recreativa, aumentando en consecuencia la demanda de puertos deportivos y otras formas de aprovechamiento lúdico de la laguna, que en muchas ocasiones viene acompañado de fuertes impactos (molestias y contaminación acústica derivada de la masificación y el tráfico con el consiguiente aumento del estrés, contaminación lumínica, o vertidos de hidrocarburos). Así, por ejemplo, el Mar Menor tiene, hoy en día, dieciocho puertos deportivos, que representan un 60% del número total en la Región de Murcia, cuando la línea de costa que ocupa la laguna, es sólo una pequeña fracción de la línea de costa total en la comunidad autónoma (Martínez *et al*, 2003). De igual forma, en el Enclave turístico de la Manga del Mar Menor, se ubican el 50,2% de las plazas hoteleras del litoral y el 64% de la oferta total de apartamentos. La presión especulativa, que desde hace algunas décadas soporta la zona, unido a la excesiva edificabilidad en ella concedida, y la ausencia de una verdadera planificación urbanística, ha provocado que se supere con mucho la capacidad de acogida del territorio (García Sánchez y García Garay, 2003).



Desarrollo urbanístico masivo. La Manga, 2006. Foto: P. Farinós



Efectos de la contaminación urbana de las aguas, 2006. Foto: F. Robledano

Debido a este desarrollo urbanístico, muchas áreas pasan, de forma totalmente drástica, de ecosistemas naturales a ecosistemas semiurbanos o urbanos. Los ecosistemas urbanos suelen manifestarse como espacios altamente fragmentados, muy heterogéneos, dominados por elementos construidos (carreteras, pavimentos), y a menudo, con cobertura una cobertura vegetal insuficiente o inadecuada para los requerimientos de las especies nativas. La expansión de la urbanización en sus distintos grados de intensidad, afecta a la vida silvestre en muy diversas formas, y a todos los niveles de organización biológica (Blair, 2004).

1.2.1.4. Amplificación de las perturbaciones naturales

Además de los múltiples factores de presión que el hombre ha introducido en el Mar Menor, hay algunos fenómenos y elementos típicos del clima mediterráneo semiárido, que provocan también cierta alteración sobre las condiciones de la laguna: la torrencialidad de las escasas precipitaciones, y los singulares cauces que constituyen las ramblas. No obstante, no hay que olvidar que es el hombre y su elevada tasa de explotación y aprovechamiento de los recursos, el que introduce alteraciones no naturales sobre el medio, modificando el equilibrio de los ciclos

biológicos, fisicoquímicos y geológicos, y haciendo que los sistemas vean sobrepasada su capacidad de acogida. Por tanto, estos dos fenómenos naturales ligados, no se deben ver en sí mismos como factores de presión, puesto que son fenómenos intrínsecos al propio clima y ambiente mediterráneo. No obstante, su interacción e impacto sobre la laguna se han visto modificadas y potenciadas debido a la influencia de esas actividades de explotación intensivas introducidas por el hombre.

Como ya se ha comentado, el Mar Menor actúa como una cuenca de concentración. Esa propiedad se manifiesta a través de las ramblas y los episodios localizados de lluvias torrenciales. Estas lluvias provocan una elevada erosión, en un corto período de tiempo, en los relieves y superficies, a menudo de escasa cohesión, o que están alterados ya por el hombre (minería, ganadería, etc.). Los materiales son arrastrados por las aguas de escorrentía superficial y/o subterránea, canalizados por las ramblas y vertidos en la laguna, manteniendo una tendencia natural de sedimentación y colmatación.

Pero la intervención del hombre provoca que esas cargas de material que llegan por las ramblas, presenten composiciones alteradas, ya que aportan concentraciones elevadas de nutrientes que vienen directamente de los excedentes de la agricultura intensiva; o las cargas de sedimento son anormalmente elevadas (producto de la excesiva erosión favorecida por la minería, roturación y abandono de cultivos, etc.).

Otro proceso natural que, como consecuencia de la amplificación ocasionada por el hombre, puede generar impactos sobre el ecosistema lagunar, es el cambio climático. Las tendencias naturales de variación del clima, y sus efectos asociados sobre las zonas costeras, pueden verse potenciadas por la intervención del hombre sobre el sistema climático global. Sus efectos ya han sido evaluados de forma preliminar en nuestro país, y la zona del Mar Menor (en concreto La Manga) es una de las más vulnerables (Moreno, 2005). Estos efectos podrían traer consigo, a medio plazo, consecuencias dramáticas para la supervivencia de la propia laguna, pero también cambios más sutiles en sus condiciones ambientales y en su biota.

1.2.2. EXTERNALIDADES DERIVADAS

1.2.2.1. Cambios en la concentración de nutrientes. Proceso de eutrofización

Hoy en día, en muchas localizaciones del Mar Menor, resulta evidente que las aguas están pasando de su antiguo estado de oligotrofia a un estado de eutrofia. Esto es consecuencia principalmente de la intensificación en las técnicas agrícolas y de los elevados *inputs* de nutrientes que están descargando en la laguna algunas de las ramblas, y los pequeños cursos efímeros de escorrentía superficial o subterránea.

Las altas concentraciones que están llegando a la laguna de nitratos, nitritos, amonio y fosfatos, están provocando un aumento en las densidades de fitoplancton, (Pérez-Ruzafa et al., 2005; Lloret *et al*, 2005;), así como en las comunidades de macrófitos, cambios que se trasladan al resto de las redes tróficas. En general, se está produciendo un aumento de la producción primaria. Los riesgos derivados de este proceso de eutrofia son, además de los cambios en las comunidades y en las cadenas tróficas, una disminución de la transparencia del agua, y cambios en la disponibilidad de oxígeno disuelto, pudiendo alcanzarse, en determinadas zonas, condiciones anóxicas.

Estos cambios son evidentes en las zonas que reciben la influencia directa de los puntos de descarga, como pueden ser la playa de la Hita y sus carrizales o la desembocadura de la Rambla del Albuñón. En esta última localización se ha observado que los valores de clorofila *a*, sedimentos en suspensión, nitrógeno inorgánico disuelto y fósforo soluble reactivo, siguen un gradiente decreciente a medida que aumenta la distancia a la desembocadura (Lloret *et al*, 2005), enfatizando el papel como fuente de nutrientes de esta rambla.

Este aumento de la producción primaria y el proceso de eutrofización, junto a la influencia del desarrollo urbanístico, están desencadenando una serie de importantes cambios en las comunidades de fauna y flora, en las redes tróficas y en los sensibles hábitats que encontramos en la laguna.



Desembocadura Rambla del Albuji3n, 2005. Foto: P. Farin3s



Desembocadura Rambla de la Carrasquilla, 2006. Foto: P. Farin3s

1.2.2.2. Cambios en la composición de especies y aprovechamiento de recursos. Alteración de redes tróficas.

El aporte de nutrientes de origen agrícola, unido al desarrollo urbanístico, sobre todo en aspectos de tanta influencia como el ensanchamiento del Estacio, que alteró el equilibrio entre Mar Menor y Mediterráneo, han afectado a la laguna modificando, entre otras cosas, la tasa de renovación de las aguas. Ello ha provocado cambios importantes a lo largo de las últimas décadas en la composición de algunas de sus comunidades.

Los cambios de abundancia y/o composición de especies en la base de la cadena trófica que supone el proceso de eutrofización se trasladan, en mayor o menor medida, a los escalones superiores de la red, tales como el zooplancton o la ictiofauna, que dependen directamente de los productores primarios; y los cambios en estos grupos se reflejan en los consumidores/depredadores de escalones más altos, como las especies herbívoras y piscívoras de la avifauna de la laguna. Además, con el ensanchamiento del canal del Estacio, se produjo la colonización de la laguna por numerosas especies de peces de la familia de los góbidos y blénidos, ostras, y el conocido caso de las especies de medusas *Rhizostoma pulmo* y *Cothylorhiza tuberculata*, que han supuesto la respuesta del sistema a la llegada de nutrientes y a la proliferación masiva del fitoplancton (Pérez-Ruzafa y Marcos-Diego, 2003).

Otro de los aspectos más importantes en este conjunto de cambios en la composición de especies, ha sido el cambio en las poblaciones de macrófitos: la sustitución de los lechos monoespecíficos de la fanerógama *Cymodocea nodosa*, por lechos mixtos de *Cymodocea* y el macroalga oportunista *Caulerpa prolifera*, o por lechos monoespecíficos de *Caulerpa prolifera*. Ésta última especie de alga está mucho mejor adaptada que la *Cymodocea* a las condiciones derivadas de la eutrofización tales como la reducción de la transparencia de las aguas (por las clorofilas y sedimentos en suspensión), que es uno de los factores más limitantes en la laguna, y las elevadas concentraciones de nutrientes disueltos. Las densas praderas de *Caulerpa* ocupan, hoy en día, la mayor parte de los fondos de laguna, dejando a *Cymodocea* restringida a algunas zonas muy someras, donde la fotoinhibición y el estrés por la poca profundidad impiden el desarrollo de *Caulerpa*

prolifera (Lloret *et al.*, 2005). El problema de estos nuevos lechos algales es que *Caulerpa prolifera* aporta cantidades importantes de materia orgánica al sedimento pudiendo producir condiciones de anoxia y limita el desarrollo de otras especies vegetales o de fauna (como los Mugílidos, Espáridos, o especies amenazadas como el *Hippocampus ramulosus*) (Pérez-Ruzafa y Marcos-Diego, 2003; Lloret *et al.*, 2005; Robledano *et al.*, en prensa). Se podría decir que este alga podría indicar una baja calidad de las aguas y su desarrollo se ve favorecido por los procesos de alteración de los hábitats comentados, como vertidos, dragados, etc. No obstante cumple un papel de mantenimiento del estado trófico ya que tiene una buena capacidad de fijación de nutrientes en esas condiciones de turbidez.

1.2.2.3. Alteración de hábitats

Al conjunto de los impactos explicados anteriormente derivados del proceso de eutrofización y del desarrollo urbanístico, se le une la drástica influencia que están teniendo estos factores de presión sobre los hábitats en su conjunto.

El valor paisajístico del Mar Menor y sus alrededores se está viendo, desde el boom urbanístico iniciado en los años 60, menospreciado y en consecuencia, destruido por la fiebre especulativa, alcanzando su máxima expresión con la aglomeración urbanística que recorre prácticamente toda la Manga, y que ha sustituido al valioso paisaje sedimentario de dunas que la cubría. Del mismo modo, la puesta en regadío intensivo de algunas zonas, las recalificaciones de algunos suelos naturales, las construcciones de resorts y campos de golf, que constituye el turismo que actualmente se impone en la región, están provocando (además de la evidente pérdida de identidad cultural y de la creación de un grupo de turistas/consumidores de “elite”) la destrucción de hábitats enteros, y en el “mejor” de los casos, la fragmentación de éstos. Los criptohumedales han visto un retroceso importante en áreas como la playa de la Hita o la zona de la Estrella del Mar (entre los Urrutias y el saladar de Lo Poyo), mientras que ciertas formaciones freatófilas como los carrizales se expanden a expensas de comunidades halófilas y xerófilas debido al aporte de drenaje agrícola y la subida del nivel freático asociado a la agricultura intensiva.

Las construcciones instaladas en el agua tales como puertos deportivos, grandes diques, etc., provocan también importantes alteraciones en los hábitats acuáticos, alteraciones que se traducen en cambios en la dirección / intensidad de corrientes marinas, cambios en los patrones de acumulación de sedimentos o de materia orgánica, etc. Las distintas comunidades que hay en la laguna también sufren estos impactos, sus nichos ecológicos se pueden ver modificados, o deben modificar su comportamiento o distribución para persistir en ella. Las aves acuáticas reflejan muy claramente esos cambios, puesto que son un grupo faunístico de fácil observación, y son sensibles a estos impactos porque además, al estar en la cúspide de la cadena alimentaria, son influenciados por todas las modificaciones que se dan en compartimentos tróficos inferiores. El desarrollo urbanístico puede afectar a las aves directamente a través de esos cambios en los procesos del ecosistema, la estructura del hábitat o las reservas de alimento, e indirectamente a través de cambios en la presión depredadora, en la competición y en las enfermedades (Traut y Hostetler, 2003b)

1.2.3. AVES ACUÁTICAS COMO BIOINDICADORES

Hasta el momento se ha planteado y analizado de forma general, el conjunto de elementos de presión que actúan sobre la estabilidad y equilibrio de la laguna y sus comunidades, y el conjunto de impactos o externalidades negativas que se derivan de estas presiones. Ahora, se introducirá el elemento de “bioindicador” que nos servirá para realizar un análisis los efectos de esos factores de presión sobre el sistema. La aplicación de este elemento indicador se realizará a través de un componente fácil de “monitorizar” como son las aves acuáticas. No obstante, previamente se efectuará una revisión somera sobre el papel de las aves acuáticas como bioindicadores, así como de sus ventajas e inconvenientes.

En primer lugar, y como ya se ha citado anteriormente, el uso de las aves acuáticas como bioindicadores se fundamenta, entre otros aspectos, en su elevada posición en la escala trófica, que provoca que se vean afectadas por una gran variedad de factores. En segundo lugar, son uno de los grupos de organismos mejor estudiados a nivel internacional desde el punto de vista de su fisiología y ecología (Peakall & Boyd, 1987). Por otro lado, el ser organismos homeotermos, su alta tasa

metabólica o su comportamiento complejo implica una fuerte dependencia de las poblaciones de aves con determinados factores del medio ambiente (Rutschke, 1987). Son relativamente fáciles de observar, identificar y contar, además de existir un elevado número de estudiosos no profesionales de las poblaciones de aves, que contribuyen, con sus observaciones, a elaborar los registros y series de datos necesarios para un estudio eficiente. Su papel bioindicador no radica sólo en la observación de la dinámica de sus poblaciones, ni en la presencia o ausencia de éstas; por ejemplo, se han realizado múltiples ensayos de toxicidad con aves en el estudio de los efectos de los plaguicidas utilizados en la agricultura intensiva, obteniéndose resultados y conclusiones bastante significativos (Hardy *et al.* 1987). Otros estudios recientes han utilizado a las aves acuáticas como especies objetivo para comparar sectores ribereños de los humedales sometidos a distintos usos del suelo e intensidades de desarrollo (Rosa *et al.*, 2003; Traut & Hostetler, 2004).

En lo referente a los fenómenos de eutrofización, aunque diversos autores han observado una respuesta de las poblaciones de aves acuáticas a procesos de aumento (o disminución) del aporte de nutrientes a las aguas continentales y costeras (Fuller, 1982; Nilsson, 1985; Belanger & Couture, 1988; Raffaelli, 1999), su uso como indicadores biológicos ha sido cuestionado por la falta de una respuesta directa medible al cambio en los recursos tróficos u otras variables limnológicas (Adamus, 1996; Green & Figuerola, 2003). No obstante, el seguimiento de las poblaciones de aves acuáticas, al menos a escala de sistema o conjunto regional de humedales (Adamus, 1996), proporciona una buena señal, e incluso una alerta temprana sobre la salud ambiental, en especial en relación con el estatus trófico de las aguas (Martínez *et al.*, 2005 a)

Una complicación es que las tendencias de las aves cambian en el tiempo, positiva o negativamente, dependiendo del estadio o fase dentro del proceso de eutrofización (Van Impe, 1985; Hoyer & Canfield, 1995; Raffaelli, 1999; Van Eerden *et al.*, 2005), y también lo hacen con respuestas características de cada especie (Rönkä *et al.*, 2005).

Además, las aves acuáticas distribuidas en un humedal, en su papel bioindicador, responden a dos grupos de variables ambientales o factores: por un lado, la distribución y abundancia de sus poblaciones se ve influenciada por los

factores naturales que caracterizan al humedal, tales como la cobertura vegetal, salinidad, pH, o el estatus trófico (con mayor abundancia y diversidad de aves en humedales mesotróficos o eutróficos); por otro lado, la abundancia y distribución de las aves puede cambiar por la acción de factores de presión humana, tales como la presión cinegética, sin que haya cambios limnológicos en sus hábitats (Green y Figuerola, 2003). Se hace necesario un análisis previo de las características y estado del sistema acuático que se va a estudiar, así como del estado de la comunidad de aves acuáticas y una revisión de sus tendencias poblacionales. Se puede entonces, seleccionar un conjunto de aves posiblemente indicadoras y correlacionar sus tendencias con las modificaciones en las variables ambientales seleccionadas y representativas del estado del sistema.

Es importante resaltar que, además de la respuesta con que las aves nos informan sobre determinados cambios en el medio, hay que tener siempre en cuenta los cambios que las aves pueden inducir en los medios que habitan, ya sea sobre las especies que constituyen su fuente de alimento, por ejemplo, presión depredadora sobre la ictiofauna local, o modificando la estructura física del hábitat, ya que hay determinadas especies, como el flamenco común, que pueden alterar de manera significativa la estabilidad del sedimento en el medio en el que se alimentan (Montes y Bernúes, 1989).

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. GENERALES

Este proyecto se inscribe en una línea de trabajo más general, que estudia la aplicación de las aves acuáticas como bioindicadores para el seguimiento y evaluación de la calidad ecológica de humedales. El trabajo se centrará en el estudio de los elementos más importantes y representativos de la comunidad de aves invernantes de la laguna costera del Mar Menor, y en cómo reflejan los drásticos cambios que se están dando en la laguna. En trabajos anteriores, se ha estudiado principalmente la respuesta del conjunto de la comunidad de aves a la entrada estimada de nutrientes de origen agrícola (Martinez *et al.* 2005) y la respuesta local de la comunidad a determinados procesos relacionados con ella (Pagán & Robledano, 2006). En este trabajo se aborda el problema desde una perspectiva más amplia, considerando la respuesta de las aves, en distintos sectores de la laguna (entre los que están representados los grandes tipos de hábitats de ribera presentes), a un conjunto de variables relacionadas con los factores de presión antrópica y con las externalidades ambientales generadas por ellos. De esta manera se persigue integrar el seguimiento de las poblaciones de aves en un sistema de seguimiento de la calidad ecológica del humedal, que permita relacionar los cambios en su abundancia y distribución, con procesos o factores derivados del uso humano de la propia laguna o de su entorno, y de las modificaciones que produce.

1.3.2. ESPECÍFICOS

Los objetivos específicos del Proyecto son:

- Identificar los factores de presión y externalidades derivadas, que determinan un conjunto de variables ambientales, y que pueden afectar a las aves acuáticas invernantes en la laguna
- Caracterizar, de forma general, las redes tróficas en las que intervienen las especies objeto de estudio

- Analizar la distribución de las especies seleccionadas de aves acuáticas en la laguna y sus cambios de abundancia durante la invernada
- Analizar e interpretar los patrones de distribución y densidad de estas especies con respecto a variables ambientales de la laguna y su entorno, relacionadas con los factores de presión y externalidades identificadas

2. METODOLOGÍA

2.1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA Y DOCUMENTAL

2.1.1. COMPOSICIÓN Y CARACTERÍSTICAS DE LA COMUNIDAD DE AVES

Como paso previo al desarrollo de un esquema de trabajo de campo, enfocado al registro y cuantificación de las poblaciones de aves acuáticas, y a la selección y obtención de un conjunto de variables ambientales que se relacionen con ellas, se hace necesaria una revisión documental de los principales trabajos que hacen referencia o que han centrado su estudio en la comunidad de aves acuáticas de la laguna. Así, a partir de esta revisión, podemos plantearnos qué gremios y especies van a ser objeto de este estudio, en función de su abundancia, distribución, tendencia poblacional observada y el nicho ecológico que ocupan. De igual forma, con esa revisión podremos saber, a nivel muy general, qué factores del medio (factores de origen antrópico o no) tienen influencia sobre estas especies, o más bien, de qué factores ambientales depende cada gremio/especie, y así poder seleccionar un conjunto de variables ambientales cuya variación o modificación se vea reflejada en la comunidad de aves.

La revisión documental se va a centrar en dos tipos de trabajos: por un lado es necesaria una revisión de los datos disponibles sobre censos anuales totales en la laguna, para observar, a una escala temporal y espacial mayor, y confirmar, según los registros, si las tendencias locales concuerdan con las que han seguido las especies a nivel regional o nacional; por otro lado, los estudios de la última década que han relacionado los cambios ambientales recientes (principalmente los aumentos de las cargas de nutrientes que llegan a la laguna y la progresiva eutrofización de ésta), con los cambios en la composición de especies en la época invernal y en la densidad de algunas como el Somormujo Lavanco (*Podiceps cristatus*), el Zampullín Cuellinegro (*Podiceps nigricollis*), la Serreta Mediana (*Mergus serrator*) y el Cormorán Grande (*Phalacrocorax carbo*). Tanto unos estudios como otros permiten interpretar las consecuencias del cambio ambiental sobre la comunidad de aves, pero sólo los más recientes empiezan a incorporar variables ambientales como base para esta interpretación.

2.1.2. CARACTERIZACIÓN DE LAS RELACIONES TRÓFICAS

Uno de los factores que más va a influir sobre la distribución, abundancia y evolución de una determinada población de aves va a ser la abundancia y disponibilidad de alimento. Si podemos analizar y caracterizar a nivel general los distintos compartimentos de los que constan las redes tróficas en las que se integran las especies de aves objeto de estudio (como depredadores de posición más elevada) y podemos establecer las relaciones depredador-presa entre un compartimento y otro, podremos predecir a nivel muy básico cómo variará la densidad de nuestras especies de estudio cuando varíe la abundancia de sus presas potenciales en compartimentos que representen una fuente de alimento directa para esas especies -o en niveles tróficos inferiores relacionados con ellos-, y los cambios se vayan acumulando y queden reflejados, finalmente, en las poblaciones de aves. De esta forma podemos analizar de forma más rigurosa los factores de presión cuyos efectos se manifiestan a lo largo de las cadenas tróficas.

Como paso previo a la revisión documental necesaria para comenzar la compartimentación de las redes tróficas, hay que establecer un concepto importante del que van a depender las comunidades que vamos a caracterizar. Es el concepto de biocenosis, que básicamente se refiere a una comunidad de organismos y el sustrato al que se asocia. De esta forma vamos a encontrarnos con un número determinado de biocenosis marinas en el área de estudio, que habrá que identificar y que van a proporcionar cierta información acerca de los grupos de organismos que podemos encontrar en cada una.

2.2. TRABAJO DE CAMPO

2.2.1. PROTOCOLO Y METODOLOGÍA DE CENSO

2.2.1.1. Selección de estaciones de muestreo

Con respecto al área que se va a censar durante la temporada invernal, es importante realizar una selección de sectores de muestreo atendiendo a varios aspectos. Por un lado es imprescindible contar con hábitats de características muy diferentes, reflejando la máxima variabilidad que se dé en el área de estudio derivada de los factores de presión identificados. A este respecto, el conjunto de unidades de muestreo seleccionadas, cuyo número fue finalmente de 14, suponen una fracción bastante representativa del conjunto total de hábitats de orilla que se distribuyen por toda la laguna y se describen más adelante.

Por otro lado hay que establecer unas medidas y una configuración del sector que permitan cubrir un área representativa, tanto de ambientes litorales como de la masa de agua más profunda. Los 14 sectores seleccionados constaron de un tramo de orilla de una longitud de 500 m aproximadamente, a partir de los cuáles se establecieron 4 bandas de conteo paralelas cuyo límite externo se situaba a 100, 250, 500 y 1000 m de la orilla (en la práctica no es posible identificar las especies objetivo más allá de esta distancia). Los bordes externos de las bandas fueron gradualmente más regulares hasta cerrar un polígono aproximadamente rectangular, con una superficie total en torno a 50 ha (con una media de 48,93 ha y un rango de 41,71 a 54,97 ha; Tabla 2). En total esto permitió establecer 56 celdas o unidades de censo (14 sectores por 4 bandas), cuya superficie total fue de 684,97 Ha, lo que supone un 5,07 % de la superficie total de la laguna.

UNIDAD	Banda	Celda	Superficie (Ha)	Total Sector
S1	B1	S1B1	4,55	50,168
	B2	S1B2	6,56	
	B3	S1B3	11,93	
	B4	S1B4	27,13	
S2	B1	S2B1	4,85	54,973
	B2	S2B2	8,17	
	B3	S2B3	13,24	
	B4	S2B4	28,73	

S3	B1	S3B1	4,39	48,64
	B2	S3B2	6,72	
	B3	S3B3	11,81	
	B4	S3B4	25,72	
S4	B1	S4B1	5,01	54,51
	B2	S4B2	7,94	
	B3	S4B3	13,66	
	B4	S4B4	27,90	
S5	B1	S5B1	2,79	43,57
	B2	S5B2	4,91	
	B3	S5B3	11,68	
	B4	S5B4	24,19	
S6	B1	S6B1	5,23	49,69
	B2	S6B2	7,38	
	B3	S6B3	12,17	
	B4	S6B4	24,91	
S7	B1	S7B1	5,81	53,42
	B2	S7B2	8,46	
	B3	S7B3	14,95	
	B4	S7B4	24,20	
S8	B1	S8B1	5,00	53,62
	B2	S8B2	7,29	
	B3	S8B3	12,77	
	B4	S8B4	28,56	
S9	B1	S9B1	5,19	47,70
	B2	S9B2	6,54	
	B3	S9B3	11,15	
	B4	S9B4	24,82	
S10	B1	S10B1	5,33	51,03
	B2	S10B2	7,66	
	B3	S10B3	14,01	
	B4	S10B4	24,03	
S11	B1	S11B1	4,42	41,71
	B2	S11B2	6,01	
	B3	S11B3	10,59	
	B4	S11B4	20,69	
S12	B1	S12B1	4,03	42,71
	B2	S12B2	6,18	
	B3	S12B3	9,78	
	B4	S12B4	22,72	
S13	B1	S13B1	4,65	43,25
	B2	S13B2	5,89	
	B3	S13B3	8,73	
	B4	S13B4	23,98	
S14	B1	S14B1	4,70	49,98
	B2	S14B2	7,44	
	B3	S14B3	11,94	
	B4	S14B4	25,90	
TOTAL:				684,97
Media				48,93
Desv. Estándar				4,56

Min	41,71
Max	54,97

Tabla 2. Superficies de las unidades de censo (sector x banda).

Las diferencias de superficie entre sectores y entre las celdas dentro de los sectores obedecen a diferencias en la morfología de la orilla y a la necesidad de establecer referencias en tierra (y eventualmente en el interior de la laguna: islas, escollos...) para facilitar el reconocimiento de sus límites.

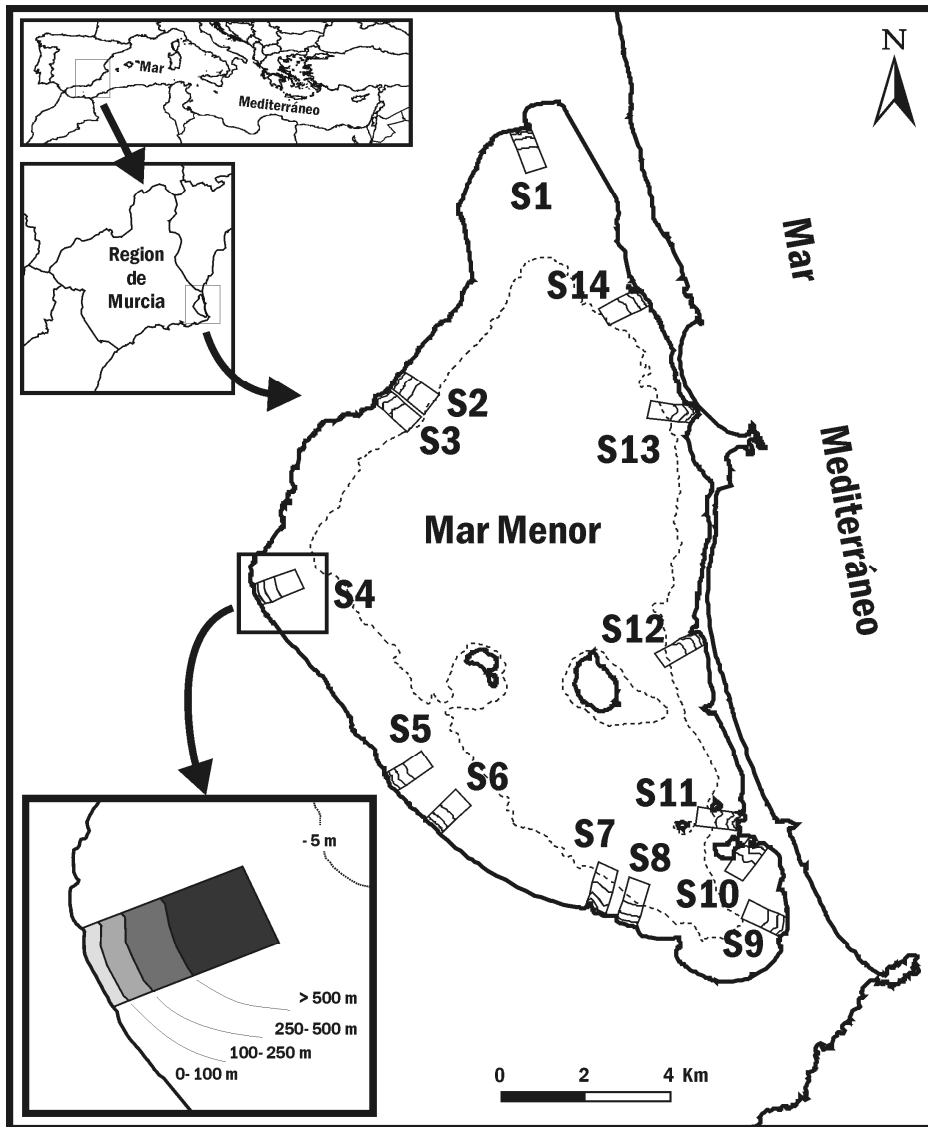


Figura 2. Distribución de las unidades de muestreo en la laguna

Las localizaciones a las que corresponde cada sector son las siguientes:

S1	La Puntica (Lo Pagán)	S8	Islas Menores
S2	Playa de la Hita	S9	Canal de Marchamalo
S3	Los Narejos	S10	Isla del Ciervo (Sur)
S4	Desembocadura R ^a Albujión	S11	Isla del Ciervo (Norte)
S5	Los Urrutias	S12	El Pedruchillo
S6	Saladar de Lo Poyo	S13	Playa Estacio
S7	Punta Lengua de la Vaca (Desembocadura R ^a Carrasquilla)	S14	La Encañizada Vieja

A continuación se realiza una descripción de la ubicación geográfica de cada sector, así como de sus características más generales.

Sector 1: La Puntica

Sector integrado en el municipio de San Javier, adyacente al puerto pesquero/deportivo de Lo Pagán y a una playa con paseo marítimo. Es un área completamente urbana, en la que predominan los usos lúdicos y deportivos del medio; el punto de observación se sitúa en un dique entre el puerto y la playa.

Sector 2: Playa de la Hita

Sector integrado también en el municipio de San Javier, se sitúa ligeramente al sur de la playa de la Hita, casi limitando con el pueblo de Los Narejos. Es un sector tipo playa, que presenta condiciones naturales, y está parcialmente invadido por comunidades helofíticas (carrizal); destaca la cercanía de elementos perturbadores y de origen antrópico, como el aeropuerto de San Javier.

Sector 3: Los Narejos

Último sector de la ribera interna perteneciente al municipio de San Javier, prácticamente adyacente al sector 2, se sitúa en la localidad de Los Narejos, más concretamente entre la playa y el paseo marítimo, pero en la parte norte del pueblo, y es también un sector de características urbanas.

Sector 4: Desembocadura de la Rambla del Albuji3n

Sector perteneciente al municipio de Los Alc3zares, se sitúa en el 3rea integrada desde el sur del pueblo de los Los Alc3zares hasta el comienzo de la Marina del Carmol3. Es un tramo de costa baja natural, arenosa, con formaciones de carrizal y saladar en el entorno terrestre, y condiciones eutr3ficas en las aguas litorales debido a los aportes de nutrientes que llegan por la rambla del Albuji3n.

Sector 5: Los Urrutias

El primero de los sectores que se integra en el municipio de Cartagena, ocupa el transecto que va desde el puerto del pueblo de los Urrutias (al sur de la Marina del Carmol3) hasta la urbanizaci3n Estrella del Mar, lindando con el saladar de Lo Poyo. Es un sector de caracter3sticas semiurbanas, tipo playa, en el que encontramos desde un puerto y una urbanizaci3n, hasta una pequeña extensi3n de carrizo de altura media.

Sector 6: Saladar de Lo Poyo

Sector perteneciente al t3rmino municipal de Cartagena, de caracter3sticas completamente naturales, que ocupa una parte del saladar de Lo Poyo, entre Los Urrutias y Los Nietos. Es una costa tipo playa baja, con grandes extensiones de formaciones psamm3filas y matorrales hal3filos, que recibe la influencia de dos ramblas (Del Beal y Del Ponce) y de los est3riles con alto contenido en metales provenientes de antiguas explotaciones de la sierra minera.

Sector 7: Punta Lengua de la Vaca

Sector que se integra en el municipio de Cartagena, entre el pueblo de Los Nietos y el de Islas Menores; es un tramo de costa tipo playa pedregosa (materiales de granulometr3a gruesa aportados por los cauces que desembocan en la laguna). Presenta todav3a condiciones naturales y est3 rodeada de zonas de actividad agr3cola. El punto de observaci3n se sitúa en la desembocadura de la rambla de la Carrasquilla.

Sector 8: Islas Menores

Sector perteneciente al municipio de Cartagena, se integra en la playa urbana del pueblo Islas Menores, entre el puerto deportivo de dicha localidad y el puerto

deportivo de la localidad adyacente, Mar de Cristal. Características totalmente urbanas, es una playa arenosa baja acompañada de un paseo marítimo.

Sector 9: Canal de Marchamalo

Sector de naturaleza semiurbana también, integrado en el municipio de Cartagena, situado en el extremo sur de la Manga, adyacente a las salinas de Marchamalo. Es una playa arenosa baja rodeada de una estepa halófila, en cuyas inmediaciones hay rellenos (antigua ensenada del Vivero) y algunas construcciones de origen antrópico (viviendas sobre todo).

Sector 10: Isla del Ciervo (Tramo Sur)

Sector perteneciente al municipio de Cartagena, integrado en la Manga y situado en el antiguo istmo artificial (hoy eliminado) de la Isla del Ciervo, orientado hacia el sur de la misma (e incluyendo parte de la orilla sureste de la isla). Compuesto por una playa de arena baja, adyacente a un puerto deportivo y a la urbanizada ladera sur del Monte Blanco, es un área de condiciones urbanas.

Sector 11: Isla del Ciervo (Tramo Norte)

Sector perteneciente al municipio de San Javier, integrado en la Manga y adyacente al sector anterior. Es un tramo de costa semiurbana, de orilla rocosa de elevada pendiente puesto que se sitúa en la ladera oeste del Monte Blanco. Está orientado hacia la cara norte de la Isla del Ciervo y queda delimitado, en el agua, por las islas Redonda y del Sujeto.

Sector 12: El Pedruchillo

Sector de La Manga perteneciente al municipio de San Javier, situado en la punta del Pedruchillo, en la urbanización El Pedrucho. Es una estrecha playa de arena baja y caracterizada por una clara naturaleza urbana, con paseo marítimo y altos bloques de viviendas en primera línea de costa.

Sector 13: Playa Estacio

Sector perteneciente al municipio de San Javier, situado en la Manga, al norte del puerto deportivo de Tomás Maestre, es una playa de arenas/gravas baja y de

naturaleza urbana, con bloques de viviendas adyacentes a unos de sus extremos. El punto de observación se sitúa en el extremo sur del sector.

Sector 14: La Encañizada Vieja

Último de los sectores integrados en la Manga, pertenece también al término municipal de San Javier. Situado en el norte de la Manga, adyacente a la urbanización Veneziola, es un tramo de costa natural, formada por una orilla arenosa, con matorral halófilo y unos encharcamientos en el interior que forman parte de las golos donde se sitúan las encañizadas. Estos ingenios de pesca tradicional han sido recuperados recientemente en esta zona, permaneciendo abandonados o habiendo desaparecido de las restantes golos (Estacio y Marchamalo).

Página siguiente: vista de los 14 sectores de muestreo (S1 a s14), ordenados de izquierda a derecha y de arriba abajo (Fotos P. Farinós y F. Robledano).

2.2.1.2. Selección de especies

El estudio se ha realizado a lo largo de toda la temporada invernal, por lo que las especies incluidas son todas especies que invernán en la laguna. De entre ellas se han seleccionado, por un lado, especies que protagonizan una interacción directa y constante con la dinámica de la laguna y las comunidades que habitan la masa de agua, es decir, especies propiamente acuáticas y marinas que obtienen su alimento (todo o parte de él) explotando la masa de agua y que desarrollan la mayoría de sus hábitos de comportamiento en el interior de la laguna, tales como reposo, locomoción, arreglo del plumaje o cortejo, en algunos casos. Entre estos grupos están los Podicipédidos, Rállidos, Láridos, Sternidos, el Cormorán Grande o Anátidas como la Serreta Mediana. Estas especies corresponden normalmente al morfotipo nadador o buceador, salvo los láridos (generalistas adaptados a la obtención de alimento sobre la superficie del agua, o incluso en tierra), y los stérnidos (especialistas en zambullirse desde el aire). Por otro lado, se han incluido algunos grupos de aves ribereñas (morfotipo vadeador o, en algunos casos, nadador) que explotan también, en cierta medida, los recursos alimenticios que ofrece la laguna para la avifauna, entre estos grupos estarán las Ardeidas, el Flamenco o Anátidas como el Tarro Blanco. Las especies seleccionadas se recogen en la tabla 3, indicando también su estatus de protección, que refleja también la importancia que tiene cada una desde el punto de vista de la conservación de la biodiversidad.

Especie	Nombre vulgar	Estatus de protección			
		Directiva Aves	Libro Rojo	CNEA	CREA
<i>Podiceps cristatus</i>	Somormujo Lavanco	-	-	IE	-
<i>Podiceps nigricollis</i>	Zampullín Cuellinegro	-	NT	IE	-
<i>Phalacrocorax carbo</i>	Cormorán Grande	-	-	-	-
<i>Fulica atra</i>	Focha Común	-	-	-	-
<i>Tadorna tadorna</i>	Tarro Blanco	-	NT	IE	IE
<i>Mergus serrator</i>	Serreta Mediana	-	-	-	-
<i>Sterna sandvicensis</i>	Charrán Patinegro	Anexo I	NT	IE	-
<i>Larus cachinnans</i>	Gaviota Patiamarilla	-	-	-	-
<i>Larus genei</i>	Gaviota Pícofina	Anexo I	VU	IE	-
<i>Larus ridibundus</i>	Gaviota Reidora	-	-	-	-
<i>Egretta garzetta</i>	Garceta Común	-	-	IE	-

<i>Ardea cinerea</i>	Garza Real	-	-	IE	IE
<i>Phoenicopterus roseus</i>	Flamenco	Anexo I	NT	IE	-

Tabla 3. Especies seleccionadas y estatus de protección: Directiva Aves (Anexo I: especies que serán objeto de medidas de protección especial en cuanto a su hábitat); Libro Rojo de las Aves de España, 2002 (VU=Vulnerable; NT=Casi amenazada); Catálogo Nacional de Especies Amenazadas (IE=Interés especial); Catálogo Regional de Especies Amenazadas de la Ley 7/1995 (IE=Interés especial).

Se han excluido del estudio las abundantes especies de limícolas que pueblan las orillas del Mar Menor, puesto que son grupos que dependen, en mayor medida, de los hábitats de transición entre la masa de agua y la masa terrestre. Por lo tanto, cabe esperar que su respuesta a las presiones y cambios que se están dando en la laguna sea mucho más difusa, o dependiente de otros factores, que la respuesta que pueden mostrar los grupos seleccionados, mucho más dependientes de la masa de agua. El valor indicador potencial de los limícolos, quedará restringido a las zonas de orilla, o resultará difícil de interpretar, dada su dependencia de otros ecosistemas relacionados con la laguna (humedales asociados).

2.2.1.3. Planificación de la temporada: Calendario de censos

Una vez determinado el número y distribución de sectores de muestreo, así como el conjunto de especies a estudiar, fue necesario planificar y distribuir el trabajo de campo a lo largo de toda la temporada invernal. Dadas las limitaciones de tiempo y personal disponible para cubrir un conjunto tan amplio de sectores, se consideró suficiente realizar censos quincenales durante los principales meses invernales (enero a marzo), y un censo inicial en el mes de diciembre. Esto permitió disponer de un censo previo a la fase del ciclo anual (primera quincena del mes de enero) en el que se considera que las poblaciones invernantes están estabilizadas, y que coincide con los censos invernales de aves acuáticas coordinados a escala internacional.

Inicialmente se hizo un recorrido por todos los sectores de muestreo en el mes de noviembre, con el fin de realizar una evaluación preliminar de la distribución de las especies escogidas y confirmar la correcta elección de dichos sectores.

Cada censo suponía la toma de datos en los 14 sectores de muestreo, por lo que se optó por distribuir ese recorrido en dos días preferiblemente consecutivos, realizando los conteos entre las 9.00 y las 15.00 horas de ambos días. Generalmente se ocupaba una mañana en recorrer los sectores de la ribera interna y otra para los sectores de la Manga. Quedaba establecido, de este modo, el calendario de censos a seguir, con un total de 7 visitas a cada sector desde diciembre a marzo. Entre los censos de cada quincena, se modificó el punto de inicio de cada recorrido (norte o sur), para corregir el posible sesgo asociado a censar sistemáticamente los mismos sectores a las mismas horas.

2.2.1.4. Registro de datos: fichas de censo y de sector

En todo trabajo de campo es imprescindible el empleo de un material que posibilite una toma de datos organizada así como un buen manejo de los mismos. La herramienta utilizada para registrar la abundancia de las aves en los muestreos ha sido una ficha de censo de diseño propio en la que se anotan el sector, la fecha y la hora, la abundancia y actividad de cada especie en cada banda, las condiciones meteorológicas generales así como observaciones inusuales, perturbaciones (personas, vehículos...), elementos imprevistos, etc. El diseño de la ficha se planteó buscando la capacidad para registrar lo más eficazmente posible todos los datos significativos en cada sector de censo y buscando también una herramienta manejable, de fácil anotación, almacenaje e interpretación. La ficha se presenta como Anexo (nº 1) a esta memoria.

Por otro lado, es necesario, como paso previo a los censos, una caracterización de las condiciones generales de cada sector de estudio. Esta caracterización es útil a la hora de establecer los valores que toma cada variable ambiental seleccionada en cada sector de estudio, además de que permite una evaluación rápida y general de las condiciones que se pueden encontrar en cada uno, es decir, nombre y localización, tipo de hábitat, usos del suelo, presencia de infraestructuras, geomorfología y tipo de sedimentos, características hidrológicas, vegetación, etc. Esta ficha de sector fue completada en el mes de noviembre, previamente al

comienzo de los censos. Esta ficha también se incluye como Anexo (n° 2) a esta memoria.

2.2.1.5. Metodología de observación

El procedimiento empleado para realizar los conteos ha tenido que adaptarse a la limitación de recursos y tiempo. El recorrido por la laguna se ha llevado a cabo en un automóvil, y como se ha descrito anteriormente, el recorrido total por los sectores de muestreo se dividió en dos días, debido a la imposibilidad de cubrir todos los sectores en una sola jornada. Cada sector era censado sistemáticamente desde el mismo punto, que permitía cubrir todo el sector sin modificar la distribución ni el comportamiento de las aves. Se utilizaron referencias visuales fijas en tierra y en el agua, y el entrenamiento previo de los observadores, para estimar las distancias que delimitan las bandas de conteo.

Llegados a un sector, la metodología de observación era sencilla: primeramente se anotaba el nombre del sector, la fecha, la hora de comienzo del conteo así como una serie de parámetros meteorológicos (viento, precipitación y cobertura nubosa); seguidamente se empleaban entre 15 y 20 minutos en contar y observar los individuos de cada especie estudiada y anotar su número, distribución y actividad por bandas. Por último se anotaba la hora de finalización del conteo y comenzaba el traslado al siguiente sector.

La observación se realizaba de forma directa, con un objetivo montado sobre un trípode, se utilizaron también, como herramientas de apoyo, prismáticos de 8 x 40 aumentos. Para posibles dificultades en la identificación de algunos individuos, sobre todo en estadios jóvenes o subadultos que no tienen el plumaje totalmente definido, o en el periodo de cambio de temporada, por ejemplo del invierno a la primavera-verano y la época de cría, se incluían en el equipo guías de identificación de aves adecuadas a la región de estudio.

2.3. SELECCIÓN DE VARIABLES AMBIENTALES

Las variables ambientales que se seleccionan para este estudio son, en su mayoría, características del medio que lo definen, tanto su estado de conservación,

como en la presencia de determinados elementos, y la dinámica general de los procesos naturales y antrópicos que lo caracterizan (tabla 4). Se ha procurado disponer de variables indicadoras tanto de las presiones sobre el sistema lagunar (acciones o procesos externos), como del estado del propio sistema (procesos internos), en la búsqueda de efectos directos o indirectos sobre la presencia o abundancia de aves acuáticas.

La mayoría de estas variables son de carácter categórico o binario, de manera que cada variable puede adoptar desde dos categorías (*ausencia/presencia* de un determinado factor, que se codifica como 0/1), hasta tres o más clases o estados diferentes. Estas variables han sido normalmente estimadas a partir de observación directa o de fuentes secundarias (bibliográficas o cartográficas).

Hay otras variables que tienen una expresión cuantitativa, bien por tomarse como valores lineales en una secuencia (día de censo), bien por expresar longitudes, superficies o porcentajes de distintas categorías. Estas últimas variables han sido medidas a partir de fuentes cartográficas u obtenidas de otras fuentes secundarias (inéditas o publicadas). A continuación se incluye la tabla resumen en la que se exponen y definen las distintas variables a estudiar.

Variables	definición:	Valores/unidades:	Obtención/registro:
DÍA	Día de censo (lineal)	Desde 9/12/05=1 hasta 27/03/06=109	Observación directa
BAND	Banda (distancia a la orilla); variable categórica con 4 clases	B1 a B4	Observación directa
HABG	Tipo de hábitat general (urbano, semiurbano, natural)	URB, SEM, NAT	Observación directa
SUBS	Superficie de la subcuenca hidrográfica	Ha	Proyecto DITTY (M.F. Carreño, <i>com. pers.</i>)
SUBA	Aportación de la subcuenca a la escorrentía total (en porcentaje)	%	Proyecto DITTY (*Hydrological model.)
CAUC	Presencia de cauces superficiales y régimen; variable categórica con 3 clases (permanentes, intermitentes, no)	CP, CI, CN	Observación directa
DESC	Descarga subterránea de agua dulce (Variable categórica con 5 clases): ausente, salina (asociada a salinas), difusa general, asociada a humedales ("lagoon"), zona de descarga natural	DS0, DS1, DS2, DS3, DS4	Observación directa
HIDM	Hidrodinámica (régimen de corrientes predominante): Variable categórica con 3 clases (N-S, S-N, E-W)	NS, SN, EW	(Pérez Ruzafa, 2005)
Biocenosis presentes			
CAU	Biocenosis de césped de <i>Caulerpa prolifera</i> (variable binaria: SI/NO)	Pres=1; Aus=0	(Calvín Calvo, 1999)
AMFC	Biocenosis de arenas fangosas en	Pres=1; Aus=0	(Calvín Calvo, 1999)

	régimen calmo (variable binaria: SI/NO)		
AFIC	Biocenosis de algas fotófilas infralitorales en régimen calmo (variable binaria: SI/NO)	Pres=1; Aus=0	(Calvín Calvo, 1999)
SING	Singularidades geomorfológicas: presencia de islas (Variable binaria: SI/NO)	Pres=1; Aus=0	Observación directa
BATI	Batimetría (% de superficie por debajo de la isobata de -5 m)	%	Cartografía digital
SINB	Singularidades biológicas: manchas <i>Cymodocea</i> (Variable binaria: SI/NO)	Pres=1; Aus=0	(Lloret <i>et al</i> , 2005)
Elementos emergentes			
ELI	Elementos ligeros: pantalanes y elementos no conectados a tierra (Variable binaria: SI/NO)	Pres=1; Aus=0	Observación directa
EPE	Elementos pesados: diques y puertos (Variable binaria: SI/NO)	Pres=1; Aus=0	Observación directa
Usos en la franja inmediata a la orilla (50 m)			
INAT	Superficie ocupada por usos naturales (=INAT) vs artificiales	%	Cartografía digital
Usos en el entorno próximo (1 km)			
EURB	Superficie de uso urbano en el entorno próximo	%	Cartografía digital
EAGU	Superficies de agua en el entorno próximo	%	Cartografía digital
ENAT	Superficie natural-erial-secano en el entorno próximo	%	Cartografía digital
EAGR	Superficie agrícola de regadío en el entorno próximo	%	Cartografía digital
Biocenosis presentes			
SAGU	Superficies de agua en la subcuenca	%	Cartografía digital
SBOS	Superficie forestal (arbolado y matorral) en la subcuenca	%	Cartografía digital
SSEC	Superficie agrícola de secano en la subcuenca	%	Cartografía digital
SART	Superficies artificiales (infraestructuras, urbano) en la subcuenca	%	Cartografía digital
SREG	Superficie agrícola de regadío en la subcuenca	%	Cartografía digital
Distancia al principal canal de comunicación con el Mediterráneo			
DGOL	Distancia al Canal (gola) del Estacio	km	Cartografía digital
Distancia a la principal entrada de agua dulce a la laguna			
DALB	Distancia a la desembocadura de la Rambla del Albuñón	km	Cartografía digital

Tabla 4. Relación de variables ambientales estudiadas, indicando su descripción, tipo, categorías y/o unidades de medida, y modo de obtención o registro.

Las variables cartográficas se calcularon mediante la digitalización las superficies de las distintas categorías (profundidad, usos del suelo) sobre ortoimágenes espaciales de la Comunidad Autónoma de la Región de Murcia. Para ello, y para calcular las densidades de aves, se digitalizaron los límites de las unidades de censo (sector y banda) y las superficies de las áreas terrestres de

influencia (bandas de 50 m y 1 km). Para la medición de superficies y distancias en los mapas digitales se utilizó el programa Arc View 3.2. En la tabla 2 se han recogido los valores de superficie de cada unidad de censo.

Las variables CAU (Biocenosis de césped de *Caulerpa*) y ELI (elementos emergentes ligeros) adquirieron valor 1 (presencia) en todos los sectores, por lo que no fueron objeto de análisis.

2.4. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Para analizar la respuesta de cada una de las especies a las variables ambientales seleccionadas, se han utilizado modelos de regresión lineal simple, utilizando la densidad de cada especie en cada unidad (“celda”) de muestreo (unidad resultante de combinar sector y banda) como variable dependiente, y como variables independientes las variables ambientales (referidas a cada sector) enumeradas en el apartado anterior. Los datos de densidad de aves fueron transformados ($\log x+1$).

Los análisis de regresión han sido realizados mediante el paquete estadístico “R”, de distribución gratuita a través de internet: URL <http://www.R-project.org/> (R Development Core Team, 2006).

Los modelos intentan confirmar o rechazar el sentido de la respuesta hipotetizado “*a priori*”. En la tabla 5 se indica la respuesta esperada “*a priori*”, considerando la relación de cada variable con los factores últimos a los que puede responder positiva o negativamente la densidad de aves, principalmente a través de relaciones tróficas.

VARIABLES	RESPUESTA ESPERADA	ESPECIES	OBSERVACIONES/COMENTARIO
SECT	(Factor aleatorio)		
DÍA	Densidad aumenta con la fecha	<i>Podiceps</i>	Según resultados de estudios previos (Robledano <i>et al.</i> , en preparación)
	Densidad aumenta con la fecha según una relación cuadrática	<i>Fulica</i>	Según resultados de estudios previos (Robledano <i>et al.</i> , en preparación)
BAND	Densidad aumenta conforme nos acercamos a		Según resultados de estudios previos (Robledano <i>et al.</i> , en preparación)

Variables	Respuesta esperada	Especies	Observaciones/comentario
	la orilla		
HABG	Densidad aumenta en la secuencia NAT>SEM>URB		
SUBS	Densidad aumenta con la superficie de la subcuenca hidrográfica	<i>Podiceps Fulica</i>	Mayor fertilización potencial de las aguas de la laguna (mayor superficie expuesta al lavado de nutrientes)
SUBA	Densidad aumenta con la contribución a la escurrentía		Mayor fertilización de las aguas de la laguna
CAUC	Densidad es mayor en presencia de cauces	<i>Fulica</i>	Mayor aporte de agua dulce y nutrientes
DESC	Densidad aumenta en la secuencia DS0<DS1<DS2<DS3<DS4		Mayor aporte de agua dulce
HIDM	Densidad aumenta en la secuencia NS>SN>EW (o NS>SN,EW)		Circulación favorece el transporte de nutrientes hacia las zonas ribereñas
SING	Densidad es mayor en presencia de islas		Factor de protección y crea condiciones más favorables de alimentación
BATI	Densidad es mayor cuanto más somera es la zona		Facilita la alimentación de las especies buceadoras
SINB	Densidad es menor en zonas con <i>Cymodocea</i> (menos eutróficas)	<i>Podiceps, Fulica</i> ¹	Otras especies podrían responder de forma contraria
BCNS	Densidad aumenta en la secuencia AMFC>AFIC>CAU (o AMFC,AFIC>CAU)		La biocenosis de <i>Caulerpa</i> sería la menos productiva
ELEM	Densidad en presencia de elementos ligeros es mayor que en presencia de pesados (ELI>EPE)		Los elementos "pesados" interfieren con la presencia de aves, y los ligeros la favorecen
CVEE	Densidad aumenta con la cobertura de helófitos	<i>Fulica</i> ²	Refugio y barrera ante condiciones urbanas
CVES	Densidad de fitófagos aumenta con la cobertura de vegetación sumergida. Densidad de piscívoros disminuye.	+ <i>Fulica</i> - <i>Podiceps, Phalacrocorax, Laridae</i>	Disminuye la transparencia del agua para sps piscívoras
INAT	Densidad aumenta con la superficie de usos naturales		En este caso lo considero un indicador de "naturalidad" de la orilla inmediata
EURB	- Densidad		Indicador de antropización
EAGU	+ Densidad	<i>Ardeidae, Tadorna</i>	Puede ser favorable: indicaría la presencia de humedales o la proximidad del mar
ENAT	- Densidad	<i>Podiceps, Fulica</i> ¹	Aquí es un indicador de condiciones oligotróficas (poco aporte de nutrientes)
EAGR	+ Densidad	<i>Podiceps, Fulica</i>	Indicador de eutrofización (aporte de nutrientes)
SAGU	? Densidad		No es muy relevante a esta escala; difícil predecir su respuesta
SBOS	- Densidad		Indicador de condiciones oligotróficas (reduce el aporte de nutrientes)
SSEC	- Densidad		Indicador de condiciones oligotróficas (reduce el aporte de nutrientes)

Variables	Respuesta esperada	Especies	Observaciones/comentario
SART	+ Densidad		Indicador de eutrofización potencial (aguas residuales)
SREG	+ Densidad		Indicador de eutrofización (aporte de nutrientes)
DGOL	Densidad aumenta con la distancia	<i>Podiceps</i> , <i>Fulica</i> ¹	Indicador de "mediterraneización" (intercambio de agua; opuesto a eutrofización)
DALB	Densidad disminuye con la distancia	<i>Podiceps</i> , <i>Fulica</i> ²	Indicador de eutrofización; se opone al anterior

⁽¹⁾ Otras especies (no favorecidas por la eutrofización, como *Mergus serrator*) podrían responder de forma contraria.

⁽²⁾ Otras especies podrían también responder positivamente a la protección que proporciona la vegetación emergente.

Tabla 5. Predicciones asociadas a las variables ambientales (respuestas hipotetizadas "a priori" de la densidad de aves frente a cada variable).

Para interpretar el resultado de cada modelo, se ha tenido en cuenta el valor y signo de los coeficientes (B) de la ecuación de regresión. Se evalúa, así mismo la contribución de cada variable a explicar la variación en la densidad de aves (a través del valor de R² ajustada del modelo).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. COMPOSICIÓN Y ABUNDANCIA DE LA COMUNIDAD DE AVES DE LA LAGUNA

3.1.1. ANTECEDENTES

Con respecto al estudio de la composición, distribución y tendencias de la avifauna lagunar, existen algunos trabajos que describen las tendencias de los principales grupos estudiados a lo largo de todo el ciclo anual, así como la composición global y diversidad de especies de aves acuáticas en la laguna. No se dispone, en cambio, de trabajos que describan de forma desagregada la distribución de las aves acuáticas en el interior de la laguna. La mayoría de los datos disponibles provienen de los censos de aves acuáticas invernantes que se realizan anualmente en la Región de Murcia y en España en el marco de programas coordinados a escala internacional (Martí y del Moral, 2003). En nuestra región estos censos se han realizado con mayor o menor continuidad desde 1972 (figura 3), siendo el Mar Menor la localidad que acumula un conjunto más numeroso de censos: 26 disponibles hasta 2005, o el 76,47% de los 34 años que cubre este periodo (Hernández y Robledano, 1991; Esteve y Robledano, 2003; Hernández *et al.*, 2006).

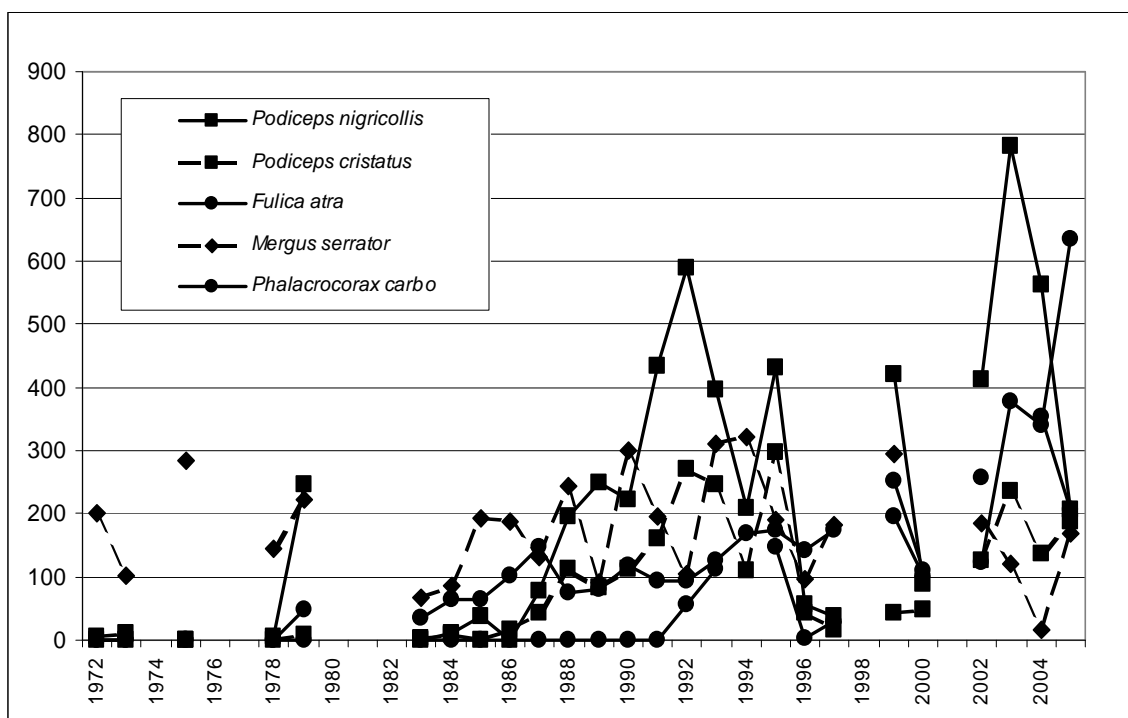


Figura 3. Variación de las poblaciones invernantes de las especies de aves acuáticas más abundantes en el Mar Menor (1972-2005).

Los programas de seguimiento específico de la ornitocenosis lagunar han sido mucho menos frecuentes y de más corta duración. Así, únicamente Hernández y Robledano (1997), describen la composición general para los años 1990 y 1991, pudiéndose observar cómo cormoranes, anátidas, láridos y podicipédidos alcanzan sus máximos de abundancia durante la temporada invernal de ambos años, por el contrario, charranes y garzas lo hacen durante la época estival. Se observó también que la mayor riqueza de especies en la comunidad de aves acuáticas coincidía también con la época estival. Por otro lado se han comparado las tendencias locales durante los años 70 y 80 de las especies invernantes más representativas de la laguna, sean el Somormujo Lavanco, Zampullín Cuellinegro, Cormorán Grande y Serreta Mediana, con las tendencias en otros humedales de ámbito nacional o internacional, estableciéndose, para estas especies, una tendencia general de crecimiento positiva, siendo más evidente en los podicipédidos.

Hay otros estudios que han evaluado la respuesta de ciertas especies a las cargas de nutrientes que se estima están llegando a la laguna, y el proceso de eutrofización que está sufriendo (Martinez *et al.* 2005 a). Se ha visto que los podicipédidos, Somormujo Lavanco y Zampullín Cuellinegro, muestran una

respuesta positiva a este cambio de estatus trófico, siendo el Somormujo Lavanco el que muestra una dependencia más estrecha con estos cambios, ya que el Zampullín Cuellinegro tiene una respuesta más oportunista con respecto a cambios que podrían afectar a las fuentes de alimento. La Serreta Mediana, sin embargo, no muestra una tendencia poblacional creciente paralela al proceso de eutrofización, sino que mantiene una estabilidad poblacional o incluso, una ligera tendencia decreciente.

Robledano *et al.* (2004 a) comparan las tendencias recientes de las cuatro especies anteriores en el Mar Menor con las poblaciones españolas, tomando como base el censo invernal de 1991. Las dos especies que muestran una mayor concordancia con la tendencia nacional (Cormorán Grande y Serreta Mediana) tendrían, a priori, un menor valor indicador. Esto parece confirmarse para el Cormorán, que no tiene una dependencia trófica muy estricta del Mar Menor, desplazándose a otras localidades y hábitats para alimentarse. Según esto, los dos podicipedidos, al apartarse más de las tendencias nacionales, mostrarían un mejor ajuste local al estado trófico particular de la laguna.

Uno de los aspectos actualmente sometidos a investigación, en el marco del análisis de las tendencias a largo plazo de las poblaciones de acuáticas, es la posible influencia del zooplancton gelatinoso, como controlador de la dinámica de nutrientes en el Mar Menor, sobre la respuesta de las aves invernantes a la entrada de nutrientes (Martinez *et al.* 2005 a).

3.1.2. TEMPORADA ESTUDIADA

Con respecto a la temporada estudiada, que es la temporada invernal de 2005/06, se observa una composición de especies invernantes similar a los periodos anteriormente estudiados, pero con algunas diferencias significativas (tabla 6, figura 4). Encontramos los principales grupos invernantes ya descritos, podicipédidos, láridos, anátidas y cormoranes, a los que hay que añadir la fuerte presencia de la Focha en aquellas zonas donde las condiciones de eutrofia están claramente asentadas, siendo la desembocadura de la Rambla del Albuñón el enclave por excelencia para esta especie fitófaga. Este cambio con respecto a los estudios de los

años 70, 80 y principios de los 90, se debe al aumento notable de las cargas de nutrientes y a los aportes de agua dulce que llegan por ese cauce en la última década, que está acelerando el proceso de eutrofización y la generación de biomasa, sobre todo de origen vegetal. En los estudios realizados hasta el año 1992 la Focha prácticamente es una especie inexistente en la laguna, y sólo a partir del trabajo de Robledano *et al.* (2004 b) se empieza a asociar su masivo incremento a un proceso avanzado de eutrofización.

	Censos						
Familia:	1-D	1-E	2-E	1-F	2-F	1-M	2-M
<i>Podicipedidae</i>	32	38	56	375	239	279	184
<i>Phalacrocoracidae</i>	106	297	7	179	29	441	4
<i>Rallidae</i>	192	273	184	154	200	155	98
<i>Anatidae</i>	14	6	13	26	6	10	3
<i>Sternidae</i>	40	9	5	3	4	3	8
<i>Laridae</i>	376	129	127	149	315	421	397
<i>Ardeidae</i>	6	3	4	8	3	18	6
<i>Phoenicopteridae</i>	0	20	64	38	0	0	0
TOTAL:	766	775	460	932	796	1.327	700

Tabla 6. Variación de la abundancia total de las especies de aves acuáticas estudiadas durante los siete censos de la temporada 2005-06.

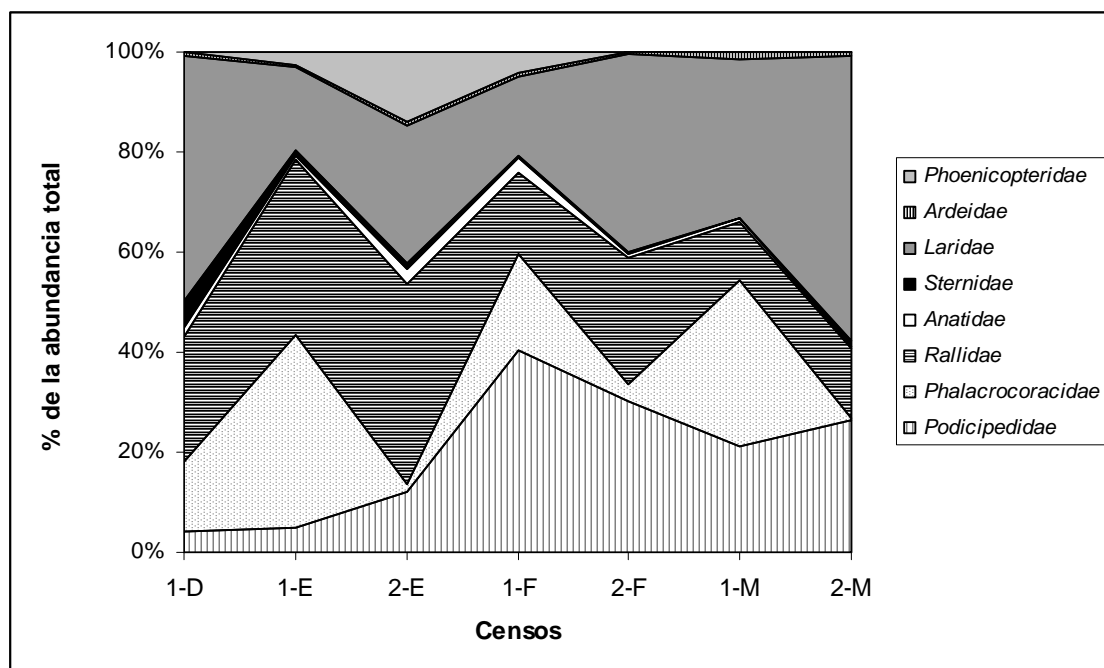


Figura 4. Contribución de las distintas familias a la abundancia total de aves acuáticas a lo largo de los siete censos de la temporada 2005-06.

Otras diferencias notables son la disminución en la abundancia de Serreta Mediana, que continúa siendo la anátida más numerosa de la laguna, pero que se

encuentra en clara recesión, probablemente por la ya comentada evolución del sistema desde un estado de oligotrofia a un estado de eutrofia.

Por último hay que destacar el fuerte incremento observado en esta temporada en el número de cormoranes que han ocupado la laguna, habiendo registrado en el mismo grupo a más de 400 ejemplares.

Se han incluido en el estudio al Charrán Patinegro (*Sterna sandvicensis*) como parte de la fracción de piscívoros lagunares. También se ha incluido, frente al gran grupo de piscívoros propiamente lagunares, un grupo de piscívoros (no estrictos) más dependientes de los hábitats terrestres y de ribera. Este grupo, cuyo patrón de alimentación no consta, como ya decimos, únicamente de ictiofauna (sino también invertebrados, moluscos, poliquetos, etc., variando en función de la especie) incluye a la Garceta Común (*Egretta Garzetta*) y la Garza Real (*Ardea cinerea*) en representación de las ardeidas, que van a tener una cierta dependencia de los hábitats de orilla y terrestres; junto a estas se incluye el Flamenco (*Phoenicopterus ruber*), que unido al Tarro Blanco (*Tadorna tadorna*) constituyen la fracción filtradora de la avifauna estudiada.

Resaltar que, exceptuando a la única especie mayoritariamente fitófaga, la Focha, el resto de especies estudiadas se han agrupado, como ya ha quedado patente, en dos grandes grupos en función de su alimentación y la dependencia de la masa de agua, piscívoros lagunares, dependientes casi exclusivamente de la masa de agua, y piscívoros de ribera, con dependencia mixta de la masa de agua y de la masa terrestre. No obstante cabe decir que ninguno de estos dos grandes grupos posee especies exclusivamente piscívoras, sino que consumen otras presas como crustáceos, moluscos, invertebrados, poliquetos, fauna de aguas continentales, etc., aunque la ictiofauna constituye, en el Mar Menor, una fuente rica y mayoritaria de recursos alimentarios.

En la figura 5 se presentan los patrones temporales de abundancia de las especies estudiadas en el conjunto de la laguna, a lo largo de los siete censos realizados durante la presente temporada. Estos permiten explicar de una forma más precisa la contribución porcentual de cada especie a la abundancia total (resumida en la figura 4). Estos patrones deben ser una combinación de la fenología de las

especies en la zona, junto con los cambios locales en la disponibilidad de recursos requeridos en cada fase del periodo no reproductor (muda, supervivencia invernala, acumulación de reservas para la migración y reproducción...). Los resultados de todos los censos se presentan en Anexo (nº 3), desagregados por sectores y bandas.

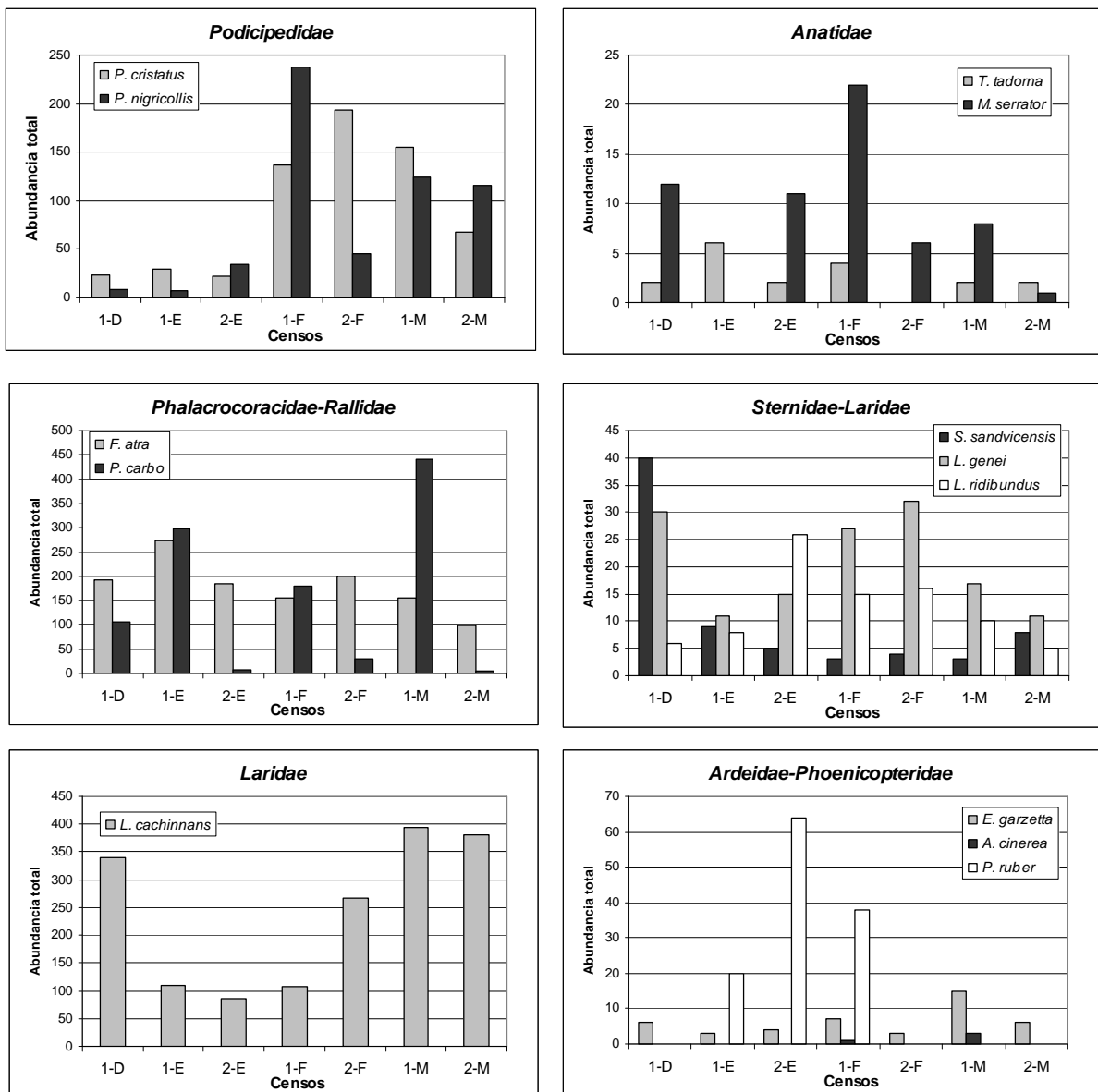


Figura 5. Patrones de abundancia de las especies estudiadas a lo largo de los siete censos de la temporada 2005-06.

3.2. CARACTERIZACIÓN DE LAS RELACIONES TRÓFICAS

3.2.1. ESTRUCTURA GENERAL DE LAS RELACIONES TRÓFICAS

3.2.1.1. Consideraciones generales

Como paso previo al desarrollo del esquema general de las redes tróficas y basándonos en lo expuesto en el apartado 2.1.2, se introduce y describe a continuación la biocenosis como unidad funcional, y se detallan los distintos tipos encontrados en el área de estudio.

Conocer las comunidades marinas que habitan nuestros sectores de censo y el sustrato sobre el que se asientan es una herramienta útil por varios motivos, no obstante, previamente a exponerlos, debemos expresar el conjunto de la comunidad y el sustrato del que depende como una única unidad funcional, que permita caracterizar a cada zona de forma rápida y eficaz. Esta unidad funcional es llamada **biocenosis**, y aunque no existe una definición clara y establecida para este término, y diversos investigadores interpretan el concepto de distinta forma, si podemos hacer un compendio de diversas ideas (Margalef, 1998) para desarrollar una definición:

Unidad funcional que engloba a un conjunto de seres vivos organizados a nivel de comunidad y el medio físico que les rodea, habiendo entre esta comunidad y el medio que la integra, un nivel de interacción e intercambio de materia y energía tales que permitan una comprensión lógica de todo el conjunto, y que los intercambios a través de las fronteras con otros conjuntos de escala similar sean mínimos.

Una vez establecido el concepto debemos hacer mención a la importancia y utilidad que supone conocer qué biocenosis encontramos en cada sector. Primeramente, es útil y facilita el trabajo a la hora de caracterizar las redes tróficas, conocer qué grupos de organismos vamos a encontrar en cada sector de censo, puesto que habrá una o varias biocenosis bien delimitadas en cada sector,

presentando cada una, una configuración determinada de organismos, de esta forma con una simple revisión del listado de especies adjunto la descripción de cada biocenosis se puede tener una idea preliminar y general acerca de qué grupos de organismos están presentes. Otro de los aspectos que merece la pena resaltar, sobre todo a la hora de elaborar índices de calidad, es que, la propia biocenosis como unidad funcional indica el estado ecológico de la zona, ya que hay tener en cuenta que la presencia o ausencia de ciertas especies de algas o fanerógamas indica un estado determinado de calidad ecológica. De esta forma, conociendo la biocenosis, se pueden identificar de forma indirecta, determinados factores de presión que incidan sobre la masa de agua. El concepto de biocenosis, pese a su relativa indefinición, está ampliamente extendido en la descripción de comunidades sumergidas, por lo que resulta de utilidad práctica.

3.2.1.2. Distribución de las biocenosis en el área de estudio

La distribución de las biocenosis en el conjunto de los 14 sectores de censo es prácticamente homogénea, con algunas excepciones muy localizadas. Las biocenosis que se distribuyen por todo el área de estudio son 3 (Calvín Calvo, 1999).

AFMC: Biocenosis de arenas fangosas en régimen calmo: Comunidad que se instala principalmente en el infralitoral superior, sobre sustrato fangoso arenoso y en zonas de bajo hidrodinamismo y/o fuerte aporte de limos terrestres. Dominada por un lecho mixto compuesto por el alga *Caulerpa prolifera* y la fanerógama *Cymodocea nodosa*.

CAU: Biocenosis de césped de *Caulerpa prolifera*: A unos 100 metros de la orilla de media (en algunos sectores a más distancia) comienza un lecho monoespecífico del alga *Caulerpa prolifera* sobre fondo fangoso arenoso.

AFIC: Biocenosis de algas fotófilas infralitorales en régimen calmo: Comunidad instalada sobre sustrato rocoso o sedimento bien consolidado, iluminado, y protegido del fuerte hidrodinamismo, en nuestro caso, por la configuración geomorfológica del litoral. Puede tener una configuración de especies de algas bastante diversa pertenecientes a los *phyla* clorofitas, rodófitas y feófitas.

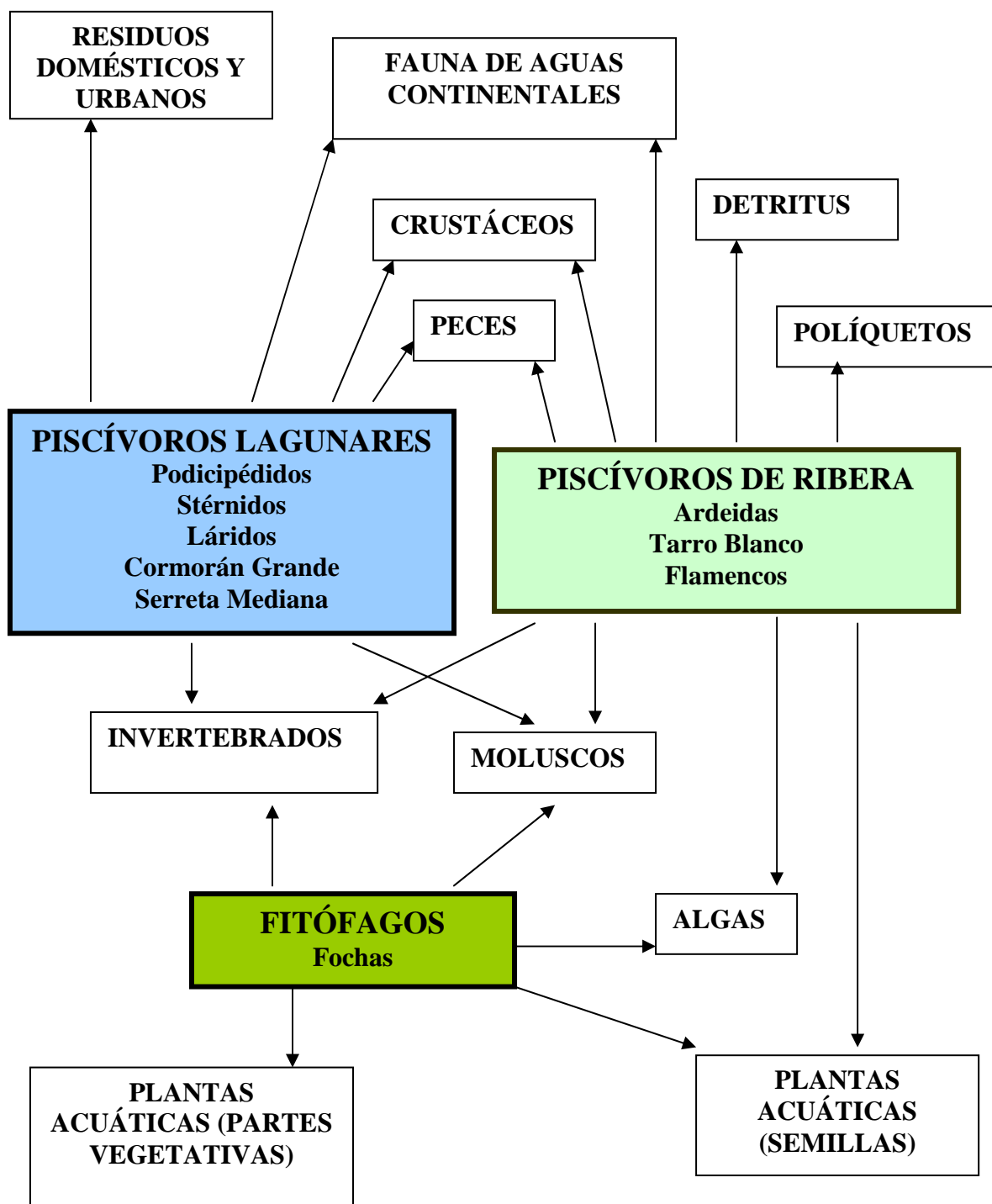


Figura 6. Esquema general de los elementos que suponen una fuente de alimento para la avifauna estudiada (Nota: no todas las especies de cada gremio participan en todas las relaciones).

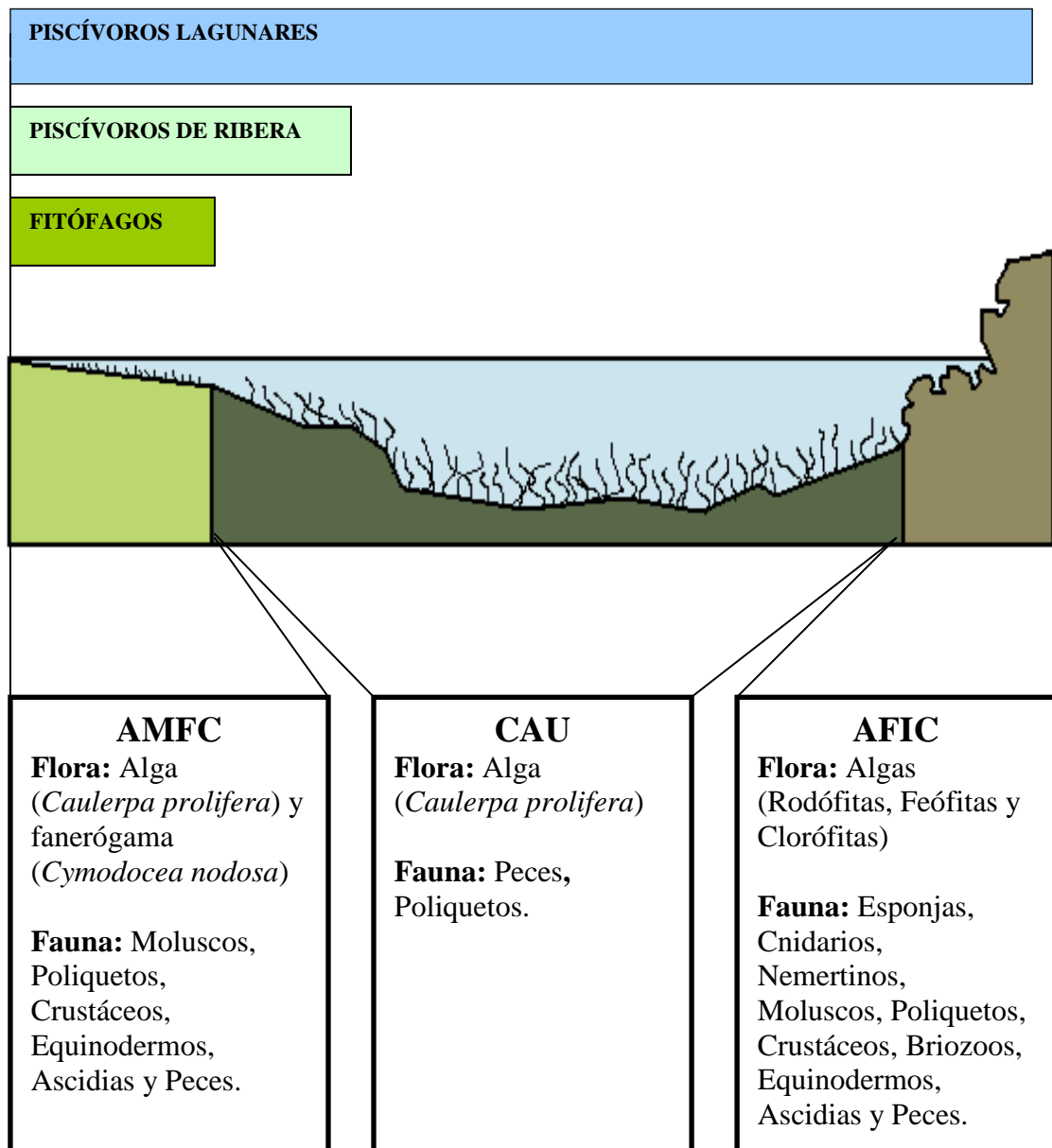


Figura 7. Distribución de los principales gremios de aves en las biocenosis.

En las figuras 6 y 7 se expresan gráficamente las relaciones tróficas y espaciales que, de forma tentativa, pueden establecerse entre las biocenosis lagunares y los gremios en los que se pueden agrupar las especies de aves acuáticas estudiadas. Estas relaciones se basan fundamentalmente en la revisión de tratados generales (CRAMP, 1998). Los gremios indicados son tres:

Piscívoros lagunares: Serían los que se alimentan con preferencia de peces e invertebrados, siempre a nado en la masa de agua, sea en superficie o a diferentes

profundidades (mediante la inmersión total o parcial del cuerpo). Incluiría los podicipédidos, la Serreta Mediana, el Cormorán Grande, las gaviotas y charranes.

Piscívoros de ribera: Se alimentan normalmente a pié vadeando en aguas de profundidad diversa, y a distancias variables de la orilla dependiendo de su morfología y tamaño. Incluiría a las ardeidas, Flamenco y Tarro Blanco (aunque esta especie también es capaz de alimentarse en la masa de agua, parece mostrar una preferencia por zonas ribereñas). En general todas estas especies, aunque explotan la zona litoral desde la propia orilla del agua, al igual que los limícolas, se alejan en mayor medida y explotan aguas más profundas que cualquiera de ellos. Como en el gremio anterior, “piscívoros” hace referencia, en sentido amplio, a taxones que se alimentan tanto de peces como de invertebrados.

Fitófagos: Incluye exclusivamente a la Focha, la única especie preferentemente (aunque no exclusivamente) herbívora, en este caso ligada a la ribera por la distribución de su alimento preferido y por sus técnicas de obtención del alimento.

3.2.2. CARENCIAS DE INFORMACIÓN Y PROPUESTAS DE MEJORA

Se ha expuesto el esquema general que establece las relaciones de los grupos de aves estudiados con sus principales fuentes de alimento, así como la distribución de estos grupos en función de las tres biocenosis presentes en el área de estudio. No obstante, es imposible profundizar más e identificar esas relaciones a nivel de especie, puesto que la información relativa a las presas que consume cada una de las especies de aves estudiadas ha sido obtenida de fuentes documentales secundarias (CRAMP, 1998), cuyos resultados no han sido obtenidos en la laguna del Mar Menor, sino en poblaciones de aves residentes en otros humedales europeos. La ausencia de estudios sobre identificación de presas potenciales (a nivel de especie) de las poblaciones de avifauna local impide un desarrollo de las relaciones tróficas más detallado. El diseño de un esquema estandarizado de monitorización de las aves de la laguna sería un primer paso importante, ya que ni siquiera la administración

regional incentiva o se hace cargo de los censos y seguimientos anuales, que deben ser realizados por personal voluntario de organizaciones no gubernamentales tales como la Asociación de Naturalistas del Sureste (Hernández *et al.*, 2006). Este esquema debería integrar tanto el seguimiento regular de las poblaciones de aves como el de sus hábitat, en aspectos como la disponibilidad y accesibilidad al alimento, actividad y comportamiento alimentario.

Por otro lado, resulta conveniente establecer una metodología de estudio que reúna un conjunto de técnicas lo menos agresivas posible, evitando, en la medida de lo posible, métodos tales como el análisis de los contenidos estomacales, que requiere la muerte del individuo capturado. A este respecto existen técnicas potencialmente eficientes que no requieren la muerte de los individuos objeto de análisis, el ejemplo típico sería el análisis de excrementos, aunque Delgado Lara (2005) y otros autores proponen el empleo de técnicas de análisis de isótopos estables, las cuales pueden reflejar, mediante el análisis de las concentraciones de ciertos isótopos (por ejemplo de carbono o nitrógeno) en determinados tejidos de las aves, tales como plumas y uñas, o en la sangre, las proporciones de los componentes de su dieta. Una ventaja de este tipo de técnicas, además de que no requiere la muerte del individuo, sería que en función del tipo de tejido analizado, y teniendo en cuenta las posibles influencias de otros procesos, se puede analizar la dieta a muy distintas escalas temporales, lo que propicia también la detección de cambios en la misma.

3.3. DISTRIBUCIÓN Y ABUNDANCIA DE LAS POBLACIONES DE AVES

A continuación se exponen en forma gráfica los resultados obtenidos sobre la distribución de las principales especies estudiadas, a lo largo de toda la temporada invernal, en todos los sectores analizados. Para cada especie se incluye una serie de 7 gráficas que describe esa evolución temporal.

3.3.1. SOMORMUJO LAVANCO (*PODICEPS CRISTATUS*)

El Somormujo Lavanco presenta una distribución bastante explícita. En primer lugar, se observa que es una especie que prefiere aguas más cercanas a la ribera interior de la laguna que a la Manga. Este aspecto se aprecia en la práctica total ausencia de individuos en los sectores 9 a 14. Por otro lado, su distribución está restringida casi por completo al tramo comprendido entre el sector 3, Los Narejos, y el sector 8, Islas Menores, donde la influencia de las cargas de nutrientes entrantes parece ser mayor, por existir un transporte de éstos con dirección sur desde las principales zonas de aportación. De todo este conjunto de unidades de muestreo, el Somormujo alcanza sus máximos de densidad, claramente diferenciados, en el sector 6, Lo Poyo. Estas diferencias pueden ser debidas a que entre esta zona y las islas del Barón y Perdiguera, se observa un choque entre células de circulación marinas (Pérez Ruzafa, 2005) cuyo resultado es un desvío de éstas hacia la costa (Saladar de lo Poyo, los Nietos,...etc.) volviendo a unirse a la circulación principal cuando llega a las zonas más someras.

Este fenómeno podría suponer un “chorro de recirculación” de nutrientes hacia esos tramos de la ribera sur, que propicia una mayor tasa de alevinaje de peces (Pérez Ruzafa *et al.* 2003) (presas potenciales) y puede explicar los elevados números en somormujos entre esos sectores y las islas, que probablemente depredan las especies de peces en estadios jóvenes y adultos que llegan a la zona para consumir ictioplancton u otras presas potenciales, abundantes por la gran productividad del área. Además hay que tener en cuenta la evolución temporal de

estos números: se puede ver que es en la primera mitad de Febrero cuando empiezan a incrementarse, alcanzándose en la segunda mitad de Febrero y primera de Marzo los máximos en el sector 6. Para confirmar esta interpretación, quedaría pendiente comparar el desfase temporal entre estos máximos y los picos de entrada de nutrientes, y determinar si es un tiempo válido para la generación de productores y consumidores primarios y el comienzo del alevinaje.

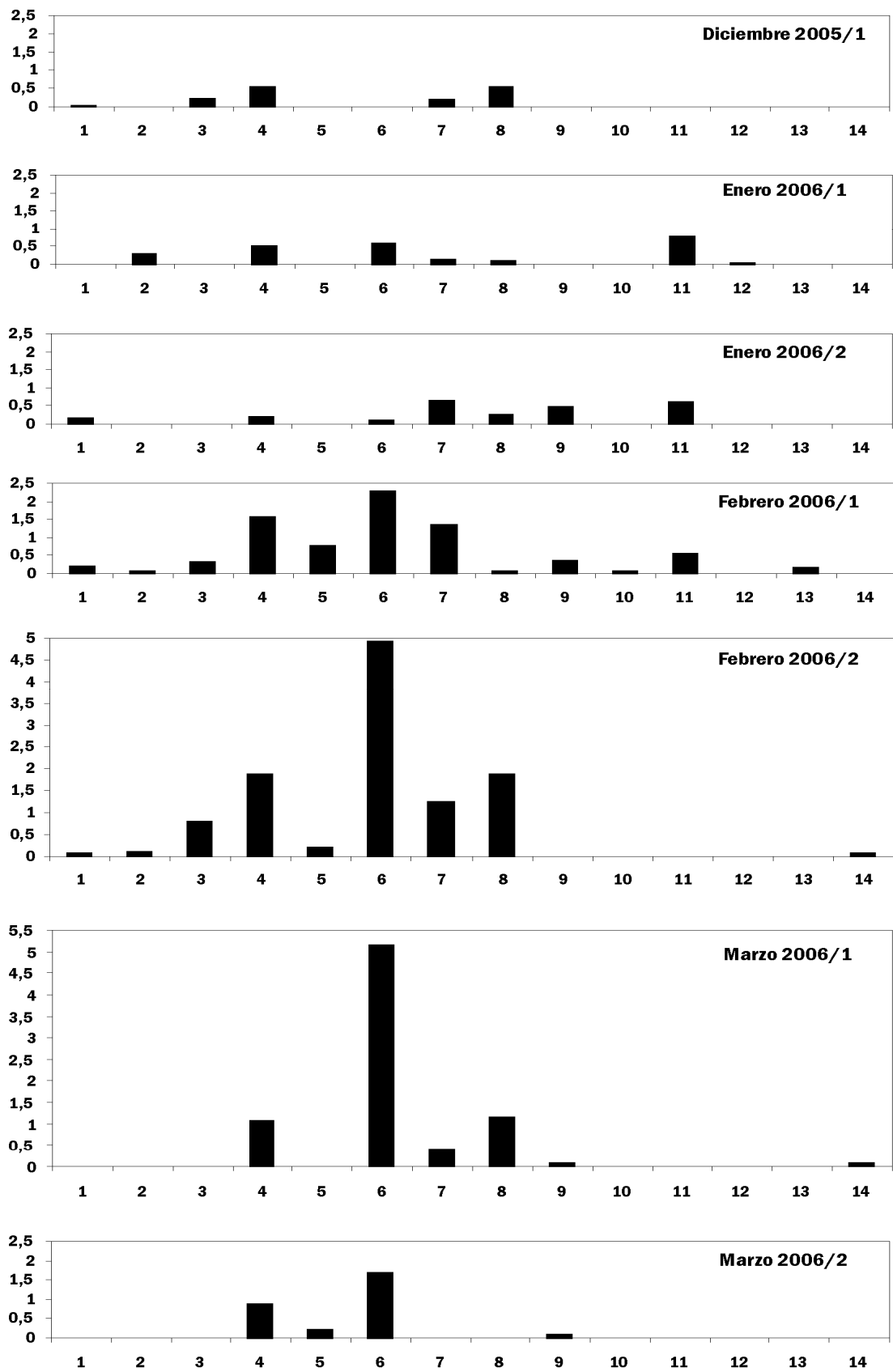


Figura 8. Evolución de la densidad de *Podiceps cristatus* (Individuos/Ha) por sectores a lo largo de la temporada de censos.

3.3.2. FOCHA COMÚN (*FULICA ATRA*)

La Focha es, de entre las especies más abundantes observadas, la que presenta la distribución más definida, acotada a cuatro sectores de muestreo, del número 2 (Playa de la Hita) al 5 (los Urrutias). Como se ve por el tipo de hábitat, esta especie fitófaga se encuentra tanto en hábitats urbanos, semiurbanos como naturales. Hay que matizar que el grupo de individuos observado en los sectores 2 y 3 parece ser el mismo, unas veces concentrado únicamente en el sector 3 (Diciembre y Enero), otras repartido entre los dos. Así podemos establecer la observación de 3 grupos diferenciados: un gran grupo en la desembocadura de la R^a del Albuñón (sector 4), y dos grupos satélite en sectores inmediatos a éste, uno en Los Urrutias (sector 5) y otro repartido entre Playa de la Hita y Los Narejos (sectores 2 y 3). Las densidades calculadas para la desembocadura de la R^a del Albuñón son bastante elevadas, alcanzándose el máximo en la primera mitad de enero, coincidente con los patrones generales de evolución a lo largo de la temporada invernal en la que la abundancia es mayor en los primeros meses (es una de las especies invernantes que primero aparece, con elevados números de individuos). Es una especie que se distribuye exclusivamente en los primeros 100 metros de agua, alimentándose de las masas vegetales que se forman como consecuencia de la descarga de aguas de baja salinidad cargadas de nutrientes.

Se hace patente entonces, una distribución acorde con los sectores con grandes descargas de escorrentías, caudales permanentes (desembocadura de la R^a del Albuñón), y en general, mayor influencia de la actividad agrícola reflejada en *inputs* de nutrientes. La Focha es indudablemente la especie que ha mostrado en los últimos años una más clara respuesta positiva a esas cargas de nutrientes y al proceso de eutrofización. Se puede comprobar que además de estar presente, únicamente en aquellos sectores con mayores cargas entrantes, el grupo de mayor densidad (con diferencia) se encuentra en el sector de máxima eutrofización (también con diferencia respecto a los otros), el sector 4 correspondiente a la desembocadura de la Rambla del Albuñón (Lloret *et al.*, 2005; Pérez-Ruzafa *et al.*, 2005; Velasco *et al.*, 2005).

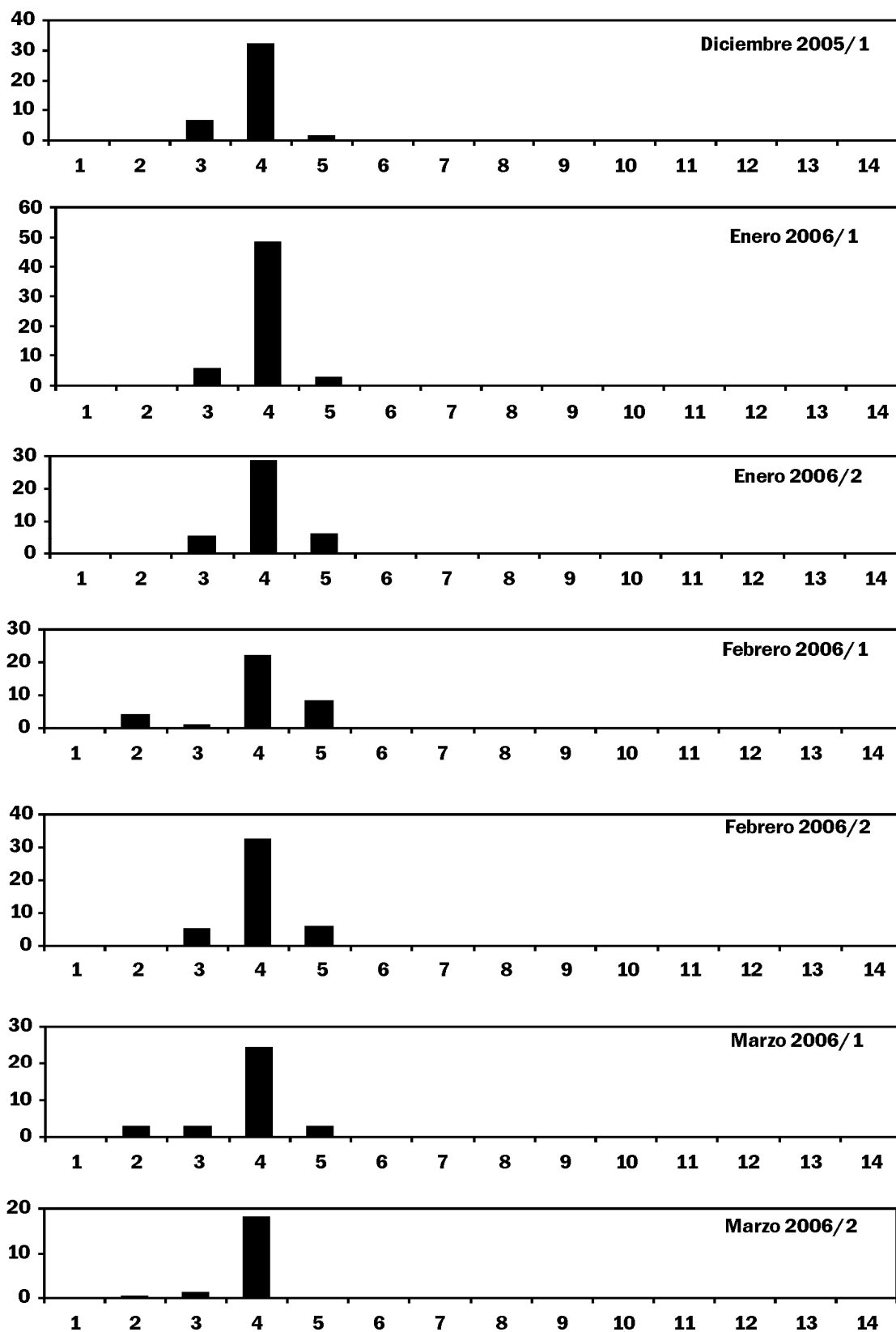


Figura 9. Evolución de la densidad de *Fulica atra* (Individuos/Ha) por sectores a lo largo de la temporada de censos.

3.3.3. ZAMPULLÍN CUELLINEGRO (*PODICEPS NIGRICOLLIS*)

A diferencia del somormujo Lavanco, el Zampullín Cuellinegro presenta una distribución bastante más dispersa. Una de las posibles causas de esa mayor dispersión es que el Zampullín es mucho más generalista que el Somormujo en cuanto a la búsqueda de alimento, gracias a su mayor amplitud ecológica y tolerancia a condiciones limnológicas extremas (Jehl, 1988). Se aprecia que su distribución refleja, en varios censos, presencia de individuos en sectores de la Manga; en ellos, el Somormujo Lavanco prácticamente sólo aparece en el sector 11, mientras que el Zampullín aparece con mayor densidad en ese mismo sector, así como en el sector 13 (muy cercano al canal del Estacio) donde los somormujos están prácticamente ausentes (a excepción del primer censo de febrero con una densidad mínima). La presencia de zampullines en el sector 13 durante casi toda la temporada podría estar relacionada con la mayor diversidad de especies de presas, sobre todo de peces, debidas a la “influencia de mediterrización” (o menor confinamiento) que implica la proximidad del Canal del Estacio, y dado ese carácter más generalista comentado anteriormente, este sector podría suponer un “filón” en cuanto a las posibles capturas, además de reducir la competencia con otros piscívoros que aprovechan más el centro de la laguna y la ribera interna.

Por lo demás, la especie se distribuye y evoluciona en el tiempo de una forma similar al Somormujo Lavanco. En la ribera interna su distribución principal abarca desde los sectores 4 al 8, pudiendo estar relacionada con ese “chorro de recirculación” de nutrientes comentado anteriormente para los somormujos. Las mayores densidades se dan a principios de los meses de Febrero y Marzo. Como en el Somormujo, el incremento general de su densidad se produce a principios de Febrero, aunque con valores inferiores. Hay que destacar la presencia en los sectores de la Manga ya comentados durante los meses de Diciembre y Enero, cuando su densidad es mínima en la ribera interior. Podría estar aprovechando los recursos de la ribera externa durante los primeros meses de la temporada, y a partir de Febrero, cuando parece que los recursos ícticos aumentan en la zona central-sur de la laguna, aprovechar esa abundancia de alimento en los sectores 4 a 8.

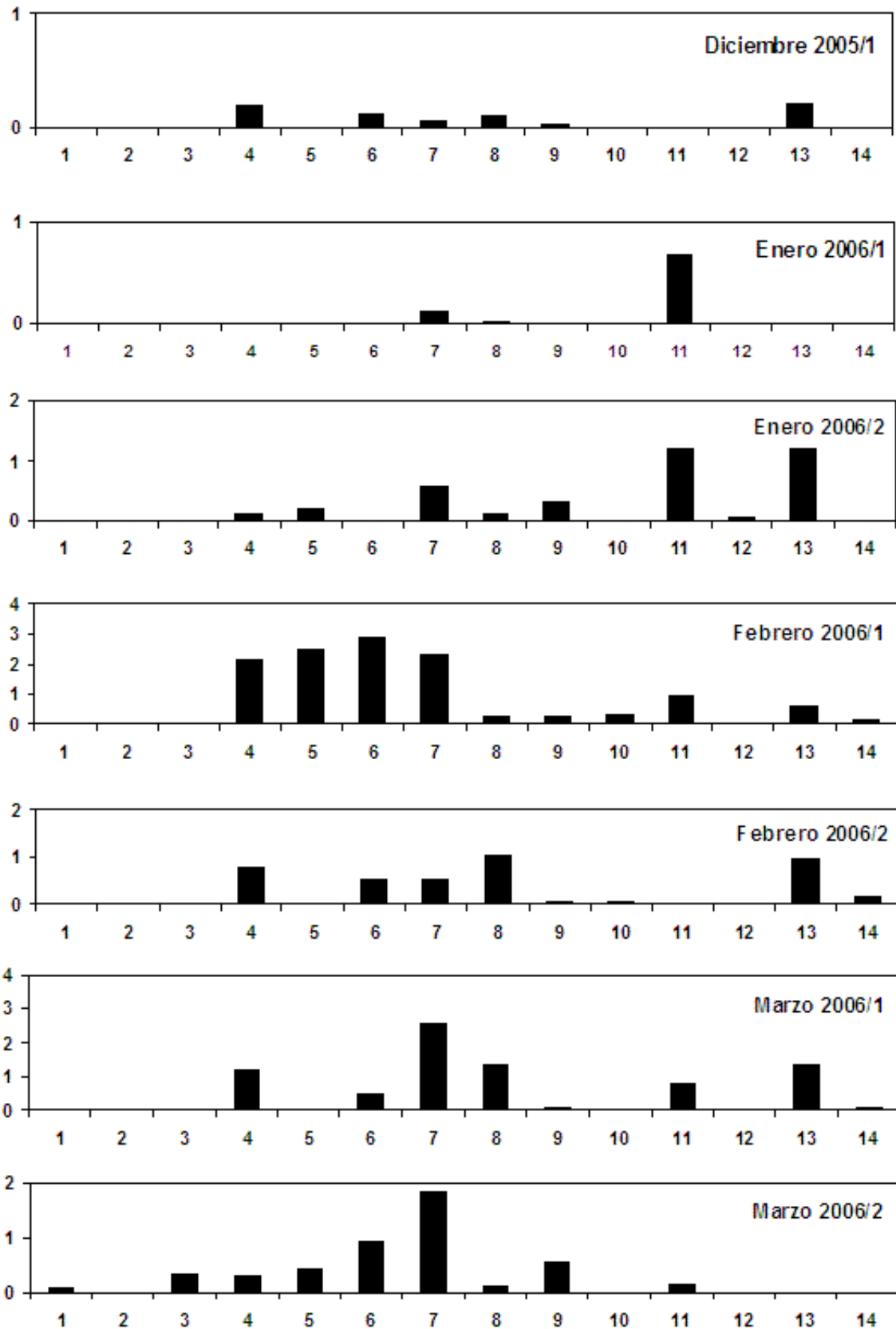


Figura 10. Evolución de la densidad de *Podiceps nigricollis* (Individuos/Ha) por sectores a lo largo de la temporada de censos.

Esta es la situación que cabe esperar de las buenas condiciones para el alevinaje durante los primeros meses de la invernada, coincidiendo con las mayores descargas de nutrientes (Pérez-Ruzafa *et al.*, 2004). Considerando que la máxima densidad de larvas se da a final de verano y principios de otoño (Pérez-Ruzafa *et al.*, 2004) y que el crecimiento de los alevines es rápido durante los primeros meses de vida (ver, por ejemplo, Andreu-Soler *et al.*, 2003), a partir de febrero la oferta trófica puede ser óptima en los sectores preferidos de la ribera interna.

3.3.4. CORMORÁN GRANDE (*PHALACROCORAX CARBO*)

Es la especie que presenta la distribución más dispersa, no observándose prácticamente ningún patrón fijo. No obstante hay que destacar que, a excepción de algunos grupos pequeños o individuos aislados, la especie ha sido observada en la laguna en grandes grupos (de más de 100 individuos, llegando a superar los 300). Durante los meses de diciembre y principios de Enero, un grupo de tamaño medio estaba localizado en el sector 11, asociados posiblemente a la presencia de las Islas Redonda y Sujeto, que sirven de refugio, área de reposo y acicalamiento. No obstante, no se puede hablar de una distribución restringida a esas zonas durante esos meses, puesto que la enorme capacidad de dispersión de la especie y su flexibilidad alimentaria (Gremillet *et al.*, 1998) pueden producir cambios diarios (no detectables con nuestra frecuencia de censos). Además hay que tener en cuenta que es una especie que aprovecha la laguna, pero no depende estrictamente de ella (puede alimentarse en mar abierto, grandes balsas de riego y otras zonas), a diferencia de otros piscívoros estudiados.

Las mayores densidades observadas se dan en los meses de Febrero y Marzo, al igual que sucede con los podicipédidos, destacando un gran grupo en el sector 6 en el censo de principios de Marzo, donde los podicipédidos son muy abundantes también. Este hecho apoya la teoría de las óptimas condiciones de alimentación para los piscívoros en esa zona durante la segunda mitad de la temporada invernal.

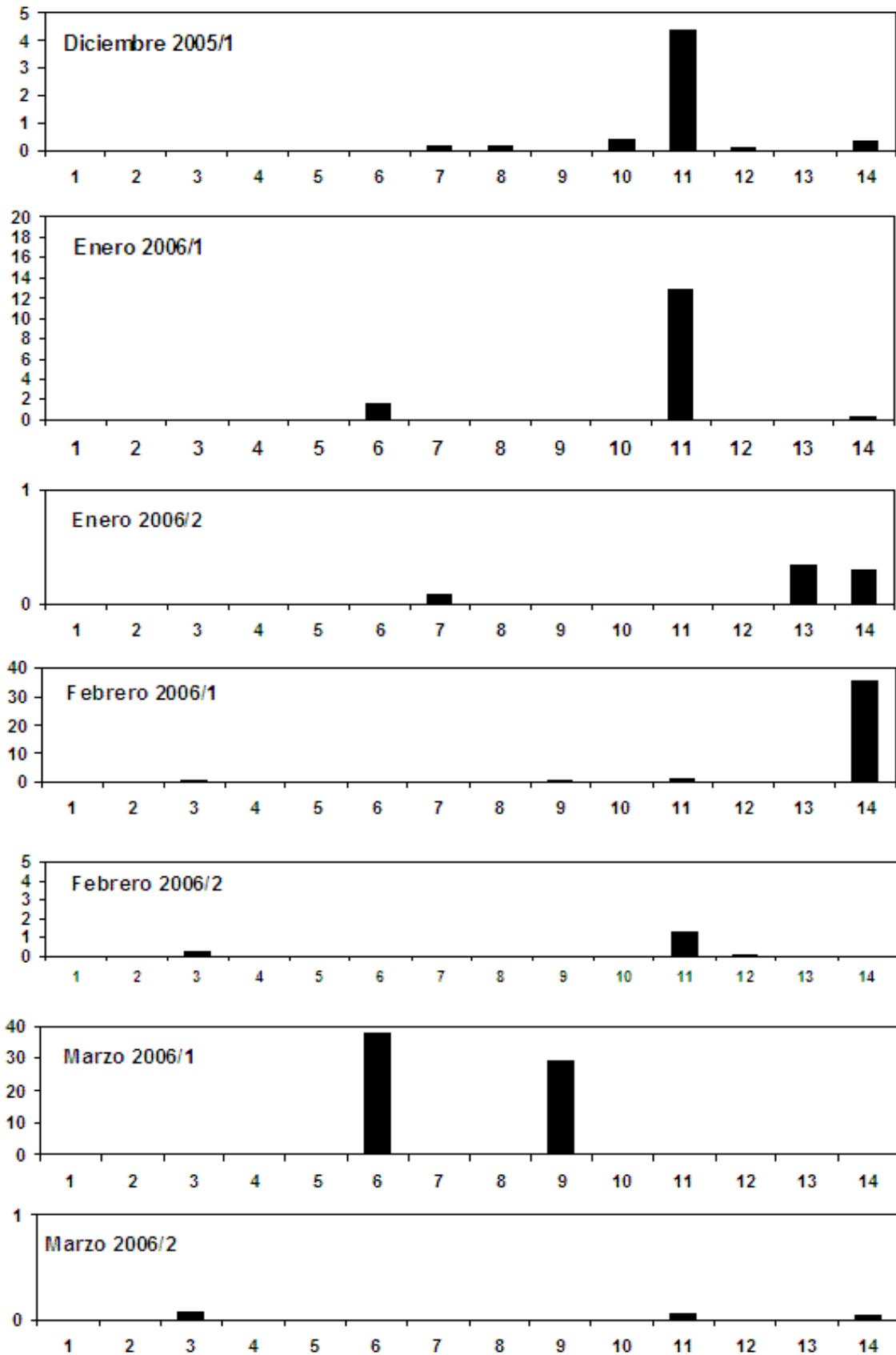


Figura 11. Evolución de la densidad de *Phalacrocorax carbo* (Individuos/Ha) por sectores a lo largo de la temporada de censos.

3.4. RELACIONES CON LAS VARIABLES AMBIENTALES

Tras exponer y discutir en el apartado anterior (3.3) las características generales de la distribución de las cuatro especies principales en la laguna, y después de plantear hipótesis y posibles respuestas a variables ambientales, que expliquen parte de esa distribución y abundancia, se ha explorado la relación de la densidad de cada especie con las variables seleccionadas, mediante análisis de regresión lineal simple (univariante).

Se presentan y discuten a continuación todas las relaciones individuales de cada una de las cuatro principales especies (Somormujo Lavanco, Zampullín Cuellinegro, Focha Común y Cormorán Grande) con las variables ambientales que proporcionan modelos estadísticamente significativos ($p < 0,05$), descartando las restantes.

Hay que indicar estos resultados establecen únicamente cuáles son las variables que están influyendo sobre la distribución y abundancia de las especies, y en cierta medida, el grado o sentido en que lo hacen, pero a la vista de la baja proporción de variación en la variable dependiente que explican (bajos valores de R^2 ajustada; NUR *et al.*, 1999), resulta evidente que no se puede describir la variabilidad en la distribución y abundancia de las especies sólo a partir de estas variables. Ello no quiere decir que los modelos y tipo de respuesta propuestos, como hipótesis a probar, no sean correctas; pero es posible que algunas variables utilizadas no describan adecuadamente los factores ambientales que se han considerado influyentes.

3.4.1. SOMORMUJO LAVANCO (*PODICEPS CRISTATUS*)

Podemos relacionar los patrones generales de distribución y abundancia observados, expuestos anteriormente (apartado 3.3), con las interpretaciones derivadas de los modelos de regresión estadísticamente significativos (Tabla 7).

El patrón general se puede resumir, para esta especie, como una preferencia por la ribera interna en su parte oeste y sur (principalmente el tramo de ribera que abarca desde el sector de Los Narejos a Islas Menores), distribuyéndose en grandes densidades en las dos bandas más alejadas de la orilla (B3 y B4), caracterizando así un área de

distribución principal comprendida entre esos sectores y las islas del Barón y Perdiguera y mostrando densidades máximas en los sectores al sur de las islas.

La concentración de la especie en esa parte de la ribera interna, junto a los resultados significativos obtenidos para las variables relativas al tipo de hábitat general (HABG), al porcentaje de uso natural en la franja inmediata a la orilla (INAT), y al porcentaje de uso natural en el entorno próximo (ENAT), indican que la preferencia de los somormujos por las aguas más profundas de esta parte suroeste de la ribera interna (reflejada en el modelo de la variable BAND, en el que aparecen seleccionadas las bandas más alejadas) se asocia, en parte, a la ausencia de usos urbanos en el entorno. O, por lo menos, a la ausencia de un uso urbano tan masificado como el de la Manga o el norte de la ribera interna.

Esto sugeriría, a primera vista, una relativa independencia de los aportes de nutrientes (potencialmente causantes de eutrofia) que provienen de los vertidos urbanos, como los fosfatos. Puede apuntarse incluso una respuesta negativa frente a la contaminación orgánica de este origen, como indica el modelo de regresión con respecto al porcentaje de superficies artificiales (urbanas) en la subcuenca (SART), si bien la respuesta negativa a las orillas urbanizadas está influida poderosamente por la ausencia de esta especie en los sectores de muestreo de La Manga, cuyas vertientes están urbanizadas en mayor proporción.

Por otra parte, la preferencia por orillas no urbanizadas podría obedecer a otros factores. No parece en cualquier caso que se deba a las molestias que pueda recibir la especie por parte del hombre en los tramos urbanos, ya que ésta puede habituarse a la presencia del hombre (Pfluger e Ingold, 1988; Keller, 1989) y al igual que otras especies incluso podría seleccionar zonas ribereñas transformadas para satisfacer determinados requerimientos (Traut y Hostetler, 2003; 2004). Además, su distribución en las bandas más internas de la laguna le pone relativamente a salvo de molestias (al menos de las basadas en tierra).

Esta relación positiva con las variables INAT y ENAT no implica necesariamente una independencia de la eutrofización de origen agrícola, puesto que en esas dos variables se incluyen las superficies del entorno próximo con cultivos de secano, que si

bien no producen un aporte de nutrientes tan alto como los regadíos, son una fuente de fertilización que hay que tener en cuenta. No obstante, como muestran los modelos con respecto a las variables de superficie de esos usos (SSEC y SREG) en la subcuenca hidrográfica, la superficie cultivada a través del sistema de drenaje y escorrentías, puede influir de forma positiva (aunque con menor significación y bajos porcentajes de explicación) sobre la densidad de somormujos. La relación positiva y altamente significativa con la superficie de terreno forestal (SBOS) es más difícil de explicar, y podría ser un efecto casual de la coincidencia de algunas de las subcuencas más forestadas (sectores S6 a S8) con altas densidades de *Podiceps cristatus*.

Además, el análisis de la variable relativa a las descargas subterráneas (DESC) establece, con el valor de R^2 ajustado más alto de entre todas las variables (0,8), una relación positiva entre las descargas subterráneas asociadas a humedales (S3), así como la ausencia de descargas subterráneas, y la densidad de individuos. La descarga tipo S3 se presenta en los tramos de máxima abundancia (Marina del Carmolí, Saladar de Lo Poyo), y la ausencia (S0) caracteriza a los sectores 7 y 8, también de densidades destacables. A esto se le une el resultado del análisis de la variable tipo de cauce superficial (CAUC), que determina que el somormujo presenta significativamente mayores valores de densidad en presencia de cauces intermitentes (numerosos en esos tramos), y tiende a disminuir su densidad en presencia de cauces permanentes y en ausencia de cauces.

Una explicación al patrón general de distribución sería que el somormujo se beneficia de los recursos tróficos producidos por la eutrofización -ya que se encuentra en zonas con influencia de este proceso-, pero presentando un óptimo de densidad a unos niveles de eutrofia moderados, en zonas medianamente profundas y batidas. Se puede resumir que, la distribución y la densidad de somormujos resulta mejor explicada por los procesos generales de fertilización de las aguas asociados a las descargas subterráneas y superficiales de nutrientes, y a su movilización interna en la laguna, que por la distribución de las fuentes potenciales de nutrientes en el área de influencia (cuenca hidrográfica), o por el efecto directo de las principales descargas puntuales (cauces permanentes). Así, tomando los resultados del análisis de la variable relativa al hidrodinamismo (HIDM) se ve que ésta puede influir, a través de las corrientes N-S, en

el transporte y concentración de los nutrientes que incrementan la productividad en la masa de agua situada entre la ribera suroeste y las islas.

Así, se puede explicar de forma conjunta la presencia de somormujos en esa gran “zona” comprendida entre la ribera suroeste y las islas del Barón y Perdiguera, caracterizada globalmente por su relativa cercanía a la Rambla del Albuñón (DALB) y el alejamiento del canal del Estacio (DGOL), por la ausencia de grandes superficies urbanas en el entorno de esa parte de la ribera, y por la existencia de una zona confinada Pérez-Ruzafa y Marcos (1992, 1993) moderadamente eutrófica, de productividad adecuada (Pérez Ruzafa *et al.* 2003), alimentada por la circulación interna del Mar Menor y, de forma adicional e intermitente, por las numerosas ramblas que drenan esos sectores y por los aportes subterráneos a través de los humedales.

VARIABLE	RESP. ESPERADA	RESP.OBSERVADA	R ²	F	P	SIGNIFICACIÓN MODELO
DIA	D aumenta con la fecha	D aumenta con la fecha *	0.009899	4.909	0.02729	*
BAND		Aumenta B4(***)>B3(***)>B2	0.03707	6.017	0.00515	**
HABG	D aumenta con la secuencia NAT>SEM>URB	D aumenta en NAT(***)> disminuye en SEM, URB (***)	0.05066	11.43	1,50E-05	***
SUBS	D aumenta con la S	D aumenta con la S (***)	0.02741	12.02	0.000585	***
CAUC	D aumenta en presencia de cauces	D aumenta en presencia de Ci (***) , disminuye con los permanentes y con la ausencia (***)	0.0464	10.51	3,58E-05	***
DESC	D aumenta con la secuencia DS<S1<S2<S3<S4	D aumenta con los tipos de descarga subterránea S3(***) >S0 (***) , disminuye con los demás	0.08639	10.24	6,82E-08	***
HIDM	D aumenta con la secuencia NS>SN>EW	D aumenta con NS (***) y EW	0.06803	15.27	4,12E-07	***
SINB	D es menor en presencia de <i>Cymodocea</i>	D aumenta en ausencia de <i>Cymodocea</i> (***) , disminuye en presencia (*)	0.01212	5.798	0.01651	*
INAT	D aumenta con la superficie de usos naturales	D aumenta con la superficie de usos naturales (***)	0.05452	23.54	1,77E-06	***
EAGU	D aumenta al aumentar EAGU	D disminuye al aumentar EAGU (***)	0.03966	17.15	4,25E-05	***
ENAT	D disminuye al aumentar ENAT	D aumenta al aumentar ENAT (***)	0.0733	31.93	3,09E-08	***
EAGR	D aumenta al aumentar EAGR	D aumenta al aumentar EAGR (***)	0.02938	12.84	0.000383	***

SAGU		D aumenta con SAGU (*)	0.01199	5.746	0.01700	*
SBOS	Densidad disminuye al aumentar SBOS	D aumenta al aumentar SBOS (***)	0.03645	15.79	8,42E-05	***
SSEC	Densidad disminuye al aumentar SSEC	D aumenta al aumentar SSEC (*)	0.01328	6.263	0.01274	*
SART	D aumenta con SART	D disminuye con SART (***)	0.0443	19.12	1,57E-05	***
SREG	D aumenta con SREG	D aumenta con SREG (*)	0.009537	4.765	0.02964	*
DGOL	D aumenta con la distancia	D aumenta con la distancia (***)	0.04893	21.12	5,84E-06	***
DALB	D disminuye con la distancia	D disminuye con la distancia (***)	0.0394	17.04	4,49E-05	***

Tabla 7. Resultados de los modelos de regresión lineal simple de la densidad de Somormujo Lavanco (*Podiceps cristatus*) con respecto a las variables ambientales estudiadas. Se compara la respuesta hipotetizada “a priori” con la observada, indicando la significación de los coeficientes en el caso de variables categóricas o binarias. Se incluyen sólo los modelos estadísticamente significativos, con valores de $p < 0,001$ (***), $p < 0,01$ (**) y $p < 0,05$ (*).

3.4.2. FOCHA COMÚN (*FULICA ATRA*)

El análisis de la distribución y abundancia de la *Fulica atra* se presenta, en principio, más claro y determinante que el del somormujo. De hecho, en el análisis preliminar, tras repasar los resultados de las observaciones *in situ*, se pueden establecer predicciones con cierto grado de confianza acerca de qué variables van a presentar relaciones significativas con la densidad de individuos y su distribución. Tal como se desarrolló en el apartado correspondiente, este patrón general se puede describir como una distribución muy localizada y acotada, que va desde el sector 2 al 5, sin ocupar nunca zonas profundas o más allá de los 100 primeros metros de agua (primera banda casi exclusivamente). En cuanto a las densidades, las máximas se han observado entre diciembre y enero (con máximo de la temporada en el primer censo de enero), y se aprecia un pequeño aumento en el primer censo de febrero.

En primer lugar, tal como se esperaba, el resultado del análisis de la variable BAND confirma (con uno de los R^2 ajustados más altos, mayor de 0,1) la firme dependencia de la especie de la orilla y las aguas someras. Este hecho podría suponer una mayor vulnerabilidad frente a las perturbaciones y al estrés ocasionado por el hombre, no obstante, de los cuatro sectores donde está presente, el 3 (Los Narejos) es completamente urbano y en el 5 (Los Urrutias), de carácter semiurbano, se encuadra un

puerto deportivo, por tanto no parece, a priori, que la naturaleza del hábitat y la presencia cercana del hombre, supongan un factor limitante de importancia para la especie. Tampoco la bibliografía confiere a este factor una gran trascendencia, siendo una especie particularmente adaptable a la presencia humana (Irwin & O'Halloran, 1997).

El aspecto más importante de la dinámica poblacional de la focha en la laguna es su respuesta clara frente al proceso de eutrofización. El resto de variables que han generado un modelo significativo, están muy interrelacionadas entre sí, y con el proceso de contaminación orgánica y eutrofización de las aguas. Puesto que el principal cauce colector de esta contaminación (principalmente de origen agrícola) es la Rambla del Albuñón, y el punto más eutrófico de la laguna es su desembocadura, es relevante señalar que el resultado del análisis para la distancia a ésta (DALB) confirma la asociación de la especie con esta zona, y por tanto su posición de aprovechamiento de su estatus trófico. De hecho, hay estudios (Velasco *et al.* 2005) en el área durante los años 2002/03 que establecen los máximos caudales entrantes en otoño-invierno y las máximas concentraciones de nitratos y fosfatos se dan también en esas fechas, y si bien, son datos correspondientes a otra temporada de estudio, el patrón general de distribución y abundancia temporal de la focha en una temporada invernal “estándar” muestra las mayores densidades a principios del invierno, coincidente con las mayores concentraciones de nutrientes entrantes. Este patrón se confirma, en nuestra temporada de estudio y según los datos recogidos por Velasco y Ruiz (2006) para los nitratos (y también para los nitritos), no así para los fosfatos, lo que indica una menor influencia, durante nuestro estudio, de los aportes de origen urbano. Más difícil de explicar resulta que el elevado caudal registrado para el mes de febrero de 2006, no vaya acompañado de altas concentraciones de nutrientes, aunque el origen de las aguas colectadas puede ser bastante variable.

La variable principal que va a explicar esas densidades, e incluso, de la que van a depender, en parte, otras de las analizadas, es la relativa a la superficie de la subcuenca de drenaje (SUBS), cuyo modelo posee el valor más alto de R^2 ajustado (0,15), que determina una relación positiva entre densidad de individuos y área de la subcuenca. Dentro de la misma, los resultados muestran que la superficie ocupada por cultivos de secano (SSEC) presenta una relación positiva con la densidad de individuos, y con un

menor nivel de significación, también la superficie ocupada por cultivos de regadío (SREG). Esta relación entre las actividades agrícolas en la subcuenca (que va a relacionar esos usos con variables de descarga, tales como DESC y CAUC, determinando un conjunto de variables que describen un tipo de aportes hídricos, su régimen, origen, etc.) con la densidad de la especie, se refleja también en el análisis de otra variable, la del uso agrícola del suelo en el entorno próximo (EAGR), que describe la superficie de regadío, pero sin atender a la superficie de drenaje disponible (superficie de la subcuenca). Por tanto, podemos decir que para una alta densidad de individuos es importante, por un lado, una gran superficie de subcuenca de drenaje, pero también el uso agrícola que se dé en esa área (con los consiguientes aportes generados).

De este modo, se puede asumir que la fracción de la descarga correspondiente a contaminantes orgánicos de origen urbano, tiene poca importancia para la especie. No obstante, no se puede descartar completamente, ya que el análisis de la variable que más refleja esa posible influencia (SART), ha proporcionado un modelo ligeramente significativo (aunque a un nivel más bajo, con un R^2 ajustado de 0,03). De todas formas, la ausencia de datos más detallados a este respecto (medidas de efluentes de origen urbano) impide una aproximación mayor. Precizando este conjunto de respuestas, podemos decir que una alta capacidad de drenaje en la subcuenca es el factor clave, y ello va a determinar una influencia proporcionalmente alta de las actividades agrícolas, y en mucha menor proporción, una influencia por parte de los vertidos de origen urbano.

El análisis de dos de las restantes variables va a dar una visión más detallada del tipo de descarga general, teniendo como base las relaciones anteriores. Estas variables son el tipo de cauces presentes (CAUC) y el tipo de descarga subterránea (DESC). Para la primera, se observa, y se confirma según la respuesta esperada, que ambos tipos de cauces (permanentes e intermitentes) influyen positivamente en la densidad de la especie, siendo los de régimen permanente los que presentan una relación más fuerte. No obstante, en el modelo influye inevitablemente la enorme abundancia de la especie en el sector de la desembocadura de la Rambla del Albuñón, cauce con este tipo de régimen de descarga. Para el tipo de descarga subterránea, queda reflejada la relación positiva entre la densidad de individuos y las descargas asociadas a humedales y a regímenes naturales. Con ello queda patente, a nivel global, la respuesta de la especie frente a los procesos de escorrentía superficial y subterránea encuadrados en una

subcuenca de gran superficie con una alta capacidad de drenaje, con una actividad mayoritariamente agrícola potencialmente contaminante.

VARIABLE	RESP. ESPERADA	RESP.OBSERVADA	R ²	F	P	SIGNIFICACIÓN MODELO
BAND	D disminuye con la distancia	D disminuye desde B2 a B4 (Todos ***)	0.1424	22.65	1,57E-13	***
SUBS	D aumenta con la S	D aumenta con la S (***)	0.1557	73.13	2,80E-16	***
SUBA	D aumenta con una mayor aportación	D aumenta con una mayor aportación (***)	0.0469	20.24	9,04E-06	***
CAUC	D aumenta en presencia de cauces	D aumenta en presencia de cauces permanentes (***) e intermitentes	0.07357	16.53	1,29E-07	***
DESC	D aumenta con la secuencia DS<S1<S2<S3<S4	Aumenta con S3 (***)>S4(**)>S1 y S2, disminuye con S0	0.08693	10.31	6,11E-08	***
BATI		D disminuye con la profundidad (*)	0.01389	6.509	0.01112	**
CVEE	D aumenta con la presencia de helófitos	D aumenta con la presencia de helófitos (***)	0.03098	13.5	0.0002719	***
INAT	D aumenta con la superficie de usos naturales	D aumenta con la superficie de usos naturales (*)	0.01087	5.298	0.02188	*
EAGU	D aumenta al aumentar EAGU	D disminuye al aumentar EAGU (**)	0.01722	7.85	0.005334	**
EAGR	D aumenta al aumentar EAGR	D aumenta al aumentar EAGR (***)	0.06024	26.06	5,18E-07	***
SSEC	Densidad disminuye al aumentar SSEC	D aumenta al aumentar SSEC (***)	0.1442	66.9	4,08E-15	***
SART	D aumenta con SART	D disminuye con SART (***)	0.03324	14.44	0.0001676	***
SREG	D aumenta con SREG	D aumenta con SREG (**)	0.01608	7.391	0.00685	**
DALB	D disminuye con la distancia	D disminuye con la distancia (***)	0.1415	65.45	7,63E-15	***

Tabla 8. Resultados de los modelos de regresión lineal simple de la densidad de Focha Común (*Fulica atra*) con respecto a las variables ambientales estudiadas. Se compara la respuesta hipotetizada “*a priori*” con la observada, indicando la significación de los coeficientes en el caso de variables categóricas o binarias. Se incluyen sólo los modelos estadísticamente significativos, con valores de $p < 0,001$ (***), $p < 0,01$ (**) y $p < 0,05$ (*).

3.4.3. ZAMPULLÍN CUELLINEGRO (*PODICEPS NIGRICOLLIS*)

El Zampullín Cuellinegro es una especie que en la laguna, presenta un patrón general de distribución y densidad algo menos estricto que el otro podicipédido estudiado (Somormujo Lavanco). El mayor oportunismo de la especie, su carácter generalista, y su capacidad de adaptación en ambientes inestables y/o salinos (Jehl, 1988; Kloskowski, 2003) o como respuesta a las interacciones con otros podicipédidos, que le conducen a una dinámica poblacional más cercana a los estrategas de la R (Koop, 2003), puede ser la causa de los valores de R^2 ajustado tan bajos que han proporcionado sus modelos (todos inferiores a 0,04, o lo que es lo mismo, un porcentaje de variación en la densidad de la especie explicado por el modelo, inferior a un 4%). Ese oportunismo se reflejaría en unas relaciones de dependencia débiles frente a aquellas variables que se preveían potencialmente predictoras, especialmente las relacionadas con el proceso de eutrofización.

El patrón general de distribución descrito para esta temporada consiste en una distribución por sectores parecida al somormujo, con la presencia durante toda la temporada en esa zona de mayor productividad entre los sectores sur y las islas, y con un aprovechamiento mayor de algunos sectores de la Manga. Las máximas densidades se dan en los meses de febrero y marzo en la masa de agua profunda de la cubeta sur, resaltando que los máximos de densidad de zampullines en esa área se dan en el primer censo de febrero; la densidad de somormujos es ligeramente inferior en ese momento, aunque está presente de forma notable también; entonces ambas especies aprovechan esa zona; dos semanas después, el somormujo parece desplazar al zampullín, efecto que se maximiza en el sector 6. Es posible que a partir de ese punto de inflexión, el zampullín se repliegue a otros sectores (nótese la presencia en sectores más distanciados a partir de ese momento, tales como el 8, el 13, o los individuos que comienzan a verse por la cubeta norte). Al final de ese periodo más productivo (febrero-marzo), la distribución de ambas especies se reestructura de nuevo y vuelven a agregarse más y a coexistir en la misma zona.

En primer lugar señalar la respuesta positiva frente a la variable DIA, ya que tal y como se esperaba (en función de los censos) se observa que la densidad aumenta con la fecha, alcanzando mayores densidades en los últimos censos. En cuanto a su distribución dentro de la masa de agua, los análisis de las variables relativas a la banda

(BAND) y a la batimetría (BATI), muestran una preferencia por las aguas alejadas de la orilla (bandas 3 y 4) y con cierta profundidad.

El resultado del modelo que incluye la variable “superficie ocupada por usos naturales” (INAT), muestra una respuesta positiva (con el R^2 ajustado más alto) de la densidad de individuos frente a esos usos del terreno, que se complementa bastante bien con la respuesta negativa (aunque con un nivel de significación menor) frente a las superficies urbanizadas en el entorno próximo de 1 km (EURB). No obstante, teniendo en cuenta la distribución comentada en las bandas más alejadas y de agua más profunda, podemos suponer que ese alejamiento de la orilla pone a la especie a salvo el estrés y la presión humana que encontraría en sectores urbanos y semiurbanos en los que está presente, tales como la playa del Estacio (S13), tramo norte de la Isla del Ciervo (S11) o los Urrutias (S5). Cabe resaltar aquí el resultado del análisis de la variable que mide la distancia al canal del Estacio, que supone un modelo significativo ($p = 0,03$) con una relación negativa, pero con un R^2 ajustado sensiblemente inferior (0,008) al del somormujo (0,04). Esto, junto a su presencia en sectores de la Manga cercanos al canal puede indicar una menor sensibilidad que su congénere a la “mediterrización” (debido a un carácter trófico más generalista), que le permite mantenerse en zonas de alimentación con menos densidad de presas por especie, pero mayor riqueza de especies (entrantes por el cercano canal), tales como sector 11 y 13, cuando el somormujo capitaliza la zona productiva situada más al sur.

La respuesta específica del Zampullin frente al proceso de eutrofización también es susceptible de análisis. Como se ha visto, es una especie que ha mostrado, a lo largo de los años, una respuesta positiva frente a este proceso (Hernández y Robledano, 1997; Martínez *et al.* 2005). De los modelos obtenidos, se puede resaltar su respuesta frente a tres variables que se relacionan con el estado trófico de la laguna. Por un lado responde de forma positiva y significativa al porcentaje de usos agrícolas de regadío en el entorno próximo (EAGR), lo que denota una relación con la dinámica de esos nutrientes cuando lleguen a la laguna. Su respuesta frente a las descargas subterráneas (DESC) y los cauces superficiales (CAUC) matiza un poco esas relaciones. En cuanto a la primera, se aprecia cómo la densidad se relaciona positivamente con la presencia de descargas subterráneas provenientes de humedales, y con mayor significación, con la ausencia de cualquier tipo de descarga. Con respecto a los cauces superficiales, su modelo, menos

significativo que el de DESC, muestra una relación positiva con los cauces intermitentes, y una negativa con los permanentes y con la ausencia. Estos resultados podrían ser debidos a la ausencia de descargas subterráneas en varios sectores en los que está presente (la Manga, Lengua de la Vaca, Islas Menores), y a la existencia de numerosos cauces superficiales de régimen intermitente en los sectores 5, 6 y 7 (desde los Urrutias a los Nietos), donde también está presente de forma notable. A este respecto su relación con los regimenes de descarga intermitentes sigue el mismo patrón que el somormujo. No obstante, mientras el somormujo muestra una dependencia más estrecha y localizada, a corto plazo, de zonas moderadamente eutróficas condicionadas por las descargas y la circulación interna de la laguna, el zampullín, probablemente gracias a su flexibilidad y mayor capacidad de dispersión y adaptación, no muestra una respuesta tan clara frente a esos regímenes. Y aunque responde al proceso general de eutrofización, esto explicaría una asociación menos estrecha, comparado con el somormujo, con esa zona de máxima productividad en la cubeta sur. A este respecto, tal como predice la teoría ecológica y se ha observado en otros podicipedidos (Clowater, 1993), ante aumentos de la competencia interespecífica (en este caso con el somormujo), el zampullín podría dispersarse y formar grupos para alimentarse en áreas satélite donde se reduce la intensidad de la competencia. Estos aspectos reducen el valor indicador de la especie, pero abren interesantes interrogantes en cuanto a las relaciones interespecíficas dentro de la laguna y su posible efecto en la distribución de las aves piscívoras.

VARIABLE	RESP. ESPERADA	RESP.OBSERVADA	R ²	F	P	SIGNIFICACIÓN MODELO
DIA	D aumenta con la fecha	D aumenta con la fecha(**)	0.02292	10.17	0.00154	**
BAND		D aumenta con la distancia, B4 (**)>B3(*)	0.02556	4.418	0.00452	*
HABG	D aumenta con la secuencia NAT>SEM>URB	D aumenta en NAT (***), disminuye en SEM y URB(**)	0.01313	3.601	0.02821	*
CAUC	D aumenta en presencia de cauces	D aumenta en presencia de Ci (***), disminuye con los permanentes y con la ausencia(**)	0.0173	4.442	0.01238	*
DESC	D aumenta con la secuencia DS<S1<S2<S3<S4	D aumenta con S0(***) y S3, disminuye con los demás	0.03108	4.136	0.00271	**

BATI	D es mayor en zonas someras	D aumenta con la profundidad (*)	0.0189	8.531	0.00369	**
INAT	D aumenta con la superficie de usos naturales	D aumenta con la superficie de usos naturales (***)	0.03323	14.44	0.00016	***
EURB	D disminuye al aumentar EURB	D disminuye al aumentar EURB(**)	0.02438	10.77	0.00112	**
ENAT	D disminuye al aumentar ENAT	D aumenta al aumentar ENAT(*)	0.01179	5.667	0.01777	*
EAGR	D aumenta al aumentar EAGR	D aumenta al aumentar EAGR (***)	0.02514	11.08	0.00095	***
SBOS	Densidad disminuye al aumentar SBOS	D aumenta al aumentar SBOS(**)	0.02174	9.691	0.00198	**
DGOL	D aumenta con la distancia	D aumenta con la distancia	0.00897	4541	0.03372	*

Tabla 9. Resultados de los modelos de regresión lineal simple de la densidad de Zampullín Cuellinegro (*Podiceps nigricollis*) con respecto a las variables ambientales estudiadas. Se compara la respuesta hipotetizada “a priori” con la observada, indicando la significación de los coeficientes en el caso de variables categóricas o binarias. Se incluyen sólo los modelos estadísticamente significativos, con valores de $p < 0,001$ (***), $p < 0,01$ (**) y $p < 0,05$ (*).

3.4.4. CORMORÁN GRANDE

Con respecto al Cormorán Grande, como se vio en el análisis general de su distribución, no se pueden establecer patrones fijos. Es una especie que presenta un comportamiento totalmente gregario, con una capacidad de dispersión extremadamente amplia y un carácter totalmente oportunista. El análisis de su relación con las variables ambientales ha dado una serie de resultados bastante pobres, con bajísimos valores de R^2 ajustado, que no hacen sino confirmar el aprovechamiento generalista que está haciendo de la masa de agua. Su respuesta al proceso de eutrofización no se sustenta en ninguna relación ambiental destacable. Se trata de una especie completamente independiente de las variables indicadoras de entrada o circulación interna de los nutrientes, aunque está aprovechándose del proceso de eutrofización de fondo, pero siguiendo unas estrategias que no responden a los factores de presión que se analizan en este estudio. La respuesta frente a las variables de tipo de hábitat general (HABG) y superficie de usos naturales (INAT) es bastante obvia, predecible, y aún así, presentan valores insignificantes de R^2 ajustado y no arrojan ninguna luz sobre las causas de la distribución observada. Con respecto al resultado para la variable “superficies de

regadío en la subcuenca” (SREG), de momento es imposible dar ninguna explicación al respecto, aunque cabe señalar también la escasa significación del modelo.

VARIABLE	RESP. ESPERADA	RESP. OBSERVADA	R ²	F	P	SIGNIFICACIÓN MODELO
HABG	D aumenta con la secuencia NAT>SEM>URB	D aumenta en NAT y SEM y disminuye en URB	0.01117	3.209	0.04146	*
INAT	D aumenta con la superficie de usos naturales	D aumenta con la superficie de usos naturales	0.008625	4.402	0.03655	*
SREG	D aumenta con SREG	S disminuye con SREG	0.009212	4.635	0.03194	*

Tabla 10. Resultados de los modelos de regresión lineal simple de la densidad de Cormorán Grande (*Phalacrocorax carbo*) con respecto a las variables ambientales estudiadas. Se compara la respuesta hipotetizada “*a priori*” con la observada, indicando la significación de los coeficientes en el caso de variables categóricas o binarias. Se incluyen sólo los modelos estadísticamente significativos, con valores de $p < 0,001$ (***) , $p < 0,01$ (**) y $p < 0.05$ (*).

3.4.5. SÍNTESIS FINAL

Tras el análisis de las relaciones de estas cuatro especies con las variables ambientales, podemos describir el papel que está jugando cada una en la laguna y el grado y sentido de su respuesta frente a los factores de presión y procesos de degradación de la laguna analizados, destacando entre ellos el proceso de eutrofización. Cabe hacer la precisión que, hasta este punto, se ha procurado describir los patrones de distribución y abundancia y presentar interpretaciones e hipótesis plausibles, en relación con las variables ambientales consideradas. Las relaciones univariantes con dichas variables han intentado confirmar o rechazar la bondad de esas hipótesis, no obstante será necesario elaborar modelos más precisos que contemplen las posibles interrelaciones entre variables y los efectos aleatorios de fondo, descartando explicaciones redundantes y relaciones espúreas.

Considerando que los modelos de regresión se pueden usar bajo dos objetivos principales, predictivo o de comprobación de hipótesis (Nur *et al.*, 1999), los obtenidos en este trabajo tienen un bajo poder predictivo, pero permiten asociar la variación en la abundancia de aves con numerosas variables relacionadas con los procesos de cambio ambiental en el Mar Menor y su cuenca vertiente. De una forma similar Taft y Haig

(2006) han usado modelos de regresión lineal simple para detectar relaciones significativas entre la densidad de limícolas y variables ambientales como la superficie de hábitat disponible.

De forma general podemos ver que la respuesta de la avifauna está desarrollándose a escalas distintas, respondiendo a distintos niveles o intensidades de eutrofización. Además, esas respuestas tienen que ver también con la fracción de la cadena trófica que aprovecha cada uno. En la escala mayor se encuentra la Focha, que está mostrando una relación directa con los mayores procesos de descarga y los procesos más claros de contaminación agrícola en la mayor subcuenca de drenaje a la laguna, reflejada a través de su distribución limitada sólo a aquellas zonas de mayor intensidad de eutrofización. Además, sus hábitos alimentarios, principalmente fitófaga, le permiten aprovechar los cambios tróficos producidos por esa mayor disponibilidad de nutrientes prácticamente desde la base de la cadena trófica (Cramp, 1998; Irwin & O'Halloran, 1997). Este conjunto de aspectos le confieren un gran valor indicador frente a los procesos de contaminación de origen agrícola de las aguas, como prueba la disminución de sus poblaciones en las regiones europeas que han empezado a mitigar las consecuencias de este proceso (Van Eerden *et al.*, 2005).

A una escala intermedia encontramos a los podicipédidos, cuya respuesta positiva aparece en estados eutróficos algo más moderados. Muestran una relación más clara frente a los aportes intermitentes, y a la movilización de los nutrientes dentro de la laguna (a partir de las zonas más eutróficas, dominadas por la focha), destacando su dominio en esa gran zona de productividad intermedia entre las islas y la ribera suroeste. Dentro de los podicipédidos se deben establecer las diferencias, bastante interesantes, en la respuesta al proceso. El somormujo presenta una dependencia más firme y uniforme por ese área más productiva, y por los procesos puntuales de escorrentías superficiales y subterráneas. En los momentos de máximas densidades poblacionales, va a dominar la zona frente al zampullín. Este último, aprovechando su carácter generalista y su mayor amplitud ecológica, va a dispersarse por zonas más oligotróficas en la laguna. De hecho, el Zampullín Cuellinegro es capaz de utilizar a lo largo de la invernada los humedales hipersalinos asociados a la laguna, como las salinas de San Pedro del Pinatar (Robledano y Calvo, 1992), algo que el Somormujo apenas hace. No obstante, a niveles moderados de densidad poblacional, cuando la posible

competencia entre estas dos especies no sea un factor que condicione la distribución del Zampullín, se aprecia claramente como aprovecha preferentemente las zonas productivas en un estado eutrófico intermedio. Por tanto el somormujo, más dependiente de los procesos estudiados, parece un mejor indicador que el Zampullín de ese nivel de eutrofia, tanto si se contempla el proceso con una perspectiva espacial (presente estudio) como temporal (Martínez *et al.*, 2005).

Los resultados obtenidos sugieren que las altas densidades de aves observadas en determinados sectores de la laguna están indicando condiciones que van de un estado moderado a otro avanzado de eutrofia. Las zonas más eutróficas se asocian con los principales puntos donde confluyen vertidos urbanos con drenajes agrícolas directos y difusos, canalizados a través de cauces permanentes. Las zonas moderadamente eutróficas se localizan en áreas más interiores de la cubeta sur. Dado estas últimas representan zonas relativamente confinadas, rodeadas por sectores de la cuenca vertiente en las que se prevén importantes desarrollos urbanísticos (Lo Poyo, Novo Cartago, etc.), existe un riesgo de extensión de las condiciones más acusadamente eutróficas hacia ellas, con el consiguiente cambio en la biota lagunar y en la composición de las comunidades de aves acuáticas. A largo plazo, la generalización de condiciones más eutróficas en el Mar Menor provocará un empobrecimiento de la comunidad de aves.

La evolución a lo largo de las tres últimas décadas refuerza el modelo expuesto de aprovechamiento de los distintos niveles de eutrofia (Robledano *et al.* 2004 b, Martínez *et al.*, 2005 a). Se observa que en los comienzos de esa intensificación de la agricultura y de la contaminación originada, con los primeros pasos de la evolución del sistema de un estado oligotrófico a un estado eutrófico empiezan a aumentar los podicipédidos. Siguen esa tendencia creciente (a nivel general) y cuando, en la década de los 90, se comienzan a alcanzar estados alarmantes de eutrofia en determinadas zonas (como la desembocadura de la Rambla del Albuñón), aparece en ellas la focha, que aumenta su población en pocos años, paralelamente al aumento crítico de los caudales y de la contaminación agrícola, y a la generación de esas zonas de productividad extrema. En resumen, el complejo Podicipedidos+Focha, con los matices antes introducidos, aparece como un eficaz “doble sistema de alerta” frente al “insidioso” proceso de eutrofización

(Raffaelli, 1999), indicando con su presencia y cambios relativos de abundancia, fáciles de registrar, distintas etapas de alteración.

En el último puesto en la relación de bioindicadores potenciales, encontramos al Cormorán, el gran oportunista en la laguna. Su respuesta al proceso no está clara, ya que su dependencia menos estricta de la laguna y su enorme capacidad de dispersión, le hacen actuar siguiendo unas estrategias que no responden directamente a los fenómenos y factores de presión analizados. Por tanto, aunque probablemente está beneficiándose del proceso de eutrofización de fondo, no presenta un valor indicador nada relevante, al menos al nivel de seguimiento y estudio desarrollado en este trabajo. No obstante, sus poblaciones deberían ser objeto de seguimiento a efectos de anticipar posibles conflictos (por ejemplo, con pescadores o acuicultores).

4. CONCLUSIONES

Se ha estudiado, a lo largo de un periodo invernal, la composición, abundancia y distribución de la comunidad de aves acuáticas característica de la laguna del Mar Menor, con el objeto de evaluar su valor indicador con respecto a los factores antrópicos de presión y externalidades derivadas, expresadas por un conjunto de variables ambientales del humedal y su cuenca vertiente. Como principales conclusiones se han obtenido las siguientes:

1. La revisión de antecedentes sobre **composición y abundancia de la comunidad de aves en la laguna** revela la existencia de trabajos que comienza a evaluar la respuesta de las principales especies (Somormujo Lavanco *Podiceps cristatus*, Zampullín Cuellinegro *Podiceps nigricollis*, Serreta Mediana *Mergus serrator* y Cormorán Grande *Phalacrocorax carbo*) frente a la entrada de nutrientes a la laguna, poniéndose de manifiesto una respuesta numérica general positiva. Existen también análisis de composición y diversidad de la avifauna a lo largo del ciclo anual, que permiten establecer comparaciones con la temporada estudiada por este Proyecto; finalmente, se han realizado estudios comparativos entre tendencias locales y nacionales, que revelan respuestas específicas en algunas especies, relacionadas con la situación ambiental particular del Mar Menor.

2. Para la **temporada invernal estudiada**, se pone de manifiesto una composición de especies acorde con las tendencias recientes, confirmándose el aumento de la Focha Común (*Fulica atra*), y manteniéndose los del Cormorán Grande y de los podicipedidos, y la disminución aparente de la Serreta Mediana. La importancia que adquiere la Focha frente a los piscívoros, hasta entonces prácticamente el único grupo trófico de la laguna, es consecuente con el incremento de la eutrofización y la aparición de condiciones de alimentación favorables para dicha especie.

3. La **biocenosis**, concepto relativamente indefinido pero ampliamente extendido en la descripción de comunidades sumergidas, resulta de utilidad práctica para caracterizar el escenario general de las relaciones tróficas dentro de la laguna. La distribución de las biocenosis en el área de estudio es la siguiente: la de *arenas*

fangosas en modo calmo (AFMC) está presente en todos los sectores excepto La Puntica, tramo norte de la Isla del Ciervo y la Encañizada Vieja; la de *césped de Caulerpa* (CAU) aparece en todos y la de *algas fotófilas infralitorales en régimen calmo* (AFIC) está presente únicamente en el tramo norte de la Isla del Ciervo

4. La distribución de los tres grandes **gremios** de aves acuáticas en las biocenosis sigue este patrón: los fitófagos ocupan únicamente la biocenosis AMFC; los piscívoros de ribera ocupan AMFC y una fracción de CAU, preferentemente en aguas más profundas; los piscívoros lagunares ocupan AMFC, dominan en CAU y también aparecen en AFIC. Esta distribución se ha establecido sobre la base de información bibliográfica, identificando tentativamente las posibles relaciones tróficas.

5. Una vez revisados los antecedentes y caracterizadas de forma general las relaciones tróficas que implican a las aves, se detectan como **puntos débiles** en su seguimiento, los siguientes:

- Existe una ausencia casi generalizada de censos a lo largo de todo el ciclo anual, reduciéndose el seguimiento de aves acuáticas prácticamente a los censos invernales realizados frecuentemente sin apoyo de la administración
- Carencia de censos desagregados por sectores dentro de la laguna, que impide conocer la respuesta particular de las aves al cambio ambiental (cambios en los hábitats o en el funcionamiento interno del humedal) aunque las relaciones generales establecidas parecen claras
- Necesidad de apoyo y financiación para el desarrollo de un seguimiento regular y estandarizado a distintas escalas, tanto de la avifauna como de sus hábitats. Necesidad de implicación por parte de las administraciones públicas competentes.
- Se hace necesario impulsar y poner a punto metodologías de estudio de las relaciones tróficas en las que participan las aves, dentro de la laguna. Se propone el uso de técnicas no agresivas, incluyendo estudios

observacionales, análisis de excrementos, egagrópilas, y el uso de isótopos estables.

6. En relación con la **distribución y abundancia de las poblaciones de aves** dentro de la laguna, se destaca lo siguiente:

- El Somormujo Lavanco se distribuye principalmente en la ribera oeste y sur. Aprovecha la zona de productividad alta entre las islas y la ribera sur. Sus máximos de abundancia se dan en febrero.
- La Focha Común presenta una distribución localizada, presente en la ribera oeste en zonas de máxima eutrofización y descarga, con máximos de abundancia en diciembre-enero.
- El Zampullín Cuellinegro se distribuye en la ribera oeste y sur, de forma similar al Somormujo, aunque, debido a su mayor oportunismo, con una distribución menos estricta y confinada. No obstante, también aprovecha esa zona productiva. Sus máximos de abundancia también se registran en febrero.
- El Cormorán Grande presenta una distribución aleatoria, así como un comportamiento totalmente gregario y el carácter oportunista más notorio. Su máximo de abundancia ha sido observado en febrero y marzo.

7. Del análisis preliminar de las **relaciones entre la densidad de las principales especies y las variables ambientales**, se desprende que las aves acuáticas parecen responder a los factores de presión estudiados, con distintas estrategias espaciales y temporales, lo que les otorga un papel diferente como indicadores frente al proceso de eutrofización de la laguna.

- La Focha Común muestra una relación directa con los mayores procesos de descarga y los indicios más claros de contaminación agrícola en la principal subcuenca de drenaje a la laguna, reflejada por su distribución limitada sólo

a aquellas zonas de eutrofia más acusada. Muestra un gran valor indicador frente a las etapas más avanzadas del proceso de eutrofia.

- Los podicipédidos muestran una relación más clara frente a los aportes intermitentes, y a la movilización de los nutrientes dentro de la laguna a partir de las zonas más eutróficas, destacando su predominio en esa gran zona de productividad intermedia entre las islas y la ribera suroeste. Mientras que el Somormujo Lavanco presenta una dependencia más estricta y constante por ese área más productiva, el Zampullín Cuellinegro aprovecha su carácter generalista y su adaptabilidad para dispersarse temporalmente por zonas más oligotróficas. El somormujo, más dependiente de los procesos estudiados, parece mejor indicador de ese nivel de eutrofia moderada.
- El Cormorán Grande, generalista y oportunista por excelencia, aprovecha el proceso de eutrofización de fondo que afecta a toda la laguna y a otros sistemas hidrológicos. A este nivel de seguimiento, su valor indicador es inexistente, aunque sus poblaciones deberían ser objeto de seguimiento para anticipar posibles conflictos con el hombre.

8. En **síntesis**, los resultados obtenidos sugieren que las altas densidades de aves observadas en determinados sectores de la laguna están indicando condiciones que van de un estado moderado a otro avanzado de eutrofia. Dado que las primeras representan zonas relativamente confinadas, rodeadas por sectores de la cuenca vertiente en las que se prevén importantes desarrollos urbanísticos, existe un riesgo de extensión de las condiciones más acusadamente eutróficas hacia ellas, con el consiguiente cambio en la biota lagunar y en la composición de las comunidades de aves acuáticas.

9. El complejo Podicipedidos+Focha aparece como un eficaz “**doble sistema de alerta**” frente al “insidioso” proceso de eutrofización (sólo diferenciable en estados avanzados de la variabilidad natural del sistema) indicando con su presencia y cambios relativos de abundancia, fáciles de registrar, distintos niveles de degradación.

5. AGRADECIMIENTOS

En primer lugar me gustaría dar las gracias a Pepa Velasco, Ángel Pérez Ruzafa, Mar Ruiz, Cayetano Gutiérrez y toda la gente del departamento de Ecología e Hidrología que me ha prestado su ayuda a lo largo de este año, ya fuera aportando datos necesarios para este proyecto, o en forma de consejos y recomendaciones, que siempre son bienvenidos. Por supuesto, la ayuda indirecta e inestimable de organismos como ANSE, que de forma totalmente altruista, colaboran en mantener un espíritu investigador sobre las comunidades de aves en la región.

Por otro lado, agradecer a mi familia y amigos el apoyo y el ánimo que he recibido a lo largo de la carrera (que culmina con este proyecto), la vida “universitaria” que he llevado junto a ellos y los buenos e inolvidables momentos que me han hecho pasar.

6. BIBLIOGRAFÍA

- ADAMUS P.R. 1996. *Bioindicators for assessing ecological integrity of prairie wetlands*. EPA/600/R-96/082. Corvallis, OR. U.S. Environmental Protection Agency, Environmental Research Laboratory.
- AMEZAGA, J.M., SANTAMARÍA, L. & GREEN, A.J. 2002. Biotic wetland connectivity-supporting a new approach for wetland policy. *Acta Oecologica*, 23: 213-222.
- ANDREU SOLER, A., OLIVA PATERNA, F.J., FERNÁNDEZ DELGADO, C. & TORRALVA, M. 2003. Age and growth of the sand smelt, *Atherina boyeri* (Risso 1810), in the Mar Menor Coastal Lagoon (SE Iberian Peninsula). *Journal of Applied Ichthyology*, 19: 202-208.
- BALLESTER, R., VIDAL-ABARCA, M. R., ESTEVE, M. A., SUÁREZ, M. L. (Directores), FERNÁNDEZ, A., GÓMEZ, R., HURTADO, A. I., MARTÍN, E. y ROBLEDANO, F. (Investigadores). 2003. *Los humedales de la Región de Murcia. Humedales y ramblas de la Región de Murcia*. Región de Murcia, Consejería de Agricultura, Agua y Medio Ambiente. 140 Págs.
- BELANGUER, L. & COUTURE, R. 1988. Use of man-made ponds by dabbling duck broods. *Journal of Wildlife Management*, 52: 718-723.
- BLAIR, R. 2004. The Effects of Urban Sprawl on Birds at Multiple Levels of Biological Organization. *Ecology and Society*, 9(5): 2 (URL: <http://www.ecologyandsociety.org/vol9/iss5/art2/>)
- CALVÍN CALVO, J. C. 1999. *El litoral sumergido de la R. Murcia – Cartografía Bionómica y valores ambientales*. Consejería de Medio Ambiente, Agricultura y Agua.
- CALVÍN CALVO, J. C. 2000. *El ecosistema marino mediterráneo, guía de su flora y de su fauna*. 2ª Edición, Murcia.

- CLOWATER, J. S. 1993. *Distribution and foraging behaviour of wintering Western Grebes*. Doctoral Thesis. Simon Fraser University. 1998
- CRAMP, S. (Ed.). 1998. *The Complete Birds of the Western Palearctic*. Optimedia Software & Oxford University Press.
- DELGADO LARA, P. 2005. Aplicación de la técnica de análisis de isótopos estables en estudios de ecología de aves. En: *Nuevas técnicas metodológicas aplicadas al estudio de los sistemas ambientales: Los isótopos estables*. Editores: Alcorlo, P., Redondo, R., y Toledo, J. Universidad Autónoma de Madrid.
- ESTEVE, M.A., (Director), y ROBLEDANO, F. (Investigador). 2003. *Los humedales de la Región de Murcia. Recopilación de valores faunísticos asociados a los humedales de zonas áridas*. Región de Murcia, Consejería de Agricultura, Agua y Medio Ambiente. Murcia, 35pp+CD Rom.
- FULLER, R.J. 1982. *Bird Habitats in Britain*. T. & A.D. Poyser: Calton.
- GARCÍA SÁNCHEZ, A. y GARCÍA GARAY, L. 2003. *Los recursos naturales de la Región de Murcia. Un análisis interdisciplinar*. Capítulo 7. Epígrafe 3. Servicio de Publicaciones de la Universidad de Murcia. 1ª Edición. 2003
- GREEN, A. J. y FIGUEROLA, J. 2003. Dpto. Biología Aplicada. Estación Biológica de Doñana, Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Sevilla.
- GREMILLET, D., ARGENTIN, G., SCHULTE, B., CULIK, B.M. 1998. Flexible foraging techniques in breeding cormorants *Phalacrocorax carbo* and *Phalacrocorax aristotelis*: benthic or pelagic feeding?. *Ibis*, 140(1): 113-119.
- GUERGOLET, O. & PERTHUISOT, J.P. Le domaine paralique. Expressions géologiques, biologiques et économiques du confinement. *Travaux du laboratoire de géologie*, 16: 1-136.

- HARDY, A. R., STANLEY, P. I. & GREIG-SMITH, P. W. 1987. Birds as indicator of the intensity of use of agricultural pesticides in the UK. *ICBP Technical Production No. 6*
- HERNÁNDEZ, V. y ROBLEDANO, F. 1991. Censos invernales de aves acuáticas en la Región de Murcia, SE de España (1972-1990). *Anales de Biología (Biología Animal)*, 17(6): 71-83.
- HERNÁNDEZ, V. y F. ROBLEDANO. 1997. La comunidad de aves acuáticas del Mar Menor (Murcia, SE España): aproximación a su respuesta a las modificaciones ambientales en la laguna. En: *Actas XII Jornadas Ornitológicas Españolas*. Instituto de Estudios Almerienses. Diputación de Almería. pp: 109-121. ([http://www.dipalme.org/Servicios/Anexos/anexosiea.nsf/VAnexos/IEA-JOE-C11/\\$File/JOE-C11.pdf](http://www.dipalme.org/Servicios/Anexos/anexosiea.nsf/VAnexos/IEA-JOE-C11/$File/JOE-C11.pdf))
- HERNÁNDEZ, A. J., FERNÁNDEZ-CARO, A. e IBAÑEZ, J.M. 2006. *Censo Invernal 2005 de acuáticas de la Región de Murcia*. El Naturalista Digital (www.asociacionanse.org/naturalista-digital). Asociación de Naturalistas del Sureste, Murcia.
- HOYER M.V. & CANFIELD, D.E. 1994. Bird abundance and species richness on Florida lakes: influence of trophic status, lake morphology, and aquatic macrophytes. *Hidrobiología*, 297/280: 107-119.
- IRWIN, S. & O'HALLORAN, J. 1997. The wintering behaviour of coot *Fulica atra* l. At Cork Lough, South-west Ireland. *Biology and Environment: Proceedings of the Royal Irish Academy*, 97B (2): 157-162.
- JEHL JR., J.R. 1988. *Biology of the Eared Grebe and Wilson's Phalarope in the nonbreeding season: a study of adaptations to saline lakes*. Studies in Avian Biology No. 13 (Ed. F.A. Pitelka), Cooper Ornithological Society
- JONSSON, L. 1994. *Aves de Europa con el Norte de África y el Próximo Oriente*. Ediciones Omega. Primera reimpresión, 2001. Barcelona

- KELLER, V. 1989. Variations in the response of great crested grebes *Podiceps cristatus* to human disturbance: a sign of adaptation? *Biological Conservation*, 49: 31-45
- KLOSKOWSKI, J. 2003. The effect of fish on habitat selection by grebes. Zakład Ochrony Przyrody UMCS. University of Maria Curie-Skłodowska.
- KOOP, B. 2003. *Podiceps nigricollis* Black-necked Grebe. *BWP Update*. Vol 5, Number 3, December 2003, pp. 185-202(18). Oxford University Press.
- LILLO, M. 1988. Consideraciones sobre los afloramientos tirrenienses detectados entre Cabo Roig (Alicante) y la desembocadura del río Almanzora (Almería). *Papeles de Geografía*, 14: 51-82.
- LLORET, J., MARÍN, A., MARÍN-GUIRAO, L. Y VELASCO, J. 2005. Changes in macrophytes distribution in a hypersaline coastal lagoon associated with the development of intensively irrigated agriculture. *Ocean & Coastal Management* 48 (2005) 828-842
- MANCHEÑO JIMÉNEZ, M. A., ARANA CASTILLO, R. 2003. *Los recursos naturales de la Región de Murcia. Un análisis interdisciplinar*. Capítulo 7. Epígrafe 3. Servicio de Publicaciones de la Universidad de Murcia. 1ª Edición
- MARGALEF, 1998. *Ecología*. Ediciones Omega. Novena Reimpresión. Barcelona
- MARÍN GUIRAO, L., MARÍN, A., LLORET, J., MARTÍNEZ, E. & GARCÍA FERNÁNDEZ, A. 2005. Effects of mining wastes on a seagrass ecosystem: metal accumulation and bioavailability, seagrass dynamics and associated community structure. *Marine Environmental Research*, 60(3): 317-337.
- MARTÍ, R. Y DEL MORAL, J. C. (Eds.) 2003. *La invernada de aves acuáticas en España*. Dirección General de Conservación de la Naturaleza-SEO/BirdLife. Ed. Organismo Autónomo Parques Nacionales, Ministerio de Medio Ambiente, Madrid.

- MARTINEZ, J., PARDO, M. T., CARREÑO, F., ROBLEDANO, F. & ESTEVE, M. A. 2003. *The Mar Menor Site. Synthesis Report*. Unpublished report for EU Ditty Project (Contract EVK3-CT-2002-0084 DITTY).
- MARTINEZ, J., PARDO, M. T., CARREÑO, F., ROBLEDANO, F. & ESTEVE, M. A. 2005a. Aquatic birds as bioindicators of trophic changes and ecosystem deterioration in the Mar Menor lagoon (SE, Spain). *Hydrobiologia* 550:221-235
- MARTÍNEZ, J. F., ALONSO, F., CARREÑO, F., PARDO, M.T., MIÑANO, J. & ESTEVE, M. A. 2005 b. *Report on watershed modelling in Mar Menor site*. DITTY Project. EC “Energy, Environment & Sustainable Development Programme” (<http://www.dittyproject.org/MarMenor.asp>; con acceso el 5/06/2006).
- MARTÍNEZ FERNÁNDEZ, J., ESTEVE SELMA M. A. 2003. *Los recursos naturales de la Región de Murcia. Un análisis interdisciplinar*. Capítulo 5. Epígrafe 5. Servicio de Publicaciones de la Universidad de Murcia. 1ª Edición.
- MONTES, C. & BERNUÉS, M. 1989. Incidencia del Flamenco Rosa (*Phoenicopterus ruber roseus*) en el funcionamiento de los ecosistemas acuáticos del Parque Nacional de Doñana. *Reunión Técnica sobre la situación y problemática del Flamenco rosa en el Mediterráneo Occidental y Africa Noroccidental*. Antequera, Málaga.
- MORENO, J. (Coord.) 2005. *Evaluación Preliminar de los Impactos en España por Efecto del Cambio Climático*. Ministerio de Medio Ambiente (<http://www.mma.es/oecc/impactos2.htm>).
- NILSSON, L. 1985. Bestandsdichte und Vergesellschaftung brütender Wasservögel Südschwedens in Beziehung zur Produktivität der Seen. *Journal für Ornithologie*, 126: 85-92.

- NUR, N., S. L. JONES, & G. R. GEUPEL. 1999. A statistical guide to data analysis of avian monitoring programs. U.S. Department of the Interior, Fish and Wildlife Service, BTP-R6001-1999. Washington, D. C.
- PAGÁN, I. & ROBLDANO, F. 2006. Waterbirds as indicators of agricultural intensification: local response to agricultural effluents in the Mar Menor Lagoon (Murcia, SE Spain). *24th Ornithological Congress 2006*, Hamburg.
- PEAKALL, D. B., BOYD, H. 1987. Birds as bio-indicators of environmental conditions. Chairmen's introducción. *ICBP Technical Production No. 6*
- PÉREZ DE PERCEVAL, M. A. 2003. *Los recursos naturales de la Región de Murcia. Un análisis interdisciplinar*. Capítulo 7. Epígrafe 1. Servicio de Publicaciones de la Universidad de Murcia. 1ª Edición.
- PÉREZ RUZAF A, A. y MARCOS DIEGO, C. 1992. Colonization rates and dispersal as essential parameters in the confinement theory to explain the structure and horizontal zonation of lagoon benthic assemblages. *Rapports de la Commission International poru l'exploration scientifique de la Mer Mediterranée*, 33: 100.
- PÉREZ RUZAF A, A. y MARCOS DIEGO, C. 1993. La teoría del confinamiento como modelo para explicar la estructura y zonación horizontal de las comunidades bentónicas en las lagunas costeras. *Publicaciones Especiales del Instituto Español de Oceanografía*, 11: 347-358.
- PÉREZ RUZAF A, A.; MARCOS DIEGO, C. 2003. *Los recursos naturales de la Región de Murcia. Un análisis interdisciplinar*. Capítulo 8. Epígrafe 5. Servicio de Publicaciones de la Universidad de Murcia. 1ª Edición.
- PÉREZ RUZAF A, A., QUISPE BECERRA, J. I., GARCÍA CHARTON, J. A., MARCOS, C. 2003. Composition, structure and distribution of the ichthyoplankton in a Mediterranean coastal lagoon. *Journal of Fish Biology* (2004) 64, 202-218

- PÉREZ RUZAFÁ, A. 2005. Spatial and temporal variations of hydrological conditions, nutrients and chlorophyll a in a Mediterranean coastal lagoon (Mar Menor, Spain). *Hydrobiología* (2005) 550:11-27
- PFLUGER, D. e INGOLD, P. 1988. Zur Empfindlichkeit von Blasshuhnern und Haubentauchern gegenüber Störungen vom Wasser und vom Land. *Review of Suisse Zoology*, 95: 1171-1178.
- RAFFAELLI, D. 1999. Nutrient enrichment and trophic organisation in an estuarine food web. *Acta Oecologica*, 20 (4): 449-461.
- ROBLEDANO, F., y CALVO, J.F. 1992. Invernada de tres especies de aves (*Podiceps nigricollis*, *Phoenicopterus ruber* y *Tadorna tadorna*) en medios acuáticos hipersalinos del sudeste español. *Oxyura* 6(1): 5-21.
- ROBLEDANO, F. 1998. Mar Menor. En: *Zonas húmedas españolas incluidas en el Convenio de Ramsar*. Dirección General de Conservación de la Naturaleza, Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Pp.: 323-334.
- ROBLEDANO AYMERICH, F., ANADÓN HERRERA, J. D., PÉREZ IBARRA, I., ESTEVE SELMA, M. A. 2003. *Los recursos naturales de la Región de Murcia. Un análisis interdisciplinar*. Capítulo 8. Epígrafe 2. Servicio de Publicaciones de la Universidad de Murcia. 1ª Edición.
- ROBLEDANO, F., ESTEVE, M.A., HERNÁNDEZ GIL, V. & BLANCO GAGO, J.C. 2004 a. Indicadores faunísticos de cambio ambiental en la laguna del Mar Menor y sus humedales asociados. III Congreso de la Naturaleza de la Región de Murcia (poster).
- ROBLEDANO, F., ESTEVE, M.A., PARDO, M.T., MARTÍNEZ, J. y CARREÑO, M.F. 2004 b. Las aves acuáticas como bioindicadores de cambios ambientales debidos a la actividad agrícola en el Mar Menor (Murcia, SE España). *XVII Congreso Español de Ornitología*, Madrid (poster).

- ROBLEDANO, F., CALVO, J. F., HERNÁNDEZ, V. (Red.) y ALEDO, E. (Dir.). En prensa. *Libro Rojo de los Vertebrados de la Región de Murcia*. Comunidad Autónoma de Murcia. Consejería de Industria y Medio Ambiente.
- RODRIGUEZ-ESTRELLA, T. y LILLO, M. 1992. Geomorfología del Mar Menor y sectores litorales contiguos (Murcia-Alicante). *Estudios de Geomorfología en España*: 787-807.
- RÖNKÄ, M.T.H., SAARI, C.L.V., LEHIKONEN, E.A., SUOMELA, J. & HÄKKILÄ, K. 2005. Environmental changes and population trends of breeding waterfowl in northern Baltic Sea. *Annales Zoologici Fennici*, 42: 587-602.
- ROSA, S., PALMEIRIM, J.M. & MOREIRA F. 2003. Factors affecting waterbird abundance and species richness in an increasingly urbanized area of the Tagus Estuary in Portugal. *Waterbirds*, 26(2): 226-232.
- RUTSCHKE, E. 1987. Waterfowl as bio-indicators. *ICBP Technical Production No. 6*
- SAEZ-ROYUELA, R. 1980. *La guía de INCAFO de las aves de la Península Ibérica*. . Editorial INCAFO. 1ª Edición. Madrid
- SENENT ALONSO, M. 2003. *Los recursos naturales de la Región de Murcia. Un análisis interdisciplinar*. Capítulo 4. Epígrafe 4. Servicio de Publicaciones de la Universidad de Murcia. 1ª Edición.
- TAFT, O.W. & HAIG, S.M. 2006. Importance of wetland landscape structure to shorebirds wintering in an agricultural valley. *Landscape Ecology*, 21: 169-184
- TRAUT, A. H., HOSTETLER, M. E. 2003b. Urban Lakes and Waterbirds: Effects of shoreline development on avian behaviour. *Waterbirds* 26(3): 290-302
- TRAUT, A. H., HOSTETLER, M. E. 2004. Urban Lakes and Waterbirds: Effects of shoreline development on avian distribution. *Landscape and Urban Planning* (2004) 69-85

- VAN EERDEN, M.R., DRENT, R.H., STAHL, J. & BAKKER, J.P. 2005. Connecting seas: western Palearctic continental flyway for water birds in the perspective of changing land use and climate. *Global Change Biology*, 11: 894-908.
- VAN IMPE, J. 1985. Estuarine pollution as a probable cause of increase of estuarine birds. *Marine Pollution Bulletin*, 16(7): 271-76.
- VELASCO, J., LLORET, J.; MILLAN, A., BARAHONA, J., ABELLÁN, P. & SANCHEZ-FERNANDEZ, D. 2005. Nutrient and particulate inputs into the Mar Menor lagoon (SE Spain) from an intensive agricultural watershed. *Water, Air, and Soil Pollution* (2006). 10.1007/s11270-006-2859-8
- VELASCO, J., RUIZ, M.; 2006. Seguimiento y evaluación del Plan de manejo del carrizo en la rambla del Albuñón. Informe preliminar
- VERDIELL, D., ANDREU, A., EGEA, A., OLIVA-PATERNA, F. J. & M. TORRALVA (En prensa). Dinámica espacio-temporal de la familia Mugilidae en las áreas someras del Mar Menor (SE, Murcia): Estados alevines y juveniles. Actas III Congreso de la Naturaleza de la Región de Murcia. Asociación de Naturalistas del Sureste. Cartagena

7. ANEXOS